

# องค์ประกอบคอมพิวเตอร์และภาษาแอสเซมบลี: กรณีศึกษา Raspberry Pi

ผศ.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

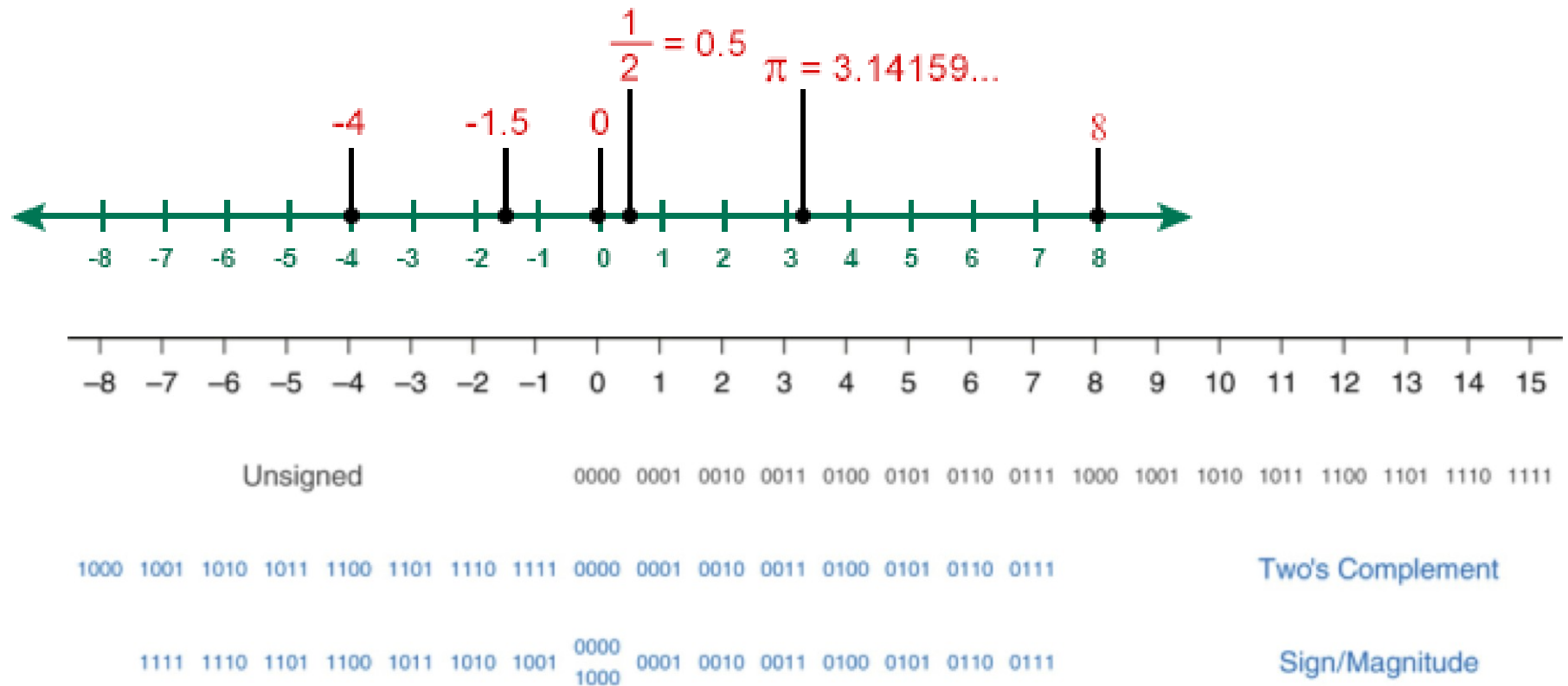
# สารบัญ

- 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	$-2^7=-127$	$+2^7-1=+127$
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	$\pm 2^{-126}=\pm 1.18 \times 10^{-38}$	$\pm 2 \times 2^{126}=\pm 3.40 \times 10^{38}$
double	64	$\pm 2^{-1022}=\pm 2.23 \times 10^{-308}$	$\pm 2 \times 2^{1022}=\pm 1.80 \times 10^{308}$

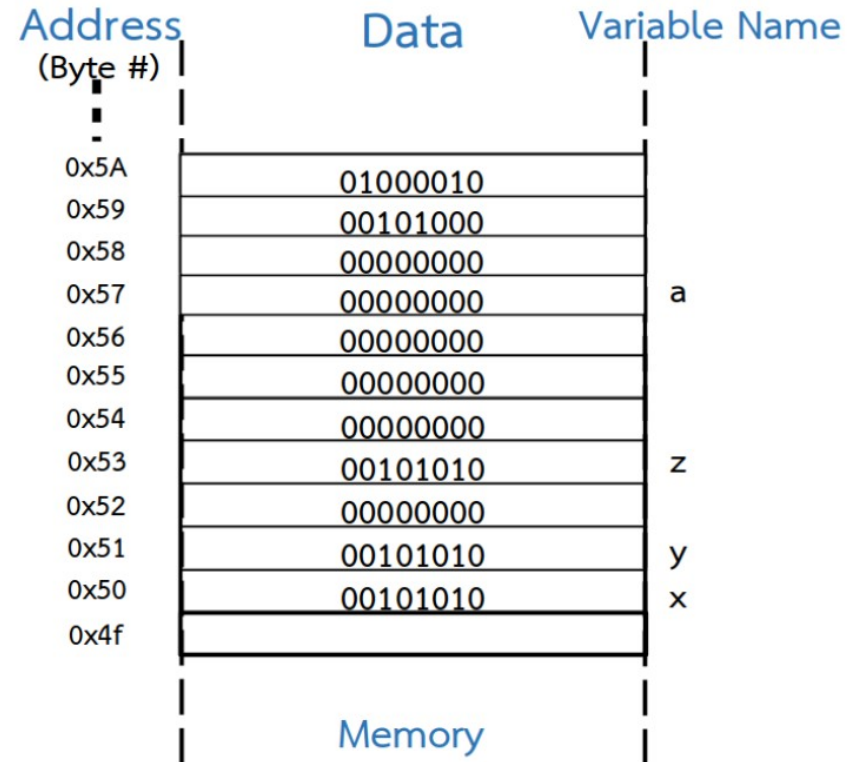
## 2.1 ข้อมูลพื้นฐานชนิดต่างๆ ในภาษา C/C++



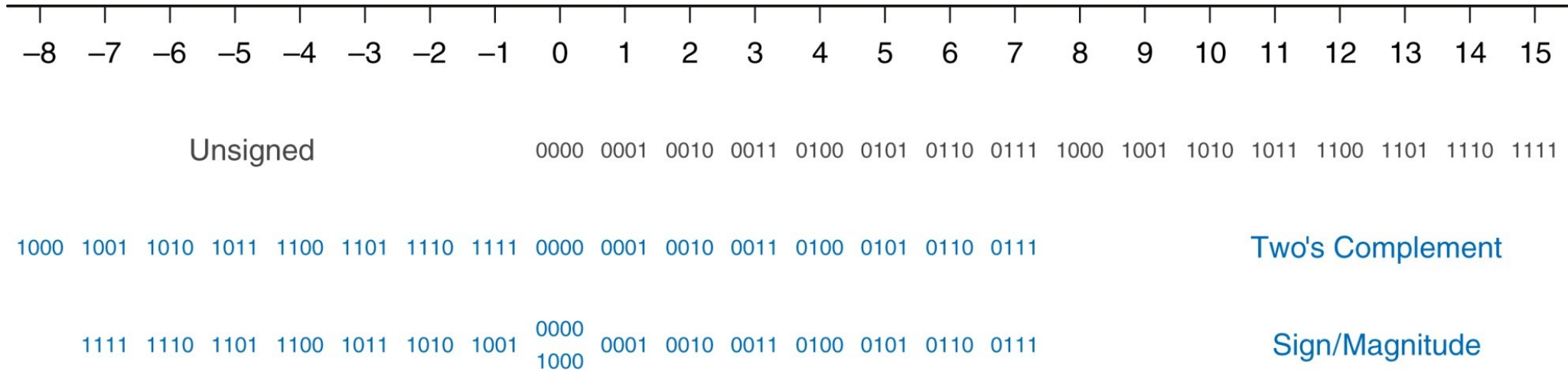
## 2.1 ข้อมูลพื้นฐานชนิดต่างๆ ในภาษา C/C++

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 เลขจำนวนเต็มฐานสอง $n=4$ บิต



## 2.2.1 เลขจำนวนเต็มฐานสอง ชนิดไม่มีเครื่องหมาย

### 2.2.1.1 การแปลงเลขฐานสองเป็นฐานสิบ

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

$$X_{10,u} = x_{n-1}2^{n-1} + x_{n-2}2^{n-2} + \dots + x_12^1 + x_02^0 \quad (2.2)$$

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

ตัวอย่างที่ 2.2.1. เมื่อ  $n = 4$  บิต เลขจำนวนเต็มฐานสองชนิดไม่มีเครื่องหมาย  $X_{2,u} = 1011_2$   
ค่าฐานสิบของ  $X_{2,u}$  คือ

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

$$= 8 + 0 + 2 + 1 \quad (2.4)$$

$$= 11_{10} \quad (2.5)$$



## 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

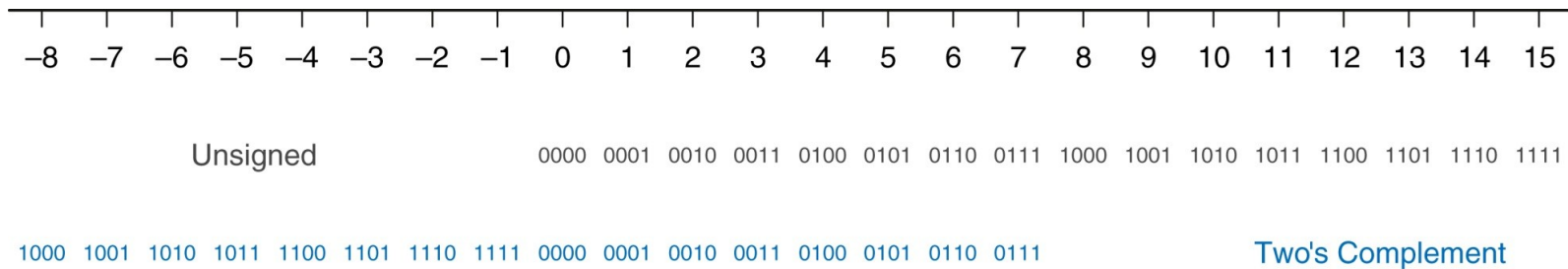
```
char x = -5; /* x = 0b11111011 */  
short y = -5; /* y = 0b1111111111111011 */  
int z = -5; /* z = 0xFFFFFFFFB */
```

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



ตัวอย่างที่ 2.2.7. เมื่อ  $n = 4$  บิต เลขจำนวนเต็มฐานสองชนิดมีเครื่องหมายแบบ 2 Complement

$X_{2,s} = 1011_2$  มีค่าฐานสิบเท่ากับเท่าไร

ค่าฐานสิบของ  $X_{2,s}$  คือ

$$X_{10,s} = -1 \times 2^3 + 0 \times 2^2 + 1 \times 2^1 + 1 \times 2^0 \quad (2.17)$$

$$= -8 + 0 + 2 + 1 \quad (2.18)$$

$$= -5_{10} \quad (2.19)$$

เลขจำนวนเต็มฐานสองชนิดมีเครื่องหมาย 2-Complement ขนาด  $n = 4$  บิตจะมีค่าฐานสิบอยู่ในช่วง -8 ถึง +7

การขยายบิต  
เครื่องหมาย  
(Sign Extension)

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

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

## 2.2.2 เลขจำนวนเต็มฐานสอง ชนิดมีเครื่องหมาย 2's Complement

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

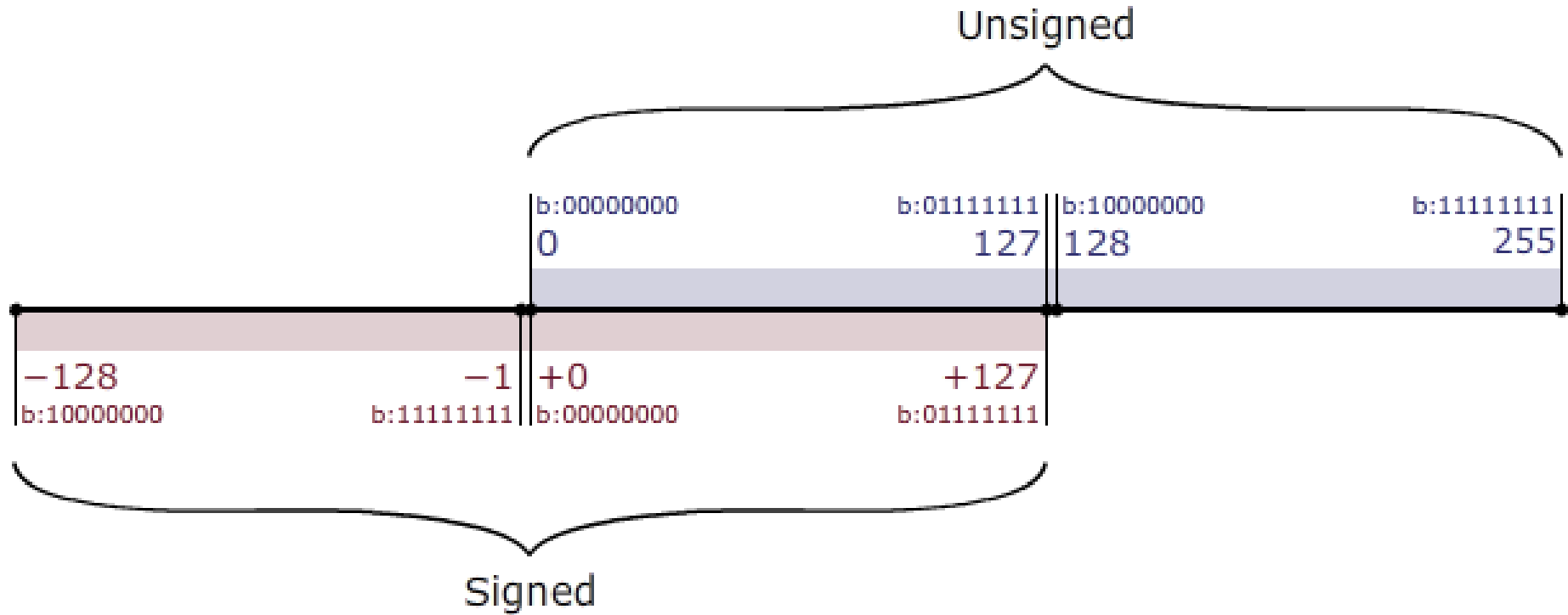
$$X_{2,s} = \overline{[X_{10,s}]_{2,u}} + 1_2 \quad (2.32)$$

และกรณี  $X_{10,s} \geq 0$

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

เลขฐานสิบ $X_{10,s} < 0$	เลขฐานสอง $[X_{10,s}]_{2,u}$	เลขฐานสอง $X_{2,s}$ $\overline{[X_{10,s}]_{2,u}} + 1_2$ 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 $X_{10,s} \geq 0$		เลขฐานสอง $X_{2,s}$ 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 2.2.11 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 */
```

มีค่าฐานสิบเท่ากับเท่าไร

ค่าฐานสิบของ  $X_{2,s}$  ตามสมการที่ (2.16) คือ

$$X_{10,s} = -1 \times 2^{31} + 1 \times 2^{30} + \dots + 1 \times 2^3 + 0 \times 2^2 + 1 \times 2^1 + 1 \times 2^0 \quad (2.29)$$

$$= -2,147,483,648 + \dots + 8 + 0 + 2 + 1 \quad (2.30)$$

$$= -5_{10} \quad (2.31)$$



## 2.1 ข้อมูลพื้นฐานชนิดต่างๆ ในภาษา C/C++

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

Address (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		

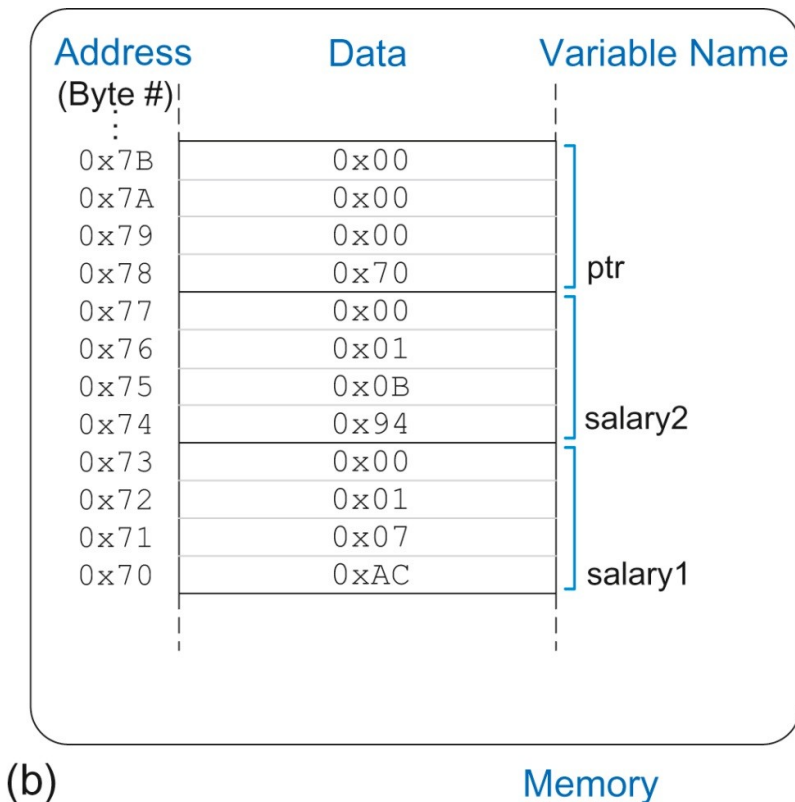
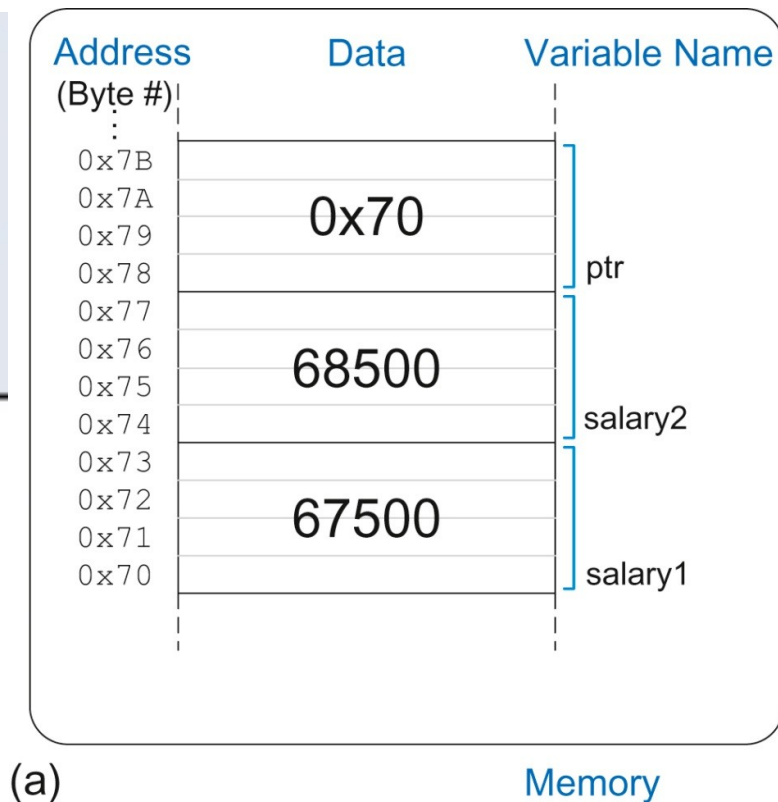
Memory

Address (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

## 2.1 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 $n=4$ บิต	$X_{10,sm}$ ค่าฐานสิบ Sign-Mag. สมการ (2.35)	$X_{10,s}$ ค่าฐานสิบ 2-Comp. สมการ (2.16)	$X_{10,u}$ ค่าฐานสิบ Unsigned 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