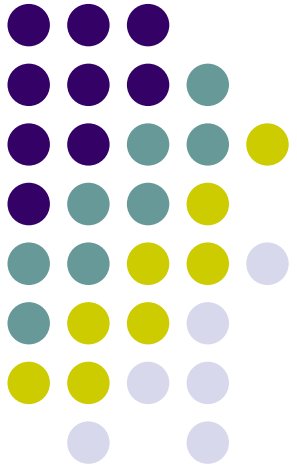
第十五章
位元處理

各種進位系統

位元運算子的使用方法

位元欄位結構的使用



數字系統概述

- 十進位的計數方式是由 0 到 9，遇到 10 即進位
  - 6935 可以用下式表達：

$$6935_{10} = 6\times10^3 + 9\times10^2 + 3\times10^1 + 5\times10^0$$

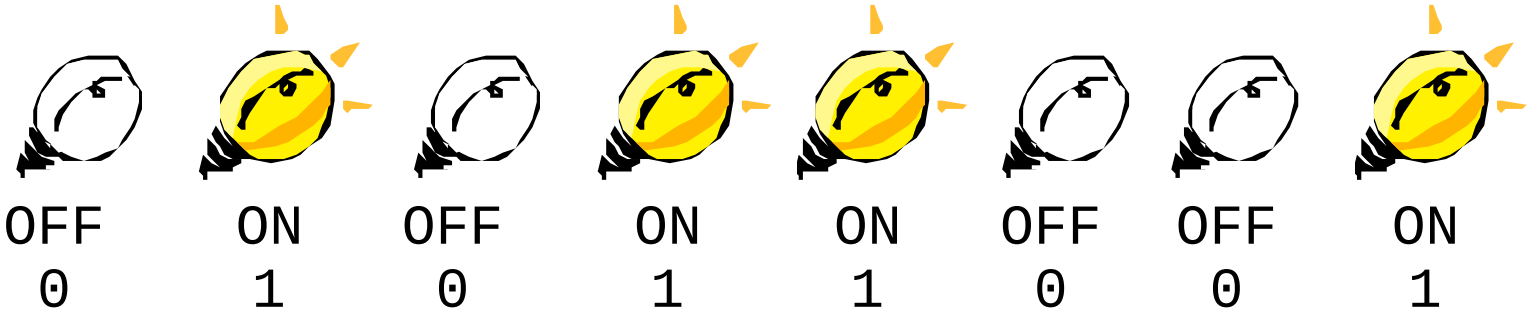
- 一個星期有七天，因此可以看成是七進位系統

表 15.1.1 十進位、七進位與星期系統的對照

十進位	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
七進位	0	1	2	3	4	5	6	10	11	12	13	14	15	16	20	21	22
星期系統	日	一	二	三	四	五	六	日	一	二	三	四	五	六	日	一	二

位元與位元組

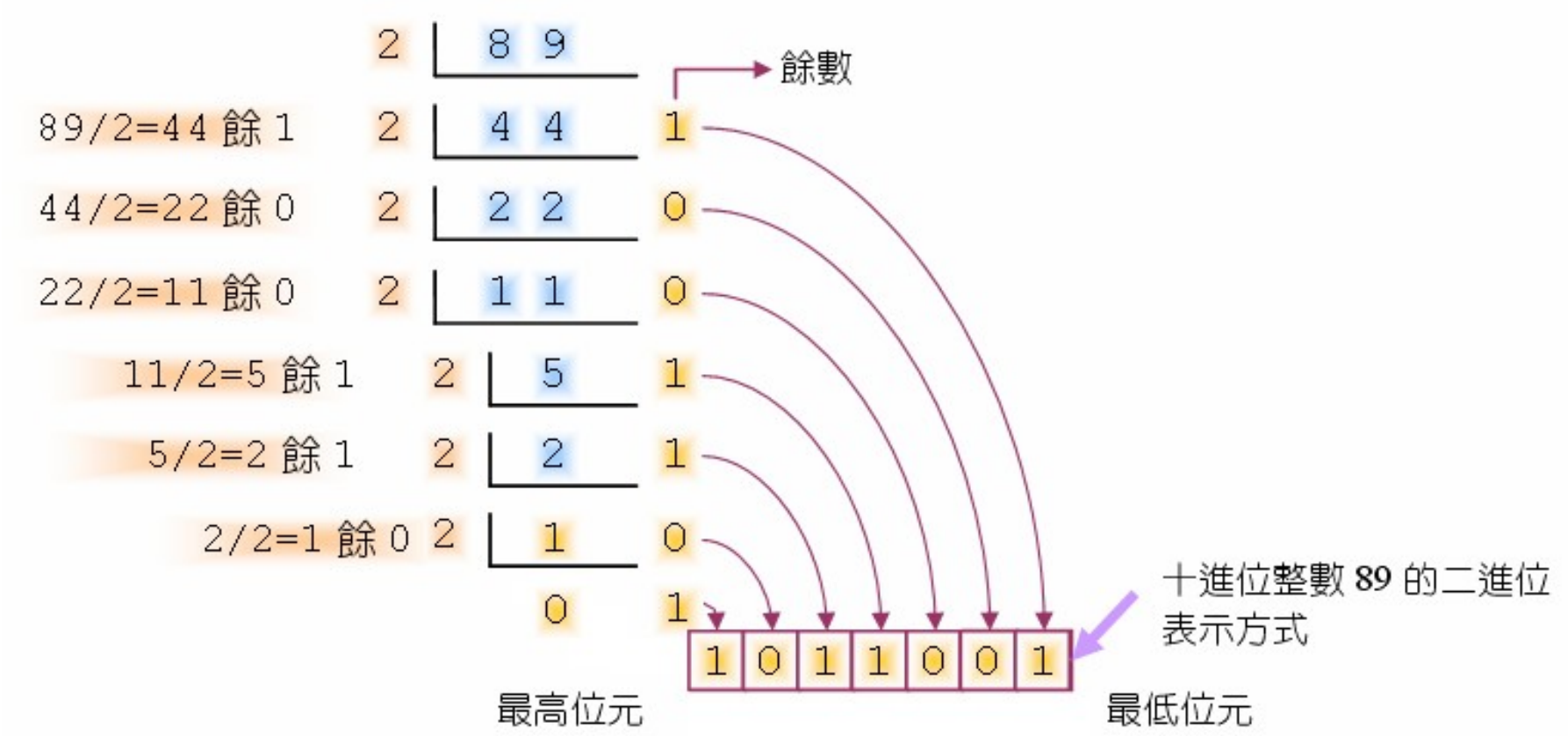
- 二進位以 0 與 1 表示數字，如此可以代表許多資訊：



  - 最小的儲存單位是位元（bit）
  - 一個位元組 (bytes) 等於 8 個位元
  - 用光、電和磁的訊號在儲存、傳輸和計算時以二進位制表示時容錯能力最高

二進位系統

- 將十進位整數 89 轉換成二進位的計算過程：



$$1011001_2 = 1\times 2^6 + 1\times 2^4 + 1\times 2^3 + 1\times 2^0 = 89_{10}$$

數字系統轉換的範例 (1/2)

- 下面的show_binary() 可將十進位整數轉換成二進位：

```
01  /* prog15_1, 將十進位整數以二進位來表示 */
02  #include <stdio.h>
03  #include <stdlib.h>
04  #define SIZE 8              /* 定義SIZE為8，代表以8個數字顯示二進位 */
05  void show_binary(int);      /* 宣告show_binary()函數的原型 */
06  int main(void)
07  {
08     printf("89的二進位為: ");
09     show_binary(89);         /* 顯示89的二進位*/
10
11     system("pause");
12     return 0;
13  }
```

數字系統轉換的範例 (2/2)

```
14  void show_binary(int num)  /* 函數 show_binary()的定義 */
15  {
16     int i,b[SIZE]={0};      /* 宣告陣列b，並設定元素的初值都是0 */
17     for(i=1;i<=SIZE;i++)
18     {
19        b[SIZE-i]=num%2;     /* 將num%2的餘數設定給b[SIZE-i]存放 */
20        num=num/2;           /* 將num/2的值設回給num */
21     }
22     for(i=0;i<SIZE;i++)
23        printf("%d",b[i]);
24     printf("\n");
25  }
```

```
/* prog14_1 OUTPUT--

89的二進位為: 01011001
----------------------*/
```

八進位系統

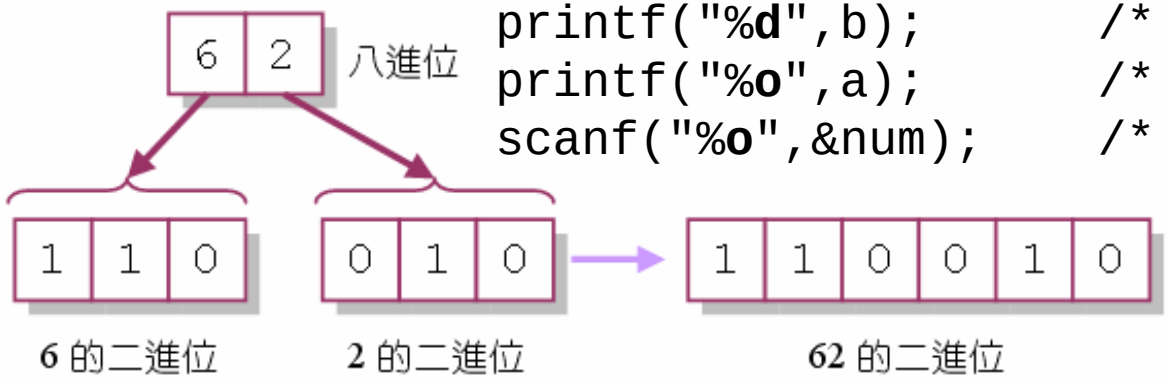
- 八進位數字系統: 以8爲基底，由0~7等8個數字所組成

表 15.3.1 八進位和二進位的相對應值

八進位	0	1	2	3	4	5	6	7
二進位	000	001	010	011	100	101	110	111

- 八進位的每一個位數可看成是三個二進位數字的組合：

```
int num,a=38,b=062;   /* 設定a=38，b爲八進位的62 */
printf("%d",b);       /* 將變數b的值以十進位印出 */
printf("%o",a);       /* 將變數a的值以八進位印出 */
scanf("%o",&num);     /* 從鍵盤輸入一個八進位的整數 */
```



十六進位系統 (1/2)

- 十六進位數字系統就是以 16 爲基底的數字系統

十進位	二進位	八進位	十六進位
0	0000	00	0
1	0001	01	1
2	0010	02	2
3	0011	03	3
4	0100	04	4
5	0101	05	5
6	0110	06	6
7	0111	07	7
8	1000	10	8
9	1001	11	9
10	1010	12	A
11	1011	13	B
12	1100	14	C
13	1101	15	D
14	1110	16	E
15	1111	17	F

十六進位系統 (2/2)

- 十六進位的5D，可以寫成下面的式子

$$5D_{16} = 5 \times 16^{1} + 13 \times 16^{0} = 93_{10}$$

- 下面是一些十六進位整數在使用上的範例：

```
int num,a=25,b=0x6A;   /* 設定a=25，b的值爲十六進位的6A */
printf("%d",b);        /* 將變數b的值以十進位印出 */
printf("%x",a);        /* 將變數a的值以十六進位印出 */
scanf("%x",&num);      /* 從鍵盤輸入一個十六進位的整數 */
```

位元邏輯運算子

- 位元邏輯運算子可用來對每一個位元做邏輯運算
- 下表列出了位元邏輯運算子：

表 15.4.1 位元邏輯運算子

位元邏輯運算子	意義
~	位元 NOT 運算子
&	位元 AND 運算子
|	位元 OR 運算子
^	位元 XOR 運算子

NOT運算子「~」

- 「~」運算子用來將位元顛倒
  - 使位元值爲 0 者變成 1，位元值 1 者變成 0：

表 15.4.2　NOT 運算子「~」之真值表

a	~a
0	1
1	0

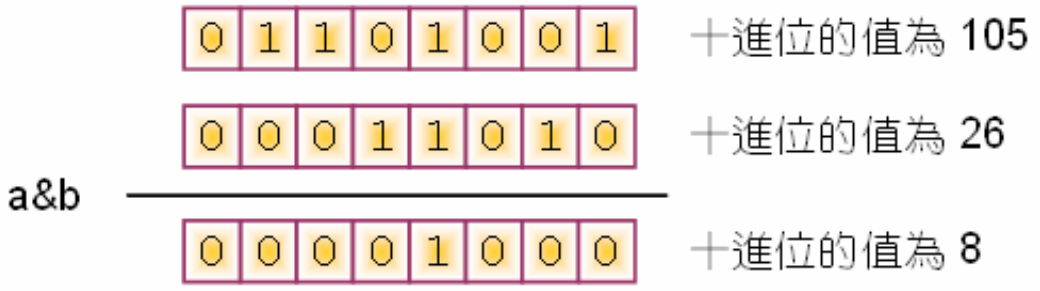
AND運算子「&」

- AND運算子「&」
  - 將運算子左、右兩邊運算元裡的每一個位元進行 AND 運算

表 15.4.3　AND 運算子「&」之真值表

a	b	a&b
0	1	0
0	0	0
1	1	1
1	0	0

  - 設變數a=105，b=26，則 a&b 的結果爲 8



位元AND運算子「&」的範例

- AND運算子「&」的範例

```
01  /* prog14_2, 位元 AND 運算子「&」的範例說明 */
02  #include <stdio.h>
03  int main(void)
04  {
05     int a=105,b=26;
06     printf("%d&%d=%d\n",a,b,a&b);     /* 計算 a&b 的值 */
07
08     system("pause");
09     return 0;
10  }

/* prog14_2 OUTPUT---

105&26=8
----------------------*/
```

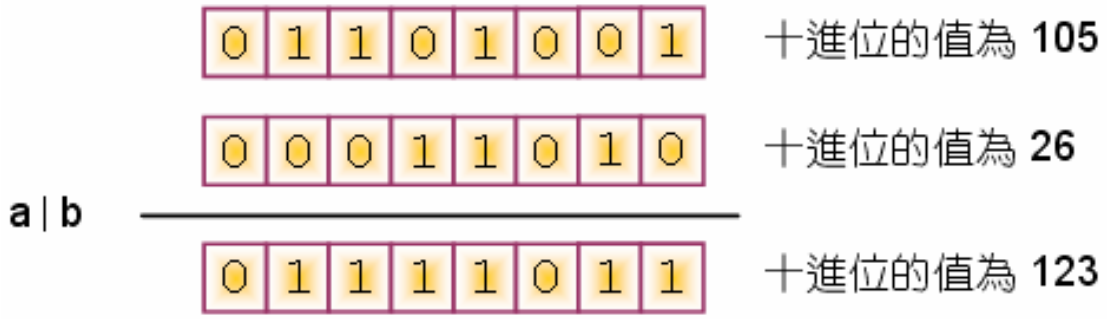
OR運算子「|」

- OR運算子「|」
  - 可將運算子左、右兩邊運算元裡的每一個位元進行 OR 運算：

表 15.4.4　OR 運算子「|」之真值表

a	b	a | b
0	1	1
0	0	0
1	1	1
1	0	1

  - 下圖爲計算 a|b 的運算結果：



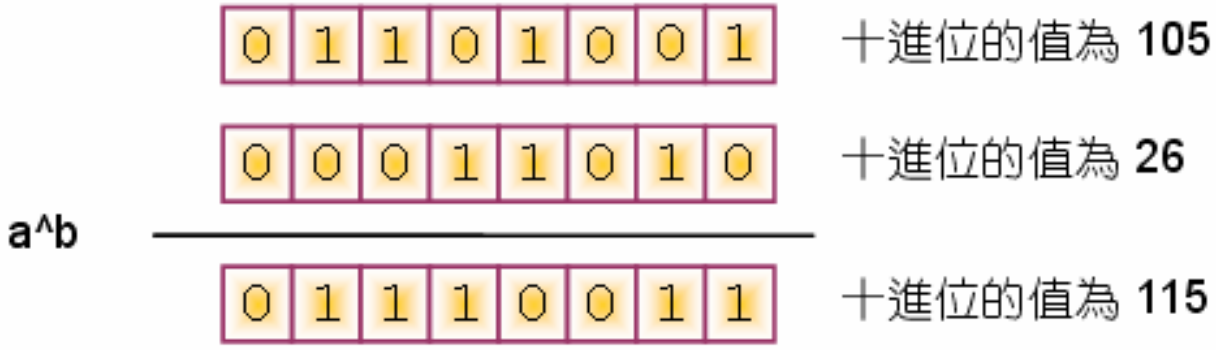
XOR運算子「^」

- XOR運算子「^」：
  - 只有一個位元爲 1 時其結果才會爲 1，其餘皆爲 0

表 15.4.5　XOR 運算子「^」之真值表

a	b	a ^ b
0	1	1
0	0	0
1	1	0
1	0	1

  - 下圖爲計算 a^b 的運算結果：

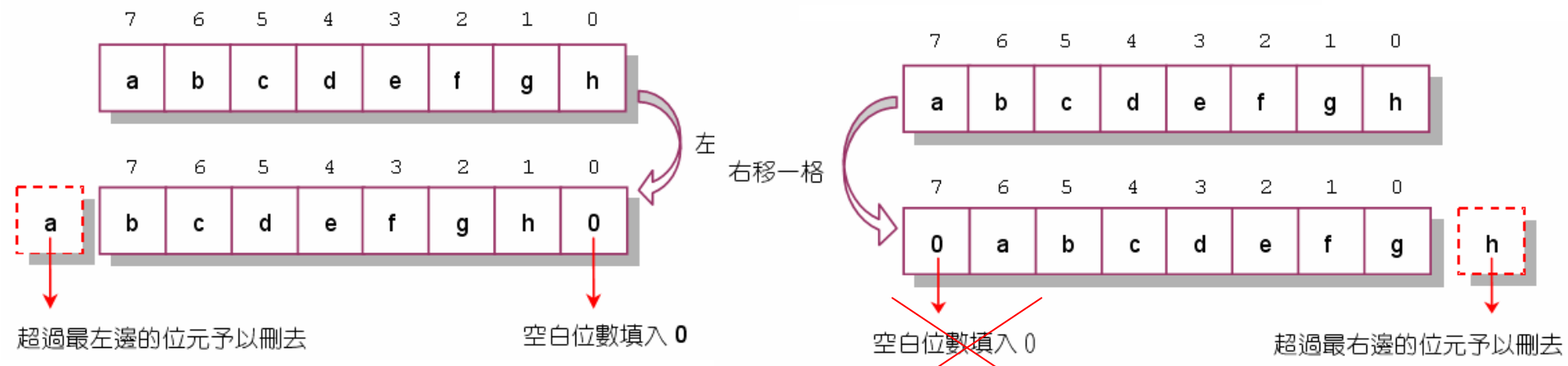


位元位移運算子

- 位元位移運算子可將位元左移或右移 n 個位元

表 15.4.6 位元位移運算子

位元位移運算子	意義
num << n	左移，將 num 的位元向左移 n 個位元
num >> n	右移，將 num 的位元向右移 n 個位元



左移運算子　　右移運算子

位元左移運算子的範例

- 下面的程式可將整數89左移一個位元：

```
01  /* prog15_3, 左移運算子「<<」的使用範例 */
02  #include <stdio.h>
03  #include <stdlib.h>
04  #define SIZE 8          /* 定義 SIZE 為 8，代表以 8 個數字來顯示二進位 */
05  void show_binary(int);    /* 宣告 show_binary()函數的原型 */
06  int main(void)
07  {
08     int a;
09     a=(89<<1);     /* 將整數 89 往左移一個位元，然後設定給變數 a 存放 */
10     printf("89 二進位的值為: ");
11     show_binary(89);              /* 顯示數字 89 的二進位 */
12     printf("左移一個位元後: ");
13     show_binary(a);               /* 顯示 89 左移一個位元後的二進位 */
14     printf("左移一個位元後的十進位值為: %d\n",a);
15     system("pause");
16     return 0;
17  }
```

位元欄位

低階的驅動程式常常使用

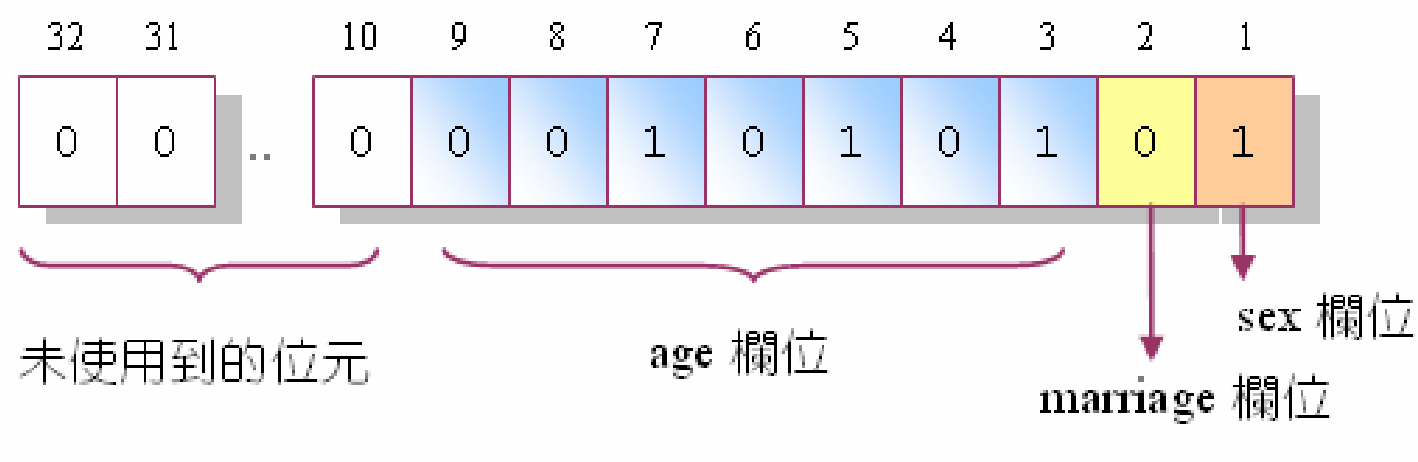
- 位元欄位：
  - 一種特別的結構，能夠充分使用到結構變數中的每一個位元

位元欄位結構的宣告格式

```
struct 位元欄位結構的名稱
{
    資料型態  欄位名稱1: 位元長度;
    資料型態  欄位名稱2: 位元長度;
        ...
    資料型態  欄位名稱n: 位元長度;
};
```

位元欄位結構宣告的範例

```
struct status                    /* 定義位元欄位結構 */
{
   unsigned sex:1;               /* sex欄位，佔1個位元 */
   unsigned marriage:1;          /* marriage欄位，佔1個位元*/
   unsigned age:7;               /* age欄位，佔7個位元*/
};
struct status tom;               /* 宣告struct status的結構變數tom */
```



位元欄位結構的使用範例 (1/2)

```
01  /* prog15_4, 位元欄位結構的使用 */
02  #include <stdio.h>
03  int main(void)
04  {
05     struct status                    /* 定義位元欄位結構 */
06     {
07        unsigned sex:1;
08        unsigned marriage:1;
09        unsigned age:7;
10     };
11     struct status tom={1,0,21};      /* 宣告並設定結構變數的初值 */
12
13     if(tom.sex==0)                   /* 判別 sex 欄位的位元是否為 0 */
14        printf("性別:女,");
15     else
16        printf("性別:男,");
```

位元欄位結構的使用範例 (2/2)

```
17
18      if(tom.marriage==0)           /* 判別 marriage 欄位的位元是否為 0 */
19         printf("未婚,");
20      else
21         printf("已婚,");
22
23      printf("%d 歲\n",tom.age);    /* 印出 age 欄位的值 */
24
25      printf("sizeof(tom)=%d\n",sizeof(tom));  /* 印出變數 tom 的大小 */
26
27      system("pause");
28      return 0;
29   }

/* prog15_4 OUTPUT--

性別:男,未婚,21 歲
sizeof(tom)=4
-----------------------*/
```

有趣的程式加速

```
int compare (const void * a, const void * b) { return ( *(int*)a - *(int*)b ); }
…
int data[32768];
for (unsigned c = 0; c < 32768; ++c) data[c] = rand() % 256;
qsort(data, 32768, sizeof(int), compare);
clock_t start = clock();
long long sum = 0;
for (unsigned i = 0; i < 100000; ++i)
    for (unsigned c = 0; c < arraySize; ++c)
        if (data[c] >= 128) sum += data[c];
double elapsedTime = ((double)(clock() - start)) / CLOCKS_PER_SEC;
```

11.78 sec without qsort

2.35 sec with qsort

Core i7 920 @ 3.5 GHz

Branch prediction

```
int t = (data[c] - 128) >> 31;
sum += ~t & data[c];
```

2.56 sec without qsort

2.59 sec with qsort