Insper

Sistemas Hardware-Software

Aula 6 – Programação em nível de máquina (II)

2020 – Engenharia

Igor Montagner, Fábio Ayres <igorsm1@insper.edu.br>

lea

"Prima" da instrução **mov**

- Mas ao invés de pegar dados da memória, apenas calcula o endereço de memória desejado
    - Daí vem o nome: *Load Effective Address*

Funcionamento: **lea *Mem*, *Dst***

- Mem: operando de endereçamento da forma D(Rb, Ri, S)
    - Exemplo: **$0x4(%rax, %rbx, 4)**
- Dst: registrador destino
    - Exemplo: **%rsi**

Efeito final: calcula o endereço especificado pelo operando Mem, e armazena em Dst

Usos da instrução `lea`

`lea`: equivale em C a `p = &v[i]`

`mov`: equivale em C a `p = v[i]`

A instrução **`lea`** também é muito usada para fazer cálculos matemáticos simples, por exemplo:

```
long m12(long x) {
  return x*12;
}
```

```
leaq (%rdi,%rdi,2), %rax  # t <- x + x*2
salq $2, %rax             # return t << 2
```

Vantagem: lea é muito rápida!

Operações aritméticas simples

- Instruções de dois operandos:

Instrução	*Cálculo*	
`addq S, D`	`D = D + S`	
`subq S, D`	`D = D - S`	
`imulq S, D`	`D = D * S`	
`salq S, D`	`D = D << S`	`# Tanto arit. como lógico.`
`sarq S, D`	`D = D >> S`	`# Aritmético.`
`shrq S, D`	`D = D >> S`	`# Lógico.`
`xorq S, D`	`D = D ^ S`	
`andq S, D`	`D = D & S`	
`orq S, D`	`D = D | S`	

Não há distinção entre signed e unsigned. (Porque?)

Operações aritméticas simples

- Instruções de um operando operandos:

Instrução	***Cálculo***	
`incq`	`D`	`D = D + 1 # Incremento.`
`decq`	`D`	`D = D - 1 # Decremento.`
`negq`	`D`	`D = -D # Negativo.`
`notq`	`D`	`D = ~D # Operador "not" bit-a-bit.`

- Ver livro para mais instruções

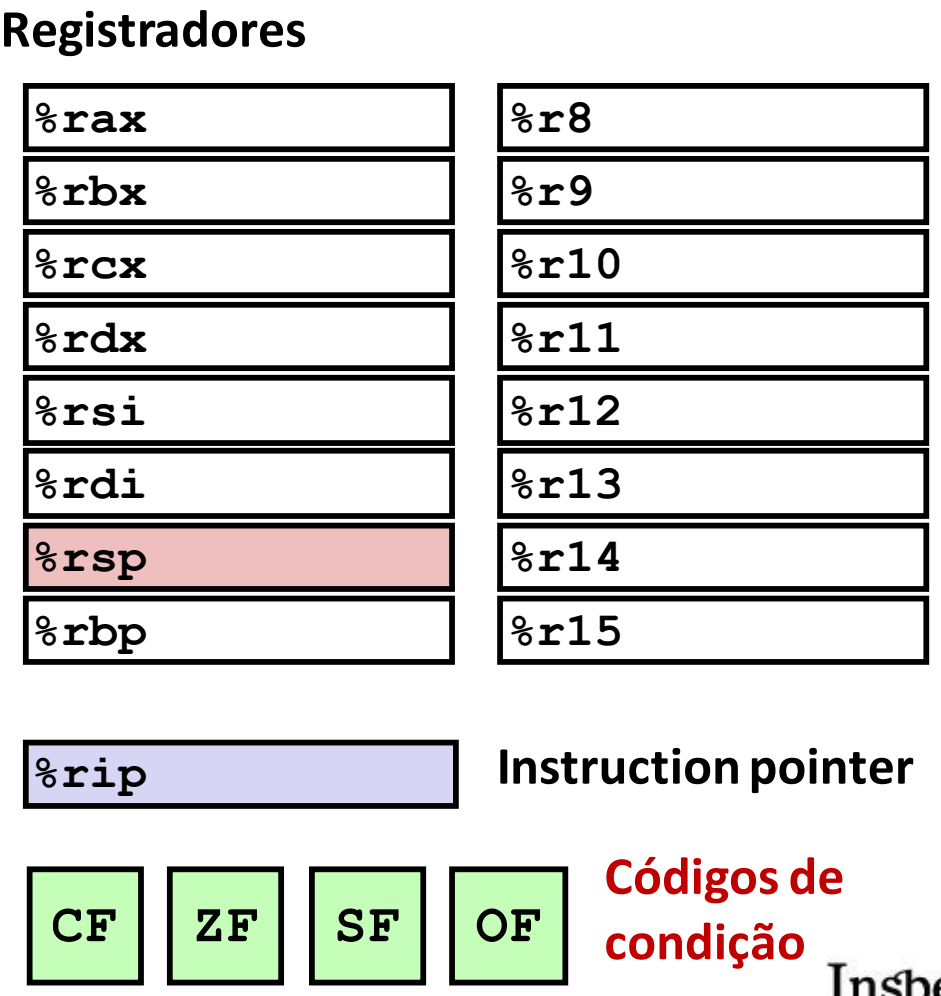
Para referência completa:
https://software.intel.com/en-us/articles/intel-sdm

(somente 4684 páginas!)

Estado do processador

Informação sobre o programa sendo executado:

- Dados temporários (**`%rax`**, …)
- Topo da pilha (**`%rsp`**)
- Posição da instrução atual (**`%rip`**, …)
- Flags de estado dos testes recentes (**CF, ZF, SF, OF**)



Códigos de condição

São como registradores de um bit só, que são preenchidos de acordo com o status de uma operação realizada.

Sigla	Nome	Significado
CF	Carry	Overflow unsigned
SF=	Signal	Resultado da operação é negativo
OF	Overflow	Overflow signed (complemento de 2)
ZF	Zero flag	Resultado da operação é 0

Códigos de condição

Os códigos de condição são "efeitos colaterais" de operações aritméticas.

Considere a instrução `add S, D`, que calcula **T = S + D** e armazena o resultado **T** de volta em **D**:

Flag set?	Significado
CF	S + D deu carry-out. Equivale a overflow de unsigned.
ZF	T == 0
SF	T < 0 (interpretando T como signed, claro).
OF	S + D deu overflow de complemento-de-2, ou seja, (S > 0 && D > 0 && T < 0) || (S < 0 && D < 0 && T >= 0)

Nota: a instrução `lea` não gera códigos de condição.

Instruções de comparação

Permitem preencher os códigos de condição sem modificar os registradores:

- Instrução `cmp A, B`
  - Compara valores A e B
  - Funciona como `sub A, B` sem gravar resultado no destino

Flag set?	Significado
CF	Carry-out em B – A
ZF	B == A
SF	(B – A) < 0 (quando interpretado como signed)
OF	Overflow de complemento-de-2: (A > 0 && B < 0 && (B – A) < 0) ‖ (A < 0 && B > 0 && (B – A) > 0)

Instruções de comparação

- Instrução `test A, B`
  - Testa o resultado de **A & B**
  - Funciona como `and A, B` sem gravar resultado no destino
  - Útil para checar um dos valores, usando o outro como máscara
  - Normalmente usado com A e B sendo o mesmo registrador, ou seja: `test %rdi, %rdi`

Flag set?	Significado
ZF	A & B == 0
SF	A & B < 0 (quando interpretado como signed)

Acessando os códigos de condição

Instruções set

- Preenchem o byte mais baixo do destino com 0x00 ou 0x01, dependendo de combinações de códigos de condição

- Não alteram os 7 bytes restantes

Acessando os códigos de condição

Instrução	Condição	Descrição
sete	ZF	Equal /Zero
setne	~ZF	Not Equal / Not Zero
sets	SF	(signed) Negativo
setns	~SF	(signed) Não-negativo
setl	(SF^OF)	(signed) Less than
setle	(SF^OF)|ZF	(signed) Less than or Equal
setge	~(SF^OF)	(signed) Greater than or Equal
setg	~(SF^OF) & ~ZF	(signed) Greater than
setb	CF	(unsigned) Below
seta	~CF & ~ZF	(unsigned) Above

Atividade prática

Faremos a parte 1 do handout de hoje.

Duração: 30 minutos

Desvios (ou saltos) condicionais

Permitem saltar para outra parte do código dependendo dos códigos de condição. Finalmente vamos ter **`if`** !!!

Equivalem ao código C:

```
if (condição) {
  goto label;
}
```

Exemplo:

```
cmp     $0xa,%rdi     # Compara %rdi:10
jge     400573        # Se >, pula para 400573
```

Desvios (ou saltos) condicionais

Instrução	Condição	Descrição
jmp	1	Incondicional
je	ZF	Equal /Zero
jne	~ZF	Not Equal / Not Zero
js	SF	(signed) Negativo
jns	~SF	(signed) Não-negativo
jl	(SF^OF)	(signed) Less than
jle	(SF^OF)|ZF	(signed) Less than or Equal
jge	~(SF^OF)	(signed) Greater than or Equal
jg	~(SF^OF) & ~ZF	(signed) Greater than
jb	CF	(unsigned) Below
ja	~CF & ~ZF	(unsigned) Above

O comando **goto**

Definimos um *label* usando a sintaxe nome:

goto desvia o fluxo para a linha de código abaixo do label

```
int main(int argc, char **argv) {
    goto pula_para_ca;
    printf("Este printf não aparece!\n");
pula_para_ca:
    printf("Print2!\n");
}
```

goto só funciona dentro de uma mesma função

O par de comandos **if-goto**

O par de comandos if-goto é equivalente às instruções cmp/test seguidas de um jump condicional

```
cmp 0x4, %rdi
jle label
(bloco 1)
label:
...
```

```
if (a <= 4) {
        goto
label;
}
(bloco1)
label:
. . .
```

O par de comandos **if-goto**

O par de comandos if-goto é equivalente às instruções cmp/test seguidas de um jump condicional

```
cmp 0x4, %rdi
jle label
(bloco 1)
label:
...
```

```
if (a <= 4) {
        goto
label;
}
(bloco1)
label:
. . .
```

Vamos chamar código **C** que use somente if-goto de **gotoC**!

Padrões de geração de código

Compiladores transformam o código **C** de diversas maneiras durante geração de código.

C

```
if (cond) {
        (bloc
o1)
}
. . .
```

gotoC

```
if (!cond)
        goto
depois;

(bloco1)

depois:
. . .
```

Padrões de geração de código

Compiladores transformam o código **C** de diversas maneiras durante geração de código.

C

```
if (cond) {
        (bloc
o1)
} else {
        (bloc
o2)
}
. . .
```

gotoC

```
if (!cond)
        goto
else;

(bloco1)
goto fim;

else:
(bloco2)

fim:
. . .
```

Padrões de geração de código

Compiladores transformam o código **C** de diversas maneiras durante geração de código.

C

```
if (cond) {
        (bloc
o1)
} else {
        (bloc
o2)
}
. . .
```

gotoC

```
if (!cond)
        goto
else;

(bloco1)
goto fim;

else:
(bloco2)

fim:
. . .
```

Código C com `goto`

Para entender o código assembly, devemos traduzir código C normal em código C com **`goto`**

```
long foo(long x, long y) {
  long result;
  if (x > y) {
    result = x - y;
  }
  else {
    result = y - x;
  }
  return result + 1;
}
```

```
long foo_j(long x, long y) {
  long result;

  int ntest = x <= y;
  if (ntest) goto Else;
  result = x - y;
  goto Done;

Else:
  result = y - x;

Done:
  result = result + 1;
  return result;
}
```

Código C com goto

```
long foo_j(long x, long y) {
  long result;

  int ntest = x <= y;
  if (ntest) goto Else;

  result = x - y;
  goto Done;

Else:
  result = y - x;

Done:
  result = result + 1;
  return result;
}
```

```
0000000000000000 <foo>:
   0:   48 39 f7          cmp    %rsi,%rdi
   3:   7e 08             jle    d <foo+0xd>
   5:   48 29 f7          sub    %rsi,%rdi
   8:   48 89 fe          mov    %rdi,%rsi
   b:   eb 03             jmp    10 <foo+0x10>
   d:   48 29 fe          sub    %rdi,%rsi
  10:   48 8d 46 01       lea    0x1(%rsi),%rax
  14:   c3                retq
```

Atividade prática

Faremos a parte 2 do handout de hoje.

Duração: 30 minutos

Insper

www.insper.edu.br