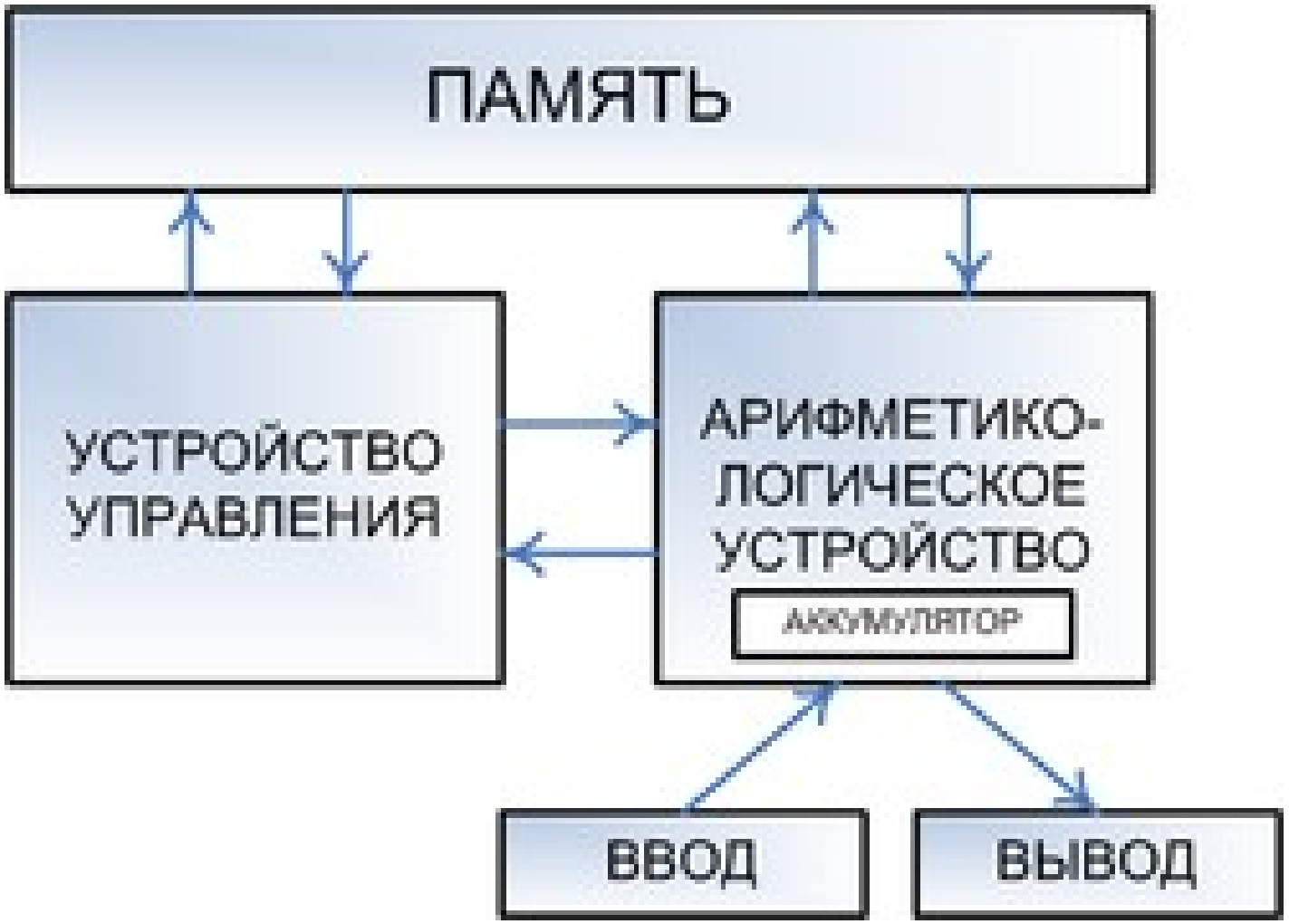
Лекция 12
Принципы фон-Неймана

Принципы фон Неймана (von Neumann architecture)

- Концептуальная модель цифрового компьютера общего назначения (1945)
- Лежит в основе (концептуально) современных процессоров
  - Адресность
  - Однородность памяти
  - Программное управление
  - Двоичное кодирование

Концептуальная схема



Принципы фон Неймана

- Адресность
  - Оперативная память (ОЗУ) – память произвольного доступа (RAM), в любой момент времени доступна любая ячейка
  - ОЗУ разбито на ячейки фиксированного размера
  - Каждая ячейка имеет фиксированный номер – адрес, работа с ОЗУ – по адресам
  - При необходимости ячейки могут группироваться
- Двоичное кодирование

Однородность памяти

- И программа, и данные хранятся в одной памяти
- Только по ячейке памяти невозможно определить, что в ней хранится (память не тегирована)
  - Например, один и те же 4 байта могут быть целым числом, числом float, символом UCS4, указателем, инструкцией процессора
- “Смысл” значения в ячейке определяется только тогда, когда процессор обращается к ней, и может меняться во времени

Программное управление

- Программа кодируется в виде инструкций процессора
- Программа хранится в оперативной памяти
- Инструкции процессора располагаются в памяти последовательно
- Инструкции выполняются последовательно, но порядок выполнения можно изменить
- Шаги выполнения инструкции:
  - Чтение инструкции из памяти
  - Декодирование
  - Чтение аргументов из памяти
  - Выполнение операции
  - Сохранение результата

Модификации

- Гарвардская архитектура – несколько отдельных адресных пространств: для кода программы, для данных, для ввода-вывода
  - В основном используется в low-end микроконтроллерах
  - Разные инструкции для чтения из пространства кода и работы с пространством данных
- Современные ОС, как правило, запрещают модификацию кода программы на лету, исполнение кода в пространстве данных
- Многоядерность и прогопроцессорность

Язык ассемблера

- Ассемблер – программа, переводящая текстовый формат описания содержимого ячеек памяти (в т. ч. инструкций процессора) в объектный код
- Язык ассемблера - “текстовый формат” представления
- Каждая процессорная архитектура (x86, x64, ARM, ARMv8, MIPS, …) имеет свой набор инструкций
- Ассемблеры достаточно похожи друг на друга

Области применения

- Программирование микроконтроллеров (но обычно Си)
- Низкоуровневые части ядер ОС и драйверов (например, точка входа в ядро Linux при системном вызове или прерывании)
- Генераторы кода компиляторов, бинарных трансляторов, интерпретаторов
- Исследование бинарного кода (антивирусы и т. п)

Наши цели изучения

- Понимание ассемблера позволяет лучше понять архитектуру процессора
- Изучение кода, сгенерированного компилятором, полезно (иногда необходимо) для понимания оптимизаций
- Понимание ассемблера позволяет лучше понять влияние архитектуры компьютера на операционные системы и языки программирования

Ассемблер x86 (i386)

- На лекциях и семинарах в основном x86 (i686), x64 (x86_64) в меньшей мере
- X86 – наиболее доступная платформа, поэтому выбрана она
- Для инструкций x86 существует несколько форм записи: Intel ASM, nasm, AT&T asm, мы будем использовать AT&T asm – синтаксис GNU assembler по умолчанию

Inline assembly

- Gcc, clang, MSVC поддерживают написание вставок на ассемблере непосредственно в коде на Си/Си++
  - asm(“nop”);
- Синтаксис не стандартизирован, каждый компилятор по-своему решает задачу сочетания кода на си и ассемблере

GNU assembler

- Комментарии как в Си (/* */ или //)
- Целые числа, символьные константы, вещественные константы как в Си (10, 0xa, '\n', 10.0)
- Строки как в Си (со всеми \ где нужно, но без неявного \0 в конце)
- Каждая инструкция процессора на отдельной строке
- Используем TAB для разделения полей инструкции

Инструкции

- Каждая инструкция записывается на отдельной строке
- Инструкция может быть “помечена”:
  LABEL:
  (после имени метки стоит двоеточие)
- Директива ассемблера – управляет трансляцией, инструкция – транслируется в машинный код
- Общий вид инструкции или директивы
  OPCODE PARAMS

Компиляция

- Файл называем с суффиксом .S или .s
  - .S, если нужен препроцессор Си
- Компиляция с помощью as
  - as FILE.s -o FILE.o -g -a
- Компиляция с помощью gcc
  - gcc -m32 FILE.S -c -g
- Чтобы отключить стандартную библиотеку Си и startup код:
  - gcc -m32 FILE.S -oFILE -g -nostdlib

Структура единицы трансляции

- Программа состоит из секций – логических частей программы
- Компоновщик объединяет содержимое секций из входных объектных файлов, размещает секции в исполняемом файле
- Стандартные секции (минимальный набор)
  - .text – код программы и read-only data
  - .data – глобальные переменные
  - .bss – глобальные переменные, инициализированные нулем

Дополнительные секции

- Можно определять секции с произвольными именами
- Стандартные дополнительные секции:
  - .rodata
    .section .rodata, “a”
- Нестандартные секции:
  - .string для размещения строк:
    .section .string, “aMS”, @progbits, 1

Правила использования секций

- Программный код должен размещаться в секции .text
- Константы и константные строки могут размещаться в .text или в .rodata
- Глобальные переменные размещаются в .data или .bss

Метки (labels, symbols)

- Метки – это символические константы, значение которых известно при компиляции или компоновке программы
  - Метка как адрес, по которому размещается инструкция при выполнении программы
  - Метка как константное значение
- По умолчанию метки видны только в текущей единице компиляции (в том числе объявленные после использования)
- Чтобы сделать метку доступной компоновщику используется .global NAME

Точка входа в программу

- Программа должна иметь точку входа – метку, на которую передается управление в начале выполнения программы
- Если компилируем без стандартной библиотеки (-nostdlib), точка входа должна называться _start и должна экспортироваться (.global _start)
- Если компилируем со стандартной библиотекой, точка входа называется main и должна экспортироваться (.global main)

Определение данных

- Глобальные переменные:

```
.byte 1, 2, 3, '\n'
.short 10, 11
.int   0xff00ff00
.quad   -1
.float 1.5
.double 2.0
```

- Строки

```
.ascii “abc”
.asciz   “Hello”     // добавляется неявный \0
```

- Резервирование памяти под массив

```
.skip 4 * 1024, 0
```

Регистры процессора

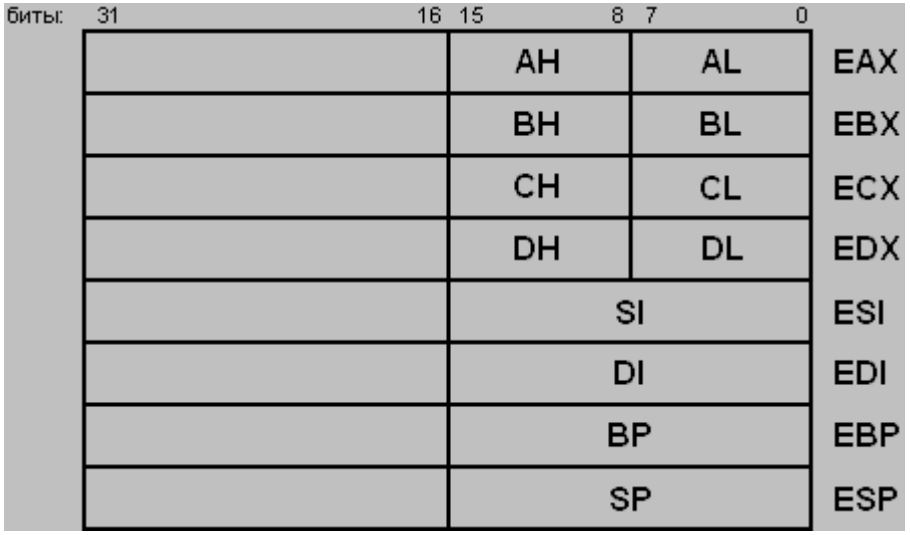
- Регистры процессора – ячейки памяти, находящиеся в процессоре
  - Очень быстрые
  - Их мало или очень мало
  - Несколько функциональных групп регистров
- Вся совокупность регистров – регистровый файл (register file)
- Регистры имеют “индивидуальные” имена

Регистры общего назначения

- General purpose register (GPR)
- Используются для:
  - Хранения аргументов для операций
  - Сохранения результатов операций
  - Хранения адреса или индекса для косвенного обращения к памяти или косвенных переходов
  - Размещения наиболее часто используемых переменных
- X86 – 8 32-битных регистров общего назначения

Регистры общего назначения

- 32-битные %eax, … %esp
- %esp – указатель стека
- 16-битные %ax… %bp
- 8-битные %al, …
- %ebp обычно указатель кадра стека, но может быть GPR
- Регистры неоднородны – в некоторых инструкциях используются фиксированные регистры



Специфика РОН

- %eax – 32-битный “аккумулятор”
- %eax:%edx – пара регистров как 64-битный “аккумулятор”
- %cl – счетчик сдвига
-

Управляющие регистры

- %eip – (instruction pointer) – адрес инструкции, следующей за текущей
- %eflags – регистр флагов процессора
- %cr0 … %cr4 - прочие управляющие регистры
- %dr0 … %dr4 – отладочные регистры
- %cs, %ss, %ds, %es, %fs, %gs – “сегментные” регистры

Floating-point registers

- %st(0) … %st(7) – регистры FPU – каждый имеет размер 80 бит – в настоящее время deprecated
- %mm0 … %mm7 – регистры MMX (deprecated)
- %xmm0 … %xmm7 – регистры SSE
- %ymm0 …, %zmm0 ... - AVX
- SIMD – single instruction multiple data – за одну инструкцию обрабатывается несколько значений

Инструкция mov

- Пересылка данных
  movSFX SRC, DST
- Куда пересылаем – второй аргумент!
- SFX – размер пересылаемых данных:
  - 'movb – байт
  - 'movw – слово (16 бит)
  - 'movl – двойное слово (32 бит)
  - 'movq – 64 бит
- Типы пересылок:
  - Регистр-регистр
  - Регистр-память
  - Память-регистр

Методы адресации

- Возможные типы аргументов операции определяются поддерживаемыми процессором методами адресации
- Методы адресации:
  - Регистровый – указывается имя регистра
    movl %esp, %ebp
  - Непосредственный (immediate) – аргумент задается в инструкции – знак $
    movb **$16**, %cl
  - Прямой (direct) – адрес ячейки памяти задается в инструкции
    movl %eax, var1