Estrutura do tema ISA do IA-32

1. Desenvolvimento de programas no IA-32 em Linux
2. Acesso a operandos e operações
3. Suporte a estruturas de controlo
4. Suporte à invocação/regresso de funções
5. Análise comparativa: IA-32 *vs*. x86-64 e RISC (MIPS e ARM)
6. Acesso e manipulação de dados estruturados

Estruturas de controlo em C

- **`if-else` *statement***

Estrutura geral:

```
...
  if (condição)
        expressão_1;
  else
        expressão_2;
...
```

Exemplo:

```
int absdiff(int x, int y)
{
  if (x < y)
    return y - x;
  else
    return x - y;
}
```

- **`do-while` *statement***
- **`while` *statement***
- **`for` *loop***
- **`switch` *statement***

Assembly:

- "`condição`":
  expressão Booleana, **V** ou **F**
- "`if condição` ***`statement`***":
  salte se **V** para **...**

Alteração do fluxo de execução de instruções

- **Por omissão, as instruções são sempre executadas sequencialmente, i.e., uma após outra** (em HLL & em ling. máq.)

- **Em HLL o fluxo de instruções poderá ser alterado:**
  - na execução de estruturas de controlo *(nestes slides...)*
  - na invocação / regresso de funções *(mais adiante...)*
  - na ocorrência de exceções / interrupções *(mais adiante?)*

- **Em ling. máq. isso traduz-se na alteração do IP, de modo incondicional / condicional, por um valor absoluto / relativo**
  - **`jump / branch / skip`** (no IA-32 apenas **`jmp`**)
  - **`call`** (com salvaguarda do endereço de regresso) e **`ret`**
  - em exceções / interrupções . . .

Instruções de controlo de fluxo no IA-32

jmp	Label	%eip ← Label	Unconditional jump
je	Label		Jump if Zero/Equal
js	Label		Jump if Negative
jg	Label		Jump if Greater (signed >)
jge	Label		Jump if Greater or equal (signed ≥)
ja	Label		Jump if Above (unsigned >)
jb	Label		Jump if Below (unsigned <)
call	Label	pushl %eip; %eip ← Label	Procedure call
ret		popl %eip	Procedure return

Codificação das condições no IA-32
(para utilização posterior)

- **Condições (V/F) codificadas a partir de registos de 1 bit -> *Flags***

  `ZF` *Zero Flag* `SF` *Sign Flag*

  `OF` *Overflow Flag* `CF` *Carry Flag*

- **As *Flags* podem ser implícita ou explicitamente alteradas:**
  - **implicitamente**, por operações aritméticas/lógicas; *exemplo:*

    `addl` *Src, Dest* **Equivalente em C:** `a = a + b`

    Flags afetadas: `ZF SF OF CF`

  - **explicitamente**, por instruções de comparação e teste

    `cmpl` *Src2, Src1* **Equivalente em C…** apenas calcula *`Src1-Src2`*

    Flags afetadas: `ZF SF OF CF`

    `testl` *Src2, Src1* **Equivalente em C…** apenas calcula *`Src1&Src2`*

    Flags afetadas: `ZF SF OF CF`

A condição codificada a partir das *Flags* pode ser:

– **Colocada diretamente num registo de 8 bits (V/F)** **ou...**

`setcc` *Dest* *Dest*: `%al %ah %dl %dh %ch %cl %bh %bl`

Nota: não altera restantes 3 *bytes* do reg de 32 bits; usada normal/ com `movzbl`

– **Usada numa instrução de salto condicional:**

`jcc` *Label* *Label*: endereço destino **ou** distância para destino

Códigos de condição (`cc`):

(set/j)**cc**	Descrição	*Flags*
(set/j)**e,z**	*Equal, zero*	**ZF**
(set/j)**ne**	*Not Equal*	**~ZF**
(set/j)**s**	*Sign (-)*	**SF**
(set/j)**ns**	*Not Sign (-)*	**~SF**

(set/j)**g**	> *(c/ sinal)*	**~(SF^OF)&~ZF**
(set/j)**ge**	≥ *(c/ sinal)*	**~(SF^OF)**
(set/j)**l**	< *(c/ sinal)*	**(SF^OF)**
(set/j)**le**	≤ *(c/ sinal)*	**(SF^OF)|ZF**
(set/j)**a**	> *(s/ sinal)*	**~CF&~ZF**
(set/j)**b**	< *(s/ sinal)*	**CF**

Análise de um exemplo

```
int absdiff(int x, int y)
{
  if (x < y)
    return y - x;
  else
    return x - y;
}
```

C original

```
int goto_diff(int x, int y)
{
  int rval;
  if (x < y)
    goto then_statement;
  rval = x - y;
  goto done;
then_statement:
  rval = y - x;
done:
  return rval;
}
```

Versão *goto*

Corpo

```
   movl 8(%ebp),%edx
   movl 12(%ebp),%eax
   cmpl %eax,%edx
   jl   .L3
   subl %eax,%edx
   movl %edx,%eax
   jmp  .L5
.L3:
   subl %edx,%eax
.L5:
```

```
# edx = x
# eax = y
# compare x : y (≈ x - y)
# if x<y, goto then_statement
# compute x - y
# return the value (x-y)
# goto done
# then_statement:
# return the value (y-x)
# done:
```

Generalização

```
if (expressão_de_teste)
     then_statement
else
     else_statement
```

Forma genérica em C

```
 cond = expressão_de_teste
 if (cond )
     goto true;
 else_statement
 goto done;
true:
 then_statement
done:
```

Versão com *goto*, ou *assembly* com sintaxe C

Generalização alternativa

```
if (expressão_de_teste)
     then_statement
else
     else_statement
```

Forma genérica em C

```
 cond = expressão_de_teste
 if (~cond )
     goto else;
 then_statement
 goto done;
else:
 else_statement
done:
```

Versão com *goto*, ou *assembly* com sintaxe C

Generalização alternativa *(sem else)*

```
if (expressão_de_teste)
     then_statement
else
     else_statement
```

Forma genérica em C

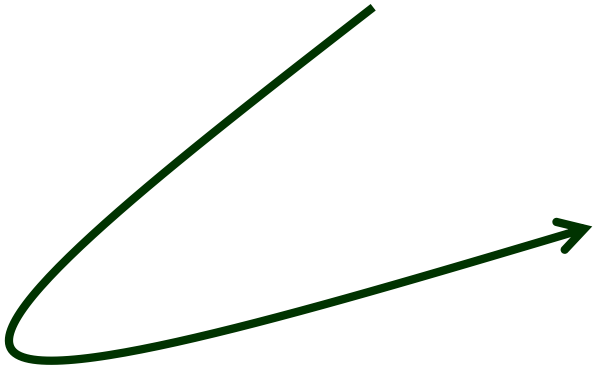
```
 cond = expressão_de_teste
 if (~cond )
     goto done;
 then_statement
 goto done;
else:
 else_statement
done:
```

Versão com *goto*, ou *assembly* com sintaxe C

Generalização

```
do
  body_statement
  while(expressão_de_teste);
```

Forma genérica em C



```
loop:
  body_statement
  cond = expressão_de_teste
  if (cond)
      goto loop;
```

Versão com *goto*, ou *assembly* com sintaxe C

Análise de um exemplo

– **série de Fibonacci:** $F_1 = F_2 = 1$

$F_n = F_{n-1} + F_{n-2}$, $n \geq 3$

```
int fib_dw(int n)
{
  int i = 0;
  int val = 0;
  int nval = 1;

  do {
    int t = val + nval;
    val = nval;
    nval = t;
    i++;
  } while (i<n);

    return val;
}
```

C original

```
int fib_dw_goto(int n)
{
  int i = 0;
  int val = 0;
  int nval = 1;

loop:
  int t = val + nval;
  val = nval;
  nval = t;
  i++;
  if (i<n);
    goto loop;
  return val;
}
```

Versão com *goto*

Análise de um exemplo
– série de Fibonacci

Utilização dos registos		
Variável	Registo	Valor inicial
n	**%esi**	**n** (argumento)
i	**%ecx**	**0**
val	**%ebx**	**0**
nval	**%edx**	**1**
t	**%eax**	**1**

```
int fib_dw_goto(int n)
{
  int i = 0;
  int val = 0;
  int nval = 1;

loop:
  int t = val + nval;
  val = nval;
  nval = t;
  i++;
  if (i<n);
    goto loop;
  return val;
}
```

Versão *goto*

Corpo (*loop*)

```
.L2:
    leal  (%edx,%ebx),%eax
    movl  %edx,%ebx
    movl  %eax,%edx
    incl  %ecx
    cmpl  %esi,%ecx
    jl    .L2
    movl  %ebx,%eax
```

```
# loop:
# t = val + nval
# val = nval
# nval = t
# i++
# compare i : n
# if i<n, goto loop
# para devolver val
```

`while` statement (1)

Generalização

```
while(expressão_de_teste)
  body_statement
```

Forma genérica em C

```
loop:
  cond = expressão_de_teste
  if (! cond)
     goto done;
  body_statement
  goto loop;
done:
```

Versão com *goto*

```
if (! expressão_de_teste)
    goto done;
do
    body_statement
    while(expressão_de_teste);
done:
```

Conversão `while` em `do-while`

```
  cond = expressão_de_teste
  if (! cond)
     goto done;
loop:
  body_statement
  cond = expressão_de_teste
  if (cond)
     goto loop;
done:
```

Versão `do-while` com *goto*

Análise de um exemplo

– série de Fibonacci

```
int fib_w(int n)
{
  int i = 1;
  int val = 1;
  int nval = 1;

 while (i<n) {
    int t = val + nval;
    val = nval;
    nval = t;
    i++;
  }

    return val;
}
```

C original

```
int fib_w_goto(int n)
{
  int i = 1;
  int val = 1;
  int nval = 1;

  if (i≥n);
    goto done;

loop:
  int t = val + nval;
  val = nval;
  nval = t;
  i++;
  if (i<n);
    goto loop;
done:
  return val;
}
```

Versão `do-while` com *goto*

Análise de um exemplo

– série de Fibonacci

Utilização dos registos		
Variável	**Registo**	**Valor inicial**
n	%esi	n
i	%ecx	1
val	%ebx	1
nval	%edx	1
t	%eax	2

```
int fib_w_goto(int n)
{
   (…)

   if (i≥n);
     goto done;

loop:
   (…)
   if (i<n);
     goto loop;
done:
   return val;
}
```

Versão do-while com *goto*

Corpo

```
   (…)                    # esi=n, i=val=nval=1
   cmpl %esi,%ecx         # compare i : n
   jge   .L7              # if i≥n, goto done
.L5:                      # loop:
   (…)
   cmpl %esi,%ecx         # compare i : n
   jl    .L5              # if i<n, goto loop
.L7:                      # done:
   movl %ebx,%eax         # return val
```

Nota: Código gerado com *gcc -O1 -S*

`for` loop (1)

Generalização

```
for (expr_inic; expr_test; update)
body_statement
```

Forma genérica em C

```
expr_inic ;
while (expr_test) {
   body_statement
   update ;
}
```

Conversão `for` em `while`

```
expr_inic ;
if (! expr_test)
    goto done;
do {
    body_statement
    update ;
} while (expr_test) ;
done:
```

Conversão para `do-while`

```
  expr_inic ;
  cond = expr_test ;
  if (! cond)
     goto done;
loop:
  body_statement
  update ;
  cond = expr_test ;
  if (cond)
     goto loop;
done:
```

Versão `do-while` com *goto*

Análise de um exemplo

– série de Fibonacci

```
int fib_f(int n)
{
  int i;
  int val = 1;
  int nval = 1;

 for (i=1; i<n; i++) {
    int t = val + nval;
    val = nval;
    nval = t;
}
    return val;
}
```

C original

```
int fib_f_goto(int n)
{
  int val = 1;
  int nval = 1;

  int i = 1;
  if (i≥n);
    goto done;

loop:
  int t = val + nval;
  val = nval;
  nval = t;
  i++;
  if (i<n);
    goto loop;
done:
  return val;
}
```

Versão `do-while` com *goto*

Nota: gcc gera mesmo código...

"Salto" com escolha múltipla;
alternativas de implementação:

- Sequência de `if-then-else` *statements*
- Com saltos "indiretos": endereços especificados numa tabela de salto (*jump table*)