LẬP TRÌNH HỆ THỐNG

TRƯỜNG ĐH CÔNG NGHỆ THÔNG TIN - ĐHQG-HCM
KHOA MẠNG MÁY TÍNH & TRUYỀN THÔNG
FACULTY OF COMPUTER NETWORK AND COMMUNICATIONS
Tầng 8 - Tòa nhà E, trường ĐH Công nghệ Thông tin, ĐHQG-HCM
Điện thoại: (08)3 725 1993 (122)

Machine-level programming: Điều khiển luồng

Làm thế nào biểu diễn trong assembly?

Code C

```
if (x>y)
    result = x + y;
else
    result = x - y;
```

Assembly code

// lệnh **if** để kiểm tra điều kiện trong assembly??

addl %ebx, %eax

// else??

subl %ebx, %eax

```
for(i=0; i<8; i++)
   result += i;
```

// Lệnh **for**??

và... ??

Ví dụ if/else trong assembly

Code C

```
int result;
if (x < y)
    result = y-x;
else
    result = x-y;
return result;
```

Assembly code

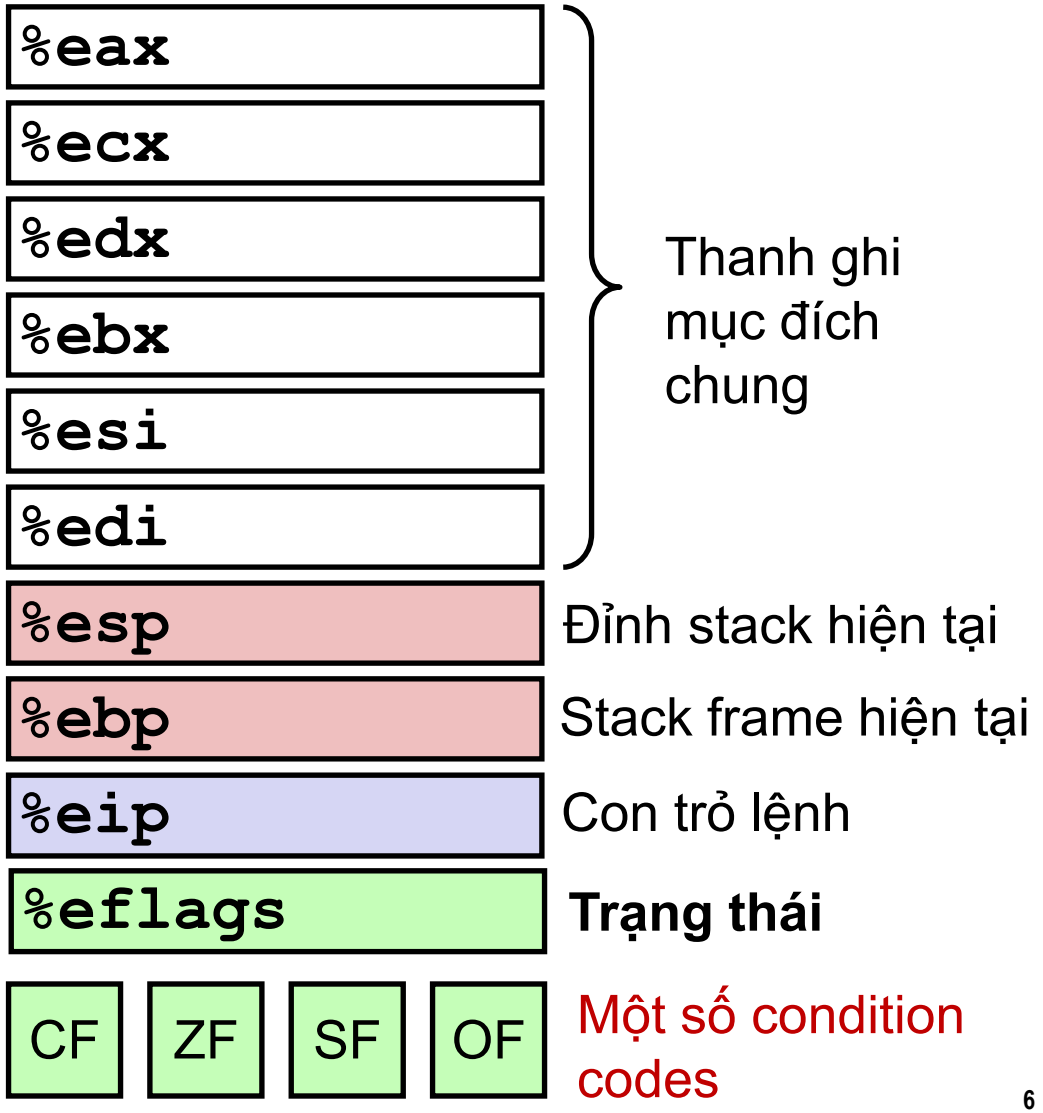
```
    x at %ebp+8, y at %ebp+12
1       movl    8(%ebp), %edx
2       movl    12(%ebp), %eax
3       cmpl    %eax, %edx
4       jge     .L2
5       subl    %edx, %eax
6       jmp     .L3
7   .L2:
8       subl    %eax, %edx
9       movl    %edx, %eax
10  .L3:
```

Nội dung

- **Điều khiển luồng: Condition codes**
- Rẽ nhánh có điều kiện
- Vòng lặp

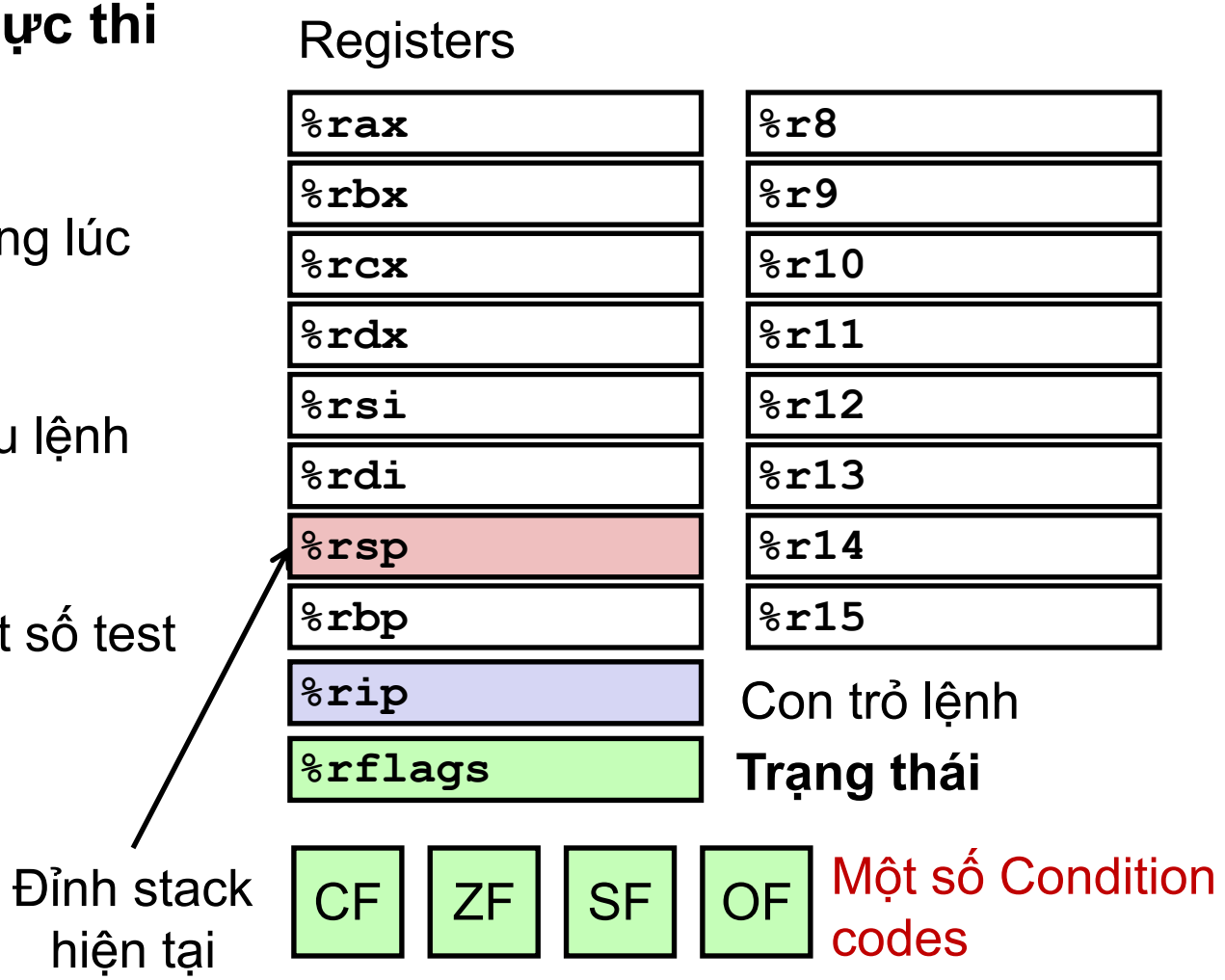
Trạng thái bộ xử lý (IA32)

- **Các thông tin về chương trình hiện đang thực thi**
  - Dữ liệu tạm thời (`%eax`, …)
  - Vị trí của stack trong lúc chạy (`%esp, %ebp`)
  - Vị trí kiểm soát câu lệnh được thực thi (`%eip, …`)
  - Trạng thái của một số test gần nhất (CF, ZF, SF, OF)



Trạng thái bộ xử lý (x86-64)?

- **Các thông tin về chương trình hiện đang thực thi**
  - Dữ liệu tạm thời (**`%rax`**, …)
  - Vị trí của stack trong lúc chạy (**`%rsp`**)
  - Vị trí kiểm soát câu lệnh được thực thi (**`%rip`**, …)
  - Trạng thái của một số test gần nhất (CF, ZF, SF, OF)



Condition Codes

- **Các "thanh ghi" 1-bit** (0 hoặc 1)
  - **CF -** Carry Flag (for unsigned) Được bật khi xảy ra tràn số không dấu
  - **SF -** Sign Flag (for signed) Được bật khi kết quả là số âm
  - **ZF -** Zero Flag Được bật khi kết quả là số 0
  - **OF** Overflow Flag (for signed) Được bật khi xảy ra tràn số có dấu

- Chứa trong thanh ghi **`%eflag / %rflag`**
- **Gán giá trị cho các condition codes**
  - Gán ngầm: qua các phép tính toán học
  - Gán tường minh: các lệnh so sánh, test
- **Condition codes** có thể được dùng để:
  - Thực thi các đoạn lệnh dựa trên các điều kiện
  - Gán giá trị dựa trên điều kiện
  - Chuyển dữ liệu dựa trên các điều kiện

Gán giá trị Condition Codes (1)
Gán ngầm qua phép tính toán học

- **Các "thanh ghi" 1-bit**
  - CF Carry Flag (for unsigned)
  - ZF Zero Flag
  - SF Sign Flag (for signed)
  - OF Overflow Flag (for signed)

- **Được gán ngầm bằng các phép tính toán học**
  - Có thể được xem là tác dụng phụ (side affect) của các phép toán này

  Ví dụ: **`addl`** `Src,Dest` ↔ t = a+b

  CF được gán nếu có nhớ bit ở most significant bit (tràn số không dấu)

  ZF được gán nếu t == 0

  SF được gán nếu t < 0 (có dấu)

  OF được gán nếu tràn số bù 2 (có dấu)
  (a>0 && b>0 && t<0) || (a<0 && b<0 && t>=0)

- **Không được gán giá trị bằng lệnh `leal`!**

Gán giá trị Condition Codes (2)
Gán tường minh qua phép so sánh

- **Giá trị được gán tường minh bằng các lệnh So sánh**
  - **`cmpl`** `Src2, Src1`
  - **`cmpl`** `b,a` tương tự như tính **`a - b`** mà không cần lưu lại kết quả tính

  - CF được gán nếu có nhớ bit ở most significant bit (dùng cho so sánh số không dấu)
  - ZF được gán nếu a == b
  - SF được gán nếu (a-b) < 0 (phép trừ có dấu - âm)
  - OF được gán nếu tràn số bù 2 (có dấu)
(a>0 && b<0 && (a-b)<0) || (a<0 && b>0 && (a-b)>0)

Gán giá trị Condition Codes (3)
Gán tường minh qua lệnh test

- **Gán tường minh bằng lệnh `test`**
  - **`testl`** *`Src2, Src1`*
    - **`testl b,a`** tương tự tính **`a & b`** mà không lưu lại kết quả tính
  - Gán giá trị các condition codes dựa trên giá trị của **`Src1 & Src2`**
  - Hữu ích khi có 1 toán hạng đóng vai trò là mask
  - ZF được gán khi **`a&b == 0`**
  - SF được gán khi **`a&b < 0`**

Sử dụng Condition Codes
Điều khiển luồng dựa trên điều kiện

- **Gán giá trị dựa trên điều kiện**
  - setX
- **Chuyển dữ liệu dựa trên điều kiện**
  - Conditional move
- **Rẽ nhánh có điều kiện**
  - Instruction rẽ nhánh: jX
  - If/else
  - Vòng lặp (loop)

Nội dung

- Điều khiển luồng: Condition codes
- **Rẽ nhánh có điều kiện**
- Vòng lặp

Các câu lệnh jump

- **Các lệnh rẽ nhánh: jX**
  - `jX label`
  - Nhảy đến đoạn mã khác (được gán nhãn `label`) để thực thi dựa trên các condition codes.

jX	Điều kiện	Mô tả
`jmp`	`1`	Nhảy không điều kiện
`je`	`ZF`	Equal / Zero
`jne`	`~ZF`	Not Equal / Not Zero
`js`	`SF`	Negative
`jns`	`~SF`	Nonnegative
`jg`	`~(SF^OF)&~ZF`	Greater (Signed)
`jge`	`~(SF^OF)`	Greater or Equal (Signed)
`jl`	`(SF^OF)`	Less (Signed)
`jle`	`(SF^OF)|ZF`	Less or Equal (Signed)
`ja`	`~CF&~ZF`	Above (unsigned)
`jb`	`CF`	Below (unsigned)

Các câu lệnh jump kết hợp với so sánh

- Các lệnh jump thường kết hợp với các lệnh so sánh/test
  - Kết quả của lệnh so sánh/test quyết định có thực hiện jump hay không.

```
cmpl src2, src1
jX label
```

jX	Điều kiện nhảy
je	src1 == src2
jne	src1 != src2
jg	src1 > src2
jge	src1 ≥ src2
jl	src1 < src2
jle	src1 ≤ src2

Sử dụng lệnh jX nào?

- Cho các giá trị: %eax = x %ebx = y %ecx = z
- Một đoạn mã gán nhãn .L1

Điều kiện nhảy đến .L1	Tổ hợp lệnh `cmpl/test` và `jX`
x == y	
y != z	
z > x	
x < 0	
y == 0	
z	
true	

Rẽ nhánh có điều kiện – Ví dụ

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

```
    x at %ebp+8, y at %ebp+12
1       movl    8(%ebp), %edx   //x
2       movl    12(%ebp), %eax  //y
3       cmpl    %eax, %edx
4       jge     .L2
5       subl    %edx, %eax
6       jmp     .L3
7   .L2:                        # x >= y
8       subl    %eax, %edx
9       movl    %edx, %eax
10  .L3:
```

Sử dụng điều kiện nhảy là điều kiện **false** của if

Rẽ nhánh có điều kiện – Ví dụ (tt)

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

```
x at %ebp+8, y at %ebp+12
1.      movl    8(%ebp), %edx   //x
2.      movl    12(%ebp), %eax  //y
3.      cmpl    %eax, %edx
4.      jl      .L2
5.      subl    %eax, %edx
6.      movl    %edx, %eax
7.      jmp     .L3
8.  .L2:
9.      subl    %edx, %eax
10. .L3
```

Sử dụng điều kiện nhảy là điều kiện **true** của if

Chuyển mã rẽ nhánh có điều kiện

Từ C sang assembly: Dạng Goto

- C hỗ trợ **goto** statement → bản chất giống lệnh **jmp**
- Nhảy đến vị trí xác định bởi **label**

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

```
int absdiff_j(int x, int y)
{
    int result;
    int ntest = x <= y;
    if (ntest) goto Else;
    result = x-y;
    goto Done;
 Else:
    result = y-x;
 Done:
    return result;
}
```

Chuyển mã rẽ nhánh có điều kiện
Từ C sang assembly: Phương pháp chung

C code

```
if (test-expr)
   then-statement;
else
   else-statement;
```

Dạng Goto *(thực hiện tính toán và luồng tương tự mã assembly)*

```
        nt = !test-expr;
        if (nt)
                goto False;
        then-statement;
        goto Done;
False:
        else-statement;
Done:
```

Assembly code

```
        …
        <instructions to check nt>
        jX False
        <instructions of then-statement>
        jmp Done
False:
        <instruction of else-statement>
Done:
        …
```

Chuyển mã rẽ nhánh có điều kiện
Từ C sang assembly: Phương pháp chung

C code

```
if (a>b)
    result = a^b;
else
    result = a&b;
```

Dạng Goto *(thực hiện tính toán và luồng tương tự mã assembly)*

```
        nt = a <= b;
        if (nt)
                goto False;
        result = a^b;
        goto Done;
False:
        result = a&b;
Done:
```

Assembly code

```
%eax = a
%ebx = b
```

```
        …
        cmpl %ebx, %eax
        jle False
        xorl %ebx, %eax
        jmp Done
False:
        andl %ebx, %eax

Done:
        // return value in %eax
```

Chuyển mã rẽ nhánh có điều kiện

Ví dụ 2.1: if/else - Từ C sang assembly

```
1   int func(int x, int y)
2   {
3       int result = 0;
4       if (x > 2)
5           result = x + y;
6       else
7           result = x - y;
8       return result;
9   }
```

```
// x at %ebp+8, y at %ebp+12
1.      movl    $0, -4(%ebp) //result
```

Dạng Goto *(thực hiện tính toán và luồng tương tự mã assembly)*

```
1.  int func(int x, int y)
2.  {
3.          int result = 0;
4.          not_true = [          ];
5.          if (not_true)
6.                  goto False;
7.          [                     ]
8.          goto Done;
9.      False:
10.         [                     ]
11.     Done:
12. }
```

Chuyển mã rẽ nhánh có điều kiện

Ví dụ 2.2: if/else - Từ C sang assembly

```
1    int func(int x, int y) {
2        int sum = 0;
3        if (x != 0)
4            y--;
5        sum = x + y;
6        return sum;
7    }
```

```
// x at %ebp+8, y at %ebp+12
1.      movl $0, -4(%ebp) //sum
```

Dạng Goto *(thực hiện tính toán và luồng tương tự mã assembly)*

```
1.  int func(int x, int y)
2.  {
3.          int sum = 0;
4.          not_true = [          ];
5.          if (not_true)
6.                  goto False;
7.          [                     ]
8.          goto Done;
9.      False:
10.     Done:
11.         sum = x + y;
12. }
```

Chuyển mã rẽ nhánh có điều kiện

Ví dụ 3: Nested if - Từ C sang assembly

C code

```
1   int func(int x, int y)
2   {
3       int result = 0;
4       if (x)
5       {
6           if (y > 1)
7               result = x + y;
8           else
9               result = x * y;
10      }
11  }
```

if #1

if #2

Goto code

```
1.  int func(int x, int y)
2.  {
3.          int result = 0;
4.          notif1 = [          ];
5.          if (notif1)
6.                goto F1;
7.          notif2 = [          ]
8.          if (notif2)
9.                goto F2;
10.         result = x + y;
11.         goto Done;
12.     F2:
13.         result = x * y;
14.     F1:
15.     Done:
16. }
```

Chuyển mã rẽ nhánh có điều kiện

Ví dụ 3: Nested if - Từ C sang assembly

C code

```
1   int func(int x, int y)
2   {
3       int result = 0;
4       if (x)
5       {
6           if (y > 1)
7               result = x + y;
8           else
9               result = x * y;
10      }
11  }
```

if #1

if #2

Assembly code

```
// x at %ebp+8, y at %ebp+12
1.      movl    $0, -4(%ebp)   #result
```

Chuyển mã rẽ nhánh có điều kiện

Ví dụ 4: if/else - Từ C sang assembly

C code

```
1   int func(int x, int y)
2   {
3     int result = 0;
4     if ( y && x!= y)
5       result = x + y;
6     return result;
7   }
```

Viết Assembly code tương ứng?

Biết giá trị trả về sẽ lưu trong thanh ghi %eax

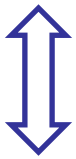
```
// x at %ebp+8, y at %ebp+12
1.      movl    $0, -4(%ebp)   //result
```

Chuyển mã rẽ nhánh có điều kiện

Ví dụ 5: if/else - Từ C sang assembly

C code

```
1. int arith(int a, int b, int c)
2. {
3.     int sum = 0;
4.     if(c < 0 || a == b)
5.         sum = (a & b)^c;
6.     return sum;
7. }
```



```
1. int arith(int a, int b, int c)
2. {
3.     int sum = 0;
4.     if (c < 0)
5.         sum = (a & b)^c;
6.     else if (a == b)
7.         sum = (a & b)^c;
8.     return sum;
9. }
```

Viết Code Goto và Assembly tương ứng?

Biết giá trị trả về sẽ lưu trong thanh ghi %eax

```
// a at %ebp+8, b at %ebp+12, c at %ebp+16
1.      movl   $0, -4(%ebp) // sum
2.
```

Chuyển mã rẽ nhánh có điều kiện

Ví dụ 1: if/else - Từ assembly sang C

Assembly code

```
x at ebp+8, y at ebp+12, sum at eax
1.          movl 8(%ebp),%ecx     //x
2.          movl 12(%ebp),%ebx    //y
3.          cmpl $0,%ecx
4.          jle .L2
5.          leal (%ecx,%ebx),%eax
6.          jmp .L3
7.  .L2:
8.          movl %ebx,%eax
9.          subl %ecx,%eax
10..L3:
```

Dự đoán Code C?

Chuyển mã rẽ nhánh có điều kiện

Ví dụ 2: if/else - Từ assembly sang C

Assembly code

```
x at ebp+8, y at ebp+12, sum at ebp-4
1.      movl 8(%ebp),%eax
2.      cmpl 12(%ebp),%eax
3.      jg   .L1
4.      addl 12(%ebp),%eax
5.      movl %eax,-4(%ebp)
6.  .L1:
7.      incl -4(%ebp)
```

Dự đoán Code C?

Nội dung

- Điều khiển luồng: Condition codes
- Rẽ nhánh có điều kiện
- **Vòng lặp**

Vòng lặp – Ví dụ

Code C

```
int i, sum = 0;
for (i = 0; i < 10; i++)
     sum += i;
```

```
int i = 0, sum = 0;
while (i < 10)
{
   sum += i;
   i++;
}
```

Code assembly

```
1.       movl $0, -4(%ebp)    # i
2.       movl $0, -8(%ebp)    # result
3.       jmp .test
4.  .Loop:
5.       movl -4(%ebp), %eax
6.       addl %eax, -8(%ebp)
7.       incl -4(%ebp)
8.  .test:
9.       cmpl $10, -4(%ebp)
10.      jl .Loop
11.  // outside of loop
```

Vòng lặp (loops)

- **Vòng lặp trong C**
  - do-while
  - while
  - for

- **Vòng lặp ở mức máy tính**
  - Không có instruction hỗ trợ trực tiếp
  - Là tổ hợp các phép **kiểm tra** và **jump có điều kiện**
  - Dựa trên dạng vòng lặp **do-while**
    - Các dạng vòng lặp khác trong C sẽ được chuyển sang dạng này sau đó biên dịch thành mã máy

Vòng lặp Do-While

C Code

```
int pcount_do(unsigned int x)
{
  int result = 0;
  do {
    result += x & 0x1;
    x >>= 1;
  } while (x);
  return result;
}
```

Goto Version

```
int pcount_goto(unsigned int x)
{
    long result = 0;
 loop:
    result += x & 0x1;
    x >>= 1;
    if(x) goto loop;
    return result;
}
```

- Đếm số bit 1 có trong tham số x (“popcount”)
- Sử dụng rẽ nhánh có điều kiện để tiếp tục hoặc thoát khỏi vòng lặp

Biên dịch vòng lặp Do-While

Goto Version

```
int pcount_goto(unsigned int x)
{
        int result = 0;
 loop:
        result += x & 0x1;
        x >>= 1;
        if(x) goto loop;
        return result;
}
```

- Registers:
  - %edx x
  - %ecx result

```
   movl   $0, %ecx      #   result = 0
.L2:      # loop:
   movl   %edx, %eax
   andl   $1, %eax      #   t = x & 1
   addl   %eax, %ecx    #   result += t
   shrl   %edx          #   x >>= 1
   jne    .L2           #   If !0, goto loop
```

Chuyển mã vòng lặp **Do-while**: **Tổng quát**

C Code

```
do
   Body
while (Test);
```

Goto Version

```
loop:
   Body
   if (Test)
      goto loop
```

- **Body:**

```
{
   Statement1;
   Statement2;
      …
   Statementn;
}
```

Chuyển mã vòng lặp – Từ C sang assembly

Ví dụ

C Code

```
int func1(int a)
{
  int sum = 0, n = 0;
  do{
     sum += a;
     n++;
  } while (n<10)
  return sum;
}
```

```
int func1(int a)
{
  int sum = 0, n = 0;
  loop:
     sum += a;
     n++;
  if (n < 10)
     goto loop;
  return sum;
}
```

Code assembly

```
// a ở ô nhớ 8(%ebp)
1.    ...
2.    movl $0, -4(%ebp) # sum
3.    movl $0, -8(%ebp) # n
```

Chuyển mã vòng lặp **While**

- Khác biệt giữa **do-while** và **while**?
  - **Do-while**: thực hiện body ít nhất 1 lần
  - **While**: có thể không thực hiện
- **Chuyển While sang Do-while**
  - Cần đảm bảo thực hiện kiểm tra điều kiện trước tiên!

Chuyển mã vòng lặp **While – Dạng 1**

- Chuyển mã dạng "**nhảy vào giữa**" → kiểm tra điều kiện trước
- Sử dụng với option **-Og**

While version

```
while (Test)
  Body
```

Goto Version

```
  goto test;
loop:
  Body
test:
  if (Test)
    goto loop;
done:
```

Chuyển mã vòng lặp **While – Dạng 1 – Ví dụ**

C Code

```
int pcount_while
(unsigned int x)
{
  int result = 0;
  while (x) {
    result += x & 0x1;
    x >>= 1;
  }
  return result;
}
```

Dạng "Nhảy vào giữa"

```
int pcount_goto_jtm
   (unsigned int x)
{
    int result = 0;
    goto test;
 loop:
    result += x & 0x1;
    x >>= 1;
 test:
    if(x) goto loop;
    return result;
}
```

- Goto đầu tiên bắt đầu vòng lặp tại test để kiểm tra điều kiện trước

Chuyển mã vòng lặp **While – Dạng 2**

While version

```
while (Test)
  Body
```

Do-While Version

```
  if (!Test)
    goto done;
  do
    Body
  while(Test);
done:
```

Goto Version

```
  if (!Test)
    goto done;
loop:
  Body
  if (Test)
    goto loop;
done:
```

- Chuyển sang dạng "Do-while"
- Sử dụng với option **–O1**

Chuyển mã vòng lặp **While – Dạng 2 – Ví dụ**

C Code

```
int pcount_while
(unsigned int x)
{
  int result = 0;
  while (x) {
    result += x & 0x1;
    x >>= 1;
  }
  return result;
}
```

Dạng Do-While

```
int pcount_goto_dw
  (unsigned int x)
{
    int result = 0;
    if (!x) goto done;
 loop:
    result += x & 0x1;
    x >>= 1;
    if(x) goto loop;
 done:
    return result;
}
```

- Điều kiện ban đầu được kiểm tra trước khi vào vòng lặp

Dạng vòng lặp For

for (*Init*; *Test* ; *Update*)

Body

```
#define WSIZE 8*sizeof(int)
int pcount_for(unsigned int x)
{
  size_t i;
  int result = 0;
  for (i = 0; i < WSIZE; i++)
  {
    unsigned bit =
       (x >> i) & 0x1;
    result += bit;
  }
  return result;
}
```

Khởi tạo

```
i = 0
```

Kiểm tra

```
i < WSIZE
```

Cập nhật

```
i++
```

Body

```
{
  unsigned bit =
     (x >> i) & 0x1;
  result += bit;
}
```

Vòng lặp For → Vòng lặp While

For Version

```
for (Init; Test; Update)
        Body
```

While Version

```
Init;
while (Test) {
        Body
        Update;
}
```

Chuyển vòng lặp For sang While

Khởi tạo

```
i = 0
```

Kiểm tra

```
i < WSIZE
```

Cập nhật

```
i++
```

Body

```
{
  unsigned bit =
     (x >> i) & 0x1;
  result += bit;
}
```

```
int pcount_for_while(unsigned int x)
{
  size_t i;
  long result = 0;
  i = 0;
  while (i < WSIZE)
  {
    unsigned bit =
      (x >> i) & 0x1;
    result += bit;
    i++;
  }
  return result;
}
```

Chuyển vòng lặp For sang Do-While

C Code

```
int pcount_for(unsigned int x)
{
  size_t i;
  int result = 0;
  for (i = 0; i < WSIZE; i++)
  {
    unsigned bit =
      (x >> i) & 0x1;
    result += bit;
  }
  return result;
}
```

Goto Version

```
int pcount_for_goto_dw
  (unsigned int x) {
  size_t i;
  int result = 0;
  i = 0;                          Init
  if (!(i < WSIZE))               ! Test
    goto done;
 loop:
  {
    unsigned bit =
      (x >> i) & 0x1;             Body
    result += bit;
  }
  i++;                            Update
  if (i < WSIZE)                  Test
    goto loop;
 done:
  return result;
}
```

Chuyển mã vòng lặp – Từ C sang assembly

Ví dụ

C Code

```
int func1(int a)
{
  int sum = 0;
  for (int i = 0; i < a; i+=2)
     sum += (a - i);
  return sum;
}
```

Code assembly

```
// a ở ô nhớ 8(%ebp)
1.   ...
2.   movl $0, -4(%ebp) # sum
3.   movl $0, -8(%ebp) # i
```

Chuyển mã vòng lặp – Từ assembly sang C

Ví dụ 1

```
// x at 8(%ebp)
1.  func:
2.          ...
3.          movl $0,-4(%ebp)      # count
4.  .L1:
5.          addl $2,8(%ebp)
6.          incl -4(%ebp)
7.          cmpl $9,8(%ebp)
8.          jle .L1
9.          movl -4(%ebp),%eax    # return
10.         leave
11.         ret
```

- Khởi tạo?
- Điều kiện duy trì?
- Body?

Chuyển mã vòng lặp – Từ assembly sang C
Ví dụ 2

```
func:
1.          …
2.          movl $0,-8(%ebp)      # count
3.          movl $0,-4(%ebp)      # i
4.  .L2:
5.          cmpl $19,-4(%ebp)
6.          jg .L3
7.          movl -4(%ebp),%eax
8.          addl %eax,-8(%ebp)
9.          incl -4(%ebp)
10.         jmp .L2
11..L3:
12.         leave
13.         ret
```

- Khởi tạo?
- Điều kiện dừng?
- Cập nhật?
- Body?

Chuyển mã vòng lặp – Từ assembly sang C
Ví dụ 3

```
1.          movl $0,-8(%ebp)      # count
2.          movl $0,-4(%ebp)      # i
3.  .L1:
4.          cmpl $25,-4(%ebp)     // Kiểm tra điều
5.          jge  .L3              kiện trước tiên
6.          movl -4(%ebp),%eax
7.          cmpl -8(%ebp), %eax
8.          jg   .L2
9.          addl %eax,-8(%ebp)
10. .L2:
11.         subl %eax, -8(%ebp)
12.         incl -4(%ebp)
13.         jmp .L1
14. .L3:
15.         leave
16.         ret
```

- Khởi tạo?
- Điều kiện duy trì vòng lặp?
- Body?

Chuyển mã vòng lặp – Từ assembly sang C
Ví dụ 4

Cho mảng ký tự **char* a** có độ dài **len**

```
//  &a[0] at %ebp+8, len at %ebp+12
1.  array_func:
2.          movl    $0, -8(%ebp) # result
3.          movl    $0, -4(%ebp) # i
4.          jmp     .L2
5.  .L3:
6.          movl    -4(%ebp), %edx
7.          movl    8(%ebp), %eax
8.          addl    %edx, %eax
9.          mov     (%eax), %al
10.         subl    $48, %eax
11.         addl    %eax, -8(%ebp)
12.         addl    $1, -4(%ebp)
13. .L2:
14.         movl    -4(%ebp), %eax
15.         cmpl    12(%ebp), %eax
16.         jl      .L3
17.         movl    -8(%ebp), %eax #return
```

- Khởi tạo?
- Điều kiện dừng?
- Cập nhật?
- Body?

Ví dụ 5

Cho đoạn mã assembly, chọn đoạn mã C tương ứng?

```
//  a at 8(%ebp), b at 12(%ebp), i at -4(%ebp), sum at -8(%ebp)
1.  .L3:
2.          movl    8(%ebp), %eax
3.          addl    12(%ebp), %eax
4.          addl    %eax, -8(%ebp)
5.          addl    $2, -4(%ebp)
6.          cmpl    $10, -4(%ebp)
7.          jl      .L3
8.          movl    -8(%ebp), %eax #return
```

A.
```
do {
    a += b;
    sum += a;
    i = i + 2;
}while (i < 10)
```

B.
```
do {
    sum += a + b;
    i = i + 2;
}while (i <= 10)
```

C. A và B đúng

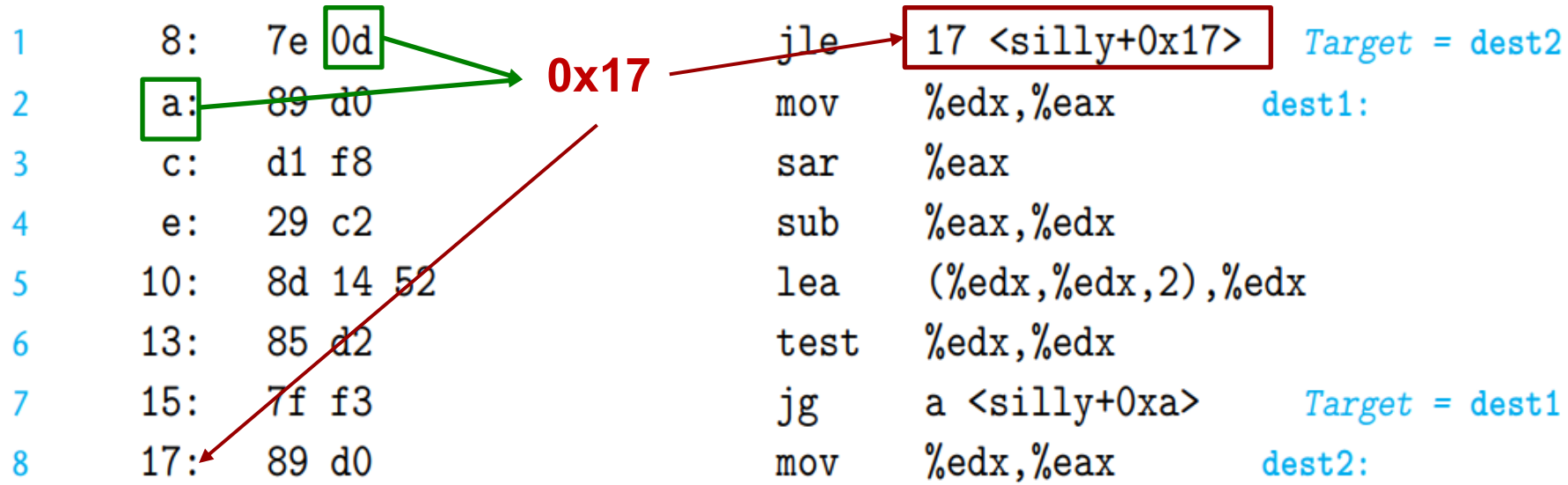
D. A và B sai

Extra 1: Các câu lệnh jump - Label

- Vị trí sẽ nhảy đến của các lệnh jump trong mã assembly được biểu diễn dưới dạng các *label.*
- **Assembler** và **Linker** có thể lựa chọn 1 trong 2 cách để xác định vị trí nhảy đến:
  - *Địa chỉ tuyệt đối*: 4 (hoặc 8) bytes địa chỉ chính xác của instruction đích muốn nhảy đến.
  - *PC relative – địa chỉ tương đối*: khoảng cách tương đối giữa instruction đích và vị trí instruction liền sau lệnh jump (giá trị thanh ghi PC).

Extra 1: Các câu lệnh jump - Label

- ***PC relative – địa chỉ tương đối***




```
1      8:   7e 0d          jle    17 <silly+0x17>   Target = dest2
2      a:   89 d0          mov    %edx,%eax         dest1:
3      c:   d1 f8          sar    %eax
4      e:   29 c2          sub    %eax,%edx
5     10:   8d 14 52       lea    (%edx,%edx,2),%edx
6     13:   85 d2          test   %edx,%edx
7     15:   7f f3          jg     a <silly+0xa>     Target = dest1
8     17:   89 d0          mov    %edx,%eax         dest2:
```

Extra 2: Sử dụng Condition Codes
Gán giá trị dựa trên điều kiện

- Các instruction SetX
  - **`setx`** *`dest`*
  - Gán ***byte thấp nhất (low-order byte)*** của destination thành 1 hoặc 0 dựa trên 1 nhóm các condition codes.
  - Không thay đổi 7 bytes còn lại

SetX	Condition	Description
`sete`	`ZF`	Equal / Zero
`setne`	`~ZF`	Not Equal / Not Zero
`sets`	`SF`	Negative
`setns`	`~SF`	Nonnegative
`setg`	`~(SF^OF)&~ZF`	Greater (Signed)
`setge`	`~(SF^OF)`	Greater or Equal (Signed)
`setl`	`(SF^OF)`	Less (Signed)
`setle`	`(SF^OF)|ZF`	Less or Equal (Signed)
`seta`	`~CF&~ZF`	Above (unsigned)
`setb`	`CF`	Below (unsigned)

Các thanh ghi x86-64: low-order byte?

%rax	%al
%rbx	%bl
%rcx	%cl
%rdx	%dl
%rsi	%sil
%rdi	%dil
%rsp	%spl
%rbp	%bpl

%r8	%r8b
%r9	%r9b
%r10	%r10b
%r11	%r11b
%r12	%r12b
%r13	%r13b
%r14	%r14b
%r15	%r15b

- Có thể tham chiếu đến các byte thấp này

Extra 2: Sử dụng Condition Codes
Gán giá trị dựa trên điều kiện (tt)

- Các instruction SetX:
  - Gán giá trị cho 1 byte dựa trên 1 nhóm các condition codes
- Thay đổi 1 byte trong các thanh ghi
  - Không thay đổi các bytes còn lại
  - Thường dùng **`movzbl`**
    - Instruction 32-bit cũng gán 32 bits cao thành 0

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

Thanh ghi	Tác dụng
`%rdi`	Tham số `x`
`%rsi`	Tham số `y`
`%rax`	Giá trị trả về

```
cmpq    %rsi, %rdi    # Compare x:y
setg    %al           # Set when >
movzbl  %al, %eax     # Zero rest of %rax
ret
```

Extra 3: Sử dụng Condition Codes
Chuyển giá trị có điều kiện (conditional move)

- Các instruction move có điều kiện
  - Hỗ trợ thực hiện:

    if (Test) Dest ← Src
  - Hỗ trợ trong các bộ xử lý x86 từ 1995 trở về sau
  - GCC tries to use them
    - But, only when known to be safe
- Why?
  - Branches are very disruptive to instruction flow through pipelines
  - Conditional moves không cần chuyển luồng

C Code

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

Goto Version

```
result = Then_Expr;
eval = Else_Expr;
nt = !Test;
if (nt) result = eval;
return result;
```

Chuyển giá trị có điều kiện (conditional move)
Ví dụ

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

Register	Use(s)
%rdi	Argument x
%rsi	Argument y
%rax	Return value

```
absdiff:
    movq    %rdi, %rax   # x
    subq    %rsi, %rax   # result = x-y
    movq    %rsi, %rdx
    subq    %rdi, %rdx   # eval = y-x
    cmpq    %rsi, %rdi   # x:y
    cmovle  %rdx, %rax   # if <=, result = eval
    ret
```

Chuyển giá trị có điều kiện (conditional move)
Bad cases

Tính toán phức tạp

```
val = Test(x) ? Hard1(x) : Hard2(x);
```

- Cả 2 giá trị đều được tính toán
- Chỉ hữu ích khi các phép tính toán đều đơn giản

Tính toán có rủi ro

```
val = p ? *p : 0;
```

- Cả 2 giá trị đều được tính toán
- Có thể có những ảnh hưởng không mong muốn (p null?)

Tính toán có tác động phụ

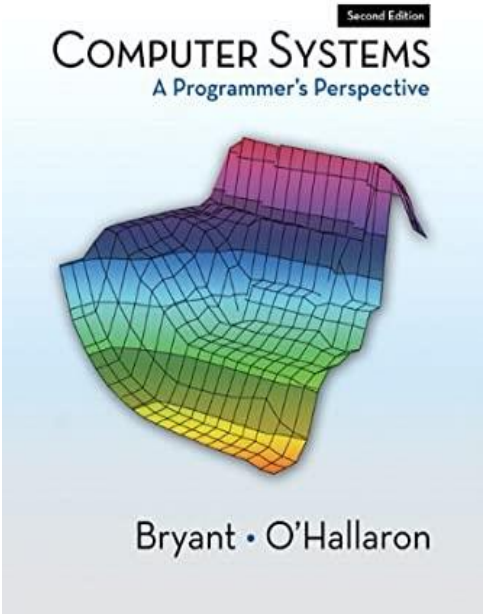
```
val = x > 0 ? x*=7 : x+=3;
```

- Cả 2 giá trị đều được tính toán
- Cần loại bỏ tác động phụ

Nội dung

- **Các chủ đề chính:**
  1) Biểu diễn các kiểu dữ liệu và các phép tính toán bit
  2) Ngôn ngữ assembly cơ bản
  3) Điều khiển luồng trong C với assembly
  4) Các thủ tục/hàm (procedure) trong C ở mức assembly
  5) Biểu diễn mảng, cấu trúc dữ liệu trong C
  6) Một số topic ATTT: reverse engineering, bufferoverflow
  7) Phân cấp bộ nhớ, cache
  8) Linking trong biên dịch file thực thi
- **Lab liên quan**
  - Lab 1: Nội dung **1**
  - Lab 2: Nội dung 1, **2, 3**
  - Lab 3: Nội dung 1, **2, 3, 4, 5, 6**
  - Lab 4: Nội dung 1, **2,** 3**,** **4**, 5, **6**
  - Lab 5: Nội dung 1, **2,** 3**,** **4**, 5, **6**
  - Lab 6: Nội dung **1, 2, 3, 4, 5, 6**

Giáo trình



- **Giáo trình chính**

Computer Systems: A Programmer's Perspective

  - Second Edition (CS:APP2e), Pearson, 2010
  - Randal E. Bryant, David R. O'Hallaron
  - http://csapp.cs.cmu.edu

- **Tài liệu khác**
  - *The C Programming Language*, Second Edition, Prentice Hall, 1988
    - Brian Kernighan and Dennis Ritchie
  - *The IDA Pro Book: The Unofficial Guide to the World's Most Popular Disassembler*, 1st Edition, 2008
    - Chris Eagle
  - *Reversing: Secrets of Reverse Engineering*, 1st Edition, 2011
    - Eldad Eilam


KEEP
CALM
AND
ENJOY YOUR
SEMESTER :)