rust学习笔记

时间：2024年4月21日13:10:45

作者：李志聪

# 一、[Rust 生态系统](https://google.github.io/comprehensive-rust/zh-CN/cargo/rust-ecosystem.html#rust-%E7%94%9F%E6%80%81%E7%B3%BB%E7%BB%9F)

Rust 生态系统由许多工具组成，主要包括：

rustc：Rust 编译器，可将 .rs 文件转换为二进制文件和其他中间格式。

cargo：Rust 依赖项管理器和构建工具。Cargo 知道如何下载托管在 [https://crates.io](https://crates.io/) 上的依赖项,并在构建项目时将它们传递给 rustc。Cargo 还附带一个内置的测试运行程序，用于执行单元测试。

rustup：Rust 工具链安装和更新工具。当 Rust 发布新版本时，此工具用于安装并更新 rustc 和 cargo。 此外，rustup 还可以下载标准库的文档。可以同时安装多个版本的 Rust，rustup 会根据需要让你在这些版本之间切换。

Rust 有一个快速发布时间表，每六周就会发布一次新版本。新版本保持与旧版本的向后兼容性，并添加新功能。

共有三个发布阶段：“稳定版（stable）”、“测试版（beta）”和“夜间版（nightly）”。

新功能会先在“夜间版”上测试，“测试版”会每六周转为“稳定版”

Rust 区分 版本（edition）：当前版本是 Rust 2021。之前的版本是 Rust 2015 和 Rust 2018。

这些版本支持对语言进行向后不兼容的更改。

为防止破坏代码，版本是可选的： 通过 Cargo.toml 文件为 crate 选择合适的版本。

## 1.1 cargo和rust的关系

[Rust之cargo简单熟悉 | DD'Notes (z-dd.online)](https://notes.z-dd.online/2023/05/09/Rust%E4%B9%8Bcargo%E7%AE%80%E5%8D%95%E7%86%9F%E6%82%89/)

cargo是什么？为什么需要这个cargo？

cargo是Rust的包管理器，Rust的包分为2种，一种是**二进制**可执行的包，一种是库的包，默认情况下就是第一种binary包

在Rust里，一个库或者可执行程序叫做一个crate，一般简单情况下，我们可以直接使用Rust的编译器rustc来编译这个crate（箱），但如果编译这个crate需要许多编译参数，包含许多依赖，或者需要其他构建工具，手动去操作就会很麻烦，而且也很难管理，这样包管理器cargo就应运而生了

cargo主要做以下4个工作：

①引入两个包含包信息的元数据文件

②获取并构建包的依赖项

③用正确的参数调用rustc或其他构建工具来生成包

④引入规则约定，使使用Rust包变得更容易

值得一提的是，Cargo 本身就是一个功能强大且全面的工具。它能够实现许多高级功能，包括但不限于：

项目/软件包结构

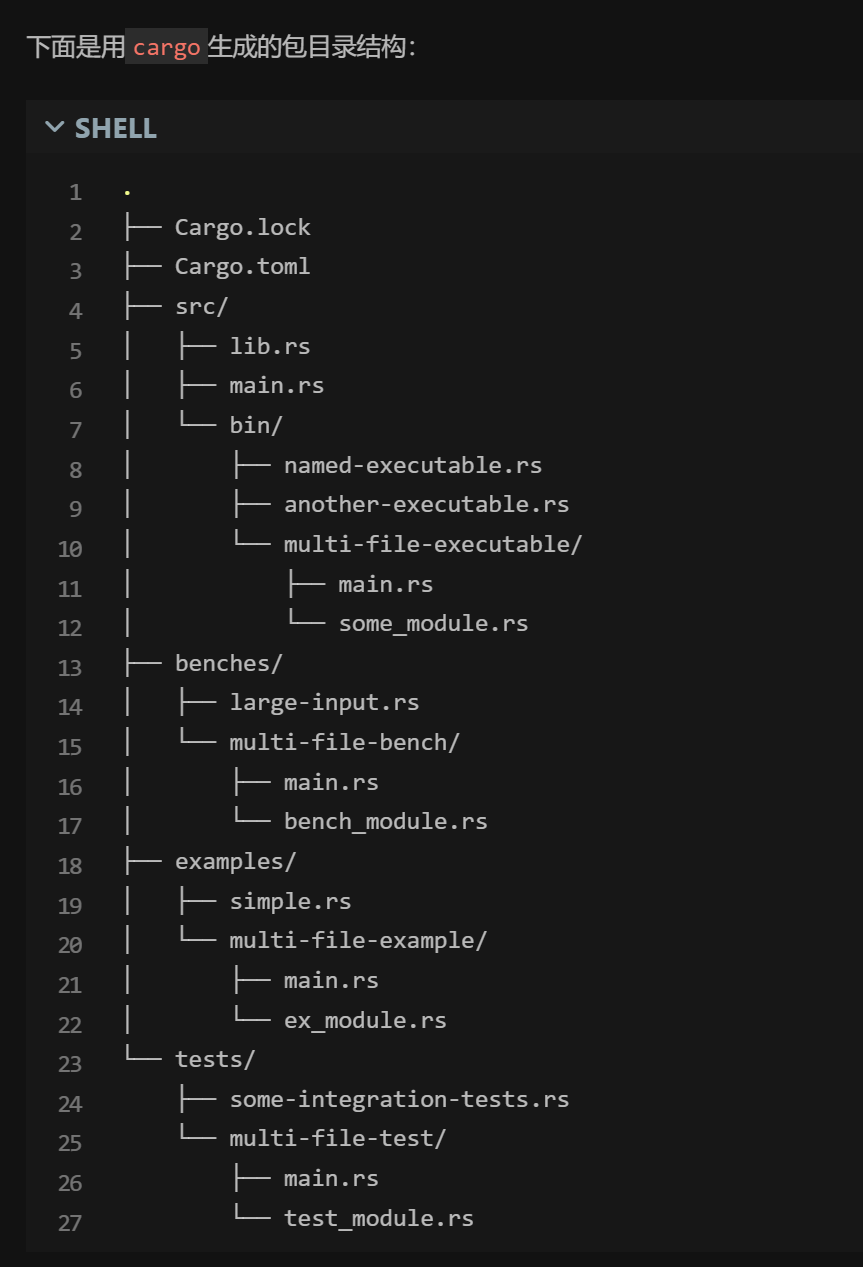
工作区

开发依赖和运行时依赖管理/缓存

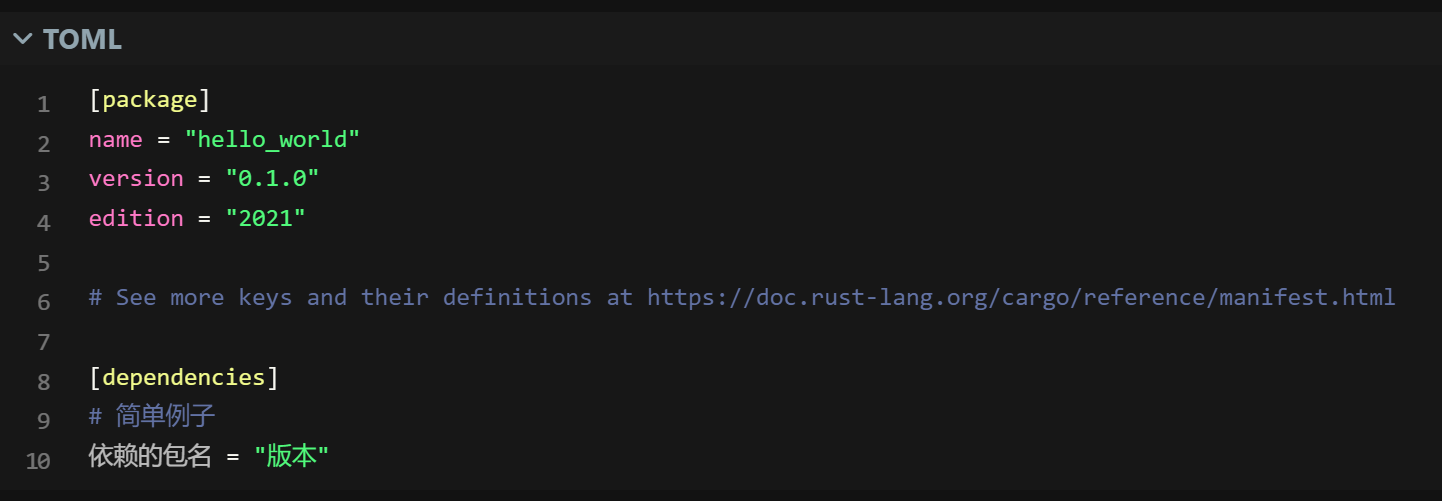
构建脚本

全局安装

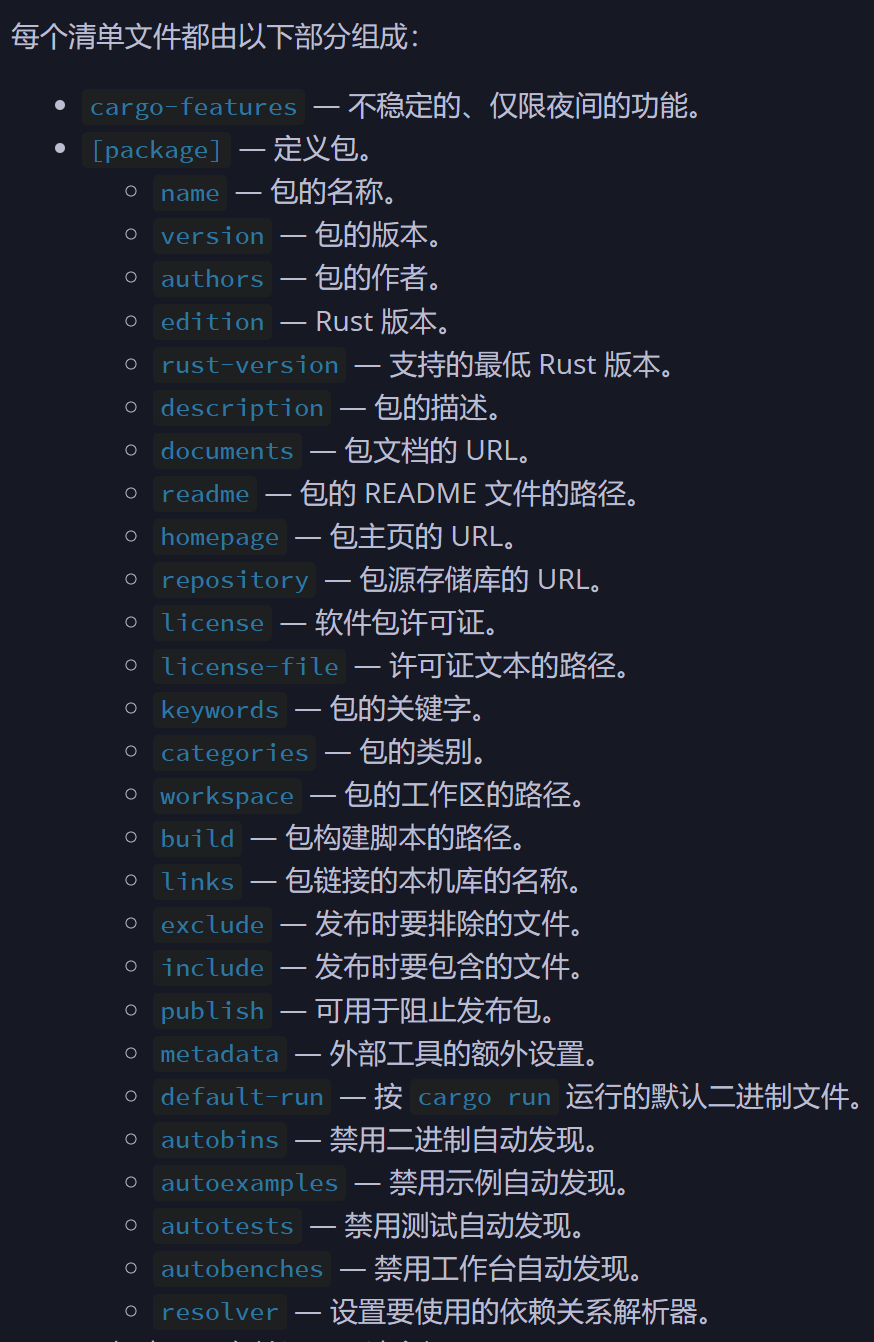
它还可以使用子命令插件（例如 cargo clippy）进行扩展。



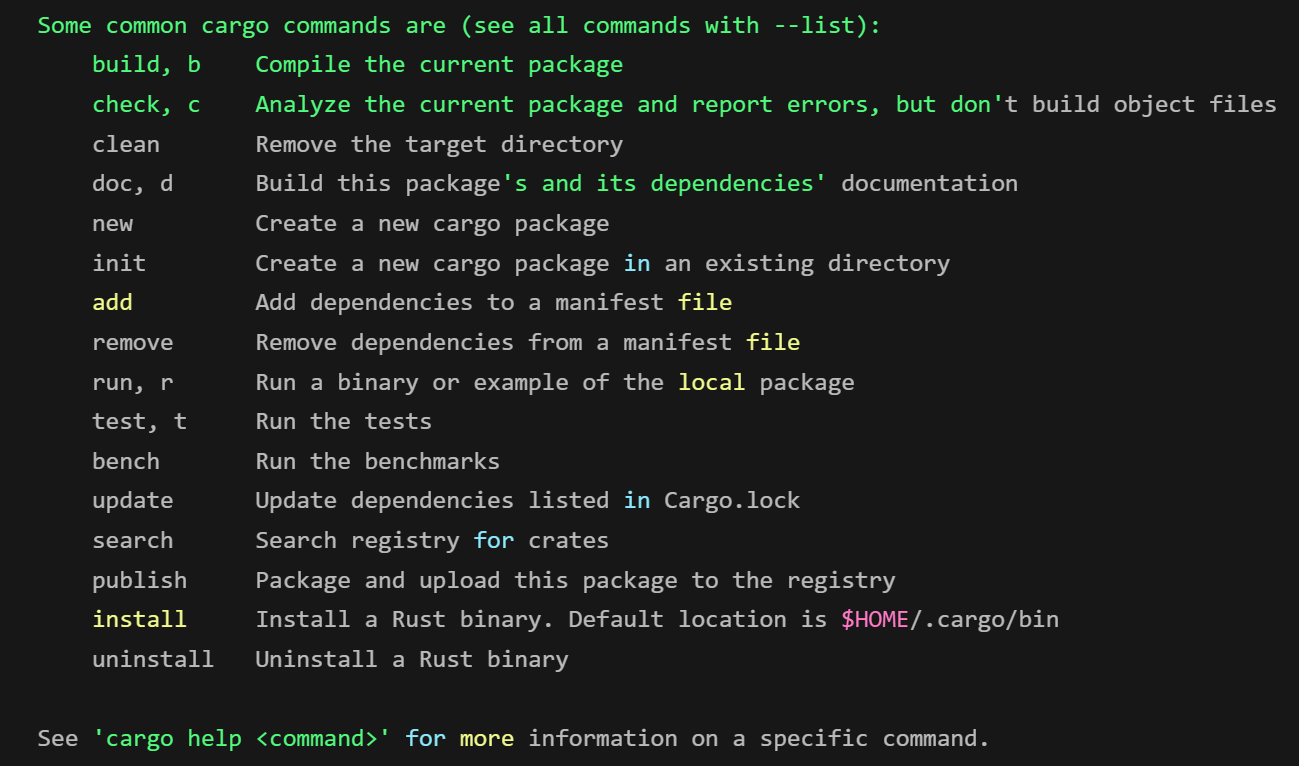
## 1.2 cargo.toml文件



这个被叫做一个manifest， 它包含了Cargo编译这个包所需的所有元数据，manifest相关的格式及元素组成说明：每个包的文件称为其清单。它写的采用TOML格式。它包含编译包所需的元数据。 [舱单格式 - 货物手册 (rust-lang.org)](https://doc.rust-lang.org/cargo/reference/manifest.html)



## 1.3 使用cargo



cargo --help 命令查看相关用法

1、使用 cargo new exercise 为代码新建一个 exercise/ 目录，

2、使用 cargo run 构建并运行二进制文件、

3、使用 cargo check 快速检查项目是否存在错误；使用 cargo build 只进行编译，而不运行。你可以在 target/debug/ 中找到常规调试 build 的输出。使用 cargo build --release 在 target/release/ 中生成经过优化的 发布 build。

4、可以通过修改 Cargo.toml 为项目添加依赖项。当运行 cargo 命令时，系统会自动下载和编译缺失的依赖项。

cargo官方文档：[简介 - The Cargo Book (rust-lang.org)](https://doc.rust-lang.org/stable/cargo/)

# 二、学习rust

## 2.1 rust介绍

Rust 是一门静态编译语言，其功能定位与 C++ 相似

rustc 使用 LLVM 作为它的后端。

Rust 支持多种平台和架构:

x86、ARM、WebAssembly……

Linux、Mac、Windows……

Rust 被广泛用于各种设备中：

固件和引导程序，

智能显示器，

手机，

桌面，

服务器。

Rust 的优势

编译时内存安全：在编译时可防止所有类内存 bug

不存在未初始化的变量。

不存在“双重释放”。

不存在“释放后使用”。

不存在 NULL 指针。

不存在被遗忘的互斥锁。

不存在线程之间的数据竞争。

不存在迭代器失效。

没有未定义的运行时行为：每个 Rust 语句的行为都有明确定义

数组访问有边界检查。

整数溢出有明确定义（panic 或回绕）。

现代语言功能：具有与高级语言一样丰富且人性化的表达能力

枚举和模式匹配。

泛型。

无额外开销的外部函数接口（FFI）。

零成本抽象。

强大的编译器错误提示。

内置依赖管理器。

对测试的内置支持。

优秀的语言服务协议（Language Server Protocol）支持。

Rust 基本语法：变量、标量（scalar）和复合（compound）类型、枚举（Enum）、结构体（struct）、引用、函数和方法。

Types and type inference.

控制流结构：循环、条件语句等。

用户定义的类型：结构体和枚举。

模式匹配：解构枚举、结构体和数组（array）。

基本语法相关：

函数以 fn 开头。

像C和C++一样，块由花括号分隔。

main 函数是程序的入口点。

Rust有卫生宏 (hygienic macros)，println! 就是一个例子。

Rust 字符串是 UTF-8 编码的，可以包含任何 Unicode 字符。

注释符号： //（单行注释），/\* 123213 \*/（多行或代码块注释）

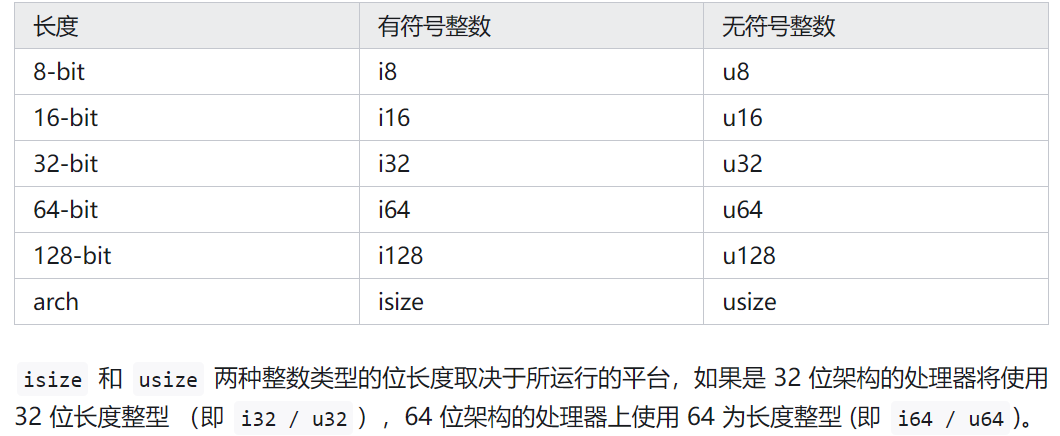
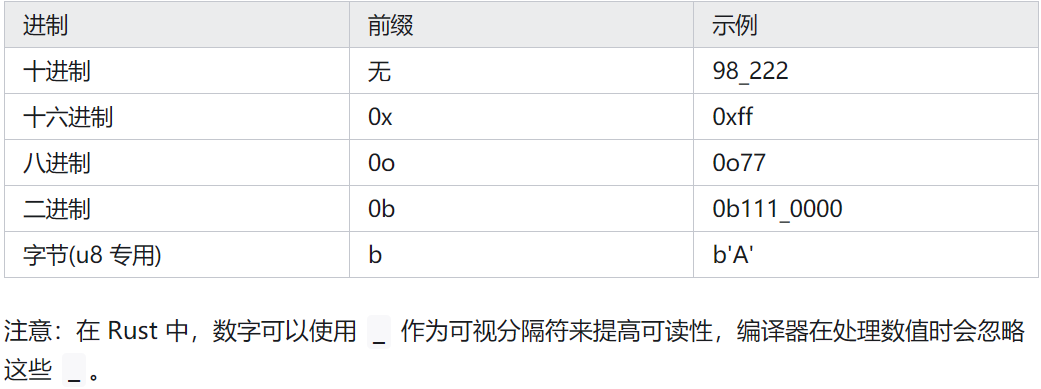
## 2.2 数据类型

标量类型（Scalar Types）：整型、浮点型、布尔类型和字符类型。

### 2.2.1 整型：

**let** x: **i32** **=** **-**123; *// 有符号整数*

**let** y: **u32** **=** 456; *// 无符号整数*

### 2.2.2 浮点型：

**let** x: **f32** **=** 3.14; *// f32 单精度浮点数*

**let** y: **f64** **=** 2.71828; *// f64 双精度浮点数*

**let** z **=** 2.71828; *// 默认是 f64 双精度浮点数*

### 2.2.3 布尔类型：

**let** t: **bool** **=** **true**;

**let** f: **bool** **=** **false**;

**let** and\_result **=** a **&&** b; *// 返回 false*

**let** or\_result **=** a **||** b; *// 返回 true*

**let** not\_result **=** **!**a; *// 返回 false*

### 2.2.4 字符、字符串类型:

字符类型（char）用于表示单个 Unicode 标量值，这意味着它可以表示比 ASCII 更广泛的字符集。在 Rust 中，字符（char）是通过单引号（'）来表示的，而字符串（String 或 &str）是通过双引号（"）来表示的。

**let** c: **char** **=** 'z';

**let** z: **char** **=** 'ℤ'; *// Unicode值*

**let** heart\_eyed\_cat **=** ' ';

特殊字符：可以使用转义序列表示，如换行符 '\n'，制表符 '\t'，单引号 '\''，反斜杠 '\\' 等。

Unicode 字符：使用 \u{} 转义和大括号内的十六进制数值来表示，如 '好' 可以用 '\u{597D}' 表示。

字符串：

**String** - a modifiable, owned string.

&str 为只读字符串。字符串字面量属于此类型。

String 是一种用户定义的类型，具有构造函数 (::new()) 和类似 s.push\_str(..) 的方法。

&str 中的 & 表示这是一个引用。我们稍后将介绍引用，现在只需将 &str 视为一个单位，表示 “只读字符”。

let greeting: &str = "Greetings";

let planet: &str = "🪐";

let mut sentence = String::new();

sentence.push\_str(greeting);

sentence.push\_str(", ");

sentence.push\_str(planet);

println!("final sentence: {}", sentence);

println!("{:?}", &sentence[0..5]);

### 2.2.5 复合类型(compound Types)

**元组**（Tuple）：

元组是可以包含多个不同类型值的一种集合。元组的长度固定，一旦声明，它的长度不会改变。

**let** tup: (**i32**, **f64**, char) **=** (500, 6.4, 'y');

tup 是一个元组，包含了一个 i32 类型的整数、一个 f64 类型的浮点数，以及一个 char 类型的字符。

元组解构：

**let** tup **=** (500, 6.4, 1);

**let** (x, y, z) **=** tup;

println**!**("The value of y is: {}", y); *// 输出 6.4*

用索引访问元组中的元素。

**let** five\_hundred **=** tup.0;

**let** six\_point\_four **=** tup.1;

**let** y **=** tup.2;

**数组**（Array）

数组是有多个**相同类型**值组成的集合。与元组一样，数组的长度也是固定的，

**let** a **=** [1, 2, 3, 4, 5];

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

**let** a **=** [3; 5]; *// 等同于 let a = [3, 3, 3, 3, 3];*

**let** first **=** a[0]; *// 访问第一个元素*

**let** second **=** a[1]; *// 访问第二个元素*

### 2.2.6 自定义类型（Custom Types）:

结构体(struct)：

**struct** **User** {

username: String,

email: String,

sign\_in\_count: **u64**,

active: **bool**,

}

创建结构体

let user1 **=** User {

email: String::from("admin@example.com"),

username: String::from("ziyang"),

active: **true**,

sign\_in\_count: 1,

};

可以通过派生特性 #[derive(Debug)] 来允许结构体实例在使用 println! 宏时使用 {:?} 或 {:#?} 格式化输出。

### 2.2.7 枚举（Enum）:

**enum** **IpAddrKind** {

V4,

V6,

}

枚举也可以关联数据。

**enum** **IpAddr** {

V4(String),

V6(String),

}

每个枚举变体关联的数据都可以有不同类型。

**enum** **Message** {

Quit,

Move { x: **i32**, y: **i32** },

Write(String),

ChangeColor(**i32**, **i32**, **i32**),

}

**使用方法：**

**let** four **=** IpAddrKind::V4;

**let** six **=** IpAddrKind::V6;

### 2.2.8 函数返回值特殊类型:Never “!”

! 类型主要与 Rust 中的 match 表达式一起用于保证所有可能情况都已处理。如果 match 的一个分支结束于一个永不返回的函数，Rust 知道不需要返回值。这就是所谓的"穷尽性检查"

错误处理:

**fn** **forever**() -> **!** {

**loop** {

*// 无限循环，永不返回*

}

}

forever 函数有一个 ! 返回类型，表示此函数将永远不会返回一个值。

经常与 panic! 宏一起使用，它会使当前线程崩溃，并可以带有一个错误消息。由于 panic! 永远不会返回，它的返回类型是 !。

## 2.3 调试打印输出println!()

rust的打印输出是通过println!()宏来实现的，不是函数是一个宏定义。

println!(" a= {}", a);

“{ }” 是一个占位符，所以我们传 递 guess 作为一个参数。如果我们有多个{} ，我们应该传递多个参数。

也可以这么用：

let print\_test = 99;

println!("print\_test = {print\_test}");

## 2.4 变量的说明

### 2.4.1 变量的可变性

不可变变量 (Immutable)

可变变量 (Mutable)

let x: i32 = 10;//rust默认定义的变量是可读不可写的。

let mut x:i32 = 10;//增加木头关键字后变量x可读可写。

### 2.4.2 变量遮蔽（Shadowing）

在相同作用域中，使用相同的名称声明一个新变量。这个新声明的变量“遮蔽”了先前声明的同名变量。当新变量被引入时，它会使得与之同名的先前变量不再可见，直到新变量离开作用域前，无法访问被遮蔽的变量。

遮蔽的好处是可以重新使用更有意义或适用于当前上下文的变量名，遮蔽通常用于转换值的类型或给变量一个新值，而这样做并不影响原来变量的不可变性。

**let** x **=** 5;

**let** x **=** x **+** 1; *// 遮蔽前一个 x 变量*

**let** x **=** "现在 x 是一个字符串"; *// 再次遮蔽，改变了值的类型*

**fn** **main**() {

**let** x **=** 5;

**let** x **=** x **+** 1;

{

*// 在使用花括号创建的内部作用域内，变量 `x` 被遮蔽*

**let** x **=** x **\*** 2;

println**!**("x 在当前作用域的值是: {x}"); *// 12*

}

*// 当作用域结束后，内部 shadowing 的作用域也结束了，`x` 又返回到 `6`*

println**!**("x 在当前作用域的值是: {x}"); *// 6*

}

### 2.4.3 常量（Constants）

常量使用 const 关键字声明，并且它们总是不可变的。

常量必须在声明时就赋值，而且它们的类型必须显式声明。

常量名应该全部大写，否则会报警告。

**const** MAX\_POINT: **u32** **=** 100\_000;

**const** CONST\_VAL **=** 1000; *// error: missing type for `const` item*

常量在编译时被赋值，且必须是一个恒定的表达式，不能是运行时的结果。

**const** CONST\_VAL: **i32** **=** get\_val(); // error

**const** CONST\_VAL: **i32**;

CONST\_VAL **=** 1000; // error

常量无法进行变量遮蔽，相同常量名重复定义时会报错。

const CONST\_VAL: i32 = 1000;

const CONST\_VAL: &str = "str";// error

const 关键字可以用于全局作用域中声明常量，也可以在局部作用域中使用。

## 2.5函数

### 2.5.1 函数的格式

main 函数是项目的入口函数，每个可执行的 Rust 程序都必须包含一个 main 函数。使用fn关键字定义，后跟函数名称和一对圆括号。在圆括号中，可以定义零个或多个参数，每个参数后面跟着一个冒号(:)和它的类型。大括号 {} 包围着函数的主体内容。如果函数需要返回值，必须声明返回类型，通过在参数列表后添加一个箭头(->)和返回类型来完成。

fn <方法名>(<参数名1>: <类型>, <参数名2>: <类型2>) -> <返回值类型> {

// 函数体，如果有返回值，则使用return关键字，或者省略它，

// 最后的表达式作为返回值（无分号）

}

**fn** **print\_sum**(a: **i32**, b: **i32**) {

println**!**("和是: {}", a **+** b);

}

**fn** **main**() {

print\_sum(5, 6);

}

### 2.5.2 函数的返回值

返回值的类型声明紧跟在参数列表之后，并以 -> 开头，返回值通过在函数的最后一个表达式上省略分号来隐式返回或者通过关键字“return”返回。

最后一个表达式没有分号才作为返回值，如果有分号将作为一个表达式。

**fn** **add**(a: **i32**, b: **i32**) -> **i32** {

a **+** b *// 注意这里没有分号，表示这是返回的值*

}

**fn** **add**(a: **i32**, b: **i32**) -> **i32** {

**if** a **==** 0 **||** b **==** 0 {

**return** 0 *// 通过 return 提前返回*

}

a **+** b //如果执行到这里则是隐式返回

}

### 2.5.3 函数的私有性

在 Rust 中，**默认**函数是私有的，只能在定义它们的模块内部访问。只有 pub 关键字声明是公共的，当函数使用pub关键字后，才能使函数在其他模块中可见。

*// 默认是私有的，只能在模块内访问*

**fn** **add**(a: **i32**, b: **i32**) -> **i32** {

a **+** b

}

*// 使用 pub 关键字声明公共的*

**pub** **fn** **add\_two\_num**(a: **i32**, b: **i32**) -> **i32** {

a **+** b

}

### 2.5.4 函数的可变参数操作

Rust 不支持直接的可变参数函数(Variadic Functions)，但可以通过接受一个切片或者元组来间接实现。

数组接收可变参数示例

**fn** **sum**(slice: **&**[**i32**]) -> **i32** {

slice.iter().fold(0, **|**acc, **&**x**|** acc **+** x)

}

**fn** **main**() {

**let** numbers **=** vec**!**[1, 2, 3, 4, 5];

**let** result **=** sum(**&**numbers);

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

}

在这个例子中，sum函数接受一个i32类型的切片作为参数，并使用迭代器的fold方法来计算总和。然后就可以通过一个向量调用这个函数，在这种情况下是numbers向量。将向量的借用&numbers传递给sum函数时，它将被自动借用为一个切片，这样函数就可以接受不同数量的参数。

元组接收可变参数示例

**fn** **sum\_tuple**(args: (**i32**, **i32**, **i32**)) -> **i32** {

**let** (a, b, c) **=** args;

a **+** b **+** c

}

**fn** **main**() {

**let** result **=** sum\_tuple((1, 2, 3));

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

}

在这个例子中，sum\_tuple函数接受一个包含三个i32元素的元组。元组在参数列表中是固定大小的，但是可以通过创建不同大小的元组类型来模拟可变参数。但这种方法不如使用切片那样灵活，如果需要不同数量的参数，通常推荐使用切片。

### 2.5.5 函数的模式匹配

以在函数定义中直接解构复合类型。例如，倘若你传递一个元组或结构体给函数，可以直接在参数列表中解构它们，从而得到它们的部分或全部内容。这种特性在处理具有多个部分的数据类型时非常有用，我们无须先创建一个变量，然后再使用模式匹配来解构它，因为我们可以直接在函数的参数中完成这个步骤。

**fn** **print\_coordinates**(**&**(x, y): **&**(**i32**, **i32**)) {

println**!**("Current location: ({}, {})", x, y);

}

**fn** **main**() {

**let** point **=** (3, 5);

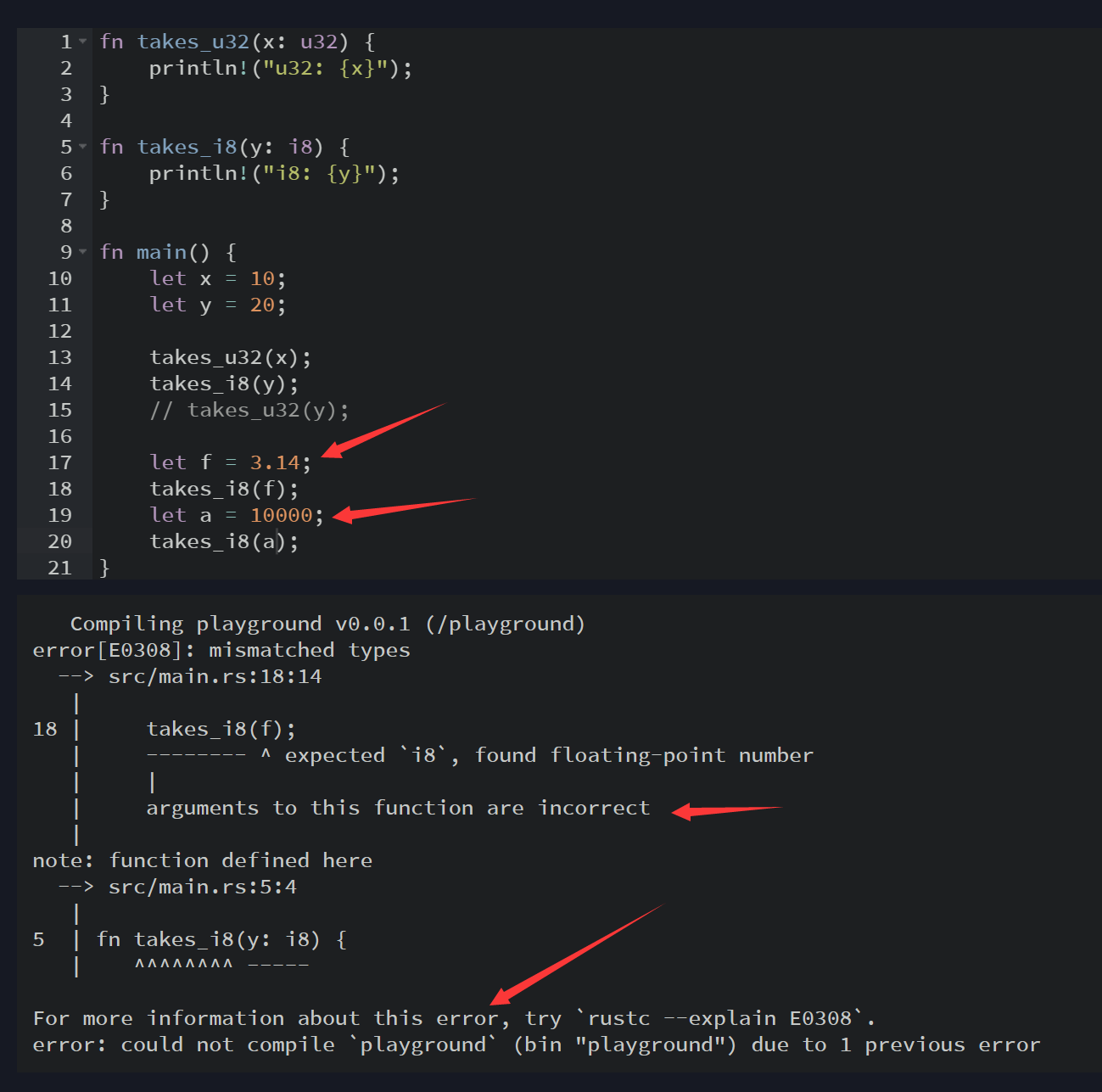
print\_coordinates(**&**point);

}

在这个例子中，print\_coordinates 函数接受一个引用到一个元组 (i32, i32) 的参数。参数 &(x, y) 是一个模式，它解构传入的元组，并允许我们在函数体内直接使用 x 和 y。当我们调用 print\_coordinates(&point) 时，point 元组被解构，元组中的值被分别绑定到 x 和 y。

2.5.6 函数传参的类型推导

Rust 会根据变量的使用来确定其类型：



## 2.6 流控制

条件控制、循环控制、break 和 continue、代码块和作用域、函数、宏。

### 2.6.1 条件控制

Rust 的许多语法与 C相似，行内注释以 // 起始，块注释使用 /\* ... \*/ 来界定。if 和 while 等关键词作用与以上语言一致。变量赋值使用 =，值之间比较使用 ==。

if表达式：

fn main() {

let x = 10;

if x < 20 {

println!("small");

} else if x < 100 {

println!("biggish");

} else {

println!("huge");

}

}

fn main() {

let x = 10;

let size = if x < 20 { "small" } else { "large" };

println!("number size: {}", size);

}

### 2.6.2 循环控制

while 关键字：

fn main() {

let mut x = 200;

let x:bool = true;

let mut a = 10;

//while x >= 10 {

while x {

println!("Final x: {x},a:{a}");

if a <= 0{

break;

}

a-=1;

}

println!("Final x: {x}");

}

loop 关键字：

fn main() {

let mut i = 0;

loop {

i += 1;

println!("{i}");

if i > 100 {

break;

}

}

}

loop + 标签的用法：

**'loop1**:loop{

        count2 +=1;

        if count2>2{

            break;

        }

        println!("count2={}",count2);

**'loop2**:loop{

            count+=1;

            if count==5{

                continue;

            }

            println!("count={}",count);

            if count > 20{

                println!("out of loop count = {}",count);

                break;

            }

            if count == 15{

                println!("out of loop2 count = {}",count);

                break **'loop2**;

            }

            if count == 17{

                println!("out of loop1 count = {}",count);

                break **'loop1**;

            }

        }

    }

for 关键字：

fn main() {

//for x in 1..=5 { //x 遍历 1,2,3,4,5

for x in 1..5 { //x 遍历 1,2,3,4

println!("x: {x}");

}

}

for + match 的用法：

    let for\_name = vec!["s1","s2","s3"];

    for name in for\_name.iter(){

        match name{

            &"s2" => println!("current name ={}",name),

            \_ => println!("current name isn't = s2"),

        }

    }

    for n in 0..=20{

        match n {

            0 => println!("stat for {}",n),

            1|3|5|7|9 => println!("n is odd number:{}",n),

            2|4|6|8 => println!("n is even number:{}",n),

            10..=19 => println!("n is '10'<=n<='19' : {}",n),

            \_ => println!("useless number {}",n),

        }

    }

**'outer**: for x in 1..5 {

println!("x: {x}");

let mut i = 0;

while i < x {

println!("x: {x}, i: {i}");

i += 1;

if i == 3 {

break **'outer**;

}

}

}

### 2.6.3 代码块和作用域

#### 2.6.3.1 代码块

rust的块用花括号“{ }”包含起来，最后一行没有分号；的语句是这个块的返回值。

fn main() {

let z = 13;

let x = {

let y = 10;

println!("y: {y}");

z - y

};

println!("x: {x}");

}

#### 2.6.3.2 作用域和遮蔽性（Shadowing）

fn main() {

let a = 10;

println!("before: {a}");

{

let a = "hello";

println!("inner scope: {a}");

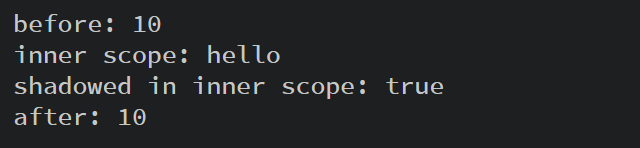
let a = true;

println!("shadowed in inner scope: {a}");

}

println!("after: {a}");

}



### 2.6.4 宏定义

在传统语言中，宏通常只是进行文本的替换，而在rust中可以可以做到更多，相应的也就更加复杂难学，Rust宏与其他语言宏的区别主要有以下几点：

编译时执行：Rust宏是在编译时执行的，而很多高级语言的宏通常是在运行时执行的。

强类型支持：Rust宏在执行时能够进行类型检查，因此可以保证生成的代码是类型安全的。

元编程能力：Rust宏可以进行元编程，即生成代码的代码，可以在编译时进行各种计算和类型检查，从而使生成的代码更加灵活和高效。

代码生成器：Rust宏可以作为代码生成器，为Rust程序员提供自定义的代码生成能力，以提高代码的复用性和性能。

模式匹配：Rust宏可以使用类似于模式匹配的语法，可以方便地处理各种复杂的代码结构。

经典的宏是println!宏用于向程序的标准输出打印一行字符串。

println!("Hello, world!");

注意宏的末尾有一个感叹号 !，这是 Rust 用于区分函数和宏的方法。宏在编译过程中会扩展为 Rust 代码，并且可以接受可变数量的参数。Rust 标准库包含各种有用的宏。

println!(format, ..) prints a line to standard output, applying formatting described in std::fmt.

format!(format, ..) 的用法与 println! 类似，但它以字符串形式返回结果。

dbg!(expression) 会记录表达式的值并返回该值。

todo!() 用于标记尚未实现的代码段。如果执行该代码段，则会触发 panic。

unreachable!() 用于标记无法访问的代码段。如果执行该代码段，则会触发 panic。

宏分类

声明式宏 macro\_rules!

派生宏 proc\_macro\_derive

属性宏 proc\_macro\_attribute

**声明式宏**：

macro\_rules**!** macro\_name {

*// 匹配模式和模板替换*

(pattern1) **=>** { */\* code1 \*/* };

(pattern2) **=>** { */\* code2 \*/* };

*// 更多模式和模板替换*

}

其中 macro\_name 是宏的名字， pattern是匹配的模式， code是需要替换的代码; 我们常用的 println! 、vec! 就都是声明式宏；

在 Rust 中，使用 **macro\_rules!** 关键字来定义声明式宏。

macro\_rules! my\_macro {

// 模式匹配和展开

($arg:expr) => {

// 生成的代码

// 使用 $arg 来代替匹配到的表达式

};

}

**例子：**

*// 宏的定义*  
macro\_rules! greet {

*// 模式匹配*

    ($name:expr) => {

*// 宏的展开*

        println!("Hello, {}!", $name);

    };

}

fn main() {

*// 调用宏*

    greet!("World");

}

**例子**：

// 宏的定义

macro\_rules! vec {

// 基本情况，空的情况

() => {

Vec::new()

};

// 递归情况，带有元素的情况

($($element:expr),+ $(,)?) => {

{

let mut temp\_vec = Vec::new();

$(

temp\_vec.push($element);

)+

temp\_vec

}

};

}

fn main() {

// 调用宏

let my\_vec = vec![1, 2, 3];

println!("{:?}", my\_vec); // 输出: [1, 2, 3]

let empty\_vec = vec![];

println!("{:?}", empty\_vec); // 输出: []

}

**例子**：

#[macro\_export]

macro\_rules! hashmap {

($ ($key: expr => $val: expr),\* ) => {

{

let mut map = std::collections::HashMap::new();

$( map.insert($key, $val); )\*

map

}

};

}

​

/// 测试代码

#[test]

fn test\_hashmap() {

let map = hashmap!(1 => "one", 2=> "two", 3=> "three" );

println!("map {:?} ",map);

}

#[macro\_export] 表示该宏导出可供其他包使用

macro\_rules! hashmap 表示该宏的名字是 hashmap

( $ ($key: expr => $val: expr),\* ) 这一段是匹配参数，属于最难理解的部分，$ ( xxx ),\* 格式表明对参数匹配时可以对xxx部分进行0次或若干次匹配(这里\*的作用类似于正则表示式的 *, 当然也可以换成 ? "0或1次 或者 + "至少1次" ) ，xxx参数用逗号进行分隔且最后一次匹配不能有逗号；$key: expr => $val: expr 是参数的格式，expr代表匹配的类型，可以是任何有效的rust表达式；*

$( map.insert($key, $val); )\* 进行代码的执行，执行次数与上面参数匹配的次数相同，$key $val就是每次匹配到参数的值

过程宏（Procedural Macros）

过程宏是一种更为灵活和强大的宏，允许在编译时通过自定义代码生成过程来操作抽象语法树（AST）。过程宏在功能上更接近于函数，但是它们在编写和使用上更加复杂。

过程宏的类型：

• 派生宏（Derive Macros）：用于自动实现trait（比如Copy、Debug）的宏。

• 属性宏（Attribute Macros）：用于在声明上附加额外的元数据，如#[derive(Debug)]。

过程宏的实现通常需要使用 proc\_macro 库提供的功能，例如 TokenStream 和 TokenTree，以便更直接地操纵源代码。

## 2.x 迭代器（Iterator）

### 2.x.1 迭代器的概念

[Rust中的迭代器的使用：map转换、filter过滤、fold聚合、chain链接 - Pomelo\_刘金 - 博客园 (cnblogs.com)](https://www.cnblogs.com/liujin-now/p/17311921.html)

Rust中的迭代器是一种强大的工具，它提供了一种灵活、通用的方法来遍历序列。

fn main() {

let a = vec![0,1,2,3,4,5];

for n in a.iter(){ //遍历数组a，这个iter()功能是宏vec!提供的。

println!("n = {}",n);

}

}

### 2.x.2 迭代器的用法

[Rust Iterator.fold用法及代码示例 - 纯净天空 (vimsky.com)](https://vimsky.com/examples/usage/rust-core-iter-trait.Iterator.fold-rt.html)

# rust教程链接：

[Rust 教程 | 菜鸟教程 (runoob.com)](https://www.runoob.com/rust/rust-tutorial.html)

谷歌的rust教程：[Rust 生态系统 - Comprehensive Rust 🦀 (google.github.io)](https://google.github.io/comprehensive-rust/zh-CN/cargo/rust-ecosystem.html)

看到元组数组：[元组和数组 - Comprehensive Rust 🦀 (google.github.io)](https://google.github.io/comprehensive-rust/zh-CN/tuples-and-arrays.html)