

LẬP TRÌNH HỆ THỐNG

ThS. Đỗ Thị Thu Hiền
(hiendtt@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)

Các chủ đề nâng cao



Nội dung

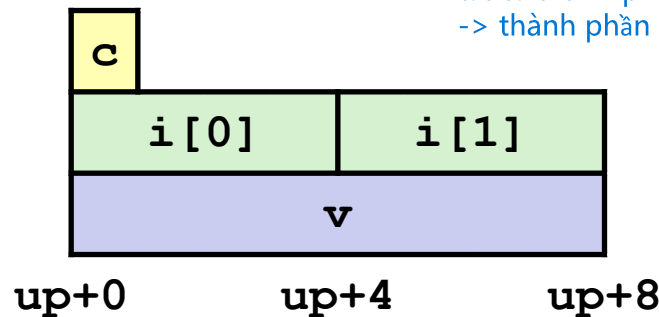
- **Union**
- **Buffer overflow**
 - Lỗ hổng
 - Biện pháp
- **Switch (tự tìm hiểu)**

Union: Cấp phát

- Được cấp phát dựa trên thành phần lớn nhất
- Tại 1 thời điểm chỉ có thể sử dụng 1 field

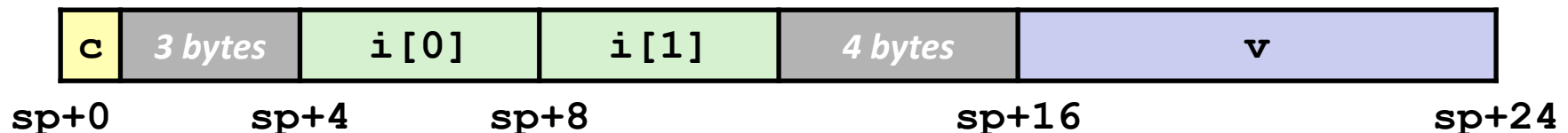
```
union U1 {  
    char c;  
    int i[2];  
    double v;  
} *up;
```

```
struct S1 {  
    char c;  
    int i[2];  
    double v;  
} *sp;
```



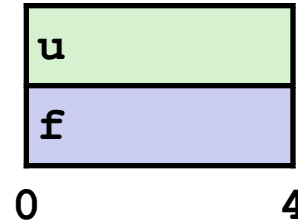
Trong x86_64

Trường	Offset trong S1	Offset trong U1
c	0	0
i	4	0
v	16	0



Ví dụ: Dùng Union để truy xuất Bit Patterns

```
typedef union {  
    float f;  
    unsigned u;  
} bit_float_t;
```



```
float bit2float(unsigned u)  
{  
    bit_float_t arg;  
    arg.u = u;  
    return arg.f;  
}
```

Giống như (float) u ?

```
unsigned float2bit(float f)  
{  
    bit_float_t arg;  
    arg.f = f;  
    return arg.u;  
}
```

Giống như (unsigned) f ?

Byte ordering: nhắc lại

■ Ý tưởng

- Short/long/quad words được lưu trong bộ nhớ như các khối 2/4/8 bytes liên tiếp
- Byte nào có trọng số thấp (cao) nhất?
- Có thể dẫn đến một số vấn đề khi trao đổi dữ liệu nhị phân giữa các máy tính.

■ Big Endian

- Byte trọng số cao nhất có địa chỉ thấp nhất
- Sparc

■ Little Endian

- Byte trọng số thấp nhất có địa chỉ thấp nhất
- Intel x86, ARM Android và IOS

Byte Ordering: Ví dụ

```
union {  
    unsigned char c[8];  
    unsigned short s[4];  
    unsigned int i[2];  
    unsigned long l[1];  
} dw;
```

32-bit

c[0]	c[1]	c[2]	c[3]	c[4]	c[5]	c[6]	c[7]
s[0]		s[1]		s[2]		s[3]	
i[0]				i[1]			
l[0]							

64-bit

c[0]	c[1]	c[2]	c[3]	c[4]	c[5]	c[6]	c[7]
s[0]		s[1]		s[2]		s[3]	
i[0]				i[1]			
l[0]							

Code lấy giá trị trong Union

```
int j;
for (j = 0; j < 8; j++)
    dw.c[j] = 0xf0 + j;

printf("Characters 0-7 ==
[0x%x,0x%x,0x%x,0x%x,0x%x,0x%x,0x%x,0x%x]\n",
    dw.c[0], dw.c[1], dw.c[2], dw.c[3],
    dw.c[4], dw.c[5], dw.c[6], dw.c[7]);

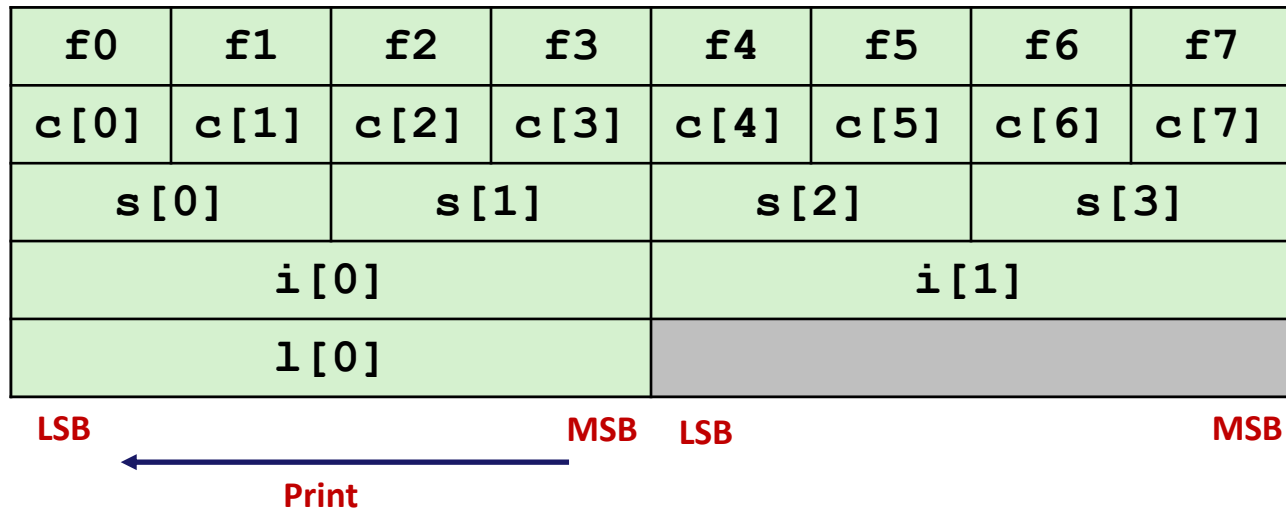
printf("Shorts 0-3 == [0x%x,0x%x,0x%x,0x%x]\n",
    dw.s[0], dw.s[1], dw.s[2], dw.s[3]);

printf("Ints 0-1 == [0x%x,0x%x]\n",
    dw.i[0], dw.i[1]);

printf("Long 0 == [0x%lx]\n",
    dw.l[0]);
```


Byte Ordering trong IA32

Little Endian

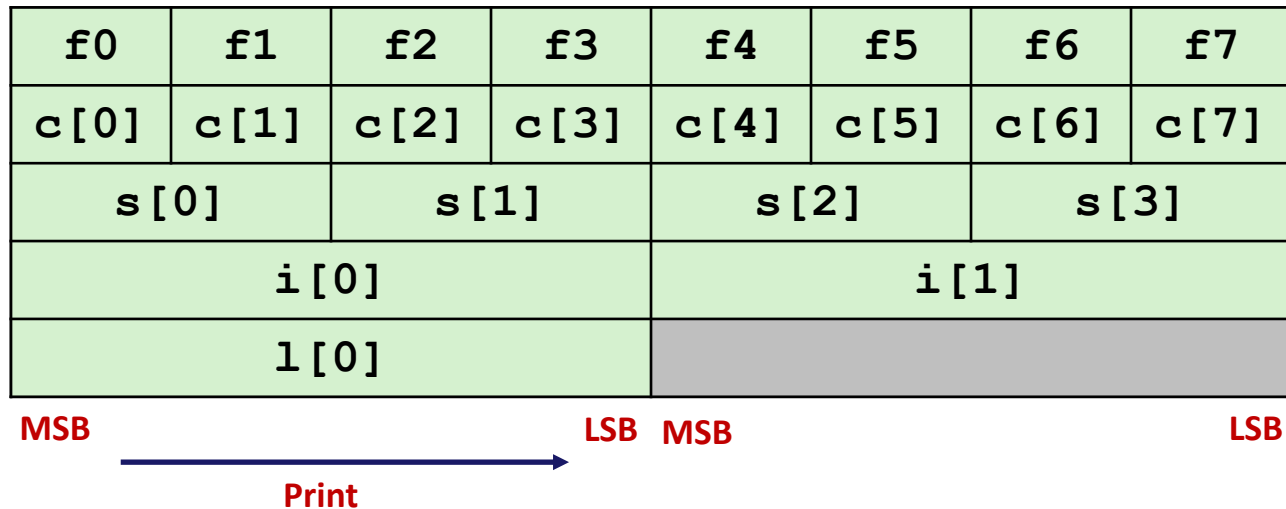


Output:

Characters 0-7 == [0xf0,0xf1,0xf2,0xf3,0xf4,0xf5,0xf6,0xf7]
Shorts 0-3 == [0xf1f0,0xf3f2,0xf5f4,0xf7f6]
Ints 0-1 == [0xf3f2f1f0,0xf7f6f5f4]
Long 0 == [0xf3f2f1f0]

Byte Ordering trong Sun

Big Endian



Output on Sun:

Characters 0-7 == [0xf0,0xf1,0xf2,0xf3,0xf4,0xf5,0xf6,0xf7]
Shorts 0-3 == [0xf0f1,0xf2f3,0xf4f5,0xf6f7]
Ints 0-1 == [0xf0f1f2f3,0xf4f5f6f7]
Long 0 == [0xf0f1f2f3]

Byte Ordering trong x86_64

Little Endian

f0	f1	f2	f3	f4	f5	f6	f7
c[0]	c[1]	c[2]	c[3]	c[4]	c[5]	c[6]	c[7]
s[0]		s[1]		s[2]		s[3]	
i[0]				i[1]			
l[0]							

LSB

MSB

Print

Output on x86-64:

Characters 0-7 == [0xf0,0xf1,0xf2,0xf3,0xf4,0xf5,0xf6,0xf7]

Shorts 0-3 == [0xf1f0,0xf3f2,0xf5f4,0xf7f6]

```
Ints      0-1 == [0xf3f2f1f0,0xf7f6f5f4]
```

Long 0 == **[0xf7f6f5f4f3f2f1f0]**

Nội dung

- Union
- **Buffer overflow**
 - Lỗ hổng
 - Biện pháp
- Switch (tự tìm hiểu)

Nhắc lại: Ví dụ bug khi truy xuất bộ nhớ

```
typedef struct {  
    int a[2];  
    double d;  
} struct_t;  
  
double fun(int i) {  
    volatile struct_t s;  
    s.d = 3.14;  
    s.a[i] = 1073741824; /* 0x4000000 - Possibly out of bounds */  
    return s.d;  
}
```

fun(0)	→	3.14
fun(1)	→	3.14
fun(2)	→	3.1399998664856
fun(3)	→	2.00000061035156
fun(4)	→	3.14
fun(6)	→	Segmentation fault

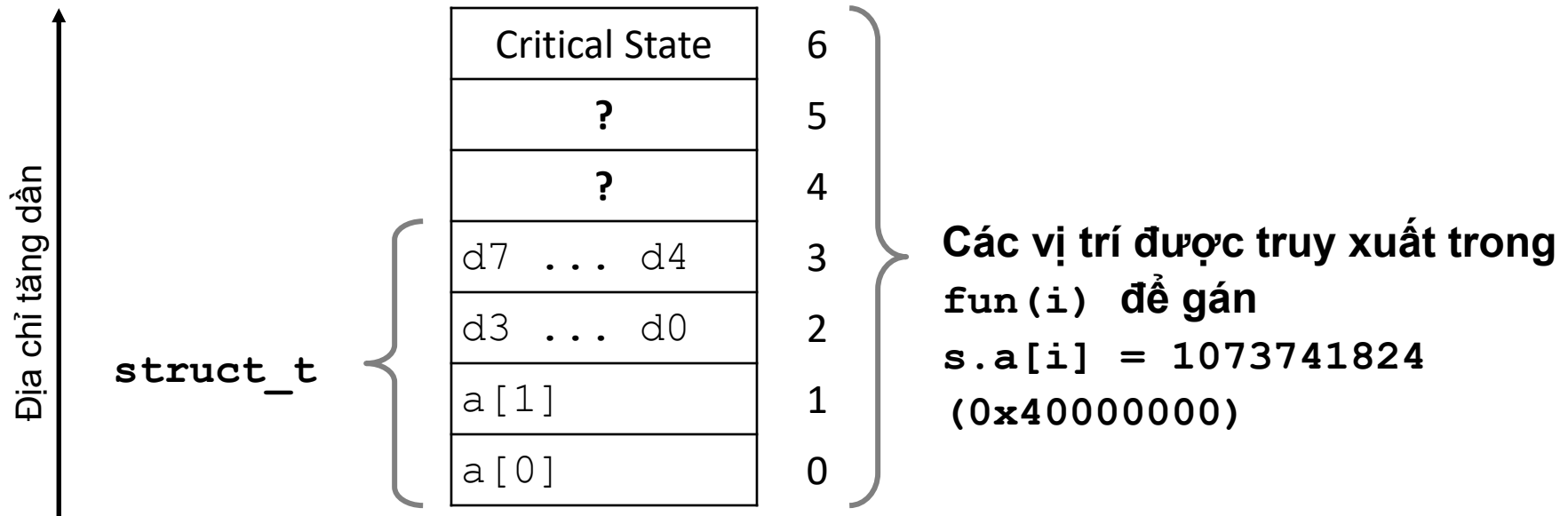
- Kết quả tùy vào hệ thống

Ví dụ bug khi truy xuất bộ nhớ: Giải thích

```
typedef struct {  
    int a[2];  
    double d;  
} struct_t;
```

fun(0)	→	3.14
fun(1)	→	3.14
fun(2)	→	3.1399998664856
fun(3)	→	2.00000061035156
fun(4)	→	3.14
fun(5)	→	3.14
fun(6)	→	Segmentation fault

Giải thích:



Vấn đề

- **Thường được gọi là “buffer overflow”**
 - Khi ghi vượt quá không gian bộ nhớ được cấp phát cho một mảng
- **Vì sao là 1 vấn đề lớn?**
 - Là nguyên nhân kỹ thuật #1 của các lỗ hổng bảo mật
 - nguyên nhân chung #1 là social engineering / người dùng thiếu hiểu biết
- **Dạng phổ biến nhất**
 - Không kiểm tra kích thước của chuỗi input
 - Riêng với trường hợp chuỗi ký tự giới hạn trong stack
 - còn được gọi là stack smashing

Thư viện String

■ Hàm trong Unix: gets ()

```
/* Get string from stdin */
char *gets(char *dest)
{
    int c = getchar();
    char *p = dest;
    while (c != EOF && c != '\n') {
        *p++ = c;
        c = getchar();
    }
    *p = '\0';
    return dest;
}
```

- Không có cơ chế giới hạn số ký tự sẽ đọc
- **Vấn đề tương tự cũng xảy ra với các hàm thư viện**
 - `strcpy`, `strcat`: Sao chép các chuỗi có kích thước tùy ý.
 - `scanf`, `fscanf`, `sscanf`, khi sử dụng `%s`

Code có lỗi hỏng buffer overflow

```
/* Echo Line */  
void echo()  
{  
    char buf[4]; /* Nơi lưu chuỗi input */  
    gets(buf);  
    puts(buf);  
}
```

```
void call_echo() {  
    echo();  
}
```

```
unix>./bufdemo
```

```
Type a string:1234567  
1234567
```

```
unix>./bufdemo
```

```
Type a string:12345678  
Segmentation Fault
```

```
unix>./bufdemo
```

```
Type a string:123456789ABC  
Segmentation Fault
```

Buffer Overflow Disassembly

echo:

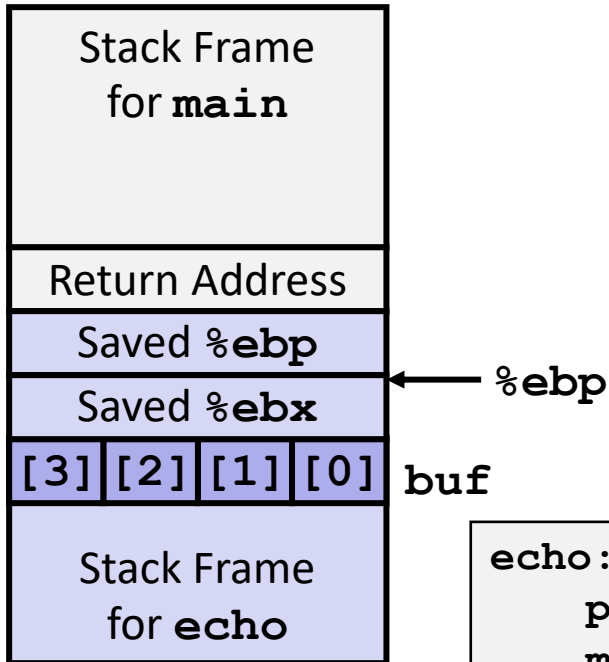
80485c5:	55	push	%ebp	vị trí bắt
80485c6:	89 e5	mov	%esp, %ebp	đầu lưu buf
80485c8:	53	push	%ebx	
80485c9:	83 ec 14	sub	\$0x14, %esp	
80485cc:	8d 5d f8	lea	0xffffffff8(%ebp), %ebx	
80485cf:	89 1c 24	mov	%ebx, (%esp)	
80485d2:	e8 9e ff ff ff	call	8048575 <gets>	
80485d7:	89 1c 24	mov	%ebx, (%esp)	
80485da:	e8 05 fe ff ff	call	80483e4 <puts@plt>	
80485df:	83 c4 14	add	\$0x14, %esp	
80485e2:	5b	pop	%ebx	
80485e3:	5d	pop	%ebp	
80485e4:	c3	ret		

call_echo:

80485eb:	e8 d5 ff ff ff	call	80485c5 <echo>
80485f0:	c9	leave	
80485f1:	c3	ret	

Buffer Overflow Stack

Trước khi gọi gets



```
/* Echo Line */
void echo()
{
    char buf[4]; /* Way too small! */
    gets(buf);
    puts(buf);
}
```

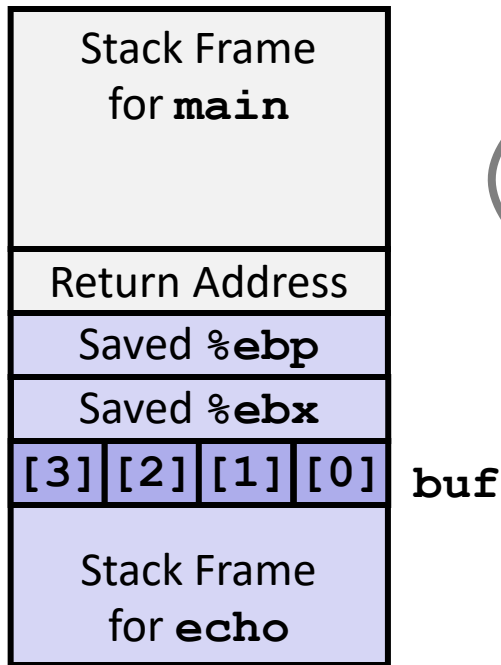
```
echo:
    pushl %ebp                # Save %ebp on stack
    movl  %esp, %ebp
    pushl %ebx                # Save %ebx
    subl  $20, %esp           # Allocate stack space
    leal  -8(%ebp), %ebx      # Compute buf as %ebp-8
    movl  %ebx, (%esp)        # Push buf on stack
    call  gets                # Call gets
    . . .
```

Buffer Overflow Stack

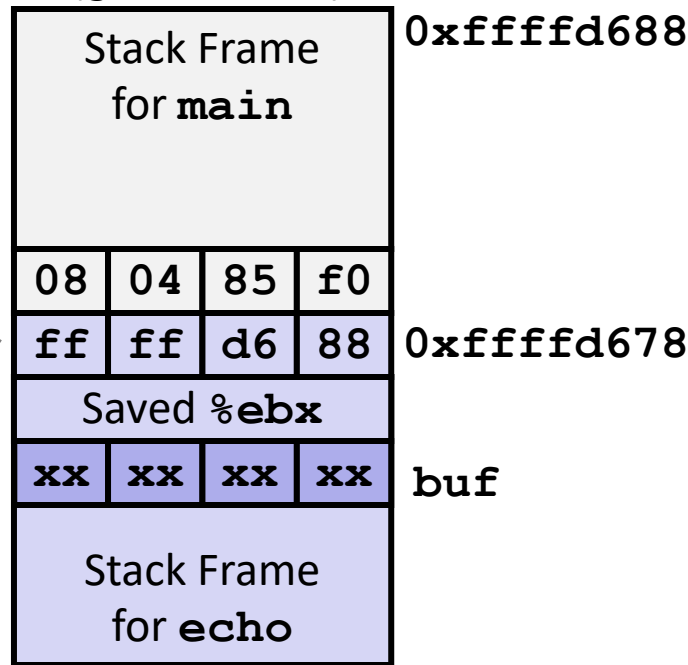
Ví dụ chạy thực tế

```
unix> gdb bufdemo
(gdb) break echo
Breakpoint 1 at 0x80485c9
(gdb) run
Breakpoint 1, 0x80485c9 in echo ()
(gdb) print /x $ebp
$1 = 0xffffd678
(gdb) print /x *(unsigned *)$ebp
$2 = 0xffffd688
(gdb) print /x *((unsigned *)$ebp + 1)
$3 = 0x80485f0
```

Trước khi gọi gets
(tên đại diện)



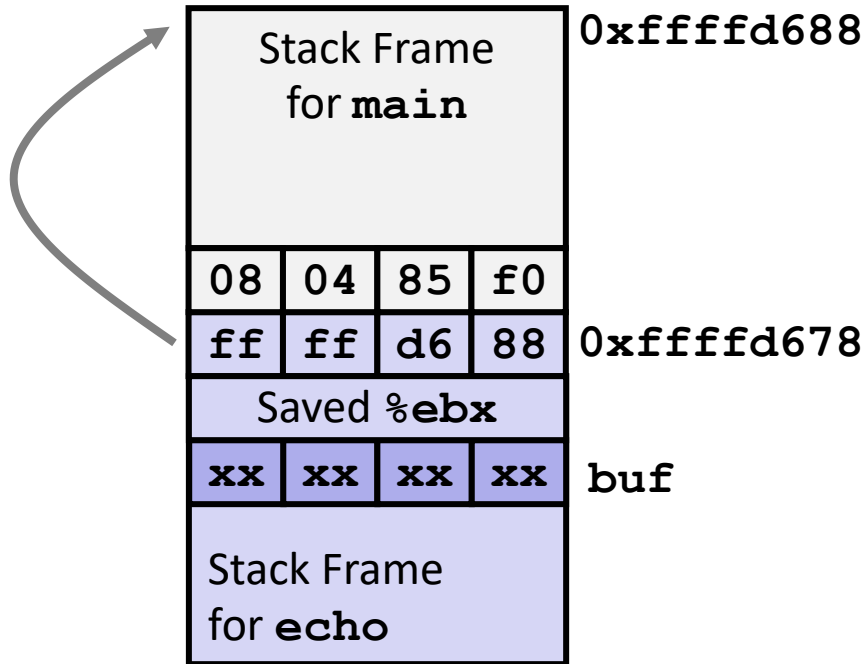
Trước khi gọi gets
(giá trị cụ thể)



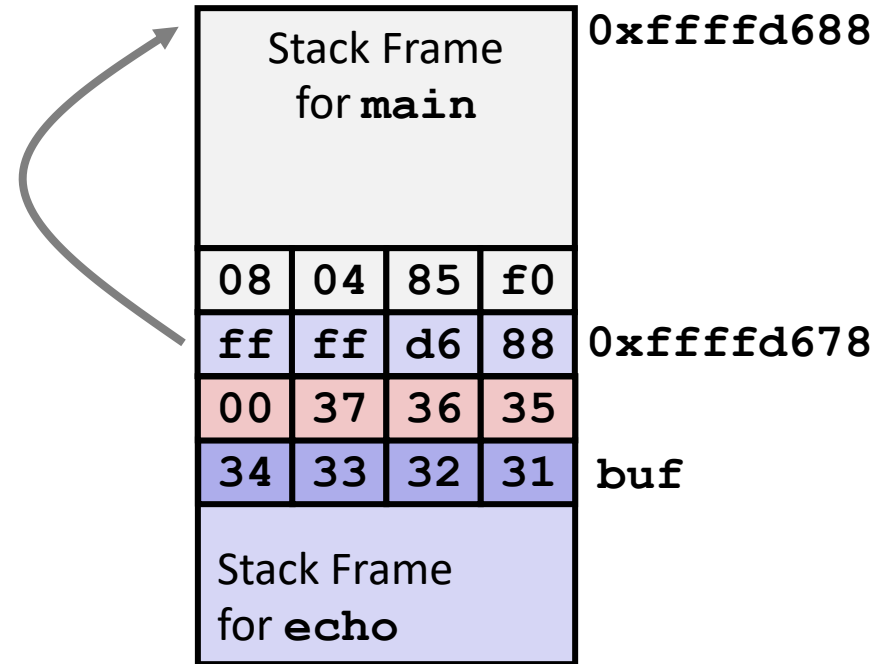
```
80485eb:  e8 d5 ff ff ff    call    80485c5 <echo>
80485f0:  c9                leave
```

Buffer Overflow: Ví dụ #1

Before call to gets



Input: 1234567

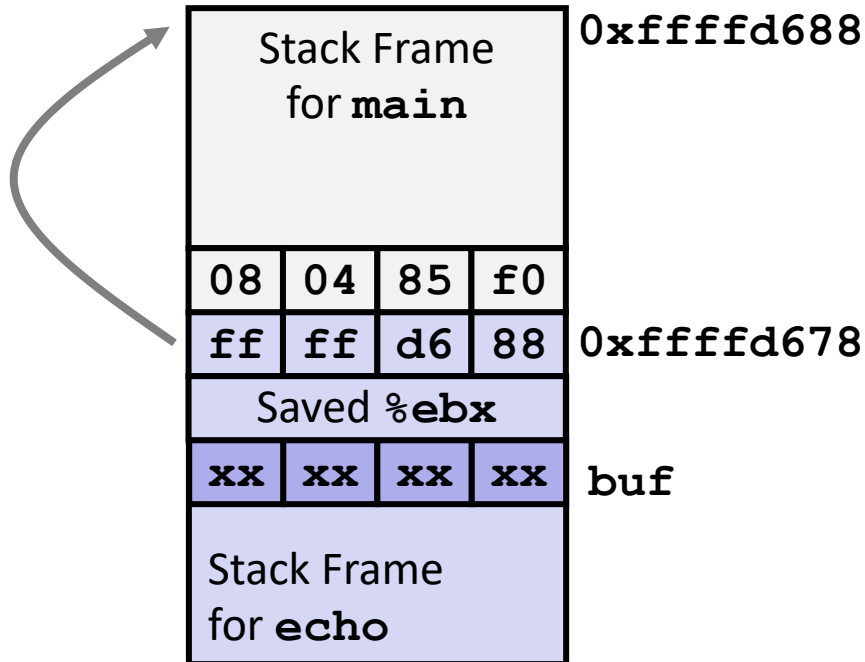


```
unix> ./bufdemo
Type a string: 1234567
1234567
```

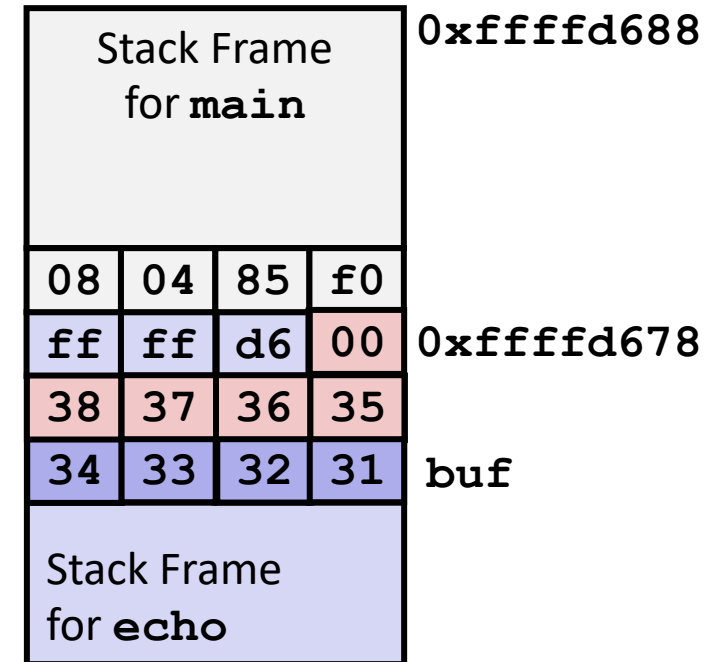
Vượt quá buf, ghi đè %ebx,
nhưng không gây ra vấn đề gì
→ Chỉ làm thay đổi 1 giá trị đã lưu

Buffer Overflow: Ví dụ #2

Before call to gets



Input: 12345678



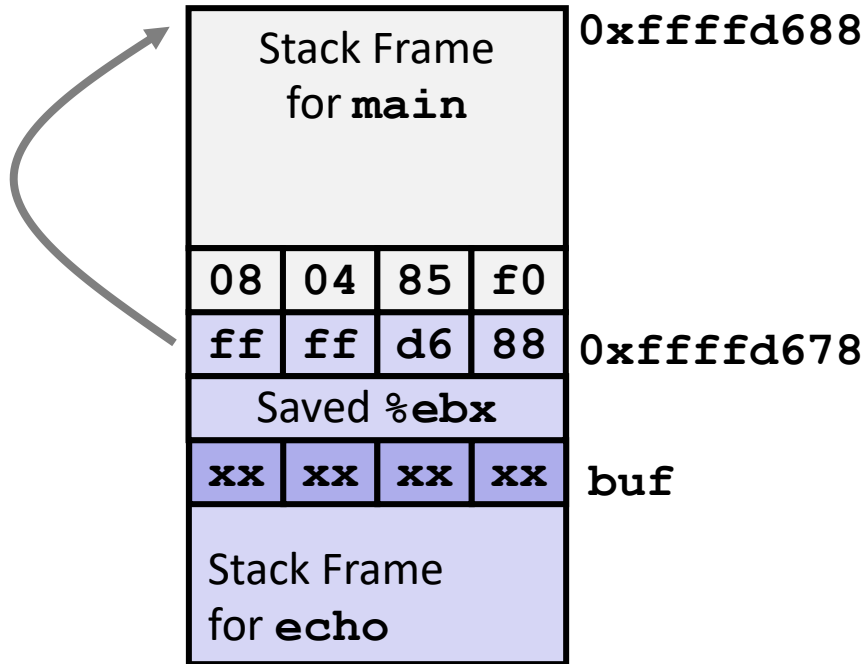
Ghi đè %ebp cũ → lỗi

```
unix> ./bufdemo
Type a string: 12345678
Segmentation Fault
```

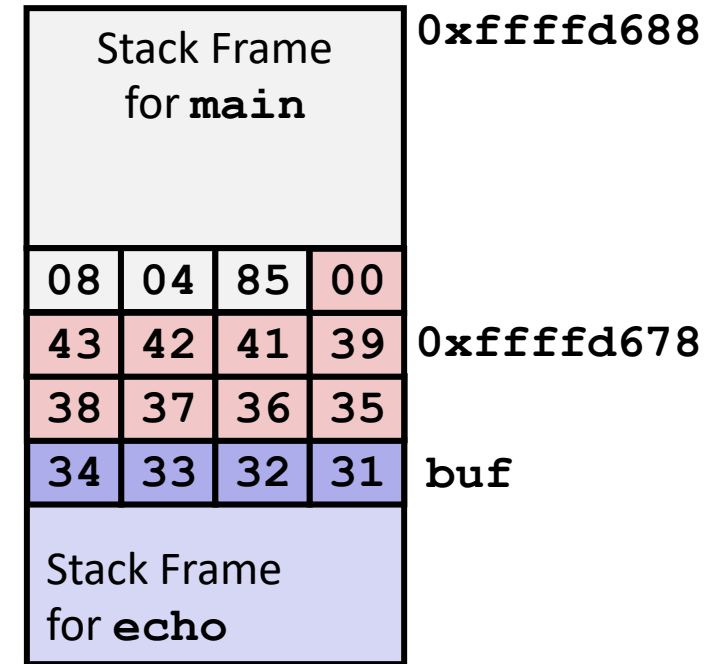
```
. . .
80485eb:  e8 d5 ff ff ff  call 80485c5 <echo>
80485f0:  c9                leave # Set %ebp to corrupted value
80485f1:  c3                ret
```

Buffer Overflow: Ví dụ #3

Before call to gets



Input: 123456789ABC



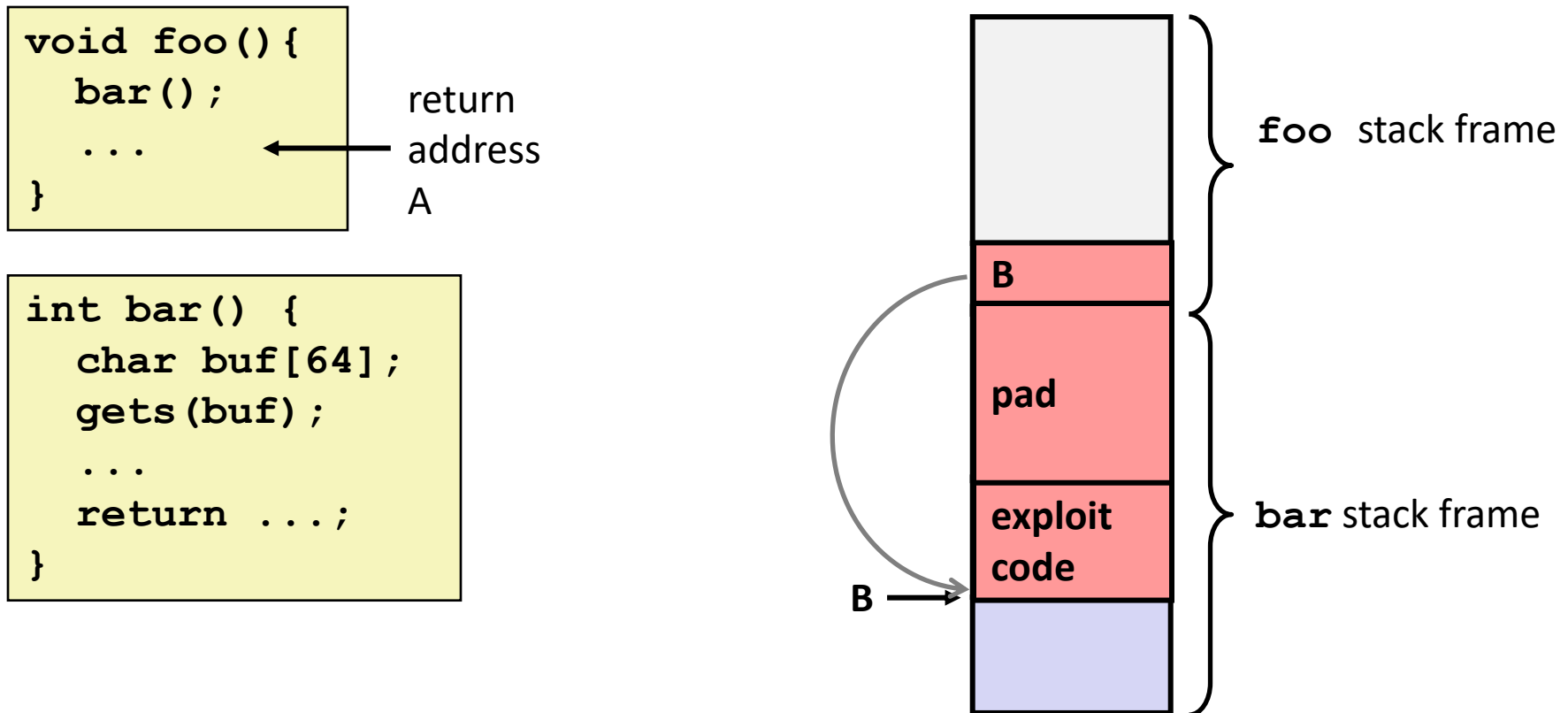
```
unix> ./bufdemo
Type a string: 123456789ABC
Segmentation Fault
```

Return address bị ghi đè

```
80485eb:  e8 d5 ff ff ff  call
80485f0:  c9              leave
```

```
80485c5 <echo>
# Desired return point
```

Lợi dụng Buffer Overflow với mục đích gây hại



- Chuỗi nhập vào chứa các byte biểu diễn của code thực thi
- Ghi đè **return address A** bằng địa chỉ của **buffer B** (chuỗi đã nhập), chính xác hơn là vị trí bắt đầu của những byte code thực thi
- Khi bar() thực thi lệnh ret, sẽ nhảy đến vị trí B để thực thi code

Các tấn công dựa trên Buffer Overflows (1)

- *Buffer overflow cho phép các máy tính từ xa thực thi các code mong muốn trên máy tính nạn nhân*
- **Internet worm**
 - Các phiên bản đầu tiên của finger server (fingerd) sử dụng **gets()** để đọc các tham số gửi từ phía client:
 - `finger droh@cs.cmu.edu`
 - Worm tấn công fingerd server bằng cách gửi tham số như sau:
 - `finger "exploit-code padding new-return-address"`
 - exploit code: thực thi một root shell trên máy tính nạn nhân với kết nối TCP đến attacker.

Các tấn công dựa trên Buffer Overflows (2)

- *Buffer overflow cho phép các máy tính từ xa thực thi các code mong muốn trên máy tính nạn nhân*
- **IM War**
 - AOL khai thác lỗ hổng buffer overflow trên AIM clients
 - exploit code: trả về signature 4-bytes cho server.
 - Khi Microsoft sửa code để khớp signature, AOL thay đổi vị trí signature.

Date: Wed, 11 Aug 1999 11:30:57 -0700 (PDT)
From: Phil Bucking <philbucking@yahoo.com>
Subject: AOL exploiting buffer overrun bug in their own software!
To: rms@pharlap.com

Mr. Smith,

I am writing you because I have discovered something that I think you might find interesting because you are an Internet security expert with experience in this area. I have also tried to contact AOL but received no response.

I am a developer who has been working on a revolutionary new instant messaging client that should be released later this year.

...
It appears that the AIM client has a buffer overrun bug. By itself this might not be the end of the world, as MS surely has had its share. But AOL is now *exploiting their own buffer overrun bug* to help in its efforts to block MS Instant Messenger.

....
Since you have significant credibility with the press I hope that you can use this information to help inform people that behind AOL's friendly exterior they are nefariously compromising peoples' security.

Sincerely,
Phil Bucking
Founder, Bucking Consulting
philbucking@yahoo.com

***It was later determined that this
email originated from within
Microsoft!***

Tránh lỗi hồng buffer overflow

```
/* Echo Line */  
void echo()  
{  
    char buf[4]; /* Way too small! */  
    fgets(buf, 4, stdin);  
    puts(buf);  
}
```

- **Sử dụng các hàm thư viện có giới hạn độ dài chuỗi**
 - **fgets** thay cho **gets**
 - **strncpy** thay cho **strcpy**
 - Không dùng **scanf** với định dạng **%s**
 - Dùng **fgets** để đọc chuỗi
 - Hoặc dùng **%ns** với giá trị **n** phù hợp

Bảo vệ ở mức hệ thống (system-level)

■ Stack offsets ngẫu nhiên

- Khi chạy một chương trình, cấp phát một không gian có kích thước ngẫu nhiên trong stack
- Gây khó khăn cho hacker để đoán được vị trí bắt đầu của exploit code đã thêm

■ Những code segment không thực thi được

- Trong hệ thống x86, có thể đánh dấu cho các vùng nhớ là “read-only” hay “writeable”
 - Có thể thực thi bất cứ thứ gì đọc được
- x86-64 thêm quyền thực thi “execute” trên các vùng nhớ

```
unix> gdb bufdemo
(gdb) break echo

(gdb) run
(gdb) print /x $ebp
$1 = 0xfffffc638

(gdb) run
(gdb) print /x $ebp
$2 = 0xfffffbb08

(gdb) run
(gdb) print /x $ebp
$3 = 0xfffffc6a8
```

Stack Canaries

■ Ý tưởng

- Đặt một giá trị đặc biệt (canary) trong stack nằm bên ngoài buffer
- Kiểm tra có bị ghi đè hay không trước khi thoát hàm

■ Hỗ trợ trong GCC

- `-fstack-protector`
- `-fstack-protector-all`

```
unix>./bufdemo-protected
Type a string:1234
1234
```

```
unix>./bufdemo-protected
Type a string:12345
*** stack smashing detected ***
```

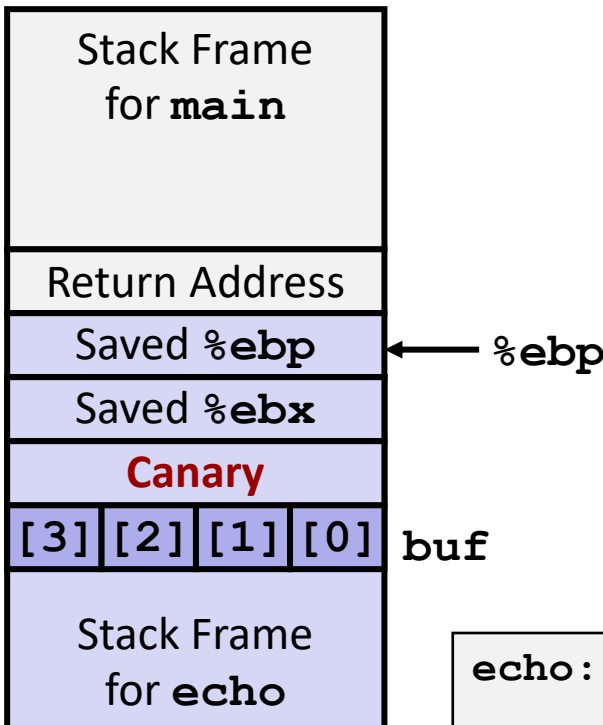
Buffer được bảo vệ: Disassembly

echo:

804864d:	55	push	%ebp
804864e:	89 e5	mov	%esp, %ebp
8048650:	53	push	%ebx
8048651:	83 ec 14	sub	\$0x14, %esp
8048654:	65 a1 14 00 00 00	mov	%gs:0x14, %eax
804865a:	89 45 f8	mov	%eax, 0xffffffff8(%ebp)
804865d:	31 c0	xor	%eax, %eax
804865f:	8d 5d f4	lea	0xfffffffff4(%ebp), %ebx
8048662:	89 1c 24	mov	%ebx, (%esp)
8048665:	e8 77 ff ff ff	call	80485e1 <gets>
804866a:	89 1c 24	mov	%ebx, (%esp)
804866d:	e8 ca fd ff ff	call	804843c <puts@plt>
8048672:	8b 45 f8	mov	0xfffffffff8(%ebp), %eax
8048675:	65 33 05 14 00 00 00	xor	%gs:0x14, %eax
804867c:	74 05	je	8048683 <echo+0x36>
804867e:	e8 a9 fd ff ff	call	804842c <FAIL>
8048683:	83 c4 14	add	\$0x14, %esp
8048686:	5b	pop	%ebx
8048687:	5d	pop	%ebp
8048688:	c3	ret	

Thiết lập Canary

Before call to gets

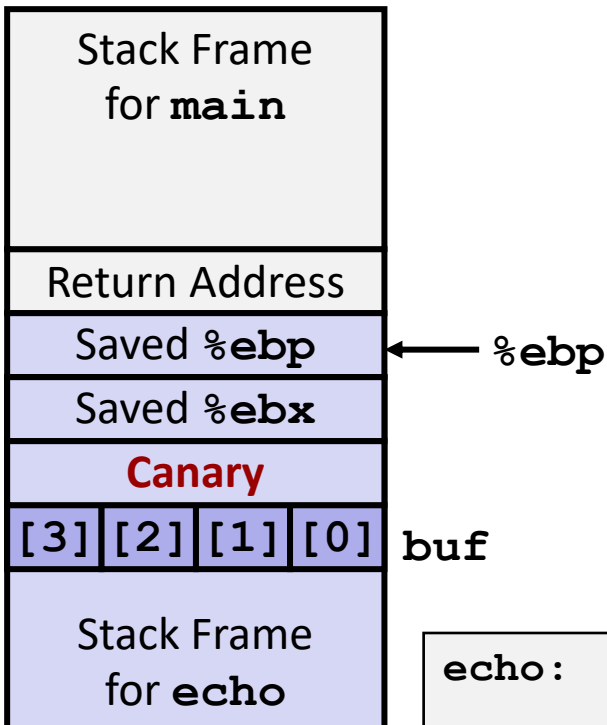


```
/* Echo Line */  
void echo()  
{  
    char buf[4]; /* Way too small! */  
    gets(buf);  
    puts(buf);  
}
```

```
echo:  
    . . .  
    movl    %gs:20, %eax    # Get canary  
    movl    %eax, -8(%ebp)  # Put on stack  
    xorl    %eax, %eax     # Erase canary  
    . . .
```


Kiểm tra Canary

Before call to gets

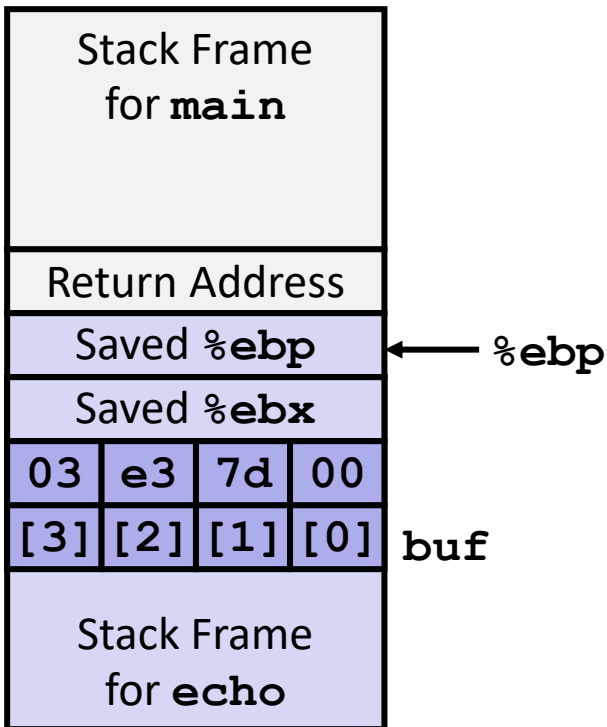


```
/* Echo Line */
void echo()
{
    char buf[4];  /* Way too small! */
    gets(buf);
    puts(buf);
}
```

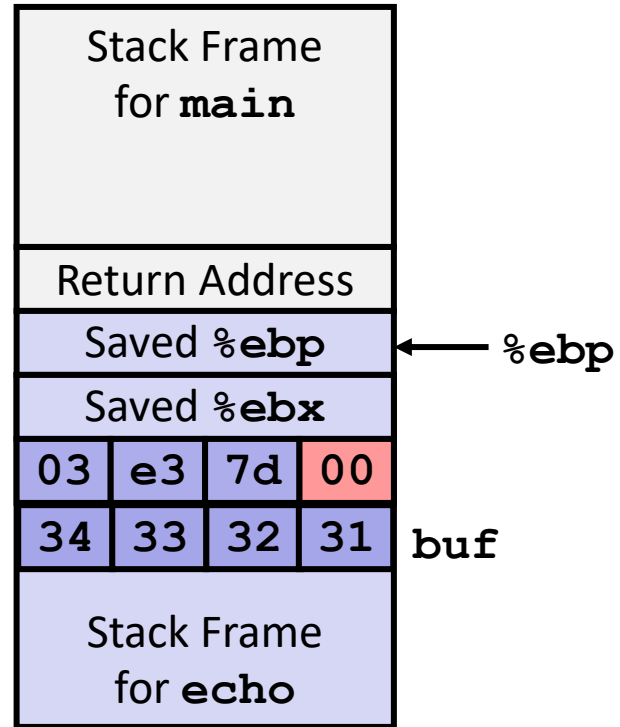
```
echo:
    . . .
    movl    -8(%ebp), %eax    # Retrieve from stack
    xorl    %gs:20, %eax     # Compare with Canary
    je      .L24              # Same: skip ahead
    call    __stack_chk_fail # ERROR
.L24:
    . . .
```

Canary – Có chắc luôn an toàn?

Before call to gets



Input 1234



```
(gdb) break echo
(gdb) run
(gdb) stepi 3
(gdb) print /x *((unsigned *) $ebp - 2)
$1 = 0x3e37d00
```

Canary bị ghi đè nhưng vẫn bình thường!

Nội dung

- Union
- Buffer overflow
 - Lỗ hổng
 - Biện pháp
- Switch (tự tìm hiểu)

Ví dụ về Switch

```
int switch_eg(int x, int y, int z)
{
    int w = 1;
    switch(x) {
    case 1:
        w = y*z;
        break;
    case 2:
        w = y/z;
        /* Fall Through */
    case 3:
        w += z;
        break;
    case 5:
    case 6:
        w -= z;
        break;
    default:
        w = 2;
    }
    return w;
}
```

- Case thông thường:
 - Case 1, 3
- Nhiều case cùng chung đoạn code:
 - Case 5 & 6
- Các case thực thi fallthrough (không break)
 - Case 2
- Case bị khuyết
 - Case 4?

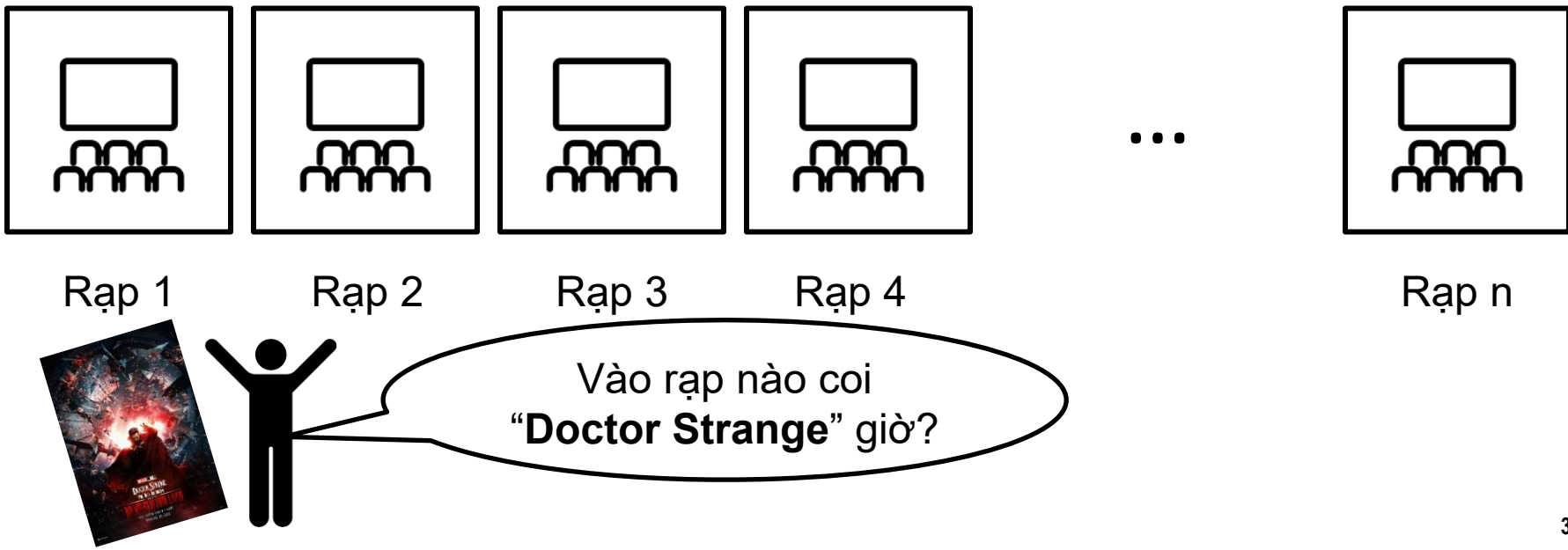
Switch sang If?

```
int switch_eg(int x, int y, int z)
{
    int w = 1;
    switch(x) {
    case 1:
        w = y*z;
        break;
    case 2:
        w = y/z;
        /* Fall Through */
    case 3:
        w += z;
        break;
    case 5:
    case 6:
        w -= z;
        break;
    default:
        w = 2;
    }
    return w;
}
```

```
int switch_eg(int x, int y,
int z)
{
    int w = 1;
    if (x==1)
        w = y*z;
    else if (x == 2)
    {
        w = y/z;
        w += z;
    }
    else if (x==3)
        w += z;
    else if (x==5 || x == 6)
        w -= z;
    else
        w = 2;
    return w;
}
```

Ví dụ: Kiểm soát vé tại rạp chiếu phim

- **Ngữ cảnh:** 1 rạp chiếu phim có n rạp
 - Mỗi rạp chiếu 1 phim
 - Vé chỉ ghi tên phim (không ghi tên rạp)
 - Cần có người kiểm tra và hướng dẫn người xem đến đúng rạp

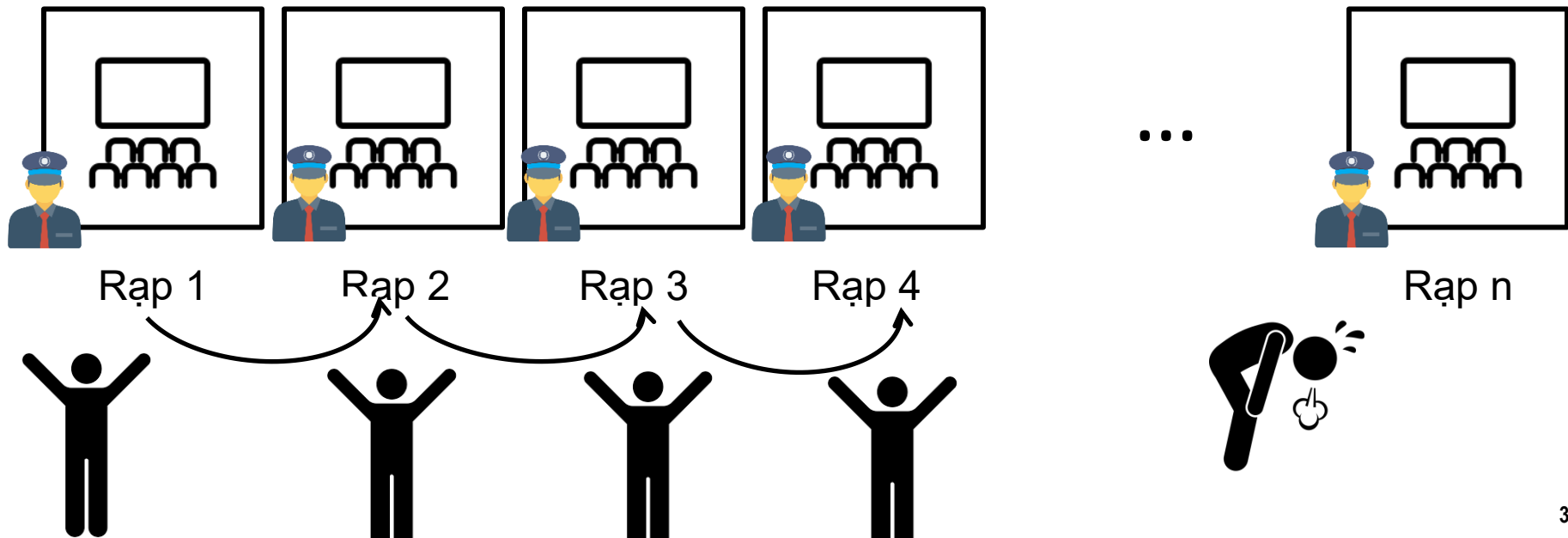


Ví dụ: Kiểm soát vé tại rạp chiếu phim

■ Giải pháp 1:

- Thuê ở mỗi rạp 1 nhân viên kiểm vé
- Người xem đến mỗi rạp xuất trình vé, nếu đúng tên phim của rạp thì vào xem, không thì sang hỏi rạp kế tiếp.
- Kiểm tra đến khi nào đến đúng rạp.

Trường hợp tệ nhất, hỏi hết n rạp

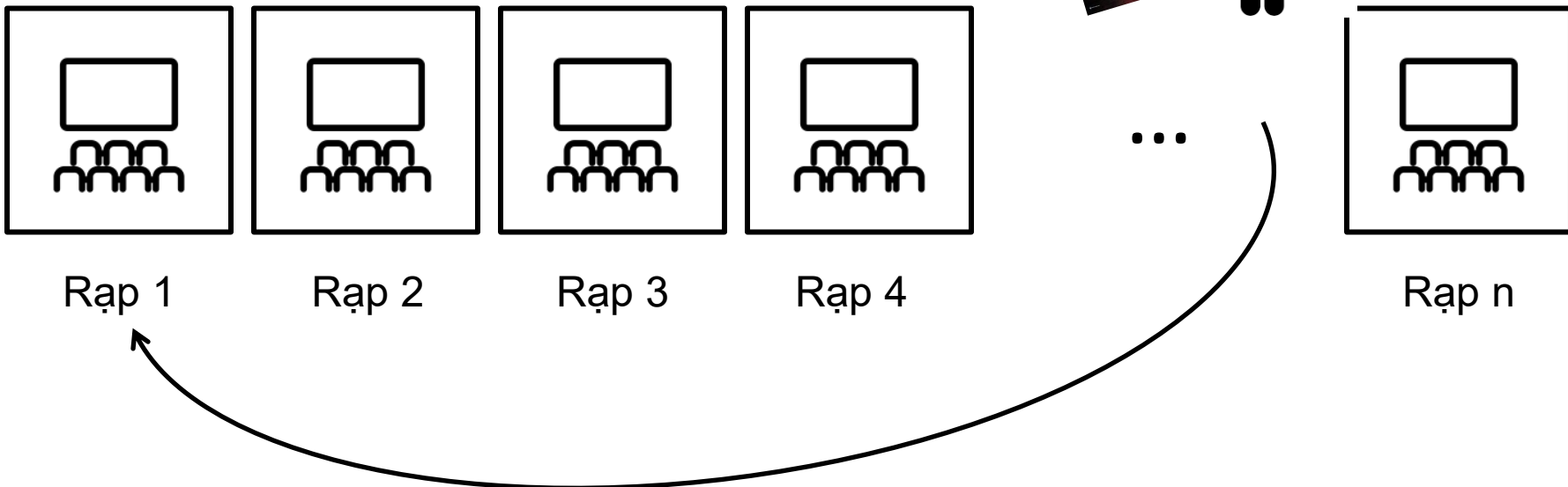
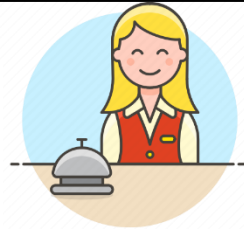


Ví dụ: Kiểm soát vé tại rạp chiếu phim

■ Giải pháp 2:

- Chỉ thuê 1 nhân viên soát vé ở cổng vào.
- Có 1 bảng ánh xạ tên phim – rạp để hướng dẫn người xem vào rạp nào.
- Người xem có vé sau đó có thể vào trực tiếp rạp đã được hướng dẫn.

Doctor Strange	Rạp 1
Thỏ gà	Rạp 2
Ngôi đền kỳ quái	Rạp 3



Ví dụ: Kiểm soát vé tại rạp chiếu phim

■ Giải pháp 1:

- Có thể thích hợp nếu số rạp ít.
- Phải kiểm tra nhiều lần
- Giống if/else với tất cả case của switch

■ Giải pháp 2:

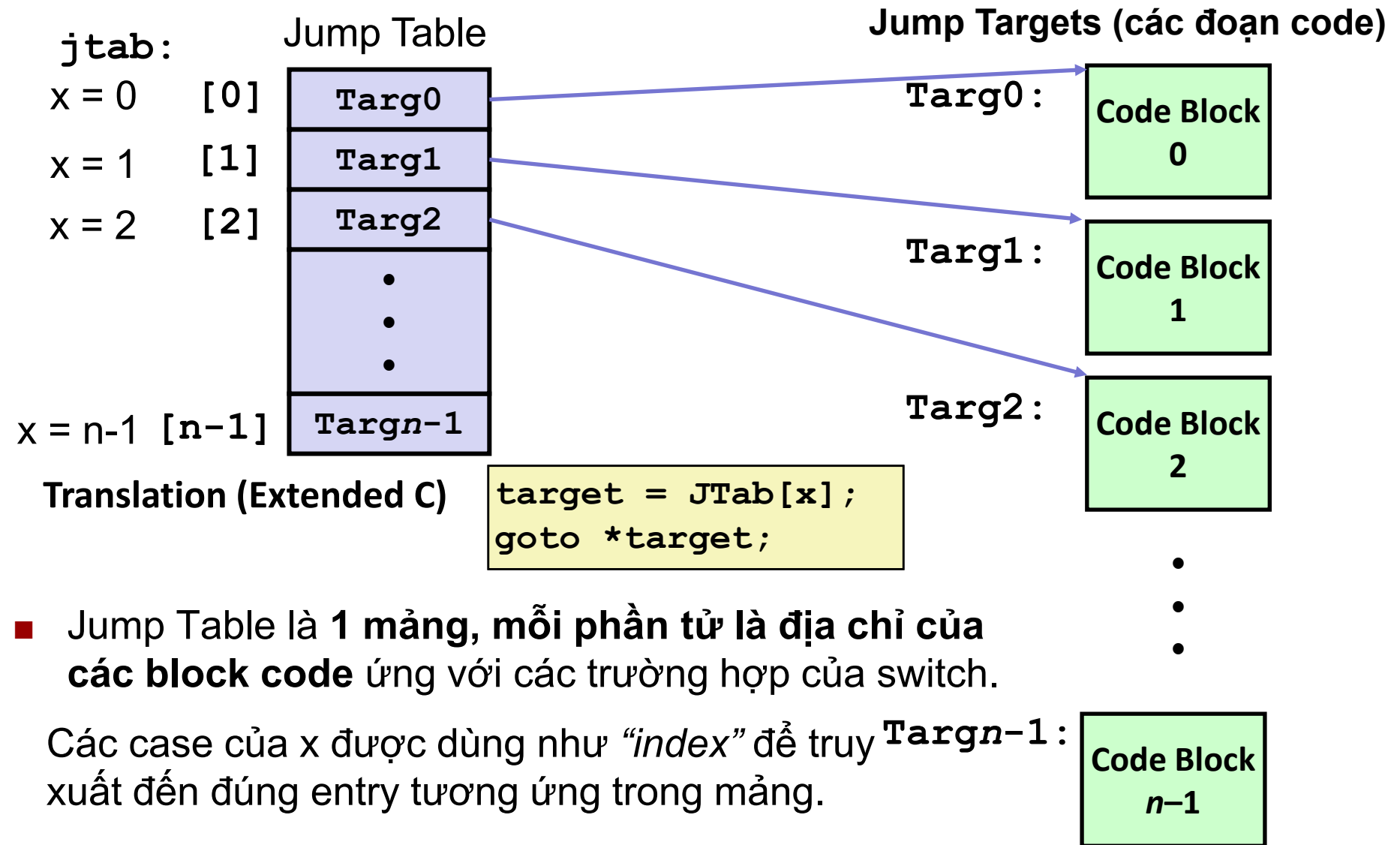
- “Thông minh hơn”
- Chỉ kiểm tra 1 lần
- Cần có bảng ánh xạ giữa phim – rạp, có thể mở rộng dễ dàng

→ Giải pháp 2 tương tự ý tưởng của switch trong assembly

Từ kiểm soát vé sang switch

- Kiểm tra vé ở cổng vào \Leftrightarrow Kiểm tra giá trị một biến với `switch(x)`
- Các rập chiếu phim \Leftrightarrow Vị trí đoạn code cần thực thi trong từng trường hợp
- Bảng ánh xạ phim - rập \Leftrightarrow Bảng ánh xạ các giá trị x với vị trí đoạn code tương ứng cần thực thi (**Jump table**)

Jump Table trong IA32



Switch: Ví dụ (IA32)

Translation (Extended C)

```
target = JTab[x];  
goto *target;
```

Jump table

	.section	.rodata
	.align 4	
&JTab	.L7:	
	.long	.L2 # x = 0
&JTab[1]	.long	.L3 # x = 1
	.long	.L4 # x = 2
&JTab[3]	.long	.L5 # x = 3
	.long	.L2 # x = 4
	.long	.L6 # x = 5
	.long	.L6 # x = 6

Assembly code:

Label của block code

switch_eg:

```
...  
movl    8(%ebp), %eax # %eax = x  
cmpl    $6, %eax     # Compare x:6  
ja      .L2           # If unsigned > goto default  
jmp     *.L7(, %eax, 4) # Goto *JTab[x]
```

Khoảng giá trị nào
ứng với case default?

**Indirect
jump**

Lấy địa chỉ thứ x trong mảng jump
table (JTab)

Switch trong assembly: Giải thích

■ Jump table

- Mỗi địa chỉ đích cần 4 bytes
- Địa chỉ nền (base address) ở .L7

■ Các lệnh nhảy

- **Direct:** `jmp .L2`
- Vị trí cần nhảy đến là label .L2
- **Indirect:** `jmp *.L7(,%eax,4)`
- Vị trí bắt đầu của jump table: .L7
- Phải nhân với hệ số 4 (kích thước mỗi địa chỉ là 32-bits = 4 Bytes trong IA32)
- Lấy ra một địa chỉ đích từ `.L7 + eax*4`
 - Chỉ trong các trường hợp $0 \leq x \leq 6$

Jump table

```
.section      .rodata
    .align 4
.L7:
    .long     .L2 # x = 0
    .long     .L3 # x = 1
    .long     .L4 # x = 2
    .long     .L5 # x = 3
    .long     .L2 # x = 4
    .long     .L6 # x = 5
    .long     .L6 # x = 6
```

Jump Table

Jump table

```
.section .rodata
.align 4
.L7:
.long .L2 # x = 0
.long .L3 # x = 1
.long .L4 # x = 2
.long .L5 # x = 3
.long .L2 # x = 4
.long .L6 # x = 5
.long .L6 # x = 6
```

```
switch(x) {
case 1:      // .L3
    w = y*z;
    break;
case 2:      // .L4
    w = y/z;
    /* Fall Through */
case 3:      // .L5
    w += z;
    break;
case 5:
case 6:      // .L6
    w -= z;
    break;
default:    // .L2
    w = 2;
}
```

Xử lý trường hợp Fall-Through

```
int w = 1;  
    . . .  
switch(x) {  
    . . .  
case 2:  
    w = y/z;  
    /* Fall Through */  
case 3:  
    w += z;  
    break;  
    . . .  
}
```

case 3:
 w = 1;
 goto merge;

case 2: w = y/z;
merge: w += z;

Ví dụ các Code Blocks (1)

```
.section .rodata
.align 4
.L7:
.long .L2 # x = 0
.long .L3 # x = 1
.long .L4 # x = 2
.long .L5 # x = 3
.long .L2 # x = 4
.long .L6 # x = 5
.long .L6 # x = 6
```

```
switch(x) {
case 1:      // .L3
    w = y*z;
    break;

. . .

case 3:      // .L5
    w += z;
    break;

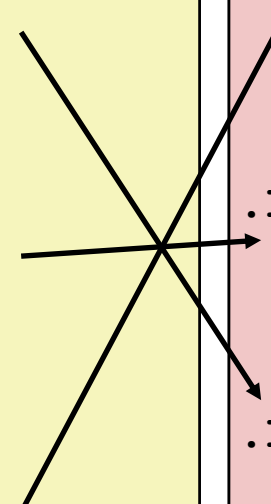
. . .

default:    // .L2
    w = 2;
}
```

```
.L2:      # Default
    movl $2, %eax # w = 2
    jmp .L8      # Goto done

.L5:      # x == 3
    movl $1, %eax # w = 1
    jmp .L9      # Goto merge

.L3:      # x == 1
    movl 16(%ebp), %eax # z
    imull 12(%ebp), %eax # w = y*z
    jmp .L8      # Goto done
```



Ví dụ các Code Blocks (2)

```
.section      .rodata
    .align 4
.L7:
    .long     .L2 # x = 0
    .long     .L3 # x = 1
    .long     .L4 # x = 2
    .long     .L5 # x = 3
    .long     .L2 # x = 4
    .long     .L6 # x = 5
    .long     .L6 # x = 6
```

```
switch(x) {
    . . .
    case 2:  // .L4
        w = y/z;
        /* Fall Through */
    merge:   // .L9
        w += z;
        break;
    case 5:
    case 6:  // .L6
        w -= z;
        break;
}
```

```
.L4:      # x == 2
    movl    12(%ebp), %edx
    movl    %edx, %eax
    sarl    $31, %edx
    idivl   16(%ebp) # w = y/z

.L9:      # merge:
    addl    16(%ebp), %eax # w += z
    jmp     .L8           # goto done

.L6:      # x == 5, 6
    movl    $1, %eax      # w = 1
    subl    16(%ebp), %eax # w = 1-z
```

Switch Code (Kết thúc)

```
return w;
```

```
.L8:      # done:  
    popl   %ebp  
    ret
```

■ Lưu ý

- Sử dụng jump table để xử lý các trường hợp khuyết hoặc trùng
- Sử dụng trình tự chương trình để xử lý trường hợp fall-through
- Không khởi tạo w = 1 trừ khi cần thiết

Switch trong x86-64?

- Chung ý tưởng hiện thực, tùy chỉnh code theo 64-bit
- Jump Table chứa các địa chỉ 64 bits (pointers)

```
switch(x) {  
  case 1:      // .L3  
    w = y*z;  
    break;  
  . . .  
}
```

```
.L3:  
  movq    %rdx, %rax  
  imulq   %rsi, %rax  
  ret
```

Jump Table

```
.section .rodata  
.align 8  
.L7:  
  .quad   .L2      # x = 0  
  .quad   .L3      # x = 1  
  .quad   .L4      # x = 2  
  .quad   .L5      # x = 3  
  .quad   .L2      # x = 4  
  .quad   .L6      # x = 5  
  .quad   .L6      # x = 6
```

IA32 Object Code

■ Setup

- Label .L2 (default) chuyển thành địa chỉ 0x8048422
- Label .L7 (base của jump table) chuyển thành địa chỉ 0x8048660

Assembly Code

```
switch_eg:
    . . .
    ja      .L2          # If unsigned > goto default
    jmp     *.L7(, %eax, 4) # Goto *JTab[x]
```

Disassembled Object Code

```
08048410 <switch_eg>:
    . . .
    8048419: 77 07                ja      8048422 <switch_eg+0x12>
    804841b: ff 24 85 60 86 04 08 jmp     *0x8048660(, %eax, 4)
```

IA32 Object Code (tt)

■ Jump Table

- Không hiển thị trong disassembled code
- Có thể xem được với lệnh GDB

`gdb switch`

`(gdb) x/7xw 0x8048660`

- Examine 7 hexadecimal format “words” (mỗi word 4 bytes)
- Sử dụng lệnh “help x” để biết thêm format

0x8048660:	0x08048422	0x08048432	0x0804843b	0x08048429
0x8048670:	0x08048422	0x0804844b	0x0804844b	

IA32 Object Code (tt)

■ Phân tích Jump Table

0x8048660: 0x08048422 0x08048432 0x0804843b 0x08048429
0x8048670: 0x08048422 0x0804844b 0x0804844b

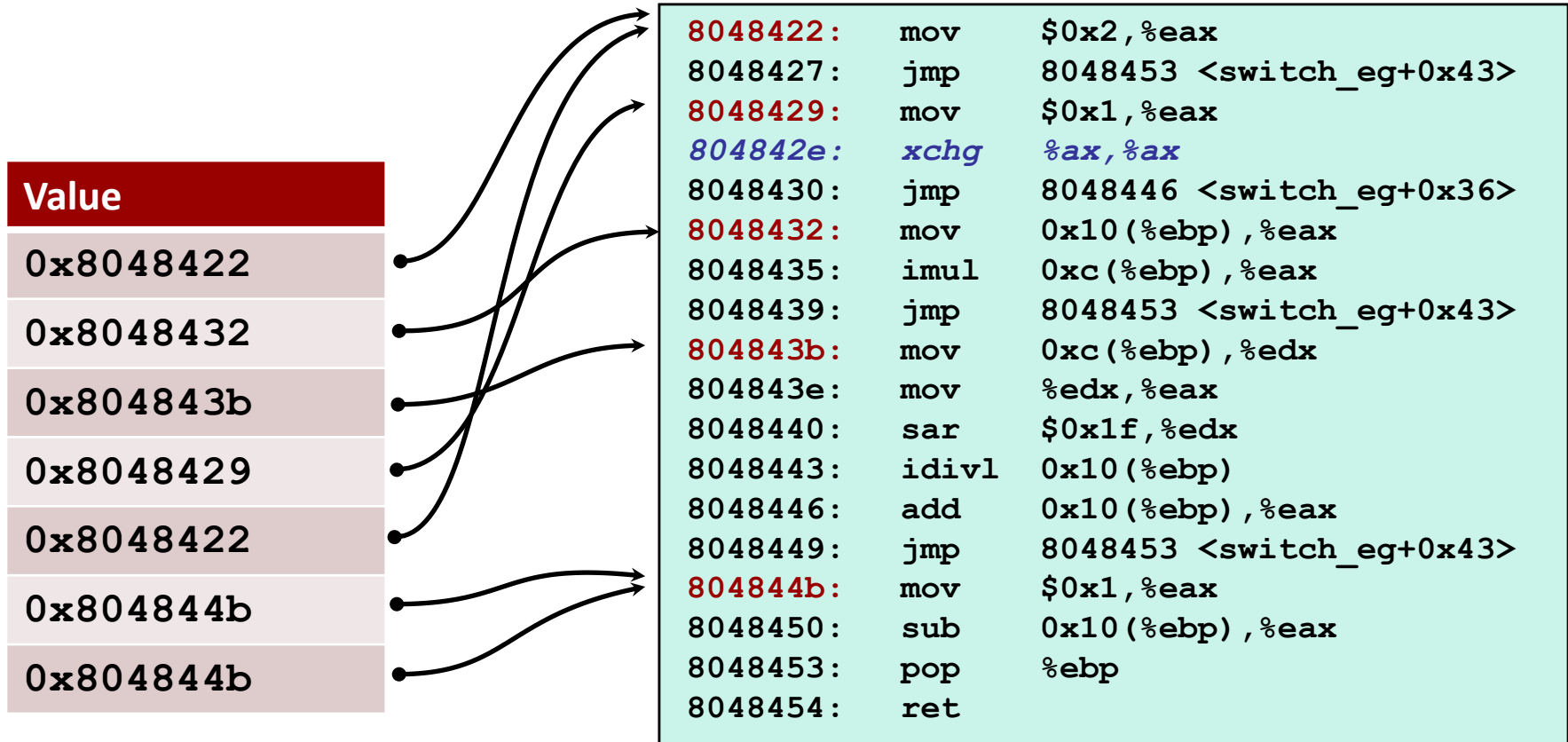
Address	Value	x
0x8048660	0x08048422	0
0x8048664	0x08048432	1
0x8048668	0x0804843b	2
0x804866c	0x08048429	3
0x8048670	0x08048422	4
0x8048674	0x0804844b	5
0x8048678	0x0804844b	6

Disassembled Targets – Các block code

0x8048660: 0x08048422 0x08048432 0x0804843b 0x08048429
0x8048670: 0x08048422 0x0804844b 0x0804844b

→	8048422:	b8 02 00 00 00	mov	\$0x2,%eax
	8048427:	eb 2a	jmp	8048453 <switch_eg+0x43>
→	8048429:	b8 01 00 00 00	mov	\$0x1,%eax
	804842e:	66 90	<i>xchg</i>	<i>%ax,%ax # noop</i>
	8048430:	eb 14	jmp	8048446 <switch_eg+0x36>
→	8048432:	8b 45 10	mov	0x10(%ebp),%eax
	8048435:	0f af 45 0c	imul	0xc(%ebp),%eax
	8048439:	eb 18	jmp	8048453 <switch_eg+0x43>
→	804843b:	8b 55 0c	mov	0xc(%ebp),%edx
	804843e:	89 d0	mov	%edx,%eax
	8048440:	c1 fa 1f	sar	\$0x1f,%edx
	8048443:	f7 7d 10	idivl	0x10(%ebp)
	8048446:	03 45 10	add	0x10(%ebp),%eax
	8048449:	eb 08	jmp	8048453 <switch_eg+0x43>
→	804844b:	b8 01 00 00 00	mov	\$0x1,%eax
	8048450:	2b 45 10	sub	0x10(%ebp),%eax
	8048453:	5d	pop	%ebp
	8048454:	c3	ret	

Matching Disassembled Targets



Switch: Thêm

■ Giả sử x trong khoảng từ 10 đến 14?

- Bao nhiêu entry trong Jump Table?

? 15 entry cho các trường hợp từ 0 đến 14
(tính cả trường hợp khuyết)??

Assembly code:

```
subl    $10, %eax
cmpl    $4, %eax
ja      .L2
movl    .L4(,%eax,4), %eax
jmp     *%eax
```

```
.L4:
.long   .L8
.long   .L7
.long   .L6
.long   .L5
.long   .L3
```

```
int result = 0;
switch(x)
{
    case 10: ...
    case 11: ...
    case 12: ...
    case 13: ...
    case 14: ...
    default: ...
}
```

Sử dụng phép trừ để chuyển khoảng giá trị của x về khoảng index có thể truy xuất jump table
 $x \in [10, 14] \rightarrow x \in [0, 4]$

Switch: Thêm

■ Tìm các giá trị của các case trong switch?

<i>x at %ebp+8</i>		<i>Jump table for switch2</i>		<i>switch(x)</i>
1	movl 8(%ebp), %eax	1	.L8:	{
	<i>Set up jump table access</i>	2	.long .L3	case -2:...
2	addl \$2, %eax	3	.long .L2	case 0:...
3	cmpl \$6, %eax	4	.long .L4	case 1:...
4	ja .L2	5	.long .L5	case 2:...
5	jmp *.L8(,%eax,4)	6	.long .L6	case 3:...
		7	.long .L6	case 4:...
		8	.long .L7	default:...
				}

- Dòng assembly 2: **index = x + 2**
- Dòng assembly 3 & 4: nếu index lớn hơn 6 thì nhảy đến .L2 → **.L2 là trường hợp default**
- Truy xuất jump table với index
 - 7 entry trong jump table → 7 trường hợp giá trị của index từ 0 – 6
 - Tuy nhiên index = 1 có chung nhãn .L2 với trường hợp default → index = 1 là trường hợp khuyết

Các case của index: 0, 2, 3, 4, 5, 6

Các case của x: -2, 0, 1, 2, 3, 4

Assembly code

```
//x at %ebp+12, y at %ebp+16, n at %ebp+8
1.      movl    8(%ebp), %eax      // n
2.      movb    %al, -20(%ebp)    // ??
3.      movl    $0, -4(%ebp)      // z
4.      movsbl  -20(%ebp), %eax
5.      subl    $42, %eax
6.      cmpl    $7, %eax
7.      ja      .L2
8.      movl    .L4(,%eax,4), %eax
9.      jmp     *%eax
10. .L5:
11.      movl    12(%ebp), %edx
12.      movl    16(%ebp), %eax
13.      addl    %edx, %eax
14.      movl    %eax, -4(%ebp)
15.      jmp     .L10
16. .L6:
17.      movl    12(%ebp), %eax
18.      subl    16(%ebp), %eax
19.      movl    %eax, -4(%ebp)
20.      jmp     .L10
21. .L3:
22.      movl    12(%ebp), %eax
23.      imull    16(%ebp), %eax
24.      movl    %eax, -4(%ebp)
25.      jmp     .L10
```

Switch (*)

```
26. .L7:
27.      movl    12(%ebp), %eax
28.      cltd
29.      idivl    16(%ebp)
30.      movl    %eax, -4(%ebp)
31.      jmp     .L10
32. .L8:
33.      movl    12(%ebp), %eax
34.      movl    %eax, -4(%ebp)
35.      jmp     .L10
36. .L9:
37.      movl    16(%ebp), %eax
38.      movl    %eax, -4(%ebp)
39.      jmp     .L10
40. .L2:
41.      movl    $1, -4(%ebp)
42. .L10:
43.      movl    -4(%ebp), %eax
44.      leave
45.      ret
```

```
.L4:
        .long    .L3
        .long    .L5
        .long    .L2
        .long    .L6
        .long    .L2
        .long    .L7
        .long    .L8
        .long    .L9
```

Thử viết code C tương ứng?

```
int function(char n,int x, int y)
```

```
{
```

```
    int z = 0;
```

```
    switch(n)
```

```
    ....
```

```
}
```

Nội dung

■ Các chủ đề chính:

- 1) Biểu diễn các kiểu dữ liệu và các phép tính toán bit
- 2) Ngôn ngữ assembly
- 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

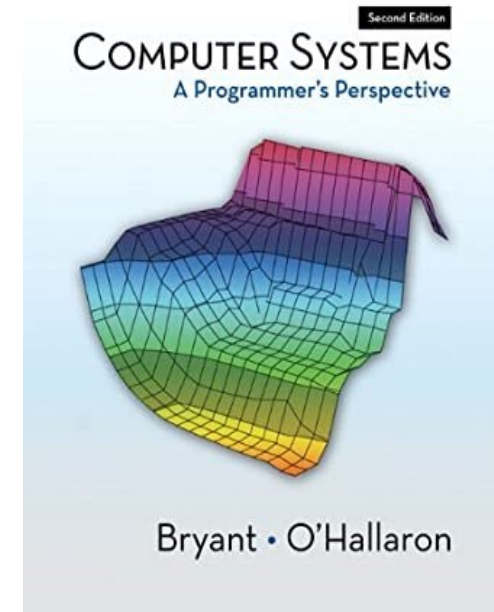
- | | |
|---|---|
| ▪ Lab 1: Nội dung <u>1</u> | ▪ Lab 4: Nội dung 1, <u>2</u> , 3, <u>4</u> , 5, <u>6</u> |
| ▪ Lab 2: Nội dung 1, <u>2</u> , <u>3</u> | ▪ Lab 5: Nội dung 1, <u>2</u> , 3, <u>4</u> , 5, <u>6</u> |
| ▪ Lab 3: Nội dung 1, <u>2</u> , <u>3</u> , <u>4</u> , <u>5</u> , <u>6</u> | ▪ Lab 6: Nội dung <u>1</u> , <u>2</u> , <u>3</u> , <u>4</u> , <u>5</u> , <u>6</u> |

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 :)**