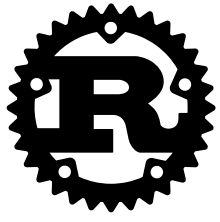
Rust 2019

compscicenter.ru

aleksey.kladov@gmail.com



Лекция 1
Введение

Про курс

- Научиться программировать на Rust?
- Устроиться на работу?

Про курс

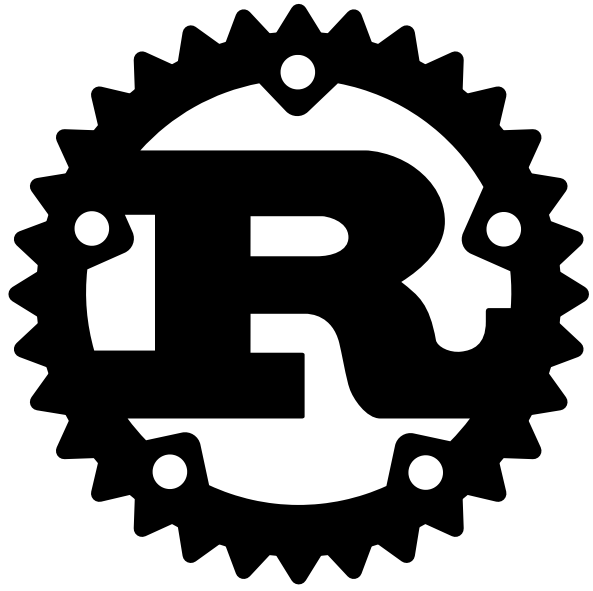
- Научиться думать о программах по-другому.
- Углубить понимание современного C++.

Про меня

- https://github.com/matklad
- IntelliJ Rust
- Cargo (система сборки Rust)
- rls 2.0 

Ferrous Systems

Про Rust



- 1.0 в 2015 году
- нет сборщика мусора
- минимальный runtime
- конкурент C++
- memory safety (!)

Что такое Runtime?

runtime

код "вокруг" вашей программы.

Типичные компоненты:

- сборщик мусора
- интерпретатор
- JIT компилятор
- представление значений в памяти

Цена Runtime

Runtime это замечательно!

Чем больше делает runtime, тем меньше надо делать вам.

Но:

- скорость
- размер
- переиспользование

Zero Cost Abstractions

Ключевой момент философии C++ и Rust:

высокоуровневые конструкции бесплатны во время исполнения программы

Хорошая философия, когда **ресурсы ограничены.**

Пример (Java)

```
private static double average(int[] data) {
    int sum = 0;
    for (int i = 0; i < data.length; i++) {
        sum += data[i];
    }
    return sum * 1.0d / data.length;
}
```

```
$ java MainJ
30 ms
```

Пример (Rust)

```rust
fn average(xs: &[i32]) -> f64 {
    let mut sum: i32 = 0;
    for i in 0..xs.len() {
        sum += xs[i];
    }
    sum as f64 / xs.len() as f64
}
```

```
$ ./target/release/avg
???
```

Пример (Rust)

```rust
fn average(xs: &[i32]) -> f64 {
    let mut sum: i32 = 0;
    for i in 0..xs.len() {
        sum += xs[i];
    }
    sum as f64 / xs.len() as f64
}
```

```
$ ./target/release/avg
17 ms
```

Пример (Scala)

```
def average(x: Array[Int]): Double = {
  x.reduce(_ + _) * 1.0 / x.size
}

$ scala MainS
518 ms
```

Пример (и снова Rust)

```
fn average(xs: &[i32]) -> f64 {
    xs.iter().fold(0, |x, y| x + y) as f64 / xs.len() as f64
}

$ ./target/release/avg
18 ms
```

Анализ

Java (30 ms) vs Rust (17 ms)

Функция не аллоцирует объекты, единственная разница — в генерации кода.

Java (30 ms) vs Scala (518 ms)

Функции работают с объектами ⇒ боксинг.

Rust (17 ms) vs Rust (18 ms)

Функция — бесплатная абстракция.

Зачем нужен Runtime?

- Автоматическое управление памятью — огромная экономия времени программиста
- Закон Амдала — время работы программы не важно, если 90% это IO
- Ручное управление памятью — путь к катастрофическим ошибкам

Последний пункт — разница между C++ и Rust.

Где используется Rust?

- браузеры: Servo и Firefox
- операционные системы: Fuschia
- криптовалюты: Parity, Exonum
- базы данных: TiKV

Hello, world

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

$ rustc main.rs  # без оптимизаций
$ ./main
Hello, World!
```

Hello, world

```
#![no_main]

#[link_section=".text"]
#[no_mangle]
pub static main: [u32; 9] = [
    3237986353,
    3355442993,
    120950088,
    822083584,
    252621522,
    1699267333,
    745499756,
    1919899424,
    169960556,
];
```

Hello, Cargo

https://rustup.rs/

```
$ cargo new hello-world
     Created binary (application) `hello-world` package
$ cargo run --release
   Compiling hello-world v0.1.0 (/home/matklad/hello-world)
    Finished release [optimized] target(s) in 0.50s
     Running `target/release/hello-world`
Hello, world!
```

Основные Типы

Целые числа

кол-во бит	8	16	32	64	128	32/64
Знаковые	`i8`	`i16`	`i32`	`i64`	`i128`	`isize`
Беззнаковые	`u8`	`u16`	`u32`	`u64`	`u128`	`usize`

`usize` — размер указателя

Целые числа

- Литералы — целое число + суффикс

```
let y = 92_000_000i64;
let hex_octal_bin = 0xffff_ffff + 0o777 + 0b1;
let byte: u8 = b'a';
assert_eq!(byte, 65);
```

- Тип литерала без суффикса выводится из контекста

```
let idx: usize = 92;
```

- По умолчанию — `i32`

```
let int = 92;
println!("{}", int);
```

Арифметика

- арифметические операции: `+`, `-`, `*`, `/`
- `/`, `%` округляют к 0
- битовые/логические операции: `<<`, `>>`, `|`, `&`, `^`
- инверсия битов: `!`
- нет оператора возведения в степень
- нет `++`
- методы: `(-92i32).abs()`, `0b001100u8.count_ones()`

Арифметика

Нет неявного приведения типов

```
let x: u16 = 1;

let y: u32 = x; // error: mismatched types

let y: u32 = x.into();  // Расширение без потери точности
let z: u16 = y as u16;  // Берём младшие биты

let to_usize = 92u64 as usize;
let from_usize = 92usize as u64;
```

- **as** — оператор явного приведения типов

Арифметика

Переполнение — ошибка программиста

```
fn main() {
    let x = i32::max_value();
    let y = x + 1;
    println!("{}", y);
}
```

```
$ cargo run
thread 'main' panicked at 'attempt to add with overflow',
main.rs:3:13
```

```
$ cargo run --release
-2147483648
```

Арифметика

Явная арифметика с переполнением

```rust
let x = i32::max_value();

let y = x.wrapping_add(1);
assert_eq!(y, i32::min_value());

let y = x.saturating_add(1);
assert_eq!(y, i32::max_value());

let (y, overflowed) = x.overflowing_add(1);
assert!(overflowed);
assert_eq!(y, i32::min_value())

match x.checked_add(1) {
    Some(y) => unreachable!(),
    None => println!("overflowed"),
}
```

Переполнение в C++

Переполнение знакового типа в C или C++ — undefined behavior

*Что такое **неопределённое поведение**?*

1. Результат операции зависит от архитектуры?
2. Результатом может быть любое число?
3. Инструкция оптимизатору: "такого не может быть".

main.cpp

```
#include <climits>
#include <iostream>

bool will_overflow(int x) {
  return x > x + 1;
}

int main() {
  std::cout << will_overflow(INT_MAX) << std::endl;
}
```

```
$ clang main.cpp -O0 && ./a.out
1
$ clang main.cpp -O2 && ./a.out
0
```

With undefined behavior anything is possible

Польза UB

```
for (int i = 0; i < m; ++i) {
    foo(xs[i]);
}
```

Оптимизация: замена индексации на указатели

```
for (T* it = &xs[0]; it < &xs[m]; ++it) {
    foo(*it);
}
```

Размер указателя — 64 бита, размер `int` — 32 бита.

Трансформация верна только если переполнение `int` не определено.

UB в Rust

Ключевой момент философии Rust, и главное отличие от C++:

Проверка типов гарантирует отсутствие UB*

Существуют **`unsafe`** операции: компилятор не может проверить их корректность, но требует явного блока **`unsafe`** `{ }`.

Арифметика в стиле C++

```rust
let x = 92;
let y = unsafe { x.unchecked_add(1) };
```

- такой функции пока нет
- программист обязан гарантировать отсутствие переполнения
- компилятор верит и использует при оптимизации
- коллеги программиста видят (`Ctrl+f`) `unsafe`

Числа с плавающей точкой (IEEE-754)

f32	f64

```
let y = 0.0f32;     // литерал f32
let x = 0.0;        // тип выводится, f64 по умолчанию

// точка обязательна
let z: f32 = 0;     // error: expected f32, found integer variable
let z: f32 = 0.0;

let not_a_number: f32 = std::f32::NAN;
let inf: f32 = std::f32::INFINITY;

// есть куча методов
8.5f32.ceil().sin().round().sqrt()
```

Логический тип

```
let to_be: bool = true;
let not_to_be = !to_be;
let the_question = to_be || not_to_be;
```

- && и || “ленивые”
- нет неявного приведения к `bool`

```
let i = 1;
let b: bool = i == 0;
let i = b as i32;
```

Кортежи

`()`	`(i32,)`	`(i32, i64)`

```
let pair: (f32, i32) = (0.0, 92);
let (x, y) = pair;
let x = pair.0;
let y = pair.1;

let void_result = println!("hello");
assert_eq!(void_result, ());

let trailing_comma = (
    "Archibald",
    "Buttle",
);
```

Кортежи

В памяти `(i32, i32)` это пара интов (8 байт):

`7`	`07 00 00 00`
`(7, 263)`	`07 00 00 00 07 01 00 00`

Объединение типов в кортеж — zero cost abstraction.[1]

Кортежи

main.rs

```rust
fn main() {
    let t = (92,);
    println!("{:?}", &t as *const (i32,));  // 0x7ffc6b2f6aa4
    println!("{:?}", &t.0 as *const i32);   // 0x7ffc6b2f6aa4
}
```

main.py

```python
t = (92,)
print(id(t))     # 139736506707248
print(id(t[0]))  # 139736504680928
```

Массивы

`[i32; 0]`	`[i32; 1]`	`[i32; 10]`

размер массива — константа, часть типа

`[i8; 3]` это примерно то же самое, что и `(u8, u8, u8)`.

```
let xs: [u8; 3] = [1, 2, 3];
assert_eq!(xs[0], 1);    // index -- usize
assert_eq!(xs.len(), 3); // len() -- usize

let mut buf = [0u8; 1024];
```

Ссылки

`&T`	`&mut T`

- подробности — в следующей лекции
- представление ссылки — указатель
- не может быть `NULL`
- гарантирует, что объект жив

```
let mut x: i32 = 92;
let r: &mut i32 = &mut 92; // явное взятие ссылки
*r += 1;                   // явное разыменовывание ссылки
```

Указатели

`*const T`	`*mut T`

- могут быть `NULL`
- **не** гарантируют, что объект жив
- разыменовывание указателя — **`unsafe`** операция
- встречаются редко (ffi и продвинутые структуры данных)

Box

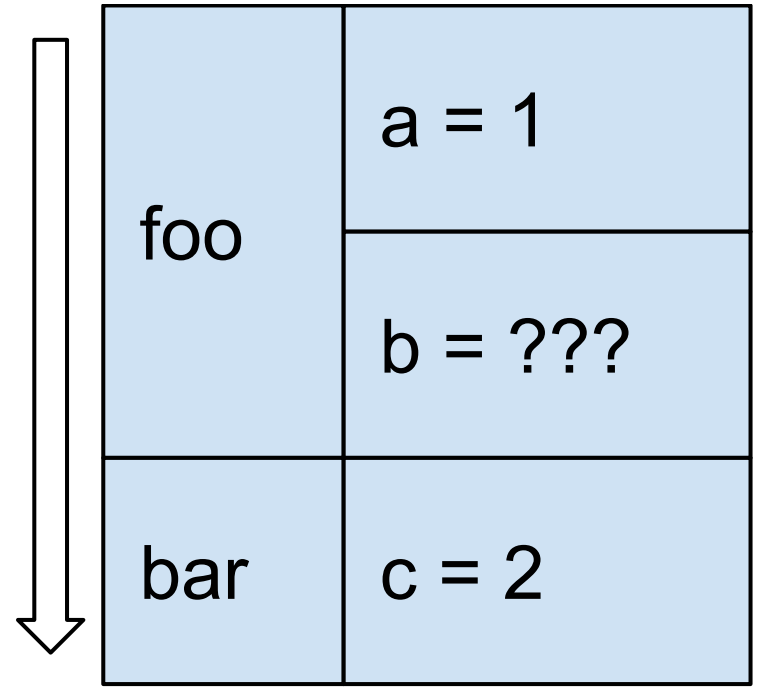
`Box<T>`

- указатель на данные в куче
- не может быть `NULL`
- `Box::new` выделяет память
- память освобождается на выходе из области видимости
- Для любителей C++: `std::unique_ptr`

```
let x: Box<i32> = Box::new(92);
```

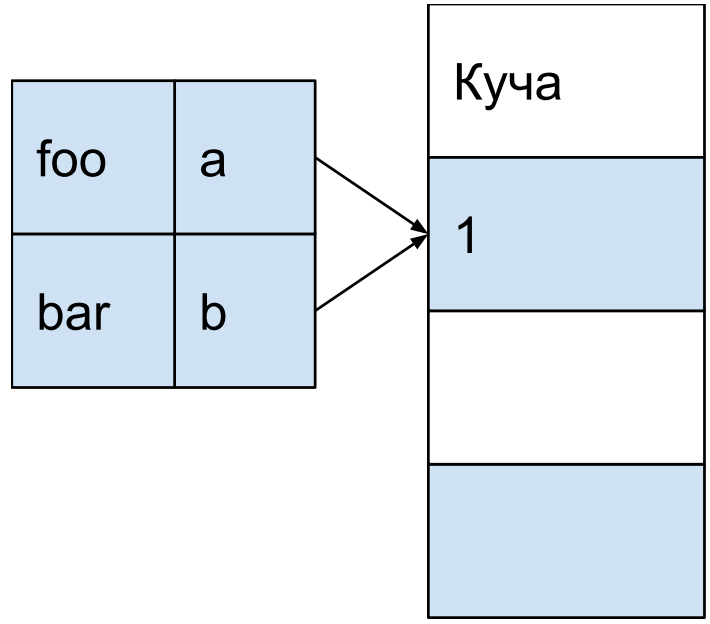
Стек

```
fn foo() {
    let a = 1;
    let b = bar();
}

fn bar() -> i32 {
    let c = 2;
    92
}
```



Куча

```
fn foo() {
    let a: Box<i32>;
    a = Box::new(1);
    bar(&*a)
}

fn bar(b: &i32) {
}
```



Стек

- быстро: сложить два числа
- автоматическое освобождение
- время жизни привязано к функции
- размер известен во время компиляции

Куча

- медленнее: `insert`/`remove` в дереве, синхронизация
- явные `malloc` и `free`
- произвольное время жизни
- любой размер

Стек

- локален для потока
- адресное пространство выделяется при старте потока (8mb)
- маппинг в физическую память ленивый
- если *очень* хочется, можно поменять после старта потока
- guard page

Куча

- глобальна для процесса
- `mmap`, `brk` для выделения адресного пространства
- аллокатор для распределения памяти

Как узнать, когда можно делать `free`?

Сборка мусора

Динамически считаем живые указатели на объекты, освобождаем недостижимую память.

Unified theory of grabage collection

Rust

Статически освобождаем память в фиксированном месте, запрещаем убегающие указатели.

RAII? Статическая сборка мусора? Счётчик ссылок в F_2?

```rust
fn foo() {
    let x = Box::new(92); // вызов alloc
    let r: &i32 = &x;
    use_x(r);
                          // неявный вызов dealloc
}

fn use_x(x: &i32) {
}
```

Память освобождается при выходе из области видимости ({ })

```
fn foo() {
    let r: &i32;
    {
        let x = Box::new(92);
        r = &*x;
    }

    use_x(r);
}

fn use_x(x: &i32) {
}
```

```
fn foo() {
    let r: &i32;
    {
        let x = Box::new(92);
        r = &*x; // borrowed value does not live long enough
    }

    use_x(r);
}

fn use_x(x: &i32) {
}
```

Проблема

```
fn foo() {
    let x = Box::new(92);
    let y = x;
}
```

Если память освобождается на выходе из блока, то мы освободим её дважды?

Присваивание (move)

Компилятор поддерживает множество инициализированных переменных, присваивание "тратит" правую часть

```
                          // init              uninit
let y;                    //                   y
let x;                    //                   x, y
let x = Box::new(92);     // x                 y
let t = x;                // t                 x, y
let y = t;                // y                 x, t
// y освобождает память
```

при-сво-ить

> завладеть, самовольно взять в свою собственность, выдать за своё.

Примеры

use after move

```
let spam = Box::new(92);
let eggs = spam;
println!("{}", spam); // use of moved value spam
```

Примеры

вызов функции

```
fn foo() {
    let x = Box::new(92); // alloc
    bar(x);
    // x тут не  определён
}

fn bar(x: Box<i32>) {
    // dealloc
}
```

drop

Вызов функции это move: напишем удалятор переменных

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

fn foo() {
    let x = Box::new(1);
    let y = Box::new(2);
    drop(y);
    drop(x);
}
```

Функция `drop` доступна из коробки

Аффинные типы

```
let x: T = foo() in
if condition
    then then_branch
    else else_branch
```

Обычная типизация

condition, **then_branch**, **else_branch** могут использовать x

Линейная типизация

нужно использовать x ровно один раз.

Аффинная типизация

можно использовать x, но не более одного раза.

Аффинные типы

```
let x = 92 in
```

`if x > 0 then x else -x`	только обычная типизация
`if x > 0 then y else z`	все три варианта
`if y > 0 then x else -x`	все три варианта
`if y > 0 then x else z`	афинная, но не линейная

Обычные типы

$$\frac{\Gamma \vdash t_1 : T_{11} \to T_{12} \qquad \Gamma \vdash t_2 : T_{11}}{\Gamma \vdash t_1\ t_2 : T_{12}}$$

Афинные типы

$$\frac{\Gamma_1 \vdash t_1 : T_{11} \to T_{12} \qquad \Gamma_2 \vdash t_2 : T_{11} \qquad \Gamma = \Gamma_1 \sqcup \Gamma_2}{\Gamma \vdash t_1\ t_2 : T_{12}}$$

строим разбиение контекста для проверки подвыражений

Проблема

А что если присваиваем в зависимости от условия?

```
let x = Box::new(92);
let y;
let z;
if condition {
    y = x;
} else {
    z = x;
}
// Кто освобождает память, x или y?
```

Drop flags

А что если присваиваем в зависимости от условия?

```
let x = Box::new(92);
let y;
let z;
if condition {
    y = x;
} else {
    z = x;
}
// Кто освобождает память, x или y?
```

Невидимый флаг *на стеке*: инициализирована ли переменная?

Очень маленький счётчик ссылок :o)

Vec

`Vec<T>`

- расширяющийся массив
- Box для n элементов

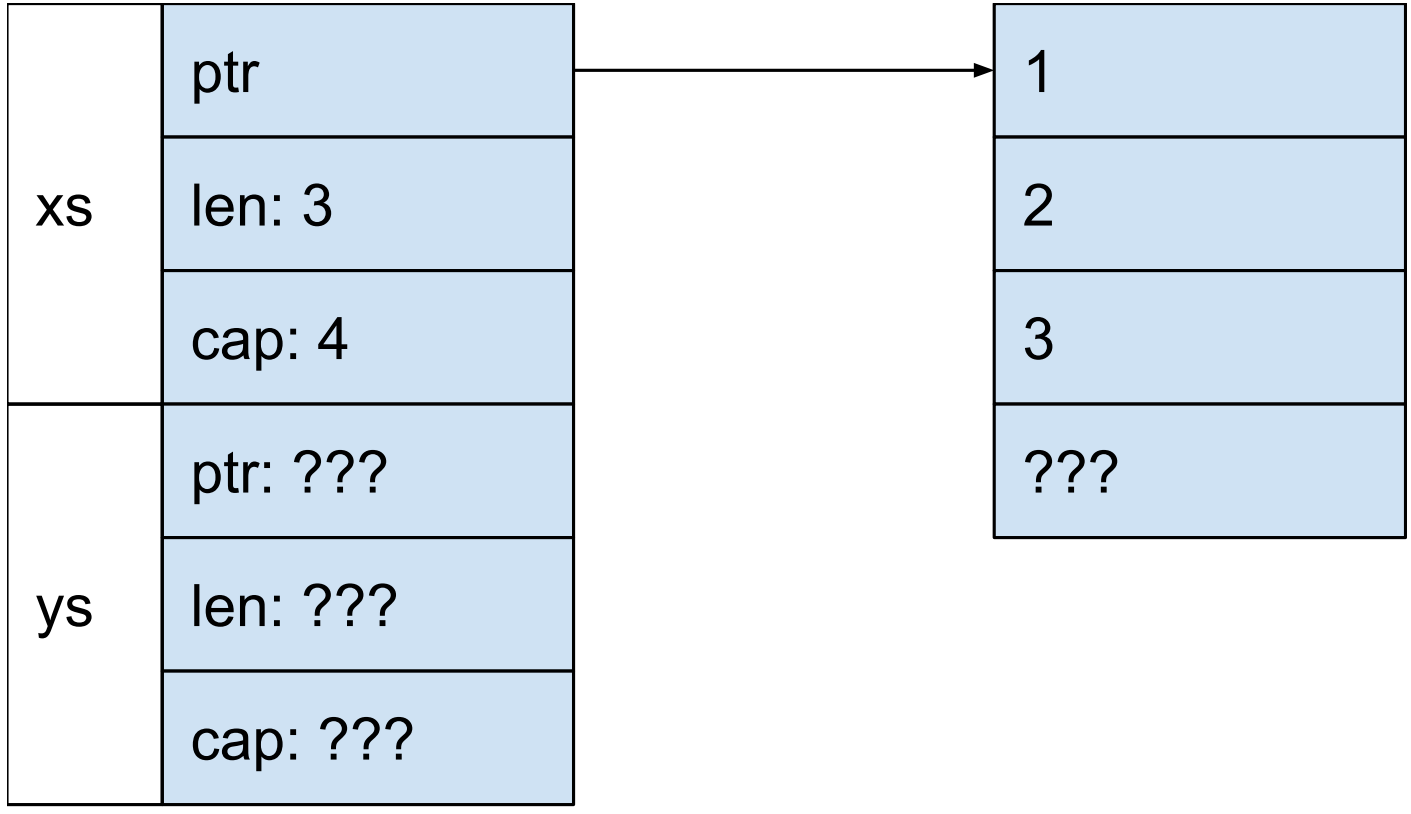
```rust
pub struct Vec<T> {
    /// Указатель на данные в куче.
    ptr: *const T,
    /// Количество элементов в векторе.
    /// Инвариант: len <= capacity.
    len: usize,
    /// Количество слотов в векторе (capacity).
    /// Увеличивается в 2 раза при заполнении.
    cap: usize,
}
```

Vec

```
use std::mem::size_of;
assert_eq!(
    size_of::<Vec<i32>>(),
    size_of::<usize>() * 3,
);

let mut xs = vec![1, 2, 3];
xs.push(4);
assert_eq!(xs.len(), 4);
assert_eq!(xs[2], 3);
```

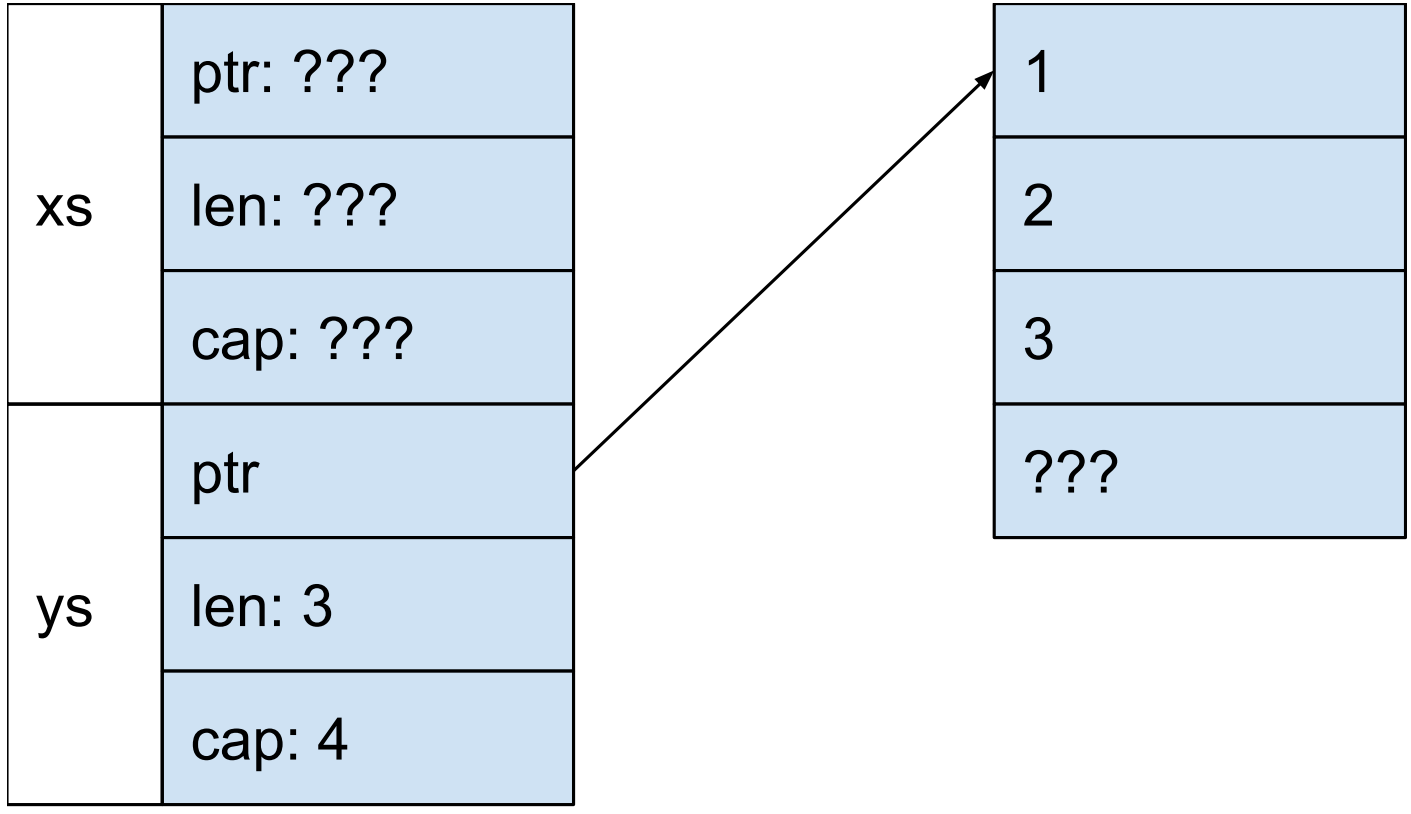
Vec

```
let ys;
let xs = vec![1, 2, 3];
ys = xs;
```



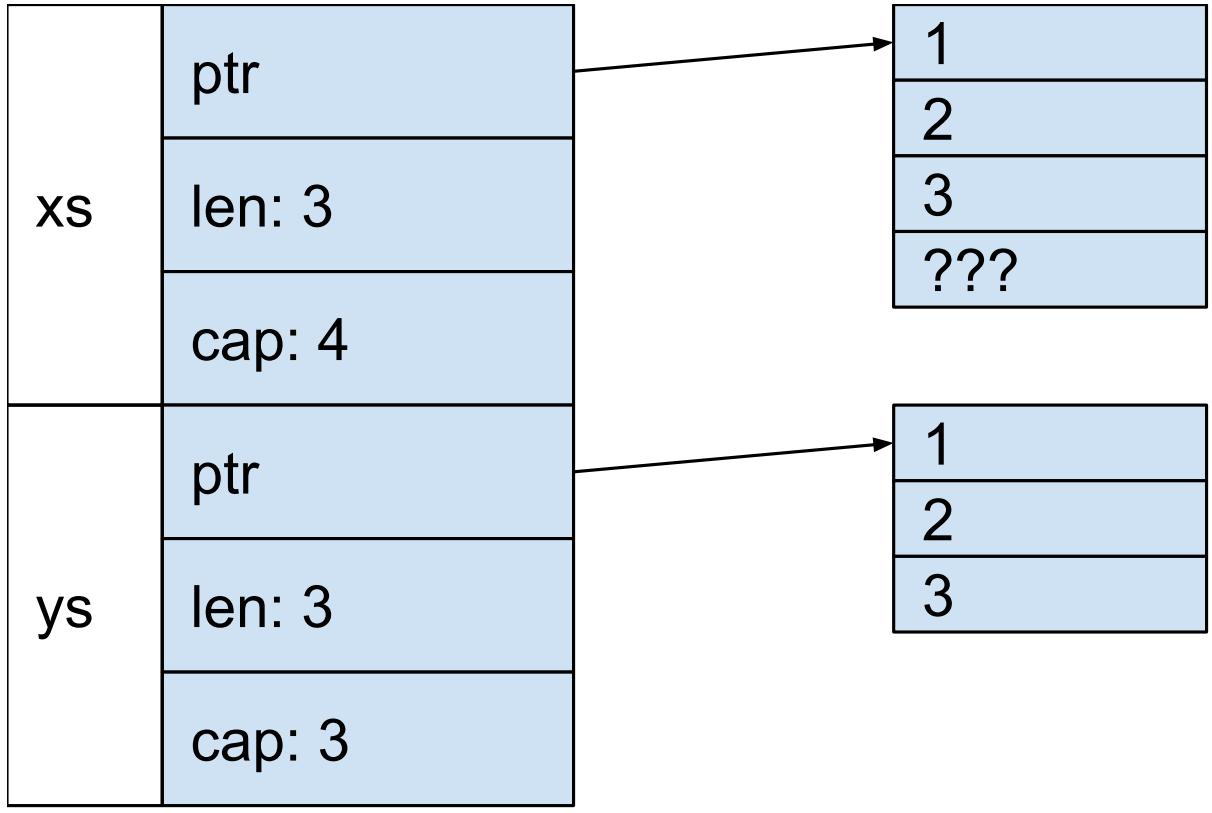
Vec

```
let ys;
let xs = vec![1, 2, 3];
ys = xs;
```



Vec

```
let ys;
let xs = vec![1, 2, 3];
ys = xs.clone();
```



Виды присваивания

```
xs = ys
```

- Python: увеличим счётчик ссылок.
- Java: копируем указатель, сборщик мусора на него посмотрит потом (+ опциональный барьер).
- C++: делаем глубокую копию объекта.
- Rust: в compile-time пометим `ys` как неинициализированную, в runtime скопируем байты на стеке.

Rust

- move это `memcpy size_of::<T>` байт
- есть всегда, не может завершиться с ошибкой
- поведение по умолчанию
- копирование — явный вызов `.clone`

C++

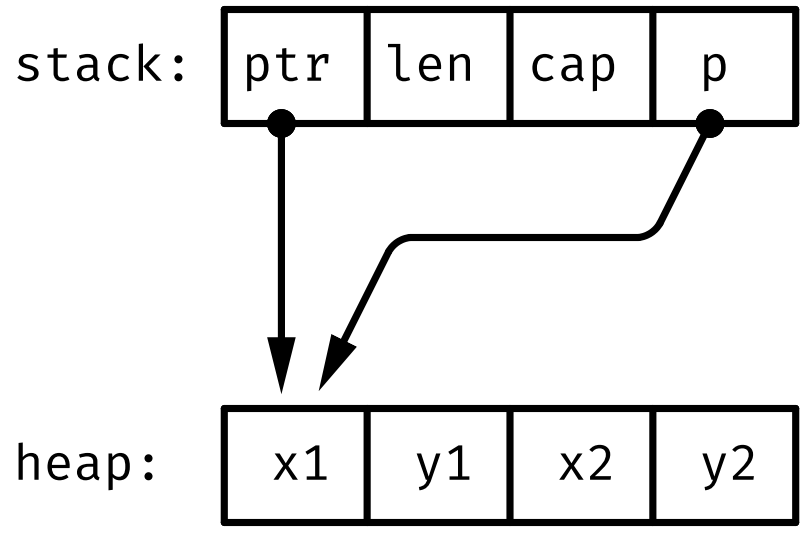
- можно перегрузить move конструктор
- есть не всегда, может кинуть исключение
- по умолчанию — копирование (за исключением rvalue-ссылок)
- **совместимость с C++98**

Представление объектов в памяти

- CPU существенно быстрее RAM
- кэш существенно меньше и быстрее RAM
- разыменовывание указателя — дорогая операция
- компилятор может сгенерировать эффективный код
- компилятор **не** может поменять структуру данных

Rust/C++

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

let xs: Vec<Point> = ...;
let p: &Point = xs[0];
```



Java

```
class Point {
    double x;
    double y;
}

ArrayList xs = ...;
Point p = xs.get(0);
```