

Язык программирования Rust

От Стива Клабника и Кэрол Николс, при поддержке других участников сообщества Rust

В этой версии учебника предполагается, что вы используете Rust 1.67.1 (выпущен 09.02.2023) или новее. См. раздел «Установка» главы 1 для установки или обновления Rust.

HTML-версия книги доступна онлайн по адресам <https://doc.rust-lang.org/stable/book/>_(англ.) и <https://doc.rust-lang.ru/book>_(рус.) и офлайн. При установке Rust с помощью `rustup`: просто запустите `rustup docs --book`, чтобы её открыть.

Также доступны несколько [переводов](#) от сообщества.

Этот материал доступен в виде [печатной книги в мягкой обложке](#) и в формате электронной книги от No Starch Press .

💡 Предпочитаете более интерактивный процесс обучения? Попробуйте другую версию Rust Book, в которой есть: контрольные вопросы, цветовое выделение, наглядные визуализации и многое другое: <https://rust-book.cs.brown.edu>

Предисловие

Не всегда было ясно, но язык программирования Rust в основном посвящён *расширению возможностей*: независимо от того, какой код вы пишете сейчас, Rust позволяет вам достичь большего, чтобы программировать уверенно в более широком диапазоне областей, чем вы делали раньше.

Возьмём, к примеру, работу «системного уровня», которая касается низкоуровневых деталей управления памятью, представления данных и многопоточности. Традиционно эта область программирования считается загадочной, доступной лишь немногим избранным, посвятившим долгие годы изучению всех её печально известных подводных камней. И даже те, кто практикуют это, делают всё с осторожностью, чтобы их код не был уязвим для эксплойтов, сбоев или повреждений.

Rust разрушает эти барьеры, устранивая старые подводные камни и предоставляя дружелюбный, отполированный набор инструментов, который поможет вам на этом пути. Программисты, которым необходимо «погрузиться» в низкоуровневое управление, могут сделать это с помощью Rust, не боясь привычного риска аварий или дыр в безопасности и не изучая тонкости изменчивых наборов инструментов. Более того, язык предназначен для того, чтобы легко вести вас к надёжному коду, который эффективен с точки зрения скорости и использования памяти.

Программисты, которые уже работают с низкоуровневым кодом, могут использовать Rust для повышения своих амбиций. Например, внедрение параллелизма в Rust является операцией с относительно низким риском: компилятор поймает для вас классические ошибки. И вы можете заняться более агрессивной оптимизацией в своём коде с уверенностью, что не будете случайно добавлять в код сбои или уязвимости.

Но Rust не ограничивается низкоуровневым системным программированием. Он достаточно выразителен и эргономичен, чтобы приложения CLI (Command Line Interface – консольные программы), веб-серверы и многие другие виды кода были довольно приятными для написания — позже вы найдёте простые примеры того и другого в книге. Работа с Rust позволяет вырабатывать навыки, которые переносятся из одной предметной области в другую; вы можете изучить Rust, написав веб-приложение, а затем применить те же навыки для Raspberry Pi.

Эта книга полностью раскрывает потенциал Rust для расширения возможностей его пользователей. Это дружелюбный и доступный материал, призванный помочь вам повысить уровень не только ваших знаний о Rust, но и ваших возможностей и уверенности как программиста в целом. Так что погружайтесь, готовьтесь учиться и добро пожаловать в сообщество Rust!

— Nicholas Matsakis и Aaron Turon

Введение

Примечание. Это издание книги такое же, как и [Язык программирования Rust](#), доступное в печатном и электронном формате от [No Starch Press](#).

Добро пожаловать в *The Rust Programming Language*, вводную книгу о Rust. Язык программирования Rust помогает создавать быстрые, более надёжные приложения. Хорошая эргономика и низкоуровневый контроль часто являются противоречивыми требованиями для дизайна языков программирования; Rust бросает вызов этому конфликту. Благодаря сбалансированности мощных технических возможностей с большим удобством разработки, Rust предоставляет возможности управления низкоуровневыми элементами (например, использование памяти) без трудностей, традиционно связанных с таким контролем.

Кому подходит Rust

Rust идеально подходит для многих людей по целому ряду причин. Давайте рассмотрим несколько наиболее важных групп.

Команды разработчиков

Rust зарекомендовал себя как продуктивный инструмент для совместной работы больших команд разработчиков с разным уровнем знаний в области системного программирования. Низкоуровневый код подвержен различным трудноуловимым ошибкам, которые в большинстве других языков могут быть обнаружены только с помощью тщательного тестирования и проверки кода опытными разработчиками. В Rust компилятор играет роль привратника, отказываясь компилировать код с этими неуловимыми ошибками, включая ошибки параллелизма. Работая вместе с компилятором, команда может сфокусироваться на работе над логикой программы, а не над поиском ошибок.

Rust также привносит современные инструменты разработчика в мир системного программирования:

- Cargo, входящий в комплект менеджер зависимостей и инструмент сборки, делает добавление, компиляцию и управление зависимостями безболезненным и согласованным в рамках всей экосистемы Rust.
- Инструмент форматирования Rustfmt обеспечивает единый стиль кодирования для всех разработчиков.
- Rust Language Server обеспечивает интеграцию с интегрированной средой разработки (IDE) для автодополнения кода и встроенных сообщений об ошибках.

Благодаря применению этих и других инструментов в экосистеме Rust разработчики способны продуктивно работать при написании кода системного уровня.

Студенты

Rust полезен для студентов и тех, кто заинтересован в изучении системных концепций. Используя Rust, многие люди узнали о таких темах, как разработка операционных систем. Сообщество радушно и с удовольствием ответит на вопросы начинающих. Благодаря усилиям — таким, как эта книга — команды Rust хотят сделать концепции систем более доступными для большего числа людей, особенно для новичков в программировании.

Компании

Сотни больших и малых компаний используют Rust в промышленных условиях для решения различных задач, включая инструменты командной строки, веб-сервисы, инструменты DevOps, встраиваемые устройства, анализ и транскодирование аудио и видео, криптовалюты, биоинформатику, поисковые системы, приложения Интернета вещей, машинное обучение и даже основные части веб-браузера Firefox.

Разработчики Open Source

Rust предназначен для людей, которые хотят развивать язык программирования Rust, сообщество, инструменты для разработчиков и библиотеки. Мы будем рады, если вы внесёте свой вклад в развитие языка Rust.

Люди, целящие скорость и стабильность

Rust предназначен для любителей скорости и стабильности в языке. Под скоростью мы подразумеваем как быстродействие программы на Rust, так и быстроту, с которой Rust позволяет писать программы. Проверки компилятора Rust обеспечивают стабильность за счёт функциональных дополнений и рефакторинга. Это выгодно отличается от хрупкого унаследованного кода в языках без таких проверок, который разработчики часто боятся изменять. Благодаря обеспечению абстракций с нулевой стоимостью, высокоуровневых возможностей, компилируемых в низкоуровневый код такой же быстрый, как и написанный вручную, Rust стремится сделать безопасный код ещё и быстрым.

Язык Rust надеется поддержать и многих других пользователей; перечисленные здесь - лишь самые значимые заинтересованные лица. В целом, главная цель Rust - избавиться от компромиссов, на которые программисты шли десятилетиями, обеспечив безопасность и производительность, скорость и эргономичность. Попробуйте Rust и убедитесь, подойдут ли вам его решения.

Для кого эта книга

В этой книге предполагается, что вы писали код на другом языке программирования, но не оговаривается, на каком именно. Мы постарались сделать материал доступным для широкого круга людей с разным уровнем подготовки в области программирования. Мы не будем тратить время на обсуждение сути понятия программирования или как его понимать. Если вы совсем новичок в программировании, рекомендуем прочитать книгу, посвящённую введению в программирование.

Как использовать эту книгу

В целом, книга предполагает, что вы будете читать последовательно от начала до конца. Более поздние главы опираются на концепции, изложенные в предыдущих главах, а предыдущие главы могут не углубляться в детали конкретной темы, так как в последующих главах они будут рассматриваться более подробно.

В этой книге вы найдёте два вида глав: главы о концепциях и главы с проектом. В главах о концепциях вы узнаете о каком-либо аспекте Rust. В главах проекта мы будем вместе создавать небольшие программы, применяя то, что вы уже узнали. Главы 2, 12 и 20 - это главы проекта; остальные - главы о концепциях.

Глава 1 объясняет, как установить Rust, как написать программу "Hello, world!" и как использовать Cargo, менеджер пакетов и инструмент сборки Rust. Глава 2 - это практическое введение в написание программы на Rust, в которой вам предлагается создать игру для угадывания чисел. Здесь мы рассмотрим концепции на высоком уровне, а в последующих главах будет предоставлена дополнительная информация. Если вы хотите сразу же приступить к работе, глава 2 - самое подходящее место для этого. В главе 3 рассматриваются возможности Rust, схожие с возможностями других языков программирования, а в главе 4 вы узнаете о системе владения Rust. Если вы особенно дотошный ученик и предпочитаете изучить каждую деталь, прежде чем переходить к следующей, возможно, вы захотите пропустить главу 2 и сразу перейти к главе 3, вернувшись к главе 2, когда захотите поработать над проектом, применяя изученные детали.

Глава 5 описывает структуры и методы, а глава 6 охватывает перечисления, выражения `match` и конструкции управления потоком `if let`. Вы будете использовать структуры и перечисления для создания пользовательских типов в Rust.

В главе 7 вы узнаете о системе модулей Rust, о правилах организации приватности вашего кода и его публичном интерфейсе прикладного программирования (API). В главе 8 обсуждаются некоторые распространённые структуры данных - коллекции, которые предоставляет стандартная библиотека, такие как векторы, строки и HashMaps. В главе 9 рассматриваются философия и методы обработки ошибок в Rust.

В главе 10 рассматриваются шаблонные типы данных, типажи и времена жизни, позволяющие написать код, который может использоваться разными типами. Глава 11 посвящена тестированию, которое даже с гарантиями безопасности в Rust необходимо для

обеспечения правильной логики вашей программы. В главе 12 мы создадим собственную реализацию подмножества функциональности инструмента командной строки `grep`, предназначенного для поиска текста в файлах. Для этого мы будем использовать многие концепции, которые обсуждались в предыдущих главах.

В главе 13 рассматриваются замыкания и итераторы: особенности Rust, пришедшие из функциональных языков программирования. В главе 14 мы более подробно рассмотрим Cargo и поговорим о лучших методах распространения ваших библиотек среди других разработчиков. В главе 15 обсуждаются умные указатели, которые предоставляет стандартная библиотека, и типажи, обеспечивающие их функциональность.

В главе 16 мы рассмотрим различные модели параллельного программирования и поговорим о возможности Rust для безбоязнского многопоточного программирования. В главе 17 рассматривается сравнение идиом Rust с принципами объектно-ориентированного программирования, которые наверняка вам знакомы.

Глава 18 - это справочник по шаблонам и сопоставлению с образцами, которые являются мощными способами выражения идей в программах на Rust. Глава 19 содержит множество интересных дополнительных тем, включая небезопасный Rust, макросы и многое другое о времени жизни, типажах, типах, функциях и замыканиях.

В главе 20 мы завершим проект, в котором реализуем низкоуровневый многопоточный веб-сервер!

Наконец, некоторые приложения содержат полезную информацию о языке в более справочном формате. В приложении A рассматриваются ключевые слова Rust, в приложении B — операторы и символы Rust, в приложении C — производные типажи, предоставляемые стандартной библиотекой, в приложении D — некоторые полезные инструменты разработки, а в приложении E — издания Rust. В приложении F вы найдёте переводы книги, а в приложении G мы расскажем о том, как создаётся Rust и что такое nightly Rust.

Нет неправильного способа читать эту книгу: если вы хотите пропустить главу - сделайте это! Возможно, вам придётся вернуться к предыдущим главам, если возникнет недопонимание. Делайте все, как вам удобно.

Важной частью процесса обучения Rust является изучение того, как читать сообщения об ошибках, которые отображает компилятор: они приведут вас к работающему коду. Мы изучим много примеров, которые не компилируются и отображают ошибки в сообщениях компилятора в разных ситуациях. Знайте, что если вы введёте и запустите случайный пример, он может не скомпилироваться! Убедитесь, что вы прочитали окружающий текст, чтобы понять, не предназначен ли пример, который вы пытаетесь запустить, для демонстрации ошибки. Ferris также поможет вам различить код, который не предназначен для работы:

Ferris	Пояснения
	Этот код не компилируется!

Ferris	Пояснения
	Этот код вызывает панику!
	Этот код не приводит к желаемому поведению.

В большинстве случаев мы приведём вас к правильной версии любого кода, который не компилируется.

Исходные коды

Файлы с исходным кодом, используемым в этой книге, можно найти на [GitHub](#).

Начало работы

Начнём наше путешествие в Rust! Нужно много всего изучить, но каждое путешествие с чего-то начинается. В этой главе мы обсудим:

- установку Rust на Linux, macOS и Windows,
- написание программы, печатающей `Hello, world!`,
- использование `cargo`, менеджера пакетов и системы сборки в одном лице для Rust.

Установка

Первым шагом является установка Rust. Мы загрузим Rust, используя инструмент командной строки `rustup`, предназначенный для управления версиями Rust и другими связанными с ним инструментами. Вам понадобится интернет-соединение для его загрузки.

Примечание: если вы по каким-то причинам предпочитаете не использовать `rustup`, пожалуйста, посетите [страницу «Другие методы установки Rust»](#) для получения дополнительных опций.

Следующие шаги устанавливают последнюю стабильную версию компилятора Rust. Благодаря гарантиям стабильности Rust все примеры в книге, которые компилируются, будут компилироваться и в новых версиях Rust. Вывод может немного отличаться в разных версиях, поскольку Rust часто улучшает сообщения об ошибках и предупреждения. Другими словами, любая новая, стабильная версия Rust, которую вы установите с помощью этих шагов, должна работать с содержимым этой книги так, как ожидается.

Условные обозначения командной строки

В этой главе и во всей книге мы будем демонстрировать некоторые команды, используемые в терминале. Строки, которые вы должны вводить в терминале, начинаются с `$`. Вам не нужно вводить символ `$`; это подсказка командной строки, отображаемая для обозначения начала каждой команды. Строки, которые не начинаются с `$`, обычно показывают вывод предыдущей команды. Кроме того, в примерах, специфичных для PowerShell, будет использоваться `>`, а не `$`.

Установка `rustup` на Linux или macOS

Если вы используете Linux или macOS, пожалуйста, выполните следующую команду:

```
$ curl --proto '=https' --tlsv1.2 https://sh.rustup.rs -sSf | sh
```

Команда загружает сценарий и запускает установку инструмента `rustup`, который устанавливает последнюю стабильную версию Rust. Вам может быть предложено ввести пароль. Если установка прошла успешно, появится следующая строка:

```
Rust is installed now. Great!
```

Вам также понадобится компоновщик (*linker*) — программа, которую Rust использует для объединения своих скомпилированных выходных данных в один файл. Скорее всего, он у вас уже есть. При возникновении ошибок компоновки, вам следует установить компилятор C, который обычно будет включать в себя и компоновщик. Компилятор C также полезен, потому что некоторые распространённые пакеты Rust зависят от кода C и нуждаются в компиляторе C.

На macOS вы можете получить компилятор C, выполнив команду:

```
$ xcode-select --install
```

Пользователи Linux, как правило, должны устанавливать GCC или Clang в соответствии с документацией их дистрибутива. Например, при использовании Ubuntu можно установить пакет `build-essential`.

Установка `rustup` на Windows

На Windows перейдите по адресу <https://www.rust-lang.org/tools/install> и следуйте инструкциям по установке Rust. На определённом этапе установки вы получите сообщение, предупреждающее, что вам также понадобятся инструменты сборки MSVC для Visual Studio 2013 или более поздней версии.

Чтобы получить инструменты сборки, вам потребуется установить [Visual Studio 2022](#). На вопрос о том, какие компоненты необходимо установить, выберите:

- “Desktop Development with C++”
- The Windows 10 or 11 SDK
- Английский языковой пакет вместе с любым другим языковым пакетом по вашему выбору.

В остальной части этой книги используются команды, которые работают как в `cmd.exe`, так и в PowerShell. При наличии специфических различий мы объясним, что необходимо сделать в таких случаях.

Устранение возможных ошибок

Чтобы проверить, правильно ли у вас установлен Rust, откройте оболочку и введите эту строку:

```
$ rustc --version
```

Вы должны увидеть номер версии, хэш фиксации и дату фиксации для последней стабильной версии, которая была выпущена, в следующем формате:

```
rustc x.y.z (abcabcabc yyyy-mm-dd)
```

Если вы видите эту информацию, вы успешно установили Rust! Если вы не видите эту информацию, убедитесь, что Rust находится в вашей системной переменной `%PATH%` следующим образом:

В Windows CMD:

```
> echo %PATH%
```

В PowerShell:

```
> echo $env:Path
```

В Linux и macOS:

```
$ echo $PATH
```

Если все было сделано правильно, но Rust все ещё не работает, есть несколько мест, где вам могут помочь. Узнайте, как связаться с другими Rustaceans (так мы себя называем) на [странице сообщества](#).

Обновление и удаление

После установки Rust с помощью `rustup` обновление до новой версии не составит труда. В командной оболочке запустите следующий скрипт обновления:

```
$ rustup update
```

Чтобы удалить Rust и `rustup`, выполните следующую команду:

```
$ rustup self uninstall
```

Локальная документация

Установка Rust также включает локальную копию документации, чтобы вы могли читать её в автономном режиме. Выполните `rustup doc`, чтобы открыть локальную документацию в браузере.

Если стандартная библиотека предоставляет тип или функцию, а вы не знаете, что она делает или как её использовать, воспользуйтесь документацией интерфейса прикладного программирования (API), чтобы это узнать!

Привет, мир!

Теперь, когда вы установили Rust, пришло время написать свою первую программу на Rust. Традиционно при изучении нового языка принято писать небольшую программу, которая печатает на экране текст `Привет, мир!`, поэтому мы сделаем то же самое!

Примечание: Эта книга предполагает наличие базового навыка работы с командной строкой. Rust не предъявляет особых требований к тому, каким инструментарием вы пользуетесь для редактирования или хранения вашего кода, поэтому если вы предпочитаете использовать интегрированную среду разработки (IDE) вместо командной строки, смело используйте вашу любимую IDE. Многие IDE сейчас в той или иной степени поддерживают Rust; подробности можно узнать из документации к IDE. Команда Rust сосредоточилась на обеспечении отличной поддержки IDE с помощью `rust-analyzer`. Более подробную информацию смотрите в [Приложении D](#).

Создание папки проекта

Прежде всего начнём с создания директории, в которой будем сохранять наш код на языке Rust. На самом деле не важно, где сохранять наш код. Однако, для упражнений и проектов, обсуждаемых в данной книге, мы советуем создать директорию *projects* в вашем домашнем каталоге, там же и хранить в будущем код программ из книги.

Откройте терминал и введите следующие команды для того, чтобы создать директорию *projects* для хранения кода разных проектов, и, внутри неё, директорию *hello_world* для проекта “Привет, мир!”.

Для Linux, macOS и PowerShell на Windows, введите:

```
$ mkdir ~/projects  
$ cd ~/projects  
$ mkdir hello_world  
$ cd hello_world
```

Для Windows в CMD, введите:

```
> mkdir "%USERPROFILE%\projects"  
> cd /d "%USERPROFILE%\projects"  
> mkdir hello_world  
> cd hello_world
```

Написание и запуск первой Rust программы

Затем создайте новый исходный файл и назовите его `main.rs`. Файлы Rust всегда заканчиваются расширением `.rs`. Если вы используете более одного слова в имени файла, принято разделять их символом подчёркивания. Например, используйте `hello_world.rs` вместо `helloworld.rs`.

Теперь откроем файл `main.rs` для редактирования и введём следующие строки кода:

Название файла: `main.rs`

```
fn main() {  
    println!("Привет, мир!");  
}
```

Листинг 1-1: Программа, которая печатает `Привет, мир!`

Сохраните файл и вернитесь в окно терминала в каталог `~/projects/hello_world`. В Linux или macOS введите следующие команды для компиляции и запуска файла:

```
$ rustc main.rs  
$ ./main  
Привет, мир!
```

В Windows, введите команду `.\main.exe` вместо `./main`:

```
> rustc main.rs  
> .\main.exe  
Привет, мир!
```

Независимо от вашей операционной системы, строка `Привет, мир!` должна быть выведена на терминал. Если вы не видите такого вывода, обратитесь к разделу "[Устранение неполадок](#)", чтобы узнать, как получить помощь.

Если напечаталось `Привет, мир!`, то примите наши поздравления! Вы написали программу на Rust, что делает вас Rust программистом — добро пожаловать!

Анатомия программы на Rust

Давайте рассмотрим «Привет, мир!» программу в деталях. Вот первая часть головоломки:

```
fn main() {  
}
```

Эти строки определяют функцию с именем `main`. Функция `main` особенная: это всегда первый код, который запускается в каждой исполняемой программе Rust. Первая строка объявляет функцию с именем `main`, которая не имеет параметров и ничего не возвращает. Если бы были параметры, они бы заключались в круглые скобки `()`.

Тело функции заключено в `{}`. Rust требует фигурных скобок вокруг всех тел функций. Хороший стиль — поместить открывающую фигурную скобку на ту же строку, что и объявление функции, добавив между ними один пробел.

Примечание: Если хотите придерживаться стандартного стиля во всех проектах Rust, вы можете использовать инструмент автоматического форматирования под названием `rustfmt` для форматирования кода в определённом стиле (подробнее о `rustfmt` в [Приложении D](#)). Команда Rust включила этот инструмент в стандартный дистрибутив Rust, как `rustc`, поэтому он уже должен быть установлен на вашем компьютере!

Тело функции `main` содержит следующий код:

```
println!("Привет, мир!");
```

Эта строка делает всю работу в этой маленькой программе: печатает текст на экран. Можно заметить четыре важных детали.

Во-первых, стиль Rust предполагает отступ в четыре пробела, а не табуляцию.

Во-вторых, `println!` вызывается макрос Rust. Если бы вместо него была вызвана функция, она бы была набрана как `println` (без `!`). Более подробно мы обсудим макросы Rust в главе 19. Пока достаточно знать, что использование `!` подразумевает вызов макроса вместо обычной функции, и что макросы не всегда подчиняются тем же правилам как функции.

В-третьих, вы видите строку `"Привет, мир!"`. Мы передаём её в качестве аргумента макросу `println!`, и она выводится на экран.

В-четвёртых, мы завершаем строку точкой с запятой (`;`), которая указывает на окончание этого выражения и возможность начала следующего. Большинство строк кода Rust заканчиваются точкой с запятой.

Компиляция и запуск - это отдельные шаги

Вы только что запустили впервые созданную программу, поэтому давайте рассмотрим каждый шаг этого процесса.

Перед запуском программы на Rust вы должны скомпилировать её с помощью компилятора Rust, введя команду `rustc` и передав ей имя вашего исходного файла, например:

```
$ rustc main.rs
```

Если у вас есть опыт работы с C или C++, вы заметите, что это похоже на `gcc` или `clang`. После успешной компиляции Rust выводит двоичный исполняемый файл.

В Linux, macOS и PowerShell в Windows вы можете увидеть исполняемый файл, введя команду `ls` в оболочке:

```
$ ls  
main main.rs
```

В Linux и macOS вы увидите два файла. При использовании PowerShell в Windows вы увидите такие же три файла, как и при использовании CMD. Используя CMD в Windows, введите следующее:

```
> dir /B %= the /B option says to only show the file names =%  
main.exe  
main.pdb  
main.rs
```

Это показывает исходный код файла с расширением `.rs`, исполняемый файл (`main.exe` на Windows, но `main` на всех других plataformах) и, при использовании Windows, файл, содержащий отладочную информацию с расширением `.pdb`. Отсюда вы запускаете файлы `main` или `main.exe`, например:

```
$ ./main # для Linux  
> .\main.exe # для Windows
```

Если ваш `main.rs` — это ваша программа «Привет, мир!», эта строка выведет в терминал `Привет, мир!`.

Если вы лучше знакомы с динамическими языками, такими как Ruby, Python или JavaScript, возможно, вы не привыкли компилировать и запускать программу как отдельные шаги. Rust — это предварительно скомпилированный язык, то есть вы можете скомпилировать программу и передать исполняемый файл кому-то другому, и он сможет запустить его даже без установленного Rust. Если вы даёте кому-то файл `.rb`, `.py` или `.js`, у него должна быть установлена реализация Ruby, Python или JavaScript (соответственно). Но в этих языках вам нужна только одна команда для компиляции и запуска вашей программы. В дизайне языков программирования всё — компромисс.

Компиляция с помощью `rustc` подходит для простых программ, но по мере роста вашего проекта вы захотите управлять всеми параметрами и упростить передачу кода. Далее мы познакомим вас с инструментом Cargo, который поможет вам писать программы из реального мира на Rust.

Привет, Cargo!

Cargo - это система сборки и менеджер пакетов Rust. Большая часть разработчиков используют данный инструмент для управления проектами, потому что Cargo выполняет за вас множество задач, таких как сборка кода, загрузка библиотек, от которых зависит ваш код, и создание этих библиотек. (Мы называем библиотеки, которые нужны вашему коду, *зависимостями*.)

Самые простые программы на Rust, подобные той, которую мы написали, не имеют никаких зависимостей. Если бы мы сделали проект «Hello, world!» с Cargo, он бы использовал только ту часть Cargo, которая отвечает за компиляцию вашего кода. По мере написания более сложных программ на Rust вы будете добавлять зависимости, а если вы начнёте проект с использованием Cargo, добавлять зависимости станет намного проще.

Поскольку значительное число проектов Rust используют Cargo, оставшаяся часть книги подразумевает, что вы тоже используете Cargo. Cargo входит в комплект поставки Rust, если вы использовали официальные программы установки, рассмотренные в разделе "[Установка](#)". Если вы установили Rust другим способом, проверьте, установлен ли Cargo, введя в терминале следующее:

```
$ cargo --version
```

Если команда выдала номер версии, то значит Cargo установлен. Если вы видите ошибку, вроде `command not found` ("команда не найдена"), загляните в документацию для использованного вами способа установки, чтобы выполнить установку Cargo отдельно.

Создание проекта с помощью Cargo

Давайте создадим новый проект с помощью Cargo и посмотрим, как он отличается от нашего начального проекта "Hello, world!". Перейдите обратно в папку *projects* (или любую другую, где вы решили сохранять код). Затем, в любой операционной системе, запустите команду:

```
$ cargo new hello_cargo
$ cd hello_cargo
```

Первая команда создаёт новый каталог и проект с именем *hello_cargo*. Мы назвали наш проект *hello_cargo*, и Cargo создаёт свои файлы в каталоге с тем же именем.

Перейдём в каталог *hello_cargo* и посмотрим файлы. Увидим, что Cargo сгенерировал два файла и одну директорию: файл *Cargo.toml* и каталог *src* с файлом *main.rs* внутри.

Кроме того, cargo инициализировал новый репозиторий Git вместе с файлом *.gitignore*. Файлы Git не будут сгенерированы, если вы запустите `cargo new` в существующем репозитории Git; вы можете изменить это поведение, используя `cargo new --vcs=git`.

Примечание. Git — это распространённая система контроля версий. Вы можете изменить `cargo new`, чтобы использовать другую систему контроля версий или не использовать систему контроля версий, используя флаг `--vcs`. Запустите `cargo new --help`, чтобы увидеть доступные параметры.

Откройте файл `Cargo.toml` в любом текстовом редакторе. Он должен выглядеть как код в листинге 1-2.

Файл: `Cargo.toml`

```
[package]
name = "hello_cargo"
version = "0.1.0"
edition = "2021"

# See more keys and their definitions at https://doc.rust-
lang.org/cargo/reference/manifest.html

[dependencies]
```

Листинг 1-2: Содержимое файла `Cargo.toml`, сгенерированное командой `cargo new`

Это файл в формате *TOML* (*Tom's Obvious, Minimal Language*), который является форматом конфигураций Cargo.

Первая строка, `[package]`, является заголовочной секцией, которая указывает что следующие инструкции настраивают пакет. По мере добавления больше информации в данный файл, будет добавляться больше секций и инструкций (строк).

Следующие три строки задают информацию о конфигурации, необходимую Cargo для компиляции вашей программы: имя, версию и редакцию Rust, который будет использоваться. Мы поговорим о ключе `edition` в [Приложении E](#).

Последняя строка, `[dependencies]` является началом секции для списка любых зависимостей вашего проекта. В Rust, это внешние пакеты кода, на которые ссылаются ключевым словом `crate`. Нам не нужны никакие зависимости в данном проекте, но мы будем использовать их в первом проекте главы 2, так что нам пригодится данная секция зависимостей потом.

Откройте файл `src/main.rs` и загляните в него:

Файл: `src/main.rs`

```
fn main() {
    println!("Hello, world!");
}
```

Cargo сгенерировал для вас программу "Hello, world!", подобную той, которую мы написали в Листинге 1-1! Пока что различия между нашим предыдущим проектом и проектом, сгенерированным при помощи Cargo, заключаются в том, что Cargo поместил исходный код в каталог `src`, и у нас есть конфигурационный файл `Cargo.toml` в верхнем каталоге проекта.

Cargo ожидает, что ваши исходные файлы находятся внутри каталога `src`. Каталог верхнего уровня проекта предназначен только для файлов `README`, информации о лицензии, файлы конфигурации и чего то ещё не относящего к вашему коду. Использование Cargo помогает организовывать проект. Есть место для всего и все находится на своём месте.

Если вы начали проект без использования Cargo, как мы делали для "Hello, world!" проекта, то можно конвертировать его в проект с использованием Cargo. Переместите код в подкаталог `src` и создайте соответствующий файл `Cargo.toml` в папке.

Сборка и запуск Cargo проекта

Посмотрим, в чем разница при сборке и запуске программы "Hello, world!" с помощью Cargo. В каталоге `hello_cargo` соберите проект следующей командой:

```
$ cargo build
Compiling hello_cargo v0.1.0 (file:///projects/hello_cargo)
Finished dev [unoptimized + debuginfo] target(s) in 2.85 secs
```

Эта команда создаёт исполняемый файл в `target/debug/hello_cargo` (или `target\debug\hello_cargo.exe` в Windows), а не в вашем текущем каталоге. Поскольку стандартная сборка является отладочной, Cargo помещает двоичный файл в каталог с именем `debug`. Вы можете запустить исполняемый файл с помощью этой команды:

```
$ ./target/debug/hello_cargo # or .\target\debug\hello_cargo.exe on Windows
Hello, world!
```

Если все хорошо, то `Hello, world!` печатается в терминале. Запуск команды `cargo build` в первый раз также приводит к созданию нового файла `Cargo.lock` в папке верхнего уровня. Данный файл хранит точные версии зависимостей вашего проекта. Так как у нас нет зависимостей, то файл пустой. Вы никогда не должны менять этот файл вручную: Cargo сам управляет его содержимым для вас.

Только что мы собрали проект командой `cargo build` и запустили его из `./target/debug/hello_cargo`. Но мы также можем при помощи команды `cargo run` сразу и скомпилировать код, и затем запустить полученный исполняемый файл всего лишь одной командой:

```
$ cargo run
    Finished dev [unoptimized + debuginfo] target(s) in 0.0 secs
    Running `target/debug/hello_cargo`
Hello, world!
```

Использование `cargo run` более удобно, чем необходимость помнить и запускать `cargo build`, а затем использовать весь путь к бинарному файлу, поэтому большинство разработчиков используют `cargo run`.

Обратите внимание, что на этот раз мы не видели вывода, указывающего на то, что Cargo компилирует `hello_cargo`. Cargo выяснил, что файлы не изменились, поэтому не стал

пересобирать, а просто запустил бинарный файл. Если бы вы изменили свой исходный код, Cargo пересобрал бы проект перед его запуском, и вы бы увидели этот вывод:

```
$ cargo run
Compiling hello_cargo v0.1.0 (file:///projects/hello_cargo)
  Finished dev [unoptimized + debuginfo] target(s) in 0.33 secs
    Running `target/debug/hello_cargo`
Hello, world!
```

Cargo также предоставляет команду, называемую `cargo check`. Эта команда быстро проверяет ваш код, чтобы убедиться, что он компилируется, но не создаёт исполняемый файл:

```
$ cargo check
Checking hello_cargo v0.1.0 (file:///projects/hello_cargo)
  Finished dev [unoptimized + debuginfo] target(s) in 0.32 secs
```

Почему вам не нужен исполняемый файл? Часто `cargo check` выполняется намного быстрее, чем `cargo build`, поскольку пропускает этап создания исполняемого файла. Если вы постоянно проверяете свою работу во время написания кода, использование `cargo check` ускорит процесс информирования вас о том, что ваш проект всё ещё компилируется! Таким образом, многие Rustacean периодически запускают `cargo check`, когда пишут свои программы, чтобы убедиться, что она компилируется. Затем они запускают `cargo build`, когда готовы использовать исполняемый файл.

Давайте подытожим, что мы уже узнали о Cargo:

- Мы можем создать проект с помощью `cargo new`.
- можно собирать проект, используя команду `cargo build`,
- можно одновременно собирать и запускать проект одной командой `cargo run`,
- можно собрать проект для проверки ошибок с помощью `cargo check`, не тратя время на кодогенерацию исполняемого файла,
- `cargo` сохраняет результаты сборки не в директорию с исходным кодом, а в отдельный каталог `target/debug`.

Дополнительным преимуществом использования Cargo является то, что его команды одинаковы для разных операционных систем. С этой точки зрения, мы больше не будем предоставлять отдельные инструкции для Linux, macOS или Windows.

Сборка финальной версии (Release)

Когда проект, наконец, готов к релизу, можно использовать команду `cargo build --release` для его компиляции с оптимизацией. Данная команда создаёт исполняемый файл в папке `target/release` в отличии от папки `target/debug`. Оптимизации делают так, что Rust код работает быстрее, но их включение увеличивает время компиляции. По этой причине есть два отдельных профиля: один для разработки, когда нужно осуществлять сборку быстро и часто, и другой, для сборки финальной программы, которую будете отдавать пользователям, которая готова к работе и будет выполняться максимально быстро. Если вы замеряете время

выполнения вашего кода, убедитесь, что собрали проект с оптимизацией `cargo build --release` и тестируете исполняемый файл из папки `target/release`.

Cargo как Конвенция

В простых проектах Cargo не даёт больших преимуществ по сравнению с использованием `rustc`, но он проявит себя, когда ваши программы станут более сложными. Когда программы вырастают до нескольких файлов или нуждаются в зависимостях, гораздо проще позволить Cargo координировать сборку.

Не смотря на то, что проект `hello_cargo` простой, теперь он использует большую часть реального инструментария, который вы будете повседневно использовать в вашей карьере, связанной с Rust. Когда потребуется работать над проектами размещёнными в сети, вы сможете просто использовать следующую последовательность команд для получения кода с помощью Git, перехода в каталог проекта, сборку проекта:

```
$ git clone example.org/someproject  
$ cd someproject  
$ cargo build
```

Для получения дополнительной информации о Cargo ознакомьтесь с [его документацией](#).

Итоги

Теперь вы готовы начать своё Rust путешествие! В данной главе вы изучили как:

- установить последнюю стабильную версию Rust, используя `rustup`,
- обновить Rust до последней версии,
- открыть локально установленную документацию,
- написать и запустить программу типа "Hello, world!", используя напрямую компилятор `rustc`,
- создать и запустить новый проект, используя соглашения и команды Cargo.

Это отличное время для создания более существенной программы, чтобы привыкнуть читать и писать код на языке Rust. Итак, в главе 2 мы построим программу для игры в угадай число. Если вы предпочитаете начать с изучения того, как работают общие концепции программирования в Rust, обратитесь к главе 3, а затем вернитесь к главе 2.

Программируем игру в загадки

Давайте окунёмся в Rust, вместе поработав над практическим проектом! В этой главе вы познакомитесь с некоторыми общими концепциями Rust, показав, как использовать их в реальной программе. Вы узнаете о `let`, `match`, методах, ассоциированных функциях, внешних контейнерах и многом другом! В следующих главах мы рассмотрим эти идеи более подробно. В этой главе вы просто попрактикуетесь в основах.

Мы реализуем классическую для начинающих программистов задачу — игру в загадки. Вот как это работает: программа генерирует случайное целое число в диапазоне от 1 до 100. Затем она предлагает игроку его угадать. После ввода числа программа укажет, меньше или больше было загаданное число. Если догадка верна, игра напечатает поздравительное сообщение и завершится.

Настройка нового проекта

Для настройки нового проекта перейдите в каталог *projects*, который вы создали в главе 1, и создайте новый проект с использованием Cargo, как показано ниже:

```
$ cargo new guessing_game  
$ cd guessing_game
```

Первая команда, `cargo new`, принимает в качестве первого аргумента имя проекта (`guessing_game`). Вторая команда изменяет каталог на новый каталог проекта.

Загляните в созданный файл *Cargo.toml*:

Файл: *Cargo.toml*

```
[package]  
name = "guessing_game"  
version = "0.1.0"  
edition = "2021"  
  
# See more keys and their definitions at https://doc.rust-lang.org/cargo/reference/manifest.html  
  
[dependencies]
```

Как вы уже видели в главе 1, `cargo new` создаёт программу «Hello, world!». Посмотрите файл *src/main.rs*:

Файл: *src/main.rs*

```
fn main() {  
    println!("Hello, world!");  
}
```

Теперь давайте скомпилируем программу «Hello, world!» и сразу на этом же этапе запустим её с помощью команды `cargo run`:

```
$ cargo run
Compiling guessing_game v0.1.0 (file:///projects/guessing_game)
  Finished `dev` profile [unoptimized + debuginfo] target(s) in 1.50s
    Running `target/debug/guessing_game`
Hello, world!
```

Команда `run` пригодится, когда необходимо ускоренно выполнить итерацию проекта. Именно так мы собираемся делать в этом проекте, быстро тестируя каждую итерацию, прежде чем перейти к следующей.

Снова откройте файл `src/main.rs`. Весь код вы будете писать в нем.

Обработка догадки

Первая часть программы запрашивает ввод данных пользователем, обрабатывает их и проверяет, что они в ожидаемой форме. Начнём с того, что позволим игроку ввести догадку. Вставьте код из листинга 2-1 в `src/main.rs`.

Файл: `src/main.rs`

```
use std::io;

fn main() {
    println!("Guess the number!");

    println!("Please input your guess.");

    let mut guess = String::new();

    io::stdin()
        .read_line(&mut guess)
        .expect("Failed to read line");

    println!("You guessed: {}", guess);
}
```

Листинг 2-1: код, который получает догадку от пользователя и выводит её на экран

Этот код содержит много информации, поэтому давайте рассмотрим его построчно. Чтобы получить пользовательский ввод и затем вывести результат, нам нужно включить в область видимости библиотеку ввода/вывода `io`. Библиотека `io` является частью стандартной библиотеки, известной как `std`:

```
use std::io;
```

По умолчанию в Rust есть набор элементов, определённых в стандартной библиотеке, которые он добавляет в область видимости каждой программы. Этот набор называется

прелюдией, и вы можете изучить его содержание в документации стандартной библиотеки.

Если тип, который требуется использовать, отсутствует в прелюдии, его нужно явно ввести в область видимости с помощью оператора `use`. Использование библиотеки `std::io` предоставляет ряд полезных функциональных возможностей, включая способность принимать пользовательский ввод.

Как уже отмечалось в главе 1, функция `main` является точкой входа в программу:

```
fn main() {
```

Ключевое слово `fn` объявляет новую функцию, круглые скобки `()` показывают, что у функции нет входных параметров, фигурная скобка `{` - обозначение начала тела функции.

Также в главе 1 упоминалось, что `println!` — это макрос, который выводит строку на экран:

```
println!("Guess the number!");  
println!("Please input your guess.");
```

Этот код показывает информацию о ходе игры и запрашивает пользовательский ввод.

Хранение значений с помощью переменных

Далее мы создаём *переменную* для хранения пользовательского ввода, как показано ниже:

```
let mut guess = String::new();
```

Вот теперь программа становится интереснее! В этой маленькой строке на самом деле происходит очень многое. Для создания переменной мы используем оператор `let`. Вот ещё один пример:

```
let apples = 5;
```

Эта строка создаёт новую переменную с именем `apples` и привязывает её к значению 5. В Rust переменные неизменяемы по умолчанию, то есть как только мы присвоим переменной значение, оно не изменится. Мы подробно обсудим эту концепцию в разделе "Переменные и изменчивость" в главе 3. Чтобы сделать переменную изменяемой, мы добавляем `mut` перед её именем:

```
let apples = 5; // неизменяемая  
let mut bananas = 5; // изменяемая
```

Примечание: сочетание знаков `//` начинает комментарий, который продолжается до конца строки. Rust игнорирует всё, что находится в комментариях. Мы обсудим комментарии более подробно в [Главе 3](#).

Возвращаясь к программе игры "Угадайка" — теперь вы знаете, что `let mut guess` предоставит изменяемую переменную с именем `guess`. Знак равенства (`=`) сообщает Rust, что сейчас нужно связать что-то с этой переменной. Справа от знака равенства находится значение, связанное с `guess`, которое является результатом вызова функции `String::new`, возвращающей новый экземпляр `String`. `String` — это тип строки, предоставляемый стандартной библиотекой, который является расширяемым фрагментом текста в кодировке UTF-8.

Синтаксис `::` в строке `::new` указывает, что `new` является ассоциированной функцией типа `String`. Ассоциированная функция — это функция, реализованная для типа, в данном случае `String`. Функция `new` создаёт новую пустую строку. Функцию `new` можно встретить во многих типах, это типичное название для функции, которая создаёт новое значение какого-либо типа.

В конечном итоге строка `let mut guess = String::new();` создала изменяемую переменную, которая связывается с новым пустым экземпляром `String`. Фух!

Получение пользовательского ввода

Напомним: мы подключили функциональность ввода/вывода из стандартной библиотеки с помощью `use std::io;` в первой строке программы. Теперь мы вызовем функцию `stdin` из модуля `io`, которая позволит нам обрабатывать пользовательский ввод:

```
io::stdin()
    .read_line(&mut guess)
```

Если бы мы не импортировали библиотеку `io` с помощью `use std::io` в начале программы, мы все равно могли бы использовать эту функцию, записав её вызов как `std::io::stdin`. Функция `stdin` возвращает экземпляр `std::io::Stdin`, который является типом, представляющим дескриптор стандартного ввода для вашего терминала.

Далее строка `.read_line(&mut guess)` вызывает метод `read_line` на дескрипторе стандартного ввода для получения ввода от пользователя. Мы также передаём `&mut guess` в качестве аргумента `read_line`, сообщая ему, в какой строке хранить пользовательский ввод. Главная задача `read_line` — принять все, что пользователь вводит в стандартный ввод, и сложить это в строку (не переписывая её содержимое), поэтому мы передаём эту строку в качестве аргумента. Строковый аргумент должен быть изменяемым, чтобы метод мог изменить содержимое строки.

Символ `&` указывает, что этот аргумент является *ссылкой*, которая предоставляет возможность нескольким частям вашего кода получить доступ к одному фрагменту данных без необходимости копировать эти данные в память несколько раз. Ссылки — это сложная функциональная возможность, а одним из главных преимуществ Rust является безопасность и простота использования ссылок. Чтобы дописать эту программу, вам не понадобится знать много таких подробностей. Пока вам достаточно знать, что ссылки, как и переменные, по умолчанию неизменяемы. Соответственно, чтобы сделать её изменяемой, нужно написать `&mut guess`, а не `&guess`. (В главе 4 ссылки будут описаны более подробно).

Обработка потенциального сбоя с помощью типа `Result`

Мы всё ещё работаем над этой строкой кода. Сейчас мы обсуждаем третью строку, но обратите внимание, что она по-прежнему является частью одной логической строки. Следующая часть — метод:

```
.expect("Failed to read line");
```

Мы могли бы написать этот код так:

```
io::stdin().read_line(&mut guess).expect("Failed to read line");
```

Однако одну длинную строку трудно читать, поэтому лучше разделить её. При вызове метода с помощью синтаксиса `.method_name()` часто целесообразно вводить новую строку и другие пробельные символы, чтобы разбить длинные строки. Теперь давайте обсудим, что делает эта строка.

Как упоминалось ранее, `read_line` помещает всё, что вводит пользователь, в строку, которую мы ему передаём, но также возвращает значение `Result`. `Result` — это *перечисление*, часто называемое *enum*, то есть тип, который может находиться в одном из нескольких возможных состояний. Мы называем каждое такое состояние *вариантом*.

В [Главе 6](#) рассмотрим перечисления более подробно. Задачей типов `Result` является кодирование информации для обработки ошибок.

Вариантами `Result` являются `Ok` и `Err`. Вариант `Ok` указывает, что операция завершилась успешно, а внутри `Ok` находится успешно сгенерированное значение. Вариант `Err` означает, что операция не удалась, а `Err` содержит информацию о причинах неудачи.

Значения типа `Result`, как и значения любого типа, имеют определённые для них методы. У экземпляра `Result` есть метод `expect`, который можно вызвать. Если этот экземпляр `Result` является значением `Err`, `expect` вызовет сбой программы и отобразит сообщение, которое вы передали в качестве аргумента. Если метод `read_line` возвращает `Err`, то это, скорее всего, результат ошибки базовой операционной системы. Если экземпляр `Result` является значением `Ok`, `expect` возьмёт возвращаемое значение, которое удерживает `Ok`, и вернёт вам только это значение, чтобы вы могли его использовать далее. В данном случае это значение представляет собой количество байтов, введённых пользователем.

Если не вызвать `expect`, программа скомпилируется, но будет получено предупреждение:

```
$ cargo build
Compiling guessing_game v0.1.0 (file:///projects/guessing_game)
warning: unused `Result` that must be used
--> src/main.rs:10:5
  |
10 |     io::stdin().read_line(&mut guess);
  |     ^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^
  |
  = note: this `Result` may be an `Err` variant, which should be handled
  = note: `#[warn(unused_must_use)]` on by default
help: use `let _ = ...` to ignore the resulting value
  |
10 |     let _ = io::stdin().read_line(&mut guess);
  |     ++++++
warning: `guessing_game` (bin "guessing_game") generated 1 warning
Finished `dev` profile [unoptimized + debuginfo] target(s) in 0.59s
```

Rust предупреждает о неиспользованном значении `Result`, возвращаемого из `read_line`, показывая, что программа не учла возможность возникновения ошибки.

Правильный способ убрать предупреждение — это написать обработку ошибок, но в нашем случае мы просто хотим аварийно завершить программу при возникновении проблемы, поэтому используем `expect`. О способах восстановления после ошибок вы узнаете в [главе 9](#).

Вывод значений с помощью заполнителей `println!`

Кроме закрывающей фигурной скобки, в коде на данный момент есть ещё только одно место для обсуждения:

```
    println!("You guessed: {}", guess);
```

Этот код выводит строку, которая теперь содержит ввод пользователя. Набор фигурных скобок `{}` является заполнителем: думайте о `{}` как о маленьких клешнях краба, которыедерживают значение на месте. При печати значения переменной имя переменной может заключаться в фигурные скобки. При печати результата вычисления выражения поместите пустые фигурные скобки в строку формата, затем после строки формата укажите список выражений, разделённых запятыми, которые будут напечатаны в каждом заполнителе пустой фигурной скобки в том же порядке. Печать переменной и результата выражения одним вызовом `println!` будет выглядеть так:

```
let x = 5;
let y = 10;

println!("x = {} and y + 2 = {}", x, y + 2);
```

Этот код выведет `x = 5 and y + 2 = 12`.

Тестирование первой части

Давайте протестируем первую часть игры. Запустите её используя `cargo run`:

```
$ cargo run
Compiling guessing_game v0.1.0 (file:///projects/guessing_game)
Finished dev [unoptimized + debuginfo] target(s) in 6.44s
    Running `target/debug/guessing_game`
Guess the number!
Please input your guess.
6
You guessed: 6
```

На данном этапе первая часть игры завершена: мы получаем ввод с клавиатуры и затем печатаем его.

Генерация секретного числа

Далее нам нужно сгенерировать секретное число, которое пользователь попытается угадать. Секретное число должно быть каждый раз разным, чтобы в игру можно было играть несколько раз. Мы будем использовать случайное число в диапазоне от 1 до 100, чтобы игра не была слишком сложной. Rust пока не включает функциональность случайных чисел в свою стандартную библиотеку. Однако команда Rust предоставляет [крейт `rand`] с подобной функциональностью.

Использование крейта для получения дополнительного функционала

Помните, что пакет (crate) - это коллекция файлов исходного кода Rust. Проект, создаваемый нами, представляет собой *бинарный пакет* (*binary crate*), который является исполняемым файлом. Пакет `rand` - это *библиотечный пакет* (*library crate*), содержащий код, который предназначен для использования в других программах и поэтому не может исполняться сам по себе.

Координация работы внешних пакетов является тем местом, где Cargo на самом деле блистает. Чтобы начать писать код, использующий `rand`, необходимо изменить файл `Cargo.toml`, включив в него в качестве зависимости пакет `rand`. Итак, откройте этот файл и добавьте следующую строку внизу под заголовком секции `[dependencies]`, созданным для вас Cargo. Обязательно укажите `rand` в точности так же, как здесь, с таким же номером версии, иначе примеры кода из этого урока могут не заработать.

Имя файла: `Cargo.toml`

```
[dependencies]
rand = "0.8.5"
```

В файле `Cargo.toml` всё, что следует за заголовком, является частью этой секции, которая продолжается до тех пор, пока не начнётся следующая. В `[dependencies]` вы сообщаете Cargo, от каких внешних крейтов зависит ваш проект и какие версии этих крейтов вам нужны. В этом случае мы указываем крейт `rand` со спецификатором семантической версии `0.8.5`. Cargo понимает [семантическое версионирование](#) (иногда называемое *SemVer*), которое является стандартом для описания версий. Число `0.8.5` на самом деле является сокращением от `^0.8.5`, что означает любую версию не ниже `0.8.5`, но ниже `0.9.0`.

Cargo рассчитывает, что эти версии имеют общедоступное API, совместимое с версией `0.8.5`, и вы получите последние версии исправлений, которые по-прежнему будут компилироваться с кодом из этой главы. Не гарантируется, что версия `0.9.0` или выше будет иметь тот же API, что и в следующих примерах.

Теперь, не меняя ничего в коде, давайте соберём проект, как показано в листинге 2-2.

```
$ cargo build
  Updating crates.io index
Downloaded rand v0.8.5
Downloaded libc v0.2.127
Downloaded getrandom v0.2.7
Downloaded cfg-if v1.0.0
Downloaded ppv-lite86 v0.2.16
Downloaded rand_chacha v0.3.1
Downloaded rand_core v0.6.3
  Compiling libc v0.2.127
  Compiling getrandom v0.2.7
  Compiling cfg-if v1.0.0
  Compiling ppv-lite86 v0.2.16
  Compiling rand_core v0.6.3
  Compiling rand_chacha v0.3.1
  Compiling rand v0.8.5
  Compiling guessing_game v0.1.0 (file:///projects/guessing_game)
    Finished dev [unoptimized + debuginfo] target(s) in 2.53s
```

Листинг 2-2: результат выполнения `cargo build` после добавления крейта `rand` в качестве зависимости

Вы можете увидеть другие номера версий (но все они будут совместимы с кодом благодаря SemVer), другие строки (в зависимости от операционной системы), а также строки могут быть расположены в другом порядке.

Когда мы включаем внешнюю зависимость, Cargo берет последние версии всего, что нужно этой зависимости, из *реестра* (*registry*), который является копией данных с [Crates.io](#). Crates.io — это место, где участники экосистемы Rust размещают свои проекты с открытым исходным кодом для использования другими.

После обновления реестра Cargo проверяет раздел `[dependencies]` и загружает все указанные в списке пакеты, которые ещё не были загружены. В нашем случае, хотя мы указали только `rand` в качестве зависимости, Cargo также захватил другие пакеты, от которых зависит работа `rand`. После загрузки пакетов Rust компилирует их, а затем компилирует проект с имеющимися зависимостями.

Если сразу же запустить `cargo build` снова, не внося никаких изменений, то кроме строки `Finished` вы не получите никакого вывода. Cargo знает, что он уже загрузил и скомпилировал зависимости, и вы не вносили никаких изменений в файл `Cargo.toml`. Cargo также знает, что вы ничего не изменили в своём коде, поэтому он не перекомпилирует и его. Если делать нечего, он просто завершает работу.

Если вы откроете файл `src/main.rs`, внесёте тривиальное изменение, а затем сохраните его и снова соберёте, вы увидите только две строки вывода:

```
$ cargo build
Compiling guessing_game v0.1.0 (file:///projects/guessing_game)
Finished dev [unoptimized + debuginfo] target(s) in 2.53 secs
```

Эти строки показывают, что Cargo обновляет сборку только с вашим крошечным изменением в файле `src/main.rs`. Ваши зависимости не изменились, поэтому Cargo знает, что может повторно использовать то, что уже скачано и скомпилировано для них.

Обеспечение воспроизводимых сборок с помощью файла `Cargo.lock`

В Cargo есть механизм, обеспечивающий возможность пересобрать всё тот же артефакт каждый раз, когда вы или кто-либо другой собирает ваш код. Пока вы не укажете обратное, Cargo будет использовать только те версии зависимостей, которые были заданы ранее. Например, допустим, что на следующей неделе выходит версия 0.8.6 пакета `rand`, и она содержит важное исправление ошибки, но также регрессию, которая может сломать ваш код. Чтобы справиться с этим, Rust создаёт файл `Cargo.lock` при первом запуске `cargo build`, поэтому теперь он есть в каталоге `guessing_game`.

Когда вы создаёте проект в первый раз, Cargo определяет все версии зависимостей, которые соответствуют критериям, а затем записывает их в файл `Cargo.lock`. Когда вы будете собирать свой проект в будущем, Cargo увидит, что файл `Cargo.lock` существует, и будет использовать указанные там версии, а не выполнять всю работу по выяснению версий заново. Это позволяет автоматически создавать воспроизводимую сборку. Другими словами, ваш проект останется на `0.8.5` до тех пор, пока вы явно не обновите его благодаря файлу `Cargo.lock`. Поскольку файл `Cargo.lock` важен для воспроизводимых сборок, он часто хранится в системе управления версиями вместе с остальным кодом проекта.

Обновление пакета для получения новой версии

Если вы захотите обновить пакет, Cargo предоставляет команду `update`, которая игнорирует файл `Cargo.lock` и определяет последние версии, соответствующие вашим спецификациям из файла `Cargo.toml`. После этого Cargo запишет эти версии в файл `Cargo.lock`. Иначе по умолчанию Cargo будет искать только версии больше 0.8.5, но при этом меньше 0.9.0. Если пакет `rand` имеет две новые версии — 0.8.6 и 0.9.0 — то при запуске `cargo update` вы увидите следующее:

```
$ cargo update
  Updating crates.io index
  Updating rand v0.8.5 -> v0.8.6
```

Cargo игнорирует релиз 0.9.0. В этот момент также появится изменение в файле *Cargo.lock*, указывающее на то, что версия `rand`, которая теперь используется, равна 0.8.6. Чтобы использовать `rand` версии 0.9.0 или любой другой версии из серии 0.9.x, необходимо обновить файл *Cargo.toml* следующим образом:

```
[dependencies]
rand = "0.9.0"
```

В следующий раз, при запуске `cargo build`, Cargo обновит реестр доступных пакетов и пересмотрит ваши требования к `rand` в соответствии с новой версией, которую вы указали.

Можно много рассказать про [Cargo и его экосистему](#) которые мы обсудим в главе 14, сейчас это все что вам нужно знать. Cargo позволяет очень легко повторно использовать библиотеки, поэтому Rust разработчики имеют возможность писать меньшие проекты, которые скомпонованы из многих пакетов.

Генерация случайного числа

Давайте начнём использовать `rand`, чтобы сгенерировать число для угадывания. Следующим шагом будет обновление *src/main.rs*, как показано в листинге 2-3.

Файл: *src/main.rs*

```
use std::io;
use rand::Rng;

fn main() {
    println!("Guess the number!");

    let secret_number = rand::thread_rng().gen_range(1..=100);

    println!("The secret number is: {secret_number}");

    println!("Please input your guess.");

    let mut guess = String::new();

    io::stdin()
        .read_line(&mut guess)
        .expect("Failed to read line");

    println!("You guessed: {guess}");
}
```

Листинг 2-3: Добавление кода который генерирует случайное число

Сначала мы добавляем строку `use rand::Rng`. Типаж `Rng` определяет методы, реализующие генераторы случайных чисел, и этот типаж должен быть в области видимости, чтобы эти методы можно было использовать. В главе 10 мы рассмотрим типажи подробно.

Затем мы добавляем две строки посередине. В первой строке мы вызываем функцию `rand::thread_rng`, дающую нам генератор случайных чисел, который мы собираемся использовать: тот самый, который является локальным для текущего потока выполнения и запускается операционной системой. Затем мы вызываем его метод `gen_range`. Этот метод определяется `Rng`, который мы включили в область видимости с помощью оператора `use rand::Rng`. Метод `gen_range` принимает в качестве аргумента выражение диапазона и генерирует случайное число в этом диапазоне. Тип используемого выражения диапазона принимает форму `start..=end` и включает нижнюю и верхнюю границы, поэтому, чтобы запросить число от 1 до 100, нам нужно указать `1..=100`.

Примечание: непросто сразу разобраться, какие типажи использовать, какие методы и функции вызывать из пакета, поэтому каждый пакет имеет документацию с инструкциями по его использованию. Ещё одной замечательной особенностью Cargo является выполнение команды `cargo doc --open`, которая локально собирает документацию, предоставляемую всеми вашими зависимостями, и открывает её в браузере. К примеру, если интересна другая функциональность из пакета `rand`, запустите `cargo doc --open` и нажмите `rand` в боковой панели слева.

Во второй новой строке мы увидим загаданное число. Во время разработки программы полезно иметь возможность её протестировать, но в финальной версии мы это удалим. Конечно, ведь это совсем не похоже на игру, если программа печатает ответ сразу после запуска!

Попробуйте запустить программу несколько раз:

```
$ cargo run
Compiling guessing_game v0.1.0 (file:///projects/guessing_game)
  Finished dev [unoptimized + debuginfo] target(s) in 2.53s
    Running `target/debug/guessing_game`
Guess the number!
The secret number is: 7
Please input your guess.
4
You guessed: 4

$ cargo run
  Finished dev [unoptimized + debuginfo] target(s) in 0.02s
    Running `target/debug/guessing_game`
Guess the number!
The secret number is: 83
Please input your guess.
5
You guessed: 5
```

Вы должны получить разные случайные числа, и все они должны быть числами в диапазоне от 1 до 100. Отличная работа!

Сравнение догадки с секретным числом

Теперь, когда у нас есть пользовательский ввод и случайное число, мы можем сравнить их. Этот шаг показан в листинге 2-4. Учтите, что этот код ещё не скомпилируется, подробнее мы объясним дальше.

Имя файла: src/main.rs

```
use rand::Rng;
use std::cmp::Ordering;
use std::io;

fn main() {
    // --snip--

    println!("You guessed: {guess}");

    match guess.cmp(&secret_number) {
        Ordering::Less => println!("Too small!"),
        Ordering::Greater => println!("Too big!"),
        Ordering::Equal => println!("You win!"),
    }
}
```



Листинг 2-4: Обработка возможных возвращаемых значений при сравнении двух чисел

Сначала добавим ещё один оператор `use`, который вводит тип с именем `std::cmp::Ordering` в область видимости из стандартной библиотеки. Тип `Ordering` является ещё одним перечислением и имеет варианты `Less`, `Greater` и `Equal`. Это три возможных исхода при сравнении двух величин.

После чего ниже добавляем пять новых строк, использующих тип `Ordering`. Метод `cmp` сравнивает два значения и может вызываться для всего, что можно сравнить. Он принимает ссылку на все, что требуется сравнить: здесь сравнивается `guess` с `secret_number`. В результате возвращается вариант перечисления `Ordering`, которое мы ввели в область видимости с помощью оператора `use`. Для принятия решения о том, что делать дальше, мы используем выражение `match`, определяющее, какой вариант `Ordering` был возвращён из вызова `cmp` со значениями `guess` и `secret_number`.

Выражение `match` состоит из *веток (arms)*. Ветка состоит из шаблона для сопоставления и кода, который будет запущен, если значение, переданное в `match`, соответствует шаблону этой ветки. Rust принимает значение, заданное `match`, и по очереди просматривает шаблон каждой ветки. Шаблоны и конструкция `match` — это мощные возможности Rust, позволяющие выразить множество ситуаций, с которыми может столкнуться ваш код, и гарантировать их обработку. Эти возможности будут подробно раскрыты в главе 6 и главе 18 соответственно.

Давайте рассмотрим пример с выражением `match`, которое мы здесь используем. Скажем, пользователь угадал 50, а случайно сгенерированное секретное число на этот раз — 38.

Когда код сравнивает 50 с 38, метод `cmp` вернёт `Ordering::Greater`, поскольку 50 больше, чем 38. Выражение `match` получит значение `Ordering::Greater` и начнёт проверять шаблон в каждой ветке. Он просмотрит шаблон первой ветки, `Ordering::Less`, и увидит, что значение `Ordering::Greater` не соответствует `Ordering::Less`, поэтому проигнорирует код этой ветки и перейдёт к следующей. Шаблон следующей ветки — `Ordering::Greater`, который *соответствует* `Ordering::Greater`! Код этой ветки будет выполнен и напечатает `Too big!` на экран. Выражение `match` заканчивается после первого успешного совпадения, поэтому в этом сценарии оно не будет рассматривать последнюю ветку.

Однако код в листинге 2-4 всё ещё не скомпилируется. Давайте попробуем:

```
$ cargo build
Compiling libc v0.2.86
Compiling getrandom v0.2.2
Compiling cfg-if v1.0.0
Compiling ppv-lite86 v0.2.10
Compiling rand_core v0.6.2
Compiling rand_chacha v0.3.0
Compiling rand v0.8.5
Compiling guessing_game v0.1.0 (file:///projects/guessing_game)
error[E0308]: mismatched types
--> src/main.rs:22:21
22 |     match guess.cmp(&secret_number) {
|         --- ^^^^^^^^^^ expected `&String`, found `&{integer}`
|         |
|             arguments to this method are incorrect
|
= note: expected reference `&String`
          found reference `&{integer}`
note: method defined here
--> /rustc/129f3b9964af4d4a709d1383930ade12dfe7c081/library/core/src/cmp.rs:840:8

For more information about this error, try `rustc --explain E0308`.
error: could not compile `guessing_game` (bin "guessing_game") due to 1 previous error
```

Суть ошибки заключается в наличии *несовпадающих типов*. У Rust строгая статическая система типов. Однако в нем также есть механизм вывода типов. Когда мы написали `let mut guess = String::new()`, Rust смог сделать вывод, что `guess` должна быть `String` и не заставил указывать тип. С другой стороны, `secret_number` — это числовой тип. Несколько типов чисел в Rust могут иметь значение от 1 до 100: `i32`, 32-битное число; `u32`, беззнаковое 32-битное число; `i64`, 64-битное число, и так далее. Если не указано иное, Rust по умолчанию использует `i32`, который будет типом `secret_number`, если вы не добавите информацию о типе где-то ещё, чтобы заставить Rust вывести другой числовой тип. Причина ошибки заключается в том, что Rust не может сравнить строку и числовой тип.

В конечном итоге необходимо преобразовать `String`, считываемую программой в качестве входных данных, в реальный числовой тип, чтобы иметь возможность числового сравнения с загаданным числом. Для этого добавьте в тело функции `main` следующую строку:

```
// --snip--

let mut guess = String::new();

io::stdin()
    .read_line(&mut guess)
    .expect("Failed to read line");

let guess: u32 = guess.trim().parse().expect("Please type a number!");

println!("You guessed: {}", guess);

match guess.cmp(&secret_number) {
    Ordering::Less => println!("Too small!"),
    Ordering::Greater => println!("Too big!"),
    Ordering::Equal => println!("You win!"),
}
}
```

Вот эта строка:

```
let guess: u32 = guess.trim().parse().expect("Please type a number!");
```

Мы создаём переменную с именем `guess`. Но подождите, разве в программе уже нет переменной с этим именем `guess`? Так и есть, но Rust позволяет нам затенять предыдущее значение `guess` новым. *Затенение* позволяет нам повторно использовать имя переменной `guess`, чтобы избежать создания двух уникальных переменных, таких как `guess_str` и `guess`, например. Мы рассмотрим это более подробно в главе 3, а пока знайте, что эта функция часто используется, когда необходимо преобразовать значение из одного типа в другой.

Мы связываем эту новую переменную с выражением `guess.trim().parse()`. Переменная `guess` в этом выражении относится к исходной переменной `guess`, которая содержала входные данные в виде строки. Метод `trim` на экземпляре `String` удалит любые пробельные символы в начале и конце строки для того, чтобы мы могли сопоставить строку с `u32`, который содержит только числовые данные. Пользователь должен нажать enter, чтобы выполнить `read_line` и ввести свою догадку, при этом в строку добавится символ новой строки. Например, если пользователь набирает 5 и нажимает enter, `guess` будет выглядеть так: `5\n`. Символ `\n` означает "новая строка". (В Windows нажатие enter сопровождается возвратом каретки и новой строкой, `\r\n`). Метод `trim` убирает `\n` или `\r\n`, оставляя только `5`.

Метод `parse` строк преобразует строку в другой тип. Здесь мы используем его для преобразования строки в число. Нам нужно сообщить Rust точный числовой тип, который мы хотим получить, используя `let guess: u32`. Двоеточие (`:`) после `guess` говорит Rust, что мы аннотируем тип переменной. В Rust есть несколько встроенных числовых типов; `u32`, показанный здесь, представляет собой 32-битное целое число без знака. Это хороший выбор по умолчанию для небольшого положительного числа. Вы узнаете о других типах чисел в главе 3.

Кроме того, аннотация `u32` в этом примере программы и сравнение с `secret_number` означает, что Rust сделает вывод, что `secret_number` должен быть `u32`. Итак, теперь сравнение будет между двумя значениями одного типа!

Метод `parse` будет работать только с символами, которые логически могут быть преобразованы в числа, и поэтому легко может вызвать ошибки. Если, например, строка содержит `A👍 %`, преобразовать её в число невозможно. Так как метод `parse` может потерпеть неудачу, он возвращает тип `Result` — так же как и метод `read_line` (обсуждалось ранее в разделе «Обработка потенциальной ошибки с помощью типа `Result`»). Мы будем точно так же обрабатывать данный `Result`, вновь используя метод `expect`. Если `parse` вернёт вариант `Result Err`, так как не смог создать число из строки, вызов `expect` аварийно завершит игру и отобразит переданное ему сообщение. Если `parse` сможет успешно преобразовать строку в число, он вернёт вариант `Result Ok`, а `expect` вернёт число, полученное из значения `Ok`.

Давайте запустим программу теперь:

```
$ cargo run
Compiling guessing_game v0.1.0 (file:///projects/guessing_game)
Finished dev [unoptimized + debuginfo] target(s) in 0.43s
    Running `target/debug/guessing_game`
Guess the number!
The secret number is: 58
Please input your guess.
76
You guessed: 76
Too big!
```

Хорошо! Несмотря на то, что были добавлены пробелы в строке ввода, программа всё равно поняла, что пользователь имел в виду число 76. Запустите программу несколько раз, чтобы проверить разное поведение при различных типах ввода: задайте число правильно, задайте слишком большое число и задайте слишком маленькое число.

Сейчас у нас работает большая часть игры, но пользователь может сделать только одну догадку. Давайте изменим это, добавив цикл!

Возможность нескольких догадок с помощью циклов

Ключевое слово `loop` создаёт бесконечный цикл. Мы добавляем цикл, чтобы дать пользователям больше шансов угадать число:

Имя файла: `src/main.rs`

```
// --snip--  
  
    println!("The secret number is: {secret_number}");  
  
    loop {  
        println!("Please input your guess.");  
  
        // --snip--  
  
        match guess.cmp(&secret_number) {  
            Ordering::Less => println!("Too small!"),  
            Ordering::Greater => println!("Too big!"),  
            Ordering::Equal => println!("You win!"),  
        }  
    }  
}
```

Как видите, мы переместили всё, начиная с подсказки ввода догадки, в цикл. Не забудьте добавить ещё по четыре пробела на отступы строк внутри цикла и запустите программу снова. Теперь программа будет бесконечно запрашивать ещё одну догадку, что фактически создаёт новую проблему. Похоже, пользователь не сможет выйти из игры!

Пользователь может прервать выполнение программы с помощью сочетания клавиш `ctrl+c`. Но есть и другой способ спастишься от этого ненасытного монстра, о котором говорилось при обсуждении `parse` в «[Сравнение догадки с секретным числом](#)»: если пользователь введёт нечисловой ответ, программа завершится аварийно. Мы можем воспользоваться этим, чтобы позволить пользователю выйти из игры, как показано здесь:

```
$ cargo run  
Compiling guessing_game v0.1.0 (file:///projects/guessing_game)  
  Finished dev [unoptimized + debuginfo] target(s) in 1.50s  
    Running `target/debug/guessing_game`  
Guess the number!  
The secret number is: 59  
Please input your guess.  
45  
You guessed: 45  
Too small!  
Please input your guess.  
60  
You guessed: 60  
Too big!  
Please input your guess.  
59  
You guessed: 59  
You win!  
Please input your guess.  
quit  
thread 'main' panicked at 'Please type a number!: ParseIntError { kind: InvalidDigit }', src/main.rs:28:47  
note: run with `RUST_BACKTRACE=1` environment variable to display a backtrace
```

Ввод `quit` приведёт к выходу из игры, но, как вы заметите, так же будет и при любом другом нечисловом вводе. Однако это, мягко говоря, не оптимально. Мы хотим, чтобы игра автоматически остановилась, когда будет угадано правильное число.

Выход после правильной догадки

Давайте запрограммируем игру на выход при выигрыше пользователя, добавив оператор `break`:

Файл: src/main.rs

```
// --snip--  
  
match guess.cmp(&secret_number) {  
    Ordering::Less => println!("Too small!"),  
    Ordering::Greater => println!("Too big!"),  
    Ordering::Equal => {  
        println!("You win!");  
        break;  
    }  
}  
}  
}
```

Добавление строки `break` после `You win!` заставляет программу выйти из цикла, когда пользователь правильно угадает секретное число. Выход из цикла также означает выход из программы, так как цикл является последней частью `main`.

Обработка недопустимого ввода

Чтобы улучшить поведение игры, вместо аварийного завершения программы, когда пользователь вводит не число, давайте заставим игру игнорировать этот факт, позволяя пользователю продолжить угадывание. Для этого необходимо изменить строку, в которой `guess` преобразуется из `String` в `u32`, как показано в листинге 2-5.

Файл: src/main.rs

```
// --snip--  
  
io::stdin()  
.read_line(&mut guess)  
.expect("Failed to read line");  
  
let guess: u32 = match guess.trim().parse() {  
    Ok(num) => num,  
    Err(_) => continue,  
};  
  
println!("You guessed: {guess}");  
  
// --snip--
```

Листинг 2-5. Игнорирование нечисловой догадки и запрос другой догадки вместо завершения программы

Мы заменяем вызов `expect` на выражение `match`, чтобы перейти от аварийного завершения при ошибке к обработке ошибки. Помните, что `parse` возвращает тип `Result`, а `Result` — это

перечисление, которое имеет варианты `Ok` и `Err`. Здесь мы используем выражение `match`, как и в случае с результатом `Ordering` метода `cmp`.

Если `parse` успешно преобразует строку в число, он вернёт значение `Ok`, содержащее полученное число. Это значение `Ok` будет соответствовать шаблону первой ветки, а выражение `match` просто вернёт значение `num`, которое `parse` произвёл и поместил внутрь значения `Ok`. Это число окажется в нужной нам переменной `guess`, которую мы создали.

Если метод `parse` не способен превратить строку в число, он вернёт значение `Err`, которое содержит более подробную информацию об ошибке. Значение `Err` не совпадает с шаблоном `Ok(num)` в первой ветке `match`, но совпадает с шаблоном `Err(_)` второй ветки.

Подчёркивание `_` является всеохватывающим выражением. В этой ветке мы говорим, что хотим обработать совпадение всех значений `Err`, независимо от того, какая информация находится внутри. Поэтому программа выполнит код второй ветки, `continue`, который сообщает программе перейти к следующей итерации `loop` и запросить ещё одну догадку. В этом случае программа эффективно игнорирует все ошибки, с которыми `parse` может столкнуться!

Всё в программе теперь должно работать как положено. Давайте попробуем:

```
$ cargo run
Compiling guessing_game v0.1.0 (file:///projects/guessing_game)
  Finished dev [unoptimized + debuginfo] target(s) in 4.45s
    Running `target/debug/guessing_game`
Guess the number!
The secret number is: 61
Please input your guess.
10
You guessed: 10
Too small!
Please input your guess.
99
You guessed: 99
Too big!
Please input your guess.
foo
Please input your guess.
61
You guessed: 61
You win!
```

Потрясающе! С помощью одной маленькой последней правки мы закончим игру в угадывание. Напомним, что программа все ещё печатает секретное число. Это хорошо подходило для тестирования, но это портит игру. Давайте удалим `println!`, который выводит секретное число. В Листинге 2-6 показан окончательный вариант кода.

Файл: `src/main.rs`

```
use rand::Rng;
use std::cmp::Ordering;
use std::io;

fn main() {
    println!("Guess the number!");

    let secret_number = rand::thread_rng().gen_range(1..=100);

    loop {
        println!("Please input your guess.");

        let mut guess = String::new();

        io::stdin()
            .read_line(&mut guess)
            .expect("Failed to read line");

        let guess: u32 = match guess.trim().parse() {
            Ok(num) => num,
            Err(_) => continue,
        };

        println!("You guessed: {}", guess);

        match guess.cmp(&secret_number) {
            Ordering::Less => println!("Too small!"),
            Ordering::Greater => println!("Too big!"),
            Ordering::Equal => {
                println!("You win!");
                break;
            }
        }
    }
}
```

Листинг 2-6: полный код игры

На данный момент вы успешно создали игру в загадки. Поздравляем!

Заключение

Этот проект — практический способ познакомить вас со многими новыми концепциями Rust: `let`, `match`, функции, использование внешних крейтов и многое другое. В следующих нескольких главах вы изучите эти концепции более подробно. Глава 3 охватывает понятия, которые есть в большинстве языков программирования, такие как переменные, типы данных и функции, и показывает, как использовать их в Rust. В главе 4 рассматривается владение — особенность, которая отличает Rust от других языков. В главе 5 обсуждаются структуры и синтаксис методов, а в главе 6 объясняется, как работают перечисления.

Общие концепции программирования

В этой главе рассматриваются концепции, присутствующие почти в каждом языке программирования, и то, как они работают в Rust. В основе большинства языков программирования есть много общего. Все концепции, представленные в этой главе, не являются уникальными для Rust, но мы обсудим их в контексте Rust и разъясним правила использования этих концепций.

В частности вы изучите переменные, основные типы, функции, комментарии и поток управления. Эти фундаментальные понятия будут присутствовать в каждой программе на Rust, и их изучение на ранней стадии даст вам прочную основу для начала работы.

Ключевые слова

В языке Rust как и в других языках есть набор *ключевых слов*, зарезервированных только для использования в языке. Помните, что нельзя использовать эти слова в качестве имён переменных или функций. Большинство этих ключевых слов имеют специальные назначения, и вы будете использовать их для выполнения различных задач в своих программах на Rust. Некоторые из них сейчас не имеют функционального назначения, но зарезервированы для функциональности, которая может быть добавлена в Rust в будущем. Список ключевых слов вы можете найти в [Приложении А](#).

Переменные и изменяемость

Как упоминалось в разделе "Хранение значений с помощью переменных", по умолчанию переменные неизменяемы. Это один из многих стимулов Rust, позволяющий писать код с использованием преимущества безопасности и удобной конкурентности (concurrency), предоставляемых Rust. Тем не менее, существует возможность сделать переменные изменяемыми. Давайте рассмотрим, как и почему Rust побуждает предпочесть неизменяемость и почему иногда можно отказаться от этого.

Если переменная является неизменяемой, то после привязки значения к имени изменить его будет нельзя. Чтобы показать это, создайте новый проект под названием *variables* в каталоге *projects* с помощью команды `cargo new variables`.

Далее, в новом каталоге *variables* откройте *src/main.rs* и замените в нем код на ниже приведённый, который пока не будет компилироваться:

Имя файла: *src/main.rs*

```
fn main() {  
    let x = 5;  
    println!("The value of x is: {}", x);  
    x = 6;  
    println!("The value of x is: {}", x);  
}
```



Сохраните и запустите программу, используя `cargo run`. Будет получено сообщение об ошибке относительно неизменяемости, как показано в этом выводе:

```
error[E0384]: cannot assign twice to immutable variable `x` --> src/main.rs:4:5 | 2  
|     let x = 5;      |           - first assignment to `x` 3 |     println!("The value of x  
is: {}", x); 4 |     x = 6;      |           ^^^^^^ cannot assign twice to immutable variable
```

В этом примере показано, как компилятор помогает находить ошибки в ваших программах. Ошибки компилятора могут расстраивать, но в действительности они означают, что программа пока не делает правильно то, что вы ожидаете; это *не значит*, что вы плохой программист! Даже опытные Rustaceans иногда сталкиваются с ошибками компилятора.

Вы получили сообщение об ошибке `cannot assign twice to immutable variable x`, потому что попытались присвоить новое значение неизменяемой переменной `x`.

Важно, чтобы при попытке изменить значение, объявленное неизменяемым, выдавались ошибки времени компиляции, так как подобная ситуация может привести к сбоям. Если одна часть нашего кода функционирует исходя из уверенности в неизменяемости значения, а другая часть изменяет это значение, то велика вероятность, что первая часть не выполнит своего предназначения. Причину такой ошибки бывает трудно отследить, особенно если вторая часть кода изменяет значение лишь *изредка*. Компилятор Rust предоставляет гарантию, что если объявить значение неизменяемым, то оно действительно не изменится, а

значит, не нужно следить за этим самим. Таким образом, ваш код становится проще для понимания.

Однако изменяемость может быть очень полезной и может сделать код более удобным для написания. Хотя переменные по умолчанию неизменяемы, их можно сделать изменяемыми, добавив `mut` перед именем переменной, как это было сделано в [Глава 2. Добавление `mut`](#) также передаёт будущим читателям кода намерение, обозначая, что другие части кода будут изменять значение этой переменной.

Например, изменим `src/main.rs` на следующий код:

Имя файла: `src/main.rs`

```
fn main() {
    let mut x = 5;
    println!("The value of x is: {}", x);
    x = 6;
    println!("The value of x is: {}", x);
}
```

Запустив программу, мы получим результат:

```
$ cargo run
Compiling variables v0.1.0 (file:///projects/variables)
  Finished `dev` profile [unoptimized + debuginfo] target(s) in 0.30s
    Running `target/debug/variables`
The value of x is: 5
The value of x is: 6
```

Нам разрешено изменить значение, связанное с `x`, с 5 на 6 при помощи `mut`. В конечном счёте, решение об использовании изменяемости остаётся за вами и зависит от вашего мнения о наилучшем варианте в данной конкретной ситуации.

Константы

Подобно неизменяемым переменным, **константы** — это значения, которые связаны с именем и не могут изменяться, но между константами и переменными есть несколько различий.

Во-первых, нельзя использовать `mut` с константами. Константы не просто неизменяемы по умолчанию — они неизменяемы всегда. Для объявления констант используется ключевое слово `const` вместо `let`, а также тип значения должен быть указан в аннотации. Мы рассмотрим типы и аннотации типов в следующем разделе [«Типы данных»](#), так что не беспокойтесь о деталях прямо сейчас. Просто знайте, что вы всегда должны аннотировать тип.

Константы можно объявлять в любой области видимости, включая глобальную, благодаря этому они полезны для значений, которые нужны во многих частях кода.

Последнее отличие в том, что константы могут быть заданы только константным выражением, но не результатом вычисленного во время выполнения значения.

Вот пример объявления константы:

```
const THREE_HOURS_IN_SECONDS: u32 = 60 * 60 * 3;
```

Имя константы - `THREE_HOURS_IN_SECONDS`, а её значение устанавливается как результат умножения 60 (количество секунд в минуте) на 60 (количество минут в часе) на 3 (количество часов, которые нужно посчитать в этой программе). Соглашение Rust для именования констант требует использования всех заглавных букв с подчёркиванием между словами. Компилятор может вычислять ограниченный набор операций во время компиляции, позволяющий записать это значение более понятным и простым для проверки способом, чем установка этой константы в значение 10 800. Дополнительную информацию о том, какие операции можно использовать при объявлении констант, см. в разделе [Раздел справки Rust по вычислениям констант](#).

Константы существуют в течение всего времени работы программы в пределах области, в которой они были объявлены. Это свойство делает константы полезными для значений в домене вашего приложения, о которых могут знать несколько частей программы, например, максимальное количество очков, которое может заработать любой игрок в игре, или скорость света.

Обозначение жёстко закодированных значений, используемых в программе, как константы полезно для передачи смысла этого значения будущим сопровождающим кода. Это также позволяет иметь единственное место в коде, которое нужно будет изменить, если в будущем потребуется обновить значение.

Затенение (переменных)

Как было показано в уроке по игре в Угадайка в [главе 2](#), можно объявить новую переменную с тем же именем, как и у существующей переменной. Rustaceans говорят, что первая переменная затеняется второй, то есть вторая переменная - это то, что увидит компилятор, когда вы будете использовать имя переменной. По сути, вторая переменная затеняет первую, принимая любое использование имени переменной на себя до тех пор, пока либо она сама не станет тенью, либо не закончится область видимости. Мы можем затенять переменную, используя то же имя переменной и повторяя использование ключевого слова `let` следующим образом:

Имя файла: `src/main.rs`

```
fn main() {
    let x = 5;

    let x = x + 1;

    {
        let x = x * 2;
        println!("The value of x in the inner scope is: {x}");
    }

    println!("The value of x is: {x}");
}
```

Эта программа сначала привязывает `x` к значению `5`. Затем она создаёт новую переменную `x`, повторяя `let x =`, беря исходное значение и добавляя `1`, чтобы значение `x` стало равным `6`. Затем во внутренней области видимости, созданной с помощью фигурных скобок, третий оператор `let` также затеняет `x` и создаёт новую переменную, умножая предыдущее значение на `2`, чтобы дать `x` значение `12`. Когда эта область заканчивается, внутреннее затенение заканчивается, и `x` возвращается к значению `6`. Запустив эту программу, она выведет следующее:

```
$ cargo run
Compiling variables v0.1.0 (file:///projects/variables)
  Finished `dev` profile [unoptimized + debuginfo] target(s) in 0.31s
    Running `target/debug/variables`
The value of x in the inner scope is: 12
The value of x is: 6
```

Затенение отличается от объявления переменной с помощью `mut`, так как мы получим ошибку компиляции, если случайно попробуем переназначить значение без использования ключевого слова `let`. Используя `let`, можно выполнить несколько превращений над значением, при этом оставляя переменную неизменяемой, после того как все эти превращения завершены.

Другой разницей между `mut` и затенением является то, что мы создаём совершенно новую переменную, когда снова используем слово `let` (ещё одну). Мы можем даже изменить тип значения, но снова использовать прежнее имя. К примеру, наша программа спрашивает пользователя, сколько пробелов он хочет разместить между некоторым текстом, запрашивая символы пробела, но мы на самом деле хотим сохранить данный ввод как число:

```
let spaces = "    ";
let spaces = spaces.len();
```

Первая переменная `spaces` — является строковым типом, а вторая переменная `spaces` — числовым типом. Таким образом, затенение избавляет нас от необходимости придумывать разные имена, такие как `spaces_str` и `spaces_num`. Вместо этого мы можем повторно использовать более простое имя `spaces`. Однако, если мы попытаемся использовать для этого `mut`, как показано далее, то получим ошибку времени компиляции:

```
let mut spaces = "    ";
spaces = spaces.len();
```



Ошибка говорит, что не разрешается менять тип переменной:

```
$ cargo run
Compiling variables v0.1.0 (file:///projects/variables)
error[E0308]: mismatched types
--> src/main.rs:3:14
2 |     let mut spaces = "    ";
|           ----- expected due to this value
3 |     spaces = spaces.len();
|           ^^^^^^^^^^^^^^ expected `&str`, found `usize`  
  
For more information about this error, try `rustc --explain E0308`.
error: could not compile `variables` (bin "variables") due to 1 previous error
```

Теперь, когда мы изучили, как работают переменные, давайте рассмотрим различные типы данных, которые они могут иметь.

Типы Данных

Каждое значение в Rust относится к определённому *типу данных*, который указывает на вид данных, что позволяет Rust знать, как работать с этими данными. Мы рассмотрим два подмножества типов данных: скалярные и составные.

Не забывайте, что Rust является *статически типизированным* (statically typed) языком. Это означает, что он должен знать типы всех переменных во время компиляции. Обычно компилятор может предположить, какой тип используется (вывести его), основываясь на значении и на том, как мы с ним работаем. В случаях, когда может быть выведено несколько типов, необходимо добавлять аннотацию типа вручную. Например, когда мы конвертировали `String` в число с помощью вызова `parse` в разделе «[Сравнение предположения с загаданным номером](#)» главы 2, мы должны добавить такую аннотацию:

```
let guess: u32 = "42".parse().expect("Not a number!");
```

Если мы не добавим аннотацию типа `: u32`, показанную в предыдущем коде, Rust отобразит следующую ошибку, которая означает, что компилятору нужно от нас больше информации, чтобы узнать, какой тип мы хотим использовать:

```
$ cargo build
Compiling no_type_annotations v0.1.0 (file:///projects/no_type_annotations)
error[E0284]: type annotations needed
--> src/main.rs:2:9
|
2 |     let guess = "42".parse().expect("Not a number!");
|     ^^^^^^ ----- type must be known at this point
|
= note: cannot satisfy `<_ as FromStr>::Err == _`
help: consider giving `guess` an explicit type
|
2 |     let guess: /* Type */ = "42".parse().expect("Not a number!");
|     ++++++++
For more information about this error, try `rustc --explain E0284`.
error: could not compile `no_type_annotations` (bin "no_type_annotations") due to 1
previous error
```

В будущем вы увидите различные аннотации для разных типов данных.

Скалярные типы данных

Скалярный тип представляет собой единичное значение. В Rust есть четыре основных скалярных типа: целочисленный, числа с плавающей точкой, логический и символы. Вы наверняка знакомы с этими типами по другим языкам программирования. Давайте разберёмся, как они работают в Rust.

Целочисленные типы

Целочисленный тип (*integer*) — это число без дробной части. В главе 2 мы использовали один целочисленный тип — тип `u32`. Такое объявление типа указывает, что значение, с которым оно связано, должно быть целым числом без знака (типы целых чисел со знаком начинаются с `i` вместо `u`), которое занимает 32 бита памяти. В Таблице 3-1 показаны встроенные целочисленные типы в Rust. Мы можем использовать любой из этих вариантов для объявления типа целочисленного значения.

Таблица 3-1: целочисленные типы в Rust

Длина	Со знаком	Без знака
8 бит	<code>i8</code>	<code>u8</code>
16 бит	<code>i16</code>	<code>u16</code>
32 бита	<code>i32</code>	<code>u32</code>
64 бита	<code>i64</code>	<code>u64</code>
128 бит	<code>i128</code>	<code>u128</code>
архитектурно-зависимая	<code>isize</code>	<code>usize</code>

Каждый вариант может быть как со знаком, так и без знака и имеет явный размер. Такая характеристика типа как **знаковый** и **беззнаковый** определяет возможность числа быть отрицательным. Другими словами, должно ли число иметь знак (знаковое) или оно всегда будет только положительным и, следовательно, может быть представлено без знака (беззнаковое). Это похоже на написание чисел на бумаге: когда знак имеет значение, число отображается со знаком плюс или со знаком минус; однако, когда можно с уверенностью предположить, что число положительное, оно отображается без знака. Числа со знаком хранятся с использованием [дополнительного кода](#).

Каждый вариант со знаком может хранить числа от $-(2^{n-1})$ до $2^{n-1} - 1$ включительно, где n — количество битов, которые использует этот вариант. Таким образом, `i8` может хранить числа от $-(2^7)$ до $2^7 - 1$, что равно значениям от -128 до 127. Варианты без знака могут хранить числа от 0 до $2^n - 1$, поэтому `u8` может хранить числа от 0 до $2^8 - 1$, что равно значениям от 0 до 255.

Кроме того, типы `isize` и `usize` зависят от архитектуры компьютера, на котором выполняется программа, и обозначаются в таблице как "arch": 64 бита, если используется 64-битная архитектура, и 32 бита, если используется 32-битная архитектура.

Вы можете записывать целочисленные литералы в любой из форм, показанных в таблице 3-2. Заметьте, что числовые литералы, имеющие несколько числовых типов, допускают использование суффикса типа, например `57u8`, для обозначения типа. Числовые литералы также могут использовать `_` в качестве визуального разделителя для облегчения чтения числа, например `1_000`, который будет иметь такое же значение, как если бы было задано `1000`.

Таблица 3-2: Целочисленные литералы в Rust

Числовой литерал	Пример
Десятичный	98_222
Шестнадцатеричный	0xff
восьмеричный	0o77
Двоичный	0b1111_0000
Байт (только <code>u8</code>)	b'A'

Как же узнать, какой тип целого числа использовать? Если вы не уверены, значения по умолчанию в Rust, как правило, подходят для начала: целочисленные типы по умолчанию `i32`. Основной случай, в котором вы должны использовать `isize` или `usize`, — это индексация какой-либо коллекции.

Целочисленное переполнение Допустим, имеется переменная типа `u8`, которая может хранить значения от 0 до 255. Если попытаться изменить переменную на значение вне этого диапазона, например, 256, произойдёт *целочисленное переполнение*, что может привести к одному из двух вариантов поведения. Если выполняется компиляция в режиме отладки, Rust включает проверку на целочисленное переполнение, приводящую вашу программу к *панике* во время выполнения, когда возникает такое поведение. Rust использует термин *паника(panicking)*, когда программа завершается с ошибкой. Мы обсудим панику более подробно в разделе "[Неустранимые ошибки с `panic!`](#)" в главе 9. . При компиляции в режиме `release` с флагом `--release`, Rust не включает проверки на целочисленное переполнение, которое вызывает панику. Вместо этого, в случае переполнения, Rust выполняет *обёртывание второго дополнения*. Проще говоря, значения, превышающие максимальное значение, которое может хранить тип, "обращаются" к минимальному из значений, которые может хранить тип. В случае `u8` значение 256 становится 0, значение 257 становится 1, и так далее. Программа не запаникует, но переменная будет иметь значение, которое, вероятно, не будет соответствовать вашим ожиданиям. Полагаться на поведение обёртывания целочисленного переполнения считается ошибкой. Для явной обработки возможности переполнения существует семейство методов, предоставляемых стандартной библиотекой для примитивных числовых типов:

- Обёртывание во всех режимах с помощью методов `wrapping_*`, таких как `wrapping_add`.
 - Возврат значения `None` при переполнении с помощью методов `checked_*`.
 - Возврат значения и логический индикатор, указывающий, произошло ли переполнение при использовании методов `overflowing_*`.
 - Насыщение минимальным или максимальным значением с помощью методов `saturating_*`.
-

Числа с плавающей запятой

Также в Rust есть два примитивных типа для чисел с плавающей запятой, представляющими собой числа с десятичной точкой. Типы с плавающей точкой в Rust - это f32 и f64, размер которых составляет 32 бита и 64 бита соответственно. По умолчанию используется тип f64, поскольку на современных процессорах он работает примерно с той же скоростью, как и f32, но обладает большей точностью. Все типы с плавающей запятой являются знаковыми.

Вот пример, демонстрирующий числа с плавающей запятой в действии:

Файл: src/main.rs

```
fn main() {
    let x = 2.0; // f64

    let y: f32 = 3.0; // f32
}
```

Числа с плавающей запятой представлены в соответствии со стандартом IEEE-754. Тип `f32` является плавающей запятой одинарной точности, а `f64` - двойной точности.

Числовые операции

Rust поддерживает основные математические операции, привычные для всех типов чисел: сложение, вычитание, умножение, деление и остаток. Целочисленное деление обрезает значение в направлении нуля до ближайшего целого числа. Следующий код показывает, как можно использовать каждую числовую операцию в инструкции `let`:

Файл: src/main.rs

```
fn main() {
    // addition
    let sum = 5 + 10;

    // subtraction
    let difference = 95.5 - 4.3;

    // multiplication
    let product = 4 * 30;

    // division
    let quotient = 56.7 / 32.2;
    let truncated = -5 / 3; // Results in -1

    // remainder
    let remainder = 43 % 5;
}
```

Каждое выражение в этих инструкциях использует математический оператор и вычисляется в одно значение, которое связывается с переменной. [Приложении В](#) содержит список всех операторов, которые предоставляет Rust.

Логический тип данных

Как и в большинстве других языков программирования, логический тип в Rust имеет два возможных значения: `true` и `false`. Значения логических типов имеют размер в один байт. Логический тип в Rust задаётся с помощью `bool`. Например:

Файл: src/main.rs

```
fn main() {  
    let t = true;  
  
    let f: bool = false; // with explicit type annotation  
}
```

Основной способ использования логических значений - это использование условий, таких как выражение `if`. Мы рассмотрим, как выражения `if` работают в Rust в разделе "[Поток управления](#)".

Символьный тип данных

Тип `char` в Rust является самым примитивным алфавитным типом языка. Вот несколько примеров объявления значений `char`:

Файл: src/main.rs

```
fn main() {  
    let c = 'z';  
    let z: char = 'ℤ'; // with explicit type annotation  
    let heart_eyed_cat = '😻';  
}
```

Заметьте, мы указываем литералы `char` с одинарными кавычками, в отличие от строковых литералов, для которых используются двойные кавычки. Тип `char` в Rust имеет размер четыре байта и представляет собой скалярное значение Unicode, а значит, может представлять собой не только ASCII. Акцентированные буквы, китайские, японские и корейские символы, эмодзи и пробелы нулевой ширины - все это допустимые значения типа `char` в Rust. Скалярные значения Unicode находятся в диапазоне от `U+0000` до `U+D7FF` и от `U+E000` до `U+10FFFF` включительно. Однако "символ" не является понятием в Unicode, поэтому ваше человеческое представление о том, что такое "символ", может не совпадать с тем, что такое `char` в Rust. Мы подробно обсудим эту тему в главе 8 "Хранение текста в кодировке UTF-8 с помощью строк".

Составные типы данных

Составные типы могут группировать различные значения в один тип. В Rust есть два примитивных составных типа: кортежи и массивы.

Кортежи

Кортеж - это универсальный способ объединения нескольких значений с различными типами в один составной тип. Кортежи имеют фиксированную длину: после объявления они не могут увеличиваться или уменьшаться в размерах.

Мы создаём кортеж, записывая список значений, разделённых запятыми, внутри круглых скобок. Каждая позиция в кортеже имеет тип, причём типы различных значений в кортеже не обязательно должны быть одинаковыми. В этом примере мы добавили необязательные аннотации типов:

Файл: src/main.rs

```
fn main() {  
    let tup: (i32, f64, u8) = (500, 6.4, 1);  
}
```

Переменная `tup` связана со всем кортежем, поскольку кортеж является одним составным элементом. Чтобы получить отдельные значения из кортежа, можно использовать сопоставление с образцом для деструктуризации значения кортежа, например, так:

Файл: src/main.rs

```
fn main() {  
    let tup = (500, 6.4, 1);  
  
    let (x, y, z) = tup;  
  
    println!("The value of y is: {}", y);  
}
```

Эта программа сначала создаёт кортеж и связывает его с переменной `tup`. Затем с помощью шаблона `let` берётся `tup` и превращается в три отдельные переменные, `x`, `y` и `z`. Это называется *деструктуризацией*, поскольку разбивает единый кортеж на три части. Наконец, программа печатает значение `y`, которое равно `6.4`.

Мы также можем получить доступ к элементу кортежа напрямую, используя точку (`.`), за которой следует индекс значения, требуемого для доступа. Например:

Файл: src/main.rs

```
fn main() {  
    let x: (i32, f64, u8) = (500, 6.4, 1);  
  
    let five_hundred = x.0;  
  
    let six_point_four = x.1;  
  
    let one = x.2;  
}
```

Эта программа создаёт кортеж `x`, а затем обращается к каждому элементу кортежа, используя соответствующие индексы. Как и в большинстве языков программирования, первый индекс в кортеже равен 0.

Кортеж, не имеющий значений, имеет специальное имя *единичный тип (unit)*. Это значение и соответствующий ему тип записываются как `()` и представляет собой пустое значение или пустой возвращаемый тип. Выражения неявно возвращают значение единичного типа, если не возвращают никакого другого значения.

Массивы

Другим способом создания коллекции из нескольких значений является массив *array*. В отличие от кортежа, каждый элемент массива должен иметь один и тот же тип. В отличие от массивов в некоторых других языках, массивы в Rust имеют фиксированную длину.

Мы записываем значения в массиве в виде списка, разделённого запятыми, внутри квадратных скобок:

Файл: src/main.rs

```
fn main() {  
    let a = [1, 2, 3, 4, 5];  
}
```

Массивы удобно использовать, если данные необходимо разместить в стеке, а не в куче (мы подробнее обсудим стек и кучу в [Главе 4](#)) или если требуется, чтобы количество элементов всегда было фиксированным. Однако массив не так гибок, как вектор. *Вектор* - это аналогичный тип коллекции, предоставляемый стандартной библиотекой, который может увеличиваться или уменьшаться в размере. Если вы не уверены, что лучше использовать - массив или вектор, то, скорее всего, вам следует использовать вектор. Более подробно векторы рассматриваются в [Главе 8](#).

Однако массивы более полезны, когда вы знаете, что количество элементов не нужно будет изменять. Например, если бы вы использовали названия месяцев в программе, вы, вероятно, использовали бы массив, а не вектор, потому что вы знаете, что он всегда будет содержать 12 элементов:

```
let months = ["January", "February", "March", "April", "May", "June", "July",  
             "August", "September", "October", "November", "December"];
```

Тип массива записывается следующим образом: в квадратных скобках обозначается тип элементов массива, а затем, через точку с запятой, количество элементов. Например:

```
let a: [i32; 5] = [1, 2, 3, 4, 5];
```

Здесь `i32` является типом каждого элемента массива. После точки с запятой указано число `5`, показывающее, что массив содержит 5 элементов.

Вы также можете инициализировать массив, содержащий одно и то же значение для каждого элемента, указав это значение вместо типа. Следом за этим так же следует точка с запятой, а затем — длина массива в квадратных скобках, как показано здесь:

```
let a = [3; 5];
```

Массив в переменной `a` будет включать `5` элементов, значение которых будет равно `3`. Данная запись аналогична коду `let a = [3, 3, 3, 3, 3];`, но является более краткой.

Доступ к элементам массива

Массив — это единый фрагмент памяти известного фиксированного размера, который может быть размещён в стеке. Вы можете получить доступ к элементам массива с помощью индексации, например:

Файл: `src/main.rs`

```
fn main() {
    let a = [1, 2, 3, 4, 5];

    let first = a[0];
    let second = a[1];
}
```

В этом примере переменная с именем `first` получит значение `1`, потому что это значение находится по индексу `[0]` в массиве. Переменная с именем `second` получит значение `2` по индексу `[1]` в массиве.

Некорректный доступ к элементу массива

Давайте посмотрим, что произойдёт, если попытаться получить доступ к элементу массива, находящемуся за его пределами. Допустим, вы запускаете данный код, похожий на игру в угадывание из Главы 2, чтобы получить от пользователя индекс массива:

Файл: `src/main.rs`



```
use std::io;

fn main() {
    let a = [1, 2, 3, 4, 5];

    println!("Please enter an array index.");

    let mut index = String::new();

    io::stdin()
        .read_line(&mut index)
        .expect("Failed to read line");

    let index: usize = index
        .trim()
        .parse()
        .expect("Index entered was not a number");

    let element = a[index];

    println!("The value of the element at index {} is: {}", index, element);
}
```

Этот код успешно компилируется. Если запустить этот код с помощью `cargo run` и ввести `0`, `1`, `2`, `3` или `4`, программа напечатает соответствующее значение по данному индексу в массиве. Если вместо этого ввести число за пределами массива, например, `10`, то программа выведет следующее:

```
thread 'main' panicked at 'index out of bounds: the len is 5 but the index is 10',
src/main.rs:19:19
note: run with `RUST_BACKTRACE=1` environment variable to display a backtrace
```

Программа столкнулась с ошибкой во времени выполнения на этапе применения недопустимого значения в операции индексирования. Программа завершилась с сообщением об ошибке и не выполнила финальную инструкцию `println!`. При попытке доступа к элементу с помощью индексирования Rust проверяет, что указанный индекс меньше длины массива. Если индекс больше или равен длине, Rust паникует. Эта проверка должна происходить во время выполнения, особенно в данном случае, потому что компилятор не может знать, какое значение введёт пользователь при последующем выполнении кода.

Это пример принципов безопасности памяти Rust в действии. Во многих низкоуровневых языках такая проверка не выполняется, и когда вы указываете неправильный индекс, доступ к памяти может быть некорректным. Rust защищает вас от такого рода ошибок, немедленно закрываясь вместо того, чтобы разрешать доступ к памяти и продолжать работу. В главе 9 подробнее обсуждается обработка ошибок в Rust и то, как вы можете написать читаемый, безопасный код, который не вызывает панику и не разрешает некорректный доступ к памяти.

ФУНКЦИИ

Функции широко распространены в коде Rust. Вы уже познакомились с одной из самых важных функций в языке: функцией `main`, которая является точкой входа большинства программ. Вы также видели ключевое слово `fn`, позволяющее объявлять новые функции.

Код Rust использует *змеиный регистр (snake case)* как основной стиль для имён функций и переменных, в котором все буквы строчные, а символ подчёркивания разделяет слова. Вот программа, содержащая пример определения функции:

Имя файла: `src/main.rs`

```
fn main() {
    println!("Hello, world!");

    another_function();
}

fn another_function() {
    println!("Another function.");
}
```

Для определения функции в Rust необходимо указать `fn`, за которым следует имя функции и набор круглых скобок. Фигурные скобки указывают компилятору, где начинается и заканчивается тело функции.

Мы можем вызвать любую функцию, которую мы определили ранее, введя её имя и набор скобок следом. Поскольку в программе определена `another_function`, её можно вызвать из функции `main`. Обратите внимание, что `another_function` определена *после* функции `main` в исходном коде; мы могли бы определить её и раньше. Rust не важно, где вы определяете свои функции, главное, чтобы они были определены где-то в той области видимости, которую может видеть вызывающий их код.

Создадим новый бинарный проект с названием *functions* для дальнейшего изучения функций. Поместите пример `another_function` в файл `src/main.rs` и запустите его. Вы должны увидеть следующий вывод:

```
$ cargo run
Compiling functions v0.1.0 (file:///projects/functions)
  Finished `dev` profile [unoptimized + debuginfo] target(s) in 0.28s
    Running `target/debug/functions`
Hello, world!
Another function.
```

Строки выполняются в том порядке, в котором они расположены в функции `main`. Сначала печатается сообщение "Hello, world!", а затем вызывается `another_function`, которая также печатает сообщение.

Параметры функции

Мы можем определить функции, имеющие *параметры*, которые представляют собой специальные переменные, являющиеся частью сигнатуры функции. Когда у функции есть параметры, необходимо предоставить ей конкретные значения этих параметров. Технически конкретные значения называются *аргументы*, но в повседневном общении люди обычно используют слова *параметр* и *аргумент* как взаимозаменяемые либо для переменных в определении функции, либо для конкретных значений, передаваемых при вызове функции.

В этой версии `another_function` мы добавляем параметр:

Имя файла: `src/main.rs`

```
fn main() {
    another_function(5);
}

fn another_function(x: i32) {
    println!("The value of x is: {}", x);
}
```

Попробуйте запустить эту программу. Должны получить следующий результат:

```
$ cargo run
Compiling functions v0.1.0 (file:///projects/functions)
Finished `dev` profile [unoptimized + debuginfo] target(s) in 1.21s
    Running `target/debug/functions`
The value of x is: 5
```

Объявление `another_function` содержит один параметр с именем `x`. Тип `x` задан как `i32`.

Когда мы передаём `5` в `another_function`, макрос `println!` помещает `5` на место пары фигурных скобок, содержащих `x` в строке формата.

В сигнатурах функций вы *обязаны* указывать тип каждого параметра. Это намеренное решение в дизайне Rust: требование аннотаций типов в определениях функций позволяет компилятору в дальнейшем избежать необходимости использовать их в других местах кода, чтобы определить, какой тип вы имеете в виду. Компилятор также может выдавать более полезные сообщения об ошибках, если он знает, какие типы ожидает функция.

При определении нескольких параметров, разделяйте объявления параметров запятыми, как показано ниже:

Имя файла: `src/main.rs`

```
fn main() {
    print_labeled_measurement(5, 'h');
}

fn print_labeled_measurement(value: i32, unit_label: char) {
    println!("The measurement is: {}{}", value, unit_label);
}
```

Этот пример создаёт функцию под именем `print_labeled_measurement` с двумя параметрами. Первый параметр называется `value` с типом `i32`. Второй называется `unit_label` и имеет тип `char`. Затем функция печатает текст, содержащий `value` и `unit_label`.

Попробуем запустить этот код. Замените текущую программу проекта `functions` в файле `src/main.rs` на предыдущий пример и запустите его с помощью `cargo run`:

```
$ cargo run
Compiling functions v0.1.0 (file:///projects/functions)
  Finished `dev` profile [unoptimized + debuginfo] target(s) in 0.31s
    Running `target/debug/functions`
The measurement is: 5h
```

Поскольку мы вызвали функцию с `5` в качестве значения для `value` и `'h'` в качестве значения для `unit_label`, вывод программы содержит эти значения.

Инструкции и выражения

Тела функций состоят из ряда инструкций, необязательно заканчивающихся выражением. До сих пор функции, которые мы рассматривали, не включали завершающее выражение, но вы видели выражение как часть инструкции. Поскольку Rust является языком, основанным на выражениях, это важное различие необходимо понимать. В других языках таких различий нет, поэтому давайте рассмотрим, что такое инструкции и выражения, и как их различия влияют на тела функций.

- **Инструкции** выполняют какое-либо действие и не возвращают значения.
- **Выражения** вычисляются до результирующего значения. Давайте рассмотрим несколько примеров.

На самом деле мы уже использовали инструкции и выражения. Создание переменной и присвоение ей значения с помощью ключевого слова `let` является оператором. В Листинге 3-1, `let y = 6;` — это инструкция.

Имя файла: `src/main.rs`

```
fn main() {
    let y = 6;
}
```

Листинг 3-1: Объявление функции `main`, содержащей одну инструкцию

Определения функций также являются инструкцией. Весь предыдущий пример сам по себе является инструкцией.

Инструкции не возвращают значения. Следовательно вы не можете присвоить `let` инструкцию другой переменной, как это пытается сделать следующий код. Вы получите ошибку:

Имя файла: `src/main.rs`

```
fn main() {  
    let x = (let y = 6);  
}
```

Если вы запустите эту программу, то ошибка будет выглядеть так:

```
$ cargo run  
Compiling functions v0.1.0 (file:///projects/functions)  
error: expected expression, found `let` statement  
--> src/main.rs:2:14  
2 |     let x = (let y = 6);  
   |           ^^^  
|  
|= note: only supported directly in conditions of `if` and `while` expressions  
  
warning: unnecessary parentheses around assigned value  
--> src/main.rs:2:13  
2 |     let x = (let y = 6);  
   |           ^           ^  
|  
|= note: `#[warn(unused_parens)]` on by default  
help: remove these parentheses  
|  
2 -     let x = (let y = 6);  
2 +     let x = let y = 6;  
|  
  
warning: `functions` (bin "functions") generated 1 warning  
error: could not compile `functions` (bin "functions") due to 1 previous error; 1  
warning emitted
```

Инструкция `let y = 6` не возвращает значение, поэтому не с чем связать переменную `x`. Это отличается от поведения в других языках, таких как C и Ruby, где присваивание возвращает присвоенное значение. В таких языках можно писать код `x = y = 6` и обе переменные `x` и `y` будут иметь значение `6`. Но в Rust не так.

Выражения вычисляют значение и составляют большую часть остального кода, который вы напишете на Rust. Рассмотрим математическую операцию, к примеру `5 + 6`, которая является выражением, вычисляющим значение `11`. Выражения могут быть частью инструкций: в листинге 3-1 `6` в инструкции `let y = 6;` является выражением, которое вычисляется в значение `6`. Вызов функции — это выражение. Вызов макроса — это выражение. Новый блок области видимости, созданный с помощью фигурных скобок, представляет собой выражение, например:

Имя файла: `src/main.rs`

```
fn main() {
    let y = {
        let x = 3;
        x + 1
    };

    println!("The value of y is: {y}");
}
```

Это выражение:

```
{
    let x = 3;
    x + 1
}
```

это блок, который в данном случае вычисляется в значение **4**. Это значение связывается с **y** как часть инструкции **let**. Обратите внимание, что строка **x + 1** не имеет точки с запятой в конце, что отличается от большинства строк, которые вы видели до сих пор. Выражения не содержат завершающих точек с запятой. Если вы добавите точку с запятой в конец выражения, вы превратите его в инструкцию, и тогда она не будет возвращать значение. Помните об этом, когда будете изучать возвращаемые значения функций и выражения.

Функции с возвращаемыми значениями

Функции могут возвращать значения коду, который их вызывает. Мы не называем возвращаемые значения, но мы должны объявить их тип после стрелки (**->**). В Rust возвращаемое значение функции является синонимом значения конечного выражения в блоке тела функции. Вы можете раньше выйти из функции и вернуть значение, используя ключевое слово **return** и указав значение, но большинство функций неявно возвращают последнее выражение. Вот пример такой функции:

Имя файла: src/main.rs

```
fn five() -> i32 {
    5
}

fn main() {
    let x = five();

    println!("The value of x is: {x}");
}
```

В коде функции **five** нет вызовов функций, макросов или даже инструкций **let** — есть только одно число **5**. Это является абсолютно корректной функцией в Rust. Заметьте, что возвращаемый тип у данной функции определён как **-> i32**. Попробуйте запустить этот код. Вывод будет таким:

```
$ cargo run
Compiling functions v0.1.0 (file:///projects/functions)
  Finished `dev` profile [unoptimized + debuginfo] target(s) in 0.30s
    Running `target/debug/functions`
The value of x is: 5
```

Значение `5` в `five` является возвращаемым функцией значением, поэтому возвращаемый тип - `i32`. Рассмотрим пример более детально. Здесь есть два важных момента: во-первых, строка `let x = five();` показывает использование возвращаемого функцией значения для инициализации переменной. Так как функция `five` возвращает `5`, то эта строка эквивалентна следующей:

```
let x = 5;
```

Во-вторых, у функции `five` нет параметров и определён тип возвращаемого значения, но тело функции представляет собой одинокую `5` без точки с запятой, потому что это выражение, значение которого мы хотим вернуть.

Рассмотрим другой пример:

Имя файла: src/main.rs

```
fn main() {
    let x = plus_one(5);

    println!("The value of x is: {}", x);
}

fn plus_one(x: i32) -> i32 {
    x + 1
}
```

Запуск кода напечатает `The value of x is: 6`. Но если поставить точку с запятой в конце строки, содержащей `x + 1`, превратив её из выражения в инструкцию, мы получим ошибку:

Имя файла: src/main.rs

```
fn main() {
    let x = plus_one(5);

    println!("The value of x is: {}", x);
}

fn plus_one(x: i32) -> i32 {
    x + 1;
}
```



Компиляция данного кода вызывает следующую ошибку:

```
$ cargo run
Compiling functions v0.1.0 (file:///projects/functions)
error[E0308]: mismatched types
--> src/main.rs:7:24
|
7 | fn plus_one(x: i32) -> i32 {
|     -----      ^^^ expected `i32`, found `()`  
|  
|     implicitly returns `()` as its body has no tail or `return` expression
8 |     x + 1;
|         - help: remove this semicolon to return this value
```

For more information about this error, try `rustc --explain E0308`.
error: could not compile `functions` (bin "functions") due to 1 previous error

Основное сообщение об ошибке, [несовпадение типов](#), раскрывает ключевую проблему этого кода. Определение функции `plus_one` сообщает, что будет возвращено `i32`, но инструкции не вычисляются в значение, что и выражается единичным типом `()`. Следовательно, ничего не возвращается, что противоречит определению функции и приводит к ошибке. В этом выводе Rust выдаёт сообщение, которое, возможно, поможет исправить эту проблему: он предлагает удалить точку с запятой для устранения ошибки.

Комментарии

Все программисты стремятся сделать свой код простым для понимания, но иногда требуется дополнительное объяснение. В таких случаях программисты оставляют в исходном коде **комментарии**, которые компилятор игнорирует, но люди, читающие исходный код, вероятно, сочтут их полезными.

Пример простого комментария:

```
// Hello, world.
```

В Rust принят идиоматический стиль комментариев, который начинает комментарий с двух косых черт, и комментарий продолжается до конца строки. Для комментариев, выходящих за пределы одной строки, необходимо включить `//` в каждую строку, как показано ниже:

```
// Итак, мы делаем что-то сложное, настолько длинное, что нам нужно  
// несколько строк комментариев, чтобы сделать это! Ух! Надеюсь, этот комментарий  
// объясняет, что происходит.
```

Комментарии также можно размещать в конце строк, содержащих код:

Имя файла: src/main.rs

```
fn main() {  
    let lucky_number = 7; // I'm feeling lucky today  
}
```

Но чаще всего они используются в таком формате: комментарий располагается на отдельной строке над кодом, который он аннотирует:

Имя файла: src/main.rs

```
fn main() {  
    // I'm feeling lucky today  
    let lucky_number = 7;  
}
```

В Rust есть ещё один вид комментариев - документационные комментарии, которые мы обсудим в разделе "[Публикация пакета на Crates.io](#)" главы 14.

Управляющие конструкции

Возможности запуска некоторого кода в зависимости от некоторого условия, и циклического выполнения некоторого кода, являются базовыми элементами в большинстве языков программирования. Наиболее распространёнными конструкциями, позволяющими управлять потоком выполнения кода Rust, являются выражения `if` и циклы.

Выражения `if`

Выражение `if` позволяет выполнять части кода в зависимости от условий. Вы задаёте условие, а затем указываете: "Если это условие выполняется, выполните этот блок кода. Если условие не выполняется, не выполняйте этот блок кода".

Для изучения выражения `if` создайте новый проект под названием *branches* в каталоге *projects*. В файл *src/main.rs* поместите следующий код:

Имя файла: *src/main.rs*

```
fn main() {
    let number = 3;

    if number < 5 {
        println!("condition was true");
    } else {
        println!("condition was false");
    }
}
```

Условие начинается с ключевого слова `if`, за которым следует условное выражение. В данном случае условное выражение проверяет, имеет ли переменная `number` значение меньше 5. Сразу после условного выражения внутри фигурных скобок мы помещаем блок кода, который будет выполняться, если результат равен `true`. Блоки кода, связанные с условными выражениями, иногда называют *ветками*, как и ветки в выражениях `match`, которые мы обсуждали в разделе "[Сравнение догадки с секретным числом](#)" главы 2.

Это необязательно, но мы также можем использовать ключевое слово `else`, которое мы используем в данном примере, чтобы предоставить программе альтернативный блок выполнения кода, выполняющийся если результат вычисления будет ложным. Если не указать выражение `else` и условие будет ложным, программа просто пропустит блок `if` и перейдёт к следующему фрагменту кода.

Попробуйте запустить этот код. Появится следующий результат:

```
$ cargo run
Compiling branches v0.1.0 (file:///projects/branches)
  Finished `dev` profile [unoptimized + debuginfo] target(s) in 0.31s
    Running `target/debug/branches`
condition was true
```

Попробуйте изменить значение `number` на значение, которое делает условие `false` и посмотрите, что произойдёт:

```
let number = 7;
```

Запустите программу снова и посмотрите на вывод:

```
$ cargo run
Compiling branches v0.1.0 (file:///projects/branches)
  Finished `dev` profile [unoptimized + debuginfo] target(s) in 0.31s
    Running `target/debug/branches`
condition was false
```

Также стоит отметить, что условие в этом коде *должно* быть логического типа `bool`. Если условие не является `bool`, возникнет ошибка. Например, попробуйте запустить следующий код:

Имя файла: `src/main.rs`

```
fn main() {
    let number = 3;

    if number {
        println!("number was three");
    }
}
```



На этот раз условие `if` вычисляется в значение `3`, и Rust бросает ошибку:

```
$ cargo run
Compiling branches v0.1.0 (file:///projects/branches)
error[E0308]: mismatched types
--> src/main.rs:4:8
  |
4 |     if number {
  |         ^^^^^^ expected `bool`, found integer
  |
  |         println!("number was three");

For more information about this error, try `rustc --explain E0308`.
error: could not compile `branches` (bin "branches") due to 1 previous error
```

Ошибка говорит, что Rust ожидал тип `bool`, но получил значение целочисленного типа. В отличии от других языков вроде Ruby и JavaScript, Rust не будет пытаться автоматически конвертировать *нелогические* типы в логические. Необходимо явно и всегда использовать `if` с логическим типом в качестве условия. Если нужно, чтобы блок кода `if` запускался только, когда число не равно `0`, то, например, мы можем изменить выражение `if` на следующее:

Имя файла: `src/main.rs`

```
fn main() {
    let number = 3;

    if number != 0 {
        println!("number was something other than zero");
    }
}
```

Будет напечатана следующая строка `number was something other than zero`.

Обработка нескольких условий с помощью `else if`

Можно использовать несколько условий, комбинируя `if` и `else` в выражении `else if`. Например:

Имя файла: `src/main.rs`

```
fn main() {
    let number = 6;

    if number % 4 == 0 {
        println!("number is divisible by 4");
    } else if number % 3 == 0 {
        println!("number is divisible by 3");
    } else if number % 2 == 0 {
        println!("number is divisible by 2");
    } else {
        println!("number is not divisible by 4, 3, or 2");
    }
}
```

У этой программы есть четыре возможных пути выполнения. После её запуска вы должны увидеть следующий результат:

```
$ cargo run
Compiling branches v0.1.0 (file:///projects/branches)
  Finished `dev` profile [unoptimized + debuginfo] target(s) in 0.31s
    Running `target/debug/branches`
number is divisible by 3
```

Во время выполнения этой программы по очереди проверяется каждое выражение `if` и выполняется первый блок, для которого условие `true`. Заметьте, что хотя 6 делится на 2, мы не видим ни вывода `number is divisible by 2`, ни текста `number is not divisible by 4, 3, or 2` из блока `else`. Так происходит потому, что Rust выполняет блок только для первого истинного условия, а обнаружив его, даже не проверяет остальные.

Использование множества выражений `else if` приводит к загромождению кода, поэтому при наличии более чем одного выражения, возможно, стоит провести рефакторинг кода. В главе 6 описана мощная конструкция ветвления Rust для таких случаев, называемая `match`.

Использование `if` в инструкции `let`

Поскольку `if` является выражением, его можно использовать в правой части инструкции `let` для присвоения результата переменной, как в листинге 3-2.

Имя файла: src/main.rs

```
fn main() {  
    let condition = true;  
    let number = if condition { 5 } else { 6 };  
  
    println!("The value of number is: {}", number);  
}
```

Листинг 3-2: Присвоение результата выражения `if` переменной

Переменная `number` будет привязана к значению, которое является результатом выражения `if`. Запустим код и посмотрим, что происходит:

```
$ cargo run  
Compiling branches v0.1.0 (file:///projects/branches)  
  Finished `dev` profile [unoptimized + debuginfo] target(s) in 0.30s  
    Running `target/debug/branches`  
The value of number is: 5
```

Вспомните, что блоки кода вычисляются последним выражением в них, а числа сами по себе также являются выражениями. В данном случае, значение всего выражения `if` зависит от того, какой блок выполняется. При этом значения, которые могут быть результатами каждого из ветвей `if`, должны быть одного типа. В Листинге 3-2, результатами обеих ветвей `if` и `else` являются целочисленный тип `i32`. Если типы не совпадают, как в следующем примере, мы получим ошибку:

Имя файла: src/main.rs

```
fn main() {  
    let condition = true;  
  
    let number = if condition { 5 } else { "six" };  
  
    println!("The value of number is: {}", number);  
}
```



При попытке компиляции этого кода, мы получим ошибку. Ветви `if` и `else` представляют несовместимые типы значений, и Rust точно указывает, где искать проблему в программе:

```
$ cargo run
Compiling branches v0.1.0 (file:///projects/branches)
error[E0308]: `if` and `else` have incompatible types
--> src/main.rs:4:44
 |
4 |     let number = if condition { 5 } else { "six" };
|           -          ^^^^^^ expected integer, found `&str`
|           |
|           expected because of this

For more information about this error, try `rustc --explain E0308`.
error: could not compile `branches` (bin "branches") due to 1 previous error
```

Выражение в блоке `if` вычисляется как целочисленное, а выражение в блоке `else` вычисляется как строка. Это не сработает, потому что переменные должны иметь один тип, а Rust должен знать во время компиляции, какого типа переменная `number`. Зная тип `number`, компилятор может убедиться, что тип действителен везде, где мы используем `number`. Rust не смог бы этого сделать, если бы тип `number` определялся только во время выполнения. Компилятор усложнился бы и давал бы меньше гарантий в отношении кода, если бы ему приходилось отслеживать несколько гипотетических типов для любой переменной.

Повторное выполнение кода с помощью циклов

Часто бывает полезно выполнить блок кода более одного раза. Для этой задачи Rust предоставляет несколько конструкций цикла, которые позволяют выполнить блок кода до конца, а затем сразу же вернуться в начало. Для экспериментов с циклами давайте создадим новый проект под названием *loops*.

В Rust есть три вида циклов: `loop`, `while` и `for`. Давайте попробуем каждый из них.

Повторение выполнения кода с помощью `loop`

Ключевое слово `loop` говорит Rust выполнять блок кода снова и снова до бесконечности или пока не будет явно приказано остановиться.

В качестве примера, измените код файла `src/main.rs` в каталоге проекта *loops* на код ниже:

Имя файла: `src/main.rs`

```
fn main() {
    loop {
        println!("again!");
    }
}
```

Когда запустим эту программу, увидим, как `again!` печатается снова и снова, пока не остановить программу вручную. Большинство терминалов поддерживают комбинацию клавиш `ctrl-c` для прерывания программы, которая застряла в непрерывном цикле. Попробуйте:

```
$ cargo run
Compiling loops v0.1.0 (file:///projects/loops)
  Finished dev [unoptimized + debuginfo] target(s) in 0.29s
    Running `target/debug/loops`
again!
again!
again!
again!
^Cagain!
```

Символ `^C` обозначает место, где было нажато `ctrl-c`. В зависимости от того, где находился код в цикле в момент получения сигнала прерывания, вы можете увидеть или не увидеть слово `again!`, напечатанное после `^C`.

К счастью, Rust также предоставляет способ выйти из цикла с помощью кода. Ключевое слово `break` нужно поместить в цикл, чтобы указать программе, когда следует прекратить выполнение цикла. Напоминаем, мы делали так в игре "Угадайка" в разделе "[Выход после правильной догадки](#)" Главы 2, чтобы выйти из программы, когда пользователь выиграл игру, угадав правильное число.

Мы также использовали `continue` в игре "Угадайка", которое указывает программе в цикле пропустить весь оставшийся код в данной итерации цикла и перейти к следующей итерации.

Возвращение значений из циклов

Одно из применений `loop` - это повторение операции, которая может закончиться неудачей, например, проверка успешности выполнения потоком своего задания. Также может понадобиться передать из цикла результат этой операции в остальную часть кода. Для этого можно добавить возвращаемое значение после выражения `break`, которое используется для остановки цикла. Это значение будет возвращено из цикла, и его можно будет использовать, как показано здесь:

```
fn main() {
    let mut counter = 0;

    let result = loop {
        counter += 1;

        if counter == 10 {
            break counter * 2;
        }
    };

    println!("The result is {}", result);
}
```

Перед циклом мы объявляем переменную с именем `counter` и инициализируем её значением `0`. Затем мы объявляем переменную с именем `result` для хранения значения, возвращаемого из цикла. На каждой итерации цикла мы добавляем `1` к переменной `counter`, а затем проверяем, равняется ли `10` переменная `counter`. Когда это происходит, мы используем ключевое слово `break` со значением `counter * 2`. После цикла мы ставим точку с

запятой для завершения инструкции, присваивающей значение `result`. Наконец, мы выводим значение в `result`, равное в данном случае 20.

Метки циклов для устранения неоднозначности между несколькими циклами

Если у вас есть циклы внутри циклов, `break` и `continue` применяются к самому внутреннему циклу в этой цепочке. При желании вы можете создать *метку цикла*, которую вы затем сможете использовать с `break` или `continue` для указания, что эти ключевые слова применяются к помеченному циклу, а не к самому внутреннему циклу. Метки цикла должны начинаться с одинарной кавычки. Вот пример с двумя вложенными циклами:

```
fn main() {
    let mut count = 0;
    'counting_up: loop {
        println!("count = {count}");
        let mut remaining = 10;

        loop {
            println!("remaining = {remaining}");
            if remaining == 9 {
                break;
            }
            if count == 2 {
                break 'counting_up;
            }
            remaining -= 1;
        }

        count += 1;
    }
    println!("End count = {count}");
}
```

Внешний цикл имеет метку `'counting_up'`, и он будет считать от 0 до 2. Внутренний цикл без метки ведёт обратный отсчёт от 10 до 9. Первый `break`, который не содержит метку, выйдет только из внутреннего цикла. Инструкция `break 'counting_up;` завершит внешний цикл. Этот код напечатает:

```
$ cargo run
Compiling loops v0.1.0 (file:///projects/loops)
Finished `dev` profile [unoptimized + debuginfo] target(s) in 0.58s
Running `target/debug/loops`
count = 0
remaining = 10
remaining = 9
count = 1
remaining = 10
remaining = 9
count = 2
remaining = 10
End count = 2
```

Циклы с условием `while`

В программе часто требуется проверить состояние условия в цикле. Пока условие истинно, цикл выполняется. Когда условие перестаёт быть истинным, программа вызывает `break`, останавливая цикл. Такое поведение можно реализовать с помощью комбинации `loop`, `if`, `else` и `break`. При желании попробуйте сделать это в программе. Это настолько распространённый паттерн, что в Rust реализована встроенная языковая конструкция для него, называемая цикл `while`. В листинге 3-3 мы используем `while`, чтобы выполнить три цикла программы, производя каждый раз обратный отсчёт, а затем, после завершения цикла, печатаем сообщение и выводим.

Имя файла: `src/main.rs`

```
fn main() {
    let mut number = 3;

    while number != 0 {
        println!("{}!", number);

        number -= 1;
    }

    println!("LIFTOFF!!!");
}
```

Листинг 3-3: Использование цикла `while` для выполнения кода, пока условие истинно

Эта конструкция устраняет множество вложений, которые потребовались бы при использовании `loop`, `if`, `else` и `break`, и она более понятна. Пока условие вычисляется в `true`, код выполняется; в противном случае происходит выход из цикла.

Цикл по элементам коллекции с помощью `for`

Для перебора элементов коллекции, например, массива, можно использовать конструкцию `while`. Например, цикл в листинге 3-4 печатает каждый элемент массива `a`.

Имя файла: `src/main.rs`

```
fn main() {
    let a = [10, 20, 30, 40, 50];
    let mut index = 0;

    while index < 5 {
        println!("the value is: {}", a[index]);

        index += 1;
    }
}
```

Листинг 3-4: Перебор каждого элемента коллекции с помощью цикла `while`

Этот код выполняет перебор элементов массива. Он начинается с индекса `0`, а затем циклически выполняется, пока не достигнет последнего индекса в массиве (то есть, когда `index < 5` уже не является истиной). Выполнение этого кода напечатает каждый элемент массива:

```
$ cargo run
Compiling loops v0.1.0 (file:///projects/loops)
  Finished `dev` profile [unoptimized + debuginfo] target(s) in 0.32s
    Running `target/debug/loops`
the value is: 10
the value is: 20
the value is: 30
the value is: 40
the value is: 50
```

Все пять значений массива появляются в терминале, как и ожидалось. Поскольку `index` в какой-то момент достигнет значения `5`, цикл прекратит выполнение перед попыткой извлечь шестое значение из массива.

Однако такой подход чреват ошибками; мы можем вызвать панику в программе, если значение индекса или условие проверки неверны. Например, если изменить определение массива `a` на четыре элемента, но забыть обновить условие на `while index < 4`, код вызовет панику. Также это медленно, поскольку компилятор добавляет код времени выполнения для обеспечения проверки нахождения индекса в границах массива на каждой итерации цикла.

В качестве более краткой альтернативы можно использовать цикл `for` и выполнять некоторый код для каждого элемента коллекции. Цикл `for` может выглядеть как код в листинге 3-5.

Имя файла: `src/main.rs`

```
fn main() {
    let a = [10, 20, 30, 40, 50];

    for element in a {
        println!("the value is: {}", element);
    }
}
```

Листинг 3-5: Перебор каждого элемента коллекции с помощью цикла `for`

При выполнении этого кода мы увидим тот же результат, что и в листинге 3-4. Что важнее, теперь мы повысили безопасность кода и устранили вероятность ошибок, которые могут возникнуть в результате выхода за пределы массива или недостаточно далёкого перехода и пропуска некоторых элементов.

При использовании цикла `for` не нужно помнить о внесении изменений в другой код, в случае изменения количества значений в массиве, как это было бы с методом, использованным в листинге 3-4.

Безопасность и компактность циклов `for` делают их наиболее часто используемой конструкцией цикла в Rust. Даже в ситуациях необходимости выполнения некоторого кода определённое количество раз, как в примере обратного отсчёта, в котором использовался цикл `while` из Листинга 3-3, большинство Rustaceans использовали бы цикл `for`. Для этого можно использовать `Range`, предоставляемый стандартной библиотекой, который генерирует последовательность всех чисел, начиная с первого числа и заканчивая вторым числом, но не включая его (т.е. `(1..4)` эквивалентно `[1, 2, 3]` или в общем случае `(start..end)` эквивалентно `[start, start+1, start+2, ..., end-2, end-1]` - прим.переводчика).

Вот как будет выглядеть обратный отсчёт с использованием цикла `for` и другого метода, о котором мы ещё не говорили, `rev`, для разворота диапазона:

Имя файла: src/main.rs

```
fn main() {
    for number in (1..4).rev() {
        println!("{}!", number);
    }
    println!("LIFTOFF!!!");
}
```

Данный код выглядит лучше, не так ли?

Итоги

Вы справились! Это была объёмная глава: вы узнали о переменных, скалярных и составных типах данных, функциях, комментариях, выражениях `if` и циклах! Для практики работы с концепциями, обсуждаемыми в этой главе, попробуйте создать программы для выполнения следующих действий:

- Конвертация температур между значениями по Фаренгейту к Цельсию.
- Генерирование n-го числа Фибоначчи.
- Распечатайте текст рождественской песни "Двенадцать дней Рождства", воспользовавшись повторами в песне.

Когда вы будете готовы двигаться дальше, мы поговорим о концепции в Rust, которая *не существует* обычно в других языках программирования: владение.

Понимание Владения

Владение - это самая уникальная особенность Rust, которая имеет глубокие последствия для всего языка. Это позволяет Rust обеспечивать безопасность памяти без использования сборщика мусора, поэтому важно понимать, как работает владение. В этой главе мы поговорим о владении, а также о нескольких связанных с ним возможностях: заимствовании, срезах и о том, как Rust раскладывает данные в памяти.

Что такое владение?

Владение — это набор правил, определяющих, как программа на языке Rust управляет памятью. Все программы так или иначе должны управлять тем, как они используют память компьютера во время работы. Некоторые языки имеют сборщик мусора, регулярно отслеживающий неиспользуемую память во время работы программы; в других языках программист должен явно выделять и освобождать память. В Rust используется третий подход: память управляется через систему владения с набором правил, которые проверяются компилятором. При нарушении любого из правил программа не будет скомпилирована. Ни одна из особенностей системы владения не замедлит работу вашей программы.

Поскольку владение является новой концепцией для многих программистов, требуется некоторое время, чтобы привыкнуть к ней. Хорошая новость заключается в том, что чем больше у вас будет опыта с Rust и с правилами системы владения, тем легче вам будет естественным образом разрабатывать безопасный и эффективный код. Держитесь! Не сдавайтесь!

Понимание концепции владения даст вам основу для понимания всех остальных особенностей, делающих Rust уникальным. В этой главе вы изучите владение на примерах, которые сфокусированы на наиболее часто используемой структуре данных: строках.

Стек и куча

Многие языки программирования не требуют, чтобы вы слишком часто думали о стеке и куче. Но в языках системного программирования, одним из которых является Rust, то, какое значение находится в стеке или в куче, влияет на поведение языка и на принятие вами определённых решений. Владение будет описано через призму стека и кучи позже в этой главе, а пока — краткое пояснение.

И стек, и куча — это части памяти, доступные вашему коду для использования во время выполнения. Однако они структурированы по-разному. Стек хранит значения в порядке их получения, а удаляет — в обратном. Это называется «*последним пришёл — первым ушёл*». Подумайте о стопке тарелок: когда вы добавляете тарелки, вы кладёте их сверху стопки — когда вам нужна тарелка, вы берёте одну так же сверху. Добавление или удаление тарелок посередине или снизу не сработает! Добавление данных называется *помещением в стек*, а удаление — *извлечением из стека*. Все данные, хранящиеся в стеке, должны иметь известный фиксированный размер. Данные, размер которых во время компиляции неизвестен или может измениться, должны храниться в куче.

Куча устроена менее организованно: когда вы кладёте данные в кучу, вы запрашиваете определённый объём пространства. Операционная система находит в куче свободный участок памяти достаточного размера, помечает его как используемый и возвращает указатель, являющийся адресом этого участка памяти. Этот процесс называется

выделением памяти в куче и иногда сокращается до *выделения памяти* (помещение значений в стек не считается выделением). Поскольку указатель на участок памяти в куче имеет определённый фиксированный размер, его можно расположить в стеке, однако когда вам понадобятся актуальные данные, вам придётся проследовать по указателю. Представьте, что вы сидите в ресторане. Когда вы входите, вы называете количество человек в вашей группе, и персонал находит свободный стол, которого хватит на всех, и ведёт вас туда. Если кто-то из вашей группы опаздывает, он может спросить, куда вас посадили, чтобы найти вас.

Помещение в стек происходит более быстро, чем выделение памяти в куче, потому что операционная система не должна искать место для размещения информации — это место всегда на верхушке стека. Для сравнения, выделение памяти в куче требует больше работы, потому что операционная система сначала должна найти участок памяти достаточного размера, а затем произвести некоторые действия для подготовки к следующему выделению памяти.

Доступ к данным в куче медленнее, чем доступ к данным в стеке, потому что вам нужно следовать по адресу указателя, чтобы добраться туда. Современные процессоры работают быстрее, если они меньше прыгают по памяти. Продолжая аналогию, рассмотрим официанта в ресторане, принимающего заказы со многих столов. Наиболее эффективно будет получить все заказы за одним столом, прежде чем переходить к следующему столу. Получение заказа со стола А, затем со стола В, затем снова одного с А, а затем снова одного с В было бы гораздо более медленным делом. Точно так же процессор может выполнять свою работу лучше, если он работает с данными, которые находятся близко к другим данным (как в стеке), а не далеко (как это может быть в куче).

Когда ваш код вызывает функцию, значения, переданные в неё (потенциально включающие указатели на данные в куче), и локальные переменные помещаются в стек. Когда функция завершается, эти значения извлекаются из стека.

Отслеживание того, какие части кода используют какие данные, минимизация количества дублирующихся данных и очистка неиспользуемых данных в куче, чтобы не исчерпать пространство, — все эти проблемы решает владение. Как только вы поймёте, что такое владение, вам не нужно будет слишком часто думать о стеке и куче. Однако знание того, что основная цель владения — управление данными кучи, может помочь объяснить, почему оно работает именно так.

Правила владения

Во-первых, давайте взглянем на правила владения. Помните об этих правилах, пока мы работаем с примерами, которые их иллюстрируют:

- У каждого значения в Rust есть владелец,
- У значения может быть только один владелец в один момент времени,
- Когда владелец покидает область видимости, значение удаляется.

Область видимости переменной

Теперь, когда мы прошли базовый синтаксис Rust, мы не будем включать весь код `fn main()` в примеры. Поэтому, если вы будете следовать этому курсу, убедитесь, что следующие примеры помещены в функцию `main` вручную. В результате наши примеры будут более лаконичными, что позволит нам сосредоточиться на реальных деталях, а не на шаблонном коде.

В качестве первого примера владения мы рассмотрим *область видимости* некоторых переменных. Область видимости — это диапазон внутри программы, для которого допустим элемент. Возьмём следующую переменную:

```
let s = "hello";
```

Переменная `s` относится к строковому литералу, где значение строки жёстко прописано в тексте нашей программы. Переменная действительна с момента её объявления до конца текущей *области видимости*. В листинге 4-1 показана программа с комментариями, указывающими, где допустима переменная `s`.

```
{                      // s is not valid here, it's not yet declared
    let s = "hello";   // s is valid from this point forward
                      // do stuff with s
}                      // this scope is now over, and s is no longer valid
```

Листинг 4-1: переменная и область действия, в которой она допустима

Другими словами, здесь есть два важных момента:

- Когда переменная `s` появляется в области видимости, она считается действительной,
- Она остаётся действительной до момента *выхода за границы* этой области.

На этом этапе объяснения взаимосвязь между областями видимости и допустимостью переменных аналогична той, что существует в других языках программирования. Теперь мы будем опираться на это понимание, введя тип `String`.

Тип данных `String`

Для демонстрации правил владения нам требуется более сложный тип данных чем те, что мы обсуждали в части "Типы данных" Главы 3. Типы, рассмотренные ранее, имеют определённый размер, а значит могут быть размещены на стеке и извлечены из него, когда их область видимости закончится, и могут быть быстро и тривиально скопированы для создания новой, независимой копии, если другой части кода нужно использовать то же самое значение в другой области видимости. Но мы хотим посмотреть на данные, хранящиеся в куче, и выяснить, как Rust узнаёт, когда нужно очистить эти данные, поэтому тип `String` — отличный пример.

Мы сконцентрируемся на тех частях `String`, которые связаны с владением. Эти аспекты также применимы к другим сложным типам данных, независимо от того, предоставлены они стандартной библиотекой или созданы вами. Более подробно мы обсудим `String` в [главе 8](#).

Мы уже видели строковые литералы, где строковое значение жёстко прописано в нашей программе. Строковые литералы удобны, но они подходят не для каждой ситуации, где мы можем хотеть использовать текст. Одна из причин заключается в том, что они неизменны. Кроме того, не каждое строковое значение может быть известно во время написания кода: что, если мы захотим принять и сохранить пользовательский ввод? Для таких ситуаций в Rust есть ещё один строковый тип — `String`. Этот тип управляет данными, выделенными в куче, и поэтому может хранить объём текста, который во время компиляции неизвестен. Также вы можете создать `String` из строкового литерала, используя функцию `from`, например:

```
let s = String::from("hello");
```

Оператор "Двойное двоеточие" `::` позволяет использовать пространство имён данной конкретной функции `from` с типом `String`, а не какое-то иное имя, такое как `string_from`. Мы обсудим этот синтаксис более подробно в разделе [«Синтаксис метода»](#), раздел Главы 5, и в ходе обсуждения пространств имён с модулями в [«Пути для обращения к элементу в дереве модулей»](#) в главе 7.

Строка такого типа может быть изменяема:

```
let mut s = String::from("hello");

s.push_str(", world!"); // push_str() appends a literal to a String

println!("{}"); // This will print `hello, world!`
```

В чём же тут разница? Почему строку `String` можно изменить, а литералы — нельзя? Разница заключается в том, как эти два типа работают с памятью.

Память и способы её выделения

В случае строкового литерала мы знаем его содержимое во время компиляции, и оно жёстко прописано в итоговом исполняемом файле. Причина того, что строковые литералы более быстрые и эффективные, в их неизменяемости. К сожалению, нельзя поместить неопределённый кусок памяти в выполняемый файл для текста, размер которого неизвестен при компиляции и может меняться во время выполнения программы.

Чтобы поддерживать изменяемый, увеличивающийся текст типа `String`, необходимо выделять память в куче для всего содержимого, объем которого неизвестен во время компиляции. Это означает, что:

- Память должна запрашиваться у операционной системы во время выполнения программы,

- Необходим способ возврата этой памяти операционной системе, когда мы закончили в программе работу со `String`.

Первая часть выполняется нами: когда мы вызываем `String::from`, его реализация запрашивает необходимую память. Это работает довольно похоже во всех языках программирования.

Однако вторая часть отличается. В языках со *сборщиком мусора (GC)*, память, которая больше не используется, отслеживается и очищается с его помощью — нам не нужно об этом думать. В большинстве языков без сборщика мусора мы обязаны сами определять, когда память больше не используется, и вызывать код для явного её освобождения, точно так же, как мы делали это для её запроса. Правильное выполнение этого процесса исторически было сложной проблемой программирования. Если мы забудем освободить память, она будет потеряна. Если мы сделаем это слишком рано, у нас будет недопустимая переменная. Сделать это дважды — тоже будет ошибкой. Нам нужно соединить ровно один `allocate` ровно с одним `free`.

Rust выбирает другой путь: память автоматически возвращается, как только владеющая памятью переменная выходит из области видимости. Вот версия примера с областью видимости из листинга 4-1, в котором используется тип `String` вместо строкового литерала:

```
{  
    let s = String::from("hello"); // s is valid from this point forward  
    // do stuff with s  
}  
                                // this scope is now over, and s is no  
                                // longer valid
```

Существует естественный момент, когда мы можем вернуть память, необходимую нашему `String`, обратно распределителю — когда `s` выходит за пределы области видимости. Когда переменная выходит за пределы области видимости, Rust вызывает для нас специальную функцию. Эта функция называется `drop`, и именно здесь автор `String` может поместить код для возврата памяти. Rust автоматически вызывает `drop` после закрывающей фигурной скобки.

Примечание: в C++ этот паттерн освобождения ресурсов в конце времени жизни элемента иногда называется «Получение ресурса есть инициализация» (англ. *Resource Acquisition Is Initialization (RAII)*). Функция `drop` в Rust покажется вам знакомой, если вы использовали шаблоны RAII.

Этот шаблон оказывает глубокое влияние на способ написания кода в Rust. Сейчас это может казаться простым, но в более сложных ситуациях поведение кода может быть неожиданным, например когда хочется иметь несколько переменных, использующих данные, выделенные в куче. Изучим несколько таких ситуаций.

Взаимодействие переменных и данных с помощью перемещения

Несколько переменных могут по-разному взаимодействовать с одними и теми же данными в Rust. Давайте рассмотрим пример использования целого числа в листинге 4-2.

```
let x = 5;
let y = x;
```

Листинг 4-2. Присвоение целочисленного значения переменной `x` переменной `y`

Мы можем догадаться, что делает этот код: «привязать значение `5` к `x`; затем сделать копию значения в `x` и привязать его к `y`». Теперь у нас есть две переменные: `x` и `y`, и обе равны `5`. Это то, что происходит на самом деле, потому что целые числа — это простые значения с известным фиксированным размером, и эти два значения `5` помещаются в стек.

Теперь рассмотрим версию с типом `String`:

```
let s1 = String::from("hello");
let s2 = s1;
```

Это выглядит очень похоже, поэтому мы можем предположить, что происходит то же самое: вторая строка сделает копию значения в `s1` и привяжет его к `s2`. Но это не совсем так.

Взгляните на рисунок 4-1, чтобы увидеть, что происходит со `String` под капотом. `String` состоит из трёх частей, показанных слева: указатель на память, в которой хранится содержимое строки, длина и ёмкость. Эта группа данных хранится в стеке. Справа — память в куче, которая содержит содержимое.

s1

name	value
ptr	—
len	5
capacity	5

index	value
0	h
1	e
2	l
3	l
4	o

Рисунок 4-1: представление в памяти `String`, содержащей значение "hello", привязанное к `s1`

Длина — это объём памяти в байтах, который в настоящее время использует содержимое `String`. Ёмкость — это общий объём памяти в байтах, который `String` получил от распределителя. Разница между длиной и ёмкостью имеет значение, но не в этом контексте, поэтому на данный момент можно игнорировать ёмкость.

Когда мы присваиваем `s1` значению `s2`, данные `String` копируются, то есть мы копируем указатель, длину и ёмкость, которые находятся в стеке. Мы не копируем данные в куче, на которые указывает указатель. Другими словами, представление данных в памяти выглядит так, как показано на рис. 4-2.

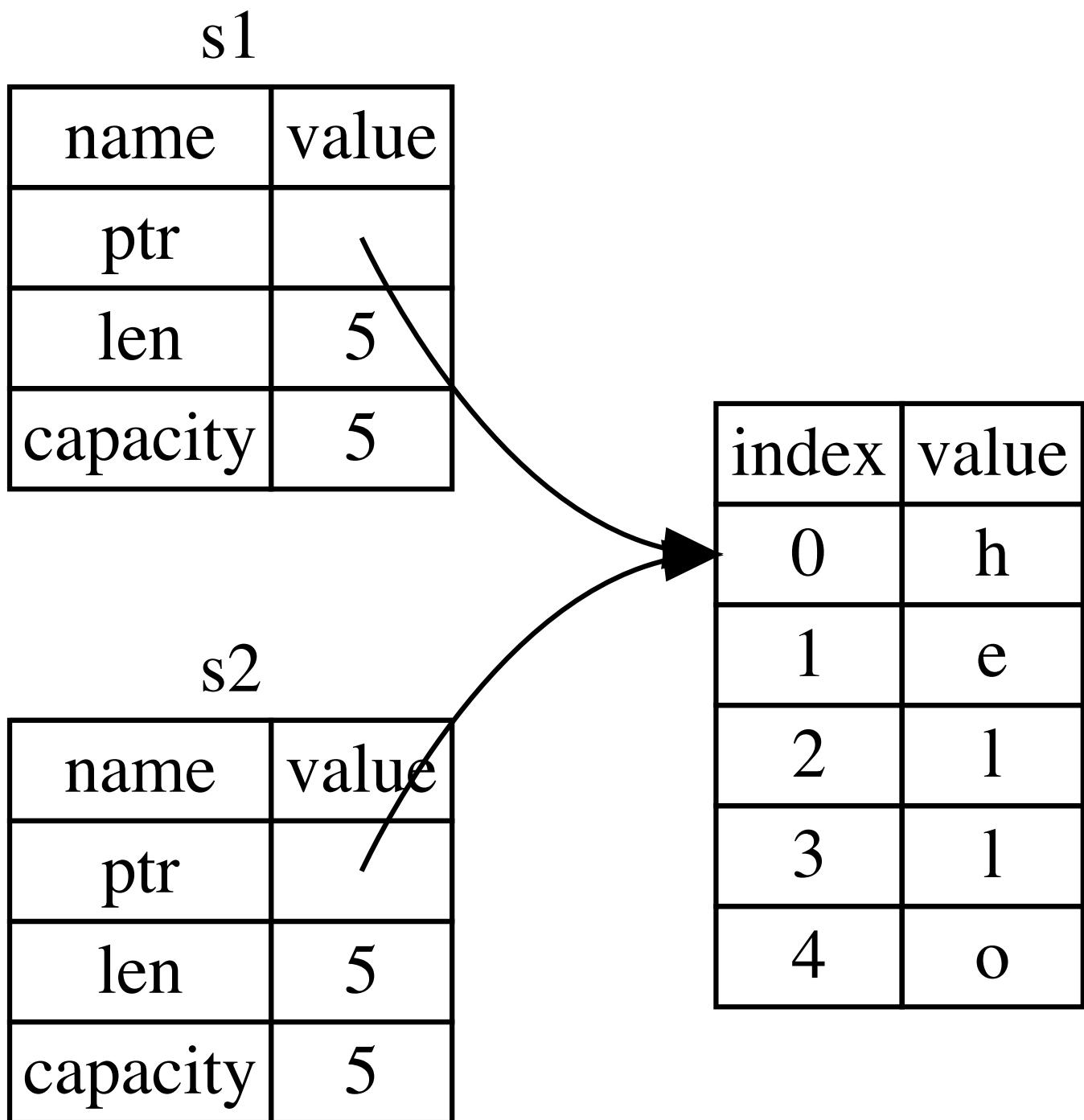


Рисунок 4-2: представление в памяти переменной `s2`, имеющей копию указателя, длины и ёмкости `s1`

Представление *не* похоже на рисунок 4-3, как выглядела бы память, если бы вместо этого Rust также скопировал данные кучи. Если бы Rust сделал это, операция `s2 = s1` могла бы быть очень дорогой с точки зрения производительности во время выполнения, если бы данные в куче были большими.

s1

name	value
ptr	—
len	5
capacity	5

index	value
0	h
1	e
2	l
3	l
4	o

Рисунок 4-3: другой вариант того, что может сделать `s2 = s1`, если Rust также скопирует данные кучи

Ранее мы сказали, что когда переменная выходит за пределы области видимости, Rust автоматически вызывает функцию `drop` и очищает память в куче для данной переменной. Но на рис. 4.2 оба указателя данных указывают на одно и то же место. Это проблема: когда переменные `s2` и `s1` выходят из области видимости, они обе будут пытаться освободить одну и ту же память в куче. Это известно как ошибка двойного освобождения (*double free*) и является одной из ошибок безопасности памяти, упоминаемых ранее. Освобождение памяти дважды может привести к повреждению памяти, что потенциально может привести к уязвимостям безопасности.

Чтобы обеспечить безопасность памяти, после строки `let s2 = s1;`, Rust считает `s1` более недействительным. Следовательно, Rust не нужно ничего освобождать, когда `s1` выходит за пределы области видимости. Посмотрите, что происходит, когда вы пытаетесь использовать `s1` после создания `s2`; это не сработает:

```
let s1 = String::from("hello");
let s2 = s1;

println!("{}{}, world!", s1);
```



Вы получите похожую ошибку, потому что Rust не позволяет вам использовать недействительную ссылку:

```

$ cargo run
Compiling ownership v0.1.0 (file:///projects/ownership)
error[E0382]: borrow of moved value: `s1`
--> src/main.rs:5:15
|
2 |     let s1 = String::from("hello");
|         -- move occurs because `s1` has type `String`, which does not implement the
`Copy` trait
3 |     let s2 = s1;
|             -- value moved here
4 |
5 |     println!("{}{}, world!", s1);
|             ^^^^^ value borrowed here after move
|
= note: this error originates in the macro `$crate::format_args_nl` which comes from
the expansion of the macro `println` (in Nightly builds, run with -Z macro-backtrace
for more info)
help: consider cloning the value if the performance cost is acceptable
|
3 |     let s2 = s1.clone();
|             ++++++++

```

For more information about this error, try `rustc --explain E0382`.
error: could not compile `ownership` (bin "ownership") due to 1 previous error

Если вы слышали термины *поверхностное копирование* и *глубокое копирование* при работе с другими языками, концепция копирования указателя, длины и ёмкости без копирования данных, вероятно, звучит как создание поверхностной копии. Но поскольку Rust также аннулирует первую переменную, вместо того, чтобы называть это поверхностным копированием, это называется *перемещением*. В этом примере мы бы сказали, что `s1` был *перемещён* в `s2`. Итак, что на самом деле происходит, показано на рисунке 4-4.

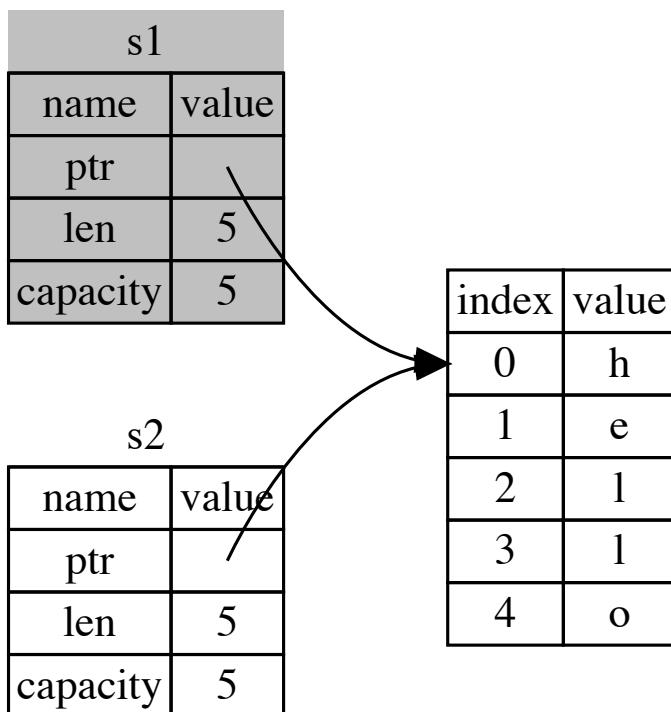


Рисунок 4-4: представление в памяти после того, как `s1` был признан недействительным

Это решает нашу проблему! Действительной остаётся только переменная `s2`. Когда она выходит из области видимости, то она одна будет освобождать память в куче.

Такой выбор дизайна языка даёт дополнительное преимущество: Rust никогда не будет автоматически создавать «глубокие» копии ваших данных. Следовательно любое такое автоматическое копирование можно считать недорогим с точки зрения производительности во время выполнения.

Взаимодействие переменных и данных с помощью клонирования

Если мы хотим глубоко скопировать данные кучи `String`, а не только данные стека, мы можем использовать общий метод, называемый `clone`. Мы обсудим синтаксис методов в главе 5, но поскольку методы являются общей чертой многих языков программирования, вы, вероятно, уже встречались с ними.

Вот пример работы метода `clone`:

```
let s1 = String::from("hello");
let s2 = s1.clone();

println!("s1 = {s1}, s2 = {s2}");
```

Это отлично работает и очевидно приводит к поведению, представленному на рисунке 4-3, где данные кучи были скопированы.

Когда вы видите вызов `clone`, вы знаете о выполнении некоторого кода, который может быть дорогим. В то же время использование `clone` является визуальным индикатором того, что тут происходит что-то нестандартное.

Стековые данные: копирование

Это ещё одна особенность о которой мы ранее не говорили. Этот код, часть которого была показана ранее в листинге 4-2, использует целые числа. Он работает без ошибок:

```
let x = 5;
let y = x;

println!("x = {x}, y = {y}");
```

Но этот код, кажется, противоречит тому, что мы только что узнали: у нас нет вызова `clone`, но `x` всё ещё действителен и не был перемещён в `y`.

Причина в том, что такие типы, как целые числа, размер которых известен во время компиляции, полностью хранятся в стеке, поэтому копии фактических значений создаются быстро. Это означает, что нет причин, по которым мы хотели бы предотвратить доступность `x` после того, как создадим переменную `y`. Другими словами, здесь нет разницы между глубоким и поверхностным копированием, поэтому вызов `clone` ничем не отличается от обычного поверхностного копирования, и мы можем его опустить.

В Rust есть специальная аннотация, называемая типажом `Copy`, которую мы можем размещать на типах, хранящихся в стеке, как и целые числа (подробнее о типах мы поговорим в [главе 10](#)). Если тип реализует типаж `Copy`, переменные, которые его используют, не перемещаются, а тривиально копируются, что делает их действительными после присвоения другой переменной.

Rust не позволит нам аннотировать тип с помощью `Copy`, если тип или любая из его частей реализует `Drop`. Если для типа нужно, чтобы произошло что-то особенное, когда значение выходит за пределы области видимости, и мы добавляем аннотацию `Copy` к этому типу, мы получим ошибку времени компиляции. Чтобы узнать, как добавить аннотацию `Copy` к вашему типу для реализации типажа, смотрите [раздел «Производные типажи»](#) в приложении C.

Но какие же типы реализуют трейт `Copy`? Можно проверить документацию любого типа для уверенности, но как правило любая группа простых скалярных значений может быть реализовывать `Copy`, и никакие типы, которые требуют выделения памяти в куче или являются некоторой формой ресурсов, не реализуют трейта `Copy`. Вот некоторые типы, которые реализуют `Copy`:

- Все целочисленные типы, такие как `u32`,
- Логический тип данных `bool`, возможные значения которого `true` и `false`,
- Все типы с плавающей запятой, такие как `f64`.
- Символьный тип `char`,
- Кортежи, но только если они содержат типы, которые также реализуют `Copy`. Например, `(i32, i32)` будет с `Copy`, но кортеж `(i32, String)` уже нет.

Владение и функции

Механика передачи значения функции аналогична тому, что происходит при присвоении значения переменной. Передача переменной в функцию приведёт к перемещению или копированию, как и присваивание. В листинге 4-3 есть пример с некоторыми аннотациями, показывающими, где переменные входят в область видимости и выходят из неё.

Файл: `src/main.rs`

```
fn main() {
    let s = String::from("hello"); // s comes into scope

    takes_ownership(s);          // s's value moves into the function...
                                // ... and so is no longer valid here

    let x = 5;                   // x comes into scope

    makes_copy(x);              // x would move into the function,
                                // but i32 is Copy, so it's okay to still
                                // use x afterward

} // Here, x goes out of scope, then s. But because s's value was moved, nothing
  // special happens.

fn takes_ownership(some_string: String) { // some_string comes into scope
    println!("{}s", some_string);
} // Here, some_string goes out of scope and `drop` is called. The backing
  // memory is freed.

fn makes_copy(some_integer: i32) { // some_integer comes into scope
    println!("{}x", some_integer);
} // Here, some_integer goes out of scope. Nothing special happens.
```

Листинг 4-3. Функции с аннотированными владельцами и областью действия

Если попытаться использовать `s` после вызова `takes_ownership`, Rust выдаст ошибку времени компиляции. Такие статические проверки защищают от ошибок. Попробуйте добавить код в `main`, который использует переменную `s` и `x`, чтобы увидеть где их можно использовать и где правила владения предотвращают их использование.

Возвращение значений и область видимости

Возвращаемые значения также могут передавать право владения. В листинге 4-4 показан пример функции, возвращающей некоторое значение, с такими же аннотациями, как в листинге 4-3.

Файл: `src/main.rs`

```

fn main() {
    let s1 = gives_ownership();                      // gives_ownership moves its return
                                                       // value into s1

    let s2 = String::from("hello");                  // s2 comes into scope

    let s3 = takes_and_gives_back(s2);               // s2 is moved into
                                                       // takes_and_gives_back, which also
                                                       // moves its return value into s3
} // Here, s3 goes out of scope and is dropped. s2 was moved, so nothing
  // happens. s1 goes out of scope and is dropped.

fn gives_ownership() -> String {                  // gives_ownership will move its
                                                       // return value into the function
                                                       // that calls it

    let some_string = String::from("yours");        // some_string comes into scope

    some_string                                     // some_string is returned and
                                                       // moves out to the calling
                                                       // function
}

// This function takes a String and returns one
fn takes_and_gives_back(a_string: String) -> String { // a_string comes into
                                                       // scope

    a_string // a_string is returned and moves out to the calling function
}

```

Листинг 4-4: передача права владения на возвращаемые значения

Владение переменной каждый раз следует одному и тому же шаблону: присваивание значения другой переменной перемещает его. Когда переменная, содержащая данные в куче, выходит из области видимости, содержимое в куче будет очищено функцией `drop`, если только данные не были перемещены во владение другой переменной.

Хотя это работает, получение права владения, а затем возвращение владения каждой функцией немного утомительно. Что, если мы хотим, чтобы функция использовала значение, но не становилась владельцем? Очень раздражает, что всё, что мы передаём, также должно быть передано обратно, если мы хотим использовать это снова, в дополнение к любым данным, полученным из тела функции, которые мы также можем захотеть вернуть.

Rust позволяет нам возвращать несколько значений с помощью кортежа, как показано в листинге 4-5.

Файл: src/main.rs

```
fn main() {
    let s1 = String::from("hello");

    let (s2, len) = calculate_length(s1);

    println!("The length of '{s2}' is {len}.");
}

fn calculate_length(s: String) -> (String, usize) {
    let length = s.len(); // len() returns the length of a String

    (s, length)
}
```

Листинг 4-5: возврат права владения на параметры

Но это слишком высокопарно и многословно для концепции, которая должна быть общей. К счастью для нас, в Rust есть возможность использовать значение без передачи права владения, называемая *ссылками*.

Ссылки и заимствование

Проблема с кодом кортежа в листинге 4-5 заключается в том, что мы должны вернуть `String` из вызванной функции, чтобы использовать `String` после вызова `calculate_length`, потому что `String` была перемещена в `calculate_length`. Вместо этого мы можем предоставить ссылку на значение `String`. Ссылка похожа на указатель в том смысле, что это адрес, по которому мы можем проследовать, чтобы получить доступ к данным, хранящимся по этому адресу; эти данные принадлежат какой-то другой переменной. В отличие от указателя, ссылка гарантированно указывает на допустимое значение определённого типа в течение всего срока существования этой ссылки.

Вот как вы могли бы определить и использовать функцию `calculate_length`, имеющую ссылку на объект в качестве параметра, вместо того, чтобы брать на себя ответственность за значение:

Файл: src/main.rs

```
fn main() {
    let s1 = String::from("hello");

    let len = calculate_length(&s1);

    println!("The length of '{s1}' is {len}.");
}

fn calculate_length(s: &String) -> usize {
    s.len()
}
```

Во-первых, обратите внимание, что весь код кортежа в объявлении переменной и возвращаемое значение функции исчезли. Во-вторых, обратите внимание, что мы передаём `&s1` в `calculate_length` и в его определении используем `&String`, а не `String`. Эти амперсанды представляют собой *ссылки*, и они позволяют вам ссылаться на некоторое значение, не принимая владение над ним. Рисунок 4-5 изображает эту концепцию.

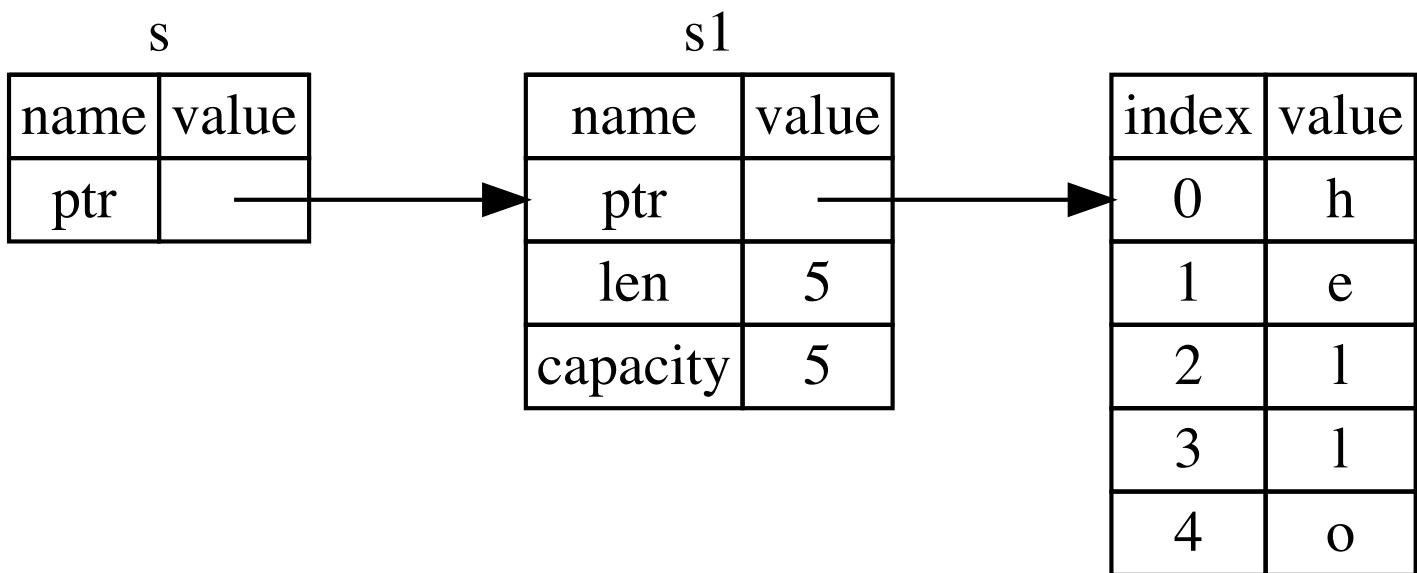


Рисунок 4-5: диаграмма для `&String s`, указывающей на `String s1`

Примечание: противоположностью ссылки с использованием `&` является разыменование, выполняемое с помощью оператора разыменования `*`. Мы увидим некоторые варианты использования оператора разыменования в главе 8 и обсудим детали разыменования в главе 15.

Давайте подробнее рассмотрим механизм вызова функции:

```
let s1 = String::from("hello");
let len = calculate_length(&s1);
```

`&s1` позволяет нам создать ссылку, которая ссылается на значение `s1`, но не владеет им. Поскольку она не владеет им, значение, на которое она указывает, не будет удалено, когда ссылка перестанет использоваться.

Сигнатура функции использует `&` для индикации того, что тип параметра `s` является ссылкой. Добавим объясняющие комментарии:

```
fn calculate_length(s: &String) -> usize { // s is a reference to a String
    s.len()
} // Here, s goes out of scope. But because it does not have ownership of what
// it refers to, it is not dropped.
```

Область действия `s` такая же, как и область действия любого параметра функции, но значение, на которое указывает ссылка, не удаляется, когда `s` перестаёт использоваться, потому что `s` не является его владельцем. Когда функции имеют ссылки в качестве параметров вместо фактических значений, нам не нужно возвращать значения, чтобы вернуть право владения, потому что мы никогда не владели ими.

Мы называем процесс создания ссылки *заимствованием*. Как и в реальной жизни, если человек чем-то владеет, вы можете это у него позаимствовать. Когда вы закончите, вы должны вернуть это законному владельцу.

А что произойдёт, если попытаться изменить то, что было позаимствовано? Попробуйте код листинга 4-6 Спойлер: этот код не сработает!

Файл: src/main.rs

```
fn main() {
    let s = String::from("hello");

    change(&s);
}

fn change(some_string: &String) {
    some_string.push_str(", world");
}
```



Листинг 4-6: попытка модификации заимствованной переменной

Вот ошибка:

```
$ cargo run
Compiling ownership v0.1.0 (file:///projects/ownership)
error[E0596]: cannot borrow `*some_string` as mutable, as it is behind a `&` reference
--> src/main.rs:8:5
8 |     some_string.push_str(", world");
|     ^^^^^^^^^^ `some_string` is a `&` reference, so the data it refers to cannot
be borrowed as mutable
|
help: consider changing this to be a mutable reference
|
7 | fn change(some_string: &mut String) {
|         +++
For more information about this error, try `rustc --explain E0596`.
error: could not compile `ownership` (bin "ownership") due to 1 previous error
```

Как переменные неизменяемы по умолчанию, так и ссылки. Нам не разрешено изменять то, на что у нас есть ссылка.

Изменяемые ссылки

Мы можем исправить код из листинга 4-6, чтобы позволить себе изменять заимствованное значение, с помощью нескольких небольших настроек, которые используют *изменяемую ссылку*:

Файл: src/main.rs

```

fn main() {
    let mut s = String::from("hello");

    change(&mut s);
}

fn change(some_string: &mut String) {
    some_string.push_str(", world");
}

```

Сначала мы меняем `s` на `mut`. Затем мы создаём изменяемую ссылку с помощью `&mut s`, у которой вызываем `change` и обновляем сигнатуру функции, чтобы принять изменяемую ссылку с помощью `some_string: &mut String`. Это даёт понять, что `change` изменит значение, которое заимствует.

Изменяемые ссылки имеют одно большое ограничение: если у вас есть изменяемая ссылка на значение, у вас не может быть других ссылок на это же значение. Код, который пытается создать две изменяемые ссылки на `s`, завершится ошибкой:

Файл: src/main.rs

```

let mut s = String::from("hello");

let r1 = &mut s;
let r2 = &mut s;

println!("{} , {}", r1, r2);

```



Описание ошибки:

```

$ cargo run
Compiling ownership v0.1.0 (file:///projects/ownership)
error[E0499]: cannot borrow `s` as mutable more than once at a time
--> src/main.rs:5:14
   |
4 |     let r1 = &mut s;
   |             ----- first mutable borrow occurs here
5 |     let r2 = &mut s;
   |             ^^^^^^ second mutable borrow occurs here
6 |
7 |     println!("{} , {}", r1, r2);
   |             -- first borrow later used here

For more information about this error, try `rustc --explain E0499`.
error: could not compile `ownership` (bin "ownership") due to 1 previous error

```

Эта ошибка говорит о том, что код недействителен, потому что мы не можем заимствовать `s` как изменяемые более одного раза в один момент. Первое изменяемое заимствование находится в `r1` и должно длиться до тех пор, пока оно не будет использовано в `println!`, но между созданием этой изменяемой ссылки и её использованием мы попытались создать другую изменяемую ссылку в `r2`, которая заимствует те же данные, что и `r1`.

Ограничение, предотвращающее одновременное использование нескольких изменяемых ссылок на одни и те же данные, допускает изменение, но очень контролируемым образом. Это то, с чем борются новые Rustaceans, потому что большинство языков позволяют изменять значение в любой момент. Преимущество этого ограничения заключается в том, что Rust может предотвратить гонку данных во время компиляции. Гонка данных похожа на состояние гонки и происходит, когда возникают следующие три сценария:

- Два или больше указателей используют одни и те же данные в одно и то же время,
- Минимум один указатель используется для записи данных,
- Отсутствуют механизмы для синхронизации доступа к данным.

Гонки данных вызывают неопределенное поведение, и их может быть сложно диагностировать и исправить, когда вы пытаетесь отследить их во время выполнения. Rust предотвращает такую проблему, отказываясь компилировать код с гонками данных!

Как всегда, мы можем использовать фигурные скобки для создания новой области видимости, позволяющей использовать несколько изменяемых ссылок, но не одновременно:

```
let mut s = String::from("hello");
{
    let r1 = &mut s;
} // r1 goes out of scope here, so we can make a new reference with no problems.

let r2 = &mut s;
```

Rust применяет аналогичное правило для комбинирования изменяемых и неизменяемых ссылок. Этот код приводит к ошибке:

```
let mut s = String::from("hello");

let r1 = &s; // no problem
let r2 = &s; // no problem
let r3 = &mut s; // BIG PROBLEM

println!("{} , {} , and {}", r1, r2, r3);
```



Ошибка:

```
$ cargo run
Compiling ownership v0.1.0 (file:///projects/ownership)
error[E0502]: cannot borrow `s` as mutable because it is also borrowed as immutable
--> src/main.rs:6:14
|
4 |     let r1 = &s; // no problem
|         -- immutable borrow occurs here
5 |     let r2 = &s; // no problem
6 |     let r3 = &mut s; // BIG PROBLEM
|         ^^^^^^ mutable borrow occurs here
7 |
8 |     println!("{} , {} , and {}", r1, r2, r3);
|                         -- immutable borrow later used here

For more information about this error, try `rustc --explain E0502`.
error: could not compile `ownership` (bin "ownership") due to 1 previous error
```

Bay! У нас *также* не может быть изменяемой ссылки, пока у нас есть неизменяемая ссылка на то же значение.

Пользователи неизменяемой ссылки не ожидают, что значение внезапно изменится из-под них! Однако разрешены множественные неизменяемые ссылки, потому что никто, кто просто читает данные, не может повлиять на чтение данных кем-либо ещё.

Обратите внимание, что область действия ссылки начинается с того места, где она была введена, и продолжается до последнего использования этой ссылки. Например, этот код будет компилироваться, потому что последнее использование неизменяемых ссылок `println!`, происходит до того, как вводится изменяемая ссылка:

```
let mut s = String::from("hello");

let r1 = &s; // no problem
let r2 = &s; // no problem
println!("{} and {}", r1, r2);
// variables r1 and r2 will not be used after this point

let r3 = &mut s; // no problem
println!("{}");
```

Области неизменяемых ссылок `r1` и `r2` заканчиваются после `println!` где они использовались в последний раз, то есть до создания изменяемой ссылки `r3`. Эти области не перекрываются, поэтому этот код разрешён: компилятор может сказать, что ссылка больше не используется в точке перед концом области.

Несмотря на то, что ошибки заимствования могут иногда вызывать разочарование, помните, что компилятор Rust заранее указывает на потенциальную ошибку (во время компиляции, а не во время выполнения) и точно показывает, в чем проблема. Тогда вам не придётся выяснять, почему ваши данные оказались не такими, как вы ожидали.

Висячие ссылки

В языках с указателями весьма легко ошибочно создать недействительную (висячую) (*dangling*) ссылку. Ссылку указывающую на участок памяти, который мог быть передан кому-то другому, путём освобождения некоторой памяти при сохранении указателя на эту память. Rust компилятор гарантирует, что ссылки никогда не станут недействительными: если у вас есть ссылка на какие-то данные, компилятор обеспечит что эти данные не выйдут из области видимости прежде, чем из области видимости исчезнет ссылка.

Давайте попробуем создать висячую ссылку, чтобы увидеть, как Rust предотвращает их появление с помощью ошибки во время компиляции:

Файл: src/main.rs

```
fn main() {  
    let reference_to_nothing = dangle();  
}  
  
fn dangle() -> &String {  
    let s = String::from("hello");  
  
    &s  
}
```



Здесь ошибка:

```
$ cargo run  
Compiling ownership v0.1.0 (file:///projects/ownership)  
error[E0106]: missing lifetime specifier  
--> src/main.rs:5:16  
|  
5 | fn dangle() -> &String {  
|             ^ expected named lifetime parameter  
|  
|= help: this function's return type contains a borrowed value, but there is no value  
for it to be borrowed from  
help: consider using the `<static>` lifetime, but this is uncommon unless you're  
returning a borrowed value from a `const` or a `static`  
|  
5 | fn dangle() -> &'static String {  
|             ++++++  
help: instead, you are more likely to want to return an owned value  
|  
5 - fn dangle() -> &String {  
5 + fn dangle() -> String {  
|  
  
error[E0515]: cannot return reference to local variable `s`  
--> src/main.rs:8:5  
|  
8 |     &s  
|     ^^ returns a reference to data owned by the current function  
  
Some errors have detailed explanations: E0106, E0515.  
For more information about an error, try `rustc --explain E0106`.  
error: could not compile `ownership` (bin "ownership") due to 2 previous errors
```

Это сообщение об ошибке относится к особенности языка, которую мы ещё не рассмотрели: времени жизни. Мы подробно обсудим времена жизни в главе 10. Но если вы не обращаете внимания на части, касающиеся времени жизни, сообщение будет содержать ключ к тому, почему этот код является проблемой:

```
this function's return type contains a borrowed value, but there is no value  
for it to be borrowed from
```

Давайте подробнее рассмотрим, что именно происходит на каждом этапе нашего кода

`dangle`:

Файл: src/main.rs

```
fn dangle() -> &String { // dangle returns a reference to a String  
  
    let s = String::from("hello"); // s is a new String  
  
    &s // we return a reference to the String, s  
} // Here, s goes out of scope, and is dropped. Its memory goes away.  
// Danger!
```



Поскольку `s` создаётся внутри `dangle`, когда код `dangle` будет завершён, `s` будет освобождена. Но мы попытались вернуть ссылку на неё. Это означает, что эта ссылка будет указывать на недопустимую `String`. Это плохо! Rust не позволит нам сделать это.

Решением будет вернуть непосредственно `String`:

```
fn no_dangle() -> String {  
    let s = String::from("hello");  
  
    s  
}
```

Это работает без проблем. Владение перемещено, и ничего не освобождено.

Правила работы с ссылками

Давайте повторим все, что мы обсудили про ссылки:

- В любой момент времени у вас может быть *одна* (но не обе) изменяемая ссылка или любое количество неизменяемых ссылок.
- Все ссылки должны быть действительными.

В следующей главе мы рассмотрим другой тип ссылок — срезы.

Тип срезы

Срезы позволяют ссылаться на непрерывную последовательность элементов в коллекции, а не на всю коллекцию. Срез является своего рода ссылкой, поэтому он не имеет права владения.

Вот небольшая проблема программирования: напишите функцию, которая принимает строку слов, разделённых пробелами, и возвращает первое слово, которое она находит в этой строке. Если функция не находит пробела в строке, вся строка должна состоять из одного слова, поэтому должна быть возвращена вся строка.

Давайте рассмотрим, как бы мы написали сигнатуру этой функции без использования срезов, чтобы понять проблему, которую решат срезы:

```
fn first_word(s: &String) -> ?
```

Функция `first_word` имеет `&String` в качестве параметра. Мы не хотим владения, так что всё в порядке. Но что мы должны вернуть? На самом деле у нас нет способа говорить о части строки. Однако мы могли бы вернуть индекс конца слова, обозначенного пробелом. Давайте попробуем, как показано в Листинге 4-7.

Файл: src/main.rs

```
fn first_word(s: &String) -> usize {
    let bytes = s.as_bytes();

    for (i, &item) in bytes.iter().enumerate() {
        if item == b' ' {
            return i;
        }
    }

    s.len()
}
```

Листинг 4-7. Функция `first_word`, возвращающая значение индекса байта в параметр `String`

Поскольку нам нужно просмотреть `String` поэлементно и проверить, является ли значение пробелом, мы преобразуем нашу `String` в массив байтов с помощью метода `as_bytes`.

```
let bytes = s.as_bytes();
```

Далее, мы создаём итератор по массиву байт используя метод `iter`:

```
for (i, &item) in bytes.iter().enumerate() {
```

Мы обсудим итераторы более подробно в Главе 13. На данный момент знайте, что `iter` — это метод, который возвращает каждый элемент в коллекции, а `enumerate` оборачивает результат `iter` и вместо этого возвращает каждый элемент как часть кортежа. Первый элемент кортежа,

возвращаемый из `enumerate`, является индексом, а второй элемент — ссылкой на элемент. Это немного удобнее, чем вычислять индекс самостоятельно.

Поскольку метод `enumerate` возвращает кортеж, мы можем использовать шаблоны для деструктурирования этого кортежа. Мы подробнее обсудим шаблоны в Главе 6.. В цикле `for` мы указываем шаблон, имеющий `i` для индекса в кортеже и `&item` для одного байта в кортеже. Поскольку мы получаем ссылку на элемент из `.iter().enumerate()`, мы используем `&` в шаблоне.

Внутри цикла `for` мы ищем байт, представляющий пробел, используя синтаксис байтового литерала. Если мы находим пробел, мы возвращаем позицию. В противном случае мы возвращаем длину строки с помощью `s.len()`.

```
if item == b' ' {  
    return i;  
}  
}  
  
s.len()
```

Теперь у нас есть способ узнать индекс байта указывающего на конец первого слова в строке, но есть проблема. Мы возвращаем сам `usize`, но это число имеет значение только в контексте `&String`. Другими словами, поскольку это значение отдельное от `String`, то нет гарантии, что оно все ещё будет действительным в будущем. Рассмотрим программу из листинга 4-8, которая использует функцию `first_word` листинга 4-7.

Файл: src/main.rs

```
fn main() {  
    let mut s = String::from("hello world");  
  
    let word = first_word(&s); // word will get the value 5  
  
    s.clear(); // this empties the String, making it equal to ""  
  
    // word still has the value 5 here, but there's no more string that  
    // we could meaningfully use the value 5 with. word is now totally invalid!  
}
```

Листинг 4-8. Сохранение результата вызова функции `first_word` и последующего изменения содержимого `String`

Данная программа компилируется без ошибок и будет успешно работать, даже после того как мы воспользуемся переменной `word` после вызова `s.clear()`. Так как значение `word` совсем не связано с состоянием переменной `s`, то `word` сохраняет своё значение `5` без изменений. Мы бы могли воспользоваться значением `5` чтобы получить первое слово из переменной `s`, но это приведёт к ошибке, потому что содержимое `s` изменилось после того как мы сохранили `5` в переменной `word` (стало пустой строкой в вызове `s.clear()`).

Необходимость беспокоиться о том, что индекс в переменной `word` не синхронизируется с данными в переменной `s` является утомительной и подверженной ошибкам! Управление

этими индексами становится ещё более хрупким, если мы напишем функцию `second_word`. Её сигнатура могла бы выглядеть так:

```
fn second_word(s: &String) -> (usize, usize) {
```

Теперь мы отслеживаем начальный и конечный индекс, и у нас есть ещё больше значений, которые были рассчитаны на основе данных в определённом состоянии, но вообще не привязаны к этому состоянию. У нас есть три несвязанные переменные, которые необходимо синхронизировать.

К счастью в Rust есть решение данной проблемы: строковые срезы.

Строковые срезы

Строковый срез - это ссылка на часть строки `String` и он выглядит следующим образом:

```
let s = String::from("hello world");
let hello = &s[0..5];
let world = &s[6..11];
```

Вместо ссылки на всю `String` `hello` является ссылкой на часть `String`, указанную в дополнительном куске кода `[0..5]`. Мы создаём срезы, используя диапазон в квадратных скобках, указав `[starting_index..ending_index]`, где `starting_index` — это первая позиция, а `ending_index` конечный_индекс — это на единицу больше, чем последняя позиция в срезе. Внутри структура данных среза хранит начальную позицию и длину среза, что соответствует `ending_index` минус `starting_index`. Итак, в случае `let world = &s[6..11];`, `world` будет срезом, содержащим указатель на байт с индексом 6 `s` со значением длины `5`.

Рисунок 4-6 отображает это на диаграмме.

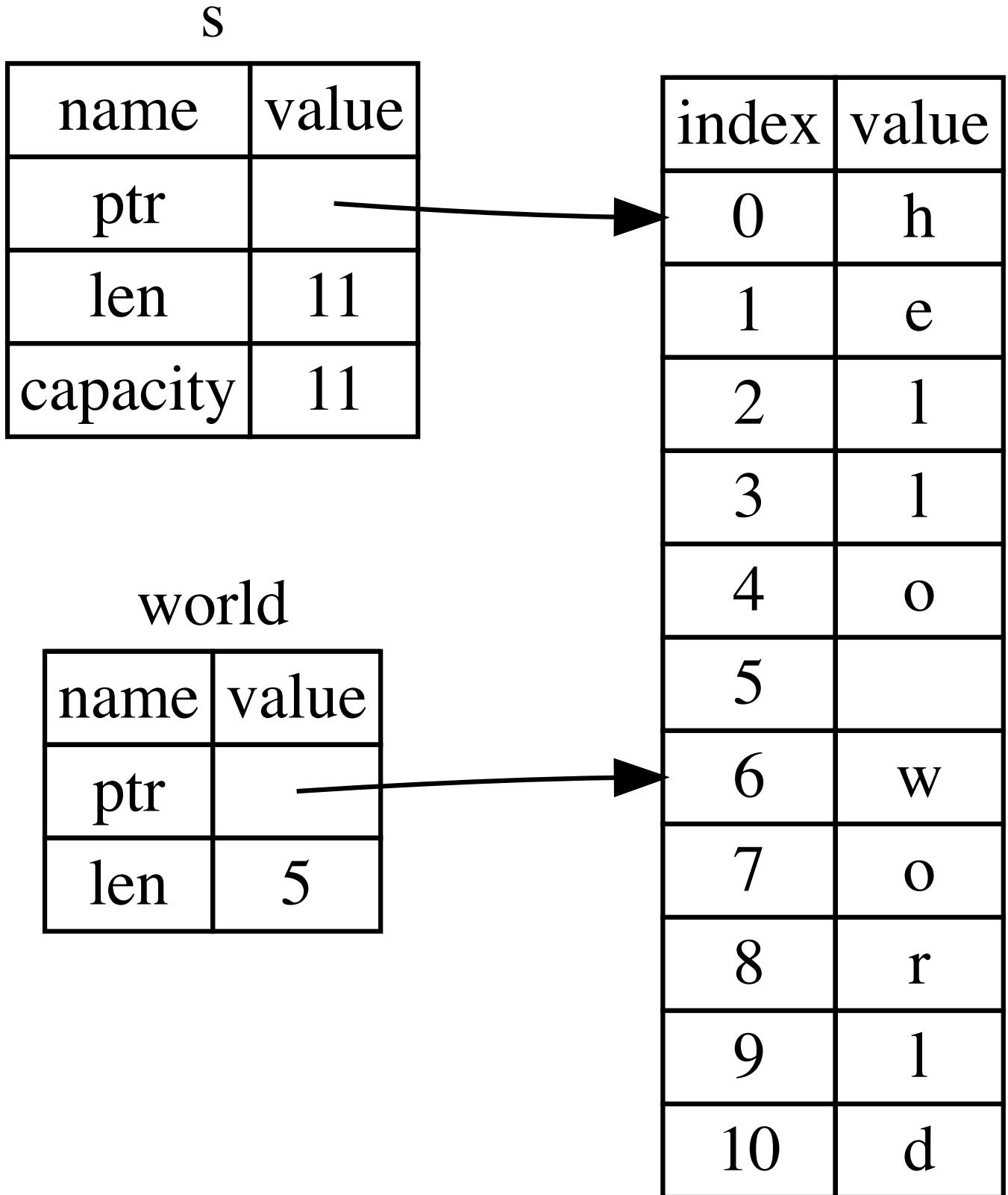


Рисунок 4-6: Строковый срез ссылается на часть `String`

С синтаксисом Rust `..`, если вы хотите начать с индекса 0, вы можете отбросить значение перед двумя точками. Другими словами, они равны:

```
let s = String::from("hello");
```

```
let slice = &s[0..2];  
let slice = &s[..2];
```

Таким же образом, если ваш срез включает последний байт `String`, вы можете отбросить конечный номер. Это означает, что они равны:

```
let s = String::from("hello");
```

```
let len = s.len();
```

```
let slice = &s[3..len];  
let slice = &s[3..];
```

Вы также можете отбросить оба значения, чтобы получить часть всей строки. Итак, они равны:

```
let s = String::from("hello");
```

```
let len = s.len();
```

```
let slice = &s[0..len];  
let slice = &s[..];
```

Примечание. Индексы диапазона срезов строк должны располагаться на допустимых границах символов UTF-8. Если вы попытаетесь создать фрагмент строки нарушая границы символа в котором больше одного байта, ваша программа завершится с ошибкой. В целях введения срезов строк мы предполагаем, что в этом разделе используется только ASCII; более подробное обсуждение обработки UTF-8 находится в разделе «Сохранение закодированного текста UTF-8 со строками». раздел главы 8.

Давайте используем полученную информацию и перепишем метод `first_word` так, чтобы он возвращал срез. Для обозначения типа "срез строки" существует запись `&str`:

Файл: src/main.rs

```
fn first_word(s: &String) -> &str {  
    let bytes = s.as_bytes();  
  
    for (i, &item) in bytes.iter().enumerate() {  
        if item == b' ' {  
            return &s[0..i];  
        }  
    }  
    &s[..]
```

Мы получаем индекс конца слова так же, как в листинге 4.7, ища первое вхождение пробела. Когда мы находим пробел, мы возвращаем фрагмент строки, используя начало строки и индекс пробела в качестве начального и конечного индексов.

Теперь, когда мы вызываем `first_word`, мы возвращаем одно значение, привязанное к базовым данным. Значение состоит из ссылки на начальную точку среза и количества элементов в срезе.

Аналогичным образом можно переписать и второй метод `second_word`:

```
fn second_word(s: &String) -> &str {
```

Теперь у нас есть простой API, который гораздо сложнее испортить, потому что компилятор гарантирует, что ссылки в `String` останутся действительными. Помните ошибку в программе в листинге 4-8, когда мы получили индекс до конца первого слова, но затем очистили строку, так что наш индекс стал недействительным? Этот код был логически неправильным, но не показывал немедленных ошибок. Проблемы проявятся позже, если мы попытаемся использовать индекс первого слова с пустой строкой. Срезы делают эту ошибку невозможной и сообщают нам о проблеме с нашим кодом гораздо раньше. Так, использование версии метода `first_word` со срезом вернёт ошибку компиляции:

Файл: src/main.rs

```
fn main() {
    let mut s = String::from("hello world");

    let word = first_word(&s);

    s.clear(); // error!

    println!("the first word is: {}", word);
}
```



Ошибка компиляции:

```
$ cargo run
Compiling ownership v0.1.0 (file:///projects/ownership)
error[E0502]: cannot borrow `s` as mutable because it is also borrowed as immutable
--> src/main.rs:18:5
16 |     let word = first_word(&s);
17 |             -- immutable borrow occurs here
18 |     s.clear(); // error!
19 |             ^^^^^^^^^^ mutable borrow occurs here
20 |     println!("the first word is: {}", word);
|                         ----- immutable borrow later used here

For more information about this error, try `rustc --explain E0502`.
error: could not compile `ownership` (bin "ownership") due to 1 previous error
```

Напомним из правил заимствования, что если у нас есть неизменяемая ссылка на что-то, мы не можем также взять изменяемую ссылку. Поскольку для `clear` необходимо обрезать `String`, необходимо получить изменяемую ссылку. `println!` после вызова `clear` использует ссылку в `word`, поэтому неизменяемая ссылка в этот момент всё ещё должна быть активной. Rust запрещает одновременное существование изменяемой ссылки в формате `clear` и неизменяемой ссылки в `word`, и компиляция завершается ошибкой. Rust не только упростил использование нашего API, но и устранил целый класс ошибок во время компиляции!

Строковые литералы - это срезы

Напомним, что мы говорили о строковых литералах, хранящихся внутри бинарного файла. Теперь, когда мы знаем чем являются срезы, мы правильно понимаем что такое строковые литералы:

```
let s = "Hello, world!";
```

Тип `s` здесь `&str`: это срез, указывающий на эту конкретную точку двоичного файла. Вот почему строковые литералы неизменяемы; `&str` — неизменяемая ссылка.

Строковые срезы как параметры

Знание того, что вы можете брать срезы литералов и `String` значений, приводит нас к ещё одному улучшению `first_word`, и это его сигнатура:

```
fn first_word(s: &String) -> &str {
```

Более опытный пользователь Rustacean вместо этого написал бы сигнатуру, показанную в листинге 4.9, потому что это позволяет нам использовать одну и ту же функцию как для значений `&String`, так и для значений `&str`.

```
fn first_word(s: &str) -> &str {
```

Листинг 4-9: Улучшение функции `first_word` используя тип строкового среза для параметра `s`

Если у нас есть фрагмент строки, мы можем передать его напрямую. Если у нас есть `String`, мы можем передать часть `String` или ссылку на `String`. Эта гибкость использует преимущества *приведения deref*, функции, которую мы рассмотрим в разделе «[Неявное приведение Deref с функциями и методами](#)». раздел главы 15.

Определение функции для получения фрагмента строки вместо ссылки на `String` делает наш API более общим и полезным без потери какой-либо функциональности:

Файл: `src/main.rs`

```
fn main() {
    let my_string = String::from("hello world");

    // `first_word` works on slices of `String`s, whether partial or whole
    let word = first_word(&my_string[0..6]);
    let word = first_word(&my_string[..]);
    // `first_word` also works on references to `String`s, which are equivalent
    // to whole slices of `String`s
    let word = first_word(&my_string);

    let my_string_literal = "hello world";

    // `first_word` works on slices of string literals, whether partial or whole
    let word = first_word(&my_string_literal[0..6]);
    let word = first_word(&my_string_literal[..]);

    // Because string literals *are* string slices already,
    // this works too, without the slice syntax!
    let word = first_word(my_string_literal);
}
```

Другие срезы

Срезы строк, как вы можете себе представить, специфичны для строк. Но есть и более общий тип среза. Рассмотрим этот массив:

```
let a = [1, 2, 3, 4, 5];
```

Точно так же, как мы можем захотеть сослаться на часть строки, мы можем захотеть сослаться на часть массива. Мы бы сделали так:

```
let a = [1, 2, 3, 4, 5];

let slice = &a[1..3];

assert_eq!(slice, &[2, 3]);
```

Этот срез имеет тип `&[i32]`. Он работает так же, как и срезы строк, сохраняя ссылку на первый элемент и его длину. Вы будете использовать этот вид фрагмента для всех видов других коллекций. Мы подробно обсудим эти коллекции, когда будем говорить о векторах в главе 8.

Итоги

Концепции владения, заимствования и срезов обеспечивают безопасность памяти в программах на Rust во время компиляции. Язык Rust даёт вам контроль над использованием памяти так же, как и другие языки системного программирования, но то, что владелец данных

автоматически очищает эти данные, когда владелец выходит за рамки, означает, что вам не нужно писать и отлаживать дополнительный код, чтобы получить этот контроль.

Владение влияет на множество других частей и концепций языка Rust. Мы будем говорить об этих концепциях на протяжении оставшихся частей книги. Давайте перейдём к Главе 5 и рассмотрим группировку частей данных в структуры `struct`.

Использование структур для структурирования связанных данных

Структура (struct) — это пользовательский тип данных, позволяющий назвать и упаковать вместе несколько связанных значений, составляющих значимую логическую группу. Если вы знакомы с объектно-ориентированными языками, *структурата* похожа на атрибуты данных объекта. В этой главе мы сравним и сопоставим кортежи со структурами, чтобы опираться на то, что вы уже знаете, и продемонстрируем, когда структуры являются лучшим способом группировки данных.

Мы продемонстрируем, как определять структуры и создавать их экземпляры. Мы обсудим, как определить ассоциированные функции, особенно ассоциированные функции, называемые *методами*, для указания поведения, ассоциированного с типом структуры. Структуры и перечисления (обсуждаемые в главе 6) являются строительными блоками для создания новых типов в предметной области вашей программы. Они дают возможность в полной мере воспользоваться преимуществами проверки типов во время компиляции Rust.

Определение и инициализация структур

Структуры похожи на кортежи, рассмотренные в разделе "Кортежи", так как оба хранят несколько связанных значений. Как и кортежи, части структур могут быть разных типов. В отличие от кортежей, в структуре необходимо именовать каждую часть данных для понимания смысла значений. Добавление этих имён обеспечивает большую гибкость структур по сравнению с кортежами: не нужно полагаться на порядок данных для указания значений экземпляра или доступа к ним.

Для определения структуры указывается ключевое слово `struct` и её название. Название должно описывать значение частей данных, сгруппированных вместе. Далее, в фигурных скобках для каждой новой части данных поочерёдно определяются имя части данных и её тип. Каждая пара `имя: тип` называется *полем*. Листинг 5-1 описывает структуру для хранения информации об учётной записи пользователя:

Имя файла: src/main.rs

```
struct User {  
    active: bool,  
    username: String,  
    email: String,  
    sign_in_count: u64,  
}
```

Листинг 5-1: Определение структуры `User`

После определения структуры можно создавать её *экземпляр*, назначая определённое значение каждому полю с соответствующим типом данных. Чтобы создать экземпляр, мы указываем имя структуры, затем добавляем фигурные скобки и включаем в них пары `ключ: значение` (key: value), где ключами являются имена полей, а значениями являются данные, которые мы хотим сохранить в полях. Нет необходимости чётко следовать порядку объявления полей в описании структуры (но всё-таки желательно для удобства чтения). Другими словами, объявление структуры - это как шаблон нашего типа, в то время как экземпляр структуры использует этот шаблон, заполняя его определёнными данными, для создания значений нашего типа. Например, можно объявить пользователя как в листинге 5-2:

Файл: src/main.rs

```
fn main() {  
    let user1 = User {  
        active: true,  
        username: String::from("someusername123"),  
        email: String::from("someone@example.com"),  
        sign_in_count: 1,  
    };  
}
```

Листинг 5-2: Создание экземпляра структуры `User`

Чтобы получить конкретное значение из структуры, мы используем запись через точку. Например, чтобы получить доступ к адресу электронной почты этого пользователя, мы используем `user1.email`. Если экземпляр является изменяемым, мы можем поменять значение, используя точечную нотацию и присвоение к конкретному полю. В Листинге 5-3 показано, как изменить значение в поле `email` изменяемого экземпляра `User`.

Файл: `src/main.rs`

```
fn main() {
    let mut user1 = User {
        active: true,
        username: String::from("someusername123"),
        email: String::from("someone@example.com"),
        sign_in_count: 1,
    };

    user1.email = String::from("anotheremail@example.com");
}
```

Листинг 5-3: Изменение значения в поле `email` экземпляра `User`

Стоит отметить, что весь экземпляр структуры должен быть изменяемым; Rust не позволяет помечать изменяемыми отдельные поля. Как и для любого другого выражения, мы можем использовать выражение создания структуры в качестве последнего выражения тела функции для неявного возврата нового экземпляра.

На листинге 5-4 функция `build_user` возвращает экземпляр `User` с указанным адресом и именем. Поле `active` получает значение `true`, а поле `sign_in_count` получает значение `1`.

Файл: `src/main.rs`

```
fn build_user(email: String, username: String) -> User {
    User {
        active: true,
        username: username,
        email: email,
        sign_in_count: 1,
    }
}
```

Листинг 5-4: Функция `build_user`, которая принимает `email` и имя пользователя и возвращает экземпляр `User`

Имеет смысл называть параметры функции теми же именами, что и поля структуры, но необходимость повторять `email` и `username` для названий полей и переменных несколько утомительна. Если структура имеет много полей, повторение каждого имени станет ещё более раздражающим. К счастью, есть удобное сокращение!

Использование сокращённой инициализации поля

Так как имена входных параметров функции и полей структуры являются полностью идентичными в листинге 5-4, возможно использовать синтаксис *сокращённой инициализации*

поля, чтобы переписать `build_user` так, чтобы он работал точно также, но не содержал повторений для `username` и `email`, как в листинге 5-5.

Файл: `src/main.rs`

```
fn build_user(email: String, username: String) -> User {  
    User {  
        active: true,  
        username,  
        email,  
        sign_in_count: 1,  
    }  
}
```

Листинг 5-5: функция `build_user` использует сокращённую инициализацию полей, потому что её входные параметры `username` и `email` имеют имена аналогичные именам полей структуры

Здесь происходит создание нового экземпляра структуры `User`, которая имеет поле с именем `email`. Мы хотим установить поле структуры `email` значением входного параметра `email` функции `build_user`. Так как поле `email` и входной параметр функции `email` имеют одинаковое название, можно писать просто `email` вместо кода `email: email`.

Создание экземпляра структуры из экземпляра другой структуры с помощью синтаксиса обновления структуры

Часто бывает полезно создать новый экземпляр структуры, который включает большинство значений из другого экземпляра, но некоторые из них изменяет. Это можно сделать с помощью синтаксиса обновления структуры.

Сначала в листинге 5-6 показано, как обычно создаётся новый экземпляр `User` в `user2` без синтаксиса обновления. Мы задаём новое значение для `email`, но в остальном используем те же значения из `user1`, которые были заданы в листинге 5-2.

Файл: `src/main.rs`

```
fn main() {  
    // --snip--  
  
    let user2 = User {  
        active: user1.active,  
        username: user1.username,  
        email: String::from("another@example.com"),  
        sign_in_count: user1.sign_in_count,  
    };  
}
```

Листинг 5-6: Создание нового экземпляра `User` с использованием некоторых значений из экземпляра `user1`

Используя синтаксис обновления структуры, можно получить тот же эффект, используя меньше кода как показано в листинге 5-7. Синтаксис `...` указывает, что оставшиеся поля

устанавливаются неявно и должны иметь значения из указанного экземпляра.

Файл: src/main.rs

```
fn main() {  
    // --snip--  
  
    let user2 = User {  
        email: String::from("another@example.com"),  
        ..user1  
    };  
}
```

Листинг 5-7: Использование синтаксиса обновления структуры для установки нового значения `email` для экземпляра `User`, но использование остальных значений из экземпляра `user1`

Код в листинге 5-7 также создаёт экземпляр в `user2`, который имеет другое значение для `email`, но с тем же значением для полей `username`, `active` и `sign_in_count` из `user1`. Оператор `..user1` должен стоять последним для указания на получение значений всех оставшихся полей из соответствующих полей в `user1`, но можно указать значения для любого количества полей в любом порядке, независимо от порядка полей в определении структуры.

Стоит отметить, что синтаксис обновления структуры использует `=` как присваивание. Это связано с перемещением данных, как мы видели в разделе «[Взаимодействие переменных и данных с помощью перемещения](#)». В этом примере мы больше не можем использовать `user1` после создания `user2`, потому что `String` в поле `username` из `user1` было перемещено в `user2`. Если бы мы задали `user2` новые значения `String` для `email` и `username`, и таким образом, использовали только значения `active` и `sign_in_count` из `user1`, то `user1` всё ещё был бы действительным после создания `user2`. Оба типа `active` и `sign_in_count` реализуют типаж `Copy`, поэтому они ведут себя так, как мы обсуждали в разделе «[Стековые данные: копирование](#)».

Кортежные структуры: структуры без именованных полей для создания разных типов

Rust также поддерживает структуры, похожие на кортежи, которые называются *кортежные структуры*. Кортежные структуры обладают дополнительным смыслом, который даёт имя структуры, но при этом не имеют имён, связанных с их полями. Скорее, они просто хранят типы полей. Кортежные структуры полезны, когда вы хотите дать имя всему кортежу и сделать кортеж отличным от других кортежей, и когда именование каждого поля, как в обычной структуре, было бы многословным или избыточным.

Чтобы определить кортежную структуру, начните с ключевого слова `struct` и имени структуры, за которым следуют типы в кортеже. Например, здесь мы определяем и используем две кортежные структуры с именами `Color` и `Point`:

Файл: src/main.rs

```
struct Color(i32, i32, i32);
struct Point(i32, i32, i32);

fn main() {
    let black = Color(0, 0, 0);
    let origin = Point(0, 0, 0);
}
```

Обратите внимание, что значения `black` и `origin` — это разные типы, потому что они являются экземплярами разных кортежных структур. Каждая определяемая вами структура имеет собственный тип, даже если поля внутри структуры могут иметь одинаковые типы. Например, функция, принимающая параметр типа `Color`, не может принимать `Point` в качестве аргумента, даже если оба типа состоят из трёх значений `i32`. В остальном экземпляры кортежных структур похожи на кортежи в том смысле, что вы можете деструктурировать их на отдельные части и использовать `.`, за которой следует индекс для доступа к отдельному значению.

Единично-подобные структуры: структуры без полей

Также можно определять структуры, не имеющие полей! Они называются *единично-подобными структурами*, поскольку ведут себя аналогично `()`, единичному типу, о котором мы говорили в разделе "Кортежи". Единично-подобные структуры могут быть полезны, когда требуется реализовать типаж для некоторого типа, но у вас нет данных, которые нужно хранить в самом типе. Мы обсудим типажи в главе 10. Вот пример объявления и создание экземпляра единичной структуры с именем `AlwaysEqual`:

Файл: src/main.rs

```
struct AlwaysEqual;

fn main() {
    let subject = AlwaysEqual;
}
```

Чтобы определить `AlwaysEqual`, мы используем ключевое слово `struct`, желаемое имя, а затем точку с запятой. Нет необходимости в фигурных или круглых скобках! Затем мы можем получить экземпляр `AlwaysEqual` в переменной `subject` аналогичным образом: используя имя, которое мы определили, без фигурных и круглых скобок. Представим, что в дальнейшем мы реализуем поведение для этого типа таким образом, что каждый экземпляр `AlwaysEqual` всегда будет равен каждому экземпляру любого другого типа, возможно, с целью получения ожидаемого результата для тестирования. Для реализации такого поведения нам не нужны никакие данные! В главе 10 вы увидите, как определять черты и реализовывать их для любого типа, включая единично-подобные структуры.

Владение данными структуры

В определении структуры `User` в листинге 5-1 мы использовали владеющий тип `String` вместо типа строковый срез `&str`. Это осознанный выбор, поскольку мы хотим, чтобы каждый экземпляр этой структуры владел всеми своими данными и чтобы эти данные были действительны до тех пор, пока действительна вся структура.

Структуры также могут хранить ссылки на данные, принадлежащие кому-то другому, но для этого необходимо использовать возможность Rust *время жизни*, которую мы обсудим в главе 10. Время жизни гарантирует, что данные, на которые ссылается структура, будут действительны до тех пор, пока существует структура. Допустим, если попытаться сохранить ссылку в структуре без указания времени жизни, как в следующем примере; это не сработает:

Файл: `src/main.rs`

```
struct User {  
    active: bool,  
    username: &str,  
    email: &str,  
    sign_in_count: u64,  
}  
  
fn main() {  
    let user1 = User {  
        active: true,  
        username: "someusername123",  
        email: "someone@example.com",  
        sign_in_count: 1,  
    };  
}
```



Компилятор будет жаловаться на необходимость определения времени жизни ссылок:

```
$ cargo run
   Compiling structs v0.1.0 (file:///projects/structs)
error[E0106]: missing lifetime specifier
--> src/main.rs:3:15
  |
3 |     username: &str,
  |             ^ expected named lifetime parameter
  |
help: consider introducing a named lifetime parameter
  |
1 ~ struct User<'a> {
2 |     active: bool,
3 ~     username: &'a str,
  |
error[E0106]: missing lifetime specifier
--> src/main.rs:4:12
  |
4 |     email: &str,
  |             ^ expected named lifetime parameter
  |
help: consider introducing a named lifetime parameter
  |
1 ~ struct User<'a> {
2 |     active: bool,
3 |     username: &str,
4 ~     email: &'a str,
  |
```

For more information about this error, try `rustc --explain E0106`.
error: could not compile `structs` due to 2 previous errors

В главе 10 мы обсудим, как исправить эти ошибки, чтобы иметь возможность хранить ссылки в структурах, а пока мы исправим подобные ошибки, используя владеющие типы вроде `String` вместо ссылок `&str`.

Пример использования структур

Чтобы понять, когда нам может понадобиться использование структур, давайте напишем программу, которая вычисляет площадь прямоугольника. Мы начнём с использования одиночных переменных, а затем будем улучшать программу до использования структур.

Давайте создадим новый проект программы при помощи Cargo и назовём его *rectangles*. Наша программа будет получать на вход длину и ширину прямоугольника в пикселях и затем рассчитывать площадь прямоугольника. Листинг 5-8 показывает один из коротких вариантов кода, который позволит нам сделать именно то, что надо, в файле проекта *src/main.rs*.

Файл: *src/main.rs*

```
fn main() {
    let width1 = 30;
    let height1 = 50;

    println!(
        "The area of the rectangle is {} square pixels.",
        area(width1, height1)
    );
}

fn area(width: u32, height: u32) -> u32 {
    width * height
}
```

Листинг 5-8: вычисление площади прямоугольника, заданного отдельными переменными ширины и высоты

Теперь запустим программу, используя `cargo run`:

```
$ cargo run
Compiling rectangles v0.1.0 (file:///projects/rectangles)
Finished `dev` profile [unoptimized + debuginfo] target(s) in 0.42s
Running `target/debug/rectangles`
The area of the rectangle is 1500 square pixels.
```

Этот код успешно вычисляет площадь прямоугольника, вызывая функцию `area` с каждым измерением, но мы можем улучшить его ясность и читабельность.

Проблема данного метода очевидна из сигнатуры `area`:

```
fn area(width: u32, height: u32) -> u32 {
```

Функция `area` должна вычислять площадь одного прямоугольника, но функция, которую мы написали, имеет два параметра, и нигде в нашей программе не ясно, что эти параметры взаимосвязаны. Было бы более читабельным и управляемым сгруппировать ширину и высоту вместе. В разделе «Кортежи» главы 3 мы уже обсуждали один из способов сделать это — использовать кортежи.

Рефакторинг при помощи кортежей

Листинг 5-9 — это другая версия программы, использующая кортежи.

Файл: src/main.rs

```
fn main() {
    let rect1 = (30, 50);

    println!(
        "The area of the rectangle is {} square pixels.",
        area(rect1)
    );
}

fn area(dimensions: (u32, u32)) -> u32 {
    dimensions.0 * dimensions.1
}
```

Листинг 5-9: определение ширины и высоты прямоугольника с помощью кортежа

С одной стороны, эта программа лучше. Кортежи позволяют добавить немного структуры, и теперь мы передаём только один аргумент. Но с другой стороны, эта версия менее понятна: кортежи не называют свои элементы, поэтому нам приходится индексировать части кортежа, что делает наше вычисление менее очевидным.

Если мы перепутаем местами ширину с высотой при расчёте площади, то это не имеет значения. Но если мы хотим нарисовать прямоугольник на экране, то это уже будет важно! Мы должны помнить, что ширина `width` находится в кортеже с индексом `0`, а высота `height` — с индексом `1`. Если кто-то другой поработал бы с кодом, ему бы пришлось разобраться в этом и также помнить про порядок. Легко забыть и перепутать эти значения — и это вызовет ошибки, потому что данный код не передаёт наши намерения.

Рефакторинг при помощи структур: добавим больше смысла

Мы используем структуры, чтобы добавить смысл данным при помощи назначения им осмысленных имён. Мы можем переделать используемый кортеж в структуру с единственным именем для сущности и частными названиями её частей, как показано в листинге 5-10.

Файл: src/main.rs

```

struct Rectangle {
    width: u32,
    height: u32,
}

fn main() {
    let rect1 = Rectangle {
        width: 30,
        height: 50,
    };

    println!(
        "The area of the rectangle is {} square pixels.",
        area(&rect1)
    );
}

fn area(rectangle: &Rectangle) -> u32 {
    rectangle.width * rectangle.height
}

```

Листинг 5-10: определение структуры `Rectangle`

Здесь мы определили структуру и дали ей имя `Rectangle`. Внутри фигурных скобок определили поля как `width` и `height`, оба — типа `u32`. Затем в `main` создали конкретный экземпляр `Rectangle` с шириной в `30` и высотой в `50` единиц.

Наша функция `area` теперь определена с одним параметром, названным `rectangle`, чей тип является неизменяемым заимствованием структуры `Rectangle`. Как упоминалось в главе 4, необходимо заимствовать структуру, а не передавать её во владение. Таким образом функция `main` сохраняет `rect1` в собственности и может использовать её дальше. По этой причине мы и используем `&` в сигнатуре и в месте вызова функции.

Функция `area` получает доступ к полям `width` и `height` экземпляра `Rectangle` (обратите внимание, что доступ к полям заимствованного экземпляра структуры не приводит к перемещению значений полей, поэтому вы часто видите заимствования структур). Наша сигнатура функции для `area` теперь говорит именно то, что мы имеем в виду: вычислить площадь `Rectangle`, используя его поля `width` и `height`. Это означает, что ширина и высота связаны друг с другом, и даёт описательные имена значениям, а не использует значения индекса кортежа `0` и `1`. Это торжество ясности.

Добавление полезной функциональности при помощи выводимых типажей

Было бы полезно иметь возможность печатать экземпляр `Rectangle` во время отладки программы и видеть значения всех полей. Листинг 5-11 использует макрос `println!`, который мы уже использовали в предыдущих главах. Тем не менее, это не работает.

Файл: `src/main.rs`



```
struct Rectangle {  
    width: u32,  
    height: u32,  
}  
  
fn main() {  
    let rect1 = Rectangle {  
        width: 30,  
        height: 50,  
    };  
  
    println!("rect1 is {}", rect1);  
}
```

Листинг 5-11: Попытка вывести значения экземпляра `Rectangle`

При компиляции этого кода мы получаем ошибку с сообщением:

```
error[E0277]: `Rectangle` doesn't implement `std::fmt::Display`
```

Макрос `println!` умеет выполнять множество видов форматирования, и по умолчанию фигурные скобки в `println!` означают использование форматирование, известное как типаж `Display`. Его вывод предназначен для непосредственного использования конечным пользователем. Примитивные типы, изученные ранее, по умолчанию реализуют типаж `Display`, потому что есть только один способ отобразить число `1` или любой другой примитивный тип. Но для структур форматирование `println!` менее очевидно, потому что есть гораздо больше способов отображения: Вы хотите запятые или нет? Вы хотите печатать фигурные скобки? Должны ли отображаться все поля? Из-за этой неоднозначности Rust не пытается угадать, что нам нужно, а структуры не имеют встроенной реализации `Display` для использования в `println!` с заполнителем `{}`.

Продолжив чтение текста ошибки, мы найдём полезное замечание:

```
= help: the trait `std::fmt::Display` is not implemented for `Rectangle`  
= note: in format strings you may be able to use `{:?}` (or `{:#?}` for pretty-print)  
instead
```

Давайте попробуем! Вызов макрона `println!` теперь будет выглядеть так `println!("rect1 is {:?}", rect1);`. Ввод спецификатора `:?` внутри фигурных скобок говорит макрому `println!`, что мы хотим использовать другой формат вывода, известный как `Debug`. Типаж `Debug` позволяет печатать структуру способом, удобным для разработчиков, чтобы видеть значение во время отладки кода.

Скомпилируем код с этими изменениями. Упс! Мы всё ещё получаем ошибку:

```
error[E0277]: `Rectangle` doesn't implement `Debug`
```

Снова компилятор даёт нам полезное замечание:

```
= help: the trait `Debug` is not implemented for `Rectangle`  
= note: add `#[derive(Debug)]` to `Rectangle` or manually `impl Debug for Rectangle`
```

Rust реализует функциональность для печати отладочной информации, но не включает (не выводит) её по умолчанию. Мы должны явно включить эту функциональность для нашей структуры. Чтобы это сделать, добавляем внешний атрибут `#[derive(Debug)]` сразу перед определением структуры, как показано в листинге 5-12.

Файл: `src/main.rs`

```
#[derive(Debug)]
struct Rectangle {
    width: u32,
    height: u32,
}

fn main() {
    let rect1 = Rectangle {
        width: 30,
        height: 50,
    };

    println!("rect1 is {rect1:?}");
}
```

Листинг 5-12: добавление атрибута для вывода типажа `Debug` и печати экземпляра `Rectangle` с отладочным форматированием

Теперь при запуске программы мы не получим ошибок и увидим следующий вывод:

```
$ cargo run
Compiling rectangles v0.1.0 (file:///projects/rectangles)
  Finished `dev` profile [unoptimized + debuginfo] target(s) in 0.48s
    Running `target/debug/rectangles`
rect1 is Rectangle { width: 30, height: 50 }
```

Отлично! Это не самый красивый вывод, но он показывает значения всех полей экземпляра, которые определённо помогут при отладке. Когда у нас более крупные структуры, то полезно иметь более простой для чтения вывод; в таких случаях можно использовать код `{:#?}` вместо `{:?:}` в строке макроса `println!`. В этом примере использование стиля `{:#?}` приведёт к такому выводу:

```
$ cargo run
Compiling rectangles v0.1.0 (file:///projects/rectangles)
  Finished `dev` profile [unoptimized + debuginfo] target(s) in 0.48s
    Running `target/debug/rectangles`
rect1 is Rectangle {
    width: 30,
    height: 50,
}
```

Другой способ распечатать значение в формате `Debug` — использовать макрос `dbg!`, который становится владельцем выражения (в отличие от `println!`, принимающего ссылку), печатает номер файла и строки, где происходит вызов макроса `dbg!`, вместе с результирующим значением этого выражения и возвращает владение на значение.

Примечание: при вызове макрона `dbg!` выполняется печать в стандартный поток ошибок (`stderr`), в отличие от `println!`, который использует стандартный поток вывода в консоль (`stdout`). Подробнее о `stderr` и `stdout` мы поговорим в разделе «[Запись сообщений об ошибках в стандартный вывод ошибок вместо стандартного вывода](#)» главы 12.

Вот пример, когда нас интересует значение, которое присваивается полю `width`, а также значение всей структуры в `rect1`:

```
#[derive(Debug)]
struct Rectangle {
    width: u32,
    height: u32,
}

fn main() {
    let scale = 2;
    let rect1 = Rectangle {
        width: dbg!(30 * scale),
        height: 50,
    };

    dbg!(&rect1);
}
```

Можем написать макрос `dbg!` вокруг выражения `30 * scale`, потому что `dbg!` возвращает владение значения выражения. Поле `width` получит то же значение, как если бы у нас не было вызова `dbg!`. Мы не хотим, чтобы макрос `dbg!` становился владельцем `rect1`, поэтому используем ссылку на `rect1` в следующем вызове. Вот как выглядит вывод этого примера:

```
$ cargo run
Compiling rectangles v0.1.0 (file:///projects/rectangles)
  Finished `dev` profile [unoptimized + debuginfo] target(s) in 0.61s
    Running `target/debug/rectangles`
[src/main.rs:10:16] 30 * scale = 60
[src/main.rs:14:5] &rect1 = Rectangle {
    width: 60,
    height: 50,
}
```

Мы можем увидеть, что первый отладочный вывод поступил из строки 10 `src/main.rs`, там, где мы отлаживаем выражение `30 * scale`, и его результирующее значение равно 60 (`Debug` форматирование, реализованное для целых чисел, заключается в печати только их значения). Вызов `dbg!` в строке 14 `src/main.rs` выводит значение `&rect1`, которое является структурой `Rectangle`. В этом выводе используется красивое форматирование `Debug` типа `Rectangle`. Макрос `dbg!` может быть очень полезен, когда вы пытаетесь понять, что делает ваш код!

В дополнение к `Debug`, Rust предоставил нам ряд типажей, которые мы можем использовать с атрибутом `derive` для добавления полезного поведения к нашим пользовательским типам. Эти типажи и их поведение перечислены в [приложении C](#). Мы расскажем, как реализовать эти

трейты с пользовательским поведением, а также как создать свои собственные трейты в главе 10. Кроме того, есть много других атрибутов помимо `derive`; для получения дополнительной информациисмотрите раздел “Атрибуты” справочника Rust.

Функция `area` является довольно специфичной: она считает только площадь прямоугольников. Было бы полезно привязать данное поведение как можно ближе к структуре `Rectangle`, потому что наш специфичный код не будет работать с любым другим типом. Давайте рассмотрим, как можно улучшить наш код превращая функцию `area` в метод `area`, определённый для типа `Rectangle`.

Синтаксис метода

Методы похожи на функции: мы объявляем их с помощью ключевого слова `fn` и имени, они могут иметь параметры и возвращаемое значение, и они содержат код, запускающийся в случае вызова метода. В отличие от функций, методы определяются в контексте структуры (или объекта перечисления или типажа, которые мы рассмотрим в главе 6) и главе 17 соответственно), а их первым параметром всегда является `self`, представляющий собой экземпляр структуры, с которой вызывается этот метод.

Определение методов

Давайте изменим функцию `area` так, чтобы она имела экземпляр `Rectangle` в качестве входного параметра и сделаем её методом `area`, определённым для структуры `Rectangle`, как показано в листинге 5-13:

Файл: src/main.rs

```
#[derive(Debug)]
struct Rectangle {
    width: u32,
    height: u32,
}

impl Rectangle {
    fn area(&self) -> u32 {
        self.width * self.height
    }
}

fn main() {
    let rect1 = Rectangle {
        width: 30,
        height: 50,
    };

    println!(
        "The area of the rectangle is {} square pixels.",
        rect1.area()
    );
}
```

Листинг 5-13: Определение метода `area` для структуры `Rectangle`

Чтобы определить функцию в контексте `Rectangle`, мы создаём блок `impl` (implementation - реализация) для `Rectangle`. Всё в `impl` будет связано с типом `Rectangle`. Затем мы перемещаем функцию `area` внутрь фигурных скобок `impl` и меняем первый (и в данном случае единственный) параметр на `self` в сигнатуре и в теле. В `main`, где мы вызвали функцию `area` и передали `rect1` в качестве аргумента, теперь мы можем использовать

синтаксис метода для вызова метода `area` нашего экземпляра `Rectangle`. Синтаксис метода идёт после экземпляра: мы добавляем точку, за которой следует имя метода, круглые скобки и любые аргументы.

В сигнатуре `area` мы используем `&self` вместо `rectangle: &Rectangle`. `&self` на самом деле является сокращением от `self: &Self`. Внутри блока `impl` тип `Self` является псевдонимом типа, для которого реализован блок `impl`. Методы обязаны иметь параметр с именем `self` типа `Self`, поэтому Rust позволяет вам сокращать его, используя только имя `self` на месте первого параметра. Обратите внимание, что нам по-прежнему нужно использовать `&` перед сокращением `self`, чтобы указать на то, что этот метод заимствует экземпляр `Self`, точно также, как мы делали это в `rectangle: &Rectangle`. Как и любой другой параметр, методы могут брать во владение `self`, заимствовать неизменяемый `self`, как мы поступили в данном случае, или заимствовать изменяемый `self`.

Мы выбрали `&self` здесь по той же причине, по которой использовали `&Rectangle` в версии кода с функцией: мы не хотим брать структуру во владение, мы просто хотим прочитать данные в структуре, а не писать в неё. Если бы мы хотели изменить экземпляр, на котором мы вызывали метод силами самого метода, то мы бы использовали `&mut self` в качестве первого параметра. Наличие метода, который берёт экземпляр во владение, используя только `self` в качестве первого параметра, является редким; эта техника обычно используется, когда метод превращает `self` во что-то ещё, и вы хотите запретить вызывающей стороне использовать исходный экземпляр после превращения.

Основная причина использования методов вместо функций, помимо синтаксиса метода, где нет необходимости повторять тип `self` в сигнатуре каждого метода, заключается в организации кода. Мы поместили все, что мы можем сделать с экземпляром типа, в один `impl` вместо того, чтобы заставлять будущих пользователей нашего кода искать доступный функционал `Rectangle` в разных местах предоставляемой нами библиотеки.

Обратите внимание, что мы можем дать методу то же имя, что и одному из полей структуры. Например, для `Rectangle` мы можем определить метод, также названный `width`:

Файл: `src/main.rs`

```
impl Rectangle {
    fn width(&self) -> bool {
        self.width > 0
    }
}

fn main() {
    let rect1 = Rectangle {
        width: 30,
        height: 50,
    };

    if rect1.width() {
        println!("The rectangle has a nonzero width; it is {}", rect1.width());
    }
}
```

Здесь мы определили, чтобы метод `width` возвращал значение `true`, если значение в поле `width` экземпляра больше `0`, и значение `false`, если значение равно `0`, но мы можем использовать поле в методе с тем же именем для любых целей. В `main`, когда мы ставим после `rect1.width` круглые скобки, Rust знает, что мы имеем в виду метод `width`. Когда мы не используем круглые скобки, Rust понимает, что мы имеем в виду поле `width`.

Часто, но не всегда, когда мы создаём методы с тем же именем, что и у поля, мы хотим, чтобы он только возвращал значение одноимённого поля и больше ничего не делал. Подобные методы называются *геттерами*, и Rust не реализует их автоматически для полей структуры, как это делают некоторые другие языки. Геттеры полезны, поскольку вы можете сделать поле приватным, а метод публичным и, таким образом, включить доступ только для чтения к этому полю как часть общедоступного API типа. Мы обсудим, что такое публичность и приватность, и как обозначить поле или метод в качестве публичного или приватного в [главе 7](#).

Где используется оператор `->`?

В языках C и C++, используются два различных оператора для вызова методов: используется `.`, если вызывается метод непосредственно у экземпляра структуры и используется `->`, если вызывается метод для указателя на объект. Другими словами, если `object` является указателем, то вызовы метода `object->something()` и `(*object).something()` являются аналогичными.

Rust не имеет эквивалента оператора `->`, наоборот, в Rust есть функциональность называемая *автоматическое обращение по ссылке и разыменование* (automatic referencing and dereferencing). Вызов методов является одним из немногих мест в Rust, в котором есть такое поведение.

Вот как это работает: когда вы вызываете метод `object.something()`, Rust автоматически добавляет `&`, `&mut` или `*`, таким образом, чтобы `object` соответствовал сигнатуре метода. Другими словами, это то же самое:

```
p1.distance(&p2);
(&p1).distance(&p2);
```

Первый пример выглядит намного понятнее. Автоматический вывод ссылки работает потому, что методы имеют понятного получателя - тип `self`. Учитывая получателя и имя метода, Rust может точно определить, что в данном случае делает код: читает ли метод `(&self)`, делает ли изменение `(&mut self)` или поглощает `(self)`. Тот факт, что Rust делает заимствование неявным для принимающего метода, в значительной степени способствует тому, чтобы сделать владение эргономичным на практике.

Методы с несколькими параметрами

Давайте попрактикуемся в использовании методов, реализовав второй метод в структуре `Rectangle`. На этот раз мы хотим, чтобы экземпляр `Rectangle` брал другой экземпляр `Rectangle` и возвращал `true`, если второй `Rectangle` может полностью поместиться внутри `self` (первый `Rectangle`); в противном случае он должен вернуть `false`. То есть, как только мы определим метод `can_hold`, мы хотим иметь возможность написать программу, показанную в Листинге 5-14.

Файл: `src/main.rs`

```
fn main() {
    let rect1 = Rectangle {
        width: 30,
        height: 50,
    };
    let rect2 = Rectangle {
        width: 10,
        height: 40,
    };
    let rect3 = Rectangle {
        width: 60,
        height: 45,
    };

    println!("Can rect1 hold rect2? {}", rect1.can_hold(&rect2));
    println!("Can rect1 hold rect3? {}", rect1.can_hold(&rect3));
}
```

Листинг 5-14: Использование ещё не написанного метода `can_hold`

Ожидаемый результат будет выглядеть следующим образом, т.к. оба размера в экземпляре `rect2` меньше, чем размеры в экземпляре `rect1`, а `rect3` шире, чем `rect1`:

```
Can rect1 hold rect2? true
Can rect1 hold rect3? false
```

Мы знаем, что хотим определить метод, поэтому он будет находиться в `impl Rectangle` блоке. Имя метода будет `can_hold`, и оно будет принимать неизменяемое заимствование на другой `Rectangle` в качестве параметра. Мы можем сказать, какой это будет тип параметра, посмотрев на код вызывающего метода: метод `rect1.can_hold(&rect2)` передаёт в него `&rect2`, который является неизменяемым заимствованием экземпляра `rect2` типа `Rectangle`. В этом есть смысл, потому что нам нужно только читать `rect2` (а не писать, что означало бы, что нужно изменяемое заимствование), и мы хотим, чтобы `main` сохранил право собственности на экземпляр `rect2`, чтобы мы могли использовать его снова после вызова метода `can_hold`. Возвращаемое значение `can_hold` имеет булевый тип, а реализация проверяет, являются ли ширина и высота `self` больше, чем ширина и высота другого `Rectangle` соответственно. Давайте добавим новый метод `can_hold` в `impl` блок из листинга 5-13, как показано в листинге 5-15.

Файл: `src/main.rs`

```
impl Rectangle {
    fn area(&self) -> u32 {
        self.width * self.height
    }

    fn can_hold(&self, other: &Rectangle) -> bool {
        self.width > other.width && self.height > other.height
    }
}
```

Листинг 5-15: Реализация метода `can_hold` для `Rectangle`, принимающего другой экземпляр `Rectangle` в качестве параметра

Когда мы запустим код с функцией `main` листинга 5-14, мы получим желаемый вывод. Методы могут принимать несколько параметров, которые мы добавляем в сигнатуру после первого параметра `self`, и эти параметры работают так же, как параметры в функциях.

Ассоциированные функции

Все функции, определённые в блоке `impl`, называются *ассоциированными функциями*, потому что они ассоциированы с типом, указанным после ключевого слова `impl`. Мы можем определить ассоциированные функции, которые не имеют `self` в качестве первого параметра (и, следовательно, не являются методами), потому что им не нужен экземпляр типа для работы. Мы уже использовали одну подобную функцию: функцию `String::from`, определённую для типа `String`.

Ассоциированные функции, не являющиеся методами, часто используются для конструкторов, возвращающих новый экземпляр структуры. Их часто называют `new`, но `new` не является специальным именем и не встроена в язык. Например, мы можем предоставить ассоциированную функцию с именем `square`, которая будет иметь один параметр размера и использовать его как ширину и высоту, что упростит создание квадратного `Rectangle`, вместо того, чтобы указывать одно и то же значение дважды:

Файл: src/main.rs

```
impl Rectangle {
    fn square(size: u32) -> Self {
        Self {
            width: size,
            height: size,
        }
    }
}
```

Ключевые слова `Self` в возвращаемом типе и в теле функции являются псевдонимами для типа, указанного после ключевого слова `impl`, которым в данном случае является `Rectangle`.

Чтобы вызвать эту связанную функцию, используется синтаксис `::` с именем структуры; например `let sq = Rectangle::square(3);`. Эта функция находится в пространстве имён

структуры. Синтаксис `::` используется как для связанных функций, так и для пространств имён, созданных модулями. Мы обсудим модули в [главе 7](#).

Несколько блоков `impl`

Каждая структура может иметь несколько `impl`. Например, Листинг 5-15 эквивалентен коду, показанному в листинге 5-16, в котором каждый метод находится в своём собственном блоке `impl`.

```
impl Rectangle {
    fn area(&self) -> u32 {
        self.width * self.height
    }
}

impl Rectangle {
    fn can_hold(&self, other: &Rectangle) -> bool {
        self.width > other.width && self.height > other.height
    }
}
```

Листинг 5-16: Переписанный Листинга 5-15 с использованием нескольких `impl`

Здесь нет причин разделять методы на несколько `impl`, но это допустимый синтаксис. Мы увидим случай, когда несколько `impl` могут оказаться полезными, в Главе 10, рассматривающей обобщённые типы и свойства.

Итоги

Структуры позволяют создавать собственные типы, которые имеют смысл в вашей предметной области. Используя структуры, вы храните ассоциированные друг с другом фрагменты данных и даёте название частям данных, чтобы ваш код был более понятным. Методы позволяют определить поведение, которое имеют экземпляры ваших структур, а ассоциированные функции позволяют привязать функциональность к вашей структуре, не обращаясь к её экземпляру.

Но структуры — не единственный способ создавать собственные типы: давайте обратимся к перечислениям в Rust, чтобы добавить ещё один инструмент в свой арсенал.

Перечисления и сопоставление с образцом

В этой главе мы рассмотрим *перечисления* (*enumerations*), также называемые *enums*. Перечисления позволяют определить тип путём перечисления его возможных вариантов . Сначала мы определим и используем перечисление, чтобы показать, как оно может объединить значения и данные. Далее мы рассмотрим особенно полезное перечисление под названием `Option`, которое выражает, что значение может быть либо чем-то, либо ничем. Затем мы рассмотрим, как сопоставление с образцом в выражении `match` позволяет легко запускать разный код для разных значений перечисления. Наконец, мы узнаем, насколько конструкция `if let` удобна и лаконична для обработки перечислений в вашем коде.

Определение перечисления

Там, где структуры дают вам возможность группировать связанные поля и данные, например `Rectangle` с его `width` и `height`, перечисления дают вам способ сказать, что значение является одним из возможных наборов значений. Например, мы можем захотеть сказать, что `Rectangle` — это одна из множества возможных фигур, в которую также входят `Circle` и `Triangle`. Для этого Rust позволяет нам закодировать эти возможности в виде перечисления.

Давайте рассмотрим ситуацию, которую мы могли бы захотеть отразить в коде, и поймём, почему перечисления полезны и более уместны, чем структуры в этом случае. Допустим, нам нужно работать с IP-адресами. В настоящее время для обозначения IP-адресов используются два основных стандарта: четвёртая и шестая версии. Поскольку это единственны возможные варианты IP-адресов, с которыми может столкнуться наша программа, мы можем *перечислить* все возможные варианты, откуда перечисление и получило своё название.

Любой IP-адрес может быть либо четвёртой, либо шестой версии, но не обеими одновременно. Эта особенность IP-адресов делает структуру данных `enum` подходящей, поскольку значение `enum` может представлять собой только один из его возможных вариантов. Адреса как четвёртой, так и шестой версии по своей сути все равно являются IP-адресами, поэтому их следует рассматривать как один и тот же тип, когда в коде обрабатываются задачи, относящиеся к любому типу IP-адресов.

Можно выразить эту концепцию в коде, определив перечисление `IpAddrKind` и составив список возможных видов IP-адресов, `V4` и `V6`. Вот варианты перечислений:

```
enum IpAddrKind {  
    V4,  
    V6,  
}
```

`IpAddrKind` теперь является пользовательским типом данных, который мы можем использовать в другом месте нашего кода.

Значения перечислений

Экземпляры каждого варианта перечисления `IpAddrKind` можно создать следующим образом:

```
let four = IpAddrKind::V4;  
let six = IpAddrKind::V6;
```

Обратите внимание, что варианты перечисления находятся в пространстве имён вместе с его идентификатором, а для их обособления мы используем двойное двоеточие. Это удобно тем, что теперь оба значения `IpAddrKind::V4` и `IpAddrKind::V6` относятся к одному типу:

`IpAddrKind`. Затем мы можем, например, определить функцию, которая принимает любой из вариантов `IpAddrKind`:

```
fn route(ip_kind: IpAddrKind) {}
```

Можно вызвать эту функцию с любым из вариантов:

```
route(IpAddrKind::V4);  
route(IpAddrKind::V6);
```

Использование перечислений позволяет получить ещё больше преимуществ. Если подумать о нашем типе для IP-адреса, то выяснится, что на данный момент у нас нет возможности хранить собственно сам *IP-адрес*; мы будем знать только его *тип*. Учитывая, что недавно в главе 5 вы узнали о структурах, у вас может возникнуть соблазн решить эту проблему с помощью структур, как показано в листинге 6-1.

```
enum IpAddrKind {  
    V4,  
    V6,  
}  
  
struct IpAddr {  
    kind: IpAddrKind,  
    address: String,  
}  
  
let home = IpAddr {  
    kind: IpAddrKind::V4,  
    address: String::from("127.0.0.1"),  
};  
  
let loopback = IpAddr {  
    kind: IpAddrKind::V6,  
    address: String::from("::1"),  
};
```

Листинг 6-1. Сохранение данных и `IpAddrKind` IP-адреса с использованием `struct`

Здесь мы определили структуру `IpAddr`, у которой есть два поля: `kind` типа `IpAddrKind` (перечисление, которое мы определили ранее) и `address` типа `String`. У нас есть два экземпляра этой структуры. Первый - `home`, который является `IpAddrKind::V4` в качестве значения `kind` с соответствующим адресом `127.0.0.1`. Второй экземпляр - `loopback`. Он в качестве значения `kind` имеет другой вариант `IpAddrKind`, `V6`, и с ним ассоциирован адрес `::1`. Мы использовали структуру для объединения значений `kind` и `address` вместе, таким образом тип формата адреса теперь ассоциирован со значением.

Однако представление этой же концепции с помощью перечисления более лаконично: вместо того, чтобы помещать перечисление в структуру, мы можем поместить данные непосредственно в любой из вариантов перечисления. Это новое определение перечисления `IpAddr` гласит, что оба варианта `V4` и `V6` будут иметь соответствующие значения `String`:

```
enum IpAddr {
    V4(String),
    V6(String),
}

let home = IpAddr::V4(String::from("127.0.0.1"));

let loopback = IpAddr::V6(String::from("::1"));
```

Мы прикрепляем данные к каждому варианту перечисления напрямую, поэтому нет необходимости в дополнительной структуре. Здесь также легче увидеть ещё одну деталь того, как работают перечисления: имя каждого варианта перечисления, который мы определяем, также становится функцией, которая создаёт экземпляр перечисления. То есть `IpAddr::V4()` - это вызов функции, который принимает `String` и возвращает экземпляр типа `IpAddr`. Мы автоматически получаем эту функцию-конструктор, определяемую в результате определения перечисления.

Ещё одно преимущество использования перечисления вместо структуры заключается в том, что каждый вариант перечисления может иметь разное количество ассоциированных данных представленных в разных типах. Версия 4 для IP адресов всегда будет содержать четыре цифровых компонента, которые будут иметь значения между 0 и 255. При необходимости сохранить адреса типа `V4` как четыре значения типа `u8`, а также описать адреса типа `V6` как единственное значение типа `String`, мы не смогли бы с помощью структуры. Перечисления решают эту задачу легко:

```
enum IpAddr {
    V4(u8, u8, u8, u8),
    V6(String),
}

let home = IpAddr::V4(127, 0, 0, 1);

let loopback = IpAddr::V6(String::from("::1"));
```

Мы показали несколько различных способов определения структур данных для хранения IP-адресов четвёртой и шестой версий. Однако, как оказалось, желание хранить IP-адреса и указывать их тип настолько распространено, что в стандартной библиотеке есть определение, которое мы можем использовать! Давайте посмотрим, как стандартная библиотека определяет `IpAddr`: в ней есть точно такое же перечисление с вариантами, которое мы определили и использовали, но она помещает данные об адресе внутрь этих вариантов в виде двух различных структур, которые имеют различные определения для каждого из вариантов:

```
struct Ipv4Addr {  
    // --snip--  
}  
  
struct Ipv6Addr {  
    // --snip--  
}  
  
enum IpAddr {  
    V4(Ipv4Addr),  
    V6(Ipv6Addr),  
}
```

Этот код иллюстрирует что мы можем добавлять любой тип данных в значение перечисления: строку, число, структуру и пр. Вы даже можете включить в перечисление другие перечисления! Стандартные типы данных не очень сложны, хотя, потенциально, могут быть очень сложными (вложенность данных может быть очень глубокой).

Обратите внимание, что хотя определение перечисления `IpAddr` есть в стандартной библиотеке, мы смогли объявлять и использовать свою собственную реализацию с аналогичным названием без каких-либо конфликтов, потому что мы не добавили определение стандартной библиотеки в область видимости кода. Подробнее об этом поговорим в Главе 7.

Рассмотрим другой пример перечисления в листинге 6-2: в этом примере каждый элемент перечисления имеет свой особый тип данных внутри:

```
enum Message {  
    Quit,  
    Move { x: i32, y: i32 },  
    Write(String),  
    ChangeColor(i32, i32, i32),  
}
```

Листинг 6-2. Перечисление `Message`, в каждом из вариантов которого хранятся разные количества и типы значений.

Это перечисление имеет 4 элемента:

- `Quit` - пустой элемент без ассоциированных данных,
- `Move` имеет именованные поля, как и структура.
- `Write` - элемент с единственной строкой типа `String`,
- `ChangeColor` - кортеж из трёх значений типа `i32`.

Определение перечисления с вариантами, такими как в листинге 6-2, похоже на определение значений различных типов внутри структур, за исключением того, что перечисление не использует ключевое слово `struct` и все варианты сгруппированы внутри типа `Message`. Следующие структуры могут содержать те же данные, что и предыдущие варианты перечислений:

```
struct QuitMessage; // unit struct
struct MoveMessage {
    x: i32,
    y: i32,
}
struct WriteMessage(String); // tuple struct
struct ChangeColorMessage(i32, i32, i32); // tuple struct
```

Но когда мы использовали различные структуры, каждая из которых имеет свои собственные типы, мы не могли легко определять функции, которые принимают любые типы сообщений, как это можно сделать с помощью перечисления типа `Message`, объявленного в листинге 6-2, который является единым типом.

Есть ещё одно сходство между перечислениями и структурами: так же, как мы можем определять методы для структур с помощью `impl` блока, мы можем определять и методы для перечисления. Вот пример метода с именем `call`, который мы могли бы определить в нашем перечислении `Message`:

```
impl Message {
    fn call(&self) {
        // method body would be defined here
    }
}

let m = Message::Write(String::from("hello"));
m.call();
```

В теле метода будет использоваться `self` для получения значение того объекта, у которого мы вызвали этот метод. В этом примере мы создали переменную `m`, содержащую значение `Message::Write(String::from("hello"))`, и именно это значение будет представлять `self` в теле метода `call` при выполнении `m.call()`.

Теперь посмотрим на другое наиболее часто используемое перечисление из стандартной библиотеки, которое является очень распространённым и полезным: `Option`.

Перечисление `Option` и его преимущества перед Null-значениями

В этом разделе рассматривается пример использования `Option`, ещё одного перечисления, определённого в стандартной библиотеке. Тип `Option` кодирует очень распространённый сценарий, в котором значение может быть чем-то, а может быть ничем.

Например, если вы запросите первый элемент из непустого списка, вы получите значение. Если вы запросите первый элемент пустого списка, вы ничего не получите. Выражение этой концепции в терминах системы типов означает, что компилятор может проверить, обработали ли вы все случаи, которые должны были обработать; эта функциональность может предотвратить ошибки, которые чрезвычайно распространены в других языках программирования.

Дизайн языка программирования часто рассматривается с точки зрения того, какие функции вы включаете в него, но те функции, которые вы исключаете, также важны. Например в Rust нет такого функционала как null значения, однако он есть во многих других языках. *Null значение* - это значение, которое означает, что значения нет. В языках с null значением переменные всегда могут находиться в одном из двух состояний: *нет значения (null)* или *есть значение (not-null)*.

В своей презентации 2009 года «Null ссылки: ошибка в миллиард долларов» Тони Хоар (Tony Hoare), изобретатель null, сказал следующее:

Я называю это своей ошибкой на миллиард долларов. В то время я разрабатывал первую комплексную систему типов для ссылок на объектно-ориентированном языке. Моя цель состояла в том, чтобы гарантировать, что любое использование ссылок должно быть абсолютно безопасным, с автоматической проверкой компилятором. Но я не мог устоять перед соблазном вставить пустую ссылку просто потому, что это было так легко реализовать. Это привело к бесчисленным ошибкам, уязвимостям и системным сбоям, которые, вероятно, причинили боль и ущерб на миллиард долларов за последние сорок лет.

Проблема с null значениями заключается в том, что если вы попытаетесь использовать null значение в качестве not-null значения, вы получите ошибку определённого рода. Поскольку свойство null или not-null распространено повсеместно, сделать такую ошибку очень просто.

Тем не менее, концепция, которую null пытается выразить, является полезной: null - это значение, которое в настоящее время по какой-то причине недействительно или отсутствует.

Проблема на самом деле не в концепции, а в конкретной реализации. Таким образом, в Rust нет значений null, но есть перечисление, которое может закодировать концепцию присутствия или отсутствия значения. Это перечисление `Option<T>`, и оно определено стандартной библиотекой следующим образом:

```
enum Option<T> {  
    None,  
    Some(T),  
}
```

Перечисление `Option<T>` настолько полезно, что оно даже включено в прелюдию; вам не нужно явно вводить его в область видимости. Его варианты также включены в прелюдию: вы можете использовать `Some` и `None` напрямую, без префикса `Option::`. При всём при этом, `Option<T>` является обычным перечислением, а `Some(T)` и `None` представляют собой его варианты.

`<T>` - это особенность Rust, о которой мы ещё не говорили. Это параметр обобщённого типа, и мы рассмотрим его более подробно в главе 10. На данный момент всё, что вам нужно знать, это то, что `<T>` означает, что вариант `Some` `Option` может содержать один фрагмент данных любого типа, и что каждый конкретный тип, который используется вместо `T` делает общий

`Option<T>` другим типом. Вот несколько примеров использования `Option` для хранения числовых и строковых типов:

```
let some_number = Some(5);
let some_char = Some('e');

let absent_number: Option<i32> = None;
```

Тип `some_number` - `Option<i32>`. Тип `some_char` - `Option<char>`, это другой тип. Rust может вывести эти типы, потому что мы указали значение внутри варианта `Some`. Для `absent_number` Rust требует, чтобы мы аннотировали общий тип для `Option`: компилятор не может вывести тип, который будет в `Some`, глядя только на значение `None`. Здесь мы сообщаем Rust, что `absent_number` должен иметь тип `Option<i32>`.

Когда есть значение `Some`, мы знаем, что значение присутствует и содержится внутри `Some`. Когда есть значение `None`, это означает то же самое, что и null в некотором смысле: у нас нет действительного значения. Так почему наличие `Option<T>` лучше, чем null?

Вкратце, поскольку `Option<T>` и `T` (где `T` может быть любым типом) относятся к разным типам, компилятор не позволит нам использовать значение `Option<T>` даже если бы оно было определено допустимым значением. Например, этот код не будет компилироваться, потому что он пытается добавить `i8` к значению типа `Option<i8>`:

```
let x: i8 = 5;
let y: Option<i8> = Some(5);

let sum = x + y;
```



Если мы запустим этот код, то получим такое сообщение об ошибке:

```
$ cargo run
Compiling enums v0.1.0 (file:///projects/enums)
error[E0277]: cannot add `Option<i8>` to `i8`
--> src/main.rs:5:17
   |
5 |     let sum = x + y;
   |             ^ no implementation for `i8 + Option<i8>`
   |
= help: the trait `Add<Option<i8>>` is not implemented for `i8`
= help: the following other types implement trait `Add<Rhs>`:
      <&'a i8 as Add<i8>>
      <&i8 as Add<&i8>>
      <i8 as Add<&i8>>
      <i8 as Add>

For more information about this error, try `rustc --explain E0277`.
error: could not compile `enums` (bin "enums") due to 1 previous error
```

Сильно! Фактически, это сообщение об ошибке означает, что Rust не понимает, как сложить `i8` и `Option<i8>`, потому что это разные типы. Когда у нас есть значение типа наподобие `i8`, компилятор гарантирует, что у нас всегда есть допустимое значение типа. Мы можем уверенно продолжать работу, не проверяя его на null перед использованием. Однако, когда у

нас есть значение типа `Option<T>` (где `T` - это любое значение любого типа `T`, упакованное в `Option`, например значение типа `i8` или `String`), мы должны беспокоиться о том, что значение типа `T` возможно не имеет значения (является вариантом `None`), и компилятор позаботится о том, чтобы мы обработали такой случай, прежде чем мы бы попытались использовать `None` значение.

Другими словами, вы должны преобразовать `Option<T>` в `T` прежде чем вы сможете выполнять операции с этим `T`. Как правило, это помогает выявить одну из наиболее распространённых проблем с `null`: предполагая, что что-то не равно `null`, когда оно на самом деле равно `null`.

Устранение риска ошибочного предположения касательно не-`null` значения помогает вам быть более уверенными в своём коде. Чтобы иметь значение, которое может быть `null`, вы должны явно описать тип этого значения с помощью `Option<T>`. Затем, когда вы используете это значение, вы обязаны явно обрабатывать случай, когда значение равно `null`. Везде, где значение имеет тип, отличный от `Option<T>`, вы можете смело рассчитывать на то, что значение не равно `null`. Это продуманное проектное решение в Rust, ограничивающее распространение `null` и увеличивающее безопасность кода на Rust.

Итак, как же получить значение `T` из варианта `Some`, если у вас на руках есть только объект `Option<T>`, и как можно его, вообще, использовать? Перечисление `Option<T>` имеет большое количество методов, полезных в различных ситуациях; вы можете ознакомиться с ними в его документации. Знакомство с методами перечисления `Option<T>` будет чрезвычайно полезным в вашем путешествии с Rust.

В общем случае, чтобы использовать значение `Option<T>`, нужен код, который будет обрабатывать все варианты перечисления `Option<T>`. Вам понадобится некоторый код, который будет работать только тогда, когда у вас есть значение `Some(T)`, и этому коду разрешено использовать внутри `T`. Также вам понадобится другой код, который будет работать, если у вас есть значение `None`, и у этого кода не будет доступного значения `T`. Выражение `match` — это конструкция управления потоком выполнения программы, которая делает именно это при работе с перечислениями: она запускает разный код в зависимости от того, какой вариант перечисления имеется, и этот код может использовать данные, находящиеся внутри совпадшего варианта.

Управляющая конструкция `match`

В Rust есть чрезвычайно мощный механизм управления потоком, именуемый `match`, который позволяет сравнивать значение с различными шаблонами и затем выполнять код в зависимости от того, какой из шаблонов совпал. Шаблоны могут состоять из литеральных значений, имён переменных, подстановочных знаков и многое другое; в главе 18 рассматриваются все различные виды шаблонов и то, что они делают. Сила `match` заключается в выразительности шаблонов и в том, что компилятор проверяет, что все возможные случаи обработаны.

Думайте о выражении `match` как о машине для сортировки монет: монеты скользят по дорожке с различными по размеру отверстиями, и каждая монета падает через первое попавшееся отверстие, в которое она поместились. Таким же образом значения проходят через каждый шаблон в `match`, и при первом же "подходящем" шаблоне значение попадает в соответствующий блок кода, который будет использоваться во время выполнения.

Говоря о монетах, давайте используем их в качестве примера, используя `match`! Для этого мы напишем функцию, которая будет получать на вход неизвестную монету Соединённых Штатов и, подобно счётной машине, определять, какая это монета, и возвращать её стоимость в центах, как показано в листинге 6-3.

```
enum Coin {
    Penny,
    Nickel,
    Dime,
    Quarter,
}

fn value_in_cents(coin: Coin) -> u8 {
    match coin {
        Coin::Penny => 1,
        Coin::Nickel => 5,
        Coin::Dime => 10,
        Coin::Quarter => 25,
    }
}
```

Листинг 6-3: Перечисление и выражение `match`, использующее в качестве шаблонов его варианты

Давайте разберём `match` в функции `value_in_cents`. Сначала пишется ключевое слово `match`, затем следует выражение, которое в данном случае является значением `coin`. Это выглядит очень похоже на условное выражение, используемое в `if`, но есть большая разница: с `if` выражение должно возвращать булево значение, а здесь это может быть любой тип. Тип `coin` в этом примере — перечисление типа `Coin`, объявленное в строке 1.

Далее идут ветки `match`. Ветки состоят из двух частей: шаблон и некоторый код. Здесь первая ветка имеет шаблон, который является значением `Coin::Penny`, затем идёт оператор `=>`,

который разделяет шаблон и код для выполнения. Код в этом случае - это просто значение 1. Каждая ветка отделяется от последующей при помощи запятой.

Когда выполняется выражение `match`, оно сравнивает полученное значение с образцом каждого ответвления по порядку. Если образец совпадает со значением, то выполняется код, связанный с этим образцом. Если этот образец не соответствует значению, то выполнение продолжается со следующей ветки, так же, как в автомате по сортировке монет. У нас может быть столько ответвлений, сколько нужно: в листинге 6-3 наш `match` состоит из четырёх ответвлений.

Код, связанный с каждым ответвлением, является выражением, а полученное значение выражения в соответствующем ответвлении — это значение, которое возвращается для всего выражения `match`.

Обычно фигурные скобки не используются, если код совпадающей ветви невелик, как в листинге 6-3, где каждая ветвь просто возвращает значение. Если вы хотите выполнить несколько строк кода в одной ветви, вы должны использовать фигурные скобки, а запятая после этой ветви необязательна. Например, следующий код печатает "Lucky penny!" каждый раз, когда метод вызывается с `Coin::Penny`, но при этом он возвращает последнее значение блока - 1:

```
fn value_in_cents(coin: Coin) -> u8 {
    match coin {
        Coin::Penny => {
            println!("Lucky penny!");
            1
        }
        Coin::Nickel => 5,
        Coin::Dime => 10,
        Coin::Quarter => 25,
    }
}
```

Образцы, привязывающие значения

Есть ещё одно полезное качество у веток в выражении `match`: они могут привязываться к частям тех значений, которые совпали с шаблоном. Благодаря этому можно извлекать значения из вариантов перечисления.

В качестве примера, давайте изменим один из вариантов перечисления так, чтобы он хранил в себе данные. С 1999 по 2008 год Соединённые Штаты чеканили 25 центов с различным дизайном на одной стороне для каждого из 50 штатов. Ни одна другая монета не получила дизайна штата, только четверть доллара имела эту дополнительную особенность. Мы можем добавить эту информацию в наш `enum` путём изменения варианта `Quarter` и включить в него значение `UsState`, как сделано в листинге 6-4.

```

#[derive(Debug)] // so we can inspect the state in a minute
enum UsState {
    Alabama,
    Alaska,
    // --snip--
}

enum Coin {
    Penny,
    Nickel,
    Dime,
    Quarter(UsState),
}

```

Листинг 6-4: Перечисление `Coin`, в котором вариант `Quarter` также сохраняет значение `UsState`

Представьте, что ваш друг пытается собрать четвертаки всех 50 штатов. Сортируя монеты по типу, мы также будем сообщать название штата, к которому относится каждый четвертак, чтобы, если у нашего друга нет такой монеты, он мог добавить её в свою коллекцию.

В выражении `match` для этого кода мы добавляем переменную с именем `state` в шаблон, который соответствует значениям варианта `Coin::Quarter`. Когда `Coin::Quarter` совпадёт с шаблоном, переменная `state` будет привязана к значению штата этого четвертака. Затем мы сможем использовать `state` в коде этой ветки, вот так:

```

fn value_in_cents(coin: Coin) -> u8 {
    match coin {
        Coin::Penny => 1,
        Coin::Nickel => 5,
        Coin::Dime => 10,
        Coin::Quarter(state) => {
            println!("State quarter from {state}!");
            25
        }
    }
}

```

Если мы сделаем вызов функции `value_in_cents(Coin::Quarter(UsState::Alaska))`, то `coin` будет иметь значение `Coin::Quarter(UsState::Alaska)`. Когда мы будем сравнивать это значение с каждой из веток, ни одна из них не будет совпадать, пока мы не достигнем варианта `Coin::Quarter(state)`. В этот момент `state` привязывается к значению `UsState::Alaska`. Затем мы сможем использовать эту привязку в выражении `println!`, получив таким образом внутреннее значение варианта `Quarter` перечисления `Coin`.

Сопоставление шаблона для `Option<T>`

В предыдущем разделе мы хотели получить внутреннее значение `T` для случая `Some` при использовании `Option<T>`; мы можем обработать тип `Option<T>` используя `match`, как уже делали с перечислением `Coin`! Вместо сравнения монет мы будем сравнивать варианты

`Option<T>`, независимо от этого изменения механизм работы выражения `match` останется прежним.

Допустим, мы хотим написать функцию, которая принимает `Option<i32>` и если есть значение внутри, то добавляет 1 к существующему значению. Если значения нет, то функция должна возвращать значение `None` и не пытаться выполнить какие-либо операции.

Такую функцию довольно легко написать благодаря выражению `match`, код будет выглядеть как в листинге 6-5.

```
fn plus_one(x: Option<i32>) -> Option<i32> {
    match x {
        None => None,
        Some(i) => Some(i + 1),
    }
}

let five = Some(5);
let six = plus_one(five);
let none = plus_one(None);
```

Листинг 6-5: Функция, использующая выражение `match` для `Option<i32>`

Давайте более подробно рассмотрим первое выполнение `plus_one`. Когда мы вызываем `plus_one(five)`, переменная `x` в теле `plus_one` будет иметь значение `Some(5)`. Затем мы сравниваем это значение с каждой ветвью сопоставления:

```
None => None,
```

Значение `Some(5)` не соответствует образцу `None`, поэтому мы продолжаем со следующим ответвлением:

```
Some(i) => Some(i + 1),
```

Совпадает ли `Some(5)` с образцом `Some(i)`? Да, это так! У нас такой же вариант. Тогда переменная `i` привязывается к значению, содержащемуся внутри `Some`, поэтому `i` получает значение `5`. Затем выполняется код ассоциированный для данного ответвления, поэтому мы добавляем 1 к значению `i` и создаём новое значение `Some` со значением `6` внутри.

Теперь давайте рассмотрим второй вызов `plus_one` в листинге 6-5, где `x` является `None`. Мы входим в выражение `match` и сравниваем значение с первым ответвлением:

```
None => None,
```

Оно совпадает! Для данной ветви шаблон (`None`) не подразумевает наличие какого-то значения к которому можно было бы что-то добавить, поэтому программа останавливается и возвращает значение которое находится справа от `=>` - т.е. `None`. Так как шаблон первой ветви совпал, то никакие другие шаблоны веток не сравниваются.

Комбинирование `match` и перечислений полезно во многих ситуациях. Вы часто будете видеть подобную комбинацию в коде на Rust: сделать сопоставление значений перечисления используя `match`, привязать переменную к данным внутри значения, выполнить код на основе привязанных данных. Сначала это может показаться немного сложным, но как только вы привыкнете, то захотите чтобы такая возможность была бы во всех языках. Это неизменно любимый пользователями приём.

Match объемлет все варианты значения

Есть ещё один аспект `match`, который мы должны обсудить: шаблоны должны покрывать все возможные варианты. Рассмотрим эту версию нашей функции `plus_one`, которая содержит ошибку и не компилируется:

```
fn plus_one(x: Option<i32>) -> Option<i32> {
    match x {
        Some(i) => Some(i + 1),
    }
}
```



Мы не обработали вариант `None`, поэтому этот код вызовет дефект в программе. К счастью, Rust знает и умеет ловить такой случай. Если мы попытаемся скомпилировать такой код, мы получим ошибку компиляции:

```
$ cargo run
Compiling enums v0.1.0 (file:///projects/enums)
error[E0004]: non-exhaustive patterns: `None` not covered
--> src/main.rs:3:15
  |
3 |     match x {
  |         ^ pattern `None` not covered
  |
note: `Option<i32>` defined here
--> /rustc/129f3b9964af4d4a709d1383930ade12dfe7c081/library/core/src/option.rs:571:1
::: /rustc/129f3b9964af4d4a709d1383930ade12dfe7c081/library/core/src/option.rs:575:5
  |
  = note: not covered
  = note: the matched value is of type `Option<i32>`
help: ensure that all possible cases are being handled by adding a match arm with a
wildcard pattern or an explicit pattern as shown
  |
4 ~         Some(i) => Some(i + 1),
5 ~         None => todo!(),
  |

For more information about this error, try `rustc --explain E0004`.
error: could not compile `enums` (bin "enums") due to 1 previous error
```

Rust знает, что мы не описали все возможные случаи, и даже знает, какой именно из шаблонов мы упустили! Сопоставления в Rust являются *исчерпывающими*: мы должны покрыть все возможные варианты, чтобы код был корректным. Особенно в случае `Option<T>`, когда Rust не даёт нам забыть обработать явным образом значение `None`, тем самым он

защищает нас от предположения, что у нас есть значение, в то время как у нас может быть и `null`, что делает невозможным совершить ошибку на миллиард долларов, о которой говорилось ранее.

Универсальные шаблоны и заполнитель

Используя перечисления, мы также можем выполнять специальные действия для нескольких определённых значений, а для всех остальных значений выполнять одно действие по умолчанию. Представьте, что мы реализуем игру, в которой при выпадении 3 игрок не двигается, а получает новую модную шляпу. Если выпадает 7, игрок теряет шляпу. При всех остальных значениях ваш игрок перемещается на столько-то мест на игровом поле. Вот `match`, реализующий эту логику, в котором результат броска костей жёстко закодирован, а не является случайным значением, а вся остальная логика представлена функциями без тел, поскольку их реализация не входит в рамки данного примера:

```
let dice_roll = 9;
match dice_roll {
    3 => add_fancy_hat(),
    7 => remove_fancy_hat(),
    other => move_player(other),
}

fn add_fancy_hat() {}
fn remove_fancy_hat() {}
fn move_player(num_spaces: u8) {}
```

Для первых двух веток шаблонами являются литеральные значения 3 и 7. Для последней ветки, которая охватывает все остальные возможные значения, шаблоном является переменная, которую мы решили назвать `other`. Код, выполняемый для ветки `other`, использует эту переменную, передавая её в функцию `move_player`.

Этот код компилируется, даже если мы не перечислили все возможные значения `u8`, потому что последний паттерн будет соответствовать всем значениям, не указанным в конкретном списке. Этот универсальный шаблон удовлетворяет требованию, что соответствие должно быть исчерпывающим. Обратите внимание, что мы должны поместить ветку с универсальным шаблоном последней, потому что шаблоны оцениваются по порядку. Rust предупредит нас, если мы добавим ветки после универсального шаблона, потому что эти последующие ветки никогда не будут выполняться!

В Rust также есть шаблон, который можно использовать, когда мы не хотим использовать значение в универсальном шаблоне: `_`, который является специальным шаблоном, который соответствует любому значению и не привязывается к этому значению. Это говорит Rust, что мы не собираемся использовать это значение, поэтому Rust не будет предупреждать нас о неиспользуемой переменной.

Давайте изменим правила игры так: если выпадает что-то, кроме 3 или 7, нужно бросить ещё раз. Нам не нужно использовать значение в этом случае, поэтому мы можем изменить наш код, чтобы использовать `_` вместо переменной с именем `other`:

```
let dice_roll = 9;
match dice_roll {
    3 => add_fancy_hat(),
    7 => remove_fancy_hat(),
    _ => reroll(),
}

fn add_fancy_hat() {}
fn remove_fancy_hat() {}
fn reroll() {}
```

Этот пример также удовлетворяет требованию исчерпывающей полноты, поскольку мы явно игнорируем все остальные значения в последней ветке; мы ничего не забыли.

Если мы изменим правила игры ещё раз, чтобы в ваш ход не происходило ничего другого, если вы бросаете не 3 или 7, мы можем выразить это, используя единичное значение (пустой тип кортежа, о котором мы упоминали в разделе "Кортежи") в качестве кода, который идёт вместе с веткой `_`:

```
let dice_roll = 9;
match dice_roll {
    3 => add_fancy_hat(),
    7 => remove_fancy_hat(),
    _ => (),
}

fn add_fancy_hat() {}
fn remove_fancy_hat() {}
```

Здесь мы явно говорим Rust, что не собираемся использовать никакое другое значение, которое не соответствует шаблонам в предыдущих ветках, и не хотим запускать никакой код в этом случае.

Подробнее о шаблонах и совпадениях мы поговорим в [Главе 18](#). Пока же мы перейдём к синтаксису `if let`, который может быть полезен в ситуациях, когда выражение `match` слишком многословно.

Компактное управление потоком выполнения с `if let`

Синтаксис `if let` позволяет скомбинировать `if` и `let` в менее многословную конструкцию, и затем обработать значения соответствующие только одному шаблону, одновременно игнорируя все остальные. Рассмотрим программу в листинге 6-6, которая обрабатывает сопоставление значения `Option<u8>` в переменной `config_max`, но хочет выполнить код только в том случае, если значение является вариантом `Some`.

```
let config_max = Some(3u8);
match config_max {
    Some(max) => println!("The maximum is configured to be {max}"),
    _ => (),
}
```

Листинг 6-6. Выражение `match`, которое выполнит код только при значении равном `Some`

Если значение равно `Some`, мы распечатываем значение в варианте `Some`, привязывая значение к переменной `max` в шаблоне. Мы не хотим ничего делать со значением `None`. Чтобы удовлетворить выражение `match`, мы должны добавить `_ => ()` после обработки первой и единственной ветки, и добавление шаблонного кода раздражает.

Вместо этого, мы могли бы написать это более коротким способом, используя `if let`. Следующий код ведёт себя так же, как выражение `match` в листинге 6-6:

```
let config_max = Some(3u8);
if let Some(max) = config_max {
    println!("The maximum is configured to be {max}");
}
```

Синтаксис `if let` принимает шаблон и выражение, разделённые знаком равенства. Он работает так же, как `match`, когда в него на вход передадут выражение и подходящим шаблоном для этого выражения окажется первая ветка. В данном случае шаблоном является `Some(max)`, где `max` привязывается к значению внутри `Some`. Затем мы можем использовать `max` в теле блока `if let` так же, как мы использовали `max` в соответствующей ветке `match`. Код в блоке `if let` не запускается, если значение не соответствует шаблону.

Используя `if let` мы меньше печатаем, меньше делаем отступов и меньше получаем шаблонного кода. Тем не менее, мы теряем полную проверку всех вариантов, предоставляемую выражением `match`. Выбор между `match` и `if let` зависит от того, что вы делаете в вашем конкретном случае и является ли получение краткости при потере полноты проверки компромиссом.

Другими словами, вы можете думать о конструкции `if let` как о *синтаксическом сахаре* для `match`, который выполнит код если входное значение будет соответствовать единственному шаблону, и проигнорирует все остальные значения.

Можно добавлять `else` к `if let`. Блок кода, который находится внутри `else` аналогичен по смыслу блоку кода ветки связанной с шаблоном `_` выражения `match` (которое эквивалентно сборной конструкции `if let` и `else`). Вспомним объявление перечисления `Coin` в листинге 6-4, где вариант `Quarter` также содержит внутри значение штата типа `UsState`. Если бы мы хотели посчитать все монеты не являющиеся четвертьями, а для четвертей печатать название штата, то мы могли бы сделать это с помощью выражения `match` таким образом:

```
let mut count = 0;
match coin {
    Coin::Quarter(state) => println!("State quarter from {state:?}!"),
    _ => count += 1,
}
```

Или мы могли бы использовать выражение `if let` и `else` так:

```
let mut count = 0;
if let Coin::Quarter(state) = coin {
    println!("State quarter from {state:?}!");
} else {
    count += 1;
}
```

Если у вас есть ситуация в которой ваша программа имеет логику которая слишком многословна для того чтобы её выражать используя `match`, помните, о том, что также в вашем наборе инструментов Rust есть `if let`.

Итоги

Мы рассмотрели как использовать перечисления для создания пользовательских типов, которые могут быть одним из наборов перечисляемых значений. Мы показали, как тип `Option<T>` из стандартной библиотеки помогает использовать систему типов для предотвращения ошибок. А когда значения перечисления имеют данные внутри них, можно использовать `match` или `if let`, чтобы извлечь и пользоваться значением, в зависимости от того, сколько случаев нужно обработать.

Теперь ваши программы на Rust могут выражать концепции вашей предметной области, используя структуры и перечисления. Создание и использование пользовательских типов в API обеспечивает *типовую безопасность*: компилятор позаботится о том, чтобы функции получали значения только того типа, который они ожидают.

Чтобы предоставить вашим пользователям хорошо организованный API, который прост в использовании и предоставляет только то, что нужно вашим пользователям, надо поговорить о модулях в Rust.

Управление растущими проектами с помощью пакетов, крейтов и модулей

По мере роста кодовой базы ваших программ, организация проекта будет иметь большое значение, ведь отслеживание всей программы в голове будет становиться всё более сложным. Группируя связанные функции и разделяя код по основным функциональностям (*фичам, feature*), вы делаете более прозрачным понимание о том, где искать код реализующий определённую функцию и где стоит вносить изменения для того чтобы изменить её поведение.

Программы, которые мы писали до сих пор, были в одном файле одного модуля. По мере роста проекта, мы можем организовывать код иначе, разделив его на несколько модулей и несколько файлов. Пакет может содержать несколько бинарных крейтов и опционально один крейт библиотеки. Пакет может включать в себя много бинарных крейтов и опционально один библиотечный крейт. По мере роста пакета вы можете извлекать части программы в отдельные крейты, которые затем станут внешними зависимостями для основного кода нашей программы. Эта глава охватывает все эти техники. В свою очередь для очень крупных проектов, состоящих из набора взаимосвязанных пакетов развивающихся вместе, Cargo предоставляет рабочие пространства, *workspaces*, их мы рассмотрим за пределами данной главы, в разделе "["Рабочие пространства Cargo"](#)" Главы 14.

Мы также обсудим инкапсуляцию деталей, которая позволяет использовать код снова на более высоком уровне: единожды реализовав какую-то операцию, другой код может вызывать этот код через публичный интерфейс, не зная как работает реализация. То, как вы пишете код, определяет какие части общедоступны для использования другим кодом и какие части являются закрытыми деталями реализации для которых вы оставляете право на изменения только за собой. Это ещё один способ ограничить количество деталей, которые вы должны держать в голове.

Связанное понятие - это область видимости: вложенный контекст в котором написан код имеющий набор имён, которые определены «в текущей области видимости». При чтении, письме и компиляции кода, программистам и компиляторам необходимо знать, относится ли конкретное имя в определённом месте к переменной, к функции, к структуре, к перечислению, к модулю, к константе или другому элементу и что означает этот элемент. Можно создавать области видимости и изменять какие имена входят или выходят за их рамки. Нельзя иметь два элемента с тем же именем в одной области; есть доступные инструменты для разрешения конфликтов имён.

Rust имеет ряд функций, которые позволяют управлять организацией кода, в том числе управлять тем какие детали открыты, какие детали являются частными, какие имена есть в каждой области вашей программы. Эти функции иногда вместе именуемые *модульной системой* включают в себя:

- **Пакеты:** Функционал Cargo позволяющий собирать, тестировать и делиться крейтами
- **Крейты:** Дерево модулей, которое создаёт библиотечный или исполняемый файл

- **Модули и use:** Позволяют вместе контролировать организацию, область видимости и скрытие путей
- **Пути:** способ именования элемента, такого как структура, функция или модуль

В этой главе мы рассмотрим все эти функции, обсудим как они взаимодействуют и объясним, как использовать их для управления областью видимости. К концу у вас должно появиться солидное понимание модульной системы и умение работать с областями видимости на уровне профессионала!

Пакеты и крейты

Первые части модульной системы, которые мы рассмотрим — это пакеты и крейты.

Крейт — это наименьший объем кода, который компилятор Rust рассматривает за раз. Даже если вы запустите `rustc` вместо `cargo` и передадите один файл с исходным кодом (как мы уже делали в разделе «Написание и запуск программы на Rust» Главы 1), компилятор считает этот файл крейтом. Крейты могут содержать модули, и модули могут быть определены в других файлах, которые компилируются вместе с крейтом, как мы увидим в следующих разделах.

Крейт может быть одним из двух видов: бинарный крейт или библиотечный крейт. *Бинарные крейты* — это программы, которые вы можете скомпилировать в исполняемые файлы, которые вы можете запускать, например программу командной строки или сервер. У каждого бинарного крейта должна быть функция с именем `main`, которая определяет, что происходит при запуске исполняемого файла. Все крейты, которые мы создали до сих пор, были бинарными крейтами.

Библиотечные крейты не имеют функции `main` и не компилируются в исполняемый файл. Вместо этого они определяют функциональность, предназначенную для совместного использования другими проектами. Например, крейт `rand`, который мы использовали в Главе 2 обеспечивает функциональность, которая генерирует случайные числа. В большинстве случаев, когда Rustaceans говорят «крейт», они имеют в виду библиотечный крейт, и они используют «крейт» взаимозаменяя его с общей концепцией программирования «библиотека».

Корневой модуль крейта — это исходный файл, из которого компилятор Rust начинает собирать корневой модуль вашего крейта (мы подробно объясним модули в разделе «[Определение модулей для контроля видимости и закрытости](#)»).

Пакет — это набор из одного или нескольких крейтов, предоставляющий набор функциональности. Пакет содержит файл `Cargo.toml`, в котором описывается, как собирать эти крейты. На самом деле Cargo — это пакет, содержащий бинарный крейт для инструмента командной строки, который вы использовали для создания своего кода. Пакет Cargo также содержит библиотечный крейт, от которого зависит бинарный крейт. Другие проекты тоже могут зависеть от библиотечного крейта Cargo, чтобы использовать ту же логику, что и инструмент командной строки Cargo.

Пакет может содержать сколько угодно бинарных крейтов, но не более одного библиотечного крейта. Пакет должен содержать хотя бы один крейт, библиотечный или бинарный.

Давайте пройдёмся по тому, что происходит, когда мы создаём пакет. Сначала введём команду `cargo new`:

```
$ cargo new my-project
     Created binary (application) `my-project` package
$ ls my-project
Cargo.toml
src
$ ls my-project/src
main.rs
```

После того, как мы запустили `cargo new`, мы используем `ls`, чтобы увидеть, что создал Cargo. В каталоге проекта есть файл `Cargo.toml`, дающий нам пакет. Также есть каталог `src`, содержащий `main.rs`. Откройте `Cargo.toml` в текстовом редакторе и обратите внимание, что в нём нет упоминаний о `src/main.rs`. Cargo следует соглашению о том, что `src/main.rs` — это корневой модуль бинарного крейта с тем же именем, что и у пакета. Точно так же Cargo знает, что если каталог пакета содержит `src/lib.rs`, пакет содержит библиотечный крейт с тем же именем, что и пакет, а `src/lib.rs` является корневым модулем этого крейта. Cargo передаёт файлы корневого модуля крейта в `rustc` для сборки библиотечного или бинарного крейта.

Здесь у нас есть пакет, который содержит только `src/main.rs`, что означает, что он содержит только бинарный крейт с именем `my-project`. Если пакет содержит `src/main.rs` и `src/lib.rs`, он имеет два крейта: бинарный и библиотечный, оба с тем же именем, что и пакет. Пакет может иметь несколько бинарных крейтов, помещая их файлы в каталог `src/bin`: каждый файл будет отдельным бинарным крейтом.

Определение модулей для контроля видимости и закрытости

В этом разделе мы поговорим о модулях и других частях системы модулей, а именно: *путях* (paths), которые позволяют именовать элементы; ключевом слове `use`, которое приносит путь в область видимости; ключевом слове `pub`, которое делает элементы общедоступными. Мы также обсудим ключевое слово `as`, внешние пакеты и оператор `glob`. А пока давайте сосредоточимся на модулях!

Во-первых, мы начнём со списка правил, чтобы вам было легче ориентироваться при организации кода в будущем. Затем мы подробно объясним каждое из правил.

Шпаргалка по модулям

Здесь мы даём краткий обзор того, как модули, пути, ключевое слово `use` и ключевое слово `pub` работают в компиляторе и как большинство разработчиков организуют свой код. В этой главе мы рассмотрим примеры каждого из этих правил, и это удобный момент чтобы напомнить о том, как работают модули.

- **Начнём с корня крейта:** при компиляции компилятор сначала ищет корневой модуль крейта (обычно это `src/lib.rs` для библиотечного крейта или `src/main.rs` для бинарного крейта) для компиляции кода.
- **Объявление модулей:** В файле корневого модуля крейта вы можете объявить новые модули; скажем, вы объявляете модуль “`garden`” с помощью `mod garden;`. Компилятор будет искать код модуля в следующих местах:
 - в этом же файле, между фигурных скобок, которые заменяют точку с запятой после `mod garden`
 - в файле `src/garden.rs`
 - в файле `src/garden/mod.rs`
- **Объявление подмодулей:** В любом файле, кроме корневого модуля крейта, вы можете объявить подмодули. К примеру, вы можете объявить `mod vegetables;` в `src/garden.rs`. Компилятор будет искать код подмодуля в каталоге с именем родительского модуля в следующих местах:
 - в этом же файле, сразу после `mod vegetables`, между фигурных скобок, которые заменяют точку с запятой
 - в файле `src/garden/vegetables.rs`
 - в файле `src/garden/vegetables/mod.rs`
- **Пути к коду в модулях:** После того, как модуль станет частью вашего крейта и если допускают правила приватности, вы можете ссылаться на код в этом модуле из любого места вашего крейта, используя путь к коду. Например, тип `Asparagus`, в подмодуле `vegetables` модуля `garden`, будет найден по пути `crate::garden::vegetables::Asparagus`.

- **Скрытие или общедоступность:** Код в модуле по умолчанию скрыт от родительского модуля. Чтобы сделать модуль общедоступным, объявит его как `pub mod` вместо `mod`. Чтобы сделать элементы общедоступного модуля тоже общедоступными, используйте `pub` перед их объявлением.
- **Ключевое слово use:** Внутри области видимости использование ключевого слова `use` создаёт псевдонимы для элементов, чтобы уменьшить повторение длинных путей. В любой области видимости, в которой может обращаться к `crate::garden::vegetables::Asparagus`, вы можете создать псевдоним `use crate::garden::vegetables::Asparagus;` и после этого вам нужно просто писать `Asparagus`, чтобы использовать этот тип в этой области видимости.

Мы создали бинарный крейт `backyard`, который иллюстрирует эти правила. Директория крейта, также названная как `backyard`, содержит следующие файлы и директории:

```
backyard
└── Cargo.lock
└── Cargo.toml
└── src
    └── garden
        └── vegetables.rs
    └── garden.rs
    └── main.rs
```

Файл корневого модуля крейта в нашем случае `src/main.rs`, и его содержимое:

Файл: `src/main.rs`

```
use crate::garden::vegetables::Asparagus;

pub mod garden;

fn main() {
    let plant = Asparagus {};
    println!("I'm growing {plant:?}!");
}
```

Строка `pub mod garden;` говорит компилятору о подключении кода, найденном в `src/garden.rs`:

Файл: `src/garden.rs`

```
pub mod vegetables;
```

А здесь `pub mod vegetables;` указывает на подключаемый код в `src/garden/vegetables.rs`. Этот код:

```
#[derive(Debug)]
pub struct Asparagus {}
```

Теперь давайте рассмотрим детали этих правил и продемонстрируем их в действии!

Группировка связанного кода в модулях

Модули позволяют упорядочивать код внутри крейта для удобочитаемости и лёгкого повторного использования. Модули также позволяют нам управлять приватностью элементов, поскольку код внутри модуля по умолчанию является закрытым. Частные элементы — это внутренние детали реализации, недоступные для внешнего использования. Мы можем сделать модули и элементы внутри них общедоступными, что позволит внешнему коду использовать их и зависеть от них.

В качестве примера, давайте напишем библиотечный крейт предоставляющий функциональность ресторана. Мы определим сигнатуры функций, но оставим их тела пустыми, чтобы сосредоточиться на организации кода, вместо реализации кода для ресторана.

В ресторанной индустрии некоторые части ресторана называются *фронтом дома*, а другие *задней частью дома*. Фронт дома это там где находятся клиенты; здесь размещаются места клиентов, официанты принимают заказы и оплаты, а бармены делают напитки. Задняя часть дома это где шеф-повара и повара работают на кухне, работают посудомоечные машины, а менеджеры занимаются административной деятельностью.

Чтобы структурировать крейт аналогично тому, как работает настоящий ресторан, можно организовать размещение функций во вложенных модулях. Создадим новую библиотеку (библиотечный крейт) с именем `restaurant` выполнив команду `cargo new restaurant --lib`; затем вставим код из листинга 7-1 в `src/lib.rs` для определения некоторых модулей и сигнатур функций. Это секция фронта дома:

Файл: `src/lib.rs`

```
mod front_of_house {
    mod hosting {
        fn add_to_waitlist() {}

        fn seat_at_table() {}
    }

    mod serving {
        fn take_order() {}

        fn serve_order() {}

        fn take_payment() {}
    }
}
```

Листинг 7-1: Модуль `front_of_house`, содержащий другие модули, которые в свою очередь содержат функции

Мы определяем модуль, начиная с ключевого слова `mod`, затем определяем название модуля (в данном случае `front_of_house`) и размещаем фигурные скобки вокруг тела модуля. Внутри модулей, можно иметь другие модули, как в случае с модулями `hosting` и `serving`. Модули также могут содержать определения для других элементов, таких как структуры, перечисления, константы, типажи или — как в листинге 7-1 — функции.

Используя модули, мы можем сгруппировать связанные определения вместе и сказать почему они являются связанными. Программистам будет легче найти необходимую функциональность в сгруппированном коде, вместо того чтобы искать её в одном общем списке. Программисты, добавляющие новые функции в этот код, будут знать, где разместить код для поддержания порядка в программе.

Как мы упоминали ранее, файлы `src/main.rs` и `src/lib.rs` называются *корневыми модулями крейта*. Причина такого именования в том, что содержимое любого из этих двух файлов образует модуль с именем `crate` в корне структуры модулей крейта, известной как *дерево модулей*.

В листинге 7-2 показано дерево модулей для структуры модулей, приведённой в коде листинга 7-1.

```
crate
└── front_of_house
    ├── hosting
    │   ├── add_to_waitlist
    │   └── seat_at_table
    └── serving
        ├── take_order
        ├── serve_order
        └── take_payment
```

Листинг 7-2: Древо модулей для программы из Листинга 7-1

Это дерево показывает, как некоторые из модулей вкладываются друг в друга; например, `hosting` находится внутри `front_of_house`. Древо также показывает, что некоторые модули являются *братьями* (*siblings*) друг для друга, то есть они определены в одном модуле; `hosting` и `serving` это братья которые определены внутри `front_of_house`. Если модуль А содержитяется внутри модуля В, мы говорим, что модуль А является *потомком* (*child*) модуля В, а модуль В является *родителем* (*parent*) модуля А. Обратите внимание, что родителем всего дерева модулей является неявный модуль с именем `crate`.

Древо модулей может напомнить вам дерево каталогов файловой системы на компьютере; это очень удачное сравнение! По аналогии с каталогами в файловой системе, мы используемся модули для организации кода. И так же, как нам надо искать файлы в каталогах на компьютере, нам требуется способ поиска нужных модулей.

Пути для ссылки на элемент в дереве модулей

Чтобы показать Rust, где найти элемент в дереве модулей, мы используем путь так же, как мы используем путь при навигации по файловой системе. Чтобы вызвать функцию, нам нужно знать её путь.

Пути бывают двух видов:

- *абсолютный путь* - это полный путь, начинающийся от корневого модуля крейта; для кода из внешнего крейта абсолютный путь начинается с имени крейта, а для кода из текущего крейта он начинается с литерала `crate`.
- *относительный путь* начинается с текущего модуля и использует ключевые слова `self`, `super` или идентификатор в текущем модуле.

Как абсолютные, так и относительные, пути состоят из одного или нескольких идентификаторов, разделённых двойными двоеточиями (`::`).

Вернёмся к листингу 7-1, скажем, мы хотим вызвать функцию `add_to_waitlist`. Это то же самое, что спросить: какой путь у функции `add_to_waitlist`? В листинге 7-3 мы немного упростили код листинга 7-1, удалив некоторые модули и функции.

Мы покажем два способа вызова функции `add_to_waitlist` из новой функции `eat_at_restaurant`, определённой в корневом модуле крейта. Эти пути правильные, но остаётся одна проблема, которая не позволит этому примеру скомпилироваться как есть. Мы скоро объясним почему.

Функция `eat_at_restaurant` является частью общедоступного API нашего библиотечного крейта, поэтому мы помечаем её ключевым словом `pub`. В разделе "Раскрываем приватные пути с помощью ключевого слова `pub`" мы рассмотрим более подробно `pub`.

Файл: src/lib.rs

```
mod front_of_house {
    mod hosting {
        fn add_to_waitlist() {}
    }
}

pub fn eat_at_restaurant() {
    // Absolute path
    crate::front_of_house::hosting::add_to_waitlist();

    // Relative path
    front_of_house::hosting::add_to_waitlist();
}
```



Листинг 7-3. Вызов функции `add_to_waitlist` с использованием абсолютного и относительного пути

При первом вызове функции `add_to_waitlist` из `eat_at_restaurant` мы используем абсолютный путь. Функция `add_to_waitlist` определена в том же крейте, что и `eat_at_restaurant`, и это означает, что мы можем использовать ключевое слово `crate` в начале абсолютного пути. Затем мы добавляем каждый из последующих дочерних модулей, пока не составим путь до `add_to_waitlist`. Вы можете представить себе файловую систему с такой же структурой: мы указываем путь `/front_of_house/hosting/add_to_waitlist` для запуска программы `add_to_waitlist`; использование имени `crate` в качестве корневого модуля крейта аналогично использованию `/` для указания корня файловой системы в вашей оболочке.

Второй раз, когда мы вызываем `add_to_waitlist` из `eat_at_restaurant`, мы используем относительный путь. Путь начинается с имени модуля `front_of_house`, определённого на том же уровне дерева модулей, что и `eat_at_restaurant`. Для эквивалентной файловой системы использовался бы путь `front_of_house/hosting/add_to_waitlist`. Начало пути с имени модуля означает, что путь является относительным.

Выбор, использовать относительный или абсолютный путь, является решением, которое вы примете на основании вашего проекта. Решение должно зависеть от того, с какой вероятностью вы переместите объявление элемента отдельно от или вместе с кодом использующим этот элемент. Например, в случае перемещения модуля `front_of_house` и его функции `eat_at_restaurant` в другой модуль с именем `customer_experience`, будет необходимо обновить абсолютный путь до `add_to_waitlist`, но относительный путь всё равно будет действителен. Однако, если мы переместим отдельно функцию `eat_at_restaurant` в модуль с именем `dining`, то абсолютный путь вызова `add_to_waitlist` останется прежним, а относительный путь нужно будет обновить. Мы предпочитаем указывать абсолютные пути, потому что это позволяет проще перемещать определения кода и вызовы элементов независимо друг от друга.

Давайте попробуем скомпилировать код из листинга 7-3 и выяснить, почему он ещё не компилируется. Ошибка, которую мы получаем, показана в листинге 7-4.

```
$ cargo build
Compiling restaurant v0.1.0 (file:///projects/restaurant)
error[E0603]: module `hosting` is private
--> src/lib.rs:9:28
 |
9 |     crate::front_of_house::hosting::add_to_waitlist();
|           ^^^^^^ ----- function `add_to_waitlist` is
not publicly re-exported
|           |
|           private module
|
note: the module `hosting` is defined here
--> src/lib.rs:2:5
|
2 |     mod hosting {
|       ^^^^^^^^^^^^
|
error[E0603]: module `hosting` is private
--> src/lib.rs:12:21
|
12 |     front_of_house::hosting::add_to_waitlist();
|           ^^^^^^ ----- function `add_to_waitlist` is not
publicly re-exported
|           |
|           private module
|
note: the module `hosting` is defined here
--> src/lib.rs:2:5
|
2 |     mod hosting {
|       ^^^^^^^^^^^^
|
For more information about this error, try `rustc --explain E0603`.
error: could not compile `restaurant` (lib) due to 2 previous errors
```

Листинг 7-4. Ошибки компиляции при сборке кода из листинга 7-3

Сообщения об ошибках говорят о том, что модуль `hosting` является приватным. Другими словами, у нас есть правильные пути к модулю `hosting` и функции `add_to_waitlist`, но Rust не позволяет нам использовать их, потому что у него нет доступа к приватным разделам. В Rust все элементы (функции, методы, структуры, перечисления, модули и константы) по умолчанию являются приватными для родительских модулей. Если вы хотите сделать элемент, например функцию или структуру, приватным, вы помещаете его в модуль.

Элементы в родительском модуле не могут использовать приватные элементы внутри дочерних модулей, но элементы в дочерних модулях могут использовать элементы у своих модулях-предках. Это связано с тем, что дочерние модули оберачивают и скрывают детали своей реализации, но дочерние модули могут видеть контекст, в котором они определены. Продолжая нашу метафору, подумайте о правилах приватности как о задней части ресторана: то, что там происходит, скрыто от клиентов ресторана, но офис-менеджеры могут видеть и делать всё в ресторане, которым они управляют.

В Rust решили, что система модулей должна функционировать таким образом, чтобы по умолчанию скрывать детали реализации. Таким образом, вы знаете, какие части внутреннего

кода вы можете изменять не нарушая работы внешнего кода. Тем не менее, Rust даёт нам возможность открывать внутренние части кода дочерних модулей для внешних модулей-предков, используя ключевое слово `pub`, чтобы сделать элемент общедоступным.

Раскрываем приватные пути с помощью ключевого слова `pub`

Давайте вернёмся к ошибке в листинге 7-4, которая говорит, что модуль `hosting` является приватным. Мы хотим, чтобы функция `eat_at_restaurant` из родительского модуля имела доступ к функции `add_to_waitlist` в дочернем модуле, поэтому мы помечаем модуль `hosting` ключевым словом `pub`, как показано в листинге 7-5.

Файл: `src/lib.rs`

```
mod front_of_house {
    pub mod hosting {
        fn add_to_waitlist() {}
    }
}

pub fn eat_at_restaurant() {
    // Absolute path
    crate::front_of_house::hosting::add_to_waitlist();

    // Relative path
    front_of_house::hosting::add_to_waitlist();
}
```



Листинг 7-5. Объявление модуля `hosting` как `pub` для его использования из `eat_at_restaurant`

К сожалению, код в листинге 7-5 всё ещё приводит к ошибке, как показано в листинге 7-6.

```
$ cargo build
   Compiling restaurant v0.1.0 (file:///projects/restaurant)
error[E0603]: function `add_to_waitlist` is private
--> src/lib.rs:9:37
  |
9 |     crate::front_of_house::hosting::add_to_waitlist();
  |                                     ^^^^^^^^^^^^^^^^^ private function
  |
note: the function `add_to_waitlist` is defined here
--> src/lib.rs:3:9
  |
3 |     fn add_to_waitlist() {}
  |     ^^^^^^^^^^^^^^^^^^

error[E0603]: function `add_to_waitlist` is private
--> src/lib.rs:12:30
  |
12 |     front_of_house::hosting::add_to_waitlist();
  |                                     ^^^^^^^^^^^^^^^^^ private function
  |
note: the function `add_to_waitlist` is defined here
--> src/lib.rs:3:9
  |
3 |     fn add_to_waitlist() {}
  |     ^^^^^^^^^^^^^^

For more information about this error, try `rustc --explain E0603`.
error: could not compile `restaurant` (lib) due to 2 previous errors
```

Листинг 7-6: Ошибки компиляции при сборке кода в листинге 7-5

Что произошло? Добавление ключевого слова `pub` перед `mod hosting` сделало модуль общедоступным. После этого изменения, если мы можем получить доступ к модулю `front_of_house`, то мы можем получить доступ к модулю `hosting`. Но содержимое модуля `hosting` всё ещё является приватным: превращение модуля в общедоступный модуль не делает его содержимое общедоступным. Ключевое слово `pub` позволяет внешнему коду в модулях-предках обращаться только к модулю, без доступа ко внутреннему коду. Поскольку модули являются контейнерами, мы мало что можем сделать, просто сделав модуль общедоступным; нам нужно пойти дальше и сделать один или несколько элементов в модуле общедоступными.

Ошибки в листинге 7-6 говорят, что функция `add_to_waitlist` является приватной. Правила приватности применяются к структурам, перечислениям, функциям и методам, также как и к модулям.

Давайте также сделаем функцию `add_to_waitlist` общедоступной, добавив ключевое слово `pub` перед её определением, как показано в листинге 7-7.

Файл: `src/lib.rs`

```
mod front_of_house {
    pub mod hosting {
        pub fn add_to_waitlist() {}
    }
}

pub fn eat_at_restaurant() {
    // Absolute path
    crate::front_of_house::hosting::add_to_waitlist();

    // Relative path
    front_of_house::hosting::add_to_waitlist();
}
```

Листинг 7-7. Добавление ключевого слова `pub` к `mod hosting` и к `fn add_to_waitlist` позволяет нам вызывать функцию из `eat_at_restaurant`

Теперь код компилируется! Чтобы понять, почему добавление ключевого слова `pub` позволяет нам использовать эти пути для `add_to_waitlist` в соответствии с правилами приватности, давайте рассмотрим абсолютный и относительный пути.

В случае абсолютного пути мы начинаем с `crate`, корня дерева модулей нашего крейта. Модуль `front_of_house` определён в корневом модуле крейта. Хотя `front_of_house` не является общедоступным, но поскольку функция `eat_at_restaurant` определена в том же модуле, что и `front_of_house` (то есть, `eat_at_restaurant` и `front_of_house` являются потомками одного родителя), мы можем ссылаться на `front_of_house` из `eat_at_restaurant`. Далее идёт модуль `hosting`, помеченный как `pub`. Мы можем получить доступ к родительскому модулю модуля `hosting`, поэтому мы можем получить доступ и к `hosting`. Наконец, функция `add_to_waitlist` помечена как `pub`, и так как мы можем получить доступ к её родительскому модулю, то вызов этой функции разрешён!

В случае относительного пути логика такая же как для абсолютного пути, за исключением первого шага: вместо того, чтобы начинать с корневого модуля крейта, путь начинается с `front_of_house`. Модуль `front_of_house` определён в том же модуле, что и `eat_at_restaurant`, поэтому относительный путь, начинающийся с модуля, в котором определена `eat_at_restaurant` тоже работает. Тогда, по причине того, что `hosting` и `add_to_waitlist` помечены как `pub`, остальная часть пути работает и вызов этой функции разрешён!

Если вы планируете предоставить общий доступ к своему библиотечному крейту, чтобы другие проекты могли использовать ваш код, ваш общедоступный API — это ваш контракт с пользователями вашего крейта, определяющий, как они могут взаимодействовать с вашим кодом. Есть много соображений по поводу управления изменениями в вашем общедоступном API, чтобы сделать необременительным для людей зависимость от вашего крейта. Эти соображения выходят за рамки этой книги; если вам интересна эта тема, см. [The Rust API Guidelines](#).

Лучшие практики для пакетов с бинарным и библиотечным крейтами

Мы упоминали, что пакет может содержать как корневой модуль бинарного крейта `src/main.rs`, так и корневой модуль библиотечного крейта `src/lib.rs`, и оба крейта будут по умолчанию иметь имя пакета. Как правило, пакеты с таким шаблоном, содержащим как библиотечный, так и бинарный крейт, будут иметь достаточно кода в бинарном крейте, чтобы запустить исполняемый файл, который вызывает код из библиотечного крейта. Это позволяет другим проектам извлечь выгоду из большей части функциональности, предоставляемой пакетом, поскольку код библиотечного крейта можно использовать совместно.

Дерево модулей должно быть определено в `src/lib.rs`. Затем любые общедоступные элементы можно использовать в бинарном крейте, начав пути с имени пакета. Бинарный крейт становится пользователем библиотечного крейта точно так же, как полностью внешний крейт использует библиотечный крейт: он может использовать только общедоступный API. Это поможет вам разработать хороший API; вы не только автор, но и пользователь!

В Главе 12 мы эту практику организации кода с помощью консольной программы, которая будет содержать как бинарный, так и библиотечный крейты.

Начинаем относительный путь с помощью `super`

Также можно построить относительные пути, которые начинаются в родительском модуле, используя ключевое слово `super` в начале пути. Это похоже на синтаксис начала пути файловой системы `..`. Использование `super` позволяет нам сослаться на элемент, который, как мы знаем, находится в родительском модуле, что может упростить переупорядочение дерева модулей, чем когда модуль тесно связан с родителем, но родитель может когда-нибудь быть перемещён в другое место в дереве модулей.

Рассмотрим код в листинге 7-8, где моделируется ситуация, в которой повар исправляет неправильный заказ и лично приносит его клиенту. Функция `fix_incorrect_order` вызывает функцию `deliver_order`, определённую в родительском модуле, указывая путь к `deliver_order`, начинающийся с `super`:

Файл: `src/lib.rs`

```
fn deliver_order() {}

mod back_of_house {
    fn fix_incorrect_order() {
        cook_order();
        super::deliver_order();
    }

    fn cook_order() {}
}
```

Листинг 7-8: Вызов функции с использованием относительного пути, начинающегося с `super`

Функция `fix_incorrect_order` находится в модуле `back_of_house`, поэтому мы можем использовать `super` для перехода к родительскому модулю модуля `back_of_house`, который в этом случае является `crate`, корневым модулем. В этом модуле мы ищем `deliver_order` и находим его. Успех! Мы думаем, что модуль `back_of_house` и функция `deliver_order`, скорее всего, останутся в тех же родственных отношениях друг с другом, и должны будут перемещены вместе, если мы решим реорганизовать дерево модулей крейта. Поэтому мы использовали `super`, чтобы в будущем у нас было меньше мест для обновления кода, если этот код будет перемещён в другой модуль.

Делаем общедоступными структуры и перечисления

Мы также можем использовать `pub` для обозначения структур и перечислений как общедоступных, но есть несколько дополнительных деталей использования `pub` со структурами и перечислениями. Если мы используем `pub` перед определением структуры, мы делаем структуру общедоступной, но поля структуры по-прежнему остаются приватными. Мы можем сделать каждое поле общедоступным или нет в каждом конкретном случае. В листинге 7-9 мы определили общедоступную структуру `back_of_house::Breakfast` с общедоступным полем `toast` и с приватным полем `seasonal_fruit`. Это моделирует случай в ресторане, когда клиент может выбрать тип хлеба, который подаётся с едой, а шеф-повар решает какие фрукты сопровождают еду, исходя из того, что сезонно и что есть в наличии. Доступные фрукты быстро меняются, поэтому клиенты не могут выбирать фрукты или даже увидеть, какие фрукты они получат.

Файл: `src/lib.rs`

```

mod back_of_house {
    pub struct Breakfast {
        pub toast: String,
        seasonal_fruit: String,
    }

    impl Breakfast {
        pub fn summer(toast: &str) -> Breakfast {
            Breakfast {
                toast: String::from(toast),
                seasonal_fruit: String::from("peaches"),
            }
        }
    }
}

pub fn eat_at_restaurant() {
    // Order a breakfast in the summer with Rye toast
    let mut meal = back_of_house::Breakfast::summer("Rye");
    // Change our mind about what bread we'd like
    meal.toast = String::from("Wheat");
    println!("I'd like {} toast please", meal.toast);

    // The next line won't compile if we uncomment it; we're not allowed
    // to see or modify the seasonal fruit that comes with the meal
    // meal.seasonal_fruit = String::from("blueberries");
}

```

Листинг 7-9: Структура с общедоступными и приватными полями

Поскольку поле `toast` в структуре `back_of_house::Breakfast` является открытым, то в функции `eat_at_restaurant` можно писать и читать поле `toast`, используя точечную нотацию. Обратите внимание, что мы не можем использовать поле `seasonal_fruit` в `eat_at_restaurant`, потому что `seasonal_fruit` является приватным. Попробуйте убрать комментирование с последней строки для значения поля `seasonal_fruit`, чтобы увидеть какую ошибку вы получите!

Также обратите внимание, что поскольку `back_of_house::Breakfast` имеет приватное поле, то структура должна предоставить публичную ассоциированную функцию, которая создаёт экземпляр `Breakfast` (мы назвали её `summer`). Если `Breakfast` не имел бы такой функции, мы бы не могли создать экземпляр `Breakfast` внутри `eat_at_restaurant`, потому что мы не смогли бы установить значение приватного поля `seasonal_fruit` в функции `eat_at_restaurant`.

В отличии от структуры, если мы сделаем общедоступным перечисление, то все его варианты будут общедоступными. Нужно только указать `pub` перед ключевым словом `enum`, как показано в листинге 7-10.

Файл: src/lib.rs

```
mod back_of_house {
    pub enum Appetizer {
        Soup,
        Salad,
    }
}

pub fn eat_at_restaurant() {
    let order1 = back_of_house::Appetizer::Soup;
    let order2 = back_of_house::Appetizer::Salad;
}
```

Листинг 7-10. Определяя перечисление общедоступным мы делаем все его варианты общедоступными

Поскольку мы сделали общедоступным перечисление `Appetizer`, то можно использовать варианты `Soup` и `Salad` в функции `eat_at_restaurant`.

Перечисления не очень полезны, если их варианты не являются общедоступными: было бы досадно каждый раз аннотировать все варианты перечисления как `pub`. По этой причине по умолчанию варианты перечислений являются общедоступными. Структуры часто полезны, если их поля не являются общедоступными, поэтому поля структуры следуют общему правилу, согласно которому, всё по умолчанию является приватным, если не указано `pub`.

Есть ещё одна ситуация с `pub`, которую мы не освещали, и это последняя особенность модульной системы: ключевое слово `use`. Мы сначала опишем `use` само по себе, а затем покажем как сочетать `pub` и `use` вместе.

Подключение путей в область видимости с помощью ключевого слова `use`

Необходимость записывать пути к функциям вызова может показаться неудобной и повторяющейся. В листинге 7-7 независимо от того, выбирали ли мы абсолютный или относительный путь к функции `add_to_waitlist`, каждый раз, когда мы хотели вызвать `add_to_waitlist`, нам приходилось также указывать `front_of_house` и `hosting`. К счастью, есть способ упростить этот процесс: мы можем один раз создать псевдоним на путь при помощи ключевого слова `use`, а затем использовать более короткое имя везде в области видимости.

В листинге 7-11 мы подключили модуль `crate::front_of_house::hosting` в область действия функции `eat_at_restaurant`, поэтому нам достаточно только указать `hosting::add_to_waitlist` для вызова функции `add_to_waitlist` внутри `eat_at_restaurant`.

Файл: `src/lib.rs`

```
mod front_of_house {
    pub mod hosting {
        pub fn add_to_waitlist() {}
    }
}

use crate::front_of_house::hosting;

pub fn eat_at_restaurant() {
    hosting::add_to_waitlist();
}
```

Листинг 7-11. Добавление модуля в область видимости при помощи `use`

Добавление `use` и пути в область видимости аналогично созданию символьической ссылки в файловой системе. С добавлением `use crate::front_of_house::hosting` в корневой модуль крейта, `hosting` становится допустимым именем в этой области, как если бы модуль `hosting` был определён в корневом модуле крейта. Пути, подключённые в область видимости с помощью `use`, также проверяются на доступность, как и любые другие пути.

Обратите внимание, что `use` создаёт псевдоним только для той конкретной области, в которой это объявление `use` и находится. В листинге 7-12 функция `eat_at_restaurant` перемещается в новый дочерний модуль с именем `customer`, область действия которого отличается от области действия инструкции `use`, поэтому тело функции не будет компилироваться:

Файл: `src/lib.rs`



```
mod front_of_house {
    pub mod hosting {
        pub fn add_to_waitlist() {}
    }
}

use crate::front_of_house::hosting;

mod customer {
    pub fn eat_at_restaurant() {
        hosting::add_to_waitlist();
    }
}
```

Листинг 7-12. Инструкция `use` применяется только в её собственной области видимости

Ошибка компилятора показывает, что данный псевдоним не может использоваться в модуле `customer`:

```
$ cargo build
Compiling restaurant v0.1.0 (file:///projects/restaurant)
error[E0433]: failed to resolve: use of undeclared crate or module `hosting`
--> src/lib.rs:11:9
   |
11 |         hosting::add_to_waitlist();
   |         ^^^^^^ use of undeclared crate or module `hosting`

help: consider importing this module through its public re-export
|
10 +     use crate::hosting;
   |

warning: unused import: `crate::front_of_house::hosting`
--> src/lib.rs:7:5
   |
7 | use crate::front_of_house::hosting;
   | ^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^
   |
   = note: `#[warn(unused_imports)]` on by default

For more information about this error, try `rustc --explain E0433`.
warning: `restaurant` (lib) generated 1 warning
error: could not compile `restaurant` (lib) due to 1 previous error; 1 warning emitted
```

Обратите внимание, что есть также предупреждение о том, что `use` не используется в своей области! Чтобы решить эту проблему, можно переместить `use` в модуль `customer`, или же можно сослаться на псевдоним в родительском модуле с помощью `super::hosting` в дочернем модуле `customer`.

Создание идиоматических путей с `use`

В листинге 7-11 вы могли бы задаться вопросом, почему мы указали `use crate::front_of_house::hosting`, а затем вызвали `hosting::add_to_waitlist` внутри

`eat_at_restaurant` вместо указания в `use` полного пути прямо до функции `add_to_waitlist` для получения того же результата, что в листинге 7-13.

Файл: `src/lib.rs`

```
mod front_of_house {
    pub mod hosting {
        pub fn add_to_waitlist() {}
    }
}

use crate::front_of_house::hosting::add_to_waitlist;

pub fn eat_at_restaurant() {
    add_to_waitlist();
}
```

Листинг 7-13: Добавление функции `add_to_waitlist` в область видимости с `use` неидиоматическим способом

Хотя листинги 7-11 и 7-13 выполняют одну и ту же задачу, листинг 7-11 является идиоматическим способом подключения функции в область видимости с помощью `use`. Подключение родительского модуля функции в область видимости при помощи `use` означает, что мы должны указывать родительский модуль при вызове функции. Указание родительского модуля при вызове функции даёт понять, что функция не определена локально, но в то же время сводя к минимуму повторение полного пути. В коде листинга 7-13 не ясно, где именно определена `add_to_waitlist`.

С другой стороны, при подключении структур, перечислений и других элементов используя `use`, идиоматически правильным будет указывать полный путь. Листинг 7-14 показывает идиоматический способ подключения структуры стандартной библиотеки `HashMap` в область видимости бинарного крейта.

Файл: `src/main.rs`

```
use std::collections::HashMap;

fn main() {
    let mut map = HashMap::new();
    map.insert(1, 2);
}
```

Листинг 7-14. Включение `HashMap` в область видимости идиоматическим способом

За этой идиомой нет веской причины: это просто соглашение, которое появилось само собой. Люди привыкли читать и писать код на Rust таким образом.

Исключением из этой идиомы является случай, когда мы подключаем два элемента с одинаковыми именами в область видимости используя инструкцию `use` — Rust просто не позволяет этого сделать. Листинг 7-15 показывает, как подключить в область действия два типа с одинаковыми именами `Result`, но из разных родительских модулей и как на них ссылаться.

Файл: src/lib.rs

```
use std::fmt;
use std::io;

fn function1() -> fmt::Result {
    // --snip--
}

fn function2() -> io::Result<()> {
    // --snip--
}
```

Листинг 7-15. Для включения двух типов с одинаковыми именами в одну область видимости необходимо использовать их родительские модули.

Как видите, использование имени родительских модулей позволяет различать два типа `Result`. Если бы вместо этого мы указали `use std::fmt::Result` и `use std::io::Result`, мы бы имели два типа `Result` в одной области видимости, и Rust не смог бы понять какой из двух `Result` мы имели в виду, когда нашёл бы их употребление в коде.

Предоставление новых имен с помощью ключевого слова `as`

Есть другое решение проблемы добавления двух типов с одинаковыми именами в одну и ту же область видимости используя `use`: после пути можно указать `as` и новое локальное имя (псевдоним) для типа. Листинг 7-16 показывает как по-другому написать код из листинга 7-15, путём переименования одного из двух типов `Result` используя `as`.

Файл: src/lib.rs

```
use std::fmt::Result;
use std::io::Result as IoResult;

fn function1() -> Result {
    // --snip--
}

fn function2() -> IoResult<()> {
    // --snip--
}
```

Листинг 7-16: Переименование типа, когда он включён в область видимости с помощью ключевого слова `as`

Во второй инструкции `use` мы выбрали новое имя `IoResult` для типа `std::io::Result`, которое теперь не будет конфликтовать с типом `Result` из `std::fmt`, который также подключен в область видимости. Листинги 7-15 и 7-16 считаются идиоматичными, поэтому выбор за вами!

Реэкспорт имён с `pub use`

Когда мы подключаем имя в область видимости, используя ключевое слово `use`, то имя, доступное в новой области видимости, является приватным. Чтобы позволить коду, который вызывает наш код, ссылаться на это имя, как если бы оно было определено в области видимости данного кода, можно объединить `pub` и `use`. Этот метод называется *реэкспортом* (*re-exporting*), потому что мы подключаем элемент в область видимости, но также делаем этот элемент доступным для подключения в других областях видимости.

Листинг 7-17 показывает код из листинга 7-11, где `use` в корневом модуле заменено на `pub use`.

Файл: `src/lib.rs`

```
mod front_of_house {
    pub mod hosting {
        pub fn add_to_waitlist() {}
    }
}

pub use crate::front_of_house::hosting;

pub fn eat_at_restaurant() {
    hosting::add_to_waitlist();
}
```

Листинг 7-17. Предоставление имени для использования любым кодом из новой области при помощи `pub use`

До этого изменения внешний код должен был вызывать функцию `add_to_waitlist`, используя путь `restaurant::front_of_house::hosting::add_to_waitlist()`. Теперь, когда это объявление `pub use` повторно экспортировало модуль `hosting` из корневого модуля, внешний код теперь может использовать вместо него путь `restaurant::hosting::add_to_waitlist()`.

Реэкспорт полезен, когда внутренняя структура вашего кода отличается от того, как программисты,зывающие ваш код, думают о предметной области. Например, по аналогии с рестораном люди, управляющие им, думают о «передней части дома» и «задней части дома». Но клиенты, посещающие ресторан, вероятно, не будут думать о частях ресторана в таких терминах. Используя `pub use`, мы можем написать наш код с одной структурой, но сделать общедоступной другую структуру. Благодаря этому наша библиотека хорошо организована для программистов, работающих над библиотекой, и для программистов,зывающих библиотеку. Мы рассмотрим ещё один пример `pub use` и его влияние на документацию вашего крейта в разделе «[Экспорт удобного общедоступного API с `pub use`](#)» Главы 14.

Использование внешних пакетов

В Главе 2 мы запрограммировали игру угадывания числа, где использовался внешний пакет с именем `rand` для генерации случайного числа. Чтобы использовать `rand` в нашем проекте, мы добавили эту строку в `Cargo.toml`:

```
rand = "0.8.5"
```

Добавление `rand` в качестве зависимости в *Cargo.toml* указывает Cargo загрузить пакет `rand` и все его зависимости из [crates.io](#) и сделать `rand` доступным для нашего проекта.

Затем, чтобы подключить определения `rand` в область видимости нашего пакета, мы добавили строку `use` начинающуюся с названия пакета `rand` и списка элементов, которые мы хотим подключить в область видимости. Напомним, что в разделе "[Генерация случайного числа](#)" Главы 2, мы подключили трейт `Rng` в область видимости и вызвали функцию `rand::thread_rng`:

```
use rand::Rng;

fn main() {
    let secret_number = rand::thread_rng().gen_range(1..=100);
}
```

Члены сообщества Rust сделали много пакетов доступными на ресурсе [crates.io](#), и добавление любого из них в ваш пакет включает в себя одни и те же шаги: добавить внешние пакеты в файл *Cargo.toml* вашего пакета, использовать `use` для подключения элементов внешних пакетов в область видимости.

Обратите внимание, что стандартная библиотека `std` также является крейтом, внешним по отношению к нашему пакету. Поскольку стандартная библиотека поставляется с языком Rust, нам не нужно изменять *Cargo.toml* для подключения `std`. Но нам нужно ссылаться на неё при помощи `use`, чтобы добавить элементы оттуда в область видимости нашего пакета. Например, с `HashMap` мы использовали бы эту строку:

```
use std::collections::HashMap;
```

Это абсолютный путь, начинающийся с `std`, имени крейта стандартной библиотеки.

Использование вложенных путей для уменьшения длинных списков `use`

Если мы используем несколько элементов, определённых в одном крейте или в том же модуле, то перечисление каждого элемента в отдельной строке может занимать много вертикального пространства в файле. Например, эти две инструкции `use` используются в программе угадывания числа (листинг 2-4) для подключения элементов из `std` в область видимости:

```
// --snip--  
use std::cmp::Ordering;  
use std::io;  
// --snip--
```

Вместо этого, мы можем использовать вложенные пути, чтобы добавить эти элементы в область видимости одной строкой. Мы делаем это, как показано в листинге 7-18, указывая общую часть пути, за которой следуют два двоеточия, а затем фигурные скобки вокруг списка тех частей продолжения пути, которые отличаются.

Файл: src/main.rs

```
// --snip--  
use std::{cmp::Ordering, io};  
// --snip--
```

Листинг 7-18. Указание вложенного пути для добавления нескольких элементов с одинаковым префиксом в область видимости

В больших программах, подключение множества элементов из одного пакета или модуля с использованием вложенных путей может значительно сократить количество необходимых отдельных инструкций `use`!

Можно использовать вложенный путь на любом уровне, что полезно при объединении двух инструкций `use`, которые имеют общую часть пути. Например, в листинге 7-19 показаны две инструкции `use`: одна подключает `std::io`, а другая подключает `std::io::Write` в область видимости.

Файл: src/lib.rs

```
use std::io;  
use std::io::Write;
```

Листинг 7-19: Две инструкции `use`, в которых один путь является частью другого

Общей частью этих двух путей является `std::io`, и это полный первый путь. Чтобы объединить эти два пути в одной инструкции `use`, мы можем использовать ключевое слово `self` во вложенном пути, как показано в листинге 7-20.

Файл: src/lib.rs

```
use std::io::{self, Write};
```

Листинг 7-20: Объединение путей из Листинга 7-19 в одну инструкцию `use`

Эта строка подключает `std::io` и `std::io::Write` в область видимости.

Оператор * (glob)

Если мы хотим включить в область видимости *все* общедоступные элементы, определённые в пути, мы можем указать этот путь, за которым следует оператор `*`:

```
use std::collections::*;


```

Эта инструкция `use` подключает все открытые элементы из модуля `std::collections` в текущую область видимости. Будьте осторожны при использовании оператора `*`! Он может усложнить понимание, какие имена находятся в области видимости и где были определены имена, используемые в вашей программе.

Оператор `*` часто используется при тестировании для подключения всего что есть в модуле `tests`; мы поговорим об этом в разделе "[Как писать тесты](#)" Главы 11. Оператор `*` также иногда используется как часть шаблона *автоматического импорта* (*prelude*): смотрите [документацию по стандартной библиотеке](#) для получения дополнительной информации об этом шаблоне.

Разделение модулей на разные файлы

До сих пор все примеры в этой главе определяли несколько модулей в одном файле. Когда модули становятся большими, вы можете захотеть переместить их определения в отдельные файлы, чтобы упростить навигацию по коду.

Например, давайте начнём с кода из листинга 7-17, в котором было несколько модулей ресторана. Мы будем извлекать модули в файлы вместо того, чтобы определять все модули в корневом модуле крейта. В нашем случае корневой модуль крейта - `src/lib.rs`, но это разделение также работает и с бинарными крейтами, у которых корневой модуль крейта — `src/main.rs`.

Сначала мы извлечём модуль `front_of_house` в свой собственный файл. Удалите код внутри фигурных скобок для модуля `front_of_house`, оставив только объявление `mod front_of_house;`, так что теперь `src/lib.rs` содержит код, показанный в листинге 7-21. Обратите внимание, что этот вариант не скомпилируется, пока мы не создадим файл `src/front_of_house.rs` из листинге 7-22.

Файл: `src/lib.rs`

```
mod front_of_house;

pub use crate::front_of_house::hosting;

pub fn eat_at_restaurant() {
    hosting::add_to_waitlist();
}
```



Листинг 7-21. Объявление модуля `front_of_house`, чьё содержимое будет в `src/front_of_house.rs`

Затем поместим код, который был в фигурных скобках, в новый файл с именем `src/front_of_house.rs`, как показано в листинге 7-22. Компилятор знает, что нужно искать в этом файле, потому что он наткнулся в корневом модуле крейта на объявление модуля с именем `front_of_house`.

Файл: `src/front_of_house.rs`

```
pub mod hosting {
    pub fn add_to_waitlist() {}
}
```

Листинг 7-22. Определение содержимого модуля `front_of_house` в файле `src/front_of_house.rs`

Обратите внимание, что вам нужно только один раз загрузить файл с помощью объявления `mod` в вашем дереве модулей. Как только компилятор узнает, что файл является частью проекта (и узнает, где в дереве модулей находится код из-за того, куда вы поместили инструкцию `mod`), другие файлы в вашем проекте должны ссылаться на код загруженного

файла, используя путь к месту, где он был объявлен, как описано в разделе «[Пути для ссылки на элемент в дереве модулей](#)». Другими словами, `mod` — это *не* операция «включения», которую вы могли видеть в других языках программирования.

Далее мы извлечём модуль `hosting` в его собственный файл. Процесс немного отличается, потому что `hosting` является дочерним модулем для `front_of_house`, а не корневого модуля. Мы поместим файл для `hosting` в новый каталог, который будет назван по имени его предка в дереве модулей, в данном случае это `src/front_of_house/`.

Чтобы начать перенос `hosting`, мы меняем `src/front_of_house.rs` так, чтобы он содержал только объявление модуля `hosting`:

Файл: `src/front_of_house.rs`

```
pub mod hosting;
```

Затем мы создаём каталог `src/front_of_house` и файл `hosting.rs`, в котором будут определения, сделанные в модуле `hosting`:

Файл: `src/front_of_house/hosting.rs`

```
pub fn add_to_waitlist() {}
```

Если вместо этого мы поместим `hosting.rs` в каталог `src`, компилятор будет думать, что код в `hosting.rs` это модуль `hosting`, объявленный в корне крейта, а не объявленный как дочерний модуль `front_of_house`. Правила компилятора для проверки какие файлы содержат код каких модулей предполагают, что каталоги и файлы точно соответствуют дереву модулей.

Альтернативные пути к файлам

До сих пор мы рассматривали наиболее идиоматические пути к файлам, используемые компилятором Rust, но Rust также поддерживает и старый стиль пути к файлу. Для модуля с именем `front_of_house`, объявленного в корневом модуле крейта, компилятор будет искать код модуля в:

- `src/front_of_house.rs` (что мы рассматривали)
- `src/front_of_house/mod.rs` (старый стиль, всё ещё поддерживаемый путь)

Для модуля с именем `hosting`, который является подмодулем `front_of_house`, компилятор будет искать код модуля в:

- `src/front_of_house/hosting.rs` (что мы рассматривали)
- `src/front_of_house/hosting/mod.rs` (старый стиль, всё ещё поддерживаемый путь)

Если вы используете оба стиля для одного и того же модуля, вы получите ошибку компилятора. Использование сочетания обоих стилей для разных модулей в одном

проекте разрешено, но это может сбивать с толку людей, перемещающихся по вашему проекту.

Основным недостатком стиля, в котором используются файлы с именами `mod.rs`, является то, что в вашем проекте может оказаться много файлов с именами `mod.rs`, что может привести к путанице, если вы одновременно откроете их в редакторе.

Мы перенесли код каждого модуля в отдельный файл, а дерево модулей осталось прежним. Вызовы функций в `eat_at_restaurant` будут работать без каких-либо изменений, несмотря на то, что определения находятся в разных файлах. Этот метод позволяет перемещать модули в новые файлы по мере увеличения их размеров.

Обратите внимание, что инструкция `pub use crate::front_of_house::hosting` в `src/lib.rs` также не изменилась, и `use` не влияет на то, какие файлы компилируются как часть крейта. Ключевое слово `mod` объявляет модули, и Rust ищет в файле с тем же именем, что и у модуля, код, который входит в этот модуль.

Итог

Rust позволяет разбить пакет на несколько крейтов и крейт - на модули, так что вы можете ссылаться на элементы, определённые в одном модуле, из другого модуля. Это можно делать при помощи указания абсолютных или относительных путей. Эти пути можно добавить в область видимости инструкцией `use`, поэтому вы можете пользоваться более короткими путями для многократного использования элементов в этой области видимости. Код модуля по умолчанию является приватным, но можно сделать определения общедоступными, добавив ключевое слово `pub`.

В следующей главе мы рассмотрим некоторые коллекции структур данных из стандартной библиотеки, которые вы можете использовать в своём аккуратно организованном коде.

Общие коллекции

Стандартная библиотека содержит несколько полезных структур данных, которые называются **коллекциями**. Большая часть других типов данных представляют собой хранение конкретного значения, но особенностью коллекций является хранение множества однотипных значений. В отличии от массива или кортежа данные коллекций хранятся в куче, а это значит, что размер коллекции может быть неизвестен в момент компиляции программы. Он может изменяться (увеличиваться, уменьшаться) во время работы программы. Каждый вид коллекций имеет свои возможности и отличается по производительности, так что выбор конкретной коллекции зависит от ситуации и является умением разработчика, вырабатываемым со временем. В этой главе будет рассмотрено несколько коллекций:

- *Вектор (vector)* - позволяет нам сохранять различное количество последовательно хранящихся значений,
- *Строка (string)* - это последовательность символов. Мы же упоминали тип `String` ранее, но в данной главе мы поговорим о нем подробнее.
- *Хеш-таблица (hash map)* - коллекция которая позволяет хранить перечень ассоциаций значения с ключом (перечень пар ключ:значение). Является конкретной реализацией более общей структуры данных называемой *map*.

Для того, чтобы узнать о других видах коллекций предоставляемых стандартной библиотекой смотрите [документацию](#).

Мы обсудим как создавать и обновлять векторы, строки и хеш-таблицы, а также объясним что делает каждую из них особенной.

Хранение списков значений в векторах

Первым типом коллекции, который мы разберём, будет `Vec<T>`, также известный как *вектор* (*vector*). Векторы позволяют хранить более одного значения в единой структуре данных, хранящей элементы в памяти один за другим. Векторы могут хранить данные только одного типа. Их удобно использовать, когда нужно хранить список элементов, например, список текстовых строк из файла, или список цен товаров в корзине покупок.

Создание нового вектора

Чтобы создать новый пустой вектор, мы вызываем функцию `Vec::new`, как показано в листинге 8-1.

```
let v: Vec<i32> = Vec::new();
```

Листинг 8-1: Создание нового пустого вектора для хранения значений типа `i32`

Обратите внимание, что здесь мы добавили аннотацию типа. Поскольку мы не вставляем никаких значений в этот вектор, Rust не знает, какие элементы мы собираемся хранить. Это важный момент. Векторы реализованы с использованием обобщённых типов; мы рассмотрим, как использовать обобщённые типы с вашими собственными типами в Главе 10. А пока знайте, что тип `Vec<T>`, предоставляемый стандартной библиотекой, может хранить любой тип. Когда мы создаём новый вектор для хранения конкретного типа, мы можем указать этот тип в угловых скобках. В листинге 8-1 мы сообщили Rust, что `Vec<T>` в `v` будет хранить элементы типа `i32`.

Чаще всего вы будете создавать `Vec<T>` с начальными значениями и Rust может определить тип сохраняемых вами значений, но иногда вам всё же придётся указывать аннотацию типа. Для удобства Rust предоставляет макрос `vec!`, который создаст новый вектор, содержащий заданные вами значения. В листинге 8-2 создаётся новый `Vec<i32>`, который будет хранить значения `1`, `2` и `3`. Числовым типом является `i32`, потому что это тип по умолчанию для целочисленных значений, о чём упоминалось в разделе “[Типы данных](#)” Главы 3.

```
let v = vec![1, 2, 3];
```

Листинг 8-2: Создание нового вектора, содержащего значения

Поскольку мы указали начальные значения типа `i32`, Rust может сделать вывод, что тип переменной `v` это `Vec<i32>` и аннотация типа здесь не нужна. Далее мы посмотрим как изменять вектор.

Изменение вектора

Чтобы создать вектор и затем добавить к нему элементы, можно использовать метод `push` показанный в листинге 8-3.

```
let mut v = Vec::new();

v.push(5);
v.push(6);
v.push(7);
v.push(8);
```

Листинг 8-3: Использование метода `push` для добавления значений в вектор

Как и с любой переменной, если мы хотим изменить её значение, нам нужно сделать её изменяемой с помощью ключевого слова `mut`, что обсуждалось в Главе 3. Все числа которые мы помещаем в вектор имеют тип `i32` по этому Rust с лёгкостью выводит тип вектора, по этой причине нам не нужна здесь аннотация типа вектора `Vec<i32>`.

Чтение данных вектора

Есть два способа сослаться на значение, хранящееся в векторе: с помощью индекса или метода `get`. В следующих примерах для большей ясности мы указали типы значений, возвращаемых этими функциями.

В листинге 8-4 показаны оба метода доступа к значению в векторе: либо с помощью синтаксиса индексации и с помощью метода `get`.

```
let v = vec![1, 2, 3, 4, 5];

let third: &i32 = &v[2];
println!("The third element is {third}");

let third: Option<&i32> = v.get(2);
match third {
    Some(third) => println!("The third element is {third}"),
    None => println!("There is no third element."),
}
```

Листинг 8-4. Использование синтаксиса индексации и метода `get` для доступа к элементу в векторе

Обратите внимание здесь на пару деталей. Мы используем значение индекса `2` для получения третьего элемента: векторы индексируются начиная с нуля. Указывая `&` и `[]` мы получаем ссылку на элемент по указанному индексу. Когда мы используем метод `get` содержащего индекс, переданный в качестве аргумента, мы получаем тип `Option<&T>`, который мы можем проверить с помощью `match`.

Причина, по которой Rust предоставляет два способа ссылки на элемент, заключается в том, что вы можете выбрать, как программа будет себя вести, когда вы попытаетесь использовать значение индекса за пределами диапазона существующих элементов. В качестве примера

давайте посмотрим, что происходит, когда у нас есть вектор из пяти элементов, а затем мы пытаемся получить доступ к элементу с индексом 100 с помощью каждого метода, как показано в листинге 8-5.

```
let v = vec![1, 2, 3, 4, 5];  
  
let does_not_exist = &v[100];  
let does_not_exist = v.get(100);
```



Листинг 8-5. Попытка доступа к элементу с индексом 100 в векторе, содержащем пять элементов

Когда мы запускаем этот код, первая строка с `&v[100]` вызовет панику программы, потому что происходит попытка получить ссылку на несуществующий элемент. Такой подход лучше всего использовать, когда вы хотите, чтобы ваша программа аварийно завершила работу при попытке доступа к элементу за пределами вектора.

Когда методу `get` передаётся индекс, который находится за пределами вектора, он без паники возвращает `None`. Вы могли бы использовать такой подход, если доступ к элементу за пределами диапазона вектора происходит время от времени при нормальных обстоятельствах. Тогда ваш код будет иметь логику для обработки наличия `Some(&element)` или `None`, как обсуждалось в Главе 6. Например, индекс может исходить от человека, вводящего число. Если пользователь случайно введёт слишком большое число, то программа получит значение `None` и у вас будет возможность сообщить пользователю, сколько элементов находится в текущем векторе, и дать ему возможность ввести допустимое значение. Такое поведение было бы более дружелюбным для пользователя, чем внезапный сбой программы из-за опечатки!

Когда у программы есть действительная ссылка, borrow checker (средство проверки заимствований), обеспечивает соблюдение правил владения и заимствования (описанные в Главе 4), чтобы гарантировать, что эта ссылка и любые другие ссылки на содержимое вектора остаются действительными. Вспомните правило, которое гласит, что у вас не может быть изменяемых и неизменяемых ссылок в одной и той же области. Это правило применяется в листинге 8-6, где мы храним неизменяемую ссылку на первый элемент вектора и затем пытаемся добавить элемент в конец вектора. Данная программа не будет работать, если мы также попробуем сослаться на данный элемент позже в функции:

```
let mut v = vec![1, 2, 3, 4, 5];  
  
let first = &v[0];  
  
v.push(6);  
  
println!("The first element is: {first}");
```



Листинг 8-6. Попытка добавить некоторый элемент в вектор, в то время когда есть ссылка на элемент вектора

Компиляция этого кода приведёт к ошибке:

```
$ cargo run
Compiling collections v0.1.0 (file:///projects/collections)
error[E0502]: cannot borrow `v` as mutable because it is also borrowed as immutable
--> src/main.rs:6:5
|
4 |     let first = &v[0];
|             - immutable borrow occurs here
5 |
6 |     v.push(6);
| ^^^^^^^^^^^^ mutable borrow occurs here
7 |
8 |     println!("The first element is: {first}");
|             ----- immutable borrow later used here

For more information about this error, try `rustc --explain E0502`.
error: could not compile `collections` (bin "collections") due to 1 previous error
```

Код в листинге 8-6 может выглядеть так, как будто он должен работать. Почему ссылка на первый элемент должна заботиться об изменениях в конце вектора? Эта ошибка возникает из-за особенности того, как работают векторы: поскольку векторы размещают значения в памяти друг за другом, добавление нового элемента в конец вектора может потребовать выделения новой памяти и копирования старых элементов в новое пространство, если нет достаточного места, чтобы разместить все элементы друг за другом там, где в данный момент хранится вектор. В этом случае ссылка на первый элемент будет указывать на освобождённую память. Правила заимствования предотвращают попадание программ в такую ситуацию.

Примечание: Дополнительные сведения о реализации типа `Vec<T>` смотрите в разделе ["The Rustonomicon"](#).

Перебор значений в векторе

Для доступа к каждому элементу вектора по очереди, мы итерируем все элементы, вместо использования индексов для доступа к одному за раз. В листинге 8-7 показано, как использовать цикл `for` для получения неизменяемых ссылок на каждый элемент в векторе значений типа `i32` и их вывода.

```
let v = vec![100, 32, 57];
for i in &v {
    println!("{}i");
}
```

Листинг 8-7. Печать каждого элемента векторе, при помощи итерирования по элементам вектора с помощью цикла `for`

Мы также можем итерировать изменяемые ссылки на каждый элемент изменяемого вектора, чтобы вносить изменения во все элементы. Цикл `for` в листинге 8-8 добавит `50` к каждому элементу.

```
let mut v = vec![100, 32, 57];
for i in &mut v {
    *i += 50;
}
```

Листинг 8-8. Итерирование и изменение элементов вектора по изменяемым ссылкам

Чтобы изменить значение на которое ссылается изменяемая ссылка, мы должны использовать оператор разыменования ссылки `*` для получения значения по ссылке в переменной `i` прежде чем использовать оператор `+=`. Мы поговорим подробнее об операторе разыменования в разделе “[Следование по указателю к значению с помощью оператора разыменования](#)” Главы 15.

Перебор вектора, будь то неизменяемый или изменяемый, безопасен из-за правил проверки заимствования. Если бы мы попытались вставить или удалить элементы в телах цикла `for` в листингах 8-7 и 8-8, мы бы получили ошибку компилятора, подобную той, которую мы получили с кодом в листинге 8-6. Ссылка на вектор, содержащийся в цикле `for`, предотвращает одновременную модификацию всего вектора.

Использование перечислений для хранения множества разных типов

Векторы могут хранить значения только одинакового типа. Это может быть неудобно; определённо могут быть случаи когда надо хранить список элементов разных типов. К счастью, варианты перечисления определены для одного и того же типа перечисления, поэтому, когда нам нужен один тип для представления элементов разных типов, мы можем определить и использовать перечисление!

Например, мы хотим получить значения из строки в электронной таблице где некоторые столбцы строки содержат целые числа, некоторые числа с плавающей точкой, а другие - строковые значения. Можно определить перечисление, варианты которого будут содержать разные типы значений и тогда все варианты перечисления будут считаться одним и тем же типом: типом самого перечисления. Затем мы можем создать вектор для хранения этого перечисления и, в конечном счёте, для хранения различных типов. Мы покажем это в листинге 8-9.

```
enum SpreadsheetCell {
    Int(i32),
    Float(f64),
    Text(String),
}

let row = vec![
    SpreadsheetCell::Int(3),
    SpreadsheetCell::Text(String::from("blue")),
    SpreadsheetCell::Float(10.12),
];
```

Листинг 8-9: Определение `enum` для хранения значений разных типов в одном векторе

Rust должен знать, какие типы будут в векторе во время компиляции, чтобы точно знать сколько памяти в куче потребуется для хранения каждого элемента. Мы также должны чётко указать, какие типы разрешены в этом векторе. Если бы Rust позволял вектору содержать любой тип, то был бы шанс что один или несколько типов вызовут ошибки при выполнении операций над элементами вектора. Использование перечисления вместе с выражением `match` означает, что во время компиляции Rust гарантирует, что все возможные случаи будут обработаны, как обсуждалось в главе 6.

Если вы не знаете исчерпывающий набор типов, которые программа получит во время выполнения для хранения в векторе, то техника использования перечисления не сработает. Вместо этого вы можете использовать типаж-объект, который мы рассмотрим в главе 17.

Теперь, когда мы обсудили некоторые из наиболее распространённых способов использования векторов, обязательно ознакомьтесь [с документацией по API вектора](#), чтобы узнать о множестве полезных методов, определённых в `Vec<T>` стандартной библиотеки. Например, в дополнение к методу `push`, существует метод `pop`, который удаляет и возвращает последний элемент.

Удаление элементов из вектора

Подобно структурам `struct`, вектор высвобождает свою память когда выходит из области видимости, что показано в листинге 8-10.

```
{  
    let v = vec![1, 2, 3, 4];  
  
    // do stuff with v  
} // <- v goes out of scope and is freed here
```

Листинг 8-10. Показано как удаляется вектор и его элементы

Когда вектор удаляется, всё его содержимое также удаляется: удаление вектора означает и удаление значений, которые он содержит. Средство проверки заимствования гарантирует, что любые ссылки на содержимое вектора используются только тогда, когда сам вектор действителен.

Давайте перейдём к следующему типу коллекции: `String!`

Хранение закодированного текста UTF-8 в строках

Мы говорили о строках в главе 4, но сейчас мы рассмотрим их более подробно. Новички в Rust обычно застревают на строках из-за комбинации трёх причин: склонность Rust компилятора к выявлению возможных ошибок, более сложная структура данных чем считают многие программисты и UTF-8. Эти факторы объединяются таким образом, что тема может показаться сложной, если вы пришли из других языков программирования.

Полезно обсуждать строки в контексте коллекций, потому что строки реализованы в виде набора байтов, плюс некоторые методы для обеспечения полезной функциональности, когда эти байты интерпретируются как текст. В этом разделе мы поговорим об операциях над `String` таких как создание, обновление и чтение, которые есть у каждого типа коллекций. Мы также обсудим какими особенностями `String` отличается от других коллекций, а именно каким образом индексирование в `String` осложняется различием между тем как люди и компьютеры интерпретируют данные заключённые в `String`.

Что же такое строка?

Сначала мы определим, что мы подразумеваем под термином *строка* (*string*). В Rust есть только один строковый тип в ядре языка - срез строки `str`, обычно используемый в заимствованном виде как `&str`. В Главе 4 мы говорили о *срезах строк*, *string slices*, которые являются ссылками на некоторые строковые данные в кодировке UTF-8. Например, строковые литералы хранятся в двоичном файле программы и поэтому являются срезами строк.

Тип `String` предоставляемый стандартной библиотекой Rust, не встроен в ядро языка и является расширяемым, изменяемым, владеющим, строковым типом в UTF-8 кодировке. Когда Rustaceans говорят о "строках" то, они обычно имеют в виду типы `String` или строковые срезы `&str`, а не просто один из них. Хотя этот раздел в основном посвящён `String`, оба типа интенсивно используются в стандартной библиотеке Rust, оба, и `String` и строковые срезы, кодируются в UTF-8.

Создание новых строк

Многие из тех же операций, которые доступны `Vec<T>`, доступны также в `String`, потому что `String` фактически реализован как обёртка вокруг вектора байтов с некоторыми дополнительными гарантиями, ограничениями и возможностями. Примером функции, которая одинаково работает с `Vec<T>` и `String`, является функция `new`, создающая новый экземпляр типа, и показана в Листинге 8-11.

```
let mut s = String::new();
```

Листинг 8-11. Создание новой пустой `String` строки

Эта строка создаёт новую пустую строковую переменную с именем `s`, в которую мы можем затем загрузить данные. Часто у нас есть некоторые начальные данные, которые мы хотим назначить строке. Для этого мы используем метод `to_string` доступный для любого типа, который реализует типаж `Display`, как у строковых литералов. Листинг 8-12 показывает два примера.

```
let data = "initial contents";  
  
let s = data.to_string();  
  
// the method also works on a literal directly:  
let s = "initial contents".to_string();
```

Листинг 8-12: Использование метода `to_string` для создания экземпляра типа `String` из строкового литерала

Эти выражения создают строку с `initial contents`.

Мы также можем использовать функцию `String::from` для создания `String` из строкового литерала. Код листинга 8-13 является эквивалентным коду из листинга 8-12, который использует функцию `to_string`:

```
let s = String::from("initial contents");
```

Листинг 8-13: Использование функции `String::from` для создания экземпляра типа `String` из строкового литерала

Поскольку строки используются для очень многих вещей, можно использовать множество API для строк, предоставляющих множество возможностей. Некоторые из них могут показаться избыточными, но все они занимаются своим делом! В данном случае `String::from` и `to_string` делают одно и тоже, поэтому выбор зависит от стиля который вам больше импонирует.

Запомните, что строки хранятся в кодировке UTF-8, поэтому можно использовать любые правильно кодированные данные в них, как показано в листинге 8-14:

```
let hello = String::from("السلام عليكم");  
let hello = String::from("Dobrý den");  
let hello = String::from("Hello");  
let hello = String::from("שלום");  
let hello = String::from("নমস্তে");  
let hello = String::from("こんにちは");  
let hello = String::from("안녕하세요");  
let hello = String::from("你好");  
let hello = String::from("Olá");  
let hello = String::from("Здравствуйте");  
let hello = String::from("Hola");
```

Листинг 8-14: Хранение приветствий в строках на разных языках

Все это допустимые `String` значения.

Обновление строковых данных

Строка `String` может увеличиваться в размере, а её содержимое может меняться, по аналогии как содержимое `Vec<T>` при вставке в него большего количества данных. Кроме того, можно использовать оператор `+` или макрос `format!` для объединения значений `String`.

Присоединение к строке с помощью `push_str` и `push`

Мы можем нарастить `String` используя метод `push_str` который добавит в исходное значение новый строковый срез, как показано в листинге 8-15.

```
let mut s = String::from("foo");
s.push_str("bar");
```

Листинг 8-15. Добавление среза строки к `String` с помощью метода `push_str`

После этих двух строк кода `s` будет содержать `foobar`. Метод `push_str` принимает строковый срез, потому что мы не всегда хотим владеть входным параметром. Например, код в листинге 8-16 показывает вариант, когда будет не желательно поведение, при котором мы не сможем использовать `s2` после его добавления к содержимому значения переменной `s1`.

```
let mut s1 = String::from("foo");
let s2 = "bar";
s1.push_str(s2);
println!("s2 is {s2}");
```

Листинг 8-16: Использование среза строки после добавления её содержимого к другой `String`

Если метод `push_str` стал бы владельцем переменной `s2`, мы не смогли бы напечатать его значение в последней строке. Однако этот код работает так, как мы ожидали!

Метод `push` принимает один символ в качестве параметра и добавляет его к `String`. В листинге 8-17 показан код, добавляющий букву “l” к `String` используя метод `push`.

```
let mut s = String::from("lo");
s.push('l');
```

Листинг 8-17: Добавление одного символа в `String` значение используя `push`

В результате `s` будет содержать `lol`.

Объединение строк с помощью оператора `+` или макроса `format!`

Часто хочется объединять две существующие строки. Один из возможных способов — это использование оператора `+` из листинга 8-18:

```
let s1 = String::from("Hello, ");
let s2 = String::from("world!");
let s3 = s1 + &s2; // note s1 has been moved here and can no longer be used
```

Листинг 8-18: Использование оператора `+` для объединения двух значений `String` в новое `String` значение

Строка `s3` будет содержать `Hello, world!`. Причина того, что `s1` после добавления больше недействительна и причина, по которой мы использовали ссылку на `s2` имеют отношение к сигнатуре вызываемого метода при использовании оператора `+`. Оператор `+` использует метод `add`, чья сигнатура выглядит примерно так:

```
fn add(self, s: &str) -> String {
```

В стандартной библиотеке вы увидите метод `add` определённым с использованием обобщённых и связанных типов. Здесь мы видим сигнатуру с конкретными типами, заменяющими обобщённый, что происходит когда вызывается данный метод со значениями `String`. Мы обсудим обобщённые типы в Главе 10. Эта сигнатура даёт нам ключ для понимания особенностей оператора `+`.

Во-первых, перед `s2` мы видим `&`, что означает что мы складываем ссылку на вторую строку с первой строкой. Это происходит из-за параметра `s` в функции `add`: мы можем добавить только `&str` к `String`; мы не можем сложить два значения `String`. Но подождите — тип `&s2` это `&String`, а не `&str`, как определён второй параметр в `add`. Так почему код в листинге 8-18 компилируется?

Причина, по которой мы можем использовать `&s2` в вызове `add` заключается в том, что компилятор может *принудительно привести* (*coerce*) аргумент типа `&String` к типу `&str`. Когда мы вызываем метод `add` в Rust используется *принудительное приведение* (*deref coercion*), которое превращает `&s2` в `&s2[...]`. Мы подробно обсудим принудительное приведение в Главе 15. Так как `add` не забирает во владение параметр `s`, `s2` по прежнему будет действительной строкой `String` после применения операции.

Во-вторых, как можно видеть в сигнатуре, `add` забирает во владение `self`, потому что `self` не имеет `&`. Это означает, что `s1` в листинге 8-18 будет перемещён в вызов `add` и больше не будет действителен после этого вызова. Не смотря на то, что код `let s3 = s1 + &s2;` выглядит как будто он скопирует обе строки и создаёт новую, эта инструкция фактически забирает во владение переменную `s1`, присоединяет к ней копию содержимого `s2`, а затем возвращает владение результатом. Другими словами, это выглядит как будто код создаёт множество копий, но это не так; данная реализация более эффективна, чем копирование.

Если нужно объединить несколько строк, поведение оператора `+` становится громоздким:

```
let s1 = String::from("tic");
let s2 = String::from("tac");
let s3 = String::from("toe");

let s = s1 + "-" + &s2 + "-" + &s3;
```

Здесь переменная `s` будет содержать `tic-tac-toe`. С множеством символов `+` и `"` становится трудно понять, что происходит. Для более сложного комбинирования строк можно использовать макрос `format!`:

```
let s1 = String::from("tic");
let s2 = String::from("tac");
let s3 = String::from("toe");

let s = format!("{}-{}-{}", s1, s2, s3);
```

Этот код также устанавливает переменную `s` в значение `tic-tac-toe`. Макрос `format!` работает тем же способом что макрос `println!`, но вместо вывода на экран возвращает тип `String` с содержимым. Версия кода с использованием `format!` значительно легче читается, а также код, сгенерированный макросом `format!`, использует ссылки, а значит не забирает во владение ни один из его параметров.

Индексирование в строках

Доступ к отдельным символам в строке, при помощи ссылки на них по индексу, является допустимой и распространённой операцией во многих других языках программирования. Тем не менее, если вы попытаетесь получить доступ к частям `String`, используя синтаксис индексации в Rust, то вы получите ошибку. Рассмотрим неверный код в листинге 8-19.

```
let s1 = String::from("hello");
let h = s1[0];
```



Листинг 8-19: Попытка использовать синтаксис индекса со строкой

Этот код приведёт к следующей ошибке:

```
$ cargo run
Compiling collections v0.1.0 (file:///projects/collections)
error[E0277]: the type `str` cannot be indexed by `{integer}`
--> src/main.rs:3:16
  |
3 |     let h = s1[0];
  |             ^ string indices are ranges of `usize`
  |
  = help: the trait `SliceIndex<str>` is not implemented for `{integer}`, which is
required by `String: Index<_>`
  = note: you can use ` `.chars().nth()` or ` `.bytes().nth()`
          for more information, see chapter 8 in The Book: <https://doc.rust-lang.org/book/ch08-02-strings.html#indexing-into-strings>
  = help: the trait `SliceIndex<[_]>` is implemented for `usize`
  = help: for that trait implementation, expected `[_]`, found `str`
  = note: required for `String` to implement `Index<{integer}>`

For more information about this error, try `rustc --explain E0277`.
error: could not compile `collections` (bin "collections") due to 1 previous error
```

Ошибка и примечание говорит, что в Rust строки не поддерживают индексацию. Но почему так? Чтобы ответить на этот вопрос, нужно обсудить то, как Rust хранит строки в памяти.

Внутреннее представление

Тип `String` является оболочкой над типом `Vec<u8>`. Давайте посмотрим на несколько закодированных корректным образом в UTF-8 строк из примера листинга 8-14. Начнём с этой:

```
let hello = String::from("Hola");
```

В этом случае `len` будет 4, что означает вектор, хранит строку "Hola" длиной 4 байта. Каждая из этих букв занимает 1 байт при кодировании в UTF-8. Но как насчёт следующей строки? (Обратите внимание, что эта строка начинается с заглавной кириллической "З", а не цифры 3.)

```
let hello = String::from("Здравствуйте");
```

Отвечая на вопрос, какова длина строки, вы можете ответить 12. Однако ответ Rust - 24, что равно числу байт, необходимых для кодирования «Здравствуйте» в UTF-8, так происходит, потому что каждое скалярное значение Unicode символа в этой строке занимает 2 байта памяти. Следовательно, индекс по байтам строки не всегда был соответствовал действительному скалярному Unicode значению. Для демонстрации рассмотрим этот недопустимый код Rust:

```
let hello = "Здравствуйте";
let answer = &hello[0];
```

Каким должно быть значение переменной `answer`? Должно ли оно быть значением первой буквы `З`? При кодировке в UTF-8, первый байт значения `З` равен `208`, а второй - `151`, поэтому значение в `answer` на самом деле должно быть `208`, но само по себе `208` не является действительным символом. Возвращение `208`, скорее всего не то, что хотел бы получить пользователь: ведь он ожидает первую букву этой строки; тем не менее, это единственный байт данных, который в Rust доступен по индексу 0. Пользователи обычно не хотят получить значение байта, даже если строка содержит только латинские буквы: если `&"Hello"[0]` было бы допустимым кодом, который вернул значение байта, то он вернул бы `104`, а не `h`.

Таким образом, чтобы предотвратить возврат непредвиденного значения, вызывающего ошибки которые не могут быть сразу обнаружены, Rust просто не компилирует такой код и предотвращает недопонимание на ранних этапах процесса разработки.

Байты, скалярные значения и кластеры графем! Боже мой!

Ещё один момент, касающийся UTF-8, заключается в том, что на самом деле существует три способа рассмотрения строк с точки зрения Rust: как байты, как скалярные значения и как кластеры графем (самая близкая вещь к тому, что мы назвали бы буквами).

Если посмотреть на слово языка хинди «नमस्ते», написанное в транскрипции Devanagari, то оно хранится как вектор значений `u8` который выглядит следующим образом:

```
[224, 164, 168, 224, 164, 174, 224, 164, 184, 224, 165, 141, 224, 164, 164,  
224, 165, 135]
```

Эти 18 байт являются именно тем, как компьютеры в конечном итоге сохранят в памяти эту строку. Если мы посмотрим на 18 байт как на скалярные Unicode значения, которые являются Rust типом `char`, то байты будут выглядеть так:

```
['ନ', 'ମ', 'ସ', 'ଡ', 'ତ', 'େ']
```

Здесь есть шесть значений типа `char`, но четвёртый и шестой являются не буквами: они диакритики, специальные обозначения которые не имеют смысла сами по себе. Наконец, если мы посмотрим на байты как на кластеры графем, то получим то, что человек назвал бы словом на хинди состоящем из четырёх букв:

```
["ନ", "ମ", "ସ", "ତେ"]
```

Rust предоставляет различные способы интерпретации необработанных строковых данных, которые компьютеры хранят так, чтобы каждой программе можно было выбрать необходимую интерпретацию, независимо от того, на каком человеческом языке представлены эти данные.

Последняя причина, по которой Rust не позволяет нам индексировать `String` для получения символов является то, что программисты ожидают, что операции индексирования всегда имеют постоянное время ($O(1)$) выполнения. Но невозможно гарантировать такую производительность для `String`, потому что Rust понадобилось бы пройтись по содержимому от начала до индекса, чтобы определить, сколько было действительных символов.

Срезы строк

Индексирование строк часто является плохой идеей, потому что не ясно каким должен быть возвращаемый тип такой операции: байтовым значением, символом, кластером графем или срезом строки. Поэтому Rust просит вас быть более конкретным, если действительно требуется использовать индексы для создания срезов строк.

Вместо индексации с помощью числового индекса `[]`, вы можете использовать оператор диапазона `[..]` при создании среза строки в котором содержится указание на то, срез каких байтов надо делать:

```
let hello = "Здравствуйте";  
let s = &hello[0..4];
```

Здесь переменная `s` будет типа `&str` который содержит первые 4 байта строки. Ранее мы упоминали, что каждый из этих символов был по 2 байта, что означает, что `s` будет содержать "Зд".

Что бы произошло, если бы мы использовали `&hello[0..1]`? Ответ: Rust бы запаниковал во время выполнения точно так же, как если бы обращались к недействительному индексу в векторе:

```
$ cargo run
Compiling collections v0.1.0 (file:///projects/collections)
  Finished `dev` profile [unoptimized + debuginfo] target(s) in 0.43s
    Running `target/debug/collections`
thread 'main' panicked at src/main.rs:4:19:
byte index 1 is not a char boundary; it is inside '3' (bytes 0..2) of `Здравствуйте`
note: run with `RUST_BACKTRACE=1` environment variable to display a backtrace
```

Вы должны использовать диапазоны для создания срезов строк с осторожностью, потому что это может привести к сбою вашей программы.

Методы для перебора строк

Лучший способ работать с фрагментами строк — чётко указать, нужны ли вам символы или байты. Для отдельных скалярных значений в Юникоде используйте метод `chars`. Вызов `chars` у "Зд" выделяет и возвращает два значения типа `char`, и вы можете выполнить итерацию по результату для доступа к каждому элементу:

```
for c in "Зд".chars() {
    println!("{}");
}
```

Код напечатает следующее:

```
3
д
```

Метод `bytes` возвращает каждый байт, который может быть подходящим в другой предметной области:

```
for b in "Зд".bytes() {
    println!("{}");
}
```

Этот код выведет четыре байта, составляющих эту строку:

```
208
151
208
180
```

Но делая так, обязательно помните, что валидные скалярные Unicode значения могут состоять более чем из одного байта.

Извлечение кластеров графем из строк, как в случае с языком хинди, является сложным, поэтому эта функциональность не предусмотрена стандартной библиотекой. На [crates.io](#) есть доступные библиотеки, если Вам нужен данный функционал.

Строки не так просты

Подводя итог, становится ясно, что строки сложны. Различные языки программирования реализуют различные варианты того, как представить эту сложность для программиста. В Rust решили сделать правильную обработку данных `String` поведением по умолчанию для всех программ Rust, что означает, что программисты должны заранее продумать обработку UTF-8 данных. Этот компромисс раскрывает большую сложность строк, чем в других языках программирования, но это предотвращает от необходимости обрабатывать ошибки, связанные с не-ASCII символами которые могут появиться в ходе разработки позже.

Хорошая новость состоит в том что стандартная библиотека предлагает множество функциональных возможностей, построенных на основе типов `String` и `&str`, чтобы помочь правильно обрабатывать эти сложные ситуации. Обязательно ознакомьтесь с документацией для полезных методов, таких как `contains` для поиска в строке и `replace` для замены частей строки другой строкой.

Давайте переключимся на что-то немного менее сложное: HashMap!

Хранение ключей со связанными значениями в HashMap

Последняя коллекция, которую мы рассмотрим, будет *hash map* (хеш-карта). Тип `HashMap<K, V>` хранит ключи типа `K` на значения типа `V`. Данная структура организует и хранит данные с помощью функции хеширования. Во множестве языков программирования реализована данная структура, но часто с разными наименованиями: такими как `hash`, `map`, `object`, `hash table`, `dictionary` или ассоциативный массив.

Хеш-карты полезны, когда нужно искать данные не используя индекс, как это например делается в векторах, а с помощью ключа, который может быть любого типа. Например, в игре вы можете отслеживать счёт каждой команды в хеш-карте, в которой каждый ключ - это название команды, а значение - счёт команды. Имея имя команды, вы можете получить её счёт из хеш-карты.

В этом разделе мы рассмотрим базовый API хеш-карт. Остальной набор полезных функций скрывается в объявлении типа `HashMap<K, V>`. Как и прежде, советуем обратиться к документации по стандартной библиотеке для получения дополнительной информации.

Создание новой хеш-карты

Создать пустую хеш-карту можно с помощью `new`, а добавить в неё элементы - с помощью `insert`. В листинге 8-20 мы отслеживаем счёт двух команд, синей *Blue* и жёлтой *Yellow*. Синяя команда набрала 10 очков, а жёлтая команда - 50.

```
use std::collections::HashMap;

let mut scores = HashMap::new();

scores.insert(String::from("Blue"), 10);
scores.insert(String::from("Yellow"), 50);
```

Листинг 8-20: Создание новой хеш-карты и вставка в неё пары ключей и значений

Обратите внимание, что нужно сначала указать строку `use std::collections::HashMap;` для её подключения из коллекций стандартной библиотеки. Из трёх коллекций данная является наименее используемой, поэтому она не подключается в область видимости функцией автоматического импорта (`prelude`). Хеш-карты также имеют меньшую поддержку со стороны стандартной библиотеки; например, нет встроенного макроса для их конструирования.

Подобно векторам, хеш-карты хранят свои данные в куче. Здесь тип `HashMap` имеет в качестве типа ключей `String`, а в качестве типа значений тип `i32`. Как и векторы, `HashMap` однородны: все ключи должны иметь одинаковый тип и все значения должны иметь тоже одинаковый тип.

Доступ к данным в HashMap

Мы можем получить значение из HashMap по ключу, с помощью метода `get`, как показано в листинге 8-21.

```
use std::collections::HashMap;

let mut scores = HashMap::new();

scores.insert(String::from("Blue"), 10);
scores.insert(String::from("Yellow"), 50);

let team_name = String::from("Blue");
let score = scores.get(&team_name).copied().unwrap_or(0);
```

Листинг 8-21: Доступ к очкам команды "Blue", которые хранятся в хеш-карте

Здесь `score` будет иметь количество очков, связанное с командой "Blue", результат будет `10`. Метод `get` возвращает `Option<&v>`; если для какого-то ключа нет значения в HashMap, `get` вернёт `None`. Из-за такого подхода программе следует обрабатывать `Option`, вызывая `copied` для получения `Option<i32>` вместо `Option<&i32>`, затем `unwrap_or` для установки `score` в ноль, если scores не содержит данных по этому ключу.

Мы можем перебирать каждую пару ключ/значение в HashMap таким же образом, как мы делали с векторами, используя цикл `for`:

```
use std::collections::HashMap;

let mut scores = HashMap::new();

scores.insert(String::from("Blue"), 10);
scores.insert(String::from("Yellow"), 50);

for (key, value) in &scores {
    println!("{}: {}", key, value);
}
```

Этот код будет печатать каждую пару в произвольном порядке:

```
Yellow: 50
Blue: 10
```

Хеш-карты и владение

Для типов, которые реализуют типаж `Copy`, например `i32`, значения копируются в HashMap. Для значений со владением, таких как `String`, значения будут перемещены в хеш-карту и она станет владельцем этих значений, как показано в листинге 8-22.

```
use std::collections::HashMap;

let field_name = String::from("Favorite color");
let field_value = String::from("Blue");

let mut map = HashMap::new();
map.insert(field_name, field_value);
// field_name and field_value are invalid at this point, try using them and
// see what compiler error you get!
```

Листинг 8-22: Показывает, что ключи и значения находятся во владении HashMap, как только они были вставлены

Мы не можем использовать переменные `field_name` и `field_value` после того, как их значения были перемещены в HashMap вызовом метода `insert`.

Если мы вставим в HashMap ссылки на значения, то они не будут перемещены в HashMap. Значения, на которые указывают ссылки, должны быть действительными хотя бы до тех пор, пока хеш-карта действительна. Мы поговорим подробнее об этих вопросах в разделе "["Валидация ссылок при помощи времён жизни"](#)" главы 10.

Обновление данных в HashMap

Хотя количество ключей и значений может увеличиваться в HashMap, каждый ключ может иметь только одно значение, связанное с ним в один момент времени (обратное утверждение неверно: команды "Blue" и "Yellow" могут хранить в хеш-карте `scores` одинаковое количество очков, например 10).

Когда вы хотите изменить данные в хеш-карте, необходимо решить, как обрабатывать случай, когда ключ уже имеет назначенное значение. Можно заменить старое значение новым, полностью игнорируя старое. Можно сохранить старое значение и игнорировать новое, или добавлять новое значение, если только ключ *ещё не* имел значения. Или можно было бы объединить старое значение и новое значение. Давайте посмотрим, как сделать каждый из вариантов!

Перезапись старых значений

Если мы вставим ключ и значение в HashMap, а затем вставим тот же ключ с новым значением, то старое значение связанное с этим ключом, будет заменено на новое. Даже несмотря на то, что код в листинге 8-23 вызывает `insert` дважды, хеш-карта будет содержать только одну пару ключ/значение, потому что мы вставляем значения для одного и того же ключа - ключа команды "Blue".

```
use std::collections::HashMap;

let mut scores = HashMap::new();

scores.insert(String::from("Blue"), 10);
scores.insert(String::from("Blue"), 25);

println!("{} scores:?", scores);
```

Листинг 8-23: Замена значения, хранимого в конкретном ключе

Код напечатает `{"Blue": 25}`. Начальное значение `10` было перезаписано.

Вставка значения только в том случае, когда ключ не имеет значения

Обычно проверяют, существует ли конкретный ключ в хеш-карте со значением, а затем предпринимаются следующие действия: если ключ существует в хеш-карте, существующее значение должно оставаться таким, какое оно есть. Если ключ не существует, то вставляют его и значение для него.

Хеш-карты имеют для этого специальный API, называемый `entry`, который принимает ключ для проверки в качестве входного параметра. Возвращаемое значение метода `entry` - это перечисление `Entry`, с двумя вариантами: первый представляет значение, которое может существовать, а второй говорит о том, что значение отсутствует. Допустим, мы хотим проверить, имеется ли ключ и связанное с ним значение для команды "Yellow". Если хеш-карта не имеет значения для такого ключа, то мы хотим вставить значение 50. То же самое мы хотим проделать и для команды "Blue". Используем API `entry` в коде листинга 8-24.

```
use std::collections::HashMap;

let mut scores = HashMap::new();
scores.insert(String::from("Blue"), 10);

scores.entry(String::from("Yellow")).or_insert(50);
scores.entry(String::from("Blue")).or_insert(50);

println!("{} scores:?", scores);
```

Листинг 8-24: Использование метода `entry` для вставки значения только в том случае, когда ключ не имеет значения

Метод `or_insert` определён в `Entry` так, чтобы возвращать изменяемую ссылку на соответствующее значение ключа внутри варианта перечисления `Entry`, когда этот ключ существует, а если его нет, то вставлять параметр в качестве нового значения этого ключа и возвращать изменяемую ссылку на новое значение. Эта техника намного чище, чем самостоятельное написание логики и, кроме того, она более безопасна и согласуется с правилами заимствования.

При выполнении кода листинга 8-24 будет напечатано `{"Yellow": 50, "Blue": 10}`. Первый вызов метода `entry` вставит ключ для команды "Yellow" со значением 50, потому что для

жёлтой команды ещё не имеется значения в `HashMap`. Второй вызов `entry` не изменит хеш-карту, потому что для ключа команды "Blue" уже имеется значение 10.

Создание нового значения на основе старого значения

Другим распространённым вариантом использования хеш-карт является поиск значения по ключу, а затем обновление этого значения на основе старого значения. Например, в листинге 8-25 показан код, который подсчитывает, сколько раз определённое слово встречается в некотором тексте. Мы используем `HashMap` со словами в качестве ключей и увеличиваем соответствующее слову значение, чтобы отслеживать, сколько раз мы встретили это слово. Если мы впервые встретили слово, то сначала вставляем значение 0.

```
use std::collections::HashMap;

let text = "hello world wonderful world";

let mut map = HashMap::new();

for word in text.split_whitespace() {
    let count = map.entry(word).or_insert(0);
    *count += 1;
}

println!("{}: {}", word, count);
```

Листинг 8-25: Подсчёт количества вхождений слов с использованием хеш-карты, которая хранит слова и счётчики

Этот код напечатает `{"world": 2, "hello": 1, "wonderful": 1}`. Если вы увидите, что пары ключ/значение печатаются в другом порядке, то вспомните, что мы писали в секции "[Доступ к данным в `HashMap`](#)", что итерация по хеш-карте происходит в произвольном порядке.

Метод `split_whitespace` возвращает итератор по срезам строки, разделённых пробелам, для строки `text`. Метод `or_insert` возвращает изменяющую ссылку (`&mut V`) на значение ключа. Мы сохраняем изменяющую ссылку в переменной `count`, для этого, чтобы присвоить переменной значение, необходимо произвести разыменование с помощью звёздочки (*). Изменяющаяся ссылка удаляется сразу же после выхода из области видимости цикла `for`, поэтому все эти изменения безопасны и согласуются с правилами заимствования.

Функция хеширования

По умолчанию `HashMap` использует функцию хеширования *SipHash*, которая может противостоять атакам класса отказ в обслуживании, Denial of Service (DoS) с использованием хеш-таблиц `siphash`. Это не самый быстрый из возможных алгоритмов хеширования, в данном случае производительность идёт на компромисс с обеспечением лучшей безопасности. Если после профилирования вашего кода окажется, что хеш-функция, используемая по умолчанию, очень медленная, вы можете заменить её используя другой hasher. `Hasher` - это тип, реализующий трейт `BuildHasher`. Подробнее о типажах мы поговорим в Главе 10. Вам совсем

не обязательно реализовывать свою собственную функцию хеширования; [crates.io](#) имеет достаточное количество библиотек, предоставляющих разные реализации hasher с множеством общих алгоритмов хеширования.

Итоги

Векторы, строки и хеш-карты предоставляют большое количество функционала для программ, когда необходимо сохранять, получать доступ и модифицировать данные. Теперь вы готовы решить следующие учебные задания:

- Есть список целых чисел. Создайте функцию, используйте вектор и верните из списка: среднее значение; медиану (значение элемента из середины списка после его сортировки); моду списка (mode of list, то значение которое встречается в списке наибольшее количество раз; HashMap будет полезна в данном случае).
- Преобразуйте строку в кодировку "поросячьей латыни" (Pig Latin). Первая согласная каждого слова перемещается в конец и к ней добавляется окончание "ay", так "first" станет "irst-fay". Слову, начинающемуся на гласную, в конец добавляется "hay" ("apple" становится "apple-hay"). Помните о деталях работы с кодировкой UTF-8!
- Используя хеш-карту и векторы, создайте текстовый интерфейс позволяющий пользователю добавлять имена сотрудников к названию отдела компании. Например, "Add Sally to Engineering" или "Add Amir to Sales". Затем позвольте пользователю получить список всех людей из отдела или всех людей в компании, отсортированных по отделам в алфавитном порядке.

Документация API стандартной библиотеки описывает методы у векторов, строк и HashMap. Рекомендуем воспользоваться ей при решении упражнений.

Потихоньку мы переходим к более сложным программам, в которых операции могут потерпеть неудачу. Наступило идеальное время для обсуждения обработки ошибок.

Обработка ошибок

Возникновение ошибок в ходе выполнения программ — это суровая реальность в жизни программного обеспечения, поэтому Rust имеет ряд функций для обработки ситуаций, в которых что-то идёт не так. Во многих случаях Rust требует, чтобы вы признали возможность ошибки и предприняли некоторые действия, прежде чем ваш код будет скомпилирован. Это требование делает вашу программу более надёжной, гарантируя, что вы обнаружите ошибки и обработаете их надлежащим образом, прежде чем развернёте свой код в производственной среде!

В Rust ошибки группируются на две основные категории: *исправимые* (recoverable) и *неисправимые* (unrecoverable). В случае исправимой ошибки, такой как `файл не найден`, мы, скорее всего, просто хотим сообщить о проблеме пользователю и повторить операцию. Неисправимые ошибки всегда являются симптомами дефектов в коде, например, попытка доступа к ячейке за пределами границ массива, и поэтому мы хотим немедленно остановить программу.

Большинство языков не различают эти два вида ошибок и обрабатывают оба вида одинаково, используя такие механизмы, как исключения. В Rust нет исключений. Вместо этого он имеет тип `Result<T, E>` для обрабатываемых (исправимых) ошибок и макрос `panic!`, который останавливает выполнение, когда программа встречает необрабатываемую (неисправимую) ошибку. Сначала эта глава расскажет про вызов `panic!`, а потом расскажет о возврате значений `Result<T, E>`. Кроме того, мы рассмотрим, что нужно учитывать при принятии решения о том, следует ли попытаться исправить ошибку или остановить выполнение.

Неустранимые ошибки с макросом `panic!`

Иногда в коде происходят плохие вещи, и вы ничего не можете с этим поделать. В этих случаях у Rust есть макрос `panic!` На практике существует два способа вызвать панику: путём выполнения действия, которое вызывает панику в нашем коде (например, обращение к массиву за пределами его размера) или путём явного вызова макроса `panic!`. В обоих случаях мы вызываем панику в нашей программе. По умолчанию паника выводит сообщение об ошибке, раскручивает и очищает стек вызовов, и завершает работу. С помощью переменной окружения вы также можете заставить Rust отображать стек вызовов при возникновении паники, чтобы было легче отследить источник паники.

Раскручивать стек или прерывать выполнение программы в ответ на панику?

По умолчанию, когда происходит паника, программа начинает процесс *раскрутки стека*, означающий в Rust проход обратно по стеку вызовов и очистку данных для каждой обнаруженной функции. Тем не менее, этот обратный проход по стеку и очистка генерируют много работы. Rust как альтернативу предоставляет вам возможность *немедленного прерывания* (*aborting*), которое завершает работу программы без очистки.

Память, которую использовала программа, должна быть очищена операционной системой. Если в вашем проекте нужно насколько это возможно сделать маленьким исполняемый файл, вы можете переключиться с варианта раскрутки стека на вариант прерывания при панике, добавьте `panic = 'abort'` в раздел `[profile]` вашего `cargo.toml` файла. Например, если вы хотите прервать панику в режиме релиза, добавьте это:

```
[profile.release]
panic = 'abort'
```

Давайте попробуем вызвать `panic!` в простой программе:

Файл: `src/main.rs`

```
fn main() {
    panic!("crash and burn");
}
```

При запуске программы, вы увидите что-то вроде этого:

```
$ cargo run
Compiling panic v0.1.0 (file:///projects/panic)
  Finished `dev` profile [unoptimized + debuginfo] target(s) in 0.25s
    Running `target/debug/panic`
thread 'main' panicked at 'src/main.rs:2:5:
crash and burn
note: run with `RUST_BACKTRACE=1` environment variable to display a backtrace'
```

Выполнение макроса `panic!` вызывает сообщение об ошибке, содержащееся в двух последних строках. Первая строка показывает сообщение паники и место в исходном коде, где возникла паника: `src/main.rs:2:5` указывает, что это вторая строка, пятый символ внутри нашего файла `src/main.rs`.

В этом случае указанная строка является частью нашего кода, и если мы перейдём к этой строке, мы увидим вызов макроса `panic!`. В других случаях вызов `panic!` мог бы произойти в стороннем коде, который вызывает наш код, тогда имя файла и номер строки для сообщения об ошибке будет из чужого кода, где макрос `panic!` выполнен, а не из строк нашего кода, которые в конечном итоге привели к выполнению `panic!`. Мы можем использовать обратную трассировку вызовов функций которые вызвали `panic!` чтобы выяснить, какая часть нашего кода вызывает проблему. Мы обсудим обратную трассировку более подробно далее.

Использование обратной трассировки `panic!`

Давайте посмотрим на другой пример, где, вызов `panic!` происходит в сторонней библиотеке из-за ошибки в нашем коде (а не как в примере ранее, из-за вызова макроса нашим кодом напрямую). В листинге 9-1 приведён код, который пытается получить доступ по индексу в векторе за пределами допустимого диапазона значений индекса.

Файл: `src/main.rs`

```
fn main() {
    let v = vec![1, 2, 3];
    v[99];
}
```



Листинг 9-1: Попытка доступа к элементу за пределами вектора, которая вызовет `panic!`

Здесь мы пытаемся получить доступ к 100-му элементу вектора (который находится по индексу 99, потому что индексирование начинается с нуля), но вектор имеет только 3 элемента. В этой ситуации, Rust будет вызывать панику. Использование `[]` должно возвращать элемент, но вы передаёте неверный индекс: не существует элемента, который Rust мог бы вернуть.

В языке C, например, попытка прочесть за пределами конца структуры данных (в нашем случае векторе) приведёт к *неопределенному поведению*, *undefined behavior*, *UB*. Вы всё равно получите значение, которое находится в том месте памяти компьютера, которое соответствовало бы этому элементу в векторе, несмотря на то, что память по тому адресу совсем не принадлежит вектору (всё просто: С рассчитал бы место хранения элемента с

индексом 99 и считал бы то, что там хранится, упс). Это называется *чтением за пределом буфера*, *buffer overflow*, и может привести к уязвимостям безопасности. Если злоумышленник может манипулировать индексом таким образом, то у него появляется возможность читать данные, которые он не должен иметь возможности читать.

Чтобы защитить вашу программу от такого рода уязвимостей при попытке прочитать элемент с индексом, которого не существует, Rust остановит выполнение и откажется продолжить работу программы. Давайте попробуем так сделать и посмотрим на поведение Rust:

```
$ cargo run
Compiling panic v0.1.0 (file:///projects/panic)
  Finished `dev` profile [unoptimized + debuginfo] target(s) in 0.27s
    Running `target/debug/panic`
thread 'main' panicked at src/main.rs:4:6:
index out of bounds: the len is 3 but the index is 99
note: run with `RUST_BACKTRACE=1` environment variable to display a backtrace
```

Следующая строка говорит, что мы можем установить переменную среды `RUST_BACKTRACE`, чтобы получить обратную трассировку того, что именно стало причиной ошибки. *Обратная трассировка* создаёт список всех функций, которые были вызваны до какой-то определённой точки выполнения программы. Обратная трассировка в Rust работает так же, как и в других языках. По этому предлагаем вам читать данные обратной трассировки как и везде - читать сверху вниз, пока не увидите информацию о файлах написанных вами. Это место, где возникла проблема. Другие строки, которые выше над строками с упоминанием наших файлов, - это код, который вызывается нашим кодом; строки ниже являются кодом, который вызывает наш код. Эти строки могут включать основной код Rust, код стандартной библиотеки или используемые крейты. Давайте попробуем получить обратную трассировку с помощью установки переменной среды `RUST_BACKTRACE` в любое значение, кроме 0. Листинг 9-2 показывает вывод, подобный тому, что вы увидите.

```
$ RUST_BACKTRACE=1 cargo run
thread 'main' panicked at 'index out of bounds: the len is 3 but the index is 99',
src/main.rs:4:5
stack backtrace:
 0: rust_begin_unwind
    at
/rustc/e092d0b6b43f2de967af0887873151bb1c0b18d3/library/std/src/panicking.rs:584:5
 1: core::panicking::panic_fmt
    at
/rustc/e092d0b6b43f2de967af0887873151bb1c0b18d3/library/core/src/panicking.rs:142:14
 2: core::panicking::panic_bounds_check
    at
/rustc/e092d0b6b43f2de967af0887873151bb1c0b18d3/library/core/src/panicking.rs:84:5
 3: <usize as core::slice::index::SliceIndex<[T]>>::index
    at
/rustc/e092d0b6b43f2de967af0887873151bb1c0b18d3/library/core/src/slice/index.rs:242:10
 4: core::slice::index::<impl core::ops::index::Index<I> for [T]>::index
    at
/rustc/e092d0b6b43f2de967af0887873151bb1c0b18d3/library/core/src/slice/index.rs:18:9
 5: <alloc::vec::Vec<T,A> as core::ops::index::Index<I>>::index
    at
/rustc/e092d0b6b43f2de967af0887873151bb1c0b18d3/library/alloc/src/vec/mod.rs:2591:9
 6: panic::main
    at ./src/main.rs:4:5
 7: core::ops::function::FnOnce::call_once
    at
/rustc/e092d0b6b43f2de967af0887873151bb1c0b18d3/library/core/src/ops/function.rs:248:5
note: Some details are omitted, run with `RUST_BACKTRACE=full` for a verbose backtrace.
```

Листинг 9-2: Обратная трассировка, сгенерированная вызовом `panic!`, когда установлена переменная окружения `RUST_BACKTRACE`

Тут много вывода! Вывод, который вы увидите, может отличаться от представленного, в зависимости от вашей операционной системы и версии Rust. Для того, чтобы получить обратную трассировку с этой информацией, должны быть включены *символы отладки, debug symbols*. Символы отладки включены по умолчанию при использовании `cargo build` или `cargo run` без флага `--release`, как у нас в примере.

В выводе обратной трассировки листинга 9-2, строка #6 указывает на строку в нашем проекте, которая вызывала проблему: строка 4 из файла `src/main.rs`. Если мы не хотим, чтобы наша программа запаниковала, мы должны начать исследование с места, на которое указывает первая строка с упоминанием нашего файла. В листинге 9-1, где мы для демонстрации обратной трассировки сознательно написали код, который паникует, способ исправления паники состоит в том, чтобы не запрашивать элемент за пределами диапазона значений индексов вектора. Когда ваш код запаникует в будущем, вам нужно будет выяснить, какое выполняющееся кодом действие, с какими значениями вызывает панику и что этот код должен делать вместо этого.

Мы вернёмся к обсуждению макроса `panic!`, и того когда нам следует и не следует использовать `panic!` для обработки ошибок в разделе "`panic!` или НЕ `panic!`" этой главы. Далее мы рассмотрим, как восстановить выполнение программы после исправляемых ошибок, использующих тип `Result`.

Исправимые ошибки с `Result`

Многие ошибки являются не настолько критичными, чтобы останавливать выполнение программы. Иногда, когда в функции происходит сбой, необходима просто правильная интерпретация и обработка ошибки. К примеру, при попытке открыть файл может произойти ошибка из-за отсутствия файла. Вы, возможно, захотите исправить ситуацию и создать новый файл вместо остановки программы.

Вспомните раздел ["Обработка потенциального сбоя с помощью `Result`"] главы 2: мы использовали там перечисление `Result`, имеющее два варианта, `Ok` и `Err` для обработки сбоев. Само перечисление определено следующим образом:

```
enum Result<T, E> {
    Ok(T),
    Err(E),
}
```

Типы `T` и `E` являются параметрами обобщённого типа: мы обсудим обобщённые типы более подробно в Главе 10. Все что вам нужно знать прямо сейчас - это то, что `T` представляет тип значения, которое будет возвращено в случае успеха внутри варианта `Ok`, а `E` представляет тип ошибки, которая будет возвращена при сбое внутри варианта `Err`. Так как тип `Result` имеет эти обобщённые параметры (generic type parameters), мы можем использовать тип `Result` и функции, которые определены для него, в разных ситуациях, когда тип успешного значение и значения ошибки, которые мы хотим вернуть, отличаются.

Давайте вызовем функцию, которая возвращает значение `Result`, потому что может потерпеть неудачу. В листинге 9-3 мы пытаемся открыть файл.

Файл: src/main.rs

```
use std::fs::File;

fn main() {
    let greeting_file_result = File::open("hello.txt");
}
```

Листинг 9-3: Открытие файла

`File::open` возвращает значения типа `Result<T, E>`. Универсальный тип `T` в реализации `File::open` соответствует типу успешно полученного значения, `std::fs::File`, а именно дескриптору файла. Тип `E`, используемый для значения в случае возникновения ошибки, - `std::io::Error`. Такой возвращаемый тип означает, что вызов `File::open` может быть успешным и вернуть дескриптор файла, из которого мы можем читать или в который можем писать. Также вызов функции может завершиться неудачей: например, файл может не существовать, или у нас может не быть разрешения на доступ к файлу. Функция `File::open`

должна иметь способ сообщить нам об успехе или неудаче и в то же время дать нам либо дескриптор файла, либо информацию об ошибке. Эту возможность как раз и предоставляет перечисление `Result`.

В случае успеха `File::open` значением переменной `greeting_file_result` будет экземпляр `Ok`, содержащий дескриптор файла. В случае неудачи значение в переменной `greeting_file_result` будет экземпляром `Err`, содержащим дополнительную информацию о том, какая именно ошибка произошла.

Необходимо дописать в код листинга 9-3 выполнение разных действий в зависимости от значения, которое вернёт вызов `File::open`. Листинг 9-4 показывает один из способов обработки `Result` - пользуясь базовым инструментом языка, таким как выражение `match`, рассмотренным в Главе 6.

Файл: `src/main.rs`

```
use std::fs::File;

fn main() {
    let greeting_file_result = File::open("hello.txt");

    let greeting_file = match greeting_file_result {
        Ok(file) => file,
        Err(error) => panic!("Problem opening the file: {error:?}"),
    };
}
```

Листинг 9-4: Использование выражения `match` для обработки возвращаемых вариантов типа `Result`

Обратите внимание, что также как перечисление `Option`, перечисление `Result` и его варианты, входят в область видимости благодаря авто-импорту (prelude), поэтому не нужно указывать `Result::` перед использованием вариантов `Ok` и `Err` в ветках выражения `match`.

Если результатом будет `Ok`, этот код вернёт значение `file` из варианта `Ok`, а мы затем присвоим это значение файлового дескриптора переменной `greeting_file`. После `match` мы можем использовать дескриптор файла для чтения или записи.

Другая ветвь `match` обрабатывает случай, где мы получаем значение `Err` после вызова `File::open`. В этом примере мы решили вызвать макрос `panic!`. Если в нашей текущей директории нет файла с именем `hello.txt` и мы выполним этот код, то мы увидим следующее сообщение от макрояса `panic!`:

```
$ cargo run
Compiling error-handling v0.1.0 (file:///projects/error-handling)
  Finished `dev` profile [unoptimized + debuginfo] target(s) in 0.73s
    Running `target/debug/error-handling`
thread 'main' panicked at 'src/main.rs:8:23:
Problem opening the file: Os { code: 2, kind: NotFound, message: "No such file or
directory" }
note: run with `RUST_BACKTRACE=1` environment variable to display a backtrace'
```

Как обычно, данное сообщение точно говорит, что пошло не так.

Обработка различных ошибок с помощью `match`

Код в листинге 9-4 будет вызывать `panic!` независимо от того, почему вызов `File::open` не удался. Однако мы хотим предпринять различные действия для разных причин сбоя. Если открытие `File::open` не удалось из-за отсутствия файла, мы хотим создать файл и вернуть его дескриптор. Если вызов `File::open` не удался по любой другой причине - например, потому что у нас не было прав на открытие файла, то все равно мы хотим вызвать `panic!` как у нас сделано в листинге 9-4. Для этого мы добавляем выражение внутреннего `match`, показанное в листинге 9-5.

Файл: src/main.rs

```
use std::fs::File;
use std::io::ErrorKind;

fn main() {
    let greeting_file_result = File::open("hello.txt");

    let greeting_file = match greeting_file_result {
        Ok(file) => file,
        Err(error) => match error.kind() {
            ErrorKind::NotFound => match File::create("hello.txt") {
                Ok(fc) => fc,
                Err(e) => panic!("Problem creating the file: {e:?}"),
            },
            other_error => {
                panic!("Problem opening the file: {other_error:?}");
            }
        },
    };
}
```

Листинг 9-5: Обработка различных ошибок разными способами

Типом значения возвращаемого функцией `File::open` внутри `Err` варианта является `io::Error`, структура из стандартной библиотеки. Данная структура имеет метод `kind`, который можно вызвать для получения значения `io::ErrorKind`. Перечисление `io::ErrorKind` из стандартной библиотеки имеет варианты, представляющие различные типы ошибок, которые могут появиться при выполнении операций в `io`. Вариант, который мы хотим использовать, это `ErrorKind::NotFound`, который даёт информацию о том, что файл, который мы пытаемся открыть, ещё не существует. Итак, во второй строке мы вызываем сопоставление шаблона с переменной `greeting_file_result` и попадаем в ветку с обработкой ошибки, но также у нас есть внутренняя проверка для сопоставления `error.kind()` ошибки.

Условие, которое мы хотим проверить во внутреннем `match`, заключается в том, является ли значение, возвращаемое `error.kind()`, вариантом `NotFound` перечисления `ErrorKind`. Если это так, мы пытаемся создать файл с помощью функции `File::create`. Однако, поскольку вызов `File::create` тоже может завершиться ошибкой, нам нужна обработка ещё одной ошибки, теперь уже во внутреннем выражении `match`. Заметьте: если файл не может быть создан, выводится другое, специализированное сообщение об ошибке. Вторая же ветка

внешнего `match` (который обрабатывает вызов `error.kind()`), остаётся той же самой - в итоге программа паникует при любой ошибке, кроме ошибки отсутствия файла.

Альтернативы использованию `match` с `Result<T, E>`

Как много `match`! Выражение `match` является очень полезным, но в то же время довольно примитивным. В главе 13 вы узнаете о замыканиях (closures), которые используются во многих методах типа `Result<T, E>`. Эти методы помогают быть более лаконичным, чем использование `match` при работе со значениями `Result<T, E>` в вашем коде.

Например, вот другой способ написать ту же логику, что показана в Листинге 9-5, но с использованием замыканий и метода `unwrap_or_else`:

```
use std::fs::File;
use std::io::ErrorKind;

fn main() {
    let greeting_file = File::open("hello.txt").unwrap_or_else(|error| {
        if error.kind() == ErrorKind::NotFound {
            File::create("hello.txt").unwrap_or_else(|error| {
                panic!("Problem creating the file: {:?}", error);
            })
        } else {
            panic!("Problem opening the file: {:?}", error);
        }
    });
}
```

Несмотря на то, что данный код имеет такое же поведение как в листинге 9-5, он не содержит ни одного выражения `match` и проще для чтения. Рекомендуем вам вернуться к примеру этого раздела после того как вы прочитаете Главу 13 и изучите метод `unwrap_or_else` по документации стандартной библиотеки. Многие из методов о которых вы узнаете в документации и Главе 13 могут очистить код от больших, вложенных выражений `match` при обработке ошибок.

Лаконичные способы обработки ошибок - `unwrap` и `expect`

Использование `match` работает достаточно хорошо, но может быть довольно многословным и не всегда хорошо передаёт смысл. Тип `Result<T, E>` имеет множество вспомогательных методов для выполнения различных, более специфических задач. Метод `unwrap` - это метод быстрого доступа к значениям, реализованный так же, как и выражение `match`, которое мы написали в Листинге 9-4. Если значение `Result` является вариантом `Ok`, `unwrap` возвращает значение внутри `Ok`. Если `Result` - вариант `Err`, то `unwrap` вызовет для нас макрос `panic!`. Вот пример `unwrap` в действии:

Файл: src/main.rs

```
use std::fs::File;

fn main() {
    let greeting_file = File::open("hello.txt").unwrap();
}
```

Если мы запустим этот код при отсутствии файла *hello.txt*, то увидим сообщение об ошибке из вызова `panic!` метода `unwrap`:

```
thread 'main' panicked at 'called `Result::unwrap()` on an `Err` value: Os { code: 2, kind: NotFound, message: "No such file or directory" }',
src/main.rs:4:49
```

Другой метод, похожий на `unwrap`, это `expect`, позволяющий указать сообщение об ошибке для макроса `panic!`. Использование `expect` вместо `unwrap` с предоставлением хорошего сообщения об ошибке выражает ваше намерение и делает более простым отслеживание источника паники. Синтаксис метода `expect` выглядит так:

Файл: src/main.rs

```
use std::fs::File;

fn main() {
    let greeting_file = File::open("hello.txt")
        .expect("hello.txt should be included in this project");
}
```

`expect` используется так же как и `unwrap`: либо возвращается дескриптор файла либо вызывается макрос `panic!`.

Наше сообщение об ошибке в `expect` будет передано в `panic!` и заменит стандартное используемое сообщение.

Вот как это выглядит:

```
thread 'main' panicked at 'hello.txt should be included in this project: Os { code: 2, kind: NotFound, message: "No such file or directory" }',
src/main.rs:5:10
```

В рабочем коде, большинство выбирает `expect` в угоду `unwrap` и добавляет описание, почему операция должна закончиться успешно. Но даже если предположение оказалось неверным, информации для отладки будет больше.

Проброс ошибок

Когда вы пишете функцию, реализация которой вызывает что-то, что может завершиться ошибкой, вместо обработки ошибки в этой функции, вы можете вернуть ошибку в вызывающий код, чтобы он мог решить, что с ней делать. Такой приём известен как *распространение ошибки (propagating the error)*. Благодаря нему мы даём больше контроля

вызывающему коду, где может быть больше информации или логики, которая диктует, как ошибка должна обрабатываться, чем было бы в месте появления этой ошибки.

Например, код программы 9-6 читает имя пользователя из файла. Если файл не существует или не может быть прочтён, то функция возвращает ошибку в код, который вызвал данную функцию.

Файл: src/main.rs

```
use std::fs::File;
use std::io::{self, Read};

fn read_username_from_file() -> Result<String, io::Error> {
    let username_file_result = File::open("hello.txt");

    let mut username_file = match username_file_result {
        Ok(file) => file,
        Err(e) => return Err(e),
    };

    let mut username = String::new();

    match username_file.read_to_string(&mut username) {
        Ok(_) => Ok(username),
        Err(e) => Err(e),
    }
}
```

Листинг 9-6: Функция, которая возвращает ошибки в вызывающий код, используя оператор `match`

Эта функция может быть написана гораздо более коротким способом, но мы начнём с того, что многое сделаем вручную, чтобы изучить обработку ошибок; а в конце покажем более короткий способ. Давайте сначала рассмотрим тип возвращаемого значения: `Result<String, io::Error>`. Здесь есть возвращаемое значение функции типа `Result<T, E>` где шаблонный параметр `T` был заполнен конкретным типом `String` и шаблонный параметр `E` был заполнен конкретным типом `io::Error`.

Если эта функция выполнится без проблем, то код, вызывающий эту функцию, получит значение `Ok`, содержащее `String` - имя пользователя, которое эта функция прочитала из файла. Если функция столкнётся с какими-либо проблемами, вызывающий код получит значение `Err`, содержащее экземпляр `io::Error`, который включает дополнительную информацию о том, какие проблемы возникли. Мы выбрали `io::Error` в качестве возвращаемого типа этой функции, потому что это тип значения ошибки, возвращаемого из обеих операций, которые мы вызываем в теле этой функции и которые могут завершиться неудачей: функция `File::open` и метод `read_to_string`.

Тело функции начинается с вызова `File::open`. Затем мы обрабатываем значение `Result` с помощью `match`, аналогично `match` из листинга 9-4. Если `File::open` завершается успешно, то дескриптор файла в переменной образца `file` становится значением в изменяемой переменной `username_file` и функция продолжит свою работу. В случае `Err`, вместо вызова `panic!`, мы используем ключевое слово `return` для досрочного возврата из функции и

передаём значение ошибки из `File::open`, которое теперь находится в переменной образца `e`, обратно в вызывающий код как значение ошибки этой функции.

Таким образом, если у нас есть файловый дескриптор в `username_file`, функция создаёт новую `String` в переменной `username` и вызывает метод `read_to_string` для файлового дескриптора в `username_file`, чтобы прочитать содержимое файла в `username`. Метод `read_to_string` также возвращает `Result`, потому что он может потерпеть неудачу, даже если `File::open` завершился успешно. Поэтому нам нужен ещё один `match` для обработки этого `Result`: если `read_to_string` завершится успешно, то наша функция сработала, и мы возвращаем имя пользователя из файла, которое теперь находится в `username`, обёрнутое в `Ok`. Если `read_to_string` потерпит неудачу, мы возвращаем значение ошибки таким же образом, как мы возвращали значение ошибки в `match`, который обрабатывал возвращаемое значение `File::open`. Однако нам не нужно явно указывать `return`, потому что это последнее выражение в функции.

Затем код, вызывающий этот, будет обрабатывать получение либо значения `Ok`, содержащего имя пользователя, либо значения `Err`, содержащего `io::Error`. Вызывающий код должен решить, что делать с этими значениями. Если вызывающий код получает значение `Err`, он может вызвать `panic!` и завершить работу программы, использовать имя пользователя по умолчанию или найти имя пользователя, например, не в файле. У нас недостаточно информации о том, что на самом деле пытается сделать вызывающий код, поэтому мы распространяем всю информацию об успехах или ошибках вверх, чтобы она могла обрабатываться соответствующим образом.

Эта схема передачи ошибок настолько распространена в Rust, что Rust предоставляет оператор вопросительного знака `?`, чтобы облегчить эту задачу.

Сокращение для проброса ошибок: оператор `?`

В листинге 9-7 показана реализация `read_username_from_file`, которая имеет ту же функциональность, что и в листинге 9-6, но в этой реализации используется оператор `?`.

Файл: `src/main.rs`

```
use std::fs::File;
use std::io::{self, Read};

fn read_username_from_file() -> Result<String, io::Error> {
    let mut username_file = File::open("hello.txt")?;
    let mut username = String::new();
    username_file.read_to_string(&mut username)?;
    Ok(username)
}
```

Листинг 9-7: Функция, возвращающая ошибки в вызывающий код с помощью оператора `?`

Выражение `?`, расположенное после `Result`, работает почти так же, как и те выражения `match`, которые мы использовали для обработки значений `Result` в листинге 9-6. Если в

качестве значения `Result` будет `Ok`, то значение внутри `Ok` будет возвращено из этого выражения, и программа продолжит работу. Если же значение представляет собой `Err`, то `Err` будет возвращено из всей функции, как если бы мы использовали ключевое слово `return`, так что значение ошибки будет передано в вызывающий код.

Существует разница между тем, что делает выражение `match` из листинга 9-6 и тем, что делает оператор `?`: значения ошибок, для которых вызван оператор `?`, проходят через функцию `from`, определённую в трейте `From` стандартной библиотеки, которая используется для преобразования значений из одного типа в другой. Когда оператор `?` вызывает функцию `from`, полученный тип ошибки преобразуется в тип ошибки, определённый в возвращаемом типе текущей функции. Это полезно, когда функция возвращает только один тип ошибки, для описания всех возможных вариантов сбоев, даже если её отдельные компоненты могут выходить из строя по разным причинам.

Например, мы могли бы изменить функцию `read_username_from_file` в листинге 9-7, чтобы возвращать пользовательский тип ошибки с именем `OurError`, который мы определим. Если мы также определим `impl From<io::Error> for OurError` для создания экземпляра `OurError` из `io::Error`, то оператор `?`, вызываемый в теле `read_username_from_file`, вызовет `from` и преобразует типы ошибок без необходимости добавления дополнительного кода в функцию.

В случае листинга 9-7 оператор `?` в конце вызова `File::open` вернёт значение внутри `Ok` в переменную `username_file`. Если произойдёт ошибка, оператор `?` выполнит ранний возврат значения `Err` вызывающему коду. То же самое относится к оператору `?` в конце вызова `read_to_string`.

Оператор `?` позволяет избавиться от большого количества шаблонного кода и упростить реализацию этой функции. Мы могли бы даже ещё больше сократить этот код, если бы использовали цепочку вызовов методов сразу после `?`, как показано в листинге 9-8.

Файл: `src/main.rs`

```
use std::fs::File;
use std::io::{self, Read};

fn read_username_from_file() -> Result<String, io::Error> {
    let mut username = String::new();

    File::open("hello.txt")?.read_to_string(&mut username)?;

    Ok(username)
}
```

Листинг 9-8: Цепочка вызовов методов после оператора `?`

Мы перенесли создание новой `String` в `username` в начало функции; эта часть не изменилась. Вместо создания переменной `username_file` мы соединили вызов `read_to_string` непосредственно с результатом `File::open("hello.txt")?`. У нас по-прежнему есть `?` в конце вызова `read_to_string`, и мы по-прежнему возвращаем значение `Ok`, содержащее `username`, когда и `File::open` и `read_to_string` завершаются успешно, а не

возвращают ошибки. Функциональность снова такая же, как в Листинге 9-6 и Листинге 9-7; это просто другой, более эргономичный способ её написания.

Продолжая рассматривать разные способы записи данной функции, листинг 9-9 демонстрирует способ сделать её ещё короче с помощью `fs::read_to_string`.

Файл: src/main.rs

```
use std::fs;
use std::io;

fn read_username_from_file() -> Result<String, io::Error> {
    fs::read_to_string("hello.txt")
}
```

Листинг 9-9: Использование `fs::read_to_string` вместо открытия и последующего чтения файла

Чтение файла в строку довольно распространённая операция, так что стандартная библиотека предоставляет удобную функцию `fs::read_to_string`, которая открывает файл, создаёт новую `String`, читает содержимое файла, размещает его в `String` и возвращает её. Конечно, использование функции `fs::read_to_string` не даёт возможности объяснить обработку всех ошибок, поэтому мы сначала изучили длинный способ.

Где можно использовать оператор ?

Оператор `?` может использоваться только в функциях, тип возвращаемого значения которых совместим со значением, для которого используется `?`. Это потому, что оператор `?` определён для выполнения раннего возврата значения из функции таким же образом, как и выражение `match`, которое мы определили в листинге 9-6. В листинге 9-6 `match` использовало значение `Result`, а ответвление с ранним возвратом вернуло значение `Err(e)`. Тип возвращаемого значения функции должен быть `Result`, чтобы он был совместим с этим `return`.

В листинге 9-10 давайте посмотрим на ошибку, которую мы получим, если воспользуемся оператором `?` в функции `main` с типом возвращаемого значения, несовместимым с типом значения, для которого мы используем `?`:

Файл: src/main.rs

```
use std::fs::File;

fn main() {
    let greeting_file = File::open("hello.txt")?;
}
```



Листинг 9-10: Попытка использовать `?` в `main` функции, которая возвращает `()`, не будет компилироваться

Этот код открывает файл, что может привести к сбою. `?` оператор следует за значением `Result`, возвращаемым `File::open`, но эта `main` функция имеет возвращаемый тип `()`, а не

Result. Когда мы компилируем этот код, мы получаем следующее сообщение об ошибке:

```
$ cargo run
Compiling error-handling v0.1.0 (file:///projects/error-handling)
error[E0277]: the `?` operator can only be used in a function that returns `Result` or
`Option` (or another type that implements `FromResidual`)
--> src/main.rs:4:48
|
3 | fn main() {
| ----- this function should return `Result` or `Option` to accept `?`
4 |     let greeting_file = File::open("hello.txt")?;
|                                         ^ cannot use the `?` operator in a
function that returns `()`
|
= help: the trait `FromResidual<Result<Infallible, std::io::Error>>` is not
implemented for `()``

For more information about this error, try `rustc --explain E0277`.
error: could not compile `error-handling` (bin "error-handling") due to 1 previous
error
```

Эта ошибка указывает на то, что оператор `?` разрешено использовать только в функции, которая возвращает `Result`, `Option` или другой тип, реализующий `FromResidual`.

Для исправления ошибки есть два варианта. Первый - изменить возвращаемый тип вашей функции так, чтобы он был совместим со значением, для которого вы используете оператор `?`, если у вас нет ограничений, препятствующих этому. Другой способ - использовать `match` или один из методов `Result<T, E>` для обработки `Result<T, E>` любым подходящим способом.

В сообщении об ошибке также упоминалось, что `?` можно использовать и со значениями `Option<T>`. Как и при использовании `?` для `Result`, вы можете использовать `?` только для `Option` в функции, которая возвращает `Option`. Поведение оператора `?` при вызове `Option<T>` похоже на его поведение при вызове `Result<T, E>`: если значение равно `None`, то `None` будет возвращено раньше из функции в этот момент. Если значение `Some`, значение внутри `Some` является результирующим значением выражения, и функция продолжает исполняться. В листинге 9-11 приведён пример функции, которая находит последний символ первой строки заданного текста:

```
fn last_char_of_first_line(text: &str) -> Option<char> {
    text.lines().next()?.chars().last()
}
```

Листинг 9-11: Использование оператора `?` для значения `Option<T>`

Эта функция возвращает `Option<char>`, потому что возможно, что там есть символ, но также возможно, что его нет. Этот код принимает аргумент среза `text` строки и вызывает для него метод `lines`, который возвращает итератор для строк в строке. Поскольку эта функция хочет проверить первую строку, она вызывает `next` у итератора, чтобы получить первое значение от итератора. Если `text` является пустой строкой, этот вызов `next` вернёт `None`, и в этом случае мы используем `?` чтобы остановить и вернуть `None` из `last_char_of_first_line`. Если

`text` не является пустой строкой, `next` вернёт значение `Some`, содержащее фрагмент строки первой строки в `text`.

Символ `?` извлекает фрагмент строки, и мы можем вызвать `chars` для этого фрагмента строки, чтобы получить итератор символов. Нас интересует последний символ в первой строке, поэтому мы вызываем `last`, чтобы вернуть последний элемент в итераторе. Вернётся `Option`, потому что возможно, что первая строка пустая - например, если `text` начинается с пустой строки, но имеет символы в других строках, как в `"\nhi"`. Однако, если в первой строке есть последний символ, он будет возвращён в варианте `Some`. Оператор `?` в середине даёт нам лаконичный способ выразить эту логику, позволяя реализовать функцию в одной строке. Если бы мы не могли использовать оператор `?` в `Option`, нам пришлось бы реализовать эту логику, используя больше вызовов методов или выражение `match`.

Обратите внимание, что вы можете использовать оператор `?` `Result` в функции, которая возвращает `Result`, и вы можете использовать оператор `?` для `Option` в функции, которая возвращает `Option`, но вы не можете смешивать и сопоставлять. Оператор `?` не будет автоматически преобразовывать `Result` в `Option` или наоборот; в этих случаях вы можете использовать такие методы, как метод `ok` для `Result` или метод `ok_or` для `Option`, чтобы выполнить преобразование явно.

До сих пор все функции `main`, которые мы использовали, возвращали `()`. Функция `main` - особенная, потому что это точка входа и выхода исполняемых программ, и существуют ограничения на тип возвращаемого значения, чтобы программы вели себя так, как ожидается.

К счастью, `main` также может возвращать `Result<(), E>`. В листинге 9-12 используется код из листинга 9-10, но мы изменили возвращаемый тип `main` на `Result<(), Box<dyn Error>>` и добавили возвращаемое значение `Ok(())` в конец. Теперь этот код будет скомпилирован:

```
use std::error::Error;
use std::fs::File;

fn main() -> Result<(), Box<dyn Error>> {
    let greeting_file = File::open("hello.txt")?;

    Ok(())
}
```

Листинг 9-12: Замена `main` на `return Result<(), E>` позволяет использовать оператор `?` оператор над значениями `Result`

Тип `Box<dyn Error>` является *трейт-объектом*, о котором мы поговорим в разделе "Использование трейт-объектов, допускающих значения разных типов" в главе 17. Пока что вы можете считать, что `Box<dyn Error>` означает "любой вид ошибки". Использование `?` для значения `Result` в функции `main` с типом ошибки `Box<dyn Error>` разрешено, так как позволяет вернуть любое значение `Err` раньше времени. Даже если тело этой функции `main` будет возвращать только ошибки типа `std::io::Error`, указав `Box<dyn Error>`, эта сигнатура

останется корректной, даже если в теле `main` будет добавлен код, возвращающий другие ошибки.

Когда `main` функция возвращает `Result<(), E>`, исполняемый файл завершится со значением `0`, если `main` вернёт `Ok(())`, и выйдет с ненулевым значением, если `main` вернёт значение `Err`. Исполняемые файлы, написанные на C, при выходе возвращают целые числа: успешно завершённые программы возвращают целое число `0`, а программы с ошибкой возвращают целое число, отличное от `0`. Rust также возвращает целые числа из исполняемых файлов, чтобы быть совместимым с этим соглашением.

Функция `main` может возвращать любые типы, реализующие трейт `std::process::Termination`, в которых имеется функция `report`, возвращающая `ExitCode`. Обратитесь к документации стандартной библиотеки за дополнительной информацией о порядке реализации трейта `Termination` для ваших собственных типов.

Теперь, когда мы обсудили детали вызова `panic!` или возврата `Result`, давайте вернёмся к тому, как решить, какой из случаев подходит для какой ситуации.

panic! или не panic!

Итак, как принимается решение о том, когда следует вызывать `panic!`, а когда вернуть `Result`? При панике код не имеет возможности восстановить своё выполнение. Можно было бы вызывать `panic!` для любой ошибочной ситуации, независимо от того, имеется ли способ восстановления или нет, но с другой стороны, вы принимаете решение от имени вызывающего вас кода, что ситуация необратима. Когда вы возвращаете значение `Result`, вы делегируете принятие решения вызывающему коду. Вызывающий код может попытаться выполнить восстановление способом, который подходит в данной ситуации, или же он может решить, что из ошибки в `Err` нельзя восстановиться и вызовет `panic!`, превратив вашу исправимую ошибку в неисправимую. Поэтому возвращение `Result` является хорошим выбором по умолчанию для функции, которая может дать сбой.

В таких ситуациях как примеры, прототипы и тесты, более уместно писать код, который паникует вместо возвращения `Result`. Давайте рассмотрим почему, а затем мы обсудим ситуации, в которых компилятор не может доказать, что ошибка невозможна, но вы, как человек, можете это сделать. Глава будет заканчиваться некоторыми общими руководящими принципами о том, как решить, стоит ли паниковать в коде библиотеки.

Примеры, прототипирование и тесты

Когда вы пишете пример, иллюстрирующий некоторую концепцию, наличие хорошего кода обработки ошибок может сделать пример менее понятным. Понятно, что в примерах вызов метода `unwrap`, который может привести к панике, является лишь обозначением способа обработки ошибок в приложении, который может отличаться в зависимости от того, что делает остальная часть кода.

Точно так же методы `unwrap` и `expect` являются очень удобными при создании прототипа, прежде чем вы будете готовы решить, как обрабатывать ошибки. Они оставляют чёткие маркеры в коде до момента, когда вы будете готовы сделать программу более надёжной.

Если в тесте происходит сбой при вызове метода, то вы бы хотели, чтобы весь тест не прошёл, даже если этот метод не является тестируемой функциональностью. Поскольку вызов `panic!` – это способ, которым тест помечается как провалившийся, использование `unwrap` или `expect` – именно то, что нужно.

Случаи, в которых у вас больше информации, чем у компилятора

Также было бы целесообразно вызывать `unwrap` или `expect` когда у вас есть какая-то другая логика, которая гарантирует, что `Result` будет иметь значение `Ok`, но вашу логику не понимает компилятор. У вас по-прежнему будет значение `Result` которое нужно обработать: любая операция, которую вы вызываете, все ещё имеет возможность неудачи в целом, хотя

это логически невозможно в вашей конкретной ситуации. Если, проверяя код вручную, вы можете убедиться, что никогда не будет вариант с `Err`, то вполне допустимо вызывать `unwrap`, а лучше задокументировать причину, по которой, по вашему мнению, у вас никогда не будет варианта `Err` в тексте `expect`. Вот пример:

```
use std::net::IpAddr;

let home: IpAddr = "127.0.0.1"
    .parse()
    .expect("Hardcoded IP address should be valid");
```

Мы создаём экземпляр `IpAddr`, анализируя жёстко закодированную строку. Можно увидеть, что `127.0.0.1` является действительным IP-адресом, поэтому здесь допустимо использование `expect`. Однако наличие жёстко закодированной допустимой строки не меняет тип возвращаемого значения метода `parse`: мы все ещё получаем значение `Result` и компилятор все также заставляет нас обращаться с `Result` так, будто возможен вариант `Err`, потому что компилятор недостаточно умён, чтобы увидеть, что эта строка всегда действительный IP-адрес. Если строка IP-адреса пришла от пользователя, то она не является жёстко запрограммированной в программе и, следовательно, может привести к ошибке, мы определённо хотели бы обработать `Result` более надёжным способом. Упоминание предположения о том, что этот IP-адрес жёстко закодирован, побудит нас изменить `expect` для лучшей обработки ошибок, если в будущем нам потребуется вместо этого получить IP-адрес из какого-либо другого источника.

Руководство по обработке ошибок

Желательно, чтобы код паниковал, если он может оказаться в некорректном состоянии. В этом контексте *некорректное состояние* это когда некоторое допущение, гарантия, контракт или инвариант были нарушены. Например, когда недопустимые, противоречивые или пропущенные значения передаются в ваш код - плюс один или несколько пунктов из следующего перечисленного в списке:

- Некорректное состояние — это что-то неожиданное, отличается от того, что может происходить время от времени, например, когда пользователь вводит данные в неправильном формате.
- Ваш код после этой точки должен полагаться на то, что он не находится в некорректном состоянии, вместо проверок наличия проблемы на каждом этапе.
- Нет хорошего способа закодировать данную информацию в типах, которые вы используете. Мы рассмотрим пример того, что мы имеем в виду в разделе “[Кодирование состояний и поведения на основе типов](#)” главы 17.

Если кто-то вызывает ваш код и передаёт значения, которые не имеют смысла, лучше всего вернуть ошибку, если вы это можете, чтобы пользователь библиотеки мог решить, что он хочет делать в этом случае. Однако в тех случаях, когда продолжение выполнения программы может быть небезопасным или вредным, лучшим выбором будет вызов `panic!` и оповещение пользователя, использующего вашу библиотеку, об ошибке в его коде, чтобы он мог исправить её во время разработки. Аналогично `panic!` подходит, если вы вызываете

внешний, неподконтрольный вам код, и он возвращает недопустимое состояние, которое вы не можете исправить.

Однако, когда ожидается сбой, лучше вернуть `Result`, чем выполнить вызов `panic!`. В качестве примера можно привести синтаксический анализатор, которому передали неправильно сформированные данные, или HTTP-запрос, возвращающий статус указывающий на то, что вы достигли ограничения на частоту запросов. В этих случаях возврат `Result` означает, что ошибка является ожидаемой и вызывающий код должен решить, как её обрабатывать.

Когда ваш код выполняет операцию, которая может подвергнуть пользователя риску, если она вызывается с использованием недопустимых значений, ваш код должен сначала проверить допустимость значений и паниковать, если значения недопустимы. Так рекомендуется делать в основном из соображений безопасности: попытка оперировать некорректными данными может привести к уязвимостям. Это основная причина, по которой стандартная библиотека будет вызывать `panic!`, если попытаться получить доступ к памяти вне границ массива: доступ к памяти, не относящейся к текущей структуре данных, является известной проблемой безопасности. Функции часто имеют контракты: их поведение гарантируется, только если входные данные отвечают определённым требованиям. Паника при нарушении контракта имеет смысл, потому что это всегда указывает на дефект со стороны вызывающего кода, и это не ошибка, которую вы хотели бы, чтобы вызывающий код явно обрабатывал. На самом деле, нет разумного способа для восстановления вызывающего кода; программисты, вызывающие ваш код, должны исправить свой. Контракты для функций, особенно когда нарушение вызывает панику, следует описать в документации по API функции.

Тем не менее, наличие множества проверок ошибок во всех ваших функциях было бы многословным и раздражительным. К счастью, можно использовать систему типов Rust (следовательно и проверку типов компилятором), чтобы она сделала множество проверок вместо вас. Если ваша функция имеет определённый тип в качестве параметра, вы можете продолжить работу с логикой кода зная, что компилятор уже обеспечил правильное значение. Например, если используется обычный тип, а не тип `Option`, то ваша программа ожидает наличие *чего-то* вместо *ничего*. Ваш код не должен будет обрабатывать оба варианта `Some` и `None`: он будет иметь только один вариант для определённого значения. Код, пытающийся ничего не передавать в функцию, не будет даже компилироваться, поэтому ваша функция не должна проверять такой случай во время выполнения. Другой пример - это использование целого типа без знака, такого как `u32`, который гарантирует, что параметр никогда не будет отрицательным.

Создание пользовательских типов для проверки

Давайте разовьём идею использования системы типов Rust чтобы убедиться, что у нас есть корректное значение, и рассмотрим создание пользовательского типа для валидации. Вспомним игру угадывания числа из Главы 2, в которой наш код просил пользователя угадать число между 1 и 100. Мы никогда не проверяли, что предположение пользователя лежит между этими числами, перед сравнением предположения с загаданным нами числом; мы только проверяли, что оно положительно. В этом случае последствия были не очень

страшными: наши сообщения «Слишком много» или «Слишком мало», выводимые в консоль, все равно были правильными. Но было бы лучше подталкивать пользователя к правильным догадкам и иметь различное поведение для случаев, когда пользователь предлагает число за пределами диапазона, и когда пользователь вводит, например, буквы вместо цифр.

Один из способов добиться этого - пытаться разобрать введённое значение как `i32`, а не как `u32`, чтобы разрешить потенциально отрицательные числа, а затем добавить проверку для нахождение числа в диапазоне, например, так:

```
loop {
    // --snip--

    let guess: i32 = match guess.trim().parse() {
        Ok(num) => num,
        Err(_) => continue,
    };

    if guess < 1 || guess > 100 {
        println!("The secret number will be between 1 and 100.");
        continue;
    }

    match guess.cmp(&secret_number) {
        // --snip--
    }
}
```

Выражение `if` проверяет, находится ли наше значение вне диапазона, сообщает пользователю о проблеме и вызывает `continue`, чтобы начать следующую итерацию цикла и попросить ввести другое число. После выражения `if` мы можем продолжить сравнение значения `guess` с загаданным числом, зная, что `guess` лежит в диапазоне от 1 до 100.

Однако это не идеальное решение: если бы было чрезвычайно важно, чтобы программа работала только со значениями от 1 до 100, существовало бы много функций, требующих этого, то такая проверка в каждой функции была бы утомительной (и могла бы отрицательно повлиять на производительность).

Вместо этого можно создать новый тип и поместить проверки в функцию создания экземпляра этого типа, не повторяя их везде. Таким образом, функции могут использовать новый тип в своих сигнатурах и быть уверены в значениях, которые им передают. Листинг 9-13 показывает один из способов, как определить тип `Guess`, чтобы экземпляр `Guess` создавался только при условии, что функция `new` получает значение от 1 до 100.

Листинг 9-13. Тип `Guess`, который будет создавать экземпляры только для значений от 1 до 100

Сначала мы определяем структуру с именем `Guess`, которая имеет поле с именем `value` типа `i32`, в котором будет храниться число.

Затем мы реализуем ассоциированную функцию `new`, создающую экземпляры значений типа `Guess`. Функция `new` имеет один параметр `value` типа `i32`, и возвращает `Guess`. Код в теле функции `new` проверяет, что значение `value` находится между 1 и 100. Если `value` не проходит эту проверку, мы вызываем `panic!`, которая оповестит программиста, написавшего вызывающий код, что в его коде есть ошибка, которую необходимо исправить, поскольку попытка создания `Guess` со значением `value` вне заданного диапазона нарушает контракт, на который полагается `Guess::new`. Условия, в которых `Guess::new` паникует, должны быть описаны в документации к API; мы рассмотрим соглашения о документации, указывающие на возможность появления `panic!` в документации API, которую вы создадите в Главе 14. Если `value` проходит проверку, мы создаём новый экземпляр `Guess`, у которого значение поля `value` равно значению параметра `value`, и возвращаем `Guess`.

Затем мы реализуем метод с названием `value`, который заимствует `self`, не имеет других параметров, и возвращает значение типа `i32`. Этот метод иногда называют *извлекатель* (getter), потому что его цель состоит в том, чтобы извлечь данные из полей структуры и вернуть их. Этот публичный метод является необходимым, поскольку поле `value` структуры `Guess` является приватным. Важно, чтобы поле `value` было приватным, чтобы код, использующий структуру `Guess`, не мог устанавливать `value` напрямую: код снаружи модуля должен использовать функцию `Guess::new` для создания экземпляра `Guess`, таким образом гарантируя, что у `Guess` нет возможности получить `value`, не проверенное условиями в функции `Guess::new`.

Функция, которая принимает или возвращает только числа от 1 до 100, может объявить в своей сигнатуре, что она принимает или возвращает `Guess`, вместо `i32`, таким образом не будет необходимости делать дополнительные проверки в теле такой функции.

Итоги

Функции обработки ошибок в Rust призваны помочь написанию более надёжного кода. Макрос `panic!` сигнализирует, что ваша программа находится в состоянии, которое она не может обработать, и позволяет сказать процессу чтобы он прекратил своё выполнение, вместо попытки продолжить выполнение с некорректными или неверными значениями. Перечисление `Result` использует систему типов Rust, чтобы сообщить, что операции могут завершиться неудачей, и ваш код мог восстановиться. Можно использовать `Result`, чтобы сообщить вызывающему коду, что он должен обрабатывать потенциальный успех или потенциальную неудачу. Использование `panic!` и `Result` правильным образом сделает ваш код более надёжным перед лицом неизбежных проблем.

Теперь, когда вы увидели полезные способы использования обобщённых типов `Option` и `Result` в стандартной библиотеке, мы поговорим о том, как работают обобщённые типы и как вы можете использовать их в своём коде.

Обобщённые типы, типажи и время жизни

Каждый язык программирования имеет в своём арсенале эффективные средства борьбы с дублированием кода. В Rust одним из таких инструментов являются обобщённые типы данных - *generics*. Это абстрактные подставные типы на место которых возможно поставить какой-либо конкретный тип или другое свойство. Когда мы пишем код, мы можем выразить поведение обобщённых типов или их связь с другими обобщёнными типами, не зная какой тип будет использован на их месте при компиляции и запуске кода.

Функции могут принимать параметры некоторого "обобщённого" типа вместо привычных "конкретных" типов, вроде `i32` или `String`. Аналогично, функция принимает параметры с неизвестными заранее значениями, чтобы выполнять одинаковые действия над несколькими конкретными значениями. На самом деле мы уже использовали обобщённые типы данных в Главе 6 (`Option<T>`), в Главе 8 (`Vec<T>` и `HashMap<K, V>`) и в Главе 9 (`Result<T, E>`). В этой главе вы узнаете, как определить собственные типы данных, функции и методы, используя возможности обобщённых типов.

Прежде всего, мы рассмотрим как для уменьшения дублирования извлечь из кода некоторую общую функциональность. Далее, мы будем использовать тот же механизм для создания обобщённой функции из двух функций, которые отличаются только типом их параметров. Мы также объясним, как использовать обобщённые типы данных при определении структур и перечислений.

После этого мы изучим как использовать типажи (traits) для определения поведения в обобщённом виде. Можно комбинировать типажи с обобщёнными типами, чтобы обобщённый тип мог принимать только такие типы, которые имеют определённое поведение, а не все подряд.

В конце мы обсудим *времена жизни* (*lifetimes*), вариации обобщённых типов, которые дают компилятору информацию о том, как сроки жизни ссылок относятся друг к другу. Времена жизни позволяют нам указать дополнительную информацию об "одолженных" (*borrowed*) значениях, которая позволит компилятору удостовериться в корректности используемых ссылок в тех ситуациях, когда компилятор не может сделать это автоматически.

Удаление дублирования кода с помощью выделения общей функциональности

В обобщениях мы можем заменить конкретный тип на "заполнитель" (*placeholder*), обозначающую несколько типов, что позволяет удалить дублирующийся код. Прежде чем углубляться в синтаксис обобщённых типов, давайте сначала посмотрим, как удалить дублирование, не задействуя универсальные типы, путём извлечения функции, которая заменяет определённые значения заполнителем, представляющим несколько значений. Затем мы применим ту же технику для извлечения универсальной функции! Изучив, как

распознать дублированный код, который можно извлечь в функцию, вы начнёте распознавать дублированный код, который может использовать обобщённые типы.

Начнём с короткой программы в листинге 10-1, которая находит наибольшее число в списке.

Файл: src/main.rs

```
fn main() {
    let number_list = vec![34, 50, 25, 100, 65];

    let mut largest = &number_list[0];

    for number in &number_list {
        if number > largest {
            largest = number;
        }
    }

    println!("The largest number is {largest}");
}
```

Листинг 10-1: Поиск наибольшего числа в списке чисел

Сохраним список целых чисел в переменной `number_list` и поместим первое значение из списка в переменную `largest`. Далее, переберём все элементы списка, и, если текущий элемент больше числа сохранённого в переменной `largest`, заменим значение в этой переменной. Если текущий элемент меньше или равен "наибольшему", найденному ранее, значение переменной оставим прежним и перейдём к следующему элементу списка. После перебора всех элементов списка переменная `largest` должна содержать наибольшее значение, которое в нашем случае будет равно 100.

Теперь перед нами стоит задача найти наибольшее число в двух разных списках. Для этого мы можем дублировать код из листинга 10-1 и использовать ту же логику в двух разных местах программы, как показано в листинге 10-2.

Файл: src/main.rs

```
fn main() {
    let number_list = vec![34, 50, 25, 100, 65];

    let mut largest = &number_list[0];

    for number in &number_list {
        if number > largest {
            largest = number;
        }
    }

    println!("The largest number is {largest}");

    let number_list = vec![102, 34, 6000, 89, 54, 2, 43, 8];

    let mut largest = &number_list[0];

    for number in &number_list {
        if number > largest {
            largest = number;
        }
    }

    println!("The largest number is {largest}");
}
```

Листинг 10-2: Код для поиска наибольшего числа в двух списках чисел

Несмотря на то, что код программы работает, дублирование кода утомительно и подвержено ошибкам. При внесении изменений мы должны не забыть обновить каждое место, где код дублируется.

Для устранения дублирования мы можем создать дополнительную абстракцию с помощью функции которая сможет работать с любым списком целых чисел переданным ей в качестве входного параметра и находить для этого списка наибольшее число. Данное решение делает код более ясным и позволяет абстрактным образом реализовать алгоритм поиска наибольшего числа в списке.

В листинге 10-3 мы извлекаем код, который находит наибольшее число, в функцию с именем `largest`. Затем мы вызываем функцию, чтобы найти наибольшее число в двух списках из листинга 10-2. Мы также можем использовать эту функцию для любого другого списка значений `i32`, который может встретиться позже.

Файл: src/main.rs

```
fn largest(list: &[i32]) -> &i32 {
    let mut largest = &list[0];

    for item in list {
        if item > largest {
            largest = item;
        }
    }

    largest
}

fn main() {
    let number_list = vec![34, 50, 25, 100, 65];

    let result = largest(&number_list);
    println!("The largest number is {result}");

    let number_list = vec![102, 34, 6000, 89, 54, 2, 43, 8];

    let result = largest(&number_list);
    println!("The largest number is {result}");
}
```

Листинг 10-3: Абстрактный код для поиска наибольшего числа в двух списках

Функция `largest` имеет параметр с именем `list`, который представляет любой срез значений типа `i32`, которые мы можем передать в неё. В результате вызова функции, код выполнится с конкретными, переданными в неё значениями.

Итак, вот шаги выполненные для изменения кода из листинга 10-2 в листинг 10-3:

1. Определить дублирующийся код.
2. Извлечь дублирующийся код и поместить его в тело функции, определив входные и выходные значения этого кода в сигнатуре функции.
3. Обновить и заменить два участка дублирующегося кода вызовом одной функции.

Далее, чтобы уменьшить дублирование кода, мы воспользуемся теми же шагами для обобщённых типов. Обобщённые типы позволяют работать над абстрактными типами таким же образом, как тело функции может работать над абстрактным списком `list` вместо конкретных значений.

Например, у нас есть две функции: одна ищет наибольший элемент внутри среза значений типа `i32`, а другая внутри среза значений типа `char`. Как уменьшить такое дублирование? Давайте выяснять!

Обобщённые типы данных

Мы используем обобщённые типы данных для объявления функций или структур, которые затем можно использовать с различными конкретными типами данных. Давайте сначала посмотрим, как объявлять функции, структуры, перечисления и методы, используя обобщённые типы данных. Затем мы обсудим, как обобщённые типы данных влияют на производительность кода.

В объявлении функций

Когда мы объявляем функцию с обобщёнными типами, мы размещаем обобщённые типы в сигнатуре функции, где мы обычно указываем типы данных аргументов и возвращаемого значения. Используя обобщённые типы, мы делаем код более гибким и предоставляем большую функциональность при вызове нашей функции, предотвращая дублирование кода.

Рассмотрим пример с функцией `largest`. Листинг 10-4 показывает две функции, каждая из которых находит самое большое значение в срезе своего типа. Позже мы объединим их в одну функцию, использующую обобщённые типы данных.

Файл: `src/main.rs`

```

fn largest_i32(list: &[i32]) -> &i32 {
    let mut largest = &list[0];

    for item in list {
        if item > largest {
            largest = item;
        }
    }

    largest
}

fn largest_char(list: &[char]) -> &char {
    let mut largest = &list[0];

    for item in list {
        if item > largest {
            largest = item;
        }
    }

    largest
}

fn main() {
    let number_list = vec![34, 50, 25, 100, 65];

    let result = largest_i32(&number_list);
    println!("The largest number is {result}");

    let char_list = vec!['y', 'm', 'a', 'q'];

    let result = largest_char(&char_list);
    println!("The largest char is {result}");
}

```

Листинг 10-4: две функции, отличающиеся только именем и типом обрабатываемых данных

Функция `largest_i32` уже встречалась нам: мы извлекли её в листинге 10-3, когда боролись с дублированием кода — она находит наибольшее значение типа `i32` в срезе. Функция `largest_char` находит самое большое значение типа `char` в срезе. Тело у этих функций одинаковое, поэтому давайте избавимся от дублируемого кода, используя параметр обобщённого типа в одной функции.

Для параметризации типов данных в новой объявляемой функции нам нужно дать имя обобщённому типу — так же, как мы это делаем для аргументов функций. Можно использовать любой идентификатор для имени параметра типа, но мы будем использовать `T`, потому что по соглашению имена параметров в Rust должны быть короткими (обычно длиной в один символ), а именование типов в Rust делается в нотации UpperCamelCase. Сокращение слова «type» до одной буквы `T` является стандартным выбором большинства программистов, использующих язык Rust.

Когда мы используем параметр в теле функции, мы должны объявить имя параметра в сигнатуре, чтобы компилятор знал, что означает это имя. Аналогично когда мы используем имя типа параметра в сигнатуре функции, мы должны объявить это имя раньше, чем мы его

используем. Чтобы определить обобщённую функцию `largest`, поместим объявление имен параметров в треугольные скобки `<>` между именем функции и списком параметров, как здесь:

```
fn largest<T>(list: &[T]) -> &T {
```

Объявление читается так: функция `largest` является обобщённой по типу `T`. Эта функция имеет один параметр с именем `list`, который является срезом значений с типом данных `T`. Функция `largest` возвращает значение этого же типа `T`.

Листинг 10-5 показывает определение функции `largest` с использованием обобщённых типов данных в её сигнатуре. Листинг также показывает, как мы можем вызывать функцию со срезом данных типа `i32` или `char`. Данный код пока не будет компилироваться, но мы исправим это к концу раздела.

Файл: `src/main.rs`

```
fn largest<T>(list: &[T]) -> &T {
    let mut largest = &list[0];

    for item in list {
        if item > largest {
            largest = item;
        }
    }

    largest
}

fn main() {
    let number_list = vec![34, 50, 25, 100, 65];

    let result = largest(&number_list);
    println!("The largest number is {result}");

    let char_list = vec!['y', 'm', 'a', 'q'];

    let result = largest(&char_list);
    println!("The largest char is {result}");
}
```



Листинг 10-5: функция `largest`, использующая параметры обобщённого типа; пока ещё не компилируется

Если мы скомпилируем программу сейчас, мы получим следующую ошибку:

```

$ cargo run
Compiling chapter10 v0.1.0 (file:///projects/chapter10)
error[E0369]: binary operation `>` cannot be applied to type `&T`
--> src/main.rs:5:17
|
5 |         if item > largest {
|             ^ ----- &T
|             |
|             &T
|
help: consider restricting type parameter `T`
1 | fn largest<T: std::cmp::PartialOrd>(list: &[T]) -> &T {
|     ++++++-----+
For more information about this error, try `rustc --explain E0369`.
error: could not compile `chapter10` (bin "chapter10") due to 1 previous error

```

В подсказке упоминается `std::cmp::PartialOrd`, который является *типажом*. Мы поговорим про типажи в следующем разделе. Сейчас ошибка в функции `largest` указывает, что функция не будет работать для всех возможных типов `T`. Так как мы хотим сравнивать значения типа `T` в теле функции, мы можем использовать только те типы, данные которых можно упорядочить: можем упорядочить — значит, можем и сравнить. Чтобы можно было задействовать сравнения, стандартная библиотека имеет типаж `std::cmp::PartialOrd`, который вы можете реализовать для типов (смотрите дополнение С для большей информации про данный типаж). Следуя совету в сообщении компилятора, ограничим тип `T` теми вариантами, которые поддерживают типаж `PartialOrd`, и тогда пример успешно скомпилируется, так как стандартная библиотека реализует `PartialOrd` как для типа `i32`, так и для типа `char`.

В определении структур

Мы также можем определить структуры, использующие обобщённые типы в одном или нескольких своих полях, с помощью синтаксиса `<>`. Листинг 10-6 показывает, как определить структуру `Point<T>`, чтобы хранить поля координат `x` и `y` любого типа данных.

Файл: src/main.rs

```

struct Point<T> {
    x: T,
    y: T,
}

fn main() {
    let integer = Point { x: 5, y: 10 };
    let float = Point { x: 1.0, y: 4.0 };
}

```

Листинг 10-6: структура `Point`, содержащая поля `x` и `y` типа `T`

Синтаксис использования обобщённых типов в определении структуры очень похож на синтаксис в определении функции. Сначала мы объявляем имена типов параметров внутри треугольных скобок сразу после названия структуры. Затем мы можем использовать обобщённые типы в определении структуры в тех местах, где ранее мы указывали бы конкретные типы.

Так как мы используем только один обобщённый тип данных для определения структуры `Point<T>`, это определение означает, что структура `Point<T>` является обобщённой с типом `T`, и оба поля `x` и `y` имеют одинаковый тип, каким бы он не являлся. Если мы создадим экземпляр структуры `Point<T>` со значениями разных типов, как показано в листинге 10-7, наш код не скомпилируется.

Файл: `src/main.rs`

```
struct Point<T> {
    x: T,
    y: T,
}

fn main() {
    let wont_work = Point { x: 5, y: 4.0 };
}
```



Листинг 10-7: поля `x` и `y` должны быть одного типа, так как они имеют один и тот же обобщённый тип `T`

В этом примере, когда мы присваиваем целочисленное значение 5 переменной `x`, мы сообщаем компилятору, что обобщённый тип `T` будет целым числом для этого экземпляра `Point<T>`. Затем, когда мы указываем значение 4.0 (имеющее тип, отличный от целого числа) для `y`, который по нашему определению должен иметь тот же тип, что и `x`, мы получим ошибку несоответствия типов:

```
$ cargo run
Compiling chapter10 v0.1.0 (file:///projects/chapter10)
error[E0308]: mismatched types
--> src/main.rs:7:38
   |
7 |     let wont_work = Point { x: 5, y: 4.0 };
   |                         ^^^ expected integer, found floating-point
number

For more information about this error, try `rustc --explain E0308`.
error: could not compile `chapter10` (bin "chapter10") due to 1 previous error
```

Чтобы определить структуру `Point`, где оба значения `x` и `y` являются обобщёнными, но различными типами, можно использовать несколько параметров обобщённого типа. Например, в листинге 10-8 мы изменим определение `Point` таким образом, чтобы оно использовало обобщённые типы `T` и `U`, где `x` имеет тип `T` а `y` имеет тип `U`.

Файл: `src/main.rs`

```
struct Point<T, U> {
    x: T,
    y: U,
}

fn main() {
    let both_integer = Point { x: 5, y: 10 };
    let both_float = Point { x: 1.0, y: 4.0 };
    let integer_and_float = Point { x: 5, y: 4.0 };
}
```

Листинг 10-8: структура `Point<T, U>` обобщена для двух типов, так что `x` и `y` могут быть значениями разных типов

Теперь разрешены все показанные экземпляры типа `Point!` В объявлении можно использовать сколь угодно много параметров обобщённого типа, но если делать это в большом количестве, код будет тяжело читать. Если в вашем коде требуется много обобщённых типов, возможно, стоит разбить его на более мелкие части.

В определениях перечислений

Как и структуры, перечисления также могут хранить обобщённые типы в своих вариантах. Давайте ещё раз посмотрим на перечисление `Option<T>`, предоставленное стандартной библиотекой, которое мы использовали в главе 6:

```
enum Option<T> {
    Some(T),
    None,
}
```

Это определение теперь должно быть вам более понятно. Как видите, перечисление `Option<T>` является обобщённым по типу `T` и имеет два варианта: вариант `Some`, который содержит одно значение типа `T`, и вариант `None`, который не содержит никакого значения. Используя перечисление `Option<T>`, можно выразить абстрактную концепцию необязательного значения — и так как `Option<T>` является обобщённым, можно использовать эту абстракцию независимо от того, каким будет тип необязательного значения.

Перечисления также могут использовать несколько обобщённых типов. Определение перечисления `Result`, которое мы упоминали в главе 9, является примером такого использования:

```
enum Result<T, E> {
    Ok(T),
    Err(E),
}
```

Перечисление `Result` имеет два обобщённых типа: `T` и `E` — и два варианта: `Ok`, который содержит тип `T`, и `Err`, содержащий тип `E`. С таким определением удобно использовать

перечисление `Result` везде, где операции могут быть выполнены успешно (возвращая значение типа `T`) или неуспешно (возвращая ошибку типа `E`). Это то, что мы делали при открытии файла в листинге 9-3, где `T` заполнялось типом `std::fs::File`, если файл был открыт успешно, либо `E` заполнялось типом `std::io::Error`, если при открытии файла возникали какие-либо проблемы.

Если вы встречаете в коде ситуации, когда несколько определений структур или перечислений отличаются только типами содержащихся в них значений, вы можете устраниТЬ дублирование, используя обобщённые типы.

В определении методов

Мы можем реализовать методы для структур и перечислений (как мы делали в главе 5) и в определениях этих методов также использовать обобщённые типы. В листинге 10-9 показана структура `Point<T>`, которую мы определили в листинге 10-6, с добавленным для неё методом `x`.

Файл: `src/main.rs`

```
struct Point<T> {
    x: T,
    y: T,
}

impl<T> Point<T> {
    fn x(&self) -> &T {
        &self.x
    }
}

fn main() {
    let p = Point { x: 5, y: 10 };

    println!("p.x = {}", p.x());
}
```

Листинг 10-9: Реализация метода с именем `x` у структуры `Point<T>`, которая будет возвращать ссылку на поле `x` типа `T`

Здесь мы определили метод с именем `x` у структуры `Point<T>`, который возвращает ссылку на данные в поле `x`.

Обратите внимание, что мы должны объявить `T` сразу после `impl`. В этом случае мы можем использовать `T` для указания на то, что реализуем метод для типа `Point<T>`. Объявив `T` универсальным типом сразу после `impl`, Rust может определить, что тип в угловых скобках в `Point` является универсальным, а не конкретным типом. Мы могли бы выбрать другое имя для этого обобщённого параметра, отличное от имени, использованного в определении структуры, но обычно используют одно и то же имя. Методы, написанные внутри раздела `impl`, который использует обобщённый тип, будут определены для любого экземпляра типа,

независимо от того, какой конкретный тип в конечном итоге будет подставлен вместо этого обобщённого.

Мы можем также указать ограничения, какие обобщённые типы разрешено использовать при определении методов. Например, мы могли бы реализовать методы только для экземпляров типа `Point<f32>`, а не для экземпляров `Point<T>`, в которых используется произвольный обобщённый тип. В листинге 10-10 мы используем конкретный тип `f32`, что означает, что мы не определяем никакие типы после `impl`.

Файл: `src/main.rs`

```
impl Point<f32> {
    fn distance_from_origin(&self) -> f32 {
        (self.x.powi(2) + self.y.powi(2)).sqrt()
    }
}
```

Листинг 10-10: блок `impl`, который применяется только к структуре, имеющей конкретный тип для параметра обобщённого типа `T`

Этот код означает, что тип `Point<f32>` будет иметь метод с именем `distance_from_origin`, а другие экземпляры `Point<T>`, где `T` имеет тип, отличный от `f32`, не будут иметь этого метода. Метод вычисляет, насколько далеко наша точка находится от точки с координатами $(0.0, 0.0)$, и использует математические операции, доступные только для типов с плавающей точкой.

Параметры обобщённого типа, которые мы используем в определении структуры, не всегда совпадают с аналогами, использующимися в сигнатурах методов этой структуры. Чтобы пример был более очевидным, в листинге 10-11 используются обобщённые типы `X1` и `Y1` для определения структуры `Point` и типы `X2` `Y2` для сигнатуры метода `mixup`. Метод создаёт новый экземпляр структуры `Point`, где значение `x` берётся из `self Point` (имеющей тип `X1`), а значение `y` - из переданной структуры `Point` (где эта переменная имеет тип `Y2`).

Файл: `src/main.rs`

```

struct Point<X1, Y1> {
    x: X1,
    y: Y1,
}

impl<X1, Y1> Point<X1, Y1> {
    fn mixup<X2, Y2>(self, other: Point<X2, Y2>) -> Point<X1, Y2> {
        Point {
            x: self.x,
            y: other.y,
        }
    }
}

fn main() {
    let p1 = Point { x: 5, y: 10.4 };
    let p2 = Point { x: "Hello", y: 'c' };

    let p3 = p1.mixup(p2);

    println!("p3.x = {}, p3.y = {}", p3.x, p3.y);
}

```

Листинг 10-11: метод, использующий обобщённые типы, отличающиеся от типов, используемых в определении структуры

В функции `main` мы определили тип `Point`, который имеет тип `i32` для `x` (со значением `5`) и тип `f64` для `y` (со значением `10.4`). Переменная `p2` является структурой `Point`, которая имеет строковый срез для `x` (со значением `«Hello»`) и `char` для `y` (со значением `c`). Вызов `mixup` на `p1` с аргументом `p2` создаст для нас экземпляр структуры `p3`, который будет иметь тип `i32` для `x` (потому что `x` взят из `p1`). Переменная `p3` будет иметь тип `char` для `y` (потому что `y` взят из `p2`). Вызов макроса `println!` выведет `p3.x = 5, p3.y = c`.

Цель этого примера — продемонстрировать ситуацию, в которой некоторые обобщённые параметры объявлены с помощью `impl`, а некоторые объявлены в определении метода. Здесь обобщённые параметры `X1` и `Y1` объявляются после `impl`, потому что они относятся к определению структуры. Обобщённые параметры `X2` и `Y2` объявляются после `fn mixup`, так как они относятся только к методу.

Производительность кода, использующего обобщённые типы

Вы могли бы задаться вопросом, возникают ли какие-нибудь дополнительные издержки при использовании параметров обобщённого типа. Хорошая новость в том, что при использовании обобщённых типов ваша программа работает ничуть не медленнее, чем если бы она работала с использованием конкретных типов.

В Rust это достигается во время компиляции при помощи мономорфизации кода, использующего обобщённые типы. *Мономорфизация* — это процесс превращения обобщённого кода в конкретный код путём подстановки конкретных типов, использующихся при компиляции. В этом процессе компилятор выполняет шаги, противоположные тем, которые мы использовали для создания обобщённой функции в листинге 10-5: он

просматривает все места, где вызывается обобщённый код, и генерирует код для конкретных типов, использовавшихся для вызова в обобщённом.

Давайте посмотрим, как это работает при использовании перечисления `Option<T>` из стандартной библиотеки:

```
let integer = Some(5);
let float = Some(5.0);
```

Когда Rust компилирует этот код, он выполняет мономорфизацию. Во время этого процесса компилятор считывает значения, которые были использованы в экземплярах `Option<T>`, и определяет два вида `Option<T>`: один для типа `i32`, а другой — для `f64`. Таким образом, он разворачивает обобщённое определение `Option<T>` в два определения, специализированные для `i32` и `f64`, тем самым заменяя обобщённое определение конкретными.

Мономорфизированная версия кода выглядит примерно так (компилятор использует имена, отличные от тех, которые мы используем здесь для иллюстрации):

Файл: `src/main.rs`

```
enum Option_i32 {
    Some(i32),
    None,
}

enum Option_f64 {
    Some(f64),
    None,
}

fn main() {
    let integer = Option_i32::Some(5);
    let float = Option_f64::Some(5.0);
}
```

Обобщённое `Option<T>` заменяется конкретными определениями, созданными компилятором. Поскольку Rust компилирует обобщённый код в код, определяющий тип в каждом экземпляре, мы не платим за использование обобщённых типов во время выполнения. Когда код запускается, он работает точно так же, как если бы мы продублировали каждое определение вручную. Процесс мономорфизации делает обобщённые типы Rust чрезвычайно эффективными во время выполнения.

Типажи: определение общего поведения

Типаж сообщает компилятору Rust о функциональности, которой обладает определённый тип и которой он может поделиться с другими типами. Можно использовать типажи, чтобы определять общее поведение абстрактным способом. Мы можем использовать *ограничение типажа* (trait bounds) чтобы указать, что общим типом может быть любой тип, который имеет определённое поведение.

Примечание: Типажи похожи на функциональность часто называемую *интерфейсами* в других языках программирования, хотя и с некоторыми различиями.

Определение типажа

Поведение типа определяется теми методами, которые мы можем вызвать у данного типа. Различные типы разделяют одинаковое поведение, если мы можем вызвать одни и те же методы у этих типов. Определение типажей - это способ сгруппировать сигнатуры методов вместе для того, чтобы описать общее поведение, необходимое для достижения определённой цели.

Например, пусть есть несколько структур, которые имеют различный тип и различный размер текста: структура `NewsArticle`, которая содержит новость, напечатанную в каком-то месте мира; структура `Tweet`, которая содержит 280 символьную строку твита и мета-данные, обозначающие является ли твит новым или ответом на другой твит.

Мы хотим создать крейт библиотеки медиа-агрегатора `aggregator`, которая может отображать сводку данных сохранённых в экземплярах структур `NewsArticle` или `Tweet`. Чтобы этого достичь, нам необходимо иметь возможность для каждой структуры получить короткую сводку на основе имеющихся данных, и для этого мы запросим сводку вызвав метод `summarize`. Листинг 10-12 показывает определение типажа `Summary`, который выражает это поведение.

Файл: `src/lib.rs`

```
pub trait Summary {
    fn summarize(&self) -> String;
}
```

Листинг 10-12: Определение типажа `Summary`, который содержит поведение предоставленное методом `summarize`

Здесь мы объявляем типаж с использованием ключевого слова `trait`, а затем его название, которым в нашем случае является `Summary`. Также мы объявляем крейт как `pub` что позволяет крейтам, зависящим от нашего крейта, тоже использовать наш крейт, что мы увидим в последующих примерах. Внутри фигурных скобок объявляются сигнатуры методов, которые

описывают поведения типов, реализующих данный типаж, в данном случае поведение определяется только одной сигнатурой метода `fn summarize(&self) -> String`.

После сигнатуры метода, вместо предоставления реализации в фигурных скобках, мы используем точку с запятой. Каждый тип, реализующий данный типаж, должен предоставить своё собственное поведение для данного метода. Компилятор обеспечит, что любой тип содержащий типаж `Summary`, будет также иметь и метод `summarize` объявленный с точно такой же сигнатурой.

Типаж может иметь несколько методов в описании его тела: сигнатуры методов перечисляются по одной на каждой строке и должны заканчиваться символом `;`.

Реализация типажа у типа

Теперь, после того как мы определили желаемое поведение используя типаж `Summary`, можно реализовать его у типов в нашем медиа-агрегаторе. Листинг 10-13 показывает реализацию типажа `Summary` у структуры `NewsArticle`, которая использует для создания сводки в методе `summarize` заголовок, автора и место публикации статьи. Для структуры `Tweet` мы определяем реализацию `summarize` используя имя пользователя и следующий за ним полный текст твита, полагая что содержание твита уже ограничено 280 символами.

Файл: src/lib.rs

```
pub struct NewsArticle {
    pub headline: String,
    pub location: String,
    pub author: String,
    pub content: String,
}

impl Summary for NewsArticle {
    fn summarize(&self) -> String {
        format!("{} , by {} ({})", self.headline, self.author, self.location)
    }
}

pub struct Tweet {
    pub username: String,
    pub content: String,
    pub reply: bool,
    pub retweet: bool,
}

impl Summary for Tweet {
    fn summarize(&self) -> String {
        format!("{}: {}", self.username, self.content)
    }
}
```

Листинг 10-13: Реализация типажа `Summary` для структур `NewsArticle` и `Tweet`

Реализация типажа у типа аналогична реализации обычных методов. Разница в том что после `impl` мы ставим имя типажа, который мы хотим реализовать, затем используем ключевое слово `for`, а затем указываем имя типа, для которого мы хотим сделать реализацию типажа. Внутри блока `impl` мы помещаем сигнатуру метода объявленную в типаже. Вместо добавления точки с запятой в конце, после каждой сигнатуры используются фигурные скобки и тело метода заполняется конкретным поведением, которое мы хотим получить у методов типажа для конкретного типа.

Теперь когда библиотека реализовала типаж `Summary` для `NewsArticle` и `Tweet`, программисты использующие крейт могут вызывать методы типажа у экземпляров типов `NewsArticle` и `Tweet` точно так же как если бы это были обычные методы. Единственное отличие состоит в том, что программист должен ввести типаж в область видимости точно так же как и типы. Здесь пример того как бинарный крейт может использовать наш `aggregator`:

```
use aggregator::{Summary, Tweet};

fn main() {
    let tweet = Tweet {
        username: String::from("horse_ebooks"),
        content: String::from(
            "of course, as you probably already know, people",
        ),
        reply: false,
        retweet: false,
    };

    println!("1 new tweet: {}", tweet.summarize());
}
```

Данный код напечатает: `1 new tweet: horse_ebooks: of course, as you probably already know, people.`

Другие крейты, которые зависят от `aggregator`, тоже могу включить типаж `Summary` в область видимости для реализации `Summary` в их собственных типах. Одно ограничение, на которое следует обратить внимание, заключается в том, что мы можем реализовать типаж для типа только в том случае, если хотя бы один из типажей типа является локальным для нашего крейта. Например, мы можем реализовать стандартный библиотечный типаж `Display` на собственном типе `Tweet` как часть функциональности нашего крейта `aggregator` потому что тип `Tweet` является локальным для крейта `aggregator`. Также мы можем реализовать `Summary` для `Vec<T>` в нашем крейте `aggregator`, потому что типаж `Summary` является локальным для нашего крейта `aggregator`.

Но мы не можем реализовать внешние типажи для внешних типов. Например, мы не можем реализовать типаж `Display` для `Vec<T>` внутри нашего крейта `aggregator`, потому что `Display` и `Vec<T>` оба определены в стандартной библиотеке а не локально в нашем крейте `aggregator`. Это ограничение является частью свойства называемого *согласованность* (coherence), а ещё точнее *сиротское правило* (orphan rule), которое называется так потому что не представлен родительский тип. Это правило гарантирует, что код других людей не может сломать ваш код и наоборот. Без этого правила два крейта могли бы реализовать один типаж для одинакового типа и Rust не сможет понять, какой реализацией нужно пользоваться.

Реализация поведения по умолчанию

Иногда полезно иметь поведение по умолчанию для некоторых или всех методов в типаже вместо того, чтобы требовать реализации всех методов в каждом типе, реализующим данный типаж. Затем, когда мы реализуем типаж для определённого типа, можно сохранить или переопределить поведение каждого метода по умолчанию уже внутри типов.

В примере 10-14 показано, как указать строку по умолчанию для метода `summarize` из типажа `Summary` вместо определения только сигнатуры метода, как мы сделали в примере 10-12.

Файл: `src/lib.rs`

```
pub trait Summary {
    fn summarize(&self) -> String {
        String::from("(Read more...)")
    }
}
```

Листинг 10-14: Определение типажа `Summary` с реализацией метода `summarize` по умолчанию

Для использования реализации по умолчанию при создании сводки у экземпляров `NewsArticle` вместо определения пользовательской реализации, мы указываем пустой блок `impl` с `impl Summary for NewsArticle {}`.

Хотя мы больше не определяем метод `summarize` непосредственно в `NewsArticle`, мы предоставили реализацию по умолчанию и указали, что `NewsArticle` реализует типаж `Summary`. В результате мы всё ещё можем вызвать метод `summarize` у экземпляра `NewsArticle`, например так:

```
let article = NewsArticle {
    headline: String::from("Penguins win the Stanley Cup Championship!"),
    location: String::from("Pittsburgh, PA, USA"),
    author: String::from("Iceburgh"),
    content: String::from(
        "The Pittsburgh Penguins once again are the best \
        hockey team in the NHL.",
    ),
};

println!("New article available! {}", article.summarize());
```

Этот код печатает `New article available! (Read more...)`.

Создание реализации по умолчанию не требует от нас изменений чего-либо в реализации `Summary` для `Tweet` в листинге 10-13. Причина заключается в том, что синтаксис для переопределения реализации по умолчанию является таким же, как синтаксис для реализации метода типажа, который не имеет реализации по умолчанию.

Реализации по умолчанию могут вызывать другие методы в том же типаже, даже если эти другие методы не имеют реализаций по умолчанию. Таким образом, типаж может предоставить много полезной функциональности и только требует от разработчиков

указывать небольшую его часть. Например, мы могли бы определить типаж `Summary` имеющий метод `summarize_author`, реализация которого требуется, а затем определить метод `summarize` который имеет реализацию по умолчанию, которая внутри вызывает метод `summarize_author`:

```
pub trait Summary {  
    fn summarize_author(&self) -> String;  
  
    fn summarize(&self) -> String {  
        format!("(Read more from {}...)", self.summarize_author())  
    }  
}
```

Чтобы использовать такую версию типажа `Summary`, нужно только определить метод `summarize_author`, при реализации типажа для типа:

```
impl Summary for Tweet {  
    fn summarize_author(&self) -> String {  
        format!("@{}", self.username)  
    }  
}
```

После того, как мы определим `summarize_author`, можно вызвать `summarize` для экземпляров структуры `Tweet` и реализация по умолчанию метода `summarize` будет вызывать определение `summarize_author` которое мы уже предоставили. Так как мы реализовали метод `summarize_author` типажа `Summary`, то типаж даёт нам поведение метода `summarize` без необходимости писать код.

```
let tweet = Tweet {  
    username: String::from("horse_ebooks"),  
    content: String::from(  
        "of course, as you probably already know, people",  
    ),  
    reply: false,  
    retweet: false,  
};  
  
println!("1 new tweet: {}", tweet.summarize());
```

Этот код печатает `1 new tweet: (Read more from @horse_ebooks...)`.

Обратите внимание, что невозможно вызвать реализацию по умолчанию из переопределённой реализации того же метода.

Типажи как параметры

Теперь, когда вы знаете, как определять и реализовывать типажи, можно изучить, как использовать типажи, чтобы определить функции, которые принимают много различных типов. Мы будем использовать типаж `Summary`, реализованный для типов `NewsArticle` и `Tweet` в листинге 10-13, чтобы определить функцию `notify`, которая вызывает метод

`summarize` для его параметра `item`, который имеет некоторый тип, реализующий типаж `Summary`. Для этого мы используем синтаксис `impl Trait` примерно так:

```
pub fn notify(item: &impl Summary) {  
    println!("Breaking news! {}", item.summarize());  
}
```

Вместо конкретного типа у параметра `item` указывается ключевое слово `impl` и имя типажа. Этот параметр принимает любой тип, который реализует указанный типаж. В теле `notify` мы можем вызывать любые методы у экземпляра `item`, которые приходят с типажом `Summary`, такие как метод `summarize`. Мы можем вызвать `notify` и передать в него любой экземпляр `NewsArticle` или `Tweet`. Код, который вызывает данную функцию с любым другим типом, таким как `String` или `i32`, не будет компилироваться, потому что эти типы не реализуют типаж `Summary`.

Синтаксис ограничения типажа

Синтаксис `impl Trait` работает для простых случаев, но на самом деле является синтаксическим сахаром для более длинной формы, которая называется *ограничением типажа* (trait bound); это выглядит так:

```
pub fn notify<T: Summary>(item: &T) {  
    println!("Breaking news! {}", item.summarize());  
}
```

Эта более длинная форма эквивалентна примеру в предыдущем разделе, но она более многословна. Мы помещаем объявление параметра обобщённого типа с ограничением типажа после двоеточия внутри угловых скобок.

Синтаксис `impl Trait` удобен и делает код более сжатым в простых случаях, в то время как более полный синтаксис с ограничением типажа в других случаях может выразить большую сложность. Например, у нас может быть два параметра, которые реализуют типаж `Summary`. Использование синтаксиса `impl Trait` выглядит так:

```
pub fn notify(item1: &impl Summary, item2: &impl Summary) {
```

Использовать `impl Trait` удобнее если мы хотим разрешить функции иметь разные типы для `item1` и `item2` (но оба типа должны реализовывать `Summary`). Если же мы хотим заставить оба параметра иметь один и тот же тип, то мы должны использовать ограничение типажа так:

```
pub fn notify<T: Summary>(item1: &T, item2: &T) {
```

Обобщённый тип `T` указан для типов параметров `item1` и `item2` и ограничивает функцию так, что конкретные значения типов переданные аргументами для `item1` и `item2` должны быть одинаковыми.

Задание нескольких границ типажей с помощью синтаксиса +

Также можно указать более одного ограничения типажа. Допустим, мы хотели бы чтобы `notify` использовал как форматирование вывода так и `summarize` для параметра `item`: тогда мы указываем что в `notify` параметр `item` должен реализовывать оба типажа `Display` и `Summary`. Мы можем сделать это используя синтаксис `+`:

```
pub fn notify(item: &(impl Summary + Display)) {
```

Синтаксис `+` также допустим с ограничениями типажа для обобщённых типов:

```
pub fn notify<T: Summary + Display>(item: &T) {
```

При наличии двух ограничений типажа, тело метода `notify` может вызывать `summarize` и использовать `{}` для форматирования `item` при его печати.

Более ясные границы типажа с помощью where

Использование слишком большого количества ограничений типажа имеет свои недостатки. Каждый обобщённый тип имеет свои границы типажа, поэтому функции с несколькими параметрами обобщённого типа могут содержать много информации об ограничениях между названием функции и списком её параметров затрудняющих чтение сигнатуры. По этой причине в Rust есть альтернативный синтаксис для определения ограничений типажа внутри предложения `where` после сигнатуры функции. Поэтому вместо того, чтобы писать так:

```
fn some_function<T: Display + Clone, U: Clone + Debug>(t: &T, u: &U) -> i32 {
```

можно использовать `where` таким образом:

```
fn some_function<T, U>(t: &T, u: &U) -> i32
where
    T: Display + Clone,
    U: Clone + Debug,
{
```

Сигнатура этой функции менее загромождена: название функции, список параметров, и возвращаемый тип находятся рядом, а сигнатура не содержит в себе множество ограничений типажа.

Возврат значений типа реализующего определённый типаж

Также можно использовать синтаксис `impl Trait` в возвращаемой позиции, чтобы вернуть значение некоторого типа реализующего типаж, как показано здесь:

```
fn returns_summarizable() -> impl Summary {
    Tweet {
        username: String::from("horse_ebooks"),
        content: String::from(
            "of course, as you probably already know, people",
        ),
        reply: false,
        retweet: false,
    }
}
```

Используя `impl Summary` для возвращаемого типа, мы указываем, что функция `returns_summarizable` возвращает некоторый тип, который реализует типаж `Summary` без обозначения конкретного типа. В этом случае `returns_summarizable` возвращает `Tweet`, но код, вызывающий эту функцию, этого не знает.

Возможность возвращать тип, который определяется только реализуемым им признаком, особенно полезна в контексте замыканий и итераторов, которые мы рассмотрим в Главе 13. Замыкания и итераторы создают типы, которые знает только компилятор или типы, которые очень долго указывать. Синтаксис `impl Trait` позволяет кратко указать, что функция возвращает некоторый тип, который реализует типаж `Iterator` без необходимости писать очень длинный тип.

Однако, `impl Trait` возможно использовать, если возвращаете только один тип. Например, данный код, который возвращает значения или типа `NewsArticle` или типа `Tweet`, но в качестве возвращаемого типа объявляет `impl Summary`, не будет работать:

```
fn returns_summarizable(switch: bool) -> impl Summary {
    if switch {
        NewsArticle {
            headline: String::from(
                "Penguins win the Stanley Cup Championship!",
            ),
            location: String::from("Pittsburgh, PA, USA"),
            author: String::from("Iceburgh"),
            content: String::from(
                "The Pittsburgh Penguins once again are the best \
                hockey team in the NHL.",
            ),
        }
    } else {
        Tweet {
            username: String::from("horse_ebooks"),
            content: String::from(
                "of course, as you probably already know, people",
            ),
            reply: false,
            retweet: false,
        }
    }
}
```



Возврат либо `NewsArticle` либо `Tweet` не допускается из-за ограничений того, как реализован синтаксис `impl Trait` в компиляторе. Мы рассмотрим, как написать функцию с

таким поведением в разделе "Использование объектов типажей, которые разрешены для значений или разных типов" Главы 17.

Использование ограничений типажа для условной реализации методов

Используя ограничение типажа с блоком `impl`, который использует параметры обобщённого типа, можно реализовать методы условно, для тех типов, которые реализуют указанный типаж. Например, тип `Pair<T>` в листинге 10-15 всегда реализует функцию `new` для возврата нового экземпляра `Pair<T>` (вспомните раздел "Определение методов" Главы 5 где `Self` является псевдонимом типа для типа блока `impl`, который в данном случае является `Pair<T>`). Но в следующем блоке `impl` тип `Pair<T>` реализует метод `cmp_display` только если его внутренний тип `T` реализует типаж `PartialOrd` (позволяющий сравнивать) и типаж `Display` (позволяющий выводить на печать).

Файл: src/lib.rs

```
use std::fmt::Display;

struct Pair<T> {
    x: T,
    y: T,
}

impl<T> Pair<T> {
    fn new(x: T, y: T) -> Self {
        Self { x, y }
    }
}

impl<T: Display + PartialOrd> Pair<T> {
    fn cmp_display(&self) {
        if self.x >= self.y {
            println!("The largest member is x = {}", self.x);
        } else {
            println!("The largest member is y = {}", self.y);
        }
    }
}
```

Листинг 10-15: Условная реализация методов у обобщённых типов в зависимости от ограничений типажа

Мы также можем условно реализовать типаж для любого типа, который реализует другой типаж. Реализации типажа для любого типа, который удовлетворяет ограничениям типажа, называются *общими реализациями* и широко используются в стандартной библиотеке Rust. Например, стандартная библиотека реализует типаж `ToString` для любого типа, который реализует типаж `Display`. Блок `impl` в стандартной библиотеке выглядит примерно так:

```
impl<T: Display> ToString for T {
    // --snip--
}
```

Поскольку стандартная библиотека имеет эту общую реализацию, то можно вызвать метод `to_string` определённый типажом `ToString` для любого типа, который реализует типаж `Display`. Например, мы можем превратить целые числа в их соответствующие `String` значения, потому что целые числа реализуют типаж `Display`:

```
let s = 3.to_string();
```

Общие реализации приведены в документации к типажу в разделе "Implementors".

Типажи и ограничения типажей позволяют писать код, который использует параметры обобщённого типа для уменьшения дублирования кода, а также указывая компилятору, что мы хотим обобщённый тип, чтобы иметь определённое поведение. Затем компилятор может использовать информацию про ограничения типажа, чтобы проверить, что все конкретные типы, используемые с нашим кодом, обеспечивают правильное поведение. В динамически типизированных языках мы получили бы ошибку во время выполнения, если бы вызвали метод для типа, который не реализует тип определяемый методом. Но Rust перемещает эти ошибки на время компиляции, поэтому мы вынуждены исправить проблемы, прежде чем наш код начнёт работать. Кроме того, мы не должны писать код, который проверяет своё поведение во время выполнения, потому что это уже проверено во время компиляции. Это повышает производительность без необходимости отказываться от гибкости обобщённых типов.

Валидация ссылок при помощи времён жизни

Сроки (времена) жизни — ещё один вид обобщений, с которыми мы уже встречались. Если раньше мы использовали обобщения, чтобы убедиться, что тип обладает нужным нам поведением, теперь мы будем использовать сроки жизни для того, чтобы быть уверенными, что ссылки действительны как минимум столько времени в процессе исполнения программы, сколько нам требуется.

В разделе **"Ссылки и заимствование"** главы 4, мы кое о чём умолчали: у каждой ссылки в Rust есть своё время жизни — область кода, на протяжении которого данная ссылка действительна (*valid*). В большинстве случаев сроки жизни выводятся неявно — так же, как у типов (нам требуется явно объявлять типы лишь в тех случаях, когда при автоматическом выведении типа возможны варианты). Точно так же мы должны явно объявлять сроки жизни тех ссылок, для которых времена жизни могут быть определены компилятором по-разному. Rust требует от нас объявлять взаимосвязи посредством обобщённых параметров сроков жизни, чтобы убедиться в том, что во время исполнения все действующие ссылки будут корректными.

Аннотирование времени жизни — это концепция, отсутствующая в большинстве других языков программирования, так что она может показаться незнакомой. Хотя в этой главе мы не будем рассматривать времена жизни во всех деталях, тем не менее, мы обсудим основные ситуации, в которых вы можете столкнуться с синтаксисом времени жизни, что позволит вам получше ознакомиться с этой концепцией.

Времена жизни предотвращают появление "повисших" ссылок

Основное предназначение сроков жизни — предотвращать появление так называемых *"повисших ссылок"* (*dangling references*), из-за которых программа обращается не к тем данным, к которым она собирается обратиться. Рассмотрим программу из листинга 10-16, имеющую внешнюю и внутреннюю области видимости.

```
fn main() {
    let r;

    {
        let x = 5;
        r = &x;
    }

    println!("r: {}", r);
}
```



Листинг 10-16: Попытка использования ссылки, значение которой вышло из области видимости

Примечание: примеры в листингах 10-16, 10-17 и 10-23 объявляют переменные без указания их начального значения, поэтому имя переменной существует во внешней

области видимости. На первый взгляд может показаться, что это противоречит отсутствию в Rust нулевых (null) значений. Однако, если мы попытаемся использовать переменную, прежде чем присвоить ей значение, мы получим ошибку компиляции, которая показывает, что Rust действительно не разрешает нулевые (null) значения.

Внешняя область видимости объявляет переменную с именем `r` без начального значения, а внутренняя область объявляет переменную с именем `x` с начальным значением `5`. Во внутренней области мы пытаемся установить значение `r` как ссылку на `x`. Затем внутренняя область видимости заканчивается и мы пытаемся напечатать значение из `r`. Этот код не будет скомпилирован, потому что значение на которое ссылается `r` исчезает из области видимости, прежде чем мы попробуем использовать его. Вот сообщение об ошибке:

```
$ cargo run
Compiling chapter10 v0.1.0 (file:///projects/chapter10)
error[E0597]: `x` does not live long enough
--> src/main.rs:6:13
|
5 |     let x = 5;
|         - binding `x` declared here
6 |     r = &x;
|         ^^ borrowed value does not live long enough
7 | }
| - `x` dropped here while still borrowed
8 |
9 |     println!("r: {}", r);
|             --- borrow later used here

For more information about this error, try `rustc --explain E0597`.
error: could not compile `chapter10` (bin "chapter10") due to 1 previous error
```

Переменная `x` «не живёт достаточно долго». Причина в том, что `x` выйдет из области видимости, когда эта внутренняя область закончится в строке 7. Но `r` все ещё является действительной во внешней области видимости; поскольку её охват больше, мы говорим, что она «живёт дольше». Если бы Rust позволил такому коду работать, то переменная `r` смогла бы ссылаться на память, которая уже была освобождена (в тот момент, когда `x` вышла из внутренней области видимости), и всё что мы попытались бы сделать с `r` работало бы неправильно. Как же Rust определяет, что этот код некорректен? Он использует для этого анализатор заимствований (*borrow checker*).

Анализатор заимствований

Компилятор Rust имеет в своём составе *анализатор заимствований*, который сравнивает области видимости для определения, являются ли все заимствования действительными. В листинге 10-17 показан тот же код, что и в листинге 10-16, но с аннотациями, показывающими времена жизни переменных.



```
fn main() {
    let r; // -----+-- 'a
    //
    //
    {
        let x = 5; // -+-- 'b
        r = &x;
    }
    //
    //
    println!("r: {r}"); // -----
}
```

Пример 10-17: Аннотация времён жизни переменных `r` и `x`, с помощью идентификаторов времени жизни `'a` и `'b`, соответственно

Здесь мы описали время жизни для `r` с помощью `'a` и время жизни `x` с помощью `'b`. Как видите, время жизни `'b` внутреннего блока гораздо меньше, чем время жизни `'a` внешнего блока. Во время компиляции Rust сравнивает продолжительность двух времён жизни и видит, что `r` имеет время жизни `'a`, но ссылается на память со временем жизни `'b`. Программа отклоняется, потому что `'b` короче, чем `'a`: объект ссылки не живёт так же долго, как сама ссылка.

Листинг 10-18 исправляет код, чтобы в нём не было повисшей ссылки, и компилируется без ошибок.

```
fn main() {
    let x = 5; // -----+-- 'b
    //
    //
    let r = &x; // --+-- 'a
    //
    //
    println!("r: {r}"); // |
    // |
    // |
}
// -----+
```

Листинг 10-18: Ссылка корректна, так как данные имеют более продолжительное время жизни, чем ссылка на эти данные

Здесь переменная `x` имеет время жизни `'b`, которое больше, чем время жизни `'a`. Это означает, что переменная `r` может ссылаться на переменную `x` потому что Rust знает, что ссылка в переменной `r` будет всегда действительной до тех пор, пока переменная `x` является валидной.

После того, как мы на примерах рассмотрели времена жизни ссылок и обсудили как Rust их анализирует, давайте поговорим об обобщённых временах жизни входных параметров и возвращаемых значений функций.

Обобщённые времена жизни в функциях

Напишем функцию, которая возвращает более длинный из двух срезов строки. Эта функция принимает два среза строки и возвращает один срез строки. После того как мы реализовали функцию `longest`, код в листинге 10-19 должен вывести `The longest string is abcd`.

Файл: src/main.rs

```
fn main() {
    let string1 = String::from("abcd");
    let string2 = "xyz";

    let result = longest(string1.as_str(), string2);
    println!("The longest string is {}", result);
}
```

Листинг 10-19: Функция `main` вызывает функцию `longest` для поиска наибольшего из двух срезов строки

Обратите внимание, что мы хотим чтобы функция принимала строковые срезы, которые являются ссылками, а не строки, потому что мы не хотим, чтобы функция `longest` забирала во владение свои параметры. Обратитесь к разделу ["Строчные срезы как параметры"](#) Главы 4 для более подробного обсуждения того, почему параметры используемые в листинге 10-19 выбраны именно таким образом.

Если мы попробуем реализовать функцию `longest` так, как это показано в листинге 10-20, программа не скомпилируется:

Файл: src/main.rs

```
fn longest(x: &str, y: &str) -> &str {
    if x.len() > y.len() {
        x
    } else {
        y
    }
}
```



Листинг 10-20: Реализация функции `longest`, которая возвращает наибольший срез строки, но пока не скомпилируется

Вместо этого мы получим следующую ошибку, говорящую о временах жизни:

```
$ cargo run
Compiling chapter10 v0.1.0 (file:///projects/chapter10)
error[E0106]: missing lifetime specifier
--> src/main.rs:9:33
| 
9 | fn longest(x: &str, y: &str) -> &str {
|         ----      ^ expected named lifetime parameter
|
= help: this function's return type contains a borrowed value, but the signature does
not say whether it is borrowed from `x` or `y`
help: consider introducing a named lifetime parameter
|
9 | fn longest<'a>(x: &'a str, y: &'a str) -> &'a str {
|         +++++     ++           +-+           +-+
|
For more information about this error, try `rustc --explain E0106`.
error: could not compile `chapter10` (bin "chapter10") due to 1 previous error
```

Текст ошибки показывает, что возвращаемому типу нужен обобщённый параметр времени жизни, потому что Rust не может определить, относится ли возвращаемая ссылка к `x` или к `y`. На самом деле, мы тоже не знаем, потому что блок `if` в теле функции возвращает ссылку на `x`, а блок `else` возвращает ссылку на `y`!

Когда мы определяем эту функцию, мы не знаем конкретных значений, которые будут в ней передаваться. Поэтому мы не знаем какая из ветвей оператора `if` или `else` будет выполнена. Мы также не знаем конкретных времён жизни ссылок, которые будут переданы в функцию, поэтому мы не можем посмотреть на их области видимости, как мы делали в примерах 10-17 и 10-18, чтобы определить, будет ли возвращаемая нами ссылка корректной во всех случаях. Анализатор заимствований также не может этого определить, потому что он не знает как времена жизни переменных `x` и `y` соотносятся с временем жизни возвращаемого значения. Чтобы исправить эту ошибку, мы добавим обобщённый параметр времени жизни, который определит отношения между ссылками таким образом, чтобы анализатор заимствований мог провести свой анализ.

Синтаксис аннотации времени жизни

Аннотации времени жизни не меняют срок, как долго живёт та или иная ссылка. Они скорее описывают, как соотносятся между собой времена жизни нескольких ссылок, не влияя на само время жизни. Точно так же, как функции могут принимать любой тип, когда в сигнатуре указан параметр обобщённого типа, функции могут принимать ссылки с любым временем жизни, указанным с помощью параметра обобщённого времени жизни.

Аннотации времени жизни имеют немного необычный синтаксис: имена параметров времени жизни должны начинаться с апострофа (`'`), пишутся маленькими буквами, и обычно очень короткие, как и имена обобщённых типов. Большинство людей использует имя `'a` в качестве первой аннотации времени жизни. Аннотации параметров времени жизни следуют после символа `&` и отделяются пробелом от названия ссылочного типа.

Приведём несколько примеров: у нас есть ссылка на `i32` без указания времени жизни, ссылка на `i32`, с временем жизни имеющим имя `'a` и изменяемая ссылка на `i32`, которая также имеет время жизни `'a`.

```
&i32          // a reference
&'a i32       // a reference with an explicit lifetime
&'a mut i32  // a mutable reference with an explicit lifetime
```

Одна аннотация времени жизни сама по себе не имеет большого значения, поскольку аннотации предназначены для того, чтобы проинформировать Rust о том, как времена жизни нескольких ссылок соотносятся между собой. Давайте рассмотрим, как аннотации времени жизни связаны друг с другом в контексте функции `longest`.

Аннотации времени жизни в сигнатурах функций

Чтобы использовать аннотации времени жизни в сигнатурах функций, нам нужно объявить параметры обобщённого времени жизни внутри угловых скобок между именем функции и списком параметров, как мы это делали с параметрами обобщённого *типа*.

Мы хотим, чтобы сигнатура отражала следующее ограничение: возвращаемая ссылка будет действительна до тех пор, пока валидны оба параметра. Это связь между временами жизни параметров и возвращаемого значения. Мы назовём это время жизни `'a`, а затем добавим его к каждой ссылке, как показано в листинге 10-21.

Файл: `src/main.rs`

```
fn longest<'a>(x: &'a str, y: &'a str) -> &'a str {
    if x.len() > y.len() {
        x
    } else {
        y
    }
}
```

Листинг 10-21: В определении функции `longest` указано, что все ссылки должны иметь одинаковое время жизни, обозначенное как `'a`

Этот код должен компилироваться и давать желаемый результат, когда мы вызовем его в функции `main` листинга 10-19.

Сигнатура функции теперь сообщает Rust, что для некоторого времени жизни `'a` функция принимает два параметра, оба из которых являются срезами строк, которые живут не меньше, чем время жизни `'a`. Сигнатура функции также сообщает Rust, что срез строки, возвращаемый функцией, будет жить как минимум столько, сколько длится время жизни `'a`. На практике это означает, что время жизни ссылки, возвращаемой функцией `longest`, равно меньшему времени жизни передаваемых в неё ссылок. Мы хотим, чтобы Rust использовал именно такие отношения при анализе этого кода.

Помните, когда мы указываем параметры времени жизни в этой сигнатуре функции, мы не меняем время жизни каких-либо переданных или возвращённых значений. Скорее, мы указываем, что анализатор заимствований должен отклонять любые значения, которые не соответствуют этим ограничениям. Обратите внимание, что самой функции `longest` не нужно точно знать, как долго будут жить `x` и `y`, достаточно того, что некоторая область может быть заменена на `'a`, которая будет удовлетворять этой сигнатуре.

При аннотировании времён жизни функций, аннотации помещаются в сигнатуре функции, а не в тело функции. Аннотации времени жизни становятся частью контракта функции, как и типы в сигнатуре. Наличие сигнатур функций, содержащих контракт времени жизни, означает, что анализ который выполняет компилятор Rust, может быть проще. Если есть проблема с тем, как функция аннотируется или как она вызывается, ошибки компилятора могут указать на часть нашего кода и ограничения более точно. Если бы вместо этого компилятор Rust сделал больше предположений о том, какие отношения времён жизни мы хотели получить,

компилятор смог бы указать только на использование нашего кода за много шагов от источника проблемы.

Когда мы передаём конкретные ссылки в функцию `longest`, конкретным временем жизни, которое будет заменено на `'a`, является часть области видимости `x`, которая пересекается с областью видимости `y`. Другими словами, обобщённое время жизни `'a` получит конкретное время жизни, равное меньшему из времён жизни `x` и `y`. Так как мы аннотировали возвращаемую ссылку тем же параметром времени жизни `'a`, то возвращённая ссылка также будет действительна на протяжении меньшего из времён жизни `x` и `y`.

Давайте посмотрим, как аннотации времени жизни ограничивают функцию `longest` путём передачи в неё ссылок, которые имеют разные конкретные времена жизни. Листинг 10-22 является очевидным примером.

Файл: src/main.rs

```
fn main() {
    let string1 = String::from("long string is long");

    {
        let string2 = String::from("xyz");
        let result = longest(string1.as_str(), string2.as_str());
        println!("The longest string is {result}");
    }
}
```

Листинг 10-22: Использование функции `longest` со ссылками на значения типа `String`, имеющими разное время жизни

В этом примере переменная `string1` действительна до конца внешней области, `string2` действует до конца внутренней области видимости и `result` ссылается на что-то, что является действительным до конца внутренней области видимости. Запустите этот код, и вы увидите что анализатор заимствований разрешает такой код; он скомпилирует и напечатает `The longest string is long string is long`.

Теперь, давайте попробуем пример, который показывает, что время жизни ссылки `result` должно быть меньшим временем жизни одного из двух аргументов. Мы переместим объявление переменной `result` за пределы внутренней области видимости, но оставим присвоение значения переменной `result` в области видимости `string2`. Затем мы переместим `println!`, который использует `result` за пределы внутренней области видимости, после того как внутренняя область видимости закончилась. Код в листинге 10-23 не скомпилируется.

Файл: src/main.rs



```
fn main() {
    let string1 = String::from("long string is long");
    let result;
    {
        let string2 = String::from("xyz");
        result = longest(string1.as_str(), string2.as_str());
    }
    println!("The longest string is {}", result);
}
```

Листинг 10-23: Попытка использования `result`, после того как `string2` вышла из области видимости

При попытке скомпилировать этот код, мы получим такую ошибку:

```
$ cargo run
Compiling chapter10 v0.1.0 (file:///projects/chapter10)
error[E0597]: `string2` does not live long enough
--> src/main.rs:6:44
|
5 |     let string2 = String::from("xyz");
|         ----- binding `string2` declared here
6 |     result = longest(string1.as_str(), string2.as_str());
|                         ^^^^^^^ borrowed value does not live
long enough
7 | }
|   - `string2` dropped here while still borrowed
8 |     println!("The longest string is {}", result);
|                         ----- borrow later used here

For more information about this error, try `rustc --explain E0597`.
error: could not compile `chapter10` (bin "chapter10") due to 1 previous error
```

Эта ошибка говорит о том, что если мы хотим использовать `result` в инструкции `println!`, переменная `string2` должна быть действительной до конца внешней области видимости. Rust знает об этом, потому что мы аннотировали параметры функции и её возвращаемое значение одинаковым временем жизни `'a`.

Будучи людьми, мы можем посмотреть на этот код и увидеть, что `string1` длиннее, чем `string2` и, следовательно, `result` будет содержать ссылку на `string1`. Поскольку `string1` ещё не вышла из области видимости, ссылка на `string1` будет все ещё действительной в инструкции `println!`. Однако компилятор не видит, что ссылка в этом случае валидна. Мы сказали Rust, что время жизни ссылки, возвращаемой из функции `longest`, равняется меньшему из времён жизни переданных в неё ссылок. Таким образом, анализатор заимствований запрещает код в листинге 10-23, как возможно имеющий недействительную ссылку.

Попробуйте провести больше экспериментов с различными значениями и временами жизни ссылок, передаваемых в функцию `longest`, а также с тем, как используется возвращаемое значение. Перед компиляцией делайте предположения о том, пройдёт ли ваш код анализ заимствований, а затем проверяйте, насколько вы были правы.

Мышление в терминах времён жизни

В зависимости от того, что делает ваша функция, следует использовать разные способы указания параметров времени жизни. Например, если мы изменим реализацию функции `longest` таким образом, чтобы она всегда возвращала свой первый аргумент вместо самого длинного среза строки, то время жизни для параметра `y` можно совсем не указывать. Этот код скомпилируется:

Файл: src/main.rs

```
fn longest<'a>(x: &'a str, y: &str) -> &'a str {
    x
}
```

Мы указали параметр времени жизни `'a` для параметра `x` и возвращаемого значения, но не для параметра `y`, поскольку время жизни параметра `y` никак не соотносится с временем жизни параметра `x` или возвращаемого значения.

При возврате ссылки из функции, параметр времени жизни для возвращаемого типа должен соответствовать параметру времени жизни одного из аргументов. Если возвращаемая ссылка *не* ссылается на один из параметров, она должна ссылаться на значение, созданное внутри функции. Однако, это приведёт к недействительной ссылке, поскольку значение, на которое она ссылается, выйдет из области видимости в конце функции. Посмотрите на попытку реализации функции `longest`, которая не скомпилируется:

Файл: src/main.rs

```
fn longest<'a>(x: &str, y: &str) -> &'a str {
    let result = String::from("really long string");
    result.as_str()
}
```



Здесь, несмотря на то, что мы указали параметр времени жизни `'a` для возвращаемого типа, реализация не будет скомпилирована, потому что время жизни возвращаемого значения никак не связано с временем жизни параметров. Получаем сообщение об ошибке:

```
$ cargo run
Compiling chapter10 v0.1.0 (file:///projects/chapter10)
error[E0515]: cannot return value referencing local variable `result`
--> src/main.rs:11:5
11 |     result.as_str()
   |     ^^^^^^^^^^
   |
   |     returns a value referencing data owned by the current function
   |     `result` is borrowed here

For more information about this error, try `rustc --explain E0515`.
error: could not compile `chapter10` (bin "chapter10") due to 1 previous error
```

Проблема заключается в том, что `result` выходит за область видимости и очищается в конце функции `longest`. Мы также пытаемся вернуть ссылку на `result` из функции. Мы не можем

указать параметры времени жизни, которые могли бы изменить недействительную ссылку, а Rust не позволит нам создать недействительную ссылку. В этом случае лучшим решением будет вернуть владеющий тип данных, а не ссылку: в этом случае вызывающая функция будет нести ответственность за очистку полученного ею значения.

В конечном итоге, синтаксис времён жизни реализует связывание времён жизни различных аргументов и возвращаемых значений функций. Описывая времена жизни, мы даём Rust достаточно информации, чтобы разрешить безопасные операции с памятью и запретить операции, которые могли бы создать недействительные ссылки или иным способом нарушить безопасность памяти.

Определение времён жизни при объявлении структур

До сих пор мы объявляли структуры, которые всегда содержали владеющие типы данных. Структуры могут содержать и ссылки, но при этом необходимо добавить аннотацию времени жизни для каждой ссылки в определении структуры. Листинг 10-24 описывает структуру `ImportantExcerpt`, содержащую срез строки:

Файл: src/main.rs

```
struct ImportantExcerpt<'a> {
    part: &'a str,
}

fn main() {
    let novel = String::from("Call me Ishmael. Some years ago...");
    let first_sentence = novel.split('.').next().unwrap();
    let i = ImportantExcerpt {
        part: first_sentence,
    };
}
```

Листинг 10-25. Структура, содержащая ссылку, требует аннотации времени жизни

У структуры имеется одно поле `part`, хранящее срез строки, который сам по себе является ссылкой. Как и в случае с обобщёнными типами данных, мы объявляем имя обобщённого параметра времени жизни внутри угловых скобок после имени структуры, чтобы иметь возможность использовать его внутри определения структуры. Данная аннотация означает, что экземпляр `ImportantExcerpt` не может пережить ссылку, которую он содержит в своём поле `part`.

Функция `main` здесь создаёт экземпляр структуры `ImportantExcerpt`, который содержит ссылку на первое предложение типа `String` принадлежащее переменной `novel`. Данные в `novel` существуют до создания экземпляра `ImportantExcerpt`. Кроме того, `novel` не выходит из области видимости до тех пор, пока `ImportantExcerpt` не выйдет за область видимости, поэтому ссылка внутри экземпляра `ImportantExcerpt` является действительной.

Правила неявного выводения времени жизни

Вы изучили, что у каждой ссылки есть время жизни и что нужно указывать параметры времени жизни для функций или структур, которые используют ссылки. Однако в Главе 4 у нас была функция в листинге 4-9, которая затем снова показана в листинге 10-25, в которой код скомпилировался без аннотаций времени жизни.

Файл: src/lib.rs

```
fn first_word(s: &str) -> &str {
    let bytes = s.as_bytes();

    for (i, &item) in bytes.iter().enumerate() {
        if item == b' ' {
            return &s[0..i];
        }
    }

    &s[..]
}
```

Листинг 10-25: Функция, которую мы определили в листинге 4-9 компилируется без аннотаций времени жизни, несмотря на то, что входной и возвращаемый тип параметров являются ссылками

Причина, по которой этот код компилируется — историческая. В ранних (до-1.0) версиях Rust этот код не скомпилировался бы, поскольку каждой ссылке нужно было явно назначать времена жизни. В те времена, сигнатура функции была бы написана примерно так:

```
fn first_word<'a>(s: &'a str) -> &'a str {
```

После написания большого количества кода на Rust разработчики языка обнаружили, что в определённых ситуациях программисты описывают одни и те же аннотации времён жизни снова и снова. Эти ситуации были предсказуемы и следовали некоторым детерминированным шаблонным моделям. Команда Rust решила запрограммировать эти шаблоны в код компилятора Rust, чтобы анализатор заимствований мог вывести времена жизни в таких ситуациях без необходимости явного указания аннотаций программистами.

Мы упоминаем этот фрагмент истории Rust, потому что возможно, что в будущем появится больше шаблонов для автоматического выводения времён жизни, которые будут добавлены в компилятор. Таким образом, в будущем может понадобиться ещё меньшее количество аннотаций.

Шаблоны, запрограммированные в анализаторе ссылок языка Rust, называются *правилами неявного выводения времени жизни*. Это не правила, которым должны следовать программисты; а набор частных случаев, которые рассмотрит компилятор, и, если ваш код попадает в эти случаи, вам не нужно будет указывать времена жизни явно.

Правила выводения не предоставляют полного заключения. Если Rust детерминировано применяет правила, но некоторая неясность относительно времён жизни ссылок все ещё остаётся, компилятор не будет догадываться, какими должны быть времена жизни оставшихся

ссылок. В этом случае, вместо угадывания компилятор выдаст ошибку, которую вы можете устраниТЬ, добавив аннотации времени жизни.

Времена жизни параметров функции или метода называются *временем жизни ввода*, а времена жизни возвращаемых значений называются *временем жизни вывода*.

Компилятор использует три правила, чтобы выяснить времена жизни ссылок при отсутствии явных аннотаций. Первое правило относится ко времени жизни ввода, второе и третье правила применяются ко временам жизни вывода. Если компилятор доходит до конца проверки трёх правил и всё ещё есть ссылки, для которых он не может выяснить время жизни, компилятор остановится с ошибкой. Эти правила применяются к объявлениям `fn`, а также к блокам `impl`.

Первое правило заключается в том, что каждый параметр являющийся ссылкой, получает свой собственный параметр времени жизни. Другими словами, функция с одним параметром получит один параметр времени жизни: `fn foo<'a>(x: &'a i32)`; функция с двумя аргументами получит два отдельных параметра времени жизни: `fn foo<'a, 'b>(x: &'a i32, y: &'b i32)`, и так далее.

Второе правило говорит, что если есть ровно один входной параметр времени жизни, то его время жизни назначается всем выходным параметрам: `fn foo<'a>(x: &'a i32) -> &'a i32`.

Третье правило о том, что если есть множество входных параметров времени жизни, но один из них является ссылкой `&self` или `&mut self`, так как эта функция является методом, то время жизни `self` назначается временем жизни всем выходным параметрам. Это третье правило делает методы намного приятнее для чтения и записи, потому что требуется меньше символов.

Представим, что мы компилятор и применим эти правила, чтобы вывести времена жизни ссылок в сигнатуре функции `first_word` листинга 10-25. Сигнатура этой функции начинается без объявления времён жизни ссылок:

```
fn first_word(s: &str) -> &str {
```

Теперь мы (в качестве компилятора) применим первое правило, утверждающее, что каждый параметр функции получает своё собственное время жизни. Как обычно, назовём его `'a` и теперь сигнатура выглядит так:

```
fn first_word<'a>(s: &'a str) -> &str {
```

Далее применяем второе правило, поскольку в функции указан только один входной параметр времени жизни. Второе правило гласит, что время жизни единственного входного параметра назначается выходным параметрам, поэтому сигнатура теперь преобразуется таким образом:

```
fn first_word<'a>(s: &'a str) -> &'a str {
```

Теперь все ссылки в этой функции имеют параметры времени жизни и компилятор может продолжить свой анализ без необходимости просить у программиста указать аннотации времён жизни в сигнатуре этой функции.

Давайте рассмотрим ещё один пример: на этот раз функцию `longest`, в которой не было параметров времени жизни, когда мы начали с ней работать в листинге 10-20:

```
fn longest(x: &str, y: &str) -> &str {
```

Применим первое правило: каждому параметру назначается собственное время жизни. На этот раз у функции есть два параметра, поэтому есть два времени жизни:

```
fn longest<'a, 'b>(x: &'a str, y: &'b str) -> &str {
```

Можно заметить, что второе правило здесь не применимо, так как в сигнатуре указано больше одного входного параметра времени жизни. Третье правило также не применимо, так как `longest` — функция, а не метод, следовательно, в ней нет параметра `self`. Итак, мы прошли все три правила, но так и не смогли вычислить время жизни выходного параметра. Поэтому мы и получили ошибку при попытке скомпилировать код листинга 10-20: компилятор работал по правилам неявного выводения времён жизни, но не мог выяснить все времена жизни ссылок в сигнатуре.

Так как третье правило применяется только к методам, далее мы рассмотрим времена жизни в этом контексте, чтобы понять, почему нам часто не требуется аннотировать времена жизни в сигнтурах методов.

Аннотация времён жизни в определении методов

Когда мы реализуем методы для структур с временами жизни, мы используем тот же синтаксис, который применялся для аннотаций обобщённых типов данных на листинге 10-11. Место, где мы объявляем и используем времена жизни, зависит от того, с чем они связаны — с полями структуры, либо с аргументами методов и возвращаемыми значениями.

Имена параметров времени жизни для полей структур всегда описываются после ключевого слова `impl` и затем используются после имени структуры, поскольку эти времена жизни являются частью типа структуры.

В сигнтурах методов внутри блока `impl` ссылки могут быть привязаны ко времени жизни ссылок в полях структуры, либо могут быть независимыми. Вдобавок, правила неявного выводения времён жизни часто делают так, что аннотации переменных времён жизни являются необязательными в сигнтурах методов. Рассмотрим несколько примеров, использующих структуру с названием `ImportantExcerpt`, которую мы определили в листинге 10-24.

Сначала, воспользуемся методом `level`, чей единственный параметр является ссылкой на `self`, а возвращаемое значение `i32`, не является ссылкой ни на что:

```
impl<'a> ImportantExcerpt<'a> {
    fn level(&self) -> i32 {
        3
    }
}
```

Объявление параметра времени жизни после `impl` и его использование после имени типа является обязательным, но нам не нужно аннотировать время жизни ссылки на `self`, благодаря первому правилу неявного выведения времён жизни.

Вот пример, где применяется третье правило неявного выведения времён жизни:

```
impl<'a> ImportantExcerpt<'a> {
    fn announce_and_return_part(&self, announcement: &str) -> &str {
        println!("Attention please: {}", announcement);
        self.part
    }
}
```

В этом методе имеется два входных параметра, поэтому Rust применит первое правило и назначит обоим параметрам `&self` и `announcement` собственные времена жизни. Далее, поскольку один из параметров является `&self`, то возвращаемое значение получает время жизни переменой `&self` и все времена жизни теперь выведены.

Статическое время жизни

Одно особенное время жизни, которое мы должны обсудить, называется `'static`. Оно означает, что данная ссылка *может* жить всю продолжительность работы программы. Все строковые литералы по умолчанию имеют время жизни `'static`, но мы можем указать его явным образом:

```
let s: &'static str = "I have a static lifetime.;"
```

Содержание этой строки сохраняется внутри бинарного файла программы и всегда доступно для использования. Следовательно, время жизни всех строковых литералов равно `'static`.

Сообщения компилятора об ошибках в качестве решения проблемы могут предлагать вам использовать время жизни `'static`. Но прежде чем указывать `'static` как время жизни для ссылки, подумайте, на самом ли деле данная ссылка будет доступна во всё время работы программы. В большинстве случаев, сообщения об ошибках, предлагающие использовать время жизни `'static` появляются при попытках создания недействительных ссылок или несовпадения имеющихся времён жизни. В таких случаях, решение заключается в исправлении таких проблем, а не в указании статического времени жизни `'static`.

Обобщённые типы параметров, ограничения типажей и времена жизни вместе

Давайте кратко рассмотрим синтаксис задания параметров обобщённых типов, ограничений типажа и времён жизни совместно в одной функции:

```
use std::fmt::Display;

fn longest_with_an_announcement<'a, T>(
    x: &'a str,
    y: &'a str,
    ann: T,
) -> &'a str
where
    T: Display,
{
    println!("Announcement! {}", ann);
    if x.len() > y.len() {
        x
    } else {
        y
    }
}
```

Это функция `longest` из листинга 10-21, которая возвращает наибольший из двух срезов строки. Но теперь у неё есть дополнительный параметр с именем `ann` обобщённого типа `T`, который может быть представлен любым типом, реализующим типаж `Display`, как указано в предложении `where`. Этот дополнительный параметр будет напечатан с использованием `{}`, поэтому ограничение типажа `Display` необходимо. Поскольку время жизни является обобщённым типом, то объявления параметра времени жизни `'a` и параметра обобщённого типа `T` помещаются в один список внутри угловых скобок после имени функции.

Итоги

В этой главе мы рассмотрели много всего! Теперь вы знакомы с параметрами обобщённого типа, типажами и ограничениями типажа, обобщёнными параметрами времени жизни, вы готовы писать код без повторений, который будет работать во множестве различных ситуаций. Параметры обобщённого типа позволяют использовать код для различных типов данных. Типажи и ограничения типажа помогают убедиться, что, хотя типы и обобщённые, они будут вести себя, как этого требует ваш код. Вы изучили, как использовать аннотации времени жизни чтобы убедиться, что этот универсальный код не будет генерировать никаких повисших ссылок. И весь этот анализ происходит в момент компиляции и не влияет на производительность программы во время работы!

Верите или нет, но в рамках этой темы всё есть ещё чему поучиться: в Главе 17 обсуждаются типажи-объекты, которые являются ещё одним способом использования типажей. Существуют также более сложные сценарии с аннотациями времени жизни, которые вам понадобятся только в очень сложных случаях; для этого вам следует прочитать [Rust Reference](#).

Далее вы узнаете, как писать тесты на Rust, чтобы убедиться, что ваш код работает так, как задумано.

Написание автоматизированных тестов

В своём эссе 1972 года “The Humble Programmer,” Edsger W. Dijkstra сказал, что «Тестирование программы может быть очень эффективным способом показать наличие ошибок, но это безнадёжно неадекватно для показа их отсутствия». Это не значит, что мы не должны пытаться тестировать столько, сколько мы можем!

Корректностью программы считается то, в какой степени наш код выполняет именно то, что мы задумывали. Rust разработан с учётом большой озабоченности корректностью программ, но корректность сложна и нелегко доказуема. Система типизации Rust берет на себя огромную часть этого бремени, но она не может уловить абсолютно все проблемы. Поэтому в Rust предусмотрена возможность написания автотестов.

Допустим, мы пишем функцию `add_two`, которая прибавляет 2 к любому переданному ей числу. Сигнатура этой функции принимает целое число в качестве параметра и возвращает целое число в качестве результата. Когда мы реализуем и компилируем эту функцию, Rust выполняет всю проверку типов и проверку заимствований, которую вы уже изучили, чтобы убедиться, что, например, мы не передаём значение `String` или недопустимую ссылку в эту функцию. Но Rust *не способен* проверить, что эта функция сделает именно то, что мы задумали, то есть вернёт параметр плюс 2, а не, скажем, параметр плюс 10 или параметр минус 50! Вот тут-то и приходят на помощь тесты.

Мы можем написать тесты, которые утверждают, например, что когда мы передаём `3` в функцию `add_two`, возвращаемое значение будет `5`. Мы можем запускать эти тесты всякий раз, когда мы вносим изменения в наш код, чтобы убедиться, что любое существующее правильное поведение не изменилось.

Тестирование - сложный навык: мы не сможем охватить все детали написания хороших тестов в одной главе, но мы обсудим основные подходы к тестированию в Rust. Мы поговорим об аннотациях и макросах, доступных вам для написания тестов, о поведении по умолчанию и параметрах, предусмотренных для запуска тестов, а также о том, как организовать тесты в модульные тесты и интеграционные тесты.

Как писать тесты

Тесты - это функции Rust, которые проверяют, что не тестовый код работает ожидаемым образом. Содержимое тестовых функций обычно выполняет следующие три действия:

1. Установка любых необходимых данных или состояния.
2. Запуск кода, который вы хотите проверить.
3. Утверждение, что результаты являются теми, которые вы ожидаете.

Давайте рассмотрим функции предоставляемые в Rust специально для написания тестов, которые выполняют все эти действия, включая атрибут `test`, несколько макросов и атрибут `should_panic`.

Структура тестирующей функции

В простейшем случае в Rust тест - это функция, аннотированная атрибутом `test`. Атрибуты представляют собой метаданные о фрагментах кода Rust; один из примеров атрибут `derive`, который мы использовали со структурами в главе 5. Чтобы превратить функцию в тестирующую функцию добавьте `#[test]` в строку перед `fn`. Когда вы запускаете тесты командой `cargo test`, Rust создаёт бинарный модуль выполняющий функции аннотированные атрибутом `test` и сообщающий о том, успешно или нет прошла каждая тестирующая функция.

Когда мы создаём новый проект библиотеки с помощью Cargo, то в нём автоматически генерируется тестовый модуль с тест-функцией для нас. Этот модуль даст вам шаблон для написания ваших тестов, так что вам не нужно искать точную структуру и синтаксис тестовых функций каждый раз, когда вы начинаете новый проект. Вы можете добавить столько дополнительных тестовых функций и столько тестовых модулей, сколько захотите!

Мы исследуем некоторые аспекты работы тестов, экспериментируя с шаблонным тестом сгенерированным для нас, без реального тестирования любого кода. Затем мы напишем некоторые реальные тесты, которые вызывают некоторый написанный код и убедимся в его правильном поведении. Мы рассмотрим некоторые аспекты работы тестов, поэкспериментируем с шаблонным тестом, прежде чем приступить к фактическому тестированию любого кода. Затем мы напишем несколько реальных тестов, которые вызывают некоторый написанный нами код и проверяют, что его поведение правильное.

Давайте создадим новый библиотечный проект под названием `adder`, который складывает два числа:

```
$ cargo new adder --lib
   Created library `adder` project
$ cd adder
```

Содержимое файла `src/lib.rs` вашей библиотеки `adder` должно выглядеть как в листинге 11-1.

Файл: `src/lib.rs`

```
pub fn add(left: usize, right: usize) -> usize {
    left + right
}

#[cfg(test)]
mod tests {
    use super::*;

    #[test]
    fn it_works() {
        let result = add(2, 2);
        assert_eq!(result, 4);
    }
}
```

Листинг 11-1: Тестовый модуль и функция, сгенерированные автоматически с помощью `cargo new`

Сейчас давайте проигнорируем первые две строчки кода и сосредоточимся на функции. Обратите внимание на синтаксис аннотации `#[test]`: этот атрибут указывает, что это тестовая функция, поэтому запускающий тестирование знает, что эту функцию следует рассматривать как тестовую. У нас также могут быть не тестируемые функции в модуле `tests`, которые помогут настроить общие сценарии или выполнить общие операции, поэтому нам всегда нужно указывать, какие функции являются тестами.

В теле функции теста используется макрос `assert_eq!`, чтобы утверждать, что `result`, который содержит результат сложения 2 и 2, равен 4. Это утверждение служит примером формата для типичного теста. Давайте запустим его, чтобы убедиться, что этот тест пройден.

Команда `cargo test` выполнит все тесты в выбранном проекте и сообщит о результатах как в листинге 11-2:

```
$ cargo test
Compiling adder v0.1.0 (file:///projects/adder)
  Finished `test` profile [unoptimized + debuginfo] target(s) in 0.57s
    Running unit tests src/lib.rs (target/debug/deps/adder-92948b65e88960b4)

running 1 test
test tests::it_works ... ok

test result: ok. 1 passed; 0 failed; 0 ignored; 0 measured; 0 filtered out; finished in
0.00s

Doc-tests adder

running 0 tests

test result: ok. 0 passed; 0 failed; 0 ignored; 0 measured; 0 filtered out; finished in
0.00s
```

Листинг 11-2: Вывод информации о работе автоматически сгенерированных тестов

Cargo скомпилировал и выполнил тест. Мы видим строку `running 1 test`. Следующая строка показывает имя сгенерированной тестовой функции, называемой `it_works`, и результат запуска этого теста равный `ok`. Текст `test result: ok.` означает, что все тесты пройдены успешно и часть вывода `1 passed; 0 failed` сообщает общее количество тестов, которые прошли или были ошибочными.

Можно пометить тест как игнорируемый, чтобы он не выполнялся в конкретном случае; мы рассмотрим это в разделе “[Игнорирование некоторых тестов, если их специально не запрашивать](#)” позже в этой главе. Поскольку в данный момент мы этого не сделали, в сводке показано, что `0 ignored`. Мы также можем передать аргумент команде `cargo test` для запуска только тех тестов, имя которых соответствует строке; это называется [фильтрацией](#), и мы рассмотрим это в разделе “[Запуск подмножества тестов по имени](#)”. Мы также не фильтровали выполняемые тесты, поэтому в конце сводки показано, что `0 filtered out`.

Статистика `0 measured` предназначена для тестов производительности. На момент написания этой статьи такие тесты доступны только в ночной сборке Rust. Посмотрите [документацию о тестах производительности](#), чтобы узнать больше.

Следующая часть вывода тестов начинается с `Doc-tests adder` - это информация о тестах в документации. У нас пока нет тестов документации, но Rust может компилировать любые примеры кода, которые находятся в API документации. Такая возможность помогает поддерживать документацию и код в синхронизированном состоянии. Мы поговорим о написании тестов документации в секции “[Комментарии документации как тесты](#)” Главы 14. Пока просто проигнорируем часть `Doc-tests` вывода.

Давайте начнём настраивать тест в соответствии с нашими собственными потребностями. Сначала поменяем название нашего теста `it_works` на `exploration`, вот так:

Файл: src/lib.rs

```
pub fn add(left: usize, right: usize) -> usize {
    left + right
}

#[cfg(test)]
mod tests {
    use super::*;

    #[test]
    fn exploration() {
        let result = add(2, 2);
        assert_eq!(result, 4);
    }
}
```

Снова выполним команду `cargo test`. Вывод показывает наименование нашей тест-функции - `exploration` вместо `it_works`:

```
$ cargo test
Compiling adder v0.1.0 (file:///projects/adder)
  Finished `test` profile [unoptimized + debuginfo] target(s) in 0.59s
    Running unit tests src/lib.rs (target/debug/deps/adder-92948b65e88960b4)

running 1 test
test tests::exploration ... ok

test result: ok. 1 passed; 0 failed; 0 ignored; 0 measured; 0 filtered out; finished in
0.00s

Doc-tests adder

running 0 tests

test result: ok. 0 passed; 0 failed; 0 ignored; 0 measured; 0 filtered out; finished in
0.00s
```

Добавим ещё один тест, но в этот раз специально сделаем так, чтобы этот новый тест не отработал! Тест терпит неудачу, когда что-то паникует в тестируемой функции. Каждый тест запускается в новом потоке и когда главный поток видит, что тестовый поток упал, то помечает тест как завершившийся аварийно. Мы говорили о простейшем способе вызвать панику в главе 9, используя для этого известный макрос `panic!`. Введём код тест-функции `another`, как в файле `src/lib.rs` из листинга 11-3.

Файл: `src/lib.rs`

Листинг 11-3: Добавление второго теста, который завершится ошибкой, потому что мы вызываем `panic!` 

Запустим команду `cargo test`. Вывод результатов показан в листинге 11-4, который сообщает, что тест `exploration` пройден, а `another` нет:

```
$ cargo test
Compiling adder v0.1.0 (file:///projects/adder)
  Finished `test` profile [unoptimized + debuginfo] target(s) in 0.72s
    Running unit tests src/lib.rs (target/debug/deps/adder-92948b65e88960b4)

running 2 tests
test tests::another ... FAILED
test tests::exploration ... ok

failures:

---- tests::another stdout ----
thread 'tests::another' panicked at src/lib.rs:17:9:
Make this test fail
note: run with `RUST_BACKTRACE=1` environment variable to display a backtrace

failures:
  tests::another

test result: FAILED. 1 passed; 1 failed; 0 ignored; 0 measured; 0 filtered out;
finished in 0.00s

error: test failed, to rerun pass `--lib`
```

Листинг 11-4. Результаты теста, когда один тест пройден, а другой нет

Вместо `ok`, строка `test tests::another` сообщает `FAILED`. Две новые секции появились между отдельными результатами и сводкой: в первом отображается подробная причина каждого сбоя теста. В данном случае тест `another` не сработал, потому что `panicked at 'Make this test fail'`, произошло в строке 10 файла `src/lib.rs`. В следующем разделе перечисляют имена всех не пройденных тестов, что удобно, когда есть много тестов и много подробных результатов неудачных тестов. Мы можем использовать имя не пройденного теста для его дальнейшей отладки; мы больше поговорим о способах запуска тестов в разделе "Контролирование хода выполнения тестов".

Итоговая строка отображается в конце: общий результат нашего тестирования `FAILED`. У нас один тест пройден и один тест завершён аварийно.

Теперь, когда вы увидели, как выглядят результаты теста при разных сценариях, давайте рассмотрим другие макросы полезные в тестах, кроме `panic!`.

Проверка результатов с помощью макроса `assert!`

Макрос `assert!` доступен из стандартной библиотеки и является удобным, когда вы хотите проверить что некоторое условие в teste вычисляется в значение `true`. Мы передаём в макрос `assert!` аргумент, который вычисляется в логическое значение. Если оно `true`, то ничего не происходит и тест считается пройденным. Если же значение вычисляется в `false`, то макрос `assert!` вызывает макрос `panic!`, чтобы вызвать сбой теста. Использование макроса `assert!` помогает проверить, что код функционирует как ожидалось.

В главе 5, листинге 5-15, мы использовали структуру `Rectangle` и метод `can_hold`, который повторён в листинге 11-5. Давайте поместим этот код в файл `src/lib.rs` и напишем несколько тестов для него используя макрос `assert!`.

Файл: `src/lib.rs`

Листинг 11-5: Использование структуры `Rectangle` и её метода `can_hold` из главы 5

Метод `can_hold` возвращает логическое значение, что означает, что он является идеальным вариантом использования в макросе `assert!`. В листинге 11-6 мы пишем тест, который выполняет метод `can_hold` путём создания экземпляра `Rectangle` шириной 8 и высотой 7 и убеждаемся, что он может содержать другой экземпляр `Rectangle` имеющий ширину 5 и высоту 1.

Файл: `src/lib.rs`

```
#[cfg(test)]
mod tests {
    use super::*;

    #[test]
    fn larger_can_hold_smaller() {
        let larger = Rectangle {
            width: 8,
            height: 7,
        };
        let smaller = Rectangle {
            width: 5,
            height: 1,
        };

        assert!(larger.can_hold(&smaller));
    }
}
```

Листинг 11-6: Тест для метода `can_hold`, который проверяет что больший прямоугольник действительно может содержать меньший

Также, в модуле `tests` обратите внимание на новую добавленную строку `use super::*;

Модуль tests является обычным и подчиняется тем же правилам видимости, которые мы обсуждали в главе 7 "Пути для ссылки на элементы внутри дерева модуля". Так как этот модуль tests является внутренним, нужно подключить тестируемый код из внешнего модуля в область видимости внутреннего модуля с тестами. Для этого используется глобальное подключение, так что все что определено во внешнем модуле становится доступным внутри tests модуля.`

Мы назвали наш тест `larger_can_hold_smaller` и создали два нужных экземпляра `Rectangle`. Затем вызвали макрос `assert!` и передали результат вызова `larger.can_hold(&smaller)` в него. Это выражение должно возвращать `true`, поэтому наш тест должен пройти. Давайте выясним!

```
$ cargo test
Compiling rectangle v0.1.0 (file:///projects/rectangle)
Finished `test` profile [unoptimized + debuginfo] target(s) in 0.66s
Running unitests src/lib.rs (target/debug/deps/rectangle-6584c4561e48942e)

running 1 test
test tests::larger_can_hold_smaller ... ok

test result: ok. 1 passed; 0 failed; 0 ignored; 0 measured; 0 filtered out; finished in
0.00s

Doc-tests rectangle

running 0 tests

test result: ok. 0 passed; 0 failed; 0 ignored; 0 measured; 0 filtered out; finished in
0.00s
```

Тест проходит. Теперь добавим другой тест, в этот раз мы попытаемся убедиться, что меньший прямоугольник не может содержать больший прямоугольник:

Файл: src/lib.rs

```
#[cfg(test)]
mod tests {
    use super::*;

    #[test]
    fn larger_can_hold_smaller() {
        // --snip--
    }

    #[test]
    fn smaller_cannot_hold_larger() {
        let larger = Rectangle {
            width: 8,
            height: 7,
        };
        let smaller = Rectangle {
            width: 5,
            height: 1,
        };

        assert!(!smaller.can_hold(&larger));
    }
}
```

Поскольку правильный результат функции `can_hold` в этом случае `false`, то мы должны инвертировать этот результат, прежде чем передадим его в `assert!` макро. Как результат, наш тест пройдёт, если `can_hold` вернёт `false`:

```
$ cargo test
Compiling rectangle v0.1.0 (file:///projects/rectangle)
Finished `test` profile [unoptimized + debuginfo] target(s) in 0.66s
Running unitests src/lib.rs (target/debug/deps/rectangle-6584c4561e48942e)

running 2 tests
test tests::larger_can_hold_smaller ... ok
test tests::smaller_cannot_hold_larger ... ok

test result: ok. 2 passed; 0 failed; 0 ignored; 0 measured; 0 filtered out; finished in
0.00s

Doc-tests rectangle

running 0 tests

test result: ok. 0 passed; 0 failed; 0 ignored; 0 measured; 0 filtered out; finished in
0.00s
```

Два теста работают. Теперь проверим, как отреагируют тесты, если мы добавим ошибку в код. Давайте изменим реализацию метода `can_hold` заменив одно из логических выражений знак сравнения с "больше чем" на противоположный "меньше чем" при сравнении ширины:

```
// --snip--
impl Rectangle {
    fn can_hold(&self, other: &Rectangle) -> bool {
        self.width < other.width && self.height > other.height
    }
}
```



Запуск тестов теперь производит следующее:

```
$ cargo test
Compiling rectangle v0.1.0 (file:///projects/rectangle)
Finished `test` profile [unoptimized + debuginfo] target(s) in 0.66s
Running unitests src/lib.rs (target/debug/deps/rectangle-6584c4561e48942e)

running 2 tests
test tests::larger_can_hold_smaller ... FAILED
test tests::smaller_cannot_hold_larger ... ok

failures:

---- tests::larger_can_hold_smaller stdout ----
thread 'tests::larger_can_hold_smaller' panicked at src/lib.rs:28:9:
assertion failed: larger.can_hold(&smaller)
note: run with `RUST_BACKTRACE=1` environment variable to display a backtrace

failures:
    tests::larger_can_hold_smaller

test result: FAILED. 1 passed; 1 failed; 0 ignored; 0 measured; 0 filtered out;
finished in 0.00s

error: test failed, to rerun pass `--lib`
```

Наши тесты нашли ошибку! Так как в teste `larger.width` равно 8 и `smaller.width` равно 5 сравнение ширины в методе `can_hold` возвращает результат `false`, поскольку число 8 не меньше чем 5.

Проверка на равенство с помощью макросов `assert_eq!` и `assert_ne!`

Общим способом проверки функциональности является использование сравнения результата тестируемого кода и ожидаемого значения, чтобы убедиться в их равенстве. Для этого можно использовать макрос `assert!`, передавая ему выражение с использованием оператора `==`. Важно также знать, что кроме этого стандартная библиотека предлагает пару макросов `assert_eq!` и `assert_ne!`, чтобы сделать тестирование более удобным. Эти макросы сравнивают два аргумента на равенство или неравенство соответственно. Макросы также печатают два значения входных параметров, если тест завершился ошибкой, что позволяет легче увидеть *почему* тест ошибочен. Противоположно этому, макрос `assert!` может только отобразить, что он вычислил значение `false` для выражения `==`, но не значения, которые привели к результату `false`.

В листинге 11-7, мы напишем функцию `add_two`, которая прибавляет к входному параметру 2 и возвращает значение. Затем, протестируем эту функцию с помощью макроса `assert_eq!`:

Файл: src/lib.rs

```
pub fn add_two(a: usize) -> usize {
    a + 2
}

#[cfg(test)]
mod tests {
    use super::*;

    #[test]
    fn it_adds_two() {
        let result = add_two(2);
        assert_eq!(result, 4);
    }
}
```

Листинг 11-7: Тестирование функции `add_two` с помощью макроса `assert_eq!`

Проверим, что тесты проходят!

```
$ cargo test
Compiling adder v0.1.0 (file:///projects/adder)
  Finished `test` profile [unoptimized + debuginfo] target(s) in 0.58s
    Running unit tests src/lib.rs (target/debug/deps/adder-92948b65e88960b4)

running 1 test
test tests::it_adds_two ... ok

test result: ok. 1 passed; 0 failed; 0 ignored; 0 measured; 0 filtered out; finished in
0.00s

Doc-tests adder

running 0 tests

test result: ok. 0 passed; 0 failed; 0 ignored; 0 measured; 0 filtered out; finished in
0.00s
```

Первый аргумент, который мы передаём в макрос `assert_eq!` число `4` чей результат вызова равен `add_two(2)`. Стока для этого теста - `test tests::it_adds_two ... ok`, а текст `ok` означает, что наш тест пройден!

Давайте введём ошибку в код, чтобы увидеть, как она выглядит, когда тест, который использует `assert_eq!` завершается ошибкой. Измените реализацию функции `add_two`, чтобы добавлять `3`:

```
pub fn add_two(a: usize) -> usize {
    a + 3
}
```



Попробуем выполнить данный тест ещё раз:

```
$ cargo test
Compiling adder v0.1.0 (file:///projects/adder)
Finished `test` profile [unoptimized + debuginfo] target(s) in 0.61s
Running unit tests src/lib.rs (target/debug/deps/adder-92948b65e88960b4)

running 1 test
test tests::it_adds_two ... FAILED

failures:

---- tests::it_adds_two stdout ----
thread 'tests::it_adds_two' panicked at src/lib.rs:12:9:
assertion `left == right` failed
  left: 5
  right: 4
note: run with `RUST_BACKTRACE=1` environment variable to display a backtrace

failures:
  tests::it_adds_two

test result: FAILED. 0 passed; 1 failed; 0 ignored; 0 measured; 0 filtered out;
finished in 0.00s

error: test failed, to rerun pass `--lib`
```

Наш тест нашёл ошибку! Тест `it_adds_two` не выполнился, отображается сообщение `assertion failed: (left == right)`` и показывает, что `left` было `4`, а `right` было `5`. Это сообщение полезно и помогает начать отладку: это означает `left` аргумент `assert_eq!` имел значение `4`, но `right` аргумент для вызова `add_two(2)` был со значением `5`.

Обратите внимание, что в некоторых языках (таких как Java) в библиотеках кода для тестирования принято именовать входные параметры проверочных функций как "ожидаемое" (`expected`) и "фактическое" (`actual`). В Rust приняты следующие обозначения `left` и `right` соответственно, а порядок в котором определяются ожидаемое значение и производимое тестируемым кодом значение не имеют значения. Мы могли бы написать выражение в teste как `assert_eq!(add_two(2), 4)`, что приведёт к отображаемому сообщению об ошибке `assertion failed: (left == right)``, слева `left` было бы `5`, а справа `right` было бы `4`.

Макрос `assert_ne!` сработает успешно, если входные параметры не равны друг другу и завершится с ошибкой, если значения равны. Этот макрос наиболее полезен в тех случаях, когда мы не знаем заранее, каким значение *будет*, но знаем точно, каким оно *не может быть*. К примеру, если тестируется функция, которая гарантировано изменяет входные данные определённым образом, но способ изменения входного параметра зависит от дня недели, в который запускаются тесты, что лучший способ проверить правильность работы такой функции - это сравнить и убедиться, что выходное значение функции не должно быть равным входному значению.

В своей работе макросы `assert_eq!` и `assert_ne!` неявным образом используют операторы `==` и `!=` соответственно. Когда проверка не срабатывает, макросы печатают значения аргументов с помощью отладочного форматирования и это означает, что значения

сравниваемых аргументов должны реализовать типажи `PartialEq` и `Debug`. Все примитивные и большая часть типов стандартной библиотеки Rust реализуют эти типажи. Для структур и перечислений, которые вы реализуете сами будет необходимо реализовать типаж `PartialEq` для сравнения значений на равенство или неравенство. Для печати отладочной информации в виде сообщений в строку вывода консоли необходимо реализовать типаж `Debug`. Так как оба типажа являются выводимыми типажами, как упоминалось в листинге 5-12 главы 5, то эти типажи можно реализовать добавив аннотацию `#[derive(PartialEq, Debug)]` к определению структуры или перечисления. Смотрите больше деталей в Appendix C "Выводимые типажи" про эти и другие выводимые типажи.

Создание сообщений об ошибках

Также можно добавить пользовательское сообщение как дополнительный аргумент макросов для печати в сообщении об ошибке теста `assert!`, `assert_eq!`, и `assert_ne!`. Любые аргументы, указанные после обязательных аргументов, далее передаются в макрос `format!` (он обсуждается в разделе "Конкатенация с помощью оператора `+` или макроса `format!`"), так что вы можете передать форматированную строку, которая содержит `{}` для заполнителей и значения, заменяющие эти заполнители. Пользовательские сообщения полезны для пояснения того, что означает утверждение (assertion); когда тест завершается неудачей, у вас будет лучшее представление о том, в чем проблема с кодом.

Например, есть функция, которая приветствует человека по имени и мы хотим протестировать эту функцию. Мы хотим чтобы передаваемое ей имя выводилось в консоль:

Файл: `src/lib.rs`

```
pub fn greeting(name: &str) -> String {
    format!("Hello {}!")
}

#[cfg(test)]
mod tests {
    use super::*;

    #[test]
    fn greeting_contains_name() {
        let result = greeting("Carol");
        assert!(result.contains("Carol"));
    }
}
```

Требования к этой программе ещё не были согласованы и мы вполне уверены, что текст `Hello` в начале приветствия ещё изменится. Мы решили, что не хотим обновлять тест при изменении требований, поэтому вместо проверки на точное равенство со значением возвращённым из `greeting`, мы просто будем проверять, что вывод содержит текст из входного параметра.

Давайте внесём ошибку в этот код, изменив `greeting` так, чтобы оно не включало `name` и увидим, как выглядит сбой этого теста:

```
pub fn greeting(name: &str) -> String {  
    String::from("Hello!")  
}
```



Запуск этого теста выводит следующее:

```
$ cargo test  
Compiling greeter v0.1.0 (file:///projects/greeter)  
  Finished `test` profile [unoptimized + debuginfo] target(s) in 0.91s  
    Running unit tests src/lib.rs (target/debug/deps/greeter-170b942eb5bf5e3a)  
  
running 1 test  
test tests::greeting_contains_name ... FAILED  
  
failures:  
  
---- tests::greeting_contains_name stdout ----  
thread 'tests::greeting_contains_name' panicked at src/lib.rs:12:9:  
assertion failed: result.contains("Carol")  
note: run with `RUST_BACKTRACE=1` environment variable to display a backtrace  
  
failures:  
  tests::greeting_contains_name  
  
test result: FAILED. 0 passed; 1 failed; 0 ignored; 0 measured; 0 filtered out;  
finished in 0.00s  
  
error: test failed, to rerun pass `--lib`
```

Сообщение содержит лишь информацию о том что сравнение не было успешным и в какой строке это произошло. В данном случае, более полезный текст сообщения был бы, если бы также выводилось значение из функции `greeting`. Изменим тестирующую функцию так, чтобы выводились пользовательское сообщение форматированное строкой с заменителем и фактическими данными из кода `greeting`:

```
#[test]  
fn greeting_contains_name() {  
    let result = greeting("Carol");  
    assert!(  
        result.contains("Carol"),  
        "Greeting did not contain name, value was `{result}`"  
    );  
}
```

После того, как выполним тест ещё раз мы получим подробное сообщение об ошибке:

```
$ cargo test
Compiling greeter v0.1.0 (file:///projects/greeter)
Finished `test` profile [unoptimized + debuginfo] target(s) in 0.93s
Running unit tests src/lib.rs (target/debug/deps/greeter-170b942eb5bf5e3a)

running 1 test
test tests::greeting_contains_name ... FAILED

failures:

---- tests::greeting_contains_name stdout ----
thread 'tests::greeting_contains_name' panicked at src/lib.rs:12:9:
Greeting did not contain name, value was `Hello!`
note: run with `RUST_BACKTRACE=1` environment variable to display a backtrace

failures:
tests::greeting_contains_name

test result: FAILED. 0 passed; 1 failed; 0 ignored; 0 measured; 0 filtered out;
finished in 0.00s

error: test failed, to rerun pass `--lib`
```

Мы можем увидеть значение, которое мы на самом деле получили в тестовом выводе, что поможет нам отлаживать произошедшее, а не то, что мы ожидали.

Проверка с помощью макроса `should_panic`

В дополнение к проверке того, что наш код возвращает правильные, ожидаемые значения, важным также является проверить, что наш код обрабатывает ошибки, которые мы ожидаем. Например, рассмотрим тип `Guess` который мы создали в главе 9, листинга 9-10. Другой код, который использует `Guess` зависит от гарантии того, что `Guess` экземпляры будут содержать значения только от 1 до 100. Мы можем написать тест, который гарантирует, что попытка создать экземпляр `Guess` со значением вне этого диапазона вызывает панику.

Реализуем это с помощью другого атрибута тест-функции `#[should_panic]`. Этот атрибут сообщает системе тестирования, что тест проходит, когда метод генерирует ошибку. Если ошибка не генерируется - тест считается не пройденным.

Листинг 11-8 показывает тест, который проверяет, что условия ошибки `Guess::new` произойдут, когда мы их ожидаем их.

Файл: `src/lib.rs`

```

pub struct Guess {
    value: i32,
}

impl Guess {
    pub fn new(value: i32) -> Guess {
        if value < 1 || value > 100 {
            panic!("Guess value must be between 1 and 100, got {value}.");
        }

        Guess { value }
    }
}

#[cfg(test)]
mod tests {
    use super::*;

    #[test]
    #[should_panic]
    fn greater_than_100() {
        Guess::new(200);
    }
}

```

Листинг 11-8: Проверка того, что условие вызовет макрос `panic!`

Атрибут `#[should_panic]` следует после `#[test]` и до объявления тестовой функции. Посмотрим на вывод результата, когда тест проходит:

```

$ cargo test
Compiling guessing_game v0.1.0 (file:///projects/guessing_game)
Finished `test` profile [unoptimized + debuginfo] target(s) in 0.58s
Running unit tests src/lib.rs (target/debug/deps/guessing_game-57d70c3acb738f4d)

running 1 test
test tests::greater_than_100 - should panic ... ok

test result: ok. 1 passed; 0 failed; 0 ignored; 0 measured; 0 filtered out; finished in
0.00s

Doc-tests guessing_game

running 0 tests

test result: ok. 0 passed; 0 failed; 0 ignored; 0 measured; 0 filtered out; finished in
0.00s

```

Выглядит хорошо! Теперь давайте внесём ошибку в наш код, убрав условие о том, что функция `new` будет паниковать если значение больше 100:



```
// --snip--  
impl Guess {  
    pub fn new(value: i32) -> Guess {  
        if value < 1 {  
            panic!("Guess value must be between 1 and 100, got {value}.");  
        }  
  
        Guess { value }  
    }  
}
```

Когда мы запустим тест в листинге 11-8, он потерпит неудачу:

```
$ cargo test  
Compiling guessing_game v0.1.0 (file:///projects/guessing_game)  
  Finished `test` profile [unoptimized + debuginfo] target(s) in 0.62s  
    Running unit tests src/lib.rs (target/debug/deps/guessing_game-57d70c3acb738f4d)  
  
running 1 test  
test tests::greater_than_100 - should panic ... FAILED  
  
failures:  
  
---- tests::greater_than_100 stdout ----  
note: test did not panic as expected  
  
failures:  
  tests::greater_than_100  
  
test result: FAILED. 0 passed; 1 failed; 0 ignored; 0 measured; 0 filtered out;  
finished in 0.00s  
  
error: test failed, to rerun pass `--lib`
```

Мы получаем не очень полезное сообщение в этом случае, но когда мы смотрим на тестирующую функцию, мы видим, что она `#[should_panic]`. Аварийное выполнение, которое мы получили означает, что код в тестирующей функции не вызвал паники.

Тесты, которые используют `should_panic` могут быть неточными, потому что они только указывают, что код вызвал панику. Тест с атрибутом `should_panic` пройдёт, даже если тест паникует по причине, отличной от той, которую мы ожидали. Чтобы сделать тесты с `should_panic` более точными, мы можем добавить необязательный параметр `expected` для атрибута `should_panic`. Такая детализация теста позволит удостовериться, что сообщение об ошибке содержит предоставленный текст. Например, рассмотрим модифицированный код для `Guess` в листинге 11-9, где `new` функция паникует с различными сообщениями в зависимости от того, является ли значение слишком маленьким или слишком большим.

Файл: `src/lib.rs`

```
// --snip--  
  
impl Guess {  
    pub fn new(value: i32) -> Guess {  
        if value < 1 {  
            panic!(  
                "Guess value must be greater than or equal to 1, got {value}."  
            );  
        } else if value > 100 {  
            panic!(  
                "Guess value must be less than or equal to 100, got {value}."  
            );  
        }  
        Guess { value }  
    }  
}  
  
#[cfg(test)]  
mod tests {  
    use super::*;

    #[test]
    #[should_panic(expected = "less than or equal to 100")]
    fn greater_than_100() {
        Guess::new(200);
    }
}
```

Листинг 11-9: Проверка `panic!` на наличие в его сообщении указанной подстроки

Этот тест пройдёт, потому что значение, которое мы поместили для `should_panic` в параметр атрибута `expected` является подстрокой сообщения, с которым функция `Guess::new` вызывает панику. Мы могли бы указать полное, ожидаемое сообщение для паники, в этом случае это будет `Guess value must be less than or equal to 100, got 200`. То что вы выберите для указания как ожидаемого параметра у `should_panic` зависит от того, какая часть сообщения о панике уникальна или динамична, насколько вы хотите, чтобы ваш тест был точным. В этом случае достаточно подстроки из сообщения паники, чтобы гарантировать выполнение кода в тестовой функции `else if value > 100`.

Чтобы увидеть, что происходит, когда тест `should_panic` неуспешно завершается с сообщением `expected`, давайте снова внесём ошибку в наш код, поменяв местами `if value < 1` и `else if value > 100` блоки:

```
if value < 1 {  
    panic!(  
        "Guess value must be less than or equal to 100, got {value}."  
    );  
} else if value > 100 {  
    panic!(  
        "Guess value must be greater than or equal to 1, got {value}."  
    );  
}
```



На этот раз, когда мы выполним `should_panic` тест, он потерпит неудачу:

```
$ cargo test
Compiling guessing_game v0.1.0 (file:///projects/guessing_game)
Finished `test` profile [unoptimized + debuginfo] target(s) in 0.66s
Running unitests src/lib.rs (target/debug/deps/guessing_game-57d70c3acb738f4d)

running 1 test
test tests::greater_than_100 - should panic ... FAILED

failures:

---- tests::greater_than_100 stdout ----
thread 'tests::greater_than_100' panicked at src/lib.rs:12:13:
Guess value must be greater than or equal to 1, got 200.
note: run with `RUST_BACKTRACE=1` environment variable to display a backtrace
note: panic did not contain expected string
    panic message: `\"Guess value must be greater than or equal to 1, got 200.\"`,
expected substring: `\"less than or equal to 100\"`

failures:
    tests::greater_than_100

test result: FAILED. 0 passed; 1 failed; 0 ignored; 0 measured; 0 filtered out;
finished in 0.00s

error: test failed, to rerun pass `--lib`
```

Сообщение об ошибке указывает, что этот тест действительно вызвал панику, как мы и ожидали, но сообщение о панике не включено ожидаемую строку `'Guess value must be less than or equal to 100'`. Сообщение о панике, которое мы получили в этом случае, было `Guess value must be greater than or equal to 1, got 200.` Теперь мы можем начать выяснение, где ошибка!

Использование `Result<T, E>` в тестах

Пока что мы написали тесты, которые паникуют, когда терпят неудачу. Мы также можем написать тесты которые используют `Result<T, E>`! Вот тест из листинга 11-1, переписанный с использованием `Result<T, E>` и возвращающий `Err` вместо паники:

```
pub fn add(left: usize, right: usize) -> usize {
    left + right
}

#[cfg(test)]
mod tests {
    use super::*;

    // ANCHOR: here
    #[test]
    fn it_works() -> Result<(), String> {
        let result = add(2, 2);

        if result == 4 {
            Ok(())
        } else {
            Err(String::from("two plus two does not equal four"))
        }
    }
    // ANCHOR_END: here
}
```

Функция `it_works` теперь имеет возвращаемый тип `Result<(), String>`. В теле функции, вместо вызова макроса `assert_eq!`, мы возвращаем `Ok(())` когда тест успешно выполнен и `Err` со `String` внутри, когда тест не проходит.

Написание тестов так, чтобы они возвращали `Result<T, E>` позволяет использовать оператор "вопросительный знак" в теле тестов, который может быть удобным способом писать тесты, которые должны выполниться не успешно, если какая-либо операция внутри них возвращает вариант ошибки `Err`.

Вы не можете использовать аннотацию `#[should_panic]` в тестах, использующих `Result<T, E>`. Чтобы утверждать, что операция возвращает вариант `Err`, не используйте оператор вопросительного знака для значения `Result<T, E>`. Вместо этого используйте `assert!(value.is_err())`.

Теперь, когда вы знаете несколько способов написания тестов, давайте взглянем на то, что происходит при запуске тестов и исследуем разные опции используемые с командой `cargo test`.

Контролирование хода выполнения тестов

Подобно тому, как `cargo run` выполняет компиляцию вашего кода, а затем запускает полученный двоичный файл, `cargo test` компилирует ваш код в режиме тестирования и запускает полученный бинарник с тестами. Двоичный файл, создаваемый `cargo test`, по умолчанию запускает все тесты параллельно и перехватывает вывод, генерируемый во время выполнения тестов, предотвращая их вывод на экран для облегчения чтения вывода, относящегося к результатам тестирования. Однако вы можете указать параметры командной строки, чтобы изменить это поведение по умолчанию.

Часть параметров командной строки передаётся в `cargo test`, а часть - в итоговый двоичный файл с тестами. Чтобы разделить эти два типа аргументов, нужно сначала указать аргументы, которые идут в `cargo test`, затем использовать разделитель `--`, а потом те, которые попадут в двоичный файл теста. Выполнение `cargo test --help` выводит опции, которые вы можете использовать с `cargo test`, а выполнение `cargo test -- --help` выводит опции, которые вы можете использовать за разделителем.

Выполнение тестов параллельно или последовательно

Когда вы запускаете несколько тестов, по умолчанию они выполняются параллельно с использованием потоков, что означает, что они завершатся быстрее, и вы быстрее получите результаты. Поскольку тесты выполняются параллельно, вы должны убедиться, что ваши тесты не зависят друг от друга или от какого-либо общего состояния, включая общее окружение, например, текущий рабочий каталог или переменные окружения.

Например, допустим, каждый из ваших тестов запускает код, который создаёт файл на диске с именем `test-output.txt` и записывает некоторые данные в этот файл. Затем каждый тест считывает данные из этого файла и утверждает, что файл содержит определённое значение, которое в каждом teste разное. Поскольку все тесты выполняются одновременно, один из тестов может перезаписать файл в промежутке между записью и чтением файла другим тестом. Тогда второй тест потерпит неудачу, но не потому, что код неверен, а потому, что эти тесты мешали друг другу при параллельном выполнении. Одно из решений - убедиться, что каждый тест пишет в свой отдельный файл; другое решение - запускать тесты по одному.

Если вы не хотите запускать тесты параллельно или хотите более детальный контроль над количеством используемых потоков, можно установить флаг `--test-threads` и то количество потоков, которое вы хотите использовать для теста. Взгляните на следующий пример:

```
$ cargo test -- --test-threads=1
```

Мы устанавливаем количество тестовых потоков равным `1`, указывая программе не использовать параллелизм. Выполнение тестов с использованием одного потока займёт

больше времени, чем их параллельное выполнение, но тесты не будут мешать друг другу, если они совместно используют состояние.

Демонстрация результатов работы функции

По умолчанию, если тест пройден, система управления запуска тестов блокирует вывод на печать, т.е. если вы вызовете макрос `println!` внутри кода теста и тест будет пройден, вы не увидите вывода на консоль результатов вызова `println!`. Если же тест не был пройден, все информационные сообщения, а также описание ошибки будут выведены на консоль.

Например, в коде (11-10) функция выводит значение параметра с поясняющим текстовым сообщением, а также возвращает целочисленное константное значение `10`. Далее следует тест, который имеет правильный входной параметр и тест, который имеет ошибочный входной параметр:

Файл: `src/lib.rs`

```
fn prints_and_returns_10(a: i32) -> i32 {
    println!("I got the value {a}");
    10
}

#[cfg(test)]
mod tests {
    use super::*;

    #[test]
    fn this_test_will_pass() {
        let value = prints_and_returns_10(4);
        assert_eq!(value, 10);
    }

    #[test]
    fn this_test_will_fail() {
        let value = prints_and_returns_10(8);
        assert_eq!(value, 5);
    }
}
```



Листинг 11-10: Тест функции, которая использует макрос `println!`

Результат вывода на консоль команды `cargo test`:

```
$ cargo test
Compiling silly-function v0.1.0 (file:///projects/silly-function)
  Finished `test` profile [unoptimized + debuginfo] target(s) in 0.58s
    Running unit tests src/lib.rs (target/debug/deps/silly_function-160869f38cff9166)

running 2 tests
test tests::this_test_will_fail ... FAILED
test tests::this_test_will_pass ... ok

failures:

---- tests::this_test_will_fail stdout ----
I got the value 8
thread 'tests::this_test_will_fail' panicked at src/lib.rs:19:9:
assertion `left == right` failed
  left: 10
  right: 5
note: run with `RUST_BACKTRACE=1` environment variable to display a backtrace

failures:
  tests::this_test_will_fail

test result: FAILED. 1 passed; 1 failed; 0 ignored; 0 measured; 0 filtered out;
finished in 0.00s

error: test failed, to rerun pass `--lib`
```

Обратите внимание, что нигде в этом выводе мы не видим сообщения `I got the value 4`, которое печатается при выполнении пройденного теста. Этот вывод был записан. Результат неудачного теста, `I got the value 8`, появляется в разделе итоговых результатов теста, который также показывает причину неудачного теста.

Если мы хотим видеть напечатанные результаты прохождения тестов, мы можем сказать Rust, чтобы он также показывал результаты успешных тестов с помощью `--show-output`.

```
$ cargo test -- --show-output
```

Когда мы снова запускаем тесты из Листинга 11-10 с флагом `--show-output`, мы видим следующий результат:

```
$ cargo test -- --show-output
Compiling silly-function v0.1.0 (file:///projects/silly-function)
  Finished `test` profile [unoptimized + debuginfo] target(s) in 0.60s
    Running unit tests src/lib.rs (target/debug/deps/silly_function-160869f38cff9166)

running 2 tests
test tests::this_test_will_fail ... FAILED
test tests::this_test_will_pass ... ok

successes:

---- tests::this_test_will_pass stdout ----
I got the value 4

successes:
  tests::this_test_will_pass

failures:

---- tests::this_test_will_fail stdout ----
I got the value 8
thread 'tests::this_test_will_fail' panicked at src/lib.rs:19:9:
assertion `left == right` failed
  left: 5
  right: 10
note: run with `RUST_BACKTRACE=1` environment variable to display a backtrace

failures:
  tests::this_test_will_fail

test result: FAILED. 1 passed; 1 failed; 0 ignored; 0 measured; 0 filtered out;
finished in 0.00s

error: test failed, to rerun pass `--lib`
```

Запуск подмножества тестов по имени

Бывают случаи, когда в запуске всех тестов нет необходимости и нужно запустить только несколько тестов. Если вы работаете над функцией и хотите запустить тесты, которые исследуют её работу - это было бы удобно. Вы можете это сделать, используя команду `cargo test`, передав в качестве аргумента имена тестов.

Для демонстрации, как запустить группу тестов, мы создадим группу тестов для функции `add_two` function, как показано в Листинге 11-11, и постараемся выбрать какие из них запускать.

Файл: `src/lib.rs`

```

pub fn add_two(a: usize) -> usize {
    a + 2
}

#[cfg(test)]
mod tests {
    use super::*;

    #[test]
    fn add_two_and_two() {
        let result = add_two(2);
        assert_eq!(result, 4);
    }

    #[test]
    fn add_three_and_two() {
        let result = add_two(3);
        assert_eq!(result, 5);
    }

    #[test]
    fn one_hundred() {
        let result = add_two(100);
        assert_eq!(result, 102);
    }
}

```

Листинг 11-11: Три теста с различными именами

Если вы выполните команду `cargo test` без уточняющих аргументов, все тесты выполняются параллельно:

```

$ cargo test
Compiling adder v0.1.0 (file:///projects/adder)
  Finished `test` profile [unoptimized + debuginfo] target(s) in 0.62s
    Running unitests src/lib.rs (target/debug/deps/adder-92948b65e88960b4)

running 3 tests
test tests::add_three_and_two ... ok
test tests::add_two_and_two ... ok
test tests::one_hundred ... ok

test result: ok. 3 passed; 0 failed; 0 ignored; 0 measured; 0 filtered out; finished in
0.00s

Doc-tests adder

running 0 tests

test result: ok. 0 passed; 0 failed; 0 ignored; 0 measured; 0 filtered out; finished in
0.00s

```

Запуск одного теста

Мы можем запустить один тест с помощью указания его имени в команде `cargo test`:

```
$ cargo test one_hundred
Compiling adder v0.1.0 (file:///projects/adder)
Finished `test` profile [unoptimized + debuginfo] target(s) in 0.69s
Running unittests src/lib.rs (target/debug/deps/adder-92948b65e88960b4)

running 1 test
test tests::one_hundred ... ok

test result: ok. 1 passed; 0 failed; 0 ignored; 0 measured; 2 filtered out; finished in
0.00s
```

Был запущен только тест с названием `one_hundred`; два других теста не соответствовали этому названию. Результаты теста с помощью вывода `2 filtered out` дают нам понять, что у нас было больше тестов, но они не были запущены.

Таким образом мы не можем указать имена нескольких тестов; будет использоваться только первое значение, указанное для `cargo test`. Но есть способ запустить несколько тестов.

Использование фильтров для запуска нескольких тестов

Мы можем указать часть имени теста, и будет запущен любой тест, имя которого соответствует этому значению. Например, поскольку имена двух наших тестов содержат `add`, мы можем запустить эти два, запустив `cargo test add`:

```
$ cargo test add
Compiling adder v0.1.0 (file:///projects/adder)
Finished `test` profile [unoptimized + debuginfo] target(s) in 0.61s
Running unittests src/lib.rs (target/debug/deps/adder-92948b65e88960b4)

running 2 tests
test tests::add_three_and_two ... ok
test tests::add_two_and_two ... ok

test result: ok. 2 passed; 0 failed; 0 ignored; 0 measured; 1 filtered out; finished in
0.00s
```

Эта команда запускала все тесты с `add` в имени и отфильтровывала тест с именем `one_hundred`. Также обратите внимание, что модуль, в котором появляется тест, становится частью имени теста, поэтому мы можем запускать все тесты в модуле, фильтруя имя модуля.

Игнорирование тестов

Бывает, что некоторые тесты требуют продолжительного времени для своего исполнения, и вы хотите исключить их из исполнения при запуске `cargo test`. Вместо перечисления в командной строке всех тестов, которые вы хотите запускать, вы можете аннотировать тесты, требующие много времени для прогона, атрибутом `ignore`, чтобы исключить их, как показано здесь:

```

pub fn add(left: usize, right: usize) -> usize {
    left + right
}

// ANCHOR: here
#[cfg(test)]
mod tests {
    use super::*;

    #[test]
    fn it_works() {
        let result = add(2, 2);
        assert_eq!(result, 4);
    }

    #[test]
    #[ignore]
    fn expensive_test() {
        // code that takes an hour to run
    }
}
// ANCHOR_END: here

```

После `#[test]` мы добавляем строку `#[ignore]` в тест, который хотим исключить. Теперь, когда мы запускаем наши тесты, `it_works` запускается, а `expensive_test` игнорируется:

```

$ cargo test
Compiling adder v0.1.0 (file:///projects/adder)
Finished `test` profile [unoptimized + debuginfo] target(s) in 0.60s
    Running unit tests src/lib.rs (target/debug/deps/adder-92948b65e88960b4)

running 2 tests
test tests::expensive_test ... ignored
test tests::it_works ... ok

test result: ok. 1 passed; 0 failed; 1 ignored; 0 measured; 0 filtered out; finished in
0.00s

Doc-tests adder

running 0 tests

test result: ok. 0 passed; 0 failed; 0 ignored; 0 measured; 0 filtered out; finished in
0.00s

```

Функция `expensive_test` помечена как `ignored`. Если вы хотите выполнить только проигнорированные тесты, вы можете воспользоваться командой `cargo test -- --ignored`:

```
$ cargo test -- --ignored
Compiling adder v0.1.0 (file:///projects/adder)
  Finished `test` profile [unoptimized + debuginfo] target(s) in 0.61s
    Running unit tests src/lib.rs (target/debug/deps/adder-92948b65e88960b4)

running 1 test
test expensive_test ... ok

test result: ok. 1 passed; 0 failed; 0 ignored; 0 measured; 1 filtered out; finished in
0.00s

Doc-tests adder

running 0 tests

test result: ok. 0 passed; 0 failed; 0 ignored; 0 measured; 0 filtered out; finished in
0.00s
```

Управляя тем, какие тесты запускать, вы можете быть уверены, что результаты вашего `cargo test` будут быстрыми. Когда вы дойдёте до момента, где имеет смысл проверить результаты тестов `ignored`, и у вас есть время дождаться их результатов, вы можете запустить их с помощью `cargo test -- --ignored`. Если вы хотите запустить все тесты независимо от того, игнорируются они или нет, выполните `cargo test -- --include-ignored`.

Организация тестов

Как упоминалось в начале главы, тестирование является сложной дисциплиной и разные люди используют разную терминологию и организацию. Сообщество Rust думает о тестах с точки зрения двух основных категорий: *модульные тесты* и *интеграционные тесты*.

Модульные тесты это небольшие и более сфокусированные на тестировании одного модуля в отдельности или могут тестироваться приватные интерфейсы. Интеграционные тесты являются полностью внешними по отношению к вашей библиотеке и используют код библиотеки так же, как любой другой внешний код, используя только общедоступные интерфейсы и потенциально выполняя тестирование нескольких модулей в одном тесте.

Написание обоих видов тестов важно для обеспечения того, чтобы кусочки вашей библиотеки по отдельности и вместе делали то, что вы ожидаете.

Модульные тесты

Целью модульных тестов является тестирование каждого блока кода, изолированное от остального функционала, чтобы можно было быстро понять, что работает некорректно или не так как ожидается. Мы разместим модульные тесты в папке `src`, в каждый тестируемый файл. Но в Rust принято создавать тестирующий модуль `tests` и код теста сохранять в файлы с таким же именем, как компоненты которые предстоит тестировать. Также необходимо добавить аннотацию `cfg(test)` к этому модулю.

Модуль тестов и аннотация `#[cfg(test)]`

Аннотация `#[cfg(test)]` у модуля с тестами указывает Rust компилировать и запускать только код тестов, когда выполняется команда `cargo test`, а не когда запускается `cargo build`. Это экономит время компиляции, если вы только хотите собрать библиотеку и сэкономить место для результирующих скомпилированных артефактов, потому что тесты не будут включены. Вы увидите что, по причине того, что интеграционные тесты помещаются в другой каталог им не нужна аннотация `#[cfg(test)]`. Тем не менее, так как модульные тесты идут в тех же файлах что и основной код, вы будете использовать `#[cfg(test)]` чтобы указать, что они не должны быть включены в скомпилированный результат.

Напомним, что когда мы генерировали новый проект `adder` в первом разделе этой главы, то Cargo сгенерировал для нас код ниже:

Файл: `src/lib.rs`

```

pub fn add(left: usize, right: usize) -> usize {
    left + right
}

#[cfg(test)]
mod tests {
    use super::*;

    #[test]
    fn it_works() {
        let result = add(2, 2);
        assert_eq!(result, 4);
    }
}

```

Этот код является автоматически сгенерированным тестовым модулем. Атрибут `cfg` предназначен для конфигурации и говорит Rust, что следующий элемент должен быть включён только учитывая определённую опцию конфигурации. В этом случае опцией конфигурации является `test`, который предоставлен в Rust для компиляции и запуска текущих тестов. Используя атрибут `cfg`, Cargo компилирует только тестовый код при активном запуске тестов командой `cargo test`. Это включает в себя любые вспомогательные функции, которые могут быть в этом модуле в дополнение к функциям помеченным `#[test]`.

Тестирование приватных функций (private)

Сообщество программистов не имеет однозначного мнения по поводу тестировать или нет приватные функции. В некоторых языках весьма сложно или даже невозможно тестировать такие функции. Независимо от того, какой технологии тестирования вы придерживаетесь, в Rust приватные функции можно тестировать. Рассмотрим листинг 11-12 с приватной функцией `internal_adder`.

Файл: src/lib.rs

```

pub fn add_two(a: usize) -> usize {
    internal_adder(a, 2)
}

fn internal_adder(left: usize, right: usize) -> usize {
    left + right
}

#[cfg(test)]
mod tests {
    use super::*;

    #[test]
    fn internal() {
        let result = internal_adder(2, 2);
        assert_eq!(result, 4);
    }
}

```

Листинг 11-12: Тестирование приватных функций

Обратите внимание, что функция `internal_adder` не помечена как `pub`. Тесты — это просто Rust код, а модуль `tests` — это ещё один модуль. Как мы обсуждали в разделе “[Пути для ссылки на элемент в дереве модулей](#)”, элементы в дочерних модулях могут использовать элементы из своих родительских модулей. В этом тесте мы помещаем все элементы родительского модуля `test` в область видимости с помощью `use super::*` и затем тест может вызывать `internal_adder`. Если вы считаете, что приватные функции не нужно тестируировать, то Rust не заставит вас это сделать.

Интеграционные тесты

В Rust интеграционные тесты являются полностью внешними по отношению к вашей библиотеке. Они используют вашу библиотеку так же, как любой другой код, что означает, что они могут вызывать только функции, которые являются частью публичного API библиотеки. Их целью является проверка, много ли частей вашей библиотеки работают вместе правильно. У модулей кода правильно работающих самостоятельно, могут возникнуть проблемы при интеграции, поэтому тестовое покрытие интегрированного кода также важно. Для создания интеграционных тестов сначала нужен каталог `tests`.

Каталог `tests`

Мы создаём папку `tests` в корневой папке вашего проекта, рядом с папкой `src`. Cargo знает, что искать файлы с интеграционными тестами нужно в этой директории. После этого мы можем создать столько тестовых файлов, сколько захотим, и Cargo скомпилирует каждый из файлов в отдельный крейт.

Давайте создадим интеграционный тест. Рядом с кодом из листинга 11-12, который всё ещё в файле `src/lib.rs`, создайте каталог `tests`, создайте новый файл с именем `tests/integration_test.rs`. Структура директорий должна выглядеть так:

```
adder
├── Cargo.lock
├── Cargo.toml
└── src
    └── lib.rs
└── tests
    └── integration_test.rs
```

Ведите код из листинга 11-13 в файл `tests/integration_test.rs`:

Файл: `tests/integration_test.rs`

```
use adder::add_two;

#[test]
fn it_adds_two() {
    let result = add_two(2);
    assert_eq!(result, 4);
}
```

Листинг 11-13: Интеграционная тест функция из крейта adder

Каждый файл в каталоге `tests` представляет собой отдельный крейт, поэтому нам нужно подключить нашу библиотеку в область видимости каждого тестового крейта. По этой причине мы добавляем `use adder` в верхней части кода, что не нужно нам делать в модульных тестах.

Нам не нужно комментировать код в `tests/integration_test.rs` с помощью `#[cfg(test)]`. Cargo специальным образом обрабатывает каталог `tests` и компилирует файлы в этом каталоге только тогда, когда мы запускаем команду `cargo test`. Запустите `cargo test` сейчас:

```
$ cargo test
Compiling adder v0.1.0 (file:///projects/adder)
  Finished `test` profile [unoptimized + debuginfo] target(s) in 1.31s
    Running unit tests src/lib.rs (target/debug/deps/adder-1082c4b063a8fbe6)

running 1 test
test tests::internal ... ok

test result: ok. 1 passed; 0 failed; 0 ignored; 0 measured; 0 filtered out; finished in
0.00s

    Running tests/integration_test.rs (target/debug/deps/integration_test-
1082c4b063a8fbe6)

running 1 test
test it_adds_two ... ok

test result: ok. 1 passed; 0 failed; 0 ignored; 0 measured; 0 filtered out; finished in
0.00s

Doc-tests adder

running 0 tests

test result: ok. 0 passed; 0 failed; 0 ignored; 0 measured; 0 filtered out; finished in
0.00s
```

Выходные данные представлены тремя разделами: модульные тесты, интеграционные тесты и тесты документации. Обратите внимание, что если какой-нибудь тест в одной из секций не пройдёт, последующие секции выполняться не будут. Например, если модульный тест провалился, не будет выведено результатов интеграционных и документационных тестов, потому что эти тесты будут выполняться только в том случае, если все модульные тесты завершатся успешно.

Первый раздел для модульных тестов такой же, как мы видели: одна строка для каждого модульного теста (один с именем `internal`, который мы добавили в листинге 11-12), а затем сводная строка для модульных тестов.

Раздел интеграционных тестов начинается со строки `Running tests/integration_test.rs`. Далее идёт строка для каждой тестовой функции в этом интеграционном тесте и итоговая

строка для результатов интеграционного теста непосредственно перед началом раздела [Doc-tests adder](#).

Каждый файл интеграционного теста имеет свой собственный раздел, поэтому, если мы добавим больше файлов в каталог `tests`, то здесь будет больше разделов интеграционного теста.

Мы всё ещё можем запустить определённую функцию в интеграционных тестах, указав имя тест функции в качестве аргумента в `cargo test`. Чтобы запустить все тесты в конкретном файле интеграционных тестов, используйте аргумент `--test` сопровождаемый именем файла у команды `cargo test`:

```
$ cargo test --test integration_test
Compiling adder v0.1.0 (file:///projects/adder)
  Finished `test` profile [unoptimized + debuginfo] target(s) in 0.64s
    Running tests/integration_test.rs (target/debug/deps/integration_test-
82e7799c1bc62298)

running 1 test
test it_adds_two ... ok

test result: ok. 1 passed; 0 failed; 0 ignored; 0 measured; 0 filtered out; finished in
0.00s
```

Эта команда запускает только тесты в файле `tests/integration_test.rs`.

Подмодули в интеграционных тестах

По мере добавления большего количества интеграционных тестов, можно создать более одного файла в каталоге `tests`, чтобы легче организовывать их; например, вы можете сгруппировать функции тестирования по функциональности, которую они проверяют. Как упоминалось ранее, каждый файл в каталоге `tests` скомпилирован как отдельный крейт, что полезно для создания отдельных областей видимости, чтобы более точно имитировать то, как конечные пользователи будут использовать ваш крейт. Однако это означает, что файлы в каталоге `tests` ведут себя не так, как файлы в `src`, как вы узнали в Главе 7 относительно того как разделить код на модули и файлы.

Различное поведение файлов в каталоге `tests` наиболее заметно, когда у вас есть набор вспомогательных функций, которые будут полезны в нескольких интеграционных тестовых файлах. Представим, что вы пытаетесь выполнить действия, описанные в разделе «[Разделение модулей в разные файлы](#)» главы 7, чтобы извлечь их в общий модуль. Например, вы создали файл `tests/common.rs` и поместили в него функцию `setup`, содержащую некоторый код, который вы будете вызывать из разных тестовых функций в нескольких тестовых файлах

Файл: `tests/common.rs`

```
pub fn setup() {
    // setup code specific to your library's tests would go here
}
```

Когда мы снова запустим тесты, мы увидим новый раздел в результатах тестов для файла `common.rs`, хотя этот файл не содержит никаких тестовых функций, более того, мы даже не вызывали функцию `setup` откуда либо:

```
$ cargo test
Compiling adder v0.1.0 (file:///projects/adder)
  Finished `test` profile [unoptimized + debuginfo] target(s) in 0.89s
    Running unittests src/lib.rs (target/debug/deps/adder-92948b65e88960b4)

running 1 test
test tests::internal ... ok

test result: ok. 1 passed; 0 failed; 0 ignored; 0 measured; 0 filtered out; finished in
0.00s

    Running tests/common.rs (target/debug/deps/common-92948b65e88960b4)

running 0 tests

test result: ok. 0 passed; 0 failed; 0 ignored; 0 measured; 0 filtered out; finished in
0.00s

    Running tests/integration_test.rs (target/debug/deps/integration_test-
92948b65e88960b4)

running 1 test
test it_adds_two ... ok

test result: ok. 1 passed; 0 failed; 0 ignored; 0 measured; 0 filtered out; finished in
0.00s

Doc-tests adder

running 0 tests

test result: ok. 0 passed; 0 failed; 0 ignored; 0 measured; 0 filtered out; finished in
0.00s
```

Упоминание файла `common` и появление в результатах выполнения тестов сообщения типа `running 0 tests` - это не то, чего мы хотели. Мы только хотели выделить некоторый общий код, который будет использоваться другими файлами интеграционных тестов.

Чтобы модуль `common` больше не появлялся в результатах выполнения тестов, вместо файла `tests/common.rs` мы создадим файл `tests/common/mod.rs`. Директория проекта теперь выглядит следующим образом:

```
└── Cargo.lock
└── Cargo.toml
└── src
  └── lib.rs
└── tests
  └── common
    └── mod.rs
  └── integration_test.rs
```

Здесь используется более раннее соглашение об именовании файлов, которое Rust также понимает. Мы говорили об этом в разделе “[Альтернативные пути к файлам](#)” главы 7. Именование файла таким образом говорит, что Rust не должен рассматривать модуль `common` как файл интеграционных тестов. Когда мы перемещаем код функции `setup` в файл `tests/common/mod.rs` и удаляем файл `tests/common.rs`, дополнительный раздел больше не будет отображаться в результатах тестов. Файлы в подкаталогах каталога `tests` не компилируются как отдельные крейты или не появляются в результатах выполнения тестов.

После того, как мы создали файл `tests/common/mod.rs`, мы можем использовать его в любых файлах интеграционных тестов как обычный модуль. Вот пример вызова функции `setup` из теста `it_adds_two` в файле `tests/integration_test.rs`:

Файл: `tests/integration_test.rs`

```
use adder::add_two;

mod common;

#[test]
fn it_adds_two() {
    common::setup();

    let result = add_two(2);
    assert_eq!(result, 4);
}
```

Обратите внимание, что объявление `mod common;` совпадает с объявлением модуля, которое продемонстрировано в листинге 7-21. Затем в тестовой функции мы можем вызвать функцию `common::setup()`.

Интеграционные тесты для бинарных крейтов

Если наш проект является бинарным крейтом, который содержит только `src/main.rs` и не содержит `src/lib.rs`, мы не сможем создать интеграционные тесты в папке `tests` и подключить функции определённые в файле `src/main.rs` в область видимости с помощью инструкции `use`. Только библиотечные крейты могут предоставлять функции, которые можно использовать в других крейтах; бинарные крейты предназначены только для самостоятельного запуска.

Это одна из причин, почему проекты на Rust, которые генерируют исполняемые модули, обычно имеют простой файл `src/main.rs`, который в свою очередь вызывает логику, которая находится в файле `src/lib.rs`. Используя такую структуру, интеграционные тесты *могут* проверить библиотечный крейт, используя оператор `use` для подключения важного функционала. Если этот важный функционал работает, то и небольшое количество кода в файле `src/main.rs` также будет работать, а значит этот небольшой объём кода не нуждается в проверке.

Итоги

Средства тестирования языка Rust предоставляют способ задать ожидаемое поведение кода, чтобы убедиться, что он всё ещё соответствует вашим ожиданиям даже после внесения изменений. Модульные тесты проверяют различные части библиотеки по отдельности и могут тестировать приватные детали реализации. Интеграционные тесты проверяют, что части библиотеки работают корректно сообща. Эти тесты используются для тестирования кода открытый API библиотеки, таким же образом, как его будет использовать внешний код. Хотя система типов Rust и правила владения помогают предотвратить некоторые виды ошибок, тесты по-прежнему важны для уменьшения количества логических ошибок, связанных с поведением вашего кода.

Давайте объединим знания, полученные в этой и предыдущей главах, чтобы поработать над проектом!

Проект с вводом/выводом (I/O): создание консольного приложения

В этой главе вы примените многие знания, полученные ранее, а также познакомитесь с ещё неизученными API стандартной библиотеки. Мы создадим консольное приложение, которое будет взаимодействовать с файлом и с консольным вводом / выводом, чтобы попрактиковаться в некоторых концепциях Rust, с которыми вы уже знакомы.

Скорость, безопасность, компиляция в один исполняемый файл и кроссплатформенность делают Rust идеальным языком для создания консольных инструментов, так что в нашем проекте мы создадим свою собственную версию классической утилиты поиска `grep`, что расшифровывается, как "глобальное средство поиска и печати" (*globally search a regular expression and print*). В простейшем случае `grep` используется для поиска в выбранном файле указанного текста. Для этого утилиты `grep` получает имя файла и текст в качестве аргументов. Далее она читает файл, находит и выводит строки, содержащие искомый текст.

Попутно мы покажем, как сделать так, чтобы наше консольное приложение использовало возможности терминала, которые используются многими другими консольными инструментами. Мы будем читать значение переменной окружения, чтобы позволить пользователю настроить поведение нашего инструмента. Мы также будем печатать сообщения об ошибках в стандартный консольный поток ошибок (`stderr`) вместо стандартного вывода (`stdout`), чтобы, к примеру, пользователь мог перенаправить успешный вывод в файл, в то время, как сообщения об ошибках останутся на экране.

Один из участников Rust-сообщества, Andrew Gallant, уже реализовал полнофункциональный, очень быстрый аналог программы `grep` и назвал его `ripgrep`. По сравнению с ним, наша версия будет довольно простой, но эта глава даст вам знания, которые нужны для понимания реальных проектов, таких как `ripgrep`.

Наш проект `grep` будет использовать ранее изученные концепции:

- Организация кода (используя то, что вы узнали о модулях в [главе 7](#))
- Использование векторов и строк (коллекции, [глава 8](#))
- Обработка ошибок ([Глава 9](#))
- Использование типажей и времени жизни там, где это необходимо ([глава 10](#))
- Написание тестов ([Глава 11](#))

Мы также кратко представим замыкания, итераторы и объекты типажи, которые будут объяснены подробно в главах [13](#) и [17](#).

Принятие аргументов командной строки

Создадим новый проект консольного приложения как обычно с помощью команды `cargo new`. Мы назовём проект `minigrep`, чтобы различать наше приложение от `grep`, которое возможно уже есть в вашей системе.

```
$ cargo new minigrep
   Created binary (application) `minigrep` project
$ cd minigrep
```

Первая задача - заставить `minigrep` принимать два аргумента командной строки: путь к файлу и строку для поиска. То есть мы хотим иметь возможность запускать нашу программу через `cargo run`, с использованием двойного дефиса, чтобы указать, что следующие аргументы предназначены для нашей программы, а не для `cargo`, строки для поиска и пути к файлу в котором нужно искать, как описано ниже:

```
$ cargo run -- searchstring example-filename.txt
```

В данный момент программа сгенерированная `cargo new` не может обрабатывать аргументы, которые мы ей передаём. Некоторые существующие библиотеки на [crates.io](#) могут помочь с написанием программы, которая принимает аргументы командной строки, но так как вы просто изучаете эту концепцию, давайте реализуем эту возможность сами.

Чтение значений аргументов

Чтобы `minigrep` мог воспринимать значения аргументов командной строки, которые мы ему передаём, нам понадобится функция `std::env::args`, входящая в стандартную библиотеку Rust. Эта функция возвращает итератор аргументов командной строки, переданных в `minigrep`. Мы подробно рассмотрим итераторы в [главе 13](#). Пока вам достаточно знать две вещи об итераторах: итераторы генерируют серию значений, и мы можем вызвать метод `collect` у итератора, чтобы создать из него коллекцию, например вектор, который будет содержать все элементы, произведённые итератором.

Код представленный в Листинге 12-1 позволяет вашей программе `minigrep` читать любые переданные ей аргументы командной строки, а затем собирать значения в вектор.

Файл: `src/main.rs`

```
use std::env;

fn main() {
    let args: Vec<String> = env::args().collect();
    dbg!(args);
}
```

Листинг 12-1: Собираем аргументы командной строки в вектор и выводим их на печать

Сначала мы вводим модуль `std::env` в область видимости с помощью инструкции `use`, чтобы мы могли использовать его функцию `args`. Обратите внимание, что функция `std::env::args` вложена в два уровня модулей. Как мы обсуждали в [главе 7](#), в случаях, когда нужная функция оказывается вложенной в более чем один модуль, рекомендуется выносить в область видимости родительский модуль, а не функцию. Таким образом, мы можем легко использовать другие функции из `std::env`. Это менее двусмысленно, чем добавление `use std::env::args` и последующий вызов функции только с `args`, потому что `args` может быть легко принят за функцию, определённую в текущем модуле.

Функция `args` и недействительный Юникод символ (Unicode)

Обратите внимание, что `std::env::args` вызовет панику, если какой-либо аргумент содержит недопустимый символ Юникода. Если вашей программе необходимо принимать аргументы, содержащие недопустимые символы Unicode, используйте вместо этого `std::env::args_os`. Эта функция возвращает итератор, который выдаёт значения `OsString` вместо значений `String`. Мы решили использовать `std::env::args` здесь для простоты, потому что значения `OsString` отличаются для каждой платформы и с ними сложнее работать, чем со значениями `String`.

В первой строке кода функции `main` мы вызываем `env::args` и сразу используем метод `collect`, чтобы превратить итератор в вектор содержащий все полученные значения. Мы можем использовать функцию `collect` для создания многих видов коллекций, поэтому мы явно аннотируем тип `args` чтобы указать, что мы хотим вектор строк. Хотя нам очень редко нужно аннотировать типы в Rust, `collect` - это одна из функций, с которой вам часто нужна аннотация типа, потому что Rust не может сам вывести какую коллекцию вы хотите.

И в заключение мы печатаем вектор с помощью отладочного макроса. Попробуем запустить код сначала без аргументов, а затем с двумя аргументами:

```
$ cargo run
Compiling minigrep v0.1.0 (file:///projects/minigrep)
  Finished `dev` profile [unoptimized + debuginfo] target(s) in 0.61s
    Running `target/debug/minigrep`
[src/main.rs:5:5] args = [
  "target/debug/minigrep",
]
```

```
$ cargo run -- needle haystack
Compiling minigrep v0.1.0 (file:///projects/minigrep)
  Finished `dev` profile [unoptimized + debuginfo] target(s) in 1.57s
    Running `target/debug/minigrep needle haystack`
[src/main.rs:5:5] args = [
  "target/debug/minigrep",
  "needle",
  "haystack",
]
```

Обратите внимание, что первое значение в векторе `"target/debug/minigrep"` является названием нашего двоичного файла. Это соответствует поведению списка аргументов в Си, позволяя программам использовать название с которым они были вызваны при выполнении. Часто бывает удобно иметь доступ к имени программы, если вы хотите распечатать его в сообщениях или изменить поведение программы в зависимости от того, какой псевдоним командной строки был использован для вызова программы. Но для целей этой главы, мы проигнорируем его и сохраним только два аргумента, которые нам нужны.

Сохранения значений аргументов в переменные

На текущий момент программа может получить доступ к значениям, указанным в качестве аргументов командной строки. Теперь нам требуется сохранять значения этих двух аргументов в переменных, чтобы мы могли использовать их в остальных частях программы. Мы сделаем это в листинге 12-2.

Файл: src/main.rs

```
use std::env;

fn main() {
    let args: Vec<String> = env::args().collect();

    let query = &args[1];
    let file_path = &args[2];

    println!("Searching for {}", query);
    println!("In file {}", file_path);
}
```

Листинг 12-2: Создание переменных для хранения значений аргументов искомой подстроки и пути к файлу

Как видно из распечатки вектора, имя программы занимает первое значение в векторе по адресу `args[0]`, значит, аргументы начинаются с индекса `1`. Первый аргумент `minigrep` - это строка, которую мы ищем, поэтому мы помещаем ссылку на первый аргумент в переменную `query`. Вторым аргументом является путь к файлу, поэтому мы помещаем ссылку на второй аргумент в переменную `file_path`.

Для проверки корректности работы нашей программы, значения переменных выводятся в консоль. Далее, запустим нашу программу со следующими аргументами: `test` и `sample.txt`:

```
$ cargo run -- test sample.txt
Compiling minigrep v0.1.0 (file:///projects/minigrep)
  Finished `dev` profile [unoptimized + debuginfo] target(s) in 0.0s
    Running `target/debug/minigrep test sample.txt`
Searching for test
In file sample.txt
```

Отлично, программа работает! Нам нужно чтобы значения аргументов были сохранены в правильных переменных. Позже мы добавим обработку ошибок с некоторыми потенциальными ошибочными ситуациями, например, когда пользователь не предоставляет аргументы; сейчас мы проигнорируем эту ситуацию и поработаем над добавлением возможности чтения файла.

Чтение файла

Теперь добавим возможность чтения файла, указанного как аргумент командной строки `file_path`. Во-первых, нам нужен пример файла для тестирования: мы будем использовать файл с небольшим объёмом текста в несколько строк с несколькими повторяющимися словами. В листинге 12-3 представлено стихотворение Эмили Дикинсон, которое будет хорошо работать! Создайте файл с именем `poem.txt` в корне вашего проекта и введите стихотворение "I'm nobody! Who are you?"

Файл: `poem.txt`

```
I'm nobody! Who are you?  
Are you nobody, too?  
Then there's a pair of us - don't tell!  
They'd banish us, you know.  
  
How dreary to be somebody!  
How public, like a frog  
To tell your name the livelong day  
To an admiring bog!
```

Листинг 12-3: Стихотворение Эмили Дикинсон - хороший пример для проверки

Текст на месте, отредактируйте `src/main.rs` и добавьте код для чтения файла, как показано в листинге 12-4.

Файл: `src/main.rs`

```
use std::env;  
use std::fs;  
  
fn main() {  
    // --snip--  
    println!("In file {}", file_path);  
  
    let contents = fs::read_to_string(file_path)  
        .expect("Should have been able to read the file");  
  
    println!("With text:\n{}", contents);  
}
```

Листинг 12-4: Чтение содержимого файла указанного во втором аргументе

Во-первых, мы добавляем ещё одну инструкцию `use` чтобы подключить соответствующую часть стандартной библиотеки: нам нужен `std::fs` для обработки файлов.

В `main` мы добавили новую инструкцию: функция `fs::read_to_string` принимает `file_path`, открывает этот файл и возвращает содержимое файла как `std::io::Result<String>`.

После этого, мы снова добавили временную инструкцию `println!` для печати значения `contents` после чтения файла, таким образом мы можем проверить, что программа отрабатывает до этого места.

Давайте запустим этот код с любой строкой в качестве первого аргумента командной строки (потому что мы ещё не реализовали поисковую часть) и файл `poem.txt` как второй аргумент:

```
$ cargo run -- the poem.txt
Compiling minigrep v0.1.0 (file:///projects/minigrep)
  Finished `dev` profile [unoptimized + debuginfo] target(s) in 0.0s
    Running `target/debug/minigrep the poem.txt`
Searching for the
In file poem.txt
With text:
I'm nobody! Who are you?
Are you nobody, too?
Then there's a pair of us - don't tell!
They'd banish us, you know.

How dreary to be somebody!
How public, like a frog
To tell your name the livelong day
To an admiring bog!
```

Отлично! Этот код прочитал и затем напечатал содержимое файла. Но у программы есть несколько недостатков. Прежде всего, функция `main` решает слишком много задач: как правило функция понятнее и проще в обслуживании если она воплощает только одну идею. Другая проблема заключается в том, что мы не обрабатываем ошибки так хорошо, как могли бы. Пока наша программа небольшая, то эти недостатки не являются большой проблемой, но по мере роста программы эти недостатки будет всё труднее исправлять. Хорошей практикой является начинать рефакторинг на ранней стадии разработки программы, потому что гораздо проще рефакторить меньшие объёмы кода. Мы сделаем это далее.

Рефакторинг для улучшения модульности и обработки ошибок

Для улучшения программы мы исправим 4 имеющихся проблемы, связанных со структурой программы и тем как обрабатываются потенциальные ошибки. Во-первых, функция `main` на данный момент решает две задачи: анализирует переменные командной строки и читает файлы. По мере роста программы количество отдельных задач, которые обрабатывает функция `main`, будет увеличиваться. Поскольку эта функция получает больше обязанностей, то становится все труднее понимать её, труднее тестировать и труднее изменять, не сломав одну из её частей. Лучше всего разделить функциональность, чтобы каждая функция отвечала за одну задачу.

Эта проблема также связана со второй проблемой: хотя переменные `query` и `file_path` являются переменными конфигурации нашей программы, переменные типа `contents` используются для выполнения логики программы. Чем длиннее становится `main`, тем больше переменных нам нужно будет добавить в область видимости; чем больше у нас переменных в области видимости, тем сложнее будет отслеживать назначение каждой переменной. Лучше всего сгруппировать переменные конфигурации в одну структуру, чтобы сделать их назначение понятным.

Третья проблема заключается в том, что мы используем `expect` для вывода информации об ошибке при проблеме с чтением файла, но сообщение об ошибке просто выведет текст `Should have been able to read the file`. Чтение файла может не сработать по разным причинам, например: файл не найден или у нас может не быть разрешения на его чтение. Сейчас же, независимо от ситуации, мы напечатаем одно и то же сообщение об ошибке, что не даст пользователю никакой информации!

В-четвёртых, мы используем `expect` неоднократно для обработки различных ошибок и если пользователь запускает нашу программу без указания достаточного количества аргументов он получит ошибку `index out of bounds` из Rust, что не совсем описывает проблему. Было бы лучше, если бы весь код обработки ошибок находился в одном месте, чтобы тем, кто будет поддерживать наш код в дальнейшем, нужно было бы вносить изменения только здесь, если потребуется изменить логику обработки ошибок. Наличие всего кода обработки ошибок в одном месте гарантирует, что мы напечатаем сообщения, которые будут иметь смысл для наших конечных пользователей.

Давайте решим эти четыре проблемы путём рефакторинга нашего проекта.

Разделение ответственности для бинарных проектов

Организационная проблема распределения ответственности за выполнение нескольких задач функции `main` является общей для многих бинарных проектов. В результате Rust сообщество разработало процесс для использования в качестве руководства по разделению

ответственности бинарной программы, когда код в `main` начинает увеличиваться. Процесс имеет следующие шаги:

- Разделите код программы на два файла `main.rs` и `lib.rs`. Перенесите всю логику работы программы в файл `lib.rs`.
- Пока ваша логика синтаксического анализа командной строки мала, она может оставаться в файле `main.rs`.
- Когда логика синтаксического анализа командной строки становится сложной, извлеките её из `main.rs` и переместите в `lib.rs`.

Функциональные обязанности, которые остаются в функции `main` после этого процесса должно быть ограничено следующим:

- Вызов логики разбора командной строки со значениями аргументов
- Настройка любой другой конфигурации
- Вызов функции `run` в `lib.rs`
- Обработка ошибки, если `run` возвращает ошибку

Этот шаблон о разделении ответственности: `main.rs` занимается запуском программы, а `lib.rs` обрабатывает всю логику задачи. Поскольку нельзя проверить функцию `main` напрямую, то такая структура позволяет проверить всю логику программы путём перемещения её в функции внутри `lib.rs`. Единственный код, который остаётся в `main.rs` будет достаточно маленьким, чтобы проверить его корректность прочитав код. Давайте переработаем нашу программу, следуя этому процессу.

Извлечение парсера аргументов

Мы извлечём функциональность для разбора аргументов в функцию, которую вызовет `main` для подготовки к перемещению логики разбора командной строки в файл `src/lib.rs`. Листинг 12-5 показывает новый запуск `main`, который вызывает новую функцию `parse_config`, которую мы определим сначала в `src/main.rs`.

Файл: `src/main.rs`

```
fn main() {
    let args: Vec<String> = env::args().collect();

    let (query, file_path) = parse_config(&args);

    // --snip--
}

fn parse_config(args: &[String]) -> (&str, &str) {
    let query = &args[1];
    let file_path = &args[2];

    (query, file_path)
}
```

Листинг 12-5: Выделение функции `parse_config` из `main`

Мы все ещё собираем аргументы командной строки в вектор, но вместо присваивания значение аргумента с индексом 1 переменной `query` и значение аргумента с индексом 2 переменной с именем `file_path` в функции `main`, мы передаём весь вектор в функцию `parse_config`. Функция `parse_config` затем содержит логику, которая определяет, какой аргумент идёт в какую переменную и передаёт значения обратно в `main`. Мы все ещё создаём переменные `query` и `file_path` в `main`, но `main` больше не несёт ответственности за определение соответствия аргумента командной строки и соответствующей переменной.

Эта доработка может показаться излишней для нашей маленькой программы, но мы проводим рефакторинг небольшими, постепенными шагами. После внесения этого изменения снова запустите программу и убедитесь, что анализ аргументов все ещё работает. Также хорошо часто проверять прогресс, чтобы помочь определить причину проблем, когда они возникают.

Группировка конфигурационных переменных

Мы можем сделать ещё один маленький шаг для улучшения функции `parse_config`. На данный момент мы возвращаем кортеж, но затем мы немедленно разделяем его снова на отдельные части. Это признак того, что, возможно, пока у нас нет правильной абстракции.

Ещё один индикатор, который показывает, что есть место для улучшения, это часть `config` из `parse_config`, что подразумевает, что два значения, которые мы возвращаем, связаны друг с другом и оба являются частью одного конфигурационного значения. В настоящее время мы не отражаем этого смысла в структуре данных, кроме группировки двух значений в кортеж; мы могли бы поместить оба значения в одну структуру и дать каждому из полей структуры понятное имя. Это облегчит будущую поддержку этого кода, чтобы понять, как различные значения относятся друг к другу и какое их назначение.

В листинге 12-6 показаны улучшения функции `parse_config`.

Файл: `src/main.rs`

```

fn main() {
    let args: Vec<String> = env::args().collect();

    let config = parse_config(&args);

    println!("Searching for {}", config.query);
    println!("In file {}", config.file_path);

    let contents = fs::read_to_string(config.file_path)
        .expect("Should have been able to read the file");

    // --snip--
}

struct Config {
    query: String,
    file_path: String,
}

fn parse_config(args: &[String]) -> Config {
    let query = args[1].clone();
    let file_path = args[2].clone();

    Config { query, file_path }
}

```

Листинг 12-6: Рефакторинг функции `parse_config`, чтобы возвращать экземпляр структуры `Config`

Мы добавили структуру с именем `Config` объявленную с полями названными как `query` и `file_path`. Сигнатура `parse_config` теперь указывает, что она возвращает значение `Config`. В теле `parse_config`, где мы возвращали срезы строк, которые ссылаются на значения `String` в `args`, теперь мы определяем `Config` как содержащие собственные `String` значения. Переменная `args` в `main` является владельцем значений аргумента и позволяют функции `parse_config` только одолживать их, что означает, что мы бы нарушили правила заимствования Rust, если бы `Config` попытался бы взять во владение значения в `args`.

Мы можем управлять данными `String` разным количеством способов, но самый простой, хотя и отчасти неэффективный это вызвать метод `clone` у значений. Он сделает полную копию данных для экземпляра `Config` для владения, что занимает больше времени и памяти, чем сохранение ссылки на строку данных. Однако клонирование данных также делает наш код очень простым, потому что нам не нужно управлять временем жизни ссылок; в этом обстоятельстве, отказ от небольшой производительности, чтобы получить простоту, стоит небольших компромисса.

Компромиссы при использовании метода `clone` Существует тенденция в среде программистов Rust избегать использования `clone`, т.к. это понижает эффективность работы кода. В Главе 13, вы изучите более эффективные методы, которые могут подойти в подобной ситуации. Но сейчас можно копировать несколько строк, чтобы продолжить работу, потому что вы сделаете эти копии только один раз, а ваше имя файла и строка запроса будут очень маленькими. Лучше иметь работающую программу, которая немного неэффективна, чем пытаться заранее оптимизировать код при первом

написании. По мере приобретения опыта работы с Rust вам будет проще начать с наиболее эффективного решения, но сейчас вполне приемлемо вызвать `clone`.

Мы обновили код в `main` поэтому он помещает экземпляр `Config` возвращённый из `parse_config` в переменную с именем `config`, и мы обновили код, в котором ранее использовались отдельные переменные `query` и `file_path`, так что теперь он использует вместо этого поля в структуре `Config`.

Теперь наш код более чётко передаёт то, что `query` и `file_path` связаны и что цель из использования состоит в том, чтобы настроить, как программа будет работать. Любой код, который использует эти значения знает, что может найти их в именованных полях экземпляра `config` по их назначению.

Создание конструктора для структуры `Config`

Пока что мы извлекли логику, отвечающую за синтаксический анализ аргументов командной строки из `main` и поместили его в функцию `parse_config`. Это помогло нам увидеть, что значения `query` и `file_path` были связаны и что их отношения должны быть отражены в нашем коде. Затем мы добавили структуру `Config` в качестве названия связанных общей целью `query` и `file_path` и чтобы иметь возможность вернуть именованные значения как имена полей структуры из функции `parse_config`.

Итак, теперь целью функции `parse_config` является создание экземпляра `Config`, мы можем изменить `parse_config` из простой функции на функцию названную `new`, которая связана со структурой `Config`. Выполняя это изменение мы сделаем код более идиоматичным. Можно создавать экземпляры типов в стандартной библиотеке, такие как `String` с помощью вызова `String::new`. Точно так же изменив название `parse_config` на название функции `new`, связанную с `Config`, мы будем уметь создавать экземпляры `Config`, вызывая `Config::new`. Листинг 12-7 показывает изменения, которые мы должны сделать.

Файл: `src/main.rs`

```
fn main() {
    let args: Vec<String> = env::args().collect();

    let config = Config::new(&args);

    // --snip--
}

// --snip--

impl Config {
    fn new(args: &[String]) -> Config {
        let query = args[1].clone();
        let file_path = args[2].clone();

        Config { query, file_path }
    }
}
```

Листинг 12-7: Переименование `parse_config` в `Config::new`

Мы обновили `main`, где вызывали `parse_config`, чтобы вместо этого вызывалась `Config::new`. Мы изменили имя `parse_config` на `new` и перенесли его внутрь блока `impl`, который связывает функцию `new` с `Config`. Попробуйте снова скомпилировать код, чтобы убедиться, что он работает.

Исправление ошибок обработки

Теперь мы поработаем над исправлением обработки ошибок. Напомним, что попытки получить доступ к значениям в векторе `args` с индексом 1 или индексом 2 приведут к панике, если вектор содержит менее трёх элементов. Попробуйте запустить программу без каких-либо аргументов; это будет выглядеть так:

```
$ cargo run
Compiling minigrep v0.1.0 (file:///projects/minigrep)
  Finished `dev` profile [unoptimized + debuginfo] target(s) in 0.0s
    Running `target/debug/minigrep`
thread 'main' panicked at src/main.rs:27:21:
index out of bounds: the len is 1 but the index is 1
note: run with `RUST_BACKTRACE=1` environment variable to display a backtrace
```

Строка `index out of bounds: the len is 1 but the index is 1` является сообщением об ошибке предназначенней для программистов. Она не поможет нашим конечным пользователям понять, что случилось и что они должны сделать вместо этого. Давайте исправим это сейчас.

Улучшение сообщения об ошибке

В листинге 12-8 мы добавляем проверку в функцию `new`, которая будет проверять, что срез достаточно длинный, перед попыткой доступа по индексам 1 и 2. Если срез не достаточно

длинный, программа паникует и отображает улучшенное сообщение об ошибке.

Файл: src/main.rs

```
// --snip--  
fn new(args: &[String]) -> Config {  
    if args.len() < 3 {  
        panic!("not enough arguments");  
    }  
    // --snip--
```

Листинг 12-8: Добавление проверки количества аргументов

Этот код похож на функцию `Guess::new` написанную в листинге 9-13, где мы вызывали `panic!`, когда `value` аргумента вышло за пределы допустимых значений. Здесь вместо проверки на диапазон значений, мы проверяем, что длина `args` не менее 3 и остальная часть функции может работать при условии, что это условие было выполнено. Если в `args` меньше трёх элементов, это условие будет истинным и мы вызываем макрос `panic!` для немедленного завершения программы.

Имея нескольких лишних строк кода в `new`, давайте запустим программу снова без аргументов, чтобы увидеть, как выглядит ошибка:

```
$ cargo run  
Compiling minigrep v0.1.0 (file:///projects/minigrep)  
  Finished `dev` profile [unoptimized + debuginfo] target(s) in 0.0s  
    Running `target/debug/minigrep`  
thread 'main' panicked at src/main.rs:26:13:  
not enough arguments  
note: run with `RUST_BACKTRACE=1` environment variable to display a backtrace
```

Этот вывод лучше: у нас теперь есть разумное сообщение об ошибке. Тем не менее, мы также имеем постороннюю информацию, которую мы не хотим предоставлять нашим пользователям. Возможно, использованная техника, которую мы использовали в листинге 9-13, не является лучшей для использования: вызов `panic!` больше подходит для программирования проблемы, чем решения проблемы, как обсуждалось в главе 9. Вместо этого мы можем использовать другую технику, о которой вы узнали в главе 9 [возвращая `Result`], которая указывает либо на успех, либо на ошибку.

Возвращение `Result` вместо вызова `panic!`

Мы можем вернуть значение `Result`, которое будет содержать экземпляр `Config` в успешном случае и опишет проблему в случае ошибки. Мы так же изменим функцию `new` на `build` потому что многие программисты ожидают что `new` никогда не завершится неудачей. Когда `Config::build` взаимодействует с `main`, мы можем использовать тип `Result` как сигнал возникновения проблемы. Затем мы можем изменить `main`, чтобы преобразовать вариант `Err` в более практическую ошибку для наших пользователей без окружающего текста вроде `thread 'main'` и `RUST_BACKTRACE`, что происходит при вызове `panic!`.

Листинг 12-9 показывает изменения, которые нужно внести в возвращаемое значение функции `Config::build`, и в тело функции, необходимые для возврата типа `Result`. Заметьте, что этот код не скомпилируется, пока мы не обновим `main`, что мы и сделаем в следующем листинге.

Файл: `src/main.rs`

```
impl Config {
    fn build(args: &[String]) -> Result<Config, &'static str> {
        if args.len() < 3 {
            return Err("not enough arguments");
        }

        let query = args[1].clone();
        let file_path = args[2].clone();

        Ok(Config { query, file_path })
    }
}
```



Листинг 12-9. Возвращение типа `Result` из `Config::build`

Наша функция `build` теперь возвращает `Result` с экземпляром `Config` в случае успеха и `&'static str` в случае ошибки. Значения ошибок всегда будут строковыми литералами, которые имеют время жизни `'static`.

Мы внесли два изменения в тело функции `build`: вместо вызова `panic!`, когда пользователь не передаёт достаточно аргументов, мы теперь возвращаем `Err` значение и мы завернули возвращаемое значение `Config` в `Ok`. Эти изменения заставят функцию соответствовать своей новой сигнатуре типа.

Возвращение значения `Err` из `Config::build` позволяет функции `main` обработать значение `Result` возвращённое из функции `build` и выйти из процесса более чисто в случае ошибки.

Вызов `Config::build` и обработка ошибок

Чтобы обработать ошибку и вывести более дружественное сообщение об ошибке, нам нужно обновить код `main` для обработки `Result`, возвращаемого из `Config::build` как показано в листинге 12-10. Мы также возьмём на себя ответственность за выход из программы командной строки с ненулевым кодом ошибки `panic!` и реализуем это вручную. Не нулевой статус выхода - это соглашение, которое сигнализирует процессу, который вызывает нашу программу, что программа завершилась с ошибкой.

Файл: `src/main.rs`

```
use std::process;

fn main() {
    let args: Vec<String> = env::args().collect();

    let config = Config::build(&args).unwrap_or_else(|err| {
        println!("Problem parsing arguments: {}", err);
        process::exit(1);
    });

    // --snip--
```

Листинг 12-10. Выход с кодом ошибки если создание новой `Config` терпит неудачу

В этом листинге мы использовали метод, который мы ещё не рассматривали детально: `unwrap_or_else`, который в стандартной библиотеке определён как `Result<T, E>`. Использование `unwrap_or_else` позволяет нам определить некоторые пользовательские ошибки обработки, не содержащие `panic!`. Если `Result` является значением `Ok`, поведение этого метода аналогично `unwrap`: возвращает внутреннее значение из обёртки `Ok`. Однако, если значение является значением `Err`, то этот метод вызывает код замыкания, которое является анонимной функцией, определённой заранее и передаваемую в качестве аргумента в `unwrap_or_else`. Мы рассмотрим замыкания более подробно в [главе 13](#). В данный момент, вам просто нужно знать, что `unwrap_or_else` передаст внутреннее значение `Err`, которое в этом случае является статической строкой `not enough arguments`, которое мы добавили в листинге 12-9, в наше замыкание как аргумент `err` указанное между вертикальными линиями. Код в замыкании может затем использовать значение `err` при выполнении.

Мы добавили новую строку `use`, чтобы подключить `process` из стандартной библиотеки в область видимости. Код в замыкании, который будет запущен в случае ошибки содержит только две строчки: мы печатаем значение `err` и затем вызываем `process::exit`. Функция `process::exit` немедленно остановит программу и вернёт номер, который был передан в качестве кода состояния выхода. Это похоже на обработку с помощью макроса `panic!`, которую мы использовали в листинге 12-8, но мы больше не получаем весь дополнительный вывод. Давай попробуем:

```
$ cargo run
Compiling minigrep v0.1.0 (file:///projects/minigrep)
  Finished `dev` profile [unoptimized + debuginfo] target(s) in 0.48s
    Running `target/debug/minigrep`
Problem parsing arguments: not enough arguments
```

Замечательно! Этот вывод намного дружелюбнее для наших пользователей.

Извлечение логики из `main`

Теперь, когда мы закончили рефакторинг разбора конфигурации, давайте обратимся к логике программы. Как мы указали в разделе [«Разделение ответственности в бинарных проектах»](#), мы извлечём функцию с именем `run`, которая будет содержать всю логику, присутствующую в настоящем времени в функции `main` и которая не связана с настройкой конфигурации или

обработкой ошибок. Когда мы закончим, то `main` будет краткой, легко проверяемой и мы сможем написать тесты для всей остальной логики.

Код 12-11 демонстрирует извлечённую логику в функцию `run`. Мы делаем маленькое, инкрементальное приближение к извлечению функции. Код всё ещё сосредоточен в файле `src/main.rs`:

Файл: `src/main.rs`

```
fn main() {
    // --snip--

    println!("Searching for {}", config.query);
    println!("In file {}", config.file_path);

    run(config);
}

fn run(config: Config) {
    let contents = fs::read_to_string(config.file_path)
        .expect("Should have been able to read the file");

    println!("With text:\n{}", contents);
}
// --snip--
```

Листинг 12-11. Извлечение функции `run`, содержащей остальную логику программы

Функция `run` теперь содержит всю оставшуюся логику из `main`, начиная от чтения файла. Функция `run` принимает экземпляр `Config` как аргумент.

Возврат ошибок из функции `run`

Оставшаяся логика программы выделена в функцию `run`, где мы можем улучшить обработку ошибок как мы уже делали с `Config::build` в листинге 12-9. Вместо того, чтобы позволить программе паниковать с помощью вызова `expect`, функция `run` вернёт `Result<T, E>`, если что-то пойдёт не так. Это позволит далее консолидировать логику обработки ошибок в `main` удобным способом. Листинг 12-12 показывает изменения, которые мы должны внести в сигнатуру и тело `run`.

Файл: `src/main.rs`

```
use std::error::Error;

// --snip--

fn run(config: Config) -> Result<(), Box
```

Листинг 12-12. Изменение функции `run` для возврата `Result`

Здесь мы сделали три значительных изменения. Во-первых, мы изменили тип возвращаемого значения функции `run` на `Result<(), Box<dyn Error>>`. Эта функция ранее возвращала тип `()` и мы сохраняли его как значение, возвращаемое в случае `Ok`.

Для типа ошибки мы использовали *объект типаж* `Box<dyn Error>` (и вверху мы подключили тип `std::error::Error` в область видимости с помощью инструкции `use`). Мы рассмотрим типажи объектов в [главе 17](#). Сейчас просто знайте, что `Box<dyn Error>` означает, что функция будет возвращать тип реализующий типаж `Error`, но не нужно указывать, какой именно будет тип возвращаемого значения. Это даёт возможность возвращать значения ошибок, которые могут быть разных типов в разных случаях. Ключевое слово `dyn` сокращение для слова «динамический».

Во-вторых, мы убрали вызов `expect` в пользу использования оператора `?`, как мы обсудили в [главе 9](#). Скорее, чем вызывать `panic!` в случае ошибки, оператор `?` вернёт значение ошибки из текущей функции для вызывающего, чтобы он её обработал.

В-третьих, функция `run` теперь возвращает значение `Ok` в случае успеха. В сигнатуре функции `run` успешный тип объявлен как `()`, который означает, что нам нужно обернуть значение единичного типа в значение `Ok`. Данный синтаксис `Ok(())` поначалу может показаться немного странным, но использование `()` выглядит как идиоматический способ указать, что мы вызываем `run` для его побочных эффектов; он не возвращает значение, которое нам нужно.

Когда вы запустите этот код, он скомпилируется, но отобразит предупреждение:

```

$ cargo run -- the poem.txt
Compiling minigrep v0.1.0 (file:///projects/minigrep)
warning: unused `Result` that must be used
--> src/main.rs:19:5
  |
19 |     run(config);
  |     ^^^^^^^^^^
  |
= note: this `Result` may be an `Err` variant, which should be handled
= note: `#[warn(unused_must_use)]` on by default
help: use `let _ = ...` to ignore the resulting value
  |
19 |     let _ = run(config);
  |     ++++++
  |

warning: `minigrep` (bin "minigrep") generated 1 warning
  Finished `dev` profile [unoptimized + debuginfo] target(s) in 0.71s
    Running `target/debug/minigrep the poem.txt`
Searching for the
In file poem.txt
With text:
I'm nobody! Who are you?
Are you nobody, too?
Then there's a pair of us - don't tell!
They'd banish us, you know.

How dreary to be somebody!
How public, like a frog
To tell your name the livelong day
To an admiring bog!

```

Rust говорит, что наш код проигнорировал `Result` значение и значение `Result` может указывать на то, что произошла ошибка. Но мы не проверяем, была ли ошибка и компилятор напоминает нам, что мы, вероятно, хотели здесь выполнить некоторый код обработки ошибок! Давайте исправим эту проблему сейчас.

Обработка ошибок, возвращённых из `run` в `main`

Мы будем проверять и обрабатывать ошибки используя методику, аналогичную той, которую мы использовали для `Config::build` в листинге 12-10, но с небольшой разницей:

Файл: `src/main.rs`

```

fn main() {
    // --snip--

    println!("Searching for {}", config.query);
    println!("In file {}", config.file_path);

    if let Err(e) = run(config) {
        println!("Application error: {}", e);
        process::exit(1);
    }
}

```

Мы используем `if let` вместо `unwrap_or_else` чтобы проверить, возвращает ли `run` значение `Err` и вызывается `process::exit(1)`, если это так. Функция `run` не возвращает значение, которое мы хотим развернуть методом `unwrap`, таким же образом как `Config::build` возвращает экземпляр `Config`. Так как `run` возвращает `()` в случае успеха и мы заботимся только об обнаружении ошибки, то нам не нужно вызывать `unwrap_or_else`, чтобы вернуть развернутое значение, потому что оно будет только `()`.

Тело функций `if let` и `unwrap_or_else` одинаковы в обоих случаях: мы печатаем ошибку и выходим.

Разделение кода на библиотечный крейт

Наш проект `minigrep` пока выглядит хорошо! Теперь мы разделим файл `src/main.rs` и поместим некоторый код в файл `src/lib.rs`. Таким образом мы сможем его тестировать и чтобы в файле `src/main.rs` было меньшее количество функциональных обязанностей.

Давайте перенесём весь код не относящийся к функции `main` из файла `src/main.rs` в новый файл `src/lib.rs`:

- Определение функции `run`
- Соответствующие инструкции `use`
- Определение структуры `Config`
- Определение функции `Config::build`

Содержимое `src/lib.rs` должно иметь сигнатуры, показанные в листинге 12-13 (мы опустили тела функций для краткости). Обратите внимание, что код не будет компилироваться пока мы не изменим `src/main.rs` в листинге 12-14.

Файл: `src/lib.rs`

```
use std::error::Error;
use std::fs;

pub struct Config {
    pub query: String,
    pub file_path: String,
}

impl Config {
    pub fn build(args: &[String]) -> Result<Config, &'static str> {
        // --snip--
    }
}

pub fn run(config: Config) -> Result<(), Box<dyn Error>> {
    // --snip--
}
```



Листинг 12-13. Перемещение `Config` и `run` в `src/lib.rs`

Мы добавили спецификатор доступа `pub` к структуре `Config`, а также её полям, к методу `build` и функции `run`. Теперь у нас есть библиотечный крейт, который содержит публичный API, который мы можем протестировать!

Теперь нам нужно подключить код, который мы переместили в `src/lib.rs`, в область видимости бинарного крейта внутри `src/main.rs`, как показано в листинге 12-14.

Файл: `src/main.rs`

```
use std::env;
use std::process;

use minigrep::Config;

fn main() {
    // --snip--
    if let Err(e) = minigrep::run(config) {
        // --snip--
    }
}
```

Листинг 12-14. Использование крейта библиотеки `minigrep` внутри `src/main.rs`

Мы добавляем `use minigrep::Config` для подключения типа `Config` из крейта библиотеки в область видимости бинарного крейта и добавляем к имени функции `run` префикс нашего крейта. Теперь все функции должны быть подключены и должны работать. Запустите программу с `cargo run` и убедитесь, что все работает правильно.

Уф! Было много работы, но мы настроены на будущий успех. Теперь проще обрабатывать ошибки и мы сделали код более модульным. С этого момента почти вся наша работа будет выполняться внутри `src/lib.rs`.

Давайте воспользуемся этой новой модульностью, сделав что-то, что было бы трудно со старым кодом, но легко с новым кодом: мы напишем несколько тестов!

Развитие функциональности библиотеки разработкой на основе тестов

Теперь, когда мы извлекли логику в `src/lib.rs` и оставили разбор аргументов командной строки и обработку ошибок в `src/main.rs`, стало гораздо проще писать тесты для основной функциональности нашего кода. Мы можем вызывать функции напрямую с различными аргументами и проверить возвращаемые значения без необходимости вызова нашего двоичного файла из командной строки.

В этом разделе в программу `minigrep` мы добавим логику поиска с использованием процесса разработки через тестирование (TDD), который следует этим шагам:

1. Напишите тест, который завершается неудачей, и запустите его, чтобы убедиться, что он не сработал именно по той причине, которую вы ожидаете.
2. Пишите или изменяйте ровно столько кода, чтобы успешно выполнился новый тест.
3. Выполните рефакторинг кода, который вы только что добавили или изменили, и убедитесь, что тесты продолжают проходить.
4. Повторите с шага 1!

Хотя это всего лишь один из многих способов написания программного обеспечения, TDD может помочь в разработке кода. Написание теста перед написанием кода, обеспечивающего прохождение теста, помогает поддерживать высокое покрытие тестами на протяжении всего процесса разработки.

Мы протестируем реализацию функциональности, которая делает поиск строки запроса в содержимом файла и создание списка строк, соответствующих запросу. Мы добавим эту функциональность в функцию под названием `search`.

Написание теста с ошибкой

Поскольку они нам больше не нужны, давайте удалим инструкции с `println!`, которые мы использовали для проверки поведения программы в `src/lib.rs` и `src/main.rs`. Затем в `src/lib.rs` мы добавим модуль `tests` с тестовой функцией, как делали это в [главе 11](#). Тестовая функция определяет поведение, которое мы хотим проверить в функции `search`: она должна принимать запрос и текст для поиска, а возвращать только те строки из текста, которые содержат запрос. В листинге 12-15 показан этот тест, который пока не компилируется.

Файл: `src/lib.rs`



```
#[cfg(test)]
mod tests {
    use super::*;

    #[test]
    fn one_result() {
        let query = "duct";
        let contents = "\Rust:
safe, fast, productive.
Pick three.";

        assert_eq!(vec!["safe, fast, productive."], search(query, contents));
    }
}
```

Листинг 12-15: Создание безуспешного теста для функции `search`, которую мы хотим создать

Этот тест ищет строку `"duct"`. Текст, в котором мы ищем, состоит из трёх строк, только одна из которых содержит `"duct"` (обратите внимание, что обратная косая черта после открывающей двойной кавычки говорит Rust не помещать символ новой строки в начало содержимого этого строкового литерала). Мы проверяем, что значение, возвращаемое функцией `search`, содержит только ожидаемую нами строку.

Мы не можем запустить этот тест и увидеть сбой, потому что тест даже не компилируется: функции `search` ещё не существует! В соответствии с принципами TDD мы добавим ровно столько кода, чтобы тест компилировался и запускался, добавив определение функции `search`, которая всегда возвращает пустой вектор, как показано в листинге 12-16. Потом тест должен скомпилироваться и потерпеть неудачу при запуске, потому что пустой вектор не равен вектору, содержащему строку `"safe, fast, productive."`

Файл: src/lib.rs

```
pub fn search<'a>(query: &str, contents: &'a str) -> Vec<&'a str> {
    vec![]
}
```

Листинг 12-16. Определение функции `search`, достаточное, чтобы тест скомпилировался

Заметьте, что в сигнатуре `search` нужно явно указать время жизни `'a` для аргумента `contents` и возвращаемого значения. Напомним из Главы 10, что параметры времени жизни указывают с временем жизни какого аргумента связано время жизни возвращаемого значения. В данном случае мы говорим, что возвращаемый вектор должен содержать срезы строк, ссылающиеся на содержимое аргумента `contents` (а не аргумента `query`).

Другими словами, мы говорим Rust, что данные, возвращаемые функцией `search`, будут жить до тех пор, пока живут данные, переданные в функцию `search` через аргумент `contents`. Это важно! Чтобы ссылки были действительными, данные, на которые ссылаются с помощью срезов тоже должны быть действительными; если компилятор предполагает, что мы делаем строковые срезы переменной `query`, а не переменной `contents`, он неправильно выполнит проверку безопасности.

Если мы забудем аннотации времени жизни и попробуем скомпилировать эту функцию, то получим следующую ошибку:

```
$ cargo build
Compiling minigrep v0.1.0 (file:///projects/minigrep)
error[E0106]: missing lifetime specifier
--> src/lib.rs:28:51
  |
28 | pub fn search(query: &str, contents: &str) -> Vec<&str> {
  |           ----- ----- ^ expected named lifetime
parameter
  |
  = help: this function's return type contains a borrowed value, but the signature
does not say whether it is borrowed from `query` or `contents`
help: consider introducing a named lifetime parameter
  |
28 | pub fn search<'a>(query: &'a str, contents: &'a str) -> Vec<&'a str> {
  |         +++++ ++           ++           ++
For more information about this error, try `rustc --explain E0106`.
error: could not compile `minigrep` (lib) due to 1 previous error
```

Rust не может понять, какой из двух аргументов нам нужен, поэтому нужно сказать ему об этом. Так как `contents` является тем аргументом, который содержит весь наш текст, и мы хотим вернуть части этого текста, которые совпали при поиске, мы понимаем, что `contents` является аргументом, который должен быть связан с возвращаемым значением временем жизни.

Другие языки программирования не требуют от вас связывания в сигнатуре аргументов с возвращаемыми значениями, но после определённой практики вам станет проще. Можете сравнить этот пример с разделом «[Проверка ссылок с временами жизни](#)» главы 10.

Запустим тест:

```
$ cargo test
Compiling minigrep v0.1.0 (file:///projects/minigrep)
  Finished `test` profile [unoptimized + debuginfo] target(s) in 0.97s
    Running unit tests src/lib.rs (target/debug/deps/minigrep-9cd200e5fac0fc94)

running 1 test
test tests::one_result ... FAILED

failures:

---- tests::one_result stdout ----
thread 'tests::one_result' panicked at src/lib.rs:44:9:
assertion `left == right` failed
  left: ["safe, fast, productive."]
  right: []
note: run with `RUST_BACKTRACE=1` environment variable to display a backtrace

failures:
  tests::one_result

test result: FAILED. 0 passed; 1 failed; 0 ignored; 0 measured; 0 filtered out;
finished in 0.00s

error: test failed, to rerun pass `--lib`
```

Отлично. Наш тест не сработал, как мы и ожидали. Давайте сделаем так, чтобы он срабатывал!

Написание кода для прохождения теста

Сейчас наш тест не проходит, потому что мы всегда возвращаем пустой вектор. Чтобы исправить это и реализовать `search`, наша программа должна выполнить следующие шаги:

- Итерироваться по каждой строке содержимого.
- Проверить, содержит ли данная строка искомую.
- Если это так, добавить её в список значений, которые мы возвращаем.
- Если это не так, ничего не делать.
- Вернуть список результатов.

Давайте проработаем каждый шаг, начиная с перебора строк.

Перебор строк с помощью метода `lines`

В Rust есть полезный метод для построчной итерации строк, удобно названный `lines`, как показано в листинге 12-17. Обратите внимание, код пока не компилируется.

Файл: `src/lib.rs`



```
pub fn search<'a>(query: &str, contents: &'a str) -> Vec<&'a str> {
    for line in contents.lines() {
        // do something with line
    }
}
```

Листинг 12-17: Итерация по каждой строке из `contents`

Метод `lines` возвращает итератор. Мы подробно поговорим об итераторах в [Глава 13](#), но вспомните, что вы видели этот способ использования итератора в [Листинге 3-5](#), где мы использовали цикл `for` с итератором, чтобы выполнить некоторый код для каждого элемента в коллекции.

Поиск в каждой строке текста запроса

Далее мы проверяем, содержит ли текущая строка нашу искомую строку. К счастью, у строк есть полезный метод `contains`, который именно это и делает! Добавьте вызов метода `contains` в функции `search`, как показано в листинге 12-18. Обратите внимание, что это все ещё не компилируется.

Файл: `src/lib.rs`

```
pub fn search<'a>(query: &str, contents: &'a str) -> Vec<&'a str> {
    for line in contents.lines() {
        if line.contains(query) {
            // do something with line
        }
    }
}
```



Листинг 12-18. Добавление проверки, содержит ли `query` в строке

На данный момент мы наращиваем функциональность. Чтобы заставить это компилироваться, нам нужно вернуть значение из тела функции, как мы указали в сигнатуре функции.

Сохранение совпавшей строки

Чтобы завершить эту функцию, нам нужен способ сохранить совпадающие строки, которые мы хотим вернуть. Для этого мы можем создать изменяемый вектор перед циклом `for` и вызывать метод `push` для сохранения `line` в векторе. После цикла `for` мы возвращаем вектор, как показано в листинге 12-19.

Файл: `src/lib.rs`

```
pub fn search<'a>(query: &'str, contents: &'a str) -> Vec<&'a str> {
    let mut results = Vec::new();

    for line in contents.lines() {
        if line.contains(query) {
            results.push(line);
        }
    }

    results
}
```

Листинг 12-19: Сохраняем совпадающие строки, чтобы впоследствии их можно было вернуть

Теперь функция `search` должна возвратить только строки, содержащие `query`, и тест должен пройти. Запустим его:

```
$ cargo test
Compiling minigrep v0.1.0 (file:///projects/minigrep)
Finished `test` profile [unoptimized + debuginfo] target(s) in 1.22s
Running unit tests src/lib.rs (target/debug/deps/minigrep-9cd200e5fac0fc94)

running 1 test
test tests::one_result ... ok

test result: ok. 1 passed; 0 failed; 0 ignored; 0 measured; 0 filtered out; finished in
0.00s

Running unit tests src/main.rs (target/debug/deps/minigrep-9cd200e5fac0fc94)

running 0 tests

test result: ok. 0 passed; 0 failed; 0 ignored; 0 measured; 0 filtered out; finished in
0.00s

Doc-tests minigrep

running 0 tests

test result: ok. 0 passed; 0 failed; 0 ignored; 0 measured; 0 filtered out; finished in
0.00s
```

Наш тест пройден, значит он работает!

На этом этапе мы могли бы рассмотреть возможности изменения реализации функции поиска, сохраняя прохождение тестов и поддерживая имеющуюся функциональность. Код в функции поиска не так уж плох, но он не использует некоторые полезные функции итераторов. Вернёмся к этому примеру в [главе 13](#), где будем исследовать итераторы подробно, и посмотрим как его улучшить.

Использование функции `search` в функции `run`

Теперь, когда функция `search` работает и протестирована, нужно вызвать `search` из нашей функции `run`. Нам нужно передать значение `config.query` и `contents`, которые `run` читает из файла, в функцию `search`. Тогда `run` напечатает каждую строку, возвращаемую из `search`:

Файл: `src/lib.rs`

```
pub fn run(config: Config) -> Result<(), Box<dyn Error>> {
    let contents = fs::read_to_string(config.file_path)?;

    for line in search(&config.query, &contents) {
        println!("{}{}", line);
    }

    Ok(())
}
```

Мы по-прежнему используем цикл `for` для возврата каждой строки из функции `search` и её печати.

Теперь вся программа должна работать! Давайте попробуем сначала запустить её со словом «frog», которое должно вернуть только одну строчку из стихотворения Эмили Дикинсон:

```
$ cargo run -- frog poem.txt
Compiling minigrep v0.1.0 (file:///projects/minigrep)
Finished `dev` profile [unoptimized + debuginfo] target(s) in 0.38s
    Running `target/debug/minigrep frog poem.txt`
How public, like a frog
```

Здорово! Теперь давайте попробуем слово, которое будет соответствовать нескольким строкам, например «body»:

```
$ cargo run -- body poem.txt
Compiling minigrep v0.1.0 (file:///projects/minigrep)
Finished `dev` profile [unoptimized + debuginfo] target(s) in 0.0s
    Running `target/debug/minigrep body poem.txt`
I'm nobody! Who are you?
Are you nobody, too?
How dreary to be somebody!
```

И наконец, давайте удостоверимся, что мы не получаем никаких строк, когда ищем слово, отсутствующее в стихотворении, например «monomorphization»:

```
$ cargo run -- monomorphization poem.txt
Compiling minigrep v0.1.0 (file:///projects/minigrep)
Finished `dev` profile [unoptimized + debuginfo] target(s) in 0.0s
    Running `target/debug/minigrep monomorphization poem.txt`
```

Отлично! Мы создали собственную мини-версию классического инструмента и научились тому, как структурировать приложения. Мы также немного узнали о файловом вводе и выводе, временах жизни, тестировании и разборе аргументов командной строки.

Чтобы завершить этот проект, мы кратко продемонстрируем пару вещей: как работать с переменными окружения и как печатать в стандартный поток ошибок, обе из которых полезны при написании консольных программ.

Работа с переменными окружения

Мы улучшим `minigrep`, добавив дополнительную функцию: опцию для поиска без учёта регистра, которую пользователь может включить с помощью переменной среды окружения. Мы могли бы сделать эту функцию параметром командной строки и потребовать, чтобы пользователи вводили бы её каждый раз при её применении, но вместо этого мы будем использовать переменную среды окружения, что позволит нашим пользователям устанавливать переменную среды один раз и все поиски будут не чувствительны к регистру в этом терминальном сеансе.

Написание ошибочного теста для функции `search` с учётом регистра

Мы, во-первых, добавим новую функцию `search_case_insensitive`, которую мы будем вызывать, когда переменная окружения содержит значение. Мы продолжим следовать процессу TDD, поэтому первый шаг - это снова написать не проходящий тест. Мы добавим новый тест для новой функции `search_case_insensitive` и переименуем наш старый тест из `one_result` в `case_sensitive`, чтобы прояснить различия между двумя тестами, как показано в листинге 12-20.

Файл: `src/lib.rs`



```
#[cfg(test)]
mod tests {
    use super::*;

    #[test]
    fn case_sensitive() {
        let query = "duct";
        let contents = "\Rust:
safe, fast, productive.
Pick three.
Duct tape.";

        assert_eq!(vec!["safe, fast, productive."], search(query, contents));
    }

    #[test]
    fn case_insensitive() {
        let query = "rUsT";
        let contents = "\Rust:
safe, fast, productive.
Pick three.
Trust me.";

        assert_eq!(
            vec!["Rust:", "Trust me."],
            search_case_insensitive(query, contents)
        );
    }
}
```

Листинг 12-20. Добавление нового не проходящего теста для функции поиска нечувствительной к регистру, которую мы собираемся добавить

Обратите внимание, что мы также отредактировали содержимое переменной `contents` из старого теста. Мы добавили новую строку с текстом `"Duct tape."`, используя заглавную D, которая не должна соответствовать запросу `"duct"` при поиске с учётом регистра. Такое изменение старого теста помогает избежать случайного нарушения функциональности поиска чувствительного к регистру, который мы уже реализовали. Этот тест должен пройти сейчас и должен продолжать выполняться успешно, пока мы работаем над поиском без учёта регистра.

Новый тест для поиска *нечувствительного* к регистру использует `"rUsT"` качестве строки запроса. В функции `search_case_insensitive`, которую мы собираемся реализовать, запрос `"rUsT"` должен соответствовать строке содержащей `"Rust:"` с большой буквы R и соответствовать строке `"Trust me."`, хотя обе имеют разные регистры из запроса. Это наш не проходящий тест, он не компилируется, потому что мы ещё не определили функцию `search_case_insensitive`. Не стесняйтесь добавлять скелет реализация, которая всегда возвращает пустой вектор, аналогично тому, как мы это делали для функции `search` в листинге 12-16, чтобы увидеть компиляцию теста и его сбой.

Реализация функции `search_case_insensitive`

Функция `search_case_insensitive`, показанная в листинге 12-21, будет почти такая же, как функция `search`. Разница лишь в том, что текст будет в нижнем регистре для `query` и для каждой `line`, так что для любого регистра входных аргументов это будет тот же случай, когда мы проверяем, содержит ли строка запрос.

Файл: src/lib.rs

```
pub fn search_case_insensitive<'a>(
    query: &str,
    contents: &'a str,
) -> Vec<&'a str> {
    let query = query.to_lowercase();
    let mut results = Vec::new();

    for line in contents.lines() {
        if line.to_lowercase().contains(&query) {
            results.push(line);
        }
    }

    results
}
```

Листинг 12-21. Определение функции `search_case_insensitive` с уменьшением регистра строки запроса и строки содержимого перед их сравнением

Сначала преобразуем в нижний регистр строку `query` и сохраняем её в затенённой переменной с тем же именем. Вызов `to_lowercase` для строки запроса необходим, так что независимо от того, будет ли пользовательский запрос `"rust"`, `"RUST"`, `"Rust"` или `"rUsT"`, мы будем преобразовывать запрос к `"rust"` и делать значение нечувствительным к регистру. Хотя `to_lowercase` будет обрабатывать Unicode, он не будет точным на 100%. Если бы мы писали реальное приложение, мы бы хотели проделать здесь немного больше работы, но этот раздел посвящён переменным среды, а не Unicode, поэтому мы оставим это здесь.

Обратите внимание, что `query` теперь имеет тип `String`, а не срез строки, потому что вызов `to_lowercase` создаёт новые данные, а не ссылается на существующие. К примеру, запрос: `"rUsT"` это срез строки не содержащий строчных букв `u` или `t`, которые мы можем использовать, поэтому мы должны выделить новую `String`, содержащую `«rust»`. Когда мы передаём запрос `query` в качестве аргумента метода `contains`, нам нужно добавить амперсанд, поскольку сигнатура `contains`, определена для приёмы среза строки.

Затем мы добавляем вызов `to_lowercase` для каждой строки `line` для преобразования к нижнему регистру всех символов. Теперь, когда мы преобразовали `line` и `query` в нижний регистр, мы найдём совпадения независимо от того, в каком регистре находится переменная с запросом.

Давайте посмотрим, проходит ли эта реализация тесты:

```
$ cargo test
Compiling minigrep v0.1.0 (file:///projects/minigrep)
Finished `test` profile [unoptimized + debuginfo] target(s) in 1.33s
Running unitests src/lib.rs (target/debug/deps/minigrep-9cd200e5fac0fc94)

running 2 tests
test tests::case_insensitive ... ok
test tests::case_sensitive ... ok

test result: ok. 2 passed; 0 failed; 0 ignored; 0 measured; 0 filtered out; finished in
0.00s

    Running unitests src/main.rs (target/debug/deps/minigrep-9cd200e5fac0fc94)

running 0 tests

test result: ok. 0 passed; 0 failed; 0 ignored; 0 measured; 0 filtered out; finished in
0.00s

Doc-tests minigrep

running 0 tests

test result: ok. 0 passed; 0 failed; 0 ignored; 0 measured; 0 filtered out; finished in
0.00s
```

Отлично! Тесты прошли. Теперь давайте вызовем новую функцию `search_case_insensitive` из функции `run`. Во-первых, мы добавим параметр конфигурации в структуру `Config` для переключения между поиском с учётом регистра и без учёта регистра. Добавление этого поля приведёт к ошибкам компилятора, потому что мы ещё нигде не инициализируем это поле:

Файл: src/lib.rs

```
pub struct Config {
    pub query: String,
    pub file_path: String,
    pub ignore_case: bool,
}
```



Мы добавили поле `ignore_case`, которое содержит логическое значение. Далее нам нужна функция `run`, чтобы проверить значение поля `ignore_case` и использовать его, чтобы решить, вызывать ли функцию `search` или функцию `search_case_insensitive`, как показано в листинге 12-22. Этот код все ещё не компилируется.

Файл: src/lib.rs



```
pub fn run(config: Config) -> Result<(), Box<dyn Error>> {
    let contents = fs::read_to_string(config.file_path)?;
    let results = if config.ignore_case {
        search_case_insensitive(&config.query, &contents)
    } else {
        search(&config.query, &contents)
    };
    for line in results {
        println!("{}"), line);
    }
    Ok(())
}
```

Листинг 12-22. Вызов либо `search`, либо `search_case_insensitive` на основе значения в `config.ignore_case`

Наконец, нам нужно проверить переменную среды. Функции для работы с переменными среды находятся в модуле `env` стандартной библиотеки, поэтому мы хотим подключить этот модуль в область видимости в верхней части `src/lib.rs`. Затем мы будем использовать функцию `var` из модуля `env` для проверки установлено ли любое значение в переменной среды с именем `IGNORE_CASE`, как показано в листинге 12-23.

Файл: `src/lib.rs`

```
use std::env;
// --snip--

impl Config {
    pub fn build(args: &[String]) -> Result<Config, &'static str> {
        if args.len() < 3 {
            return Err("not enough arguments");
        }

        let query = args[1].clone();
        let file_path = args[2].clone();

        let ignore_case = env::var("IGNORE_CASE").is_ok();

        Ok(Config {
            query,
            file_path,
            ignore_case,
        })
    }
}
```

Листинг 12-23. Проверка переменной среды с именем `IGNORE_CASE`

Здесь мы создаём новую переменную `ignore_case`. Чтобы установить её значение, мы вызываем функцию `env::var` и передаём ей имя переменной окружения `IGNORE_CASE`. Функция `env::var` возвращает `Result`, который будет успешным вариантом `Ok` содержащий значение переменной среды, если переменная среды установлена. Он вернёт вариант `Err`, если переменная окружения не установлена.

Мы используем метод `is_ok` у `Result`, чтобы проверить установлена ли переменная окружения, что будет означать, что программа должна выполнить поиск без учёта регистра. Если переменная среды `IGNORE_CASE` не содержит любого значения, то `is_ok` вернёт значение `false` и программа выполнит поиск с учётом регистра. Мы не заботимся о *значении* переменной среды, нас интересует только установлена она или нет, поэтому мы проверяем `is_ok`, а не используем `unwrap`, `expect` или любой другой метод, который мы видели у `Result`.

Мы передаём значение переменной `ignore_case` экземпляру `Config`, чтобы функция `run` могла прочитать это значение и решить, следует ли вызывать `search` или `search_case_insensitive`, как мы реализовали в листинге 12-22.

Давайте попробуем! Во-первых, мы запустим нашу программу без установленной переменной среды и с помощью значения запроса `to`, который должен соответствовать любой строке, содержащей слово «`to`» в нижнем регистре:

```
$ cargo run -- to poem.txt
Compiling minigrep v0.1.0 (file:///projects/minigrep)
  Finished `dev` profile [unoptimized + debuginfo] target(s) in 0.0s
    Running `target/debug/minigrep to poem.txt`
Are you nobody, too?
How dreary to be somebody!
```

Похоже, все ещё работает! Теперь давайте запустим программу с `IGNORE_CASE`, установленным в `1`, но с тем же значением запроса `to`.

```
$ IGNORE_CASE=1 cargo run -- to poem.txt
```

Если вы используете PowerShell, вам нужно установить переменную среды и запустить программу двумя командами, а не одной:

```
PS> $Env:IGNORE_CASE=1; cargo run -- to poem.txt
```

Это заставит переменную окружения `IGNORE_CASE` сохраниться до конца сеанса работы консоли. Переменную можно отключить с помощью команды `Remove-Item`:

```
PS> Remove-Item Env:IGNORE_CASE
```

Мы должны получить строки, содержащие «`to`», которые могут иметь заглавные буквы:

```
Are you nobody, too?
How dreary to be somebody!
To tell your name the livelong day
To an admiring bog!
```

Отлично, мы также получили строки, содержащие «`To`»! Наша программа `minigrep` теперь может выполнять поиск без учёта регистра, управляемая переменной среды. Теперь вы знаете, как управлять параметрами, заданными с помощью аргументов командной строки или переменных среды.

Некоторые программы допускают использование аргументов и переменных среды для одной и той же конфигурации. В таких случаях программы решают, что из них имеет больший приоритет. Для другого самостоятельного упражнения попробуйте управлять чувствительностью к регистру с помощью аргумента командной строки или переменной окружения. Решите, аргумент командной строки или переменная среды будет иметь приоритет, если программа выполняется со значениями "учитывать регистр" в одном случае, и "игнорировать регистр" в другом.

Модуль `std::env` содержит много других полезных функций для работы с переменными среды: ознакомьтесь с его документацией, чтобы узнать доступные.

Запись сообщений ошибок в поток ошибок вместо стандартного потока вывода

В данный момент мы записываем весь наш вывод в терминал, используя функцию `println!`. В большинстве терминалов предоставлено два вида вывода: *стандартный поток вывода* (`stdout`) для общей информации и *стандартный поток ошибок* (`stderr`) для сообщений об ошибках. Это различие позволяет пользователям выбирать, направлять ли успешный вывод программы в файл, но при этом выводить сообщения об ошибках на экран.

Функция `println!` может печатать только в стандартный вывод, поэтому мы должны использовать что-то ещё для печати в стандартный поток ошибок.

Проверка, куда записываются ошибки

Во-первых, давайте посмотрим, как содержимое, напечатанное из `minigrep` в настоящее время записывается в стандартный вывод, включая любые сообщения об ошибках, которые мы хотим вместо этого записать в стандартный поток ошибок. Мы сделаем это, перенаправив стандартный поток вывода в файл и намеренно вызовем ошибку. Мы не будем перенаправлять стандартный поток ошибок, поэтому любой контент, отправленный в поток стандартных ошибок будет продолжать отображаться на экране.

Ожидается, что программы командной строки будут отправлять сообщения об ошибках в стандартный поток ошибок, поэтому мы все равно можем видеть сообщения об ошибках на экране, даже если мы перенаправляем стандартный поток вывода в файл. Наша программа в настоящее время не ведёт себя правильно: мы увидим, что она сохраняет вывод сообщения об ошибке в файл!

Чтобы продемонстрировать это поведение, мы запустим программу с помощью `>` и именем файла `output.txt` в который мы хотим перенаправить стандартный поток вывода. Мы не будем передавать никаких аргументов, что должно вызвать ошибку:

```
$ cargo run > output.txt
```

Синтаксис `>` указывает оболочке записывать содержимое стандартного вывода в `output.txt` вместо экрана. Мы не увидели сообщение об ошибке, которое мы ожидали увидеть на экране, так что это означает, что оно должно быть в файле. Вот что содержит `output.txt`:

```
Problem parsing arguments: not enough arguments
```

Да, наше сообщение об ошибке выводится в стандартный вывод. Гораздо более полезнее, чтобы подобные сообщения об ошибках печатались в стандартный поток ошибок, поэтому в файл попадают только данные из успешного запуска. Мы поменяем это.

Печать ошибок в поток ошибок

Мы будем использовать код в листинге 12-24, чтобы изменить способ вывода сообщений об ошибках. Из-за рефакторинга, который мы делали ранее в этой главе, весь код, который печатает сообщения об ошибках, находится в одной функции: `main`. Стандартная библиотека предоставляет макрос `eprintln!`, который печатает в стандартный поток ошибок, поэтому давайте изменим два места, где мы вызывали `println!` для печати ошибок, чтобы использовать `eprintln!` вместо этого.

Файл: `src/main.rs`

```
fn main() {
    let args: Vec<String> = env::args().collect();

    let config = Config::build(&args).unwrap_or_else(|err| {
        eprintln!("Problem parsing arguments: {err}");
        process::exit(1);
    });

    if let Err(e) = minigrep::run(config) {
        eprintln!("Application error: {e}");
        process::exit(1);
    }
}
```

Запись сообщений об ошибках в Standard Error вместо Standard Output используя `eprintln!`

Давайте снова запустим программу таким же образом, без каких-либо аргументов и перенаправим стандартный вывод с помощью `>`:

```
$ cargo run > output.txt
Problem parsing arguments: not enough arguments
```

Теперь мы видим ошибку на экране и `output.txt` не содержит ничего, что мы ожидаем от программы командной строки.

Давайте снова запустим программу с аргументами, которые не вызывают ошибку, но все же перенаправляют стандартный вывод в файл, например так:

```
$ cargo run -- to poem.txt > output.txt
```

Мы не увидим никакого вывода в терминал, а `output.txt` будет содержать наши результаты:

Файл: `output.txt`

```
Are you nobody, too?
How dreary to be somebody!
```

Это демонстрирует, что в зависимости от ситуации мы теперь используем стандартный поток вывода для успешного текста и стандартный поток ошибок для вывода ошибок.

Итоги

В этой главе были повторены некоторые основные концепции, которые вы изучили до сих пор и было рассказано, как выполнять обычные операции ввода-вывода в Rust. Используя аргументы командной строки, файлы, переменные среды и макрос `eprintln!` для печати ошибок и вы теперь готовы писать приложения командной строки. В сочетании с концепциями из предыдущих главах, ваш код будет хорошо организован, будет эффективно хранить данные в соответствующих структурах, хорошо обрабатывать ошибки и хорошо тестироваться.

Далее мы рассмотрим некоторые возможности Rust, на которые повлияли функциональные языки: замыкания и итераторы.

Функциональные возможности языка: итераторы и замыкания

Дизайн языка Rust черпал вдохновение из многих других языков и техник, среди которых значительное влияние оказало *функциональное программирование*. Программирование в функциональном стиле подразумевает использование функций в роли объектов, передавая их в качестве аргументов, возвращая их из других функций, присваивая их переменным для последующего выполнения и так далее.

В этой главе мы не будем рассуждать о том, что из себя представляет функциональное программирование, а обсудим возможности Rust, присущие многим языкам, которые принято называть функциональными.

Более подробно мы поговорим про:

- *Замыкания* - конструкции, подобные функциям, которые можно помещать в переменные
- *Итераторы* — способ обработки последовательности элементов,
- То, как, используя замыкания и итераторы, улучшить работу с операциями ввода-вывода в проекте из главы 12
- Производительность замыканий и итераторов (спойлер: они быстрее, чем вы думаете!)

Мы уже рассмотрели другие возможности Rust, такие как сопоставление с образцом и перечисления, которые также появились под влиянием функционального стиля. Поскольку освоение замыканий и итераторов — важная часть написания идиоматичного, быстрого кода на Rust, мы посвятим им всю эту главу.

Замыкания: анонимные функции, которые запечатлевают ("захватывают") своё окружение

Замыкания в Rust - это анонимные функции, которые можно сохранять в переменных или передавать в качестве аргументов другим функциям. Вы можете создать замыкание в одном месте, а затем вызвать его в каком-нибудь другом, чтобы выполнить обработку в ином контексте. В отличие от функций, замыкания могут использовать значения из области видимости в которой они были определены. Мы продемонстрируем, как эти функции замыканий открывают возможности для повторного использования кода и изменения его поведения.

Захват переменных окружения с помощью замыкания

Сначала мы рассмотрим, как с помощью замыканий можно использовать объекты из области, в которой они вместе были определены, для их последующего использования. Вот сценарий: Время от времени наша компания по производству футболок в качестве акции дарит эксклюзивные футболки, выпущенные ограниченным тиражом, каким-нибудь пользователям из нашего списка рассылки. Люди из списка рассылки при желании могут выбрать любимый цвет в своём профиле. Если человек, выбранный для получения бесплатной футболки, указал свой любимый цвет, он получает футболку этого цвета. Если человек не указал свой любимый цвет, он получит рубашку того цвета, которых у компании на данный момент больше всего.

Существует множество способов реализовать это. В данном примере мы будем использовать перечисление `ShirtColor`, которое может быть двух вариантов `Red` и `Blue` (для простоты ограничим количество доступных цветов этими двумя). Запасы компании мы представим структурой `Inventory`, которая состоит из поля `shirts`, содержащего `Vec<ShirtColor>`, в котором перечислены рубашки тех цветов, которые есть в наличии. Метод `giveaway`, определённый в `Inventory`, принимает необязательный параметр - цвет, предпочтаемый пользователем, выбранным для получения бесплатной рубашки, и возвращает тот цвет рубашки, который он получит фактически. Эта схема показана в листинге 13-1:

Имя файла: `src/main.rs`

```

#[derive(Debug, PartialEq, Copy, Clone)]
enum ShirtColor {
    Red,
    Blue,
}

struct Inventory {
    shirts: Vec<ShirtColor>,
}

impl Inventory {
    fn giveaway(&self, user_preference: Option<ShirtColor>) -> ShirtColor {
        user_preference.unwrap_or_else(|| self.most_stocked())
    }

    fn most_stocked(&self) -> ShirtColor {
        let mut num_red = 0;
        let mut num_blue = 0;

        for color in &self.shirts {
            match color {
                ShirtColor::Red => num_red += 1,
                ShirtColor::Blue => num_blue += 1,
            }
        }
        if num_red > num_blue {
            ShirtColor::Red
        } else {
            ShirtColor::Blue
        }
    }
}

fn main() {
    let store = Inventory {
        shirts: vec![ShirtColor::Blue, ShirtColor::Red, ShirtColor::Blue],
    };

    let user_pref1 = Some(ShirtColor::Red);
    let giveaway1 = store.giveaway(user_pref1);
    println!(
        "The user with preference {:?} gets {:?}",
        user_pref1, giveaway1
    );

    let user_pref2 = None;
    let giveaway2 = store.giveaway(user_pref2);
    println!(
        "The user with preference {:?} gets {:?}",
        user_pref2, giveaway2
    );
}

```

Листинг 13-1: Ситуация с раздачей рубашек компанией

В магазине `store`, определённом в `main`, осталось две синие и одна красная рубашки для этой ограниченной акции. Мы вызываем метод `giveaway` для пользователя предпочтевающего красную рубашку и для пользователя без каких-либо предпочтений.

Опять же, этот код мог быть реализован множеством способов, но в данном случае, чтобы сосредоточиться на замыканиях, мы придерживались изученных ранее концепций, за исключением тела метода `giveaway`, в котором используется замыкание. В методе `giveaway` мы получаем пользовательское предпочтение цвета как параметр типа `Option<ShirtColor>` и вызываем метод `unwrap_or_else` на `user_preference`. Метод `unwrap_or_else` перечисления `Option<T>` определён стандартной библиотекой. Он принимает один аргумент: замыкание без аргументов, которое возвращает значение `T` (преобразуется в тип значения, которое окажется в варианте `Some` перечисления `Option<T>`, в нашем случае `ShirtColor`). Если `Option<T>` окажется вариантом `Some`, `unwrap_or_else` вернёт значение из `Some`. А если `Option<T>` будет являться вариантом `None`, `unwrap_or_else` вызовет замыкание и вернёт значение, возвращённое замыканием.

В качестве аргумента `unwrap_or_else` мы передаём замыкание `|| self.most_stocked()`. Это замыкание, которое не принимает никаких параметров (если бы у замыкания были параметры, они были бы перечислены между двумя вертикальными полосами). В теле замыкания вызывается `self.most_stocked()`. Здесь мы определили замыкание, а реализация `unwrap_or_else` такова, что выполнится оно позднее, когда потребуется получить результат.

Выполнение этого кода выводит:

```
$ cargo run
Compiling shirt-company v0.1.0 (file:///projects/shirt-company)
Finished `dev` profile [unoptimized + debuginfo] target(s) in 0.27s
    Running `target/debug/shirt-company`
The user with preference Some(Red) gets Red
The user with preference None gets Blue
```

Интересным аспектом здесь является то, что мы передали замыкание, которое вызывает `self.most_stocked()` текущего экземпляра `Inventory`. Стандартной библиотеке не нужно знать ничего о типах `Inventory` или `ShirtColor`, которые мы определили, или о логике, которую мы хотим использовать в этом сценарии. Замыкание фиксирует неизменяемую ссылку на `self` `Inventory` и передаёт её с указанным нами кодом в метод `unwrap_or_else`. А вот функции не могут фиксировать своё окружение таким образом.

Выведение и аннотация типов замыкания

Есть и другие различия между функциями и замыканиями. Замыкания обычно не требуют аннотирования типов входных параметров или возвращаемого значения, как это делается в функциях `fn`. Аннотации типов требуются для функций, потому что типы являются частью явного интерфейса, предоставляемого пользователям. Жёсткое определение таких интерфейсов важно для того, чтобы все были согласованы в том, какие типы значений использует и возвращает функция. А вот замыкания, напротив, не употребляются в роли подобных публичных интерфейсов: они хранятся в переменных, используются не имея имени и незримо для пользователей нашей библиотеки.

Замыкания, как правило, небольшие и уместны в каком-то узкоспециализированном контексте, а не в произвольных случаях. В этих ограниченных контекстах компилятор может

вывести типы параметров и возвращаемого типа, подобно тому, как он может вывести типы большинства переменных (есть редкие случаи, когда компилятору также нужны аннотации типов замыканий).

Как и в случае с переменными, мы можем добавить аннотации типов, если хотим повысить ясность и чёткость описания ценой увеличения многословности, большей чем это необходимо. Аннотирование типов для замыкания будет выглядеть как определение, показанное в листинге 13-2. В этом примере мы определяем замыкание и храним его в переменной, а не определяем замыкание в том месте, куда мы передаём его в качестве аргумента, как это было в листинге 13-1.

Имя файла: src/main.rs

```
let expensive_closure = |num: u32| -> u32 {
    println!("calculating slowly...");
    thread::sleep(Duration::from_secs(2));
    num
};
```

Листинг 13-2: Добавление необязательных аннотаций типов параметров и возвращаемых значений в замыкании

С добавлением аннотаций типов синтаксис замыканий выглядит более похожим на синтаксис функций. Здесь мы, для сравнения, определяем функцию, которая добавляет 1 к своему параметру, и замыкание, которое имеет такое же поведение. Мы добавили несколько пробелов, чтобы выровнять соответствующие части. Это показывает, что синтаксис замыкания похож на синтаксис функции, за исключением использования труб (вертикальная черта) и количества необязательного синтаксиса:

```
fn add_one_v1(x: u32) -> u32 { x + 1 }
let add_one_v2 = |x: u32| -> u32 { x + 1 };
let add_one_v3 = |x| { x + 1 };
let add_one_v4 = |x| x + 1;
```

В первой строке показано определение функции, а во второй - полностью аннотированное определение замыкания. В третьей строке мы удаляем аннотации типов из определения замыкания. В четвёртой строке мы убираем скобки, которые являются необязательными, поскольку тело замыкания содержит только одну операцию. Это всё правильные определения, которые будут иметь одинаковое поведение при вызове. Строки `add_one_v3` и `add_one_v4` требуют, чтобы замыкания были вычислены до компиляции, поскольку типы будут выведены из их использования. Это похоже на `let v = Vec::new();`, когда в `Vec` необходимо вставить либо аннотации типов, либо значения некоторого типа, чтобы Rust смог вывести тип.

Для определений замыкания компилятор выводит конкретные типы для каждого из параметров и возвращаемого значения. Например, в листинге 13-3 показано определение короткого замыкания, которое просто возвращает значение, полученное в качестве параметра. Это замыкание не очень полезно, кроме как для целей данного примера. Обратите внимание, что мы не добавили в определение никаких аннотаций типов. Поскольку

аннотаций типов нет, мы можем вызвать замыкание для любого типа, что мы и сделали в первый раз с `String`. Если затем мы попытаемся вызвать `example_closure` для целого числа, мы получим ошибку.

Имя файла: `src/main.rs`

```
let example_closure = |x| x;  
  
let s = example_closure(String::from("hello"));  
let n = example_closure(5);
```



Листинг 13-3: Попытка вызова замыкания, типы которого выводятся из двух разных типов

Компилятор вернёт нам вот такую ошибку:

```
$ cargo run  
Compiling closure-example v0.1.0 (file:///projects/closure-example)  
error[E0308]: mismatched types  
--> src/main.rs:5:29  
|  
5 |     let n = example_closure(5);  
|           ----- ^-- help: try using a conversion method: ` `.to_string()`  
|           |  
|           |           expected `String`, found integer  
|           arguments to this function are incorrect  
|  
note: expected because the closure was earlier called with an argument of type `String`  
--> src/main.rs:4:29  
|  
4 |     let s = example_closure(String::from("hello"));  
|           ----- ^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^ expected because this argument is  
of type `String`  
|           |  
|           in this closure call  
note: closure parameter defined here  
--> src/main.rs:2:28  
|  
2 |     let example_closure = |x| x;  
|           ^  
  
For more information about this error, try `rustc --explain E0308`.  
error: could not compile `closure-example` (bin "closure-example") due to 1 previous  
error
```

При первом вызове `example_closure` со значением `String` компилятор определяет тип `x` и возвращаемый тип замыкания как `String`. Эти типы затем фиксируются в замыкании в `example_closure`, и мы получаем ошибку типа при следующей попытке использовать другой тип с тем же замыканием.

Захват ссылок или передача владения

Замыкания могут захватывать значения из своего окружения тремя способами, которые соответствуют тем же трём способам, которыми функция может принимать параметры:

заемствование неизменяемых, заимствование изменяемых и получение владения.

Замыкание самостоятельно определяет, какой из этих способов использовать, исходя из того, что тело функции делает с полученными значениями.

В листинге 13-4 мы определяем замыкание, которое захватывает неизменяемую ссылку на вектор с именем `list`, поскольку неизменяемой ссылки достаточно для печати значения:

Имя файла: src/main.rs

```
fn main() {
    let list = vec![1, 2, 3];
    println!("Before defining closure: {list:?}");

    let only_borrows = || println!("From closure: {list:?}");

    println!("Before calling closure: {list:?}");
    only_borrows();
    println!("After calling closure: {list:?}");
}
```

Листинг 13-4: Определение и вызов замыкания, которое захватывает неизменяемую ссылку

Этот пример также иллюстрирует, то что переменная может быть привязана к определению замыкания, и в дальнейшем мы можем вызвать замыкание, используя имя переменной и круглые скобки, как если бы имя переменной было именем функции.

Поскольку мы можем иметь несколько неизменяемых ссылок на `list` одновременно, `list` остаётся доступным из кода до определения замыкания, после определения замыкания, а также до вызова замыкания и после. Этот код компилируется, выполняется и печатает:

```
$ cargo run
Locking 1 package to latest compatible version
Adding closure-example v0.1.0 (/Users/carolnichols/rust/book/tmp/listings/ch13-
functional-features/listing-13-04)
Compiling closure-example v0.1.0 (file:///projects/closure-example)
Finished `dev` profile [unoptimized + debuginfo] target(s) in 0.43s
Running `target/debug/closure-example`
Before defining closure: [1, 2, 3]
Before calling closure: [1, 2, 3]
From closure: [1, 2, 3]
After calling closure: [1, 2, 3]
```

В следующем листинге 13-5 мы изменили тело замыкания так, чтобы оно добавляло элемент в вектор `list`. Теперь замыкание захватывает изменяемую ссылку:

Имя файла: src/main.rs

```
fn main() {
    let mut list = vec![1, 2, 3];
    println!("Before defining closure: {list:?}");

    let mut borrows_mutably = || list.push(7);

    borrows_mutably();
    println!("After calling closure: {list:?}");
}
```

Листинг 13-5. Определение и вызов замыкания, захватывающего изменяемую ссылку

Этот код компилируется, запускается и печатает:

```
$ cargo run
Locking 1 package to latest compatible version
  Adding closure-example v0.1.0 (/Users/carolnichols/rust/book/tmp/listings/ch13-
functional-features/listing-13-05)
Compiling closure-example v0.1.0 (file:///projects/closure-example)
  Finished `dev` profile [unoptimized + debuginfo] target(s) in 0.43s
    Running `target/debug/closure-example`
Before defining closure: [1, 2, 3]
After calling closure: [1, 2, 3, 7]
```

Обратите внимание, что между определением и вызовом замыкания `borrows_mutably` больше нет `println!`: когда определяется `borrows_mutably`, оно захватывает изменяемую ссылку на `list`. После вызова замыкания мы больше не используем его, поэтому изменяемое заимствование заканчивается. Между определением замыкания и вызовом замыкания неизменяемое заимствование для печати недоступно, потому что при наличии изменяемого заимствования никакие другие заимствования недопустимы. Попробуйте добавить туда `println!` и посмотрите, какое сообщение об ошибке вы получите!

Если вы хотите заставить замыкание принять владение значениями, которые оно использует в окружении, даже если в теле замыкания нет кода, требующего владения, вы можете использовать ключевое слово `move` перед списком параметров.

Эта техника в основном полезна при передаче замыкания новому потоку, чтобы переместить данные так, чтобы они принадлежали новому потоку. Мы подробно обсудим потоки и то, зачем их использовать, в главе 16, когда будем говорить о параллелизме, а пока давайте вкратце рассмотрим порождение нового потока с помощью замыкания, в котором используется ключевое слово `move`. В листинге 13-6 показан код из листинга 13-4, модифицированный для печати вектора в новом потоке, а не в основном потоке:

Файл: src/main.rs

```
use std::thread;

fn main() {
    let list = vec![1, 2, 3];
    println!("Before defining closure: {list:?}");

    thread::spawn(move || println!("From thread: {list:?}"))
        .join()
        .unwrap();
}
```

Листинг 13-6: Использование `move` для принуждения замыкания потока принять на себя владение `list`

Мы порождаем новый поток, передавая ему в качестве аргумента замыкание для выполнения. Тело замыкания распечатывает список. В листинге 13-4 замыкание захватило `list` только с помощью неизменяемой ссылки, потому что это минимально необходимый доступ к `list` для его печати. В этом примере, несмотря на то, что тело замыкания по-прежнему требует только неизменяемой ссылки, нам нужно указать, что `list` должен быть перемещён в замыкание, поместив ключевое слово `move` в начало определения замыкания. Новый поток может завершиться раньше, чем завершится основной поток, или основной поток может завершиться первым. Если основной поток сохранил владение `list`, но завершился раньше нового потока и удалил `list`, то неизменяемая ссылка в потоке будет недействительной. Поэтому компилятор требует, чтобы `list` был перемещён в замыкание, переданное новому потоку, чтобы ссылка была действительной. Попробуйте убрать ключевое слово `move` или использовать `list` в основном потоке после определения замыкания и посмотрите, какие ошибки компилятора вы получите!

Перемещение захваченных значений из замыканий и трейты Fn

После того, как замыкание захватило ссылку или владение значением из среды, в которой оно определено (тем самым влияя на то, что перемещается в замыкание), код в теле замыкания определяет, что происходит со ссылками или значениями, в момент последующего выполнения замыкания (тем самым влияя на то, что перемещается *из* замыкания). Тело замыкания может делать любое из следующих действий: перемещать захваченное значение из замыкания, изменять захваченное значение, не перемещать и не изменять значение или вообще ничего не захватывать из среды.

То, как замыкание получает и обрабатывает значения из своего окружения, указывает на то, какие трейты реализует замыкание, а с помощью трейтов функции и структуры могут определять, какие типы замыканий они могут использовать. Замыканиям автоматически присваивается реализация одного, двух или всех трёх из неперечисленных трейтов `Fn`, аддитивным образом, в зависимости от того, как тело замыкания обрабатывает значения:

1. `FnOnce` применяется к замыканиям, которые могут быть вызваны один раз. Все замыкания реализуют по крайней мере этот трейт, потому что все замыкания могут быть вызваны. Замыкание, которое перемещает захваченные значения из своего тела, реализует только `FnOnce` и ни один из других признаков `Fn`, потому что оно может быть вызвано только один раз.

2. **FnMut** применяется к замыканиям, которые не перемещают захваченные значения из своего тела, но могут изменять захваченные значения. Такие замыкания могут вызываться более одного раза.
3. **Fn** применяется к замыканиям, которые не перемещают захваченные значения из своего тела и не модифицируют захваченные значения, а также к замыканиям, которые ничего не захватывают из своего окружения. Такие замыкания могут выполняться более одного раза и не меняют ничего в своём окружении, что важно в таких случаях, как одновременный вызов замыкания несколько раз.

Давайте рассмотрим определение метода `unwrap_or_else` у `Option<T>`, который мы использовали в листинге 13-1:

```
impl<T> Option<T> {  
    pub fn unwrap_or_else<F>(self, f: F) -> T  
    where  
        F: FnOnce() -> T  
    {  
        match self {  
            Some(x) => x,  
            None => f(),  
        }  
    }  
}
```

Напомним, что `T` - это универсальный тип, отображающий тип значения в `Some` варианте `Option`. Этот тип `T` также является возвращаемым типом функции `unwrap_or_else`: например, код, вызывающий `unwrap_or_else` у `Option<String>`, получит `String`.

Далее, обратите внимание, что функция `unwrap_or_else` имеет дополнительный параметр универсального типа `F`. Здесь `F` - это тип входного параметра `f`, который является замыканием, заданным нами при вызове `unwrap_or_else`.

Ограничением трейта, заданным для обобщённого типа `F`, является `FnOnce() -> T`, что означает, что `F` должен вызываться один раз, не принимать никаких аргументов и возвращать `T`. Использование `FnOnce` в ограничении трейта говорит о том, что `unwrap_or_else` должен вызывать `f` не более одного раза. В теле `unwrap_or_else` мы видим, что если `Option` будет равен `Some`, то `f` не будет вызван. Если же значение `Option` будет равным `None`, то `f` будет вызван один раз. Поскольку все замыкания реализуют `FnOnce`, `unwrap_or_else` принимает самые разные виды замыканий и является настолько гибким, насколько это возможно.

Примечание: Функции также могут реализовывать все три трейта `Fn`. Если то, что мы хотим сделать, не требует захвата значения из среды, мы можем передавать имя какой-либо функции, а не замыкания, когда нам нужно что-то, реализующее один из трейтов `Fn`. Например, для значения `Option<Vec<T>>` мы можем вызвать `unwrap_or_else(Vec::new)`, чтобы получить новый пустой вектор, если значение окажется `None`.

Теперь рассмотрим метод стандартной библиотеки `sort_by_key`, определённый у срезов, чтобы увидеть, чем он отличается от `unwrap_or_else` и почему `sort_by_key` использует `FnMut` вместо `FnOnce` для ограничения трейта. Замыкание принимает единственный аргумент в виде ссылки на текущий элемент в рассматриваемом срезе и возвращает значение типа `K`, к которому применима сортировка. Эта функция полезна, когда вы хотите отсортировать срез по определённому атрибуту каждого элемента. В листинге 13-7 у нас есть список экземпляров `Rectangle`, и мы используем `sort_by_key`, чтобы упорядочить их по атрибуту `width` от меньшего к большему:

Файл: src/main.rs

```
#[derive(Debug)]
struct Rectangle {
    width: u32,
    height: u32,
}

fn main() {
    let mut list = [
        Rectangle { width: 10, height: 1 },
        Rectangle { width: 3, height: 5 },
        Rectangle { width: 7, height: 12 },
    ];

    list.sort_by_key(|r| r.width);
    println!("{}list:#{?}{}", "list:", list);
}
```

Листинг 13-7: Использование `sort_by_key` для сортировки прямоугольников по ширине

Этот код печатает:

```
$ cargo run
Compiling rectangles v0.1.0 (file:///projects/rectangles)
Finished `dev` profile [unoptimized + debuginfo] target(s) in 0.41s
Running `target/debug/rectangles`
[
    Rectangle {
        width: 3,
        height: 5,
    },
    Rectangle {
        width: 7,
        height: 12,
    },
    Rectangle {
        width: 10,
        height: 1,
    },
]
```

Причина, по которой `sort_by_key` определена как принимающая замыкание `FnMut`, заключается в том, что она вызывает замыкание несколько раз: по одному разу для каждого элемента в срезе. Замыкание `|r| r.width` не захватывает, не изменяет и не перемещает

ничего из своего окружения, поэтому оно удовлетворяет требованиям связанности признаков.

И наоборот, в листинге 13-8 показан пример замыкания, которое реализует только признак `FnOnce`, потому что оно перемещает значение из среды. Компилятор не позволит нам использовать это замыкание с `sort_by_key`:

Файл: src/main.rs

```
#[derive(Debug)]
struct Rectangle {
    width: u32,
    height: u32,
}

fn main() {
    let mut list = [
        Rectangle { width: 10, height: 1 },
        Rectangle { width: 3, height: 5 },
        Rectangle { width: 7, height: 12 },
    ];

    let mut sort_operations = vec![];
    let value = String::from("closure called");

    list.sort_by_key(|r| {
        sort_operations.push(value);
        r.width
    });
    println!("{}{list:#?}{}", value, list);
}
```



Листинг 13-8: Попытка использовать замыкание FnOnce с sort_by_key

Это надуманный, замысловатый способ (который не работает) подсчёта количества вызовов `sort_by_key` при сортировке `list`. Этот код пытается выполнить подсчёт, перемещая `value` - `String` из окружения замыкания - в вектор `sort_operations`. Замыкание захватывает `value`, затем перемещает `value` из замыкания, передавая владение на `value` вектору `sort_operations`. Это замыкание можно вызвать один раз; попытка вызвать его второй раз не сработает, потому что `value` уже не будет находиться в той среде, из которой его можно будет снова поместить в `sort_operations`! Поэтому это замыкание реализует только `FnOnce`. Когда мы попытаемся скомпилировать этот код, мы получим ошибку сообщающую о том что `value` не может быть перемещено из замыкания, потому что замыкание должно реализовывать `FnMut`:

```

$ cargo run
Compiling rectangles v0.1.0 (file:///projects/rectangles)
error[E0507]: cannot move out of `value`, a captured variable in an `FnMut` closure
--> src/main.rs:18:30
|
15 |     let value = String::from("closure called");
|         ----- captured outer variable
16 |
17 |     list.sort_by_key(|r| {
|             --- captured by this `FnMut` closure
18 |         sort_operations.push(value);
|             ^^^^^^ move occurs because `value` has type `String`,
which does not implement the `Copy` trait
|
help: consider cloning the value if the performance cost is acceptable
|
18 |         sort_operations.push(value.clone());
|             ++++++++

```

For more information about this error, try `rustc --explain E0507`.
error: could not compile `rectangles` (bin "rectangles") due to 1 previous error

Ошибка указывает на строку в теле замыкания, которая перемещает `value` из окружения. Чтобы исправить это, нужно изменить тело замыкания так, чтобы оно не перемещало значения из окружения. Для подсчёта количества вызовов `sort_by_key` более простым способом является хранение счётчика в окружении и увеличение его значения в теле замыкания. Замыкание в листинге 13-9 работает с `sort_by_key`, поскольку оно фиксирует только изменяемую ссылку на счётчик `num_sort_operations` и поэтому может быть вызвано более одного раза:

Файл: src/main.rs

```

#[derive(Debug)]
struct Rectangle {
    width: u32,
    height: u32,
}

fn main() {
    let mut list = [
        Rectangle { width: 10, height: 1 },
        Rectangle { width: 3, height: 5 },
        Rectangle { width: 7, height: 12 },
    ];

    let mut num_sort_operations = 0;
    list.sort_by_key(|r| {
        num_sort_operations += 1;
        r.width
    });
    println!("{} list: #?{}, sorted in {} operations", list, num_sort_operations);
}

```

Листинг 13-9: Использование замыкания `FnMut` с `sort_by_key` разрешено

Трейты **Fn** важны при определении или использовании функций или типов, использующих замыкания. В следующем разделе мы обсудим итераторы. Многие методы итераторов принимают аргументы в виде замыканий, поэтому не забывайте об этих деталях, пока мы продвигаемся дальше!

Обработка последовательности элементов с помощью итераторов

Использование паттерна Итератор помогает при необходимости поочерёдного выполнения какой-либо операции над элементами последовательности. Итератор отвечает за логику перебора элементов и определение момента завершения последовательности. Используя итераторы, вам не нужно самостоятельно реализовывать всю эту логику.

В Rust итераторы *ленивые* (*lazy*), то есть они не делают ничего, пока вы не вызовете специальные методы, потребляющие итератор, чтобы задействовать его. Например, код в листинге 13-10 создаёт итератор элементов вектора `v1`, вызывая метод `iter`, определённый у `Vec<T>`. Сам по себе этот код не делает ничего полезного.

```
let v1 = vec![1, 2, 3];
let v1_iter = v1.iter();
```

Листинг 13-10: Создание итератора

Итератор хранится в переменной `v1_iter`. Создав итератор, мы можем использовать его различными способами. В листинге 3-5 главы 3 мы совершили обход элементов массива используя цикл `for` для выполнения какого-то кода над каждым из его элементов. Под капотом это неявно создавало, а затем потребляло итератор, но до сих пор мы не касались того, как именно это работает.

В примере из листинга 13-11 мы отделили создание итератора от его использования в цикле `for`. В цикле `for`, использующем итератор в `v1_iter`, каждый элемент итератора участвует только в одной итерации цикла, в ходе которой выводится на экран его значение.

```
let v1 = vec![1, 2, 3];
let v1_iter = v1.iter();
for val in v1_iter {
    println!("Got: {}", val);
}
```

Листинг 13-11: Использование итератора в цикле `for`

В языках, стандартные библиотеки которых не предоставляют итераторы, вы, скорее всего, напишите эту же функциональность так: создадите переменную со значением 0 затем, в цикле, использовав её для получения элемента вектора по индексу, будете увеличивать её значение, и так, пока оно не достигнет числа равного количеству элементов в векторе.

Итераторы выполняют всю эту логику за вас, сокращая количество повторяющегося кода, который потенциально может быть написан неправильно. Итераторы дают вам гибкость, позволяя использовать одинаковые принципы работы с различными видами

последовательностей, а не только со структурами данных, которые можно индексировать, например, векторами. Давайте рассмотрим, как итераторы это делают.

Типаж `Iterator` и метод `next`

Все итераторы реализуют типаж `Iterator`, который определён в стандартной библиотеке. Его определение выглядит так:

```
pub trait Iterator {  
    type Item;  
  
    fn next(&mut self) -> Option<Self::Item>;  
  
    // methods with default implementations elided  
}
```

Обратите внимание данное объявление использует новый синтаксис: `type Item` и `Self::Item`, которые определяют *ассоциированный тип* (associated type) с этим типажом. Мы подробнее поговорим о ассоциированных типах в главе 19. Сейчас вам нужно знать, что этот код требует от реализаций типажа `Iterator` определить требуемый им тип `Item` и данный тип `Item` используется в методе `next`. Другими словами, тип `Item` будет являться типом элемента, который возвращает итератор.

Типаж `Iterator` требует, чтобы разработчики определяли только один метод: метод `next`, который возвращает один элемент итератора за раз обёрнутый в вариант `Some` и когда итерация завершена, возвращает `None`.

Мы можем вызывать метод `next` у итераторов напрямую; в листинге 13-12 показано, какие значения возвращаются при повторных вызовах `next` у итератора, созданного из вектора.

Файл: `src/lib.rs`

```
#[test]  
fn iterator_demonstration() {  
    let v1 = vec![1, 2, 3];  
  
    let mut v1_iter = v1.iter();  
  
    assert_eq!(v1_iter.next(), Some(&1));  
    assert_eq!(v1_iter.next(), Some(&2));  
    assert_eq!(v1_iter.next(), Some(&3));  
    assert_eq!(v1_iter.next(), None);  
}
```

Листинг 13-12: Вызов метода `next` итератора

Обратите внимание, что нам нужно сделать переменную `v1_iter` изменяемой: вызов метода `next` итератора изменяет внутреннее состояние итератора, которое итератор использует для отслеживания того, где он находится в последовательности. Другими словами, этот код

потребляет (`consume`) или использует итератор. Каждый вызов `next` потребляет элемент из итератора. Нам не нужно было делать изменяемой `v1_iter` при использовании цикла `for`, потому что цикл забрал во владение `v1_iter` и сделал её изменяемой неявно для нас.

Заметьте также, что значения, которые мы получаем при вызовах `next` являются неизменяемыми ссылками на значения в векторе. Метод `iter` создаёт итератор по неизменяемым ссылкам. Если мы хотим создать итератор, который становится владельцем `v1` и возвращает принадлежащие ему значения, мы можем вызвать `into_iter` вместо `iter`. Точно так же, если мы хотим перебирать изменяемые ссылки, мы можем вызвать `iter_mut` вместо `iter`.

Методы, которые потребляют итератор

У типажа `Iterator` есть несколько методов, реализация которых по умолчанию предоставляется стандартной библиотекой; вы можете узнать об этих методах, просмотрев документацию API стандартной библиотеки для `Iterator`. Некоторые из этих методов вызывают `next` в своём определении, поэтому вам необходимо реализовать метод `next` при реализации типажа `Iterator`.

Методы, вызывающие `next`, называются *потребляющими адаптерами*, поскольку их вызов потребляет итератор. Примером может служить метод `sum`, который забирает во владение итератор и перебирает элементы, многократно вызывая `next`, тем самым потребляя итератор. В процессе итерации он добавляет каждый элемент к текущей сумме и возвращает итоговое значение по завершении итерации. В листинге 13-13 приведён тест, иллюстрирующий использование метода `sum`:

Файл: `src/lib.rs`

```
#[test]
fn iterator_sum() {
    let v1 = vec![1, 2, 3];

    let v1_iter = v1.iter();

    let total: i32 = v1_iter.sum();

    assert_eq!(total, 6);
}
```

Листинг 13-13: Вызов метода `sum` для получения суммы всех элементов в итераторе

Мы не можем использовать `v1_iter` после вызова метода `sum`, потому что `sum` забирает во владение итератор у которого вызван метод.

Методы, которые создают другие итераторы

Адаптеры итераторов - это методы, определённые для трейта `Iterator`, которые не потребляют итератор. Вместо этого они создают различные итераторы, изменяя некоторые аспекты исходного итератора.

В листинге 13-14 показан пример вызова метода адаптера итератора `map`, который принимает замыкание и вызывает его для каждого элемента по мере итерации элементов. Метод `map` возвращает новый итератор, который создаёт изменённые элементы. Замыкание здесь создаёт новый итератор, в котором каждый элемент из вектора будет увеличен на 1:

Файл: `src/main.rs`

```
let v1: Vec<i32> = vec![1, 2, 3];  
v1.iter().map(|x| x + 1);
```



Листинг 13-14: Вызов адаптера итератора `map` для создания нового итератора

Однако этот код выдаёт предупреждение:

```
$ cargo run  
Compiling iterators v0.1.0 (file:///projects/iterators)  
warning: unused `Map` that must be used  
--> src/main.rs:4:5  
|  
4 |     v1.iter().map(|x| x + 1);  
|     ^^^^^^^^^^  
|  
|= note: iterators are lazy and do nothing unless consumed  
= note: `#[warn(unused_must_use)]` on by default  
help: use `let _ = ...` to ignore the resulting value  
|  
4 |     let _ = v1.iter().map(|x| x + 1);  
|     ++++++  
  
warning: `iterators` (bin "iterators") generated 1 warning  
Finished `dev` profile [unoptimized + debuginfo] target(s) in 0.47s  
Running `target/debug/iterators`
```

Код в листинге 13-14 ничего не делает; указанное нами замыкание никогда не вызывается. Предупреждение напоминает нам, почему: адаптеры итераторов ленивы, и здесь нам нужно потребить итератор.

Чтобы устранить это предупреждение и потребить итератор, мы воспользуемся методом `collect`, который мы использовали в главе 12 с `env::args` в листинге 12-1. Этот метод потребляет итератор и собирает полученные значения в коллекцию указанного типа.

В листинге 13-15 мы собираем в вектор результаты перебора итератора, который возвращается в результате вызова `map`. Этот вектор в итоге будет содержать каждый элемент исходного вектора, увеличенный на 1.

Файл: `src/main.rs`

```
let v1: Vec<i32> = vec![1, 2, 3];  
  
let v2: Vec<_> = v1.iter().map(|x| x + 1).collect();  
  
assert_eq!(v2, vec![2, 3, 4]);
```

Листинг 13-15: Вызов метода `map` для создания нового итератора, а затем вызов метода `collect` для потребления нового итератора и создания вектора

Поскольку `map` принимает замыкание, мы можем указать любую операцию, которую хотим выполнить над каждым элементом. Это отличный пример того, как замыкания позволяют задавать желаемое поведение, используя при этом особенности итерации, которые обеспечивает трейт `Iterator`.

Вы можете выстроить цепочку из нескольких вызовов адаптеров итератора для выполнения сложных действий в удобочитаемом виде. Но поскольку все итераторы являются "ленивыми", для получения результатов вызовов адаптеров итератора необходимо вызвать один из методов потребляющего адаптера.

Использование замыканий, которые захватывают переменные окружения

Многие адаптеры итераторов принимают замыкания в качестве аргументов, и обычно замыкания, которые мы будем указывать в качестве аргументов адаптерам итераторов, это замыкания, которые фиксируют (захватывают) своё окружение.

В этом примере мы будем использовать метод `filter`, который принимает замыкание. Замыкание получает элемент из итератора и возвращает `bool`. Если замыкание возвращает `true`, значение будет включено в итерацию, созданную `filter`. Если замыкание возвращает `false`, значение не будет включено.

В листинге 13-16 мы используем `filter` с замыканием, которое захватывает переменную `shoe_size` из своего окружения для итерации по коллекции экземпляров структуры `Shoe`. Он будет возвращать обувь только указанного размера.

Файл: src/lib.rs

```

#[derive(PartialEq, Debug)]
struct Shoe {
    size: u32,
    style: String,
}

fn shoes_in_size(shoes: Vec<Shoe>, shoe_size: u32) -> Vec<Shoe> {
    shoes.into_iter().filter(|s| s.size == shoe_size).collect()
}

#[cfg(test)]
mod tests {
    use super::*;

    #[test]
    fn filters_by_size() {
        let shoes = vec![
            Shoe {
                size: 10,
                style: String::from("sneaker"),
            },
            Shoe {
                size: 13,
                style: String::from("sandal"),
            },
            Shoe {
                size: 10,
                style: String::from("boot"),
            },
        ];
        let in_my_size = shoes_in_size(shoes, 10);

        assert_eq!(
            in_my_size,
            vec![
                Shoe {
                    size: 10,
                    style: String::from("sneaker")
                },
                Shoe {
                    size: 10,
                    style: String::from("boot")
                },
            ]
        );
    }
}

```

Листинг 13-16. Использование метода `filter` с замыканием, фиксирующим `shoe_size`

Функция `shoes_in_size` принимает в качестве параметров вектор с экземплярами обуви и размер обуви, а возвращает вектор, содержащий только обувь указанного размера.

В теле `shoes_in_my_size` мы вызываем `into_iter` чтобы создать итератор, который становится владельцем вектора. Затем мы вызываем `filter`, чтобы превратить этот итератор в другой, который содержит только элементы, для которых замыкание возвращает `true`.

Замыкание захватывает параметр `shoe_size` из окружения и сравнивает его с размером каждой пары обуви, оставляя только обувь указанного размера. Наконец, вызов `collect` собирает значения, возвращаемые адаптированным итератором, в вектор, возвращаемый функцией.

Тест показывает, что когда мы вызываем `shoes_in_my_size`, мы возвращаем только туфли, размер которых совпадает с указанным нами значением.

Улучшение нашего проекта с вводом/выводом

Вооружившись полученными знаниями об итераторах, мы можем улучшить реализацию работы с вводом/выводом в проекте главы 12, применяя итераторы для того, чтобы сделать некоторые места в коде более понятными и лаконичными. Давайте рассмотрим, как итераторы могут улучшить нашу реализацию функции `Config::build` и функции `search`.

Удаляем `clone`, используем итератор

В листинге 12-6 мы добавили код, который принимает срез значений `String` и создаёт экземпляр структуры `Config` путём индексации среза и клонирования значений, позволяя структуре `Config` владеть этими значениями. В листинге 13-17 мы воспроизвели реализацию функции `Config::build`, как это было в листинге 12-23:

Файл: src/lib.rs

```
impl Config {
    pub fn build(args: &[String]) -> Result<Config, &'static str> {
        if args.len() < 3 {
            return Err("not enough arguments");
        }

        let query = args[1].clone();
        let file_path = args[2].clone();

        let ignore_case = env::var("IGNORE_CASE").is_ok();

        Ok(Config {
            query,
            file_path,
            ignore_case,
        })
    }
}
```

Листинг 13-17: Репродукция функции `Config::build` из листинга 12-23

Ранее мы говорили, что не стоит беспокоиться о неэффективных вызовах `clone`, потому что мы удалим их в будущем. Ну что же, время пришло!

Нам понадобился здесь `clone`, потому что в параметре `args` у нас срез с элементами `String`, но функция `build` не владеет `args`. Чтобы экземпляр `Config` владел значениями, нам пришлось клонировать их из `args` в переменные `query` и `file_path`.

Благодаря нашим новым знаниям об итераторах мы можем изменить функцию `build`, чтобы вместо заимствования среза она принимала в качестве аргумента итератор. Мы будем использовать функциональность итератора вместо кода, который проверяет длину среза и

обращается по индексу к определённым значениям. Это позволит лучше понять, что делает функция `Config::build`, поскольку итератор будет обращаться к значениям.

Как только `Config::build` получит в своё распоряжение итератор и перестанет использовать операции индексирования с заимствованием, мы сможем переместить значения `String` из итератора в `Config` вместо того, чтобы вызывать `clone` и создавать новое выделение памяти.

Использование возвращённого итератора напрямую

Откройте файл `src/main.rs` проекта ввода-вывода, который должен выглядеть следующим образом:

Файл: `src/main.rs`

```
fn main() {
    let args: Vec<String> = env::args().collect();

    let config = Config::build(&args).unwrap_or_else(|err| {
        eprintln!("Problem parsing arguments: {}", err);
        process::exit(1);
    });

    // --snip--
}
```

Сначала мы изменим начало функции `main`, которая была в листинге 12-24, на код в листинге 13-18, который теперь использует итератор. Это не будет компилироваться, пока мы не обновим `Config::build`.

Файл: `src/main.rs`

```
fn main() {
    let config = Config::build(env::args()).unwrap_or_else(|err| {
        eprintln!("Problem parsing arguments: {}", err);
        process::exit(1);
    });

    // --snip--
}
```



Листинг 13-18: Передача возвращаемого значения из `env::args` в `Config::build`

Функция `env::args` возвращает итератор! Вместо того чтобы собирать значения итератора в вектор и затем передавать срез в `Config::build`, теперь мы передаём владение итератором, возвращённым из `env::args` в `Config::build` напрямую.

Далее нам нужно обновить определение `Config::build`. В файле `src/lib.rs` вашего проекта ввода-вывода изменим сигнатуру `Config::build` так, чтобы она выглядела как в листинге 13-19. Это все ещё не скомпилируется, потому что нам нужно обновить тело функции.



```
impl Config {
    pub fn build(
        mut args: impl Iterator<Item = String>,
    ) -> Result<Config, &'static str> {
        // --snip--
```

Листинг 13-19: Обновление сигнатуры `Config::build` для определения итератора как ожидаемого параметра

Документация стандартной библиотеки для функции `env::args` показывает, что тип возвращаемого ею итератора - `std::env::Args`, и этот тип реализует признак `Iterator` и возвращает значения `String`.

Мы обновили сигнатуру функции `Config::build`, чтобы параметр `args` имел универсальный тип ограниченный трейтом `impl Iterator<Item = String>` вместо `&[String]`. Такое использование синтаксиса `impl Trait`, который мы обсуждали в разделе "[Трейты как параметры](#)" главы 10, означает, что `args` может быть любым типом, реализующим тип `Iterator` и возвращающим элементы `String`.

Поскольку мы владеем `args` и будем изменять `args` в процессе итерации над ним, мы можем добавить ключевое слово `mut` в спецификацию параметра `args`, чтобы сделать его изменяемым.

Использование методов типажа `Iterator` вместо индексов

Далее мы подправим содержимое `Config::build`. Поскольку `args` реализует признак `Iterator`, мы знаем, что можем вызвать у него метод `next!` В листинге 13-20 код из листинга 12-23 обновлён для использования метода `next`:

```

impl Config {
    pub fn build(
        mut args: impl Iterator<Item = String>,
    ) -> Result<Config, &'static str> {
        args.next();

        let query = match args.next() {
            Some(arg) => arg,
            None => return Err("Didn't get a query string"),
        };

        let file_path = match args.next() {
            Some(arg) => arg,
            None => return Err("Didn't get a file path"),
        };

        let ignore_case = env::var("IGNORE_CASE").is_ok();

        Ok(Config {
            query,
            file_path,
            ignore_case,
        })
    }
}

```

Листинг 13-20: Изменяем тело `Config::build` так, чтобы использовать методы итератора

Помните, что первое значение в возвращаемых данных `env::args` - это имя программы. Мы хотим проигнорировать его и перейти к следующему значению, поэтому сперва мы вызываем `next` и ничего не делаем с возвращаемым значением. Затем мы вызываем `next`, чтобы получить значение, которое мы хотим поместить в поле `query` в `Config`. Если `next` возвращает `Some`, мы используем `match` для извлечения значения. Если возвращается `None`, это означает, что было задано недостаточно аргументов, и мы досрочно возвращаем значение `Err`. То же самое мы делаем для значения `file_path`.

Делаем код понятнее с помощью адаптеров итераторов

Мы также можем воспользоваться преимуществами итераторов в функции `search` в нашем проекте с операциями ввода-вывода, которая воспроизведена здесь в листинге 13-21 так же, как и в листинге 12-19:

Файл: src/lib.rs

```
pub fn search<'a>(query: &str, contents: &'a str) -> Vec<&'a str> {
    let mut results = Vec::new();

    for line in contents.lines() {
        if line.contains(query) {
            results.push(line);
        }
    }

    results
}
```

Листинг 13-21: Реализация функции `search` из листинга 12-19

Мы можем написать этот код в более скжатом виде, используя методы адаптера итератора. Это также позволит нам избежать наличия изменяемого временного вектора `results`.

Функциональный стиль программирования предпочитает минимизировать количество изменяемого состояния, чтобы сделать код более понятным. Удаление изменяемого состояния может позволить в будущем сделать поиск параллельным, поскольку нам не придётся управлять одновременным доступом к вектору `results`. В листинге 13-22 показано это изменение:

Файл: src/lib.rs

```
pub fn search<'a>(query: &str, contents: &'a str) -> Vec<&'a str> {
    contents
        .lines()
        .filter(|line| line.contains(query))
        .collect()
}
```

Листинг 13-22: Использование методов адаптера итератора в реализации функции `search`

Напомним, что назначение функции `search` - вернуть все строки в `contents`, которые содержат `query`. Подобно примеру `filter` в листинге 13-16, этот код использует адаптер `filter`, чтобы сохранить только те строки, для которых `line.contains(query)` возвращает `true`. Затем мы собираем совпадающие строки в другой вектор с помощью `collect`. Так гораздо проще! Не стесняйтесь сделать такое же изменение для использования методов итератора в функции `search_case_insensitive`.

Выбор между циклами или итераторами

Следующий логичный вопрос - какой стиль вы должны выбрать в своём коде и почему: оригинальную реализацию в листинге 13-21 или версию с использованием итераторов в листинге 13-22. Большинство программистов на языке Rust предпочитают использовать стиль итераторов. Сначала разобраться с ним немного сложно, но как только вы почувствуете, что такие различные адаптеры итераторов и что они делают, понять итераторы станет проще. Вместо того чтобы возиться с различными элементами цикла и создавать новые векторы, код фокусируется на высокоуровневой цели цикла. Это абстрагирует часть обычного кода,

поэтому легче увидеть концепции, уникальные для этого кода, такие как условие фильтрации, которое должен пройти каждый элемент в итераторе.

Но действительно ли эти две реализации эквивалентны? Интуитивно можно предположить, что более низкоуровневый цикл будет быстрее. Давайте поговорим о производительности.

Сравнение производительности циклов и итераторов

Чтобы определить, что лучше использовать циклы или итераторы, нужно знать, какая реализация быстрее: версия функции `search` с явным циклом `for` или версия с итераторами.

Мы выполнили тест производительности, разместив всё содержимое книги (*"The Adventures of Sherlock Holmes" by Sir Arthur Conan Doyle*) в строку типа `String` и поискали слово *the* в её содержимом. Вот результаты теста функции `search` с использованием цикла `for` и с использованием итераторов:

```
test bench_search_for ... bench: 19,620,300 ns/iter (+/- 915,700)
test bench_search_iter ... bench: 19,234,900 ns/iter (+/- 657,200)
```

Версия с использованием итераторов была немного быстрее! Мы не будем приводить здесь непосредственно код теста, поскольку идея не в том, чтобы доказать, что решения в точности эквивалентны, а в том, чтобы получить общее представление о том, как эти две реализации близки по производительности.

Для более исчерпывающего теста, вам нужно проверить различные тексты разных размеров в качестве содержимого для `contents`, разные слова и слова различной длины в качестве `query` и всевозможные другие варианты. Дело в том, что итераторы, будучи высокоуровневой абстракцией, компилируются примерно в тот же код, как если бы вы написали его низкоуровневый вариант самостоятельно. Итераторы - это одна из *абстракций с нулевой стоимостью* (zero-cost abstractions) в Rust, под которой мы подразумеваем, что использование абстракции не накладывает дополнительных расходов во время выполнения. Аналогично тому, как Бьёрн Страуструп, дизайнер и разработчик C++, определяет *нулевые накладные расходы* (zero-overhead) в книге *"Foundations of C++"* (2012):

В целом, реализация C++ подчиняется принципу отсутствия накладных расходов: за то, чем вы не пользуетесь, платить не нужно. И далее: тот код, что вы используете, нельзя сделать ещё лучше.

В качестве другого примера приведём код, взятый из аудио декодера. Алгоритм декодирования использует математическую операцию линейного предсказания для оценки будущих значений на основе линейной функции предыдущих выборок. Код использует комбинирование вызовов итератора для выполнения математических вычислений для трёх переменных в области видимости: срез данных `buffer`, массив из 12 коэффициентов `coefficients` и число для сдвига данных в переменной `qlp_shift`. Переменные определены в примере, но не имеют начальных значений. Хотя этот код не имеет большого значения вне контекста, он является кратким, реальным примером того, как Rust переводит идеи высокого уровня в код низкого уровня.

```
let buffer: &mut [i32];
let coefficients: [i64; 12];
let qlp_shift: i16;

for i in 12..buffer.len() {
    let prediction = coefficients.iter()
        .zip(&buffer[i - 12..i])
        .map(|(c, s)| c * s as i64)
        .sum::<i64>() >> qlp_shift;
    let delta = buffer[i];
    buffer[i] = prediction as i32 + delta;
}
```

Чтобы вычислить значение переменной `prediction`, этот код перебирает каждое из 12 значений в переменной `coefficients` и использует метод `zip` для объединения значений коэффициентов с предыдущими 12 значениями в переменной `buffer`. Затем, для каждой пары мы перемножаем значения, суммируем все результаты и у суммы сдвигаем биты вправо в переменную `qlp_shift`.

Для вычислений в таких приложениях, как аудио декодеры, часто требуется производительность. Здесь мы создаём итератор, используя два адаптера, впоследствии потребляющих значение. В какой ассемблерный код будет компилироваться этот код на Rust? На момент написания этой главы он компилируется в то же самое, что вы написали бы руками. Не существует цикла, соответствующего итерации по значениям в «коэффициентах» `coefficients`: Rust знает, что существует двенадцать итераций, поэтому он «разворачивает» цикл. *Разворачивание* – это оптимизация, которая устраниет издержки кода управления циклом и вместо этого генерирует повторяющийся код для каждой итерации цикла.

Все коэффициенты сохраняются в регистрах, что означает очень быстрый доступ к значениям. Нет никаких проверок границ доступа к массиву во время выполнения. Все эти оптимизации, которые может применить Rust, делают полученный код чрезвычайно эффективным. Теперь, когда вы это знаете, используйте итераторы и замыкания без страха! Они представляют код в более высокоуровневом виде, но без потери производительности во время выполнения.

Итоги

Замыкания (closures) и итераторы (iterators) это возможности Rust, вдохновлённые идеями функциональных языков. Они позволяют Rust ясно выражать идеи высокого уровня с производительностью низкоуровневого кода. Реализации замыканий и итераторов таковы, что нет влияния на производительность выполнения кода. Это одна из целей Rust, направленных на обеспечение абстракций с нулевой стоимостью (zero-cost abstractions).

Теперь, когда мы улучшили представление кода в нашем проекте, рассмотрим некоторые возможности, которые нам предоставляет `cargo` для публикации нашего кода в репозитории.

Больше о Cargo и crates.io

До сих пор мы использовали только самые основные возможности Cargo для сборки, запуска и тестирования нашего кода, но он может гораздо больше. В этой главе мы обсудим некоторые другие, более продвинутые возможности, чтобы показать вам, как делать следующее:

- Настройка сборки с помощью релизных профилей
- Публикация библиотеки на [crates.io](#)
- Управление крупными проектами с помощью рабочих пространств
- Установка бинарных файлов с [crates.io](#)
- Расширение возможностей Cargo с помощью возможности добавления собственных команд

Cargo может делать значительно больше того, что мы рассмотрим в этой главе, полное описание всех его функций см. в [документации](#).

Настройка сборок с профилями релизов

В Rust *профили выпуска* — это предопределённые и настраиваемые профили с различными конфигурациями, которые позволяют программисту лучше контролировать различные параметры компиляции кода. Каждый профиль настраивается независимо от других.

Cargo имеет два основных профиля: профиль `dev`, используемый Cargo при запуске `cargo build`, и профиль `release`, используемый Cargo при запуске `cargo build --release`. Профиль `dev` определён со значениями по умолчанию для разработки, а профиль `release` имеет значения по умолчанию для сборок в релиз.

Эти имена профилей могут быть знакомы по результатам ваших сборок:

```
$ cargo build
    Finished dev [unoptimized + debuginfo] target(s) in 0.0s
$ cargo build --release
    Finished release [optimized] target(s) in 0.0s
```

`dev` и `release` — это разные профили, используемые компилятором.

Cargo содержит настройки по умолчанию для каждого профиля, которые применяются, если вы явно не указали секции `[profile.*]` в файле проекта `Cargo.toml`. Добавляя секции `[profile.*]` для любого профиля, который вы хотите настроить, вы переопределяете любое подмножество параметров по умолчанию. Например, вот значения по умолчанию для параметра `opt-level` для профилей `dev` и `release`:

Файл: `Cargo.toml`

```
[profile.dev]
opt-level = 0

[profile.release]
opt-level = 3
```

Параметр `opt-level` управляет количеством оптимизаций, которые Rust будет применять к вашему коду, в диапазоне от 0 до 3. Использование большего количества оптимизаций увеличивает время компиляции, поэтому если вы находитесь в процессе разработки и часто компилируете свой код, целесообразно использовать меньшее количество оптимизаций, чтобы компиляция происходила быстрее, даже если в результате код будет работать медленнее. Поэтому `opt-level` по умолчанию для `dev` установлен в `0`. Когда вы готовы опубликовать свой код, то лучше потратить больше времени на компиляцию. Вы скомпилируете программу в режиме релиза только один раз, но выполниться она будет многократно, так что использование режима релиза позволяет увеличить скорость выполнения кода за счёт времени компиляции. Вот почему по умолчанию `opt-level` для профиля `release` равен `3`.

Вы можете переопределить настройки по умолчанию, добавив другое значение для них в *Cargo.toml*. Например, если мы хотим использовать уровень оптимизации 1 в профиле разработки, мы можем добавить эти две строки в файл *Cargo.toml* нашего проекта:

Файл: *Cargo.toml*

```
[profile.dev]
opt-level = 1
```

Этот код переопределяет настройку по умолчанию `0`. Теперь, когда мы запустим `cargo build`, Cargo будет использовать значения по умолчанию для профиля `dev` плюс нашу настройку для `opt-level`. Поскольку мы установили для `opt-level` значение `1`, Cargo будет применять больше оптимизаций, чем было задано по умолчанию, но не так много, как при сборке релиза.

Полный список параметров конфигурации и значений по умолчанию для каждого профиля вы можете найти в [документации Cargo](#).

Публикация библиотеки в Crates.io

Мы использовали пакеты из [crates.io](#) в качестве зависимостей нашего проекта, но вы также можете поделиться своим кодом с другими людьми, опубликовав свои собственные пакеты. Реестр библиотек по адресу [crates.io](#) распространяет исходный код ваших пакетов, поэтому он в основном размещает код с открытым исходным кодом.

В Rust и Cargo есть функции, которые облегчают поиск и использование опубликованного пакета. Далее мы поговорим о некоторых из этих функций, а затем объясним, как опубликовать пакет.

Создание полезных комментариев к документации

Аккуратное документирование ваших пакетов поможет другим пользователям знать, как и когда их использовать, поэтому стоит потратить время на написание документации. В главе 3 мы обсуждали, как комментировать код Rust, используя две косые черты, `//`. В Rust также есть особый вид комментариев к документации, который обычно называется *комментарием к документации*, который генерирует документацию HTML. HTML-код отображает содержимое комментариев к документации для публичных элементов API, предназначенных для программистов, заинтересованных в знании того, как *использовать* вашу библиотеку, в отличие от того, как она *реализована*.

Комментарии к документации используют три слеша, `///` вместо двух и поддерживают нотацию Markdown для форматирования текста. Размещайте комментарии к документации непосредственно перед элементом, который они документируют. В листинге 14-1 показаны комментарии к документации для функции `add_one` в библиотеке с именем `my_crate`:

Файл: `src/lib.rs`

```
/// Adds one to the number given.  
///  
/// # Examples  
///  
/// let arg = 5;  
/// let answer = my_crate::add_one(arg);  
///  
/// assert_eq!(6, answer);  
///  
pub fn add_one(x: i32) -> i32 {  
    x + 1  
}
```

Листинг 14-1: Комментарий к документации для функции

Здесь мы даём описание того, что делает функция `add_one`, начинаем раздел с заголовка `Examples`, а затем предоставляем код, который демонстрирует, как использовать функцию `add_one`. Мы можем сгенерировать документацию HTML из этого комментария к документации, запустив `cargo doc`. Эта команда запускает инструмент `rustdoc`, поставляемый с Rust, и помещает сгенерированную HTML-документацию в каталог `target/doc`.

Для удобства, запустив `cargo doc --open`, мы создадим HTML для документации вашей текущей библиотеки (а также документацию для всех зависимостей вашей библиотеки) и откроем результат в веб-браузере. Перейдите к функции `add_one` и вы увидите, как отображается текст в комментариях к документации, что показано на рисунке 14-1:

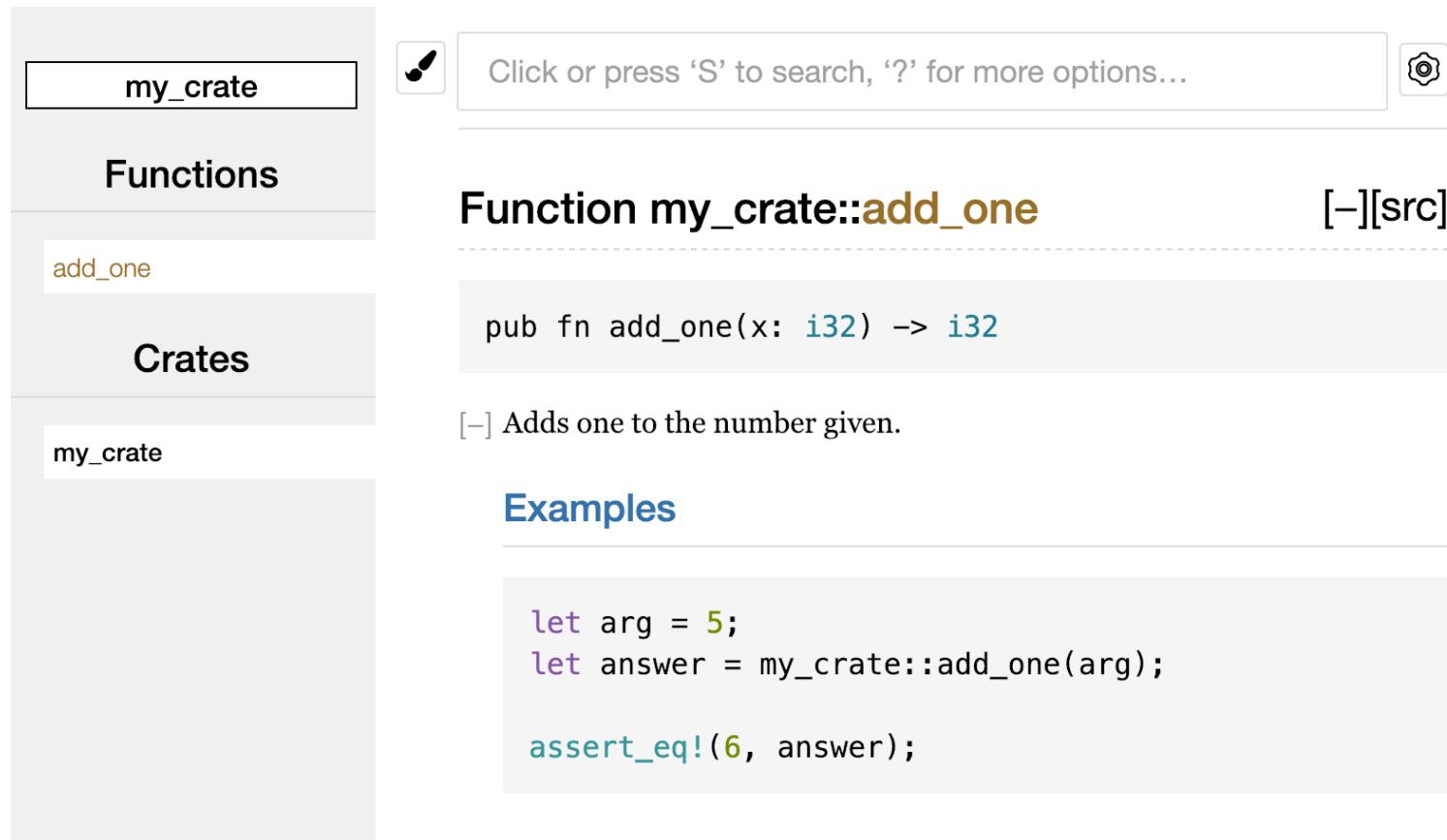


Рисунок 14-1: HTML документация для функции `add_one`

Часто используемые разделы

Мы использовали Markdown заголовок `# Examples` в листинге 14-1 для создания раздела в HTML с заголовком "Examples". Вот некоторые другие разделы, которые авторы библиотек обычно используют в своей документации:

- **Panics:** Сценарии, в которых документированная функция может вызывать панику. Вызывающие функции, которые не хотят, чтобы их программы паниковали, должны убедиться, что они не вызывают функцию в этих ситуациях.
- **Ошибки:** Если функция возвращает `Result`, описание типов ошибок, которые могут произойти и какие условия могут привести к тому, что эти ошибки могут быть возвращены, может быть полезным для вызывающих, так что они могут написать код для обработки различных типов ошибок разными способами.

- **Безопасность:** Если функция является `unsafe` для вызова (мы обсуждаем безопасность в главе 19), должен быть раздел, объясняющий, почему функция небезопасна и охватывающий инварианты, которые функция ожидает от вызывающих сторон.

В подавляющем большинстве случаев комментарии к документации не нуждаются во всех этих разделах, но это хорошая подсказка, напоминающая вам о тех аспектах вашего кода, о которых пользователям будет интересно узнать.

Комментарии к документации как тесты

Добавление примеров кода в комментарии к документации может помочь продемонстрировать, как использовать вашу библиотеку, и это даёт дополнительный бонус: запуск `cargo test` запустит примеры кода в вашей документации как тесты! Нет ничего лучше, чем документация с примерами. Но нет ничего хуже, чем примеры, которые не работают, потому что код изменился с момента написания документации. Если мы запустим `cargo test` с документацией для функции `add_one` из листинга 14-1, мы увидим раздел результатов теста, подобный этому:

```
Doc-tests my_crate

running 1 test
test src/lib.rs - add_one (line 5) ... ok

test result: ok. 1 passed; 0 failed; 0 ignored; 0 measured; 0 filtered out; finished in
0.27s
```

Теперь, если мы изменим либо функцию, либо пример, так что `assert_eq!` в примере паникует, и снова запустим `cargo test`, мы увидим, что тесты документации обнаруживают, что пример и код не синхронизированы друг с другом!

Комментирование содержащихся элементов

Стиль комментариев к документам `//!` добавляет документацию к элементу, содержащему комментарии, а не к элементам, следующим за комментариями. Обычно мы используем эти комментарии внутри корневого файла крейта (по соглашению `src/lib.rs`) или внутри модуля для документирования крейта или модуля в целом.

Например, чтобы добавить документацию, описывающую назначение `my_crate`, содержащего функцию `add_one`, мы добавляем комментарии к документации, начинающиеся с `//!` в начале файла `src/lib.rs`, как показано в листинге 14-2:

Файл: `src/lib.rs`

```
///! # My Crate
///
///! `my_crate` is a collection of utilities to make performing certain
///! calculations more convenient.

/// Adds one to the number given.
// --snip--
```

Листинг 14-2: Документация для крейта `my_crate` в целом

Обратите внимание, что после последней строки, начинающейся с `///!`, нет никакого кода. Поскольку мы начали комментарии с `///!` вместо `///`, мы документируем элемент, который содержит этот комментарий, а не элемент, который следует за этим комментарием. В данном случае таким элементом является файл `src/lib.rs`, который является корнем crate. Эти комментарии описывают весь крейт.

Когда мы запускаем `cargo doc --open`, эти комментарии будут отображаться на первой странице документации для `my_crate` над списком публичных элементов в библиотеке, как показано на рисунке 14-2:

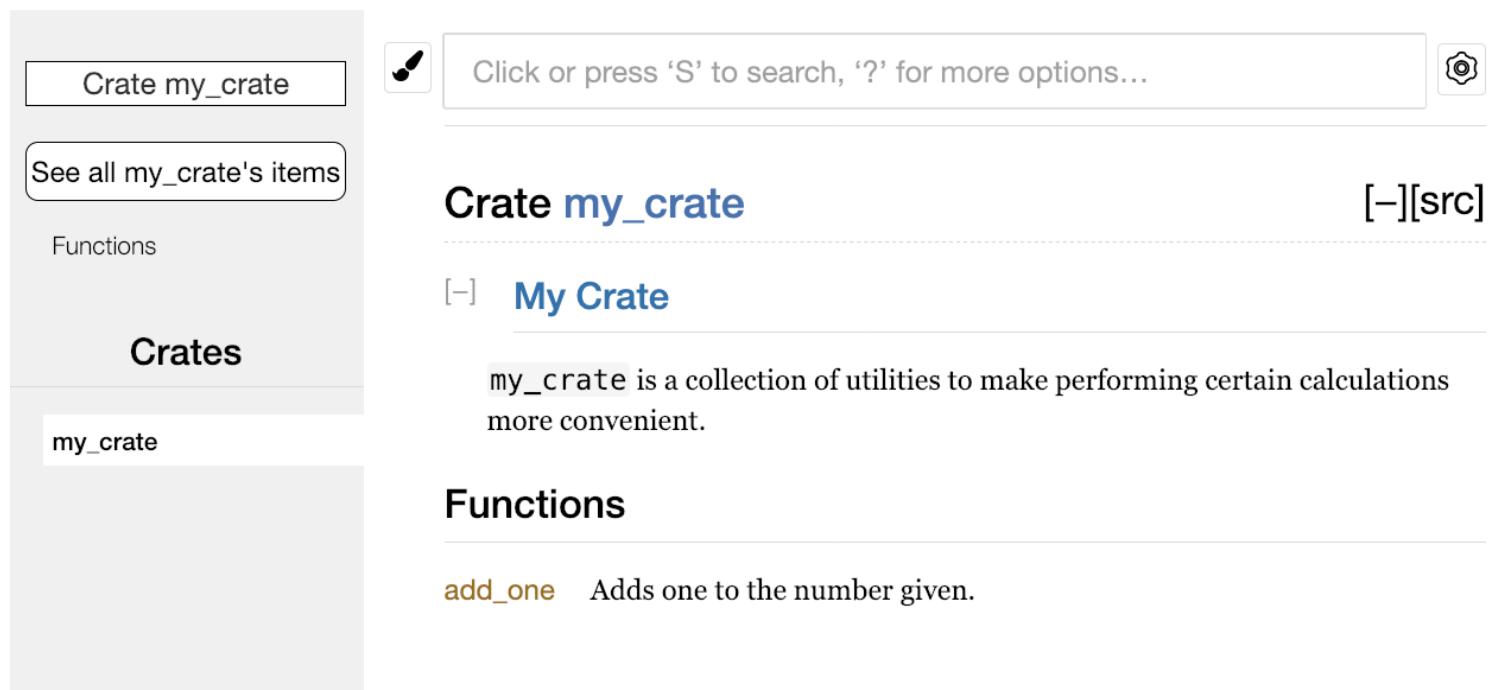


Рисунок 14-2: Предоставленная документация для `my_crate`, включая комментарий, описывающий крейт в целом

Комментарии к документации внутри элементов полезны для описания крейтов и модулей особенно. Используйте их, чтобы объяснить общую цель контейнера, чтобы помочь вашим пользователям понять организацию крейта.

Экспорт удобного общедоступного API с `pub use`

Структура вашего публичного API является основным фактором при публикации крейта. Люди, которые используют вашу библиотеку, менее знакомы со структурой, чем вы и могут столкнуться с трудностями при поиске частей, которые они хотят использовать, если ваша библиотека имеет большую иерархию модулей.

В главе 7 мы рассмотрели, как сделать элементы общедоступными с помощью ключевого слова `pub` и ввести элементы в область видимости с помощью ключевого слова `use`. Однако структура, которая имеет смысл для вас при разработке крейта, может быть не очень удобной для пользователей. Вы можете организовать структуру в виде иерархии с несколькими уровнями, но тогда люди, желающие использовать тип, который вы определили в глубине иерархии, могут столкнуться с проблемой его поиска. Их также может раздражать необходимость вводить `use my_crate::some_module::another_module::UsefulType;` вместо `use my_crate::UsefulType;`.

Хорошой новостью является то, что если структура *не* удобна для использования другими из другой библиотеки, вам не нужно перестраивать внутреннюю организацию: вместо этого вы можете реэкспортировать элементы, чтобы сделать публичную структуру, отличную от вашей внутренней структуры, используя `pub use`. Реэкспорт берет открытый элемент в одном месте и делает его публичным в другом месте, как если бы он был определён в другом месте.

Например, скажем, мы создали библиотеку с именем `art` для моделирования художественных концепций. Внутри этой библиотеки есть два модуля: модуль `kinds` содержащий два перечисления с именами `PrimaryColor` и `SecondaryColor` и модуль `utils`, содержащий функцию с именем `mix`, как показано в листинге 14-3:

Файл: src/lib.rs

```
///! # Art
///!
///! A library for modeling artistic concepts.

pub mod kinds {
    /// The primary colors according to the RYB color model.
    pub enum PrimaryColor {
        Red,
        Yellow,
        Blue,
    }

    /// The secondary colors according to the RYB color model.
    pub enum SecondaryColor {
        Orange,
        Green,
        Purple,
    }
}

pub mod utils {
    use crate::kinds::*;

    /// Combines two primary colors in equal amounts to create
    /// a secondary color.
    pub fn mix(c1: PrimaryColor, c2: PrimaryColor) -> SecondaryColor {
        // --snip--
    }
}
```

Листинг 14-3: Библиотека `art` с элементами, организованными в модули `kinds` и `utils`

На рисунке 14-3 показано, как будет выглядеть титульная страница документации для этого крейта, сгенерированный `cargo doc`:

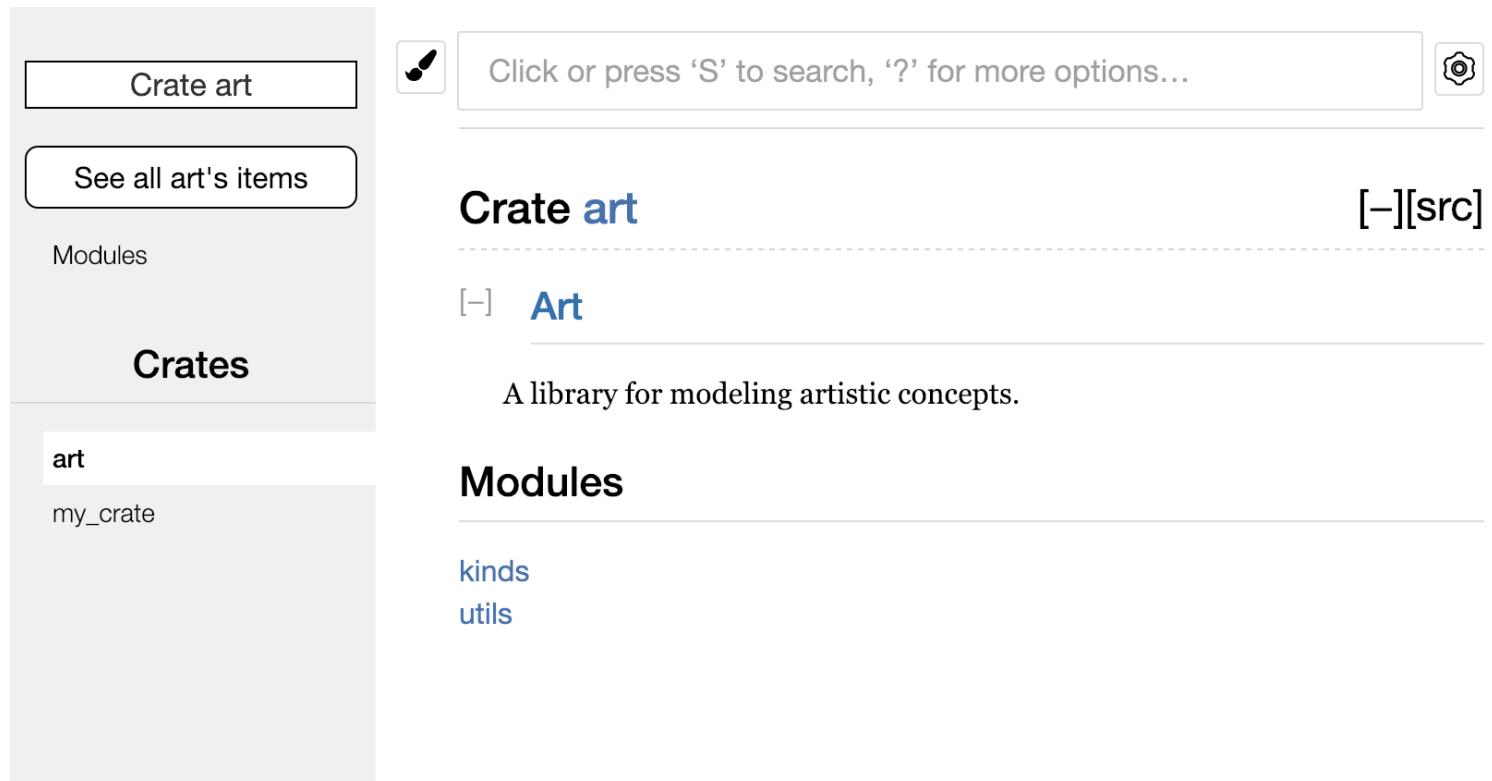


Рисунок 14-3: Первая страница документации для `art`, в которой перечислены модули `kinds` и `utils`.

Обратите внимание, что типы `PrimaryColor` и `SecondaryColor` не указаны на главной странице, равно как и функция `mix`. Мы должны нажать `kinds` и `utils`, чтобы увидеть их.

В другой библиотеке, которая зависит от этой библиотеки, потребуются операторы `use`, которые подключают элементы из `art` в область видимости, определяя структуру модуля, которая определена в данный момент. В листинге 14-4 показан пример крейта, в котором используются элементы `PrimaryColor` и `mix` из крейта `art`:

Файл: `src/main.rs`

```
use art::kinds::PrimaryColor;
use art::utils::mix;

fn main() {
    let red = PrimaryColor::Red;
    let yellow = PrimaryColor::Yellow;
    mix(red, yellow);
}
```

Листинг 14-4: Крейт использующий элементы из крейта `art` с экспортованной внутренней структурой

Автору кода в листинге 14-4, который использует крейт `art`, пришлось выяснить, что `PrimaryColor` находится в модуле `kinds`, а `mix` - в модуле `utils`. Структура модуля `art` крейта больше подходит для разработчиков, работающих над `art` крейтом, чем для тех, кто его использует. Внутренняя структура не содержит никакой полезной информации для того, кто пытается понять, как использовать крейт `art`, а скорее вызывает путаницу, поскольку

разработчики, использующие его, должны понять, где искать, и должны указывать имена модулей в выражениях `use`.

Чтобы удалить внутреннюю организацию из общедоступного API, мы можем изменить код крейта `art` в листинге 14-3, чтобы добавить операторы `pub use` для повторного реэкспорта элементов на верхнем уровне, как показано в листинге 14-5:

Файл: `src/lib.rs`

```
///! # Art
///!
///! A library for modeling artistic concepts.

pub use self::kinds::PrimaryColor;
pub use self::kinds::SecondaryColor;
pub use self::utils::mix;

pub mod kinds {
    // --snip--
}

pub mod utils {
    // --snip--
}
```

Листинг 14-5: Добавление операторов `pub use` для реэкспорта элементов

Документация API, которую `cargo doc` генерирует для этой библиотеки, теперь будет перечислять и связывать реэкспорты на главной странице, как показано на рисунке 14-4, упрощая поиск типов `PrimaryColor`, `SecondaryColor` и функции `mix`.

Crate art

See all art's items

Re-exports

Modules

Crates

art

my_crate

Click or press 'S' to search, '?' for more options...



Crate art

[–][src]

[–] Art

A library for modeling artistic concepts.

Re-exports

```
pub use self::kinds::PrimaryColor;
pub use self::kinds::SecondaryColor;
pub use self::utils::mix;
```

Modules

kinds

utils

Рисунок 14-4: Первая страница документации для `art`, которая перечисляет реэкспорт

Пользователи крейта `art` могут по-прежнему видеть и использовать внутреннюю структуру из листинга 14-3, как показано в листинге 14-4, или они могут использовать более удобную структуру в листинге 14-5, как показано в листинге 14-6:

Файл: src/main.rs

```
use art::mix;
use art::PrimaryColor;

fn main() {
    // --snip--
}
```

Листинг 14-6: Программа, использующая реэкспортированные элементы из крейта `art`

В случаях, когда имеется много вложенных модулей, реэкспорт типов на верхнем уровне с помощью `pub use` может существенно повысить удобство работы для людей, использующих крейт. Ещё одно распространённое использование `pub use` - это реэкспорт определений зависимого модуля в текущем крейте, чтобы сделать определения этого крейта частью публичного API вашего крейта.

Создание полезной публичной структуры API - это больше искусство чем наука, и вы можете повторять, чтобы найти API, который лучше всего подойдёт вашим пользователям.

Использование `pub use` даёт вам гибкость в том, как вы структурируете свою библиотеку внутри и отделяете эту внутреннюю структуру от того, что вы предоставляете пользователям. Посмотрите на код некоторых установленных крейтов, чтобы увидеть отличается ли их внутренняя структура от их публичного API.

Настройка учётной записи [Crates.io](#)

Прежде чем вы сможете опубликовать любые библиотеки, вам необходимо создать учётную запись на [crates.io](#) и получить API токен. Для этого зайдите на домашнюю страницу [crates.io](#) и войдите в систему через учётную запись GitHub. (В настоящее время требуется наличие учётной записи GitHub, но сайт может поддерживать другие способы создания учётной записи в будущем.) Сразу после входа в систему перейдите в настройки своей учётной записи по адресу <https://crates.io/me/> и получите свой ключ API. Затем выполните команду `cargo login` с вашим ключом API, например:

```
$ cargo login abcdefghijklmnopqrstuvwxyz012345
```

Эта команда сообщит Cargo о вашем API token и сохранит его локально в `~/.cargo/credentials`. Обратите внимание, что этот токен является *секретным*: не делитесь им ни с кем другим. Если вы по какой-либо причине поделитесь им с кем-либо, вы должны отозвать его и сгенерировать новый токен на [crates.io](#).

Добавление метаданных в новую библиотеку

Допустим, у вас есть крейт, который вы хотите опубликовать. Перед публикацией вам нужно добавить некоторые метаданные в раздел `[package]` файла `Cargo.toml` крейта.

Вашему крейту понадобится уникальное имя. Пока вы работаете над крейтом локально, вы можете назвать его как угодно. Однако названия крейтов на [crates.io](#) фиксируются в момент первой публикации. Как только крейту присвоено название, никто другой не сможет опубликовать крейт с таким же именем. Перед тем как опубликовать крейт, поищите название, которое вы хотите использовать. Если такое имя уже используется, вам придётся подобрать другое и отредактировать поле `name` в файле `Cargo.toml` в разделе `[package]`, чтобы использовать новое имя в качестве публикуемого, например, так:

Файл: `Cargo.toml`

```
[package]
name = "guessing_game"
```

Даже если вы выбрали уникальное имя, когда вы запустите `cargo publish` чтобы опубликовать крейт, вы получите предупреждение, а затем ошибку:

```
$ cargo publish
    Updating crates.io index
warning: manifest has no description, license, license-file, documentation, homepage or
repository.
See https://doc.rust-lang.org/cargo/reference/manifest.html#package-metadata for more
info.
--snip--
error: failed to publish to registry at https://crates.io

Caused by:
the remote server responded with an error: missing or empty metadata fields:
description, license. Please see https://doc.rust-lang.org/cargo/reference/manifest.html for how to upload metadata
```

Это ошибка, потому что вам не хватает важной информации: необходимы описание и лицензия, чтобы люди знали, что делает ваш крейт и на каких условиях они могут его использовать. В поле *Cargo.toml* добавьте описание, состоящее из одного-двух предложений, поскольку оно будет появляться вместе с вашим крейтом в результатах поиска. Для поля **license** нужно указать значение *идентификатора лицензии*. В [Linux Foundation's Software Package Data Exchange \(SPDX\)](#) перечислены идентификаторы, которые можно использовать для этого значения. Например, чтобы указать, что вы лицензировали свой crate, используя лицензию MIT, добавьте идентификатор **MIT**:

Файл: Cargo.toml

```
[package]
name = "guessing_game"
license = "MIT"
```

Если вы хотите использовать лицензию, которая отсутствует в SPDX, вам нужно поместить текст этой лицензии в файл, включите файл в свой проект, а затем используйте **license-file**, чтобы указать имя этого файла вместо использования ключа **license**.

Руководство по выбору лицензии для вашего проекта выходит за рамки этой книги. Многие люди в сообществе Rust лицензируют свои проекты так же, как и Rust, используя двойную лицензию **MIT OR Apache 2.0**. Эта практика демонстрирует, что вы также можете указать несколько идентификаторов лицензий, разделённых **OR**, чтобы иметь несколько лицензий для вашего проекта.

С добавлением уникального имени, версии, вашего описания и лицензии, файл *Cargo.toml* для проекта, который готов к публикации может выглядеть следующим образом:

Файл: Cargo.toml

```
[package]
name = "guessing_game"
version = "0.1.0"
edition = "2021"
description = "A fun game where you guess what number the computer has chosen."
license = "MIT OR Apache-2.0"

[dependencies]
```

Документация [Cargo](#) описывает другие метаданные, которые вы можете указать, чтобы другие могли легче находить и использовать ваш крейт.

Публикация на [Crates.io](#)

Теперь, когда вы создали учётную запись, сохранили свой токен API, выбрали имя для своего крейта и указали необходимые метаданные, вы готовы к публикации! Публикация библиотеки загружает определённую версию в [crates.io](#) для использования другими.

Будьте осторожны, потому что публикация является *перманентной* операцией. Версия никогда не сможет быть перезаписана, а код не подлежит удалению. Одна из основных целей [crates.io](#) - служить постоянным архивом кода, чтобы сборки всех проектов, зависящих от crates из [crates.io](#) продолжали работать. Предоставление возможности удаления версий сделало бы выполнение этой цели невозможным. При этом количество версий крейтов, которые вы можете опубликовать, не ограничено.

Запустите команду `cargo publish` ещё раз. Сейчас эта команда должна выполниться успешно:

```
$ cargo publish
  Updating crates.io index
  Packaging guessing_game v0.1.0 (file:///projects/guessing_game)
  Verifying guessing_game v0.1.0 (file:///projects/guessing_game)
  Compiling guessing_game v0.1.0
  (file:///projects/guessing_game/target/package/guessing_game-0.1.0)
    Finished dev [unoptimized + debuginfo] target(s) in 0.19s
  Uploading guessing_game v0.1.0 (file:///projects/guessing_game)
```

Поздравляем! Теперь вы поделились своим кодом с сообществом Rust и любой может легко добавить вашу библиотеку в качестве зависимости их проекта.

Публикация новой версии существующей библиотеки

Когда вы внесли изменения в свой крейт и готовы выпустить новую версию, измените значение `version`, указанное в вашем файле `Cargo.toml` и повторите публикацию.

Воспользуйтесь [Semantic Versioning rules](#), чтобы решить, какой номер следующей версии подходит для ваших изменений. Затем запустите `cargo publish`, чтобы загрузить новую версию.

Устранение устаревших версий с [Crates.io](#) с помощью `cargo yank`

Хотя вы не можете удалить предыдущие версии крейта, вы можете помешать любым будущим проектам добавлять его в качестве новой зависимости. Это полезно, когда версия крейта сломана по той или иной причине. В таких ситуациях Cargo поддерживает *выламывание* (*yanking*) версии крейта.

Вычёркивание версии не позволяет новым проектам зависеть от этой версии, но при этом позволяет всем существующим проектам, зависящим от неё, продолжать работу. По сути, исключение означает, что все проекты с *Cargo.lock* не сломаются, а любые файлы *Cargo.lock*, которые будут генерироваться в будущем, не смогут использовать исключённую версию.

Чтобы вычеркнуть версию крейта, в директории крейта, который вы опубликовали ранее, выполните команду `cargo yank` и укажите, какую версию вы хотите вычеркнуть. Например, если мы опубликовали крейт под названием `guessing_game` версии 1.0.1 и хотим вычеркнуть её, в каталоге проекта для `guessing_game` мы выполним:

```
$ cargo yank --vers 1.0.1
  Updating crates.io index
    Yank guessing_game@1.0.1
```

Добавив в команду `--undo`, вы также можете отменить выламывание и разрешить проектам начать зависеть от версии снова:

```
$ cargo yank --vers 1.0.1 --undo
  Updating crates.io index
    Unyank guessing_game@1.0.1
```

Вычёркивание *не удаляет* код. Оно не может, например, удалить случайно загруженные пароли. Если это произойдёт, вы должны немедленно сбросить эти пароли.

Рабочие пространства Cargo

В главе 12 мы создали пакет, который включал в себя бинарный и библиотечный крейты. По мере развития вашего проекта может возникнуть ситуация, когда библиотечный крейт будет становиться все больше, и вы захотите разделить ваш пакет на несколько библиотечных крейтов. Cargo предоставляет функциональность под названием *workspaces*, которая помогает управлять несколькими взаимосвязанными пакетами, которые разрабатываются в тандеме.

Создание рабочего пространства

Workspace - это набор пакетов, которые используют один и тот же *Cargo.lock* и директорию для хранения результатов компиляции. Давайте создадим проект с использованием *workspace* - мы будем использовать тривиальный код, чтобы сосредоточиться на структуре рабочего пространства. Существует несколько способов структурировать рабочую область, но мы покажем только один из них. У нас будет рабочая область, содержащая двоичный файл и две библиотеки. Двоичный файл, который обеспечивает основную функциональность, будет зависеть от двух библиотек. Одна библиотека предоставит функцию `add_one`, а вторая - `add_two`. Эти три крейта будут частью одного *workspace*. Начнём с создания каталога для рабочего окружения:

```
$ mkdir add  
$ cd add
```

Далее в каталоге *add* мы создадим файл *Cargo.toml*, который будет определять конфигурацию всего рабочего окружения. В этом файле не будет секции `[package]`. Вместо этого он будет начинаться с секции `[workspace]`, которая позволит нам добавить модули в рабочее пространство, указав путь к пакету с нашим бинарным крейтом; в данном случае этот путь - *adder*:

Файл: *Cargo.toml*

```
[workspace]  
  
members = [  
    "adder",  
]
```

Затем мы создадим исполняемый крейт `adder`, запустив команду `cargo new` в каталоге *add*:

```
$ cargo new adder  
Created binary (application) `adder` package
```

На этом этапе мы можем создать рабочее пространство, запустив команду `cargo build`. Файлы в каталоге *add* должны выглядеть следующим образом:

```
└── Cargo.lock
└── Cargo.toml
└── adder
    └── Cargo.toml
        └── src
            └── main.rs
└── target
```

Рабочая область содержит на верхнем уровне один каталог *target*, в который будут помещены скомпилированные артефакты; пакет `adder` не имеет собственного каталога *target*. Даже если мы запустим `cargo build` из каталога *adder*, скомпилированные артефакты все равно окажутся в *add/target*, а не в *add/adder/target*. Cargo так определил директорию *target* в рабочем пространстве, потому что крейты в рабочем пространстве должны зависеть друг от друга. Если бы каждый крейт имел свой собственный каталог *target*, каждому крейту пришлось бы перекомпилировать каждый из других крейтов в рабочем пространстве, чтобы поместить артефакты в свой собственный каталог *target*. Благодаря совместному использованию единого каталога *target* крейты могут избежать ненужной перекомпиляции.

Добавление второго крейта в рабочее пространство

Далее давайте создадим ещё одного участника пакета в рабочей области и назовём его `add_one`. Внесите изменения в *Cargo.toml* верхнего уровня так, чтобы указать путь *add_one* в списке `members`:

Файл: *Cargo.toml*

```
[workspace]

members = [
    "adder",
    "add_one",
]
```

Затем сгенерируйте новый крейт библиотеки с именем `add_one`:

```
$ cargo new add_one --lib
Created library `add_one` package
```

Ваш каталог *add* должен теперь иметь следующие каталоги и файлы:

```
└── Cargo.lock
└── Cargo.toml
└── add_one
    └── Cargo.toml
        └── src
            └── lib.rs
└── adder
    └── Cargo.toml
        └── src
            └── main.rs
└── target
```

В файле `add_one/src/lib.rs` добавим функцию `add_one`:

Файл: `add_one/src/lib.rs`

```
pub fn add_one(x: i32) -> i32 {  
    x + 1  
}
```

Теперь мы можем сделать так, чтобы пакет `adder` с нашим исполняемым файлом зависел от пакета `add_one`, содержащего нашу библиотеку. Сначала нам нужно добавить зависимость пути от `add_one` в `adder/Cargo.toml`.

Файл: `adder/Cargo.toml`

```
[dependencies]  
add_one = { path = "../add_one" }
```

Cargo не исходит из того, что крейты в рабочем пространстве могут зависеть друг от друга, поэтому нам необходимо явно указать отношения зависимости.

Далее, давайте используем функцию `add_one` (из крейта `add_one`) в крейте `adder`. Откройте файл `adder/src/main.rs` и добавьте строку `use` в верхней части, чтобы ввести в область видимости новый библиотечный крейт `add_one`. Затем измените функцию `main` для вызова функции `add_one`, как показано в листинге 14-7.

Файл: `adder/src/main.rs`

```
use add_one;  
  
fn main() {  
    let num = 10;  
    println!("Hello, world! {} plus one is {}!", add_one::add_one(num));  
}
```

Листинг 14-7: Использование функционала библиотечного крейта `add-one` в крейте `adder`

Давайте соберём рабочее пространство, запустив команду `cargo build` в каталоге верхнего уровня `add!`

```
$ cargo build  
Compiling add_one v0.1.0 (file:///projects/add/add_one)  
Compiling adder v0.1.0 (file:///projects/add/adder)  
Finished dev [unoptimized + debuginfo] target(s) in 0.68s
```

Чтобы запустить бинарный крейт из каталога `add`, нам нужно указать какой пакет из рабочей области мы хотим использовать с помощью аргумента `-p` и названия пакета в команде `cargo run`:

```
$ cargo run -p adder
   Finished dev [unoptimized + debuginfo] target(s) in 0.0s
     Running `target/debug/adder`
Hello, world! 10 plus one is 11!
```

Запуск кода из `adder/src/main.rs`, который зависит от `add_one`.

Зависимость от внешних крейтов в рабочем пространстве

Обратите внимание, что рабочая область имеет один единственный файл `Cargo.lock` на верхнем уровне, а не содержит `Cargo.lock` в каталоге каждого крейта. Это гарантирует, что все крейты используют одну и ту же версию всех зависимостей. Если мы добавим пакет `rand` в файлы `adder/Cargo.toml` и `add_one/Cargo.toml`, Cargo сведёт их оба к одной версии `rand` и запишет её в один `Cargo.lock`. Если заставить все крейты в рабочей области использовать одни и те же зависимости, то это будет означать, что крейты всегда будут совместимы друг с другом. Давайте добавим крейт `rand` в раздел `[dependencies]` в файле `add_one/Cargo.toml`, чтобы мы могли использовать крейт `rand` в крейте `add_one`:

Файл: `add_one/Cargo.toml`

```
[dependencies]
rand = "0.8.5"
```

Теперь мы можем добавить `use rand;` в файл `add_one/src/lib.rs` и сделать сборку рабочего пространства, запустив `cargo build` в каталоге `add`, что загрузит и скомпилирует `rand` крейт:

```
$ cargo build
  Updating crates.io index
Downloaded rand v0.8.5
--snip--
Compiling rand v0.8.5
Compiling add_one v0.1.0 (file:///projects/add/add_one)
warning: unused import: `rand`
--> add_one/src/lib.rs:1:5
  |
1 | use rand;
  | ^^^^^
  |
= note: `#[warn(unused_imports)]` on by default

warning: `add_one` (lib) generated 1 warning
Compiling adder v0.1.0 (file:///projects/add/adder)
  Finished dev [unoptimized + debuginfo] target(s) in 10.18s
```

Файл `Cargo.lock` верхнего уровня теперь содержит информацию о зависимости `add_one` к крейту `rand`. Тем не менее, несмотря на то что `rand` использован где-то в рабочем пространстве, мы не можем использовать его в других крейтах рабочего пространства, пока не добавим крейт `rand` в отдельные `Cargo.toml` файлы. Например, если мы добавим `use rand;` в файл `adder/src/main.rs` крейта `adder`, то получим ошибку:

```
$ cargo build
--snip--
Compiling adder v0.1.0 (file:///projects/add/adder)
error[E0432]: unresolved import `rand`
--> adder/src/main.rs:2:5
  |
2 | use rand;
  |     ^^^^ no external crate `rand`
```

Чтобы исправить это, отредактируйте файл `Cargo.toml` для пакета `adder` и укажите, что `rand` также является его зависимостью. При сборке пакета `adder` `rand` будет добавлен в список зависимостей для `adder` в `Cargo.lock`, но никаких дополнительных копий `rand` загружено не будет. Cargo позаботился о том, чтобы все крейты во всех пакетах рабочей области, использующих пакет `rand`, использовали одну и ту же версию, экономя нам место и гарантируя, что все крейты в рабочей области будут совместимы друг с другом.

Добавление теста в рабочее пространство

В качестве ещё одного улучшения давайте добавим тест функции `add_one::add_one` в `add_one`:

Файл: `add_one/src/lib.rs`

```
pub fn add_one(x: i32) -> i32 {
    x + 1
}

#[cfg(test)]
mod tests {
    use super::*;

    #[test]
    fn it_works() {
        assert_eq!(3, add_one(2));
    }
}
```

Теперь запустите `cargo test` в каталоге верхнего уровня `add`. Запуск `cargo test` в рабочем пространстве, структурированном подобно этому, запустит тесты для всех крейтов в рабочем пространстве:

```
$ cargo test
Compiling add_one v0.1.0 (file:///projects/add/add_one)
Compiling adder v0.1.0 (file:///projects/add/adder)
Finished test [unoptimized + debuginfo] target(s) in 0.27s
Running unittests src/lib.rs (target/debug/deps/add_one-f0253159197f7841)

running 1 test
test tests::it_works ... ok

test result: ok. 1 passed; 0 failed; 0 ignored; 0 measured; 0 filtered out; finished in
0.00s

    Running unittests src/main.rs (target/debug/deps/adder-49979ff40686fa8e)

running 0 tests

test result: ok. 0 passed; 0 failed; 0 ignored; 0 measured; 0 filtered out; finished in
0.00s

Doc-tests add_one

running 0 tests

test result: ok. 0 passed; 0 failed; 0 ignored; 0 measured; 0 filtered out; finished in
0.00s
```

Первая секция вывода показывает, что тест `it_works` в крейте `add_one` прошёл. Следующая секция показывает, что в крейте `adder` не было обнаружено ни одного теста, а последняя секция показывает, что в крейте `add_one` не было найдено ни одного теста документации.

Мы также можем запустить тесты для одного конкретного крейта в рабочем пространстве из каталог верхнего уровня с помощью флага `-p` и указанием имени крейта для которого мы хотим запустить тесты:

```
$ cargo test -p add_one
Finished test [unoptimized + debuginfo] target(s) in 0.00s
    Running unittests src/lib.rs (target/debug/deps/add_one-b3235fea9a156f74)

running 1 test
test tests::it_works ... ok

test result: ok. 1 passed; 0 failed; 0 ignored; 0 measured; 0 filtered out; finished in
0.00s

Doc-tests add_one

running 0 tests

test result: ok. 0 passed; 0 failed; 0 ignored; 0 measured; 0 filtered out; finished in
0.00s
```

Эти выходные данные показывают, что выполнение `cargo test` запускает только тесты для крейта `add-one` и не запускает тесты крейта `adder`.

Если вы сберётеесь опубликовать крейты из рабочего пространства на [crates.io](#), каждый крейт будет необходимо будет опубликовать отдельно. Подобно `cargo test`, мы можем

опубликовать конкретный крейт из нашей рабочей области, используя флаг `-p` и указав имя крейта, который мы хотим опубликовать.

Для дополнительной практики добавьте крейт `add_two` в данное рабочее пространство аналогичным способом, как делали с крейт `add_one` !

По мере роста проекта рассмотрите возможность использования рабочих областей: легче понять небольшие, отдельные компоненты, чем один большой кусок кода. Кроме того, хранение крейтов в рабочем пространстве может облегчить координацию между крейтами, если они часто изменяются параллельно.

Установка двоичных файлов с помощью `cargo install`

Команда `cargo install` позволяет локально устанавливать и использовать исполняемые крейты. Она не предназначена для замены системных пакетов; она используется как удобный способ Rust разработчикам устанавливать инструменты, которыми другие разработчики поделились на сайте [crates.io](#). Заметьте, можно устанавливать только пакеты, имеющие исполняемые целевые крейты. *Исполняемой целью* (binary target) является запускаемая программа, созданная и имеющая в составе крейта файл `src/main.rs` или другой файл, указанный как исполняемый, в отличии от библиотечных крейтов, которые не могут запускаться сами по себе, но подходят для включения в другие программы. Обычно крейт содержит информацию в файле `README`, является ли он библиотекой, исполняемым файлом или обоими вместе.

Все исполняемые файлы установленные командой `cargo install` сохранены в корневой установочной папке `bin`. Если вы установили Rust с помощью `rustup.rs` и у вас его нет в пользовательских конфигурациях, то этим каталогом будет `$HOME/.cargo/bin`. Он гарантирует, что каталог находится в вашем окружении `$PATH`, чтобы вы имели возможность запускать программы, которые вы установили командой `cargo install`.

Так, например, в главе 12 мы упоминали, что для поиска файлов существует реализация утилиты `grep` на Rust под названием `ripgrep`. Чтобы установить `ripgrep`, мы можем выполнить следующее:

```
$ cargo install ripgrep
  Updating crates.io index
  Downloaded ripgrep v13.0.0
  Downloaded 1 crate (243.3 KB) in 0.88s
  Installing ripgrep v13.0.0
--snip--
  Compiling ripgrep v13.0.0
  Finished release [optimized + debuginfo] target(s) in 3m 10s
  Installing ~/.cargo/bin/rg
  Installed package `ripgrep v13.0.0` (executable `rg`)
```

Последняя строка вывода показывает местоположение и название установленного исполняемого файла, который в случае `ripgrep` называется `rg`. Если вашей установочной директорией является `$PATH`, как уже упоминалось ранее, вы можете запустить `rg --help` и начать использовать более быстрый и грубый инструмент для поиска файлов!

Расширение Cargo пользовательскими командами

Cargo спроектирован так, что вы можете расширять его новыми субкомандами без необходимости изменения самого Cargo. Если исполняемый файл доступен через переменную окружения `$PATH` и назван по шаблону `cargo-something`, то его можно запускать как субкоманду Cargo `cargo something`. Пользовательские команды подобные этой также перечисляются в списке доступных через `cargo --list`. Возможность использовать `cargo install` для установки расширений и затем запускать их так же, как встроенные в Cargo инструменты, это очень удобное следствие продуманного дизайна Cargo!

Итоги

Совместное использование кода с Cargo и [crates.io](#) является частью того, что делает экосистему Rust полезной для множества различных задач. Стандартная библиотека Rust небольшая и стабильная, но крейты легко распространять, использовать и улучшать независимо от самого языка. Не стесняйтесь делиться кодом, который был вам полезен, через [crates.io](#); скорее всего, он будет полезен и кому-то ещё!

Умные указатели

Указатель — это общая концепция для переменной, которая содержит адрес участка памяти. Этот адрес «относится к», или «указывает на» некоторые другие данные. Наиболее общая разновидность указателя в Rust — это ссылка, о которой вы узнали из главы 4. Ссылки обозначаются символом `&` и заимствуют значение, на которое указывают. Они не имеют каких-либо специальных возможностей, кроме как ссылаться на данные, и не имеют никаких накладных расходов.

Умные указатели, с другой стороны, являются структурами данных, которые не только действуют как указатель, но также имеют дополнительные метаданные и возможности. Концепция умных указателей не уникальна для Rust: умные указатели возникли в C++ и существуют в других языках. В Rust есть разные умные указатели, определённые в стандартной библиотеке, которые обеспечивают функциональность, выходящую за рамки ссылок. Одним из примеров, который мы рассмотрим в этой главе, является тип умного указателя *reference counting* (подсчёт ссылок). Этот указатель позволяет иметь несколько владельцев с помощью отслеживания количества владельцев и, когда владельцев не остается, очищает данные.

Rust с его концепцией владения и заимствования имеет дополнительное различие между ссылками и умными указателями: в то время, как ссылки только заимствуют данные, умные указатели часто *владеют* данными, на которые указывают.

Ранее мы уже сталкивались с умными указателями в этой книге, хотя и не называли их так, например `String` и `Vec<T>` в главе 8. Оба этих типа считаются умными указателями, потому что они владеют некоторой областью памяти и позволяют ею манипулировать. У них также есть метаданные и дополнительные возможности или гарантии. `String`, например, хранит свой размер в виде метаданных и гарантирует, что содержимое строки всегда будет в кодировке UTF-8.

Умные указатели обычно реализуются с помощью структур. Характерной чертой, которая отличает умный указатель от обычной структуры, является то, что для умных указателей реализованы типажи `Deref` и `Drop`. Типаж `Deref` позволяет экземпляру умного указателя вести себя как ссылка, так что вы можете написать код, работающий с ним как со ссылкой, так и как с умным указателем. Типаж `Drop` позволяет написать код, который будет запускаться когда экземпляр умного указателя выйдет из области видимости. В этой главе мы обсудим оба типажа и продемонстрируем, почему они важны для умных указателей.

Учитывая, что паттерн умного указателя является общим паттерном проектирования, часто используемым в Rust, эта глава не описывает все существующие умные указатели. Множество библиотек имеют свои умные указатели, и вы также можете написать свои. Мы охватим наиболее распространённые умные указатели из стандартной библиотеки:

- `Box<T>` для распределения значений в куче (памяти)
- `Rc<T>` тип счётчика ссылок, который допускает множественное владение

- Типы `Ref<T>` и `RefMut<T>`, доступ к которым осуществляется через тип `RefCell<T>`, который обеспечивает правила заимствования во время выполнения вместо времени компиляции

Дополнительно мы рассмотрим паттерн *внутренней изменчивости* (*interior mutability*), где неизменяемый тип предоставляет API для изменения своего внутреннего значения. Мы также обсудим *ссылочные зацикленности* (*reference cycles*): как они могут приводить к утечке памяти и как это предотвратить.

Приступим!

Использование `Box<T>` для ссылки на данные в куче

Наиболее простой умный указатель - это `box`, чей тип записывается как `Box<T>`. Такие переменные позволяют хранить данные в куче, а не в стеке. То, что остаётся в стеке, является указателем на данные в куче. Обратитесь к Главе 4, чтобы рассмотреть разницу между стеком и кучей.

У `Box` нет проблем с производительностью, кроме хранения данных в куче вместо стека. Но он также и не имеет множества дополнительных возможностей. Вы будете использовать его чаще всего в следующих ситуациях:

- Когда у вас есть тип, размер которого невозможно определить во время компиляции, а вы хотите использовать значение этого типа в контексте, требующем точного размера.
- Когда у вас есть большой объем данных и вы хотите передать владение, но при этом быть уверенным, что данные не будут скопированы
- Когда вы хотите получить значение во владение и вас интересует только то, что оно относится к типу, реализующему определённый трейт, а не то, является ли оно значением какого-то конкретного типа

Мы продемонстрируем первую ситуацию в разделе "[Реализация рекурсивных типов с помощью Box](#)". Во втором случае, передача владения на большой объем данных может занять много времени, потому что данные копируются через стек. Для повышения производительности в этой ситуации, мы можем хранить большое количество данных в куче с помощью `Box`. Затем только небольшое количество данных указателя копируется в стеке, в то время как данные, на которые он ссылается, остаются в одном месте кучи. Третий случай известен как *типаж объект* (trait object) и глава 17 посвящает целый раздел "[Использование типаж объектов, которые допускают значения разных типов](#)" только этой теме. Итак, то, что вы узнаете здесь, вы примените снова в Главе 17!

Использование `Box<T>` для хранения данных в куче

Прежде чем мы обсудим этот вариант использования `Box<T>`, мы рассмотрим синтаксис и то, как взаимодействовать со значениями, хранящимися в `Box<T>`.

В листинге 15-1 показано, как использовать поле для хранения значения `i32` в куче:

Файл: `src/main.rs`

```
fn main() {
    let b = Box::new(5);
    println!("b = {}", b);
}
```

Листинг 15-1: Сохранение значения `i32` в куче с использованием `box`

Мы объявляем переменную `b` со значением `Box`, указывающим на число `5`, размещённое в куче. Эта программа выведет `b = 5`; в этом случае мы получаем доступ к данным в `box` так же, как если бы эти данные находились в стеке. Как и любое другое значение, когда `box` выйдет из области видимости, как `b` в конце `main`, он будет удалён. Деаллокация происходит как для `box` (хранившегося в стеке), так и для данных, на которые он указывает (хранящихся в куче).

Размещать одиночные значения в куче не слишком целесообразно, поэтому вряд ли вы будете часто использовать `box`'ы таким образом. В большинстве ситуаций более уместно размещать такие значения, как `i32`, в стеке, где они и сохраняются по умолчанию. Давайте рассмотрим ситуацию, когда `box` позволяет нам определить типы, которые мы не могли бы иметь, если бы у нас не было `box`.

Включение рекурсивных типов с помощью Boxes

Значение *рекурсивного типа* может иметь другое значение такого же типа как свой компонент. Рекурсивные типы представляют собой проблему, поскольку во время компиляции Rust должен знать, сколько места занимает тип. Однако вложенность значений рекурсивных типов теоретически может продолжаться бесконечно, поэтому Rust не может определить, сколько места потребуется. Поскольку `box` имеет известный размер, мы можем включить рекурсивные типы, добавив `box` в определение рекурсивного типа.

В качестве примера рекурсивного типа рассмотрим `cons list`. Это тип данных, часто встречающийся в функциональных языках программирования. Тип `cons list`, который мы определим, достаточно прост, за исключением наличия рекурсии; поэтому концепции, заложенные в примере, с которым мы будем работать, пригодятся вам в любой более сложной ситуации, связанной с рекурсивными типами.

Больше информации о `cons` списке

`cons list` - это структура данных из языка программирования Lisp и егоialectов, представляющая собой набор вложенных пар и являющаяся Lisp-версией связного списка. Его название происходит от функции `cons` (сокращение от "construct function") в Lisp, которая формирует пару из двух своих аргументов. Вызывая `cons` для пары, которая состоит из некоторого значения и другой пары, мы можем конструировать списки `cons`, состоящие из рекурсивных пар.

Вот, пример `cons list` в виде псевдокода, содержащий список 1, 2, 3, где каждая пара заключена в круглые скобки:

```
(1, (2, (3, Nil)))
```

Каждый элемент в `cons` списке содержит два элемента: значение текущего элемента и следующий элемент. Последний элемент в списке содержит только значение называемое `Nil` без следующего элемента. `Cons` список создаётся путём рекурсивного вызова функции `cons`. Каноничное имя для обозначения базового случая рекурсии - `Nil`. Обратите внимание, что

это не то же самое, что понятие “null” или “nil” из главы 6, которая является недействительным или отсутствующим значением.

Cons list не является часто используемой структурой данных в Rust. В большинстве случаев, когда вам нужен список элементов при использовании Rust, лучше использовать `Vec<T>`. Другие, более сложные рекурсивные типы данных полезны в определённых ситуациях, но благодаря тому, что в этой главе мы начнём с cons list, мы сможем выяснить, как box позволяет нам определить рекурсивный тип данных без особого напряжения.

Листинг 15-2 содержит объявление перечисления cons списка. Обратите внимание, что этот код не будет компилироваться, потому что тип `List` не имеет известного размера, что мы и продемонстрируем.

Файл: src/main.rs

```
enum List {  
    Cons(i32, List),  
    Nil,  
}
```



Листинг 15-2: Первая попытка определить перечисление в качестве структуры данных cons list, состоящей из `i32` значений.

Примечание: В данном примере мы реализуем cons list, который содержит только значения `i32`. Мы могли бы реализовать его с помощью generics, о которых мы говорили в главе 10, чтобы определить тип cons list, который мог бы хранить значения любого типа.

Использование типа `List` для хранения списка `1, 2, 3` будет выглядеть как код в листинге 15-3:

Файл: src/main.rs

```
use crate::List::{Cons, Nil};  
  
fn main() {  
    let list = Cons(1, Cons(2, Cons(3, Nil)));  
}
```



Листинг 15-3: Использование перечисления `List` для хранения списка `1, 2, 3`

Первое значение `Cons` содержит `1` и другой `List`. Это значение `List` является следующим значением `Cons`, которое содержит `2` и другой `List`. Это значение `List` является ещё один значением `Cons`, которое содержит `3` и значение `List`, которое наконец является `Nil`, не рекурсивным вариантом, сигнализирующим об окончании списка.

Если мы попытаемся скомпилировать код в листинге 15-3, мы получим ошибку, показанную в листинге 15-4:

```

$ cargo run
Compiling cons-list v0.1.0 (file:///projects/cons-list)
error[E0072]: recursive type `List` has infinite size
--> src/main.rs:1:1
|
1 | enum List {
| ^^^^^^^^^^
2 |     Cons(i32, List),
|             ----- recursive without indirection
|
help: insert some indirection (e.g., a `Box`, `Rc`, or `&`) to break the cycle
|
2 |     Cons(i32, Box<List>),
|             ++++
|
error[E0391]: cycle detected when computing when `List` needs drop
--> src/main.rs:1:1
|
1 | enum List {
| ^^^^^^^^^^
|
= note: ...which immediately requires computing when `List` needs drop again
= note: cycle used when computing whether `List` needs drop
= note: see https://rustc-dev-guide.rust-lang.org/overview.html#queries and
https://rustc-dev-guide.rust-lang.org/query.html for more information

Some errors have detailed explanations: E0072, E0391.
For more information about an error, try `rustc --explain E0072`.
error: could not compile `cons-list` (bin "cons-list") due to 2 previous errors

```

Листинг 15-4: Ошибку, которую мы получаем при попытке определить рекурсивное перечисление

Ошибка говорит о том, что этот тип "имеет бесконечный размер". Причина в том, что мы определили `List` в форме, которая является рекурсивной: она непосредственно хранит другое значение своего собственного типа. В результате Rust не может определить, сколько места ему нужно для хранения значения `List`. Давайте разберёмся, почему мы получаем эту ошибку. Сначала мы рассмотрим, как Rust решает, сколько места ему нужно для хранения значения нерекурсивного типа.

Вычисление размера нерекурсивного типа

Вспомните перечисление `Message` определённое в листинге 6-2, когда обсуждали объявление `enum` в главе 6:

```

enum Message {
    Quit,
    Move { x: i32, y: i32 },
    Write(String),
    ChangeColor(i32, i32, i32),
}

```

Чтобы определить, сколько памяти выделять под значение `Message`, Rust проходит каждый из вариантов, чтобы увидеть, какой вариант требует наибольшее количество памяти. Rust видит, что для `Message::Quit` не требуется места, `Message::Move` хватает места для хранения двух

значений `i32` и т.д. Так как будет использоваться только один вариант, то наибольшее пространство, которое потребуется для значения `Message`, это пространство, которое потребуется для хранения самого большого из вариантов перечисления.

Сравните это с тем, что происходит, когда Rust пытается определить, сколько места необходимо рекурсивному типу, такому как перечисление `List` в листинге 15-2. Компилятор смотрит на вариант `Cons`, который содержит значение типа `i32` и значение типа `List`. Следовательно, `Cons` нужно пространство, равное размеру `i32` плюс размер `List`. Чтобы выяснить, сколько памяти необходимо типу `List`, компилятор смотрит на варианты, начиная с `Cons`. Вариант `Cons` содержит значение типа `i32` и значение типа `List`, и этот процесс продолжается бесконечно, как показано на рисунке 15-1.

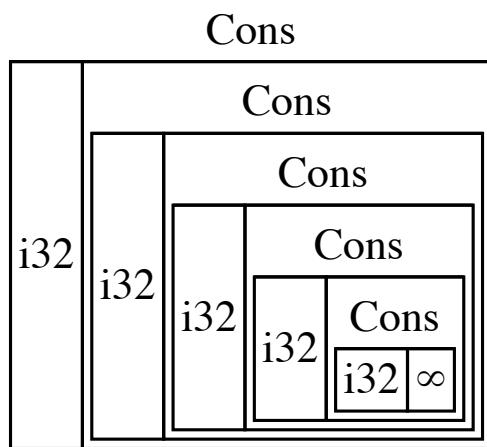


Рисунок 15-1: Бесконечный `List`, состоящий из нескончаемого числа вариантов `Cons`

Использование `Box<T>` для получения рекурсивного типа с известным размером

Поскольку Rust не может определить, сколько места нужно выделить для типов с рекурсивным определением, компилятор выдаёт ошибку с этим полезным предложением:

```
help: insert some indirection (e.g., a `Box`, `Rc`, or `&`) to make `List`  
representable  
|  
2 |     Cons(i32, Box<List>),  
|       +++ +
```

В данном предложении "перенаправление" означает, что вместо того, чтобы непосредственно хранить само значение, мы должны изменить структуру данных, так чтобы хранить его косвенно - хранить указатель на это значение.

Поскольку `Box<T>` является указателем, Rust всегда знает, сколько места нужно `Box<T>`: размер указателя не меняется в зависимости от объёма данных, на которые он указывает. Это означает, что мы можем поместить `Box<T>` внутрь экземпляра `Cons` вместо значения `List` напрямую. `Box<T>` будет указывать на значение очередного `List`, который будет находиться в куче, а не внутри экземпляра `Cons`. Концептуально у нас все ещё есть список, созданный из

списков, содержащих другие списки, но эта реализация теперь больше похожа на размещение элементов рядом друг с другом, а не внутри друг друга.

Мы можем изменить определение перечисления `List` в листинге 15-2 и использование `List` в листинге 15-3 на код из листинга 15-5, который будет компилироваться:

Файл: `src/main.rs`

```
enum List {
    Cons(i32, Box<List>),
    Nil,
}

use crate::List::{Cons, Nil};

fn main() {
    let list = Cons(1, Box::new(Cons(2, Box::new(Cons(3, Box::new(Nil))))));
}
```

Листинг 15-5: Определение `List`, которое использует `Box<T>` для того, чтобы иметь вычисляемый размер

`Cons` требуется объём `i32` плюс место для хранения данных указателя `box`. `Nil` не хранит никаких значений, поэтому ему нужно меньше места, чем `Cons`. Теперь мы знаем, что любое значение `List` займёт размер `i32` плюс размер данных указателя `box`. Используя `box`, мы разорвали бесконечную рекурсивную цепочку, поэтому компилятор может определить размер, необходимый для хранения значения `List`. На рисунке 15-2 показано, как теперь выглядит `Cons`.

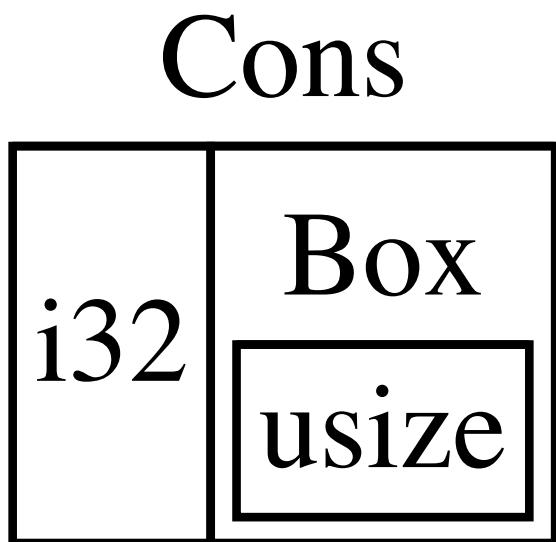


Рисунок 15-2: `List`, который не является бесконечно большим, потому что `Cons` хранит `Box`.

`Box`-ы обеспечивают только перенаправление и выделение в куче; у них нет никаких других специальных возможностей, подобных тем, которые мы увидим у других типов умных указателей. У них также нет накладных расходов на производительность, которые несут эти специальные возможности, поэтому они могут быть полезны в таких случаях, как `cons list`, где

перенаправление - единственная функция, которая нам нужна. В главе 17 мы также рассмотрим другие случаи использования box.

Тип `Box<T>` является умным указателем, поскольку он реализует трейт `Deref`, который позволяет обрабатывать значения `Box<T>` как ссылки. Когда значение `Box<T>` выходит из области видимости, данные кучи, на которые указывает box, также очищаются благодаря реализации типажа `Drop`. Эти два трейта будут ещё более значимыми для функциональности, предоставляемой другими типами умных указателей, которые мы обсудим в оставшейся части этой главы. Давайте рассмотрим эти два типажа более подробно.

Обращение с умными указателями как с обычными ссылками с помощью `Deref` типажа

Используя трейт `Deref`, вы можете изменить поведение *оператора разыменования* `*` (не путать с операторами умножения или глобального подключения). Реализовав `Deref` таким образом, что умный указатель может рассматриваться как обычная ссылка, вы можете писать код, оперирующий ссылками, а также использовать этот код с умными указателями.

Давайте сначала посмотрим, как работает оператор разыменования с обычными ссылками. Затем мы попытаемся определить пользовательский тип, который ведёт себя как `Box<T>` и посмотрим, почему оператор разыменования не работает как ссылка для нового объявленного типа. Мы рассмотрим, как реализация типажа `Deref` делает возможным работу умных указателей аналогично ссылкам. Затем посмотрим на *разыменованное приведение* (*deref coercion*) в Rust и как оно позволяет работать с любыми ссылками или умными указателями.

Примечание: есть одна большая разница между типом `MyBox<T>`, который мы собираемся создать и реальным `Box<T>`: наша версия не будет хранить свои данные в куче. В примере мы сосредоточимся на типаже `Deref`, поэтому менее важно то, где данные хранятся, чем поведение подобное указателю.

Следуя за указателем на значение

Обычная ссылка - это разновидность указателя, а указатель можно рассматривать как своеобразную стрелочку направляющую к значению, хранящемуся в другом месте. В листинге 15-6 мы создаём ссылку на значение `i32`, а затем используем оператор разыменования для перехода от ссылки к значению:

Файл: `src/main.rs`

```
fn main() {
    let x = 5;
    let y = &x;

    assert_eq!(5, x);
    assert_eq!(5, *y);
}
```

Листинг 15-6: Использование оператора разыменования для следования по ссылке к значению `i32`

Переменной `x` присвоено значение `5` типа `i32`. Мы установили в качестве значения `y` ссылку на `x`. Мы можем утверждать, что значение `x` равно `5`. Однако, если мы хотим сделать утверждение о значении в `y`, мы должны использовать `*y`, чтобы перейти по ссылке к

значению, на которое она указывает (таким образом, происходит *разыменование*), для того чтобы компилятор при сравнении мог использовать фактическое значение. Как только мы разыменуем `y`, мы получим доступ к целочисленному значению, на которое указывает `y`, которое и будем сравнивать с `5`.

Если бы мы попытались написать `assert_eq!(5, y);`, то получили ошибку компиляции:

```
$ cargo run
Compiling deref-example v0.1.0 (file:///projects/deref-example)
error[E0277]: can't compare `'{integer}` with `&{integer}`
--> src/main.rs:6:5
6 |     assert_eq!(5, y);
|     ^^^^^^^^^^^^^ no implementation for `'{integer} == &{integer}`
|
= help: the trait `PartialEq<&{integer}>` is not implemented for `'{integer}`
= note: this error originates in the macro `assert_eq` (in Nightly builds, run with -Z macro-backtrace for more info)

For more information about this error, try `rustc --explain E0277`.
error: could not compile `deref-example` (bin "deref-example") due to 1 previous error
```

Сравнение числа и ссылки на число не допускается, потому что они различных типов. Мы должны использовать оператор разыменования, чтобы перейти по ссылке на значение, на которое она указывает.

Использование `Box<T>` как ссылку

Мы можем переписать код в листинге 15-6, чтобы использовать `Box<T>` вместо ссылки; оператор разыменования, используемый для `Box<T>` в листинге 15-7, работает так же, как оператор разыменования, используемый для ссылки в листинге 15-6:

Файл: `src/main.rs`

```
fn main() {
    let x = 5;
    let y = Box::new(x);

    assert_eq!(5, x);
    assert_eq!(5, *y);
}
```

Листинг 15-7: Использование оператора разыменования с типом `Box<i32>`

Основное различие между листингом 15-7 и листингом 15-6 заключается в том, что здесь мы устанавливаем `y` как экземпляр `Box<T>`, указывающий на скопированное значение `x`, а не как ссылку, указывающую на значение `x`. В последнем утверждении мы можем использовать оператор разыменования, чтобы проследовать за указателем `Box<T>` так же, как мы это делали, когда `y` был ссылкой. Далее мы рассмотрим, что особенного в `Box<T>`, что позволяет нам использовать оператор разыменования, определяя наш собственный тип.

Определение собственного умного указателя

Давайте создадим умный указатель, похожий на тип `Box<T>` предоставляемый стандартной библиотекой, чтобы понять как поведение умных указателей отличается от поведения обычной ссылки. Затем мы рассмотрим вопрос, как добавить возможность использовать оператор разыменования.

Тип `Box<T>` в конечном итоге определяется как структура кортежа с одним элементом, поэтому в листинге 15-8 аналогичным образом определяется `MyBox<T>`. Мы также определим функцию `new`, чтобы она соответствовала функции `new`, определённой в `Box<T>`.

Файл: `src/main.rs`

```
struct MyBox<T>(T);

impl<T> MyBox<T> {
    fn new(x: T) -> MyBox<T> {
        MyBox(x)
    }
}
```

Листинг 15-8: Определение типа `MyBox<T>`

Мы определяем структуру с именем `MyBox` и объявляем обобщённый параметр `T`, потому что мы хотим, чтобы наш тип хранил значения любого типа. Тип `MyBox` является структурой кортежа с одним элементом типа `T`. Функция `MyBox::new` принимает один параметр типа `T` и возвращает экземпляр `MyBox`, который содержит переданное значение.

Давайте попробуем добавить функцию `main` из листинга 15-7 в листинг 15-8 и изменим её на использование типа `MyBox<T>`, который мы определили вместо `Box<T>`. Код в листинге 15-9 не будет компилироваться, потому что Rust не знает, как разыменовывать `MyBox`.

Файл: `src/main.rs`

```
fn main() {
    let x = 5;
    let y = MyBox::new(x);

    assert_eq!(5, x);
    assert_eq!(5, *y);
}
```



Листинг 15-9. Попытка использовать `MyBox<T>` таким же образом, как мы использовали ссылки и `Box<T>`

Вот результат ошибки компиляции:

```
$ cargo run
Compiling deref-example v0.1.0 (file:///projects/deref-example)
error[E0614]: type `MyBox<{integer}>` cannot be dereferenced
--> src/main.rs:14:19
   |
14 |     assert_eq!(5, *y);
   |     ^
For more information about this error, try `rustc --explain E0614`.
error: could not compile `deref-example` (bin "deref-example") due to 1 previous error
```

Наш тип `MyBox<T>` не может быть разыменован, потому что мы не реализовали эту возможность. Чтобы включить разыменование с помощью оператора `*`, мы реализуем типаж `Deref`.

Трактование типа как ссылки реализуя типаж `Deref`

Как обсуждалось в разделе “[Реализация трейта для типа](#)” Главы 10, для реализации типажа нужно предоставить реализации требуемых методов типажа. Типаж `Deref`, предоставляемый стандартной библиотекой требует от нас реализации одного метода с именем `deref`, который заимствует `self` и возвращает ссылку на внутренние данные. Листинг 15-10 содержит реализацию `Deref` добавленную к определению `MyBox`:

Файл: `src/main.rs`

```
use std::ops::Deref;

impl<T> Deref for MyBox<T> {
    type Target = T;

    fn deref(&self) -> &Self::Target {
        &self.0
    }
}
```

Листинг 15-10: Реализация `Deref` для типа `MyBox<T>`

Синтаксис `type Target = T;` определяет связанный тип для использования у типажа `Deref`. Связанные типы - это немного другой способ объявления обобщённого параметра, но пока вам не нужно о них беспокоиться; мы рассмотрим их более подробно в главе 19.

Мы заполним тело метода `deref` оператором `&self.0`, чтобы `deref` вернул ссылку на значение, к которому мы хотим получить доступ с помощью оператора `*`; вспомним из раздела “[Using Tuple Structs without Named Fields to Create Different Types](#)” главы 5, что `.0` получает доступ к первому значению в кортежной структуре. Функция `main` в листинге 15-9, которая вызывает `*` для значения `MyBox<T>`, теперь компилируется, и проверки проходят!

Без типажа `Deref` компилятор может только разыменовывать `&` ссылки. Метод `deref` даёт компилятору возможность принимать значение любого типа, реализующего `Deref` и вызывать метод `deref` чтобы получить ссылку `&`, которую он знает, как разыменовывать.

Когда мы ввели `*y` в листинге 15-9, Rust фактически выполнил за кулисами такой код:

```
*(y.deref())
```

Rust заменяет оператор `*` вызовом метода `deref` и затем простое разыменование, поэтому нам не нужно думать о том, нужно ли нам вызывать метод `deref`. Эта функция Rust позволяет писать код, который функционирует одинаково, независимо от того, есть ли у нас обычная ссылка или тип, реализующий типаж `Deref`.

Причина, по которой метод `deref` возвращает ссылку на значение, и что простое разыменование вне круглых скобок в `*(y.deref())` все ещё необходимо, связана с системой владения. Если бы метод `deref` возвращал значение напрямую, а не ссылку на него, значение переместилось бы из `self`. Мы не хотим передавать владение внутренним значением внутри `MyBox<T>` в этом случае и в большинстве случаев, когда мы используем оператор разыменования.

Обратите внимание, что оператор `*` заменён вызовом метода `deref`, а затем вызовом оператора `*` только один раз, каждый раз, когда мы используем `*` в коде. Поскольку замена оператора `*` не повторяется бесконечно, мы получаем данные типа `i32`, которые соответствуют 5 в `assert_eq!` листинга 15-9.

Неявные разыменованные приведения с функциями и методами

Разыменованное приведение преобразует ссылку на тип, который реализует признак `Deref`, в ссылку на другой тип. Например, `deref coercion` может преобразовать `&String` в `&str`, потому что `String` реализует признак `Deref`, который возвращает `&str`. `Deref coercion` - это удобный механизм, который Rust использует для аргументов функций и методов, и работает только для типов, реализующих признак `Deref`. Это происходит автоматически, когда мы передаём в качестве аргумента функции или метода ссылку на значение определённого типа, которое не соответствует типу параметра в определении функции или метода. В результате серии вызовов метода `deref` тип, который мы передали, преобразуется в тип, необходимый для параметра.

Разыменованное приведение было добавлено в Rust, так что программистам, пишущим вызовы функций и методов, не нужно добавлять множество явных ссылок и разыменований с помощью использования `&` и `*`. Функциональность разыменованного приведения также позволяет писать больше кода, который может работать как с ссылками, так и с умными указателями.

Чтобы увидеть разыменованное приведение в действии, давайте воспользуемся типом `MyBox<T>` определённым в листинге 15-8, а также реализацией `Deref` добавленную в листинге 15-10. Листинг 15-11 показывает определение функции, у которой есть параметр типа срез строки:

Файл: `src/main.rs`

```
fn hello(name: &str) {  
    println!("Hello, {}!", name);  
}
```

Листинг 15-11: Функция `hello` имеющая параметр `name` типа `&str`

Можно вызвать функцию `hello` со срезом строки в качестве аргумента, например `hello("Rust");`. Разыменованное приведение делает возможным вызов `hello` со ссылкой на значение типа `MyBox<String>`, как показано в листинге 15-12.

Файл: src/main.rs

```
fn main() {  
    let m = MyBox::new(String::from("Rust"));  
    hello(&m);  
}
```

Листинг 15-12: Вызов `hello` со ссылкой на значение `MyBox<String>`, которое работает из-за разыменованного приведения

Здесь мы вызываем функцию `hello` с аргументом `&m`, который является ссылкой на значение `MyBox<String>`. Поскольку мы реализовали типаж `Deref` для `MyBox<T>` в листинге 15-10, то Rust может преобразовать `&MyBox<String>` в `&String` вызывая `deref`. Стандартная библиотека предоставляет реализацию типажа `Deref` для типа `String`, которая возвращает срез строки, это описано в документации API типажа `Deref`. Rust снова вызывает `deref`, чтобы превратить `&String` в `&str`, что соответствует определению функции `hello`.

Если бы Rust не реализовал разыменованное приведение, мы должны были бы написать код в листинге 15-13 вместо кода в листинге 15-12 для вызова метода `hello` со значением типа `&MyBox<String>`.

Файл: src/main.rs

```
fn main() {  
    let m = MyBox::new(String::from("Rust"));  
    hello(&(*m)[..]);  
}
```

Листинг 15-13: Код, который нам пришлось бы написать, если бы в Rust не было разыменованного приведения ссылок

Код `(*m)` разыменовывает `MyBox<String>` в `String`. Затем `&` и `[..]` принимают строковый срез `String`, равный всей строке, чтобы соответствовать сигнатуре `hello`. Код без разыменованного приведения сложнее читать, писать и понимать со всеми этими символами. Разыменованное приведение позволяет Rust обрабатывать эти преобразования для нас автоматически.

Когда типаж `Deref` определён для задействованных типов, Rust проанализирует типы и будет использовать `Deref::deref` столько раз, сколько необходимо, чтобы получить ссылку, соответствующую типу параметра. Количество раз, которое нужно вставить `Deref::deref`

определяется во время компиляции, поэтому использование разыменованного приведения не имеет накладных расходов во время выполнения!

Как разыменованное приведение взаимодействует с изменяемостью

Подобно тому, как вы используете типаж `Deref` для переопределения оператора `*` у неизменяемых ссылок, вы можете использовать типаж `DerefMut` для переопределения оператора `*` у изменяемых ссылок.

Rust выполняет разыменованное приведение, когда находит типы и реализации типажей в трёх случаях:

- Из типа `&T` в тип `&U` когда верно `T: Deref<Target=U>`
- Из типа `&mut T` в тип `&mut U` когда верно `T: DerefMut<Target=U>`
- Из типа `&mut T` в тип `&U` когда верно `T: Deref<Target=U>`

Первые два случая идентичны друг другу, за исключением того, что второй реализует изменяемость. В первом случае говорится, что если у вас есть `&T`, а `T` реализует `Deref` для некоторого типа `U`, вы сможете прозрачно получить `&U`. Во втором случае говорится, что такое же разыменованное приведение происходит и для изменяемых ссылок.

Третий случай хитрее: Rust также приводит изменяемую ссылку к неизменяемой. Но обратное *не* представляется возможным: неизменяемые ссылки никогда не приводятся к изменяемым ссылкам. Из-за правил заимствования, если у вас есть изменяемая ссылка, эта изменяемая ссылка должна быть единственной ссылкой на данные (в противном случае программа не будет компилироваться). Преобразование одной изменяемой ссылки в неизменяемую ссылку никогда не нарушит правила заимствования. Преобразование неизменяемой ссылки в изменяемую ссылку потребует наличия только одной неизменяемой ссылки на эти данные, и правила заимствования не гарантируют этого. Следовательно, Rust не может сделать предположение, что преобразование неизменяемой ссылки в изменяемую ссылку возможно.

Запуск кода при очистке с помощью типажа Drop

Вторым важным типажом умного указателя является `Drop`, который позволяет регулировать, что происходит, когда значение вот-вот выйдет из области видимости. Вы можете реализовать типаж `Drop` для любого типа, а также использовать этот код для высвобождения ресурсов, таких как файлы или сетевые соединения.

Мы рассматриваем `Drop` в контексте умных указателей, потому что функциональность свойства `Drop` практически всегда используется при реализации умного указателя. Например, при сбросе `Box<T>` происходит dealлокация пространства на куче, на которое указывает `box`.

В некоторых языках для некоторых типов программист должен вызывать код для освобождения памяти или ресурсов каждый раз, когда он завершает использование экземпляров этих типов. Примерами могут служить дескрипторы файлов, сокеты или блокировки. Если забыть об этом, система окажется перегруженной и может упасть. В Rust вы можете указать, что определённый фрагмент кода должен выполняться всякий раз, когда значение выходит из области видимости, и компилятор автоматически будет его вставлять. Как следствие, вам не нужно заботиться о размещении кода очистки везде в программе, где завершается работа экземпляра определённого типа - утечки ресурсов все равно не будет!

Вы можете задать определённую логику, которая будет выполняться, когда значение выходит за пределы области видимости, реализовав признак `Drop`. Типаж `Drop` требует от вас реализации одного метода `drop`, который принимает изменяемую ссылку на `self`. Чтобы увидеть, когда Rust вызывает `drop`, давайте реализуем `drop` с помощью инструкций `println!`.

В листинге 15-14 показана структура `CustomSmartPointer`, единственной уникальной функциональностью которой является печать `Dropping CustomSmartPointer!`, когда экземпляр выходит из области видимости, чтобы показать, когда Rust выполняет функцию `drop`.

Файл: `src/main.rs`

```

struct CustomSmartPointer {
    data: String,
}

impl Drop for CustomSmartPointer {
    fn drop(&mut self) {
        println!("Dropping CustomSmartPointer with data `{}`!", self.data);
    }
}

fn main() {
    let c = CustomSmartPointer {
        data: String::from("my stuff"),
    };
    let d = CustomSmartPointer {
        data: String::from("other stuff"),
    };
    println!("CustomSmartPointers created.");
}

```

Листинг 15-14: Структура `CustomSmartPointer`, реализующая типаж `Drop`, куда мы поместим наш код очистки

Типаж `Drop` включён в прелюдию, поэтому нам не нужно вводить его в область видимости. Мы реализуем типаж `Drop` для `CustomSmartPointer` и реализуем метод `drop`, который будет вызывать `println!`. Тело функции `drop` — это место, где должна располагаться вся логика, которую вы захотите выполнять, когда экземпляр вашего типа выйдет из области видимости. Мы печатаем здесь текст, чтобы наглядно продемонстрировать, когда Rust вызовет `drop`.

В `main` мы создаём два экземпляра `CustomSmartPointer` и затем печатаем `CustomSmartPointers created`. В конце `main` наши экземпляры `CustomSmartPointer` выйдут из области видимости и Rust вызовет код, который мы добавили в метод `drop`, который и напечатает наше окончательное сообщение. Обратите внимание, что нам не нужно вызывать метод `drop` явно.

Когда мы запустим эту программу, мы увидим следующий вывод:

```

$ cargo run
Compiling drop-example v0.1.0 (file:///projects/drop-example)
  Finished `dev` profile [unoptimized + debuginfo] target(s) in 0.60s
    Running `target/debug/drop-example`
CustomSmartPointers created.
Dropping CustomSmartPointer with data `other stuff`!
Dropping CustomSmartPointer with data `my stuff`!

```

Rust автоматически вызывал `drop` в момент выхода наших экземпляров из области видимости, тем самым выполнив заданный нами код. Переменные удаляются в обратном порядке их создания, поэтому `d` была удалена до `c`. Цель этого примера — дать вам наглядное представление о том, как работает метод `drop`; в типичных случаях вы будете задавать код очистки, который должен выполнить ваш тип, а не печатать сообщение.

Раннее удаление значения с помощью `std::mem::drop`

К сожалению, отключение функции автоматического удаления с помощью `drop` является не простым. Отключение `drop` обычно не требуется; весь смысл типажа `Drop` в том, чтобы о функции позаботились автоматически. Иногда, однако, вы можете захотеть очистить значение рано. Одним из примеров является использование умных указателей, которые управляют блокировками: вы могли бы потребовать принудительный вызов метода `drop`, который снимает блокировку, чтобы другой код в той же области видимости мог получить блокировку. Rust не позволяет вызвать метод типажа `Drop` вручную; вместо этого вы должны вызвать функцию `std::mem::drop` предоставляемую стандартной библиотекой, если хотите принудительно удалить значение до конца области видимости.

Если попытаться вызвать метод `drop` типажа `Drop` вручную, изменяя функцию `main` листинга 15-14 так, как показано в листинге 15-15, мы получим ошибку компилятора:

Файл: `src/main.rs`

```
fn main() {
    let c = CustomSmartPointer {
        data: String::from("some data"),
    };
    println!("CustomSmartPointer created.");
    c.drop();
    println!("CustomSmartPointer dropped before the end of main.");
}
```



Листинг 15-15: Попытка вызвать метод `drop` из трейта `Drop` вручную для досрочной очистки

Когда мы попытаемся скомпилировать этот код, мы получим ошибку:

```
$ cargo run
Compiling drop-example v0.1.0 (file:///projects/drop-example)
error[E0040]: explicit use of destructor method
--> src/main.rs:16:7
   |
16 |     c.drop();
   |     ^^^^^ explicit destructor calls not allowed
   |
   help: consider using `drop` function
   |
16 |     drop(c);
   |     +++++ ~

For more information about this error, try `rustc --explain E0040`.
error: could not compile `drop-example` (bin "drop-example") due to 1 previous error
```

Это сообщение об ошибке говорит, что мы не можем явно вызывать `drop`. В сообщении об ошибке используется термин *деструктор* (*destructor*), который является общим термином программирования для функции, которая очищает экземпляр. *Деструктор* аналогичен *конструктору*, который создаёт экземпляр. Функция `drop` в Rust является определённым деструктором.

Rust не позволяет обращаться к `drop` напрямую, потому что он все равно автоматически вызовет `drop` в конце `main`. Это вызвало бы ошибку *double free*, потому что в этом случае Rust попытался бы дважды очистить одно и то же значение.

Невозможно отключить автоматическую подстановку вызова `drop`, когда значение выходит из области видимости, и нельзя вызвать метод `drop` напрямую. Поэтому, если нам нужно принудительно избавиться от значения раньше времени, следует использовать функцию `std::mem::drop`.

Функция `std::mem::drop` отличается от метода `drop` трейта `Drop`. Мы вызываем её, передавая в качестве аргумента значение, которое хотим принудительно уничтожить. Функция находится в прелюдии, поэтому мы можем изменить `main` в листинге 15-15 так, чтобы вызвать функцию `drop`, как показано в листинге 15-16:

Файл: `src/main.rs`

```
fn main() {
    let c = CustomSmartPointer {
        data: String::from("some data"),
    };
    println!("CustomSmartPointer created.");
    drop(c);
    println!("CustomSmartPointer dropped before the end of main.");
}
```

Листинг 15-16: Вызов `std::mem::drop` для принудительного удаления значения до того, как оно выйдет из области видимости

Выполнение данного кода выведет следующий результат:

```
$ cargo run
Compiling drop-example v0.1.0 (file:///projects/drop-example)
Finished `dev` profile [unoptimized + debuginfo] target(s) in 0.73s
    Running `target/debug/drop-example`
CustomSmartPointer created.
Dropping CustomSmartPointer with data `some data`!
CustomSmartPointer dropped before the end of main.
```

Текст `Dropping CustomSmartPointer with data some data!`, напечатанный между `CustomSmartPointer created.` и текстом `CustomSmartPointer dropped before the end of main.`, показывает, что код метода `drop` вызывается для удаления `c` в этой точке.

Вы можете использовать код, указанный в реализации типажа `Drop`, чтобы сделать очистку удобной и безопасной: например, вы можете использовать её для создания своего собственного менеджера памяти! С помощью типажа `Drop` и системы владения Rust не нужно специально заботиться о том, чтобы освобождать ресурсы, потому что Rust делает это автоматически.

Также не нужно беспокоиться о проблемах, возникающих в результате случайной очистки значений, которые всё ещё используются: система владения, которая гарантирует, что ссылки

всегда действительны, также гарантирует, что `drop` вызывается только один раз, когда значение больше не используется.

После того, как мы познакомились с `Box<T>` и характеристиками умных указателей, познакомимся с другими умными указателями, определёнными в стандартной библиотеке.

Rc<T>, умный указатель с подсчётом ссылок

В большинстве ситуаций владение является однозначным: вы точно знаете, какая переменная владеет данным значением. Однако бывают случаи, когда у одного значения может быть несколько владельцев. Например, в Графовых структурах может быть несколько рёбер, указывающих на один и тот же узел — таким образом, этот узел становится фактически собственностью всех этих рёбер. Узел не подлежит удалению, за исключением тех случаев, когда на него не указывает ни одно ребро и, соответственно, у него нет владельцев.

Вы должны включить множественное владение явно, используя тип Rust `Rc<T>`, который является аббревиатурой для *подсчёта ссылок*. Тип `Rc<T>` отслеживает количество ссылок на значение, чтобы определить, используется ли оно ещё. Если ссылок на значение нет, значение может быть очищено и при этом ни одна ссылка не станет недействительной.

Представьте себе `Rc<T>` как телевизор в гостиной. Когда один человек входит, чтобы смотреть телевизор, он включает его. Другие могут войти в комнату и посмотреть телевизор. Когда последний человек покидает комнату, он выключает телевизор, потому что он больше не используется. Если кто-то выключит телевизор во время его просмотра другими, то оставшиеся телезрители устроят шум!

Тип `Rc<T>` используется, когда мы хотим разместить в куче некоторые данные для чтения несколькими частями нашей программы и не можем определить во время компиляции, какая из частей завершит использование данных последней. Если бы мы знали, какая часть завершит использование последней то, мы могли бы сделать эту часть владельцем данных и вступили бы в силу обычные правила владения, применяемые во время компиляции.

Обратите внимание, что `Rc<T>` используется только в однопоточных сценариях. Когда мы обсудим конкурентность в главе 16, мы рассмотрим, как выполнять подсчёт ссылок во многопоточных программах.

Использование `Rc<T>` для совместного использования данных

Давайте вернёмся к нашему примеру с `cons` списком в листинге 15-5. Напомним, что мы определили его с помощью типа `Box<T>`. В этот раз мы создадим два списка, оба из которых будут владеть третьим списком. Концептуально это похоже на рисунок 15-3:

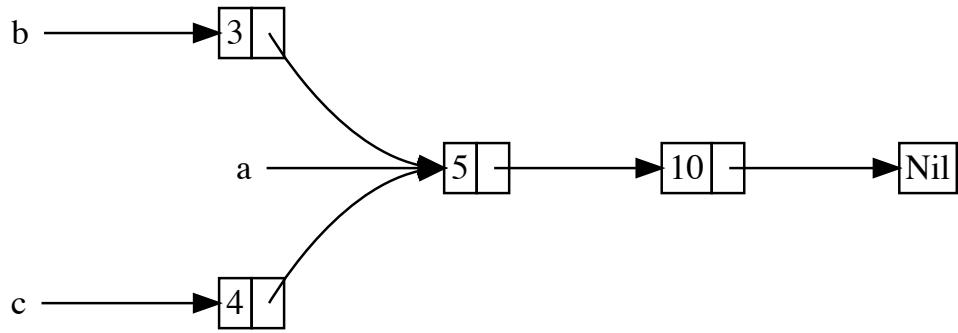


Рисунок 15-3: Два списка, **b** и **c**, делят владение над третьим списком, **a**

Мы создадим список **a**, содержащий 5 и затем 10. Затем мы создадим ещё два списка: **b** начинающийся с 3 и **c** начинающийся с 4. Оба списка **b** и **c** затем продолжать первый список **a**, содержащий 5 и 10. Другими словами, оба списка будут разделять первый список, содержащий 5 и 10.

Попытка реализовать этот сценарий, используя определение `List` с типом `Box<T>` не будет работать, как показано в листинге 15-17:

Файл: src/main.rs

```

enum List {
    Cons(i32, Box<List>),
    Nil,
}

use crate::List::{Cons, Nil};

fn main() {
    let a = Cons(5, Box::new(Cons(10, Box::new(Nil))));
    let b = Cons(3, Box::new(a));
    let c = Cons(4, Box::new(a));
}

```



Листинг 15-17: Демонстрация того, что нельзя иметь два списка, использующих `Box<T>`, которые пытаются совместно владеть третьим списком

При компиляции этого кода, мы получаем эту ошибку:

```

$ cargo run
Compiling cons-list v0.1.0 (file:///projects/cons-list)
error[E0382]: use of moved value: `a`
--> src/main.rs:11:30
   |
9 |         let a = Cons(5, Box::new(Cons(10, Box::new(Nil))));  
|             - move occurs because `a` has type `List`, which does not implement the  
`Copy` trait  
10 |         let b = Cons(3, Box::new(a));  
|                         - value moved here  
11 |         let c = Cons(4, Box::new(a));  
|                         ^ value used here after move

For more information about this error, try `rustc --explain E0382`.
error: could not compile `cons-list` (bin "cons-list") due to 1 previous error

```

Варианты `Cons` владеют данными, которые они содержат, поэтому, когда мы создаём список `b`, то `a` перемещается в `b`, а `b` становится владельцем `a`. Затем, мы пытаемся использовать `a` снова при создании `c`, но нам не разрешают, потому что `a` был перемещён.

Мы могли бы изменить определение `Cons`, чтобы вместо этого хранить ссылки, но тогда нам пришлось бы указывать параметры времени жизни. Указывая параметры времени жизни, мы бы указали, что каждый элемент в списке будет жить как минимум столько же, сколько и весь список. Это относится к элементам и спискам в листинге 15.17, но не во всех сценариях.

Вместо этого мы изменим наше определение типа `List` так, чтобы использовать `Rc<T>` вместо `Box<T>`, как показано в листинге 15-18. Каждый вариант `Cons` теперь будет содержать значение и тип `Rc<T>`, указывающий на `List`. Когда мы создадим `b` то, вместо того чтобы стал владельцем `a`, мы будем клонировать `Rc<List>` который содержит `a`, тем самым увеличивая количество ссылок с единицы до двойки и позволяя переменным `a` и `b` разделять владение на данные в типе `Rc<List>`. Мы также клонируем `a` при создании `c`, увеличивая количество ссылок с двух до трёх. Каждый раз, когда мы вызываем `Rc::clone`, счётчик ссылок на данные внутри `Rc<List>` будет увеличиваться и данные не будут очищены, если на них нет нулевых ссылок.

Файл: src/main.rs

```

enum List {
    Cons(i32, Rc<List>),
    Nil,
}

use crate::List::{Cons, Nil};
use std::rc::Rc;

fn main() {
    let a = Rc::new(Cons(5, Rc::new(Cons(10, Rc::new(Nil)))));
    let b = Cons(3, Rc::clone(&a));
    let c = Cons(4, Rc::clone(&a));
}

```

Листинг 15-18: Определение `List`, использующее `Rc<T>`

Нам нужно добавить инструкцию `use`, чтобы подключить тип `Rc<T>` в область видимости, потому что он не входит в список автоматического импорта прелюдии. В `main`, мы создаём список владеющий 5 и 10, сохраняя его в новом `Rc<List>` переменной `a`. Затем при создании `b` и `c`, мы называем функцию `Rc::clone` и передаём ей ссылку на `Rc<List>` как аргумент `a`.

Мы могли бы вызвать `a.clone()`, а не `Rc::clone(&a)`, но в Rust принято использовать `Rc::clone` в таком случае. Внутренняя реализация `Rc::clone` не делает глубокого копирования всех данных, как это происходит в типах большинства реализаций `clone`. Вызов `Rc::clone` только увеличивает счётчик ссылок, что не занимает много времени. Глубокое копирование данных может занимать много времени. Используя `Rc::clone` для подсчёта ссылок, можно визуально различать виды клонирования с глубоким копированием и клонирования, которые увеличивают количество ссылок. При поиске в коде проблем с производительностью нужно рассмотреть только клонирование с глубоким копированием и игнорировать вызовы `Rc::clone`.

Клонирование `Rc<T>` увеличивает количество ссылок

Давайте изменим рабочий пример в листинге 15-18, чтобы увидеть как изменяется число ссылок при создании и удалении ссылок на `Rc<List>` внутри переменной `a`.

В листинге 15-19 мы изменим `main` так, чтобы она имела внутреннюю область видимости вокруг списка `c`; тогда мы сможем увидеть, как меняется счётчик ссылок при выходе `c` из внутренней области видимости.

Файл: src/main.rs

```
fn main() {
    let a = Rc::new(Cons(5, Rc::new(Cons(10, Rc::new(Nil)))));
    println!("count after creating a = {}", Rc::strong_count(&a));
    let b = Cons(3, Rc::clone(&a));
    println!("count after creating b = {}", Rc::strong_count(&a));
    {
        let c = Cons(4, Rc::clone(&a));
        println!("count after creating c = {}", Rc::strong_count(&a));
    }
    println!("count after c goes out of scope = {}", Rc::strong_count(&a));
}
```

Листинг 15-19: Печать количества ссылок

В каждой части программы, где количество ссылок меняется, мы выводим количество ссылок, которое получаем, вызывая функцию `Rc::strong_count`. Эта функция названа `strong_count`, а не `count`, потому что тип `Rc<T>` также имеет `weak_count`; мы увидим, для чего используется `weak_count` в разделе "Предотвращение циклических ссылок: Превращение `Rc<T>` в `Weak<T>`".

Код выводит в консоль:

```
$ cargo run
Compiling cons-list v0.1.0 (file:///projects/cons-list)
  Finished `dev` profile [unoptimized + debuginfo] target(s) in 0.45s
    Running `target/debug/cons-list`
count after creating a = 1
count after creating b = 2
count after creating c = 3
count after c goes out of scope = 2
```

Можно увидеть, что `Rc<List>` в переменной `a` имеет начальный счётчик ссылок равный 1; затем каждый раз при вызове `clone` счётчик увеличивается на 1. Когда `c` выходит из области видимости, счётчик уменьшается на 1. Нам не нужно вызывать функцию уменьшения счётчика ссылок, как при вызове `Rc::clone` для увеличения счётчика ссылок: реализация `Drop` автоматически уменьшает счётчик ссылок, когда значение `Rc<T>` выходит из области видимости.

В этом примере мы не наблюдаем того, что когда `b`, а затем `a` выходят из области видимости в конце `main`, счётчик становится равным 0, и `Rc<List>` полностью очищается.

Использование `Rc<T>` позволяет одному значению иметь несколько владельцев, а счётчик гарантирует, что значение остаётся действительным до тех пор, пока любой из владельцев ещё существует.

С помощью неизменяемых ссылок, тип `Rc<T>` позволяет обмениваться данными между несколькими частями вашей программы только для чтения данных. Если тип `Rc<T>` позволял бы иметь несколько изменяемых ссылок, вы могли бы нарушить одно из правил заимствования, описанных в главе 4: множественные изменяемые заимствования в одном и том же месте могут вызвать гонки данных (data races) и несогласованность данных. Но возможность изменять данные очень полезна! В следующем разделе мы обсудим шаблон внутренней изменчивости и тип `RefCell<T>`, который можно использовать вместе с `Rc<T>` для работы с этим ограничением.

RefCell<T> и шаблон внутренней изменяемости

Внутренняя изменяемость - это паттерн проектирования Rust, который позволяет вам изменять данные даже при наличии неизменяемых ссылок на эти данные; обычно такое действие запрещено правилами заимствования. Для изменения данных паттерн использует **unsafe** код внутри структуры данных, чтобы обойти обычные правила Rust, регулирующие изменяемость и заимствование. Небезопасный (unsafe) код даёт понять компилятору, что мы самостоятельно следим за соблюдением этих правил, а не полагаемся на то, что компилятор будет делать это для нас; подробнее о небезопасном коде мы поговорим в главе 19.

Мы можем использовать типы, в которых применяется паттерн внутренней изменяемости, только если мы можем гарантировать, что правила заимствования будут соблюдаться во время выполнения, несмотря на то, что компилятор не сможет этого гарантировать. В этом случае **небезопасный** код оборачивается безопасным API, и внешне тип остаётся неизменяемым.

Давайте изучим данную концепцию с помощью типа данных **RefCell<T>**, который реализует этот шаблон.

Применение правил заимствования во время выполнения с помощью RefCell<T>

В отличие от **Rc<T>** тип **RefCell<T>** предоставляет единоличное владение данными, которые он содержит. В чем же отличие типа **RefCell<T>** от **Box<T>**? Давайте вспомним правила заимствования из Главы 4:

- В любой момент времени вы можете иметь либо одну изменяемую ссылку либо сколько угодно неизменяемых ссылок (но не оба типа ссылок одновременно).
- Ссылки всегда должны быть действительными.

С помощью ссылок и типа **Box<T>** инварианты правил заимствования применяются на этапе компиляции. С помощью **RefCell<T>** они применяются *во время работы программы*. Если вы нарушите эти правила, работая с ссылками, то будет ошибка компиляции. Если вы работаете с **RefCell<T>** и нарушите эти правила, то программа вызовет панику и завершится.

Преимущества проверки правил заимствования во время компиляции заключаются в том, что ошибки будут обнаруживаться раньше - ещё в процессе разработки, а производительность во время выполнения не пострадает, поскольку весь анализ завершён заранее. По этим причинам проверка правил заимствования во время компиляции является лучшим выбором в большинстве случаев, и именно поэтому она используется в Rust по умолчанию.

Преимущество проверки правил заимствования во время выполнения заключается в том, что определённые сценарии, безопасные для памяти, разрешаются там, где они были бы запрещены проверкой во время компиляции. Статический анализ, как и компилятор Rust, по

своей сути консервативен. Некоторые свойства кода невозможно обнаружить, анализируя код: самый известный пример - проблема остановки, которая выходит за рамки этой книги, но является интересной темой для исследования.

Поскольку некоторый анализ невозможен, то если компилятор Rust не может быть уверен, что код соответствует правилам владения, он может отклонить корректную программу; таким образом он является консервативным. Если Rust принял некорректную программу, то пользователи не смогут доверять гарантиям, которые даёт Rust. Однако, если Rust отклонит корректную программу, то программист будет испытывать неудобства, но ничего катастрофического не произойдёт. Тип `RefCell<T>` полезен, когда вы уверены, что ваш код соответствует правилам заимствования, но компилятор не может понять и гарантировать этого.

Подобно типу `Rc<T>`, тип `RefCell<T>` предназначен только для использования в однопоточных сценариях и выдаст ошибку времени компиляции, если вы попытаетесь использовать его в многопоточном контексте. Мы поговорим о том, как получить функциональность `RefCell<T>` во многопоточной программе в главе 16.

Вот список причин выбора типов `Box<T>`, `Rc<T>` или `RefCell<T>`:

- Тип `Rc<T>` разрешает множественное владение одними и теми же данными; типы `Box<T>` и `RefCell<T>` разрешают иметь единственных владельцев.
- Тип `Box<T>` разрешает неизменяемые или изменяемые владения, проверенные при компиляции; тип `Rc<T>` разрешает только неизменяемые владения, проверенные при компиляции; тип `RefCell<T>` разрешает неизменяемые или изменяемые владения, проверенные во время выполнения.
- Поскольку `RefCell<T>` разрешает изменяемые заимствования, проверенные во время выполнения, можно изменять значение внутри `RefCell<T>` даже если `RefCell<T>` является неизменным.

Изменение значения внутри неизменного значения является шаблоном *внутренней изменяемости* (interior mutability). Давайте посмотрим на ситуацию, в которой внутренняя изменяемость полезна и рассмотрим, как это возможно.

Внутренняя изменяемость: изменяемое заимствование неизменяемого значения

Следствием правил заимствования является то, что когда у вас есть неизменяемое значение, вы не можете заимствовать его с изменением. Например, этот код не будет компилироваться:

```
fn main() {  
    let x = 5;  
    let y = &mut x;  
}
```



Если вы попытаетесь скомпилировать этот код, вы получите следующую ошибку:

```
$ cargo run
Compiling borrowing v0.1.0 (file:///projects/borrowing)
error[E0596]: cannot borrow `x` as mutable, as it is not declared as mutable
--> src/main.rs:3:13
|
3 |     let y = &mut x;
|          ^^^^^^ cannot borrow as mutable
|
help: consider changing this to be mutable
|
2 |     let mut x = 5;
|        +++
For more information about this error, try `rustc --explain E0596`.
error: could not compile `borrowing` (bin "borrowing") due to 1 previous error
```

Однако бывают ситуации, в которых было бы полезно, чтобы объект мог изменять себя при помощи своих методов, но казался неизменным для прочего кода. Код вне методов этого объекта не должен иметь возможности изменять его содержимое. Использование `RefCell<T>` — один из способов получить возможность внутренней изменяемости, но при этом `RefCell<T>` не позволяет полностью обойти правила заимствования: средство проверки правил заимствования в компиляторе позволяет эту внутреннюю изменяемость, однако правила заимствования проверяются во время выполнения. Если вы нарушите правила, то вместо ошибки компиляции вы получите `panic!`.

Давайте разберём практический пример, в котором мы можем использовать `RefCell<T>` для изменения неизменяемого значения и посмотрим, почему это полезно.

Вариант использования внутренней изменяемости: мок объекты

Иногда во время тестирования программист использует один тип вместо другого для того, чтобы проверить определённое поведение и убедиться, что оно реализовано правильно. Такой тип-заместитель называется *тестовым дублёром*. Воспринимайте его как «каскадёра» в кинематографе, когда дублёр заменяет актёра для выполнения определённой сложной сцены. Тестовые дублёры заменяют другие типы при выполнении тестов. *Инсцирировочные (mock) объекты* — это особый тип тестовых дублёров, которые сохраняют данные происходящих во время теста действий тем самым позволяя вам убедиться впоследствии, что все действия были выполнены правильно.

В Rust нет объектов в том же смысле, в каком они есть в других языках и в Rust нет функциональности мок объектов, встроенных в стандартную библиотеку, как в некоторых других языках. Однако вы определённо можете создать структуру, которая будет служить тем же целям, что и мок объект.

Вот сценарий, который мы будем тестировать: мы создадим библиотеку, которая отслеживает значение по отношению к заранее определённому максимальному значению и отправляет сообщения в зависимости от того, насколько текущее значение находится близко к такому максимальному значению. Эта библиотека может использоваться, например, для отслеживания квоты количества вызовов API пользователя, которые ему разрешено делать.

Наша библиотека будет предоставлять только функции отслеживания того, насколько близко к максимальному значению находится значение и какие сообщения должны быть внутри в этот момент. Ожидается, что приложения, использующие нашу библиотеку, предоставят механизм для отправки сообщений: приложение может поместить сообщение в приложение, отправить электронное письмо, отправить текстовое сообщение или что-то ещё. Библиотеке не нужно знать эту деталь. Все что ему нужно - это что-то, что реализует типаж, который мы предоставим с названием `Messenger`. Листинг 15-20 показывает код библиотеки:

Файл: src/lib.rs

```
pub trait Messenger {
    fn send(&self, msg: &str);
}

pub struct LimitTracker<'a, T: Messenger> {
    messenger: &'a T,
    value: usize,
    max: usize,
}

impl<'a, T> LimitTracker<'a, T>
where
    T: Messenger,
{
    pub fn new(messenger: &'a T, max: usize) -> LimitTracker<'a, T> {
        LimitTracker {
            messenger,
            value: 0,
            max,
        }
    }

    pub fn set_value(&mut self, value: usize) {
        self.value = value;

        let percentage_of_max = self.value as f64 / self.max as f64;

        if percentage_of_max >= 1.0 {
            self.messenger.send("Error: You are over your quota!");
        } else if percentage_of_max >= 0.9 {
            self.messenger
                .send("Urgent warning: You've used up over 90% of your quota!");
        } else if percentage_of_max >= 0.75 {
            self.messenger
                .send("Warning: You've used up over 75% of your quota!");
        }
    }
}
```

Листинг 15-20: Библиотека для отслеживания степени приближения того или иного значения к максимальной величине и предупреждения, в случае если значение достигает определённого уровня

Одна важная часть этого кода состоит в том, что типаж `Messenger` имеет один метод `send`, принимающий аргументами неизменяемую ссылку на `self` и текст сообщения. Он является интерфейсом, который должен иметь наш мок объект. Другой важной частью является то, что

мы хотим проверить поведение метода `set_value` у типа `LimitTracker`. Мы можем изменить значение, которое передаём параметром `value`, но `set_value` ничего не возвращает и нет основания, чтобы мы могли бы проверить утверждения о выполнении метода. Мы хотим иметь возможность сказать, что если мы создаём `LimitTracker` с чем-то, что реализует типаж `Messenger` и с определённым значением для `max`, то когда мы передаём разные числа в переменной `value` экземпляр `self.messenger` отправляет соответствующие сообщения.

Нам нужен мок объект, который вместо отправки электронного письма или текстового сообщения будет отслеживать сообщения, которые были ему поручены для отправки через `send`. Мы можем создать новый экземпляр мок объекта, создать `LimitTracker` с использованием мок объекта для него, вызвать метод `set_value` у экземпляра `LimitTracker`, а затем проверить, что мок объект имеет ожидаемое сообщение. В листинге 15-21 показана попытка реализовать мок объект, чтобы сделать именно то что хотим, но анализатор заимствований не разрешит такой код:

Файл: src/lib.rs

```
#[cfg(test)]
mod tests {
    use super::*;

    struct MockMessenger {
        sent_messages: Vec<String>,
    }

    impl MockMessenger {
        fn new() -> MockMessenger {
            MockMessenger {
                sent_messages: vec![],
            }
        }
    }

    impl Messenger for MockMessenger {
        fn send(&self, message: &str) {
            self.sent_messages.push(String::from(message));
        }
    }

    #[test]
    fn it_sends_an_over_75_percent_warning_message() {
        let mock_messenger = MockMessenger::new();
        let mut limit_tracker = LimitTracker::new(&mock_messenger, 100);

        limit_tracker.set_value(80);

        assert_eq!(mock_messenger.sent_messages.len(), 1);
    }
}
```



Листинг 15-21: Попытка реализовать `MockMessenger`, которая не была принята механизмом проверки заимствований

Этот тестовый код определяет структуру `MockMessenger`, в которой есть поле `sent_messages` со значениями типа `Vec` из `String` для отслеживания сообщений, которые поручены структуре для отправки. Мы также определяем ассоциированную функцию `new`, чтобы было удобно создавать новые экземпляры `MockMessenger`, которые создаются с пустым списком сообщений. Затем мы реализуем типаж `Messenger` для типа `MockMessenger`, чтобы передать `MockMessenger` в `LimitTracker`. В сигнатуре метода `send` мы принимаем сообщение для передачи в качестве параметра и сохраняем его в `MockMessenger` внутри списка `sent_messages`.

В этом teste мы проверяем, что происходит, когда `LimitTracker` сказано установить `value` в значение, превышающее 75 процентов от значения `max`. Сначала мы создаём новый `MockMessenger`, который будет иметь пустой список сообщений. Затем мы создаём новый `LimitTracker` и передаём ему ссылку на новый `MockMessenger` и `max` значение равное 100. Мы вызываем метод `set_value` у `LimitTracker` со значением 80, что составляет более 75 процентов от 100. Затем мы с помощью утверждения проверяем, что `MockMessenger` должен содержать одно сообщение из списка внутренних сообщений.

Однако с этим тестом есть одна проблема, показанная ниже:

```
$ cargo test
Compiling limit-tracker v0.1.0 (file:///projects/limit-tracker)
error[E0596]: cannot borrow `self.sent_messages` as mutable, as it is behind a `&` reference
--> src/lib.rs:58:13
  |
58 |         self.sent_messages.push(String::from(message));
  |         ^^^^^^^^^^^^^^^^^ `self` is a `&` reference, so the data it refers to
cannot be borrowed as mutable
  |
help: consider changing this to be a mutable reference in the `impl` method and the
`trait` definition
  |
2 ~     fn send(&mut self, msg: &str);
3 | }
...
56 |     impl Messenger for MockMessenger {
57 |         fn send(&mut self, message: &str) {
  |
For more information about this error, try `rustc --explain E0596`.
error: could not compile `limit-tracker` (lib test) due to 1 previous error
```

Мы не можем изменять `MockMessenger` для отслеживания сообщений, потому что метод `send` принимает неизменяемую ссылку на `self`. Мы также не можем принять предложение из текста ошибки, чтобы использовать `&mut self`, потому что тогда сигнатура `send` не будет соответствовать сигнатуре в определении типажа `Messenger` (не стесняйтесь попробовать и посмотреть, какое сообщение об ошибке получите вы).

Это ситуация, в которой внутренняя изменяемость может помочь! Мы сохраним `sent_messages` внутри типа `RefCell<T>`, а затем в методе `send` сообщение сможет изменить

список `sent_messages` для хранения сообщений, которые мы видели. Листинг 15-22 показывает, как это выглядит:

Файл: `src/lib.rs`

```
#[cfg(test)]
mod tests {
    use super::*;

    use std::cell::RefCell;

    struct MockMessenger {
        sent_messages: RefCell<Vec<String>>,
    }

    impl MockMessenger {
        fn new() -> MockMessenger {
            MockMessenger {
                sent_messages: RefCell::new(vec![]),
            }
        }
    }

    impl Messenger for MockMessenger {
        fn send(&self, message: &str) {
            self.sent_messages.borrow_mut().push(String::from(message));
        }
    }

    #[test]
    fn it_sends_an_over_75_percent_warning_message() {
        // --snip--

        assert_eq!(mock_messenger.sent_messages.borrow().len(), 1);
    }
}
```

Листинг 15-22: Использование `RefCell<T>` для изменения внутреннего значения, в то время как внешнее значение считается неизменяемым

Поле `sent_messages` теперь имеет тип `RefCell<Vec<String>>` вместо `Vec<String>`. В функции `new` мы создаём новый экземпляр `RefCell<Vec<String>>` для пустого вектора.

Для реализации метода `send` первый параметр по-прежнему является неизменяемым для заимствования `self`, которое соответствует определению типажа. Мы вызываем `borrow_mut` для `RefCell<Vec<String>>` в `self.sent_messages`, чтобы получить изменяемую ссылку на значение внутри `RefCell<Vec<String>>`, которое является вектором. Затем мы можем вызвать `push` у изменяемой ссылки на вектор, чтобы отслеживать сообщения, отправленные во время теста.

Последнее изменение, которое мы должны сделать, заключается в утверждении для проверки: чтобы увидеть, сколько элементов находится во внутреннем векторе, мы вызываем метод `borrow` у `RefCell<Vec<String>>`, чтобы получить неизменяемую ссылку на внутренний вектор сообщений.

Теперь, когда вы увидели как использовать `RefCell<T>`, давайте изучим как он работает!

Отслеживание заимствований во время выполнения с помощью `RefCell<T>`

При создании неизменных и изменяемых ссылок мы используем синтаксис `&` и `&mut` соответственно. У типа `RefCell<T>`, мы используем методы `borrow` и `borrow_mut`, которые являются частью безопасного API, который принадлежит `RefCell<T>`. Метод `borrow` возвращает тип умного указателя `Ref<T>`, метод `borrow_mut` возвращает тип умного указателя `RefMut<T>`. Оба типа реализуют типаж `Deref`, поэтому мы можем рассматривать их как обычные ссылки.

Тип `RefCell<T>` отслеживает сколько умных указателей `Ref<T>` и `RefMut<T>` активны в данное время. Каждый раз, когда мы вызываем `borrow`, тип `RefCell<T>` увеличивает количество активных заимствований. Когда значение `Ref<T>` выходит из области видимости, то количество неизменяемых заимствований уменьшается на единицу. Как и с правилами заимствования во время компиляции, `RefCell<T>` позволяет иметь много неизменяемых заимствований или одно изменяемое заимствование в любой момент времени.

Если попытаться нарушить эти правила, то вместо получения ошибки компилятора, как это было бы со ссылками, реализация `RefCell<T>` будет вызывать панику во время выполнения. В листинге 15-23 показана модификация реализации `send` из листинга 15-22. Мы намеренно пытаемся создать два изменяемых заимствования активных для одной и той же области видимости, чтобы показать как `RefCell<T>` не позволяет нам делать так во время выполнения.

Файл: src/lib.rs

```
impl Messenger for MockMessenger {
    fn send(&self, message: &str) {
        let mut one_borrow = self.sent_messages.borrow_mut();
        let mut two_borrow = self.sent_messages.borrow_mut();

        one_borrow.push(String::from(message));
        two_borrow.push(String::from(message));
    }
}
```



Листинг 15-23: Создание двух изменяемых ссылок в одной области видимости, чтобы убедиться, что `RefCell<T>` вызовет панику

Мы создаём переменную `one_borrow` для умного указателя `RefMut<T>` возвращаемого из метода `borrow_mut`. Затем мы создаём другое изменяемое заимствование таким же образом в переменной `two_borrow`. Это создаёт две изменяемые ссылки в одной области видимости, что недопустимо. Когда мы запускаем тесты для нашей библиотеки, код в листинге 15-23 компилируется без ошибок, но тест завершится неудачно:

```
$ cargo test
Compiling limit-tracker v0.1.0 (file:///projects/limit-tracker)
  Finished `test` profile [unoptimized + debuginfo] target(s) in 0.91s
    Running unit tests src/lib.rs (target/debug/deps/limit_tracker-e599811fa246dbde)

running 1 test
test tests::it_sends_an_over_75_percent_warning_message ... FAILED

failures:

---- tests::it_sends_an_over_75_percent_warning_message stdout ----
thread 'tests::it_sends_an_over_75_percent_warning_message' panicked at
src/lib.rs:60:53:
already borrowed: BorrowMutError
note: run with `RUST_BACKTRACE=1` environment variable to display a backtrace

failures:
  tests::it_sends_an_over_75_percent_warning_message

test result: FAILED. 0 passed; 1 failed; 0 ignored; 0 measured; 0 filtered out;
finished in 0.00s

error: test failed, to rerun pass `--lib`
```

Обратите внимание, что код вызвал панику с сообщением `already borrowed: BorrowMutError`. Вот так тип `RefCell<T>` обрабатывает нарушения правил заимствования во время выполнения.

Решение отлавливать ошибки заимствования во время выполнения, а не во время компиляции, как мы сделали здесь, означает, что вы потенциально будете находить ошибки в своём коде на более поздних этапах разработки: возможно, не раньше, чем ваш код будет развернут в рабочем окружении. Кроме того, ваш код будет иметь небольшие потери производительности в процессе работы, поскольку заимствования будут отслеживаться во время выполнения, а не во время компиляции. Однако использование `RefCell<T>` позволяет написать объект-имитатор, который способен изменять себя, чтобы сохранять сведения о тех значениях, которые он получал, пока вы использовали его в контексте, где разрешены только неизменяемые значения. Вы можете использовать `RefCell<T>`, несмотря на его недостатки, чтобы получить больше функциональности, чем дают обычные ссылки.

Наличие нескольких владельцев изменяемых данных путём объединения типов `Rc<T>` и `RefCell<T>`

Обычный способ использования `RefCell<T>` заключается в его сочетании с типом `Rc<T>`. Напомним, что тип `Rc<T>` позволяет иметь нескольких владельцев некоторых данных, но даёт только неизменяемый доступ к этим данным. Если у вас есть `Rc<T>`, который внутри содержит тип `RefCell<T>`, вы можете получить значение, которое может иметь несколько владельцев и которое можно изменять!

Например, вспомните пример `cons` списка листинга 15-18, где мы использовали `Rc<T>`, чтобы несколько списков могли совместно владеть другим списком. Поскольку `Rc<T>` содержит

только неизменяемые значения, мы не можем изменить ни одно из значений в списке после того, как мы их создали. Давайте добавим тип `RefCell<T>`, чтобы получить возможность изменять значения в списках. В листинге 15-24 показано использование `RefCell<T>` в определении `Cons` так, что мы можем изменить значение хранящееся во всех списках:

Файл: src/main.rs

```
#[derive(Debug)]
enum List {
    Cons(Rc<RefCell<i32>>, Rc<List>),
    Nil,
}

use crate::List::{Cons, Nil};
use std::cell::RefCell;
use std::rc::Rc;

fn main() {
    let value = Rc::new(RefCell::new(5));

    let a = Rc::new(Cons(Rc::clone(&value), Rc::new(Nil)));
    let b = Cons(Rc::new(RefCell::new(3)), Rc::clone(&a));
    let c = Cons(Rc::new(RefCell::new(4)), Rc::clone(&a));

    *value.borrow_mut() += 10;

    println!("a after = {a:?}");
    println!("b after = {b:?}");
    println!("c after = {c:?}");
}
```

Листинг 15-24: Использование `Rc<RefCell<i32>>` для создания `List`, который мы можем изменять

Мы создаём значение, которое является экземпляром `Rc<RefCell<i32>>` и сохраняем его в переменной с именем `value`, чтобы получить к ней прямой доступ позже. Затем мы создаём `List` в переменной `a` с вариантом `Cons`, который содержит `value`. Нам нужно вызвать клонирование `value`, так как обе переменные `a` и `value` владеют внутренним значением `5`, а не передают владение из `value` в переменную `a` или не выполняют заимствование с помощью `a` переменной `value`.

Мы оборачиваем список у переменной `a` в тип `Rc<T>`, поэтому при создании списков в переменные `b` и `c` они оба могут ссылаться на `a`, что мы и сделали в листинге 15-18.

После создания списков `a`, `b` и `c` мы хотим добавить 10 к значению в `value`. Для этого вызовем `borrow_mut` у `value`, который использует функцию автоматического разыменования, о которой мы говорили в главе 5 (см. раздел "Где находится оператор `->?`" во внутреннее значение `RefCell<T>`). Метод `borrow_mut` возвращает умный указатель `RefMut<T>`, и мы используя оператор разыменования, изменяем внутреннее значение.

Когда мы печатаем `a`, `b` и `c` то видим, что все они имеют изменённое значение равное 15, а не 5:

```
$ cargo run
Compiling cons-list v0.1.0 (file:///projects/cons-list)
  Finished `dev` profile [unoptimized + debuginfo] target(s) in 0.63s
    Running `target/debug/cons-list`
a after = Cons(RefCell { value: 15 }, Nil)
b after = Cons(RefCell { value: 3 }, Cons(RefCell { value: 15 }, Nil))
c after = Cons(RefCell { value: 4 }, Cons(RefCell { value: 15 }, Nil))
```

Эта техника довольно изящна! Используя `RefCell<T>`, мы получаем внешне неизменяемое значение `List`. Но мы можем использовать методы `RefCell<T>`, которые предоставляют доступ к его внутренностям, чтобы мы могли изменять наши данные, когда это необходимо. Проверка правил заимствования во время выполнения защищает нас от гонок данных, и иногда стоит немного пожертвовать производительностью ради такой гибкости наших структур данных. Обратите внимание, что `RefCell<T>` не работает для многопоточного кода! `Mutex<T>` - это thread-safe версия `RefCell<T>`, а `Mutex<T>` мы обсудим в главе 16.

Ссылочные зацикливания могут приводить к утечке памяти

Гарантии безопасности памяти в Rust затрудняют, но не делают невозможным случайное выделение памяти, которое никогда не очищается (известное как *утечка памяти*). Полное предотвращение утечек памяти не является одной из гарантий Rust, а это означает, что утечки памяти безопасны в Rust. Мы видим, что Rust допускает утечку памяти с помощью `Rc<T>` и `RefCell<T>`: можно создавать ссылки, в которых элементы ссылаются друг на друга в цикле. Это создаёт утечки памяти, потому что счётчик ссылок каждого элемента в цикле никогда не достигнет 0, а значения никогда не будут удалены.

Создание ссылочного зацикливания

Давайте посмотрим, как может произойти ситуация ссылочного зацикливания и как её предотвратить, начиная с определения перечисления `List` и метода `tail` в листинге 15-25:

Файл: `src/main.rs`

```
use crate::List::{Cons, Nil};
use std::cell::RefCell;
use std::rc::Rc;

#[derive(Debug)]
enum List {
    Cons(i32, RefCell<Rc<List>>),
    Nil,
}

impl List {
    fn tail(&self) -> Option<&RefCell<Rc<List>>> {
        match self {
            Cons(_, item) => Some(item),
            Nil => None,
        }
    }
}

fn main() {}
```

Листинг 15-25: Объявление `cons` `list`, который содержит `RefCell<T>`, чтобы мы могли изменять то, на что ссылается экземпляр `Cons`

Мы используем другую вариацию определения `List` из листинга 15-5. Второй элемент в варианте `Cons` теперь `RefCell<Rc<List>>`, что означает, что вместо возможности менять значение `i32`, как мы делали в листинге 15-24, мы хотим менять значение `List`, на которое указывает вариант `Cons`. Мы также добавляем метод `tail`, чтобы нам было удобно обращаться ко второму элементу, если у нас есть вариант `Cons`.

В листинге 15-26 мы добавляем `main` функцию, которая использует определения листинга 15-25. Этот код создаёт список в переменной `a` и список `b`, который указывает на список `a`. Затем он изменяет список внутри `a` так, чтобы он указывал на `b`, создавая ссылочное зацикливание. В коде есть инструкции `println!`, чтобы показать значения счётчиков ссылок в различных точках этого процесса.

Файл: `src/main.rs`

```
fn main() {
    let a = Rc::new(Cons(5, RefCell::new(Rc::new(Nil))));

    println!("a initial rc count = {}", Rc::strong_count(&a));
    println!("a next item = {:?}", a.tail());

    let b = Rc::new(Cons(10, RefCell::new(Rc::clone(&a))));

    println!("a rc count after b creation = {}", Rc::strong_count(&a));
    println!("b initial rc count = {}", Rc::strong_count(&b));
    println!("b next item = {:?}", b.tail());

    if let Some(link) = a.tail() {
        *link.borrow_mut() = Rc::clone(&b);
    }

    println!("b rc count after changing a = {}", Rc::strong_count(&b));
    println!("a rc count after changing a = {}", Rc::strong_count(&a));
}

// Uncomment the next line to see that we have a cycle;
// it will overflow the stack
// println!("a next item = {:?}", a.tail());
```

Листинг 15-26: Создание ссылочного цикла из двух значений `List`, указывающих друг на друга

Мы создаём экземпляр `Rc<List>` содержащий значение `List` в переменной `a` с начальным списком `5, Nil`. Затем мы создаём экземпляр `Rc<List>` содержащий другое значение `List` в переменной `b`, которое содержит значение 10 и указывает на список в `a`.

Мы меняем `a` так, чтобы он указывал на `b` вместо `Nil`, создавая зацикленность. Мы делаем это с помощью метода `tail`, чтобы получить ссылку на `RefCell<Rc<List>>` из переменной `a`, которую мы помещаем в переменную `link`. Затем мы используем метод `borrow_mut` из типа `RefCell<Rc<List>>`, чтобы изменить внутреннее значение типа `Rc<List>`, содержащего начальное значение `Nil` на значение типа `Rc<List>` взятое из переменной `b`.

Когда мы запускаем этот код, оставив последний `println!` закомментированным в данный момент, мы получим вывод:

```
$ cargo run
   Compiling cons-list v0.1.0 (file:///projects/cons-list)
     Finished `dev` profile [unoptimized + debuginfo] target(s) in 0.53s
       Running `target/debug/cons-list`
a initial rc count = 1
a next item = Some(RefCell { value: Nil })
a rc count after b creation = 2
b initial rc count = 1
b next item = Some(RefCell { value: Cons(5, RefCell { value: Nil }) })
b rc count after changing a = 2
a rc count after changing a = 2
```

Количество ссылок на экземпляры `Rc<List>` как в `a`, так и в `b` равно 2 после того, как мы заменили список в `a` на ссылку на `b`. В конце `main` Rust уничтожает переменную `b`, что уменьшает количество ссылок на `Rc<List>` из `b` с 2 до 1. Память, которую `Rc<List>` занимает в куче, не будет освобождена в этот момент, потому что количество ссылок на неё равно 1, а не 0. Затем Rust удаляет `a`, что уменьшает количество ссылок экземпляра `Rc<List>` в `a` с 2 до 1. Память этого экземпляра также не может быть освобождена, поскольку другой экземпляр `Rc<List>` по-прежнему ссылается на него. Таким образом, память, выделенная для списка не будет освобождена никогда. Чтобы наглядно представить этот цикл ссылок, мы создали диаграмму на рисунке 15-4.

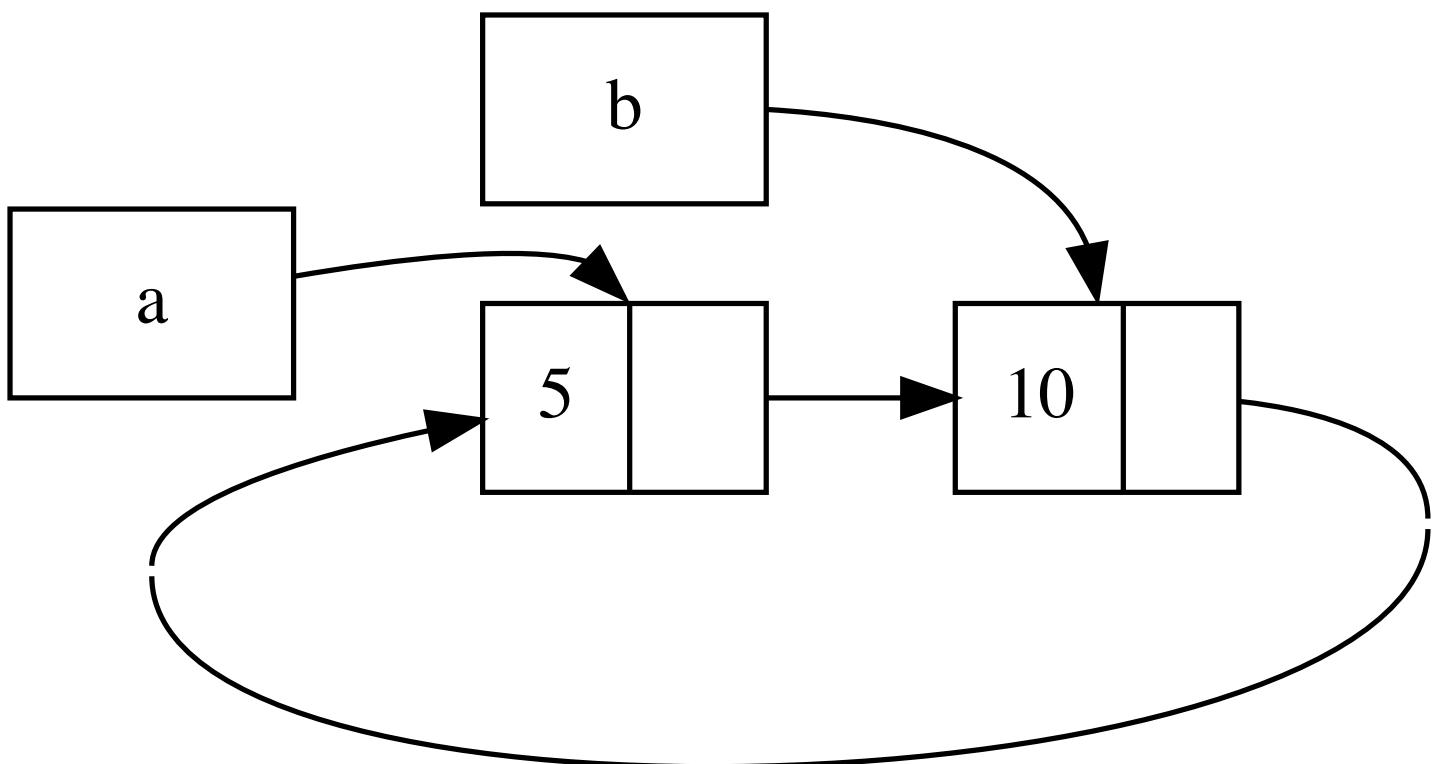


Рисунок 15-4: Ссылочный цикл списков `a` и `b`, указывающих друг на друга

Если вы удалите последний комментарий с `println!` и запустите программу, Rust будет пытаться печатать зацикленность в `a`, указывающей на `b`, указывающей на `a` и так далее, пока не переполниться стек.

По сравнению с реальной программой, последствия создания цикла ссылок в этом примере не так страшны: сразу после создания цикла ссылок программа завершается. Однако если

более сложная программа выделит много памяти в цикле и будет удерживать её в течение длительного времени, программа будет потреблять больше памяти, чем ей нужно, и может перенапрячь систему, что приведёт к исчерпанию доступной памяти.

Вызвать образование ссылочной зацикленности не просто, но и не невозможно. Если у вас есть значения `RefCell<T>` которые содержат значения `Rc<T>` или аналогичные вложенные комбинации типов с внутренней изменчивостью и подсчётом ссылок, вы должны убедиться, что вы не создаёте зацикленность; Вы не можете полагаться на то, что Rust их обнаружит. Создание ссылочной зацикленности являлось бы логической ошибкой в программе, для которой вы должны использовать автоматические тесты, проверку кода и другие практики разработки программного обеспечения для её минимизации.

Другое решение для избежания ссылочной зацикленности - это реорганизация ваших структур данных, чтобы некоторые ссылки выражали владение, а другие - отсутствие владения. В результате можно иметь циклы, построенные на некоторых отношениях владения и некоторые не основанные на отношениях владения, тогда только отношения владения влияют на то, можно ли удалить значение. В листинге 15-25 мы всегда хотим, чтобы варианты `Cons` владели своим списком, поэтому реорганизация структуры данных невозможна. Давайте рассмотрим пример с использованием графов, состоящих из родительских и дочерних узлов, чтобы увидеть, когда отношения владения не являются подходящим способом предотвращения ссылочной зацикленности.

Предотвращение ссылочной зацикленности: замена умного указателя `Rc<T>` на `Weak<T>`

До сих пор мы демонстрировали, что вызов `Rc::clone` увеличивает `strong_count` экземпляра `Rc<T>`, а экземпляр `Rc<T>` удаляется, только если его `strong_count` равен 0. Вы также можете создать слабую ссылку на значение внутри экземпляра `Rc<T>`, вызвав `Rc::downgrade` и передав ссылку на `Rc<T>`. Сильные ссылки - это то с помощью чего вы можете поделиться владением экземпляра `Rc<T>`. Слабые ссылки не отражают связи владения, и их подсчёт не влияет на то, когда экземпляр `Rc<T>` будет очищен. Они не приведут к ссылочному циклу, потому что любой цикл, включающий несколько слабых ссылок, будет разорван, как только количество сильных ссылок для задействованных значений станет равным 0.

Когда вы вызываете `Rc::downgrade`, вы получаете умный указатель типа `Weak<T>`. Вместо того чтобы увеличить `strong_count` в экземпляре `Rc<T>` на 1, вызов `Rc::downgrade` увеличивает `weak_count` на 1. Тип `Rc<T>` использует `weak_count` для отслеживания количества существующих ссылок `Weak<T>`, аналогично `strong_count`. Разница в том, что `weak_count` не должен быть равен 0, чтобы экземпляр `Rc<T>` мог быть удалён.

Поскольку значение, на которое ссылается `Weak<T>` могло быть удалено, то необходимо убедиться, что это значение все ещё существует, чтобы сделать что-либо со значением на которое указывает `Weak<T>`. Делайте это вызывая метод `upgrade` у экземпляра типа `Weak<T>`, который вернёт `Option<Rc<T>>`. Вы получите результат `Some`, если значение `Rc<T>` ещё не было удалено и результат `None`, если значение `Rc<T>` было удалено. Поскольку `upgrade`

возвращает тип `Option<T>`, Rust обеспечит обработку обоих случаев `Some` и `None` и не будет некорректного указателя.

В качестве примера, вместо того чтобы использовать список чей элемент знает только о следующем элементе, мы создадим дерево, чьи элементы знают о своих дочерних элементах и о своих родительских элементах.

Создание древовидной структуры данных: `Node` с дочерними узлами

Для начала мы построим дерево с узлами, которые знают о своих дочерних узлах. Мы создадим структуру с именем `Node`, которая будет содержать собственное значение `i32`, а также ссылки на его дочерние значения `Node`:

Файл: `src/main.rs`

```
use std::cell::RefCell;
use std::rc::Rc;

#[derive(Debug)]
struct Node {
    value: i32,
    children: RefCell<Vec<Rc<Node>>,
}
```

Мы хотим, чтобы `Node` владел своими дочерними узлами и мы хотим поделиться этим владением с переменными так, чтобы мы могли напрямую обращаться к каждому `Node` в дереве. Для этого мы определяем внутренние элементы типа `Vec<T>` как значения типа `Rc<Node>`. Мы также хотим изменять те узлы, которые являются дочерними по отношению к другому узлу, поэтому у нас есть тип `RefCell<T>` в поле `children` обрабатывающий тип `Vec<Rc<Node>>`.

Далее мы будем использовать наше определение структуры и создадим один экземпляр `Node` с именем `leaf` со значением 3 и без дочерних элементов, а другой экземпляр с именем `branch` со значением 5 и `leaf` в качестве одного из его дочерних элементов, как показано в листинге 15-27:

Файл: `src/main.rs`

```
fn main() {
    let leaf = Rc::new(Node {
        value: 3,
        children: RefCell::new(vec![]),
    });

    let branch = Rc::new(Node {
        value: 5,
        children: RefCell::new(vec![Rc::clone(&leaf)]),
    });
}
```

Листинг 15-27: Создание узла `leaf` без дочерних элементов и узла `branch` с `leaf` в качестве одного из дочерних элементов

Мы клонируем содержимое `Rc<Node>` из переменной `leaf` и сохраняем его в переменной `branch`, что означает, что `Node` в `leaf` теперь имеет двух владельцев: `leaf` и `branch`. Мы можем получить доступ из `branch` к `leaf` через обращение `branch.children`, но нет способа добраться из `leaf` к `branch`. Причина в том, что `leaf` не имеет ссылки на `branch` и не знает, что они связаны. Мы хотим, чтобы `leaf` знал, что `branch` является его родителем. Мы сделаем это далее.

Добавление ссылки от ребёнка к его родителю

Для того, чтобы дочерний узел знал о своём родительском узле нужно добавить поле `parent` в наше определение структуры `Node`. Проблема в том, чтобы решить, каким должен быть тип `parent`. Мы знаем, что он не может содержать `Rc<T>`, потому что это создаст ссылочную зацикленность с `leaf.parent` указывающей на `branch` и `branch.children`, указывающей на `leaf`, что приведёт к тому, что их значения `strong_count` никогда не будут равны 0.

Подумаем об этих отношениях по-другому, родительский узел должен владеть своими потомками: если родительский узел удаляется, его дочерние узлы также должны быть удалены. Однако дочерний элемент не должен владеть своим родителем: если мы удаляем дочерний узел то родительский элемент все равно должен существовать. Это случай для использования слабых ссылок!

Поэтому вместо `Rc<T>` мы сделаем так, чтобы поле `parent` использовало тип `Weak<T>`, а именно `RefCell<Weak<Node>>`. Теперь наше определение структуры `Node` выглядит так:

Файл: src/main.rs

```
use std::cell::RefCell;
use std::rc::{Rc, Weak};

#[derive(Debug)]
struct Node {
    value: i32,
    parent: RefCell<Weak<Node>>,
    children: RefCell<Vec<Rc<Node>>>,
}
```

Узел сможет ссылаться на свой родительский узел, но не владеет своим родителем. В листинге 15-28 мы обновляем `main` на использование нового определения так, чтобы узла `leaf` был способ ссылаться на его родительский узел `branch`:

Файл: src/main.rs

```

fn main() {
    let leaf = Rc::new(Node {
        value: 3,
        parent: RefCell::new(Weak::new()),
        children: RefCell::new(vec![]),
    });

    println!("leaf parent = {:?}", leaf.parent.borrow().upgrade());

    let branch = Rc::new(Node {
        value: 5,
        parent: RefCell::new(Weak::new()),
        children: RefCell::new(vec![Rc::clone(&leaf)]),
    });

    *leaf.parent.borrow_mut() = Rc::downgrade(&branch);

    println!("leaf parent = {:?}", leaf.parent.borrow().upgrade());
}

```

Листинг 15-28: Узел `leaf` со слабой ссылкой на его родительский узел `branch`

Создание узла `leaf` выглядит аналогично примеру из Листинга 15-27, за исключением поля `parent`: `leaf` изначально не имеет родителя, поэтому мы создаём новый, пустой экземпляр ссылки `Weak<Node>`.

На этом этапе, когда мы пытаемся получить ссылку на родительский узел у узла `leaf` с помощью метода `upgrade`, мы получаем значение `None`. Мы видим это в выводе первой инструкции `println!`:

```
leaf parent = None
```

Когда мы создаём узел `branch` у него также будет новая ссылка типа `Weak<Node>` в поле `parent`, потому что узел `branch` не имеет своего родительского узла. У нас все ещё есть `leaf` как один из потомков узла `branch`. Когда мы получили экземпляр `Node` в переменной `branch`, мы можем изменить переменную `leaf` чтобы дать ей `Weak<Node>` ссылку на её родителя. Мы используем метод `borrow_mut` у типа `RefCell<Weak<Node>>` поля `parent` у `leaf`, а затем используем функцию `Rc::downgrade` для создания `Weak<Node>` ссылки на `branch` из `Rc<Node>` в `branch`.

Когда мы снова напечатаем родителя `leaf` то в этот раз мы получим вариант `Some` содержащий `branch`, теперь `leaf` может получить доступ к своему родителю! Когда мы печатаем `leaf`, мы также избегаем цикла, который в конечном итоге заканчивался переполнением стека, как в листинге 15-26; ссылки типа `Weak<Node>` печатаются как `(Weak)`:

```
leaf parent = Some(Node { value: 5, parent: RefCell { value: (Weak) },  
children: RefCell { value: [Node { value: 3, parent: RefCell { value: (Weak) },  
children: RefCell { value: [] } }] } })
```

Отсутствие бесконечного вывода означает, что этот код не создал ссылочной зацикленности. Мы также можем сказать это, посмотрев на значения, которые мы получаем при вызове

`Rc::strong_count` и `Rc::weak_count`.

Визуализация изменений в `strong_count` и `weak_count`

Давайте посмотрим, как изменяются значения `strong_count` и `weak_count` экземпляров типа `Rc<Node>` с помощью создания новой внутренней области видимости и перемещая создания экземпляра `branch` в эту область. Таким образом можно увидеть, что происходит, когда `branch` создаётся и затем удаляется при выходе из области видимости. Изменения показаны в листинге 15-29:

Файл: src/main.rs

```
fn main() {
    let leaf = Rc::new(Node {
        value: 3,
        parent: RefCell::new(Weak::new()),
        children: RefCell::new(vec![]),
    });

    println!(
        "leaf strong = {}, weak = {}",
        Rc::strong_count(&leaf),
        Rc::weak_count(&leaf),
    );

    {
        let branch = Rc::new(Node {
            value: 5,
            parent: RefCell::new(Weak::new()),
            children: RefCell::new(vec![Rc::clone(&leaf)]),
        });

        *leaf.parent.borrow_mut() = Rc::downgrade(&branch);

        println!(
            "branch strong = {}, weak = {}",
            Rc::strong_count(&branch),
            Rc::weak_count(&branch),
        );
    }

    println!(
        "leaf strong = {}, weak = {}",
        Rc::strong_count(&leaf),
        Rc::weak_count(&leaf),
    );
}

println!("leaf parent = {:?}", leaf.parent.borrow().upgrade());
println!(
    "leaf strong = {}, weak = {}",
    Rc::strong_count(&leaf),
    Rc::weak_count(&leaf),
);
}
```

Листинг 15-29: Создание `branch` во внутренней области видимости и подсчёт сильных и слабых ссылок

После того, как `leaf` создан его `Rc<Node>` имеет значения strong count равное 1 и weak count равное 0. Во внутренней области мы создаём `branch` и связываем её с `leaf`, после чего при печати значений счётчиков `Rc<Node>` в `branch` они будут иметь strong count 1 и weak count 1 (для `leaf.parent` указывающего на `branch` с `Weak<Node>`). Когда мы распечатаем счётчики из `leaf`, мы увидим, что они будут иметь strong count 2, потому что `branch` теперь имеет клон `Rc<Node>` переменной `leaf` хранящийся в `branch.children`, но все равно будет иметь weak count 0.

Когда заканчивается внутренняя область видимости, `branch` выходит из области видимости и strong count `Rc<Node>` уменьшается до 0, поэтому его `Node` удаляется. Weak count 1 из `leaf.parent` не имеет никакого отношения к тому, был ли `Node` удалён, поэтому не будет никаких утечек памяти!

Если мы попытаемся получить доступ к родителю переменной `leaf` после окончания области видимости, мы снова получим значение `None`. В конце программы `Rc<Node>` внутри `leaf` имеет strong count 1 и weak count 0 потому что переменная `leaf` снова является единственной ссылкой на `Rc<Node>`.

Вся логика, которая управляет счётчиками и сбросом их значений, встроена внутри `Rc<T>` и `Weak<T>` и их реализаций типажа `Drop`. Указав, что отношение из дочернего к родительскому элементу должно быть ссылкой типа `Weak<T>` в определении `Node`, делает возможным иметь родительские узлы, указывающие на дочерние узлы и наоборот, не создавая ссылочной зацикленности и утечек памяти.

Итоги

В этой главе рассказано как использовать умные указатели для обеспечения различных гарантий и компромиссов по сравнению с обычными ссылками, которые Rust использует по умолчанию. Тип `Box<T>` имеет известный размер и указывает на данные размещённые в куче. Тип `Rc<T>` отслеживает количество ссылок на данные в куче, поэтому данные могут иметь несколько владельцев. Тип `RefCell<T>` с его внутренней изменяемостью предоставляет тип, который можно использовать при необходимости неизменного типа, но необходимости изменить внутреннее значение этого типа; он также обеспечивает соблюдение правил заимствования во время выполнения, а не во время компиляции.

Мы обсудили также типажи `Deref` и `Drop`, которые обеспечивают большую функциональность умных указателей. Мы исследовали ссылочную зацикленность, которая может вызывать утечки памяти и как это предотвратить с помощью типа `Weak<T>`.

Если эта глава вызвала у вас интерес и вы хотите реализовать свои собственные умные указатели, обратитесь к ["The Rustonomicon"](#) за более полезной информацией.

Далее мы поговорим о параллелизме в Rust. Вы даже узнаете о нескольких новых умных указателях.

Многопоточность без страха

Безопасное и эффективное управление многопоточным программированием — ещё одна из основных целей Rust. *Многопоточное программирование*, когда разные части программы выполняются независимо, и *параллельное программирование*, когда разные части программы выполняются одновременно, становятся всё более важными, поскольку всё больше компьютеров используют преимущества нескольких процессоров. Исторически программирование в этих условиях было сложным и подверженным ошибкам: Rust надеется изменить это.

Первоначально команда Rust считала, что обеспечение безопасности памяти и предотвращение проблем многопоточности — это две отдельные проблемы, которые необходимо решать различными методами. Со временем команда обнаружила, что системы владения и система типов являются мощным набором инструментов, помогающих управлять безопасностью памяти и проблемами многопоточного параллелизма! Используя владение и проверку типов, многие ошибки многопоточности являются ошибками времени компиляции в Rust, а не ошибками времени выполнения. Поэтому вместо того, чтобы тратить много времени на попытки воспроизвести точные обстоятельства, при которых возникает ошибка многопоточности во время выполнения, некорректный код будет отклонён с ошибкой. В результате вы можете исправить свой код во время работы над ним, а не после развёртывания на рабочем сервере. Мы назвали этот аспект Rust *бесстрашной многопоточностью*. Бесстрашная многопоточность позволяет вам писать код, который не содержит скрытых ошибок и легко реорганизуется без внесения новых.

Примечание: для простоты мы будем называть многие проблемы *многопоточными*, хотя более точный термин здесь — *многопоточные и/или параллельные*. Если бы эта книга была о многопоточности и/или параллелизме, мы были бы более конкретны. В этой главе, пожалуйста, всякий раз, когда мы используем термин «*многопоточный*», мысленно замените на понятие «*многопоточный и/или параллельный*».

Многие языки предлагают довольно консервативные решения проблем многопоточности. Например, Erlang обладает элегантной функциональностью для многопоточности при передаче сообщений, но не определяет ясных способов совместного использования состояния между потоками. Поддержка только подмножества возможных решений является разумной стратегией для языков более высокого уровня, поскольку язык более высокого уровня обещает выгоду при отказе от некоторого контроля над получением абстракций. Однако ожидается, что языки низкого уровня обеспечат решение с наилучшей производительностью в любой конкретной ситуации и будут иметь меньше абстракций по сравнению с аппаратным обеспечением. Поэтому Rust предлагает множество инструментов для моделирования проблем любым способом, который подходит для вашей ситуации и требований.

Вот темы, которые мы рассмотрим в этой главе:

- Как создать потоки для одновременного запуска нескольких фрагментов кода
- Многопоточность *передачи сообщений*, где каналы передают сообщения между потоками
- Многопоточность для *совместно используемого состояния*, когда несколько потоков имеют доступ к некоторому фрагменту данных
- Типажи `Sync` и `Send`, которые расширяют гарантии многопоточности в Rust для пользовательских типов, а также типов, предоставляемых стандартной библиотекой

Использование потоков для одновременного выполнения кода

В большинстве современных операционных систем программный код выполняется в виде *процесса*, причём операционная система способна управлять несколькими процессами сразу. Программа, в свою очередь, может состоять из нескольких независимых частей, выполняемых одновременно. Конструкция, благодаря которой эти независимые части выполняются, называется *потоком*. Например, веб-сервер может иметь несколько потоков для того, чтобы он мог обрабатывать больше одного запроса за раз.

Разбиение вычислений на несколько потоков может повысить производительность программы, поскольку программа выполняет несколько задач одновременно, но такое разбиение также добавляет сложности. Поскольку потоки могут работать одновременно, нет чёткой гарантии, определяющей порядок выполнения частей вашего кода в разных потоках. Это может привести к таким проблемам, как:

- Состояния гонки, когда потоки обращаются к данным, либо ресурсам, несогласованно.
- Взаимные блокировки, когда два потока ожидают друг друга, не позволяя тем самым продолжить работу каждому из потоков.
- Ошибки, которые случаются только в определённых ситуациях, которые трудно воспроизвести и, соответственно, трудно надёжно исправить.

Rust пытается смягчить негативные последствия использования потоков, но программирование в многопоточном контексте все ещё требует тщательного обдумывания структуры кода, которая отличается от структуры кода программ, работающих в одном потоке.

Языки программирования реализуют потоки несколькими различными способами, и многие операционные системы предоставляют API, который язык может вызывать для создания новых потоков. Стандартная библиотека Rust использует модель реализации потоков 1:1, при которой одному потоку операционной системы соответствует ровно один "языковой" поток. Существуют крейты, в которых реализованы другие модели многопоточности, отличающиеся от модели 1:1.

Создание нового потока с помощью `spawn`

Чтобы создать новый поток, мы вызываем функцию `thread::spawn` и передаём ей замыкание (мы говорили о замыканиях в главе 13), содержащее код, который мы хотим запустить в новом потоке. Пример в листинге 16-1 печатает некоторый текст из основного потока, а также другой текст из нового потока:

Файл: `src/main.rs`

```
use std::thread;
use std::time::Duration;

fn main() {
    thread::spawn(|| {
        for i in 1..10 {
            println!("hi number {i} from the spawned thread!");
            thread::sleep(Duration::from_millis(1));
        }
    });

    for i in 1..5 {
        println!("hi number {i} from the main thread!");
        thread::sleep(Duration::from_millis(1));
    }
}
```

Листинг 16-1: Создание нового потока для печати определённого текста, в то время как основной поток печатает что-то другое

Обратите внимание, что когда основной поток программы на Rust завершается, все порождённые потоки закрываются, независимо от того, завершили они работу или нет. Вывод этой программы может каждый раз немного отличаться, но он будет выглядеть примерно так:

```
hi number 1 from the main thread!
hi number 1 from the spawned thread!
hi number 2 from the main thread!
hi number 2 from the spawned thread!
hi number 3 from the main thread!
hi number 3 from the spawned thread!
hi number 4 from the main thread!
hi number 4 from the spawned thread!
hi number 5 from the spawned thread!
```

Вызовы `thread::sleep` заставляют поток на короткое время останавливать своё выполнение, позволяя выполнятся другим потокам. Очерёдность выполнения потоков вероятно будет меняться, но это не гарантировано: это зависит от того, как ваша операционная система планирует потоки. В этом цикле основной поток печатает первым, несмотря на то, что инструкция печати из порождённого потока появляется раньше в коде. И даже несмотря на то, что мы проинструктирували порождённый поток печатать до тех пор, пока значение `i` не достигнет числа 9, оно успело дойти только до 5, когда основной поток завершился.

Если вы запустите этот код и увидите вывод только из основного потока или не увидите печати из других потоков, попробуйте увеличить числа в диапазонах, чтобы дать операционной системе больше возможностей для переключения между потоками.

Ожидание завершения работы всех потоков используя `join`

Код в листинге 16-1 преждевременно останавливает порождённый поток в большинстве случаев, из-за завершения основного потока. Более того, так как порядок выполнения

потоков чётко не определён, этот код не даёт гарантии, что порождённый поток вообще начнёт исполняться!

Мы можем исправить проблему, когда созданный поток не запускается или завершается преждевременно, сохранив возвращаемое значение `thread::spawn` в какой-либо переменной. Тип возвращаемого значения `thread::spawn` — `JoinHandle`. `JoinHandle` — это владеющее значение, которое, при вызове метода `join`, будет ждать завершения своего потока. Листинг 16-2 демонстрирует, как использовать `JoinHandle` потока, созданного в листинге 16-1, и вызывать функцию `join`, для того, чтобы убедиться, что порождённый поток завершится раньше, чем поток `main`:

Файл: src/main.rs

```
use std::thread;
use std::time::Duration;

fn main() {
    let handle = thread::spawn(|| {
        for i in 1..10 {
            println!("hi number {} from the spawned thread!", i);
            thread::sleep(Duration::from_millis(1));
        }
    });

    for i in 1..5 {
        println!("hi number {} from the main thread!", i);
        thread::sleep(Duration::from_millis(1));
    }

    handle.join().unwrap();
}
```

Листинг 16-2. Сохранение значения `JoinHandle` потока `thread::spawn`, гарантирующее, что поток выполнит всю необходимую работу, перед тем, как завершится

Вызов `join` у дескриптора блокирует текущий поток, пока поток, представленный дескриптором не завершится. *Блокировка* потока означает, что потоку запрещено выполнять работу или выходить из него. Поскольку мы поместили вызов `join` после цикла `for` основного потока, выполнение листинга 16-2 должно привести к выводу, подобному следующему:

```
hi number 1 from the main thread!
hi number 2 from the main thread!
hi number 1 from the spawned thread!
hi number 3 from the main thread!
hi number 2 from the spawned thread!
hi number 4 from the main thread!
hi number 3 from the spawned thread!
hi number 4 from the spawned thread!
hi number 5 from the spawned thread!
hi number 6 from the spawned thread!
hi number 7 from the spawned thread!
hi number 8 from the spawned thread!
hi number 9 from the spawned thread!
```

Два потока продолжают чередоваться, но основной поток находится в ожидании из-за вызова `handle.join()` и не завершается до тех пор, пока не завершится запущенный поток.

Но давайте посмотрим, что произойдёт, если мы вместо этого переместим `handle.join()` перед циклом `for` в `main`, например так:

Файл: src/main.rs

```
use std::thread;
use std::time::Duration;

fn main() {
    let handle = thread::spawn(|| {
        for i in 1..10 {
            println!("hi number {i} from the spawned thread!");
            thread::sleep(Duration::from_millis(1));
        }
    });

    handle.join().unwrap();

    for i in 1..5 {
        println!("hi number {i} from the main thread!");
        thread::sleep(Duration::from_millis(1));
    }
}
```

Основной поток будет ждать завершения порождённого потока, а затем запустит свой цикл `for`, поэтому выходные данные больше не будут чередоваться, как показано ниже:

```
hi number 1 from the spawned thread!
hi number 2 from the spawned thread!
hi number 3 from the spawned thread!
hi number 4 from the spawned thread!
hi number 5 from the spawned thread!
hi number 6 from the spawned thread!
hi number 7 from the spawned thread!
hi number 8 from the spawned thread!
hi number 9 from the spawned thread!
hi number 1 from the main thread!
hi number 2 from the main thread!
hi number 3 from the main thread!
hi number 4 from the main thread!
```

Небольшие детали, такие как место вызова `join`, могут повлиять на то, выполняются ли ваши потоки одновременно.

Использование `move`-замыканий в потоках

Мы часто используем ключевое слово `move` с замыканиями, переданными в `thread::spawn`, потому что в этом случае замыкание получает из окружения права владения на используемые им значения, таким образом передавая права владения этими значениями от одного потока к другому. В разделе ["Захват ссылок или перемещение прав владения"](#) главы 13 мы обсудили `move` в контексте замыканий. Теперь мы сосредоточимся на взаимодействии между `move` и `thread::spawn`.

Обратите внимание, что в листинге 16-1 замыкание, которое мы передаём в `thread::spawn` не принимает аргументов: мы не используем никаких данных из основного потока в коде порождённого потока. Чтобы использовать данные из основного потока в порождённом потоке, замыкание порождённого потока должно захватывать значения, которые ему необходимы. Листинг 16-3 показывает попытку создать вектор в главном потоке и использовать его в порождённом потоке. Тем не менее, это не будет работать, как вы увидите через мгновение.

Файл: src/main.rs

```
use std::thread;

fn main() {
    let v = vec![1, 2, 3];

    let handle = thread::spawn(|| {
        println!("Here's a vector: {v:?}");
    });

    handle.join().unwrap();
}
```



Листинг 16-3: Попытка использовать вектор, созданный основным потоком, в другом потоке

Замыкание использует переменную `v`, поэтому оно захватит `v` и сделает его частью окружения замыкания. Поскольку `thread::spawn` запускает это замыкание в новом потоке, мы должны иметь доступ к `v` внутри этого нового потока. Но при компиляции этого примера, мы получаем следующую ошибку:

```
$ cargo run
Compiling threads v0.1.0 (file:///projects/threads)
error[E0373]: closure may outlive the current function, but it borrows `v`, which is
owned by the current function
--> src/main.rs:6:32
|
6 |     let handle = thread::spawn(|| {
|                         ^^^ may outlive borrowed value `v`
7 |         println!("Here's a vector: {v:?}");
|                           - `v` is borrowed here
|
note: function requires argument type to outlive `'static`
--> src/main.rs:6:18
|
6 |     let handle = thread::spawn(|| {
|                         ^
7 |     |     println!("Here's a vector: {v:?}");
8 |     | );
|     |     ^
help: to force the closure to take ownership of `v` (and any other referenced
variables), use the `move` keyword
|
6 |     let handle = thread::spawn(move || {
|                         ++++
For more information about this error, try `rustc --explain E0373`.
error: could not compile `threads` (bin "threads") due to 1 previous error
```

Rust выводит как захватить `v` и так как в `println!` нужна только ссылка на `v`, то замыкание пытается заимствовать `v`. Однако есть проблема: Rust не может определить, как долго будет работать порождённый поток, поэтому он не знает, будет ли всегда действительной ссылка на `v`.

В листинге 16-4 приведён сценарий, который с большей вероятностью будет иметь ссылку на `v`, что будет недопустимо:

Файл: src/main.rs



```
use std::thread;

fn main() {
    let v = vec![1, 2, 3];

    let handle = thread::spawn(|| {
        println!("Here's a vector: {v:?}");
    });

    drop(v); // oh no!

    handle.join().unwrap();
}
```

Листинг 16-4. Поток с замыканием, который пытается захватить ссылку на `v` из основного потока, удаляющего `v`

Если бы Rust позволил нам запустить этот код, есть вероятность, что порождённый поток был бы немедленно переведён в фоновый режим, не выполнив ничего. Порождённый поток имеет ссылку на `v`, но основной поток немедленно удаляет `v`, используя функцию `drop`, которую мы обсуждали в главе 15. Затем, когда порождённый поток начинает выполняться, `v` уже не существует, поэтому ссылка на него также будет недействительной. О, нет!

Чтобы исправить ошибку компилятора в листинге 16-3, мы можем использовать совет из сообщения об ошибке:

```
help: to force the closure to take ownership of `v` (and any other referenced
variables), use the `move` keyword
|
6 |     let handle = thread::spawn(move || {
|         +++
| }
```

Добавляя ключевое слово `move` перед замыканием, мы заставляем замыкание забирать используемые значения во владение, вместо того, чтобы позволить Rust вывести необходимость заимствования значения. Модификация Листинга 16-3, показанная в Листинге 16-5, будет скомпилирована и запущена так, как мы ожидаем:

Файл: src/main.rs

```
use std::thread;

fn main() {
    let v = vec![1, 2, 3];

    let handle = thread::spawn(move || {
        println!("Here's a vector: {v:?}");
    });

    handle.join().unwrap();
}
```

Листинг 16-5. Использование ключевого слова `move`, чтобы замыкание стало владельцем используемых им значений.

У нас может возникнуть соблазн попробовать то же самое, чтобы исправить код в листинге 16.4, где основной поток вызывал `drop` с помощью замыкания `move`. Однако это исправление не сработает, потому что то, что пытается сделать листинг 16.4, запрещено по другой причине. Если мы добавим `move` к замыканию, мы переместим `v` в окружение замыкания и больше не сможем вызывать для него `drop` в основном потоке. Вместо этого мы получим эту ошибку компилятора:

```
$ cargo run
Compiling threads v0.1.0 (file:///projects/threads)
error[E0382]: use of moved value: `v`
--> src/main.rs:10:10
|
4 |     let v = vec![1, 2, 3];
|         - move occurs because `v` has type `Vec<i32>`, which does not implement
the `Copy` trait
5 |
6 |     let handle = thread::spawn(move || {
|                         ----- value moved into closure here
7 |         println!("Here's a vector: {v:?}");
|                         - variable moved due to use in closure
...
10|     drop(v); // oh no!
|           ^ value used here after move

For more information about this error, try `rustc --explain E0382`.
error: could not compile `threads` (bin "threads") due to 1 previous error
```

Правила владения Rust снова нас спасли! Мы получили ошибку кода из листинга 16-3, потому что Rust был консервативен и заимствовал `v` только для потока, что означало, что основной поток теоретически может сделать недействительной ссылку на порождённый поток. Сообщив Rust о передаче владения `v` в порождаемый поток, мы гарантируем Rust, что основной поток больше не будет использовать `v`. Если мы изменим Листинг 16-4 таким же образом, то мы нарушаем правила владения при попытке использовать `v` в главном потоке. Ключевое слово `move` отменяет основное консервативное поведение Rust по заимствованию, что не позволяет нам нарушать правила владения.

Имея базовое понимание потоков и API потоков, давайте посмотрим, что мы можем *делать* с помощью потоков.

Передача данных с помощью сообщений между потоками

Всё большую популярность для обеспечения безопасной многопоточности набирает способ, называемый *передача сообщений*. В этом случае потоки или акторы взаимодействуют друг с другом путём отправки сообщений с данными. Идея этого подхода выражена в слогане из [документации языка Go](#) таким образом: «Не стоит передавать информацию с помощью разделяемой памяти; лучше делитесь памятью, передавая информацию».

Для обеспечения отправки многопоточных сообщений в стандартной библиотеке языка Rust реализованы *каналы*. Канал в программировании - это общепринятый механизм, с помощью которого данные из одного потока отправляются другому потоку.

Вы можете представить канал в программировании как направленное движение воды, например как ручей или реку. Если вы поместите какую-нибудь вещь на воду, например резиновую уточку, она будет плыть вниз по течению до тех пор, пока это течение не кончится.

Канал состоит из двух половин: передатчика и приёмника. Передатчик — это место вверх по течению, где вы опускаете резиновых уточек в реку, а приёмник — это место, где резиновые уточки оказываются в конце пути. Одна часть вашего кода вызывает методы передатчика с данными, которые вы хотите отправить, а другая часть проверяет принимающую сторону на наличие поступающих сообщений. Канал считается *закрытым*, если либо передающая, либо принимающая его половина уничтожена.

Давайте создадим программу, в которой один поток будет генерировать значения и отправлять их в канал, а другой поток будет получать значения и распечатывать их. Мы будем отправлять между потоками простые значения, используя канал, чтобы проиллюстрировать эту функцию. После того, как вы ознакомитесь с этим методом, вы сможете использовать каналы с любыми потоками, которым необходимо взаимодействовать друг с другом. Это может быть например система чата или система, в которой несколько вычислительных потоков выполняют свою часть расчёта, а затем отправляют эту часть в отдельный поток, который уже агрегирует полученные результаты.

Сначала в листинге 16-6 мы создадим канал, но не будем ничего с ним делать. Обратите внимание, что этот код ещё не компилируется, потому что Rust не может сказать, какой тип значений мы хотим отправить через канал.

Файл: src/main.rs

```
use std::sync::mpsc;

fn main() {
    let (tx, rx) = mpsc::channel();
}
```



Листинг 16-6: Создание канала и присваивание двух значений переменным `tx` и `rx`

Мы создаём новый канал, используя функцию `mpsc::channel`; `mpsc` означает *несколько производителей, один потребитель* (multiple producer, single consumer). Коротко, способ которым стандартная библиотека Rust реализует каналы, означает, что канал может иметь несколько отправляющих источников генерирующих значения, но только одну *принимающую* сторону, которая потребляет эти значения. Представьте, что несколько ручьёв втекают в одну большую реку: всё, что плывёт вниз по любому из ручьёв, в конце концов окажется в одной реке. Сейчас мы пока начнём с одного производителя, а когда пример заработает, добавим ещё несколько.

Функция `mpsc::channel` возвращает кортеж, первый элемент которого является отправляющей стороной (передатчиком), а вторым элементом является принимающая сторона (получатель). Аббревиатуры `tx` и `rx` традиционно используются во многих полях для *передатчика* и *приёмника* соответственно, поэтому мы называем соответствующие переменные именно так. Мы используем инструкцию `let` с шаблоном, который деструктурирует кортежи; мы обсудим использование шаблонов в инструкциях `let` и деструктуризацию в главе 18. А пока знайте, что описанное использование инструкции `let` является удобным способом извлечения частей кортежа, возвращаемых `mpsc::channel`.

Давайте переместим передающую часть в порождённый поток так, чтобы он отправлял одну строку и чтобы таким образом, порождённый поток связывался с основным потоком, как показано в листинге 16-7. Это похоже на то, как если бы вы поместили резиновую утку в реку вверх по течению или отправили сообщение чата из одного потока в другой.

Файл: `src/main.rs`

```
use std::sync::mpsc;
use std::thread;

fn main() {
    let (tx, rx) = mpsc::channel();

    thread::spawn(move || {
        let val = String::from("hi");
        tx.send(val).unwrap();
    });
}
```

Листинг 16-7: Перемещение `tx` в созданный поток и отправка сообщения «привет»

Опять же, мы используем `thread::spawn` для создания нового потока, а затем используем `move` для перемещения `tx` в замыкание, чтобы порождённый поток владел `tx`. Порождённый поток должен владеть передатчиком, чтобы иметь возможность отправлять сообщения через канал. Передатчик имеет метод `send`, который принимает значение, которое мы хотим отправить. Метод `send` возвращает тип `Result<T, E>`, поэтому, если получатель уже удалён и отправить значение некуда, операция отправки вернёт ошибку. В этом примере мы вызываем `unwrap` для паники в случае ошибки. В реальном приложении мы обработали бы эту ситуацию более корректно: вернитесь к главе 9, если хотите ещё раз разобрать стратегии правильной обработки ошибок.

В листинге 16-8 мы получим значение от приёмника в основном потоке. Это похоже на извлечение резиновой уточки из воды в конце реки или получение сообщения в чате.

Файл: src/main.rs

```
use std::sync::mpsc;
use std::thread;

fn main() {
    let (tx, rx) = mpsc::channel();

    thread::spawn(move || {
        let val = String::from("hi");
        tx.send(val).unwrap();
    });

    let received = rx.recv().unwrap();
    println!("Got: {}", received);
}
```

Листинг 16-8: В основном потоке получаем сообщение "hi" и печатаем его

Получатель имеет два важных метода: `recv` и `try_recv`. Мы используем `recv`, что является сокращением от `receive`, который блокирует выполнение основного потока и ждёт, пока данные не будут переданы по каналу. Как только значение будет получено, `recv` вернёт его в виде `Result<T, E>`. Когда канал закроется, `recv` вернёт ошибку, чтобы дать понять, что больше никаких сообщений не поступит.

В свою очередь, метод `try_recv` не блокирует, а сразу возвращает результат `Result<T, E>`: значение `Ok`, содержащее сообщение, если оно доступно или значение `Err`, если никаких сообщений не поступило. Использование `try_recv` полезно, если у этого потока есть и другая работа в то время, пока происходит ожидание сообщений: так, мы можем написать цикл, который вызывает `try_recv` время от времени, обрабатывает сообщение, если оно доступно, а в промежутке выполняет другую работу до того момента, как вновь будет произведена проверка.

Мы использовали `recv` в этом примере для простоты; у нас нет никакой другой работы для основного потока, кроме как ждать сообщений, поэтому блокировка основного потока уместна.

При запуске кода листинга 16-8, мы увидим значение, напечатанное из основного потока:

```
Got: hi
```

Отлично!

Каналы и передача владения

Правила владения играют жизненно важную роль в отправке сообщений, потому что они помогают писать безопасный многопоточный код. Предотвращение ошибок в

многопоточном программировании является преимуществом для размышлений о владении во всех ваших Rust программах. Давайте проведём эксперимент, чтобы показать как каналы и владение действуют совместно для предотвращения проблем: мы попытаемся использовать значение `val` в порождённом потоке *после* того как отправим его в канал. Попробуйте скомпилировать код в листинге 16-9, чтобы понять, почему этот код не разрешён:

Файл: src/main.rs

```
use std::sync::mpsc;
use std::thread;

fn main() {
    let (tx, rx) = mpsc::channel();

    thread::spawn(move || {
        let val = String::from("hi");
        tx.send(val).unwrap();
        println!("val is {val}");
    });

    let received = rx.recv().unwrap();
    println!("Got: {received}");
}
```



Листинг 16-9: Попытка использовать `val` после того, как мы отправили его по каналу

Здесь мы пытаемся напечатать значение `val` после того, как отправили его в канал вызвав `tx.send`. Разрешить это было бы плохой идеей: после того, как значение было отправлено в другой поток, текущий поток мог бы изменить или удалить значение, прежде чем мы попытались бы использовать значение снова. Потенциально изменения в другом потоке могут привести к ошибкам или неожиданным результатам из-за противоречивых или несуществующих данных. Однако Rust выдаёт нам ошибку, если мы пытаемся скомпилировать код в листинге 16-9:

```
$ cargo run
Compiling message-passing v0.1.0 (file:///projects/message-passing)
error[E0382]: borrow of moved value: `val`
--> src/main.rs:10:26
   |
8 |         let val = String::from("hi");
   |         --- move occurs because `val` has type `String`, which does not
implement the `Copy` trait
9 |         tx.send(val).unwrap();
   |             --- value moved here
10|         println!("val is {val}");
   |                     ^^^^^^ value borrowed here after move
   |
= note: this error originates in the macro `$crate::format_args_nl` which comes from
the expansion of the macro `println` (in Nightly builds, run with -Z macro-backtrace
for more info)

For more information about this error, try `rustc --explain E0382`.
error: could not compile `message-passing` (bin "message-passing") due to 1 previous
error
```

Наша ошибка для многопоточности привела к ошибке компиляции. Функция `send` вступает во владение своим параметром и когда значение перемещается, получатель становится владельцем этого параметра. Это останавливает нас от случайного использования значения снова после его отправки; анализатор заимствования проверяет, что все в порядке.

Отправка нескольких значений и ожидание получателем

Код в листинге 16-8 компилируется и выполняется, но в нем неясно показано то, что два отдельных потока общаются друг с другом через канал. В листинге 16-10 мы внесли некоторые изменения, которые докажут, что код в листинге 16-8 работает одновременно: порождённый поток теперь будет отправлять несколько сообщений и делать паузу на секунду между каждым сообщением.

Файл: src/main.rs

```
use std::sync::mpsc;
use std::thread;
use std::time::Duration;

fn main() {
    let (tx, rx) = mpsc::channel();

    thread::spawn(move || {
        let vals = vec![
            String::from("hi"),
            String::from("from"),
            String::from("the"),
            String::from("thread"),
        ];
        for val in vals {
            tx.send(val).unwrap();
            thread::sleep(Duration::from_secs(1));
        }
    });

    for received in rx {
        println!("Got: {}", received);
    }
}
```

Листинг 16-10: Отправка нескольких сообщений и пауза между ними

На этот раз порождённый поток имеет вектор строк, которые мы хотим отправить основному потоку. Мы перебираем их, отправляя каждую строку по отдельности и делаем паузу между ними, вызывая функцию `thread::sleep` со значением `Duration` равным 1 секунде.

В основном потоке мы больше не вызываем функцию `recv` явно: вместо этого мы используем `rx` как итератор. Для каждого полученного значения мы печатаем его. Когда канал будет закрыт, итерация закончится.

При выполнении кода в листинге 16-10 вы должны увидеть следующий вывод с паузой в 1 секунду между каждой строкой:

```
Got: hi
Got: from
Got: the
Got: thread
```

Поскольку у нас нет кода, который приостанавливает или задерживает цикл `for` в основном потоке, мы можем сказать, что основной поток ожидает получения значений из порождённого потока.

Создание нескольких отправителей путём клонирования передатчика

Ранее мы упоминали, что `mpsc` — это аббревиатура от *множество поставщиков, один потребитель*. Давайте используем `mpsc` в полной мере и расширим код в листинге 16.10, создав несколько потоков, которые отправляют значения одному и тому же получателю. Мы можем сделать это, клонировав передатчик, как показано в листинге 16.11:

Файл: `src/main.rs`

```
// --snip--\n\nlet (tx, rx) = mpsc::channel();\n\nlet tx1 = tx.clone();\nthread::spawn(move || {\n    let vals = vec![\n        String::from("hi"),\n        String::from("from"),\n        String::from("the"),\n        String::from("thread"),\n    ];\n\n    for val in vals {\n        tx1.send(val).unwrap();\n        thread::sleep(Duration::from_secs(1));\n    }\n});\n\nthread::spawn(move || {\n    let vals = vec![\n        String::from("more"),\n        String::from("messages"),\n        String::from("for"),\n        String::from("you"),\n    ];\n\n    for val in vals {\n        tx.send(val).unwrap();\n        thread::sleep(Duration::from_secs(1));\n    }\n});\n\nfor received in rx {\n    println!("Got: {}", received);\n}\n\n// --snip--
```

Листинг 16-11: Отправка нескольких сообщений от нескольких производителей

На этот раз, прежде чем мы создадим первый порождённый поток, мы вызовем функцию `clone` на передатчике. В результате мы получим новый передатчик, который мы сможем передать первому порождённому потоку. Исходный передатчик мы передадим второму порождённому потоку. Это даст нам два потока, каждый из которых отправляет разные сообщения одному получателю.

Когда вы запустите код, вывод должен выглядеть примерно так:

```
Got: hi\nGot: more\nGot: from\nGot: messages\nGot: for\nGot: the\nGot: thread\nGot: you
```

Вы можете увидеть значения в другом порядке, в зависимости от вашей системы. Именно такое поведение делает параллелизм как интересным, так и сложным. Если вы поэкспериментируете с `thread::sleep`, задавая различные значения аргумента в разных потоках, каждый запуск будет более недетерминированным и каждый раз будут выводиться разные данные.

Теперь, когда мы посмотрели, как работают каналы, давайте рассмотрим другой метод многопоточности.

Многопоточное разделяемое состояние

Передача сообщений — прекрасный способ обработки параллелизма, но не единственный. Другим методом может быть доступ нескольких потоков к одним и тем же общим данным. Рассмотрим ещё раз часть слогана из документации по языку Go: «Не стоит передавать информацию с помощью разделяемой памяти».

Как бы выглядело общение, используя разделяемую память? Кроме того, почему энтузиасты передачи сообщений предостерегают от его использования?

В каком-то смысле каналы в любом языке программирования похожи на единоличное владение, потому что после передачи значения по каналу вам больше не следует использовать отправленное значение. Многопоточная, совместно используемая память подобна множественному владению: несколько потоков могут одновременно обращаться к одной и той же области памяти. Как вы видели в главе 15, где умные указатели сделали возможным множественное владение, множественное владение может добавить сложность, потому что нужно управлять этими разными владельцами. Система типов Rust и правила владения очень помогают в их правильном управлении. Для примера давайте рассмотрим мьютексы, один из наиболее распространённых многопоточных примитивов для разделяемой памяти.

Мьютексы предоставляют доступ к данным из одного потока (за раз)

Mutex - это сокращение от *взаимное исключение* (mutual exclusion), так как мьютекс позволяет только одному потоку получать доступ к некоторым данным в любой момент времени. Для того, чтобы получить доступ к данным в мьютексе, поток должен сначала подать сигнал, что он хочет получить доступ запрашивая блокировку (lock) мьютекса. Блокировка - это структура данных, являющаяся частью мьютекса, которая отслеживает кто в настоящее время имеет эксклюзивный доступ к данным. Поэтому мьютекс описывается как объект *защищающий* данные, которые он хранит через систему блокировки.

Мьютексы имеют репутацию трудных в использовании, потому что вы должны помнить два правила:

- Перед тем как попытаться получить доступ к данным необходимо получить блокировку.
- Когда вы закончили работу с данными, которые защищает мьютекс, вы должны разблокировать данные, чтобы другие потоки могли получить блокировку.

Для понимания мьютекса, представьте пример из жизни как групповое обсуждение на конференции с одним микрофоном. Прежде чем участник дискуссии сможет говорить, он должен спросить или дать сигнал, что он хочет использовать микрофон. Когда он получает микрофон, то может говорить столько, сколько хочет, а затем передаёт микрофон следующему участнику, который попросит дать ему выступить. Если участник дискуссии забудет освободить микрофон, когда закончит с ним, то никто больше не сможет говорить.

Если управление общим микрофоном идёт не правильно, то конференция не будет работать как было запланировано!

Правильное управление мьютексами может быть невероятно сложным и именно поэтому многие люди с энтузиазмом относятся к каналам. Однако, благодаря системе типов и правилам владения в Rust, вы не можете использовать блокировку и разблокировку неправильным образом.

Mutex<T> API

Давайте рассмотрим пример использования мьютекса в листинге 16-12 без использования нескольких потоков:

Файл: src/main.rs

```
use std::sync::Mutex;

fn main() {
    let m = Mutex::new(5);

    {
        let mut num = m.lock().unwrap();
        *num = 6;
    }

    println!("m = {}", m);
}
```

Листинг 16-12: Изучение API `Mutex<T>` для простоты в однопоточном контексте

Как и во многих других типах, мы создаём `Mutex<T>` с помощью сопутствующей функции `new`. Чтобы получить доступ к данным внутри мьютекса, мы используем метод `lock` для получения блокировки. Этот вызов блокирует выполнение текущего потока, так что он не сможет выполнять никакие действия, до тех пор пока не наступит наша очередь получить блокировку.

Вызов `lock` потерпит неудачу, если другой поток, удерживающий блокировку, запаникует. В таком случае никто не сможет получить блокировку, поэтому мы предпочли использовать `unwrap` и заставить этот поток паниковать, если мы окажемся в такой ситуации.

После получения блокировки мы можем воспринимать возвращённое значение, названное в данном случае `num`, как изменяемую ссылку на содержащиеся внутри данные. Система типов гарантирует, что мы получим блокировку перед использованием значения в `m`. Тип `m` - `Mutex<i32>`, а не `i32`, поэтому мы должны вызвать `lock`, чтобы иметь возможность использовать значение `i32`. Мы не должны об этом забывать, тем более что в иных случаях система типов и не даст нам доступ к внутреннему значению `i32`.

Как вы наверное подозреваете, `Mutex<T>` является умным указателем. Точнее, вызов `lock` возвращает умный указатель, называемый `MutexGuard`, обёрнутый в `LockResult`, который мы обработали с помощью вызова `unwrap`. Умный указатель типа `MutexGuard` реализует типаж

`Deref` для указания на внутренние данные; умный указатель также имеет реализацию типа `Drop`, автоматически снимающего блокировку, когда `MutexGuard` выходит из области видимости, что происходит в конце внутренней области видимости. В результате у нас нет риска забыть снять блокировку и оставить мьютекс в заблокированном состоянии, препятствуя его использованию другими потоками (снятие блокировки происходит автоматически).

После снятия блокировки можно напечатать значение мьютекса и увидеть, что мы смогли изменить внутреннее `i32` на 6.

Разделение `Mutex<T>` между множеством потоков

Теперь давайте попробуем с помощью `Mutex<T>` совместно использовать значение между несколькими потоками. Мы стартуем 10 потоков и каждый из них увеличивает значение счётчика на 1, поэтому счётчик изменяется от 0 до 10. Обратите внимание, что в следующих нескольких примерах будут ошибки компилятора и мы будем использовать эти ошибки, чтобы узнать больше об использовании типа `Mutex<T>` и как Rust помогает нам правильно его использовать. Листинг 16-13 содержит наш начальный пример:

Файл: src/main.rs

```
use std::sync::Mutex;
use std::thread;

fn main() {
    let counter = Mutex::new(0);
    let mut handles = vec![];

    for _ in 0..10 {
        let handle = thread::spawn(move || {
            let mut num = counter.lock().unwrap();

            *num += 1;
        });
        handles.push(handle);
    }

    for handle in handles {
        handle.join().unwrap();
    }

    println!("Result: {}", *counter.lock().unwrap());
}
```



Листинг 16-13. Десять потоков, увеличивающих счётчик, защищённый `Mutex<T>`

Мы создаём переменную-счётчик `counter` для хранения `i32` значения внутри `Mutex<T>`, как мы это делали в листинге 16-12. Затем мы создаём 10 потоков, перебирая диапазон чисел. Мы используем `thread::spawn` и передаём всем этим потокам одинаковое замыкание, которое перемещает счётчик в поток, запрашивает блокировку на `Mutex<T>`, вызывая метод `lock`, а затем добавляет 1 к значению в мьютексе. Когда поток завершит выполнение своего

замыкания, `num` выйдет из области видимости и освободит блокировку, чтобы её мог получить другой поток.

В основном потоке мы собираем все дескрипторы в переменную `handles`. Затем, как мы это делали в листинге 16-2, вызываем `join` для каждого дескриптора, чтобы убедиться в завершении всех потоков. В этот момент основной поток получит доступ к блокировке и тоже напечатает результат программы.

Компилятор намекнул, что этот пример не компилируется. Давайте выясним почему!

```
$ cargo run
Compiling shared-state v0.1.0 (file:///projects/shared-state)
error[E0382]: borrow of moved value: `counter`
--> src/main.rs:21:29
  |
5 |     let counter = Mutex::new(0);
  |             ----- move occurs because `counter` has type `Mutex<i32>`, which does
not implement the `Copy` trait
...
8 |     for _ in 0..10 {
  |             ----- inside of this loop
9 |         let handle = thread::spawn(move || {
  |                             ----- value moved into closure here, in
previous iteration of loop
...
21|     println!("Result: {}", *counter.lock().unwrap());
  |             ^^^^^^^^ value borrowed here after move
  |
help: consider moving the expression out of the loop so it is only moved once
  |
8 ~     let mut value = counter.lock();
9 ~     for _ in 0..10 {
10|         let handle = thread::spawn(move || {
11~             let mut num = value.unwrap();
  |

For more information about this error, try `rustc --explain E0382`.
error: could not compile `shared-state` (bin "shared-state") due to 1 previous error
```

Сообщение об ошибке указывает, что значение `counter` было перемещено в замыкание на предыдущей итерации цикла. Rust говорит нам, что мы не можем передать `counter` во владение нескольким потокам. Давайте исправим ошибку компилятора с помощью метода множественного владения, который мы обсуждали в главе 15.

Множественное владение между множеством потоков

В главе 15 мы давали значение нескольким владельцам, используя умный указатель `Rc<T>` для создания значения подсчитанных ссылок. Давайте сделаем то же самое здесь и посмотрим, что произойдёт. Мы завернём `Mutex<T>` в `Rc<T>` в листинге 16-14 и клонируем `Rc<T>` перед передачей владения в поток. Теперь, когда мы увидели ошибки, мы также вернёмся к использованию цикла `for` и сохраним ключевое слово `move` у замыкания.



```
use std::rc::Rc;
use std::sync::Mutex;
use std::thread;

fn main() {
    let counter = Rc::new(Mutex::new(0));
    let mut handles = vec![];

    for _ in 0..10 {
        let counter = Rc::clone(&counter);
        let handle = thread::spawn(move || {
            let mut num = counter.lock().unwrap();

            *num += 1;
        });
        handles.push(handle);
    }

    for handle in handles {
        handle.join().unwrap();
    }

    println!("Result: {}", *counter.lock().unwrap());
}
```

Листинг 16-14: Попытка использования `Rc<T>`, чтобы позволить нескольким потокам владеть `Mutex<T>`

Ещё раз, мы компилируем и получаем ... другие ошибки! Компилятор учит нас.

```
$ cargo run
Compiling shared-state v0.1.0 (file:///projects/shared-state)
error[E0277]: `Rc<Mutex<i32>>` cannot be sent between threads safely
--> src/main.rs:11:36
|
11 |         let handle = thread::spawn(move || {
|             ----- ^-----|
|             |           |
|             |           within this `{:closure@src/main.rs:11:36:11:43}`|
|             |           |
|             |           required by a bound introduced by this call
12 |             let mut num = counter.lock().unwrap();
13 |
14 |             *num += 1;
15 |         });
|         ^ `Rc<Mutex<i32>>` cannot be sent between threads safely
|
= help: within `{:closure@src/main.rs:11:36:11:43}`, the trait `Send` is not
implemented for `Rc<Mutex<i32>>`, which is required by `{:closure@src/main.rs:11:36:11:43}: Send`
note: required because it's used within this closure
--> src/main.rs:11:36
|
11 |         let handle = thread::spawn(move || {
|             ^^^^^^
note: required by a bound in `spawn`
-->
/rustc/129f3b9964af4d4a709d1383930ade12dfe7c081/library/std/src/thread/mod.rs:691:1

For more information about this error, try `rustc --explain E0277`.
error: could not compile `shared-state` (bin "shared-state") due to 1 previous error
```

Ничего себе, это сообщение об ошибке очень многословно! Вот важная часть, на которой следует сосредоточиться: ```Rc<Mutex>` `cannot be sent between threads safely```. Компилятор также сообщает нам причину: `the trait Send is not implemented for Rc<Mutex>`. Мы поговорим о `Send` в следующем разделе: это один из типажей, который гарантирует, что типы которые мы используем с потоками, предназначены для использования в многопоточном коде.

К сожалению, `Rc<T>` небезопасен для совместного использования между потоками. Когда `Rc<T>` управляет счётчиком ссылок, он добавляется значение к счётчику для каждого вызова `clone` и вычитается значение из счётчика, когда каждое клонированное значение удаляется при выходе из области видимости. Но он не использует примитивы многопоточности, чтобы гарантировать, что изменения в подсчёте не могут быть прерваны другим потоком. Это может привести к неправильным подсчётам - незначительным ошибкам, которые в свою очередь, могут привести к утечкам памяти или удалению значения до того, как мы отработали с ним. Нам нужен тип точно такой же как `Rc<T>`, но который позволяет изменять счётчик ссылок безопасно из разных потоков.

Атомарный счётчик ссылок `Arc<T>`

К счастью, `Arc<T>` является типом аналогичным типу `Rc<T>`, который безопасен для использования в ситуациях многопоточности. Буква A означает *атомарное*, что означает тип ссылка подсчитываемая атомарно. Atomics - это дополнительный вид примитивов для многопоточности, который мы не будем здесь подробно описывать: дополнительную информацию смотрите в документации стандартной библиотеки для `std::sync::atomic`. На данный момент вам просто нужно знать, что atomics работают как примитивные типы, но безопасны для совместного использования между потоками.

Вы можете спросить, почему все примитивные типы не являются атомарными и почему стандартные типы библиотек не реализованы для использования вместе с типом `Arc<T>` по умолчанию. Причина в том, что безопасность потоков сопровождается снижением производительности, которое вы хотите платить только тогда, когда вам это действительно нужно. Если вы просто выполняете операции со значениями в одном потоке, то ваш код может работать быстрее, если он не должен обеспечивать гарантии предоставляемые atomics.

Давайте вернёмся к нашему примеру: типы `Arc<T>` и `Rc<T>` имеют одинаковый API, поэтому мы исправляем нашу программу, заменяя тип в строках `use`, вызове `new` и вызове `clone`. Код в листинге 16-15, наконец скомпилируется и запустится:

Файл: src/main.rs

```
use std::sync::{Arc, Mutex};
use std::thread;

fn main() {
    let counter = Arc::new(Mutex::new(0));
    let mut handles = vec![];

    for _ in 0..10 {
        let counter = Arc::clone(&counter);
        let handle = thread::spawn(move || {
            let mut num = counter.lock().unwrap();

            *num += 1;
        });
        handles.push(handle);
    }

    for handle in handles {
        handle.join().unwrap();
    }

    println!("Result: {}", *counter.lock().unwrap());
}
```

Листинг 16-15: Использование типа `Arc<T>` для обёртывания `Mutex<T>`, теперь несколько потоков могут совместно владеть мьютексом

Код напечатает следующее:

Result: 10

Мы сделали это! Мы посчитали от 0 до 10, что может показаться не очень впечатляющим, но это позволило больше узнать про `Mutex<T>` и безопасность потоков. Вы также можете использовать структуру этой программы для выполнения более сложных операций, чем просто увеличение счётчика. Используя эту стратегию, вы можете разделить вычисления на независимые части, разделить эти части на потоки, а затем использовать `Mutex<T>`, чтобы каждый поток обновлял конечный результат своей частью кода.

Обратите внимание, что если вы выполняете простые числовые операции, то существуют типы более простые, чем `Mutex<T>`, которые предоставляет модуль `std::sync::atomic` стандартной библиотеки. Эти типы обеспечивают безопасный, параллельный, атомарный доступ к простым типам. Мы решили использовать `Mutex<T>` с простым типом в этом примере, чтобы подробнее рассмотреть, как работает `Mutex<T>`.

Сходства `RefCell<T>` / `Rc<T>` и `Mutex<T>` / `Arc<T>`

Вы могли заметить, что `counter` сам по себе не изменяемый (immutable), но мы можем получить изменяемую ссылку на значение внутри него; это означает, что `Mutex<T>` обеспечивает внутреннюю изменяемость, также как и семейство `Cell` типов. Мы использовали `RefCell<T>` в главе 15, чтобы получить возможность изменять содержимое внутри `Rc<T>`, теперь аналогичным образом мы используем `Mutex<T>` для изменения содержимого внутри `Arc<T>`.

Ещё одна деталь, на которую стоит обратить внимание: Rust не может защитить вас от всевозможных логических ошибок при использовании `Mutex<T>`. Вспомните в главе 15, что использование `Rc<T>` сопряжено с риском создания ссылочной зацикленности, где два значения `Rc<T>` ссылаются друг на друга, что приводит к утечкам памяти. Аналогичным образом, `Mutex<T>` сопряжён с риском создания взаимных блокировок (deadlocks). Это происходит, когда операции необходимо заблокировать два ресурса и каждый из двух потоков получил одну из блокировок, заставляя оба потока ждать друг друга вечно. Если вам интересна тема взаимных блокировок, попробуйте создать программу Rust, которая её содержит; затем исследуйте стратегии устранения взаимных блокировок для мьютексов на любом языке и попробуйте реализовать их в Rust. Документация стандартной библиотеки для `Mutex<T>` и `MutexGuard` предлагает полезную информацию.

Мы завершим эту главу, рассказав о типажах `Send` и `Sync` и о том, как мы можем использовать их с пользовательскими типами.

Расширенная многопоточность с помощью типажей `Sync` и `Send`

Интересно, что сам язык Rust имеет очень мало возможностей для многопоточности. Почти все функции многопоточности о которых мы говорили в этой главе, были частью стандартной библиотеки, а не языка. Ваши варианты работы с многопоточностью не ограничиваются языком или стандартной библиотекой; Вы можете написать свой собственный многопоточный функционал или использовать возможности написанные другими.

Тем не менее, в язык встроены две концепции многопоточности: `std::marker` типажи `Sync` и `Send`.

Разрешение передачи во владение между потоками с помощью `Send`

Маркерный типаж `Send` указывает, что владение типом реализующим `Send`, может передаваться между потоками. Почти каждый тип Rust является типом `Send`, но есть некоторые исключения, вроде `Rc<T>`: он не может быть `Send`, потому что если вы клонировали значение `Rc<T>` и попытались передать владение клоном в другой поток, оба потока могут обновить счётчик ссылок одновременно. По этой причине `Rc<T>` реализован для использования в однопоточных ситуациях, когда вы не хотите платить за снижение производительности.

Следовательно, система типов Rust и ограничений типажа гарантируют, что вы никогда не сможете случайно небезопасно отправлять значение `Rc<T>` между потоками. Когда мы попытались сделать это в листинге 16-14, мы получили ошибку, `the trait Send is not implemented for Rc<Mutex<i32>>`. Когда мы переключились на `Arc<T>`, который является типом `Send`, то код скомпилировался.

Любой тип полностью состоящий из типов `Send` автоматически помечается как `Send`. Почти все примитивные типы являются `Send`, кроме сырых указателей, которые мы обсудим в главе 19.

Разрешение доступа из нескольких потоков с `Sync`

Маркерный типаж `Sync` указывает, что на тип реализующий `Sync` можно безопасно ссылаться из нескольких потоков. Другими словами, любой тип `T` является типом `Sync`, если `&T` (ссылка на `T`) является типом `Send`, что означает что ссылку можно безопасно отправить в другой поток. Подобно `Send`, примитивные типы являются типом `Sync`, а типы полностью скомбинированные из типов `Sync`, также являются `Sync` типом.

Умный указатель `Rc<T>` не является `Sync` типом по тем же причинам, по которым он не является `Send`. Тип `RefCell<T>` (о котором мы говорили в главе 15) и семейство связанных

типов `Cell<T>` не являются `Sync`. Реализация проверки заимствования, которую делает тип `RefCell<T>` во время выполнения программы не является поточно-безопасной. Умный указатель `Mutex<T>` является типом `Sync` и может использоваться для совместного доступа из нескольких потоков, как вы уже видели в разделе «[Совместное использование `Mutex<T>` между несколькими потоками](#)».

Реализация `Send` и `Sync` вручную небезопасна

Поскольку типы созданные из типажей `Send` и `Sync` автоматически также являются типами `Send` и `Sync`, мы не должны реализовывать эти типажи вручную. Являясь маркерными типажами у них нет никаких методов для реализации. Они просто полезны для реализации инвариантов, связанных с многопоточностью.

Ручная реализация этих типажей включает в себя реализацию небезопасного кода Rust. Мы поговорим об использовании небезопасного кода Rust в главе 19; на данный момент важная информация заключается в том, что для создания новых многопоточных типов, не состоящих из частей `Send` и `Sync` необходимо тщательно продумать гарантии безопасности. В [Rustonomicon](#) есть больше информации об этих гарантиях и о том как их соблюдать.

Итоги

Это не последний случай, когда вы увидите многопоточность в этой книге: проект в главе 20 будет использовать концепции этой главы для более реалистичного случая, чем небольшие примеры обсуждаемые здесь.

Как упоминалось ранее, поскольку в языке Rust очень мало того, с помощью чего можно управлять многопоточностью, многие решения реализованы в виде крейтов. Они развиваются быстрее, чем стандартная библиотека, поэтому обязательно поищите в Интернете текущие современные крейты.

Стандартная библиотека Rust предоставляет каналы для передачи сообщений и типы умных указателей, такие как `Mutex<T>` и `Arc<T>`, которые можно безопасно использовать в многопоточных контекстах. Система типов и анализатор заимствований гарантируют, что код использующий эти решения не будет содержать гонки данных или недействительные ссылки. Получив компилирующийся код, вы можете быть уверены, что он будет успешно работать в нескольких потоках без ошибок, которые трудно обнаружить в других языках. Многопоточное программирование больше не является концепцией, которую стоит опасаться: иди вперёд и сделай свои программы многопоточными безбоязненно!

Далее мы поговорим об идиоматичных способах моделирования проблем и структурирования решений по мере усложнения ваших программ на Rust. Кроме того, мы обсудим как идиомы Rust связаны с теми, с которыми вы, возможно, знакомы по объектно-ориентированному программированию.

Возможности объектно-ориентированного программирования в Rust

Объектно-ориентированное программирование (ООП) — это способ построения программ. Объекты, как программная концепция, были введены в язык программирования Simula в 1960-х годах. Эти объекты повлияли на архитектуру программирования Алана Кея, в которой объекты передают сообщения друг другу. Чтобы описать эту архитектуру, он ввёл термин *объектно-ориентированное программирование* в 1967 году. Есть много конкурирующих определений ООП, и по некоторым из этих определений Rust является объектно-ориентированным, а по другим — нет. В этой главе мы рассмотрим некоторые характеристики, которые обычно считаются объектно-ориентированными, и то, как эти характеристики транслируются в идиомы языка Rust. Затем мы покажем, как реализовать шаблон объектно-ориентированного проектирования в Rust, и обсудим компромиссы между этим вариантом и решением, использующим вместо этого некоторые сильные стороны Rust.

Характеристики объектно-ориентированных языков

В сообществе программистов нет единого мнения о том, какими свойствами должен обладать язык, чтобы считаться объектно-ориентированным. На Rust повлияли многие парадигмы программирования, включая ООП - например, в главе 13 мы изучали особенности, пришедшие из функционального программирования. Однозначно можно утверждать, что ООП-языкам присущи следующие характерные особенности: объекты, инкапсуляция и наследование. Давайте рассмотрим, что каждая из них означает и поддерживает ли их Rust.

Объекты содержат данные и поведение

Книга *Приёмы объектно-ориентированного проектирования. Паттерны проектирования* Erich Gamma, Richard Helm, Ralph Johnson, и John Vlissides (Addison-Wesley Professional, 1994), в просторечии называемая *Книга банды четырёх*, представляет собой сборник примеров объектно-ориентированного проектирования. В ней даётся следующее определение ООП:

Объектно-ориентированные программы состоят из объектов. *Объект* представляет собой сущность, своего рода контейнер, с данными и процедурами, которые работают с этими данными. Процедуры обычно называются *методами* или *операциями*.

В соответствии с этим определением, Rust является объектно-ориентированным языком - в структурах и перечислениях содержатся данные, а в блоках `impl` определяются методы для них. Хотя структуры и перечисления, имеющие методы, не называются объектами, они обеспечивают функциональность, соответствующую определению объектов в книге банды четырёх.

Инкапсуляция, скрывающая детали реализации

Другим аспектом, обычно связанным с объектно-ориентированным программированием, является идея *инкапсуляции*: детали реализации объекта недоступны для кода, использующего этот объект. Единственный способ взаимодействия с объектом — через его публичный интерфейс; код, использующий этот объект, не должен иметь возможности взаимодействовать с внутренними свойствами объекта и напрямую изменять его данные или поведение. Инкапсуляция позволяет изменять и реорганизовывать внутренние свойства объекта без необходимости изменять код, который использует объект.

В главе 7 мы уже говорили о том, как управлять инкапсуляцией: мы можем использовать ключевое слово `pub`, чтобы определить, какие модули, типы, функции и методы в нашем коде будут публичными, а всё остальное по умолчанию будет приватными. Например, мы можем определить структуру `AveragedCollection`, в которой есть поле, содержащее вектор значений `i32`. Также, структура будет иметь поле, содержащее среднее арифметическое чисел этого

вектора, таким образом, среднее не нужно будет вычислять каждый раз, когда оно кому-то понадобится. Другими словами, `AveragedCollection` будет кэшировать вычисленное среднее для нас. В листинге 17-1 приведено определение структуры `AveragedCollection`:

Файл: `src/lib.rs`

```
pub struct AveragedCollection {
    list: Vec<i32>,
    average: f64,
}
```

Листинг 17-1: структура `AveragedCollection` содержит список целых чисел и их среднее арифметическое.

Обратите внимание, что структура помечена ключевым словом `pub`, что позволяет другому коду её использовать, однако, поля структуры остаются недоступными. Это важно, потому что мы хотим гарантировать обновление среднего значения при добавлении или удалении элемента из списка. Мы можем получить нужное поведение, определив в структуре методы `add`, `remove` и `average`, как показано в примере 17-2:

Файл: `src/lib.rs`

```
impl AveragedCollection {
    pub fn add(&mut self, value: i32) {
        self.list.push(value);
        self.update_average();
    }

    pub fn remove(&mut self) -> Option<i32> {
        let result = self.list.pop();
        match result {
            Some(value) => {
                self.update_average();
                Some(value)
            }
            None => None,
        }
    }

    pub fn average(&self) -> f64 {
        self.average
    }

    fn update_average(&mut self) {
        let total: i32 = self.list.iter().sum();
        self.average = total as f64 / self.list.len() as f64;
    }
}
```

Листинг 17-2: Реализация публичных методов `add`, `remove`, и `average` для `AveragedCollection`

Публичные методы `add`, `remove` и `average` являются единственным способом получить или изменить данные в экземпляре `AveragedCollection`. Когда элемент добавляется в `list` методом `add`, или удаляется с помощью метода `remove`, код реализации каждого из этих

методов вызывает приватный метод `update_average`, который позаботится об обновлении поля `average`.

Мы оставляем поля `list` и `average` приватными, чтобы внешний код не мог добавлять или удалять элементы непосредственно в поле `list`; в противном случае поле `average` может оказаться не синхронизировано при подобном вмешательстве. Метод `average` возвращает значение в поле `average`, что позволяет внешнему коду читать значение `average`, но не изменять его.

Поскольку мы инкапсулировали детали реализации структуры `AveragedCollection`, мы можем легко изменить такие аспекты, как структура данных, в будущем. Например, мы могли бы использовать `HashSet<i32>` вместо `Vec<i32>` для поля `list`. Благодаря тому, что сигнатуры публичных методов `add`, `remove` и `average` остаются неизменными, код, использующий `AveragedCollection`, также не будет нуждаться в изменении. У нас бы не получилось этого достичь, если бы мы сделали поле `list` доступным внешнему коду: `HashSet<i32>` и `Vec<i32>` имеют разные методы для добавления и удаления элементов, поэтому внешний код, вероятно, должен измениться, если он модифицирует `list` напрямую.

Если инкапсуляция является обязательным аспектом для определения языка как объектно-ориентированного, то Rust соответствует этому требованию. Возможность использовать или не использовать модификатор доступа `pub` для различных частей кода позволяет скрыть детали реализации.

Наследование как система типов и способ совместного использования кода

Наследование — это механизм, с помощью которого объект может унаследовать элементы из определения другого объекта, то есть получить данные и поведение родительского объекта без необходимости повторно их определять.

Если язык должен иметь наследование, чтобы быть объектно-ориентированным, то Rust таким не является. Здесь нет способа определить структуру, наследующую поля и реализации методов родительской структуры, без использования макроса.

Однако, если вы привыкли иметь наследование в своём наборе инструментов для программирования, вы можете использовать другие решения в Rust, в зависимости от того, по какой причине вы изначально хотите использовать наследование.

Вы могли бы выбрать наследование по двум основным причинам. Одна из них - возможность повторного использования кода: вы можете реализовать определённое поведение для одного типа, а наследование позволит вам повторно использовать эту реализацию для другого типа. В Rust для этого есть ограниченный способ, использующий реализацию метода типажа по умолчанию, который вы видели в листинге 10-14, когда мы добавили реализацию по умолчанию в методе `summarize` типажа `Summary`. Любой тип, реализующий свойство `Summary` будет иметь доступный метод `summarize` без дополнительного кода. Это похоже на то, как родительский класс имеет реализацию метода, и класс-наследник тоже имеет реализацию метода. Мы также можем переопределить реализацию по умолчанию для метода

`summarize`, когда реализуем типаж `Summary`, что похоже на дочерний класс, переопределяющий реализацию метода, унаследованного от родительского класса.

Вторая причина использования наследования относится к системе типов: чтобы иметь возможность использовать дочерний тип в тех же места, что и родительский. Эта возможность также называется *полиморфизм* и означает возможность подменять объекты во время исполнения, если они имеют одинаковые характеристики.

Полиморфизм

Для многих людей полиморфизм является синонимом наследования. Но на самом деле это более общая концепция, относящаяся к коду, который может работать с данными нескольких типов. Обычно такими типами выступают подклассы при наследовании.

Вместо этого Rust использует обобщённые типы для абстрагирования от типов, и ограничения типажей (trait bounds) для указания того, какие возможности эти типы должны предоставлять. Это иногда называют *ограниченным параметрическим полиморфизмом*.

Наследование, как подход к разработке, в последнее время утратило популярность во многих языках программирования, поскольку часто существует риск, что мы будем наследовать код чаще, чем это необходимо. Подклассы не всегда должны обладать всеми характеристиками родительского класса, но при использовании наследования другого варианта нет. Это может сделать дизайн программы менее гибким. Кроме этого, появляется возможность вызова у подклассов методов, которые не имеют смысла или вызывают ошибки, потому что эти методы неприменимы к подклассу. Кроме того, в некоторых языках разрешается только одиночное наследование (т.е. подкласс может наследоваться только от одного класса), что ещё больше ограничивает гибкость разработки программы.

По этим причинам в Rust применяется альтернативный подход, с использованием типажей-объектов вместо наследования. Давайте посмотрим как типажи-объекты реализуют полиморфизм в Rust.

Использование типаж-объектов, допускающих значения разных типов

В главе 8 мы упоминали, что одним из ограничений векторов является то, что они могут хранить элементы только одного типа. Мы создали обходное решение в листинге 8-9, где мы определили перечисление `SpreadsheetCell` в котором были варианты для хранения целых чисел, чисел с плавающей точкой и текста. Это означало, что мы могли хранить разные типы данных в каждой ячейке и при этом иметь вектор, представляющий строку из ячеек. Это очень хорошее решение, когда наши взаимозаменяемые элементы вектора являются типами с фиксированным набором, известным при компиляции кода.

Однако иногда мы хотим, чтобы пользователь нашей библиотеки мог расширить набор типов, которые допустимы в конкретной ситуации. Чтобы показать как этого добиться, мы создадим пример инструмента с графическим интерфейсом пользователя (GUI), который просматривает список элементов, вызывает метод `draw` для каждого из них, чтобы нарисовать его на экране - это обычная техника для инструментов GUI. Мы создадим библиотечный крейт с именем `gui`, содержащий структуру библиотеки GUI. Этот крейт мог бы включать некоторые готовые типы для использования, такие как `Button` или `TextField`. Кроме того, пользователи такого крейта `gui` захотят создавать свои собственные типы, которые могут быть нарисованы: например, кто-то мог бы добавить тип `Image`, а кто-то другой добавить тип `SelectBox`.

Мы не будем реализовывать полноценную библиотеку GUI для этого примера, но покажем, как её части будут подходить друг к другу. На момент написания библиотеки мы не можем знать и определить все типы, которые могут захотеть создать другие программисты. Но мы знаем, что `gui` должен отслеживать множество значений различных типов и ему нужно вызывать метод `draw` для каждого из этих значений различного типа. Ему не нужно точно знать, что произойдёт, когда вызывается метод `draw`, просто у значения будет доступен такой метод для вызова.

Чтобы сделать это на языке с наследованием, можно определить класс с именем `Component` у которого есть метод с названием `draw`. Другие классы, такие как `Button`, `Image` и `SelectBox` наследуются от `Component` и следовательно, наследуют метод `draw`. Каждый из них может переопределить реализацию метода `draw`, чтобы определить своё пользовательское поведение, но платформа может обрабатывать все типы, как если бы они были экземплярами `Component` и вызывать `draw` у них. Но поскольку в Rust нет наследования, нам нужен другой способ структурировать `gui` библиотеку, чтобы позволить пользователям расширять её новыми типами.

Определение типажа для общего поведения

Чтобы реализовать поведение, которое мы хотим иметь в `gui`, определим типаж с именем `Draw`, который будет содержать один метод с названием `draw`. Затем мы можем определить вектор, который принимает *типаж-объект*. Типаж-объект указывает как на экземпляр типа, реализующего указанный типаж, так и на внутреннюю таблицу, используемую для поиска методов типажа указанного типа во время выполнения. Мы создаём типаж-объект в таком порядке: используем какой-нибудь вид указателя, например ссылку `&` или умный указатель `Box<T>`, затем ключевое слово `dyn`, а затем указываем соответствующий типаж. (Мы будем говорить о причине того, что типаж-объекты должны использовать указатель в разделе "Типы динамического размера и типаж `Sized`" главы 19). Мы можем использовать типаж-объекты вместо универсального или конкретного типа. Везде, где мы используем типаж-объект, система типов Rust проверит во время компиляции, что любое значение, используемое в этом контексте, будет реализовывать нужный типаж у типаж-объекта. Следовательно, нам не нужно знать все возможные типы во время компиляции.

Мы упоминали, что в Rust мы воздерживаемся называть структуры и перечисления «объектами», чтобы отличать их от объектов в других языках. В структуре или перечислении данные в полях структуры и поведение в блоках `impl` разделены, тогда как в других языках данные и поведение объединены в одну концепцию, часто обозначающуюся как объект. Тем не менее, типаж-объекты являются более похожими на объекты на других языках, в том смысле, что они сочетают в себе данные и поведение. Но типаж-объекты отличаются от традиционных объектов тем, что не позволяют добавлять данные к типаж-объекту. Типаж-объекты обычно не настолько полезны, как объекты в других языках: их конкретная цель - обеспечить абстракцию через общее поведение.

В листинге 17.3 показано, как определить типаж с именем `Draw` с помощью одного метода с именем `draw`:

Файл: src/lib.rs

```
pub trait Draw {
    fn draw(&self);
}
```

Листинг 17-3: Определение типажа `Draw`

Этот синтаксис должен выглядеть знакомым из наших дискуссий о том, как определять типажи в главе 10. Далее следует новый синтаксис: в листинге 17.4 определена структура с именем `Screen`, которая содержит вектор с именем `components`. Этот вектор имеет тип `Box<dyn Draw>`, который является типаж-объектом; это замена для любого типа внутри `Box` который реализует типаж `Draw`.

Файл: src/lib.rs

```
pub struct Screen {
    pub components: Vec<Box<dyn Draw>>,
}
```

Листинг 17-4: Определение структуры `Screen` с полем `components`, которое является вектором типаж-объектов, которые реализуют типаж `Draw`

В структуре `Screen`, мы определим метод `run`, который будет вызывать метод `draw` каждого элемента вектора `components`, как показано в листинге 17-5:

Файл: `src/lib.rs`

```
impl Screen {
    pub fn run(&self) {
        for component in self.components.iter() {
            component.draw();
        }
    }
}
```

Листинг 17-5: Реализация метода `run` у структуры `Screen`, который вызывает метод `draw` каждого компонента из вектора

Это работает иначе, чем определение структуры, которая использует параметр общего типа с ограничениями типажа. Обобщённый параметр типа может быть заменён только одним конкретным типом, тогда как типаж-объекты позволяют нескольким конкретным типам замещать типаж-объект во время выполнения. Например, мы могли бы определить структуру `Screen` используя общий тип и ограничение типажа, как показано в листинге 17-6:

Файл: `src/lib.rs`

```
pub struct Screen<T: Draw> {
    pub components: Vec<T>,
}

impl<T> Screen<T>
where
    T: Draw,
{
    pub fn run(&self) {
        for component in self.components.iter() {
            component.draw();
        }
    }
}
```

Листинг 17-6: Альтернативная реализация структуры `Screen` и метода `run`, используя обобщённый тип и ограничения типажа

Это вариант ограничивает нас экземпляром `Screen`, который имеет список компонентов всех типов `Button` или всех типов `TextField`. Если у вас когда-либо будут только однородные коллекции, использование обобщений и ограничений типажа является предпочтительным, поскольку определения будут мономорфизированы во время компиляции для использования с конкретными типами.

С другой стороны, с помощью метода, использующего типаж-объекты, один экземпляр `Screen` может содержать `Vec<T>` который содержит `Box<Button>`, также как и `Box<TextField>`. Давайте посмотрим как это работает, а затем поговорим о влиянии на производительность во время выполнения.

Реализации типажа

Теперь мы добавим несколько типов, реализующих типаж `Draw`. Мы объявим тип `Button`. Опять же, фактическая реализация библиотеки GUI выходит за рамки этой книги, поэтому тело метода `draw` не будет иметь никакой полезной реализации. Чтобы представить, как может выглядеть такая реализация, структура `Button` может иметь поля для `width`, `height` и `label`, как показано в листинге 17-7:

Файл: `src/lib.rs`

```
pub struct Button {
    pub width: u32,
    pub height: u32,
    pub label: String,
}

impl Draw for Button {
    fn draw(&self) {
        // code to actually draw a button
    }
}
```

Листинг 17-7: Структура `Button` реализует типаж `Draw`

Поля `width`, `height` и `label` структуры `Button` будут отличаться от, например, полей других компонентов вроде типа `TextField`, которая могла бы иметь те же поля плюс поле `placeholder`. Каждый из типов, который мы хотим нарисовать на экране будет реализовывать типаж `Draw`, но будет использовать отличающийся код метода `draw` для определения как именно рисовать конкретный тип, например `Button` в этом примере (без фактического кода GUI, который выходит за рамки этой главы). Например, тип `Button` может иметь дополнительный блок `impl`, содержащий методы, относящиеся к тому, что происходит, когда пользователь нажимает кнопку. Эти варианты методов не будут применяться к типам вроде `TextField`.

Если кто-то использующий нашу библиотеку решает реализовать структуру `SelectBox`, которая имеет `width`, `height` и поля `options`, он реализует также и типаж `Draw` для типа `SelectBox`, как показано в листинге 17-8:

Файл: `src/main.rs`

```

use gui::Draw;

struct SelectBox {
    width: u32,
    height: u32,
    options: Vec<String>,
}

impl Draw for SelectBox {
    fn draw(&self) {
        // code to actually draw a select box
    }
}

```

Листинг 17-8: Другой крейт, использующий `gui` и реализующий типаж `Draw` у структуры `SelectBox`

Пользователь нашей библиотеки теперь может написать свою функцию `main` для создания экземпляра `Screen`. К экземпляру `Screen` он может добавить `SelectBox` и `Button`, поместив каждый из них в `Box<T>`, чтобы он стал типаж-объектом. Затем он может вызвать метод `run` у экземпляра `Screen`, который вызовет `draw` для каждого из компонентов. Листинг 17-9 показывает эту реализацию:

Файл: src/main.rs

```

use gui::{Button, Screen};

fn main() {
    let screen = Screen {
        components: vec![
            Box::new(SelectBox {
                width: 75,
                height: 10,
                options: vec![
                    String::from("Yes"),
                    String::from("Maybe"),
                    String::from("No"),
                ],
            }),
            Box::new(Button {
                width: 50,
                height: 10,
                label: String::from("OK"),
            }),
        ],
    };
    screen.run();
}

```

Листинг 17-9: Использование типаж-объектов для хранения значений разных типов, реализующих один и тот же типаж

Когда мы писали библиотеку, мы не знали, что кто-то может добавить тип `SelectBox`, но наша реализация `Screen` могла работать с новым типом и рисовать его, потому что `SelectBox` реализует типаж `Draw`, что означает, что он реализует метод `draw`.

Эта концепция, касающаяся только сообщений, на которые значение отвечает, в отличие от конкретного типа у значения, аналогична концепции *duck typing* в динамически типизированных языках: если что-то ходит как утка и крякает как утка, то она должна быть утка! В реализации метода `run` у `Screen` в листинге 17-5, `run` не нужно знать каким будет конкретный тип каждого компонента. Он не проверяет, является ли компонент экземпляром `Button` или `SelectBox`, он просто вызывает метод `draw` компонента. Указав `Box<dyn Draw>` в качестве типа значений в векторе `components`, мы определили `Screen` для значений у которых мы можем вызвать метод `draw`.

Преимущество использования типаж-объектов и системы типов Rust для написания кода, похожего на код с использованием концепции *duck typing* состоит в том, что нам не нужно во время выполнения проверять реализует ли значение в векторе конкретный метод или беспокоиться о получении ошибок, если значение не реализует метод, мы все равно вызываем метод. Rust не скомпилирует наш код, если значения не реализуют типаж, который нужен типаж-объектам.

Например, в листинге 17-10 показано, что произойдёт, если мы попытаемся создать `Screen` с `String` в качестве его компонента:

Файл: src/main.rs

```
use gui::Screen;

fn main() {
    let screen = Screen {
        components: vec![Box::new(String::from("Hi"))],
    };

    screen.run();
}
```



Листинг 17-10: Попытка использования типа, который не реализует типаж для типаж-объекта

Мы получим ошибку, потому что `String` не реализует типаж `Draw`:

```
$ cargo run
Compiling gui v0.1.0 (file:///projects/gui)
error[E0277]: the trait bound `String: Draw` is not satisfied
--> src/main.rs:5:26
 |
5 |         components: vec![Box::new(String::from("Hi"))],
   |                                ^^^^^^^^^^^^^^^^^^ the trait `Draw` is not
implemented for `String`
 |
= help: the trait `Draw` is implemented for `Button`
= note: required for the cast from `Box<String>` to `Box<dyn Draw>`

For more information about this error, try `rustc --explain E0277`.
error: could not compile `gui` (bin "gui") due to 1 previous error
```

Эта ошибка даёт понять, что либо мы передаём в компонент `Screen` что-то, что мы не собирались передавать и мы тогда должны передать другой тип, либо мы должны

реализовать типаж `Draw` у типа `String`, чтобы `Screen` мог вызывать `draw` у него.

Типаж-объекты выполняют динамическую диспетчеризацию (связывание)

Вспомните, в разделе «Производительность кода, использующего обобщённые типы» в главе 10 наше обсуждение процесса мономорфизации, выполняемого компилятором, когда мы используем ограничения типажей для обобщённых типов: компилятор генерирует частные реализации функций и методов для каждого конкретного типа, который мы применяем для параметра обобщённого типа. Код, который получается в результате мономорфизации, выполняет *статическую диспетчеризацию*, то есть когда компилятор знает, какой метод вы вызываете во время компиляции. Это противоположно *динамической диспетчеризации*, когда компилятор не может определить во время компиляции, какой метод вы вызываете. В случае динамической диспетчеризации компилятор формирует код, который во время выполнения определит, какой метод нужно вызвать.

Когда мы используем типаж-объекты, Rust должен использовать динамическую диспетчеризацию. Компилятор не знает всех типов, которые могут быть использованы с кодом, использующим типаж-объекты, поэтому он не знает, какой метод реализован для какого типа при вызове. Вместо этого, во время выполнения, Rust использует указатели внутри типаж-объекта, чтобы узнать какой метод вызвать. Такой поиск вызывает дополнительные затраты во время исполнения, которые не требуются при статической диспетчеризации. Динамическая диспетчеризация также не позволяет компилятору выбрать встраивание кода метода, что в свою очередь делает невозможными некоторые оптимизации. Однако мы получили дополнительную гибкость в коде, который мы написали в листинге 17-5, и которую смогли поддержать в листинге 17-9, поэтому все "за" и "против" нужно рассматривать в комплексе.

Реализация объектно-ориентированного шаблона проектирования

Шаблон "Состояние" — это объектно-ориентированный шаблон проектирования. Суть шаблона заключается в том, что мы определяем набор состояний, которые может иметь внутреннее значение. Состояния представлены набором *объектов состояния*, а поведение элемента изменяется в зависимости от его состояния. Мы рассмотрим пример структуры записи в блоге, в которой есть поле для хранения состояния, которое будет объектом состояния из набора «черновик», «обзор» или «опубликовано».

Объекты состояния имеют общую функциональность: конечно в Rust мы используем структуры и типажи, а не объекты и наследование. Каждый объект состояния отвечает за своё поведение и сам определяет, когда он должен перейти в другое состояние. Элемент, который содержит объект состояния, ничего не знает о различиях в поведении состояний или о том, когда одно состояние должно перейти в другое.

Преимуществом шаблона "Состояние" является то, что при изменении требований заказчика программы не требуется изменять код элемента, содержащего состояние, или код, использующий такой элемент. Нам нужно только обновить код внутри одного из объектов состояния, чтобы изменить его порядок действий, либо, возможно, добавить больше объектов состояния.

Для начала реализуем шаблон "Состояние" более традиционным объектно-ориентированным способом, а затем воспользуемся подходом, более естественным для Rust. Давайте шаг за шагом реализуем поток действий для записи в блоге, использующий шаблон "Состояние".

Окончательный функционал будет выглядеть так:

1. Запись в блоге создаётся как пустой черновик.
2. Когда черновик готов, запрашивается его проверка.
3. После проверки происходит публикация записи.
4. Только опубликованные записи блога возвращают содержимое записи на печать, поэтому сообщения, не прошедшие проверку, не могут быть опубликованы случайно.

Любые другие изменения, сделанные в записи, не должны иметь никакого эффекта. Например, если мы попытаемся подтвердить черновик записи в блоге до того, как запросим проверку, запись должна остаться неопубликованным черновиком.

В листинге 17-11 показан этот поток действий в виде кода: это пример использования API, который мы собираемся реализовать в библиотеке (крайте) с именем `blog`. Он пока не компилируется, потому что крейт `blog` ещё не создан.

Файл: `src/main.rs`



```
use blog::Post;

fn main() {
    let mut post = Post::new();

    post.add_text("I ate a salad for lunch today");
    assert_eq!("", post.content());

    post.request_review();
    assert_eq!("", post.content());

    post.approve();
    assert_eq!("I ate a salad for lunch today", post.content());
}
```

Листинг 17-11: Код, демонстрирующий желаемое поведение, которое мы хотим получить в крейте `blog`

Мы хотим, чтобы пользователь мог создать новый черновик записи в блоге с помощью `Post::new`. Затем мы хотим разрешить добавление текста в запись блога. Если мы попытаемся получить содержимое записи сразу, до её проверки, мы не должны получить никакого текста на выходе, потому что запись все ещё является черновиком. Мы добавили утверждение (`assert_eq!`) в коде для демонстрационных целей. Утверждение (assertion), что черновик записи блога должен возвращать пустую строку из метода `content` было бы отличным модульным тестом, но мы не собираемся писать тесты для этого примера.

Далее мы хотим разрешить сделать запрос на проверку записи и хотим, чтобы `content` возвращал пустую строку, пока проверки не завершена. Когда запись пройдёт проверку, она должна быть опубликована, то есть при вызове `content` будет возвращён текст записи.

Обратите внимание, что единственный тип из крейта, с которым мы взаимодействуем - это тип `Post`. Этот тип будет использовать шаблон "Состояние" и будет содержать значение, которое будет являться одним из трёх объектов состояний, представляющих различные состояния, в которых может находиться запись: "черновик", "ожидание проверки" или "опубликовано". Управление переходом из одного состояния в другое будет осуществляться внутренней логикой типа `Post`. Состояния будут переключаться в результате реакции на вызов методов экземпляра `Post` пользователями нашей библиотеки, но пользователи не должны управлять изменениями состояния напрямую. Кроме того, пользователи не должны иметь возможность ошибиться с состояниями, например, опубликовать сообщение до его проверки.

Определение `Post` и создание нового экземпляра в состоянии черновика

Приступим к реализации библиотеки! Мы знаем, что нам нужна публичная структура `Post`, хранящая некоторое содержимое, поэтому мы начнём с определения структуры и связанной с ней публичной функцией `new` для создания экземпляра `Post`, как показано в листинге 17-12. Мы также сделаем приватный типаж `State`, который будет определять поведение, которое должны будут иметь все объекты состояний структуры `Post`.

Затем `Post` будет содержать типаж-объект `Box<dyn State>` внутри `Option<T>` в закрытом поле `state` для хранения объекта состояния. Чуть позже вы поймёте, зачем нужно использовать `Option<T>`.

Файл: `src/lib.rs`

```
pub struct Post {
    state: Option<Box<dyn State>>,
    content: String,
}

impl Post {
    pub fn new() -> Post {
        Post {
            state: Some(Box::new(Draft {})),
            content: String::new(),
        }
    }
}

trait State {}

struct Draft {}

impl State for Draft {}
```

Листинг 17-12. Определение структуры `Post` и функции `new`, которая создаёт новый экземпляр `Post`, типажа `State` и структуры `Draft`

Типаж `State` определяет поведение, совместно используемое различными состояниями поста. Все объекты состояний (`Draft` - "черновик", `PendingReview` - "ожидание проверки" и `Published` - "опубликовано") будут реализовывать типаж `State`. Пока у этого типажа нет никаких методов, и мы начнём с определения состояния `Draft`, просто потому, что это первое состояние, с которого, как мы хотим, публикация будет начинать свой путь.

Когда мы создаём новый экземпляр `Post`, мы устанавливаем его поле `state` в значение `Some`, содержащее `Box`. Этот `Box` указывает на новый экземпляр структуры `Draft`. Это гарантирует, что всякий раз, когда мы создаём новый экземпляр `Post`, он появляется как черновик. Поскольку поле `state` в структуре `Post` является приватным, нет никакого способа создать `Post` в каком-либо другом состоянии! В функции `Post::new` мы инициализируем поле `content` новой пустой строкой типа `String`.

Хранение текста содержимого записи

В листинге 17-11 показано, что мы хотим иметь возможность вызывать метод `add_text` и передать ему `&str`, которое добавляется к текстовому содержимому записи блога. Мы реализуем эту возможность как метод, а не делаем поле `content` публично доступным, используя `pub`. Это означает, что позже мы сможем написать метод, который будет контролировать, как именно читаются данные из поля `content`. Метод `add_text` довольно прост, поэтому давайте добавим его реализацию в блок `impl Post` листинга 17-13:

Файл: src/lib.rs

```
impl Post {  
    // --snip--  
    pub fn add_text(&mut self, text: &str) {  
        self.content.push_str(text);  
    }  
}
```

Листинг 17-13. Реализация `add_text` для добавления текста к `content` (содержимому записи)

Метод `add_text` принимает изменяемую ссылку на `self`, потому что мы меняем экземпляр `Post`, для которого вызываем `add_text`. Затем мы вызываем `push_str` для `String` у поля `content` и передаём `text` аргументом для добавления к сохранённому `content`. Это поведение не зависит от состояния, в котором находится запись, таким образом оно не является частью шаблона "Состояние". Метод `add_text` вообще не взаимодействует с полем `state`, но это часть поведения, которое мы хотим поддерживать.

Убедимся, что содержание черновика будет пустым

Даже после того, как мы вызвали `add_text` и добавили некоторый контент в нашу запись, мы хотим, чтобы метод `content` возвращал пустой фрагмент строки, так как запись всё ещё находится в черновом состоянии, как это показано в строке 7 листинга 17-11. А пока давайте реализуем метод `content` наиболее простым способом, который будет удовлетворять этому требованию: будем всегда возвращать пустой фрагмент строки. Мы изменим код позже, как только реализуем возможность изменить состояние записи, чтобы она могла бы быть опубликована. Пока что записи могут находиться только в черновом состоянии, поэтому содержимое записи всегда должно быть пустым. Листинг 17-14 показывает такую реализацию-заглушку:

Файл: src/lib.rs

```
impl Post {  
    // --snip--  
    pub fn content(&self) -> &str {  
        ""  
    }  
}
```

Листинг 17-14. Добавление реализации-заглушки для метода `content` в `Post`, которая всегда возвращает пустой фрагмент строки.

С добавленным таким образом методом `content` всё в листинге 17-11 работает, как задумано, вплоть до строки 7.

Запрос на проверку записи меняет её состояние

Далее нам нужно добавить функциональность для запроса проверки записи, который должен изменить её состояние с `Draft` на `PendingReview`. Листинг 17-15 показывает такой код:

Файл: `src/lib.rs`

```
impl Post {
    // --snip--
    pub fn request_review(&mut self) {
        if let Some(s) = self.state.take() {
            self.state = Some(s.request_review())
        }
    }
}

trait State {
    fn request_review(self: Box<Self>) -> Box<dyn State>;
}

struct Draft {}

impl State for Draft {
    fn request_review(self: Box<Self>) -> Box<dyn State> {
        Box::new(PendingReview {})
    }
}

struct PendingReview {}

impl State for PendingReview {
    fn request_review(self: Box<Self>) -> Box<dyn State> {
        self
    }
}
```

Листинг 17-15. Реализация методов `request_review` в структуре `Post` и типаже `State`

Мы добавляем в `Post` публичный метод с именем `request_review` ("запросить проверку"), который будет принимать изменяемую ссылку на `self`. Затем мы вызываем внутренний метод `request_review` для текущего состояния `Post`, и этот второй метод `request_review` поглощает текущее состояние и возвращает новое состояние.

Мы добавляем метод `request_review` в типаж `State`; все типы, реализующие этот типаж, теперь должны будут реализовать метод `request_review`. Обратите внимание, что вместо `self`, `&self` или `&mut self` в качестве первого параметра метода у нас указан `self: Box<Self>`. Этот синтаксис означает, что метод действителен только при его вызове с обёрткой `Box`, содержащей наш тип. Этот синтаксис становится владельцем `Box<Self>`, делая старое состояние недействительным, поэтому значение состояния `Post` может быть преобразовано в новое состояние.

Чтобы поглотить старое состояние, метод `request_review` должен стать владельцем значения состояния. Это место, где приходит на помощь тип `Option` поля `state` записи `Post`: мы

вызываем метод `take`, чтобы забрать значение `Some` из поля `state` и оставить вместо него значение `None`, потому что Rust не позволяет иметь неинициализированные поля в структурах. Это позволяет перемещать значение `state` из `Post`, а не заимствовать его. Затем мы установим новое значение `state` как результат этой операции.

Нам нужно временно установить `state` в `None`, вместо того, чтобы установить его напрямую с помощью кода вроде `self.state = self.state.request_review();`. Нам нужно завладеть значением поля `state`. Это даст нам гарантию, что `Post` не сможет использовать старое значение `state` после того, как мы преобразовали его в новое состояние.

Метод `request_review` в `Draft` должен вернуть новый экземпляр новой структуры `PendingReview`, обёрнутый в `Box`. Эта структура будет представлять состояние, в котором запись ожидает проверки. Структура `PendingReview` также реализует метод `request_review`, но не выполняет никаких преобразований. Она возвращает сама себя, потому что, когда мы запрашиваем проверку записи, уже находящейся в состоянии `PendingReview`, она всё так же должна продолжать оставаться в состоянии `PendingReview`.

Теперь мы начинаем видеть преимущества шаблона "Состояние": метод `request_review` для `Post` одинаков, он не зависит от значения `state`. Каждое состояние само несёт ответственность за свои действия.

Оставим метод `content` у `Post` таким как есть, возвращающим пустой фрагмент строки. Теперь мы можем иметь `Post` как в состоянии `PendingReview`, так и в состоянии `Draft`, но мы хотим получить такое же поведение в состоянии `PendingReview`. Листинг 17-11 теперь работает до строки 10!

Добавление `approve` для изменения поведения `content`

Метод `approve` ("одобрить") будет аналогичен методу `request_review`: он будет устанавливать у `state` значение, которое должно иметь запись при её одобрении, как показано в листинге 17-16:

Файл: `src/lib.rs`

```

impl Post {
    // --snip--
    pub fn approve(&mut self) {
        if let Some(s) = self.state.take() {
            self.state = Some(s.approve())
        }
    }
}

trait State {
    fn request_review(self: Box<Self>) -> Box<dyn State>;
    fn approve(self: Box<Self>) -> Box<dyn State>;
}

struct Draft {}

impl State for Draft {
    // --snip--
    fn approve(self: Box<Self>) -> Box<dyn State> {
        self
    }
}

struct PendingReview {}

impl State for PendingReview {
    // --snip--
    fn approve(self: Box<Self>) -> Box<dyn State> {
        Box::new(Published {})
    }
}

struct Published {}

impl State for Published {
    fn request_review(self: Box<Self>) -> Box<dyn State> {
        self
    }

    fn approve(self: Box<Self>) -> Box<dyn State> {
        self
    }
}

```

Листинг 17-16. Реализация метода `approve` для типа `Post` и типажа `State`

Мы добавляем метод `approve` в типаж `State`, добавляем новую структуру, которая реализует этот типаж `State` и структуру для состояния `Published`.

Подобно тому, как работает `request_review` для `PendingReview`, если мы вызовем метод `approve` для `Draft`, он не будет иметь никакого эффекта, потому что `approve` вернёт `self`. Когда мы вызываем для `PendingReview` метод `approve`, то он возвращает новый упакованный экземпляр структуры `Published`. Структура `Published` реализует трейт `State`, и как для метода `request_review`, так и для метода `approve` она возвращает себя, потому что в этих случаях запись должна оставаться в состоянии `Published`.

Теперь нам нужно обновить метод `content` для `Post`. Мы хотим, чтобы значение, возвращаемое из `content`, зависело от текущего состояния `Post`, поэтому мы собираемся перенести часть функциональности `Post` в метод `content`, заданный для `state`, как показано в листинге 17.17:

Файл: `src/lib.rs`

```
impl Post {  
    // --snip--  
    pub fn content(&self) -> &str {  
        self.state.as_ref().unwrap().content(self)  
    }  
    // --snip--  
}
```



Листинг 17-17: Обновление метода `content` в структуре `Post` для делегирования части функциональности методу `content` структуры `State`

Поскольку наша цель состоит в том, чтобы сохранить все эти действия внутри структур, реализующих типаж `State`, мы вызываем метод `content` у значения в поле `state` и передаём экземпляр публикации (то есть `self`) в качестве аргумента. Затем мы возвращаем значение, которое нам выдаёт вызов метода `content` поля `state`.

Мы вызываем метод `as_ref` у `Option`, потому что нам нужна ссылка на значение внутри `Option`, а не владение значением. Поскольку `state` является типом `Option<Box<dyn State>>`, то при вызове метода `as_ref` возвращается `Option<&Box<dyn State>>`. Если бы мы не вызывали `as_ref`, мы бы получили ошибку, потому что мы не можем переместить `state` из заимствованного параметра `&self` функции.

Затем мы вызываем метод `unwrap`. Мы знаем, что этот метод здесь никогда не приведёт к аварийному завершению программы, так все методы `Post` устроены таким образом, что после их выполнения, в поле `state` всегда содержится значение `Some`. Это один из случаев, про которых мы говорили в разделе ["Случай, когда у вас больше информации, чем у компилятора"](#) главы 9 - случай, когда мы знаем, что значение `None` никогда не встретится, даже если компилятор не может этого понять.

Теперь, когда мы вызываем `content` у типа `&Box<dyn State>`, в действие вступает принудительное приведение (deref coercion) для `&` и `Box`, поэтому в конечном итоге метод `content` будет вызван для типа, который реализует типаж `State`. Это означает, что нам нужно добавить метод `content` в определение типажа `State`, и именно там мы поместим логику для определения того, какое содержимое возвращать, в зависимости от текущего состояния, как показано в листинге 17-18:

Файл: `src/lib.rs`

```
trait State {  
    // --snip--  
    fn content<'a>(&self, post: &'a Post) -> &'a str {  
        ""  
    }  
}  
  
// --snip--  
struct Published {}  
  
impl State for Published {  
    // --snip--  
    fn content<'a>(&self, post: &'a Post) -> &'a str {  
        &post.content  
    }  
}
```

Листинг 17-18. Добавление метода `content` в трейт `State`

Мы добавляем реализацию по умолчанию метода `content`, который возвращает пустой фрагмент строки. Это означает, что нам не придётся реализовывать `content` в структурах `Draft` и `PendingReview`. Структура `Published` будет переопределять метод `content` и вернёт значение из `post.content`.

Обратите внимание, что для этого метода нам нужны аннотации времени жизни, как мы обсуждали в главе 10. Мы берём ссылку на `post` в качестве аргумента и возвращаем ссылку на часть этого `post`, поэтому время жизни возвращённой ссылки связано с временем жизни аргумента `post`.

И вот, мы закончили - теперь всё из листинга 17-11 работает! Мы реализовали шаблон "Состояние", определяющий правила процесса работы с записью в блоге. Логика, связанная с этими правилами, находится в объектах состояний, а не разбросана по всей структуре `Post`.

Почему не перечисление?

Возможно, вам было интересно, почему мы не использовали `enum` с различными возможными состояниями записи в качестве вариантов. Это, безусловно, одно из возможных решений. Попробуйте его реализовать и сравните конечные результаты, чтобы выбрать, какой из вариантов вам больше нравится! Одним из недостатков использования перечисления является то, что в каждом месте, где проверяется значение перечисления, потребуется выражение `match` или что-то подобное для обработки всех возможных вариантов. Возможно в этом случае нам придётся повторять больше кода, чем это было в решении с типаж-объектом.

Компромиссы шаблона "Состояние"

Мы показали, что Rust способен реализовать объектно-ориентированный шаблон "Состояние" для инкапсуляции различных типов поведения, которые должна иметь запись в каждом состоянии. Методы в `Post` ничего не знают о различных видах поведения. При такой организации кода, нам достаточно взглянуть только на один его участок, чтобы узнать отличия в поведении опубликованной публикации: в реализацию типажа `State` у структуры `Published`.

Если бы мы захотели создать альтернативную реализацию, не использующую паттерн состояния, мы могли бы вместо этого использовать выражения `match` в методах `Post` или даже в `main`, которые бы проверяли состояние записи и изменяли поведение в этих местах. Это приведёт к тому, что нам придётся в нескольких местах исследовать все следствия того, что пост перешёл в состояние "опубликовано"! И эта нагрузка будет только увеличиваться по мере добавления новых состояний: для каждого из этих выражений `match` потребуются дополнительные ответвления.

С помощью шаблона "Состояние" методы `Post` и участки, где мы используем `Post`, не требуют использования выражений `match`, а для добавления нового состояния нужно только добавить новую структуру и реализовать методы типажа у одной этой структуры.

Реализацию с использованием шаблона "Состояние" легко расширить для добавления новой функциональности. Чтобы увидеть, как легко поддерживать код, использующий данный шаблон, попробуйте выполнить некоторые из предложений ниже:

- Добавьте метод `reject`, который изменяет состояние публикации с `PendingReview` обратно на `Draft`.
- Потребуйте два вызова метода `approve`, прежде чем переводить состояние в `Published`.
- Разрешите пользователям добавлять текстовое содержимое только тогда, когда публикация находится в состоянии `Draft`. Подсказка: пусть объект состояния решает, можно ли менять содержимое, но не отвечает за изменение `Post`.

Одним из недостатков шаблона "Состояние" является то, что поскольку состояния сами реализуют переходы между собой, некоторые из состояний получаются связанными друг с другом. Если мы добавим другое состояние между `PendingReview` и `Published`, например `Scheduled` ("запланировано"), то придётся изменить код в `PendingReview`, чтобы оно теперь переходило в `Scheduled`. Если бы не нужно было менять `PendingReview` при добавлении нового состояния, было бы меньше работы, но это означало бы, что мы переходим на другой шаблон проектирования.

Другим недостатком является то, что мы продублировали некоторую логику. Чтобы устраниТЬ некоторое дублирование, мы могли бы попытаться сделать реализации по умолчанию для методов `request_review` и `approve` типажа `State`, которые возвращают `self`; однако это нарушило бы безопасность объекта, потому что типаж не знает, каким конкретно будет `self`. Мы хотим иметь возможность использовать `State` в качестве типаж-объекта, поэтому нам нужно, чтобы его методы были объектно-безопасными.

Другое дублирование включает в себя схожие реализации методов `request_review` и `approve` у `Post`. Оба метода делегируют реализации одного и того же метода значению поля `state` типа `Option` и устанавливают результатом новое значение поля `state`. Если бы у `Post` было много методов, которые следовали этому шаблону, мы могли бы рассмотреть определение макроса для устранения повторения (смотри раздел "Макросы" в главе 19).

Реализуя шаблон "Состояние" точно так, как он определён для объектно-ориентированных языков, мы не настолько полно используем преимущества Rust, как могли бы. Давайте посмотрим на некоторые изменения, которые мы можем внести в крейт `blog`, чтобы недопустимые состояния и переходы превратить в ошибки времени компиляции.

Кодирование состояний и поведения в виде типов

Мы покажем вам, как переосмыслить шаблон "Состояние", чтобы получить другой набор компромиссов. Вместо того, чтобы полностью инкапсулировать состояния и переходы, так, чтобы внешний код не знал о них, мы будем кодировать состояния с помощью разных типов. Следовательно, система проверки типов Rust предотвратит попытки использовать черновые публикации, там где разрешены только опубликованные публикации, вызывая ошибки компиляции.

Давайте рассмотрим первую часть `main` в листинге 17-11:

Файл: `src/main.rs`

```
fn main() {
    let mut post = Post::new();

    post.add_text("I ate a salad for lunch today");
    assert_eq!("", post.content());
}
```

Мы по-прежнему поддерживаем создание новых сообщений в состоянии "черновика" с помощью метода `Post::new` и возможность добавлять текст к содержимому публикации. Но вместо метода `content` у чернового сообщения, возвращающего пустую строку, мы сделаем так, что у черновых сообщений вообще не будет метода `content`. Таким образом, если мы попытаемся получить содержимое черновика, мы получим ошибку компилятора, сообщающую, что метод не существует. В результате мы не сможем случайно отобразить черновик содержимого записи в работающей программе, потому что этот код даже не скомпилируется. В листинге 17-19 показано определение структур `Post` и `DraftPost`, а также методов для каждой из них:

Файл: `src/lib.rs`

```

pub struct Post {
    content: String,
}

pub struct DraftPost {
    content: String,
}

impl Post {
    pub fn new() -> DraftPost {
        DraftPost {
            content: String::new(),
        }
    }

    pub fn content(&self) -> &str {
        &self.content
    }
}

impl DraftPost {
    pub fn add_text(&mut self, text: &str) {
        self.content.push_str(text);
    }
}

```

Листинг 17-19: Структура `Post` с методом `content` и структура `DraftPost` без метода `content`

Обе структуры, `Post` и `DraftPost`, имеют приватное поле `content`, в котором хранится текст сообщения блога. Структуры больше не содержат поле `state`, потому что мы перемещаем кодирование состояния в типы структур. Структура `Post` будет представлять опубликованную публикацию, и у неё есть метод `content`, который возвращает `content`.

У нас все ещё есть функция `Post::new`, но вместо возврата экземпляра `Post` она возвращает экземпляр `DraftPost`. Поскольку поле `content` является приватным и нет никаких функций, которые возвращают `Post`, просто так создать экземпляр `Post` уже невозможно.

Структура `DraftPost` имеет метод `add_text`, поэтому мы можем добавлять текст к `content` как и раньше, но учтите, что в `DraftPost` не определён метод `content`! Так что теперь программа гарантирует, что все записи начинаются как черновики, а черновики публикаций не имеют своего контента для отображения. Любая попытка обойти эти ограничения приведёт к ошибке компилятора.

Реализация переходов в виде преобразований в другие типы

Так как же получить опубликованный пост? Мы хотим обеспечить соблюдение правила, согласно которому черновик записи должен быть рассмотрен и утверждён до того, как он будет опубликован. Запись, находящаяся в состоянии проверки, по-прежнему не должна отображать содержимое. Давайте реализуем эти ограничения, добавив ещё одну структуру, `PendingReviewPost`, определив метод `request_review` у `DraftPost`, возвращающий `PendingReviewPost`, и определив метод `approve` у `PendingReviewPost`, возвращающий `Post`, как показано в листинге 17-20:

```

impl DraftPost {
    // --snip--
    pub fn request_review(self) -> PendingReviewPost {
        PendingReviewPost {
            content: self.content,
        }
    }
}

pub struct PendingReviewPost {
    content: String,
}

impl PendingReviewPost {
    pub fn approve(self) -> Post {
        Post {
            content: self.content,
        }
    }
}

```

Листинг 17-20: Тип `PendingReviewPost`, который создаётся путём вызова `request_review` экземпляра `DraftPost` и метод `approve`, который превращает `PendingReviewPost` в опубликованный `Post`.

Методы `request_review` и `approve` забирают во владение `self`, таким образом поглощая экземпляры `DraftPost` и `PendingReviewPost`, которые потом преобразуются в `PendingReviewPost` и опубликованную `Post`, соответственно. Таким образом, у нас не будет никаких долгоживущих экземпляров `DraftPost`, после того, как мы вызвали у них `request_review` и так далее. В структуре `PendingReviewPost` не определён метод `content`, поэтому попытка прочитать его содержимое приводит к ошибке компилятора, также как и в случае с `DraftPost`. Так как единственным способом получить опубликованный экземпляр `Post`, у которого действительно есть объявленный метод `content`, является вызов метода `approve` у экземпляра `PendingReviewPost`, а единственный способ получить `PendingReviewPost` - это вызвать метод `request_review` у экземпляра `DraftPost`, теперь мы закодировали процесс смены состояний записи блога с помощью системы типов.

Кроме этого, нужно внести небольшие изменения в `main`. Так как методы `request_review` и `approve` теперь возвращают объекты, а не преобразуют структуру от которой были вызваны, нам нужно добавить больше затеняющих присваиваний `let post =`, чтобы сохранять возвращаемые объекты. Также, теперь мы не можем использовать утверждения (assertions) для проверки того является ли содержимое черновиков и записей, находящихся на рассмотрении, пустыми строками, да они нам и не нужны - теперь стало невозможным скомпилировать код, который бы пытался использовать содержимое записей, находящихся в этих состояниях. Обновлённый код в `main` показан в листинге 17-21:

```
use blog::Post;

fn main() {
    let mut post = Post::new();

    post.add_text("I ate a salad for lunch today");

    let post = post.request_review();

    let post = post.approve();

    assert_eq!("I ate a salad for lunch today", post.content());
}
```

Листинг 17-21: Изменения в `main`, использующие новую реализацию процесса подготовки записи блога

Изменения, которые нам нужно было внести в `main`, чтобы переназначить `post` означают, что эта реализация теперь не совсем соответствует объектно-ориентированному шаблону "Состояние": преобразования между состояниями больше не инкапсулированы внутри реализации `Post` полностью. Тем не менее, мы получили большую выгоду в том, что недопустимые состояния теперь невозможны из-за системы типов и проверки типов, которая происходит во время компиляции! У нас есть гарантия, что некоторые ошибки, такие как отображение содержимого неопубликованной публикации, будут обнаружены до того, как они дойдут до пользователей.

Попробуйте выполнить задачи, предложенные в начале этого раздела, в версии крейта `blog`, каким он стал после листинга 17-20, чтобы сформировать своё мнение о дизайне этой версии кода. Обратите внимание, что некоторые задачи в этом варианте могут быть уже выполнены.

Мы увидели, что хотя Rust и способен реализовывать объектно-ориентированные шаблоны проектирования, в нём также доступны и другие шаблоны, такие как кодирование состояния с помощью системы типов. Эти модели имеют различные компромиссы. Хотя вы, возможно, очень хорошо знакомы с объектно-ориентированными шаблонами, переосмысление проблем для использования преимуществ и возможностей Rust может дать такие выгоды, как предотвращение некоторых ошибок во время компиляции. Объектно-ориентированные шаблоны не всегда будут лучшим решением в Rust из-за наличия определённых возможностей, таких как владение, которого нет у объектно-ориентированных языков.

Итоги

Независимо от того, что вы думаете о принадлежности Rust к объектно-ориентированным языкам после прочтения этой главы, теперь вы знаете, что можете использовать типаж-объекты, чтобы реализовать некоторые объектно-ориентированные свойства в Rust. Динамическая диспетчеризация может дать вашему коду некоторую гибкость в обмен на небольшое ухудшение производительности во время выполнения. Вы можете использовать эту гибкость для реализации объектно-ориентированных шаблонов, которые могут улучшить сопровождаемость вашего кода. В Rust также есть другие особенности, такие как владение, которых нет у объектно-ориентированных языков. Объектно-ориентированный шаблон не

всегда будет лучшим способом использовать преимущества Rust, но является доступной опцией.

Далее мы рассмотрим шаблоны, которые являются ещё одной особенностью Rust, обеспечивающей высокую гибкость. Мы бегло рассказывали о них на протяжении всей книги, но ещё не видели всех их возможностей. Вперёд!

Шаблоны и сопоставление

Шаблоны - это специальный синтаксис в Rust для сопоставления со структурой типов, как сложных, так и простых. Использование шаблонов в сочетании с выражениями `match` и другими конструкциями даёт вам больший контроль над потоком управления программы. Шаблон состоит из некоторой комбинации следующего:

- Литералы
- Деструктурированные массивы, перечисления, структуры или кортежи
- Переменные
- Специальные символы
- Заполнители

Некоторые примеры шаблонов включают `x`, `(a, 3)` и `Some(Color::Red)`. В контекстах, в которых допустимы шаблоны, эти компоненты описывают форму данных. Затем наша программа сопоставляет значения с шаблонами, чтобы определить, имеет ли значение правильную форму данных для продолжения выполнения определённого фрагмента кода.

Чтобы использовать шаблон, мы сравниваем его с некоторым значением. Если шаблон соответствует значению, мы используем части значения в нашем дальнейшем коде. Вспомните выражения `match` главы 6, в которых использовались шаблоны, например, описание машины для сортировки монет. Если значение в памяти соответствует форме шаблона, мы можем использовать именованные части шаблона. Если этого не произойдёт, то не выполнится код, связанный с шаблоном.

Эта глава - справочник по всем моментам, связанным с шаблонами. Мы расскажем о допустимых местах использования шаблонов, разнице между опровергими и неопровергими шаблонами и про различные виды синтаксиса шаблонов, которые вы можете увидеть. К концу главы вы узнаете, как использовать шаблоны для ясного выражения многих понятий.

Все случаи, где могут быть использованы шаблоны

В процессе использования языка Rust вы часто используете шаблоны, даже не осознавая этого! В этом разделе обсуждаются все случаи, где использование шаблонов является корректным.

Ветки `match`

Как обсуждалось в главе 6, мы используем шаблоны в ветках выражений `match`. Формально выражения `match` определяется как ключевое слово `match`, значение используемое для сопоставления, одна или несколько веток, которые состоят из шаблона и выражения для выполнения, если значение соответствует шаблону этой ветки, как здесь:

```
match VALUE {  
    PATTERN => EXPRESSION,  
    PATTERN => EXPRESSION,  
    PATTERN => EXPRESSION,  
}
```

Например, вот выражение `match` из листинга 6-5, которое соответствует значению `Option<i32>` в переменной `x`:

```
match x {  
    None => None,  
    Some(i) => Some(i + 1),  
}
```

Шаблонами в этом выражении `match` являются `None` и `Some(i)` слева от каждой стрелки.

Одно из требований к выражениям `match` состоит в том, что они должны быть исчерпывающими (exhaustive) в том смысле, что они должны учитывать все возможности для значения в выражении `match`. Один из способов убедиться, что вы рассмотрели каждую возможность - это иметь шаблон перехвата всех вариантов в последней ветке выражения: например, имя переменной, совпадающее с любым значением, никогда не может потерпеть неудачу и таким образом, охватывает каждый оставшийся случай.

Специальный шаблон `_` будет соответствовать чему угодно, но он никогда не привязывается к переменной, поэтому он часто используется в последней ветке. Шаблон `_` может быть полезен, если вы, например, хотите игнорировать любое не указанное значение. Мы рассмотрим шаблон `_` более подробно в разделе "Игнорирование значений в шаблоне позже в этой главе".

Условные выражения `if let`

В главе 6 мы обсуждали, как использовать выражения `if let` как правило в качестве более короткого способа записи эквивалента `match`, которое обрабатывает только один случай. Дополнительно `if let` может иметь соответствующий `else`, содержащий код для выполнения, если шаблон выражения `if let` не совпадает.

В листинге 18-1 показано, что можно также смешивать и сопоставлять выражения `if let`, `else if` и `else if let`. Это даёт больше гибкости, чем `match` выражение, в котором можно выразить только одно значение для сравнения с шаблонами. Кроме того, условия в серии `if let`, `else if`, `else if let` не обязаны соотноситься друг с другом.

Код в листинге 18-1 показывает последовательность проверок нескольких условий, определяющих каким должен быть цвет фона. В данном примере мы создали переменные с предопределёнными значениями, которые в реальной программе могли бы быть получены из пользовательского ввода.

Файл: src/main.rs

```
fn main() {
    let favorite_color: Option<&str> = None;
    let is_tuesday = false;
    let age: Result<u8, _> = "34".parse();

    if let Some(color) = favorite_color {
        println!("Using your favorite color, {color}, as the background");
    } else if is_tuesday {
        println!("Tuesday is green day!");
    } else if let Ok(age) = age {
        if age > 30 {
            println!("Using purple as the background color");
        } else {
            println!("Using orange as the background color");
        }
    } else {
        println!("Using blue as the background color");
    }
}
```

Листинг 18-1: Использование условных конструкций `if let`, `else if`, `else if let`, и `else`

Если пользователь указывает любимый цвет, то этот цвет используется в качестве цвета фона. Если любимый цвет не указан, и сегодня вторник, то цвет фона - зелёный. Иначе, если пользователь указывает свой возраст в виде строки, и мы можем успешно проанализировать её и представить в виде числа, то цвет будет либо фиолетовым, либо оранжевым, в зависимости от значения числа. Если ни одно из этих условий не выполняется, то цвет фона будет синим.

Эта условная структура позволяет поддерживать сложные требования. С жёстко закодированными значениями, которые у нас здесь есть, этот пример напечатает `Using purple as the background color`.

Можно увидеть, что `if let` может также вводить затенённые переменные, как это можно сделать в `match` ветках: строка `if let Ok(age) = age` вводит новую затенённую переменную `age`, которая содержит значение внутри варианта `Ok`. Это означает, что нам нужно поместить условие `if age > 30` внутри этого блок: мы не можем объединить эти два условия в `if let Ok(age) = age && age > 30`. Затенённый `age`, который мы хотим сравнить с 30, не является действительным, пока не начнётся новая область видимости с фигурной скобки.

Недостатком использования `if let` выражений является то, что компилятор не проверяет полноту (exhaustiveness) всех вариантов, в то время как с помощью выражения `match` это происходит. Если мы не напишем последний блок `else` и, благодаря этому, пропустим обработку некоторых случаев, компилятор не предупредит нас о возможной логической ошибке.

Условные циклы `while let`

Аналогично конструкции `if let`, конструкция условного цикла `while let` позволяет повторять цикл `while` до тех пор, пока шаблон продолжает совпадать. Пример в листинге 18-2 демонстрирует цикл `while let`, который использует вектор в качестве стека и печатает значения вектора в порядке, обратном тому, в котором они были помещены.

```
let mut stack = Vec::new();

stack.push(1);
stack.push(2);
stack.push(3);

while let Some(top) = stack.pop() {
    println!("{}", top);
}
```

Листинг 18-2: Использование цикла `while let` для печати значений до тех пор, пока `stack.pop()` возвращает `Some`

В этом примере выводится 3, 2, а затем 1. Метод `pop` извлекает последний элемент из вектора и возвращает `Some(value)`. Если вектор пуст, то `pop` возвращает `None`. Цикл `while` продолжает выполнение кода в своём блоке, пока `pop` возвращает `Some`. Когда `pop` возвращает `None`, цикл останавливается. Мы можем использовать `while let` для удаления каждого элемента из стека.

Цикл `for`

В цикле `for` значение, которое следует непосредственно за ключевым словом `for`, является шаблоном. Например, в `for x in y` выражение `x` является шаблоном. В листинге 18-3 показано, как использовать шаблон в цикле `for`, чтобы деструктурировать или разбить кортеж как часть цикла `for`.

```
let v = vec!['a', 'b', 'c'];

for (index, value) in v.iter().enumerate() {
    println!("{} is at index {}", value, index);
}
```

Листинг 18-3: Использование шаблона в цикле `for` для деструктурирования кортежа

Код в листинге 18-3 выведет следующее:

```
$ cargo run
Compiling patterns v0.1.0 (file:///projects/patterns)
  Finished `dev` profile [unoptimized + debuginfo] target(s) in 0.52s
    Running `target/debug/patterns`
a is at index 0
b is at index 1
c is at index 2
```

Мы адаптируем итератор с помощью метода `enumerate`, чтобы он генерировал кортеж, состоящий из значения и индекса этого значения. Первым сгенерированным значением будет кортеж `(0, 'a')`. Когда это значение сопоставляется с шаблоном `(index, value)`, `index` будет равен `0`, а `value` будет равно `'a'` и будет напечатана первая строка выходных данных.

Инструкция `let`

До этой главы мы подробно обсуждали только использование шаблонов с `match` и `if let`, но на самом деле, мы использовали шаблоны и в других местах, в том числе в инструкциях `let`. Например, рассмотрим следующее простое назначение переменной с помощью `let`:

```
let x = 5;
```

Каждый раз, когда вы использовали подобным образом инструкцию `let`, вы использовали шаблоны, хотя могли и не осознавать этого! Более формально инструкция `let` выглядит так:

```
let PATTERN = EXPRESSION;
```

В инструкциях типа `let x = 5;` с именем переменной в слоте `PATTERN`, имя переменной является просто отдельной, простой формой шаблона. Rust сравнивает выражение с шаблоном и присваивает любые имена, которые он находит. Так что в примере `let x = 5;`, `x` - это шаблон, который означает "привязать то, что соответствует здесь, переменной `x`". Поскольку имя `x` является полностью шаблоном, этот шаблон фактически означает "привязать все к переменной `x` независимо от значения".

Чтобы более чётко увидеть аспект сопоставления с шаблоном `let`, рассмотрим листинг 18-4, в котором используется шаблон с `let` для деструктурирования кортежа.

```
let (x, y, z) = (1, 2, 3);
```

Листинг 18-4. Использование шаблона для деструктуризации кортежа и создания трёх переменных одновременно

Здесь мы сопоставляем кортеж с шаблоном. Rust сравнивает значение `(1, 2, 3)` с шаблоном `(x, y, z)` и видит, что значение соответствует шаблону, поэтому Rust связывает `1` с `x`, `2` с `y` и `3` с `z`. Вы можете думать об этом шаблоне кортежа как о вложении в него трёх отдельных шаблонов переменных.

Если количество элементов в шаблоне не совпадает с количеством элементов в кортеже, то весь тип не будет совпадать и мы получим ошибку компилятора. Например, в листинге 18-5 показана попытка деструктурировать кортеж с тремя элементами в две переменные, что не будет работать.

```
let (x, y) = (1, 2, 3);
```

Листинг 18-5: Неправильное построение шаблона, переменные не соответствуют количеству элементов в кортеже

Попытка скомпилировать этот код приводит к ошибке:

```
$ cargo run
Compiling patterns v0.1.0 (file:///projects/patterns)
error[E0308]: mismatched types
--> src/main.rs:2:9
2 |     let (x, y) = (1, 2, 3);
|     ^^^^^^ ----- this expression has type `({integer}, {integer},
{integer})`
|         |
|         expected a tuple with 3 elements, found one with 2 elements
|
= note: expected tuple `({integer}, {integer}, {integer})`
        found tuple `(_, _)`
```

```
For more information about this error, try `rustc --explain E0308`.
error: could not compile `patterns` (bin "patterns") due to 1 previous error
```

Чтобы исправить ошибку, мы могли бы игнорировать одно или несколько значений в кортеже, используя `_` или `..`, как вы увидите в разделе “[Игнорирование значений в Шаблоне](#)”. Если шаблон содержит слишком много переменных в шаблоне, можно решить проблему, сделав типы совпадающими, удалив некоторые переменные таким образом, чтобы число переменных равнялось числу элементов в кортеже.

Параметры функции

Параметры функции также могут быть шаблонами. Код в листинге 18-6 объявляет функцию с именем `foo`, которая принимает один параметр с именем `x` типа `i32`, к настоящему времени это должно выглядеть знакомым.

```
fn foo(x: i32) {  
    // code goes here  
}
```

Листинг 18-6: Сигнатура функции использует шаблоны в параметрах

x это часть шаблона! Как и в случае с let, мы можем сопоставить кортеж в аргументах функции с шаблоном. Листинг 18-7 разделяет значения в кортеже при его передачи в функцию.

Файл: src/main.rs

```
fn print_coordinates(&(x, y): &(i32, i32)) {  
    println!("Current location: ({x}, {y})");  
}  
  
fn main() {  
    let point = (3, 5);  
    print_coordinates(&point);  
}
```

Листинг 18-7: Функция с параметрами, которая разрушает кортеж

Этот код печатает Current location: (3, 5). Значения &(3, 5) соответствуют шаблону &(x, y), поэтому x - это значение 3, а y - это значение 5.

Добавляя к вышесказанному, мы можем использовать шаблоны в списках параметров замыкания таким же образом, как и в списках параметров функции, потому что, как обсуждалось в главе 13, замыкания похожи на функции.

На данный момент вы видели несколько способов использования шаблонов, но шаблоны работают не одинаково во всех местах, где их можно использовать. В некоторых местах шаблоны должны быть неопровергимыми; в других обстоятельствах они могут быть опровергнуты. Мы обсудим эти две концепции далее.

Возможность опровержения: может ли шаблон не совпадать

Шаблоны бывают двух форм: опровергимые и неопровергимые. Шаблоны, которые будут соответствовать любому возможному переданному значению, являются *неопровергимыми* (irrefutable). Примером может быть `x` в инструкции `let x = 5;`, потому что `x` соответствует чему-либо и, следовательно, не может не совпадать. Шаблоны, которые могут не соответствовать некоторому возможному значению, являются *опровергимыми* (refutable). Примером может быть `Some(x)` в выражении `if let Some(x) = a_value`, потому что если значение в переменной `a_value` равно `None`, а не `Some`, то шаблон `Some(x)` не будет совпадать.

Параметры функций, инструкции `let` и циклы `for` могут принимать только неопровергимые шаблоны, поскольку программа не может сделать ничего значимого, если значения не совпадают. А выражения `if let` и `while let` принимают опровергимые и неопровергимые шаблоны, но компилятор предостерегает от неопровергимых шаблонов, поскольку по определению они предназначены для обработки возможного сбоя: функциональность условного выражения заключается в его способности выполнять разный код в зависимости от успеха или неудачи.

В общем случае, вам не нужно беспокоиться о разнице между опровергимыми (refutable) и неопровергимыми (irrefutable) шаблонами; тем не менее, вам необходимо ознакомиться с концепцией возможности опровержения, чтобы вы могли отреагировать на неё, увидев в сообщении об ошибке. В таких случаях вам потребуется изменить либо шаблон, либо конструкцию, с которой вы используете шаблон, в зависимости от предполагаемого поведения кода.

Давайте посмотрим на пример того, что происходит, когда мы пытаемся использовать опровергимый шаблон, где Rust требует неопровергимый шаблон, и наоборот. В листинге 18-8 показана инструкция `let`, но для образца мы указали `Some(x)`, являющийся шаблоном, который можно опровергнуть. Как и следовало ожидать, этот код не будет компилироваться.

```
let Some(x) = some_option_value;
```

Листинг 18-8: Попытка использовать опровергимый шаблон вместе с `let`



Если `some_option_value` было бы значением `None`, то оно не соответствовало бы шаблону `Some(x)`, что означает, что шаблон является опровергимым. Тем не менее, инструкция `let` может принимать только неопровергимый шаблон, потому что нет корректного кода, который может что-то сделать со значением `None`. Во время компиляции Rust будет жаловаться на то, что мы пытались использовать опровергимый шаблон, для которого требуется неопровергимый шаблон:

```
$ cargo run
Compiling patterns v0.1.0 (file:///projects/patterns)
error[E0005]: refutable pattern in local binding
--> src/main.rs:3:9
|
3 |     let Some(x) = some_option_value;
|           ^^^^^^ pattern `None` not covered
|
= note: `let` bindings require an "irrefutable pattern", like a `struct` or an `enum` with only one variant
= note: for more information, visit https://doc.rust-lang.org/book/ch18-02-refutability.html
= note: the matched value is of type `Option<i32>`
help: you might want to use `let else` to handle the variant that isn't matched
|
3 |     let Some(x) = some_option_value else { todo!() };
|           ++++++
For more information about this error, try `rustc --explain E0005`.
error: could not compile `patterns` (bin "patterns") due to 1 previous error
```

Поскольку мы не покрыли (и не могли покрыть!) каждое допустимое значение с помощью образца `Some(x)`, то Rust выдаёт ошибку компиляции.

Чтобы исправить проблему наличия опровергимого шаблона, там, где нужен неопровергимый шаблон, можно изменить код, использующий шаблон: вместо использования `let`, можно использовать `if let`. Затем, если шаблон не совпадает, выполнение кода внутри фигурных скобок будет пропущено, что даст возможность продолжить корректное выполнение. В листинге 18-9 показано, как исправить код из листинга 18-8.

```
if let Some(x) = some_option_value {
    println!("{}");
}
```

Листинг 18-9. Использование `if let` и блока с опровергнутыми шаблонами вместо `let`

Код исправлен! Этот код совершенно корректный, хотя это означает, что мы не можем использовать неопровергимый образец без получения ошибки. Если мы используем шаблон `if let`, который всегда будет совпадать, то для примера `x`, показанного в листинге 18-10, компилятор выдаст предупреждение.

```
if let x = 5 {
    println!("{}");
};
```

Листинг 18-10. Попытка использовать неопровергимый шаблон с `if let`

Rust жалуется, что не имеет смысла использовать `if let` с неопровергимым образцом:

```
$ cargo run
Compiling patterns v0.1.0 (file:///projects/patterns)
warning: irrefutable `if let` pattern
--> src/main.rs:2:8
2 |     if let x = 5 {
|         ^^^^^^^^^^
|
|= note: this pattern will always match, so the `if let` is useless
|= help: consider replacing the `if let` with a `let`
|= note: `#[warn(irrefutable_let_patterns)]` on by default

warning: `patterns` (bin "patterns") generated 1 warning
    Finished `dev` profile [unoptimized + debuginfo] target(s) in 0.39s
        Running `target/debug/patterns`
```

5

По этой причине совпадающие ветки выражений должны использовать опровергимые шаблоны, за исключением последнего, который должен сопоставлять любые оставшиеся значения с неопровергимым шаблоном. Rust позволяет нам использовать неопровергимый шаблон в `match` только с одной веткой, но этот синтаксис не особенно полезен и может быть заменён более простой инструкцией `let`.

Теперь, когда вы знаете, где использовать шаблоны и разницу между опровергимыми и неопровергимыми шаблонами, давайте рассмотрим весь синтаксис, который мы можем использовать для создания шаблонов.

Синтаксис шаблонов

В этом разделе мы рассмотрим все виды допустимого синтаксиса в шаблонах и расскажем, когда и для чего вам может понадобиться каждый из них.

Сопоставление с литералом

Как мы уже видели в главе 6, можно сопоставлять шаблоны с литералами напрямую. В следующем коде есть несколько примеров:

```
let x = 1;

match x {
    1 => println!("one"),
    2 => println!("two"),
    3 => println!("three"),
    _ => println!("anything"),
}
```

Этот код печатает `one`, потому что значение в `x` равно 1. Данный синтаксис полезен, когда вы хотите, чтобы ваш код предпринял действие, если он получает конкретное значение.

Сопоставление именованных переменных

Именованные переменные - это неопровергимые (irrefutable) шаблоны, которые соответствуют любому значению и мы использовали их много раз в книге. Однако при использовании именованных переменных в выражениях `match` возникает сложность. Поскольку `match` начинает новую область видимости, то переменные, объявленные как часть шаблона внутри выражения `match`, будут затенять переменные с тем же именем вне конструкции `match` как и в случае со всеми переменными. В листинге 18-11 мы объявляем переменную с именем `x` со значением `Some(5)` и переменную `y` со значением `10`. Затем мы создаём выражение `match` для значения `x`. Посмотрите на шаблоны в ветках, `println!` в конце и попытайтесь выяснить, какой код будет напечатан прежде чем запускать его или читать дальше.

Файл: src/main.rs

```

let x = Some(5);
let y = 10;

match x {
    Some(50) => println!("Got 50"),
    Some(y) => println!("Matched, y = {y}"),
    _ => println!("Default case, x = {x:?}"),
}

println!("at the end: x = {x:?}, y = {y}");

```

Листинг 18-11: Выражение `match` с веткой, которая добавляет затенённую переменную `y`

Давайте рассмотрим, что происходит, когда выполняется выражение `match`. Шаблон в первой ветке не соответствует определённому значению `x`, поэтому выполнение продолжается.

Шаблон во второй ветке вводит новую переменную с именем `y`, которая будет соответствовать любому значению в `Some`. Поскольку мы находимся в новой области видимости внутри выражения `match`, это новая переменная `y`, а не `y` которую мы объявили в начале со значением 10. Эта новая привязка `y` будет соответствовать любому значению из `Some`, которое находится в `x`. Следовательно, эта новая `y` связывается с внутренним значением `Some` из переменной `x`. Этим значением является `5`, поэтому выражение для этой ветки выполняется и печатает `Matched, y = 5`.

Если бы `x` было значением `None` вместо `Some(5)`, то шаблоны в первых двух ветках не совпали бы, поэтому значение соответствовало бы подчёркиванию. Мы не ввели переменную `x` в шаблоне ветки со знаком подчёркивания, поэтому `x` в выражении все ещё является внешней переменной `x`, которая не была затенена. В этом гипотетическом случае совпадение `match` выведет `Default case, x = None`.

Когда выражение `match` завершается, заканчивается его область видимости как и область действия внутренней переменной `y`. Последний `println!` печатает `at the end: x = Some(5), y = 10`.

Чтобы создать выражение `match`, которое сравнивает значения внешних `x` и `y`, вместо введения затенённой переменной нужно использовать условие в сопоставлении образца. Мы поговорим про условие в сопоставлении шаблона позже в разделе “[Дополнительные условия в сопоставлении образца](#)”.

Группа шаблонов

В выражениях `match` можно сравнивать сразу с несколькими шаблонами, используя синтаксис `|`, который является оператором паттерна `or`. Например, в следующем примере мы сопоставляем значение `x` с ветвями `match`, первая из которых содержит оператор `or`, так что если значение `x` совпадёт с любым из значений в этой ветви, то будет выполнен её код:

```
let x = 1;

match x {
    1 | 2 => println!("one or two"),
    3 => println!("three"),
    _ => println!("anything"),
}
```

Будет напечатано `one or two`.

Сопоставление диапазонов с помощью `..=`

Синтаксис `..=` позволяет нам выполнять сравнение с диапазоном значений. В следующем коде, когда в шаблоне найдётся совпадение с любым из значений заданного диапазона, будет выполнена эта ветка:

```
let x = 5;

match x {
    1..=5 => println!("one through five"),
    _ => println!("something else"),
}
```

Если `x` равен 1, 2, 3, 4 или 5, то совпадение будет достигнуто в первой ветке. Этот синтаксис более удобен при указании нескольких значений для сравнения, чем использование оператора `|` для определения этой же идеи; если бы мы решили использовать `|`, нам пришлось бы написать `1 | 2 | 3 | 4 | 5`. Указание диапазона намного короче, особенно если мы хотим подобрать, скажем, любое число от 1 до 1 000!

Компилятор проверяет, что диапазон не является пустым во время компиляции, и поскольку единственными типами, для которых Rust может определить, пуст диапазон или нет, являются `char` и числовые значения, диапазоны допускаются только с числовыми или `char` значениями.

Вот пример использования диапазонов значений `char`:

```
let x = 'c';

match x {
    'a'..='j' => println!("early ASCII letter"),
    'k'..='z' => println!("late ASCII letter"),
    _ => println!("something else"),
}
```

Rust может сообщить, что `'c'` находится в диапазоне первого шаблона и напечатать `early ASCII letter`.

Деструктуризация для получения значений

Мы также можем использовать шаблоны для деструктуризации структур, перечислений и кортежей, чтобы использовать разные части этих значений. Давайте пройдёмся по каждому варианту.

Деструктуризация структуры

В листинге 18-12 показана структура `Point` с двумя полями `x` и `y`, которые мы можем разделить, используя шаблон с инструкцией `let`.

Файл: `src/main.rs`

```
struct Point {
    x: i32,
    y: i32,
}

fn main() {
    let p = Point { x: 0, y: 7 };

    let Point { x: a, y: b } = p;
    assert_eq!(0, a);
    assert_eq!(7, b);
}
```

Листинг 18-12: Разбиение полей структуры в отдельные переменные

Этот код создаёт переменные `a` и `b`, которые сопоставляются значениям полей `x` и `y` структуры `p`. Этот пример показывает, что имена переменных в шаблоне не обязательно должны совпадать с именами полей структуры. Однако обычно имена переменных сопоставляются с именами полей, чтобы было легче запомнить, какие переменные взяты из каких полей. Из-за этого, а также из-за того, что строчка `let Point { x: x, y: y } = p;` содержит много дублирования, в Rust ввели специальное сокращение для шаблонов, соответствующих полям структуры: вам нужно только указать имя поля структуры, и тогда переменные, созданные из шаблона, будут иметь те же имена. Код в листинге 18-13 аналогичен коду в Листинге 18-12, но в шаблоне `let` создаются переменные `x` и `y`, вместо `a` и `b`.

Файл: `src/main.rs`

```

struct Point {
    x: i32,
    y: i32,
}

fn main() {
    let p = Point { x: 0, y: 7 };

    let Point { x, y } = p;
    assert_eq!(0, x);
    assert_eq!(7, y);
}

```

Листинг 18-13: Деструктуризация полей структуры с использованием сокращённой записи

Этот код создаёт переменные **x** и **y**, которые соответствуют полям **x** и **y** из переменной **p**. В результате переменные **x** и **y** содержат значения из структуры **p**.

А ещё, используя литеральные значения в шаблоне, мы можем деструктурировать, не создавая переменные для всех полей. Это даёт возможность, проверяя одни поля на соответствие конкретным значениям, создавать переменные для деструктуризации других.

В листинге 18-14 показано выражение **match**, которое разделяет значения **Point** на три случая: точки, которые лежат непосредственно на оси **x** (что верно, когда **y = 0**), на оси **y** (**x = 0**) или ни то, ни другое.

Файл: src/main.rs

```

fn main() {
    let p = Point { x: 0, y: 7 };

    match p {
        Point { x, y: 0 } => println!("On the x axis at {x}"),
        Point { x: 0, y } => println!("On the y axis at {y}"),
        Point { x, y } => {
            println!("On neither axis: ({x}, {y})");
        }
    }
}

```

Листинг 18-14: Деструктуризация и сопоставление с литералами в одном шаблоне

Первая ветвь будет соответствовать любой точке, лежащей на оси **x**, если значение поля **y** будет соответствовать литералу **0**. Шаблон по-прежнему создаёт переменную **x**, которую мы сможем использовать в коде этой ветви.

Аналогично, вторая ветвь совпадёт с любой точкой на оси **y**, в случае, если значение поля **x** будет равно **0**, а для значения поля **y** будет создана переменная **y**. Третья ветвь не содержит никаких литералов, поэтому она соответствует любому другому **Point** и создаёт переменные как для поля **x**, так и для поля **y**.

В этом примере значение **p** совпадает по второй ветке, так как **x** содержит значение 0, поэтому этот код будет печатать **On the y axis at 7**.

Помните, что выражение `match` перестаёт проверять следующие ветви, как только оно находит первый совпадающий шаблон, поэтому, даже если `Point { x: 0, y: 0}` находится на оси `x` и оси `y`, этот код будет печатать только `On the x axis at 0`.

Деструктуризация перечислений

Мы уже деструктурировали перечисления в книге (см., например, листинг 6-5 главы 6), но не обсуждали явно, что шаблон для деструктуризации перечисления должен соответствовать способу объявления данных, хранящихся в перечислении. Например, в листинге 18-15 мы используем перечисление `Message` из листинга 6-2 и пишем `match` с шаблонами, которые будут деструктурировать каждое внутреннее значение.

Файл: `src/main.rs`

```
enum Message {
    Quit,
    Move { x: i32, y: i32 },
    Write(String),
    ChangeColor(i32, i32, i32),
}

fn main() {
    let msg = Message::ChangeColor(0, 160, 255);

    match msg {
        Message::Quit => {
            println!("The Quit variant has no data to destructure.");
        }
        Message::Move { x, y } => {
            println!("Move in the x direction {} and in the y direction {}", x, y);
        }
        Message::Write(text) => {
            println!("Text message: {}", text);
        }
        Message::ChangeColor(r, g, b) => {
            println!("Change the color to red {}, green {}, and blue {}", r, g, b);
        }
    }
}
```

Листинг 18-15: Деструктуризация вариантов перечисления, содержащих разные виды значений

Этот код напечатает `Change the color to red 0, green 160, and blue 255`. Попробуйте изменить значение переменной `msg`, чтобы увидеть выполнение кода в других ветках.

Для вариантов перечисления без каких-либо данных, вроде `Message::Quit`, мы не можем деструктурировать значение, которого нет. Мы можем сопоставить только буквальное значение `Message::Quit` в этом шаблоне, но без переменных.

Для вариантов перечисления похожих на структуры, таких как `Message::Move`, можно использовать шаблон, подобный шаблону, который мы указываем для сопоставления структур. После имени варианта мы помещаем фигурные скобки и затем перечисляем поля именами переменных. Таким образом мы разделяем фрагменты, которые будут

использоваться в коде этой ветки. Здесь мы используем сокращённую форму, как в листинге 18-13.

Для вариантов перечисления, подобных кортежу, вроде `Message::Write`, который содержит кортеж с одним элементом и `Message::ChangeColor`, содержащему кортеж с тремя элементами, шаблон аналогичен тому, который мы указываем для сопоставления кортежей. Количество переменных в шаблоне должно соответствовать количеству элементов в варианте, который мы сопоставляем.

Деструктуризация вложенных структур и перечислений

До сих пор все наши примеры сопоставляли структуры или перечисления на один уровень глубины, но сопоставление может работать и с вложенными элементами! Например, мы можем реорганизовать код в листинге 18-15 для поддержки цветов RGB и HSV в сообщении `ChangeColor`, как показано в листинге 18-16.

```
enum Color {
    Rgb(i32, i32, i32),
    Hsv(i32, i32, i32),
}

enum Message {
    Quit,
    Move { x: i32, y: i32 },
    Write(String),
    ChangeColor(Color),
}
fn main() {
    let msg = Message::ChangeColor(Color::Hsv(0, 160, 255));

    match msg {
        Message::ChangeColor(Color::Rgb(r, g, b)) => {
            println!("Change color to red {}, green {}, and blue {}", r, g, b);
        }
        Message::ChangeColor(Color::Hsv(h, s, v)) => {
            println!("Change color to hue {}, saturation {}, value {}", h, s, v);
        }
        _ => (),
    }
}
```

Листинг 18-16: Сопоставление со вложенными перечислениями

Шаблон первой ветки в выражении `match` соответствует варианту перечисления `Message::ChangeColor`, который содержит вариант `Color::Rgb`; затем шаблон привязывается к трём внутренними значениями `i32`. Шаблон второй ветки также соответствует варианту перечисления `Message::ChangeColor`, но внутреннее перечисление соответствует варианту `Color::Hsv`. Мы можем указать эти сложные условия в одном выражении `match`, даже если задействованы два перечисления.

Деструктуризация структур и кортежей

Можно смешивать, сопоставлять и вкладывать шаблоны деструктуризации ещё более сложными способами. В следующем примере показана сложная деструктуризация, где мы вкладываем структуры и кортежи внутрь кортежа и деструктурируем из него все примитивные значения:

```
let ((feet, inches), Point { x, y }) = ((3, 10), Point { x: 3, y: -10 });
```

Этот код позволяет нам разбивать сложные типы на составные части, чтобы мы могли использовать интересующие нас значения по отдельности.

Деструктуризация с помощью шаблонов - это удобный способ использования фрагментов значений, таких как значение из каждого поля в структуре, по отдельности друг от друга.

Игнорирование значений в шаблоне

Вы видели, что иногда полезно игнорировать значения в шаблоне, например в последней ветке `match`, чтобы получить ветку, обрабатывающую любые значения, которая на самом деле ничего не делает, но учитывает все оставшиеся возможные значения. Есть несколько способов игнорировать целые значения или части значений в шаблоне: используя шаблон `_` (который вы видели), используя шаблон `_` внутри другого шаблона, используя имя, начинающееся с подчёркивания, либо используя `..`, чтобы игнорировать оставшиеся части значения. Давайте рассмотрим, как и зачем использовать каждый из этих шаблонов.

Игнорирование всего значения с помощью шаблона `_`

Мы использовали подчёркивание (`_`) в качестве шаблона подстановочного знака (wildcard), который будет сопоставляться с любым значением, но не будет привязываться к этому значению. Это особенно удобно в последней ветке выражения `match`, но мы также можем использовать его в любом шаблоне, в том числе в параметрах функции, как показано в листинге 18-17.

Файл: `src/main.rs`

```
fn foo(_: i32, y: i32) {
    println!("This code only uses the y parameter: {}", y);
}

fn main() {
    foo(3, 4);
}
```

Листинг 18-15: Использование `_` в сигнатуре функции

Этот код полностью игнорирует значение `3`, переданное в качестве первого аргумента, и выведет на печать `This code only uses the y parameter: 4`.

В большинстве случаев, когда вам больше не нужен какой-то из параметров функции, вы можете изменить её сигнатуру, убрав неиспользуемый параметр. Игнорирование параметра функции может быть особенно полезно в случаях когда, например, вы реализуете типаж с определённой сигнатурой, но тело функции в вашей реализации не нуждается в одном из параметров. В таком случае компилятор не будет выдавать предупреждения о неиспользуемых параметрах функции, как это было бы, если бы вы указали имя параметра.

Игнорирование частей значения с помощью вложенного

Также, `_` можно использовать внутри шаблонов, чтобы игнорировать какую-то часть значения, например, когда мы хотим проверить только определённую деталь, а остальные параметры нам не понадобятся в коде, который нужно выполнить. В листинге 18-18 показан код, ответственный за управление значениями настроек. Согласно бизнес-требованиям, пользователь не может изменить установленное значение параметра, но может удалить его и задать ему новое значение, если на данный момент оно отсутствует.

```
let mut setting_value = Some(5);
let new_setting_value = Some(10);

match (setting_value, new_setting_value) {
    (Some(_), Some(_)) => {
        println!("Can't overwrite an existing customized value");
    }
    _ => {
        setting_value = new_setting_value;
    }
}

println!("setting is {setting_value:?}");
```

Листинг 18-18: Использование подчёркивания в шаблонах, соответствующих вариантам `Some`, когда нам не нужно использовать значение внутри `Some`

Этот код будет печатать `Can't overwrite an existing customized value`, а затем `setting is Some(5)`. В первой ветке нам не нужно сопоставлять или использовать значения внутри варианта `Some`, но нам нужно проверить случай, когда `setting_value` и `new_setting_value` являются вариантом `Some`. В этом случае мы печатаем причину, почему мы не меняем значение `setting_value` и оно не меняется.

Во всех других случаях (если либо `setting_value`, либо `new_setting_value` являются вариантом `None`), выраженных шаблоном `_` во второй ветке, мы хотим, чтобы `new_setting_value` стало равно `setting_value`.

Мы также можем использовать подчёркивание в нескольких местах в одном шаблоне, чтобы игнорировать конкретные значения. Листинг 18-19 показывает пример игнорирования второго и четвёртого значения в кортеже из пяти элементов.

```
let numbers = (2, 4, 8, 16, 32);

match numbers {
    (first, _, third, _, fifth) => {
        println!("Some numbers: {first}, {third}, {fifth}")
    }
}
```

Листинг 18-19: Игнорирование нескольких частей кортежа

Этот код напечатает `Some numbers: 2, 8, 32`, а значения 4 и 16 будут проигнорированы.

Игнорирование неиспользуемой переменной, начинающейся с символа `_` в имени

Если вы создаёте переменную, но нигде её не используете, Rust обычно выдаёт предупреждение, потому что неиспользуемая переменная может быть ошибкой. Но иногда полезно создать переменную, которую вы пока не используете, например, когда вы создаёте прототип или только начинаете проект. В этой ситуации вы можете сказать Rust не предупреждать вас о неиспользуемой переменной, начав имя переменной с подчёркивания. В листинге 18-20 мы создаём две неиспользуемые переменные, но когда мы компилируем такой код, мы должны получить предупреждение только об одной из них.

Файл: src/main.rs

```
fn main() {
    let _x = 5;
    let y = 10;
}
```

Листинг 18-20: Начинаем имя переменной с подчёркивания, чтобы не получить предупреждения о неиспользованных переменных

Здесь мы получаем предупреждение о том, что не используем переменную `y`, но мы не получаем предупреждения о неиспользовании переменной `_x`.

Обратите внимание, что есть небольшая разница между использованием только `_` и использованием имени, начинающегося с подчёркивания. Синтаксис `_x` по-прежнему привязывает значение к переменной, тогда как `_` не привязывает ничего. В листинге 18-21 представлена ошибка, показывающая, в каком случае это различие имеет значение.

```
let s = Some(String::from("Hello!"));

if let Some(_s) = s {
    println!("found a string");
}

println!("{s:?}");
```



Листинг 18-21: Неиспользуемая переменная, начинающаяся с подчёркивания, по-прежнему привязывает значение, что может привести к смене владельца значения

Мы получим ошибку, поскольку значение `s` все равно будет перемещено в `_s`, что не позволит нам больше воспользоваться `s`. Однако использование подчёркивания само по себе никогда не приводит к привязке к значению. Листинг 18-22 скомпилируется без ошибок, поскольку `s` не будет перемещён в `_`.

```
let s = Some(String::from("Hello!"));

if let Some(_) = s {
    println!("found a string");
}

println!("{s:?}");
```

Листинг 18-22. Использование подчёркивания не привязывает значение

Этот код работает нормально, потому что мы никогда не привязываем `s` к чему либо; оно не перемещается.

Игнорирование оставшихся частей значения с помощью `..`

Со значениями, которые имеют много частей, можно использовать синтаксис `..`, чтобы использовать только некоторые части и игнорировать остальные, избегая необходимости перечислять подчёркивания для каждого игнорируемого значения. Шаблон `..` игнорирует любые части значения, которые мы явно не сопоставили в остальной частью шаблона. В листинге 18-23 мы имеем структуру `Point`, которая содержит координату в трёхмерном пространстве. В выражении `match` мы хотим работать только с координатой `x` и игнорировать значения полей `y` и `z`.

```
struct Point {
    x: i32,
    y: i32,
    z: i32,
}

let origin = Point { x: 0, y: 0, z: 0 };

match origin {
    Point { x, .. } => println!("x is {}", x),
}
```

Листинг 18-21: Игнорирование полей структуры `Point` кроме поля `x` с помощью `..`

Мы перечисляем значение `x` и затем просто включаем шаблон `..`. Это быстрее, чем перечислять `y: _` и `z: _`, особенно когда мы работаем со структурами, которые имеют много полей, в ситуациях, когда только одно или два поля представляют для нас интерес.

Синтаксис `..` раскроется до необходимого количества значений. В листинге 18-24 показано, как использовать `..` с кортежем.

Файл: src/main.rs

```

fn main() {
    let numbers = (2, 4, 8, 16, 32);

    match numbers {
        (first, .., last) => {
            println!("Some numbers: {first}, {last}");
        }
    }
}

```

Листинг 18-24: Сопоставление только первого и последнего значений в кортеже и игнорирование всех других значений

В этом коде первое и последнее значение соответствуют `first` и `last`. Конструкция `..` будет соответствовать и игнорировать всё, что находится между ними.

Однако использование `..` должно быть однозначным. Если неясно, какие значения предназначены для сопоставления, а какие следует игнорировать, Rust выдаст ошибку. В листинге 18-25 показан пример неоднозначного использования `..`, поэтому он не будет компилироваться.

Файл: `src/main.rs`

```

fn main() {
    let numbers = (2, 4, 8, 16, 32);

    match numbers {
        (.., second, ..) => {
            println!("Some numbers: {second}")
        },
    }
}

```



Листинг 18-25: Попытка использовать `..` неоднозначным способом

При компиляции примера, мы получаем эту ошибку:

```

$ cargo run
Compiling patterns v0.1.0 (file:///projects/patterns)
error: `..` can only be used once per tuple pattern
--> src/main.rs:5:22
   |
5 |     (.., second, ..) => {
   |             ^^^ can only be used once per tuple pattern
   |             |
   |             previously used here

error: could not compile `patterns` (bin "patterns") due to 1 previous error

```

Rust не может определить, сколько значений в кортеже нужно игнорировать, прежде чем сопоставить значение с `second`, и сколько следующих значений проигнорировать после этого. Этот код может означать, что мы хотим игнорировать `2`, связать `second` с `4`, а затем игнорировать `8`, `16` и `32`; или что мы хотим игнорировать `2` и `4`, связать `second` с `8`, а

затем игнорировать 16 и 32; и так далее. Имя переменной `second` не означает ничего особенного для Rust, поэтому мы получаем ошибку компилятора, так как использование ... в двух местах как здесь, является неоднозначным.

Дополнительные условия оператора сопоставления (Match Guards)

Условие сопоставления (match guard) является дополнительным условием `if`, указанным после шаблона в ветке `match`, которое также должно быть выполнено, чтобы ветка была выбрана. Условия сопоставления полезны для выражения более сложных идей, чем позволяет только шаблон.

Условие может использовать переменные, созданные в шаблоне. В листинге 18-26 показан `match`, в котором первая ветка имеет шаблон `Some(x)`, а также имеет условие сопоставления, `if x % 2 == 0` (которое будет истинным, если число чётное).

```
let num = Some(4);

match num {
    Some(x) if x % 2 == 0 => println!("The number {x} is even"),
    Some(x) => println!("The number {x} is odd"),
    None => (),
}
```

Листинг 18-26: Добавление условия сопоставления в шаблон

В этом примере будет напечатано `The number 4 is even`. Когда `num` сравнивается с шаблоном в первой ветке, он совпадает, потому что `Some(4)` соответствует `Some(x)`. Затем условие сопоставления проверяет, равен ли 0 остаток от деления `x` на 2 и если это так, то выбирается первая ветка.

Если бы `num` вместо этого было `Some(5)`, условие в сопоставлении первой ветки было бы ложным, потому что остаток от 5 делённый на 2, равен 1, что не равно 0. Rust тогда перешёл бы ко второй ветке, которое совпадает, потому что вторая ветка не имеет условия сопоставления и, следовательно, соответствует любому варианту `Some`.

Невозможно выразить условие `if x % 2 == 0` внутри шаблона, поэтому условие в сопоставлении даёт нам возможность выразить эту логику. Недостатком этой дополнительной выразительности является то, что компилятор не пытается проверять полноту, когда задействованы выражения с условием в сопоставлении.

В листинге 18-11 мы упомянули, что можно использовать условия сопоставления для решения нашей проблемы затенения шаблона. Напомним, что внутри шаблона в выражении `match` была создана новая переменная, вместо использования внешней к `match` переменной. Эта новая переменная означала, что мы не могли выполнить сравнение с помощью значения внешней переменной. В листинге 18-27 показано, как мы можем использовать условие сопоставления для решения этой проблемы.

```

fn main() {
    let x = Some(5);
    let y = 10;

    match x {
        Some(50) => println!("Got 50"),
        Some(n) if n == y => println!("Matched, n = {n}"),
        _ => println!("Default case, x = {x:?}"),
    }

    println!("at the end: x = {x:?}, y = {y}");
}

```

Листинг 18-27. Использование условия сопоставления для проверки на равенство со значением внешней переменной

Этот код теперь напечатает `Default case, x = Some(5)`. Шаблон во второй ветке не вводит новую переменную `y`, которая будет затенять внешнюю `y`, это означает, что теперь можно использовать внешнюю переменную `y` в условии сопоставления. Вместо указания шаблона как `Some(y)`, который бы затенял бы внешнюю `y`, мы указываем `Some(n)`. Это создаёт новую переменную `n`, которая ничего не затеняет, так как переменной `n` нет вне конструкции `match`.

Условие сопоставления `if n == y` не является шаблоном и следовательно, не вводит новые переменные. Переменная `y` есть внешняя `y`, а не новая затенённая `y`, и теперь мы можем искать элемент, который будет иметь то же значение, что и внешняя `y`, путём сравнения `n` и `y`.

Вы также можете использовать оператор `или` `|` в условии сопоставления, чтобы указать несколько шаблонов; условие сопоставления будет применяться ко всем шаблонам. В листинге 18-28 показан приоритет комбинирования условия сопоставления с шаблоном, который использует `|`. Важной частью этого примера является то, что условие сопоставления `if y` применяется к `4`, `5`, и к `6`, хотя это может выглядеть как будто `if y` относится только к `6`.

```

let x = 4;
let y = false;

match x {
    4 | 5 | 6 if y => println!("yes"),
    _ => println!("no"),
}

```

Листинг 18-28: Комбинирование нескольких шаблонов с условием сопоставления

Условие сопоставления гласит, что ветка совпадает, только если значение `x` равно `4`, `5` или `6`, и если `y` равно `true`. Когда этот код выполняется, шаблон первой ветки совпадает, потому что `x` равно `4`, но условие сопоставления `if y` равно `false`, поэтому первая ветка не выбрана. Код переходит ко второй ветке, которая совпадает, и эта программа печатает `no`. Причина в том, что условие `if` применяется ко всему шаблону `4 | 5 | 6`, а не только к

последнему значению 6. Другими словами, приоритет условия сопоставления по отношению к шаблону ведёт себя так:

```
(4 | 5 | 6) if y => ...
```

а не так:

```
4 | 5 | (6 if y) => ...
```

После запуска кода, старшинство в поведении становится очевидным: если условие сопоставления применялось бы только к конечному значению в списке, указанном с помощью оператора |, то ветка бы совпала и программа напечатала бы yes.

Связывание @

Оператор `at (@)` позволяет создать переменную, которая содержит значение, одновременно с тем, как мы проверяем, соответствует ли это значение шаблону. В листинге 18-29 показан пример, в котором мы хотим проверить, что перечисление `Message::Hello` со значением поля `id` находится в диапазоне `3..=7`. Но мы также хотим привязать такое значение к переменной `id_variable`, чтобы использовать его внутри кода данной ветки. Мы могли бы назвать эту переменную `id`, так же как поле, но для этого примера мы будем использовать другое имя.

```
enum Message {
    Hello { id: i32 },
}

let msg = Message::Hello { id: 5 };

match msg {
    Message::Hello {
        id: id_variable @ 3..=7,
    } => println!("Found an id in range: {id_variable}"),
    Message::Hello { id: 10..=12 } => {
        println!("Found an id in another range")
    }
    Message::Hello { id } => println!("Found some other id: {id}"),
}
```

Листинг 18-29: Использование @ для привязывания значения в шаблоне, с одновременной его проверкой

В этом примере будет напечатано `Found an id in range: 5`. Указывая `id_variable @` перед диапазоном `3..=7`, мы захватываем любое значение, попадающее в диапазон, одновременно проверяя, что это значение соответствует диапазону в шаблоне.

Во второй ветке, где у нас в шаблоне указан только диапазон, код этой ветки не имеет переменной, которая содержит фактическое значение поля `id`. Значение поля `id` могло бы быть 10, 11 или 12, но код, соответствующий этому шаблону, не знает, чему оно равно. Код

шаблона не может использовать значение из поля `id`, потому что мы не сохранили значение `id` в переменной.

В последней ветке, где мы указали переменную без диапазона, у нас есть значение, доступное для использования в коде ветки, в переменной с именем `id`. Причина в том, что мы использовали упрощённый синтаксис полей структуры. Но мы не применяли никакого сравнения со значением в поле `id` в этой ветке, как мы это делали в первых двух ветках: любое значение будет соответствовать этому шаблону.

Использование `@` позволяет проверять значение и сохранять его в переменной в пределах одного шаблона.

Итоги

Шаблоны Rust очень помогают различать разные виды данных. При использовании их в выражениях `match`, Rust гарантирует, что ваши шаблоны охватывают все возможные значения, потому что иначе ваша программа не скомпилируется. Шаблоны в инструкциях `let` и параметрах функций делают такие конструкции более полезными, позволяя разбивать элементы на более мелкие части, одновременно присваивая их значения переменным. Мы можем создавать простые или сложные шаблоны в соответствии с нашими потребностями.

Далее, в предпоследней главе книги, мы рассмотрим некоторые продвинутые аспекты различных возможностей Rust.

Расширенные возможности

На данный момент вы изучили все наиболее используемые части языка программирования Rust. Прежде чем мы выполним ещё один проект в главе 20, мы рассмотрим несколько аспектов языка, с которыми вы можете сталкиваться время от времени, но не использовать каждый день. Вы можете использовать эту главу в качестве справочника, когда столкнётесь с какими-либо незнакомыми вещами. Рассмотренные здесь функции будут полезны в очень специфических ситуациях. Хотя вы, возможно, не будете часто пользоваться ими, мы хотим убедиться, что вы знаете все возможности языка Rust.

В этой главе мы рассмотрим:

- Небезопасный Rust: как отказаться от некоторых гарантий Rust и взять на себя ответственность за их ручное соблюдение
- Продвинутые типажи: ассоциированные типы, параметры типа по умолчанию, полностью квалифицированный синтаксис, супер-типажи и шаблон создания (newtype) по отношению к типажам
- Расширенные типы: больше о шаблоне newtype, псевдонимах типа, тип never и типы динамических размеров
- Расширенные функции и замыкания: указатели функций и возврат замыканий
- Макросы: способы определения кода, который определяет большую часть кода во время компиляции

Это набор возможностей Rust для всех! Давайте погрузимся в него!

Unsafe Rust

Во всех предыдущих главах этой книги мы обсуждали код на Rust, безопасность памяти в котором гарантируется во время компиляции. Однако внутри Rust скрывается другой язык - небезопасный Rust, который не обеспечивает безопасной работы с памятью. Этот язык называется *unsafe Rust* и работает также как и первый, но предоставляет вам дополнительные возможности.

Небезопасный Rust существует потому что по своей природе статический анализ довольно консервативен. Когда компилятор пытается определить, соответствует ли код гарантиям, то он скорее отвергнет несколько допустимых программ, чем пропустит несколько недопустимых. Не смотря на то, что код *может* быть в порядке, если компилятор Rust не будет располагать достаточной информацией, чтобы убедиться в этом, он отвергнет код. В таких случаях вы можете использовать небезопасный код, чтобы сказать компилятору: "Поверь мне, я знаю, что делаю". Однако имейте в виду, что вы используете небезопасный Rust на свой страх и риск: если вы неправильно используете небезопасный код, могут возникнуть проблемы, связанные с нарушением безопасности памяти, например, разыменование нулевого указателя.

Другая причина, по которой у Rust есть небезопасное альтер эго, заключается в том, что по существу аппаратное обеспечение компьютера небезопасно. Если Rust не позволял бы вам выполнять небезопасные операции, вы не могли бы выполнять определённые задачи. Rust должен позволить вам использовать системное, низкоуровневое программирование, такое как прямое взаимодействие с операционной системой, или даже написание вашей собственной операционной системы. Возможность написания низкоуровневого, системного кода является одной из целей языка. Давайте рассмотрим, что и как можно делать с небезопасным Rust.

Небезопасные сверхспособности

Чтобы переключиться на небезопасный Rust, используйте ключевое слово `unsafe`, а затем начните новый блок, содержащий небезопасный код. В небезопасном Rust можно выполнять пять действий, которые недоступны в безопасном Rust, которые мы называем *небезопасными супер силами*. Эти супер силы включают в себя следующее:

- Разыменование сырого указателя
- Вызов небезопасной функции или небезопасного метода
- Доступ или изменение изменяемой статической переменной
- Реализация небезопасного типажа
- Доступ к полям в `union`

Важно понимать, что `unsafe` не отключает проверку заимствования или любые другие проверки безопасности Rust: если вы используете ссылку в небезопасном коде, она всё равно будет проверена. Единственное, что делает ключевое слово `unsafe` - даёт вам доступ к этим

пяти возможностям, безопасность работы с памятью в которых не проверяет компилятор. Вы по-прежнему получаете некоторую степень безопасности внутри небезопасного блока.

Кроме того, `unsafe` не означает, что код внутри этого блока является неизбежно опасным или он точно будет иметь проблемы с безопасностью памяти: цель состоит в том, что вы, как программист, гарантируете, что код внутри блока `unsafe` будет обращаться к действительной памяти корректным образом.

Люди подвержены ошибкам и ошибки будут происходить, но требуя размещение этих четырёх небезопасных операций внутри блоков, помеченных как `unsafe`, вы будете знать, что любые ошибки, связанные с безопасностью памяти, будут находиться внутри `unsafe` блоков. Делайте `unsafe` блоки маленькими; вы будете благодарны себе за это позже, при исследовании ошибок с памятью.

Чтобы максимально изолировать небезопасный код, рекомендуется заключить небезопасный код в безопасную абстракцию и предоставить безопасный API, который мы обсудим позже, когда будем обсуждать небезопасные функции и методы. Части стандартной библиотеки реализованы как проверенные, безопасные абстракции над небезопасным кодом. Оборачивание небезопасного кода в безопасную абстракцию предотвращает возможную утечку использования `unsafe` кода во всех местах, где вы или ваши пользователи могли бы захотеть напрямую использовать функциональность, реализованную `unsafe` кодом, потому что использование безопасной абстракции само безопасно.

Давайте поговорим о каждой из четырёх небезопасных сверх способностей, и по ходу дела рассмотрим некоторые абстракции, которые обеспечивают безопасный интерфейс для небезопасного кода.

Разыменование сырых указателей

В главе 4 раздела "Недействительные ссылки" мы упоминали, что компилятор гарантирует, что ссылки всегда действительны. Небезопасный Rust имеет два новых типа, называемых *сырыми указателями* (raw pointers), которые похожи на ссылки. Как и в случае ссылок, сырье указатели могут быть неизменяемыми или изменяемыми и записываться как `*const T` и `*mut T` соответственно. Звёздочка не является оператором разыменования; это часть имени типа. В контексте сырых указателей *неизменяемый* (immutable) означает, что указателю нельзя напрямую присвоить что-то после того как он разыменован.

В отличие от ссылок и умных указателей, сырье указатели:

- могут игнорировать правила заимствования и иметь неизменяемые и изменяемые указатели, или множество изменяемых указателей на одну и ту же область памяти
- не гарантируют что ссылкаются на действительную память
- могут быть `null`
- не реализуют автоматическую очистку памяти

Отказавшись от этих гарантий, вы можете обменять безопасность на большую производительность или возможность взаимодействия с другим языком или оборудованием,

где гарантии Rust не применяются.

В листинге 19-1 показано, как создать неизменяемый и изменяемый сырой указатель из ссылок.

```
let mut num = 5;

let r1 = &num as *const i32;
let r2 = &mut num as *mut i32;
```

Листинг 19-1: Создание необработанных указателей из ссылок

Обратите внимание, что мы не используем ключевое слово `unsafe` в этом коде. Можно создавать сырые указатели в безопасном коде; мы просто не можем разыменовывать сырые указатели за пределами небезопасного блока, как вы увидите чуть позже.

Мы создали сырье указатели, используя `as` для приведения неизменяемой и изменяемой ссылки к соответствующим им типам сырых указателей. Поскольку мы создали их непосредственно из ссылок, которые гарантированно являются действительными, мы знаем, что эти конкретные сырье указатели являются действительными, но мы не можем делать такое же предположение о любом сырому указателе.

Чтобы продемонстрировать это, создадим сырой указатель, в достоверности которого мы не можем быть так уверены. В листинге 19-2 показано, как создать необработанный указатель на произвольное место в памяти. Попытка использовать произвольную память является непредсказуемой: по этому адресу могут быть данные, а могут и не быть, компилятор может оптимизировать код так, что доступа к памяти не будет, или программа может завершиться с ошибкой сегментации. Обычно нет веских причин писать такой код, но это возможно.

```
let address = 0x012345usize;
let r = address as *const i32;
```

Листинг 19-2: Создание сырого указателя на произвольный адрес памяти

Напомним, что можно создавать сырые указатели в безопасном коде, но нельзя разыменовывать сырые указатели и читать данные, на которые они указывают. В листинге 19-3 мы используем оператор разыменования `*` для сырого указателя, который требует `unsafe` блока.

```
let mut num = 5;

let r1 = &num as *const i32;
let r2 = &mut num as *mut i32;

unsafe {
    println!("r1 is: {}", *r1);
    println!("r2 is: {}", *r2);
}
```

Листинг 19-3: Разыменование сырых указателей в блоке `unsafe`

Создание указателей безопасно. Только при попытке доступа к объекту по адресу в указателе мы можем получить недопустимое значение.

Также обратите внимание, что в примерах кода 19-1 и 19-3 мы создали `*const i32` и `*mut i32`, которые ссылаются на одну и ту же область памяти, где хранится `num`. Если мы попытаемся создать неизменяемую и изменяемую ссылку на `num` вместо сырых указателей, такой код не скомпилируется, т.к. будут нарушены правила заимствования, запрещающие наличие изменяемой ссылки одновременно с неизменяемыми ссылками. С помощью сырых указателей мы можем создать изменяемый указатель и неизменяемый указатель на одну и ту же область памяти и изменять данные с помощью изменяемого указателя, потенциально создавая эффект гонки данных. Будьте осторожны!

С учётом всех этих опасностей, зачем тогда использовать сырые указатели? Одним из основных применений является взаимодействие с кодом C, как вы увидите в следующем разделе "Вызов небезопасной функции или метода". Другой случай это создание безопасных абстракций, которые не понимает анализатор заимствований. Мы введём понятие небезопасных функций и затем рассмотрим пример безопасной абстракции, которая использует небезопасный код.

Вызов небезопасной функции или метода

Второй тип операций, которые можно выполнять в небезопасном блоке - это вызов небезопасных функций. Небезопасные функции и методы выглядят точно так же, как обычные функции и методы, но перед остальным определением у них есть дополнительное `unsafe`. Ключевое слово `unsafe` в данном контексте указывает на то, что к функции предъявляются требования, которые мы должны соблюдать при вызове этой функции, поскольку Rust не может гарантировать, что мы их выполняем. Вызывая небезопасную функцию внутри блока `unsafe`, мы говорим, что прочитали документацию к этой функции и берём на себя ответственность за соблюдение её условий.

Вот небезопасная функция с именем `dangerous` которая ничего не делает в своём теле:

```
unsafe fn dangerous() {}

unsafe {
    dangerous();
}
```

Мы должны вызвать функцию `dangerous` в отдельном `unsafe` блоке. Если мы попробуем вызвать `dangerous` без `unsafe` блока, мы получим ошибку:

```
$ cargo run
Compiling unsafe-example v0.1.0 (file:///projects/unsafe-example)
error[E0133]: call to unsafe function `dangerous` is unsafe and requires unsafe
function or block
--> src/main.rs:4:5
4 |     dangerous();
|     ^^^^^^^^^^ call to unsafe function
|
= note: consult the function's documentation for information on how to avoid
undefined behavior

For more information about this error, try `rustc --explain E0133`.
error: could not compile `unsafe-example` (bin "unsafe-example") due to 1 previous
error
```

С помощью блока `unsafe` мы сообщаем Rust, что прочитали документацию к функции, поняли, как правильно её использовать, и убедились, что выполняем контракт функции.

Тела небезопасных функций являются фактически `unsafe` блоками, поэтому для выполнения других небезопасных операций внутри небезопасной функции не нужно добавлять ещё один `unsafe` блок.

Создание безопасных абстракций вокруг небезопасного кода

То, что функция содержит небезопасный код, не означает, что мы должны пометить всю функцию как небезопасную. На самом деле, обёртывание небезопасного кода в безопасную функцию - это обычная абстракция. В качестве примера рассмотрим функцию `split_at_mut` из стандартной библиотеки, которая требует некоторого небезопасного кода. Рассмотрим, как мы могли бы её реализовать. Этот безопасный метод определён для изменяемых срезов: он берет один срез и превращает его в два, разделяя срез по индексу, указанному в качестве аргумента. В листинге 19-4 показано, как использовать `split_at_mut`.

```
let mut v = vec![1, 2, 3, 4, 5, 6];

let r = &mut v[..];

let (a, b) = r.split_at_mut(3);

assert_eq!(a, &mut [1, 2, 3]);
assert_eq!(b, &mut [4, 5, 6]);
```

Листинг 19-4: Использование безопасной функции `split_at_mut`

Эту функцию нельзя реализовать, используя только безопасный Rust. Попытка реализации могла бы выглядеть примерно так в листинге 19-5, который не компилируется. Для простоты мы реализуем `split_at_mut` как функцию, а не как метод, и только для значений типа `i32`, а не обобщённого типа `T`.



```
fn split_at_mut(values: &mut [i32], mid: usize) -> (&mut [i32], &mut [i32]) {
    let len = values.len();

    assert!(mid <= len);

    (&mut values[..mid], &mut values[mid..])
}
```

Листинг 19-5: Попытка реализации `split_at_mut` с использованием только безопасного Rust

Эта функция сначала получает общую длину среза. Затем она проверяет (`assert`), что индекс, переданный в качестве параметра, находится в границах среза, сравнивая его с длиной. `Assert` означает, что если мы передадим индекс, который больше, чем длина среза, функция запаникует ещё до попытки использования этого индекса.

Затем мы возвращаем два изменяемых фрагмента в кортеже: один от начала исходного фрагмента до `mid` индекса (не включая сам `mid`), а другой - от `mid` (включая сам `mid`) до конца фрагмента.

При попытке скомпилировать код в листинге 19-5, мы получим ошибку.

```
$ cargo run
Compiling unsafe-example v0.1.0 (file:///projects/unsafe-example)
error[E0499]: cannot borrow `*values` as mutable more than once at a time
--> src/main.rs:6:31
  |
1 | fn split_at_mut(values: &mut [i32], mid: usize) -> (&mut [i32], &mut [i32]) {
  |         - let's call the lifetime of this reference ''1``
...
6 |     (&mut values[..mid], &mut values[mid..])
   |-----^ ^ ^ ^ ^
   |         |           |
   |         |           second mutable borrow occurs here
   |         |           first mutable borrow occurs here
   |         returning this value requires that `*values` is borrowed for ''1``

   = help: use `<code>.split_at_mut(position)</code>` to obtain two mutable non-overlapping sub-
slices

For more information about this error, try `rustc --explain E0499`.
error: could not compile `unsafe-example` (bin "unsafe-example") due to 1 previous
error
```

Анализатор заимствований Rust не может понять, что мы заимствуем различные части среза, он понимает лишь, что мы хотим осуществить заимствование частей одного среза дважды. Заимствование различных частей среза в принципе нормально, потому что они не перекрываются, но Rust недостаточно умен, чтобы это понять. Когда мы знаем, что код верный, но Rust этого не понимает, значит пришло время прибегнуть к небезопасному коду.

Листинг 19-6 демонстрирует, как можно использовать `unsafe` блок, сырой указатель и вызовы небезопасных функций чтобы `split_at_mut` заработала:

```
use std::slice;

fn split_at_mut(values: &mut [i32], mid: usize) -> (&mut [i32], &mut [i32]) {
    let len = values.len();
    let ptr = values.as_mut_ptr();

    assert!(mid <= len);

    unsafe {
        (
            slice::from_raw_parts_mut(ptr, mid),
            slice::from_raw_parts_mut(ptr.add(mid), len - mid),
        )
    }
}
```

Листинг 19-6. Использование небезопасного кода в реализации функции `split_at_mut`

Напомним, из раздела "Тип срез" главы 4, что срезы состоят из указателя на некоторые данные и длины. Мы используем метод `len` для получения длины среза и метод `as_mut_ptr` для доступа к сырому указателю среза. Поскольку у нас есть изменяемый срез на значения типа `i32`, функция `as_mut_ptr` возвращает сырой указатель типа `*mut i32`, который мы сохранили в переменной `ptr`.

Далее проверяем, что индекс `mid` находится в границах среза. Затем мы обращаемся к небезопасному коду: функция `slice::from_raw_parts_mut` принимает сырой указатель, длину и создаёт срез. Мы используем эту функцию для создания среза, начинающегося с `ptr` и имеющего длину в `mid` элементов. Затем мы вызываем метод `add` у `ptr` с `mid` в качестве аргумента, чтобы получить сырой указатель, который начинается с `mid`, и создаём срез, используя этот указатель и оставшееся количество элементов после `mid` в качестве длины.

Функция `slice::from_raw_parts_mut` является небезопасной, потому что она принимает необработанный указатель и должна полагаться на то, что этот указатель действителен. Метод `add` для необработанных указателей также небезопасен, поскольку он должен считать, что местоположение смещения также является действительным указателем. Поэтому мы были вынуждены разместить `unsafe` блок вокруг наших вызовов `slice::from_raw_parts_mut` и `add`, чтобы иметь возможность вызвать их. Посмотрев на код и добавив утверждение, что `mid` должен быть меньше или равен `len`, мы можем сказать, что все необработанные указатели, используемые в блоке `unsafe`, будут корректными указателями на данные внутри среза. Это приемлемое и уместное использование `unsafe`.

Обратите внимание, что нам не нужно помечать результирующую функцию `split_at_mut` как `unsafe`, и мы можем вызвать эту функцию из безопасного Rust. Мы создали безопасную абстракцию для небезопасного кода с помощью реализации функции, которая использует код `unsafe` блока безопасным образом, поскольку она создаёт только допустимые указатели из данных, к которым эта функция имеет доступ.

Напротив, использование `slice::from_raw_parts_mut` в листинге 19-7 приведёт к вероятному сбою при использовании среза. Этот код использует произвольный адрес памяти и создаёт срез из 10000 элементов.

```
use std::slice;

let address = 0x01234usize;
let r = address as *mut i32;

let values: &[i32] = unsafe { slice::from_raw_parts_mut(r, 10000) };
```

Листинг 19-7: Создание среза из произвольного адреса памяти

Мы не владеем памятью в этом произвольном месте, и нет никакой гарантии, что созданный этим кодом фрагмент содержит допустимые значения `i32`. Попытка использовать `values` так, как будто это допустимый срез, приводит к неопределенному поведению.

Использование `extern` функций для вызова внешнего кода

Иногда вашему коду на языке Rust может потребоваться взаимодействие с кодом, написанным на другом языке. Для этого в Rust есть ключевое слово `extern`, которое облегчает создание и использование *интерфейса внешних функций* (*Foreign Function Interface - FFI*). FFI - это способ для языка программирования определить функции и позволить другому (внешнему) языку программирования вызывать эти функции.

Листинг 19-8 демонстрирует, как настроить интеграцию с функцией `abs` из стандартной библиотеки С. Функции, объявленные внутри блоков `extern`, всегда небезопасны для вызова из кода Rust. Причина в том, что другие языки не обеспечивают соблюдение правил и гарантий Rust, Rust также не может проверить гарантии, поэтому ответственность за безопасность ложится на программиста.

Имя файла: `src/main.rs`

```
extern "C" {
    fn abs(input: i32) -> i32;
}

fn main() {
    unsafe {
        println!("Absolute value of -3 according to C: {}", abs(-3));
    }
}
```

Листинг 19-8: Объявление и вызов `extern` функции, написанной на другом языке программирования

Внутри блока `extern "C"` мы перечисляем имена и сигнатуры внешних функций из другого языка, которые мы хотим вызвать. Часть `"C"` определяет какой *application binary interface* (ABI - бинарный интерфейс приложений) использует внешняя функция. Интерфейс ABI определяет как вызвать функцию на уровне ассемблера. Использование ABI `"C"` является наиболее часто используемым и следует правилам ABI интерфейса языка Си.

Вызов функций Rust из других языков

Также можно использовать `extern` для создания интерфейса, позволяющего другим языкам вызывать функции Rust. Вместо того чтобы создавать целый блок `extern`, мы добавляем ключевое слово `extern` и указываем ABI для использования непосредственно перед ключевым словом `fn` для необходимой функции. Нам также нужно добавить аннотацию `#[no_mangle]`, чтобы сказать компилятору Rust не искажать имя этой функции. *Искажение* - это когда компилятор меняет имя, которое мы дали функции, на другое имя, которое содержит больше информации для других частей процесса компиляции, но менее читабельно для человека. Компилятор каждого языка программирования искажает имена по-разному, поэтому, чтобы функция Rust могла быть использована другими языками, мы должны отключить искажение имён в компиляторе Rust.

В следующем примере мы делаем функцию `call_from_c` доступной из кода на C, после того как она будет скомпилирована в разделяемую библиотеку и прилинкована с C:

```
#[no_mangle]
pub extern "C" fn call_from_c() {
    println!("Just called a Rust function from C!");
}
```

Такое использование `extern` не требует `unsafe`.

Получение доступа и внесение изменений в изменяемую статическую переменную

В этой книге мы ещё не говорили о *глобальных переменных*, которые Rust поддерживает, но с которыми могут возникнуть проблемы из-за действующих в Rust правил владения. Если два потока обращаются к одной и той же изменяемой глобальной переменной, это может привести к гонке данных.

Глобальные переменные в Rust называют *статическими* (`static`). Листинг 19-9 демонстрирует пример объявления и использования в качестве значения статической переменной, имеющей тип строкового среза:

Имя файла: `src/main.rs`

```
static HELLO_WORLD: &str = "Hello, world!";

fn main() {
    println!("name is: {}", HELLO_WORLD);
}
```

Листинг 19-9: Определение и использование неизменяемой статической переменной

Статические переменные похожи на константы, которые мы обсуждали в разделе “Различия между переменными и константами” главы 3. Имена статических переменных по общему соглашению пишутся в нотации `SCREAMING_SNAKE_CASE`, и мы должны указывать тип переменной, которым в данном случае является `&'static str`. Статические переменные могут хранить только ссылки со временем жизни `'static`, это означает что компилятор Rust может вывести время жизни и нам не нужно прописывать его явно. Доступ к неизменяемой статической переменной является безопасным.

Тонкое различие между константами и неизменяемыми статическими переменными заключается в том, что значения в статической переменной имеют фиксированный адрес в памяти. При использовании значения всегда будут доступны одни и те же данные. Константы, с другой стороны, могут дублировать свои данные при каждом использовании. Ещё одно отличие заключается в том, что статические переменные могут быть изменяемыми. Обращение к изменяемым статическим переменным и их изменение является *небезопасным*. В листинге 19-10 показано, как объявить, получить доступ и модифицировать изменяемую статическую переменную с именем `COUNTER`.

Имя файла: src/main.rs

```
static mut COUNTER: u32 = 0;

fn add_to_count(inc: u32) {
    unsafe {
        COUNTER += inc;
    }
}

fn main() {
    add_to_count(3);

    unsafe {
        println!("COUNTER: {}", COUNTER);
    }
}
```

Листинг 19-10: Чтение из изменяемой статической переменной или запись в неё небезопасны

Как и с обычными переменными, мы определяем изменяемость с помощью ключевого слова `mut`. Любой код, который читает из или пишет в переменную `COUNTER` должен находиться в `unsafe` блоке. Этот код компилируется и печатает `COUNTER: 3`, как и следовало ожидать, потому что выполняется в одном потоке. Наличие нескольких потоков с доступом к `COUNTER` приведёт к ситуации гонки данных.

Наличие изменяемых данных, которые доступны глобально, делает трудным реализацию гарантии отсутствия гонок данных, поэтому Rust считает изменяемые статические переменные небезопасными. Там, где это возможно, предпочтительно использовать техники многопоточности и умные указатели, ориентированные на многопоточное исполнение, которые мы обсуждали в главе 16. Таким образом, компилятор сможет проверить, что обращение к данным, доступным из разных потоков, выполняется безопасно.

Реализация небезопасных типажей

Мы можем использовать `unsafe` для реализации небезопасного трейта. Трейт является небезопасным, если хотя бы один из его методов имеет некоторый инвариант, который компилятор не может проверить. Мы объявляем трейты `unsafe`, добавляя ключевое слово `unsafe` перед `trait` и помечая реализацию трейта как `unsafe`, как показано в листинге 19-11.

```
unsafe trait Foo {  
    // methods go here  
}  
  
unsafe impl Foo for i32 {  
    // method implementations go here  
}  
  
fn main() {}
```

Листинг 19-11: Определение и реализация небезопасного трейта

Используя `unsafe impl`, мы даём обещание поддерживать инварианты, которые компилятор не может проверить.

Для примера вспомним маркерные типажи `Sync` и `Send`, которые мы обсуждали в разделе "Расширяемый параллелизм с помощью типажей `Sync` и `Send`" главы 16: компилятор реализует эти типажи автоматически, если наши типы полностью состоят из типов `Send` и `Sync`. Если мы создадим тип, который содержит тип, не являющийся `Send` или `Sync`, такой, как сырой указатель, и мы хотим пометить этот тип как `Send` или `Sync`, мы должны использовать `unsafe` блок. Rust не может проверить, что наш тип поддерживает гарантии того, что он может быть безопасно передан между потоками или доступен из нескольких потоков; поэтому нам нужно добавить эти проверки вручную и указать это с помощью `unsafe`.

Доступ к полям объединений (union)

Последнее действие, которое работает только с `unsafe` - это доступ к полям `union`. `union` похож на `struct`, но в каждом конкретном экземпляре одновременно может использоваться только одно объявленное поле. Объединения в основном используются для взаимодействия с объединениями в коде на языке Си. Доступ к полям объединений небезопасен, поскольку Rust не может гарантированно определить тип данных, которые в данный момент хранятся в экземпляре объединения. Подробнее об объединениях вы можете узнать в [the Rust Reference](#).

Когда использовать небезопасный код

Использование `unsafe` для выполнения одного из пяти действий (супер способностей), которые только что обсуждались, не является ошибочным или не одобренным. Но получить корректный `unsafe` код сложнее, потому что компилятор не может помочь в обеспечении

безопасности памяти. Если у вас есть причина использовать `unsafe` код, вы можете делать это, а наличие явной `unsafe` аннотации облегчает отслеживание источника проблем, если они возникают.

Продвинутые типажи

Мы познакомились с трейтами в разделе "Трейты: Определение общего поведения" в главе 10, но там мы не обсуждали более сложные детали. Теперь, когда вы больше знаете о Rust, мы можем перейти к более подробному рассмотрению.

Указание типов-заполнителей в определениях трейтов с ассоциированными типами

Ассоциированные типы связывают тип-заполнитель с типажом таким образом, что определения методов типажа могут использовать эти типы-заполнители в своих сигнатурах. Для конкретной реализации типажа вместо типа-заполнителя указывается конкретный тип, который будет использоваться. Таким образом, мы можем определить типажи, использующие некоторые типы, без необходимости точно знать, что это за типы, пока типажи не будут реализованы.

Мы назвали большинство продвинутых возможностей в этой главе редко востребованными. Ассоциированные типы находятся где-то посередине: они используются реже чем возможности описанные в остальной части книги, но чаще чем многие другие возможности обсуждаемые в этой главе.

Одним из примеров трейта с ассоциированным типом является типаж `Iterator` из стандартной библиотеки. Ассоциированный тип называется `Item` и символизирует тип значений, по которым итерируется тип, реализующий типаж `Iterator`. Определение трейта `Iterator` показано в листинге 19-12.

```
pub trait Iterator {  
    type Item;  
  
    fn next(&mut self) -> Option<Self::Item>;  
}
```

Листинг 19-12: Определение трейта `Iterator`, который имеет ассоциированный тип `Item`

Тип `Item` является заполнителем и определение метода `next` показывает, что он будет возвращать значения типа `Option<Self::Item>`. Разработчики типажа `Iterator` определят конкретный тип для `Item`, а метод `next` вернёт `Option` содержащий значение этого конкретного типа.

Ассоциированные типы могут показаться концепцией похожей на обобщения, поскольку последние позволяют нам определять функцию, не указывая, какие типы она может обрабатывать. Чтобы изучить разницу между этими двумя концепциями, мы рассмотрим реализацию типажа `Iterator` для типа с именем `Counter`, который указывает, что тип `Item` равен `u32`:

```
impl Iterator for Counter {
    type Item = u32;

    fn next(&mut self) -> Option<Self::Item> {
        // --snip--
```

Этот синтаксис весьма напоминает обобщённые типы. Так почему же типаж `Iterator` не определён обобщённым типом, как показано в листинге 19-13?

```
pub trait Iterator<T> {
    fn next(&mut self) -> Option<T>;
}
```

Листинг 19-13: Гипотетическое определение типажа `Iterator` используя обобщённые типы

Разница в том, что при использовании обобщений, как показано в листинге 19-13, мы должны аннотировать типы в каждой реализации; потому что мы также можем реализовать `Iterator<String> for Counter` или любого другого типа, мы могли бы иметь несколько реализаций `Iterator` для `Counter`. Другими словами, когда типаж имеет обобщённый параметр, он может быть реализован для типа несколько раз, каждый раз меняя конкретные типы параметров обобщённого типа. Когда мы используем метод `next` у `Counter`, нам пришлось бы предоставить аннотации типа, указывая какую реализацию `Iterator` мы хотим использовать.

С ассоциированными типами не нужно аннотировать типы, потому что мы не можем реализовать типаж у типа несколько раз. В листинге 19-12 с определением, использующим ассоциированные типы можно выбрать только один тип `Item`, потому что может быть только одно объявление `impl Iterator for Counter`. Нам не нужно указывать, что нужен итератор значений типа `u32` везде, где мы вызываем `next` у `Counter`.

Ассоциированные типы также становятся частью контракта типажа: разработчики типажа должны предоставить тип, который заменит ассоциированный заполнитель типа. Связанные типы часто имеют имя, описывающее то, как будет использоваться тип, и хорошей практикой является документирование связанного типа в документации по API.

Параметры обобщённого типа по умолчанию и перегрузка операторов

Когда мы используем параметры обобщённого типа, мы можем указать конкретный тип по умолчанию для обобщённого типа. Это устраняет необходимость разработчикам указывать конкретный тип, если работает тип по умолчанию. Тип по умолчанию указывается при объявлении обобщённого типа с помощью синтаксиса `<PlaceholderType=ConcreteType>`.

Отличным примером, когда этот метод полезен, является *перегрузка оператора* (operator overloading), когда вы настраиваете поведение оператора (например, `+`) для определённых ситуаций.

Rust не позволяет создавать собственные операторы или перегружать произвольные операторы. Но можно перегрузить перечисленные операции и соответствующие им типажи из `std::ops` путём реализации типажей, связанных с этими операторами. Например, в листинге 19-14 мы перегружаем оператор `+`, чтобы складывать два экземпляра `Point`. Мы делаем это реализуя типаж `Add` для структуры `Point`:

Файл: `src/main.rs`

```
use std::ops::Add;

#[derive(Debug, Copy, Clone, PartialEq)]
struct Point {
    x: i32,
    y: i32,
}

impl Add for Point {
    type Output = Point;

    fn add(self, other: Point) -> Point {
        Point {
            x: self.x + other.x,
            y: self.y + other.y,
        }
    }
}

fn main() {
    assert_eq!(
        Point { x: 1, y: 0 } + Point { x: 2, y: 3 },
        Point { x: 3, y: 3 }
    );
}
```

Листинг 19-14: Реализация типажа `Add` для перегрузки оператора `+` для экземпляров `Point`

Метод `add` складывает значения `x` двух экземпляров `Point` и значения `y` у `Point` для создания нового экземпляра `Point`. Типаж `Add` имеет ассоциированный тип с именем `Output`, который определяет тип, возвращаемый из метода `add`.

Обобщённый тип по умолчанию в этом коде находится в типаже `Add`. Вот его определение:

```
trait Add<Rhs = Self> {
    type Output;

    fn add(self, rhs: Rhs) -> Self::Output;
}
```

Этот код должен выглядеть знакомым: типаж с одним методом и ассоциированным типом. Новый синтаксис это `RHS=Self`. Такой синтаксис называется *параметры типа по умолчанию* (default type parameters). Параметр обобщённого типа `RHS` (сокращённо “right hand side”) определяет тип параметра `rhs` в методе `add`. Если мы не укажем конкретный тип для `RHS`

при реализации типажа `Add`, то типом для `RHS` по умолчанию будет `Self`, который будет типом для которого реализуется типаж `Add`.

Когда мы реализовали `Add` для структуры `Point`, мы использовали стандартное значение для `RHS`, потому что хотели сложить два экземпляра `Point`. Давайте посмотрим на пример реализации типажа `Add`, где мы хотим пользовательский тип `RHS` вместо использования типа по умолчанию.

У нас есть две разные структуры `Millimeters` и `Meters`, хранящие значения в разных единицах измерения. Это тонкое обёртывание существующего типа в другую структуру известно как шаблон *newtype*, который мы более подробно опишем в разделе "[Шаблон Newtype для реализация внешних типажей у внешних типов](#)". Мы хотим добавить значения в миллиметрах к значениям в метрах и хотим иметь реализацию типажа `Add`, которая делает правильное преобразование единиц. Можно реализовать `Add` для `Millimeters` с типом `Meters` в качестве `Rhs`, как показано в листинге 19-15.

Файл: `src/lib.rs`

```
use std::ops::Add;

struct Millimeters(u32);
struct Meters(u32);

impl Add<Meters> for Millimeters {
    type Output = Millimeters;

    fn add(self, other: Meters) -> Millimeters {
        Millimeters(self.0 + (other.0 * 1000))
    }
}
```

Листинг 19-15: Реализация типажа `Add` для структуры `Millimeters`, чтобы складывать `Millimeters` и `Meters`

Чтобы сложить `Millimeters` и `Meters`, мы указываем `impl Add<Meters>`, чтобы указать значение параметра типа `RHS` (`Meters`) вместо использования значения по умолчанию `Self` (`Millimeters`).

Параметры типа по умолчанию используются в двух основных случаях:

- Чтобы расширить тип без внесения изменений ломающих существующий код
- Чтобы позволить пользовательское поведение в специальных случаях, которые не нужны большинству пользователей

Типаж `Add` из стандартной библиотеки является примером второй цели: обычно вы складываете два одинаковых типа, но типаж `Add` позволяет сделать больше. Использование параметра типа по умолчанию в объявлении типажа `Add` означает, что не нужно указывать дополнительный параметр большую часть времени. Другими словами, большая часть кода реализации не нужна, что делает использование типажа проще.

Первая цель похожа на вторую, но используется наоборот: если вы хотите добавить параметр типа к существующему типажу, можно дать ему значение по умолчанию, чтобы разрешить

расширение функциональности типажа без нарушения кода существующей реализации.

Полностью квалифицированный синтаксис для устранения неоднозначности: вызов методов с одинаковым именем

В Rust ничего не мешает типажу иметь метод с одинаковым именем, таким же как метод другого типажа и Rust не мешает реализовывать оба таких типажа у одного типа. Также возможно реализовать метод с таким же именем непосредственно у типа, такой как и методы у типажей.

При вызове методов с одинаковыми именами в Rust нужно указать, какой из трёх возможных вы хотите использовать. Рассмотрим код в листинге 19-16, где мы определили два типажа: `Pilot` и `Wizard`, у обоих есть метод `fly`. Затем мы реализуем оба типажа у типа `Human` в котором уже реализован метод с именем `fly`. Каждый метод `fly` делает что-то своё.

Файл: src/main.rs

```
trait Pilot {
    fn fly(&self);
}

trait Wizard {
    fn fly(&self);
}

struct Human;

impl Pilot for Human {
    fn fly(&self) {
        println!("This is your captain speaking.");
    }
}

impl Wizard for Human {
    fn fly(&self) {
        println!("Up!");
    }
}

impl Human {
    fn fly(&self) {
        println!("*waving arms furiously*");
    }
}
```

Листинг 19-16: Два типажа определены с методом `fly` и реализованы у типа `Human`, а также метод `fly` реализован непосредственно у `Human`

Когда мы вызываем `fly` у экземпляра `Human`, то компилятор по умолчанию вызывает метод, который непосредственно реализован для типа, как показано в листинге 19-17.

Файл: src/main.rs

```
fn main() {
    let person = Human;
    person.fly();
}
```

Листинг 19-17: Вызов `fly` у экземпляра `Human`

Запуск этого кода напечатает `*waving arms furiously*`, показывая, что Rust называется метод `fly` реализованный непосредственно у `Human`.

Чтобы вызвать методы `fly` у типажа `Pilot` или типажа `Wizard` нужно использовать более явный синтаксис, указывая какой метод `fly` мы имеем в виду. Листинг 19-18 демонстрирует такой синтаксис.

Файл: `src/main.rs`

```
fn main() {
    let person = Human;
    Pilot::fly(&person);
    Wizard::fly(&person);
    person.fly();
}
```

Листинг 19-18: Указание какой метода `fly` мы хотим вызвать

Указание имени типажа перед именем метода проясняет компилятору Rust, какую именно реализацию `fly` мы хотим вызвать. Мы могли бы также написать `Human::fly(&person)`, что эквивалентно используемому нами `person.fly()` в листинге 19-18, но это писание немного длиннее, когда нужна неоднозначность.

Выполнение этого кода выводит следующее:

```
$ cargo run
Compiling traits-example v0.1.0 (file:///projects/traits-example)
  Finished `dev` profile [unoptimized + debuginfo] target(s) in 0.46s
    Running `target/debug/traits-example`
This is your captain speaking.
Up!
*waving arms furiously*
```

Поскольку метод `fly` принимает параметр `self`, если у нас было два *типа* оба реализующих один *типаж*, то Rust может понять, какую реализацию типажа использовать в зависимости от типа `self`.

Однако, ассоциированные функции, не являющиеся методами, не имеют параметра `self`. Когда существует несколько типов или типажей, определяющих функции, не являющиеся методами, с одним и тем же именем функции, Rust не всегда знает, какой тип вы имеете в виду, если только вы не используете *полный синтаксис*. Например, в листинге 19-19 мы создаём типаж для приюта животных, который хочет назвать всех маленьких собак *Spot*. Мы создаём типаж `Animal` со связанный с ним функцией `baby_name`, не являющейся методом.

Типаж `Animal` реализован для структуры `Dog`, для которой мы также напрямую предоставляем связанную функцию `baby_name`, не являющуюся методом.

Файл: `src/main.rs`

```
trait Animal {
    fn baby_name() -> String;
}

struct Dog;

impl Dog {
    fn baby_name() -> String {
        String::from("Spot")
    }
}

impl Animal for Dog {
    fn baby_name() -> String {
        String::from("puppy")
    }
}

fn main() {
    println!("A baby dog is called a {}", Dog::baby_name());
}
```

Листинг 19-19: Типаж с ассоциированной функцией и тип с ассоциированной функцией с тем же именем, которая тоже реализует типаж

Мы реализовали код для приюта для животных, который хочет назвать всех щенков именем `Spot`, в ассоциированной функции `baby_name`, которая определена для `Dog`. Тип `Dog` также реализует типаж `Animal`, который описывает характеристики, которые есть у всех животных. Маленьких собак называют щенками, и это выражается в реализации `Animal` у `Dog` в функции `baby_name` ассоциированной с типажом `Animal`.

В `main` мы вызываем функцию `Dog::baby_name`, которая вызывает ассоциированную функцию определённую напрямую у `Dog`. Этот код печатает следующее:

```
$ cargo run
Compiling traits-example v0.1.0 (file:///projects/traits-example)
Finished `dev` profile [unoptimized + debuginfo] target(s) in 0.54s
Running `target/debug/traits-example`
A baby dog is called a Spot
```

Этот вывод не является тем, что мы хотели бы получить. Мы хотим вызвать функцию `baby_name`, которая является частью типажа `Animal` реализованного у `Dog`, так чтобы код печатал `A baby dog is called a puppy`. Техника указания имени типажа использованная в листинге 19-18 здесь не помогает; если мы изменим `main` код как в листинге 19-20, мы получим ошибку компиляции.

Файл: `src/main.rs`

```
fn main() {
    println!("A baby dog is called a {}", Animal::baby_name());
}
```



Листинг 19-20. Попытка вызвать функцию `baby_name` из типажа `Animal`, но Rust не знает какую реализацию использовать

Поскольку `Animal::baby_name` не имеет параметра `self`, и могут быть другие типы, реализующие типаж `Animal`, Rust не может понять, какую реализацию `Animal::baby_name` мы хотим использовать. Мы получим эту ошибку компилятора:

```
$ cargo run
Compiling traits-example v0.1.0 (file:///projects/traits-example)
error[E0790]: cannot call associated function on trait without specifying the
corresponding `impl` type
--> src/main.rs:20:43
2 |     fn baby_name() -> String;
|     ----- `Animal::baby_name` defined here
...
20 |     println!("A baby dog is called a {}", Animal::baby_name());
|                                         ^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^ cannot call
associated function of trait
|
help: use the fully-qualified path to the only available implementation
20 |     println!("A baby dog is called a {}", <Dog as Animal>::baby_name());
|             +++++++ +
```

For more information about this error, try `rustc --explain E0790`.
error: could not compile `traits-example` (bin "traits-example") due to 1 previous
error

Чтобы устранить неоднозначность и сказать Rust, что мы хотим использовать реализацию `Animal` для `Dog`, нужно использовать полный синтаксис. Листинг 19-21 демонстрирует, как использовать полный синтаксис.

Файл: src/main.rs

```
fn main() {
    println!("A baby dog is called a {}", <Dog as Animal>::baby_name());
}
```

Листинг 19-21: Использование полного синтаксиса для указания, что мы хотим вызвать функцию `baby_name` у типажа `Animal` реализованную в `Dog`

Мы указываем аннотацию типа в угловых скобках, которая указывает на то что мы хотим вызвать метод `baby_name` из типажа `Animal` реализованный в `Dog`, также указывая что мы хотим рассматривать тип `Dog` в качестве `Animal` для вызова этой функции. Этот код теперь напечатает то, что мы хотим:

```
$ cargo run
Compiling traits-example v0.1.0 (file:///projects/traits-example)
  Finished `dev` profile [unoptimized + debuginfo] target(s) in 0.48s
    Running `target/debug/traits-example`
A baby dog is called a puppy
```

В общем, полный синтаксис определяется следующим образом:

```
<Type as Trait>::function(receiver_if_method, next_arg, ...);
```

Для ассоциированных функций, которые не являются методами, будет отсутствовать `receiver` (объект приёмника): будет только список аргументов. Вы можете использовать полный синтаксис везде, где вызываете функции или методы. Тем не менее, разрешается опустить любую часть этого синтаксиса, которую Rust может понять из другой информации в программе. Вам нужно использовать более подробный синтаксис только в тех случаях, когда существует несколько реализаций, использующих одно и то же название, и Rust нужно помочь определить, какую реализацию вы хотите вызвать.

Использование супер типажей для требования функциональности одного типажа в рамках другого типажа

Иногда вы можете написать определение типажа, которое зависит от другого типажа: для типа, реализующего первый типаж, вы хотите потребовать, чтобы этот тип также реализовал второй типаж. Вы должны сделать это, чтобы ваше определение типажа могло использовать связанные элементы второго типажа. Типаж, на который опирается ваше определение типажа, называется *supertrait* вашего типажа.

Например, мы хотим создать типаж `OutlinePrint` с методом `outline_print`, который будет печатать значение обрамлённое звёздочками. Мы хотим чтобы структура `Point`, реализующая типаж стандартной библиотеки `Display`, вывела на печать `(x, y)` при вызове `outline_print` у экземпляра `Point`, который имеет значение `1` для `x` и значение `3` для `y`. Она должна напечатать следующее:

```
*****
*      *
* (1, 3) *
*      *
*****
```

В реализации `outline_print` мы хотим использовать функциональность типажа `Display`. Поэтому нам нужно указать, что типаж `OutlinePrint` будет работать только для типов, которые также реализуют `Display` и предоставляют функциональность, которая нужна в `OutlinePrint`. Мы можем сделать это в объявлении типажа, указав `OutlinePrint: Display`. Этот метод похож на добавление ограничения в типаж. В листинге 19-22 показана реализация типажа `OutlinePrint`.

Файл: `src/main.rs`

```
use std::fmt;

trait OutlinePrint: fmt::Display {
    fn outline_print(&self) {
        let output = self.to_string();
        let len = output.len();
        println!("{}", "*".repeat(len + 4));
        println!("*{}*", " ".repeat(len + 2));
        println!("* {}output *");
        println!("*{}*", " ".repeat(len + 2));
        println!("{}", "*".repeat(len + 4));
    }
}
```

Листинг 19-22: Реализация типажа `OutlinePrint` которая требует функциональности типажа `Display`

Поскольку мы указали, что типаж `OutlinePrint` требует типажа `Display`, мы можем использовать функцию `to_string`, которая автоматически реализована для любого типа реализующего `Display`. Если бы мы попытались использовать `to_string` не добавляя двоеточие и не указывая типаж `Display` после имени типажа, мы получили бы сообщение о том, что метод с именем `to_string` не был найден у типа `&Self` в текущей области видимости.

Давайте посмотрим что происходит, если мы пытаемся реализовать типаж `OutlinePrint` для типа, который не реализует `Display`, например структура `Point`:

Файл: src/main.rs

```
struct Point {
    x: i32,
    y: i32,
}

impl OutlinePrint for Point {}
```



Мы получаем сообщение о том, что требуется реализация `Display`, но её нет:

```
$ cargo run
Compiling traits-example v0.1.0 (file:///projects/traits-example)
error[E0277]: `Point` doesn't implement `std::fmt::Display`
--> src/main.rs:20:23
  |
20 |     impl OutlinePrint for Point {}  
          ^^^^^ `Point` cannot be formatted with the default formatter
  |
  = help: the trait `std::fmt::Display` is not implemented for `Point`  

  = note: in format strings you may be able to use `{:?}` (or `{:#?}` for pretty-print)  

instead  
note: required by a bound in `OutlinePrint`  
--> src/main.rs:3:21
  |
3  | trait OutlinePrint: fmt::Display {  
          ^^^^^^^^^^^^^^ required by this bound in `OutlinePrint`  
  
error[E0277]: `Point` doesn't implement `std::fmt::Display`  
--> src/main.rs:24:7
  |
24 |     p.outline_print();  
          ^^^^^^^^^^^^^^ `Point` cannot be formatted with the default formatter
  |
  = help: the trait `std::fmt::Display` is not implemented for `Point`  

  = note: in format strings you may be able to use `{:?}` (or `{:#?}` for pretty-print)  

instead  
note: required by a bound in `OutlinePrint::outline_print`  
--> src/main.rs:3:21
  |
3  | trait OutlinePrint: fmt::Display {  
          ^^^^^^^^^^^^^^ required by this bound in  
`OutlinePrint::outline_print`  
4  |     fn outline_print(&self) {  
          |----- required by a bound in this associated function  
  
For more information about this error, try `rustc --explain E0277`.  
error: could not compile `traits-example` (bin "traits-example") due to 2 previous  
errors
```

Чтобы исправить, мы реализуем `Display` у структуры `Point` и выполняем требуемое ограничение `OutlinePrint`, вот так:

Файл: `src/main.rs`

```
use std::fmt;  
  
impl fmt::Display for Point {  
    fn fmt(&self, f: &mut fmt::Formatter) -> fmt::Result {  
        write!(f, "({}, {})", self.x, self.y)  
    }  
}
```

Тогда реализация типажа `OutlinePrint` для структуры `Point` будет скомпилирована успешно и мы можем вызвать `outline_print` у экземпляра `Point` для отображения значения обрамлённое звёздочками.

Шаблон Newtype для реализации внешних типажей у внешних типов

В разделе "Реализация типажа у типа" главы 10, мы упоминали "правило сироты" (orphan rule), которое гласит, что разрешается реализовать типаж у типа, если либо типаж, либо тип являются локальными для нашего крейта. Можно обойти это ограничение, используя *шаблон нового типа* (newtype pattern), который включает в себя создание нового типа в кортежной структуре. (Мы рассмотрели кортежные структуры в разделе "Использование структур кортежей без именованных полей для создания различных типов" главы 5.) Структура кортежа будет иметь одно поле и будет тонкой оболочкой для типа которому мы хотим реализовать типаж. Тогда тип оболочки является локальным для нашего крейта и мы можем реализовать типаж для локальной обёртки. *Newtype* это термин, который происходит от языка программирования Haskell. В нем нет ухудшения производительности времени выполнения при использовании этого шаблона и тип оболочки исключается во время компиляции.

В качестве примера, мы хотим реализовать типаж `Display` для типа `Vec<T>`, где "правило сироты" (orphan rule) не позволяет нам этого делать напрямую, потому что типаж `Display` и тип `Vec<T>` объявлены вне нашего крейта. Мы можем сделать структуру `Wrapper`, которая содержит экземпляр `Vec<T>`; тогда мы можем реализовать `Display` у структуры `Wrapper` и использовать значение `Vec<T>` как показано в листинге 19-23.

Файл: src/main.rs

```
use std::fmt;

struct Wrapper(Vec<String>);

impl fmt::Display for Wrapper {
    fn fmt(&self, f: &mut fmt::Formatter) -> fmt::Result {
        write!(f, "[{}]", self.0.join(", "))
    }
}

fn main() {
    let w = Wrapper(vec![String::from("hello"), String::from("world")]);
    println!("w = {}", w);
}
```

Листинг 19-23. Создание типа `Wrapper` `Vec<String>` для реализации `Display`

Реализация `Display` использует `self.0` для доступа к внутреннему `Vec<T>`, потому что `Wrapper` это структура кортежа, а `Vec<T>` это элемент с индексом 0 в кортеже. Затем мы можем использовать функциональные возможности типа `Display` у `Wrapper`.

Недостатком использования этой техники является то, что `Wrapper` является новым типом, поэтому он не имеет методов для значения, которое он держит в себе. Мы должны были бы реализовать все методы для `Vec<T>` непосредственно во `Wrapper`, так чтобы эти методы делегировались внутреннему `self.0`, что позволило бы нам обращаться с `Wrapper` точно так же, как с `Vec<T>`. Если бы мы хотели, чтобы новый тип имел каждый метод имеющийся у внутреннего типа, реализуя типаж `Deref` (обсуждается в разделе "Работа с умными указателями как с обычными ссылками с помощью `Deref` типажа" главы 15) у `Wrapper` для

возвращения внутреннего типа, то это было бы решением. Если мы не хотим, чтобы тип `Wrapper` имел все методы внутреннего типа, например, для ограничения поведения типа `Wrapper`, то пришлось бы вручную реализовать только те методы, которые нам нужны.

Этот шаблон newtype также полезен, даже когда типажи не задействованы. Давайте переключим внимание и рассмотрим некоторые продвинутые способы взаимодействия с системой типов Rust.

Продвинутые типы

Система типов Rust имеет некоторые особенности, о которых мы уже упоминали, но ещё не обсуждали. Мы начнём с общего обзора newtypes, а затем разберёмся, чем они могут пригодиться в качестве типов. Далее мы перейдём к псевдонимам типов - возможности, похожей на newtypes, но с несколько иной семантикой. Мы также обсудим тип `!` и типы с динамическим размером.

Использование паттерна Newtype для обеспечения безопасности типов и создания абстракций

Примечание: В этом разделе предполагается, что вы прочитали предыдущий раздел "Использование паттерна Newtype для реализации внешних трейтов для внешних типов."

Паттерн newtype полезен и для других задач, помимо тех, которые мы обсуждали до сих пор, в частности, для статического обеспечения того, чтобы значения никогда не путались, а также для указания единиц измерения значения. Пример использования newtypes для указания единиц измерения вы видели в листинге 19-15: вспомните, как структуры `Millimeters` и `Meters` обернули значения `u32` в newtype. Если бы мы написали функцию с параметром типа `Millimeters`, мы не смогли бы скомпилировать программу, которая случайно попыталась бы вызвать эту функцию со значением типа `Meters` или обычным `u32`.

Мы также можем использовать паттерн newtype для абстрагирования от некоторых деталей реализации типа: новый тип может предоставлять публичный API, который отличается от API скрытого внутри типа.

Newtypes также позволяют скрыть внутреннюю реализацию. Например, мы можем создать тип `People`, который обернёт `HashMap<i32, String>`, хранящий ID человека, связанный с его именем. Код, использующий `People`, будет взаимодействовать только с публичным API, который мы предоставляем, например, метод добавления имени в коллекцию `People`; этому коду не нужно будет знать, что внутри мы присваиваем `i32` ID именам. Паттерн newtype - это лёгкий способ достижения инкапсуляции для скрытия деталей реализации, который мы обсуждали в разделе "Инкапсуляция, скрывающая детали реализации" главы 17.

Создание синонимов типа с помощью псевдонимов типа

Rust предоставляет возможность объявить *псевдоним типа* чтобы дать существующему типу другое имя. Для этого мы используем ключевое слово `type`. Например, мы можем создать псевдоним типа `Kilometers` для `i32` следующим образом:

```
type Kilometers = i32;
```

Теперь псевдоним `Kilometers` является синонимом для `i32`; в отличие от типов `Millimeters` и `Meters`, которые мы создали в листинге 19-15, `Kilometers` не является отдельным, новым типом. Значения, имеющие тип `Kilometers`, будут обрабатываться так же, как и значения типа `i32`:

```
type Kilometers = i32;

let x: i32 = 5;
let y: Kilometers = 5;

println!("x + y = {}", x + y);
```

Поскольку `Kilometers` и `i32` являются одним и тем же типом, мы можем добавлять значения обоих типов и передавать значения `Kilometers` функциям, принимающим параметры `i32`. Однако, используя этот метод, мы не получаем тех преимуществ проверки типов, которые мы получаем от паттерна newtype, рассмотренного ранее. Другими словами, если мы где-то перепутаем значения `Kilometers` и `i32`, компилятор не выдаст нам ошибку.

Синонимы в основном используются для сокращения повторений. Например, у нас может быть такой многословный тип:

```
Box<dyn Fn() + Send + 'static>
```

Написание таких длинных типов в сигнатурах функций и в виде аннотаций типов по всему коду может быть утомительным и чреватым ошибками. Представьте себе проект, наполненный таким кодом, как в листинге 19-24.

```
let f: Box<dyn Fn() + Send + 'static> = Box::new(|| println!("hi"));

fn takes_long_type(f: Box<dyn Fn() + Send + 'static>) {
    // --snip--
}

fn returns_long_type() -> Box<dyn Fn() + Send + 'static> {
    // --snip--
}
```

Листинг 19-24: Использование длинного типа во многих местах

Псевдоним типа делает этот код более удобным для работы, сокращая количество повторений. В листинге 19-25 мы ввели псевдоним `Thunk` для типа `verbose` и можем заменить все использование этого типа более коротким псевдонимом `Thunk`.

```

type Thunk = Box<dyn Fn() + Send + 'static>;

let f: Thunk = Box::new(|| println!("hi"));

fn takes_long_type(f: Thunk) {
    // --snip--
}

fn returns_long_type() -> Thunk {
    // --snip--
}

```

Листинг 19-25: Представление псевдонима `Thunk` для уменьшения количества повторений

Такой код гораздо легче читать и писать! Выбор осмысленного имени для псевдонима типа также может помочь прояснить ваши намерения (*thunk* - название для кода, который будет вычисляться позднее, поэтому это подходящее имя для сохраняемого замыкания).

Псевдонимы типов также часто используются с типом `Result<T, E>` для сокращения повторений. Рассмотрим модуль `std::io` в стандартной библиотеке. Операции ввода-вывода часто возвращают `Result<T, E>` для обработки ситуаций, когда эти операции не удаются. В данной библиотеке есть структура `std::io::Error`, которая отражает все возможные ошибки ввода/вывода. Многие функции в `std::io` будут возвращать `Result<T, E>`, где `E` - это `std::io::Error`, например, эти функции в трейте `Write`:

```

use std::fmt;
use std::io::Error;

pub trait Write {
    fn write(&mut self, buf: &[u8]) -> Result<usize, Error>;
    fn flush(&mut self) -> Result<(), Error>;

    fn write_all(&mut self, buf: &[u8]) -> Result<(), Error>;
    fn write_fmt(&mut self, fmt: fmt::Arguments) -> Result<(), Error>;
}

```

`Result<..., Error>` часто повторяется. Поэтому `std::io` содержит такое объявление псевдонима типа:

```
type Result<T> = std::result::Result<T, std::io::Error>;
```

Поскольку это объявление находится в модуле `std::io`, мы можем использовать полный псевдоним `std::io::Result<T>`; это и есть `Result<T, E>`, где в качестве `E` выступает `std::io::Error`. Сигнатуры функций трейта `Write` в итоге выглядят следующим образом:

```

pub trait Write {
    fn write(&mut self, buf: &[u8]) -> Result<usize>;
    fn flush(&mut self) -> Result<()>;

    fn write_all(&mut self, buf: &[u8]) -> Result<()>;
    fn write_fmt(&mut self, fmt: fmt::Arguments) -> Result<()>;
}

```

Псевдоним типа помогает двумя способами: он облегчает написание кода и даёт нам согласованный интерфейс для всего из `std::io`. Поскольку это псевдоним, то это просто ещё один тип `Result<T, E>`, что означает, что с ним мы можем использовать любые методы, которые работают с `Result<T, E>`, а также специальный синтаксис вроде `?` оператора.

Тип `Never`, который никогда не возвращается

В Rust есть специальный тип `!`, который на жаргоне теории типов известен как *empty type* (пустой тип), потому что он не содержит никаких значений. Мы предпочитаем называть его *never type* (никакой тип), потому что он используется в качестве возвращаемого типа, когда функция ничего не возвращает. Вот пример:

```
fn bar() -> ! {  
    // --snip--  
}
```

Этот код читается как "функция `bar` ничего не возвращает". Функции, которые ничего не возвращают, называются *рассеивающими функциями* (diverging functions). Мы не можем производить значения типа `!`, поэтому `bar` никогда ничего не вернёт.

Но для чего нужен тип, для которого вы никогда не сможете создать значения? Напомним код из листинга 2-5, фрагмента "игры в загадки"; мы воспроизвели его часть здесь в листинге 19-26.

```
let guess: u32 = match guess.trim().parse() {  
    Ok(num) => num,  
    Err(_) => continue,  
};
```

Листинг 19-26: Сопоставление `match` с веткой, которая заканчивается `continue`

В то время мы опустили некоторые детали в этом коде. В главе 6 раздела "Оператор управления потоком `match`" мы обсуждали, что все ветви `match` должны возвращать одинаковый тип. Например, следующий код не работает:

```
let guess = match guess.trim().parse() {  
    Ok(_) => 5,  
    Err(_) => "hello",  
};
```



Тип `guess` в этом коде должен быть целым и строкой, а Rust требует, чтобы `guess` имел только один тип. Так что же возвращает `continue`? Как нам позволили вернуть `u32` из одной ветви и при этом иметь другую ветвь, которая оканчивается `continue` в листинге 19-26?

Как вы уже возможно догадались, `continue` имеет значение `!`. То есть, когда Rust вычисляет тип `guess`, он смотрит на обе сопоставляемые ветви, первая со значением `u32` и последняя со значением `!`. Так как `!` никогда не может иметь значение, то Rust решает что типом `guess` является тип `u32`.

Формальный подход к описанию такого поведения заключается в том, что выражения типа `!` могут быть преобразованы в любой другой тип. Нам позволяет завершить этот `match` с помощью `continue`, потому что `continue` не возвращает никакого значения; вместо этого он передаёт управление обратно в начало цикла, поэтому в случае `Err` мы никогда не присваиваем значение `guess`.

Тип `never` полезен также для макроса `panic!`. Вспомните функцию `unwrap`, которую мы вызываем для значений `Option<T>`, чтобы создать значение или вызвать панику с этим определением:

```
impl<T> Option<T> {
    pub fn unwrap(self) -> T {
        match self {
            Some(val) => val,
            None => panic!("called `Option::unwrap()` on a `None` value"),
        }
    }
}
```

В этом коде происходит то же самое, что и в `match` в листинге 19-26: Rust видит, что `val` имеет тип `T`, а `panic!` имеет тип `!`, поэтому результатом общего выражения `match` является `T`. Этот код работает, потому что `panic!` не производит никакого значения; он завершает программу. В случае `None` мы не будем возвращать значение из `unwrap`, поэтому этот код работает.

Последнее выражение, которое имеет тип `!` это `Loop`:

```
print!("forever ");
loop {
    print!("and ever ");
}
```

В данном случае цикл никогда не завершится, поэтому `!` является значением выражения. Но это не будет так, если мы добавим `break`, так как цикл завершит свою работу, когда дойдёт до `break`.

Типы с динамическим размером и трейт `Sized`

Rust необходимо знать некоторые детали о типах, например, сколько места нужно выделить для значения определённого типа. Из-за этого один из аспектов системы типов поначалу вызывает некоторое недоумение: концепция *типов с динамическим размером*. Иногда называемые *DST* или *безразмерные типы*, эти типы позволяют нам писать код, используя значения, размер которых мы можем узнать только во время выполнения.

Давайте углубимся в детали динамического типа `str`, который мы использовали на протяжении всей книги. Все верно, не типа `&str`, а типа `str` самого по себе, который является DST. Мы не можем знать, какой длины строка до момента времени выполнения, то

есть мы не можем создать переменную типа `str` и не можем принять аргумент типа `str`.

Рассмотрим следующий код, который не работает:

```
let s1: str = "Hello there!";
let s2: str = "How's it going?";
```



Rust должен знать, сколько памяти выделить для любого значения конкретного типа и все значения типа должны использовать одинаковый объем памяти. Если Rust позволил бы нам написать такой код, то эти два значения `str` должны были бы занимать одинаковое количество памяти. Но они имеют разную длину: `s1` нужно 12 байтов памяти, а для `s2` нужно 15. Вот почему невозможно создать переменную имеющую тип динамического размера.

Так что же нам делать? В этом случае вы уже знаете ответ: мы преобразуем типы `s1` и `s2` в `&str`, а не в `str`. Вспомните из раздела "Строковые срезы" главы 4, что структура данных среза просто хранит начальную позицию и длину среза. Так, в отличие от `&T`, который содержит только одно значение - адрес памяти, где находится `T`, в `&str` хранятся *два* значения - адрес `str` и его длина. Таким образом, мы можем узнать размер значения `&str` во время компиляции: он вдвое больше длины `usize`. То есть, мы всегда знаем размер `&str`, независимо от длины строки, на которую оно ссылается. В целом, именно так в Rust используются типы динамического размера: они содержат дополнительный бит метаданных, который хранит размер динамической информации. Золотое правило динамически размерных типов заключается в том, что мы всегда должны помещать значения таких типов за каким-либо указателем.

Мы можем комбинировать `str` со всеми видами указателей: например, `Box<str>` или `Rc<str>`. На самом деле, вы уже видели это раньше, но с другим динамически размерным типом: трейтами. Каждый трейт - это динамически размерный тип, на который мы можем ссылаться, используя имя трейта. В главе 17 в разделе "Использование трейт-объектов, допускающих значения разных типов" мы упоминали, что для использования трейтов в качестве трейт-объектов мы должны поместить их за указателем, например `&dyn Trait` или `Box<dyn Trait>` (`Rc<dyn Trait>` тоже подойдёт).

Для работы с DST Rust использует трейт `Sized` чтобы решить, будет ли размер типа известен на стадии компиляции. Этот трейт автоматически реализуется для всего, чей размер известен к моменту компиляции. Кроме того, Rust неявно добавляет ограничение на `Sized` к каждой универсальной функции. То есть, определение универсальной функции, такое как:

```
fn generic<T>(t: T) {
    // --snip--
}
```

на самом деле рассматривается как если бы мы написали её в виде:

```
fn generic<T: Sized>(t: T) {
    // --snip--
}
```

По умолчанию обобщённые функции будут работать только с типами чей размер известен во время компиляции. Тем не менее, можно использовать следующий специальный синтаксис, чтобы ослабить это ограничение:

```
fn generic<T: ?Sized>(t: &T) {  
    // --snip--  
}
```

Ограничение трейта `?Sized` означает «`T` может или не может быть `Sized`», эта нотация отменяет стандартное правило, согласно которому универсальные типы должны иметь известный размер во время компиляции. Использовать синтаксис `?Trait` в таком качестве можно только для `Sized`, и ни для каких других трейтов.

Также обратите внимание, что мы поменяли тип параметра `t` с `T` на `&T`. Поскольку тип мог бы не быть `Sized`, мы должны использовать его за каким-либо указателем. В данном случае мы выбрали ссылку.

Далее мы поговорим о функциях и замыканиях!

Продвинутые функции и замыкания

В этом разделе рассматриваются некоторые продвинутые возможности, относящиеся к функциям и замыканиям, такие как указатели функций и возвращаемые замыкания.

Указатели функций

Мы уже обсуждали, как передавать замыкания в функции; но также можно передавать обычные функции в функции! Эта техника полезна, когда вы хотите передать ранее созданную функцию, а не определять новое замыкание. Функции соответствуют типу `fn` (со строчной буквой `f`), не путать с трейтом замыкания `Fn`. Тип `fn` называется *указателем функции*. Передача функций с помощью указателей функций позволяет использовать функции в качестве аргументов других функций.

Для указания того, что параметр является указателем на функцию, используется синтаксис, такой же, как и для замыканий, что демонстрируется в листинге 19-27, где мы определили функцию `add_one`, которая добавляет единицу к переданному ей параметру. Функция `do_twice` принимает два параметра: указатель на любую функцию, принимающую параметр `i32` и возвращающую `i32`, и число типа `i32`. Функция `do_twice` дважды вызывает функцию `f`, передавая ей значение `arg`, а затем складывает полученные результаты. Функция `main` вызывает функцию `do_twice` с аргументами `add_one` и `5`.

Файл: src/main.rs

```
fn add_one(x: i32) -> i32 {
    x + 1
}

fn do_twice(f: fn(i32) -> i32, arg: i32) -> i32 {
    f(arg) + f(arg)
}

fn main() {
    let answer = do_twice(add_one, 5);

    println!("The answer is: {answer}");
}
```

Листинг 19-27: Использование типа `fn` для получения указателя на функцию в качестве аргумента

Этот код выводит `Ответ: 12`. Мы указали, что параметр `f` в `do_twice` является `fn`, которая принимает на вход единственный параметр типа `i32` и возвращает `i32`. Затем мы можем вызвать `f` в теле `do_twice`. В `main` мы можем передать имя функции `add_one` в качестве первого аргумента в `do_twice`.

В отличие от замыканий, `fn` является типом, а не трейтом, поэтому мы указываем `fn` непосредственно в качестве типа параметра, а не объявляем параметр универсального типа с одним из трейтов `Fn` в качестве связанного.

Указатели функций реализуют все три трейта замыканий (`Fn`, `FnMut` и `FnOnce`), то есть вы всегда можете передать указатель функции в качестве аргумента функции, которая ожидает замыкание. Лучше всего для описания функции использовать универсальный тип и один из трейтов замыканий, чтобы ваши функции могли принимать как функции, так и замыкания.

Однако, одним из примеров, когда вы бы хотели принимать только `fn`, но не замыкания, является взаимодействие с внешним кодом, который не имеет замыканий: функции языка C могут принимать функции в качестве аргументов, однако замыканий в языке C нет.

В качестве примера того, где можно использовать либо замыкание, определяемое непосредственно в месте передачи, либо именованную функцию, рассмотрим использование метода `map`, предоставляемого трейтом `Iterator` в стандартной библиотеке. Чтобы использовать функцию `map` для преобразования вектора чисел в вектор строк, мы можем использовать замыкание, например, так:

```
let list_of_numbers = vec![1, 2, 3];
let list_of_strings: Vec<String> =
    list_of_numbers.iter().map(|i| i.to_string()).collect();
```

Или мы можем использовать функцию в качестве аргумента `map` вместо замыкания, например, так:

```
let list_of_numbers = vec![1, 2, 3];
let list_of_strings: Vec<String> =
    list_of_numbers.iter().map(ToString::to_string).collect();
```

Обратите внимание, что мы должны использовать полный синтаксис, о котором мы говорили ранее в разделе "Продвинутые трейты", потому что доступно несколько функций с именем `to_string`. Здесь мы используем функцию `to_string` определённую в типаже `ToString`, который реализован в стандартной библиотеке для любого типа реализующего типаж `Display`.

Вспомните из раздела "Значения перечислений" главы 6, что имя каждого определённого нами варианта перечисления также становится функцией-инициализатором. Мы можем использовать эти инициализаторы в качестве указателей на функции, реализующих трейты замыканий, что означает, что мы можем использовать инициализаторы в качестве аргументов для методов, принимающих замыкания, например, так:

```
enum Status {
    Value(u32),
    Stop,
}

let list_of_statuses: Vec<Status> = (0u32..20).map(Status::Value).collect();
```

Здесь мы создаём экземпляры `Status::Value`, используя каждое значение `u32` в диапазоне (0..20), с которым вызывается `map` с помощью функции инициализатора `Status::Value`. Некоторые люди предпочитают этот стиль, а некоторые предпочитают использовать замыкания. Оба варианта компилируются в один и тот же код, поэтому используйте любой стиль, который вам понятнее.

Возврат замыканий

Замыкания представлены трейтами, что означает, что вы не можете возвращать замыкания из функций. В большинстве случаев, когда вам захочется вернуть трейт, вы можете использовать конкретный тип, реализующий этот трейт, в качестве возвращаемого значения функции. Однако вы не можете сделать подобного с замыканиями, поскольку у них не может быть конкретного типа, который можно было бы вернуть; например, вы не можете использовать указатель на функцию `fn` в качестве возвращаемого типа.

Следующий код пытается напрямую вернуть замыкание, но он не компилируется:

```
fn returns_closure() -> dyn Fn(i32) -> i32 {
    |x| x + 1
}
```

Ошибка компилятора выглядит следующим образом:

```
$ cargo build
Compiling functions-example v0.1.0 (file:///projects/functions-example)
error[E0746]: return type cannot have an unboxed trait object
--> src/lib.rs:1:25
  |
1 | fn returns_closure() -> dyn Fn(i32) -> i32 {
  |                                     ^^^^^^^^^^ doesn't have a size known at compile-
time
  |
help: return an `impl Trait` instead of a `dyn Trait`, if all returned values are the
same type
  |
1 | fn returns_closure() -> impl Fn(i32) -> i32 {
  |         ~~~~
help: box the return type, and wrap all of the returned values in `Box::new`'
  |
1 ~ fn returns_closure() -> Box<dyn Fn(i32) -> i32> {
2 ~     Box::new(|x| x + 1)
  |

For more information about this error, try `rustc --explain E0746`.
error: could not compile `functions-example` (lib) due to 1 previous error
```

Ошибка снова ссылается на типаж `Sized`! Rust не знает, сколько памяти нужно будет выделить для замыкания. Мы видели решение этой проблемы ранее. Мы можем использовать типаж-объект:

```
fn returns_closure() -> Box<dyn Fn(i32) -> i32> {
    Box::new(|x| x + 1)
}
```

Этот код просто отлично компилируется. Для получения дополнительной информации об типаж-объектах обратитесь к разделу "[Использование типаж-объектов которые допускают значения разных типов](#)" главы 17.

Далее давайте посмотрим на макросы!

Макросы

Мы использовали макросы, такие как `println!` на протяжении всей этой книги, но мы не изучили полностью, что такое макрос и как он работает. Термин *макрос* относится к семейству возможностей в Rust. Это *декларативные* (declarative) макросы с помощью `macro_rules!` и три вида *процедурных* (procedural) макросов:

- Пользовательские (выводимые) `#[derive]` макросы, которые указывают код, добавленный с помощью атрибута `derive`, используемые для структур и перечислений
- Макросы подобные атрибутам (attribute-like), которые определяют настраиваемые атрибуты, используемые для любого элемента языка
- Похожие на функции (function-like) макросы, которые выглядят как вызовы функций, но работают с `TokenStream`

Мы поговорим о каждом из них по очереди, но сначала давайте рассмотрим, зачем вообще нужны макросы, если есть функции.

Разница между макросами и функциями

По сути, макросы являются способом написания кода, который записывает другой код, что известно как *мета программирование*. В Приложении С мы обсуждаем атрибут `derive`, который генерирует за вас реализацию различных типажей. Мы также использовали макросы `println!` и `vec!` на протяжении книги. Все эти макросы *раскрываются* для генерации большего количества кода, чем исходный код написанный вами вручную.

Мета программирование полезно для уменьшения объёма кода, который вы должны написать и поддерживать, что также является одним из предназначений функций. Однако макросы имеют некоторые дополнительные возможности, которых функции не имеют.

Сигнатура функции должна объявлять некоторое количество и тип этих параметров имеющихся у функции. Макросы, с другой стороны, могут принимать переменное число параметров: мы можем вызвать `println!("hello")` с одним аргументом или `println!("hello {}", name)` с двумя аргументами. Также макросы раскрываются до того как компилятор интерпретирует смысл кода, поэтому макрос может, например, реализовать типаж заданного типа. Функция этого не может, потому что она вызывается во время выполнения и типаж должен быть реализован во время компиляции.

Обратной стороной реализации макроса вместо функции является то, что определения макросов являются более сложными, чем определения функций, потому что вы создаёте Rust код, который записывает другой Rust код. Из-за этой косвенности, объявления макросов, как правило, труднее читать, понимать и поддерживать, чем объявления функций.

Другое важное различие между макросами и функциями заключается в том, что вы должны объявить макросы или добавить их в область видимости *прежде* чем можете вызывать их в

файле, в отличии от функций, которые вы можете объявить где угодно и вызывать из любого места.

Декларативные макросы с `macro_rules!` для общего мета программирования

Наиболее широко используемой формой макросов в Rust являются *декларативные макросы*. Они также иногда упоминаются как "макросы на примере", "`macro_rules!` макрос" или просто "макросы". По своей сути декларативные макросы позволяют писать нечто похожее на выражение `match` в Rust. Как обсуждалось в главе 6, `match` выражения являются управляющими структурами, которые принимают некоторое выражение, результат значения выражения сопоставляют с шаблонами, а затем запускают код для сопоставляемой ветки. Макросы также сравнивают значение с шаблонами, которые связаны с конкретным кодом: в этой ситуации значение является литералом исходного кода Rust, переданным в макрос. Шаблоны сравниваются со структурами этого исходного кода и при совпадении код, связанный с каждым шаблоном, заменяет код переданный макросу. Все это происходит во время компиляции.

Для определения макроса используется конструкция `macro_rules!`. Давайте рассмотрим, как использовать `macro_rules!` глядя на то, как объявлен макрос `vec!`. В главе 8 рассказано, как можно использовать макрос `vec!` для создания нового вектора с определёнными значениями. Например, следующий макрос создаёт новый вектор, содержащий три целых числа:

```
let v: Vec<u32> = vec![1, 2, 3];
```

Мы также могли использовать макрос `vec!` для создания вектора из двух целых чисел или вектора из пяти строковых срезов. Мы не смогли бы использовать функцию, чтобы сделать то же самое, потому что мы не знали бы заранее количество или тип значений.

В листинге 19-28 приведено несколько упрощённое определение макроса `vec!`.

Файл: src/lib.rs

```
#[macro_export]
macro_rules! vec {
    ( $( $x:expr ),* ) => {
        {
            let mut temp_vec = Vec::new();
            $(
                temp_vec.push($x);
            )*
            temp_vec
        };
    }
}
```

Листинг 19-28: Упрощённая версия определения макроса `vec!`

Примечание: фактическое определение макроса `vec!` в стандартной библиотеке содержит код для предварительного выделения правильного объёма памяти. Этот код является оптимизацией, которую мы здесь не используем, чтобы сделать пример проще.

Аннотация `#[macro_export]` указывает, что данный макрос должен быть доступен всякий раз, когда крейт с объявлением макросом, добавлен в область видимости. Без этой аннотации макрос нельзя добавить в область видимости.

Затем мы начинаем объявление макроса с помощью `macro_rules!` и имени макроса, который объявляется без восклицательного знака. Название, в данном случае `vec`, после которого следуют фигурные скобки, указывающие тело определения макроса.

Структура в теле макроса `vec!` похожа на структуру `match` выражения. Здесь у нас есть одна ветвь с шаблоном `($($x:expr),*)`, затем следует ветвь `=>` и блок кода, связанный с этим шаблоном. Если шаблон сопоставлен успешно, то соответствующий блок кода будет сгенерирован. Учитывая, что данный код является единственным шаблоном в этом макросе, существует только один действительный способ сопоставления, любой другой шаблон приведёт к ошибке. Более сложные макросы будут иметь более одной ветви.

Допустимый синтаксис шаблона в определениях макросов отличается от синтаксиса шаблона рассмотренного в главе 18, потому что шаблоны макроса сопоставляются со структурами кода Rust, а не со значениями. Давайте пройдёмся по тому, какие части шаблона в листинге 19-28 что означают; полный синтаксис шаблонов макроса можно найти в [Справочнике по Rust](#).

Во-первых, мы используем набор скобок, чтобы охватить весь шаблон. Мы используем знак доллара (`$`) для объявления переменной в системе макросов, которая будет содержать код на Rust, соответствующий шаблону. Знак доллара показывает, что это макропеременная, а не обычная переменная Rust. Далее следует набор скобок, в котором фиксируются значения, соответствующие шаблону в скобках, для использования в коде замены. Внутри `$()` находится `$x:expr`, которое соответствует любому выражению Rust и даёт выражению имя `$x`.

Запятая, следующая за `$()` указывает на то, что буквенный символ-разделитель запятая может дополнительно появиться после кода, который соответствует коду в `$()`. Звёздочка `*` указывает, что шаблон соответствует ноль или больше раз тому, что предшествует `*`.

Когда вызывается этот макрос с помощью `vec![1, 2, 3];` шаблон `$x` соответствует три раза всем трём выражениям `1`, `2` и `3`.

Теперь давайте посмотрим на шаблон в теле кода, связанного с этой ветвью: `temp_vec.push()` внутри `$()*` генерируется для каждой части, которая соответствует символу `$()` в шаблоне ноль или более раз в зависимости от того, сколько раз шаблон сопоставлен. Символ `$x` заменяется на каждое совпадающее выражение. Когда мы вызываем этот макрос с `vec![1, 2, 3];`, сгенерированный код, заменяющий этот вызов макроса будет следующим:

```
{  
    let mut temp_vec = Vec::new();  
    temp_vec.push(1);  
    temp_vec.push(2);  
    temp_vec.push(3);  
    temp_vec  
}
```

Мы определили макрос, который может принимать любое количество аргументов любого типа и может генерировать код для создания вектора, содержащего указанные элементы.

Чтобы узнать больше о том, как писать макросы, обратитесь к онлайн-документации или другим ресурсам, таким как [«Маленькая книга макросов Rust»](#), начатая Дэниелом Кипом и продолженная Лукасом Виртом.

Процедурные макросы для генерации кода из атрибутов

Вторая форма макросов - это *процедурные макросы* (procedural macros), которые действуют как функции (и являются типом процедуры). Процедурные макросы принимают некоторый код в качестве входных данных, работают над этим кодом и создают некоторый код в качестве вывода, а не выполняют сопоставления с шаблонами и замену кода другим кодом, как это делают декларативные макросы. Процедурные макросы могут быть трёх типов: "пользовательского вывода" (custom-derive), "похожие на атрибут" (attribute-like) и "похожие на функцию" (function-like), все они работают схожим образом.

При создании процедурных макросов объявления должны находиться в собственном крейте специального типа. Это из-за сложных технических причин, которые мы надеемся будут устранены в будущем. В листинге 19-29 показано, как задать процедурный макрос, где `some_attribute` является заполнителем для использования специального макроса.

Файл: src/lib.rs

```
use proc_macro;  
  
#[some_attribute]  
pub fn some_name(input: TokenStream) -> TokenStream {  
}
```

Листинг 19-29: Пример определения процедурного макроса

Функция, которая определяет процедурный макрос, принимает `TokenStream` в качестве входных данных и создаёт `TokenStream` в качестве вывода. Тип `TokenStream` объявлен крейтом `proc_macro`, включённым в Rust и представляет собой последовательность токенов. Это ядро макроса: исходный код над которым работает макрос, является входным `TokenStream`, а код создаваемый макросом является выходным `TokenStream`. К функции имеет также прикреплённый атрибут, определяющий какой тип процедурного макроса мы создаём. Можно иметь несколько видов процедурных макросов в одном и том же крейте.

Давайте посмотрим на различные виды процедурных макросов. Начнём с пользовательского, выводимого (derive) макроса и затем объясним небольшие различия, делающие другие формы отличающимися.

Как написать пользовательский `derive` макрос

Давайте создадим крейт с именем `hello_macro`, который определяет типаж с именем `HelloMacro` и имеет одну с ним ассоциированную функцию с именем `hello_macro`. Вместо того, чтобы пользователи нашего крейта самостоятельно реализовывали типаж `HelloMacro` для каждого из своих типов, мы предоставим им процедурный макрос, чтобы они могли аннотировать свой тип с помощью атрибута `#[derive(HelloMacro)]` и получили реализацию по умолчанию для функции `hello_macro`. Реализация по умолчанию выведет `Hello, Macro!` `My name is TypeName!`, где `TypeName` - это имя типа, для которого был определён этот типаж. Другими словами, мы напишем крейт, использование которого позволит другому программисту писать код показанный в листинге 19-30.

Файл: `src/main.rs`

```
use hello_macro::HelloMacro;
use hello_macro_derive::HelloMacro;

#[derive(HelloMacro)]
struct Pancakes;

fn main() {
    Pancakes::hello_macro();
}
```



Листинг 19-30: Код, который сможет писать пользователь нашего крейта при использовании нашего процедурного макроса

Этот код напечатает `Hello, Macro! My name is Pancakes!`, когда мы закончим. Первый шаг - создать новый, библиотечный крейт так:

```
$ cargo new hello_macro --lib
```

Далее, мы определим типаж `HelloMacro` и ассоциированную с ним функцию:

Файл: `src/lib.rs`

```
pub trait HelloMacro {
    fn hello_macro();
}
```

У нас есть типаж и его функция. На этом этапе пользователь крейта может реализовать типаж для достижения желаемой функциональности, так:

```
use hello_macro::HelloMacro;

struct Pancakes;

impl HelloMacro for Pancakes {
    fn hello_macro() {
        println!("Hello, Macro! My name is Pancakes!");
    }
}

fn main() {
    Pancakes::hello_macro();
}
```

Тем не менее, ему придётся написать блок реализации для каждого типа, который он хотел использовать вместе с `hello_macro`; а мы хотим избавить их от необходимости делать эту работу.

Кроме того, мы пока не можем предоставить функцию `hello_macro` с реализацией по умолчанию, которая будет печатать имя типа, для которого реализован типаж: Rust не имеет возможностей рефлексии (reflection), поэтому он не может выполнить поиск имени типа во время выполнения кода. Нам нужен макрос для генерации кода во время компиляции.

Следующим шагом является определение процедурного макроса. На момент написания этой статьи процедурные макросы должны быть в собственном крейте. Со временем это ограничение может быть отменено. Соглашение о структурировании крейтов и макросов является следующим: для крейта с именем `foo`, его пользовательский, крейт с выводимым процедурным макросом называется `foo_derive`. Давайте начнём с создания нового крейта с именем `hello_macro_derive` внутри проекта `hello_macro`:

```
$ cargo new hello_macro_derive --lib
```

Наши два крейта тесно связаны, поэтому мы создаём процедурный макрос-крейт в каталоге крейта `hello_macro`. Если мы изменим определение типажа в `hello_macro`, то нам придётся также изменить реализацию процедурного макроса в `hello_macro_derive`. Два крейта нужно будет опубликовать отдельно и программисты, использующие эти крейты, должны будут добавить их как зависимости, а затем добавить их в область видимости. Мы могли вместо этого сделать так, что крейт `hello_macro` использует `hello_macro_derive` как зависимость и реэкспортирует код процедурного макроса. Однако то, как мы структурировали проект, делает возможным программистам использовать `hello_macro` даже если они не хотят `derive` функциональность.

Нам нужно объявить крейт `hello_macro_derive` как процедурный макрос-крейт. Также понадобятся функционал из крейтов `syn` и `quote`, как вы увидите через мгновение, поэтому нам нужно добавить их как зависимости. Добавьте следующее в файл `Cargo.toml` для `hello_macro_derive`:

Файл: `hello_macro_derive/Cargo.toml`

```
[lib]
proc-macro = true

[dependencies]
syn = "2.0"
quote = "1.0"
```

Чтобы начать определение процедурного макроса, поместите код листинга 19-31 в ваш файл `src/lib.rs` крейта `hello_macro_derive`. Обратите внимание, что этот код не скомпилируется пока мы не добавим определение для функции `impl_hello_macro`.

Файл: `hello_macro_derive/src/lib.rs`

```
use proc_macro::TokenStream;
use quote::quote;

#[proc_macro_derive(HelloMacro)]
pub fn hello_macro_derive(input: TokenStream) -> TokenStream {
    // Construct a representation of Rust code as a syntax tree
    // that we can manipulate
    let ast = syn::parse(input).unwrap();

    // Build the trait implementation
    impl_hello_macro(&ast)
}
```



Листинг 19-31: Код, который потребуется в большинстве процедурных макро крейтов для обработки Rust кода

Обратите внимание, что мы разделили код на функцию `hello_macro_derive`, которая отвечает за синтаксический анализ `TokenStream` и функцию `impl_hello_macro`, которая отвечает за преобразование синтаксического дерева: это делает написание процедурного макроса удобнее. Код во внешней функции (`hello_macro_derive` в данном случае) будет одинаковым для почти любого процедурного макроса крейта, который вы видите или создаёте. Код, который вы указываете в теле внутренней функции (в данном случае `impl_hello_macro`) будет отличаться в зависимости от цели вашего процедурного макроса.

Мы представили три новых крейта: `proc_macro` `syn` и `quote`. Макрос `proc_macro` поставляется с Rust, поэтому нам не нужно было добавлять его в зависимости внутри `Cargo.toml`. Макрос `proc_macro` - это API компилятора, который позволяет нам читать и манипулировать Rust кодом из нашего кода.

Крейт `syn` разбирает Rust код из строки в структуру данных над которой мы можем выполнять операции. Крейт `quote` превращает структуры данных `syn` обратно в код Rust. Эти крейты упрощают разбор любого вида Rust кода, который мы хотели бы обрабатывать: написание полного синтаксического анализатора для кода Rust не является простой задачей.

Функция `hello_macro_derive` будет вызываться, когда пользователь нашей библиотеки указывает своему типу `#[derive(HelloMacro)]`. Это возможно, потому что мы аннотировали функцию `hello_macro_derive` с помощью `proc_macro_derive` и указали имя `HelloMacro`, которое соответствует имени нашего типажа; это соглашение, которому следуют большинство процедурных макросов.

Функция `hello_macro_derive` сначала преобразует `input` из `TokenStream` в структуру данных, которую мы можем затем интерпретировать и над которой выполнять операции. Здесь крейт `syn` вступает в игру. Функция `parse` в `syn` принимает `TokenStream` и возвращает структуру `DeriveInput`, представляющую разобранный код Rust. Листинг 19-32 показывает соответствующие части структуры `DeriveInput`, которые мы получаем при разборе строки `struct Pancakes;`:

```
DeriveInput {  
    // --snip--  
  
    ident: Ident {  
        ident: "Pancakes",  
        span: #0 bytes(95..103)  
    },  
    data: Struct(  
        DataStruct {  
            struct_token: Struct,  
            fields: Unit,  
            semi_token: Some(  
                Semi  
            )  
        }  
    )  
}
```

Листинг 19-32: Экземпляр `DeriveInput` получаемый, когда разбирается код имеющий атрибут макроса из листинга 19-30

Поля этой структуры показывают, что код Rust, который мы разбрали, является блок структуры с `ident` (идентификатором, означающим имя) `Pancakes`. В этой структуре есть больше полей для описания всех видов кода Rust; проверьте [документацию](#) `syn` о структуре `DeriveInput` для получения дополнительной информации.

Вскоре мы определим функцию `impl_hello_macro`, в которой построим новый, дополнительный код Rust. Но прежде чем мы это сделаем, обратите внимание, что выводом для нашего выводимого (`derive`) макроса также является `TokenStream`. Возвращаемый `TokenStream` добавляется в код, написанный пользователями макроса, поэтому, когда они соберут свой крейт, они получат дополнительную функциональность, которую мы предоставляем в изменённом `TokenStream`.

Возможно, вы заметили, что мы вызываем `unwrap` чтобы выполнить панику в функции `hello_macro_derive`, если вызов функции `syn::parse` потерпит неудачу. Наш процедурный макрос должен паниковать при ошибках, потому что функции `proc_macro_derive` должны возвращать `TokenStream`, а не тип `Result` для соответствия API процедурного макроса. Мы упростили этот пример с помощью `unwrap`, но в рабочем коде вы должны предоставить более конкретные сообщения об ошибках, если что-то пошло не правильно, используя `panic!` или `expect`.

Теперь, когда у нас есть код для преобразования аннотированного Rust кода из `TokenStream` в экземпляр `DeriveInput`, давайте сгенерируем код реализующий типаж `HelloMacro` у

аннотированного типа, как показано в листинге 19-33.

Файл: hello_macro_derive/src/lib.rs

```
fn impl_hello_macro(ast: &syn::DeriveInput) -> TokenStream {
    let name = &ast.ident;
    let gen = quote! {
        impl HelloMacro for #name {
            fn hello_macro() {
                println!("Hello, Macro! My name is {}!", stringify!(#name));
            }
        };
    };
    gen.into()
}
```

Листинг 19-33: Реализация типажа `HelloMacro` с использованием проанализированного кода Rust.

Мы получаем экземпляр структуры `Ident` содержащий имя (идентификатор) аннотированного типа с использованием `ast.ident`. Структура в листинге 19-32 показывает, что когда мы запускаем функцию `impl_hello_macro` для кода из листинга 19-30, то получаемый `ident` будет иметь поле `ident` со значением `"Pancakes"`. Таким образом, переменная `name` в листинге 19-33 будет содержать экземпляр структуры `Ident`, что при печати выдаст строку `"Pancakes"`, что является именем структуры в листинге 19-30.

Макрос `quote!` позволяет определить код Rust, который мы хотим вернуть. Компилятор ожидает что-то отличное от прямого результата выполнения макроса `quote!`, поэтому нужно преобразовать его в `TokenStream`. Мы делаем это путём вызова метода `into`, который использует промежуточное представление и возвращает значение требуемого типа `TokenStream`.

Макрос `quote!` также предоставляет очень классную механику шаблонов: мы можем ввести `#name` и `quote!` заменит его значением из переменной `name`. Вы можете даже сделать некоторое повторение, подобное тому, как работают обычные макросы. Проверьте [документацию крейта](#) `quote` для подробного введения.

Мы хотим, чтобы наш процедурный макрос генерировал реализацию нашего типажа `HelloMacro` для типа, который аннотировал пользователь, который мы можем получить, используя `#name`. Реализация типажа имеет одну функцию `hello_macro`, тело которой содержит функциональность, которую мы хотим предоставить: напечатать `Hello, Macro! My name is` с именем аннотированного типа.

Макрос `stringify!` используемый здесь, встроен в Rust. Он принимает Rust выражение, такое как `1 + 2` и во время компиляции компилятор превращает выражение в строковый литерал, такой как `"1 + 2"`. Он отличается от макросов `format!` или `println!`, которые вычисляют выражение, а затем превращают результат в виде типа `String`. Существует возможность того, что введённый `#name` может оказаться выражением для печати буквально как есть, поэтому здесь мы используем `stringify!`. Использование `stringify!` также экономит выделение памяти путём преобразования `#name` в строковый литерал во время компиляции.

На этом этапе команда `cargo build` должна завершиться успешно для обоих `hello_macro` и `hello_macro_derive`. Давайте подключим эти крейты к коду в листинге 19-30, чтобы увидеть процедурный макрос в действии! Создайте новый бинарный проект в каталоге ваших проектов с использованием команды `cargo new pancakes`. Нам нужно добавить `hello_macro` и `hello_macro_derive` в качестве зависимостей для крейта `pancakes` в файл `Cargo.toml`. Если вы публикуете свои версии `hello_macro` и `hello_macro_derive` на сайт [crates.io](#), они будут обычными зависимостями; если нет, вы можете указать их как `path` зависимости следующим образом:

```
hello_macro = { path = "../hello_macro" }
hello_macro_derive = { path = "../hello_macro/hello_macro_derive" }
```

Поместите код в листинге 19-30 в `src/main.rs` и выполните `cargo run`: он должен вывести `Hello, Macro! My name is Pancakes!`. Реализация типажа `HelloMacro` из процедурного макроса была включена без необходимости его реализации крейтом `pancakes`; `# [derive(HelloMacro)]` добавил реализацию типажа.

Далее давайте рассмотрим, как другие виды процедурных макросов отличаются от пользовательских выводимых макросов.

Макросы, похожие на атрибут

Подобные атрибутам макросы похожи на пользовательские выводимые макросы, но вместо генерации кода для `derive` атрибута, они позволяют создавать новые атрибуты. Они являются также более гибкими: `derive` работает только для структур и перечислений; атрибут-подобные могут применяться и к другим элементам, таким как функции. Вот пример использования атрибутного макроса: допустим, у вас есть атрибут именованный `route` который аннотирует функции при использовании фреймворка для веб-приложений:

```
#[route(GET, "/")]
fn index() {
```

Данный атрибут `#[route]` будет определён платформой как процедурный макрос. Сигнатура функции определения макроса будет выглядеть так:

```
#[proc_macro_attribute]
pub fn route(attr: TokenStream, item: TokenStream) -> TokenStream {
```

Здесь есть два параметра типа `TokenStream`. Первый для содержимого атрибута: часть `GET`, `"/"`. Второй это тело элемента, к которому прикреплён атрибут: в данном случае `fn index()` и остальная часть тела функции.

Кроме того, атрибутные макросы работают так же как и пользовательские выводимые макросы: вы создаёте крейт с типом `proc-macro` и реализуете функцию, которая генерирует код, который хотите!

Макросы, похожие на функции

Макросы, похожие на функции, выглядят подобно вызову функций. Подобно макросам `macro_rules!` они являются более гибкими, чем функции; например, они могут принимать неизвестное количество аргументов. Тем не менее, макросы `macro_rules!` можно объявлять только с использованием синтаксиса подобного сопоставлению, который мы обсуждали ранее в разделе "[Декларативные макросы `macro_rules!` для общего мета программирования](#)".

Макросы, похожие на функции, принимают параметр `TokenStream` и их определение манипулирует этим `TokenStream`, используя код Rust, как это делают два других типа процедурных макроса. Примером подобного функционально подобного макроса является макрос `sql!`, который можно вызвать так:

```
let sql = sql!(SELECT * FROM posts WHERE id=1);
```

Этот макрос будет разбирать SQL инструкцию внутри него и проверять, что она синтаксически правильная, что является гораздо более сложной обработкой, чем то что может сделать макрос `macro_rules!`. Макрос `sql!` мог бы быть определён так:

```
#[proc_macro]
pub fn sql(input: TokenStream) -> TokenStream {
```

Это определение похоже на сигнатуру пользовательского выводимого макроса: мы получаем токены, которые находятся внутри скобок и возвращаем код, который мы хотели сгенерировать.

Итоги

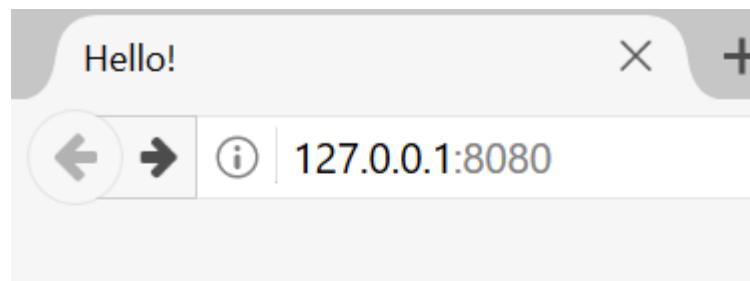
Фух! Теперь у вас в распоряжении есть некоторые возможности Rust, которые вы не будете часто использовать, но вы будете знать, что они доступны в особых обстоятельствах. Мы представили несколько сложных тем, чтобы при появлении сообщения с предложением исправить ошибку или в коде других людей, вы могли бы распознать эти концепции и синтаксис. Используйте эту главу как справочник, который поможет вам найти решение.

Далее мы применим на практике все, что обсуждали на протяжении всей книги, и выполним ещё один проект!

Финальный проект: создание многопоточного веб-сервера

Это был долгий путь, но мы дошли до финала книги. В этой главе мы сделаем ещё один проект, чтобы закрепить несколько тем из последних глав и резюмировать то, что прошли в самом начале.

В качестве нашего финального проекта мы напишем веб-сервер, который выводит надпись "hello" в веб-браузере, как на рисунке 20-1.



Hello!

Hi from Rust

Рисунок 20-1: Наш последний совместный проект

Для создания веб-сервера нам понадобится:

1. Узнать немного о протоколах TCP и HTTP.
2. Сделать прослушивание TCP соединения у сокета.
3. Создать функциональность для парсинга небольшого количества HTTP-запросов.
4. Научить сервер отдавать корректный HTTP-ответ.
5. Улучшить пропускную способность нашего сервера с помощью пула потоков.

Прежде чем мы начнём, заметим: метод, который мы будем использовать - не лучшим способом создания веб-сервера на Rust. Члены сообщества уже опубликовали на [crates.io](#) несколько готовых к использованию крейтов, которые предоставляют более полные реализации веб-сервера и пула потоков, чем те, которые мы создадим. Однако наша цель в этой главе — научиться новому, а не идти по лёгкому пути. Поскольку Rust — это язык системного программирования, мы можем выбирать тот уровень абстракции, который нам подходит, и можем переходить на более низкий уровень, что может быть невозможно или непрактично в других языках. Поэтому мы напишем базовый HTTP-сервер и пул потоков вручную, чтобы вы могли изучить общие идеи и методы, лежащие в основе крейтов, которые, возможно, вы будете использовать в будущем.

Создание однопоточного веб-сервера

Начнём с однопоточного веб-сервера. Перед тем, как начать, давайте сделаем краткий обзор протоколов, задействованных при создании веб-серверов. Детальное описание этих протоколов выходит за рамки этой книги, но краткий обзор даст вам необходимую информацию.

Двумя основными протоколами, используемыми в веб-серверах, являются *протокол передачи гипертекста (HTTP - Hypertext Transfer Protocol)* и *Протокол управления передачей (TCP - Transmission Control Protocol)*. Оба протокола являются протоколами типа *запрос-ответ* (request-response), то есть *клиент* инициирует запросы, а *сервер* слушает эти запросы и предоставляет ответ клиенту. Содержимое этих запросов и ответов определяется протоколами.

TCP - это протокол нижнего уровня, который описывает детали того, как информация передаётся от одного сервера к другому, но не определяет, что это за информация. HTTP строится поверх TCP, определяя содержимое запросов и ответов. Технически возможно использовать HTTP с другими протоколами, но в подавляющем большинстве случаев HTTP отправляет свои данные поверх TCP. Мы будем работать с необработанными байтами в TCP и запросами и ответами в HTTP.

Прослушивание TCP соединения

Нашему веб-серверу необходимо прослушивать TCP-соединение, так что это первая часть, над которой мы будем работать. Стандартная библиотека предлагает для этого модуль `std::net`. Сделаем новый проект обычным способом:

```
$ cargo new hello
      Created binary (application) `hello` project
$ cd hello
```

Дл начала добавьте код из листинга 20-1 в файл `src/main.rs`. Этот код будет прослушивать входящие TCP потоки по адресу `127.0.0.1:7878`. Когда сервер примет входящий поток, он напечатает `Connection established!` ("Соединение установлено!").

Файл: `src/main.rs`

```
use std::net::TcpListener;

fn main() {
    let listener = TcpListener::bind("127.0.0.1:7878").unwrap();

    for stream in listener.incoming() {
        let stream = stream.unwrap();

        println!("Connection established!");
    }
}
```

Листинг 20-1: Прослушивание входящих потоков и печать сообщения при получении потока

Используя `TcpListener` мы можем слушать TCP соединения к адресу `127.0.0.1:7878`. В адресе, в его части перед двоеточием, сначала идёт IP-адрес, относящийся к вашему компьютеру (он одинаковый на каждом компьютере и не представляет конкретный компьютер автора), а часть `7878` является портом. Мы выбрали этот порт по двум причинам: HTTP обычно не используется на этом порту, поэтому маловероятно, что наш сервер будет конфликтовать с каким-нибудь другим сервером, который может выполняться на вашей машине, и ещё `7878` - это слово *rust*, набранное на телефоне.

Функция `bind` в этом сценарии работает так же, как функция `new`, поскольку она возвращает новый экземпляр `TcpListener`. Причина, по которой функция называется `bind` заключается в том, что в сетевой терминологии подключение к порту для прослушивания называется «привязка к порту» (“binding to a port”).

Функция `bind` возвращает `Result<T, E>`, а это значит, что привязка может не состояться. Так, например, подключение к порту 80 предполагает наличие привилегий администратора (прочие пользователи могут прослушивать порты только от 1023-го и выше), поэтому если мы попытаемся подключиться к порту 80, не будучи администратором, привязка не сработает. Привязка также не выполнится, например, если мы запустим два экземпляра нашей программы, прослушивающие один и тот же порт. Поскольку мы пишем простейший сервер в учебных целях, мы не будем беспокоиться об обработке подобных ошибок; вместо этого мы используем `unwrap` для прекращения работы программы в случае возникновения ошибок.

Метод `incoming` в `TcpListener` возвращает итератор, который даёт нам последовательность потоков (конкретнее, потоков типа `TcpStream`). Один *поток* представляет собой открытое соединение между клиентом и сервером. Соединением называется полный процесс запроса и ответа, в котором клиент подключается к серверу, сервер генерирует ответ, и сервер закрывает соединение. Таким образом, мы будем читать из потока `TcpStream` то, что отправил клиент, а затем записывать наш ответ в поток, для отправки его обратно клиенту. В целом, цикл `for` будет обрабатывать каждое соединение по очереди и создавать серию потоков, которые мы будем обрабатывать.

На текущий момент наша обработка потока состоит из вызова `unwrap` для завершения программы, если в потоке возникли ошибки, если же таких не обнаружится, программа выведет сообщение. В следующем листинге мы добавим больше функциональности для успешного сценария. Причиной того, что мы можем получать ошибки от метода `incoming`,

когда клиент подключается к серверу, является то, что на самом деле мы не перебираем подключения. На самом деле мы перебираем *попытки подключения*. Подключение может не состояться по ряду причин, многие из которых зависят от операционной системы. Например, многие операционные системы имеют ограничение на количество одновременно открытых соединений, которые они могут поддерживать; при превышении этого лимита новые попытки установить соединение будут приводить к ошибке, пока какие-либо из уже открытых соединений не будут закрыты.

Попробуем запустить этот код! Вызовите `cargo run` в терминале, а затем загрузите `127.0.0.1:7878` в веб-браузере. В браузере должно отображаться сообщение об ошибке, например «Connection reset», поскольку сервер в настоящее время не отправляет обратно никаких данных. Но когда вы посмотрите на свой терминал, вы должны увидеть несколько сообщений, которые были напечатаны, когда браузер подключался к серверу!

```
Running `target/debug/hello`  
Connection established!  
Connection established!  
Connection established!
```

Иногда вы видите несколько сообщений, напечатанных для одного запроса браузера; причина может заключаться в том, что браузер выполняет запрос страницы, а также других ресурсов, таких как значок `favicon.ico`, который отображается на вкладке браузера.

Также может быть, что браузер пытается подключиться к серверу несколько раз, потому что сервер не отвечает. Когда `stream` выходит из области видимости и отбрасывается в конце цикла, соединение закрывается как часть реализации `drop`. Браузеры иногда обрабатывают закрытые соединения, повторяя попытки, потому что проблема может быть временной. Важным фактором является то, что мы успешно получили дескриптор TCP-соединения!

Не забудьте остановить программу, нажав `ctrl-c`, когда вы закончите выполнение определённой версии кода. Затем перезапустите программу, вызвав команду `cargo run`, после того, как вы внесли какой-либо набор изменений, чтобы убедиться, что выполняется самая свежая версия кода.

Чтение запросов

Реализуем функционал чтения запроса из браузера! Чтобы разделить части, связанные с получением соединения и последующим действием с ним, мы запустим новую функцию для обработки соединения. В этой новой функции `handle_connection` мы будем читать данные из потока TCP и распечатывать их, чтобы мы могли видеть данные, отправленные из браузера. Измените код, чтобы он выглядел как в листинге 20-2.

Файл: `src/main.rs`

```

use std::{
    io::{prelude::*, BufReader},
    net::{TcpListener, TcpStream},
};

fn main() {
    let listener = TcpListener::bind("127.0.0.1:7878").unwrap();

    for stream in listener.incoming() {
        let stream = stream.unwrap();

        handle_connection(stream);
    }
}

fn handle_connection(mut stream: TcpStream) {
    let buf_reader = BufReader::new(&mut stream);
    let http_request: Vec<_> = buf_reader
        .lines()
        .map(|result| result.unwrap())
        .take_while(|line| !line.is_empty())
        .collect();

    println!("Request: {http_request:#?}");
}

```

Листинг 20-2: Чтение из `TcpStream` и печать данных

Мы добавляем `std::io::prelude` и `std::io::BufReader` в область видимости, чтобы получить доступ к типажам и типам, которые позволяют нам читать и писать в поток. В цикле `for` функции `main` вместо вывода сообщения о том, что мы установили соединение, мы теперь вызываем новую функцию `handle_connection` и передаём ей `stream`.

В функции `handle_connection` мы создаём новый экземпляр `BufReader`, который оберачивает изменяющую ссылку на `stream`. `BufReader` добавляет буферизацию, управляя вызовами методов типажа `std::io::Read` за нас.

Мы создаём переменную `http_request` для сбора строк запроса, который браузер отправляет на наш сервер. Мы указываем, что хотим собрать эти строки в вектор, добавляя аннотацию типа `Vec<_>`.

`BufReader` реализует трейт `std::io::BufRead`, который реализует метод `lines`. Метод `lines` возвращает итератор `Result<String, std::io::Error>`, разделяющий поток данных на части всякий раз, когда ему попадается байт новой строки. Чтобы получить все строки `String`, мы с помощью тар вызываем `unwrap` у каждого `Result`. Значение `Result` может быть ошибкой, если данные не соответствуют стандарту UTF-8 или если возникли проблемы с чтением из потока. Опять же, программа в промышленном исполнении должна обрабатывать эти ошибки более изящно, но мы для простоты решили прекращать работу программы в случае ошибки.

Браузер сигнализирует об окончании HTTP-запроса, отправляя два символа перевода строки подряд, поэтому, чтобы получить один запрос из потока, мы забираем строки, пока не получим строку, которая является пустой строкой. После того, как мы собрали строки в вектор,

мы распечатываем их, используя красивое отладочное форматирование, чтобы мы могли взглянуть на инструкции, которые веб-браузер отправляет на наш сервер.

Попробуем этот код! Запустите программу и снова сделайте запрос в веб-браузере. Обратите внимание, что мы по-прежнему будем получать в браузере страницу с ошибкой, но вывод нашей программы в терминале теперь будет выглядеть примерно так:

```
$ cargo run
Compiling hello v0.1.0 (file:///projects/hello)
  Finished dev [unoptimized + debuginfo] target(s) in 0.42s
    Running `target/debug/hello`
Request: [
  "GET / HTTP/1.1",
  "Host: 127.0.0.1:7878",
  "User-Agent: Mozilla/5.0 (Macintosh; Intel Mac OS X 10.15; rv:99.0) Gecko/20100101 Firefox/99.0",
  "Accept: text/html,application/xhtml+xml,application/xml;q=0.9,image/avif,image/webp,*/*;q=0.8",
  "Accept-Language: en-US,en;q=0.5",
  "Accept-Encoding: gzip, deflate, br",
  "DNT: 1",
  "Connection: keep-alive",
  "Upgrade-Insecure-Requests: 1",
  "Sec-Fetch-Dest: document",
  "Sec-Fetch-Mode: navigate",
  "Sec-Fetch-Site: none",
  "Sec-Fetch-User: ?1",
  "Cache-Control: max-age=0",
]
```

В зависимости от вашего браузера результат может немного отличаться. Теперь, когда мы печатаем данные запроса, мы можем понять, почему мы получаем несколько подключений из одного запроса браузера, посмотрев на путь после `GET` в первой строке запроса. Если все повторяющиеся соединения запрашивают `/`, мы знаем, что браузер пытается получить `/` повторно, потому что он не получает ответа от нашей программы.

Давайте разберём эти данные запроса, чтобы понять, что браузер запрашивает у нашей программы.

Пристальный взгляд на HTTP запрос

HTTP - это текстовый протокол и запрос имеет следующий формат:

```
Method Request-URI HTTP-Version CRLF
headers CRLF
message-body
```

Первая строка - это *строка запроса*, содержащая информацию о том, что запрашивает клиент. Первая часть строки запроса указывает используемый *метод*, например `GET` или `POST`, который описывает, как клиент выполняет этот запрос. Наш клиент использовал запрос `GET`, что означает, что он просит нас предоставить информацию.

Следующая часть строки запроса - это `/`, которая указывает унифицированный идентификатор ресурса (*URI*), который запрашивает клиент: *URI* почти, но не совсем то же самое, что и унифицированный указатель ресурса (*URL*). Разница между *URI* и URL-адресами не важна для наших целей в этой главе, но спецификация HTTP использует термин *URI*, поэтому мы можем просто мысленно заменить URL-адрес здесь.

Последняя часть - это версия HTTP, которую использует клиент, а затем строка запроса заканчивается последовательностью *CRLF*. (*CRLF* обозначает *возврат каретки и перевод строки*, что является термином из дней пишущих машинок!) Последовательность *CRLF* также может быть записана как `\r\n`, где `\r` - возврат каретки, а `\n` - перевод строки.

Последовательность *CRLF* отделяет строку запроса от остальных данных запроса. Обратите внимание, что при печати *CRLF* мы видим начало новой строки, а не `\r\n`.

Глядя на данные строки запроса, которые мы получили от запуска нашей программы, мы видим, что `GET` - это метод, `/` - это *URI* запроса, а `HTTP/1.1` - это версия.

После строки запроса оставшиеся строки, начиная с `Host:` далее, являются заголовками. `GET` запросы не имеют тела.

Попробуйте сделать запрос из другого браузера или запросить другой адрес, например `127.0.0.1:7878/test`, чтобы увидеть, как изменяются данные запроса.

Теперь, когда мы знаем, что запрашивает браузер, давайте отправим обратно в ответ некоторые данные!

Написание ответа

Теперь реализуем отправку данных в ответ на запрос клиента. Ответы имеют следующий формат:

```
HTTP-Version Status-Code Reason-Phrase CRLF
headers CRLF
message-body
```

Первая строка - это *строка состояния*, которая содержит версию HTTP, используемую в ответе, числовой код состояния, который суммирует результат запроса, и фразу причины, которая предоставляет текстовое описание кода состояния. После последовательности *CRLF* идут любые заголовки, другая последовательность *CRLF* и тело ответа.

Вот пример ответа, который использует HTTP версии 1.1, имеет код состояния 200, фразу причины OK, без заголовков и без тела:

```
HTTP/1.1 200 OK\r\n\r\n
```

Код состояния 200 - это стандартный успешный ответ. Текст представляет собой крошечный успешный HTTP-ответ. Давайте запишем это в поток как наш ответ на успешный запрос! Из функции `handle_connection` удалите `println!` который печатал данные запроса и заменил их кодом из Листинга 20-3.

Файл: src/main.rs

```
fn handle_connection(mut stream: TcpStream) {
    let buf_reader = BufReader::new(&mut stream);
    let http_request: Vec<_> = buf_reader
        .lines()
        .map(|result| result.unwrap())
        .take_while(|line| !line.is_empty())
        .collect();

    let response = "HTTP/1.1 200 OK\r\n\r\n";
    stream.write_all(response.as_bytes()).unwrap();
}
```

Листинг 20-3: Запись крошечного успешного HTTP-ответа в поток

Первый перевод строки определяет переменную `response`, которая содержит данные сообщения об успешном выполнении. Затем мы вызываем `as_bytes` в нашем `response`, чтобы преобразовать строковые данные в байты. Метод `write_all` в `stream` принимает тип `&[u8]` и отправляет эти байты непосредственно получателю. Поскольку операция `write_all` может завершиться с ошибкой, мы, как и ранее, используем `unwrap` на любом потенциально ошибочном результате. И опять, в реальном приложении здесь вам нужно было бы добавить обработку ошибок.

После этих изменений давайте запустим наш код и сделаем запрос. Мы больше не печатаем никаких данных в терминал, поэтому мы не увидим никакого вывода, кроме сообщений от Cargo. Когда вы загрузите `127.0.0.1:7878` в веб-браузере, вы должны получить пустую страницу вместо ошибки. Вы только что вручную написали код получения HTTP-запроса и отправки ответа на него!

Возвращение реального HTML

Давайте реализуем функционал чего-нибудь большего, чем просто пустой страницы. Создайте новый файл `hello.html` в корне каталога вашего проекта, а не в каталоге `src`. Вы можете ввести любой HTML-код, который вам заблагорассудится; В листинге 20-4 показан один из вариантов.

Файл: `hello.html`

```
<!DOCTYPE html>
<html lang="en">
    <head>
        <meta charset="utf-8">
        <title>Hello!</title>
    </head>
    <body>
        <h1>Hello!</h1>
        <p>Hi from Rust</p>
    </body>
</html>
```

Листинг 20-4: Пример HTML-файла для ответа на запрос

Это простейший HTML5-документ с заголовком и каким-то текстом. Чтобы сервер возвращал его в ответ на полученный запрос, мы изменим `handle_connection`, как показано в листинге 20-5, чтобы считать HTML-файл, добавить его в ответ в качестве тела и отправить.

Файл: src/main.rs

```
use std::{
    fs,
    io::{prelude::*, BufReader},
    net::{TcpListener, TcpStream},
};

// --snip--

fn handle_connection(mut stream: TcpStream) {
    let buf_reader = BufReader::new(&mut stream);
    let http_request: Vec<_> = buf_reader
        .lines()
        .map(|result| result.unwrap())
        .take_while(|line| !line.is_empty())
        .collect();

    let status_line = "HTTP/1.1 200 OK";
    let contents = fs::read_to_string("hello.html").unwrap();
    let length = contents.len();

    let response =
        format!("{}Content-Length: {}\r\n\r\n{}", status_line, length, contents);

    stream.write_all(response.as_bytes()).unwrap();
}
```

Листинг 20-5. Отправка содержимого `hello.html` в качестве тела ответа

Мы добавили элемент `fs` в инструкцию `use`, чтобы включить в область видимости модуль файловой системы стандартной библиотеки. Код для чтения содержимого файла в строку должен выглядеть знакомым для вас; мы использовали его в главе 12, когда читали содержимое файла для нашего проекта ввода-вывода в листинге 12-4.

Далее мы используем `format!` чтобы добавить содержимое файла в качестве тела ответа об успешном завершении. Чтобы гарантировать действительный HTTP-ответ, мы добавляем заголовок `Content-Length` который имеет размер тела нашего ответа, в данном случае размер `hello.html`.

Запустите этот код командой `cargo run` и загрузите `127.0.0.1:7878` в браузере; вы должны увидеть выведенный HTML в браузере!

В настоящее время мы игнорируем данные запроса в переменной `http_request` и в любом случае просто отправляем обратно содержимое HTML-файла. Это означает, что если вы попытаетесь запросить адрес `127.0.0.1:7878/something-else` в своём браузере, вы все равно получите тот же самый HTML-ответ. Пока что наш сервер очень ограничен, и не умеет делать то, что делает большинство веб-серверов. Мы хотим настроить наши ответы в зависимости от

запроса и отправлять обратно HTML-файл только для правильно сформированного запроса к пути /.

Проверка запроса и выборочное возвращение ответа

Сейчас наш веб-сервер возвращает HTML из файла независимо от того, что конкретно запросил клиент. Давайте добавим проверку того, что браузер запрашивает /, прежде чем вернуть HTML-файл, и будем возвращать ошибку, если браузер запрашивает что-то постороннее. Для этого нам нужно модифицировать `handle_connection`, как показано в листинге 20-6. Новый код проверяет соответствует ли требуемый запросом ресурс с идентификатором /, и содержит блоки `if` и `else`, чтобы иначе обрабатывать другие запросы.

Файл: src/main.rs

```
// --snip--  
  
fn handle_connection(mut stream: TcpStream) {  
    let buf_reader = BufReader::new(&mut stream);  
    let request_line = buf_reader.lines().next().unwrap().unwrap();  
  
    if request_line == "GET / HTTP/1.1" {  
        let status_line = "HTTP/1.1 200 OK";  
        let contents = fs::read_to_string("hello.html").unwrap();  
        let length = contents.len();  
  
        let response = format!(  
            "{}\r\nContent-Length: {}\r\n\r\n{}",  
            status_line, length, contents  
        );  
  
        stream.write_all(response.as_bytes()).unwrap();  
    } else {  
        // some other request  
    }  
}
```

Листинг 20-6: Обрабатываем запросы для корневого ресурса / не так, как запросы для других ресурсов

Мы будем рассматривать только первую строку HTTP-запроса, поэтому вместо того, чтобы читать весь запрос в вектор, мы вызываем `next`, чтобы получить первый элемент из итератора. Первый вызов `unwrap` заботится об обработке `Option` и останавливает программу, если в итераторе нет элементов. Второй `unwrap` обрабатывает `Result` и имеет тот же эффект, что и `unwrap`, который был в `map`, добавленном в листинге 20-2.

Затем мы проверяем переменную `request_line`, чтобы увидеть, равна ли она строке запроса, соответствующей запросу GET для пути /. Если это так, блок `if` возвращает содержимое нашего HTML-файла.

Если `request_line` не равна запросу GET для пути /, это означает, что мы получили какой-то другой запрос. Мы скоро добавим код в блок `else`, чтобы ответить на все остальные запросы.

Запустите этот код сейчас и запросите `127.0.0.1:7878`; вы должны получить HTML в `hello.html`. Если вы сделаете любой другой запрос, например `127.0.0.1:7878/something-else`, вы получите ошибку соединения, подобную той, которую вы видели при запуске кода из Листинга 20-1 и Листинга 20-2.

Теперь давайте добавим код из листинга 20-7 в блок `else` чтобы вернуть ответ с кодом состояния 404, который сигнализирует о том, что контент для запроса не найден. Мы также вернём HTML-код для страницы, отображаемой в браузере, с указанием ответа конечному пользователю.

Файл: `src/main.rs`

```
// --snip--  
} else {  
    let status_line = "HTTP/1.1 404 NOT FOUND";  
    let contents = fs::read_to_string("404.html").unwrap();  
    let length = contents.len();  
  
    let response = format!(  
        "{status_line}\r\nContent-Length: {length}\r\n\r\n{contents}"  
    );  
  
    stream.write_all(response.as_bytes()).unwrap();  
}
```

Листинг 20-7: Отвечаем кодом состояния 404 и страницей ошибки, если было запрошено что-то, отличающееся от ресурса /

Здесь ответ имеет строку состояния с кодом 404 и фразу причины `NOT FOUND`. Тело ответа будет HTML из файла `404.html`. Вам нужно создать файл `404.html` рядом с `hello.html` для этой страницы ошибки; снова не стесняйтесь использовать любой HTML код или пример HTML кода в листинге 20-8.

Файл: `404.html`

```
<!DOCTYPE html>  
<html lang="en">  
  <head>  
    <meta charset="utf-8">  
    <title>Hello!</title>  
  </head>  
  <body>  
    <h1>Oops!</h1>  
    <p>Sorry, I don't know what you're asking for.</p>  
  </body>  
</html>
```

Листинг 20-8. Пример содержимого страницы для отправки с любым ответом 404

С этими изменениями снова запустите сервер. Запрос на `127.0.0.1:7878` должен возвращать содержимое `hello.html`, и любой другой запрос, как `127.0.0.1:7878/foo`, должен возвращать сообщение об ошибке HTML от `404.html`.

Рефакторинг

На текущий момент блоки `if` и `else` во многом повторяются: они оба читают файлы и записывают содержимое файлов в поток. Разница лишь в строке состояния и имени файла. Давайте сделаем код более лаконичным, вынеся эти отличия в отдельные блоки `if` и `else`, в которых переменным будут присвоены значения строки состояния и имени файла; далее эти переменные мы сможем использовать в коде для чтения файла и создания ответа. В листинге 20-9 показан код после изменения объемных блоков `if` и `else`.

Файл: src/main.rs

```
// --snip--  
  
fn handle_connection(mut stream: TcpStream) {  
    // --snip--  
  
    let (status_line, filename) = if request_line == "GET / HTTP/1.1" {  
        ("HTTP/1.1 200 OK", "hello.html")  
    } else {  
        ("HTTP/1.1 404 NOT FOUND", "404.html")  
    };  
  
    let contents = fs::read_to_string(filename).unwrap();  
    let length = contents.len();  
  
    let response =  
        format!("{}Content-Length: {}\r\n\r\n{}", status_line, length, contents);  
  
    stream.write_all(response.as_bytes()).unwrap();  
}
```

Листинг 20-9: Рефакторинг блоков `if` и `else`, чтобы они содержали только код, который отличается для каждого из случаев

Теперь блоки `if` и `else` возвращают только соответствующие значения для строки состояния и имени файла в кортеже. Затем мы используем деструктурирование, чтобы присвоить эти два значения `status_line` и `filename` используя шаблон в инструкции `let`, как обсуждалось в главе 18.

Ранее дублированный код теперь находится вне блоков `if` и `else` и использует переменные `status_line` и `filename`. Это позволяет легче увидеть разницу между этими двумя случаями и означает, что у нас есть только одно место для обновления кода, если захотим изменить работу чтения файлов и записи ответов. Поведение кода в листинге 20-9 будет таким же, как и в 20-8.

Потрясающие! Теперь у нас есть простой веб-сервер примерно на 40 строках кода Rust, который отвечает на один запрос страницей с контентом и отвечает на все остальные запросы ответом 404.

В настоящее время наш сервер работает в одном потоке, что означает, что он может обслуживать только один запрос за раз. Давайте разберёмся, почему это может быть

проблемой, сымитировав несколько медленных запросов. Затем мы исправим ситуацию так, чтобы наш сервер мог обрабатывать несколько запросов одновременно.

Превращение однопоточного сервера в многопоточный сервер

В текущей реализации сервер обрабатывает каждый запрос по очереди, то есть, он не начнёт обрабатывать второе соединение, пока не завершит обработку первого. При росте числа запросов к серверу, такое последовательное выполнение было бы все менее и менее оптимальным. Если сервер получает какой-то запрос, обработка которого занимает достаточно много времени, последующим запросам придётся ждать завершения обработки длительного запроса, даже если эти новые запросы сами по себе могут быть обработаны быстро. Нам нужно это исправить, но сначала рассмотрим проблему в действии.

Имитация медленного запроса в текущей реализации сервера

Мы посмотрим, как запрос с медленной обработкой может повлиять на другие запросы, сделанные к серверу в текущей реализации. В листинге 20-10 реализована обработка запроса к ресурсу `/sleep` с эмуляцией медленного ответа, при которой сервер будет ждать 5 секунд перед тем, как ответить.

Файл: `src/main.rs`

```
use std::{
    fs,
    io::{prelude::*, BufReader},
    net::{TcpListener, TcpStream},
    thread,
    time::Duration,
};

// --snip--

fn handle_connection(mut stream: TcpStream) {
    // --snip--

    let (status_line, filename) = match &request_line[..] {
        "GET / HTTP/1.1" => ("HTTP/1.1 200 OK", "hello.html"),
        "GET /sleep HTTP/1.1" => {
            thread::sleep(Duration::from_secs(5));
            ("HTTP/1.1 200 OK", "hello.html")
        }
        _ => ("HTTP/1.1 404 NOT FOUND", "404.html"),
    };
    // --snip--
}
```

Листинг 20-10: Имитация медленного запроса с помощью 5-секундной задержки

Мы переключились с `if` на `match`, так как теперь у нас есть три случая. Нам придётся явно сопоставить срез от `request_line` для проверки совпадения шаблона со строковыми

литералами; `match` не делает автоматические ссылки и разыменования, как это делает метод равенства.

Первая ветка совпадает с блоком `if` из листинга 20-9. Вторая ветка соответствует запросу `/sleep`. Когда этот запрос получен, сервер заснёт на 5 секунд, прежде чем отдать успешную HTML-страницу. Третья ветка совпадает с блоком `else` из листинга 20-9.

Можно увидеть, насколько примитивен наш сервер: в реальных библиотеках распознавание разных запросов осуществлялось бы гораздо менее многословно!

Запустите сервер командой `cargo run`. Затем откройте два окна браузера: одно с адресом `http://127.0.0.1:7878/`, другое с `http://127.0.0.1:7878/sleep`. Если вы несколько раз обратитесь к URI `/`, то как и раньше увидите, что сервер быстро ответит. Но если вы введёте URI `/sleep`, а затем загрузите URI `/`, то увидите что / ждёт, пока `/sleep` не отработает полные 5 секунд перед загрузкой страницы.

Есть несколько способов, которые можно использовать, чтобы избавиться от подтормаживания запросов после одного медленного запроса; способ, который мы реализуем, называется пулом потоков.

Улучшение пропускной способности с помощью пула потоков

Пул потоков является группой заранее порождённых потоков, ожидающих в пуле и готовых выполнить задачу. Когда программа получает новую задачу, она назначает эту задачу одному из потоков в пуле, и тогда задача будет обработана этим потоком. Остальные потоки в пуле доступны для обработки любых других задач, поступающих в то время, пока первый поток занят. Когда первый поток завершает обработку своей задачи, он возвращается в пул свободных потоков, готовых приступить к новой задаче. Пул потоков позволяет обрабатывать соединения параллельно, увеличивая пропускную способность вашего сервера.

Мы ограничим число потоков в пуле небольшим числом, чтобы защитить нас от атак типа «отказ в обслуживании» (DoS - Denial of Service); если бы наша программа создавала новый поток в момент поступления каждого запроса, то кто-то сделавший 10 миллионов запросов к серверу, мог бы создать хаос, использовать все ресурсы нашего сервера и остановить обработку запросов.

Вместо порождения неограниченного количества потоков, у нас будет фиксированное количество потоков, ожидающих в пуле. Поступающие запросы будут отправляться в пул для обработки. Пул будет иметь очередь входящих запросов. Каждый из потоков в пуле будет извлекать запрос из этой очереди, обрабатывать запрос и затем запрашивать в очереди следующий запрос. При таком дизайне мы можем обрабатывать N запросов одновременно, где N - количество потоков. Если каждый поток отвечает на длительный запрос, последующие запросы могут по-прежнему задержаться в очереди, но теперь мы увеличили количество "длинных" запросов, которые мы можем обработать, перед тем, как эта ситуация снова возникнет.

Этот подход - лишь один из многих способов улучшить пропускную способность веб-сервера. Другими вариантами, на которые возможно стоило бы обратить внимание, являются: модель *fork/join*, модель однопоточного асинхронного ввода-вывода или модель многопоточного асинхронного ввода-вывода. Если вам интересна эта тема, вы можете почитать больше информации о других решениях и попробовать реализовать их самостоятельно. С таким низкоуровневым языком как Rust, любой из этих вариантов осуществим.

Прежде чем приступить к реализации пула потоков, давайте поговорим о том, как должно выглядеть использование пула. Когда вы пытаетесь проектировать код, сначала необходимо написать клиентский интерфейс. Напишите API кода, чтобы он был структурирован так, как вы хотите его вызывать, затем реализуйте функциональность данной структуры, вместо подхода реализовывать функционал, а затем разрабатывать общедоступный API.

Подобно тому, как мы использовали разработку через тестирование (test-driven) в проекте главы 12, мы будем использовать здесь разработку, управляемую компилятором (compiler-driven). Мы напишем код, вызывающий нужные нам функции, а затем посмотрим на ошибки компилятора, чтобы определить, что мы должны изменить дальше, чтобы заставить код работать. Однако перед этим, в качестве отправной точки, мы рассмотрим технику, которую мы не будем применять в дальнейшем.

Порождение потока для каждого запроса

Сначала давайте рассмотрим, как мог бы выглядеть код, если бы он создавал бы новый поток для каждого соединения. Как упоминалось ранее, мы не планируем использовать этот способ в окончательной реализации, из-за возможных проблем при потенциально неограниченном числе порождённых потоков. Это лишь отправная точка, с которой начнёт работу наш многопоточный сервер. Затем мы улучшим код, добавив пул потоков, и тогда разницу между этими двумя решениями будет легче заметить. В листинге 20-11 показаны изменения, которые нужно внести в код `main`, чтобы порождать новый поток для обработки каждого входящего соединения внутри цикла `for`.

Файл: src/main.rs

```
fn main() {
    let listener = TcpListener::bind("127.0.0.1:7878").unwrap();

    for stream in listener.incoming() {
        let stream = stream.unwrap();

        thread::spawn(|| {
            handle_connection(stream);
        });
    }
}
```

Листинг 20-11: Порождение нового потока для каждого соединения

Как вы изучили в главе 16, функция `thread::spawn` создаст новый поток и затем запустит код замыкания в этом новом потоке. Если вы запустите этот код и загрузите `/sleep` в своём браузере, а затем загрузите `/` в двух других вкладках браузера, вы действительно увидите, что

запросам к / не приходится ждать завершения `/sleep`. Но, как мы уже упоминали, это в какой-то момент приведёт к сильному снижению производительности системы, так как вы будете создавать новые потоки без каких-либо ограничений.

Создание конечного числа потоков

Мы хотим, чтобы наш пул потоков работал аналогичным, знакомым образом, чтобы переключение с потоков на пул потоков не требовало больших изменений в коде использующем наш API. В листинге 20-12 показан гипотетический интерфейс для структуры `ThreadPool`, который мы хотим использовать вместо `thread::spawn`.

Файл: `src/main.rs`

```
fn main() {
    let listener = TcpListener::bind("127.0.0.1:7878").unwrap();
    let pool = ThreadPool::new(4);

    for stream in listener.incoming() {
        let stream = stream.unwrap();

        pool.execute(|| {
            handle_connection(stream);
        });
    }
}
```



Листинг 20-12: Наш идеальный интерфейс `ThreadPool`

Мы используем `ThreadPool::new`, чтобы создать новый пул потоков с конфигурируемым числом потоков, в данном случае четырьмя. Затем в цикле `for` функция `pool.execute` имеет интерфейс, похожий на `thread::spawn`, в том смысле, что он так же принимает замыкание, код которого пул должен выполнить для каждого соединения. Нам нужно реализовать `pool.execute`, чтобы он принимал замыкание и передавал его потоку из пула для выполнения. Этот код пока не скомпилируется, но мы постараемся, чтобы компилятор помог нам это исправить.

Создание `ThreadPool` с помощью разработки, управляемой компилятором

Внесите изменения листинга 20-12 в файл `src/main.rs`, а затем давайте воспользуемся ошибками компилятора из команды `cargo check` для управления нашей разработкой. Вот первая ошибка, которую мы получаем:

```
$ cargo check
  Checking hello v0.1.0 (file:///projects/hello)
error[E0433]: failed to resolve: use of undeclared type `ThreadPool`
--> src/main.rs:11:16
   |
11 |     let pool = ThreadPool::new(4);
   |           ^^^^^^^^^^ use of undeclared type `ThreadPool`


For more information about this error, try `rustc --explain E0433`.
error: could not compile `hello` (bin "hello") due to 1 previous error
```

Замечательно! Ошибка говорит о том, что нам нужен тип или модуль `ThreadPool`, поэтому мы сейчас его создадим. Наша реализация `ThreadPool` не будет зависеть от того, что делает наш веб-сервер. Итак, давайте переделаем крейт `hello` из бинарного в библиотечный, чтобы хранить там нашу реализацию `ThreadPool`. После того, как мы переключимся в библиотечный крейт, мы также сможем использовать отдельную библиотеку пула потоков для любой подходящей работы, а не только для обслуживания веб-запросов.

Создайте файл `src/lib.rs`, который содержит следующий код, который является простейшим определением структуры `ThreadPool`, которое мы можем иметь на данный момент:

Файл: `src/lib.rs`

```
pub struct ThreadPool;
```

Затем отредактируйте файл `main.rs`, чтобы внести `ThreadPool` из библиотечного крейта в текущую область видимости, добавив следующий код в начало `src/main.rs`:

Файл: `src/main.rs`

```
use hello::ThreadPool;
```

Этот код по-прежнему не будет работать, но давайте проверим его ещё раз, чтобы получить следующую ошибку, которую нам нужно устраниТЬ:

```
$ cargo check
  Checking hello v0.1.0 (file:///projects/hello)
error[E0599]: no function or associated item named `new` found for struct `ThreadPool` in the current scope
--> src/main.rs:12:28
   |
12 |     let pool = ThreadPool::new(4);
   |           ^^^ function or associated item not found in
`ThreadPool`


For more information about this error, try `rustc --explain E0599`.
error: could not compile `hello` (bin "hello") due to 1 previous error
```

Эта ошибка указывает, что далее нам нужно создать ассоциированную функцию с именем `new` для `ThreadPool`. Мы также знаем, что `new` должна иметь один параметр, который может принимать `4` в качестве аргумента и должен возвращать экземпляр `ThreadPool`. Давайте реализуем простейшую функцию `new`, которая будет иметь эти характеристики:

```
pub struct ThreadPool;

impl ThreadPool {
    pub fn new(size: usize) -> ThreadPool {
        ThreadPool
    }
}
```

Мы выбираем `usize` в качестве типа параметра `size`, потому что мы знаем, что отрицательное число потоков не имеет никакого смысла. Мы также знаем, что мы будем использовать число 4 в качестве количества элементов в коллекции потоков, для чего предназначен тип `usize`, как обсуждалось в разделе "Целочисленные типы" главы 3.

Давайте проверим код ещё раз:

```
$ cargo check
  Checking hello v0.1.0 (file:///projects/hello)
error[E0599]: no method named `execute` found for struct `ThreadPool` in the current
scope
--> src/main.rs:17:14
   |
17 |         pool.execute(|| {
   |             ^^^^^^ method not found in `ThreadPool`
For more information about this error, try `rustc --explain E0599`.
error: could not compile `hello` (bin "hello") due to 1 previous error
```

Теперь мы ошибка возникает из-за того, что у нас нет метода `execute` в структуре `ThreadPool`. Вспомните раздел "Создание конечного числа потоков", в котором мы решили, что наш пул потоков должен иметь интерфейс, похожий на `thread::spawn`. Кроме того, мы реализуем функцию `execute`, чтобы она принимала замыкание и передавала его свободному потоку из пула для запуска.

Мы определим метод `execute` у `ThreadPool`, принимающий замыкание в качестве параметра. Вспомните из раздела "Перемещение захваченных значений из замыканий и трейты Fn" главы 13 информацию о том, что мы можем принимать замыкания в качестве параметров тремя различными типажами: `Fn`, `FnMut` и `FnOnce`. Нам нужно решить, какой тип замыкания использовать здесь. Мы знаем, что в конечном счёте мы сделаем что-то похожее на реализацию стандартной библиотеки `thread::spawn`, поэтому мы можем посмотреть, какие ограничения накладывает на свой параметр сигнатура функции `thread::spawn`.

Документация показывает следующее:

```
pub fn spawn<F, T>(f: F) -> JoinHandle<T>
where
    F: FnOnce() -> T,
    F: Send + 'static,
    T: Send + 'static,
```

Параметр типа `F` - это как раз то, что нас интересует; параметр типа `T` относится к возвращаемому значению и нам он не интересен. Можно увидеть, что `spawn` использует

`FnOnce` в качестве ограничения типажа у `F`. Возможно это как раз то, чего мы хотим, так как в конечном итоге мы передадим полученный в `execute` аргумент в функцию `spawn`. Дополнительную уверенность в том, что `FnOnce` - это именно тот типаж, который мы хотим использовать, нам даёт факт, что поток для выполнения запроса будет выполнять замыкание этого запроса только один раз, что соответствует части `Once` ("единожды") в названии типажа `FnOnce`.

Параметр типа `F` также имеет ограничение типажа `Send` и ограничение времени жизни `'static'`, которые полезны в нашей ситуации: нам нужен `Send` для передачи замыкания из одного потока в другой и `'static'`, потому что мы не знаем, сколько времени поток будет выполняться. Давайте создадим метод `execute` для `ThreadPool`, который будет принимать обобщённый параметр типа `F` со следующими ограничениями:

Файл: `src/lib.rs`

```
impl ThreadPool {
    // --snip--
    pub fn execute<F>(&self, f: F)
    where
        F: FnOnce() + Send + 'static,
    {
    }
}
```

Мы по-прежнему используем `()` после `FnOnce` потому что типаж `FnOnce` представляет замыкание, которое не принимает параметров и возвращает единичный тип `()`. Также как и при определении функций, тип возвращаемого значения в сигнатуре может быть опущен, но даже если у нас нет параметров, нам все равно нужны скобки.

Опять же, это самая простая реализация метода `execute`: она ничего не делает, мы просто пытаемся сделать код компилируемым. Давайте проверим снова:

```
$ cargo check
Checking hello v0.1.0 (file:///projects/hello)
Finished `dev` profile [unoptimized + debuginfo] target(s) in 0.24s
```

Сейчас мы получаем только предупреждения, что означает, что код компилируется! Но обратите внимание, если вы попробуете `cargo run` и сделаете запрос в браузере, вы увидите ошибки в браузере, которые мы видели в начале главы. Наша библиотека на самом деле ещё не вызывает замыкание, переданное в `execute`!

Примечание: вы возможно слышали высказывание о языках со строгими компиляторами, таких как Haskell и Rust, которое звучит так: «Если код компилируется, то он работает». Но это высказывание не всегда верно. Наш проект компилируется, но абсолютно ничего не делает! Если бы мы создавали реальный, законченный проект, это был бы хороший момент начать писать модульные тесты, чтобы проверять, что код компилируется и имеет желаемое поведение.

Проверка количества потоков в `new`

Мы ничего не делаем с параметрами `new` и `execute`. Давайте реализуем тела этих функций с нужным нам поведением. Для начала давайте подумаем о `new`. Ранее мы выбрали беззнаковый тип для параметра `size`, потому что пул с отрицательным числом потоков не имеет смысла. Пул с нулём потоков также не имеет смысла, однако ноль - это вполне допустимое значение `usize`. Мы добавим код для проверки того, что `size` больше нуля, прежде чем вернуть экземпляр `ThreadPool`, и заставим программу паниковать, если она получит ноль, используя макрос `assert!`, как показано в листинге 20-13.

Файл: `src/lib.rs`

```
impl ThreadPool {
    /// Create a new ThreadPool.
    ///
    /// The size is the number of threads in the pool.
    ///
    /// # Panics
    ///
    /// The `new` function will panic if the size is zero.
    pub fn new(size: usize) -> ThreadPool {
        assert!(size > 0);

        ThreadPool
    }

    // --snip--
}
```

Листинг 20-13: Реализация `ThreadPool::new` с аварийным завершением работы, если `size` равен нулю

Мы добавили немного документации для нашей структуры `ThreadPool` с помощью комментариев. Обратите внимание, что мы следовали хорошим практикам документирования, добавив раздел, в котором указывается ситуация, при которой функция может аварийно завершаться, как это обсуждалось в главе 14. Попробуйте запустить `cargo doc --open` и кликнуть на структуру `ThreadPool`, чтобы увидеть как выглядит сгенерированная документация для `new`!

Вместо добавления макроса `assert!`, как мы здесь сделали, мы могли бы преобразовать функцию `new` в функцию `build` таким образом, чтобы она возвращала `Result`, аналогично тому, как мы делали в функции `Config::new` проекта ввода/вывода в листинге 12-9. Но в данном случае мы решили, что попытка создания пула потоков без указания хотя бы одного потока должна быть непоправимой ошибкой. Если вы чувствуете такое стремление, попробуйте написать функцию `build` с сигнатурой ниже, для сравнения с функцией `new`:

```
pub fn build(size: usize) -> Result<ThreadPool, PoolCreationError> {
```

Создание места для хранения потоков

Теперь, имея возможность удостовериться, что количество потоков для хранения в пуле соответствует требованиям, мы можем создавать эти потоки и сохранять их в структуре `ThreadPool` перед тем как возвратить её. Но как мы "сохраним" поток? Давайте ещё раз посмотрим на сигнатуру `thread::spawn`:

```
pub fn spawn<F, T>(f: F) -> JoinHandle<T>
where
    F: FnOnce() -> T,
    F: Send + 'static,
    T: Send + 'static,
```

Функция `spawn` возвращает тип `JoinHandle<T>`, где `T` является типом, который возвращает замыкание. Давайте попробуем использовать `JoinHandle` и посмотрим, что произойдёт. В нашем случае замыкания, которые мы передаём пулу потоков, будут обрабатывать соединение и не будут возвращать ничего, поэтому `T` будет единичным (unit) типом `()`.

Код в листинге 20-14 скомпилируется, но пока не создаст ни одного потока. Мы изменили определение `ThreadPool` так, чтобы он содержал вектор экземпляров `thread::JoinHandle<()>`, инициализировали вектор ёмкостью `size`, установили цикл `for`, который будет выполнять некоторый код для создания потоков, и вернули экземпляр `ThreadPool`, содержащий их.

Файл: src/lib.rs

```
use std::thread;

pub struct ThreadPool {
    threads: Vec<thread::JoinHandle<()>>,
}

impl ThreadPool {
    // --snip--
    pub fn new(size: usize) -> ThreadPool {
        assert!(size > 0);

        let mut threads = Vec::with_capacity(size);

        for _ in 0..size {
            // create some threads and store them in the vector
        }

        ThreadPool { threads }
    }
    // --snip--
}
```



Листинг 20-14: Создание вектора в `ThreadPool` для хранения потоков

Мы включили `std::thread` в область видимости библиотечного крейта, потому что мы используем `thread::JoinHandle` в качестве типа элементов вектора в `ThreadPool`.

После получения корректного значения `size`, наш `ThreadPool` создаёт новый вектор, который может содержать `size` элементов. Функция `with_capacity` выполняет ту же задачу, что и `Vec::new`, но с важным отличием: она заранее выделяет необходимый объём памяти в векторе. Поскольку мы знаем, что нам нужно хранить `size` элементов в векторе, предварительное выделение памяти для этих элементов будет немного более эффективным, чем использование `Vec::new`, при котором размер вектора будет увеличиваться по мере вставки элементов.

Если вы снова запустите команду `cargo check`, она должна завершиться успешно.

Структура `Worker`, ответственная за отправку кода из `ThreadPool` в поток

Мы специально оставили комментарий в цикле `for` в Листинге 20-14 по поводу создания потоков. Сейчас мы разберёмся, как на самом деле создаются потоки. Стандартная библиотека предоставляет `thread::spawn` для создания потоков, причём `thread::spawn` ожидает получить некоторый код, который поток должен выполнить, как только он будет создан. Однако в нашем случае мы хотим создавать потоки и заставлять их *ожидать* код, который мы будем передавать им позже. Реализация потоков в стандартной библиотеке не предоставляет никакого способа сделать это, мы должны реализовать это вручную.

Мы будем реализовывать это поведение, добавив новую структуру данных между `ThreadPool` и потоками, которая будет управлять этим новым поведением. Мы назовём эту структуру `Worker` ("работник"), это общепринятое имя в реализации пулов. Работник берёт код, который нужно выполнить, и запускает этот код внутри рабочего потока. Представьте людей, работающих на кухне ресторана: работники ожидают, пока не поступят заказы от клиентов, а затем они несут ответственность за принятие этих заказов и их выполнение.

Вместо того чтобы хранить вектор экземпляров `JoinHandle<()>` в пуле потоков, мы будем хранить экземпляры структуры `Worker`. Каждый `Worker` будет хранить один экземпляр `JoinHandle<()>`. Затем мы реализуем метод у `Worker`, который будет принимать замыкание и отправлять его в существующий поток для выполнения. Для того чтобы мы могли различать работники в пуле при логировании или отладке, мы также присвоим каждому работнику `id`.

Вот как выглядит новая последовательность действий, которые будут происходить при создании `ThreadPool`. Мы реализуем код, который будет отправлять замыкание в поток, после того, как у нас будет `Worker`, заданный следующим образом:

1. Определим структуру `Worker`, которая содержит `id` и `JoinHandle<()>`.
2. Изменим `ThreadPool`, чтобы он содержал вектор экземпляров `Worker`.
3. Определим функцию `Worker::new`, которая принимает номер `id` и возвращает экземпляр `Worker`, который содержит `id` и поток, порождённый с пустым замыканием.
4. В `ThreadPool::new` используем счётчик цикла `for` для генерации `id`, создаём новый `Worker` с этим `id` и сохраняем экземпляр "работника" в вектор.

Если вы готовы принять вызов, попробуйте реализовать эти изменения самостоятельно, не глядя на код в листинге 20-15.

Готовы? Вот листинг 20-15 с одним из способов сделать указанные ранее изменения.

Файл: src/lib.rs

```
use std::thread;

pub struct ThreadPool {
    workers: Vec<Worker>,
}

impl ThreadPool {
    // --snip--
    pub fn new(size: usize) -> ThreadPool {
        assert!(size > 0);

        let mut workers = Vec::with_capacity(size);

        for id in 0..size {
            workers.push(Worker::new(id));
        }

        ThreadPool { workers }
    }
    // --snip--
}

struct Worker {
    id: usize,
    thread: thread::JoinHandle<()>,
}

impl Worker {
    fn new(id: usize) -> Worker {
        let thread = thread::spawn(|| {});

        Worker { id, thread }
    }
}
```

Листинг 20-15: Изменение `ThreadPool` для хранения экземпляров `Worker` вместо непосредственного хранения потоков

Мы изменили название поля в `ThreadPool` с `threads` на `workers`, поскольку теперь оно содержит экземпляры `Worker` вместо экземпляров `JoinHandle<()>`. Мы используем счётчик в цикле `for` для передачи цифрового идентификатора в качестве аргумента `Worker::new`, и сохраняем каждый новый `Worker` в векторе с именем `workers`.

Внешний код (вроде нашего сервера в `src/bin/main.rs`) не обязательно должен знать подробности реализации, касающиеся использования структуры `Worker` внутри `ThreadPool`, поэтому мы делаем структуру `Worker` и её функцию `new` приватными. Функция `Worker::new` использует заданный нами `id` и сохраняет экземпляр `JoinHandle<()>`, который создаётся при порождении нового потока с пустым замыканием.

Примечание: Если операционная система не может создать поток из-за нехватки системных ресурсов, `thread::spawn` аварийно завершится. Это приведёт к аварийному завершению нашего сервера целиком, даже если некоторые потоки были созданы успешно. Для простоты будем считать, что нас устраивает такое поведение, но в реальной реализации пула потоков вы, вероятно, захотите использовать `std::thread::Builder` и его метод `spawn`, который вместо этого возвращает `Result`.

Этот код скомпилируется и будет хранить количество экземпляров `Worker`, которое мы указали в качестве аргумента функции `ThreadPool::new`. Но мы всё ещё не обрабатываем замыкание, которое мы получаем в методе `execute`. Давайте посмотрим, как это сделать далее.

Отправка запросов в потоки через каналы

Следующая проблема, с которой мы будем бороться, заключается в том, что замыкания, переданные в `thread::spawn` абсолютно ничего не делают. Сейчас мы получаем замыкание, которое хотим выполнить, в методе `execute`. Но мы должны передать какое-то замыкание в метод `thread::spawn`, при создании каждого `Worker` во время создания `ThreadPool`.

Мы хотим, чтобы вновь созданные структуры `Worker` извлекали код для запуска из очереди, хранящейся в `ThreadPool` и отправляли этот код в свой поток для выполнения.

Каналы (channels), простой способ коммуникации между двумя потоками, с которыми мы познакомились в главе 16, кажется идеально подойдут для этого сценария. Мы будем использовать канал в качестве очереди заданий, а команда `execute` отправит задание из `ThreadPool` экземплярам `Worker`, которые будут отправлять задание в свой поток. План таков:

1. `ThreadPool` создаст канал и будет хранить отправитель.
2. Каждый `Worker` будет хранить приёмник.
3. Мы создадим новую структуру `Job`, которая будет хранить замыкания, которые мы хотим отправить в канал.
4. Метод `execute` отправит задание, которое он хочет выполнить, в отправляющую сторону канала.
5. В своём потоке `Worker` будет циклически опрашивать принимающую сторону канала и выполнять замыкание любого задания, которое он получит.

Давайте начнём с создания канала в `ThreadPool::new` и удержания отправляющей стороны в экземпляре `ThreadPool`, как показано в листинге 20-16. В структуре `Job` сейчас ничего не содержится, но это будет тип элемента, который мы отправляем в канал.

Файл: `src/lib.rs`

```
use std::sync::mpsc, thread;

pub struct ThreadPool {
    workers: Vec<Worker>,
    sender: mpsc::Sender<Job>,
}

struct Job;

impl ThreadPool {
    // --snip--
    pub fn new(size: usize) -> ThreadPool {
        assert!(size > 0);

        let (sender, receiver) = mpsc::channel();

        let mut workers = Vec::with_capacity(size);

        for id in 0..size {
            workers.push(Worker::new(id));
        }

        ThreadPool { workers, sender }
    }
    // --snip--
}
```

Листинг 20-16: Модификация `ThreadPool` для хранения отправляющей части канала, который отправляет экземпляры `Job`

В `ThreadPool::new` мы создаём наш новый канал и сохраняем в пуле его отправляющую сторону. Код успешно скомпилируется.

Давайте попробуем передавать принимающую сторону канала каждому "работнику" (структуре `Worker`), когда пул потоков создаёт канал. Мы знаем, что хотим использовать получающую часть канала в потоке, порождаемым "работником", поэтому мы будем ссылаться на параметр `receiver` в замыкании. Код 20-17 пока не компилируется.

Файл: `src/lib.rs`



```
impl ThreadPool {
    // --snip--
    pub fn new(size: usize) -> ThreadPool {
        assert!(size > 0);

        let (sender, receiver) = mpsc::channel();

        let mut workers = Vec::with_capacity(size);

        for id in 0..size {
            workers.push(Worker::new(id, receiver));
        }

        ThreadPool { workers, sender }
    }
    // --snip--
}

// --snip--

impl Worker {
    fn new(id: usize, receiver: mpsc::Receiver<Job>) -> Worker {
        let thread = thread::spawn(|| {
            receiver;
        });

        Worker { id, thread }
    }
}
```

Листинг 20-17: Передача принимающей части канала "работникам"

Мы внесли несколько небольших и простых изменений: мы передаём принимающую часть канала в `Worker::new`, а затем используем его внутри замыкания.

При попытке проверить код, мы получаем ошибку:

```

$ cargo check
    Checking hello v0.1.0 (file:///projects/hello)
error[E0382]: use of moved value: `receiver`
--> src/lib.rs:26:42
  |
21 |         let (sender, receiver) = mpsc::channel();
  |                     ----- move occurs because `receiver` has type
`std::sync::mpsc::Receiver<Job>`, which does not implement the `Copy` trait
...
25 |             for id in 0..size {
  |             ----- inside of this loop
26 |                 workers.push(Worker::new(id, receiver));
  |                                         ^^^^^^^^^^ value moved here, in previous
iteration of loop
  |
note: consider changing this parameter type in method `new` to borrow instead if owning
the value isn't necessary
--> src/lib.rs:47:33
  |
47 |     fn new(id: usize, receiver: mpsc::Receiver<Job>) -> Worker {
  |     --- in this method           ^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^ this parameter takes ownership
of the value
help: consider moving the expression out of the loop so it is only moved once
  |
25 ~         let mut value = Worker::new(id, receiver);
26 ~         for id in 0..size {
27 ~             workers.push(value);
  |

```

For more information about this error, try `rustc --explain E0382`.
error: could not compile `hello` (lib) due to 1 previous error

Код пытается передать `receiver` нескольким экземплярам `Worker`. Это не сработает, поскольку, как вы можете помнить из главы 16: реализация канала, которую предоставляет Rust - несколько производителей, один потребитель. Это означает, что мы не можем просто клонировать принимающую сторону канала, чтобы исправить этот код. Кроме этого, мы не хотим отправлять одно и то же сообщение нескольким потребителям, поэтому нам нужен единый список сообщений для множества обработчиков, чтобы каждое сообщение обрабатывалось лишь один раз.

Кроме того, удаление задачи из очереди канала включает изменение `receiver`, поэтому потокам необходим безопасный способ делиться и изменять `receiver`, в противном случае мы можем получить условия гонки (как описано в главе 16).

Вспомните умные указатели, которые обсуждались в главе 16: чтобы делиться владением между несколькими потоками и разрешать потокам изменять значение, нам нужно использовать тип `Arc<Mutex<T>>`. Тип `Arc` позволит нескольким "работникам" владеть получателем (`receiver`), а `Mutex` гарантирует что только один "работник" сможет получить задание (`job`) от получателя за раз. Листинг 20-18 показывает изменения, которые мы должны сделать.

Файл: src/lib.rs

```

use std::{
    sync::{mpsc, Arc, Mutex},
    thread,
};

// --snip--


impl ThreadPool {
    // --snip--
    pub fn new(size: usize) -> ThreadPool {
        assert!(size > 0);

        let (sender, receiver) = mpsc::channel();

        let receiver = Arc::new(Mutex::new(receiver));

        let mut workers = Vec::with_capacity(size);

        for id in 0..size {
            workers.push(Worker::new(id, Arc::clone(&receiver)));
        }

        ThreadPool { workers, sender }
    }

    // --snip--
}

// --snip--


impl Worker {
    fn new(id: usize, receiver: Arc<Mutex<mpsc::Receiver<Job>>>) -> Worker {
        // --snip--
    }
}

```

Листинг 20-18. Совместное использование приёмника в "работниках" с применением `Arc` и `Mutex`

В `ThreadPool::new` мы помещаем принимающую сторону канала внутрь `Arc` и `Mutex`. Для каждого нового "работника" мы клонируем `Arc`, чтобы увеличить счётчик ссылок так, что "работники" могут разделять владение принимающей стороной канала.

С этими изменениями код компилируется! Мы подбираемся к цели!

Реализация метода `execute`

Давайте реализуем наконец метод `execute` у структуры `ThreadPool`. Мы также изменим тип `Job` со структуры на псевдоним типа для типаж-объекта, который будет содержать тип замыкания, принимаемый методом `execute`. Как описано в разделе ["Создание синонимов типа с помощью псевдонимов типа"](#) главы 19, псевдонимы типов позволяют делать длинные типы короче, облегчая их использование. Посмотрите на листинг 20-19.

Файл: `src/lib.rs`

```
// --snip--  
  
type Job = Box<dyn FnOnce() + Send + 'static>;  
  
impl ThreadPool {  
    // --snip--  
  
    pub fn execute<F>(&self, f: F)  
    where  
        F: FnOnce() + Send + 'static,  
    {  
        let job = Box::new(f);  
  
        self.sender.send(job).unwrap();  
    }  
}  
  
// --snip--
```

Листинг 20-19: Создание псевдонима типа `Job` для указателя `Box`, содержащего каждое замыкание и затем отправляющее задание (job) в канал

После создания нового экземпляра `Job` с замыканием, полученным в `execute`, мы посылаем его через отправляющий конец канала. На тот случай, если отправка не удастся, вызываем `unwrap` у `send`. Это может произойти, например, если мы остановим выполнение всех наших потоков, что означает, что принимающая сторона прекратила получать новые сообщения. На данный момент мы не можем остановить выполнение наших потоков: наши потоки будут функционировать до тех пор, пока существует пул. Причина, по которой мы используем `unwrap`, заключается в том, что, хотя мы знаем, что сбой не произойдёт, компилятор этого не знает.

Но мы ещё не закончили! В "работнике" (worker) наше замыкание, переданное в `thread::spawn` все ещё ссылается только на принимающую сторону канала. Вместо этого нам нужно, чтобы замыкание работало в бесконечном цикле, запрашивая задание у принимающей части канала и выполняя задание, когда оно принято. Давайте внесём изменения, показанные в листинге 20-20 внутри `Worker::new`.

Файл: src/lib.rs

```
// --snip--  
  
impl Worker {  
    fn new(id: usize, receiver: Arc<Mutex<mpsc::Receiver<Job>>>) -> Worker {  
        let thread = thread::spawn(move || loop {  
            let job = receiver.lock().unwrap().recv().unwrap();  
  
            println!("Worker {} got a job; executing.", id);  
  
            job();  
        });  
  
        Worker { id, thread }  
    }  
}
```

Листинг 20-20: Получение и выполнение заданий в потоке "работника"

Здесь мы сначала вызываем `lock` у `receiver`, чтобы получить мьютекс, а затем вызываем `unwrap`, чтобы аварийно завершить работу при любых ошибках. Захват блокировки может завершиться неудачей, если мьютекс находится в *отравленном состоянии* (*poisoned state*), что может произойти, если какой-то другой поток завершился аварийно, удерживая блокировку, вместо снятия блокировки. В этой ситуации вызвать `unwrap` для аварийного завершения потока вполне оправдано. Не стесняйтесь заменить `unwrap` на `expect` с сообщением об ошибке, которое имеет для вас значение.

Если мы получили блокировку мьютекса, мы вызываем `recv`, чтобы получить `Job` из канала. Последний вызов `unwrap` позволяет миновать любые ошибки, которые могут возникнуть, если поток, контролирующий отправитель, прекратил функционировать, подобно тому, как метод `send` возвращает `Err`, если получатель не принимает сообщение.

Вызов `recv` - блокирующий, поэтому пока задач нет, текущий поток будет ждать, пока задача не появится. `Mutex<T>` гарантирует, что только один поток `Worker` за раз попытается запросить задачу.

Наш пул потоков теперь находится в рабочем состоянии! Выполните `cargo run` и сделайте несколько запросов:

```
$ cargo run
Compiling hello v0.1.0 (file:///projects/hello)
warning: field is never read: `workers`
--> src/lib.rs:7:5
|
7 |     workers: Vec<Worker>,
|     ^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^
|
= note: `#[warn(dead_code)]` on by default

warning: field is never read: `id`
--> src/lib.rs:48:5
|
48 |     id: usize,
|     ^^^^^^^^

warning: field is never read: `thread`
--> src/lib.rs:49:5
|
49 |     thread: thread::JoinHandle<()>,
|     ^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^

warning: `hello` (lib) generated 3 warnings
    Finished dev [unoptimized + debuginfo] target(s) in 1.40s
        Running `target/debug/hello`'
Worker 0 got a job; executing.
Worker 2 got a job; executing.
Worker 1 got a job; executing.
Worker 3 got a job; executing.
Worker 0 got a job; executing.
Worker 2 got a job; executing.
Worker 1 got a job; executing.
Worker 3 got a job; executing.
Worker 0 got a job; executing.
Worker 2 got a job; executing.
```

Успех! Теперь у нас есть пул потоков, который обрабатывает соединения асинхронно. Никогда не создаётся более четырёх потоков, поэтому наша система не будет перегружена, если сервер получит много запросов. Если мы отправим запрос ресурса `/sleep`, сервер сможет обслуживать другие запросы, обрабатывая их в другом потоке.

Примечание: если вы запросите `/sleep` в нескольких окнах браузера одновременно, они могут загружаться по одному, с интервалами в 5 секунд. Некоторые веб-браузеры выполняют несколько экземпляров одного и того же запроса последовательно из-за кэширования. Такое ограничение не связано с работой нашего веб-сервера.

После изучения цикла `while let` в главе 18 вы можете удивиться, почему мы не написали код рабочего потока (worker thread), как показано в листинге 20-22.

Файл: `src/lib.rs`

```
// --snip--  
  
impl Worker {  
    fn new(id: usize, receiver: Arc<Mutex<mpsc::Receiver<Job>>>) -> Worker {  
        let thread = thread::spawn(move || {  
            while let Ok(job) = receiver.lock().unwrap().recv() {  
                println!("Worker {id} got a job; executing.");  
  
                job();  
            }  
        });  
  
        Worker { id, thread }  
    }  
}  
}
```



Листинг 20-22: Альтернативная реализация `Worker::new` с использованием `while let`

Этот код компилируется и запускается, но не даёт желаемого поведения: медленный запрос всё равно приведёт к тому, что другие запросы будут ждать обработки. Причина здесь несколько тоньше: структура `Mutex` не имеет публичного метода `unlock`, так как владение блокировкой основано на времени жизни `MutexGuard<T>` внутри `LockResult<MutexGuard<T>>`, которое возвращает метод `lock`. Во время компиляции анализатор заимствований может проследить за выполнением правила, согласно которому к ресурсу, охраняемому `Mutex`, нельзя получить доступ пока мы удерживаем блокировку. Однако в этой реализации мы также можем получить ситуацию, когда блокировка будет удерживаться дольше, чем предполагалось, если мы не будем внимательно учитывать время жизни `MutexGuard<T>`.

Код в листинге 20-20, использующий `let job = receiver.lock().unwrap().recv().unwrap();` работает, потому что при использовании `let` любые промежуточные значения, используемые в выражении справа от знака равенства, немедленно уничтожаются после завершения инструкции `let`. Однако `while let` (и `if let` и `match`) не удаляет временные значения до конца связанного блока. Таким образом, в листинге 20-21 блокировка не снимается в течение всего времени вызова `job()`, что означает, что другие работники не могут получать задания.

Мягкое завершение работы и очистка

Листинг 20-20 асинхронно отвечает на запросы с помощью использования пула потоков, как мы и хотели. Мы получаем некоторые предупреждения про `workers`, `id` и поля `thread`, которые мы не используем напрямую, что напоминает нам о том, что мы не освобождаем все ресурсы. Когда мы используем менее элегантный метод остановки основного потока клавишной комбинацией `ctrl-c`, все остальные потоки также немедленно останавливаются, даже если они находятся в середине обработки запроса.

Далее, реализуем типаж `Drop` для вызова `join` у каждого потока в пуле, чтобы они могли завершить запросы, над которыми они работают, перед закрытием. Затем мы реализуем способ сообщить потокам, что они должны перестать принимать новые запросы и завершить работу. Чтобы увидеть этот код в действии, мы изменим наш сервер так, чтобы он принимал только два запроса, после чего корректно завершал работу пула потоков.

Реализация типажа `Drop` для `ThreadPool`

Давайте начнём с реализации `Drop` у нашего пула потоков. Когда пул удаляется, все наши потоки должны объединиться (`join`), чтобы убедиться, что они завершают свою работу. В листинге 20-22 показана первая попытка реализации `Drop`, код пока не будет работать.

Файл: `src/lib.rs`

```
impl Drop for ThreadPool {
    fn drop(&mut self) {
        for worker in &mut self.workers {
            println!("Shutting down worker {}", worker.id);

            worker.thread.join().unwrap();
        }
    }
}
```



Листинг 20-22: Присоединение (Joining) каждого потока, когда пул потоков выходит из области видимости

Сначала мы пройдёмся по каждому `worker` из пула потоков. Для этого мы используем `&mut` с `self`, потому что нам нужно иметь возможность изменять `worker`. Для каждого обработчика мы выводим сообщение о том, что он завершает работу, а затем вызываем `join` у потока этого обработчика. Для случаев, когда вызов `join` не удался, мы используем `unwrap`, чтобы заставить Rust запаниковать и перейти в режим грубого завершения работы.

Ошибка получаемая при компиляции этого кода:

```
$ cargo check
  Checking hello v0.1.0 (file:///projects/hello)
error[E0507]: cannot move out of `worker.thread` which is behind a mutable reference
--> src/lib.rs:52:13
  |
52 |         worker.thread.join().unwrap();
  |         ^^^^^^^^^^^^^^ ----- `worker.thread` moved due to this method call
  |
  |     move occurs because `worker.thread` has type `JoinHandle<()>`, which
does not implement the `Copy` trait
  |
note: `JoinHandle::<T>::join` takes ownership of the receiver `self`, which moves
`worker.thread`
-->
/rustc/129f3b9964af4d4a709d1383930ade12dfe7c081/library/std/src/thread/mod.rs:1718:17

For more information about this error, try `rustc --explain E0507`.
error: could not compile `hello` (lib) due to 1 previous error
```

Ошибка говорит нам, что мы не можем вызвать `join`, потому что у нас есть только изменяемое заимствование каждого `worker`, а `join` забирает во владение свой аргумент. Чтобы решить эту проблему, нам нужно извлечь поток из экземпляра `Worker`, который владеет `thread`, чтобы `join` мог его использовать. Мы сделали это в листинге 17-15: теперь, когда `Worker` хранит в себе `Option<thread::JoinHandle<()>>`, мы можем воспользоваться методом `take` у `Option`, чтобы извлечь значение из варианта `Some`, тем самым оставляя на его месте `None`. Другими словами, в рабочем состоянии `Worker` будет использовать вариант `Some` содержащий `thread`, а когда мы захотим завершить `Worker`, мы заменим `Some` на `None`, чтобы у `Worker` не было потока для работы.

Итак, мы хотим обновить объявление `Worker` следующим образом:

Файл: `src/lib.rs`

```
struct Worker {
    id: usize,
    thread: Option<thread::JoinHandle<()>>,
}
```



Теперь давайте опираться на компилятор, чтобы найти другие места, которые нужно изменить. Проверяя код, мы получаем две ошибки:

```

$ cargo check
    Checking hello v0.1.0 (file:///projects/hello)
error[E0599]: no method named `join` found for enum `Option` in the current scope
--> src/lib.rs:52:27
  |
52 |         worker.thread.join().unwrap();
  |         ^^^^^ method not found in `Option<JoinHandle<()>>`
  |
note: the method `join` exists on the type `JoinHandle<()``
-->
/rustc/129f3b9964af4d4a709d1383930ade12dfe7c081/library/std/src/thread/mod.rs:1718:5
help: consider using `Option::expect` to unwrap the `JoinHandle<()`` value, panicking
if the value is an `Option::None`
  |
52 |         worker.thread.expect("REASON").join().unwrap();
  |         ++++++
  |

error[E0308]: mismatched types
--> src/lib.rs:72:22
  |
72 |     Worker { id, thread }
  |     ^^^^^^ expected `Option<JoinHandle<()>>`, found
`JoinHandle<_>`
  |
= note: expected enum `Option<JoinHandle<()>>`
      found struct `JoinHandle<_>`
help: try wrapping the expression in `Some`
  |
72 |     Worker { id, thread: Some(thread) }
  |     ++++++++
  |     +
  |

Some errors have detailed explanations: E0308, E0599.
For more information about an error, try `rustc --explain E0308`.
error: could not compile `hello` (lib) due to 2 previous errors

```

Давайте обратимся ко второй ошибке, которая указывает на код в конце `Worker::new`; нам нужно обернуть значение `thread` в вариант `Some` при создании нового `Worker`. Внесите следующие изменения, чтобы исправить эту ошибку:

Файл: src/lib.rs

```

impl Worker {
    fn new(id: usize, receiver: Arc<Mutex<mpsc::Receiver<Job>>>) -> Worker {
        // --snip--
        Worker {
            id,
            thread: Some(thread),
        }
    }
}

```



Первая ошибка находится в нашей реализации `Drop`. Ранее мы упоминали, что намеревались вызвать `take` для параметра `Option`, чтобы забрать `thread` из процесса `worker`. Следующие изменения делают это:



```
impl Drop for ThreadPool {
    fn drop(&mut self) {
        for worker in &mut self.workers {
            println!("Shutting down worker {}", worker.id);

            if let Some(thread) = worker.thread.take() {
                thread.join().unwrap();
            }
        }
    }
}
```

Как уже говорилось в главе 17, метод `take` у типа `Option` забирает значение из варианта `Some` и оставляет вариант `None` в этом месте. Мы используем `if let`, чтобы деструктурировать `Some` и получить поток; затем вызываем `join` у потока. Если поток "работника" уже `None`, мы знаем, что этот "работник" уже очистил свой поток, поэтому в этом случае ничего не происходит.

Сигнализация потокам прекратить прослушивание получения задач

Теперь, после всех внесённых нами изменений, код компилируется без каких-либо предупреждений. Но плохая новость в том, что этот код всё ещё не работает так, как мы этого хотим. Причина заключается в логике замыканий, запускаемых потоками экземпляров `Worker`: в данный момент мы вызываем `join`, но это не приводит к завершению потоков, так как они находятся в бесконечном цикле, ожидая новую задачу. Если мы попытаемся удалить `ThreadPool` в текущей реализации `drop`, основной поток навсегда заблокируется в ожидании завершения первого потока из пула.

Чтобы решить эту проблему, нам нужно будет изменить реализацию `drop` в `ThreadPool`, а затем внести изменения в цикл `Worker`.

Во-первых, изменим реализацию `drop` `ThreadPool` таким образом, чтобы явно удалять `sender` перед тем, как начнём ожидать завершения потоков. В листинге 20-23 показаны изменения в `ThreadPool` для явного удаления `sender`. Мы используем ту же технику `Option` и `take`, что и с потоком, чтобы переместить `sender` из `ThreadPool`:



```
pub struct ThreadPool {
    workers: Vec<Worker>,
    sender: Option<mpsc::Sender<Job>>,
}
// --snip--
impl ThreadPool {
    pub fn new(size: usize) -> ThreadPool {
        // --snip--

        ThreadPool {
            workers,
            sender: Some(sender),
        }
    }

    pub fn execute<F>(&self, f: F)
    where
        F: FnOnce() + Send + 'static,
    {
        let job = Box::new(f);

        self.sender.as_ref().unwrap().send(job).unwrap();
    }
}

impl Drop for ThreadPool {
    fn drop(&mut self) {
        drop(self.sender.take());

        for worker in &mut self.workers {
            println!("Shutting down worker {}", worker.id);

            if let Some(thread) = worker.thread.take() {
                thread.join().unwrap();
            }
        }
    }
}
```

Листинг 20-23. Явное удаление `sender` перед ожиданием завершения рабочих потоков

Удаление `sender` закрывает канал, что указывает на то, что сообщения больше не будут отправляться. Когда это произойдёт, все вызовы `recv`, выполняемые рабочими процессами в бесконечном цикле, вернут ошибку. В листинге 20-24 мы меняем цикл `Worker` для корректного выхода из него в этом случае, что означает, что потоки завершатся, когда реализация `drop` `ThreadPool` вызовет для них `join`.

Файл: src/lib.rs

```

impl Worker {
    fn new(id: usize, receiver: Arc<Mutex<mpsc::Receiver<Job>>>) -> Worker {
        let thread = thread::spawn(move || loop {
            let message = receiver.lock().unwrap().recv();

            match message {
                Ok(job) => {
                    println!("Worker {id} got a job; executing.");
                    job();
                }
                Err(_) => {
                    println!("Worker {id} disconnected; shutting down.");
                    break;
                }
            }
        });
        Worker {
            id,
            thread: Some(thread),
        }
    }
}

```

Листинг 20-24: Явный выход из цикла, когда `recv` возвращает ошибку

Чтобы увидеть этот код в действии, давайте изменим `main`, чтобы принимать только два запроса, прежде чем корректно завершить работу сервера как показано в листинге 20-25.

Файл: src/main.rs

```

fn main() {
    let listener = TcpListener::bind("127.0.0.1:7878").unwrap();
    let pool = ThreadPool::new(4);

    for stream in listener.incoming().take(2) {
        let stream = stream.unwrap();

        pool.execute(|| {
            handle_connection(stream);
        });
    }

    println!("Shutting down.");
}

```

Код 20-25. Выключение сервера после обслуживания двух запросов с помощью выхода из цикла

Вы бы не хотели, чтобы реальный веб-сервер отключался после обслуживания только двух запросов. Этот код всего лишь демонстрирует, что корректное завершение работы и освобождение ресурсов находятся в рабочем состоянии.

Метод `take` определён в типаже `Iterator` и ограничивает итерацию максимум первыми двумя элементами. `ThreadPool` выйдет из области видимости в конце `main` и будет запущена

его реализация `drop`.

Запустите сервер с `cargo run` и сделайте три запроса. Третий запрос должен выдать ошибку и в терминале вы должны увидеть вывод, подобный следующему:

```
$ cargo run
Compiling hello v0.1.0 (file:///projects/hello)
  Finished dev [unoptimized + debuginfo] target(s) in 1.0s
    Running `target/debug/hello`
Worker 0 got a job; executing.
Shutting down.
Shutting down worker 0
Worker 3 got a job; executing.
Worker 1 disconnected; shutting down.
Worker 2 disconnected; shutting down.
Worker 3 disconnected; shutting down.
Worker 0 disconnected; shutting down.
Shutting down worker 1
Shutting down worker 2
Shutting down worker 3
```

Вы возможно увидите другой порядок рабочих потоков и напечатанных сообщений. Мы можем увидеть, как этот код работает по сообщениям: "работники" номер 0 и 3 получили первые два запроса. Сервер прекратил принимать соединения после второго подключения, а реализация `Drop` для `ThreadPool` начинает выполняется ещё тогда, когда как работник 3 даже не приступил к выполнению своей работы. Удаление `sender` отключает все рабочие потоки от канала и просит их завершить работу. Каждый рабочий поток при отключении печатает сообщение, а затем пул потоков вызывает `join`, чтобы дождаться, пока каждый из рабочих потоков завершится.

Обратите внимание на один интересный аспект этого конкретного запуска: `ThreadPool` удалил `sender`, и прежде чем какой-либо из работников получил ошибку, мы попытались присоединить (`join`) рабочий поток с номером 0. Рабочий поток 0 ещё не получил ошибку от `recv`, поэтому основной поток заблокировался, ожидания завершения потока работника 0. Тем временем, работник 3 получил задание, а затем каждый из рабочих потоков получил ошибку. Когда рабочий поток 0 завершился, основной поток ждал окончания завершения выполнения остальных рабочих потоков. В этот момент все они вышли из своих циклов и остановились.

Примите поздравления! Теперь мы завершили проект; у нас есть базовый веб-сервер, использующий пул потоков для асинхронных ответов. Мы можем выполнить корректное завершение работы сервера, очистив все потоки в пуле.

Вот полный код для справки:

Файл: `src/main.rs`

```
use hello::ThreadPool;
use std::{
    fs,
    io::{prelude::*, BufReader},
    net::{TcpListener, TcpStream},
    thread,
    time::Duration,
};

fn main() {
    let listener = TcpListener::bind("127.0.0.1:7878").unwrap();
    let pool = ThreadPool::new(4);

    for stream in listener.incoming().take(2) {
        let stream = stream.unwrap();

        pool.execute(|| {
            handle_connection(stream);
        });
    }

    println!("Shutting down.");
}

fn handle_connection(mut stream: TcpStream) {
    let buf_reader = BufReader::new(&mut stream);
    let request_line = buf_reader.lines().next().unwrap().unwrap();

    let (status_line, filename) = match &request_line[..] {
        "GET / HTTP/1.1" => ("HTTP/1.1 200 OK", "hello.html"),
        "GET /sleep HTTP/1.1" => {
            thread::sleep(Duration::from_secs(5));
            ("HTTP/1.1 200 OK", "hello.html")
        }
        _ => ("HTTP/1.1 404 NOT FOUND", "404.html"),
    };

    let contents = fs::read_to_string(filename).unwrap();
    let length = contents.len();

    let response =
        format!("{}Content-Length: {}\r\n\r\n{}", status_line, length, contents);

    stream.write_all(response.as_bytes()).unwrap();
}
```

Файл: src/lib.rs

```
use std::{
    sync::{mpsc, Arc, Mutex},
    thread,
};

pub struct ThreadPool {
    workers: Vec<Worker>,
    sender: Option<mpsc::Sender<Job>>,
}

type Job = Box<dyn FnOnce() + Send + 'static>;

impl ThreadPool {
    /// Create a new ThreadPool.
    ///
    /// The size is the number of threads in the pool.
    ///
    /// # Panics
    ///
    /// The `new` function will panic if the size is zero.
    pub fn new(size: usize) -> ThreadPool {
        assert!(size > 0);

        let (sender, receiver) = mpsc::channel();

        let receiver = Arc::new(Mutex::new(receiver));

        let mut workers = Vec::with_capacity(size);

        for id in 0..size {
            workers.push(Worker::new(id, Arc::clone(&receiver)));
        }

        ThreadPool {
            workers,
            sender: Some(sender),
        }
    }

    pub fn execute<F>(&self, f: F)
    where
        F: FnOnce() + Send + 'static,
    {
        let job = Box::new(f);

        self.sender.as_ref().unwrap().send(job).unwrap();
    }
}

impl Drop for ThreadPool {
    fn drop(&mut self) {
        drop(self.sender.take());

        for worker in &mut self.workers {
            println!("Shutting down worker {}", worker.id);

            if let Some(thread) = worker.thread.take() {
                thread.join().unwrap();
            }
        }
    }
}
```

```

        }
    }

    struct Worker {
        id: usize,
        thread: Option<thread::JoinHandle<()>>,
    }

    impl Worker {
        fn new(id: usize, receiver: Arc<Mutex<mpsc::Receiver<Job>>>) -> Worker {
            let thread = thread::spawn(move || loop {
                let message = receiver.lock().unwrap().recv();

                match message {
                    Ok(job) => {
                        println!("Worker {} got a job; executing.", id);

                        job();
                    }
                    Err(_) => {
                        println!("Worker {} disconnected; shutting down.", id);
                        break;
                    }
                }
            });
            Worker {
                id,
                thread: Some(thread),
            }
        }
    }
}

```

Мы могли бы сделать ещё больше! Если вы хотите продолжить совершенствование этого проекта, вот несколько идей:

- Добавьте больше документации в `ThreadPool` и его публичные методы.
- Добавьте тесты для функционала, реализуемого библиотекой.
- Замените вызовы `unwrap` на более устойчивую обработку ошибок.
- Используйте `ThreadPool` для выполнения некоторых других задач, помимо обслуживания веб-запросов.
- На [crates.io](#) найдите крейт для работы с пулами потоков и на его основе реализуйте аналогичный веб-сервер. Затем сравните его API и надёжность с реализованным нами пулем потоков.

Итоги

Отличная работа! Вы сделали это к концу книги! Мы хотим поблагодарить вас за то, что присоединились к нам в этом путешествии по языку Rust. Теперь вы готовы реализовать свои собственные проекты на Rust и помочь с проектами другим людям. Имейте в виду, что сообщество Rust разработчиков довольно гостеприимно, они с удовольствием постараются

помочь вам с любыми трудностями, с которыми вы можете столкнуться в своём путешествии по Rust.

Дополнительная информация

Следующие разделы содержат справочные материалы, которые могут оказаться полезными в вашем путешествии по Rust.

Приложение А: Ключевые слова

Следующий список содержит ключевые слова, зарезервированные для текущего или будущего использования в языке Rust. Как таковые их нельзя использовать в качестве идентификаторов (за исключением сырых идентификаторов, которые мы обсудим в разделе «[Сырые идентификаторы](#)»). Идентификаторы — это имена функций, переменных, параметров, полей структур, модулей, крейтов, констант, макросов, статических значений, атрибутов, типов, свойств или времён жизни.

Используемые в настоящее время ключевые слова

Ниже приведён список используемых в настоящее время ключевых слов с их описанием.

- `as` — выполнить примитивное преобразование, уточнить конкретную характеристику, которую содержит объект, или переименовать элемент в выражении `use`
- `async` — возврат `Future` вместо блокировки текущего потока
- `await` — остановка выполнения до готовности результата `Future`
- `break` — немедленный выход из цикла
- `const` — определение константного элемента или неизменяемого сырого указателя
- `continue` — досрочный переход к следующей итерации цикла
- `crate` — ссылка на корень пакета в пути к модулю
- `dyn` — динамическая отсылка к типажу объекта
- `else` — альтернативные ветви для конструкций управления потока `if` и `if let`
- `enum` — определение перечислений
- `extern` — связывание внешней функции или переменной
- `false` — логический ложный литерал
- `fn` — определение функции или типа указателя на функцию
- `for` — циклически перебирать элементы из итератора, реализовывать признак или указывать время жизни с более высоким рейтингом.
- `if` — ветвление на основе результата условного выражения
- `impl` — реализация встроенной функциональности или функциональности типажа
- `in` — часть синтаксиса цикла `for`
- `let` — объявление (связывание) переменной
- `loop` — безусловный цикл
- `match` — сопоставление значения с шаблонами
- `mod` — определение модуля
- `move` — перекладывание владения на замыкание всеми захваченными элементами
- `mut` — обозначение изменчивости в ссылках, сырах указателей и привязках к шаблону
- `pub` — модификатор публичной доступность полей структур, блоков `impl` и модулей
- `ref` — привязка по ссылке
- `return` — возвращает результат из функции
- `Self` — псевдоним для определяемого или реализуемого типа

- `self` — объект текущего метода или модуля
- `static` — глобальная переменная или время жизни, продолжающееся на протяжении всего выполнения программы
- `struct` — определение структуры
- `super` — родительский модуль текущего модуля
- `trait` — определение типажа
- `true` — логический истинный литерал
- `type` — определение псевдонима типа или связанного типа
- `union` - определить **объединение**; является ключевым словом только при использовании в объявлении объединения
- `unsafe` — обозначение небезопасного кода, функций, типажей и их реализаций
- `use` — ввод имён в область видимости
- `where` — ограничение типа
- `while` — условный цикл, основанный на результате выражения

Ключевые слова, зарезервированные для будущего использования

Следующие ключевые слова ещё не имеют никакой функциональности, но зарезервированы Rust для возможного использования в будущем.

- `abstract`
- `become`
- `box`
- `do`
- `final`
- `macro`
- `override`
- `priv`
- `try`
- `typeof`
- `unsized`
- `virtual`
- `yield`

Сырые идентификаторы

Сырые идентификаторы — это синтаксис, позволяющий использовать ключевые слова там, где обычно они не могут быть. Для создания и использования сырого идентификатора к ключевому слову добавляется префикс `r#`.

Например, ключевое слово `match`. Если вы попытаетесь скомпилировать следующую функцию, использующую в качестве имени `match`:

Файл: src/main.rs

```
fn match(needle: &str, haystack: &str) -> bool {  
    haystack.contains(needle)  
}
```

вы получите ошибку:

```
error: expected identifier, found keyword `match`  
--> src/main.rs:4:4  
|  
4 | fn match(needle: &str, haystack: &str) -> bool {  
|     ^^^^^^ expected identifier, found keyword
```

Ошибка говорит о том, что вы не можете использовать ключевое слово `match` в качестве идентификатора функции. Чтобы получить возможность использования слова `match` в качестве имени функции, нужно использовать синтаксис «сырых идентификаторов», например так:

Файл: src/main.rs

```
fn r#match(needle: &str, haystack: &str) -> bool {  
    haystack.contains(needle)  
}  
  
fn main() {  
    assert!(r#match("foo", "foobar"));  
}
```

Этот код скомпилируется без ошибок. Обратите внимание, что префикс `r#` в определении имени функции указан так же, как он указан в месте её вызова в `main`.

Сырые идентификаторы позволяют вам использовать любое слово, которое вы выберете, в качестве идентификатора, даже если это слово окажется зарезервированным ключевым словом. Это даёт нам больше свободы в выборе имён идентификаторов, а также позволяет нам интегрироваться с программами, написанными на языке, где эти слова не являются ключевыми. Кроме того, необработанные идентификаторы позволяют вам использовать библиотеки, написанные в версии Rust, отличной от используемой в вашем крейте.

Например, `try` не является ключевым словом в выпуске 2015 года, но является в выпуске 2018 года. Если вы зависите от библиотеки, написанной с использованием версии 2015 года и имеющей функцию `try`, вам потребуется использовать синтаксис сырого идентификатора, в данном случае `r#try`, для вызова этой функции из кода версии 2018 года. См. [Приложение E](#) для получения дополнительной информации о редакциях Rust.

Дополнение Б: Операторы и обозначения

Это дополнение содержит глоссарий синтаксиса Rust, включая операторы и другие обозначения, которые появляются сами по себе или в контексте путей, обобщений, типажей, макросов, атрибутов, комментариев, кортежей и скобок.

Операторы

Таблица Б-1 содержит операторы языка Rust, пример появления оператора, краткое объяснение, возможность перегрузки оператора. Если оператор можно перегрузить, то показан типаж, с помощью которого его можно перегрузить.

Таблица Б-1: Операторы

Оператор	Пример	Объяснение	Перегружаемость
!	<code>ident!(...),</code> <code>ident!{...},</code> <code>ident![...]</code>	Вызов макроса	
!	<code>!expr</code>	Побитовое или логическое отрицание	<code>Not</code>
<code>!=</code>	<code>expr != expr</code>	Сравнение "не равно"	<code>PartialEq</code>
<code>%</code>	<code>expr % expr</code>	Остаток от деления	<code>Rem</code>
<code>%=</code>	<code>var %= expr</code>	Остаток от деления и присваивание	<code>RemAssign</code>
<code>&</code>	<code>&expr</code> , <code>&mut expr</code>	Заимствование	
<code>&</code>	<code>&type</code> , <code>&mut type</code> , <code>'a type</code> , <code>&'a type</code> , <code>&'a mut type</code>	Указывает что данный тип заимствуется	
<code>&</code>	<code>expr & expr</code>	Побитовое И	<code>BitAnd</code>
<code>&=</code>	<code>var &= expr</code>	Побитовое И и присваивание	<code>BitAndAssign</code>
<code>&&</code>	<code>expr && expr</code>	Логическое И	
<code>*</code>	<code>expr * expr</code>	Арифметическое умножение	<code>Mul</code>
<code>*=</code>	<code>var *= expr</code>	Арифметическое умножение и присваивание	<code>MulAssign</code>
<code>*</code>	<code>*expr</code>	Разыменование ссылки	<code>Deref</code>

Оператор	Пример	Объяснение	Перегружаемость
*	*const type, *mut type	Указывает, что данный тип является сырым указателем	
+	trait + trait, 'a + trait	Соединение ограничений типа	
+	expr + expr	Арифметическое сложение	Add
+=	var += expr	Арифметическое сложение и присваивание	AddAssign
,	expr, expr	Разделитель аргументов и элементов	
-	- expr	Арифметическое отрицание	Neg
-	expr - expr	Арифметическое вычитание	Sub
-	var -= expr	Арифметическое вычитание и присваивание	SubAssign
->	fn(...) -> type, |...| -> type	...	
.	expr.ident	Доступ к элементу	
...	.., expr.., .expr, expr..expr	Указывает на диапазон чисел, исключая правый	PartialOrd
...=	..=expr, expr..=expr	Указывает на диапазон чисел, включая правый	PartialOrd
...	..expr	Синтаксис обновления структуры	
...	variant(x, ..), struct_type { x, .. }	Привязка «И все остальное»	
...	expr...expr	(Устарело, используйте новый синтаксис ...=) Используется при определении инклюзивного диапазона	

Оператор	Пример	Объяснение	Перегружаемость
/	expr / expr	Арифметическое деление	Div
/=	var /= expr	Арифметическое деление и присваивание	DivAssign
:	pat: type, ident: type	Ограничения типов	
:	ident: expr	Инициализация поля структуры	
:	'a: loop {...}	Метка цикла	
;	expr;	Признак конца инструкции и элемента	
;	[...; len]	Часть синтаксиса массива фиксированного размера	
<<	expr << expr	Битовый сдвиг влево	Shl
<=	var <= expr	Битовый сдвиг влево и присваивание	ShlAssign
<	expr < expr	Сравнение "меньше чем"	PartialOrd
<=	expr <= expr	Сравнение "меньше или равно"	PartialOrd
=	var = expr, ident = type	Присваивание/эквивалентность	
==	expr == expr	Сравнение "равно"	PartialEq
=>	pat => expr	Часть синтаксиса конструкции match	
>	expr > expr	Сравнение "больше чем"	PartialOrd
>=	expr >= expr	Сравнение "больше или равно"	PartialOrd
>>	expr >> expr	Битовый сдвиг вправо	Shr
>>=	var >>= expr	Битовый сдвиг вправо и присваивание	ShrAssign
@	ident @ pat	Pattern binding	
^	expr ^ expr	Побитовое исключающее ИЛИ	BitXor
^=	var ^= expr	Побитовое исключающее ИЛИ и	BitXorAssign

Оператор	Пример	Объяснение	Перегружаемость
		присваивание	
<code>&vert;</code>	<code>pat &vert; pat</code>	Альтернативные шаблоны	
<code>&vert;</code>	<code>expr &vert; expr</code>	Побитовое ИЛИ	<code>BitOr</code>
<code>&vert;=</code>	<code>var &vert;= expr</code>	Побитовое ИЛИ и присваивание	<code>BitOrAssign</code>
<code>&vert;&vert;</code>	<code>expr &vert;&vert; expr</code>	Короткое логическое ИЛИ	
<code>?</code>	<code>expr?</code>	Возврат ошибки	

Обозначения не-операторы

Следующий список содержит все символы, которые не работают как операторы; то есть они не ведут себя как вызов функции или метода.

Таблица Б-2 показывает символы, которые появляются сами по себе и допустимы в различных местах.

Таблица Б-2: Автономный синтаксис

Обозначение	Объяснение
<code>'ident</code>	Именованное время жизни или метка цикла
<code>...u8</code> , <code>...i32</code> , <code>...f64</code> , <code>...usize</code> , etc.	Числовой литерал определённого типа
<code>"..."</code>	Строковый литерал
<code>r"..."</code> , <code>r#"..."#</code> , <code>r##"..."##</code> , etc.	Необработанный строковый литерал, в котором не обрабатываются escape-символы
<code>b"..."</code>	Строковый литерал байтов; создаёт массив байтов вместо строки
<code>br"..."</code> , <code>br#"..."#</code> , <code>br##"..."##</code> , etc.	Необработанный строковый байтовый литерал, комбинация необработанного и байтового литерала
<code>'...'</code>	Символьный литерал
<code>b'...'</code>	ASCII байтовый литерал
<code>&vert;...&vert; expr</code>	Замыкание
<code>!</code>	Всегда пустой тип для расходящихся функций
<code>_</code>	«Игнорируемое» связывание шаблонов; также используется для читабельности целочисленных литералов

Таблица Б-3 показывает обозначения которые появляются в контексте путей иерархии модулей

Таблица Б-3. Синтаксис, связанный с путями

Обозначение	Объяснение
<code>ident::ident</code>	Путь к пространству имён
<code>::path</code>	Путь относительно корня крейта (т. е. явный абсолютный путь)
<code>self::path</code>	Путь относительно текущего модуля (т. е. явный относительный путь).
<code>super::path</code>	Путь относительно родительского модуля текущего модуля
<code>type::ident</code> , <code><type as trait>::ident</code>	Ассоциированные константы, функции и типы
<code><type>::...</code>	Ассоциированный элемент для типа, который не может быть назван прямо (например <code><&T>::...</code> , <code><[T]>::...</code> , etc.)
<code>trait::method(...)</code>	Устранение неоднозначности вызова метода путём именования типажа, который определяет его
<code>type::method(...)</code>	Устранение неоднозначности путём вызова метода через имя типа, для которого он определён
<code><type as trait>::method(...)</code>	Устранение неоднозначности вызова метода путём именования типажа и типа

Таблица Б-4 показывает обозначения которые появляются в контексте использования обобщённых типов параметров

Таблица Б-4: Обобщения

Обозначение	Объяснение
<code>path<...></code>	Определяет параметры для обобщённых параметров в типе (e.g., <code>Vec<u8></code>)
<code>path::<...></code> , <code>method::<...></code>	Определяет параметры для обобщённых параметров, функций, или методов в выражении. Часто называют turbofish (например <code>"42".parse::<i32>()</code>)
<code>fn ident<...> ...</code>	Определение обобщённой функции
<code>struct ident<...></code> ...	Определение обобщённой структуры
<code>enum ident<...> ...</code>	Объявление обобщённого перечисления
<code>impl<...> ...</code>	Определение обобщённой реализации
<code>for<...> type</code>	Высокоуровневое связывание времени жизни
<code>type<ident=type></code>	Обобщённый тип где один или более ассоциированных типов имеют определённое присваивание (например

Обозначение	Объяснение
	<code>Iterator<Item=T>()</code>

Таблица Б-5 показывает обозначения которые появляются в контексте использования обобщённых типов параметров с ограничениями типов

Таблица Б-5: Ограничения типов

Обозначение	Объяснение
<code>T: U</code>	Обобщённый параметр <code>T</code> ограничивается до типов которые реализуют типаж <code>U</code>
<code>T: 'a</code>	Обобщённый тип <code>T</code> должен существовать не меньше чем <code>'a</code> (то есть тип не может иметь ссылки с временем жизни меньше чем <code>'a</code>)
<code>T: 'static</code>	Обобщённый тип <code>T</code> не имеет заимствованных ссылок кроме имеющих время жизни <code>'static</code>
<code>'b: 'a</code>	Обобщённое время жизни <code>'b</code> должно быть не меньше чем <code>'a</code>
<code>T: ?Sized</code>	Позволяет обобщённым типам параметра иметь динамический размер
<code>'a + trait, trait + trait</code>	Соединение ограничений типов

Таблица Б-6 показывает обозначения, которые появляются в контексте вызова или определения макросов и указания атрибутов элемента.

Таблица Б-6: Макросы и атрибуты

Обозначение	Объяснение
<code># [meta]</code>	Внешний атрибут
<code>#! [meta]</code>	Внутренний атрибут
<code>\$ident</code>	Подстановка в макросе
<code>\$ident:kind</code>	Захват макроса
<code>\$(...)</code>	Повторение макроса
<code>ident!(...), ident!{...}, ident![...]</code>	Вызов макроса

Таблица Б-7 показывает обозначения, которые создают комментарии.

Таблица Б-7: Комментарии

Обозначение	Объяснение
<code>//</code>	Однострочный комментарий
<code>///</code>	Внутренний однострочный комментарий документации
<code>///</code>	Внешний однострочный комментарий документации
<code>/*...*/</code>	Многострочный комментарий

Обозначение	Объяснение
<code>/*!...*/</code>	Внутренний многострочный комментарий документации
<code>/**...*/</code>	Внешний многострочный комментарий документации

Таблица Б-8 показывает обозначения, которые появляются в контексте использования кортежей.

Таблица Б-8: Кортежи

Обозначение	Объяснение
<code>()</code>	Пустой кортеж, он же пустой тип. И литерал и тип.
<code>(expr)</code>	Выражение в скобках
<code>(expr,)</code>	Кортеж с одним элементом выражения
<code>(type,)</code>	Кортеж с одним элементом типа
<code>(expr, ...)</code>	Выражение кортежа
<code>(type, ...)</code>	Тип кортежа
<code>(type, ...)</code>	Выражение вызова функции; также используется для инициализации структур-кортежей и вариантов-кортежей перечисления
<code>expr.0, expr.1, etc.</code>	Взятие элемента по индексу в кортеже

Таблица Б-9 показывает контексты, в которых используются фигурные скобки.

Таблица Б-9: Фигурные скобки

Контекст	Объяснение
<code>{...}</code>	Выражение блока
<code>Type {...}</code>	<code>struct</code> литерал

Таблица Б-10 показывает контексты, в которых используются квадратные скобки.

Таблица Б-10: Квадратные скобки

Контекст	Объяснение
<code>[...]</code>	Литерал массива
<code>[expr; len]</code>	Литерал массива, содержащий <code>len</code> копий <code>expr</code>
<code>[type; len]</code>	Массив, содержащий <code>len</code> экземпляров типа <code>type</code>
<code>expr[expr]</code>	Взятие по индексу в коллекции. Возможна перегрузка (<code>Index</code> , <code>IndexMut</code>)
<code>expr[...], expr[a...], expr[..b], expr[a..b]</code>	Взятие среза коллекции по индексу, используется <code>Range</code> , <code>RangeFrom</code> , <code>RangeTo</code> , или <code>RangeFull</code> как "индекс"

Дополнение В: Выводимые типажи

Во многих частях книги мы обсуждали атрибут `derive`, которые Вы могли применить к объявлению структуры или перечисления. Атрибут `derive` генерирует код по умолчанию для реализации типажа, который вы указали в `derive`.

В этом дополнении, мы расскажем про все типажи, которые вы можете использовать в атрибуте `derive`. Каждая секция содержит:

- Операции и методы, добавляемые типажом
- Как представлена реализация типажа через `derive`
- Что реализация типажа рассказывает про тип
- Условия, в которых разрешено или запрещено реализовывать типаж
- Примеры ситуаций, которые требуют наличие типажа

Если Вам понадобилось поведение отличное от поведения при реализации через `derive`, обратитесь к [документации по стандартной библиотеке](#) чтобы узнать как вручную реализовать типаж.

Перечисленные здесь типажи являются единственными, определёнными стандартной библиотекой, которые могут быть реализованы в ваших типах с помощью `derive`. Другие типажи, определённые в стандартной библиотеке, не имеют ощутимого поведения по умолчанию, поэтому вам решать, как реализовать их для достижения ваших целей.

Пример типажа, который нельзя реализовать через `derive` - `Display`, который обрабатывает форматирование для конечных пользователей. Вы всегда должны сами рассмотреть лучший способ для отображения типа конечному пользователю. Какие части типа должны быть разрешены для просмотра конечному пользователю? Какие части они найдут подходящими? Какой формат вывода для них будет самым подходящим? Компилятор Rust не знает ответы на эти вопросы, поэтому он не может подобрать подходящее стандартное поведение.

Список типов, реализуемых через `derive`, в этом дополнении не является исчерпывающим: библиотеки могут реализовывать `derive` для их собственных типажей, составляя свои списки типажей, которые Вы можете использовать с помощью `derive`. Реализация `derive` включает в себя использование процедурных макросов, которые были рассмотрены в разделе "Макросы" главы 19.

Debug для отладочного вывода

Типаж `Debug` включает отладочное форматирование в форматируемых строках, которые вы можете указать с помощью `:?` внутри `{}` фигурных скобок.

Типаж `Debug` позволяет Вам напечатать объекты типа с целью отладки, поэтому Вы и другие программисты, использующие Ваш тип, смогут проверить объект в определённой точке

выполнения программы.

Типаж `Debug` обязателен в некоторых случаях. Например, при использовании макроса `assert_eq!`. Этот макрос печатает значения входных аргументов, если они не совпадают. Это позволяет программистам увидеть, почему эти объекты не равны.

PartialEq и Eq для сравнения равенства

Типаж `PartialEq` позволяет Вам сравнить объекты одного типа на эквивалентность, и включает для них использование операторов `==` и `!=`.

Использование `PartialEq` реализует метод `eq`. Когда `PartialEq` используют для структуры, два объекта равны если равны все поля объектов, и объекты не равны, если хотя бы одно поле отлично. Когда используется для перечислений, каждый вариант равен себе, и не равен другим вариантам.

Типаж `PartialEq` обязателен в некоторых случаях. Например для макроса `assert_eq!`, где необходимо сравнивать два объекта одного типа на эквивалентность.

Типаж `Eq` не имеет методов. Он сигнализирует что каждое значение аннотированного типа равно самому себе. Типаж `Eq` может быть применён только для типов реализующих типаж `PartialEq`, хотя не все типы, которые реализуют `PartialEq` могут реализовывать `Eq`. Примером являются числа с плавающей запятой: реализация чисел с плавающей запятой говорит, что два экземпляра со значениями не-число (`NaN`) не равны друг другу.

Типаж `Eq` необходим в некоторых случаях. Например, для ключей в `HashMap<K, V>`. Поэтому `HashMap<K, V>` может сказать, что два ключа являются одним и тем же.

PartialOrd и Ord для сравнения порядка

Типаж `PartialOrd` позволяет Вам сравнить объекты одного типа с помощью сортировки. Тип, реализующий `PartialOrd` может использоваться с операторами `<`, `>`, `<=`, и `>=`. Вы можете реализовать типаж `PartialOrd` только для типов, реализующих `PartialEq`.

Использование `PartialOrd` реализует метод `partial_cmp`, который возвращает `Option<Ordering>` который является `None` когда значения не выстраивают порядок. Примером значения, которое не может быть упорядочено, не являются числом (`NaN`) значение с плавающей запятой. Вызов `partial_cmp` с любым числом с плавающей запятой и значением `NaN` вернёт `None`.

Когда используется для структур, `PartialOrd` сравнивает два объекта путём сравнения значений каждого поля в порядке, в котором поля объявлены в структуре. Когда используется для перечислений, то варианты перечисления объявленные ранее будут меньше чем варианты объявленные позже.

Например, типаж `PartialOrd` может потребоваться для метода `gen_range` из `rand` крейта который генерирует случайные значения в заданном диапазоне (который определён выражением диапазона).

Типаж `Ord` позволяет знать, для двух значений аннотированного типа всегда будет существовать валидный порядок. Типаж `Ord` реализовывает метод `cmp`, который возвращает `Ordering` а не `Option<Ordering>` потому что валидный порядок всегда будет существовать. Вы можете применить типаж `Ord` только для типов, реализовывающих типаж `PartialOrd` и `Eq` (`Eq` также требует `PartialEq`). При использовании на структурах или перечислениях, `cmp` имеет такое же поведение, как и `partial_cmp` в `PartialOrd`.

Типаж `Ord` необходим в некоторых случаях. Например, сохранение значений в `BTreeSet<T>`, типе данных, который хранит информацию на основе порядка отсортированных данных.

Clone и Copy для дублирования значений

Типаж `Clone` позволяет вам явно создать глубокую копию значения, а также процесс дублирования может вызывать специальный код и копировать данные с кучи. Более детально про `Clone` смотрите в секции "[Способы взаимодействия переменных и данных: клонирование](#)" в разделе 4.

Использование `clone` реализует метод `clone`, который в случае реализации на всем типе, вызывает `clone` для каждой части данных типа. Это подразумевает, что все поля или значения в типе также должны реализовывать `Clone` для использования `Clone`.

Типаж `Clone` необходим в некоторых случаях. Например, для вызова метода `to_vec` для среза. Срез не владеет данными, содержащимися в нем, но вектор значений, возвращённый из `to_vec` должен владеть этими объектами, поэтому `to_vec` вызывает `clone` для всех данных. Таким образом, тип хранящийся в срезе, должен реализовывать `Clone`.

Типаж `Copy` позволяет дублировать значения копируя только данные, которые хранятся на стеке, произвольный код не требуется. Смотрите секцию "[Стековые данные: Копирование](#)" в разделе 4 для большей информации о `Copy`.

Типаж `Copy` не содержит методов для предотвращения перегрузки этих методов программистами, иначе бы это нарушило соглашение, что никакой произвольный код не запускается. Таким образом все программисты могут предполагать, что копирование значений будет происходить быстро.

Вы можете вывести `Copy` для любого типа все части которого реализуют `Copy`. Тип который реализует `Copy` должен также реализовывать `Clone`, потому что тип реализующий `Copy` имеет тривиальную реализацию `Clone` который выполняет ту же задачу, что и `Copy`.

Типаж `Copy` нужен очень редко; типы, реализовывающие `Copy` имеют небольшую оптимизацию, то есть для него не нужно вызывать метод `clone`, который делает код более кратким.

Все, что вы делаете с `Copy` можно также делать и с `Clone`, но код может быть медленнее и требовать вызов метода `clone` в некоторых местах.

Hash для превращения значения в значение фиксированного размера

Типаж `Hash` позволяет превратить значение произвольного размера в значение фиксированного размера с использованием хеш-функции. Использование `Hash` реализует метод `hash`. При реализации через `derive`, метод `hash` комбинирует результаты вызова `hash` на каждой части данных типа, то есть все поля или значения должны реализовывать `Hash` для использования `Hash` с помощью `derive`.

Типаж `Hash` необходим в некоторых случаях. Например, для хранения ключей в `HashMap<K, V>`, для их более эффективного хранения.

Default для значений по умолчанию

Типаж `Default` позволяет создавать значение по умолчанию для типа. Использование `Default` реализует функцию `default`. Стандартная реализация метода `default` вызовет функцию `default` на каждой части данных типа, то есть для использования `Default` через `derive`, все поля и значения типа данных должны также реализовывать `Default`.

Функция `Default::default` часто используется в комбинации с синтаксисом обновления структуры, который мы обсуждали в секции ["Создание экземпляра структуры из экземпляра другой структуры с помощью синтаксиса обновления структуры"](#) главы 5. Вы можете настроить несколько полей для структуры, а для остальных полей установить значения с помощью `..Default::default()`.

Типаж `Default` необходим в некоторых случаях. Например, для метода `unwrap_or_default` у типа `Option<T>`. Если значение `Option<T>` будет `None`, метод `unwrap_or_default` вернёт результат вызова функции `Default::default` для типа `T`, хранящегося в `Option<T>`.

Дополнение Г - Средства разработки

В этом дополнении мы расскажем про часто используемые средства разработки, предоставляемые Rust. Мы рассмотрим автоматическое форматирование, быстрый путь исправления предупреждений, линтер, и интеграцию с IDE.

Автоматическое форматирование с `rustfmt`

Инструмент `rustfmt` переформатирует ваш код в соответствии со стилем кода сообщества. Многие совместные проекты используют `rustfmt`, чтобы предотвратить споры о том, какой стиль использовать при написании Rust: все форматируют свой код с помощью этого инструмента.

Для установки `rustfmt`, введите следующее:

```
$ rustup component add rustfmt
```

Эта команда установит `rustfmt` и `cargo-fmt`, также как Rust даёт Вам одновременно `rustc` и `cargo`. Для форматирования проекта, использующего Cargo, введите следующее:

```
$ cargo fmt
```

Эта команда отформатирует весь код на языке Rust в текущем крейте. Будет изменён только стиль кода, семантика останется прежней. Для большей информации о `rustfmt`, смотрите [документацию](#).

Исправление кода с `rustfix`

Инструмент `rustfix` включён в установку Rust и может автоматически исправлять предупреждения компилятора с очевидным способом исправления проблемы, скорее всего, подходящим вам. Вероятно, вы уже видели предупреждения компилятора. Например, рассмотрим этот код:

Файл: `src/main.rs`

```
fn do_something() {}

fn main() {
    for i in 0..100 {
        do_something();
    }
}
```

Мы вызываем функцию `do_something` 100 раз, но никогда не используем переменную `i` в теле цикла `for`. Rust предупреждает нас об этом:

```
$ cargo build
   Compiling myprogram v0.1.0 (file:///projects/myprogram)
warning: unused variable: `i`
--> src/main.rs:4:9
4 |     for i in 0..100 {
|         ^ help: consider using `_i` instead
|
|= note: #[warn(unused_variables)] on by default

   Finished dev [unoptimized + debuginfo] target(s) in 0.50s
```

Предупреждение предлагает нам использовать `_i` как имя переменной: нижнее подчёркивание в начале идентификатора предполагает, что мы его не используем. Мы можем автоматически применить это предположение с помощью `rustfix`, запустив команду `cargo fix`:

```
$ cargo fix
   Checking myprogram v0.1.0 (file:///projects/myprogram)
     Fixing src/main.rs (1 fix)
   Finished dev [unoptimized + debuginfo] target(s) in 0.59s
```

Когда посмотрим в `src/main.rs` снова, мы увидим что `cargo fix` изменил наш код:

Файл: `src/main.rs`

```
fn do_something() {}

fn main() {
    for _i in 0..100 {
        do_something();
    }
}
```

Переменная цикла `for` теперь носит имя `_i`, и предупреждение больше не появляется.

Также Вы можете использовать команду `cargo fix` для перемещения вашего кода между различными редакциями Rust. Редакции будут рассмотрены в дополнении Д.

Больше проверок с Clippy

Инструмент Clippy является коллекцией проверок (lints) для анализа Вашего кода, поэтому Вы можете найти простые ошибки и улучшить ваш Rust код.

Для установки Clippy, введите следующее:

```
$ rustup component add clippy
```

Для запуска проверок Clippy's для проекта Cargo, введите следующее:

```
$ cargo clippy
```

Например, скажем что Вы хотите написать программу, в которой будет использоваться приближенная математическая константа, такая как число Пи, как в следующей программе:

Файл: src/main.rs

```
fn main() {
    let x = 3.1415;
    let r = 8.0;
    println!("the area of the circle is {}", x * r * r);
}
```

Запуск `cargo clippy` для этого проекта вызовет следующую ошибку:

```
error: approximate value of `f{32, 64}::consts::PI` found
--> src/main.rs:2:13
2 |     let x = 3.1415;
   |           ^^^^^^
   |
= note: `#[deny(clippy::approx_constant)]` on by default
= help: consider using the constant directly
= help: for further information visit https://rust-lang.github.io/rust-
clippy/master/index.html#approx_constant
```

Эта ошибка сообщает вам, что в Rust уже определена более точная константа `PI`, и что ваша программа будет более корректной, если вы вместо неё будете использовать эту константу. Затем вы должны изменить свой код, чтобы использовать константу `PI`. Следующий код не приводит к ошибкам или предупреждениям от Clippy:

Файл: src/main.rs

```
fn main() {
    let x = std::f64::consts::PI;
    let r = 8.0;
    println!("the area of the circle is {}", x * r * r);
}
```

Для большей информации о Clippy смотрите [документацию](#).

Интеграция с IDE с помощью `rust-analyzer`

Чтобы облегчить интеграцию с IDE, сообщество Rust рекомендует использовать `rust-analyzer`. Этот инструмент представляет собой набор ориентированных на компилятор утилит, которые используют [Language Server Protocol](#), который является спецификацией для взаимодействия IDE и языков программирования друг с другом. Разные клиенты могут использовать `rust-analyzer`, например [подключаемый модуль анализатора Rust для Visual Studio Code](#).

Посетите [домашнюю страницу](#) проекта `rust-analyzer` для получения инструкций по установке, затем установите поддержку языкового сервера в конкретной среде IDE. Ваша IDE получит такие возможности, как автозаполнение, переход к определению и встроенные ошибки.

Приложение E - Редакции языка

В главе 1, можно увидеть, что команда `cargo new` добавляет некоторые мета-данные о редакции языка в файл `Cargo.toml`. Данное приложение рассказывает, что они означают.

Язык Rust и его компилятор имеют шестинедельный цикл выпуска, означающий, что пользователи постоянно получают новые функции. В других языках обычно выпускают большие обновления, но редко. Команда Rust выпускает меньшие обновления, но более часто. Через некоторое время все эти небольшие изменения накапливаются. Между релизами обычно сложно оглянуться назад и сказать "Ого, язык сильно изменился между версиями Rust 1.10 и Rust 1.31!"

Каждые два или три года, команда Rust выпускает новую редакцию языка (*Rust edition*). Каждая редакция объединяет все новые особенности, которые попали в язык с новыми пакетами, с полной, обновлённой документацией и инструментарием. Новые редакции поставляются как часть шестинедельного процесса релизов.

Для разных людей редакции служат разным целям:

- Для активных пользователей новая редакция приносит все инкрементальные изменения в удобный и понятный пакет.
- Для тех, кто языком не пользуется, новая реакция является сигналом, что некоторые важные улучшения, на которые возможно надо взглянуть ещё раз, попали в язык.
- Для тех кто разрабатывает на Rust, новая редакция даёт некоторую точку отсчёта для проекта в целом.

На момент написания доступны две редакции Rust: Rust 2015 и Rust 2018. Данная книга написана с использованием идиом редакции Rust 2018.

Ключ `edition` в конфигурационном файле `Cargo.toml` отображает, какую редакцию компилятор должен использовать для вашего кода. Если ключа нет, то для обратной совместимости компилятор Rust использует редакцию `2015`.

Любой проект может выбрать редакцию отличную от редакции по умолчанию, которая равна 2015. Редакции могут содержать несовместимые изменения, включая новые ключевые слова, которые могут конфликтовать с идентификаторами в коде. Однако, пока вы не переключитесь на новую редакцию, ваш код будет продолжать компилироваться даже после обновления используемой версии компилятора.

Все версии компилятора Rust поддерживают любую редакцию, которая предшествовала выпуску текущей, и они могут линковать пакеты любой поддерживаемой редакции. Изменения редакций действуют только на способ начального разбора компилятором исходного кода. Поэтому, если вы используете 2015 редакцию, а одна из ваших зависимостей использует 2018, ваш проект будет скомпилирован и сможет пользоваться этой зависимостью. Обратная ситуация, когда ваш проект использует Rust 2018, а зависимость использует Rust 2015, работает таким же образом.

Внесём ясность: большая часть возможностей будет доступна во всех редакциях. Разработчики, использующие любую редакцию Rust, будут продолжать получать улучшения по мере выпуска новых релизов. Однако в некоторых случаях, в основном, когда добавляются новые ключевые слова, некоторые новые возможности могут быть доступны только в последних редакциях. Нужно переключить редакцию, чтобы воспользоваться новыми возможностями.

Для получения больше деталей, есть полная книга [*Edition Guide*](#) про редакции, в которой перечисляются различия между редакциями и объясняется, как автоматически обновить свой код на новую редакцию с помощью команды `cargo fix`.

Приложение Е: Переводы книги

Для ресурсов на языках, отличных от английского. Большинство из них все ещё в разработке; см. [ярлык «Переводы»](#), чтобы помочь или сообщить нам о новом переводе!

- [Português \(BR\)](#)
- [Português \(PT\)](#)
- 简体中文
- 正體中文
- Українська
- [Español, alternate](#)
- [Italiano](#)
- [Русский](#)
- [한국어](#)
- [日本語](#)
- [Français](#)
- [Polski](#)
- [Cebuano](#)
- [Tagalog](#)
- [Esperanto](#)
- [ελληνική](#)
- [Svenska](#)
- [Farsi](#)
- [Deutsch](#)
- [हिंदी](#)
- [ไทย](#)
- [Danske](#)

Дополнение Ё - Как создаётся Rust и “Nightly Rust”

Это дополнение рассказывает как создаётся Rust, и как это влияет на Вас как на разработчика.

Стабильность без стагнации

Как язык, Rust много заботиться о стабильности Вашего кода. Мы хотим чтобы Rust был прочным фундаментом, вашей опорой, и если бы все постоянно менялось, это было бы невозможно. В то же время, если мы не можем экспериментировать с различными возможностями, мы не можем обнаружить важные проблемы до релиза, когда мы не можем их изменить.

Нашим решением проблемы является “стабильность без стагнации”, и наш руководящий принцип: Вы никогда не должны бояться перехода на новую стабильную версию Rust. Каждое обновление должно быть безболезненным, но также должно добавлять новые функции, меньше дефектов и более быструю скорость компиляции.

Ту-ту! Каналы выпуска и поездка на поезде

Разработка языка Rust работает по принципу *расписания поездов*. То есть, вся разработка совершается в ветке `master` Rust репозитория. Выпуски следуют модели последовательного выпуска продукта (software release train), которая была использована Cisco IOS и другими программными продуктами. Есть три *канала выпуска* Rust:

- Ночной (Nightly)
- Бета (Beta)
- Стабильный (Stable)

Большинство Rust разработчиков используют стабильную версию, но те кто хотят попробовать экспериментальные новые функции, должны использовать Nightly или Beta.

Приведём пример, как работает процесс разработки и выпуска новых версий. Давайте предположим, что команда Rust работает над версией Rust 1.5. Его релиз состоялся в декабре 2015 года, но это даст реалистичность номера версии. Была добавлена новая функциональность в Rust: новые коммиты в ветку `master`. Каждую ночь выпускается новая новая версия Rust. Каждый день является днём выпуска новой версии и эти выпуски создаются нашей структурой автоматически. По мере того как идёт время, наши выпуски выглядят так:

```
nightly: * - - * - - *
```

Каждые шесть недель наступает время подготовки новой Beta версии! Ветка `beta` Rust репозитория ответвляется от ветки `master`, используемой версией Nightly. Теперь мы имеем

два выпуска:

```
nightly: * - - * - - *
          |
beta:      *
```

Многие пользователи Rust не используют активно бета-версию, но тестируют бета-версию в их системе CI для помощи Rust обнаружить проблемы обратной совместимости. В это время каждую ночь выпускается новая версия Nightly:

```
nightly: * - - * - - * - - * - - *
          |
beta:      *
```

Предположим, что была найдена регрессия. Хорошо, что мы можем протестировать бета-версию перед тем как регрессия попала в стабильную версию! Исправление отправляется в ветку `master`, поэтому версия `nightly` исправлена и затем исправление также направляется в ветку `beta`, и происходит новый выпуск бета-версии:

```
nightly: * - - * - - * - - * - - * - -
          |
beta:      * - - - - - - - - *
```

Через шесть недель после выпуска бета-версии, наступает время для выпуска стабильной версии! Ветка `stable` создаётся из ветки `beta`:

```
nightly: * - - * - - * - - * - - * - * - *
          |
beta:      * - - - - - - - - *
          |
stable:    *
```

Ура! Rust 1.5 выпущена! Но мы также забыли про одну вещь: так как прошло шесть недель, мы должны выпустить бета-версию следующей версии Rust 1.6. Поэтому после ответвления ветки `stable` из ветки `beta`, следующая версия `beta` ответвляется снова от `nightly`:

```
nightly: * - - * - - * - - * - - * - * - *
          |
beta:      * - - - - - - - - *
          |
stable:    *
```

Это называется “модель поезда” (train model), потому что каждые шесть недель выпуск “покидает станцию”, но ему все ещё нужно пройти канал beta, чтобы попасть в стабильную версию.

Rust выпускается каждые шесть недель, как часы. Если вы знаете дату одного выпуска Rust, вы знаете дату выпуска следующего: это шесть недель позднее. Хорошим аспектом выпуска версий каждые шесть недель является то, что следующий поезд прибывает скоро. Если какая-то функция не попадает в релиз, не надо волноваться: ещё один выпуск произойдёт очень

скоро! Это помогает снизить давление в случае если функция возможно не отполирована к дате выпуска.

Благодаря этому процессу, вы всегда можете посмотреть следующую версию Rust и убедиться, что на неё легко будет перейти: если бета-выпуск будет работать не так как ожидалось, вы можете сообщить об этом разработчикам и он будет исправлен перед выпуском стабильной версии! Поломки в бета-версии случаются относительно редко, но `rustc` все ещё является частью программного обеспечения, поэтому дефекты все ещё существуют.

Нестабильные функции

У этой модели выпуска есть ещё один плюс: нестабильные функции. Rust использует технику называемую “флаги функционала” (feature flags) для определения функций, которые были включены в выпуске. Если новая функция находится в активной разработке, она попадает в ветку `master`, и поэтому попадает в ночную версию, но с флагом функции (feature flag). Если как пользователь, вы хотите попробовать работу такой функции, находящейся в разработке, вы должны использовать ночную версию Rust и указать в вашем исходном коде определённый флаг.

Если вы используете бета или стабильную версию Rust, Вы не можете использовать флаги функций. Этот ключевой момент позволяет использовать на практике новые возможности перед их стабилизацией. Это может использоваться желающими идти в ногу со временем, а другие могут использовать стабильную версию и быть уверенными что их код не сломается. Стабильность без стагнации.

Эта книга содержит информацию только о стабильных возможностях, так как разрабатываемые возможности продолжают меняться в процессе и несомненно они будут отличаться в зависимости от того, когда эта книга написана и когда эти возможности будут включены в стабильные сборки. Вы можете найти информацию о возможностяхочной версии в интернете.

Rustup и роль ночной версии Rust

Rustup делает лёгким изменение между различными каналами Rust, на глобальном или локальном для проекта уровне. По умолчанию устанавливается стабильная версия Rust. Для установки ночной версии выполните команду:

```
$ rustup toolchain install nightly
```

Вы можете также увидеть все установленные инструменты разработчика (*toolchains*) (версии Rust и ассоциированные компоненты) с помощью `rustup`. Это пример вывода у одного из авторов Rust с компьютером на Windows:

```
> rustup toolchain list
stable-x86_64-pc-windows-msvc (default)
beta-x86_64-pc-windows-msvc
nightly-x86_64-pc-windows-msvc
```

Как видите, стабильный набор инструментов (toolchain) используется по умолчанию. Большинство пользователей Rust используют стабильные версии большую часть времени. Возможно, вы захотите использовать стабильную большую часть времени, но использовать каждую ночную версию в конкретном проекте, потому что заботитесь о передовых возможностях. Для этого вы можете использовать команду `rustup override` в каталоге этого проекта, чтобы установить ночной набор инструментов, должна использоваться команда `rustup`, когда вы находитесь в этом каталоге:

```
$ cd ~/projects/needs-nightly
$ rustup override set nightly
```

Теперь каждый раз, когда вы вызываете `rustc` или `cargo` внутри `~/projects/needs-nightly`, `rustup` будет следить за тем, чтобы вы используете ночной версию Rust, а не стабильную по умолчанию. Это очень удобно, когда у вас есть множество Rust проектов!

Процесс RFC и команды

Итак, как вы узнаете об этих новых возможностях? Модель разработки Rust следует *процессу запроса комментариев* (*RFC - Request For Comments*). Если хотите улучшить Rust, вы можете написать предложение, которое называется RFC.

Любой может написать RFC для улучшения Rust, предложения рассматриваются и обсуждаются командой Rust, которая состоит из множества тематических подгрупп. На [веб-сайте Rust](#) есть полный список команд, который включает команды для каждой области проекта: дизайн языка, реализация компилятора, инфраструктура, документация и многое другое. Соответствующая команда читает предложение и комментарии, пишет некоторые собственные комментарии и в конечном итоге, приходит к согласию принять или отклонить эту возможность.

Если новая возможность принята и кто-то может реализовать её, то задача открывается в репозитории Rust. Человек реализующий её, вполне может не быть тем, кто предложил эту возможность! Когда реализация готова, она попадает в `master` ветвь с флагом функции, как мы обсуждали в разделе "["Нестабильных функций"](#)".

Через некоторое время, разработчики Rust использующие ночные выпуски, смогут опробовать новую возможность, члены команды обсудят её, как она работает в ночной версии и решат, должна ли она попасть в стабильную версию Rust или нет. Если принимается решение двигать её вперёд, ограничение функции с помощью флага убирается и функция теперь считается стабильной! Она едет в новую стабильную версию Rust.