

LẬP TRÌNH HỆ THỐNG

ThS. Đỗ Thị Hương Lan
(landth@uit.edu.vn)



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: Cơ bản



Nội dung

- **Sơ lược lịch sử các bộ xử lý và kiến trúc Intel**
- C, assembly, mã máy
- Cơ bản về Assembly: Registers, move
- Các phép tính toán học và logic

Intel x86 Processors

- **Thống trị thị trường laptop/desktop/server**
- **Sự phát triển trong thiết kế**
 - Cho phép tương thích ngược đến 8086 (1978)
 - Hỗ trợ ngày càng nhiều tính năng
- **Complex instruction set computer (CISC)**
 - Nhiều instructions khác nhau với nhiều format khác nhau
 - Khó đạt hiệu suất như Reduced Instruction Set Computers (RISC)
 - Nhưng Intel đã làm được điều đó!

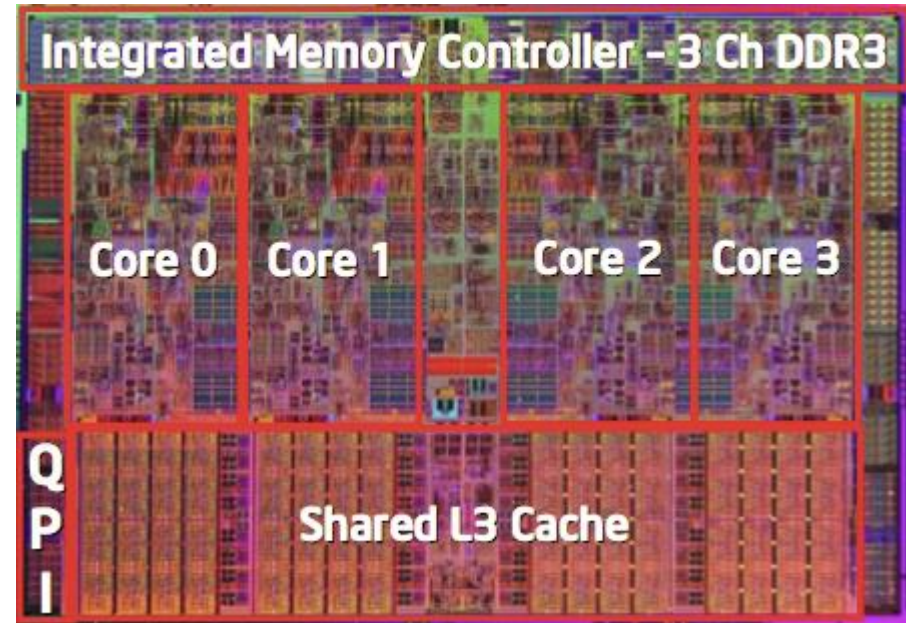
Intel x86: Các mốc phát triển

<i>Tên</i>	<i>Thời gian</i>	<i>Transistors</i>	<i>MHz</i>
■ 8086	1978	29K	5-10
<ul style="list-style-type: none">▪ Bộ xử lý Intel 16-bit đầu tiên. Cho IBM PC & DOS▪ Không gian địa chỉ 1MB			
■ 386	1985	275K	16-33
<ul style="list-style-type: none">▪ Bộ xử lý Intel 32-bit đầu tiên, gọi tắt là IA32▪ Được thêm “flat addressing”, có thể chạy Unix			
■ Pentium 4E	2004	125M	2800-3800
<ul style="list-style-type: none">▪ Bộ xử lý Intel 64-bit đầu tiên, gọi tắt là x86-64			
■ Core 2	2006	291M	1060-3500
<ul style="list-style-type: none">▪ Bộ xử lý Intel nhiều core đầu tiên			
■ Core i7	2008	731M	1700-3900
<ul style="list-style-type: none">▪ 4 cores			

Intel x86 Processors (tt)

■ Machine Evolution

■ 386	1985	0.3M
■ Pentium	1993	3.1M
■ Pentium/MMX	1997	4.5M
■ PentiumPro	1995	6.5M
■ Pentium III	1999	8.2M
■ Pentium 4	2001	42M
■ Core 2 Duo	2006	291M
■ Core i7	2008	731M



■ Tính năng được thêm

- Instructions để hỗ trợ multimedia operations
- Instructions cho phép các hoạt động có điều kiện hiệu quả hơn
- Chuyển từ 32 bits sang 64 bits
- Nhiều core hơn

Phạm vi môn học

- **IA32** (32 bit)
- **x86-64** (64 bit)

Nội dung

- Sơ lược lịch sử các bộ xử lý và kiến trúc Intel
- **C, assembly, mã máy**
- Cơ bản về Assembly: Registers, move
- Các phép tính toán học và logic

Assembly: Vì sao?

■ Ngôn ngữ cấp cao

- Dễ sử dụng
- Tính năng hỗ trợ: kiểm tra kiểu dữ liệu, phát hiện lỗi...
- Có thể biên dịch và thực thi trên nhiều máy tính

■ Assembly – Hợp ngữ

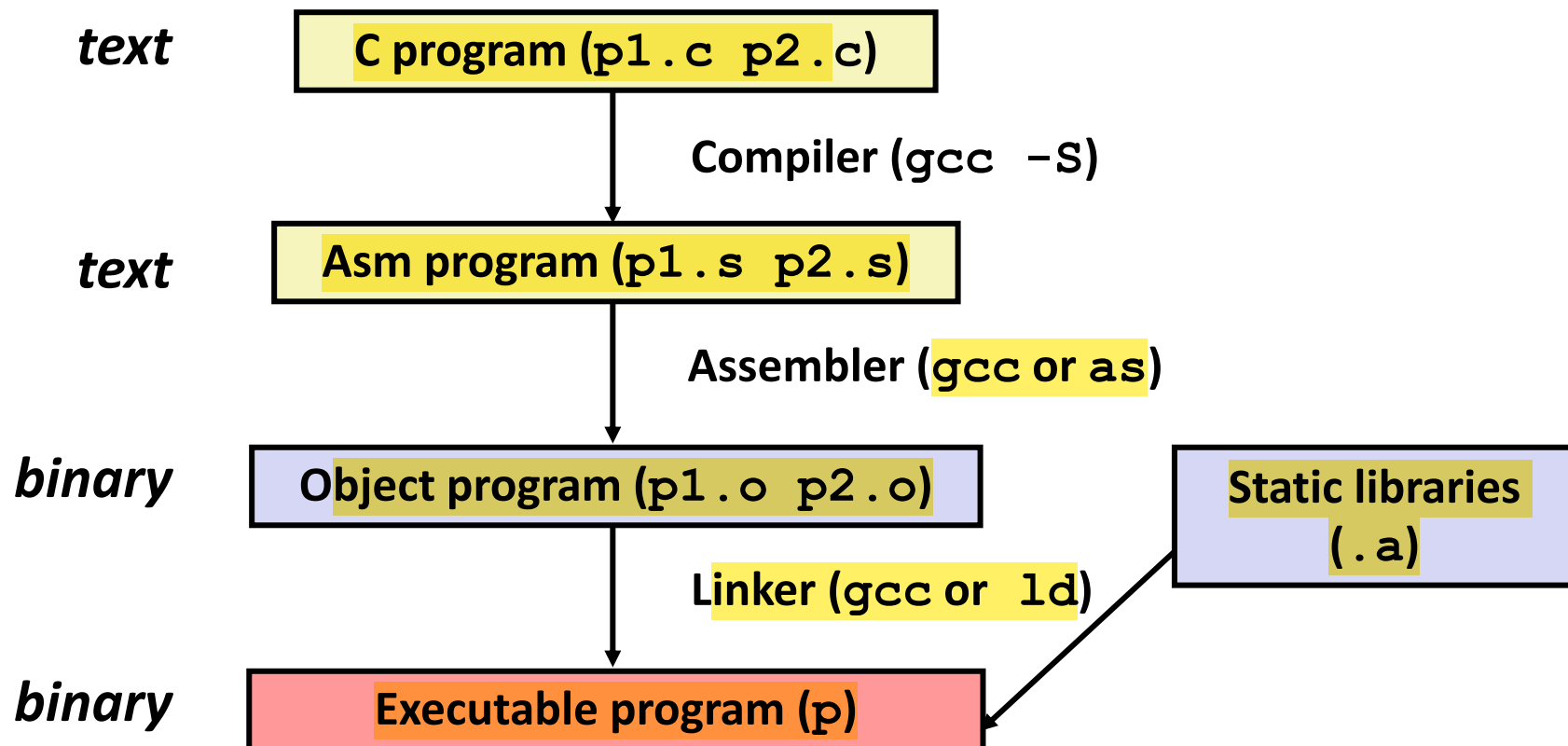
- Phụ thuộc nhiều vào máy tính thực thi
- Hiểu được hoạt động của hệ thống lúc thực thi chương trình
 - Stack, bộ nhớ, register...
 - Các lỗi hỏng mức hệ thống có thể có khi lập trình
 - Đọc/hiểu assembly: Skill cần thiết cho ATTT!
- Khả năng tối ưu của chương trình

Các định nghĩa

- **Architecture:** (ISA: instruction set architecture) Các thành phần trong thiết kế bộ xử lý cần hiểu để viết được các mã assembly/mã máy
 - Examples: định nghĩa tập lệnh, registers (thanh ghi).
- **Microarchitecture:** hiện thực của architecture.
 - Examples: kích thước cache và tần số core.
- **Các dạng mã:**
 - **Mã máy (Machine Code):** Chương trình ở dạng các byte sẽ được các bộ xử lý thực thi
 - **Mã hợp ngữ (Assembly Code):** Biểu diễn dạng text của mã máy
- **Ví dụ các ISA:**
 - Intel: x86, IA32, Itanium, x86-64
 - ARM: Sử dụng trong hầu hết các mobile phones

Từ mã C đến mã thực thi

- Giả sử có các mã C trong các file **p1.c p2.c**
- Quá trình biên dịch với câu lệnh: **gcc p1.c p2.c -o p**
 - File nhị phân sau khi biên dịch được lưu trong file **p**



Từ mã C đến mã thực thi: Ví dụ

```
*dest = t;
```

```
movq %rax, (%rbx)
```

```
0x40059e:  48 89 03
```

■ Mã C

- Lưu giá trị của **t** vào vị trí được trỏ bởi **dest**

■ Mã Assembly

- Đưa 8-byte giá trị vào bộ nhớ
- Toán hạng:

t: Register **%rax**

dest: Register **%rbx**

***dest:** Memory **M[%rbx]**

■ Object Code

- Instruction có kích thước 3 bytes
- Lưu tại địa chỉ **0x40059e**

Mã assembly: Biên dịch từ mã C

C Code

```
int sum(int x, int y)
{
    int t = x+y;
    return t;
}
```

Generated IA32 Assembly

```
sum:
    pushl %ebp
    movl %esp,%ebp
    movl 12(%ebp),%eax
    addl 8(%ebp),%eax
    popl %ebp
    ret
```

Thu được với lệnh:

```
gcc -S sum.c
```

Tạo ra file sum.s

Lưu ý: Có thể ra file kết quả với nội dung không giống nhau do khác biệt ở phiên bản gcc và các thiết lập của compiler.

Thêm: Tool cung cấp mã assembly của code C (online): <https://godbolt.org/>

Object code

Code for sum

0x401040 <sum>:

0x55

0x89

0xe5

0x8b

0x45

0x0c

0x03

0x45

0x08

0x5d

0xc3

- Total of 11 bytes
- Each instruction 1, 2, or 3 bytes
- Starts at address 0x401040

■ Assembler

- Chuyển từ file .s sang .o
- Biểu diễn nhị phân của mỗi instruction
- Phiên bản gần hoàn thiện của mã thực thi
- Thiếu phần liên kết giữa mã code trong nhiều files

■ Linker

- Giải quyết các tham chiếu giữa các file
- Liên kết với các thư viện tĩnh
 - E.g., code của các hàm **malloc**, **printf**
- Một số thư viện được *liên kết động*
 - Liên kết được thực hiện khi chương trình bắt đầu chạy

Mã assembly: Disassembling Object Code

Disassembled

```
080483c4 <sum>:  
80483c4: 55          push    %ebp  
80483c5: 89 e5       mov     %esp, %ebp  
80483c7: 8b 45 0c    mov     0xc(%ebp), %eax  
80483ca: 03 45 08    add     0x8(%ebp), %eax  
80483cd: 5d          pop     %ebp  
80483ce: c3          ret
```

■ Disassembler - **objdump**

`objdump -d <tên file>`

- Công cụ hữu ích để kiểm tra object code
- Phân tích các chuỗi bit của chuỗi các instructions
- Tạo ra mã assembly gần đúng
- Có thể chạy trên cả file `a.out` (file thực thi đầy đủ) hoặc `.o`

Disassembling: Công cụ khác

Object

Disassembled

0x401040:

0x55

0x89

0xe5

0x8b

0x45

0x0c

0x03

0x45

0x08

0x5d

0xc3

Dump of assembler code for function sum:

0x080483c4 <sum+0>: push %ebp

0x080483c5 <sum+1>: mov %esp, %ebp

0x080483c7 <sum+3>: mov 0xc(%ebp), %eax

0x080483ca <sum+6>: add 0x8(%ebp), %eax

0x080483cd <sum+9>: pop %ebp

0x080483ce <sum+10>: ret

■ Bên trong **gdb Debugger**: Ví dụ

`gdb <tên file>`

`disassemble sum`

- Disassemble các hàm (procedure)

`x/11xb sum`

- Kiểm tra giá trị của 11 bytes bắt đầu từ `sum`

Chúng ta có thể disassembling những gì?

```
% objdump -d WINWORD.EXE
```

```
WINWORD.EXE:      file format pei-i386
```

```
No symbols in "WINWORD.EXE".
```

```
Disassembly of section .text:
```

```
30001000 <.text>:
```

```
30001000:
```

```
30001001:
```

```
30001003:
```

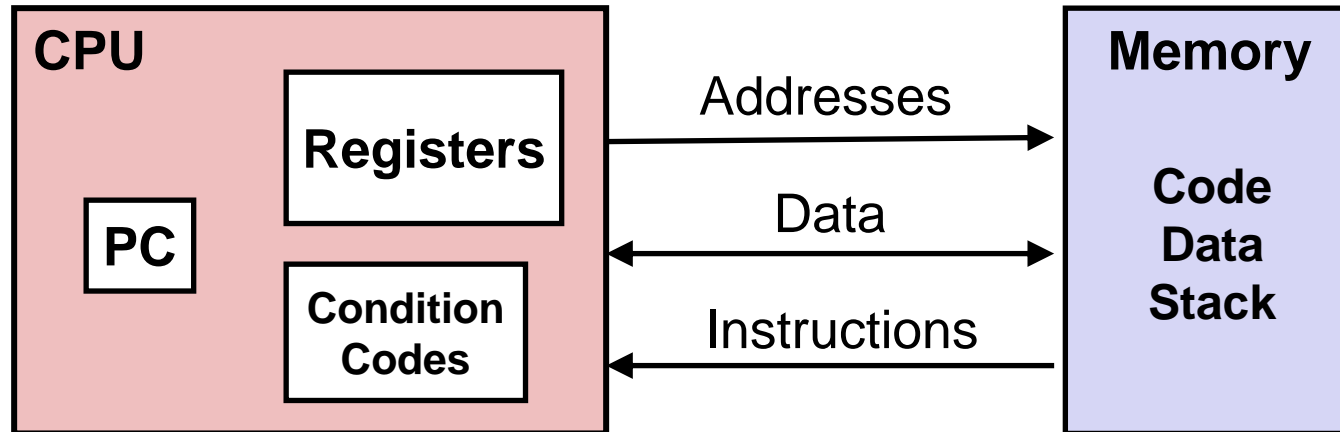
```
30001005:
```

```
3000100a:
```

**Reverse engineering forbidden by
Microsoft End User License Agreement**

- Bất kỳ thứ gì được xem là mã thực thi (executable code)
- Disassembler kiểm tra các bytes và dựng lại các mã assembly

Góc nhìn của mã assembly/mã máy



Programmer-Visible State

■ PC: Program counter

- Địa chỉ của instruction tiếp theo cần thực thi
- Gọi là “EIP” (IA32) hoặc “RIP” (x86-64)

■ Register file (thanh ghi)

- Thường được sử dụng để lưu dữ liệu chương trình

■ Condition codes

- Lưu thông tin trạng thái về các phép tính toán học hoặc logic được thực hiện gần nhất.
- Được dùng để rẽ nhánh có điều kiện

■ Bộ nhớ

- Mảng các byte được đánh địa chỉ
- Chứa code và dữ liệu người dùng
- Stack hỗ trợ các thủ tục (procedures)

Đặc điểm của mã assembly: Kiểu dữ liệu

- Dữ liệu “số nguyên” có kích thước 1, 2, 4, hoặc 8 bytes
 - Các giá trị dữ liệu
 - Địa chỉ (pointer chưa được định kiểu)
- Dữ liệu dấu chấm động (floating point) có kích thước 4, 8, hoặc 10 bytes
- Mã code: Chuỗi bytes mã hoá chuỗi các instructions
- **KHÔNG** có kiểu dữ liệu “tích hợp” như mảng hay cấu trúc dữ liệu
 - Bản chất là những byte được cấp phát liên tiếp trong bộ nhớ

Đặc điểm của mã assembly: Hoạt động

- **Nhóm 1: Chuyển dữ liệu giữa bộ nhớ và thanh ghi**
 - Lấy dữ liệu từ bộ nhớ sang thanh ghi
 - Lưu dữ liệu của thanh ghi vào bộ nhớ
- **Nhóm 2: Thực hiện các phép tính toán trên thanh ghi hoặc dữ liệu trong bộ nhớ**
- **Nhóm 3: Chuyển luồng thực thi**
 - Nhảy không điều kiện
 - Rẽ nhánh có điều kiện
 - Các thủ tục (procedures)

Lưu ý 1: Định dạng mã assembly của x86

- **Phạm vi môn học:** Mã assembly dưới định dạng AT&T
 - Định dạng mặc định của các công cụ GCC, Objdump...
- **Định dạng khác:** Intel
 - Microsoft

```
1  simple:
2      pushl    %ebp
3      movl     %esp, %ebp
4      movl     8(%ebp), %edx
5      movl     12(%ebp), %eax
6      addl     (%edx), %eax
7      movl     %eax, (%edx)
8      popl     %ebp
9      ret
```

AT&T format

Assembly code for simple in Intel format

```
1  simple:
2      push     ebp
3      mov      ebp, esp
4      mov      edx, DWORD PTR [ebp+8]
5      mov      eax, DWORD PTR [ebp+12]
6      add      eax, DWORD PTR [edx]
7      mov      DWORD PTR [edx], eax
8      pop      ebp
9      ret
```

Intel format

Lưu ý 2: Do not panic! 32-bit & 64-bit

- Mã assembly của 1 hàm **simple_l** ở 2 phiên bản 32-bit và 64-bit

```
      xp at %ebp+8, y at %ebp+12
1  simple_l:
2      pushl    %ebp
3      movl     %esp, %ebp
4      movl     8(%ebp), %edx
5      movl     12(%ebp), %eax
6      addl     (%edx), %eax
7      movl     %eax, (%edx)
8      popl     %ebp
9      ret
```

IA32

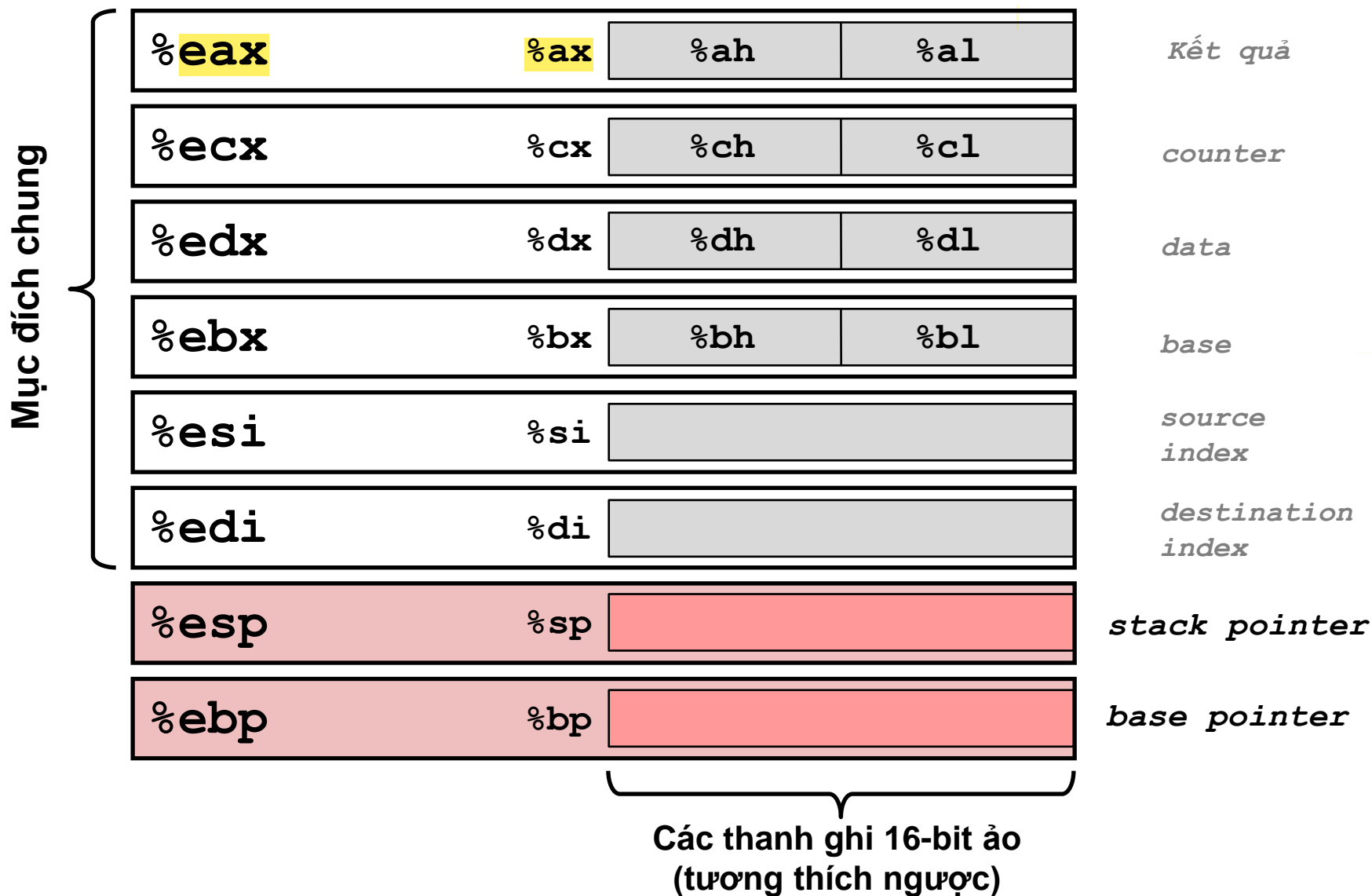
```
      xp in %rdi, y in %rsi
1  simple_l:
2      movq     %rsi, %rax
3      addq     (%rdi), %rax
4      movq     %rax, (%rdi)
5      ret
```

x86_64

Nội dung

- Sơ lược lịch sử các bộ xử lý và kiến trúc Intel
- C, assembly, mã máy
- **Cơ bản về Assembly: Registers, move**
- Các phép tính toán học và logic

Các thanh ghi IA32 – 8 thanh ghi 32 bit



Các thanh ghi x86-64 – 16 thanh ghi

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

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

- Mở rộng các thanh ghi 32-bit đã có thành 64-bit, thêm 8 thanh ghi mới.
- **%ebp/%rbp** thành thanh ghi có mục đích chung.
- Có thể tham chiếu đến các 4 bytes thấp (cũng như các 1 & 2 bytes thấp)

Chuyển dữ liệu - Moving Data (IA32)

■ Chuyển dữ liệu

`mov` **l** *Source, Dest*

■ Các kiểu toán hạng

- **Immediate – Hằng số:** Các hằng số nguyên
 - Ví dụ: `$0x400`, `$-533`
 - Giống hằng số trong C, nhưng có tiền tố ``$'`
 - Mã hoá với 1, 2, hoặc 4 bytes
- **Register – Thanh ghi:** Các thanh ghi được hỗ trợ
 - Ví dụ: `%eax`, `%esi`
 - Nhưng `%esp` và `%ebp` được dành riêng với mục đích đặc biệt
 - Một số khác có tác dụng đặc biệt với một số instruction
- **Memory – Bộ nhớ:** 4 bytes liên tục của bộ nhớ tại địa chỉ nhất định, có thể địa chỉ đó được lưu trong thanh ghi
 - Ví dụ: `(0x100)`, `(%eax)`
 - Có nhiều “address mode” khác

`%eax`

`%ecx`

`%edx`

`%ebx`

`%esi`

`%edi`

`%esp`

`%ebp`

Các tổ hợp toán hạng cho movl

	Source	Dest	Src, Dest	C Analog
movl	Imm	Reg	movl \$0x4, %eax	temp = 0x4;
		Mem	movl \$-147, (%eax)	*p = -147;
	Reg	Reg	movl %eax, %edx	
		Mem	movl %eax, (%edx)	*p = temp;
	Mem	Reg	movl (%eax), %edx	temp = *p;

Không thể thực hiện chuyển dữ liệu bộ nhớ - bộ nhớ với duy nhất 1 instruction!

Các chế độ đánh địa chỉ bộ nhớ đơn giản

- **Thông thường (R)** **Mem[Reg[R]]**
 - Thanh ghi R xác định địa chỉ bộ nhớ
 - Tương ứng với tham chiếu bằng Pointer trong C

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

- **Dịch chuyển D(R)** **Mem[Reg[R]+D]**
 - Thanh ghi R xác định nơi bắt đầu của vùng nhớ
 - Hằng số D xác định offset từ vị trí bắt đầu đó

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

Các chế độ đánh địa chỉ bộ nhớ đơn giản:

Ví dụ 1

- Giả sử ta có **%eax = 0x100** và các giá trị bộ nhớ như hình bên

Memory	Addr
25	0x100
146	0x104

- Kết quả lưu trong **%ebx** ở 2 câu lệnh dưới giống hay khác nhau?

movl %eax, %ebx 0x100

VS

movl (%eax), %ebx 25
 => (0x100)

Các chế độ đánh địa chỉ bộ nhớ đầy đủ

■ Dạng tổng quát nhất

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

- D: Hằng số “dịch chuyển” 1, 2, hoặc 4 bytes
- Rb: Base register: Bất kỳ thanh ghi nào được hỗ trợ
- Ri: Index register: Bất kỳ thanh ghi nào, ngoại trừ %rsp hoặc %esp
- S: Scale: 1, 2, 4, hoặc 8 (*vì sao là những số này?*)

■ Các trường hợp đặc biệt

(Rb, Ri)	$Mem[Reg[Rb] + Reg[Ri]]$
$D(Rb, Ri)$	$Mem[Reg[Rb] + Reg[Ri] + D]$
(Rb, Ri, S)	$Mem[Reg[Rb] + S * Reg[Ri]]$

Tính toán địa chỉ: Ví dụ

%edx	0xf000
%ecx	0x0100

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

Biểu thức	Cách tính địa chỉ	Địa chỉ
0x8 (%edx)	0xf000 + 0x8	
(%edx, %ecx)	0xf00 + 0x0100	
(%edx, %ecx, 4)	0xf000 + 0x0100*4	
0x80 (, %edx, 2)	0f000*2 + 0x80	

Lưu ý: Suffix cho lệnh mov trong AT&T

■ Quyết định số byte dữ liệu sẽ được “move”

- `movb` 1 byte
- `movw` 2 bytes
- `movl` 4 bytes
- `movq` 8 bytes (dùng với các thanh ghi x86_64)
- `mov` Số bytes tùy ý (phù hợp với tất cả số byte ở trên)

■ Lưu ý: **Các thanh ghi** dùng trong lệnh mov cần đảm bảo phù hợp với **suffix**

- Số byte dữ liệu sẽ được move

? Có bao nhiêu lệnh mov **hợp lệ** trong các lệnh bên?

```
movl %eax, %ebx
```

```
movb $123, %b1
```

```
movl %eax, %b1
```

```
movb $3, (%ecx)
```

```
mov (%eax), %b1
```

→ Ghi

Lệnh mov không hợp lệ?

0x100:mem ->mem

- ✓ 1. `movl %eax, %ebx`
- ✓ 2. `movb $123, %bl`
- ✗ 3. `movl %eax, %bl` l: 4byte -> bl: 1byte
- ✓ 4. `movb $3, (%ecx)`
- ✗ 5. `movl 0x100, (%eax)`
- ✗ 6. `mov %ecx, $100` immediate
- ✓ 7. `mov (%eax), %bl`
- ✓ 8. `movb $3, 0x200`
mem

Giải thích?



Các chế độ đánh địa chỉ bộ nhớ đơn giản:

Ví dụ 2 (IA32)

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

swap:

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

} Set
Up

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

} Body

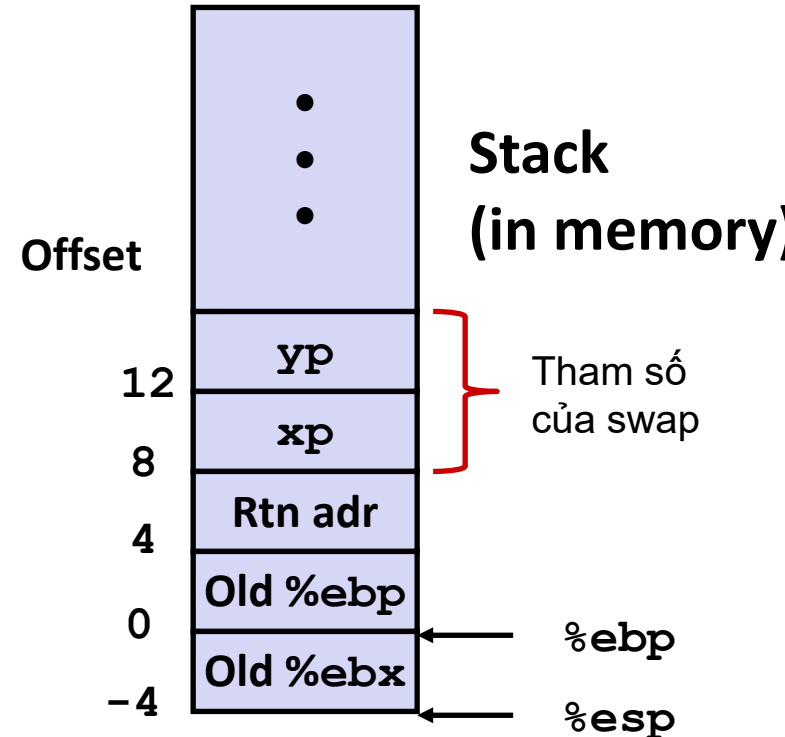
```
popl  %ebx
popl  %ebp
ret
```

} Finish

Hiểu hàm Swap () (IA32)

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

Register	Value
%edx	xp
%ecx	yp
%ebx	t0
%eax	t1



xp lưu ở ebp + 8, yp lưu ở ebp + 12

```
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
```

Hiểu hàm Swap () (IA32)

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

		Address
		0x124
		0x120
		0x11c
		0x118
		0x114
yp	12	0x120
xp	8	0x124
		0x110
		0x10c
		0x108
		0x104
		0x100

xp lưu ở ebp + 8, yp lưu ở ebp + 12

```

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
    
```

Hiểu hàm Swap () (IA32)

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

		Address
		0x124
		0x120
		0x11c
		0x118
		0x114
yp	12	0x120
xp	8	0x124
		0x110
		0x10c
		0x108
		0x104
		0x100

xp lưu ở ebp + 8, yp lưu ở ebp + 12

```

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
    
```

Hiểu hàm Swap () (IA32)

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

		Address
	123	0x124
	456	0x120
		0x11c
		0x118
		0x114
yp	12	0x120
xp	8	0x124
	4	Rtn adr
%ebp	0	
	-4	
		0x104
		0x100

xp lưu ở ebp + 8, yp lưu ở ebp + 12

```

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
    
```

Hiểu hàm Swap () (IA32)

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

		Address
	123	0x124
	456	0x120
		0x11c
		0x118
		0x114
yp	12	0x120
xp	8	0x124
	4	Rtn adr
%ebp	0	
	-4	
		0x104
		0x100

xp lưu ở ebp + 8, yp lưu ở ebp + 12

```

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
    
```

Hiểu hàm Swap () (IA32)

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

		Address
		0x124
		0x120
		0x11c
		0x118
		0x114
yp	12	0x120
xp	8	0x124
	4	Rtn adr
%ebp	0	0x108
	-4	0x104
		0x100

xp lưu ở ebp + 8, yp lưu ở ebp + 12

```

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
    
```


Hiểu hàm Swap () (IA32)

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

		Address
		0x124
		0x120
		0x11c
		0x118
		0x114
yp	12	0x120
xp	8	0x124
	4	Rtn adr
%ebp	0	0x108
	-4	0x104
		0x100

xp lưu ở ebp + 8, yp lưu ở ebp + 12

```

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
    
```

Hiểu hàm Swap () (IA32)

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

		Address
		0x124
		0x120
		0x11c
		0x118
		0x114
yp	12	0x120
xp	8	0x124
		0x110
		0x10c
		0x108
		0x104
		0x100

xp lưu ở ebp + 8, yp lưu ở ebp + 12

```

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
    
```

Các chế độ đánh địa chỉ bộ nhớ đơn giản:

Ví dụ 2 (x86_64)

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

swap:

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

ret

} Set
Up

} Body

} Finish

Why so easy??

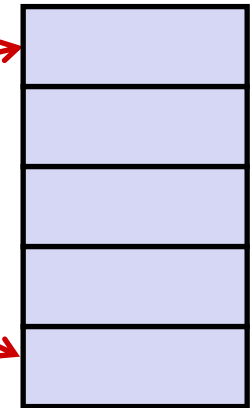
Hiểu hàm Swap () (x86_64)

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

Registers

%rdi	
%rsi	
%eax	
%edx	

Memory



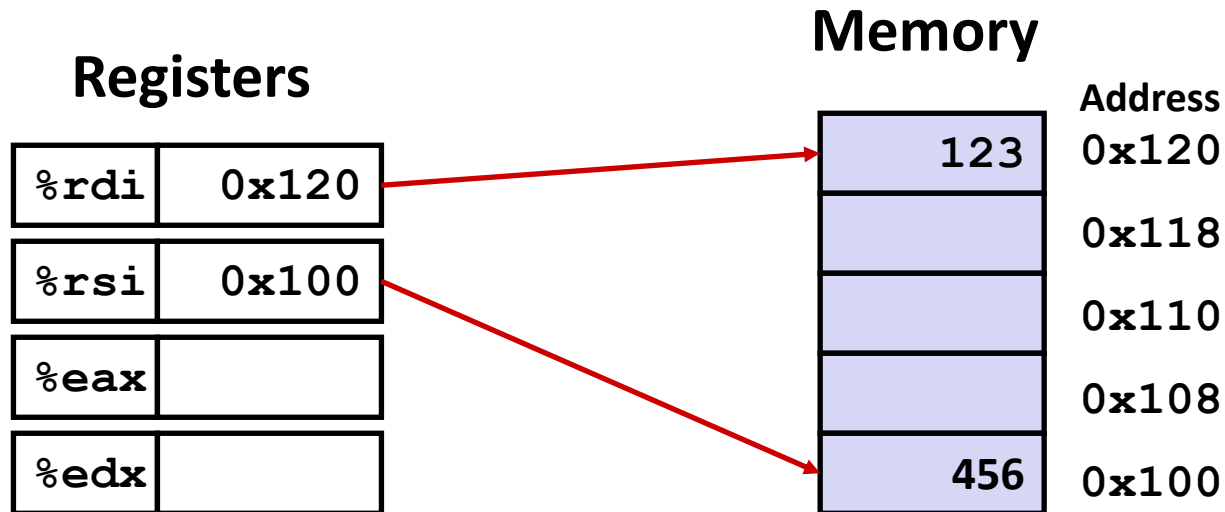
Register	Value
----------	-------

%rdi	xp
%rsi	yp
%eax	t0
%edx	t1

swap:

```
movl    (%rdi), %eax    # t0 = *xp
movl    (%rsi), %edx    # t1 = *yp
movl    %edx, (%rdi)    # *xp = t1
movl    %eax, (%rsi)    # *yp = t0
ret
```

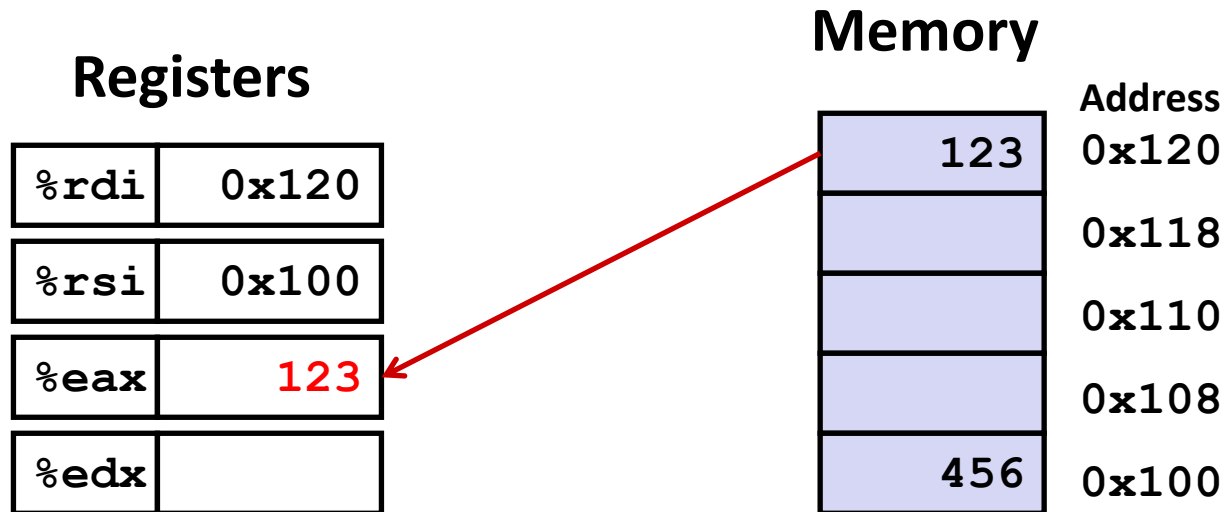
Hiểu hàm `Swap()` (x86_64)



swap:

```
movl    (%rdi), %eax    # t0 = *xp
movl    (%rsi), %edx    # t1 = *yp
movl    %edx, (%rdi)    # *xp = t1
movl    %eax, (%rsi)    # *yp = t0
ret
```

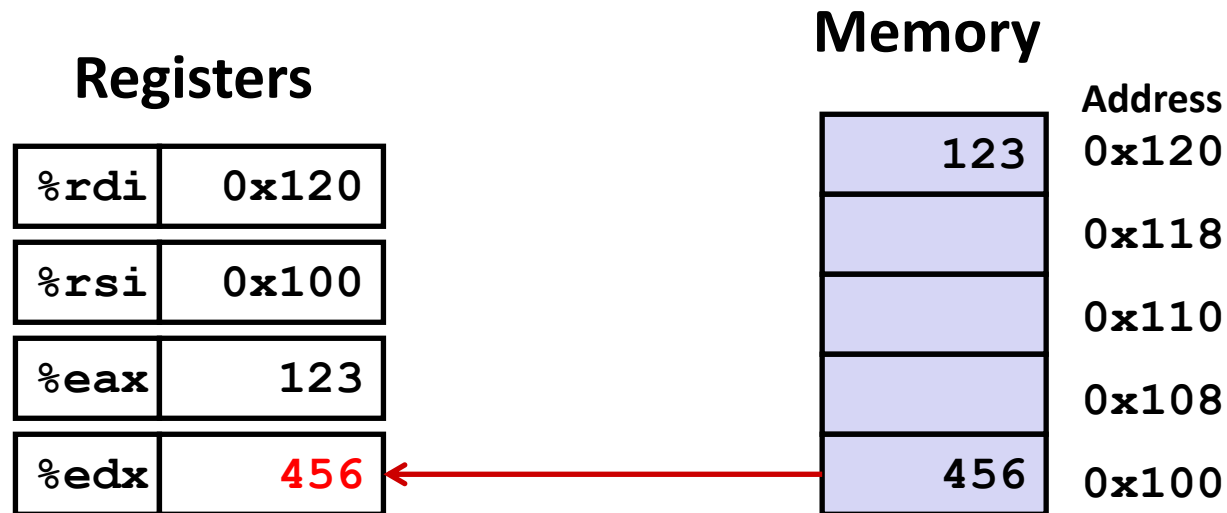
Hiểu hàm Swap () (x86_64)



swap:

```
movl    (%rdi), %eax    # t0 = *xp
movl    (%rsi), %edx    # t1 = *yp
movl    %edx, (%rdi)    # *xp = t1
movl    %eax, (%rsi)    # *yp = t0
ret
```

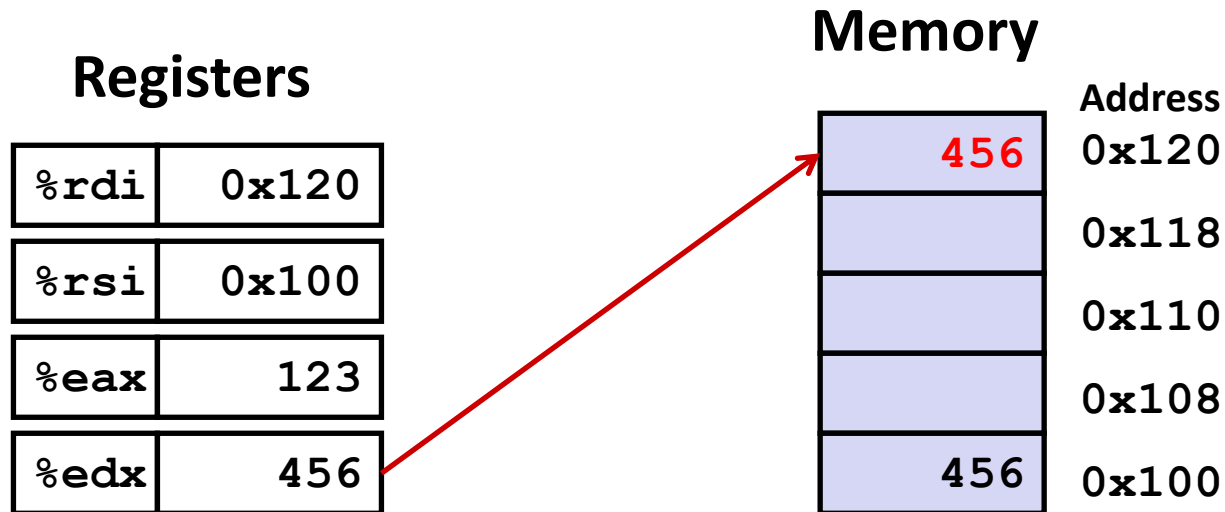
Hiểu hàm Swap () (x86_64)



swap:

```
movl    (%rdi), %eax    # t0 = *xp
movl    (%rsi), %edx    # t1 = *yp
movl    %edx, (%rdi)    # *xp = t1
movl    %eax, (%rsi)    # *yp = t0
ret
```

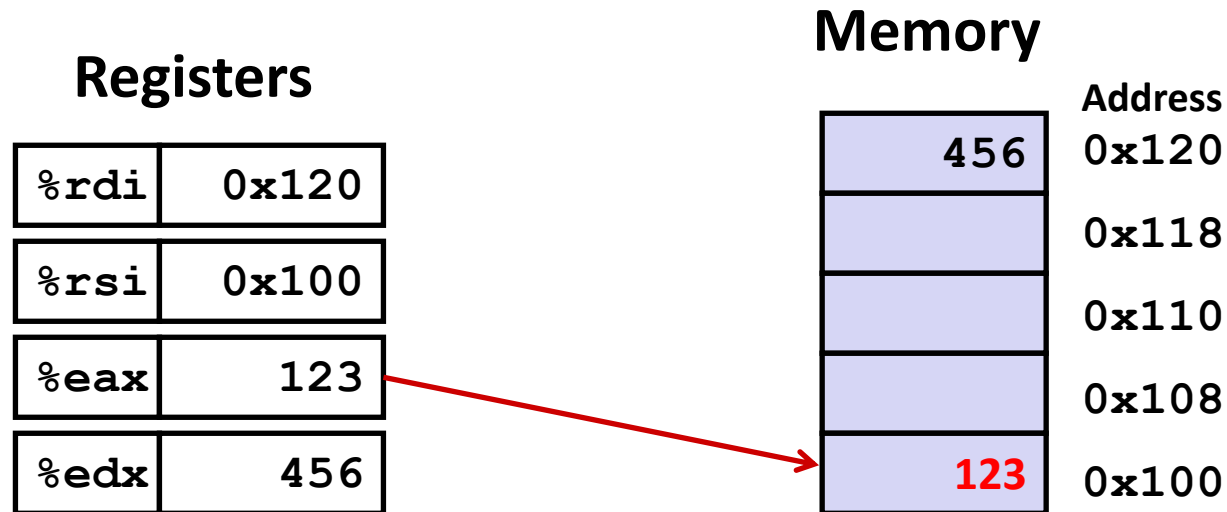
Hiểu hàm `Swap()` (x86_64)



swap:

```
movl    (%rdi), %eax    # t0 = *xp
movl    (%rsi), %edx    # t1 = *yp
movl    %edx, (%rdi)    # *xp = t1
movl    %eax, (%rsi)    # *yp = t0
ret
```


Hiểu hàm Swap () (x86_64)



swap:

```
movl    (%rdi), %eax    # t0 = *xp
movl    (%rsi), %edx    # t1 = *yp
movl    %edx, (%rdi)    # *xp = t1
movl    %eax, (%rsi)    # *yp = t0
ret
```

Instruction tính toán địa chỉ: `leal`

■ `leal Src, Dst`

- `Src` là biểu thức tính toán địa chỉ
- Gán `Dst` thành địa chỉ được tính toán bằng biểu thức trên

■ Tác dụng

- Tính toán địa chỉ ô nhớ mà ***không truy xuất đến ô nhớ***
 - Ví dụ, trường hợp `p = &x[i];`
- Tính toán biểu thức toán học có dạng $x + k*i + d$
 - $i = 1, 2, 4, \text{ hoặc } 8$

■ Ví dụ

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

Chuyển sang assembly bằng compiler:

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

lea vs mov: Ví dụ

Registers

%rax	?
%rbx	?
%rcx	0x4
%rdx	0x100
%rdi	?
%rsi	?

Memory

Word Address

0x400	0x120
0xF	0x118
0x8	0x110
0x10	0x108
0x1	0x100

rax: $rdx + rcx * 4 = 0x110$
rbx = $(rdx + rcx * 4) =$
 $(0x110) = 0x8$
rdi = 0x100
rsi = 0x1

```
leaq (%rdx,%rcx,4), %rax
movq (%rdx,%rcx,4), %rbx
leaq (%rdx), %rdi
movq (%rdx), %rsi
```

Dùng `leal` để tính toán biểu thức

- Giả sử ta có `%eax = x`, `%ecx = y`. Các lệnh sau tính toán các biểu thức gì?

Lệnh	Biểu thức kết quả
<code>leal 6(%eax), %edx</code>	$edx = eax + 6 = x + 6$
<code>leal (%eax,%ecx), %edx</code>	$edx = eax + ecx = x + y$
<code>leal 0xA(,%ecx,4), %edx</code>	$edx = ecx * 4 + 0xA = y * 4 + 0xA$
<code>leal (%ecx, %eax, 2), %edx</code>	$edx = ecx + eax * 2 = y + x * 2$

Nội dung

- Sơ lược lịch sử các bộ xử lý và kiến trúc Intel
- C, assembly, mã máy
- Cơ bản về Assembly: Registers, operands, move
- **Các phép tính toán học và logic**

Tổng quát về lệnh assembly AT&T

■ Định dạng

`opcode source, dest`

- Với mọi câu lệnh, `dest` không bao giờ là hằng số!
- Không câu lệnh nào hỗ trợ 2 toán hạng đều là ô nhớ
- Sau mỗi câu lệnh `mov` hay toán học, thanh ghi/ô nhớ ở vị trí `dest` sẽ bị thay đổi giá trị
- Khi có toán hạng ô nhớ, ngoại trừ lệnh `lea`, tất cả các lệnh khác đều thực hiện truy xuất giá trị của ô nhớ đó (để đọc hoặc ghi dữ liệu).
- **Suffix** ảnh hưởng đến mọi câu lệnh:
 - `addl, addw, ...`
 - Trường hợp tổng quát nhất là không sử dụng suffix

Một số phép tính toán học (1)

- Các Instructions với 2 toán hạng:

Định dạng

Phép tính

addl Src, Dest Dest = Dest + Src

subl Src, Dest Dest = Dest – Src

imull Src, Dest Dest = Dest * Src

sall Src, Dest Dest = Dest << Src

sarl Src, Dest Dest = Dest >> Src

shrl Src, Dest Dest = Dest >> Src

xorl Src, Dest Dest = Dest ^ Src

andl Src, Dest Dest = Dest & Src

orl Src, Dest Dest = Dest | Src

Cũng được gọi là shll

Arithmetic (shift phải toán học)

Logical (shift phải luận lý)

- **Cẩn thận với thứ tự của các toán hạng!**

- **Không có khác biệt giữa signed và unsigned int**

Một số phép tính toán học (2)

■ Các Instructions với 1 toán hạng

<code>incl</code>	<i>Dest</i>	$Dest = Dest + 1$
<code>decl</code>	<i>Dest</i>	$Dest = Dest - 1$
<code>negl</code>	<i>Dest</i>	$Dest = -Dest$
<code>notl</code>	<i>Dest</i>	$Dest = \sim Dest$

■ Tham khảo thêm các instruction trong giáo trình

Biểu thức toán học: Ví dụ 1 (IA32)

```
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;
}
```

arith:

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

} Set
Up

```
    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
```

} Body

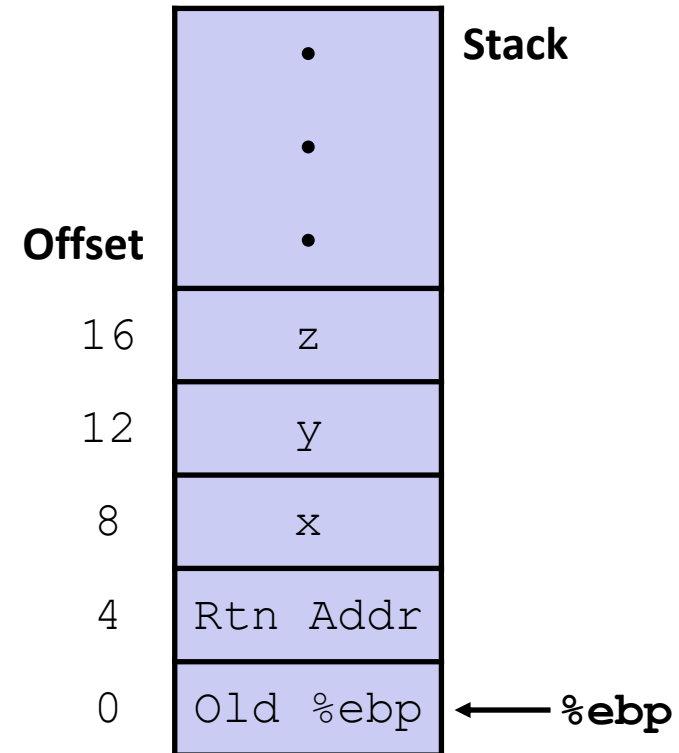
```
    popl     %ebp
    ret
```

} Finish

Biểu thức toán học: Ví dụ 1 (IA32)

```
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;
}
```

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)



Biểu thức toán học: Ví dụ 1 (x86_64)

```
long arith
(long x, long y, long z)
{
    long t1 = x+y;          (1)
    long t2 = z+t1;         (2)
    long t3 = x+4;          (3)
    long t4 = y * 48;       (4)
    long t5 = t3 + t4;      (5)
    long rval = t2 * t5;    (6)
    return rval;           (7)
}
```

Các instruction cần lưu ý

- `leaq`: tính toán địa chỉ
- `salq`: shift trái
- `imulq`: phép nhân

`%rdi` lưu x, `%rsi` lưu y, `%rdx` lưu z

arith:

```
leaq    (%rdi,%rsi), %rax
addq    %rdx, %rax
leaq    (%rsi,%rsi,2), %rdx
salq    $4, %rdx
leaq    4(%rdi,%rdx), %rcx
imulq    %rcx, %rax
ret
```

Thanh ghi	Tác dụng
<code>%rdi</code>	Argument x
<code>%rsi</code>	Argument y
<code>%rdx</code>	Argument z
<code>%rax</code>	t1, t2, rval
<code>%rdx</code>	t4
<code>%rcx</code>	t5

Biểu thức toán học: Ví dụ 1 (x86_64)

```
long arith
(long x, long y, long z)
{
    long t1 = x+y;          (1)
    long t2 = z+t1;         (2)
    long t3 = x+4;          (3)
    long t4 = y * 48;        (4)
    long t5 = t3 + t4;       (5)
    long rval = t2 * t5;     (6)
    return rval;            (7)
}
```

Các instruction cần lưu ý

- **leaq**: tính toán địa chỉ
- **salq**: shift trái
- **imulq**: phép nhân

%rdi lưu x, %rsi lưu y, %rdx lưu z

arith:

```
leaq    (%rdi,%rsi), %rax    (1)
addq    %rdx, %rax          (2)
leaq    (%rsi,%rsi,2), %rdx  (4)
salq    $4, %rdx            (3,5)
leaq    4(%rdi,%rdx), %rcx   (6)
imulq    %rcx, %rax          (7)
ret
```

Thanh ghi	Tác dụng
%rdi	Argument x
%rsi	Argument y
%rdx	Argument z
%rax	t1, t2, rval
%rdx	t4
%rcx	t5

Extra: Khác biệt giữa các định dạng AT&T vs Intel

■ Khác biệt giữa 2 định dạng assembly: AT&T vs Intel

	AT&T	Intel
Thứ tự toán hạng	<code>movl source, dest</code>	<code>mov dest, source</code>
Thanh ghi	Có % trước tên thanh ghi <code>%eax</code>	Không có prefix trước tên thanh ghi <code>eax</code>
Lệnh mov	Có suffix <code>movl, movlq, movb...</code>	Không có suffix <code>mov</code>
Địa chỉ ô nhớ	<code>8 (%ebp)</code>	<code>[ebp + 8]</code>
Có thể thấy ở đâu?	gcc: option <code>-masm=att</code> (mặc định) objdump: option <code>-M att</code> (mặc định)	<ul style="list-style-type: none">• IDA Pro• gcc: option <code>-masm=intel</code>• objdump: option <code>-M intel</code>

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) Biểu diễn mảng, cấu trúc dữ liệu trong C
- 5) Các thủ tục (procedure) trong C ở mức assembly
- 6) Phân cấp bộ nhớ, cache
- 7) Linking trong biên dịch file thực thi

■ Lab liên quan

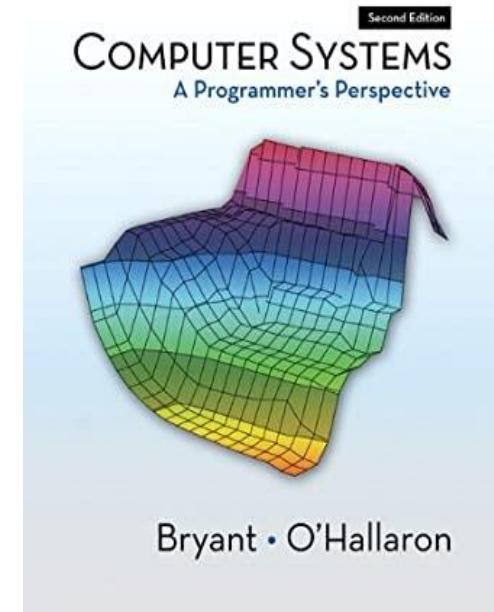
- Lab 1: Nội dung 1
- Lab 2: Nội dung 1, 2, 3
- Lab 3: Nội dung 1, 2, 3, 4
- Lab 4: Nội dung 1, 2, 3, 4, 5
- Lab 5: Nội dung 1, 2, 3, 4, 5
- Lab 6: Nội dung 1, 2, 3, 4, 5

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 :)**