

Обзор парадигм программирования

Юрий Литвинов
y.litvinov@spbu.ru

23.11.2022

Математические модели вычислений

- ▶ Что можно посчитать имея вычислительную машину неограниченной мощности?
- ▶ Формальные модели вычислений:
 - ▶ Машина Тьюринга
 - ▶ λ -исчисление Чёрча
 - ▶ Нормальные алгоритмы Маркова
- ▶ Тезис Чёрча: «Любая функция, которая может быть вычислена физическим устройством, может быть вычислена машиной Тьюринга.»

Машина Тьюринга

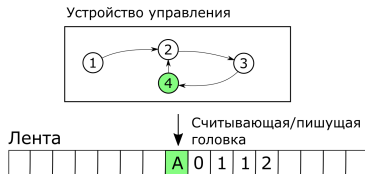
- ▶ Формально,

$$M = (Q, \Gamma, b, \Sigma, \delta, q_0, F)$$

$$\delta : (Q/F) \times \Gamma \rightarrow Q \times \Gamma \times \{L, R\}$$

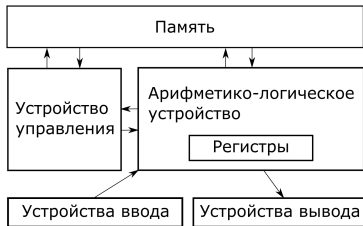
- ▶ Неформально:

- ▶ Бесконечная лента с символами из Σ и b
- ▶ Считывающая головка
- ▶ Внутренняя память Q
- ▶ Таблица переходов δ , которая по текущему состоянию из Q и текущему символу на ленте из Γ говорит машине, что делать:
 - ▶ перейти в состояние
 - ▶ записать символ на ленту
 - ▶ сместиться влево/вправо



Архитектура фон Неймана

- ▶ Принцип последовательного программного управления
- ▶ Принцип однородности памяти
- ▶ Принцип адресуемости памяти
- ▶ Принцип двоичного кодирования
- ▶ Принцип жесткости архитектуры



Структурное программирование

- ▶ Пришло на смену неструктурированному программированию в начале 70-х
 - ▶ FORTRAN — 1957 год, язык высокого уровня, но не структурный
- ▶ Любая программа может быть представлена как комбинация
 - ▶ последовательно исполняемых операторов
 - ▶ ветвлений
 - ▶ итераций
- ▶ Статья Дейкстры «Go To Statement Considered Harmful» (1968г)

Языки-представители

- ▶ Алгол
- ▶ Паскаль
- ▶ С
- ▶ Модула-2
- ▶ Ада

Подробнее: Ада

- ▶ Разработан в начале 80-х по заказу минобороны США
- ▶ Особенности:
 - ▶ Строгая типизация
 - ▶ Минимум автоматических преобразований типов
 - ▶ Встроенная поддержка параллелизма
- ▶ Реализация: GNAT (<https://www.adacore.com/community>)

```
with Ada.Text_IO;
```

```
use Ada.Text_IO;
```

```
procedure Main is  
begin
```

```
  Put_Line ("Hello World");
```

```
end Main;
```

Ада, модульная система

```
package types is
  type Type_1 is private;
  type Type_2 is private;
  type Type_3 is private;
  procedure P(X: Type_1);
  ...
private
  procedure Q(Y: Type_1);
  type Type_1 is new Integer range 1 .. 1000;
  type Type_2 is array (Integer range 1 .. 1000) of Integer;
  type Type_3 is record
    A, B: Integer;
  end record;
end Types;
```


Ада, многопоточность и рандеву

```
with Ada.Text_IO; use Ada.Text_IO;
```

```
procedure Main is
```

```
  task After is
```

```
    entry Go(Text: String);
```

```
  end After;
```

```
  task body After is
```

```
  begin
```

```
    accept Go(Text: String) do
```

```
      Put_Line("After: " & Text);
```

```
    end Go;
```

```
  end After;
```

```
begin
```

```
  Put_Line("Before");
```

```
  After.Go("Main");
```

```
end;
```

Ада, ограничения и контракты

```
type Not_Null is new Integer
```

```
  with Dynamic_Predicate => Not_Null /= 0;
```

```
type Even is new Integer
```

```
  with Dynamic_Predicate => Even mod 2 = 0;
```

```
function Divide (Left, Right : Float) return Float
```

```
  with Pre => Right /= 0.0,
```

```
    Post => Divide'Result * Right < Left + 0.0001
```

```
    and then Divide'Result * Right > Left - 0.0001;
```

Объектно-ориентированное программирование

- ▶ Первый ОО-язык — Симула-67, были и более ранние разработки
- ▶ Популярной методология стала только в середине 90-х
- ▶ Развитие связано с широким распространением графических интерфейсов и компьютерных игр

Основные концепции

- ▶ Программа представляет собой набор объектов
- ▶ Объекты взаимодействуют путём отправки сообщений по строго определённым интерфейсам
- ▶ Объекты имеют своё состояние и поведение
- ▶ Каждый объект является экземпляром некоего класса

Основные концепции (инкапсуляция)

- ▶ Инкапсуляция — сокрытие реализации от пользователя
- ▶ Пользователь может взаимодействовать с объектом только через интерфейс
- ▶ Позволяет менять реализацию объекта, не модифицируя код, который этот объект использует

Основные концепции (наследование)

- ▶ Наследование позволяет описать новый класс на основе существующего, наследуя его свойства и функциональность
- ▶ Наследование — отношение «является» между классами, с классом-наследником можно обращаться так же, как с классом-предком
 - ▶ Принцип подстановки Барбары Лисков

Основные концепции (полиморфизм)

- ▶ Полиморфизм — классы-потомки могут изменять реализацию методов класса-предка, сохраняя их сигнатуру
- ▶ Клиенты могут работать с объектами класса-родителя, но вызываться будут методы класса-потомка (позднее связывание)

Пример кода

```
class Animal
```

```
{
```

```
    public:
```

```
        Animal(const string& name) {
```

```
            this.name = name;
```

```
        }
```

```
        void rename(const string &newName) {
```

```
            name = newName;
```

```
        }
```

```
        virtual string talk() = 0;
```

```
    private:
```

```
        string name;
```

```
};
```


Пример кода (2)

```
class Cat : public Animal
{
    public:
        Cat(const string& name) : Animal(name) {}
        string talk() override { return "Meow!"; }
};
```

```
class Dog : public Animal
{
    public:
        Dog(const string& name) : Animal(name) {}
        string talk() override { return "Arf! Arf!"; }
};
```

Пример кода (3)

```
...  
Cat *cat1 = new Cat("Барсик");  
Animal *cat2 = new Cat("Шаверма");  
Dog *dog = new Dog("Бобик");  
  
std::vector<Animal *> animals{cat1, cat2, dog};  
  
for (Animal *animal : animals) {  
    std::cout << animal->talk();  
}  
...
```

Языки-представители

- ▶ Java
- ▶ C#
- ▶ C++
- ▶ Object Pascal / Delphi Language
- ▶ Smalltalk

Функциональное программирование

- ▶ Вычисления рассматриваются как вычисления значения функций в математическом понимании (без побочных эффектов)
- ▶ Основано на λ -исчислении

λ-исчисление

- ▶ λ-исчисление — формальный способ описать математические функции
 - ▶ $\lambda x. 2 * x + 1$ — функция $x \rightarrow 2 * x + 1$
- ▶ Функции могут принимать функции в качестве параметров и возвращать функции в качестве результата
- ▶ Функция от n переменных может быть представлена, как функция от одной переменной, возвращающая функцию от $n - 1$ переменной (карринг)
- ▶ Формальная система, не требующая математических оснований
 - ▶ На самом деле, математика может быть построена на λ-исчислении

Языки-представители

- ▶ Лисп (List Processing)
- ▶ ML (OCaml)
 - ▶ F#
- ▶ Haskell
- ▶ Erlang

Особенности

- ▶ Программы не имеют состояния и не имеют побочных эффектов
 - ▶ Нет переменных
 - ▶ Нет оператора присваивания
- ▶ Порядок вычислений не важен
- ▶ Циклы выражаются через рекурсию
- ▶ Ленивые вычисления
- ▶ Формальные преобразования программ по математическим законам

Пример на языке Haskell

Факториал:

```
fact :: Integer -> Integer
```

```
fact 0 = 1
```

```
fact n | n > 0 = n * fact (n - 1)
```

QSort:

```
sort [] = []
```

```
sort (pivot:rest) = sort [y | y <- rest, y < pivot]
```

```
    ++ [pivot]
```

```
    ++ sort [y | y <- rest, y >= pivot]
```


F#, мерджсорт

```
let rec merge l r =  
    match (l, r) with  
    | ([], r) -> r  
    | (l, []) -> l  
    | (x::xs, y::ys) -> if (x < y) then x::(merge xs r) else y::(merge l ys)
```

```
let rec mergesort l =  
    match l with  
    | [] -> []  
    | x::[] -> l  
    | _ ->  
        let (left, right) = List.splitAt (List.length l / 2) l  
        let ls = mergesort left  
        let rs = mergesort right  
        merge ls rs
```

F#, бесконечная последовательность простых чисел

```
let isPrime number =  
    seq {2 .. sqrt(double number)}  
    |> Seq.exists (fun x -> number % x = 0)  
    |> not
```

```
let primeNumbers =  
    Seq.initInfinite (fun i -> i + 2)  
    |> Seq.filter isPrime
```