Введение в функциональное программирование

Михаил Беляев

12 сентября 2017

Вступительная информация

- Будут лекции
- Будет экзамен
- Автоматов **нет**
- Есть домашки
- Слайды выкладываю
- Ходить не обязательно

Вопросы?

Императивное программирование

- Программа — это набор *инструкций*, изменяющих *состояние* системы
- Всё остальное (процедуры, классы и т.д.) — лишь способы абстракции

```
long factorial(long i) {
    long result = 1;
    while(i > 1) {
        result = result * i;
        --i;
    }
    return result;
}
```

Императивное программирование: более формально

Выполнение программы — это переход между состояниями

$\sigma_0 \to \sigma_1 \to \sigma_2 \to \sigma_3 \to \sigma_4 \to \ldots \to \sigma_s$

Императивное программирование: языки

Как процедурные, так и объектные языки

Начиная от Fortran и Algol и заканчивая Java и C#

Функциональное программирование

- Программа — это выражение, которое можно вычислить
- Способы абстракции бывают так же разными

```
long factorial(long i) {
    return (i <= 1)?
            1 :
            i * factorial(i-1);
}
```

- Выполнение программы — это вычисление этого выражения

Функциональное программирование: языки

Начиная от первых диалектов LISP до Haskell и F#

Декларативное программирование

- Функциональный стиль программирования — частный случай *декларативного* стиля

Декларативное программирование

- Функциональный стиль программирования — частный случай *декларативного* стиля

- Императивная программа отвечает на вопрос «как?»
- Декларативная программа отвечает на вопрос «что?»

Современные языки

- Современные языки имеют широкий инструментарий для работы в стиле ФП
- Как в основном императивные, так и в основном функциональные языки пришли к некоему «гибридному» состоянию

Модно, молодёжно: Rust, Swift, Kotlin, Scala, Go, etc.

- «Старые» языки последних стандартов тоже не остают Java 8, C++11/C++14, C# 4.X, etc.

Немного истории

В начале было слово?

Немного истории

В начале было слово?

LISP

Немного истории

В начале было слово?

LISP

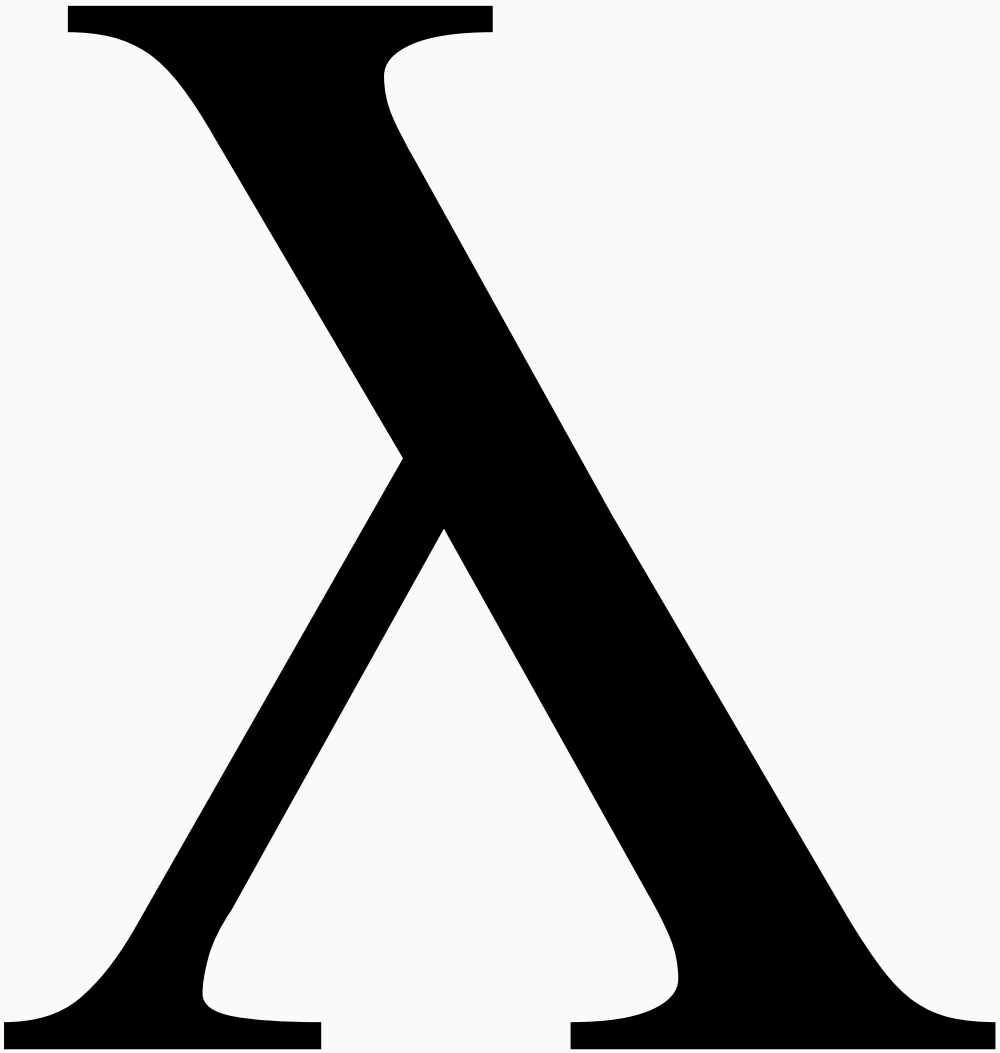
- 1958 год
- первый функциональный язык программирования
- рекурсия, условные выражения, лямбда-функции
- динамическая типизация
- сборка мусора
- крайне простой синтаксис

Пример кода на LISP

```
(defun (fibonacci (n))
    (if (or (= n 0) (= n 1))
        1
        (+
            (fibonacci (- n 1))
            (fibonacci (- n 2))
        )
    )
)
```

Ещё немного истории

В начале была буква!



Лямбда-исчисление

Алонзо Чёрч, 30е годы XX века

Лямбда-исчисление

Алонзо Чёрч, 30е годы XX века

Два основных принципа — *аппликация* и *абстракция*

Лямбда-исчисление

Алонзо Чёрч, 30е годы XX века

Два основных принципа — *аппликация* и *абстракция*

Абстракция через λ-терм:

λ *x. <выражение над x>*

Лямбда-исчисление

Алонзо Чёрч, 30е годы XX века

Два основных принципа — *аппликация* и *абстракция*

Абстракция через λ-терм:

$\lambda\, x.$ *<выражение над x>*

Аппликация (применение функции к аргументу):

$f\, x$

Лямбда-исчисление

Алонзо Чёрч, 30е годы XX века

Два основных принципа — *аппликация* и *абстракция*

Абстракция через λ-терм:

$$\lambda\, x.\ \textit{<выражение над x>}$$

Аппликация (применение функции к аргументу):

$$f\, x$$

Вычисление = «переписывание» термов:

$$(\lambda\, x.\ y)\, a \to y[a/x]$$

«Заменить все вхождения x внутри y на a»

Лямбда-исчисление

- Можно ввести рекурсию через т.н. Y-комбинатор
- Можно определить структуру данных — пару
- Можно определить логические (Church booleans) и натуральные (Church numerals) значения
- Через натуральные числа можно определить целые и вещественные

Лямбда-исчисление

- Можно ввести рекурсию через т.н. Y-комбинатор
- Можно определить структуру данных — пару
- Можно определить логические (Church booleans) и натуральные (Church numerals) значения
- Через натуральные числа можно определить целые и вещественные

На выходе имеем Тьюринг-полный язык программирования

А потом уже был LISP

- 1958 год, Стив Рассел (Steve Russell)
- LISt Processor
- Lots of Irritating Stupid Parentheses
- Lost In a Sea of Parentheses
- etc.

LISP: базовый синтаксис

- Всё — это линейный список

LISP: базовый синтаксис

- Всё — это линейный список
- Программа это тоже линейный список

LISP: базовый синтаксис

- Всё — это линейный список
- Программа это тоже линейный список
- Всего два служебных символа — «(» и «)».

Первый элемент списка — это функция, дальше — её аргументы

```
(* (+ 1 1) (sin (/ pi 2)))
```

Дальше

- ML — Робин Милнер (Robin Milner) — 1970е
  - Вывод типов (Type inference)
  - Алгебраические типы данных
- Miranda — Девид Тёрнер (David Turner) — 1985
  - Call-by-name evaluation strategy (lazy evaluation)

Анекдот

Дано: существует важная задача X и 25 способов её решения.

Анекдот

Дано: существует важная задача X и 25 способов её решения.

Лучшие умы человечества собираются вместе чтобы раз и навсегда представить один самый лучший способ.

Анекдот

Дано: существует важная задача X и 25 способов её решения.

Лучшие умы человечества собираются вместе чтобы раз и навсегда представить один самый лучший способ.

Долгие годы работы, кропотливый труд, радость свершения.

Анекдот

Дано: существует важная задача X и 25 способов её решения.

Лучшие умы человечества собираются вместе чтобы раз и навсегда представить один самый лучший способ.

Долгие годы работы, кропотливый труд, радость свершения.

Итог: существует важная задача X и **26** способов её решения.

Язык Haskell

Решение о создании языка было принято на конференции на тему функционального программирования и компьютерной архитектуры (FPCA ’87) в Портленде, штат Орегон.

Haskell — 1990 — $>$ 20 специалистов из TOP100 в области языков

- Вершина функциональной мысли на момент создания
- Чисто функциональный язык программирования
- Строгая статическая типизация
- Вывод типов
- Ленивое выполнение

Текущее положение дел

- LISP продолжает развитие в виде BPCL, Racket, Clojure
- ML продолжает развитие в виде OCaml/F#

Последние годы: гибридизация

- Scala — EPFL — 2003
  - За основу взяли Java и Haskell
  - Попытка «поженить» ООП и ФП со стороны ООП
- F# — Microsoft — 2005
  - За основу взяли диалект ML под названием OCaml
  - Попытка «поженить» ООП и ФП со стороны ФП
- Swift/Rust/Kotlin и так далее
  - Все заявляют ФП как одну из основных «фишек»
  - На практике это неудачные попытки поиска золотой середины

Что же такое функциональное программирование

Что такое функция в программировании?

Что же такое функциональное программирование

Что такое функция в программировании?

Что такое функция в математике?

Что же такое функциональное программирование

Что такое функция в программировании?

Что такое функция в математике?

Чистая функция — это функция и в математическом, и в программном смысле

Что же такое функциональное программирование

Что такое функция в программировании?

Что такое функция в математике?

Чистая функция — это функция и в математическом, и в программном смысле

Можно ли написать что-то реально работающее только на чистых функциях?

Что же такое функциональное программирование

Чистая функция — это функция, не содержащая *побочных эффектов*

Что же такое функциональное программирование

Чистая функция — это функция, не содержащая *побочных эффектов*

Всё является функциями, причём чистыми

Что же такое функциональное программирование

Чистая функция — это функция, не содержащая *побочных эффектов*

Всё является функциями, причём чистыми

- Переменных нет, есть только константы
- Циклов нет — они бессмысленны без переменных

Побочные эффекты

- Любой ввод-вывод
- Модификация внешнего состояния (глобальные и локальные переменные)

Побочные эффекты

- Любой ввод-вывод
- Модификация внешнего состояния (глобальные и локальные переменные)

Являются ли два определения чистой функции тождественными?

Т.е. означает ли отсутствие побочных эффектов то, что для одних и тех же аргументов всегда будет выдан один и тот же результат?

Функции — полноценные значения

- Раз все значения являются функциями, то функции являются значениями
  - Функции можно передавать как параметры в другие функции
  - Функции можно создавать на лету (лямбда-абстракции) и возвращать как значения
- Функции высших порядков — функции, оперирующие функциями

Функции высших порядков: примеры

- `map` — отображение коллекции аргументов на коллекцию результатов
- `filter` — выделение элементов из коллекции по предикату

Другие ограничения чисто функционального кода

- Многие структуры данных (и, как следствие, алгоритмы) подразумевают изменяемое состояние
  - Простейший пример - массивы
  - Чтобы получить изменённый массив, нужно скопировать старый, что обычно неприемлемо
- Нужно использовать неизменяемые (immutable) структуры данных
  - Константные массивы
  - Односвязные списки
  - Деревья
  - Более сложные связные структуры
- Неизменяемость даёт много плюсов, но в среднем гораздо сложнее для понимания
  - «Дешёвая» параллельность
  - Персистентные структуры данных — хранение

Вернёмся к λ-исчислению

- Две операции — abstraction & application
  - Т.е. объявление функций и их применение
- $\Rightarrow$ Всё — это функция.

Вернёмся к λ-исчислению

- Две операции — abstraction & application
  - Т.е. объявление функций и их применение
- $\Rightarrow$ Всё — это функция.

- На самом деле, всё — это функция с *одним аргументом*.

Вернёмся к λ-исчислению

- Две операции — abstraction & application
  - Т.е. объявление функций и их применение
- $\Rightarrow$ Всё — это функция.

- На самом деле, всё — это функция с *одним аргументом*.

- Можно ли хоть что-то напрограммировать в таких условиях???

Каррирование

Позволяет писать функции с более чем одним параметром

Каррирование

Позволяет писать функции с более чем одним параметром

Функция с 2 параметрами $\rightarrow$ Функция с 1 параметром, возвращающая функцию с 1 параметром

Изобретено Хаскеллом Карри (Haskell Curry), в честь которого и названо

$$\lambda\, x\, y.\ f\ x\ y === \lambda\, x.\ \lambda\, y.\ f\ x\ y$$

Принцип замыкания

Позволяет хранить данные в функциях

Принцип замыкания

Позволяет хранить данные в функциях

При объявлении функция *захватывает* все переменные, имеющиеся выше её объявления

Те из них, которые реально используются, называются *замыканием* (closure) этой функции

$$a = \ldots$$

$$b = \lambda\, x.\ \lambda\, f.\ f\ (a\ x)$$

В функции b теперь всегда в некоем виде хранится функция a

Пары Чёрча

$$pair = \lambda\, x.\ \lambda\, y.\ \lambda\, f.\ f\ x\ y$$

$$fst = \lambda\, p.\ p\ (\lambda\, x.\ \lambda\, y.\ x)$$

$$snd = \lambda\, p.\ p\ (\lambda\, x.\ \lambda\, y.\ y)$$

Пары Чёрча

$pair = \lambda\, x.\ \lambda\, y.\ \lambda\, f.\ f\ x\ y$

$fst = \lambda\, p.\ p\ (\lambda\, x.\ \lambda\, y.\ x)$

$snd = \lambda\, p.\ p\ (\lambda\, x.\ \lambda\, y.\ y)$

$oneAndTwo = pair\ \boldsymbol{a}\ \boldsymbol{b}$

$fst\ oneAndTwo \Rightarrow \boldsymbol{a}$

$snd\ oneAndTwo \Rightarrow \boldsymbol{b}$

Списки Чёрча

Список — это либо пустой список (nil), либо пара из элемента и списка

[1,2,3,4,5] $\rightarrow$ (1, (2, (3, (4, (5, nil)))))

Списки Чёрча

Список — это либо пустой список (nil), либо пара из элемента и списка

[1,2,3,4,5] $\rightarrow$ (1, (2, (3, (4, (5, nil)))))

Это соответствует линейному однонаправленному связному списку в C

Булеаны Чёрча

Позволяют определить значения в рамках логики 1го порядка

Булеаны Чёрча

Позволяют определить значения в рамках логики 1го порядка

$$true = \lambda\, x.\ \lambda\, y.\ x$$

$$false = \lambda\, x.\ \lambda\, y.\ y$$

$$if = \lambda\, p.\ \lambda\, x.\ \lambda\, y.\ p\ x\ y$$

$$not = \lambda\, p.\ if\ p\ false\ true$$

Булеаны Чёрча

Позволяют определить значения в рамках логики 1го порядка

$$true = \lambda\, x.\ \lambda\, y.\ x$$

$$false = \lambda\, x.\ \lambda\, y.\ y$$

$$if = \lambda\, p.\ \lambda\, x.\ \lambda\, y.\ p\ x\ y$$

$$not = \lambda\, p.\ if\ p\ false\ true$$

$$if\ true\ \boldsymbol{a}\ \boldsymbol{b} \to \boldsymbol{a}$$

$$if\ false\ \boldsymbol{a}\ \boldsymbol{b} \to \boldsymbol{b}$$

Можно определить и прочие логические операции.

Нумералы Чёрча

Позволяют определить целые числа

Нумералы Чёрча

Позволяют определить целые числа

$$0 = \lambda f.\ \lambda x.\ x$$

$$1 = \lambda f.\ \lambda x.\ f\ x$$

$$2 = \lambda f.\ \lambda x.\ f\ (f\ x)$$

$$3 = \lambda f.\ \lambda x.\ f\ (f\ (f\ x))$$

и т.д.

Рекурсия

Простейшее рекурсивное выражение — омега-комбинатор

$$M = \lambda x.\ x\ x$$

$$\omega = M\ M$$

Рекурсия

Простейшее рекурсивное выражение — омега-комбинатор

$$M = \lambda x.\ x\ x$$

$$\omega = M\ M$$

Абсолютно бесполезен в реальном применении

Рекурсия

Y-комбинатор

$$Y = \lambda f.(\lambda x.\ f(x\ x))\ (\lambda x.\ f(x\ x))$$

$$Y\ \mathbf{x} === \mathbf{x}\ (Y\ \mathbf{x})$$

Рекурсия

Y-комбинатор

$$Y = \lambda f.(\lambda x.\ f(x\ x))\ (\lambda x.\ f(x\ x))$$

$$Y\ \boldsymbol{x} === \boldsymbol{x}\ (Y\ \boldsymbol{x})$$

Вместе с условным оператором позволяет реализовать полноценную рекурсию

Итог

λ-исчисление может использоваться как полноценный, Тьюринг-полный язык программирования. И это за десятки лет до появления программируемых компьютеров и до самого Тьюринга!

На практике интересно в основном математикам и исследователям в области языков.

В следующей лекции мы перейдём к настоящим языкам функционального программирования.