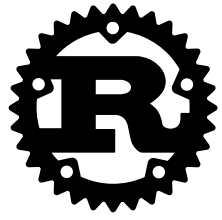
Rust 2019

compscicenter.ru

aleksey.kladov@gmail.com



Лекция 2: Время Жизни, ADT

Ссылки

- https://www.rust-lang.org/
- https://rustup.rs/
- https://doc.rust-lang.org/book/
- https://doc.rust-lang.org/rust-by-example/
- https://doc.rust-lang.org/std/

У Rust **превосходная документация**, можно выучить язык по книжке.

Move

- объекты уничтожаются при выходе из области видимости
- присваивание, передача аргумента, возврат значения передают владение
- move это `memcpy`
- объекты образуют дерево:

```
struct Function {
    parameteres: Vec<Parameter>,
    return_type: Box<Type>,
}

fn main() {
    let fns: Vec<Function> = ...;
    drop(fns); // рекурсивно освобождает память
}
```

Copy

Объекты, не владеющие ресурсами, остаются доступны после move:

```
let x = 1;
let y = x;
let z = x;
assert_eq!(y, z);
```

Copy

Агрегаты из `Copy` объектов тоже `Copy`:

```
#[derive(Clone, Copy)]
struct Point { x: f64, y: f64 }

(Point, Point)

[Point; 1024] // копировать можно, но не стоит
```

- `Box<T>` и `Vec<T>` не `Copy` — должны освобождать память

Ссылки

Жизнь без ссылок

```
fn print_vec(xs: Vec<i32>) {
    for x in xs {
        println!("{}", x);
    }
}

fn main() {
    let xs = vec![1, 2, 3];
    print_vec(xs);   // ok
    print_vec(xs);   // value used after move
}
```

Жизнь с ссылками

```
fn print_vec(xs: &Vec<i32>) {
    for x in xs {
        println!("{}", x);
    }
}

fn main() {
    let xs = vec![1, 2, 3];
    print_vec(&xs);  // ok
    print_vec(&xs);  // ok
}
```

`&` позволяет использовать значение, не меняя структуры владения

ВЖ ссылки

- ссылка (`&T` или `&mut T`) — указатель на объект
- время жизни **ссылки** — время, когда ссылка используется

```
fn main() {
    let x = 1;
    let r = &x;           // ^
    foo(r);               // | время жизни &r
    println!("{}", *r);   // v
}

fn foo(r: &i32) { // lifetime больше чем функция
}
```

Ссылки на значения

- ВЖ объекта должно быть больше, чем ВЖ любой ссылки на него

```
let x = 1;
let r: &i32;
{
    let y = 2;
    r = &x;  // ok
}
println!("{}", *r);
```

Ссылки на значения

- ВЖ объекта должно быть больше, чем ВЖ любой ссылки на него

```
let x = 1;
let r: &i32;
{
    let y = 2;
    r = &y;  // borrowed value does not live long enough
}
println!("{}", *r);
```

Именованные ВЖ

```
fn main() {
    let x = 1;
    let r: &i32;
    {
        let y = 2;
        r = f(&x, &y); // ???
    }
    println!("{}", *r);
}

fn f(x: &i32, y: &i32) -> &i32 {
    ...
}
```

Не посмотрев в тело `f`, не понять, корректен ли код.

Именованные ВЖ

```
fn main() {
    let x = 1;
    let r: &i32;
    {
        let y = 2;
        r = f(&x, &y); // ok
    }
    println!("{}", *r);
}

fn f<'a, 'b>(x: &'a i32, y: &'b i32) -> &'a i32 {
    y  // parameter and the return type are declared
       // with different lifetimes
}
```

Можем проверить тело и вызов `f` по отдельности!

Ссылки на подобъекты

```
struct S { value: i32 }

fn main() {
    let r: &i32;
    {
        let s = S { value: 92 };
        let rs: &S = &s; // does not live long enough
        r = f(rs);
    }
    println!("{}", *r); // borrowed value needs to live until here
}

fn f<'a>(s: &'a S) -> &'a i32 {
    &s.value // ok!
}
```

Что такое 'a?

```
fn f<'a>(s: &'a S) -> &'a i32 {
    &s.value
}
```

- времена жизни ссылок назначаются компилятором
- `'a` это ограничение (ВЖ `&S` и `&i32` равны)
- borrow checking — решить систему уравнений на lifetime:
  - заданные именованными ВЖ (равенство или подмножество)
  - lifetime ссылки содержит все её использования
  - lifetime ссылки меньше, чем lifetime объекта
  - ...

Заморозка

```
struct Wrapper {
    value: Box<i32>,
}

fn main() {
    let w = Wrapper { value: Box::new(92) };
    let r: &i32 = &*w.value;
    w.value = Box::new(62);
    println!("{}", *r); // dangling reference
}
```

Заморозка

```
struct Wrapper {
    value: Box<i32>,
}

fn main() {
    let w = Wrapper { value: Box::new(92) };
    let r: &i32 = &*w.value;
    w = Wrapper { value: Box::new(62) }
    println!("{}", *r); // dangling reference
}
```

Заморозка

```
struct Wrapper {
    value: Box<i32>,
}

fn main() {
    let w = Wrapper { value: Box::new(92) };
    let r: &i32 = &*w.value;
    w = Wrapper { value: Box::new(62) }
    println!("{}", *r); // dangling reference
}
```

Активная ссылка замораживает объект и все родительские объекты: их нельзя менять.

Заморозка

```
struct Wrapper {
    value: Box<i32>,
}

fn main() {
    let w = Wrapper { value: Box::new(92) };
    let r: &i32 = &*w.value;
    if w.value > 640 { println!("enough"); }
    println!("{}", *r); // ok
}
```

Смотреть можно!

mut

```
struct Wrapper {
    value: Box<i32>,
}

fn main() {
    let w = Wrapper { value: Box::new(92) };
    let r: &i32 = &*w.value;
    f(&w);
    println!("{}", *r);
}

fn f(w: &Wrapper) {
    ...
}
```

Хотим не смотреть в тело `f` — нужен способ понять, изменяет ли `f` аргумент.

mut

```
struct Wrapper {
    value: Box<i32>,
}

fn main() {
    let mut w = Wrapper { value: Box::new(92) };
    // cannot borrow  w  as mutable
    // because  *w.value  is also borrowed as immutable
    let r: &i32 = &*w.value;
    f(&mut w);
    println!("{}", *r);
}

fn f(w: &mut Wrapper) {
    w.value = Box::new(62); // ok
}
```

Shared ^ Mutable

- для изменения объекта нужна `&mut` ссылка
- `&` ссылки замораживают объект

Правило "shared XOR mutable"

Либо единственная `&mut` ссылка, либо произвольное количество `&` ссылок

Пример

main.cpp

```
std::vector<int> xs = {1, 2, 3};
auto& x = xs[0];
xs.push_back(4);
std::cout << x; // UB!
```

Пример

main.rs

```
let mut xs = vec![1, 2, 3];
let x = &xs[0];
xs.push(4);
println!("{}", x);
```

```
error[E0502]: cannot borrow `xs` as mutable because
it is also borrowed as immutable
 --> main.rs:4:1
  |
3 | let x = &xs[0];
  |          -- immutable borrow occurs here
4 | xs.push(4);
  | ^^ mutable borrow occurs here
...
7 | }
  | - immutable borrow ends here
```

Ссылки в C++ и Rust

C++

- создаются неявно
- не являются первоклассными объектами (`std::reference_wrapper`)
- не всегда валидны

Rust

- требуют явных `&` / `&mut` и `*`
- обычные объекты

```
let x = 1;
let y = 2;
let mut r: &i32 = &x;
r = &y;
```

- всегда валидны

Итого

- у каждого объекта есть один владелец (⇒ дерево владения)
- `&` и `&mut` ссылки позволяют использовать объект без владения
- `mut` позволяет менять объект
- `&mut` ссылка всегда одна
- именованные ВЖ устанавливают отношения между ссылками
- ВЖ для ссылок выбираются компилятором
- исполняемый код **не зависит** от конкретных ВЖ (parametricity)
- 80% правды

Выражения

Выражения

- C с ароматом ML
- почти все конструкции — выражения

Блоки

`{}` — выражение

```
1 + { let x = 2; x * 2 }
```

Блок состоит из инструкций (statement), завершённых `;`

Значение блока — значение хвостового выражения.

```
let i: i32 = { 1  };
let i: ()  = { 1; };
```

Точки с запятой имеют значение!

Инициализация блоком

```
// Лишние переменные не видны снаружи
let omelet = {
    let eggs = get_eggs(&mut refrigerator, 3);
    let bacon = open_bacon(&mut refrigerator);
    fry(eggs, bacon)
};
```

if

```
let res = if condition1 {
    expr1;
    expr2
} else if condition2 {
    expr3
} else {
    expr4
};
```

- нет `()` вокруг условия
- `{}` обязательны
- `else if` — особый синтаксис, нет dangling else problem
- если нет блока `else`, значение — `()`

if

```
fn main() {
    if true {
        92  // expected (), found integral variable
    }
}
```

if

```
fn main() {
    if true {
        92; // ok!
    }
}
```

while

```
while condition {
    body // <- должно быть типа ()
}

let x: () = while false {};
```

break и continue

```
while true  {
    if cond1 {
        continue;
    }
    if cond2 {
        break;
    }
}

'outer: while cond1 {
    while cond2 {
        break 'outer;
    }
}
```

loop

Специальная конструкция для бесконечного цикла

```
loop {
    body
}
```

`loop {}` и `while true {}` отличаются информацией про поток управления

loop

```
let uninit;
while true {
    if condition {
        uninit = 92;
        break;
    }
}
pritnln!("{}", uninit);
```

```
let init;
loop {
    if condition {
        init = 92;
        break;
    }
}
pritnln!("{}", init); // ok
```

loop

```
let init;

if condition {
    init = 92;
} else {
    loop {}
}
println!("{}", init); // ok!
```

Гарантированная инициализация

- в C/C++ доступ к неинициализированной переменной — UB
- инициализация значением по умолчанию прячет баги

!

```rust
let x: ! = loop {};
```

- ненаселённый тип
- может выступать в роли любого другого типа

  ```rust
  let x: u32 = loop {};
  ```

- пока ещё не настоящий тип

panic!()

Семейство макросов, возвращающих `!`:

- `panic!("something went wrong")` — для сигнализации о багах
- `unimplemented!()` — плейсхолдер для ещё не написанного кода

```
if complex_condition {
    complex_logic
} else {
    unimplemented!()
}
```

- `unreachable!()` — маркер для "невозможных" условий

break со значением

```
let init: i32 = loop {
    if condition {
        break 92;
    }
};
```

for

```
for x in vec![1, 2, 3] {
    println!("x = {}", x);
}

let xs  = vec![1, 2, 3];
for i in 0..xs.len() {
    let x = xs[i];
    pritnln!("x = ", x);
}
```

Протокол итераторов — дальше в курсе

ranges

```rust
let bounded: std::ops::Range<i32> = 0..10;
let from = 0..;
let to = ..10;
let full = ..;
let inclusive = 0..=9;

for i in (0..10).step_by(2) {
    println!("i = {}", i);
}
```

По `lo..hi` и `lo..` можно итерироваться

Ещё раз о `;`

`;` превращает expression в statement

После выражений-блоков `;` не нужна:

```
{
    if x == 0 {
        println!("zero");
    }       // statement

    { 0; } // statement

    if true { 92 } else { 62 } // expression!
}
```

Ещё раз о `;`

После `let` `;` обязательна:

```
let s = if x > 0 {
    "positive"
} else {
    "negative"
};
```

Два слова о функциях

```
fn hypot(x: f64, y: f64) -> f64 {
    let x_squared = x * x;
    let y_squared = y * y;
    (x_squared + y_squared).sqrt()
}
```

- типы параметров и результата обязательны
- нет перегрузки
- `fn main {} == fn main() -> ()`
- тело функции — блок
- `return` опционален
- `fn diverge() -> ! { loop {} }`

Quiz

```
fn foo() {
    let x = return;
}
```

Какой тип у `x` ?

Алгебраические типы данных

Структуры

```
#[derive(Clone, Copy)]
struct Point {
    x: f64,
    y: f64,
}

let p1 = Point { x: 1.0, y: 2.0 };

let p2 = Point {
    x: 2.0,
    .. p1
};

assert_eq!(p2.x, p2.y);
```

Методы

```
struct Point { x: f64, y: f64 }

impl Point {
    fn distance_from_origin(&self) -> f64 {
        (self.x * self.x + self.y * self.y).sqrt()
    }
}
```

- **self** — явная версия this
- &**self** — передача по ссылке

Методы

```
struct Point { x: f64, y: f64 }

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

- `&mut self` — передача по уникальной ссылке

Методы

```
struct Point { x: f64, y: f64 }

impl Point {
    fn consume(self) {
    }
}
```

- **`self`** — передача владения

Ассоциированные функции

```
struct Point { x: f64, y: f64 }

impl Point {
    fn origin() -> Point {
        Point { x: 0.0, y: 0.0 }
    }
}

let p = Point::origin();
assert_eq!(
    p.distance_from_origin(),
    0.0,
);
```

Deref

```
fn foo(mut p: Point) {
    p.scale(2.0);
    let d1 = p.distance_from_origin();
    let boxed = Box::new(p);
    let d2 = boxed.distance_from_origin();
    assert_eq!(d1, d2);
}
```

Вызов метода автоматически добавляет `&`, `&mut` и `*`

Deref

```
fn foo(mut p: Point) {


    let boxed = Box::new(p);
    let d2 = (&*boxed).distance_from_origin();

}
```

Вызов метода автоматически добавляет `&`, `&mut` и `*`

Структуры-кортежи

```
struct Point(f64, f64);

impl Point {
    fn origin() -> Point {
        Point(0.0, 0.0)
    }
    fn dist(self, other: Point) -> f64 {
        let Point(x1, y1) = self;
        let Point(x2, y2) = other;
        ((x1 - x2).powi(2) + (y1 - y2).powi(2)).sqrt()
    }
}

let p = Point(0.0, 1.0);
assert_eq!(p.0, 0.0);
```

Паттерн newtype

```
struct Kilometers(f64);
struct Miles(f64);
```

- Представление в памяти такое же, как и у внутреннего типа
- Нет необходимости в аннотациях
- Нет автоматической конверсии/автоматических методов

Zero Sized Types

```rust
struct Tag;

let t = Tag;
assert!(std::mem::size_of::<Tag>() == 0);
assert!(std::mem::size_of::<(Tag, Tag)>() == 0);
assert!(std::mem::size_of::<[Tag; 1024]>() == 0);
assert!(std::mem::size_of::<()>() == 0);
```

ZST существуют только во время комиляции

👉 zero cost abstraction!

Type Tags

```
struct Kilometers;
struct Miles;

struct Distance<M> {
    amount: f64,
    metric: M,
}

let d1: Distance<Kilometers> = Distance {
    amount: 92.0,
    metric: Kilometers,
};
let d2: Distance<Miles> = Distance {
    amount: 92.0,
    metric: Miles,
};
```

Виды структур

struct

```
struct Point { x: f64, y: f64 }
```

tuple struct

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

newtype (tuple) struct

```
struct Point1D(f64);
```

unit struct

```
struct ThePoint; // ZST
```

Dynamically Sized Types

- `[i32; 4]` — четыре числа
- `&[i32; 4]` — адресс в памяти, где лежат четыре числа
- `[i32]` — n чисел

```
mem::size_of::<[i32]>();
^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^ doesn't have a size known at compile-time
```

- `&[i32]` — указатель + количество элементов, fat pointer

```
assert_eq!(
    mem::size_of::<&[i32]>(),
    mem::size_of::<usize>() * 2,
)
```

Slices

- `&[T]` — слайс

```rust
fn print_slice(xs: &[i32]) {
    for idx in 0..xs.len() {
        println!("{}", xs[i]);
    }
}
```

- **всегда** знает свою длину
- доступ по индексу проверят выход за границу
- нельзя отключить флагом компилятора
- `&[T]` можно получить из `&[T; N]` или `Vec<N>`

Enums

```
enum Shape {
    Circle {
        center: Point,
        radius: f64,
    },
    Square {
        bottom_left: Point,
        top_right: Point,
    },
}
```

Enums

```
impl Shape {
    fn circle(center: Point, radius: f64) -> Shape {
        Shape::Circle { center, radius }
    }
    fn area(&self) -> f64 {
        match self {
            Shape::Circle { radius, .. } => {
                std::f64::consts::PI * radius * radius
            }
            Shape::Square { bottom_left, top_right } => {
                unimplemented!()
            }
        }
    }
}
```

Enums

```
enum Expr {
    Negation(Box<Expr>),
    BinOp { lhs: Box<Expr>, rhs: Box<Expr> },
    Unit,
}
```

- варианты `enum` бывают такие же, как и структуры
- квалификация обязательна `Expr::BinOp { lhs, rhs}`, **но** можно импортировать вариант: `use Expr::BinOp`
- `mem::size_of` — размер самого большого варианта + дискриминант
- размер объекта не может быть бесконечным

Полезные enum-ы

```
// use std::cmp::Ordering;
enum Ordering {
    Less,
    Equal,
    Greater,
}

fn binary_search(xs: &[i32], x: i32) -> bool {
    if xs.is_empty() { return false; }
    let mid = xs.len() / 2;
    let subslice = match xs[mid].cmp(&x) {
        Ordering::Less => &xs[mid + 1..],
        Ordering::Equal => return true,
        Ordering::Greater => &xs[..mid],
    };
    binary_search(subslice, x)
}
```

Полезные enum-ы

```
enum Option<T> {
    Some(T),
    None,
}

fn foo(xs: &[i32]) {
    match xs.get(92) {
        Some(value) => ...,
        None => panic!("out of bounds access")
    }
}
```

Имена `None` и `Some` доступны по умолчанию

Полезные enum-ы

```
enum Result<T, E> {
    Ok(T),
    Err(E),
}

impl<T> [T] {
    pub fn binary_search(&self, x: &T) -> Result<usize, usize>
    where
        T: Ord
    {
        self.binary_search_by(|p| p.cmp(x))
    }
}
```

Newtype Variant

```
enum Expr {
    BinOp {
        lhs: Box<Expr>,
        rhs: Box<Expr>,
        op: Op,
    },
    If {
        cond: Box<Expr>,
        then_branch: Box<Expr>,
        else_branch: Box<Expr>,
    },
}
```

`BinOp` и `If` типами не являются

Newtype Variant

```
enum Expr {
    BinOp(BinOp),
    If(If)
}

struct BinOp {
    lhs: Box<Expr>,
    rhs: Box<Expr>,
    op: Op,
}

struct If {
    cond: Box<Expr>,
    then_branch: Box<Expr>,
    else_branch: Box<Expr>,
}
```

Void

```
enum Void {}
```

Void

```rust
enum Void {}

fn foo(void: Void) -> Vec<Point> {
    match void {
    }
}
```

- энум без вариантов — аналог `!`
- гарантия, что код не достижим
- `size_of::<Void>() == 0` 😕

Result

- `Result<T, Void> == T`

```
fn extract(result: Result<Spam, Void>) -> Spam {
    match result {
        Ok(spam) => spam,
        Err(void) => match void {},
    }
}
```

На что похож `Result<(), ()>`?

Представление в памяти

- представление в памяти не специфицированно
- компиялтор минимизирует паддинг (есть `#[repr]` атрибуты)
- дискриминант может прятаться в неиспользованных битах
- гарантированно что

```
mem::size_of::<Option<&T>>() == mem::size_of::<&T>()
mem::size_of::<Option<Box<T>>>() == mem::size_of::<Box<T>>()
```

- `bool` занимает 1 байт, чтобы `&bool` работал всегда
- Newtype Variant может быть больше обычного enum из-за паддинга :o)
- бывают типы "страных" размеров: ZST, DST, uninhabited