

# 第三章 基本資料型態

常數 vs. 變數

C 語言提供的資料型態

溢位的發生

資料型態間的轉換



## 3.1 變數與常數

### 變數與常數 (1/2)

- 下面是變數使用的範例：

```
01 /* prog3_1, 變數的使用 */
02 #include <stdio.h>
03
04 int main(void)
05 {
06     int num1=12400; /* 宣告 num1 為整數變數, 並設值為 12400 */
07     double num2=5.234; /* 宣告 num2 為倍精度浮點數變數, 並設值為 5.234 */
08
09     printf("%d is an integer\n", num1); /* 呼叫 printf() 函數 */
10     printf("%f is a double\n", num2); /* 呼叫 printf() 函數 */
11
12     return 0;
13 }
```

變數, 其值可修改

常數 (literal)

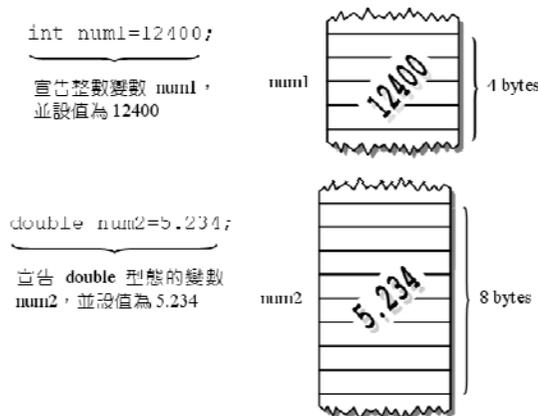
~~const~~

```
/* prog3_1 OUTPUT
12400 is an integer
5.234000 is a double
-----*/
```

## 3.1 變數與常數

### 變數與常數 (2/2)

- 變數的宣告與記憶空間的配置



## 3.2 變數與常數

### 基本資料型態

- 各種基本資料型態變數所佔的記憶體空間及可以表達的資料範圍：

表 3.2.1 C 語言所提供的的基本資料型態

	資料型態	型態說明	位元組	表示範圍
整數 類型	long int	長整數	4	-2147483648 到 2147483647
	int	整數	4	-2147483648 到 2147483647
	short int	短整數	2	32768 到 32767
	char	字元	1	0 到 255 (256個字元)-128 到 127
浮點數 類型	float	浮點數	4	±1.2e-38 到 ±3.4e38
	double	倍精度浮點數	8	±2.2e-308 到 ±1.8e308

## 整數型態 int

- 整數型態可分為
  - 長整數 (long int)
  - 整數 (int)
  - 短整數 (short int)
- 下面為整數型態宣告的範例：

```
int num=15;           /* 宣告 num 為整數，並設值為 15 */
long int num=1240L; /* 宣告 num 為長整數，並設值為 1240L */
short int sum;       /* 宣告 sum 為短整數 */
```

預設 15 為 int 常數, L,l 代表 long int, LL,ll 代表 long long, U,u 代表無號, UL...  
預設 12.3 為 double 常數, F,f 代表浮點數

5

## 整數的內部表示方法

- n 位元的二進位系統使用 0, 1 來表示數字

$$d = \sum_{i=0}^{n-1} a_i 2^i$$

d	a <sub>7</sub>	a <sub>6</sub>	a <sub>5</sub>	a <sub>4</sub>	a <sub>3</sub>	a <sub>2</sub>	a <sub>1</sub>	a <sub>0</sub>
0 →	0	0	0	0	0	0	0	0
1 →	0	0	0	0	0	0	0	1
2 →	0	0	0	0	0	0	1	0
...	...	...	...	...	...	...	...	...
255 →	1	1	1	1	1	1	1	1

- 二進位加法

	44 →	0	0	1	0	1	1	0	0
+	13 →	0	0	0	0	1	1	0	1
	57 →	0	0	1	1	1	0	0	1

以硬體直接計算

6

## 整數的內部表示方法

- Sign-Magnitude 負數表示方法: 0 代表正數, 1 代表負數

$$\begin{aligned} 18 &\rightarrow 0\ 0\ 0\ 1\ 0\ 0\ 1\ 0 \\ -18 &\rightarrow 1\ 0\ 0\ 1\ 0\ 0\ 1\ 0 \end{aligned}$$

不方便: 加法沒有辦法用同樣的硬體來計算

- n 位元 2's Complement (2 的補數) 負數表示方法:

	18 →	0	0	0	1	0	0	1	0	x
	-18 →	0	1	1	1	0	1	1	1	2 <sup>n</sup> -x
+	30 →	0	0	0	0	1	1	1	1	y
	12 ←	1	0	0	0	0	1	1	0	2 <sup>n</sup> -x+y

隱藏的  
輔助位元

7

## 無號整數

- 加上 unsigned, 整數資料型態便可成為無號整數
  - 無號整數只存放非負整數, 可存放的資料範圍大一倍

表 3.2.2 無號整數的資料型態

資料型態	型態說明	位元組	表示範圍
unsigned long int	無號長整數	4	0 到 4294967295
unsigned int	無號整數	4	0 到 4294967295
unsigned short int	無號短整數	2	0 到 65535

```
unsigned int num = 123U; /* 宣告num為無號整數,並設值為 123U */
unsigned short int sum; /* 宣告sum為無號短整數 */
```

8



## 字元型態的範例 (1/4)

- 下面的程式以不同的格式列印字元變數 `ch`：

```
01 /* prog3_3, 字元的列印*/
02 #include <stdio.h>
03
04 int main(void)
05 {
06     char ch='a';          /* 宣告字元變數 ch, 並設值為 'a' */
07     printf("ch= %c\n",ch); /* 印出 ch 的值 */
08     printf("ASCII of ch= %d\n",ch); /* 印出 ch 的十進位值 */
09
10     return 0;
11 }
```

/\* prog3\_3 OUTPUT---  
ch= a  
ASCII of ch= 97  
\*/

13

## 字元型態的範例 (2/4)

- 以 ASCII 碼設定字元的範例：

```
01 /* prog3_4, 以 ASCII 碼設定字元 */
02 #include <stdio.h>
03
04 int main(void)
05 {
06     char ch=90;          /* 將整數 90 設給字元變數 ch */
07     printf("ch=%c\n",ch); /* 印出 ch 的值 */
08
09     return 0;
10 }
```

/\* prog3\_4 OUTPUT--  
ch=Z  
-----\*/

14

## 字元型態的範例 (3/4)

- 數字字元與其相對應的 ASCII 碼：

```
int x; scanf("%d",&x);
printf("%d",x);
scanf("%d",&ch);
scanf("%c",&ch);
ch=ch-'0';
printf("%d",ch);
```

```
01 /* prog3_5, 數字字元與其相對應的 ASCII 碼 */
02 #include <stdio.h>
03
04 int main(void)
05 {
06     char ch='2';          /* 宣告字元變數 ch, 並設值為 '2' */
07     printf("ch=%c\n",ch); /* 印出字元變數 ch */
08     printf("the ASCII of ch is %d\n",ch); /* 印出 ch 的 ASCII 碼 */
09
10     return 0;
11 }
```

/\* prog3\_5 OUTPUT---  
ch=2  
The ASCII of ch is 50  
-----\*/

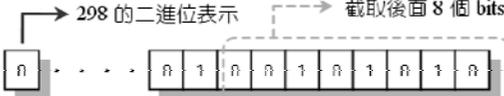
15

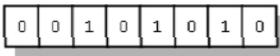
## 字元型態溢位的問題 (4/4)

- 字元型態溢位的問題：

```
01 /* prog3_6, 字元型態的列印問題*/
02 #include <stdio.h>
03
04 int main(void)
05 {
06     int i=298;
07     printf("ASCII(%d)=%c\n",i,i); /* 印出 ASCII 碼為 i 的字元 */
08
09     return 0;
10 }
```

/\* prog3\_6 OUTPUT---  
ASCII(298)=  
-----\*/

298 的二進位表示 

42 的二進位表示 

16

## 跳脫字元 (1/3)

- 反斜線「\」稱為跳脫字元 (escape character)
- 反斜線「\」加上控制碼，稱為跳脫序列

表 3.2.3 常用的跳脫序列

跳脫序列	所代表的意義	十進位 ASCII
\a	警告音 (alert)	7
\b	倒退一格 (backspace)	8
\n	換行 (new line)	10
\r	歸位 (carriage return)	13
\0	字串結束字元 (null character)	0
\t	跳格 (tab)	9
\\	反斜線 (backslash)	92
\'	單引號 (single quote)	39
\"	雙引號 (double quote)	34

17

## 跳脫字元 (2/3)

- 利用跳脫序列控制響鈴：

```
01 /* prog3_7, 跳脫序列的列印 */
02 #include <stdio.h>
03
04 int main(void)
05 {
06     char beep='\a'; /* 宣告字元變數 beep, 並設定其值為 '\a' */
07     printf("%c", beep); /* 響一聲警告音 */
08     printf("ASCII of beep=%d", beep); /* 印出 beep 的 ASCII 值 */
09
10     return 0;
11 }
```

```
/* prog3_7 OUTPUT---
ASCII of beep=7
*/
```

還會有一聲警告音嗎

18

## 跳脫字元 (3/3)

- 利用跳脫字元列印特殊符號：

```
01 /* prog3_8, 跳脫序列 '\\" of the list */
02 #include <stdio.h>
03
04 int main(void)
05 {
06     char ch='\"'; /* 宣告字元變數 ch, 並設定其值為 '\" */
07     printf("%cWe are the World%c\n", ch, ch); /* 印出字串 */
08
09     return 0;
10 }
```

```
/* prog3_8 OUTPUT---
```

```
\"We are the World\"
```

```
-----*/
```

19

## 浮點數型態 float (1/2)

- 浮點數佔 4 個位元組，有效範圍  $\pm 1.2 \times 10^{-38} \sim 3.4 \times 10^{38}$

```
float num; /* 宣告浮點數變數 num */
float num=5.46F; /* 宣告浮點數變數 num, 並設定其值為 5.46F */
```

- 要印出浮點數請用「%f」格式轉換命令，要以科學記號的型式印出浮點數請用「%e」格式轉換命令

格式轉換命令	浮點數型態	
	float	double
印出 printf	%f, %e	%lf, %le (%f, %e)
讀入 scanf	%f, %e	%lf, %le

20

## 浮點數型態 float (2/2)

- 浮點數使用的範例：

```

01 /* prog3_9, 浮點數的列印 */
02 #include <stdio.h>
03
04 int main(void)
05 {
06     float num1=123.45F; /* 宣告 num1 為浮點數, 並設值為 123.45F */
07     float num2=4.56E-3F; /* 宣告 num2 為浮點數, 並設值為 4.56E-3F */
08
09     printf("num1=%e\n", num1); /* 以指數的型態印出 num1 的值 */
10     printf("num2=%f\n", num2); /* 以浮點數的型態印出 num2 的值 */
11
12     return 0;
13 }
    
```

#include <stdio.h>  
 int main() {  
 float n = 0.1;  
 if (n > 0.1) printf("Wierd\n");  
 return 0;  
 }

double rounded to float

float to double conversion for the comparison with double

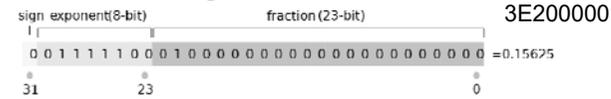
Outputs: Wierd

```

/* prog3_9 OUTPUT
num1=1.234500e+002
num2 0.004560
    */
    
```

## 浮點數 (double/float) 存放格式

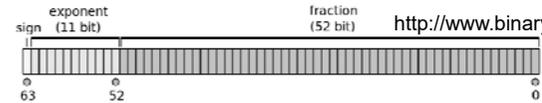
- IEEE 754 Single Precision



- $x = (-1)^s \cdot f \times 2^m$
- 1-bit sign,  $s = 0$ : positive sign,  $s = 1$ : negative sign
- 8 bit exponent  $c$ , where  $c = m + 127$ , we need to reserve exponent number for special cases  
 $c = (11111111)_2 = 255$ ,  $c = (00000000)_2 = 0$ , therefore  $0 < c < 255$
- 23-bit fractional part  $f$
- Machine epsilon:  $\epsilon = 2^{-23} \approx 1.2 \times 10^{-7}$
- Smallest positive normalized FP number:  $UFL = 2^L - 2^{-126} \approx 1.2 \times 10^{-38}$
- Largest positive normalized FP number:  $OFL = 2^{U+1}(1 - 2^{-24}) = 2^{128}(1 - 2^{-24}) \approx 3.4 \times 10^{38}$

[http://www.binaryconvert.com/convert\\_float.html](http://www.binaryconvert.com/convert_float.html)

- IEEE 754 Double Precision



[http://www.binaryconvert.com/convert\\_double.html](http://www.binaryconvert.com/convert_double.html)

## 倍精度浮點數型態 double (1/2)

- double 型態佔 8 個位元組，範圍為  $\pm 2.2 \times 10^{-308} \sim 1.8 \times 10^{308}$
- float 只有 7~8 位數的精度，double 可達 15~16 位數

```
float num1=123.456789012345F;
```

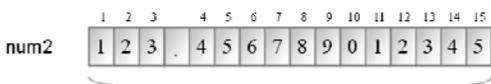


float 型態的變數只有 7~8 個數字的精度

是printf列印的演算法在由二進位換成十進位時一定會產生的，例如：二進位 0.10101 => 十進位  $2^{-1} + 2^{-3} + 2^{-5}$

此部份的數字已超出 float 的精度範圍，是屬於記憶體內的殘值

```
double num2=123.456789012345;
```



double 型態的變數可達 15~16 個數字的精度

二進位小數點後第 15 位  $2^{-15} = 0.000030517578125$  需要十進位小數點後 15 位數才能精確表示  
 $2^{-23}$  需要十進位小數點後 23 位數才能精確表示  
 $2^{-52}$  需要十進位小數點後 48 位數才能精確表示

## 倍精度浮點數型態 double (2/2)

- 下面的範例是 float 與 double 精度的比較：

```

01 /* prog3_10, float 與 double 精度的比較 */
02 #include <stdio.h>
03
04 int main(void)
05 {
06     float num1=123.456789012345F; /* 宣告 num1 為 float, 並設定初值 */
07     double num2=123.456789012345; /* 宣告 num2 為 double, 並設定初值 */
08
09     printf("num1=%16.12f\n", num1); /* 列印出浮點數 num1 的值 */
10     printf("num2=%16.12f\n", num2); /* 列印出倍精度浮點數 num2 的值 */
11
12     return 0;
13 }
    
```

/\* prog3\_10 OUTPUT  
 num1=123.456789012345  
 num2=123.456789012345  
 -----\*/

## 浮點數表示法的量化誤差

- 實數線上有無窮多個點, `double` 型態用 64 個位元最多只能表達  $2^{64}$  種不同的數字, 一定有數字沒有辦法無誤差地表示出來, 只能用最接近的數值來表示
  - 更何況 `double` 型態浮點數要表達的數字含括  $-10^{308} - 10^{308}$  的範圍, 精確度 15 位數的科學記號表示法會維持相對誤差在  $\pm 10^{-15}$ , 也就是說對於一個  $10^{100}$  大小的數字來說, 絕對誤差值大概是  $\pm 10^{85}$ , 對於一個  $10^{-100}$  大小的數字來說, 絕對誤差值大概是  $\pm 10^{-115}$
  - 為什麼需要知道這個? 對寫程式有什麼影響? 後續我們會談到條件判斷以及迴圈, 請務必記得絕對不要使用下面的幾種寫法
- |   |  |   |
|---|--|---|
| • <code>double x, y;</code><br>計算 x, y 數值 | • <code>double x;</code><br>....             | • <code>float x;</code><br>....                                   |
| ✗ <code>if (x == y) ...</code>            | ✗ <code>for (x=0; x!=1.0; x+=0.1) ...</code> | ✗ <code>for ( x=17000000.0; x&lt;=17000010.0; x+=1.0 ) ...</code> |
| ✗ <code>if (x != y) ...</code>            | ...  | ...   |

25

## sizeof 指令

compile-time operator

- 查詢變數佔了多少個位元組的語法：

```
sizeof 指令
sizeof 變數名稱或常數;
或
sizeof (變數名稱或常數);
```

- 查詢資料型態所佔的位元組：

```
sizeof 指令
sizeof (資料型態名稱);
```

26

## sizeof 指令的應用

```
01 /* prog3_11, 列印出各種資料型態的長度 */          /* prog3_11 OUTPUT ---
02 #include <stdio.h>                                   sizeof (2L) = 4
03                                                         sizeof (ch) = 1
04 int main(void)                                       sizeof (num) = 4
05 {                                                    sizeof (int) = 4
06     char ch;          /* 宣告字元變數 ch */         sizeof (long) = 4
07     float num;       /* 宣告浮點數變數 num */      sizeof (short) = 2
08                                                         -----*/
09 printf("sizeof (2L)=%d\n", sizeof (2L));           /* 查詢常數 2L 所佔位元組 */
10
11 printf("sizeof (ch)=%d\n", sizeof (ch));           /* 查詢字元變數 ch 所佔位元組 */
12 printf("sizeof (num)=%d\n", sizeof (num));         /* 查詢變數 num 所佔位元組 */
13
14 printf("sizeof (int)=%d\n", sizeof (int));         /* 查詢 int 型態所佔位元組 */
15 printf("sizeof (long)=%d\n", sizeof (long));      /* 查詢 long 型態所佔位元組 */
16 printf("sizeof (short)=%d\n", sizeof (short));    /* 查詢 short 所佔位元組 */
17
18     return 0;
19 }
```

27

## 資料型態的轉換 (1/3)

- 將資料型態轉換成另一種型態的語法：

```
資料型態的強制轉換
(欲轉換的資料型態) 變數名稱
```

```
int num=12;
float total;
total=(float) num; /* 將int型態轉換成float型態 */
num = (int) 12.345;
```

28



## 資料型態的轉換 (2/3)

- 把浮點數轉換成整數的範例：

```
01 /* prog3_12, 資料型態的轉換*/          /* prog3_12 OUTPUT-----
02 #include <stdio.h>                        num1=3.002000, num2=3.988000
03                                           n1=3, n2=3
04 int main(void)                            -----*/
05 {
06     int n1,n2;
07     float num1=3.002F,num2=3.988F;
08
09     n1=(int) num1; /* 將浮點數 num1 轉換成整數 */
10     n2=(int) num2; /* 將浮點數 num2 轉換成整數 */
11
12     printf("num1=%f, num2=%f\n",num1,num2); /* 印出浮點數的值 */
13     printf("n1=%d, n2=%d\n",n1,n2); /* 印出浮點數轉成整數後的值 */
14
15     return 0;
16 }
```

n1 = num1;  
g++ compiler warning messages (not gcc)  
test.cpp:9: warning: converting to `int` from `float` 29



## 資料型態的轉換 (3/3)

- 把整數轉換成浮點數，再進行除法運算：

```
01 /* prog3_13, 資料型態的轉換*/
02 #include <stdio.h>
03
04 int main(void)
05 {
06     int num=5;
07
08     printf("num/2=%d\n",num/2); /* 整數相除 */
09     printf("(float) num/2=%f\n", (float) num/2); /* 將整數轉成浮點數，再做除法 */
10
11     return 0;
12 }
```

/\* prog3\_13 OUTPUT-----  
num/2=2  
(float) num/2=2.500000  
-----\*/