

องค์ประกอบคอมพิวเตอร์และภาษาแอสเซมบลี: กรณีศึกษา Raspberry Pi

ผศ.ดร.สุรินทร์ กิตติธรกุล

ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

สารบัญ

- บทที่ 1 บทนำ
- บทที่ 2 ข้อมูลและคณิตศาสตร์ในคอมพิวเตอร์
- บทที่ 3 ชาร์ดแวร์และซอฟต์แวร์ของคอมพิวเตอร์
- บทที่ 4 ภาษาแอสเซมบลีของ ARM เวอร์ชัน 32 บิต
- บทที่ 5 ลำดับชั้นของหน่วยความจำ
- บทที่ 6 อุปกรณ์/วงจรอินพุตและเอาท์พุต
- 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 ₁₀	ค่าสูงสุด ₁₀
unsigned char	8	0	$2^8-1=255$ ๐๐๐๐๐๐๐ = ๘
char	8	$-2^7=-127$	$+2^7-1=+127$ ๑๑๑๑๑๑๑ = -๗
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	$\pm 2^{-1022}=\pm 2.23 \times 10^{-308}$	$\pm 2 \times 2^{1022}=\pm 1.80 \times 10^{308}$

character
อักษร

จำนวนเต็ม

Crypt

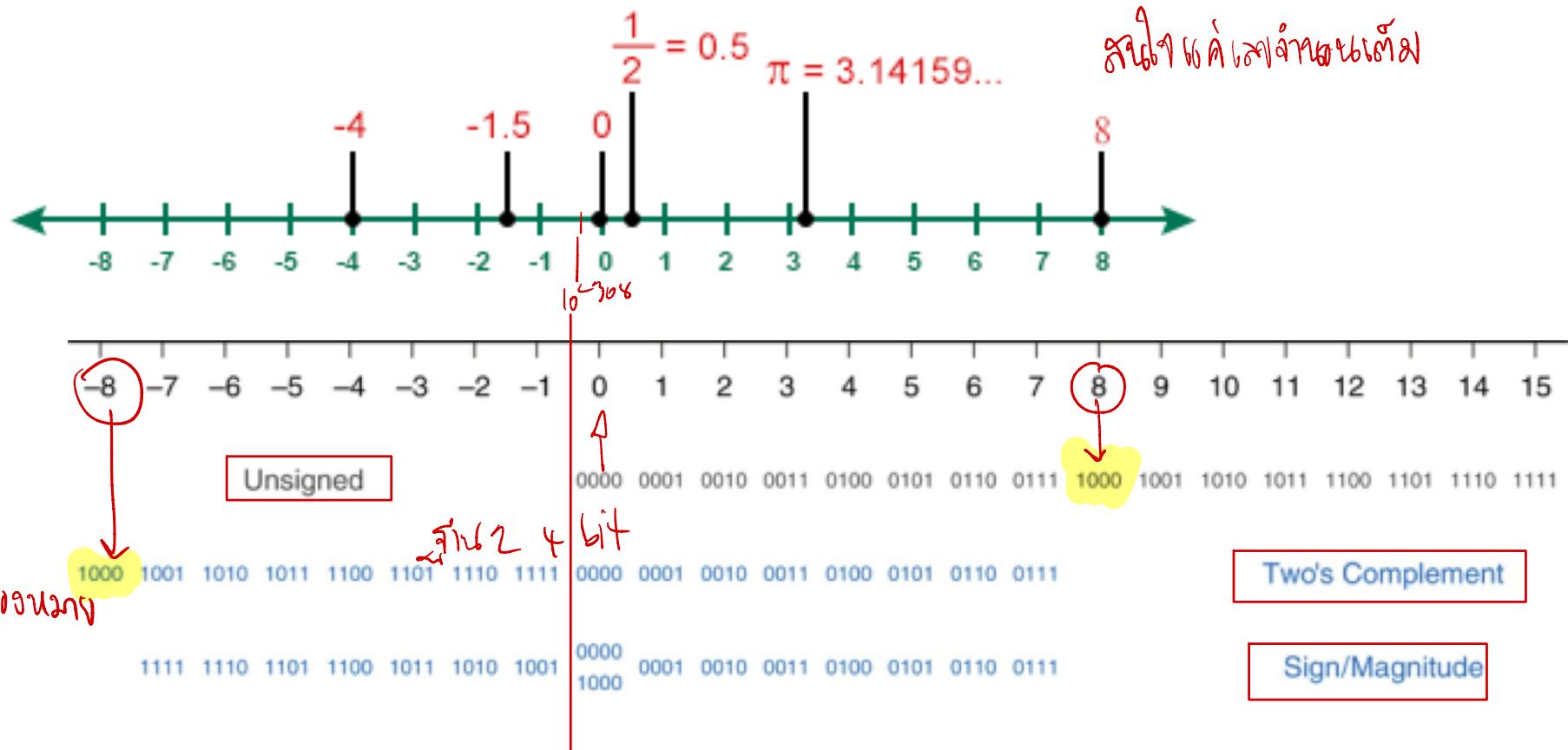
CPU
Memory
Super core

ทำงาน over flow

การทำงาน

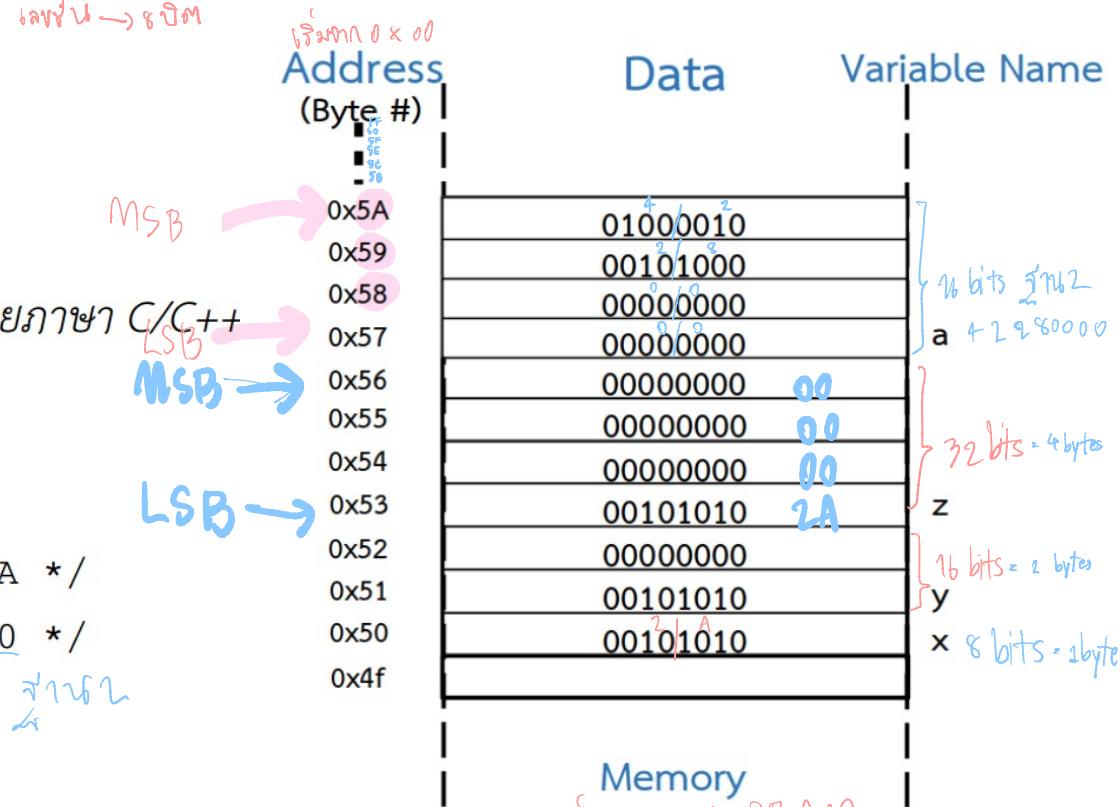
การคำนวณ
รากที่สอง
รากที่สาม
ผลหาร

2.1 ข้อมูลพื้นฐานชนิดต่างๆ ในภาษา C/C++



2.1 ข้อมูลพื้นฐานชนิดต่างๆ ในภาษา C/C++

ตัวอย่างที่ 2.1.1 การประกาศตัวแปรและตั้งค่าเริ่มต้นด้วยภาษา C/C++



អាជីវកម្ម ទូរសព្ទ នាយករដ្ឋន៍ ឱេ ៧៥៤

2.2 เลขจำนวนเต็มฐานสอง $n=4$ บิต



Unsigned

0000 0001 0010 0011 0100 0101 0110 0111 1000 1001 1010 1011 1100 1101 1110 1111

1000 1001 1010 1011 1100 1101 1110 1111 0000 0001 0010 0011 0100 0101 0110 0111

Two's Complement

1111 1110 1101 1100 1011 1010 1001 0000
1000 0001 0010 0011 0100 0101 0110 0111

Sign/Magnitude

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 $n = 4$ บิท 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 $123_{10} = 0111\ 1011_2$

บิทที่	เลขฐานสิบ	ผลหาร	เศษ	บิทที่	i	2^i	ผลลัพธ์- 2^i	ตัวตั้ง ₁₀	x_i
-	123			-				123	
0	123/2	61	1	7	$2^7=128$	123-128	123	0	
1	61/2	30	1	6	$2^6=64$	123-64	59	1	
2	30/2	15	0	5	$2^5=32$	59-32	27	1	
3	15/2	7	1	4	$2^4=16$	27-16	11	1	
4	7/2	3	1	3	$2^3=8$	11-8	3	1	
5	3/2	1	1	2	$2^2=4$	3-4	3	0	
6	1/2	0	1	1	$2^1=2$	3-2	1	1	
7	0/2	0	0	0	$2^0=1$	1-1	0	1	

2.2.2 เลขจำนวนเต็มฐานสอง ชนิดมีเครื่องหมาย 2's Complement

กรณีเป็นหน่วยความจำ

char x = -5; /* x = 0b1111|1011 */ FB₁₆

short y = -5; /* y = 0b1111|1111|1111|1011 */ = FFFF B₁₆

int z = -5; /* z = 0xFFFFFFFFFB */

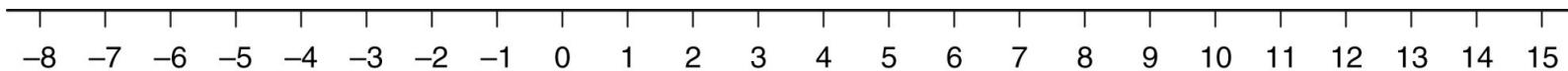
บวก 1 ลงสู่บวก ดังเดิม 10

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

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

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

2.2.2 เลขจำนวนเต็มฐานสอง ชนิดมีเครื่องหมาย 2's Complement



Unsigned

0000 0001 0010 0011 0100 0101 0110 0111 1000 1001 1010 1011 1100 1101 1110 1111

1000 1001 1010 1011 1100 1101 1110 1111 0000 0001 0010 0011 0100 0101 0110 0111 Two's Complement

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

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

ค่าฐานสิบของ $X_{2,s}$ คือ

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

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

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

รูปกราฟ 2's complement
ที่ 1 ที่ 2 ที่ 3
ในไฟ



ช่วง -8 ถึง +7

การขยายบิต เครื่องหมาย

(Sign Extension)

ผลลัพธ์

เลขฐานสอง $n=4$ บิต <u><u>~~~~~</u></u>	Sign $X_{10,s}$ ค่าฐานสิบ มีเครื่องหมาย สมการ (2.16)	Un sign $X_{10,u}$ ค่าฐานสิบ ไม่มีเครื่องหมาย สมการ (2.2)	เลขฐานสอง $n=5$ บิต <u><u>~~~~~</u></u>	$X_{10,s}$ ค่าฐานสิบ มีเครื่องหมาย สมการ (2.16)	$X_{10,u}$ ค่าฐานสิบ ไม่มีเครื่องหมาย สมการ (2.2)
1000	-8	8	1 0000	-16	16
1001	-7	9	... 1 0111	... -9	23
1010	-6	10	1 1000 1 1001	-8 -7	24 25
1011	-5	11	1 1010 1 1011	-6 -5	26 27
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 ... 0 1111	7 ... 15	7 ... 15

ดู Range ของ
จำนวนที่พิมพ์เข้าไป

6-15

การขยายบิต เครื่องหมาย (Sign Extension)

2^1 complement

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
1 1011	-5	27
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
1111 1011	-5	251
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

int $a = -10 \rightarrow \text{FFFF FF F6}$
 $\overline{32\text{bits}}$ $b = -1 \rightarrow \text{FFFF FFFF}$

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

$$X_{2,s} = \overline{[|X_{10,s}|]_{2,u}} + 1_2$$

โจทย์ปกติ
 $10_{10} \rightarrow 1010_2 \rightarrow A_{16}$ (2.32)

กรณี 2's complement
 $0000\ 1010 \rightarrow 1^{\text{com}}\ 1111\ 0101$

$\rightarrow 1^{\text{com}}\ F_6$

และกรณี $X_{10,s} \geq 0$

$$X_{2,s} = [X_{10,s}]_2 = [X_{10,u}]_{2,u}$$

$$\begin{aligned} X_{2,s} &\stackrel{?}{=} \overline{[|X_{10,s}|]_{2,u}} + 1_2 \\ &\stackrel{?}{=} \overline{[0111\ 1010]} + 1 \quad (2.33) \\ &\stackrel{?}{=} 1000\ 0101 + 1 \\ &\stackrel{?}{=} 1000\ 0110 \end{aligned}$$

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	$8=1000_2$	$0111_2 + 1_2 = 1000_2$
9	$7=0111_2$	$1000_2 + 1_2 = 1001_2$
A	$6=0110_2$	$1001_2 + 1_2 = 1010_2$
B	$5=0101_2$	$1010_2 + 1_2 = 1011_2$
C	$4=0100_2$	$1011_2 + 1_2 = 1100_2$
D	$3=0011_2$	$1100_2 + 1_2 = 1101_2$
E	$2=0010_2$	$1101_2 + 1_2 = 1110_2$
F	$1=0001_2$	$1110_2 + 1_2 = 1111_2$

เลขฐานสิบ $X_{10,s} \geq 0$	เลขฐานสอง $X_{2,s}$ สมการ (2.33)
--------------------------------	-------------------------------------

0	0000_2
1	0001_2
2	0010_2
3	0011_2
4	0100_2
5	0101_2
6	0110_2
7	0111_2

2.2 เลขจำนวนเต็มฐานสอง $n=8$ บิต

b: 211680 (binary)

2' complement

-128
b:10000000

$$(-1) - (-126)$$

b:111

$$\begin{array}{r} -1 \\ \hline 111111 \end{array} + 0$$

111

$$b=0$$

b:0111

12

+

b:0111

សំណងជាតិ ពង្រក

Unsigned

char 8 bit

728 - 258

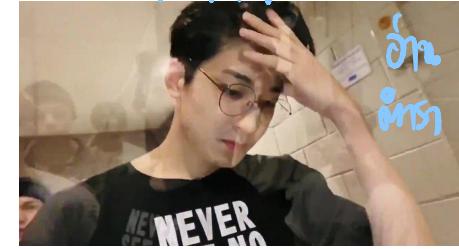
b:11111111
255

Signed char 8 bit

ກົມຕະຫຼາດລວມທີ່ LAB 9

2.2.2 เลขจำนวนเต็มฐานสอง ชนิดมีเครื่องหมาย 2's Complement

ต่อจาก slide ที่



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

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

เทียบเท่ากับการประมวลผลและตั้งค่าเริ่มต้นตัวแปรชนิด int

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

มีค่าฐานสิบเท่ากับเท่าไรร'

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

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

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

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

วิธีแปลง

2's complement

ที่แท้ true

9 | Complements

32 bits

integer

๘๙๖

၁၃၄

๗๘

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		
0x4A		
0x49		
0x48		
0x47		
0x46	97	scores[2]
0x45		
0x44	81	scores[1]
0x43		
0x42		
0x41	93	scores[0]
0x40		

Human

Memory

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

computer

Memory

Computer Organization & Assembly Language: Raspberry Pi, ผศ.ดร.สุรินทร์ กิตติรักุล DRAM

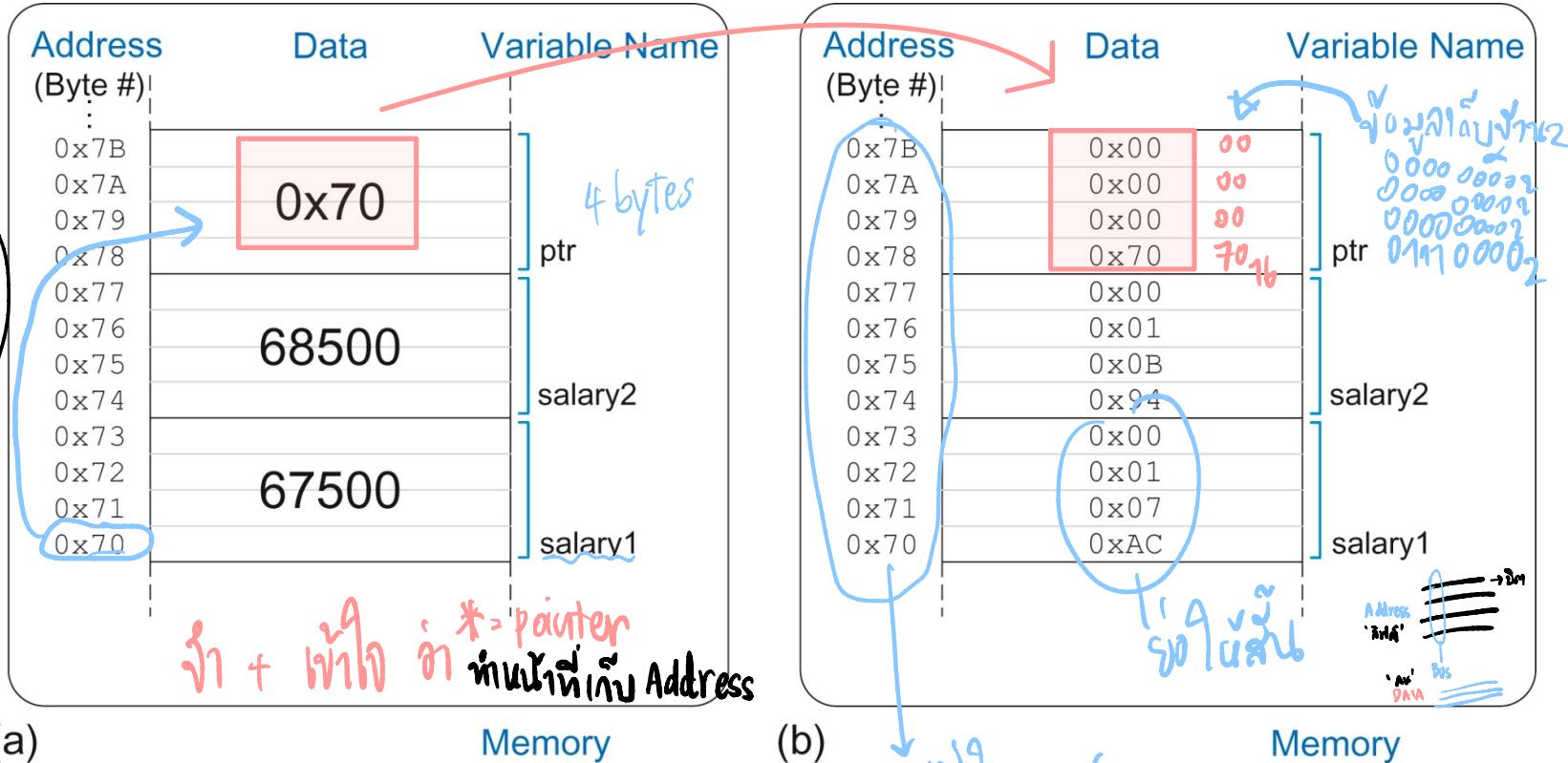
ពីរណី មុន



2.1 ខ្មែរលម្អិតវិនិច្ឆ័យទៅការប្រើប្រាស់ការសម្រេចក្នុងភាសា C/C++

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

pointer = Address
ថ្លែងលោកស្រី



ការប្រើប្រាស់បន្ទាត់លម្អិត

2.2.3 เลขจำนวนเต็มฐานสอง ชนิดมีเครื่องหมาย Sign-Magnitude

2.5 complement

↳ ฐานสองพหุจ蕤งด้วย

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

$$X_{2,sm} = \begin{cases} 1 & \text{ติดลบ} \\ 0 & \text{บวก} \end{cases} [x_{n-2}x_{n-3}..x_1x_0]^{n-1 \text{ bit}} \quad (2.34)$$

เมื่อ s คือบิตเครื่องหมาย (Sign bit) และ x_i คือค่า “1” หรือ “0” ในตำแหน่งที่ i และตำแหน่งของ x_0 มีสุดคือตำแหน่งที่ $i = 0$

การแปลงเลขจำนวนเต็มฐานสองแบบ Sign-Magnitude ให้เป็นค่าฐานสิบสามารถทำได้โดย

$$\begin{aligned} (-1)^0 &= 1 \\ (-1)^1 &= -1 \end{aligned}$$

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

2.2.3 เลขจำนวนเต็มฐานสอง ชนิดมีเครื่องหมาย Sign-Magnitude

ชุดตัวอย่าง
C / C++
เป็นภาษา,
ก็ต้องแบบ

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
1011	-3	-5	11
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