Богатов Р.Н.

Программирование на языке высокого уровня

Лекция 4.
Низкоуровневое программирование. Интерпретация, компиляция, компоновка.

Кафедра АСОИУ ОмГТУ, 2012

Изобретём ~~велосипед~~ компьютер!

- **Примитивная машина:**
  - Ячейки памяти нумеруются 0, 1, …
  - Ячейка может содержать любое число (в т.ч. адрес ячейки памяти)
  - Процессор имеет один регистр R (ячейку для хранения промежуточных результатов)

- **Примитивный низкоуровневый язык:**

Инструкция	Действие
move	Запись значения <куда, что>
add	Сложение <куда, сколько>
sub	Вычитание <откуда, сколько>
mult	Умножение <что, на сколько>
div	Деление <что, на сколько>
loop	Цикл <счётчик, адрес начала>
halt	Останов
goto	Переход
call	Вызов процедуры
ret	Возврат из процедуры

- **Пример программы:**

```
// ввод значения с клавиатуры
  call    Input_Register
// регистр содержит радиус
  move    Radius, R
  mult    R, Radius
  mult    R, 3.1415
// регистр содержит площадь круга
// вывод содержимого регистра на экран
  call    Print_Register
  halt
```

Машинные коды

Инструкция	Действие	Синтаксис	Машинный код

move	Запись значения
	<куда, что>
		move R, число
		move R, [адрес]
		move [адрес], число
		move [адрес], R
		move [адрес], [адрес]
			4, число
			5, адрес
			6, адрес, число
			7, адрес
			8, адрес, адрес

add	Сложение
	<куда, сколько>
		add R, число
		add R, [адрес]
		add [адрес], число
		add [адрес], R
		add [адрес], [адрес]
			9, число
			10, адрес
			11, адрес, число
			12, адрес
			13, адрес, адрес

sub	Вычитание
	<откуда, сколько>
		sub R, число
		sub R, [адрес]
		sub [адрес], число
		sub [адрес], R
		sub [адрес], [адрес]
			14, число
			15, адрес
			16, адрес, число
			17, адрес
			18, адрес, адрес

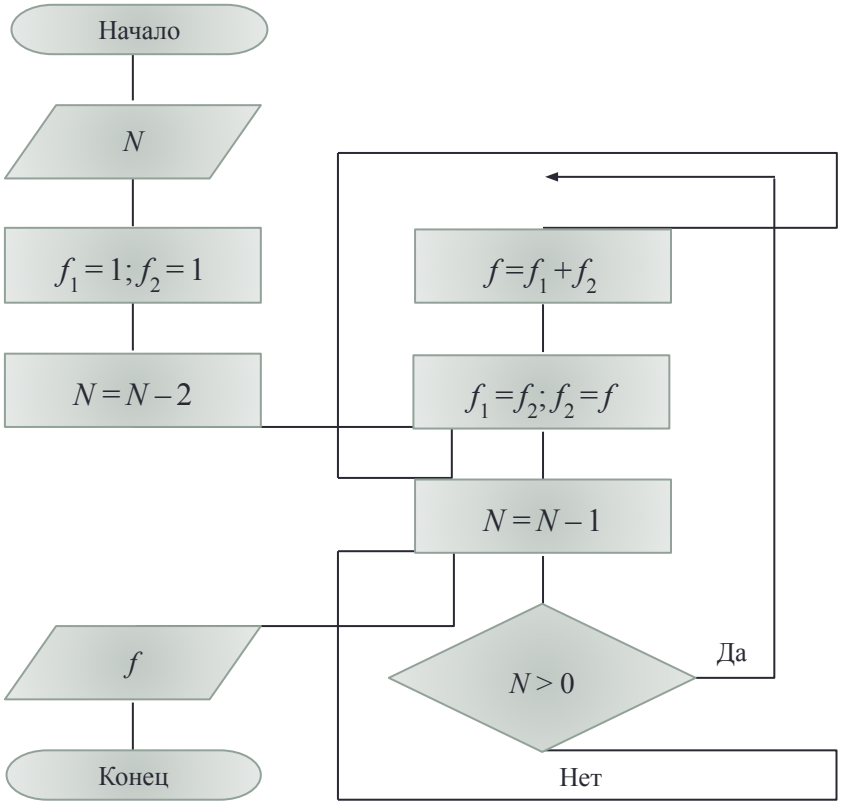
mult	Умножение <что, на сколько>	…	19-23
div	Деление <что, на сколько>	…	24-28
loop	Цикл <счётчик, адрес начала>	loop R, [адрес] loop [адрес], [адрес]	29, адрес 30, адрес, адрес
halt	Останов	halt	0
goto	Переход	goto [адрес]	1, адрес
call	Вызов процедуры	call [адрес]	2, адрес
ret	Возврат из процедуры	ret	3

- **Пример программы, понятной процессору:**

Адрес	+0	+1	+2	+3	+4
0	8	112	27	8	113
5	28	8	114	29	2
10	101	10	29	10	6
15	30	3	8	130	27
20	8	131	28	8	132
25	29	8	133	30	2
30	115	…	…	…	…
35	…	…	…	…	…

Ещё пример: числа Фибоначчи

Схема алгоритма и его реализация (программа):




```
// ввод N с клавиатуры
  call    Input_Register
// регистр содержит N
  move    N, R
// инициализация
  move    f1, 1
  move    f2, 1
// основная часть
  subN, 2
  move    R, f2
A: // начало цикла
  addR, f1
  move    f1, f2
  move    f2, R
  loop    N, A // конец цикла
// регистр содержит искомое,
// выводим его на экран
  call    Print_Register
  halt
```

Компиляция…

1. **Проверка синтаксиса**
2. **Трансляция в машинные коды**

```
call    Input_Register
```

Адрес	Содержимое ячеек	Исходные инструкции
0	2, [Input_Register]	`call Input_Register`
2	7, 28	`move N, R`
4	6, 29, 1	`move f1, 1`
7	6, 30, 1	`move f2, 1`
10	16, 28, 2	`sub N, 2`
13	5, 30	`move R, f2`
15	10, 29	`A: add R, f1`
17	8, 29, 30	`move f1, f2`
20	7, 30	`move f2, R`
22	30, 28, 15	`loop N, A`
25	2, [Print_Register]	`call Print_Register`
27	0	`halt`
28	0	`N`
29	0	`f1`
30	0	`f2`

Компоновка (связывание)…

1. **К программе добавляется код процедур (компоновка)**

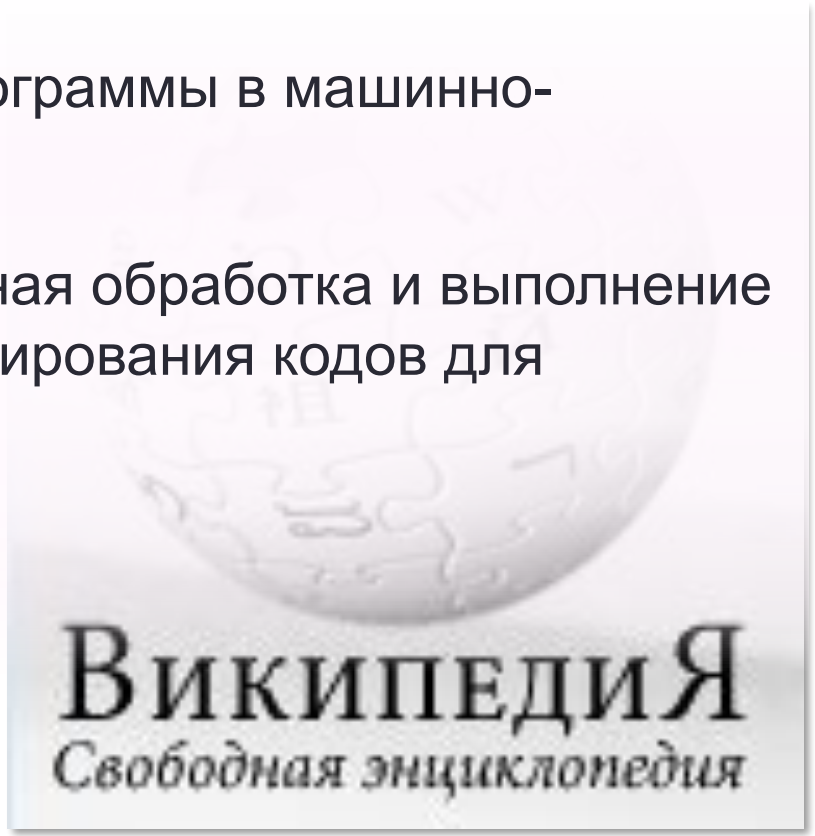
Адрес	Содержимое ячеек	Исходные инструкции
0	2, 31	`call Input_Register`
2	7, 28	`move N, R`
4	6, 29, 1	`move f1, 1`
7	6, 30, 1	`move f2, 1`
10	16, 28, 2	`sub N, 2`
13	5, 30	`move R, f2`
15	10, 29	`A: add R, f1`
17	8, 29, 30	`move f1, f2`
20	7, 30	`move f2, R`
22	30, 28, 15	`loop N, A`
25	2, 58	`call Print_Regist`
27	0	`halt`
28	0	`N`
29	0	`f1`
30	0	`f2`
31	…	… (коды
…	…	… процедуры
57	3	`ret` **Input_Regis**
58	…	… (коды
…	…	… процедуры
73	3	`ret` **Print_Register**)

2. **Производится связывание адресов**

Адрес	+0	+1	+2	+3	+4
0	2	31	7	28	6
5	29	1	6	30	1
10	16	28	2	5	30
15	10	29	8	29	30
20	7	30	30	28	15
25	2	58	0	0	0
30	0	…	…	…	…
35	…	…	…	…	…
40	…	…	…	…	…
45	…	…	…	…	…
50	…	…	…	…	…
55	…	…	3	…	…
60	…	…	…	…	…
65	…	…	…	…	…
70	…	…	…	3	

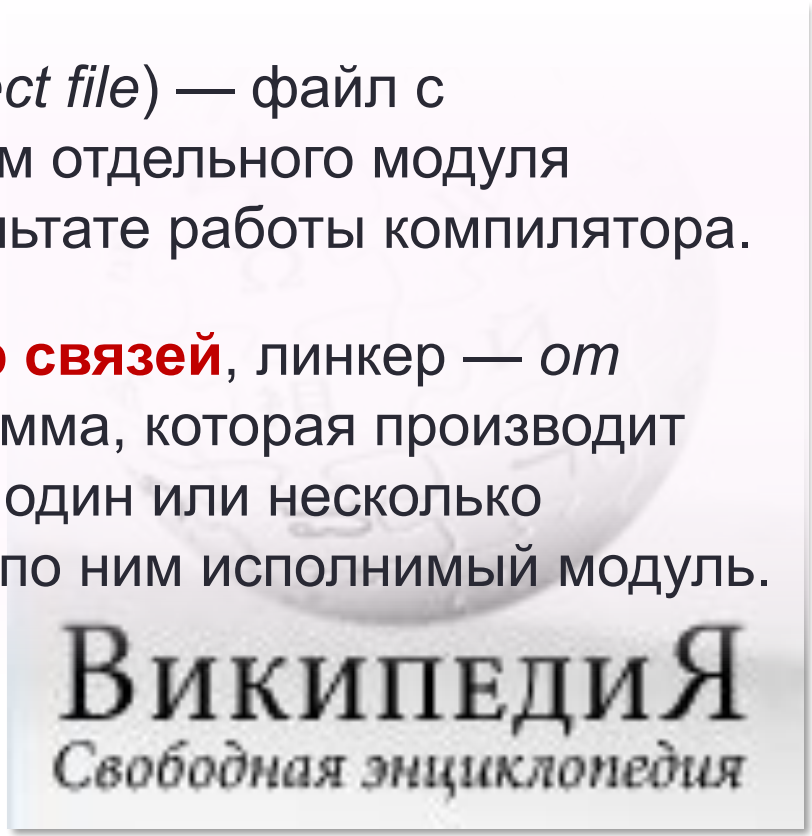
Интерпретация. Трансляция. Компиляция

- **Трансляция программы** — преобразование программы, представленной на одном из языков программирования, в равнозначную программу на другом языке.
- **Компиляция** — трансляция программы в машинно-ориентированный язык.
- **Интерпретация** — пооператорная обработка и выполнение исходной программы (без формирования кодов для последующего исполнения).



Компоновка

- **Исполнимый модуль** (*от англ. executable*) — файл, содержащий машинные коды, готовые для исполнения в определённой операционной системе.
- **Объектный модуль** (*англ. object file*) — файл с промежуточным представлением отдельного модуля программы, полученный в результате работы компилятора.
- **Компоновщик** (также **редактор связей**, линкер — *от англ. link editor, linker*) — программа, которая производит компоновку: принимает на вход один или несколько объектных модулей и собирает по ним исполнимый модуль.



Эволюция «уровня» языка программирования

Машинные коды

Адрес	+0	+1	+2	+3	+4
0	8	112	27	8	113
5	28	8	114	29	2
10	101	10	29	10	6
15	30	3	8	130	27
20	8	131	28	8	132
25	29	8	133	30	2
30	115	…	…	…	…
35	…				

Ассемблер

```
// прячем окружность
  move    hide_x, c_x
  move    hide_y, c_y
  move    hide_R, c_R
  call    Circle_Hide
// меняем радиус и цвет
  addc_R, 10
  move    c_Color, 3
// рисуем окружность
  move    show_x, c_x
  move    show_y, c_y
  move    show_R, c_R
  move    show_C, c_Color
  call    Circle_Show
```

Си (без структур)

```
Circle_Hide(c_x, c_y, c_R);
c_R = c_R + 10;
c_Color = 3;
Circle_Show(c_x, c_y, c_R, c_Color);
```

Домохозяйка 2.0

```
Кружочек:
  Спрятаться
  Увеличиться чуть-чуть
  Цвет красный
  Показаться
```

Фантаст 47.0.2RC

```
Кружочек,
  стань чуть больше
    и красным
```

LasyTalk 0.99beta

```
c:
  Hide
  Grow Small
  Color Red
  Show
```

C++, Java, C# и т.п.

```
c.Hide();
c.R += SizeDelta.Small;
c_Color = Colors.Red;
c.Show();
```

Домашнее задание

- **Написать программу в машинных кодах**

  для вычисления суммы ряда $1 + \frac{1}{1!} + \frac{1}{2!} + \cdots + \frac{1}{n!}$ для заданного n.

  (При $n \to \infty$ сумма ряда сходится к числу Эйлера e.)

- **Пишем программу от простого к сложному:**
  - Получить в R значение $4!$ (не используя цикл **loop**) и вывести его на экран
  - Дописать программу, чтобы полученное в R домножалось на 5 и давало $5!$
  - Изменить: полученное $4!$ сохранить в переменную (например: **move** Z, R), а после получения в регистре $5!$ добавить результат к переменной (**add** Z, R). (Теперь программа позволяет получать суммы вида $1! + 2! \ldots + n!$, но для фиксированного n и без использования цикла.)
  - Потренироваться создавать циклы: пользователь вводит n, запоминаем это значение в переменной N и делаем цикл **loop** N, A, где A – метка, к которой будет происходить возврат (см. пример). Команда **loop** работает так: если $N \neq 0$, то N уменьшается на единицу и происходит переход к метке A; иначе **loop** ничего не делает, возврата не происходит.
  - Теперь внутрь цикла помещаем код, который умеет из предыдущего факториала (например, содержащегося в R) получать следующий (путём домножения R на текущее значение N) и добавлять его к уже накопленной сумме (Z). (Теперь программа вычисляет суммы вида $1! + 2! \ldots + n!$ с помощью цикла для любого n, введённого с клавиатуры.)
  - Осталось подумать, как внутри цикла получать дробь, и добавить к сумме лишнюю единичку