Обзор парадигм программирования

Юрий Литвинов
yurii.litvinov@gmail.com

30.11.2018

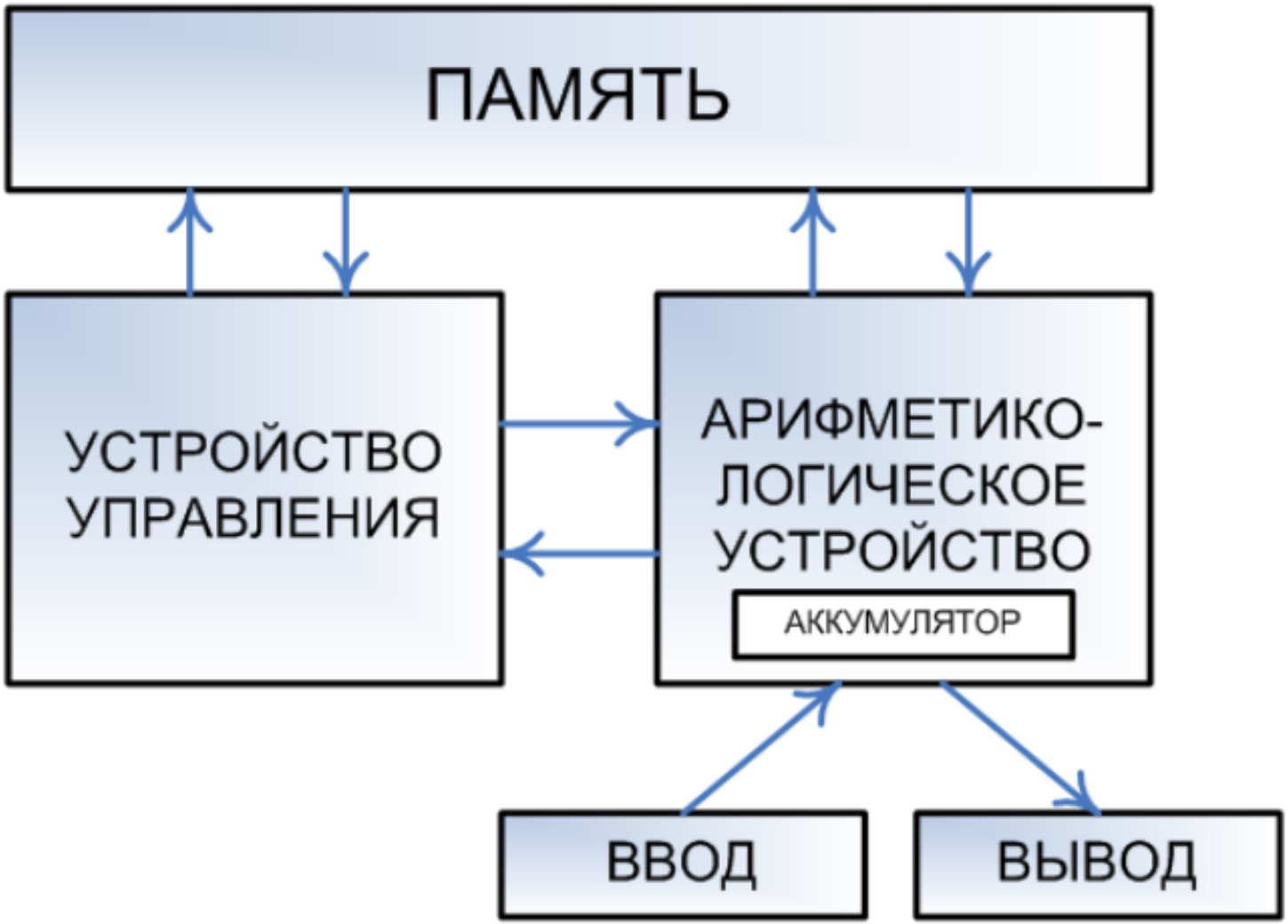
План

1. Структурное программирование
2. Объектно-ориентированное программирование
3. Функциональное программирование
4. Логическое программирование
5. Стековое программирование

Математические модели вычислений

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

Архитектура фон Неймана



1. Структурное программирование

- Пришло на смену неструктурированному программированию в начале 70-х
- 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.gnu.org/software/gnat/

2. 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

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) { name = _name; }
        virtual string talk() = 0;
        void rename(string newName);
    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() { return "Arf! Arf!"; }
};
```

Языки-представители

- Java
- C++
- Object Pascal / Delphi language
- Smalltalk

3. Функциональное программирование

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

λ-исчисление

- λ-исчисление основано на функциях $\lambda x.2 * x + 1$ — 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)

Языки-представители

- Лисп (LIst PRocessing)
- ML (OCaml)
- Haskell
- Erlang

Особенности

- Программы не имеют состояния и не имеют побочных эффектов
- Порядок вычислений не важен
- Циклы выражаются через рекурсию
- “Ленивые” вычисления
- Формальные преобразования программ по математическим законам

Что даёт ФП?

- Тестирование
- Отладка
- Параллелизм
- Горячая замена кода
- Машинные доказательства
- Оптимизация
- Ленивые вычисления

Примеры 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
```

Логическое программирование

- Программа представляет собой набор фактов и правил, система сама строит решение с использованием правил логики
  - Использует логику предикатов как математическую формализацию
- Создавалось в 60-х для решения задач искусственного интеллекта и экспертных систем
  - Автоматическое доказательство теорем
- Могут использоваться разные стратегии доказательства
  - В общем случае, программа — это набор фактов и правил + стратегия вывода, которая управляет тем, как новые факты получаются из существующих
    - В формальной логике стратегия вывода обычно не важна, для компьютеров это критично
- Дедуктивные базы данных — хранят факты и правила вывода

Пролог

- Появился в 1972 г. как научная разработка
- Реализации:
  - SWI-Prolog (http://www.swi-prolog.org/)
  - Amzi Prolog (http://www.amzi.com/)
  - Turbo Prolog
- Использует метод резолюций – последовательно перебирая правила и факты, пытается подобрать такой набор переменных, которые бы им удовлетворяли
  - Пример:
    - cat(tom)
    - ?- cat(tom).
      Yes
    - ?- cat(X).
      X = tom

Пример программы

```
sibling(X, Y) :- parent_child(Z, X), parent_child(Z, Y).
parent_child(X, Y) :- father_child(X, Y).
parent_child(X, Y) :- mother_child(X, Y).
mother_child(trude, sally).
father_child(tom, sally).
father_child(tom, erica).
father_child(mike, tom).

?- sibling(sally, erica).
Yes
?- father_child(Father, Child).
```

Императивное программирование

```
?- write('Hello world!'), nl.
Hello world!
true.

program_optimized(Prog0, Prog) :-
    optimization_pass_1(Prog0, Prog1),
    optimization_pass_2(Prog1, Prog2),
    optimization_pass_3(Prog2, Prog).
```

QSort

```
quicksort(Xs, Ys) :- quicksort_1(Xs, Ys, []).

quicksort_1([], Ys, Ys).
quicksort_1([X|Xs], Ys, Zs) :-
    partition(Xs, X, Ms, Ns),
    quicksort_1(Ns, Ws, Zs),
    quicksort_1(Ms, Ys, [X|Ws]).

partition([K|L], X, M, [K|N]):-
    X < K, !,
    partition(L, X, M, N).
partition([K|L], X, [K|M], N):-
    partition(L, X, M, N).
partition([], _, [], []).
```

Рекурсивное программирование, РЕФАЛ

- РЕкурсивных Функций АЛгоритмический
  - В. Турчин, 1966г.
- Ориентирован на символьные вычисления
  - ИИ, перевод, манипуляции с формальными системами (лямбда-исчисление, например)
- Использует нормальные алгорифмы Маркова в качестве математической формализации
- Программа записывается в виде набора функций
  - Функция — упорядоченный набор предложений
  - Предложение состоит из шаблона и того, на что надо заменить шаблон
  - Выражения в угловых скобках (активные выражения)
  - Переменные
- Вычисление продолжается, пока в «поле зрения» Рефал-машины не окажется выражение без угловых скобок

Рефал, пример

Hello, world:

```
$ENTRY Go { = <Hello>;}
Hello {
  = <Prout 'Hello world'>;
}
```

Палиндром:

```
Palindrom {
   s.1 e.2 s.1 = <Palindrom e.2> ;
   s.1 = True ;
   = True;
   e.1 = False ;
}
```

Стековое программирование

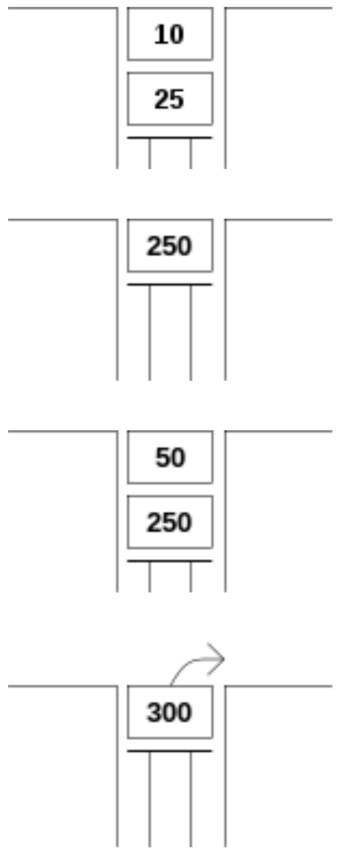
- Язык Форт (Forth)
  - Разработан в 60-х Чарльзом Муром «для себя»
  - Был широко распространён для программирования встроенных систем и задач, естественным образом выражающихся в терминах стеков
    - Синтаксический анализ
    - Анализ естественных языков

Форт, подробнее

- Основной элемент программы: слово
- Форт-система состоит из словаря (набора слов) и стеков — арифметического и командного (с их помощью производятся вычисления)
- Используется обратная польская нотация

Примеры

- 25 10 * 50 + .
  Вывод: 300 ok
- : FLOOR5 (n -- n') DUP 6 < IF DROP 5 ELSE 1 - THEN ;
  - то же самое на C:
    int floor5(int v) { return v < 6 ? 5 : v - 1; }
- более красиво на Форте:
  : FLOOR5 (n -- n') 1- 5 MAX ;
- : HELLO (--) CR ." Hello, world!" ;



Форт, пример

```
\ Напечатать знак числа
: .SIGN ( n -- )
   ?DUP 0= IF
     ." НОЛЬ"
   ELSE
    0> IF
     ." ПОЛОЖИТЕЛЬНОЕ ЧИСЛО" ELSE
     ." ОТРИЦАТЕЛЬНОЕ ЧИСЛО" THEN
   THEN
;
```

Реализации

- SwiftForth
  - https://www.forth.com/swiftforth/
- Gforth
  - http://www.gnu.org/software/gforth/
- Десятки других реализаций
  - http://www.forth.org/commercial.html
- Книжка
  - Броуди Л. «Начальный курс программирования на Форте»