

Компьютерные основы программирования
Представление программ
часть 1

Лекция 5, 16 марта 2017

Лектор: Чуканова Ольга
Владимировна

Кафедра информатики

602 АК

ovcha@mail.ru

Машинный уровень

- Краткая история изделий Интел
- Си, ассемблер, машинный код
- Основы ассемблера: регистры, операнды, пересылки
- Немного об x86-64
- Полная адресация, вычисление адреса (leal)
- Арифметические операции
- Управление: флаги условий
- Условные переходы и пересылки
- Циклы
- Операторы переключения
- Процедуры IA 32
 - Структура стека
 - Соглашения вызова процедур
 - Рекурсия и указатели

Целочисленные регистры (IA32)

Общего назначения

%eax	%ax	%ah	%al
%ecx	%cx	%ch	%cl
%edx	%dx	%dh	%dl
%ebx	%bx	%bh	%bl
%esi	%si		
%edi	%di		
%esp	%sp		
%ebp	%bp		

Мнемоника
(устаревшая)

Accumulate
аккумулятор

Counter
счётчик

Data
данные

Base
База

Source index
Индекс источника

Destination index
индекс назначения

Stack pointer
указатель стека

Base pointer
указатель базы

16-битные виртуальные регистры
(для обратной совместимости)

Форматы данных

Описание в C	Тип данных Intel	Суффикс GAS	Размер (в байтах)
char	Байт	b	1
short	Слово	w	2
int	Двойное слово	l	4
unsigned	Двойное слово	l	4
long int	Двойное слово	l	4
unsigned long	Двойное слово	l	4
char *	Двойное слово	l	4
float	Одинарная точность	t	4
double	Двойная точность	l	8
long double	Повышенная точность	t	10/12

Формы операндов

Тип	Форма	Значение операнда	Название
Непосредств.	$SImm$	Imm	Непосредственное
Регистр	E_o	$R[E_o]$	Регистр
Память	Imm	$M[Imm]$	Абсолютное
Память	(E_o)	$M[R[E_o]]$	Косвенное
Память	$Imm(E_b)$	$M[Imm] + R[E_b]$	База + смещение
Память	(E_b, E_i)	$M[R[E_b]] + R[E_i]$	Индексированное
Память	$Imm(E_b, E_i)$	$M[Imm + R[E_b]] + R[E_i]$	Индексированное
Память	$(, E_i, s)$	$M[R[E_i] \cdot s]$	Нормированно-индексированное
Память	$Imm(, E_i, s)$	$M[Imm + R[E_i] \cdot s]$	Нормированно-индексированное
Память	(E_b, E_i, s)	$M[R[E_b] + R[E_i] \cdot s]$	Нормированно-индексированное
Память	$Imm(E_b, E_i, s)$	$M[Imm + R[E_b] + R[E_i] \cdot s]$	Нормированно-индексированное

Memory Operands.

Операнды памяти, как замечено выше отличаются также. В синтаксисе Intel индексный регистр в ' [и]', тогда как в синтаксисе AT&T в ' (и)'.

Example:

Intel Syntax	AT&T Syntax
<code>mov eax, [ebx]</code>	<code>movl (%ebx), %eax</code>
<code>mov eax, [ebx+3]</code>	<code>movl 3(%ebx), %eax</code>

Форма AT&T для инструкций, включающих сложные операции, очень неясен по сравнению с синтаксисом Intel. Форма синтаксиса Intel - `[base+index*scale+offset]`. Форма синтаксиса AT&T - смещение (база, индекс, масштаб).

Непосредственные используемые данные не должны, иметь префикс '\$' в AT&T, когда используется для адресации

Example:

Intel Syntax	AT&T Syntax
<code>instr [base+index*scale+offset]</code>	<code>instr offset(base, index, scale), foo</code>
<code>mov eax, [ebx+20h]</code>	<code>movl 0x20(%ebx), %eax</code>
<code>add eax, [ebx+ecx*2h]</code>	<code>addl (%ebx, %ecx, 0x2), %eax</code>
<code>lea eax, [ebx+ecx]</code>	<code>leal (%ebx, %ecx), %eax</code>
<code>sub eax, [ebx+ecx*4h-20h]</code>	<code>subl -0x20(%ebx, %ecx, 0x4), %eax</code>

As you can see, AT&T is very obscure. `[base+index*scale+disp]` makes more sense at a glance than `disp(base, index, scale)`.

Как Вы видите, AT&T очень неясен. `[base+index*scale+disp]` имеет больше смысла сразу, чем смещение (основа, индекс, масштаб).

Перенос данных: IA32

■ Перенос данных

`movl` *Источник, Результат*:
`mov` *Результат, Источник*

■ Типы операндов

- **Непосредственные:** константные
 - Пример: `$0x400`, `$-533`
 - Как Си константы, но с префиксом '\$'
 - Кодировются в 1-м, 2-мя, или 4-мя байтами
- **Регистровые:** только 8 целочисленных
 - Пример: `%eax`, `%edx`
 - `%esp` и `%ebp` зарезервированы
 - Другие особо используются некоторыми командами
- **В памяти:** 4 последовательных байта памяти по адресу, находящемуся в регистре
 - Простейший пример: `(%eax)`
 - Несколько различных "вариантов адресации"

`%eax`

`%ecx`

`%edx`

`%ebx`

`%esi`

`%edi`

`%esp`

`%ebp`

movl Комбинации операндов

	Откуда	Куда	Src, Dest	Си аналог
movl	Imm	Reg	movl \$0x4, %eax	temp = 0x4;
		Mem	movl \$-147, (%eax)	*p = -147;
	Reg	Reg	movl %eax, %edx	temp2 = temp1;
		Mem	movl %eax, (%edx)	*p = temp;
	Mem	Reg	movl (%eax), %edx	temp = *p;

Нельзя передать из памяти в память одной командой

Простые адресации памяти

■ Базовая (R) Mem[Reg[R]]

- Регистр **R** содержит адрес памяти

```
movl (%ecx), %eax
```

```
mov eax, [ecx]
```

■ Базовая со смещением D(R) Mem[Reg[R]+D]

- Регистр **R** содержит адрес начала фрагмента памяти
- Константа **D** обозначает сдвиг от начала фрагмента

```
movl 8(%ebp), %edx
```

```
mov edx, [ebp + 8]
```

1	<code>movl \$0x4050, %eax</code>	Непосредственное значение - Регистр
2	<code>movl %ebp, %esp</code>	Регистр - Регистр
3	<code>movl (%edi, %ecx), %eax</code>	Память - Регистр
4	<code>movl \$-17, (%esp)</code>	Непосредственное значение - Память
5	<code>movl %eax, -12(%ebp)</code>	Регистр - Память

```
mov eax, 4050h
mov esp, ebp
mov eax, [edi+ecx]
mov [esp], -17
mov [ebp - 12], eax
```

Использование простых адресаций

```
void swap(int *xp, int *yp)
{
    int t0 = *xp;
    int t1 = *yp;
    *xp = t1;
    *yp = t0;
}
```

```
mov edx, dword ptr [ebp + 8]
mov ecx, dword ptr [ebp + 12]
mov ebx, dword ptr [edx]
mov eax, dword ptr [ecx]
mov dword ptr [edx], eax
mov dword ptr [ecx], ebx
```

swap:

```
pushl %ebp
movl %esp, %ebp
pushl %ebx
```

} Пролог

```
movl 8(%ebp), %edx
movl 12(%ebp), %ecx
movl (%edx), %ebx
movl (%ecx), %eax
movl %eax, (%edx)
movl %ebx, (%ecx)
```

} Тело

```
popl %ebx
popl %ebp
ret
```

} Эпилог

Разбираем Swap

```
void swap(int *xp, int *yp)
{
    int t0 = *xp;
    int t1 = *yp;
    *xp = t1;
    *yp = t0;
}
```

Регистр	Значение
%edx	xp
%ecx	yp
%ebx	t0
%eax	t1

```
movl 8(%ebp), %edx # edx = xp
movl 12(%ebp), %ecx # ecx = yp
movl (%edx), %ebx # ebx = *xp (t0)
movl (%ecx), %eax # eax = *yp (t1)
movl %eax, (%edx) # *xp = t1
movl %ebx, (%ecx) # *yp = t0
```



Разбираем Swap

<code>%eax</code>	
<code>%edx</code>	
<code>%ecx</code>	
<code>%ebx</code>	
<code>%esi</code>	
<code>%edi</code>	
<code>%esp</code>	
<code>%ebp</code>	0x104

Смещение		Адрес	
		123	0x124
		456	0x120
			0x11c
			0x118
			0x114
<code>ур</code>	12	0x120	0x110
<code>хр</code>	8	0x124	0x10c
	4	адрес возврата	0x108
<code>%ebp</code>	→ 0		0x104
	-4		0x100

```

movl 8(%ebp), %edx # edx = хр
movl 12(%ebp), %ecx # ecx = ур
movl (%edx), %ebx # ebx = *хр (t0)
movl (%ecx), %eax # eax = *ур (t1)
movl %eax, (%edx) # *хр = t1
movl %ebx, (%ecx) # *ур = t0
    
```


Разбираем Swap

%eax	
%edx	0x124
%ecx	
%ebx	
%esi	
%edi	
%esp	
%ebp	0x104



```

movl 8(%ebp), %edx # edx = xp
movl 12(%ebp), %ecx # ecx = yp
movl (%edx), %ebx # ebx = *xp (t0)
movl (%ecx), %eax # eax = *yp (t1)
movl %eax, (%edx) # *xp = t1
movl %ebx, (%ecx) # *yp = t0
    
```

Разбираем Swap

<code>%eax</code>	
<code>%edx</code>	0x124
<code>%ecx</code>	0x120
<code>%ebx</code>	
<code>%esi</code>	
<code>%edi</code>	
<code>%esp</code>	
<code>%ebp</code>	0x104



Смещение

			123	Адрес	0x124
			456		0x120
					0x11c
					0x118
					0x114
yp	12		0x120		0x110
xp	8		0x124		0x10c
	4		адрес возврата		0x108
<code>%ebp</code>	0				0x104
	-4				0x100



```

movl 8(%ebp), %edx # edx = xp
movl 12(%ebp), %ecx # ecx = yp
movl (%edx), %ebx # ebx = *xp (t0)
movl (%ecx), %eax # eax = *yp (t1)
movl %eax, (%edx) # *xp = t1
movl %ebx, (%ecx) # *yp = t0
    
```

Разбираем Swap



%eax	
%edx	0x124
%ecx	0x120
%ebx	123
%esi	
%edi	
%esp	
%ebp	0x104



Смещение		Адрес
		123
		456
ур	12	0x120
хр	8	0x124
	4	адрес возврата
%ebp	0	
	-4	



```

movl 8(%ebp), %edx # edx = хр
movl 12(%ebp), %ecx # ecx = ур
movl (%edx), %ebx # ebx = *хр (t0)
movl (%ecx), %eax # eax = *ур (t1)
movl %eax, (%edx) # *хр = t1
movl %ebx, (%ecx) # *ур = t0
    
```

Разбираем Swap

%eax	456
%edx	0x124
%ecx	0x120
%ebx	123
%esi	
%edi	
%esp	
%ebp	0x104



	Смещение	
yp	12	
xp	8	
	4	
%ebp	0	
	-4	

123	Адрес 0x124
456	0x120
	0x11c
	0x118
	0x114
0x120	0x110
0x124	0x10c
адрес возврата	0x108
	0x104
	0x100



```

movl 8(%ebp), %edx # edx = xp
movl 12(%ebp), %ecx # ecx = yp
movl (%edx), %ebx # ebx = *xp (t0)
movl (%ecx), %eax # eax = *yp (t1)
movl %eax, (%edx) # *xp = t1
movl %ebx, (%ecx) # *yp = t0
    
```

Разбираем Swap



%eax	456
%edx	0x124
%ecx	0x120
%ebx	123
%esi	
%edi	
%esp	
%ebp	0x104



Смещение		Адрес
		456 0x124
		456 0x120
		0x11c
		0x118
		0x114
ур	12	0x120 0x110
хр	8	0x124 0x10c
	4	адрес возврата 0x108
%ebp	→ 0	0x104
	-4	0x100

```

movl 8(%ebp), %edx # edx = xp
movl 12(%ebp), %ecx # ecx = yp
movl (%edx), %ebx # ebx = *xp (t0)
movl (%ecx), %eax # eax = *yp (t1)
movl %eax, (%edx) # *xp = t1
movl %ebx, (%ecx) # *yp = t0
    
```



Разбираем Swap

%eax	456
%edx	0x124
%ecx	0x120
%ebx	123
%esi	
%edi	
%esp	
%ebp	0x104



Смещение

ур 12

xp 8

4

%ebp → 0

-4

456	Адрес 0x124
123	0x120
	0x11c
	0x118
	0x114
0x120	0x110
0x124	0x10c
адрес возврата	0x108
	0x104
	0x100

```

movl 8(%ebp), %edx # edx = xp
movl 12(%ebp), %ecx # ecx = yp
movl (%edx), %ebx # ebx = *xp (t0)
movl (%ecx), %eax # eax = *yp (t1)
movl %eax, (%edx) # *xp = t1
movl %ebx, (%ecx) # *yp = t0
    
```



Полная адресация

■ Наиболее общая форма

$$D(Rb, Ri, S) \quad \text{Mem}[\text{Reg}[Rb] + S * \text{Reg}[Ri] + D]$$

- **D:** 1-, 2-, or 4-байтное константное “смещение”
- **Rb:** Базовый регистр: любой из 8 целочисленных регистров
- **Ri:** Индексный регистр: любой, кроме `%esp`
 - Также нежелательно использовать `%ebp`
- **S:** Масштаб: 1, 2, 4, или 8 (*а почему эти числа?*)

■ Специальные случаи

$$(Rb, Ri) \quad \text{Mem}[\text{Reg}[Rb] + \text{Reg}[Ri]]$$

$$D(Rb, Ri) \quad \text{Mem}[\text{Reg}[Rb] + \text{Reg}[Ri] + D]$$

$$(Rb, Ri, S) \quad \text{Mem}[\text{Reg}[Rb] + S * \text{Reg}[Ri]]$$

Целочисленные регистры x86-64

<code>%rax</code>	<code>%eax</code>
<code>%rbx</code>	<code>%ebx</code>
<code>%rcx</code>	<code>%ecx</code>
<code>%rdx</code>	<code>%edx</code>
<code>%rsi</code>	<code>%esi</code>
<code>%rdi</code>	<code>%edi</code>
<code>%rsp</code>	<code>%esp</code>
<code>%rbp</code>	<code>%ebp</code>

<code>%r8</code>	<code>%r8d</code>
<code>%r9</code>	<code>%r9d</code>
<code>%r10</code>	<code>%r10d</code>
<code>%r11</code>	<code>%r11d</code>
<code>%r12</code>	<code>%r12d</code>
<code>%r13</code>	<code>%r13d</code>
<code>%r14</code>	<code>%r14d</code>
<code>%r15</code>	<code>%r15d</code>

- Расширены существующие регистры. Добавлены 8 новых.
- `%ebp/%rbp` сделан регистром общего назначения

Команды

- Длинное слово `l` (4 байта) \leftrightarrow Четверное слово `q` (8 байт)
- Новые инструкции:
 - `movl` \rightarrow `movq`
 - `addl` \rightarrow `addq`
 - `sall` \rightarrow `salq`
 - и т.п.
- 32-битные инструкции выдают 32-битный результат
 - Устанавливают биты старшей половины регистра-результата в 0
 - Пример: `addl`

32-БИТНЫЙ КОД SWAP

```
void swap(int *xp, int *yp)
{
    int t0 = *xp;
    int t1 = *yp;
    *xp = t1;
    *yp = t0;
}
```

swap:

```
pushl %ebp
movl  %esp,%ebp
pushl %ebx
```

Пролог

```
movl  8(%ebp), %edx
movl  12(%ebp), %ecx
movl  (%edx), %ebx
movl  (%ecx), %eax
movl  %eax, (%edx)
movl  %ebx, (%ecx)
```

Тело

```
popl  %ebx
popl  %ebp
ret
```

Эпилог

64-битный код swap

swap:

```
void swap(int *xp, int *yp)
{
    int t0 = *xp;
    int t1 = *yp;
    *xp = t1;
    *yp = t0;
}
```

```
movl    (%rdi), %edx
movl    (%rsi), %eax
movl    %eax, (%rdi)
movl    %edx, (%rsi)
```

```
ret
```

} Пролог

} Тело

} Эпилог

- **Операнды переместились в регистры (а в чём польза?)**
 - Первый (**xp**) в **%rdi**, второй (**yp**) в **%rsi**
 - 64-битные указатели
- **Не требуются операции со стеком**
- **32-битные данные**
 - Данные в регистрах **%eax** and **%edx**
 - Операции **movl**

64-битный код long int swap

swap_1:

```
void swap(long *xp, long *yp)
{
    long t0 = *xp;
    long t1 = *yp;
    *xp = t1;
    *yp = t0;
}
```

```
movq    (%rdi), %rdx
movq    (%rsi), %rax
movq    %rax, (%rdi)
movq    %rdx, (%rsi)
```

ret

} Пролог

} Тело

} Эпилог

■ 64-битные данные

- Данные в регистрах `%rax` и `%rdx`
- операции `movq`
 - “q” означает «четверное слово»

Предположим, что следующие значения хранятся в памяти по указанным адресам и в регистрах:

Адрес	Значение
0x100	0xFF
0x104	0xAB
0x108	0x13
0x10C	0x11

Регистр	Значение
%eax	0x100
%ecx	0x1
%edx	0x3

Заполните следующую таблицу, показав значения указанных операндов:

Операнд	Значение
%eax	0x100
0x104	0xAB
\$0x108	0x108
(%eax)	0xFF
4(%eax)	0xAB
9(%eax, %edx)	0x11
260(%ecx, %edx)	0x13
0xFC(, %ecx, 4)	0xFF
(%eax, %edx, 4)	0x11

Команда вычисления адреса

■ `leal Src, Dest`

```
leal Dest, Src
```

- Src адресное выражение
- Присваивает Dest адрес вычисленный по выражению

■ Используется

- Для вычисления адресов без обращения к памяти
 - например, трансляции `p = &x[i];`
- Для вычисления выражений вида `x + k*y`,
 - где `k = 1, 2, 4, или 8`

■ Пример

```
int mul12(int x)
{
    return x*12;
}
```

Результат компиляции в ассемблер:

```
leal (%eax,%eax,2), %eax ;t <- x+x*2
sall $2, %eax ;return t<<2
```

```
leal eax, [eax+eax*2]
sall eax, 2
```

```
mov ax, word ptr [bp+6]
mov dx, 12
imul dx
```


Некоторые арифметические команды

■ Двухоперандные команды:

Формат

Вычисления

<code>addl</code>	Src, Dest	$Dest = Dest + Src$
<code>subl</code>	Src, Dest	$Dest = Dest - Src$
<code>imull</code>	Src, Dest	$Dest = Dest * Src$
<code>sall</code>	Src, Dest	$Dest = Dest \ll Src$ Синоним: <code>shll</code>
<code>sarl</code>	Src, Dest	$Dest = Dest \gg Src$ Арифметический
<code>shrl</code>	Src, Dest	$Dest = Dest \gg Src$ Логический
<code>xorl</code>	Src, Dest	$Dest = Dest \wedge Src$
<code>andl</code>	Src, Dest	$Dest = Dest \& Src$
<code>orl</code>	Src, Dest	$Dest = Dest Src$

■ Следите за порядком аргументов!

■ Не различаются `signed` и `unsigned int` (почему?)

```
add Dest, Src
sub Dest, Src
imul Dest, Src
sal (синоним shl)
sar
shr
xor
and
or
inc Dest      Dest=Dest+1
dec Dest      Dest=Dest-1
```

Пример арифметических выражений

```
int arith(int x, int y, int z)
{
    int t1 = x+y;
    int t2 = z+t1;
    int t3 = x+4;
    int t4 = y * 48;
    int t5 = t3 + t4;
    int rval = t2 * t5;
    return rval;
}
```

```
mov ecx, [ebp + 8]
mov edx, [ebp + 12]
lea eax, [edx + edx * 2]
sal eax, 4
lea eax, [ecx + eax + 4]
add edx, ecx
imul eax, edx
```

```
arith:
    pushl %ebp
    movl %esp, %ebp
} Пролог

    movl 8(%ebp), %ecx
    movl 12(%ebp), %edx
    leal (%edx,%edx,2), %eax
    sall $4, %eax
    leal 4(%ecx,%eax), %eax
    addl %ecx, %edx
    addl 16(%ebp), %edx
    imull %edx, %eax
} Тело

    popl %ebp
    ret
} Эпилог
```

Разбираем arith

```
int arith(int x, int y, int z)
{
    int t1 = x+y;
    int t2 = z+t1;
    int t3 = x+4;
    int t4 = y * 48;
    int t5 = t3 + t4;
    int rval = t2 * t5;
    return rval;
}
```

Смещ.

16

z

12

y

8

x

4

Адрес возврата

0

Старый %ebp

← %ebp

```
movl    8(%ebp), %ecx    # ecx = x
movl    12(%ebp), %edx   # edx = y
leal    (%edx,%edx,2), %eax # eax = y*3
sall    $4, %eax        # eax *= 16 (t4)
leal    4(%ecx,%eax), %eax # eax = t4 +x+4 (t5)
addl    %ecx, %edx      # edx = x+y (t1)
addl    16(%ebp), %edx  # edx += z (t2)
imull   %edx, %eax     # eax = t2 * t5 (rval)
```

Разбираем arith

```
int arith(int x, int y, int z)
{
  ① int t1 = x+y;
  ② int t2 = z+t1;
  ③ int t3 = x+4;
  ④ int t4 = y * 48;
  ③ int t5 = t3 + t4;
  ⑤ int rval = t2 * t5;
  return rval;
}
```

Смещ.

16

z

12

y

8

x

4

Адрес возврата

0

Старый %ebp

← %ebp

```
movl    8(%ebp), %ecx    # ecx = x
movl    12(%ebp), %edx   # edx = y
④ leal  (%edx,%edx,2), %eax # eax = y*3
④ sall  $4, %eax        # eax *= 16 (t4)
③ leal  4(%ecx,%eax), %eax # eax = t4 +x+4 (t5)
① addl  %ecx, %edx      # edx = x+y (t1)
② addl  16(%ebp), %edx  # edx += z (t2)
⑤ imull %edx, %eax     # eax = t2 * t5 (rval)
```


Важно в `arith`

```
int arith(int x, int y, int z)
{
  ① int t1 = x+y;
  ② int t2 = z+t1;
  ③ int t3 = x+4;
  ④ int t4 = y * 48;
  ③ int t5 = t3 + t4;
  ⑤ int rval = t2 * t5;
  return rval;
}
```

- Порядок команд иной, чем в Си-программе
- Часть Си-выражений требуют несколько команд
- Часть команд реализуют несколько Си-выражений
- Выдает точно такой же код при компиляции :

$(x+y+z) * (x+4+48*y)$

```
movl    8(%ebp), %ecx      # ecx = x
movl    12(%ebp), %edx     # edx = y
④ leal   (%edx,%edx,2), %eax # eax = y*3
④ sall  $4, %eax          # eax *= 16 (t4)
③ leal   4(%ecx,%eax), %eax # eax = t4 +x+4 (t5)
① addl   %ecx, %edx        # edx = x+y (t1)
② addl   16(%ebp), %edx    # edx += z (t2)
⑤ imull %edx, %eax        # eax = t2 * t5 (rval)
```


Ещё пример

```
int logical(int x, int y)
{
    int t1 = x^y;
    int t2 = t1 >> 17;
    int mask = (1<<13) - 7;
    int rval = t2 & mask;
    return rval;
}
```

logical:

```
    pushl %ebp
    movl %esp,%ebp
```

} Пролог

```
    movl 12(%ebp),%eax
    xorl 8(%ebp),%eax
    sarl $17,%eax
    andl $8185,%eax
```

} Тело

```
    popl %ebp
    ret
```

} Эпилог

```
    movl 12(%ebp),%eax    # eax = y
    xorl 8(%ebp),%eax    # eax = x^y      (t1)
    sarl $17,%eax        # eax = t1>>17   (t2)
    andl $8185,%eax      # eax = t2 & mask (rval)
```

Ещё пример

```
int logical(int x, int y)
{
    int t1 = x^y;
    int t2 = t1 >> 17;
    int mask = (1<<13) - 7;
    int rval = t2 & mask;
    return rval;
}
```

logical:

```
    pushl %ebp
    movl %esp,%ebp
```

} Пролог

```
    1 movl 12(%ebp),%eax
    1 xorl 8(%ebp),%eax
    sarl $17,%eax
    andl $8185,%eax
```

} Тело

```
    popl %ebp
    ret
```

} Эпилог

```
movl 12(%ebp),%eax    # eax = y
xorl 8(%ebp),%eax     # eax = x^y          (t1)
sarl $17,%eax         # eax = t1>>17      (t2)
andl $8185,%eax      # eax = t2 & mask  (rval)
```

Ещё пример

```
int logical(int x, int y)
{
    int t1 = x^y;
    int t2 = t1 >> 17;
    int mask = (1<<13) - 7;
    int rval = t2 & mask;
    return rval;
}
```

logical:

```
    pushl %ebp
    movl %esp,%ebp
```

} Пролог

```
    movl 12(%ebp),%eax
    xorl 8(%ebp),%eax
```

```
    sarl $17,%eax
    andl $8185,%eax
```

} Тело

```
    popl %ebp
    ret
```

} Эпилог

```
movl 12(%ebp),%eax    # eax = y
xorl 8(%ebp),%eax    # eax = x^y      (t1)
sarl $17,%eax        # eax = t1>>17   (t2)
andl $8185,%eax      # eax = t2 & mask (rval)
```

Ещё пример

```
int logical(int x, int y)
{
    int t1 = x^y;
    int t2 = t1 >> 17;
    int mask = (1<<13) - 7;
    int rval = t2 & mask;
    return rval;
}
```

3
3

$$2^{13} = 8192, 2^{13} - 7 = 8185$$

logical:

```
    pushl %ebp
    movl  %esp,%ebp
```

} Пролог

```
    movl 12(%ebp),%eax
    xorl 8(%ebp),%eax
    sarl $17,%eax
    andl $8185,%eax
```

} Тело

```
    popl %ebp
    ret
```

} Эпилог

<code>movl 12(%ebp),%eax</code>	<code># eax = y</code>
<code>xorl 8(%ebp),%eax</code>	<code># eax = x^y (t1)</code>
<code>sarl \$17,%eax</code>	<code># eax = t1>>17 (t2)</code>
<code>andl \$8185,%eax</code>	<code># eax = t2 & mask (rval)</code>

```
int log(int x, int y){
  int t1,t2,mask, rval;
  t1=x^y;
  t2=t1>>5;
  mask=(1<<8) - 7;
  rval=t2 & mask;
  return t2;}
```

```
log proc    far
  push     bp
  mov      bp,sp
  sub     sp,6
  mov      ax,word ptr [bp+6]
  xor     ax,word ptr [bp+8]
  mov      cl,5
  sar     ax,cl
  mov      word ptr [bp-4],249
  and     ax,word ptr [bp-4]
  mov      sp,bp
  pop     bp
  ret
```


Специальные арифметические операции

Команда	Результат	Описание
<code>imull S</code>	$R[\%edx] : R[\%eax] \leftarrow S \times R[\%eax]$	Полное умножение со знаком
<code>mull S</code>	$R[\%edx] : R[\%eax] \leftarrow S \times R[\%eax]$	Полное умножение без знака
<code>cldt S</code>	$R[\%edx] : R[\%eax] \leftarrow \text{SignExtend}(R[\%eax])$	Преобразование в четверное слово
<code>idivl S</code>	$R[\%edx] \leftarrow R[\%edx] : R[\%eax] \bmod S$ $R[\%eax] \leftarrow R[\%edx] : R[\%eax] \div S$	Деление со знаком
<code>divl S</code>	$R[\%edx] \leftarrow R[\%edx] : R[\%eax] \bmod S$ $R[\%eax] \leftarrow R[\%edx] : R[\%eax] \div S$	Деление без знака

Примеры

адрес x есть %ebp+8, адрес y есть %ebp+12

- 1 movl 8(%ebp),%eax Поместить x в %eax
- 2 imull 12(%ebp) Умножить на y
- 3 pushl %edx Затолкнуть в стек старшие 32 разряда
- 4 pushl %eax Затолкнуть в стек младшие 32 разряда

Адрес x есть %ebp+8, адрес y есть %ebp+12

- 1 movl 8(%ebp),%eax Поместить x в %eax
- 2 cld Расширение знака в %edx
- 3 idivl 12(%ebp) Разделить на y
- 4 pushl %eax Протолкнуть в стек x / y
- 5 pushl %edx Протолкнуть в стек x % y

Состояние процессора (IA32, частично)

■ Информация о непосредственно исполняемой программе

- Промежуточные данные (`%eax, ...`)
- Положение стека (`%ebp, %esp`)
- Положение текущей команды (`%eip, ...`)
- Результаты последних проверок (`CF, ZF, SF, OF`)



Флаги условий (неявная установка)

■ Однобитные регистры- флаги

- CF перенос (для unsigned) SF знак (для signed)
- ZF ноль OF переполнение (для signed)

■ Выставляются неявно арифметическими операциями (как побочный результат)

Пример: `addl/addq Src, Dest` \leftrightarrow `t = a+b`

CF=1, если перенос из старшего бита или заём в него (беззнаковое переполнение)

ZF=1, если `t == 0`

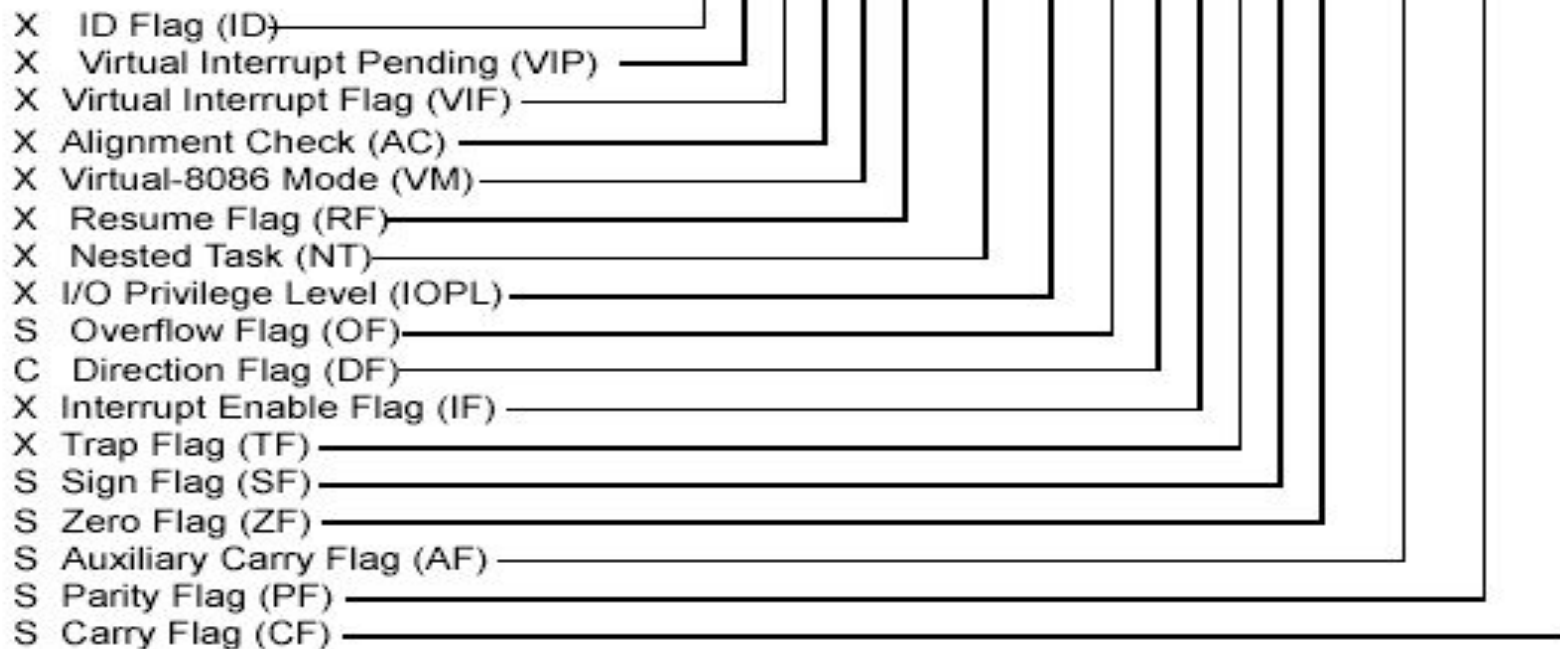
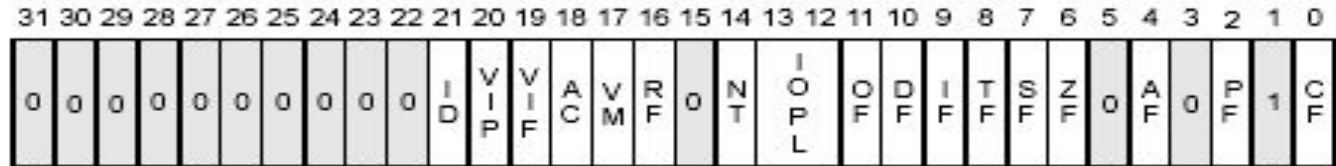
SF=1, если `t < 0` (как знаковое), SF == MSB

OF=1, если переполнился доп.код (знаковый)

`(a>0 && b>0 && t<0) || (a<0 && b<0 && t>=0)`

■ Не устанавливается командой `leal`!

Регистр флагов (EFlags)



- S Indicates a Status Flag
- C Indicates a Control Flag
- X Indicates a System Flag

Reserved bit positions. DO NOT USE.
 Always set to values previously read.

Флаги состояния (Status Flags)

№ бита	Мнемоника	Флаг	Содержание и назначение
0	cf	Carry Flag	1 - арифметическая операция произвела перенос из старшего бита результата. Старшим является 7-й, 15-й или 31-й бит в зависимости от размерности операнда; 0 - переноса не было.
2	pf	Parity Flag	Этот флаг - только для 8 младших разрядов операнда любого размера. 1, когда 8 младших разрядов результата содержат четное число единиц; 0, когда 8 младших разрядов результата содержат нечетное число единиц.
4	af	Auxiliary carry Flag	Только для команд, работающих с BCD-числами: 1- в результате операции сложения был произведен перенос из разряда 3 в старший разряд или при вычитании был заем в разряд 3 младшей тетрады из значения в старшей тетраде; 0-переносов не было.
6	zf	Zero Flag	1 - результат нулевой; 0 - результат ненулевой.
7	sf	Sign Flag	Отражает состояние старшего бита результата (биты 7, 15 или 31 для 8, 16 или 32-разрядных операндов соответственно).
11	of	Overflow Flag	Фиксирует факт потери значащего бита при арифметических операциях. 1 - произошел перенос(заем) из(в) старшего или знакового бита; 0 – произошел перенос(заем) из(в) старшего и знакового бита или переноса не было.
12	iopl	Input/Output Privilege Level	Используется в защищенном режиме работы микропроцессора для контроля доступа к командам ввода-вывода в зависимости от уровня привилегий задачи.
13			
14	nt	Nested Task	Используется в защищенном режиме работы микропроцессора для фиксации того факта, что одна задача вложена в другую.

Примеры:

xor	ax,ax	01000000
mov	al,64	<u>01000000</u>
add	al,64	10000000
		cf=0 pf=0 zf=0 sf =1 of=1
xor	ax,ax	10000000
mov	al,128	<u>10000000</u>
add	al,128	(1)00000000
		cf=1 pf=1 zf=1 sf=0 of=0
xor	ax,ax	11000000
mov	al,192	<u>11000000</u>
add	al,192	(1)10000000
		cf=1 pf=0 zf=0 sf=1 of=1

Флаги условий

(явная установка сравнением)

■ Явная установка командами сравнения

- `cmp1/cmpq Src2, Src1`

- `cmp1 b, a` как вычисление `a-b` без сохранения результата

- `CF=1`, если перенос из старшего бита или заём в него (используется при беззнаковых сравнениях)

- `ZF=1`, если `a == b`

- `SF=1`, если `(a-b) < 0` (как знаковые)

- `OF=1`, переполнение в дополнительном коде (знаковое)

`(a>0 && b<0 && (a-b)<0) || (a<0 && b>0 && (a-b)>0)`

Флаги условий

(явная установка проверкой бит)

■ Явная установка командой test

- `testl/testq Src2, Src1`

`testl b, a` как вычисление `a&b` без сохранения результата

- Устанавливает флаги в зависимости от `Src1 & Src2`

- Удобно, если один из операндов - маска

- `ZF=1`, если `a&b == 0`

- `SF=1`, если `a&b < 0` (старший бит == 1)

Команды установки байта по условию

SETссс операнд

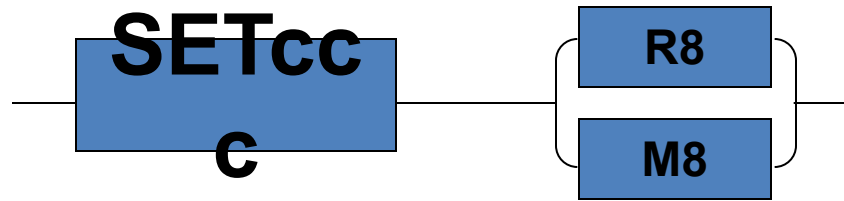
Команды проверяют условие, заданное модификатором ссс в коде операции (фактически, состояние флагов) и устанавливают операнд логическим значением 1 или 0 в зависимости от истинности условия. Команды Setссс можно использовать после любой команды, изменяющей флаги, при необходимости анализа результата изменения. Если проанализировать условия для команд Jссс, то обнаружится их полное соответствие с условиями, обрабатываемыми командами Jссс.

Чтение флагов условий IA32 - 1

■ Команды set*

- Устанавливают один байт в 1 или 0 в зависимости от флагов

Команда	Условие	Описание
sete	ZF	Равно / Ноль
setne	$\sim ZF$	Неравно / Не ноль
sets	SF	Отрицательно
setns	$\sim SF$	Неотрицательно
setg	$\sim (SF \wedge OF) \ \& \ \sim ZF$	Больше (знаковое)
setge	$\sim (SF \wedge OF)$	Больше или равно (знаковое)
setl	$(SF \wedge OF)$	Меньше (знаковое)
setle	$(SF \wedge OF) \ \ ZF$	Меньше или равно (знаковое)
seta	$\sim CF \ \& \ \sim ZF$	Выше (беззнаковое)
setb	CF	Ниже (unsigned)



Команда	Условие	Команда	Условие
seta/setnbe	cf=0 и zf=0	setle/setng	zf=1 или sf≠of
setae/setnb	cf=0	setnc	cf=0
setb/setnae	cf=1	setne/setnz	zf=0
setbe/set	cf=1 или zf=1	setno	of=0
setc	cf=1	setnp/setpo	pf=0
sete/setz	zf=1	setns	sf=0
setg/setnle	zf=0 или sf=of	seto	of=1
setge/setnl	sf=of	setp/setpe	pf=1
setl/setnge	sf≠of	sets	sf=1

Чтение флагов условий IA32 - 2

■ Команды set*

- Устанавливают один байт в 1 или 0 в зависимости от флагов

■ Один из 8 байтовых регистров

- Не изменяются остальные 3 байта
- Для зануления обычно используется `movzbl`

```
int gt (int x, int y)
{
    return x > y;
}
```

Тело функции

```
movl 12(%ebp), %eax    # eax = y
cmpl %eax, 8(%ebp)    # Сравнить x и y
setg %al              # al = x > y
movzbl %al, %eax      # Зануление остатка
```

%eax	%ah	%al
------	-----	-----

%ecx	%ch	%cl
------	-----	-----

%edx	%dh	%dl
------	-----	-----

%ebx	%bh	%bl
------	-----	-----

%esi

%edi

%esp

%ebp

Чтение флагов условий x86-64

■ Команды set*

- Устанавливают один байт в 1 или 0 в зависимости от флагов
- Не меняют оставшиеся 3 байта 4-х байтного регистра

```
int gt (long x, long y)
{
    return x > y;
}
```

```
long lgt (long x, long y)
{
    return x > y;
}
```

Тела функций

```
cmpl %esi, %edi
setg %al
movzbl %al, %eax
```

```
cmpq %rsi, %rdi
setg %al
movzbl %al, %eax
```

Нулевые ли старшие 32 бита 64-битного регистра `%rax`?
Да: 32-ная команда устанавливает старшие 32 бита в 0!

- `_qt proc far`
- `push bp`
- `mov bp,sp`
- `mov ax,word ptr [bp+6]`
- `cmp ax,word ptr [bp+8]`
- `jle short @1@86`
- `mov ax,1`
- `jmp short @1@114`
- `@1@86:`
- `xor ax,ax`
- `@1@114:`
- `pop bp`
- `ret`

Переходы

■ Команды j^*

- Передача управления по адресу в зависимости от флагов

j^*	Условия	Описание
jmp	1	Безусловный
je	ZF	Равно / Ноль
jne	$\sim ZF$	Неравно / Не ноль
js	SF	Отрицательно
jns	$\sim SF$	Неотрицательно
jg	$\sim (SF \wedge OF) \ \& \ \sim ZF$	Больше (знаковое)
jge	$\sim (SF \wedge OF)$	Больше или равно (знаковое)
jl	$(SF \wedge OF)$	Меньше (знаковое)
jle	$(SF \wedge OF) \ \ ZF$	Меньше или равно (знаковое)
ja	$\sim CF \ \& \ \sim ZF$	Выше (беззнаковое)
jb	CF	Ниже (unsigned)

Пример условного перехода

```
int absdiff(int x, int y)
{
    int result;
    if (x > y) {
        result = x-y;
    } else {
        result = y-x;
    }
    return result;
}
```

```
absdiff:
    pushl   %ebp
    movl   %esp, %ebp
    movl   8(%ebp), %edx
    movl   12(%ebp), %eax
    cmpl   %eax, %edx
    jle    .L6
    subl   %eax, %edx
    movl   %edx, %eax
    jmp    .L7
.L6:
    subl   %edx, %eax
.L7:
    popl   %ebp
    ret
```

Пролог

Тело1
«если»

Тело2а
«то»

Тело2б
«иначе»

Эпилог

Пример условного перехода

```
int goto_ad(int x, int y)
{
    int result;
    if (x <= y) goto Else;
    result = x-y;
    goto Exit;
Else:
    result = y-x;
Exit:
    return result;
}
```

■ Си допускает “goto” для передачи управления

- Стиль кодирования «ближе к машине»

■ В общем считается плохим стилем

```
absdiff:
    pushl   %ebp
    movl   %esp, %ebp
    movl   8(%ebp), %edx
    movl   12(%ebp), %eax
    cmpl   %eax, %edx
    jle    .L6
    subl   %eax, %edx
    movl   %edx, %eax
    jmp    .L7
.L6:
    subl   %edx, %eax
.L7:
    popl   %ebp
    ret
```

Prolog
Тело1 «если»
Тело2a «то»
Тело2b «иначе»
Эпилог

Пример условного перехода

```
int goto_ad(int x, int y)
{
    int result;
    if (x <= y) goto Else;
    result = x-y;
    goto Exit;
Else:
    result = y-x;
Exit:
    return result;
}
```

```
absdiff:
    pushl   %ebp
    movl   %esp, %ebp
    movl   8(%ebp), %edx
    movl   12(%ebp), %eax
    cmpl   %eax, %edx
    jle   .L6
    subl   %eax, %edx
    movl   %edx, %eax
    jmp   .L7
.L6:
    subl   %edx, %eax
.L7:
    popl   %ebp
    ret
```

Пролог

Тело1
«если»

Тело2а
«то»

Тело2б
«иначе»

Эпилог

Пример условного перехода

```
int goto_ad(int x, int y)
{
    int result;
    if (x <= y) goto Else;
    result = x-y;
    goto Exit;
Else:
    result = y-x;
Exit:
    return result;
}
```

```
absdiff:
    pushl   %ebp
    movl   %esp, %ebp
    movl   8(%ebp), %edx
    movl   12(%ebp), %eax
    cmpl   %eax, %edx
    jle    .L6
    subl   %eax, %edx
    movl   %edx, %eax
    jmp    .L7
.L6:
    subl   %edx, %eax
.L7:
    popl   %ebp
    ret
```

Пролог

Тело1
«если»

Тело2а
«то»

Тело2б
«иначе»

Эпилог

Пример условного перехода

```
int goto_ad(int x, int y)
{
    int result;
    if (x <= y) goto Else;
    result = x-y;
    goto Exit;
Else:
    result = y-x;
Exit:
    return result;
}
```

```
absdiff:
    pushl   %ebp
    movl   %esp, %ebp
    movl   8(%ebp), %edx
    movl   12(%ebp), %eax
    cmpl   %eax, %edx
    jle    .L6
    subl   %eax, %edx
    movl   %edx, %eax
    jmp    .L7
.L6:
    subl   %edx, %eax
.L7:
    popl   %ebp
    ret
```

Пролог

Тело1
«если»

Тело2а
«то»

Тело2б
«иначе»

Эпилог

- `_absd proc far`
- `push bp`
- `mov bp,sp`
- `mov dx,word ptr [bp+6]`
- `mov bx,word ptr [bp+8]`
- `cmp dx,bx`
- `jle short @1@86`
- `mov ax,dx`
- `subax,bx`
- `jmpshort @1@114`
- `@1@86:`
- `mov ax,bx`
- `subax,dx`
- `@1@114:`
- `pop bp`
- `ret`

Трансляция условного выражения

Си код

```
val = Test ? Then_Expr : Else_Expr;
```

```
val = x > y ? x - y : y - x;
```

“goto” версия

```
nt = !Test;
if (nt) goto Else;
val = Then_Expr;
goto Done;
Else:
    val = Else_Expr;
Done:
    . . .
```

- Test – целочисленное выражение
 - = 0 интерпретируется как ложь
 - ≠ 0 интерпретируется как истина
- Создаёт отдельные фрагменты кода для **Then_Expr** и **Else_Expr**
- Исполняется один из двух

- `_absd1 proc far`
- `push bp`
- `mov bp,sp`
- `subsp,2`
- `mov dx,word ptr [bp+6]`
- `mov bx,word ptr [bp+8]`
- `cmp dx,bx`
- `jle short @1@86`
- `mov ax,dx`
- `subax,bx`
- `jmpshort @1@114`
- `@1@86:`
- `mov ax,bx`
- `subax,dx`
- `@1@114:`
- `mov sp,bp`
- `pop bp`
- `ret`