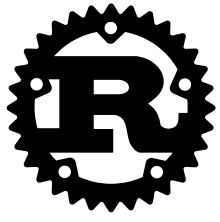
Rust 2019

compscicenter.ru

aleksey.kladov@gmail.com



Лекция 5
Функции

Fn трейты

FnOnce

Так же, как и всё в Rust, оператор ( ) определяется трейтом:

```
trait FnOnce<Args> { (1)
    type Output; (2)
    fn call_once(self, args: Args) -> Self::Output;
}
```

(1) тип аргументов (кортеж)

(2) тип результата

FnOnce

```
fn apply<T, R, F: FnOnce(T) -> R>(x: T, f: F) -> R {
    f(x)
}
```

`FnOnce(U, V) -> R` это синтаксический сахар для

`FnOnce<(U, V), Output = R>`

map

```
fn map<T, R, F: FnOnce(&T) -> R>(xs: &[T], f: F) -> Vec<R> {
    let mut res = Vec::with_capacity(xs.len());
    for x in xs {
        // value moved here in previous iteration of loop
        let y = f(x);
        res.push(y);
    }
    res
}
```

`call_once` требует **`self`**, можно позвать функцию только один раз

FnMut, Fn

```
trait FnMut<Args>: FnOnce<Args> {
    fn call_mut(&mut self, args: Args) -> Self::Output;
}

trait Fn<Args>: FnMut<Args> {
    fn call(&self, args: Args) -> Self::Output;
}
```

И `FnMut`, и `Fn` позволяют позвать функцию несколько раз, но `FnMut` требует `&mut`.

`FnOnce`	`FnMut`	`Fn`
фунция может больше		удобнее вызывать

map

```
fn map<T, R, F: FnMut(&T) -> R>(xs: &[T], mut f: F) -> Vec<R> {
    let mut res = Vec::with_capacity(xs.len());
    for x in xs {
        let y = f(x);
        res.push(y);
    }
    res
}
```

Функции

```
fn map<T, R, F: FnMut(&T) -> R>(xs: &[T], mut f: F) -> Vec<R> {
    ...
}

fn sqrt(x: &i32) -> f64 {
    (xs as f64).sqrt()
}

fn main() {
    let xs = vec![1, 2, 3];
    let ys = map(&xs, sqrt);
}
```

Размер функции

```rust
fn size_of_val<T>(_: T) -> usize {
    std::mem::size_of::<T>()
}

let s = size_of_val(next);
assert_eq!(s, 0)
```

Функции — ZST объекты

`map<F>(f: F, …)` мономорфизируется в `map_next(…)` и `map_prev(…)`

Везде — статические вызовы

Представление функции в run-time — ничего

Тип Функции

У каждой функции — уникальный, незаписываемый (non denotable) тип

zipmap

```
fn zipmap<F: Fn(&T) -> R, T, R>(xs: &[T], fs: &[F]) -> Vec<R> {
    let iter = xs.iter().zip(fs);
    let mut res = Vec::with_capacity(iter.len()); // ^^
    for (x, f) in iter {
        res.push(f(x));
    }
    res
}
```

zipmap

```
fn zipmap<F: Fn(&T) -> R, T, R>(xs: &[T], fs: &[F]) -> Vec<R> {
    let iter = xs.iter().zip(fs);
    let mut res = Vec::with_capacity(iter.len());
    for (x, f) in iter {
        res.push(f(x));
    }
    res
}

fn next(x: &i32) -> i32 { x + 1 }
fn prev(x: &i32) -> i32 { x - 1 }

fn main() {
    let xs = vec![1, 2];
    // expected fn item, found a different fn item
    let fs = vec![next, prev];
    let ys = zipmap(&xs, &fs);
}
```

zipmap

```
fn zipmap<F: Fn(&T) -> R, T, R>(xs: &[T], fs: &[F]) -> Vec<R> {
    let iter = xs.iter().zip(fs);
    let mut res = Vec::with_capacity(iter.len());
    for (x, f) in iter {
        res.push(f(x));
    }
    res
}

fn next(x: &i32) -> i32 { x + 1 }
fn prev(x: &i32) -> i32 { x - 1 }

fn main() {
    let xs = vec![1, 2];
    // :-(
    let fs = vec![next, next];
    let ys = zipmap(&xs, &fs);
}
```

Как выглядит **`Vec<T>`**, если **`T`** — ZST ?

Как выглядит **`Vec<T>`**, если **`T`** — ZST ?

Примерно как счётчик: `push` = `increment`, `pop` = `decrement`

Указатель на Функцию

```
fn(T, U) -> R
```

- `mem::size_of::<fn()>() == mem::size_of::<usize>()`
- представление в памяти — адрес
- вызов = call по адресу

zipmap

```
fn zipmap<F: Fn(&T) -> R, T, R>(xs: &[T], fs: &[F]) -> Vec<R> {
    let iter = xs.iter().zip(fs);
    let mut res = Vec::with_capacity(iter.len());
    for (x, f) in iter {
        res.push(f(x));
    }
    res
}

fn next(x: &i32) -> i32 { x + 1 }
fn prev(x: &i32) -> i32 { x - 1 }

fn main() {
    let xs = vec![1, 2];
    // Функциональный тип приводится (coerce) к указателю
    let fs: Vec<fn(&i32) -> i32> = vec![next, prev];
    let ys = zipmap(&xs, &fs);
}
```

Замыкания

Функции и указатели на функции — `Copy` тип. Для них всегда выполняется `Fn`, в `self` ничего интересного не лежит.

Замыкание

пара из окружения и функции

Псевдокод:

```
struct Closure {
    env: Env,
    f: fn(Env, Foo) -> Bar
}

impl FnOnce<(Foo,)> for Closure {
    type Output = Bar;
    fn call_once(self, (arg, ): (Foo,)) -> Bar {
        let Closure { env, f } = self;
        f(env, arg)
    }
}
```

Замыкания

```
fn closest_point(xs: &[Point], tgt: Point) -> Option<&Point> {
    xs.iter().min_by_key(|p| p.dist(tgt))
}

|arg1: Type1, arg2: Type2| -> ResultType {
    body
}
```

- типы аргументов и результата опциональны
- тело — любое выражение (не обязательно блок)

Captures

```
let xs = vec![1, 2, 3];
let f = || {
    // что нибудь делаем с xs
};
```

Для `f` компилятор генерирует скрытую структуру с полем `xs` и соответствующий `impl FnOnce`

Для каждого замыкания — уникальный тип (поле `f` из псевдокода — не указатель на функцию, а ZST)

Captures

```
struct F {
    xs: Vec<i32>,
}

struct F<'a> {
    xs: &'a Vec<i32>,
}

struct F<'a> {
    xs: &'a mut Vec<i32>,
}
```

Нужный вариант выбирается исходя из использования `xs` внутри функции

Captures

```
let xs = vec![1, 2, 3];
let ys = vec![4, 5, 6];
let mut zs = vec![7, 8, 9];
let f = || {
    drop(xs);
    println!("{}", ys.len());
    zs.push(10);
};
```

Captures

```
struct Closure<'a, 'b> {
    xs: Vec<i32>,
    ys: &'a Vec<i32>,
    zs: &'b mut Vec<i32>,
}

impl<'a, 'b> FnOnce() for Closure<'a, 'b> {
    type Output = ();
    fn call_once(mut self)  {
        drop(self.xs);
        println!("{}", ys.len());
        zs.push(10);
    }
}
```

Captures

```
struct Closure<'a, 'b> {
    xs: Vec<i32>,
    ys: &'a Vec<i32>,
    zs: &'b mut Vec<i32>,
}

impl<'a, 'b> FnOnce() for Closure<'a, 'b> {
    type Output = ();
    fn call_once(mut self)  {
        drop(self.xs);
        println!("{}", ys.len());
        zs.push(10);
    }
}
```

Можно ли написать **FnMut** для **Closure<'a, 'b>**?

move

Иногда хочется сделать `move`, даже если хватает ссылки:

```
let has_gc = {
    let no_gc = vec!["C", "C++", "Rust"];
    |lang: &str| -> bool {
        !no_gc.contains(&lang)
    //   ^^^^^ borrowed value does not live long enough
    }
};

assert!(has_gc("Java"));
```

move

Можно использовать ключевое слово **`move`**:

```
let has_gc = {
    let no_gc = vec!["C", "C++", "Rust"];
    move |lang: &str| -> bool {
        !no_gc.contains(&lang)

    }
};

assert!(has_gc("Java"));
```

move

Можно использовать ключевое слово **`move`**:

```
let has_gc = {
    let no_gc = vec!["C", "C++", "Rust"];
    move |lang: &str| -> bool {
        !no_gc.contains(&lang)

    }
};

assert!(has_gc("Java"));
```

Какие из **`FnOnce`**, **`FnMut`**, **`Fn`** трейтов реализованы для **`has_gc`**?

Capture Clause

В C++ нужно явно указывать, как захватываются переменные

В Rust компилятор проверит, что автоматический вывод корректен

Capture Clause

move позволяет указать окружение явно:

```
let xs = vec![1, 2, 3];
let ys = vec![4, 5, 6];
let mut zs = vec![7, 8, 9];

let f = {
    let xs = xs;
    let ys = &ys;
    let zs = &mut zs;
    move || {
        drop(xs);
        println!("{}", ys.len());
        zs.push(10);
    }
};
```

Итераторы

Личная история: я осознал прелесть Rust, когда понял, как работают итераторы

Пифагоровы Тройки

```rust
let triplets = (1u32..)
    .flat_map(|z| (1..=z).map(move |y| (y, z)))
    .flat_map(|(y, z)| (1..=y).map(move |x| (x, y, z)))
    .filter(|(x, y, z)| x*x + y*y == z*z);

let first_ten: Vec<(u32, u32, u32)> =
    triplets.take(10).collect();

// [(3, 4, 5), (6, 8, 10) ... (20, 21, 29)]
println!("{}", first_ten)
```

- `map`: трансформирует элементы последовательности
- `flat_map`: превращает элемент в последовательность
- `filter`, `take`, ...
- `collect` превращает "ленивый" итератор в коллекцию

Пифагоровы Тройки

Для пифагоровых троек есть параметризация!

std::iter::Iterator

```
trait Iterator {
    type Item;
    fn next(&mut self) -> Option<Self::Item>;

    ... // методы с реализацией по умолчанию
}
```

Типы-суммы нужны!

- Java: два метода, `next` и `hasNext`
- Python: исключения для управления потоком управления

Минимальный итератор

```
struct CountDown(u32);

impl Iterator for Counter {
    type Item = u32;
    fn next(&mut self) -> Option<u32> {
        if self.0 == 0 {
            None
        } else {
            self.0 -= 1;
            Some(self.0 + 1);
        }
    }
}

fn main() {
    for x in CountDown(10) {
        println!("{}", x)
    }
}
```

IntoIterator

for работает через `IntoIterator`:

```
pub trait IntoIterator {
    type Item;
    type IntoIter: Iterator<Item=Self::Item>;
    fn into_iter(self) -> Self::IntoIter;
}
```

```
for x in xs {
    body
}
```

```
let mut it = xs.into_iter();
while let Some(x) = it.next() {
    body
}
```

IntoIterator

for работает через `IntoIterator`:

```
pub trait IntoIterator {
    type Item;
    type IntoIter: Iterator<Item=Self::Item>;
    fn into_iter(self) -> Self::IntoIter;
}
```

```
for x in xs {
    body
}
```

```
let mut it = xs.into_iter();
while let Some(x) = it.next() {
    body
}
```

Где ошибка в рассахаривании?

IntoIterator

```
{ (1)
    let mut it = xs.into_iter();
    while let Some(x) = it.next() {
        body
    }
}
```

(1) создаём блок, чтобы вовремя уничтожить `it`

IntoIter

```rust
impl<I: Iterator> IntoIterator for I {
    type Item = I::Item;
    type IntoIter = I;
    fn into_iter(self) -> I { self }
}
```

Любой итератор также `IntoIterator` (blanket impl)

Ровно поэтому `CountDown` работает с **`for`**

IntoIter

```rust
impl<T> IntoIterator for Vec<T> {
    type Item = T;
    type IntoIter = std::vec::IntoIter<T>;
    fn into_iter(self) -> Self::IntoIter { ... }
}

fn process(xs: Vec<String>) {
    for x in xs {
        println!("{}", x);
        // освободили память строки
    }
    // xs уже нет
}
```

Коллекции реализуют `IntoIterator`, передавая владение содержимым

Iter

```
impl<'a, T> IntoIterator for &'a Vec<T> {
    type Item = &'a T;
    type IntoIter = std::vec::Iter<'a, T>;
    fn into_iter(self) -> Self::IntoIter { ... }
}

fn process(xs: Vec<String>) {
    for x in &xs {
        *x = String::new();
    }
    for x in xs.iter() {
        println!("{}", x);
    }
}
```

Итерация по ссылке на коллекцию возвращает &T ссылки

IterMut

```
impl<'a, T> IntoIterator for &'a mut Vec<T> {
    type Item = &'a mut T;
    type IntoIter = std::vec::IterMut<'a, T>;
    fn into_iter(self) -> Self::IntoIter { ... }
}

fn process(mut xs: Vec<String>) {
    for x in &mut xs {
        println!("{}", x);
    }
    for x in xs.iter_mut() {
        println!("{}", x);
    }
}
```

Аналогично для &**mut**.

map

```
trait Iterator {
    type Item;
    fn next(&mut self) -> Option<Self::Item>;

    fn map<R, F>(self, f: F) -> ???
    where
        F: FnMut(Self::Item) -> R, // 80% правды
    {}

    ...
}
```

Вместо `???` нельзя написать `Iterator<Item = R>`, ведь `Iterator` это не тип

```rust
pub trait Iterator {
    fn map<B, F>(self, f: F) -> Map<Self, F>
        where F: FnMut(Self::Item) -> B
    {
        Map { iter: self, f }
    }
}

pub struct Map<I, F> {
    iter: I,
    f: F,
}
```

```rust
pub struct Map<I, F> {
    iter: I,
    f: F,
}

impl<B, I, F> Iterator for Map<I, F>
where
    I: Iterator,
    F: FnMut(I::Item) -> B,
{
    type Item = B;

    fn next(&mut self) -> Option<B> {
        match self.iter.next() {
            None => None,
            Some(value) => Some((self.f)(value)),
        }
    }
}
```

Map

`map` возвращает конкретный тип, `Map`, параметризованный итератором и функцией

`Map` реализует итератор, если составные части нужной формы

Цепочки итераторов образуют сложный, "телескопический" тип:

```
use std::{
    iter::{Map, Filter},
    ops::Range
};

fn main() {
    let _it: Filter<Map<Range<i32>, _>, _> =
        (1..10).map(|i| i * 2).filter(|i| i > 5);
}
```

Итераторы в Runtime

Параметризация предыдущим итератором (`Map<Self, _>`):

- `size_of` сложного итератора — сумма `size_of` частей
- всё состояние — один конечный автомат на стэке

Параметризация функцией (`Map<_, F>`):

- не нужно аллоцировать объект замыкания в куче
- замыкание состоит **только** из окружения, функция — ZST
- компилятор статически знает, какой код вызывается — итераторы компилируются в быстрые циклы
- тип сложных итераторов нельзя написать

API Итераторов, Трансформации

Трансформации конструируют новые итераторы:

`map`, `filter`, `flat_map`, `flatten`, `zip`, `unzip`, `chain`, `take`, `skip`, `enumerate`, ...

```
/// трансформируем элементы, но трансформация не всегда применима
fn filter_map<B, F: FnMut(Self::Item) -> Option<B>>(self, f: F)
/// смотрим на текущий элемент (для дебага)
fn inspect<F: FnMut(&Self::Item)>(self, f: F)
/// превращаем итератор ссылок в итератор значений
fn cloned<'a, T>(self)
    Self: Iterator<Item = &'a T>,
    T: 'a + Clone,
```

API Итераторов, Терминальные операции

Терминальные операции запускают итератор, вызывая `.next`:

`for`, `for_each`, `count`, `min`, `max`, `sum`, `product`, `any`, `all`, `find_map`, `fold`, `last`, ...

`collect`: используя return type polymorphism, позволяет конструировать что-нибудь из итератора

```
fn collect<B: FromIterator<Self::Item>>(self) -> B {
    FromIterator::from_iter(self)
}

trait FromIterator<T> {
    fn from_iter<I>(iter: I) -> Self
    where
        I: IntoIterator<Item = T>;
}
```

collect

```
let a = [1, 2, 3];

let doubled: Vec<i32> = a.iter().map(|&x| x * 2).collect();
let doubled = a.iter().map(|&x| x * 2).collect::<HashSet<i32>>();
let doubled = a.iter().map(|&x| x * 2).collect::<HashSet<_>>();
```

Можно написать `FromIter` для своего типа:

```
struct IterLen(usize);

impl<T> FromIter<T> for IterLen {
    fn from_iter<I: IntoIterator<Item=i32>>(iter: I) -> IterLen {
        let mut len = 0;
        iter.into_iter().for_each(|_| len += 1 );
        IterLen(1)
    }
}
```

Можно собирать итераторы в `Result` или `Option`:

```
impl<T, V: FromIterator<T>> FromIterator<Option<T>> for Option<V> {
    fn from_iter<I: IntoIterator<Item=Option<T>>>(iter: I)
    -> Option<V> {
        ...
    }
}

fn main() {
    let items = vec![2_u16, 1, 0];

    let res: Option<Vec<u16>> = items
        .iter()
        .map(|x| x.checked_sub(1))
        .collect();

    assert_eq!(res, None);
}
```

Итераторы: Итоги

1. итераторные адаптеры *делают* ничего, только описывают трансформацию
2. терминальные методы запускают итератор
3. 1 + 2 = итераторы ленивые **и** бесплатные: нет аллокаций, нет косвенности
4. записать тип итератора проблематично...
5. `collect` полиморфный метод, позволяет расширять возможности итераторов снаружи
6. для коллекций, бывают итераторы по ссылкам и по значениям

ExactSizeIterator

```
trait Iterator {
    ...
    fn size_hint(&self) -> (usize, Option<usize>) { (0, None) }
}

trait ExactSizeIterator: Iterator {
    fn len(&self) -> usize {
        let (lower, upper) = self.size_hint();
        assert_eq!(upper, Some(lower));
        lower
    }
}
```

`ExactSizeIterator` — маркер-трейт для итераторов, которые точно знают свой размер.

ExactSizeIterator

```
impl<A, B> ExactSizeIterator for Zip<A, B>
    where A: ExactSizeIterator, B: ExactSizeIterator {}

fn zipmap<F: Fn(&T) -> R, T, R>(xs: &[T], fs: &[F]) -> Vec<R> {
    let iter = xs.iter().zip(fs);
    let mut res = Vec::with_capacity(iter.len());
    for (x, f) in iter {
        res.push(f(x));
    }
    res
}
```

- можем позвать `.len`, так как `.zip` сохраняет `ExactSizeIterator`

DoubleEndedIterator

```
trait DoubleEndedIterator: Iterator {
    fn next_back(&mut self) -> Option<Self::Item>;
    ...
}

trait Iterator {
    fn rev(self) -> Rev<Self> where Self: DoubleEndedIterator {
        Rev { iter: self }
    }
    ...
}
```

- `DoubleEndedIterator` позволяет итерироваться с обоих концов
- нет `RandomAccessIterator`: в общем случае, нельзя проитерироваться дважды

Домашнее задание: восхитится организацией итераторов

https://doc.rust-lang.org/std/iter/index.html