

# องค์ประกอบคอมพิวเตอร์และภาษาแอสเซมบลี: กรณีศึกษา Raspberry Pi

## บทที่ 2 ข้อมูลและคณิตศาสตร์คอมพิวเตอร์

รศ.ดร.สุรินทร์ กิตติธรรมกุล

ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

# สารบัญ

- บทที่ 1 บทนำ
- บทที่ 2 ข้อมูลและคณิตศาสตร์ในคอมพิวเตอร์
- บทที่ 3 ฮาร์ดแวร์และซอฟต์แวร์ของคอมพิวเตอร์
- บทที่ 4 ภาษาแอสเซมบลีของ ARM เวอร์ชัน 32 บิต
- บทที่ 5 ลำดับชั้นของหน่วยความจำ
- บทที่ 6 อุปกรณ์/วงจรอินพุตและเอาต์พุต
- บทที่ 7 อุปกรณ์เก็บรักษาข้อมูลและระบบไฟล์
- บทที่ 8 การคำนวณแบบขนาน (Parallel Computing) ด้วยบอร์ด Pi

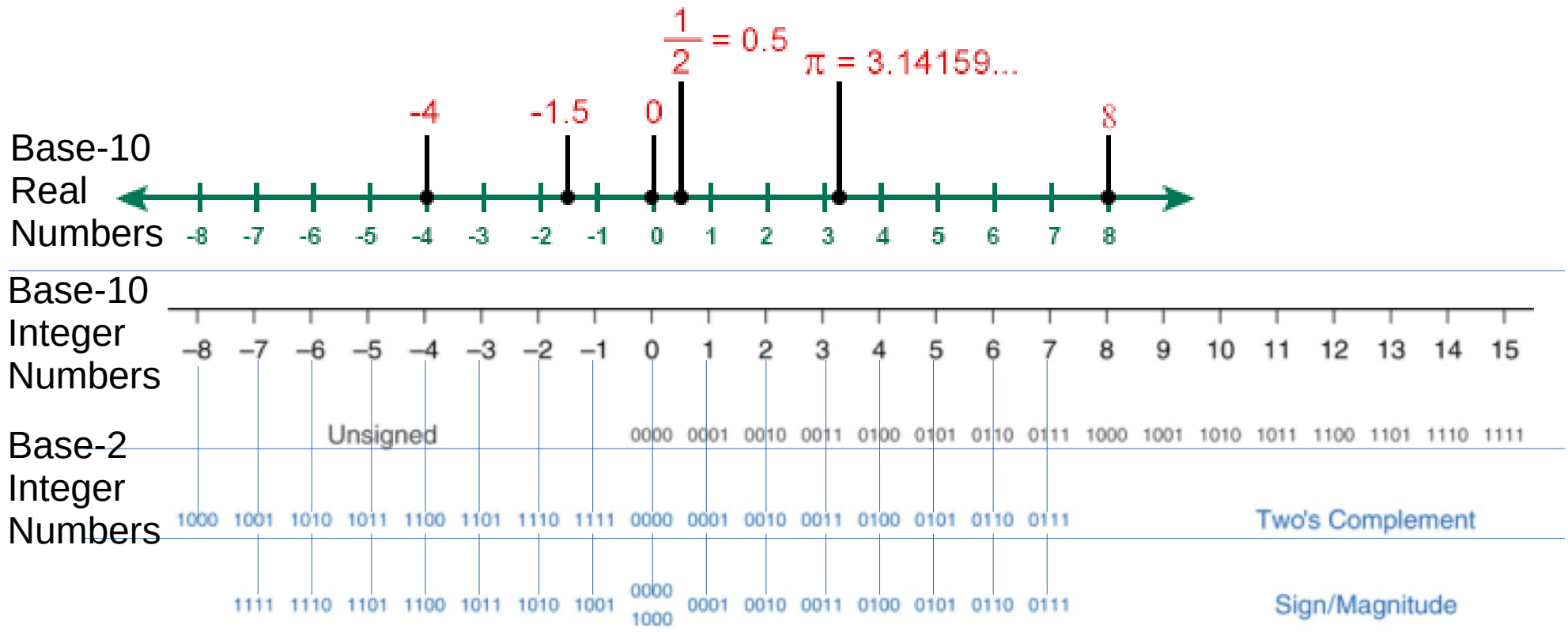
# สารบัญ

- บทที่ 2 ข้อมูลและคณิตศาสตร์ในคอมพิวเตอร์
  - 2.1 ข้อมูลพื้นฐานชนิดต่างในภาษา C/C++
  - 2.2 เลขจำนวนเต็มฐานสอง
  - 2.3 คณิตศาสตร์เลขจำนวนเต็มฐานสอง
  - 2.4 เลขทศนิยมฐานสองชนิดจุดคงที่ (Binary Fixed Point)
  - 2.5 เลขทศนิยมฐานสองชนิดจุดลอยตัว (Binary Floating Point)
  - 2.6 เลขทศนิยมฐานสองชนิดจุดลอยตัวมาตรฐาน IEEE754
  - 2.7 ตัวอักษร

## บทที่ 2 ข้อมูลและคณิตศาสตร์ในคอมพิวเตอร์

| ชนิด               | ความยาว(บิต) | ค่าต่ำสุด <sub>10</sub>                    | ค่าสูงสุด <sub>10</sub>                           |
|--------------------|--------------|--|---|
| unsigned char      | 8            | 0  | $2^8-1=255$                                       |
| char               | 8            | $-2^7=-128$                                | $+2^7-1=+127$                                     |
| unsigned short     | 16           | 0  | $2^{16}-1=65,535$                                 |
| short              | 16           | $-2^{15}=-32,768$                          | $+2^{15}-1=+32,767$                               |
| unsigned int       | 32           | 0  | $2^{32}-1=4,294,967,295$                          |
| int                | 32           | $-2^{31}=-2,147,483,648$                   | $+2^{31}-1=+2,147,483,647$                        |
| unsigned long long | 64           | 0  | $+2^{64}-1$                                       |
| long long          | 64           | $-2^{63}$                                  | $+2^{63}-1$                                       |
| float              | 32           | $\pm 2^{-127}= \pm 1.18 \times 10^{-38}$   | $\pm 2 \times 2^{127}= \pm 3.40 \times 10^{38}$   |
| double             | 64           | $\pm 2^{-1023}= \pm 2.23 \times 10^{-308}$ | $\pm 2 \times 2^{1023}= \pm 1.80 \times 10^{308}$ |

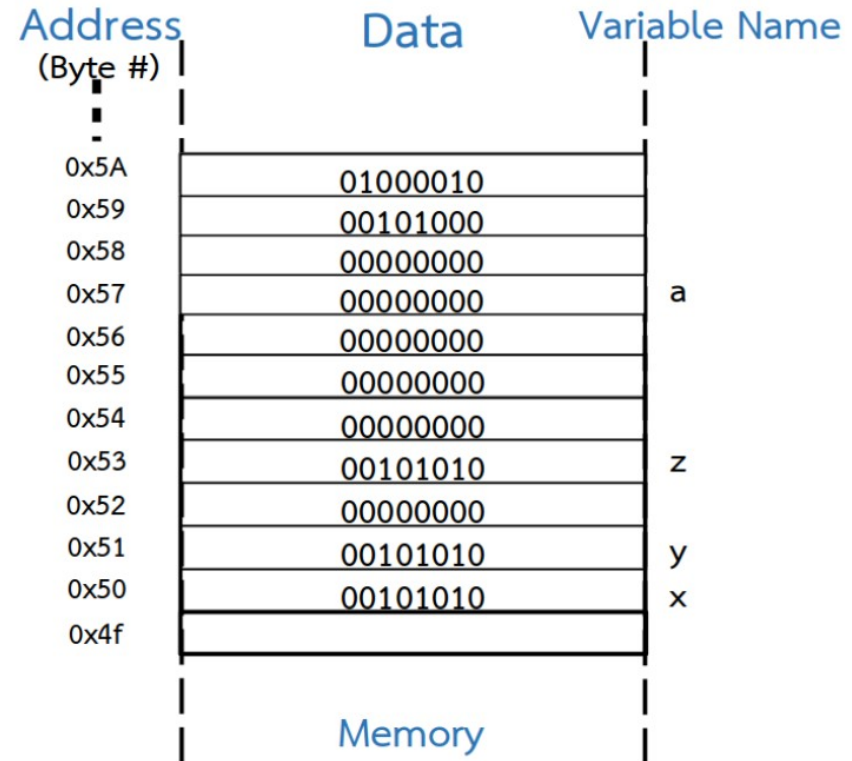
## 2.1 ข้อมูลพื้นฐานชนิดต่างๆ ในภาษา C/C++



## 2.1 ข้อมูลพื้นฐานชนิดต่างๆ ในภาษา C/C++

ตัวอย่างที่ 2.1.1 การประกาศตัวแปรและตั้งค่าเริ่มต้นด้วยภาษา C/C++

```
char x = '*';           /* x = 0x2A */
unsigned short y = 42;  /* y = 0x002A */
unsigned int z = 42;    /* z = 0x0000002A */
float a = 42.0;         /* a = 0x42280000 */
```



## 2.2.1 เลขจำนวนเต็มฐานสอง ชนิดไม่มีเครื่องหมาย

นิยามที่ 2.2.1 กำหนดให้  $X_{2,u}$  เป็นเลขจำนวนเต็มฐานสอง ชนิดไม่มีเครื่องหมาย (Unsigned Integer) ความยาว  $n$  บิต สามารถเขียนอยู่ในรูป

$$X_{2,u} = x_{n-1}x_{n-2}x_{n-3}..x_1x_0 \quad (2.1)$$

เมื่อ  $x_i$  คือ บิตข้อมูลมีค่า “1” (ON) หรือ “0” (OFF) ในตำแหน่งที่  $i$  และ ตำแหน่งขวามือสุดคือ ตำแหน่งหรือบิตที่  $i=0$

## 2.2.1 เลขจำนวนเต็มฐานสอง ชนิดไม่มีเครื่องหมาย

จากนิยามที่ 2.2.1 ค่าจำนวนเต็มฐานสิบ  $X_{10,u}$  ของเลข  $X_{2,u}$  สามารถคำนวณได้จากสมการ

$$X_{10,u} = (x_{n-1} \times 2^{n-1}) + (x_{n-2} \times 2^{n-2}) + \dots + (x_1 \times 2^1) + (x_0 \times 2^0) \quad (2.2)$$

ดังนั้น ค่าฐานสิบ  $X_{10,u}$  อยู่ในช่วง 0 ถึง  $+2^n - 1$

ตัวอย่างที่ 2.2.1 เลขจำนวนเต็มฐานสองชนิดไม่มีเครื่องหมาย  $n=4$  บิต  $X_{2,u} = 1011_2 = B_{16}$

ค่าฐานสิบของ  $X_{2,u}$  ตามสมการที่ (2.2) คือ

$$X_{10,u} = (1 \times 2^3) + (0 \times 2^2) + (1 \times 2^1) + (1 \times 2^0) \quad (2.3)$$

$$= 2^3 + 0 + 2^1 + 2^0 \quad (2.4)$$

$$= 8 + 0 + 2 + 1 \quad (2.5)$$

$$= 11_{10} \quad (2.6)$$



## 2.2.1 เลขจำนวนเต็มฐานสอง ชนิดไม่มีเครื่องหมาย

ดังนั้น  $X_{2,u}$  ของ  $123_{10} = 0111\ 1011_2$

| บิตที่ | เลขฐานสิบ | ผลหาร | เศษ |
|--------|-----------|-------|-----|
| -      | 123       |       |     |
| 0      | 123/2     | 61    | 1   |
| 1      | 61/2      | 30    | 1   |
| 2      | 30/2      | 15    | 0   |
| 3      | 15/2      | 7     | 1   |
| 4      | 7/2       | 3     | 1   |
| 5      | 3/2       | 1     | 1   |
| 6      | 1/2       | 0     | 1   |
| 7      | 0/2       | 0     | 0   |

| บิตที่ $i$ | $2^i$     | ผลลัพธ์- $2^i$ | ตัวตั้ง <sub>10</sub> | $x_i$ |
|------------|-----------|----------------|-----------------------|-------|
| -          |           |                | 123                   |       |
| 7          | $2^7=128$ | 123-128        | 123                   | 0     |
| 6          | $2^6=64$  | 123-64         | 59                    | 1     |
| 5          | $2^5=32$  | 59-32          | 27                    | 1     |
| 4          | $2^4=16$  | 27-16          | 11                    | 1     |
| 3          | $2^3=8$   | 11-8           | 3                     | 1     |
| 2          | $2^2=4$   | 3-4            | 3                     | 0     |
| 1          | $2^1=2$   | 3-2            | 1                     | 1     |
| 0          | $2^0=1$   | 1-1            | 0                     | 1     |

## 2.2.2 เลขจำนวนเต็มฐานสอง ชนิดมีเครื่องหมาย 2's Complement

```
char x = -5; /* x = 0b11111011 */  
short y = -5; /* y = 0b1111111111111011 */  
int z = -5; /* z = 0xFFFFFFFFB */
```

นิยามที่ 2.2.2 กำหนดให้ เลขจำนวนเต็มฐานสองชนิดมีเครื่องหมาย (Signed Integer) แบบ 2-Complement  $X_{2,s}$  ความยาว  $n$  บิตเขียนอยู่ในรูป

$$X_{2,s} = x_{n-1}x_{n-2}x_{n-3}..x_1x_0 \quad (2.15)$$

เมื่อ  $x_{n-1}$  ทำหน้าที่เป็นบิตเครื่องหมาย (Sign bit) มีค่า 1 เมื่อเป็นเลขลบ และ 0 เมื่อเป็นเลขบวก และ  $x_i$  คือ บิตข้อมูลมีค่า 1 หรือ 0 ในตำแหน่งที่  $i$  และตำแหน่งขวามือสุดคือตำแหน่งที่  $i = 0$

## 2.2.2 เลขจำนวนเต็มฐานสอง ชนิดมีเครื่องหมาย 2's Complement

### การแปลงเลขฐานสองเป็นฐานสิบ

การแปลงเลขจำนวนเต็มฐานสองชนิดมีเครื่องหมายแบบ 2's Complement จากนิยามที่ 2.2.2 ให้เป็นค่าฐานสิบสามารถทำได้โดย

$$X_{10,s} = (-x_{n-1} \times 2^{n-1}) + (x_{n-2} \times 2^{n-2}) + \dots + (x_1 \times 2^1) + (x_0 \times 2^0) \quad (2.20)$$

ดังนั้น ค่าฐานสิบ  $X_{10,s}$  อยู่ในช่วง  $-2^{n-1}$  ถึง  $+2^{n-1} - 1$

## 2.2.2 เลขจำนวนเต็มฐานสอง ชนิดมีเครื่องหมาย 2's Complement

ตัวอย่างที่ 2.2.7 เลขจำนวนเต็มฐานสองชนิดมีเครื่องหมายแบบ 2's Complement  $n = 4$  บิต  $X_{2,s} = 1011_2 = B_{16}$  มีค่าฐานสิบเท่ากับเท่าไร

ค่าฐานสิบของ  $X_{2,s}$  ตามสมการที่ (2.20) คือ

$$X_{10,s} = (-1 \times 2^3) + (0 \times 2^2) + (1 \times 2^1) + (1 \times 2^0) \quad (2.21)$$

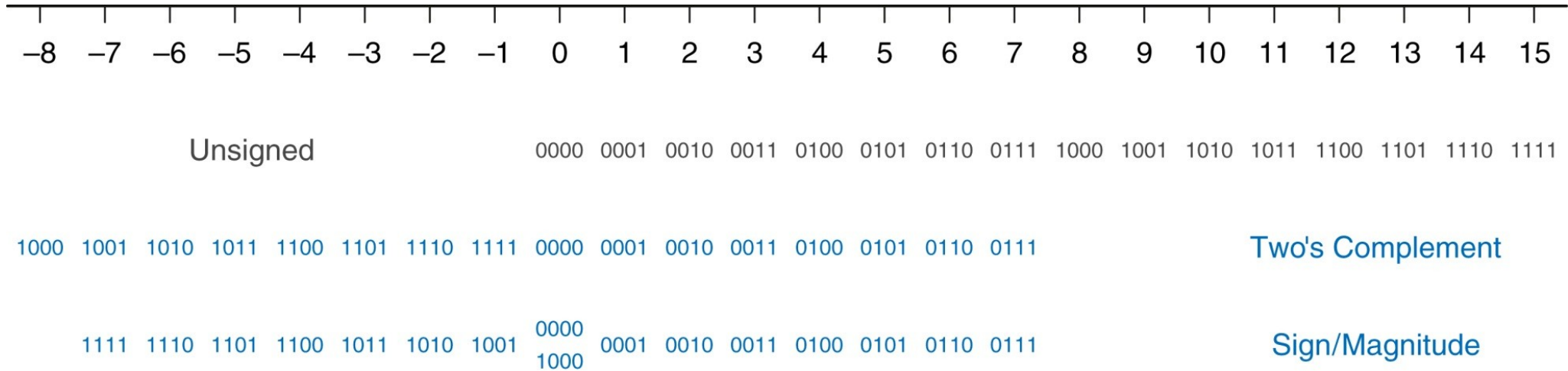
$$= -2^3 + 0 + 2^1 + 2^0 \quad (2.22)$$

$$= -8 + 0 + 2 + 1 \quad (2.23)$$

$$= -5_{10} \quad (2.24)$$

เลขจำนวนเต็มฐานสองชนิดมีเครื่องหมาย 2's Complement ขนาด  $n = 4$  บิต จะมีค่าฐานสิบอยู่ในช่วง  $-8$  ถึง  $+7$

## 2.2 เลขจำนวนเต็มฐานสอง $n=4$ บิต



# การขยายบิต เครื่องหมาย (Sign Extension)

| เลขฐานสอง<br>$n=4$ บิต | $X_{10,s}$ ค่าฐานสิบ<br>มีเครื่องหมาย<br>สมการ (2.16) | $X_{10,u}$ ค่าฐานสิบ<br>ไม่มีเครื่องหมาย<br>สมการ (2.2) | เลขฐานสอง<br>$n=5$ บิต | $X_{10,s}$ ค่าฐานสิบ<br>มีเครื่องหมาย<br>สมการ (2.16) | $X_{10,u}$ ค่าฐานสิบ<br>ไม่มีเครื่องหมาย<br>สมการ (2.2) |
|------------------------|---|---|------------------------|---|---|
|                        |   |   | 1 0000                 | -16   | 16  |
|                        |   |   | ...                    | ...   | ...   |
|                        |   |   | 1 0111                 | -9  | 23  |
| 1000                   | -8  | 8   | 1 1000                 | -8  | 24  |
| 1001                   | -7  | 9   | 1 1001                 | -7  | 25  |
| 1010                   | -6  | 10  | 1 1010                 | -6  | 26  |
| <b>1011</b>            | <b>-5</b>   | <b>11</b>   | <b>1 1011</b>          | <b>-5</b>   | <b>27</b>   |
| 1100                   | -4  | 12  | 1 1100                 | -4  | 28  |
| 1101                   | -3  | 13  | 1 1101                 | -3  | 29  |
| 1110                   | -2  | 14  | 1 1110                 | -2  | 30  |
| 1111                   | -1  | 15  | 1 1111                 | -1  | 31  |
| 0000                   | 0   | 0   | 0 0000                 | 0   | 0   |
| 0001                   | 1   | 1   | 0 0001                 | 1   | 1   |
| 0010                   | 2   | 2   | 0 0010                 | 2   | 2   |
| 0011                   | 3   | 3   | 0 0011                 | 3   | 3   |
| 0100                   | 4   | 4   | 0 0100                 | 4   | 4   |
| 0101                   | 5   | 5   | 0 0101                 | 5   | 5   |
| 0110                   | 6   | 6   | 0 0110                 | 6   | 6   |
| 0111                   | 7   | 7   | 0 0111                 | 7   | 7   |
|                        |   |   | ...                    | ...   | ...   |
|                        |   |   | 0 1111                 | 15  | 15  |

การขยายบิต  
เครื่องหมาย  
(Sign Extension)

| เลขฐานสอง<br>$n=5$ บิต | $X_{10,s}$ ค่าฐานสิบ<br>มีเครื่องหมาย<br>สมการ (2.16) | $X_{10,u}$ ค่าฐานสิบ<br>ไม่มีเครื่องหมาย<br>สมการ (2.2) | เลขฐานสอง<br>$n=8$ บิต | $X_{10,s}$ ค่าฐานสิบ<br>มีเครื่องหมาย<br>สมการ (2.16) | $X_{10,u}$ ค่าฐานสิบ<br>ไม่มีเครื่องหมาย<br>สมการ (2.2) |
|------------------------|---|---|------------------------|---|---|
| 1 0000                 | -16   | 16  | 1000 0000              | -128  | 128   |
| ...                    | ...   | ...   | ...                    | ...   | ...   |
| 1 0111                 | -9  | 23  | 1111 0111              | -9  | ...   |
| 1 1000                 | -8  | 24  | 1111 1000              | -8  | 248   |
| 1 1001                 | -7  | 25  | 1111 1001              | -7  | 249   |
| 1 1010                 | -6  | 26  | 1111 1010              | -6  | 250   |
| <b>1 1011</b>          | <b>-5</b>   | <b>27</b>   | <b>1111 1011</b>       | <b>-5</b>   | <b>251</b>  |
| 1 1100                 | -4  | 28  | 1111 1100              | -4  | 252   |
| 1 1101                 | -3  | 29  | 1111 1101              | -3  | 253   |
| 1 1110                 | -2  | 30  | 1111 1110              | -2  | 254   |
| 1 1111                 | -1  | 31  | 1111 1111              | -1  | 255   |
| 0 0000                 | 0   | 0   | 0000 0000              | 0   | 0   |
| 0 0001                 | 1   | 1   | 0000 0001              | 1   | 1   |
| 0 0010                 | 2   | 2   | 0000 0010              | 2   | 2   |
| 0 0011                 | 3   | 3   | 0000 0011              | 3   | 3   |
| 0 0100                 | 4   | 4   | 0000 0100              | 4   | 4   |
| 0 0101                 | 5   | 5   | 0000 0101              | 5   | 5   |
| 0 0110                 | 6   | 6   | 0000 0110              | 6   | 6   |
| 0 0111                 | 7   | 7   | 0000 0111              | 7   | 7   |
| ...                    | ...   | ...   | 0000 1000              | 8   | 8   |
| 0 1111                 | 15  | 15  | ...                    | ...   | ...   |
|                        |   |   | 0111 1111              | 127   | 127   |



## 2.2.2 เลขจำนวนเต็มฐานสอง ชนิดมีเครื่องหมาย 2's Complement

แบ่งเป็น 2 กรณี คือ กรณี  $X_{10,s} < 0$

$$X_{2,s} = \overline{[X_{10,s}]_{2,u}} + 1_2 \quad (2.32)$$

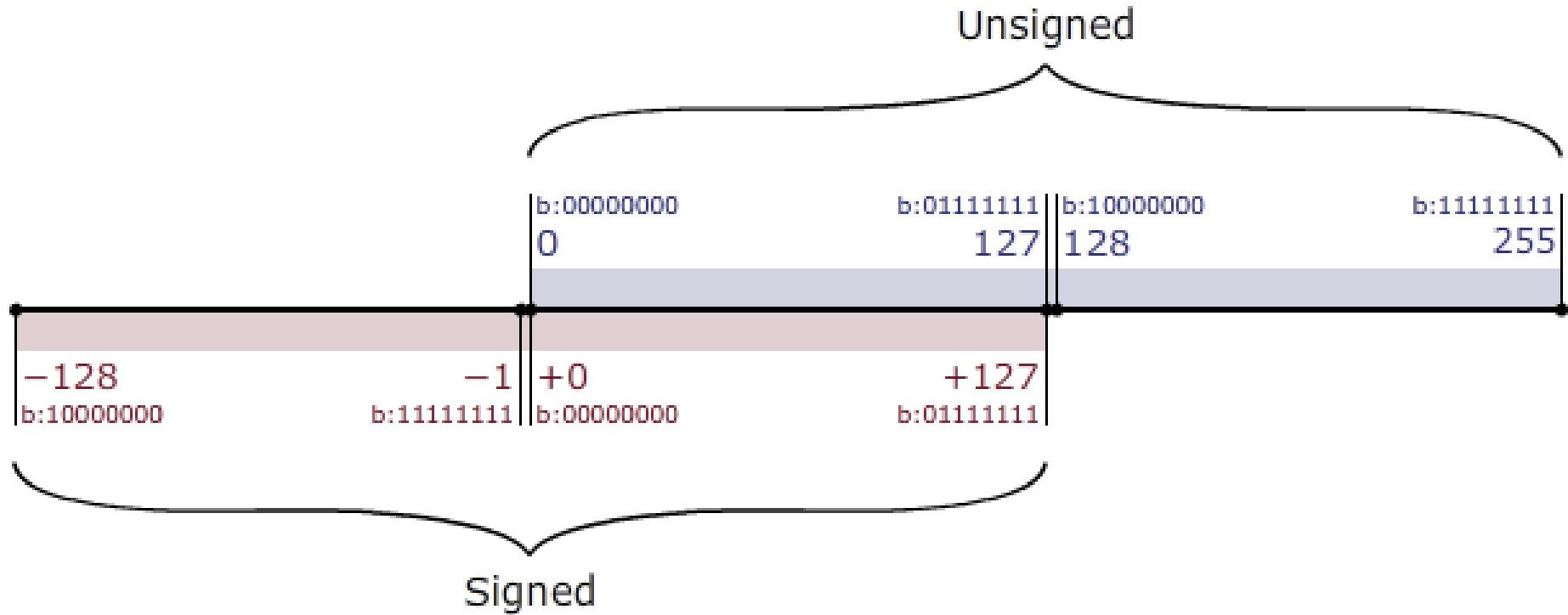
และกรณี  $X_{10,s} \geq 0$

$$X_{2,s} = [X_{10,s}]_2 = [X_{10,u}]_{2,u} \quad (2.33)$$

| เลขฐานสิบ<br>$X_{10,s} < 0$    | เลขฐานสอง<br>$[X_{10,s}]_{2,u}$ | เลขฐานสอง $X_{2,s}$<br>$\overline{[X_{10,s}]_{2,u}} + 1_2$<br>สมการ (2.32) |
|--------------------------------|---------------------------------|--|
| -8                             | 8=1000 <sub>2</sub>             | 0111 <sub>2</sub> +1 <sub>2</sub> =1000 <sub>2</sub>                       |
| -7                             | 7=0111 <sub>2</sub>             | 1000 <sub>2</sub> +1 <sub>2</sub> =1001 <sub>2</sub>                       |
| -6                             | 6=0110 <sub>2</sub>             | 1001 <sub>2</sub> +1 <sub>2</sub> =1010 <sub>2</sub>                       |
| -5                             | 5=0101 <sub>2</sub>             | 1010 <sub>2</sub> +1 <sub>2</sub> =1011 <sub>2</sub>                       |
| -4                             | 4=0100 <sub>2</sub>             | 1011 <sub>2</sub> +1 <sub>2</sub> =1100 <sub>2</sub>                       |
| -3                             | 3=0011 <sub>2</sub>             | 1100 <sub>2</sub> +1 <sub>2</sub> =1101 <sub>2</sub>                       |
| -2                             | 2=0010 <sub>2</sub>             | 1101 <sub>2</sub> +1 <sub>2</sub> =1110 <sub>2</sub>                       |
| -1                             | 1=0001 <sub>2</sub>             | 1110 <sub>2</sub> +1 <sub>2</sub> =1111 <sub>2</sub>                       |
| เลขฐานสิบ<br>$X_{10,s} \geq 0$ |                                 | เลขฐานสอง $X_{2,s}$<br>สมการ (2.33)  |
| 0                              |                                 | 0000 <sub>2</sub>  |
| 1                              |                                 | 0001 <sub>2</sub>  |
| 2                              |                                 | 0010 <sub>2</sub>  |
| 3                              |                                 | 0011 <sub>2</sub>  |
| 4                              |                                 | 0100 <sub>2</sub>  |
| 5                              |                                 | 0101 <sub>2</sub>  |
| 6                              |                                 | 0110 <sub>2</sub>  |
| 7                              |                                 | 0111 <sub>2</sub>  |



## 2.2 เลขจำนวนเต็มฐานสอง $n=8$ บิต



## 2.2.2 เลขจำนวนเต็มฐานสอง ชนิดมีเครื่องหมาย 2's Complement

ตัวอย่างที่ 2.2.9 เลขจำนวนเต็มฐานสองชนิดมีเครื่องหมาย 2's Complement  $n = 8$  บิต

$$X_{2,s} = 1111\ 1011_2 = FB_{16}$$

เทียบเท่ากับการประกาศและตั้งค่าเริ่มต้นตัวแปรชนิด *char*

```
char X = -5; /* X = 0b11111011 = 0xFB */
```

ค่าฐานสิบของ  $X_{2,s}$  ตามสมการที่ (2.20) คือ

$$X_{10,s} = (-1 \times 2^7) + (1 \times 2^6) + (1 \times 2^5) + (1 \times 2^4) + (1 \times 2^3) + (0 \times 2^2) + (1 \times 2^1) + (1 \times 2^0) \quad (2.29)$$

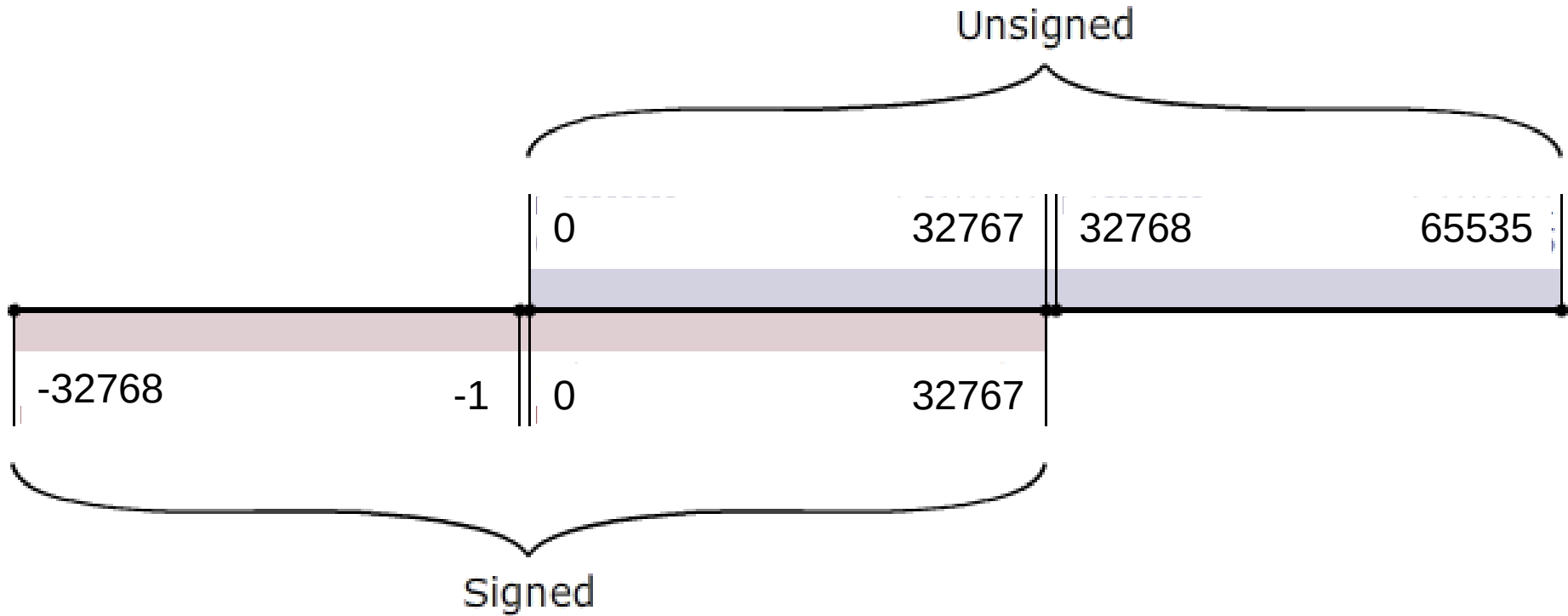
$$= -2^7 + 2^6 + 2^5 + 2^4 + 2^3 + 0 + 2^1 + 2^0 \quad (2.30)$$

$$= -128 + 64 + 32 + 16 + 8 + 0 + 2 + 1 \quad (2.31)$$

$$= -5_{10} \quad (2.32)$$

ตัวแปรชนิด *char* หรือเลขจำนวนเต็มขนาด  $n = 8$  บิต จะมีค่าฐานสิบอยู่ในช่วง  $-128$  ถึง  $+127$

## 2.2 เลขจำนวนเต็มฐานสอง $n=16$ บิต



## 2.2.2 เลขจำนวนเต็มฐานสอง ชนิดมีเครื่องหมาย 2's Complement

ตัวอย่างที่ 2.2.10 เลขจำนวนเต็มฐานสองแบบ 2's Complement  $n = 16$  บิต

$$X_{2,s} = 1111\ 1111\ 1111\ 1011_2 = FFFB_{16}$$

เทียบเท่ากับการประกาศและตั้งค่าเริ่มต้นตัวแปรชนิด short

```
short X = -5; /* X = 0b11111111111111011 = 0xFFFB */
```

มีค่าฐานสิบเท่ากับเท่าไร

ค่าฐานสิบของ  $X_{2,s}$  ตามสมการที่ (2.20) คือ

$$X_{10,s} = (-1 \times 2^{16}) + (1 \times 2^{15}) + \dots + (1 \times 2^3) + (0 \times 2^2) + (1 \times 2^1) + (1 \times 2^0) \quad (2.33)$$

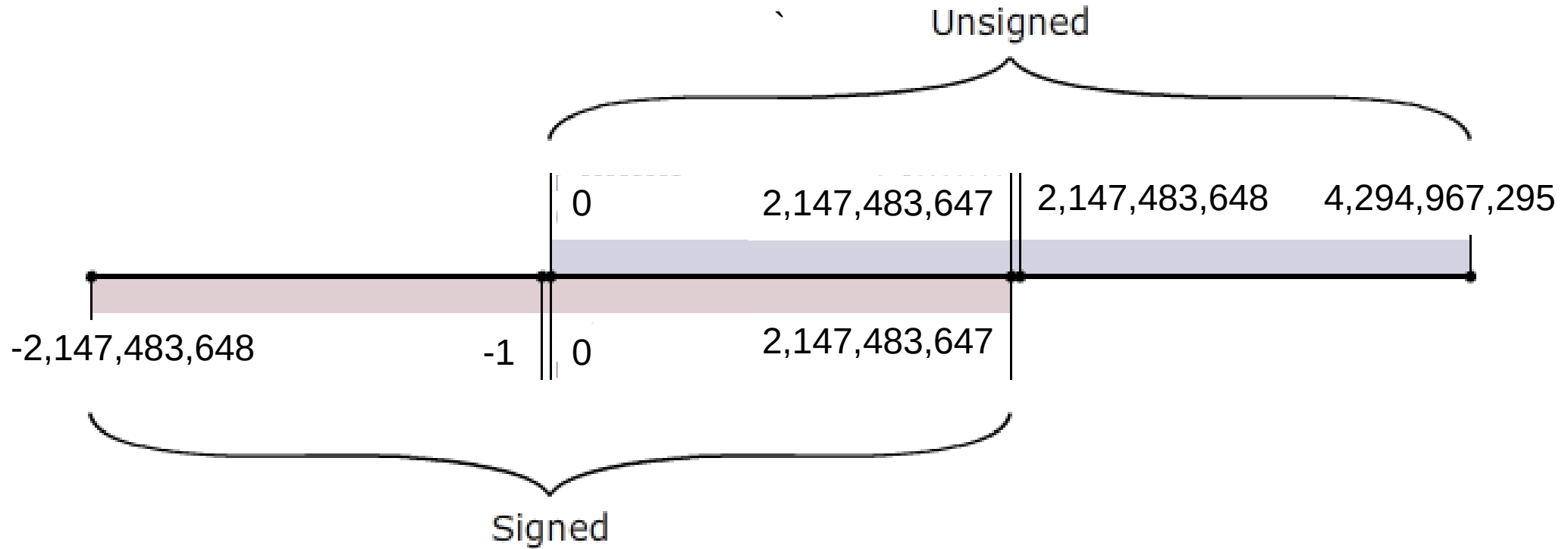
$$= -2^{16} + 2^{15} + \dots + 2^3 + 0 + 2^1 + 2^0 \quad (2.34)$$

$$= -32,768 + 16,384 + \dots + 8 + 0 + 2 + 1 \quad (2.35)$$

$$= -5_{10} \quad (2.36)$$

ตัวแปรชนิด short หรือเลขจำนวนเต็มฐานสองชนิดมีเครื่องหมาย 2's Complement ขนาด  $n=16$  บิต จะมีค่าฐานสิบอยู่ในช่วง  $-32,768$  ถึง  $+32,767$

## 2.2 เลขจำนวนเต็มฐานสอง $n=32$ บิต



## 2.2.2 เลขจำนวนเต็มฐานสอง ชนิดมีเครื่องหมาย 2's Complement

ตัวอย่างที่ 2.2.11 เลขจำนวนเต็มฐานสองแบบ 2's Complement  $n = 32$  บิต

$$X_{2,s} = 1111\ 1111\ 1111\ 1111\ 1111\ 1111\ 1111\ 1011_2 = FFFFFFFFB_{16}$$

เทียบเท่ากับการประกาศและตั้งค่าเริ่มต้นตัวแปรชนิด *int*

```
int X = -5; /* X = 0xFFFFFFFFB */
```

$$X_{10,s} = (-1 \times 2^{31}) + (1 \times 2^{30}) + \dots + (1 \times 2^3) + (0 \times 2^2) + (1 \times 2^1) + (1 \times 2^0) \quad (2.37)$$

$$= -2^{31} + 2^{30} + \dots + 2^3 + 0 + 2^1 + 2^0 \quad (2.38)$$

$$= -2,147,483,648 + 1,073,741,824 + \dots + 8 + 0 + 2 + 1 \quad (2.39)$$

$$= -5_{10} \quad (2.40)$$

## 2.1 ข้อมูลพื้นฐานชนิดต่างๆ ในภาษา C/C++

```
long scores[3]={93, 81, 97}; // scores[0]=93; scores[1]=81; scores[2]=97;
```

| Address<br>(Byte #) | Data | Variable Name |
|---------------------|------|---------------|
| ⋮                   |      |               |
| 0x4B                | 97   | scores[2]     |
| 0x4A                |      |               |
| 0x49                |      |               |
| 0x48                | 81   | scores[1]     |
| 0x47                |      |               |
| 0x46                |      |               |
| 0x45                | 93   | scores[0]     |
| 0x44                |      |               |
| 0x43                |      |               |
| 0x42                |      |               |
| 0x41                |      |               |
| 0x40                |      |               |

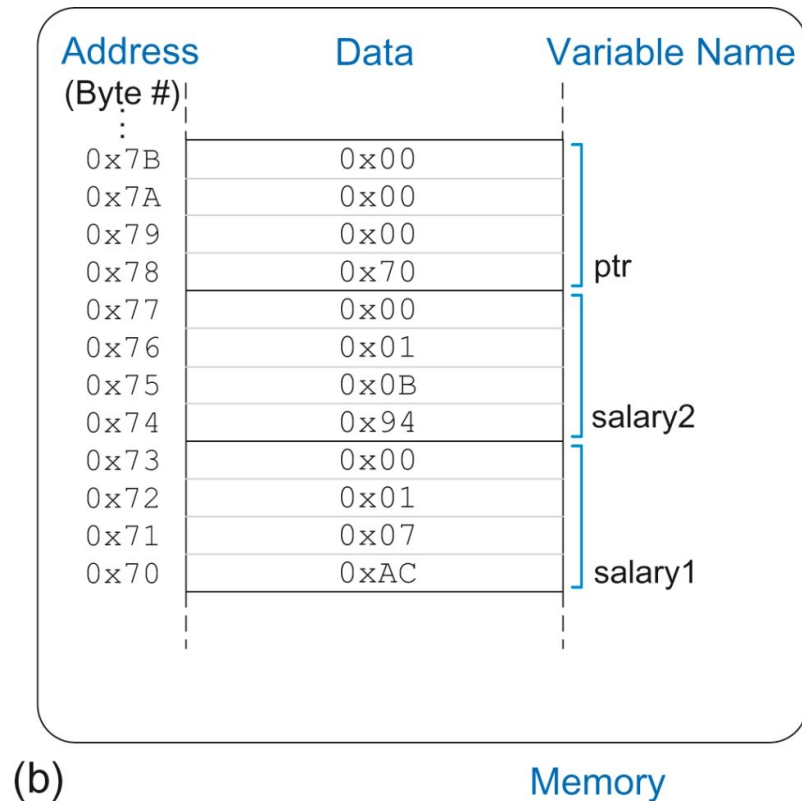
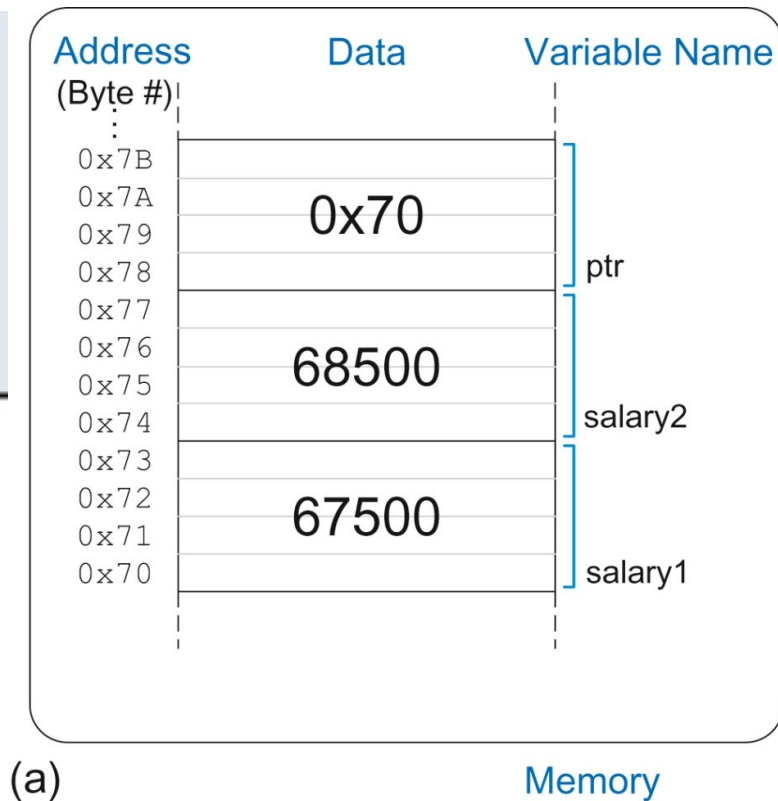
Memory

| Address<br>(Byte #) | Data | Variable Name |
|---------------------|------|---------------|
| ⋮                   |      |               |
| 0x4B                | 0x00 | scores[2]     |
| 0x4A                | 0x00 |               |
| 0x49                | 0x00 |               |
| 0x48                | 0x61 | scores[1]     |
| 0x47                | 0x00 |               |
| 0x46                | 0x00 |               |
| 0x45                | 0x00 | scores[0]     |
| 0x44                | 0x51 |               |
| 0x43                | 0x00 |               |
| 0x42                | 0x00 |               |
| 0x41                | 0x00 |               |
| 0x40                | 0x5D |               |

Memory

# ข้อมูลพื้นฐานชนิดต่างๆ ในภาษา C/C++

```
int salary1, salary2;  
int *ptr;  
  
salary1 = 67500;  
ptr = &salary1;  
salary2 = *ptr + 1000;
```





## 2.2.3 เลขจำนวนเต็มฐานสอง ชนิดมีเครื่องหมาย Sign-Magnitude

นิยามที่ 2.2.3 กำหนดให้ เลขจำนวนเต็มฐานสองชนิดมีเครื่องหมาย (Signed Integer) แบบ Sign-Magnitude  $X_{2,sm}$  ความยาว  $n$  บิตเขียนอยู่ในรูป

$$X_{2,sm} = sx_{n-2}x_{n-3}..x_1x_0 \quad (2.34)$$

เมื่อ  $s$  คือบิตเครื่องหมาย (Sign bit) และ  $x_i$  คือค่า “1” หรือ “0” ในตำแหน่งที่  $i$  และตำแหน่งขวามือสุดคือตำแหน่งที่  $i = 0$

การแปลงเลขจำนวนเต็มฐานสองแบบ Sign-Magnitude ให้เป็นค่าฐานสิบสามารถทำได้โดย

$$X_{10,sm} = (-1)^s \times (x_{n-2} \times 2^{n-2} + .. + x_1 \times 2^1 + x_0 \times 2^0) \quad (2.35)$$

## 2.2.3 เลขจำนวนเต็มฐานสอง ชนิดมีเครื่องหมาย Sign-Magnitude

| เลขฐานสอง<br>$n=4$ บิต | $X_{10,sm}$<br>ค่าฐานสิบ<br>Sign-Mag.<br>สมการ (2.35) | $X_{10,s}$<br>ค่าฐานสิบ<br>2-Comp.<br>สมการ (2.16) | $X_{10,u}$<br>ค่าฐานสิบ<br>Unsigned<br>สมการ (2.2) |
|------------------------|---|--|--|
| 1111                   | -7  | -1   | 15   |
| 1110                   | -6  | -2   | 14   |
| 1101                   | -5  | -3   | 13   |
| 1100                   | -4  | -4   | 12   |
| <b>1011</b>            | <b>-3</b>   | <b>-5</b>  | <b>11</b>  |
| 1010                   | -2  | -6   | 10   |
| 1001                   | -1  | -7   | 9  |
| 1000                   | -0  | -8   | 8  |
| 0000                   | +0  | 0  | 0  |
| 0001                   | 1   | 1  | 1  |
| 0010                   | 2   | 2  | 2  |
| 0011                   | 3   | 3  | 3  |
| 0100                   | 4   | 4  | 4  |
| 0101                   | 5   | 5  | 5  |
| 0110                   | 6   | 6  | 6  |
| 0111                   | 7   | 7  | 7  |