Обзор парадигм программирования

Юрий Литвинов
y.litvinov@spbu.ru

13.12.2024

Математические модели вычислений

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

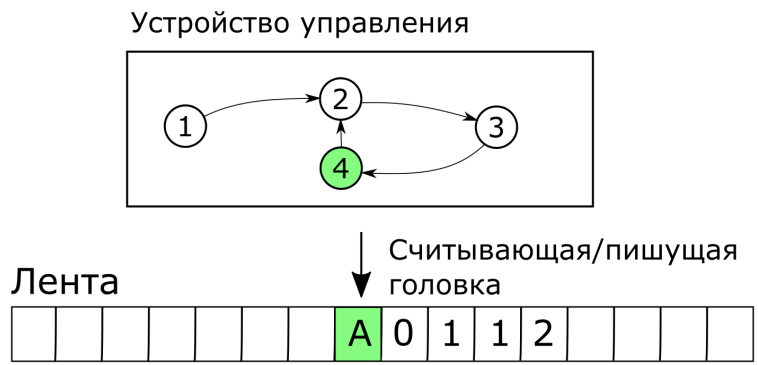
Машина Тьюринга

- Формально,

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

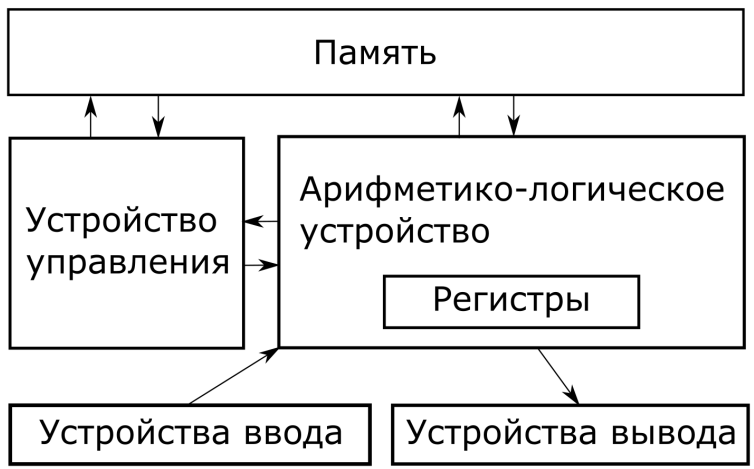
$$\delta : (Q/F) \times \Gamma \to Q \times \Gamma \times \{L, R\}$$

- 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
- C
- 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 посылки 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 $x \to 2 * x + 1$
- 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
```