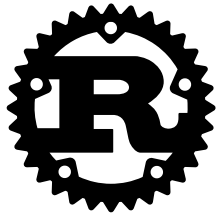
Rust 2019

compscicenter.ru

aleksey.kladov@gmail.com



Лекция 3
Трейты

Сопоставление с Образцом

```rust
enum E {
    One(usize),
    Two { value: Vec<u32>, other: Vec<u32> },
    Tree,
}

fn foo(e: E) {
    match e {
        E::One(x) => x,
        E::Two { value: xs, .. } => xs.len(),
        _ => 92,
    }
}
```

- нужно явно указывать все ветки
- `_` матчит всё, что угодно
- `..` игнорирует остальные поля

```rust
enum E {
    One(usize),
    Two { value: Vec<u32>, other: Vec<u32> },
    Tree,
}

fn foo(e: E) {
    let xs: Vec<u32> = match e {
        E::Two { value, other: _ } => value,
        _ => return,
    }
}
```

- все ветки должны иметь один тип (но помним про `!`)
- **`match`** может поглощать аргумент

Range Patterns

```
let x = 92u8;
match x {
    0   ..= 128 => "small",
    129 ..= 255 => "big",
}
```

- `..=` матчит отрезок (включая концы)

Binding Modes

```
fn foo(r: Result<Vec<u32>, Error>) {
    let xs: &Vec<u32> = match &r {
        Ok(xs) => xs,
        Err(_) => return,
    };
}
```

- если матчить &T а не T, то результат — & ссылки
- исходное значение не поглощается
- аналогично для &**mut** T

Сахар

```
if let Ok(res) = f() {
    body
}
```

```
match f() {
    Ok(res) => body,
    _ => (),
}
```

```
while let Some(v) = it.next() {
    body
}
```

```
loop {
    match it.next() {
        Some(v) => body,
        _ => break,
    }
}
```

Всё — Паттерны

let и аргументы функций — тоже паттерны:

```
struct Color { r: u8, g: u8, b: u8 }

fn red(Color { r, .. }: Color) -> u8 {
    r
}
```

Параметрический Полиморфизм

Quiz

Что является результатом компиляции функции?

```
fn scale(p: &mut Point, factor: f64) {
    p.x *= factor;
    p.y *= factor;
}
```

Quiz

Что является результатом компиляции структуры?

```
struct Point(f64, f64);
```

Параметризованные функции

- в Rust нет перегрузки функций
- но функции могут быть параметризованы типами:

```
fn identity<T>(x: T) -> T {
    x
}

fn drop<T>(_x: T) {
}
```

Traits

Чтобы сделать что-то полезное с аргументом типа T, надо знать интерфейс T!

```rust
struct Cat;

trait Say {
    fn say(&self);
}

impl Say for Cat {
    fn say(&self) { println!("meow!") }
}

fn main() {
    let cat = Cat;
    cat.say();
}
```

Реализация трейта (**`impl`**) живёт отдельно от определения структуры

```rust
struct Cat;
impl Say for Cat {
    fn say(&self) { println!("meow!") }
}

struct Dog;
impl Say for Dog {
    fn say(&self) { println!("woof!") }
}

fn say_twice<T: Say>(t: &T) {
    t.say();
    t.say();
}

fn main() {
    let dog = Dog;
    say_twice(&dog);
}
```

Трейты слегка похожи на интерфейсы из ОО языков, но сходство скорее обманчиво

impl MyTrait for YourType

Можно реализовывать свои трейты для чужих типов:

```
impl Say for i32 {
    fn say(&self) {
        println!("hm... int-int?")
    }
}

fn main() {
    let x = 92;
    92.say();
}
```

Это работает, потому что Rust не использует таблицы виртуальных функций

Return type polymorphism

Невозможный интерфейс:

```
trait Default {
    fn default() -> Self;
}
```

- `Self` — тип, для которого реализуется трейт
- у функции `default` нет параметров, но тип результата не фиксирован

```rust
trait Default {
    fn default() -> Self;
}

struct Circle {
    center: Point,
    radius: f64,
}

impl Default for Circle {
    fn default() -> Circle {
        Circle {
            center: Point::default(),
            radius: 1.0,
        }
    }
}
```

Static Dispatch

```
fn make_default<T: Default>() -> T {
    T::default()
}

fn main() {
    let c: Circle = make_default();
}
```

- не можем сделать виртуальный вызов — нет объекта
- можем статически понять тип и вызвать нужный код

Мономорфизация

- в исполняемом файле `make_default::<Circle>` и `make_default::<Square>` это две разные функции (два разных фрагмента машинного кода)
- при компиляции известны конкретные значения всех параметров типа, можно подставить вызов нужной функции

```
fn main() {
    let circle: Circle = make_default::<Circle>();
    let square: Square = make_default::<Square>();
}
```

Мономорфизация

```
fn default_pair<T: Default>() -> (T, T) {
    (make_default(), make_default())
}

fn main() {
    let _: (Circle, Circle) = default_pair();
}
```

В процессе компиляции генерируются только нужные варианты функций

Дженерики в Java

- у всех объектов одинаковое представление — указатель
- в начале каждого объекта лежит указатель на таблицу виртуальных функций (энергичное размахивание руками)
- существует только один вариант каждой функции: стирание типов в runtime
- разное поведение достигается за счёт виртуальных вызовов

```
trait Area {
    fn area(&self) -> f64;
}

struct Circle { center: Point, radius: f64 }
impl Area for Circle { ... }

struct Rectangle { bottom_left: Point, top_right: Point }
impl Area for Rectangle { ... }

fn main() {
    let mut shapes: Vec<Area> = Vec::new();
    shapes.push(Circle::default());
    shapes.push(Rectangle::default());
    for shape in shapes.iter() {
        println!("area: {}", shape.area())
    }
}
```

Мономорфизация

- нельзя складывать в вектор объекты разных типов — у них разный `mem::size_of`

`trait` это не тип, это свойство типа.

Inlining

inlining

оптимизация, подстановка тела функции в место её вызова

- экономим вызов функции, но это не важно
- оптимизируем тело функции в контексте места вызова

```
fn multiply(x: i32, y: i32) -> { x * y }

fn foo(x: i32) {
    let x = multiply(x, 2);
}
```

Статические вызовы (и мономорфизация) допускают inline

Мономорфизация vs. Стирание Типа

Статический полиморфизм

- скорость (you couldn't hand code any better):
  - inline
  - оптимальные структуры данных (`Vec<i32>` vs `Vec<i64>`)
- return type polymorphism
- code bloat: много копий каждой функции

Динамический полиморфизм

- раздельная и быстрая компиляция
- интерфейсы являются типами (можно сложить в коллекцию)
- можно добавлять новые типы в run time

Трейты в Rust vs. Шаблоны в C++

- компилируются одинаково (мономорфизация)
- проверка типов в момент определения vs в момент инстанциирования
- подход C++ более могущественный, подход Rust гарантирует больше свойств

Проверка типов

```
fn add<T>(x: T, y: T) {
    x + y; // binary operation `+` cannot be applied to type `T`
}
```

Проверка типов

```
fn add<T: std::ops::Add>(x: T, y: T) {
    x + y;  // ok
}
```

Проверка типов

```
template <typename T>
void add(T x, T y) {
  x + y;
}

struct S {};

int main() {
  add(1, 2);       // ok
  add(S {}, S{}); // error: no match for ‘operator+’
}
```

Swift Generics

В Swift используется интересная комбинированная стратегия, сочетающая раздельную компиляцию и эффективные оптимизации:

Implementing Swift Generics

Разное

Fully Qualified Syntax

```
struct S { ... }
impl S {
    fn foo(&self) { ... }
}

fn bar(s: &S) {
    s.foo();
    S::foo(s)
}
```

Fully Qualified Syntax

```
struct S { ... }
trait T {
    fn foo(&self);
}
impl T for S { ... }

fn bar(s: &S) {
    s.foo();
    S::foo(s)
    T::foo(s);
    <S as T>::foo(s);
}
```

- для вызова метода трейт должен быть импортирован
- при коллизии inherent метода и трейта побеждает метод
- при коллизии двух трейтов — ошибка компиляции

Where clauses

```
fn make_default<T: Default>() -> T {
    Default::default()
}
```

можно записать как

```
fn make_default<T>() -> T
where
    T: Default,
{
    Default::default()
}
```

- удобно, когда ограничений и параметров много
- можно указать больше ограничений

"Наследование" трейтов

```
trait A {
    fn a(&self);
}

trait B: A {
    fn b(&self);
}
```

Любой тип, реализующий B, должен реализовывать A.

"Наследование" трейтов

"Сахар" для ограничения на `Self` тип

```
trait B
where
    Self: A,
{
    fn b(&self);
}
```

"Наследование" трейтов

```
trait A {
    fn a(&self);
}
trait B: A {
    fn b(&self);
}
```

```
impl B for Spam {
    fn b(&self) {}
}

impl A for Spam {
    fn a(&self) {
        self.b(); // вызываем метод B!
    }
}
```

Полезные Трейты

Default

```
trait Default {
    fn default() -> Self;
}
```

- инициализирует объект по умолчанию
- название микро-трейтов — глагол
- можно вывести автоматически:

```
#[derive(Default)]
struct Point(f64, f64);
```

- `default_constructible` из C++

Clone

```
trait Clone {
    fn clone(&self) -> Self;
    // Опциональная оптимизация
    fn clone_from(&mut self, source: &Self) {
        *self = source.clone();
    }
}
```

- создаёт копию объекта
- аналог copy ctor / copy assignment из C++
- можно вывести (`derive`)

Copy

```
#[lang = "copy"]
trait Copy: Clone { }
```

- пустой "marker" trait
- lang item: компилятор знает про `Copy`
- `derive`

Derive

```
#[derive(Clone, Copy)]
struct Wrapper<T> {
    ptr: *const T,
}
```

Derive

```rust
#[derive(Clone, Copy)]
struct Wrapper<T> {
    ptr: *const T,
}

// #[derive(Clone)]
impl<T: Clone> Clone for Wrapper<T> {
    fn clone(&self) -> Self {
        ...
    }
}
```

"условный" impl

Derive

```
#[derive(Clone, Copy)]
struct Wrapper<T> {
    ptr: *const T,
}
```

`Wrapper<Vec<i32>>` не будет **`: Copy`**,

хотя **`* const Vec<i32>: Copy`**

Derive

```
struct Wrapper<T> {
    ptr: *const T,
}

impl<T> Copy for Wrapper<T> {
}

impl<T> Clone for Wrapper<T> {
    fn clone(&self) -> Wrapper<T> {
        *self // делегируем к `Copy`
    }
}
```

PartialEq, Eq

```rust
pub trait PartialEq<Rhs = Self> {
    fn eq(&self, other: &Rhs) -> bool;
    fn ne(&self, other: &Rhs) -> bool { !self.eq(other) }
}

pub trait Eq: PartialEq<Self> { }
```

- перегрузка операторов `==` и `!=`
- "partial": `f64: PartialEq`, но `f64::NAN != f64::NAN`
- нельзя сравнивать яблоки и апельсины
- `impl PartialEq<Ipv4Addr> for IpAddr`

PartialOrd, Ord

```
pub trait PartialOrd<Rhs = Self>: PartialEq<Rhs> {
    fn partial_cmp(&self, other: &Rhs) -> Option<Ordering>;
    fn lt(&self, other: &Rhs) -> bool { ... }
    fn le(&self, other: &Rhs) -> bool { ... }
    fn gt(&self, other: &Rhs) -> bool { ... }
    fn ge(&self, other: &Rhs) -> bool { ... }
}
```

- "partial" из-за `std::f64::NAN`

```
let mut xs: Vec<f32> = ...;
xs.sort();  // the trait Ord is not implemented for f32
xs.sort_by(|a, b| a.partial_cmp(b).unwrap())
```

- нет необходимости в новом операторе (<=>), как в C++

PartialOrd, Ord

```
pub trait Ord: Eq + PartialOrd<Self> {
    fn cmp(&self, other: &Self) -> Ordering;

    // Note: self
    fn max(self, other: Self) -> Self { ... }
    fn min(self, other: Self) -> Self { ... }
}

impl Ord for Foo {
    fn cmp(&self, other: &Foo) -> Ordering {
        ...
    }
}

impl PartialOrd for Foo {
    fn partial_cmp(&self, other: &Foo) -> Option<Ordering> {
        Some(self.cmp(other))
    }
}
```

std::hash::Hash

```
trait Hash {
    fn hash<H: Hasher>(&self, state: &mut H)
    fn hash_slice<H: Hasher>(data: &[Self], state: &mut H) { ... }
}

trait Hasher {
    fn finish(&self) -> u64;
    fn write(&mut self, bytes: &[u8]);

    fn write_u8(&mut self, i: u8) { ... }
    fn write_u16(&mut self, i: u16) { ... }
    ...
}
```

- методы трейта могут быть параметризованными
- пользователь выбирает хэш функцию

Drop

```
trait Drop {
    fn drop(&mut self);
}
```

- вызывается при уничтожении значения
- компилятор не знает ничего про `Vec<i32>`, кроме наличия `Drop`
- деструктор / **R**esource **A**cquisition **I**s **I**nitialization

Drop

- нельзя позвать руками

```
fn drop_twice(mut xs: Vec<i32>) {
    xs.drop();
    xs.drop(); // explicit destructor calls not allowed
}
```

- есть `std::mem::drop`: `fn drop<T>(_x: T)`

```
struct App {
    db: Database,
}

impl Database {
    fn shutdown(self) { ... }
}

impl Drop for App {
    fn drop(&mut self) {
        let db = self.db;  // cannot move out of here
        db.shutdown()
    }
}
```

```rust
struct App {
    db: Option<Database>,
}

impl Database {
    fn shutdown(self) { ... }
}

impl Drop for App {
    fn drop(&mut self) {
        let db = self.db.take().unwrap();
        assert!(self.db.is_none());
        db.shutdown()
    }
}
```

- `fn take(&mut self) -> Option<T>` — полезная функция у `Option`

std::mem Tricks

```
fn swap<T>(x: &mut T, y: &mut T)
```

меняет два значения местами

```
fn replace<T>(dest: &mut T, src: T) -> T
```

получить T из `&mut T`

Обобщим `Option::take`:

```
fn take<T: Default>(x: &mut T) -> T {
    std::mem::replace(x, T::Default())
}
```

Quiz

Как написать **`replace`**?

```
fn replace<T>(dest: &mut T, src: T) -> T {


}
```

Quiz

Как написать **`replace`**?

```
fn replace<T>(dest: &mut T, mut src: T) -> T {
    mem::swap(dest, &mut src);
    src
}
```

std::mem Tricks

```
fn forget(x: T)
```

поглощает значение без вызова `Drop`

Эмуляция Линейных Типов

`Drop` не возвращает значение и не принимает аргументов

Классический пример — буферизованный вывод. При закрытии потока нужно записать все данные, но нужно обработать ошибки.

Как заставить пользователя не забыть вызвать `flush`?

Эмуляция Линейных Типов

```rust
struct SafeBufWrite { ... }

impl SafeBufWrite {
    fn flush(&mut self) -> Result { ... }
    fn close(mut self) -> Result {
        self.flush()?;
        mem::forget(self) // обезвредили drop
    }
}

impl Drop for SafeBufWrite {
    fn drop(&mut self) {
        let _ = self.flush(); // игнорируем ошибки
        panic!("should be flushed explicitly")
    }
}
```

Подробнее — в лекции про обработку ошибок

Порядок Drop

Локальные переменные уничтожаются в обратном порядке (LIFO):

```
{
    let xs = Vec::new();
    let ys = Vec::new();
    // drop(ys);
    // drop(xs);
}
```

Можно руками позвать `drop`:

```
{
    let xs = Vec::new();
    let ys = Vec::new();
    drop(xs);
    // drop(ys);
}
```

Порядок Drop

Поля уничтожаются в порядке объявления

```
#[derive(Default)]
struct S {
    xs: Vec<i32>,
    ys: Vec<i32>,
}

fn main() {
    let s = S::default();
    // drop(s.xs);
    // drop(s.ys);
}
```

Есть `ManuallyDrop` для тонкого контроля, но придётся использовать **`unsafe`**

dropck

`Drop` влияет на анализ ВЖ

```rust
#[derive(Default)]
struct Wrapper<'a> {
    r: Option<&'a i32>
}

impl<'a> Wrapper<'a> {
    fn push(&mut self, x: &'a i32) { self.r = Some(x); }
}

fn main() {
    let mut xs = Wrapper::default();
    let x = 92;
    xs.push(&x);
    // drop(x);
    // drop(xs);
}
```

В последней строке `r: Option<&i32>` висит, но это не страшно

```rust
#[derive(Default)]
struct Wrapper<'a> {
    r: Option<&'a i32>
}

impl<'a> Wrapper<'a> {
    fn push(&mut self, x: &'a i32) { self.r = Some(x); }
}

impl<'a> Drop for Wrapper<'a> {
    fn drop(&mut self) {
        println!("UAF? {:?}", self.r);
    }
}

fn main() {
    let mut xs = Wrapper::default();
    let x = 92;
    xs.push(&x);
} // borrow might be used here, when xs is dropped and
  // runs the Drop code for type Wrapper
```

Deref

```
trait Deref {
    type Target;

    fn deref(&self) -> &Self::Target;
}
```

- **type** `Target` — ассоциированный тип
- перегрузка операторов `*` и `.`
- `&P` неявно приводится к `&T` если `P: Deref<Target = T>`

Примеры

```
impl<T> Deref for Vec<T> {
    type Target = [T];
    fn deref(&self) -> &[T] {
        ...
    }
}

fn foo(xs: &Vec<i32>) {
    let _n = xs.len();  // len -- метод на [T]
    bar(xs);  // неявное приведение (coercion)
}

fn bar(xs: &[i32]) {
}
```

`&Vec<T>` "бесполезный" тип, предпочитайте **`&[T]`**

Примеры

```rust
impl<T> Deref for Box<T> {
    type Target = T;
    fn deref(&self) -> &T {
        ...
    }
}

fn foo(b: Box<i32>) {
    let p: &i32 = &*b;  // &*Deref::deref(&b)
}
```

&Box<T> двойная косвенность, лучше **&T**

DerefMut

```
trait DerefMut: Deref {
    fn deref_mut(&mut self) -> &mut Self::Target;
}
```

- то же самое, но для `&mut P -> &mut T`

std::ops::Index / IndexMut

```rust
pub trait Index<Idx> {
    type Output;
    fn index(&self, index: Idx) -> &Self::Output;
}

pub trait IndexMut<Idx>: Index<Idx> {
    fn index_mut(&mut self, index: Idx) -> &mut Self::Output;
}
```

- перегрузка `[]`
- `xs[idx]` это сахар для `*xs.index(idx)`

```rust
impl<T> ops::Index<usize> for [T] {
    type Output = T;
    fn index(&self, index: usize) -> &T {
        ...
    }
}

impl<T> ops::Index<ops::Range<usize>> for [T] {
    type Output = [T];
    fn index(&self, index: usize) -> &[T] {
        ...
    }
}

fn main() {
    let xs = [1, 2, 3, 4, 5];
    let ys: &[i32] = &xs[2..4];
}
```

В реальности чуть сложнее!

Мораль

- трейты — главный customization point языка
- все аспекты поведения типа описываются трейтами
- нет разницы между примитивными, встроенными и пользовательскими типами