

# 第2章 電腦工作原理

## 探索神秘的電腦世界

表姐送給若禮的電腦書中附有一張 CAI 教學軟體的光碟片；好奇的他便使用電腦來觀看 CAI 光碟的教學內容。

他在 CAI 光碟的「電腦基礎篇」中，看到了電腦硬體的基本組成、電腦處理資料的步驟、以及中央處理單元（CPU）的結構；這些豐富有趣的內容不僅讓他吸收了許多電腦的基本常識，更令他對神秘的電腦世界產生濃厚的興趣。而當他看到了「電腦運作篇」時，卻萬萬沒想到生活中的各種資料，在電腦中竟然是以二進位的形式表示！

你知道電腦為什麼要將資料以二進位的形式來表示嗎？你知道電腦是怎麼運作的嗎？本章即將說明電腦的運作原理，以及資料在電腦中的表示方法。

- 2-1** 電腦系統的組成 ..... 43
- 2-2** 電腦的基本架構與運作 ..... 51
- 2-3** 資料的表示與儲存 ..... 62
- 2-4** 電腦運作的模擬實作 ..... 83



# 電腦內部的運作

## 2-1 電腦系統的組成

一個完整的電腦系統（圖 2-1）必需包含**硬體**（Hardware）、**軟體**（Software）、**資料**（Data）和**使用者**（User）等部分。在使用者將資料或指令輸入電腦後，**硬體**設備與**軟體**系統必須密切配合，才能進行資料處理的工作，並將處理的結果由輸出設備呈現出來。



▲ 圖 2-1 電腦系統的組成

### 2-1.1 電腦硬體

**硬體**是指組成電腦的各種機械及電子設備，可概分為電腦主機及週邊設備兩大部分。這兩大部分之設備若依用途加以分類，可區分為**處理設備**、**記憶設備**、**輔助記憶設備**、**輸入設備**、及**輸出設備**等五類，如圖 2-2 所示：



▲ 圖 2-2 電腦硬體的分類

#### 兼具輸入與輸出功能的儲存設備

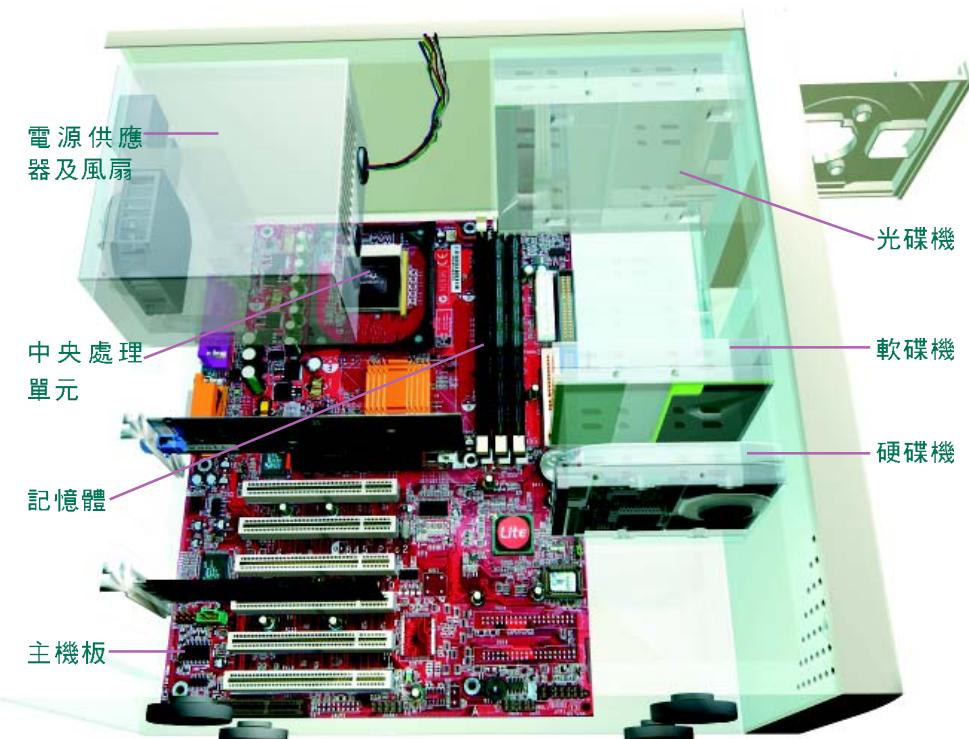
電腦的輸入及輸出設備種類很多，除了圖 2-2 所列的輸入及輸出設備之外，硬碟機、軟碟機、光碟燒錄機等儲存設備，也兼具輸入及輸出的功能。

圖 2-2 中的**輔助記憶設備**應歸類為電腦主機或電腦週邊設備並無定論（若以外接方式與電腦主機連接者，通常歸類為週邊設備；反之，若安裝在機殼內部者，則通常歸類為主機設備），因此本書以虛線表示。

## 電腦主機

主機是電腦的中樞（圖 2-3），內有中央處理器、記憶體、主機板、電源供應器、各種線路、及插接在主機板上的各種介面卡等元件。其中

中央處理器（Central Processing Unit，簡稱 CPU）可說是電腦的核心設備，因為資料的運算、控制等工作，即是在此進行。



▲ 圖 2-3 個人電腦主機的內部

## 電腦週邊設備

電腦週邊設備是泛指主機以外的所有電腦設備，舉凡鍵盤、滑鼠、掃描器、數位相機等輸入設備，螢幕、印表機、喇叭等輸出設備，及外接式硬碟、光碟機、燒錄器等儲存設備，都可歸類為電腦的週邊設備。圖 2-4 是一般個人電腦常見的週邊設備。



▲ 圖 2-4 個人電腦的主機與週邊設備

## 馬上練習

### 一、是非題

- ( ) 1. 在電腦中用來處理資料的各項機械及電子設備稱為硬體。
- ( ) 2. 滑鼠、鍵盤、顯示器等硬體設備，都可歸類為電腦的週邊設備。
- ( ) 3. 只要有一部電腦硬體，即使沒有安裝軟體也可以進行資料處理的工作。

### 二、選擇題

- ( ) 1. 下列何者不屬於輸入或輸出設備？ (A)鍵盤 (B)中央處理單元 (C)印表機 (D)滑鼠。
- ( ) 2. 下列哪一項不屬於電腦的週邊設備？ (A)鍵盤 (B)螢幕 (C)中央處理單元 (D)麥克風。
- ③ ( ) 3. 下列週邊設備中，何者兼具輸入及輸出設備功能？ (A)鍵盤 (B)滑鼠 (C)麥克風 (D)磁碟機。

### 三、實作題

1. 隨著電腦科技的進步，輔助記憶體的種類也多樣化起來，除了硬碟機、軟碟機、光碟機以外，你還聽過哪些輔助記憶體設備呢？試舉出2~3個例子並說明其特色。（可上網或查閱電腦相關雜誌）
2. 下圖是一般個人電腦常見的設備，請在空格中填入該設備的名稱。  
 A.喇叭      B.螢幕      C.滑鼠      D.數據機      E.主機      F.印表機      G.鍵盤  
 H.搖桿      I.掃描器



## 2-1.2 電腦軟體

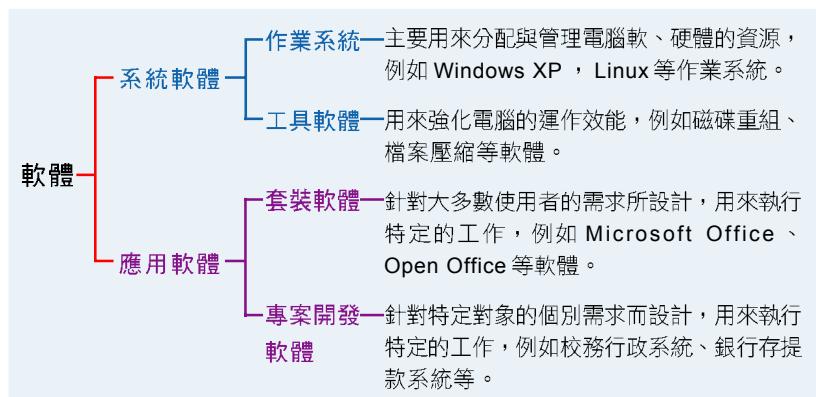
知識頻道

**韌體**

韌體（Firmware）是指燒錄在唯讀記憶體（ROM）中的程式；這些程式多半是電腦須經常使用的程式，例如電腦開機時，必須執行的 BIOS 程式，就是一種燒錄在 ROM 中的韌體。由於韌體已直接燒錄在記憶體中，可省去將程式載入記憶體的時間，因此可加快電腦處理的速度。

廣義而言，電腦軟體是泛指一切能夠控制電腦運作的方法與技術；狹義而言，電腦軟體是指以各種程式語言撰寫而成的程式，這些程式可以配合硬體的特性，使電腦依照使用者的要求而運作。

電腦軟體依照其用途可概分為**系統軟體**及**應用軟體**兩大類，如圖 2-5 所示：



▲ 圖 2-5 電腦軟體的分類

### ！小提示

硬體好比家中電視機及遙控器，是有實體、且摸得到的部分。

軟體就像電視節目；沒有硬體和軟體的配合，電腦是無法運作的。

### 系統軟體

**系統軟體**是電腦廠商為使電腦系統有效運作，或讓使用者得以有效率的使用電腦資源而設計的相關程式，也可以說所有和電腦系統操作與控管有關的軟體，都可歸類為系統軟體。系統軟體包含作業系統及工具軟體兩類，分別說明如下：

### 作業系統

**作業系統**（Operating System，簡稱 OS）是一組介於電腦硬體與應用程式之間的軟體，它除了可做為使用者介面之外，也負責控制電腦軟、硬體的運作與各項電

腦資源（如記憶體、CPU的使用時間等）的分配、及提供系統服務與保護等。由於人類是藉由作業系統與電腦溝通，因此在我們使用電腦時，實際上是在操作作業系統，而不是直接指揮電腦硬體進行工作。

好的作業系統可以提高整個電腦系統的運作效能，同時也可讓使用者有一個方便操作電腦的環境。Windows及Linux作業系統都是目前使用相當普及的作業系統，圖2-6為Windows XP作業系統的畫面。



▲ 圖 2-6 Windows XP 作業系統的畫面

## 工具軟體

**工具軟體（Utility Programs）**是電腦硬體製造商或是軟體設計公司為了強化電腦的運作效能而發展出來的相關軟體，又稱為**公用程式**。工具軟體的種類很多，例如一般作業系統所提供的磁碟重組、製作備份等工具（如圖2-7），以及個人電腦上常見的WinZip壓縮軟體、PC-cillin防毒軟體、Norton Utilities公用程式等皆為工具軟體。



▲ 圖 2-7 防毒（左）與磁碟重組（右）軟體的畫面

### 知識頻道

#### 資料壓縮（Data Compression）

資料壓縮是利用特殊的演算法來縮減資料檔案大小的技術，用以節省儲存設備的存放空間，及縮短資料檔案在網路上傳送的時間。經過壓縮後的檔案在使用之前必須透過解壓縮的程序，才能開啟使用。常見的資料壓縮／解壓縮軟體有WinZip（副檔名為\*.zip）、WinRAR（副檔名為\*.rar）…等。

## 應用軟體

### 小百科

套裝軟體是電腦軟體公司針對大多數使用者之需求所發展出來的軟體，例如 Microsoft Office 即為套裝軟體，包含有 Word、Excel、PowerPoint 等數個不同功能的軟體。

**應用軟體**（Application Software）是使用者為了處理或解決某些特定的問題而撰寫的程式。應用軟體主要可分為以下二種：一種是電腦軟體公司針對大多數使用者的需求而設計出來的應用軟體，通稱為**套裝軟體**，其價格通常較為便宜，例如 Microsoft Office 套裝軟體。另外一種則是針對特定機構或使用者的個別需求而設計出來的應用軟體，稱為**專案開發軟體**，由於此種軟體係針對個別需求而開發，因此其價格通常較為昂貴，例如台灣鐵路管理局的訂票系統（圖 2-8）、銀行的存提款系統等。



▲ 圖 2-8 專案開發軟體實例—台鐵火車訂票系統的畫面

### 馬上練習

#### 一、是非題

- ( ) 1. 應用軟體是為了解決某些特定的工作或問題所開發出來的軟體。
- Q ( ) 2. 為特定客戶設計的「人事薪資管理系統」是屬於應用軟體。
- ( ) 3. 系統軟體具有管理電腦資源，強化電腦效能的功能。

#### 二、選擇題

- @ ( ) 1. 下列有關作業系統的敘述何者不正確？(A)作業系統具有記憶體管理的功能 (B)作業系統是屬於應用軟體的一種 (C)個人電腦程式必須透過作業系統才可執行 (D)作業系統可以控制輸入輸出裝置。
- @ ( ) 2. 下列何者不屬於應用軟體？(A)磁碟重組工具 (B)電腦遊戲 (C)薪資系統 (D)資料庫管理系統。
- @ ( ) 3. 下列何者屬於系統軟體？(A)Windows XP (B)Excel (C)Auto Cad (D)PowerPoint。

#### 三、問答與實作題

1. 請舉出三種我們生活中經常會使用到的應用軟體，並簡單說明該軟體的用途。

## 2-1.3 資料和使用者

電腦的主要功用是將使用者所輸入的原始資料經過資料處理後，轉換成有用的資訊。我們可透過輸入設備（如鍵盤、滑鼠等）將文字、數字、聲音、或影像等原始資料輸入到電腦中，再經由計算、分類、排序、彙總、篩選、分析及歸納等處理，而產生有用的資訊。

電腦的使用者依其角色不同，可區分為**系統管理者**（Administrator）、**程式設計師**（Programmer）以及一般**使用者**（End User）。系統管理者負責維護電腦系統的正常運作（如監控軟硬體的運作、分配及管理使用者權限…等）；程式設計師負責撰寫及維護程式；而一般使用者則是利用電腦軟、硬體來處理資料以取得管理決策所需之資訊。

### 小百科

資訊總長（Chief Information Officer，簡稱 CIO），是企業中負責掌管資訊科技應用的最高階主管；由於現代較具規模的企業多半已將業務電腦化，甚至將資訊科技的應用定位為企業發展的重要工具，因此資訊總長在企業中的地位與角色通常都相當重要。

### 2-1 節練習

#### 一、選擇題

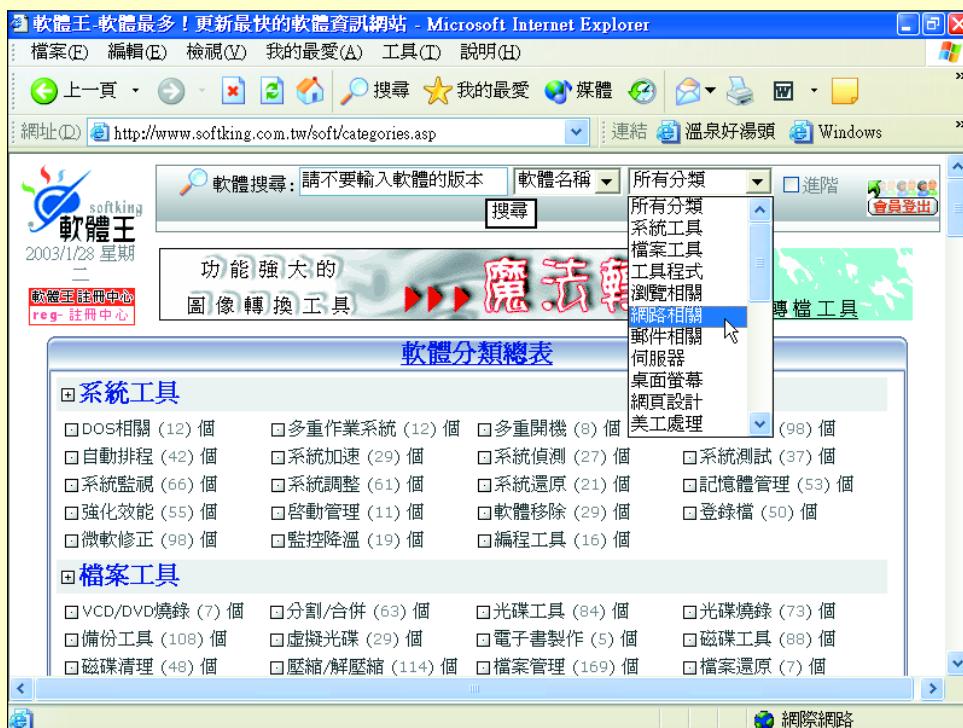
- Ⓐ 1. 下列的電腦週邊設備何者不屬於輸出設備？ (A)硬碟機 (B)軟式磁碟機 (C)鍵盤 (D)印表機。
- Ⓑ 2. 下列何者不是輸入裝置？ (A)數位相機 (B)光筆 (C)顯示器 (D)掃描器。
- Ⓒ 3. 下列何者不屬於電腦的週邊設備？ (A)主記憶體 (B)輔助記憶體 (C)印表機 (D)滑鼠。
- Ⓓ 4. 以下何者不屬於計算機的硬體結構？ (A)輸入輸出單元 (B)中央處理單元 (C)作業系統單元 (D)記憶單元。
- Ⓔ 5. 下列何者不是電腦的儲存設備？ (A)軟式磁碟機 (B)印表機 (C)記憶體 (D)硬式磁碟機。
- Ⓕ 6. Linux 是屬於一種 (A)系統軟體 (B)應用軟體 (C)文書處理軟體 (D)資料庫管理軟體。
- Ⓖ 7. 下列何者不為作業系統？ (A)MS-DOS (B)Office 95 (C)Windows 95 (D)UNIX。

- @ ( ) 8. 關於軟體分類的描述，下列何者不正確？(A)可分為系統軟體與應用軟體兩大類  
 (B)作業系統（Operating System，OS）屬於系統軟體 (C)磁碟重組工具屬於系統軟體 (D)薪資管理系統屬於系統軟體。
- @ ( ) 9. 下列何者屬於系統軟體？(A)成績處理軟體 (B)公用程式 (C)庫存管理軟體 (D)薪資處理軟體。
- e ( ) 10. 一群原始的數字、文字或符號等資料，經過處理後得到具有意義的結果稱為 (A) 資料 (B) 報告 (C) 資訊 (D) 記錄。
- ( ) 11. 將資料輸入至電腦中，經由計算、分析、排序、合併、篩選等處理程序，可得到有用的結果稱為 (A) 報表 (B) 資訊 (C) 資料結構 (D) 總成績。
- ( ) 12. 如果你在一家企業的資訊單位，負責監控與維護電腦系統的正常運作，請問你的角色是 (A) 系統管理者 (B) 程式設計師 (C) 一般使用者 (D) 電腦玩家。

## 二、實作題

- 查看家裡或電腦教室中的電腦安裝有哪些工具軟體（例如磁碟重組工具等），並寫出這些軟體的功能？
- 適當的軟體是使用者順利完成工作的重要利器，請連上軟體王網站（<http://www.softking.com.tw/>），進入其「軟體專區」中，選按「軟體目錄」網頁，查看其中有沒有你聽過或使用過的軟體？並與同學分享你的經驗。

成果預覽：

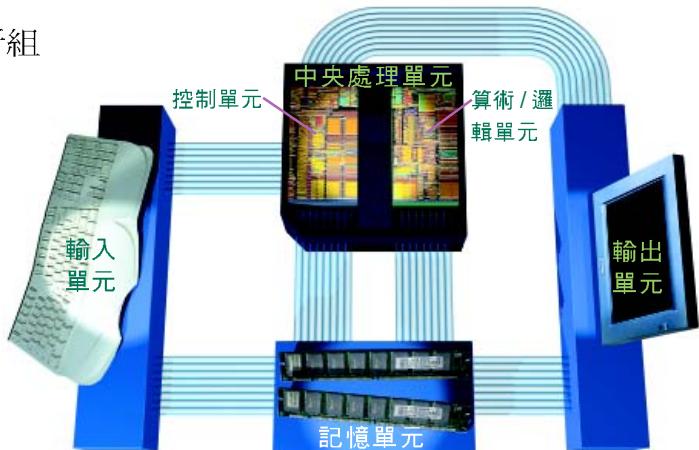


## 2-2 電腦的基本架構與運作

使用電腦來處理資料，必須經過輸入、處理、輸出、儲存等過程；在這些過程中，所須使用的相關輸入設備（如鍵盤、滑鼠等）、處理及儲存元件（如中央處理單元、記憶體等）、以及輸出設備（如顯示器、印表機等）都是組成電腦的重要元件。在本節中將介紹電腦的基本架構，並介紹電腦運作的流程。

### 2-2.1 電腦的基本架構

電腦是由許多的元件及設備所組成，這些不同的元件及設備依照其功能可概分為輸入、控制、算術／邏輯、記憶、及輸出等五大單元，其中控制單元與算術／邏輯單元合稱為中央處理單元，如圖 2-9 所示。這些單元必須妥當的連接在一起，電腦才能順利的進行資料處理的工作。



▲ 圖 2-9 電腦硬體的組成

### 電腦的組成單元

#### 輸入單元 (Input Unit, IU)

輸入單元是電腦接受指令及資料輸入的管道。輸入資料時，輸入單元會先將這些指令及資料轉換成數位訊號，然後才傳送至主記憶體內儲存。鍵盤、讀卡機、滑鼠、光筆、條碼閱讀機、掃瞄器、數位相機等均屬輸入單元的設備。



## 小百科

1971年，美國 Intel 公司將電腦的控制單元與算術 / 邏輯單元整合設計在一片超大型積體電路上，並將這種晶片稱之為微處理器（MicroProcessor）。因此在個人電腦領域中也經常將中央處理單元稱為微處理器。

## 中央處理單元（Central Processing Unit, CPU）

中央處理單元是電腦進行資料運算及處理的地方，是整部電腦運作的核心，主要是由**控制單元**（Control Unit，簡稱 CU）與**算術 / 邏輯單元**（Arithmetic/Logic Unit，簡稱 ALU）所組成；控制單元主要功能是資料傳輸的控制，算術 / 邏輯單元則是運算與邏輯判斷，及資料的暫時儲存等。

## 記憶單元（Memory Unit, MU）

記憶單元是電腦存放程式與資料的地方；當電腦要進行運算處理時，必須先從記憶單元取出所需使用的資料，然後再送到算術 / 邏輯單元處理。

## 輸出單元（Output Unit, OU）

輸出單元是電腦輸出資料的管道。資料經過算術邏輯運算後，藉由輸出單元將運算的結果顯示或儲存起來。螢幕、印表機、硬碟機、軟碟機均屬輸出單元的設備。

## 匯流排（Bus）

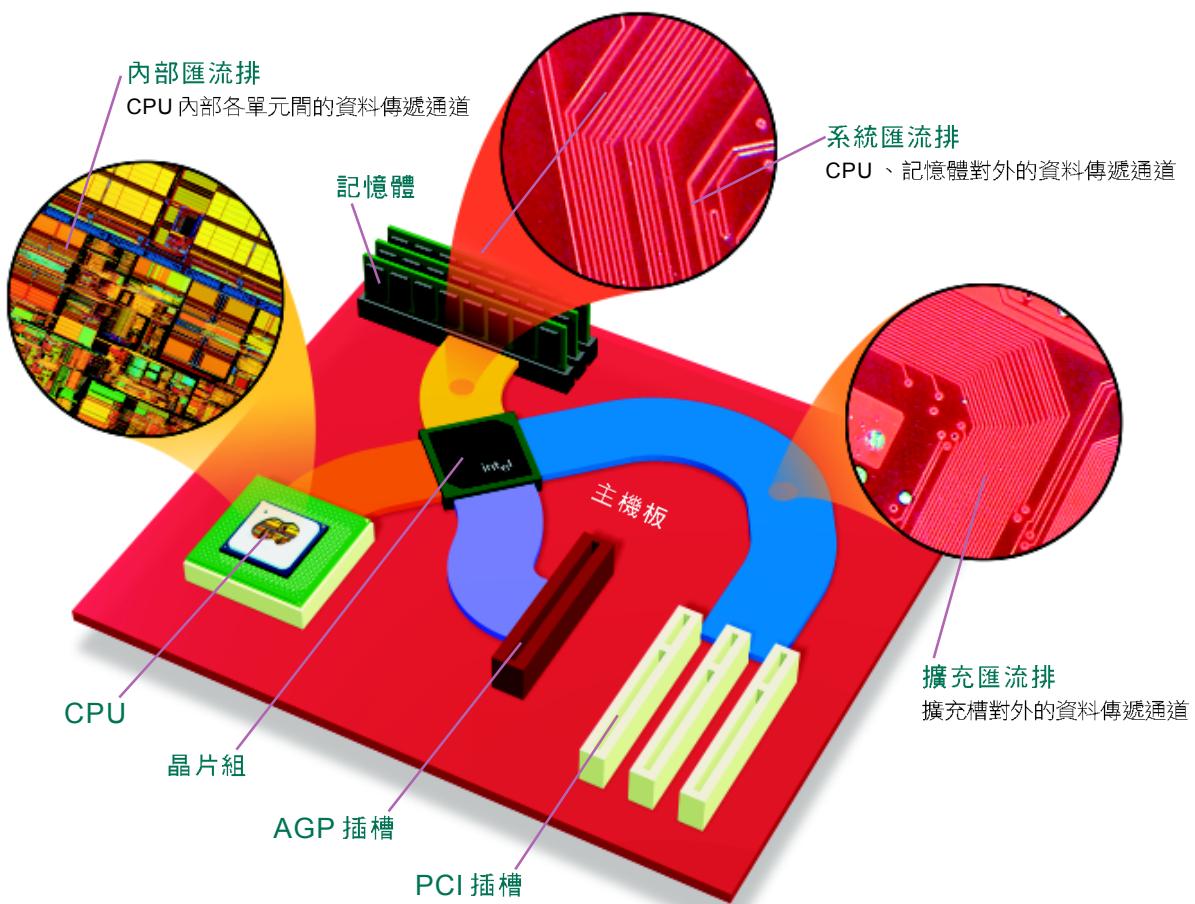
匯流排是 CPU 、記憶體、輸出 / 入設備、及儲存設備…等元件間進行資料傳送的管道；在電腦的運作過程中，讀取指令及資料，或是儲存運算後的結果，都必須透過匯流排來傳送。

匯流排主要可分為**內部匯流排**（Internal bus）、**系統匯流排**（System bus）、與**擴充匯流排**（Expansion bus）三大類，如圖 2-10 所示。

- **內部匯流排**：是 CPU 內部傳輸資料的管道，負責控制單元、邏輯/運算單元、與暫存器等 CPU 內部元件間資料的傳輸。
- **系統匯流排**：是主機板上傳輸資料的管道，負責 CPU 與主記憶體之間資料的傳輸。
- **擴充匯流排**：是主機板上傳輸資料的管道，負責 CPU 與輸出/入設備、及輔助記憶體等單元間資料的傳輸。

### 一點就通

匯流排就是電腦內部元件傳送資料的「高速公路」，不同種類的匯流排有不同「車道數」（寬度）與「限速」（速度）。



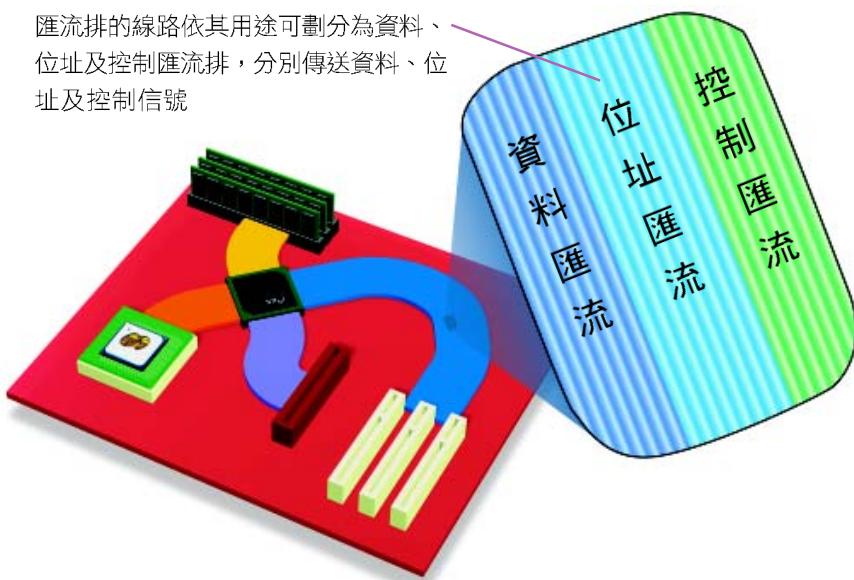
▲ 圖 2-10 彙流排與各元件之間的關係

匯流排上有許多的線路（wire），為了傳輸不同種類的資料，上述三種匯流排，通常都還會將線路依其用途劃分為**資料傳送**、**位址傳送**、及**控制信號傳送**等三類，也就是我們一般所稱之**資料匯流排**、**位址匯流排**及**控制匯流排**（圖 2-11），分別說明如下：

- **資料匯流排（Data bus）**：是各單元間傳送資料或指令的管道，其傳輸方向為雙向。資料匯流排的排線數是影響電腦執行速度的重要關鍵之一。
- **位址匯流排（Address bus）**：是 CPU 向外傳送位址的管道，其傳輸方向為單向。位址匯流排的排線數是影響電腦所能定址的最大主記憶體容量。
- **控制匯流排（Control bus）**：是 CPU 向外傳送控制信號的管道，其傳輸方向為單向。

## 小百科

匯流排一次所能傳輸的資料量（如 32 或 64 位元）稱為匯流排的寬度（width），寬度愈大，表示電腦一次所能傳輸的資料愈多，電腦的效能也愈高。一般來說，內部匯流排中的資料匯流排寬度通常也等於 CPU 一次能處理的資料位元數，也就是字組（word）的長度。



▲ 圖 2-11 資料匯流排、位址匯流排及控制匯流排示意圖

**馬上練習****一、是非題**

- ( ) 1. 主記憶體是用來存放處理中或待處理的程式指令和資料。
- ( ) 2. 所有儲存在輔助記憶體的程式或資料均需載至主記憶體後才能執行。
- ( ) 3. 匯流排是CPU、記憶體、輸出/入設備、及儲存設備間進行資料傳送的管道。

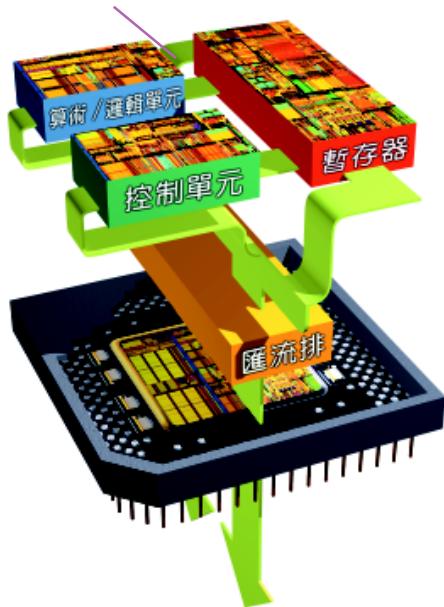
**二、選擇題**

- @ ( ) 1. 在計算機基本架構的五大單元中，顯示器是屬於哪一個單元？ (A)算術邏輯單元 (B)輸出單元 (C)記憶單元 (D)控制單元。
- @ ( ) 2. 關於電腦硬體的敘述，下列何者不正確？ (A)算術邏輯單元負責指令的運算 (B)控制單元負責指揮與控制其他單元 (C)當電源消失時，主記憶體內的資料不會消失 (D)印表機屬於輸出單元。
- ( ) 3. 在電腦硬體結構的五大單元中，哪一單元負責協調及指揮各單元間的運作？ (A)記憶單元 (B)輸出/輸入單元 (C)算術邏輯單元 (D)控制單元。
- @ ( ) 4. 由輸入單元所輸入的程式或資料存於電腦的哪一部份？ (A)中央處理單元 (B)記憶單元 (C)控制單元 (D)輸出單元。
- @ ( ) 5. 電腦用來和使用者溝通的單元為： (A)算術與邏輯單元 (B)主儲存單元 (C)主控制單元 (D)輸出、輸入單元。
- @ ( ) 6. 以下何者不屬於計算機的硬體結構？ (A)輸入輸出單元 (B)中央處理單元 (C)作業系統單元 (D)記憶單元。
- @ ( ) 7. 中央處理器的英文簡稱為 (A)ALU (B)CU (C)CPU (D)RAM。
- @ ( ) 8. 計算機基本結構的五個單元中，哪一個負責比較資料的大小？ (A)算術邏輯單元 (B)控制單元 (C)記憶單元 (D)輸入/輸出單元。
- ( ) 9. 下列何者不是控制單元所執行的動作？ (A)控制 (B)解碼 (C)執行 (D)計算。
- @ ( ) 10. 微電腦內部不包括下列何種匯流排 (Bus)？ (A)資料匯流排 (B)位址匯流排 (C)記憶匯流排 (D)控制匯流排。
- ( ) 11. 下列何者為主機與週邊設備溝通時不可或缺之管道？ (A)匯流排 (Bus) (B)音效卡 (C)9-Pin 接頭 (D)電話線。
- ( ) 12. 下列何者為雙向傳輸資料的匯流排？ (A)控制匯流排 (B)資料匯流排 (C)記憶匯流排 (D)位址匯流排。

## 2-2.2 CPU 的構造

中央處理單元（Central Processing Unit）簡稱 CPU，其主要功能包括資料的傳輸控制、運算與邏輯判斷、及資料的暫時儲存等，可說是整部電腦的核心。在本小節中將介紹 CPU 的構造及電腦運作的步驟。

CPU 內部的元件（包含控制單元、算術/邏輯單元、暫存器等）透過匯流排連接及傳輸



▲ 圖 2-12 CPU 的內部構造

### CPU 的組成

CPU 主要是由控制單元與算術 / 邏輯單元所組成，除了這兩個單元之外，內部匯流排、及暫存器（Register）等，也是 CPU 內部的重要元件；如圖 2-12 即為 CPU 的構造示意圖。

### 控制單元（Control Unit，簡稱 CU）

控制單元是控制、協調電腦各單元間相互運作的單元。電腦的所有作業程序、指令的執行、資料的傳遞、與其它單元的協調等工作，皆須在控制單元的監督下進行。

#### 一點就通

電腦的運算處理與邏輯判斷都是在 ALU 中執行。

算術 / 邏輯單元負責資料的算術運算與邏輯判斷。

電腦在讀入資料時會先將其轉換為二進位的形式，然後交由算術 / 邏輯單元進行運算，最後才將運算的結果送回記憶體。

## 暫存器（Register）

暫存器是 CPU 在處理資料時，用來暫時儲存運算中的資料及記錄程式執行狀態的地方，例如即將執行的指令、運算的結果等，都會分別存放在不同的暫存器中。由於暫存器是在 CPU 中，因此控制單元及算術 / 邏輯單元從暫存器中存取資料的速度，會比從主記憶體中存取資料的速度來得快。

通常一個 CPU 中會有許多個暫存器，每個暫存器都有不同的功能，常見的暫存器有：

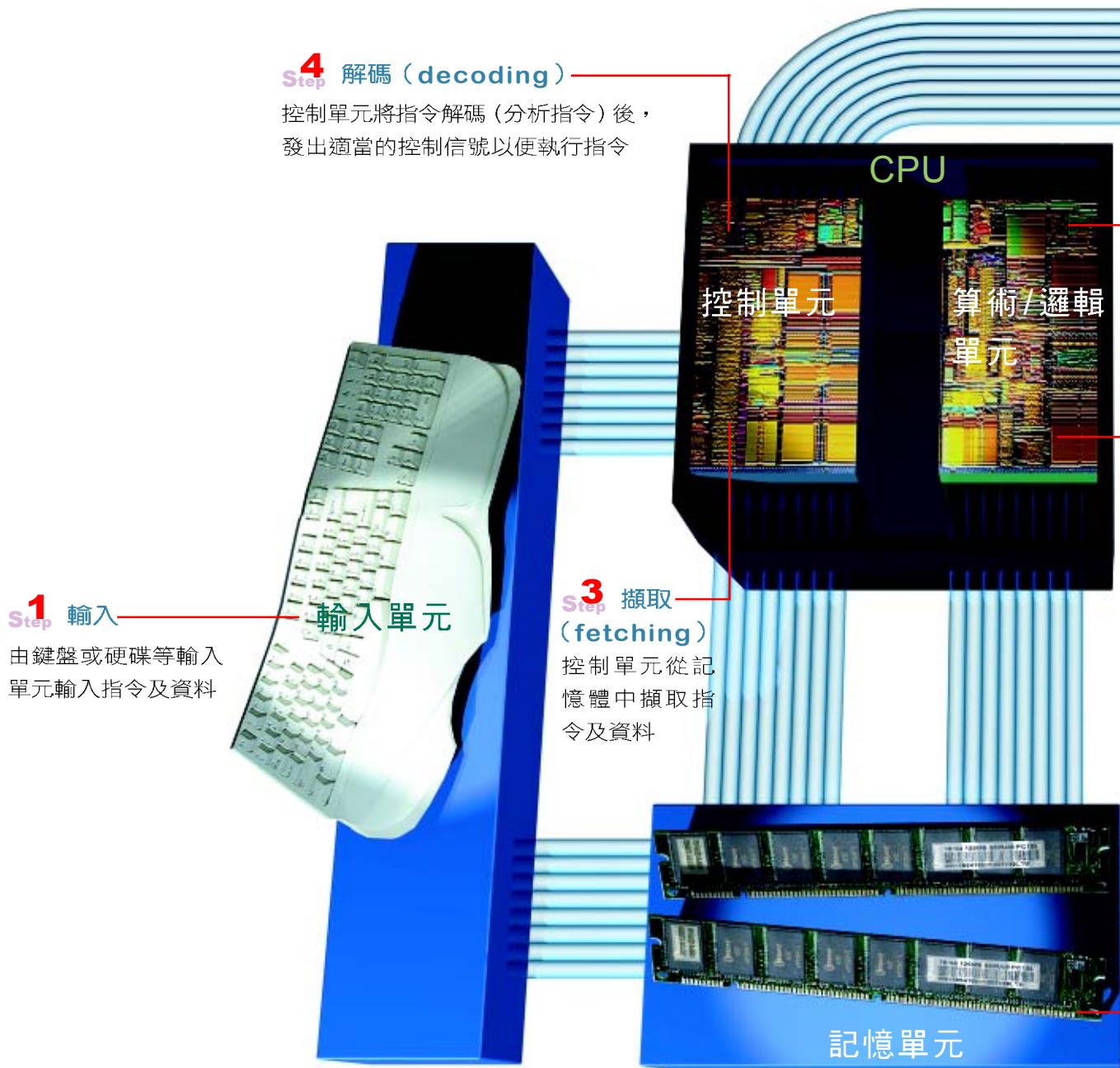
- **累加器（Accumulator）**：用來暫時存放運算的結果。
- **位址暫存器（Address Register）**：用來存放指令或資料在主記憶體中的位址。
- **一般用途暫存器（General-Purpose Register）**：用來暫存一般運算資料及位址資料等。
- **指令暫存器（Instruction Register）**：用來暫存下一個即將被執行的指令。
- **程式計數器（Program Counter）**：用來存放下一個要執行的指令所在的位址。
- **旗標暫存器（Flag）**：用來存放 CPU 運算後的各種狀態或運算的結果。

### 一點就通

暫存器位在 CPU 內部，而主記憶體位於 CPU 外部；以 CPU 到兩者之間的存取速度來說，存取暫存器中的資料較存取主記憶體中的資料快。

## 電腦的運作

在我們將指令或資料輸入電腦之後，還必須經過**記憶、擷取、解碼、執行、儲存、輸出**等一連串步驟，才能產生我們所要的資訊；以下我們以圖 2-13 來說明電腦執行指令的步驟：



▲ 圖 2-13 電腦執行指令的步驟

## 2 記憶

已輸入的指令及資料儲存在記憶單元中

## 6 儲存 (storing)

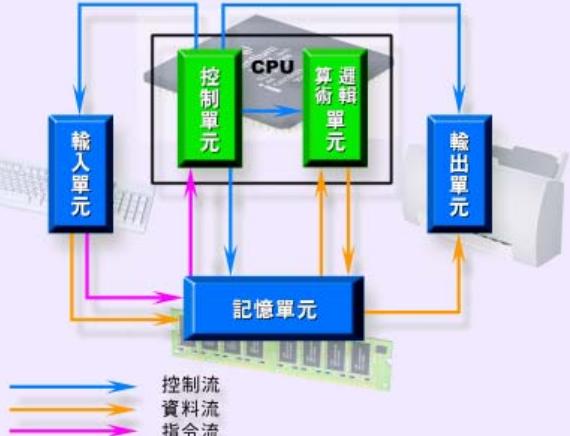
控制單元將結果存至內部暫存器或外部記憶單元

## 5 執行 (executing)

算術 / 邏輯單元負責所有資料的運算（包括算術運算及邏輯判斷）

## 知識頻道 五大單元之間的關係

圖 2-13 表達的是電腦執行指令時的運作過程，通常我們會將它簡化為如下的示意圖，以呈現電腦五大單元的運作架構。



## 小提示 !

電腦在執行指令的過程中，資料流透過資料匯流排傳輸；指令流（含位址）透過資料匯流排及位址匯流排傳輸；而控制流則透過控制匯流排傳輸。

## 7 輸出

控制單元將運算結果傳至螢幕或硬碟等輸出設備

輸出單元



▲ 圖 2-14 CPU 執行指令的步驟示意圖

在前述電腦執行指令的步驟中，步驟三至六是 CPU 執行一個指令的過程，稱為機器週期（Machine cycle），又稱指令週期（instruction cycle），其中擷取(3)及解碼(4)所花用的時間合稱為指令時間（Instruction time，又稱 I-time）；執行(5)及儲存(6)所花用的時間則合稱為執行時間（Execution time，又稱 E-time），如圖 2-14 所示。

每一個機器週期的執行時間，通常只需幾百萬分之一秒，甚至更短的時間，意即 CPU 每一秒可執行數百萬個以上的指令。在大型或超級電腦中，我們通常會使用 **MIPS**（ Millions of Instruction Per Second，百萬個指令 / 秒）為單位，來表示 CPU 每秒可執行多少百萬個指令。MIPS 越高，表示 CPU 執行的速度越快。

## 馬上練習

### 一、是非題

- ( ) 1. 在 CPU 執行指令的週期中，擷取及解碼的時間合稱為 I-time 。
- ( ) 2. 機器週期是指 CPU 執行一個指令的過程 。
- ( ) 3. 程式計數器是用來存放下一個即將被執行的指令 。

### 二、選擇題

- Q** ( ) 1. 微處理器與外部連接之各種匯流排，何者具有雙向流通性？ (A)資料匯流排 (B) 狀態匯流排 (C)控制匯流排 (D)位址匯流排。
- @** ( ) 2. 計算機中哪一部門負責指令的解釋？ (A)輸入部門 (B)控制部門 (C)記憶部門 (D)算術及邏輯部門。
- @** ( ) 3. 下列何種組合為中央處理單元 (CPU) 最主要的部份？ (A)可隨意讀寫記憶體 (RAM) 及控制單元 (B)控制單元及算術與邏輯運算單元 (C)輸入單元及輸出單元 (D)算術與邏輯運算單元及唯讀記憶體。

## 2-2 節練習

### 一、選擇題

- Q ( ) 1. 下列何者為主機與週邊設備溝通時的管道？ (A)匯流排 (B)音效卡 (C)網路卡 (D)電話線。
- @ ( ) 2. 一般衡量電腦執行速率，主要是比較下列哪一個單元？ (A)輸入單元 (B)輸出單元 (C)記憶單元 (D)中央處理單元。
- ( ) 3. 在電腦的基本架構中，算術/邏輯單元及控制單元二者合稱為 (A)ALU (B)CPU (C)OS (D)RAM。
- @ ( ) 4. 電腦中有一個暫存器主要用來存放將要執行的指令位址，這個暫存器是 (A)位址暫存器 (B)指令暫存器 (C)堆疊指示器 (D)程式計數器。
- @ ( ) 5. CPU 執行指令的速度以 MIPS 為單位，請問 1 MIPS 代表每秒執行幾個指令？ (A)一萬個 (B)一百萬個 (C)一千萬個 (D)一億個。
- @ ( ) 6. 有關 CPU 處理資料步驟的敘述，何者錯誤？  
 (A)控制單元負責指令解碼  
 (B)執行後的結果會先存至暫存器中  
 (C)加法運算在累加器中執行  
 (D)比較大小的運算在算術邏輯單元中執行。
- ( ) 7. 計算機中哪一個部門負責指令的解釋？ (A)輸入部門 (B)控制部門 (C)記憶部門 (D)算術及邏輯部門。
- ( ) 8. 下列哪一個是 CPU 執行指令的正確順序？  
 (A)解碼、執行、擷取、儲存  
 (B)解碼、擷取、執行、儲存  
 (C)擷取、解碼、執行、儲存  
 (D)擷取、執行、解碼、儲存。
- ( ) 9. 程式計數器 (Program Counter) 的作用是 (A)存放錯誤指令的個數 (B)存放資料處理的結果 (C)存放程式指令 (D)存放下一個要被執行的指令位址。
- ( ) 10. 有關 CPU 的描述下列何者有誤？  
 (A)個人電腦的 CPU 一定是 16 位元  
 (B)CPU 中的暫存器可暫時存放資料  
 (C)一部電腦中可以有二個以上的CPU  
 (D)一部電腦執行速度的快慢受CPU的處理速度影響很大。
- ( ) 11. 暫存單 (Register) 是在電腦的哪一個單元中？ (A)輸入單元 (B)中央處理單元 (C)記憶單元 (D)輸出單元。
- ( ) 12. 一般程式執行時會依下列何種暫存器的內容來順序執行？ (A)程式計數器 (B)指令暫存器 (C)索引暫存器 (D)狀態暫存器。

## 2-3 資料的表示與儲存

### 小百科

條碼（bar code）是一種資料表示的方式；在超級市場中的每項商品通常都會印有條碼，這些條碼是利用粗細不同的黑白線條來記載商品的貨號、售價等資訊。



因為人類有 10 隻手指，所以人類在計量事物時，習慣採用十進位制，也就是「以 10 為基數（Base），逢 10 進位的數字系統」，十進位數字系統總共使用十個數字（0 ~ 9）。

但是除了十進位制之外，人類也使用其它的數字系統；例如在時間計算上，時、分、秒是 60 進位，而日與時的換算是 24 進位。另外，「半斤八兩」這句成語雖然是用來形容兩者不相上下，但從台斤的計量角度來說，「半斤八兩，一斤十六兩」其實是一種十六進位的計量方式。

電腦則是採用二進位做為其計算、進位、及儲存資料的方式。本節將介紹各種數字系統，及電腦中資料的儲存單位及表示方法。

### 2-3.1 數字系統

#### 腦力激盪

要是有天外星人來訪，我們發現它們也是有兩隻手，但每隻手只有 4 個指頭，你猜它們會用何種數字系統？

電腦是以二進位的形式來處理資料；當使用者從鍵盤輸入資料時，電腦必須先將資料轉換為二進位的形式，才能做進一步的運算處理；由於二進位資料不易閱讀，為了方便檢視及記錄，我們也常使用八進位數字系統及十六進位數字系統來表示電腦中的資料。要了解資料在電腦中如何表示，首先要了解這幾種常用的數字系統及它們之間的關係。

#### 數字系統共通的特性

各種數字系統的基數及使用的數字個數並不相同，但各種數字系統都具有下列幾個共通的特性：

- 各數字系統使用的數字個數與該數字系統的基數相同。例如：十進位數字系統使用 0~9 十個數字。
- 一個數值是由一串數字符號所組成，每一個數字還會因其所在的位置不同而有不同的 **權值** (weight)；所謂「權值」就是每一個數字所在的位置所代表的值。例如：十進位數 123，數字 "1" 的權值為  $10^2$ 、"2" 的權值為  $10^1$ 、"3" 的權值為  $10^0$ 。
- 高一位數字的權值是低一位數字的權值乘以其基數；例如：在十進位中  $10^1$  比  $10^0$  高一位，而  $10^1$  的權值即等於  $10^0$  乘以此數字系統的基數 10。
- 個位數的權值恒為 1 ( $(N^0)_N$ ，N 表 N 進位數字系統)。
- 一個數目所代表的數值，隨不同的數字系統而有所不同，例如 $(11)_2$ 、 $(11)_8$ 、 $(11)_{10}$ 、 $(11)_{16}$ 這四個數字雖都為 11，但所代表的數值卻不同；右邊的 "1" 都代表 1，但左邊的 "1" 分別等於十進位中的 2、8、10、16。
- 一串數字所代表的數值，是各個數字符號所代表的數值乘以其權值的總和。例如： $(123)_{10}$  所代表的數值為： $1 \times 10^2 + 2 \times 10^1 + 3 \times 10^0 = 100 + 20 + 3 = 123$

## 10、2、8、16 數字系統簡介

人類習慣以十進位數字系統來計量事物，而電腦則是以二進位數字系統來表示資料。每種數字系統有其特定的進位方式及使用數字，而且同一組數字符號在不同的數字系統中可能代表不同的數值；為了避免混淆，除了十進位數字系統的數值外，通常會為這一組數字標記基數，以標明其所屬的數字系統，如 $(11)_2$  表示二進位數字系統的 11，其所表示的數值為十進位數字系統的 3；

### 一點就通

以十進位的 123 為例：

基數：十

數字：1, 2, 3

權值：100, 10, 1

數值：(數字 × 權值) 的總和

### 一點就通

為什麼學電腦要了解這麼多種數字系統？

- 10 進位：人類的習慣。
- 2 進位：電腦內部的實際運算數值只有 0 與 1 兩種。
- 8 進位：易於檢視及記錄二進位資料。
- 16 進位：易於檢視及記錄二進位資料。

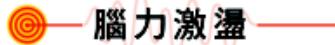
而 $(11)_8$ 表示此為八進位數字系統的 11，其所表示的數值為十進位數字系統的 9。

以下分別介紹十進位制、二進位制、八進位制、十六進位制等幾種常用的數字系統。

## 十進位數字系統 (Decimal number system)

- 基數：以 10 為基數，逢 10 進位的數字系統。
- 使用數字：0、1、2、3、4、5、6、7、8、9 共 10 個。
- 權值：

整數部分 (小數點) 小數部分



你能分辨出 $(25)_8$ 和 $(25)_{10}$ 的不同嗎？

- 範例： $(123.25)_{10}$

每一個數字之權值

數字(s)	1	2	3	.	2	5	
權值(w)	$10^2=100$	$10^1=10$	$10^0=1$	.	$10^{-1}=0.1$	$10^{-2}=0.01$	
數值(s×w)	100	20	3	.	0.2	0.05	← 總計: 123.25

## 二進位數字系統 (Binary number system)

- 基數：以 2 為基數，逢 2 進位的數字系統。
- 使用數字：0、1 共 2 個。
- 權值：

整數部分 (小數點) 小數部分

$2^n$ 、 $2^{n-1}$ 、 $\cdots 2^2$ 、 $2^1$ 、 $2^0$ 、 $2^{-1}$ 、 $2^{-2}$ 、 $\cdots 2^{-(m-1)}$ 、 $2^{-m}$

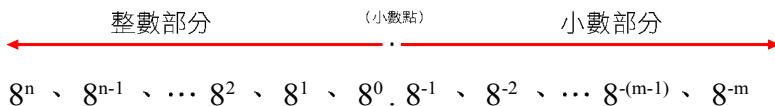
- 範例： $(1111011.01)_2$

每一個數字之權值

數字(s)	1	1	1	1	0	1	1	.	0	1	
權值(w)	$2^6=64$	$2^5=32$	$2^4=16$	$2^3=8$	$2^2=4$	$2^1=2$	$2^0=1$	.	$2^{-1}=0.5$	$2^{-2}=0.25$	
數值(s×w)	64	32	16	8	0	2	1	.	0	0.25	← 總計: $(123.25)_{10}$

## 八進位數字系統 (Octal number system)

- 基數：以 8 為基數，逢 8 進位的數字系統。
- 使用數字：0、1、2、3、4、5、6、7 共 8 個
- 權值：



- 範例： $(173.2)_8$

每一個數字之權值

數字(s)	1	7	3	.	2
權值(w)	$8^2=64$	$8^1=8$	$8^0=1$	.	$8^{-1}=0.125$
數值(s×w)	64	56	3	.	0.25

← 總計： $(123.25)_{10}$



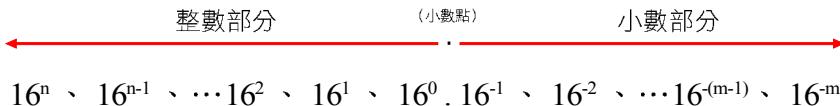
### 腦力激盪

儲存在電腦中的一長串二進位數 01000001（可用來代表英文字母 A），若以十六進位來表示為  $(41)_{16}$ ；從方便表達的角度，你會選擇那一種進位制來表示電腦中的資料呢？

## 十六進位數字系統 (Hexadecimal number system)

- 基數：以 16 為基數，逢 16 進位的數字系統。
- 使用數字：0、1、2、3、4、5、6、7、8、9、A、B、C、D、E、F 共 16 個（因為阿拉伯數字只有 10 個，所以借用 6 個英文字母，其中 A、B、C、D、E、F 分別代表十進位的 10~15）。

- 權值：



- 範例： $(7B.4)_{16}$

每一個數字之權值

數字(s)	7	B	.	4
權值(w)	$16^1=16$	$16^0=1$	.	$16^{-1}=0.0625$
數值(s×w)	112	11	.	0.25

← 總計： $(123.25)_{10}$

## 數字系統的轉換

在電腦中所有的資料都是以二進位的方式來儲存，但是由於二進位的資料不易閱讀，因此我們經常以八進位或十六進位來呈現電腦中所儲存的二進位資料；以下將介紹十進位制、二進位制、八進位制、及十六進位制等不同數字系統間的轉換方法。

### 十進位與二進位的互換

#### 一點就通

要將十進位數轉換成二進位數、八進位數、或十六進位數時，其轉換原則皆相同。在進行轉換時，我們須將整數部分與小數部分分開轉換。

#### 小提示

數值在轉換基數時，連除和基數乘幕之間有以下的關係：

第1次除的餘數即為基數的零次幕之值；第2次除的餘數即為基數的1次幕之值，依此類推，第n次除的餘數即為基數的n-1次幕之值。

而連乘和基數乘幕之間有以下的關係：

第1次乘的結果之整數部份即為基數負1次幕之值；第2次乘的結果之整數部份即為基數負2次幕之值，依此類推，第n次乘的結果之整數部份即為基數負n次幕之值。

要將十進位數轉換成二進位數時，我們須將整數部分與小數部分分開轉換，分別說明如下：

#### 整數部分轉換方式：

(1) 將該數連續除以二進位制的基數2，直到商為0為止。

(2) 由下往上取每次相除所得的餘數。

#### 小數部分轉換方式：

(1) 遇到帶有小數的數字，將小數點後的數字乘以二進位制的基數2，再將所得乘積小數點後的數字再乘以2，如此重複直到小數點後的數字全部為0時停止。

(2) 由上而下取每次相乘所得的整數。



將十進位數 $(29.75)_{10}$ 轉換成二進位數

整數：

2	2	9	.....	餘 1	0 次幕之值
2	1	4	.....	餘 0	1 次幕之值
2		7	.....	餘 1	2 次幕之值
2		3	.....	餘 1	3 次幕之值
2		1	.....	餘 1	4 次幕之值
		0		1	1 1 0 1

由下而上取餘數

左圖每一次連除的商數、餘數之關係，可以用數學式表示如下，此即數系轉換的學理所在。

$$\begin{aligned}
 29 &= 14 \times 2^1 + 1 \times 2^0 && \text{第1次除的商數與餘數} \\
 &= (7 \times 2^1 + 0 \times 2^0) \times 2^1 + 1 \times 2^0 && \text{第2次除的商數與餘數} \\
 &= 7 \times 2^2 + 0 \times 2^1 + 1 \times 2^0 && \text{由分配律可得} \\
 &= (3 \times 2^1 + 1 \times 2^0) \times 2^2 + 0 \times 2^1 + 1 \times 2^0 && \text{第3次除的商數與餘數} \\
 &= 3 \times 2^3 + 1 \times 2^2 + 0 \times 2^1 + 1 \times 2^0 && \text{由分配律可得} \\
 &= (1 \times 2^1 + 1 \times 2^0) \times 2^3 + 1 \times 2^2 + 0 \times 2^1 + 1 \times 2^0 && \text{第4次除的商數與餘數} \\
 &= 1 \times 2^4 + 1 \times 2^3 + 1 \times 2^2 + 1 \times 2^0 && \text{由分配律可得} \\
 &= (11101)_2 && \text{以二進位表示的整數部分}
 \end{aligned}$$

重複除以2（二進位的基數），直到商為0

小數：

$$\begin{array}{r}
 & 0 . & 7 & 5 \\
 & \times & & 2 \\
 \hline
 & 1 & 5 & 0 \\
 & \times & 2 \\
 \hline
 & 1 & 0 & 0 \\
 \end{array}$$

由上取而整下數  
連續乘以 2，直到小數部份為 0

$$\begin{aligned}
 0.75 &= 1.5 \times 2^{-1} && \text{第1次乘的結果之整數} \\
 &= (1 + 0.5) \times 2^{-1} && \text{由分配律可得} \\
 &= 1 \times 2^{-1} + 0.5 \times 2^{-1} && \text{第2次乘的結果之整數} \\
 &= 1 \times 2^{-1} + (1 \times 2^{-1}) \times 2^{-1} && \text{由分配律可得} \\
 &= 1 \times 2^{-1} + 1 \times 2^{-2} && \text{以二進位表示的小數部分} \\
 &= (0.11)_2
 \end{aligned}$$

所以  $(29.75)_{10} = (11101.11)_2$ 。

二進位數轉換成十進位數，即是將各個數字符號所代表的數值乘以其權值的加總：



$$\begin{aligned}
 (11101.11)_2 &= 1 \times 2^4 + 1 \times 2^3 + 1 \times 2^2 + 0 \times 2^1 + \\
 &\quad 1 \times 2^0 + 1 \times 2^{-1} + 1 \times 2^{-2} \\
 &= 16 + 8 + 4 + 0 + 1 + 0.5 + 0.25 \\
 &= 29.75
 \end{aligned}$$

## 十進位與八進位的互換

要將十進位數轉換成八進位數時，我們須將整數部分與小數部分分開轉換，分別說明如下：

### ● 整數部分轉換方式：

(1) 將該數連續除以八進位制的基數 8，直到商為 0 為止。

(2) 由下往上取每次相除所得的餘數。

### ● 小數部分轉換方式：

(1) 遇到帶有小數的數字，將小數點後的數字乘以八進位制的基數 8，再將所得乘積小數點後的數字再乘以 8，如此重複直到小數點後的數字全部為 0 時停止。

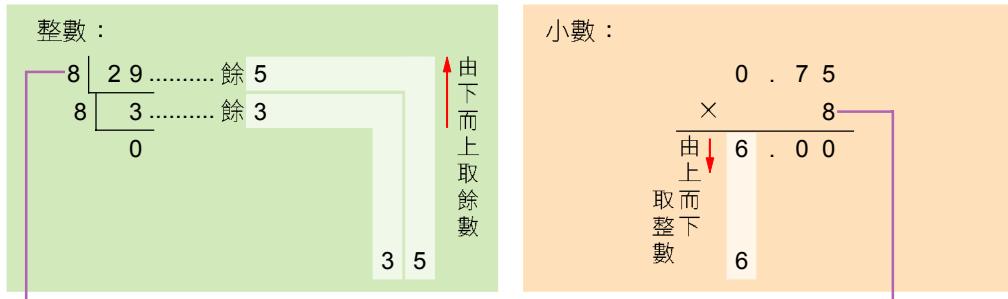
## 小提示

某些十進位的數值，其小數部分即使持續乘以 2 之後，也無法等於 0（例如 3.14），這類十進位的數值在轉換為二進位數值時，其值將會有些微的誤差產生。

(2) 由上而下取每次相乘所得的整數。



將十進位數 $(29.75)_{10}$ 轉換成八進位數



重複除以 8 (二進位的基數)，直到商為 0

乘以 8 直到小數部份為 0

$$\text{所以 } (29.75)_{10} = (35.6)_8.$$

八進位數轉換成十進位數，即是將各個數字符號所代表的數值乘以其權值的加總：



$$\begin{aligned} (35.6)_8 &= 3 \times 8^1 + 5 \times 8^0 + 6 \times 8^{-1} \\ &= 24 + 5 + 0.75 \\ &= 29.75 \end{aligned}$$

## 十進位與十六進位的互換

要將十進位數轉換成十六進位數時，我們須將整數部分與小數部分分開轉換，分別說明如下：

● 整數部分轉換方式：

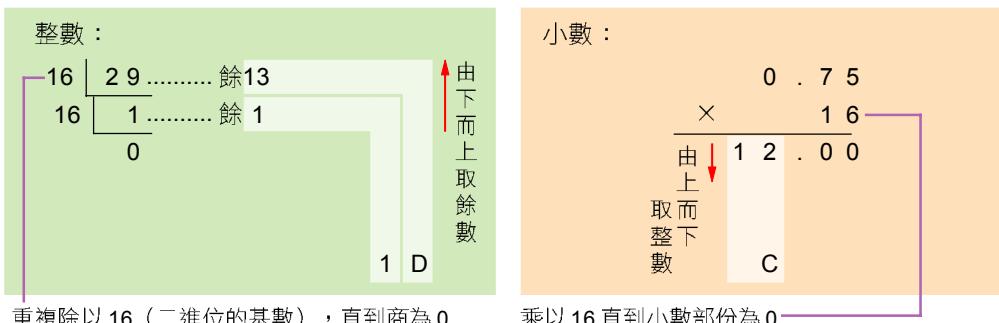
(1) 將該數連續除以十六進位制的基數 16，直到商為 0 為止。

(2) 由下往上取每次相除所得的餘數。

### ● 小數部分轉換方式：

- (1) 遇到帶有小數的數字，將小數點後的數字乘以十六進位制的基數 16，再將所得乘積小數點後的數字再乘以 16，如此重複直到小數點後的數字全部為 0 時停止。
- (2) 由上而下取每次相乘所得的整數。

**例** 將十進位數  $(29.75)_{10}$  轉換成十六進位數



所以  $(29.75)_{10} = (1D.C)_{16}$ 。

十六進位數轉換成十進位數，即是將各個數字所代表的數值乘以其權值的加總：

**例**  $(1D.C)_{16} = 1 \times 16^1 + D \times 16^0 + C \times 16^{-1}$

$$\begin{aligned}
 &= 16 + 13 + 0.75 \\
 &= 29.75
 \end{aligned}$$

### 二進位與八進位互換

要將二進位數轉換為八進位數時，可以參照表 2-1 將二進位數以每三個為一組轉換成相對應的八進位數。分組時若出現位數不足的情形，整數部分向左補 0，小數部分則向右補 0。

表 2-1 2 vs. 8 進位

十進位	二進位	八進位
0	000	0
1	001	1
2	010	2
3	011	3
4	100	4
5	101	5
6	110	6
7	111	7
8	1000	10
9	1001	11
:	:	:

反之，若要將八進位數轉換成二進位數時，也可同樣參照表 2-1 來轉換。

 將二進位數 $(11101.11)_2$ 轉換成八進位數

解 二進位      011      101      .      110  
 八進位            3            5            .            6  
 整數部份不足三位左邊補 0    小數部分不足三位右邊補 0  
 所以 $(11101.11)_2 = (35.6)_8$ 。

## 二進位與十六進位互換

表 2-2 / 2 vs. 16 進位

十進位	二進位	十六進位
0	0000	0
1	0001	1
2	0010	2
3	0011	3
4	0100	4
5	0101	5
6	0110	6
7	0111	7
8	1000	8
9	1001	9
10	1010	A
11	1011	B
12	1100	C
13	1101	D
14	1110	E
15	1111	F
16	10000	10
17	10001	11
18	10010	12
:	:	:

要將二進位數轉換為十六進位數時，可以參照表 2-2 將二進位數以每四個為一組轉換成相對應的十六進位數。分組時若出現位數不足的情形，整數部分向左補 0，小數部分則向右補 0。

反之，若要將十六進位數轉換成二進位數時，也可同樣參照表 2-2 來轉換。

 將二進位數 $(11101.11)_2$ 轉換成十六進位數

解 十六進位      0001      1101      .      1100  
 二進位            1            D            .            C  
 整數部份不足四位左邊補 0    小數部分不足四位右邊補 0  
 所以 $(11101.11)_2 = (1D.C)_{16}$ 。

## 八進位與十六進位互換

要將八進位數轉換為十六進位數時，可以先參照表 2-1 將八進位數轉換成每三個為一組的二進位數，再參照表 2-2 將二進位數以每四個為一組轉換成相對應的十六進位數。



例 將八進位數 $(3416)_8$ 轉換成十六進位數

- 解 1. 將八進位數轉換成每三個為一組的二進位數：

八進位	3	4	1	6
二進位	011	100	001	110

2. 再將二進位數每四個為一組轉換成相對應的十六進位數：

二進位	0111	0000	1110
十六進位	7	0	E

3. 所以 $(3416)_8 = (70E)_{16}$ 。

反之，若要將十六進位數轉換成八進位數時，則可先參照表 2-2 將十六進位數轉換成與四個為一組的二進位數，再參照表 2-1 將二進位數由右至左以每三個為一組轉換成相對應的八進位數。



例 將十六進位數 $(70E)_{16}$ 轉換成八進位數

1. 先將十六進位數轉換成每四個為一組的二進位數：

十六進位	7	0	E
二進位	0111	0000	1110

2. 再將二進位數每三個為一組轉換成相對應的八進位數：

二進位	011	100	001	110
八進位	3	4	1	6

3. 所以 $(70E)_{16} = (3416)_8$ 。

表 2-3 8 vs. 16 進位

十進位	八進位	十六進位
0	0	0
1	1	1
2	2	2
3	3	3
4	4	4
5	5	5
6	6	6
7	7	7
8	10	8
9	11	9
10	12	A
11	13	B
12	14	C
13	15	D
14	16	E
15	17	F
16	20	10
17	21	11
18	22	12
⋮	⋮	⋮

**馬上練習****一、是非題**

- ( ) 1. 若數字系統為  $k$  進位制，則其所使用的數字為  $1 \sim k$ 。
- ( ) 2.  $(15)_{16}$  和  $(15)_8$  兩個數值中的數字 "1"，其權值都為 10。
- ( ) 3. 一個數目所代表的數值，是各個數字符號所代表的數值乘以其權值的總和。

**二、選擇題**

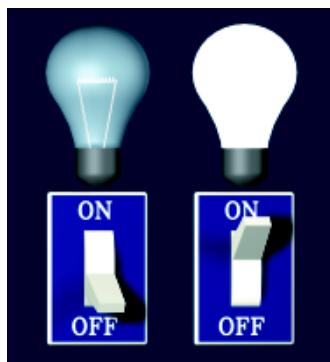
- @ ( ) 1. 十進位數值  $(103)_{10} = ?$  (A)  $(1100011)_2$  (B)  $(251)_6$  (C)  $(77)_8$  (D)  $(55)_{16}$ 。
- @ ( ) 2. 下列數字系統表示方式何者有誤？(A)  $(1010101)_2$  (B)  $(ABC)_{16}$  (C)  $(246)_6$  (D)  $(1304)_8$ 。
- @ ( ) 3.  $N$  進位數字系統的數值  $(abc)_N$  中，數字  $a$ 、 $b$  與  $c$  的範圍為何？(A)  $0 \sim N$  (B)  $0 \sim (N-1)$  (C)  $1 \sim (N-1)$  (D)  $1 \sim N$ 。

**三、問答與實作題**

1. 將十進位數值  $(1615)_{10}$  分別轉換為二進位數、八進位數、及十六進位數。

## 2-3.2 資料的儲存單位

由於電腦是利用電子裝置來處理資料，而這些電子裝置上的電路只有 "通電"（開啓）與 "斷電"（關閉）兩種狀態，通常我們以 1 表示開啓的狀態，以 0 表示關閉的狀態，因此在電腦科學中便以二進位制來做為電腦儲存資料的方式。以下分別介紹三種在電腦中經常使用的資料儲存單位。



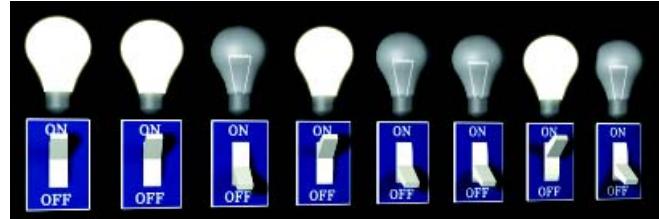
### 位元

電腦中最小的儲存單元稱為**位元**（Bit），每一個位元只能存一個 1 或一個 0。因此一個位元可表示 0 與 1 兩種狀態。如圖 2-15 之燈泡可視為兩個位元，各處於 0 與 1 的狀態（0 表示關，1 表示開）。

▲ 圖 2-15 以 0（左）與 1（右）來表示電子裝置的關 0 與 1 的狀態（0 表示關，1 表示開）。

## 位元組

一個位元只能代表 0 或 1，兩個位元則可以有四種 0 與 1 的組合（即 00, 01, 10, 11），在電腦科學中便將八個位元合稱為一個位元組（Byte）（如圖 2-16）；一個位元組共有  $256 (=2^8)$  種 0 與 1 的組合。



▲ 圖 2-16 一個位元組等於八個位元 (1 Byte = 8 Bits)

## 字組

字組（word）是電腦執行時，中央處理單元一次能處理的資料位元數，每部電腦的字組長度不盡相同。例如字組為 32 位元的中央處理單元，一次能傳送、處理 32 位元的資料，字組為 64 位元的中央處理單元，一次能傳送、處理 64 位元的資料，

因此一般而言，電腦的字組長度越長，處理資料的速度就越快。

## 儲存單位的換算

一個位元只能表示一個 1 或 0，而一個位元組可用來表示一個英文字母、數字或符號，但目前的電腦多半都可以儲存及處理上億以上位元組的資料，因此若只用位元或位元組為單位來描述電腦的記憶體容量，數字將會大到很難描述。通常我們

### 小提示

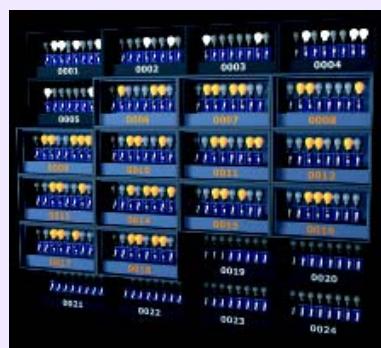
字組的長度就是 CPU 內部資料匯流排的寬度。

### 知識頻道

### 位址 vs. 定址

電腦的主記憶體中每個用來儲存資料的位置都有一個標示代碼，稱為位址（Address）。一個記憶位置中所儲存的資料可以改變，但是位址卻是固定的；當資料不再使用時，空出來的位置便可儲存新的資料。

圖 2-17 表示位址為 0006~0018 的記憶體空間中，分別存放了 "Flag2322-4846" 十三個字元的代碼。0001~5 是曾經用過，但現不使用；0019~24 是不曾用過或被歸零過的位址。



▲ 圖 2-17 記憶體內部示意圖

電腦為程式指令及資料指定主記憶體存放位置的動作稱為定址（Addressing）。若電腦有 32 條位址匯流排線時，意謂著該電腦可定址的最大主記憶體容量為  $2^{32}$  bytes。

會採用較大的儲存單位來描述及計量，而且為了敘述方便，在日常的應用上多取其整數的近似值；例如一般常見的儲存單位有千位元組（KB）、百萬位元組（MB）、十億位元組（GB）、及兆位元組（TB）等，各單位實際的大小說明如下：

### ！—小提示—

一顆實際上儲存容量標示為 62,937,628,762 Bytes 的硬碟，為了敘述方便，通常會以近似值 60GB 來描述。

$$1\text{ Byte} = 8\text{ Bits}$$

$$1\text{ Kilobyte (KB)} = 1024\text{ Bytes} = 2^{10}\text{ Bytes} (\approx 10^3\text{ Bytes})$$

$$1\text{ Megabyte (MB)} = 1024\text{ KB} = 2^{20}\text{ Bytes} (\approx 10^6\text{ Bytes})$$

$$1\text{ Gigabyte (GB)} = 1024\text{ MB} = 2^{30}\text{ Bytes} (\approx 10^9\text{ Bytes})$$

$$1\text{ Terabyte (TB)} = 1024\text{ GB} = 2^{40}\text{ Bytes} (\approx 10^{12}\text{ Bytes})$$

由於 1024 大約等於 1000，為了計算方便，通常以 1000 為換算單位，即 1000 bytes = 1K (Kilo)，1000K = 1M (Mega)。

### 馬上練習

#### 一、是非題

- ( ) 1. 1 個「位元組」= 8 個位元，所以電腦內部是以八進位的方式來儲存資料。
- ( ) 2. 字組是電腦執行時，CPU 一次能處理的資料位元數，一般來說，字組長度越長，電腦的處理效能越好。
- ( ) 3. 一個位元組可用來表示  $256 (=2^8)$  種符號（資料）。
- Q ( ) 4. 電腦主記憶體中每個位元組的編號稱為記憶體位址（Address）。

#### 二、選擇題

- @ ( ) 1. 在電腦中儲存資料的最小單位僅能儲存二進位值 0 或 1，此單位稱為 (A)Byte (B)Word (C)bit (D)KB。
- @ ( ) 2. 有關電子計算機記憶體容量大小的描述，下列哪一項是正確的？ (A)1Mega Bytes =  $2^{20}$  Bytes (B)1Mega Bytes =  $2^{30}$  Bytes (C)1Mega Bytes =  $2^{40}$  Bytes (D)1Giga Bytes =  $2^{40}$  Bytes。
- @ ( ) 3. 64位元的電腦，1 word 等於 (A)4 bytes (B)8 bytes (C)16 bytes (D)32 bytes。

### 三、實作題

- CD光碟片是目前非常普及的一種輔助記憶體，請上網或到電腦賣場瞭解一片光碟片的容量有多大？假設一本書的內容存成電子檔案約需1MB，那麼一片光碟片約可存進幾本書的內容呢？

## 2-3-3 資料表示法

電腦中的資料主要可以分為**數值資料**及**字元資料**兩大類，如圖 2-18 所示；這兩類資料在電腦中有不同的表示方法，分別介紹如下：



▲ 圖 2-18 電腦中的資料種類及常見的字元資料編碼

### 數值資料表示法

在電腦中數值資料可分為整數和浮點數兩大類，其中整數包括正整數和負整數，其表示方式分別說明如下：

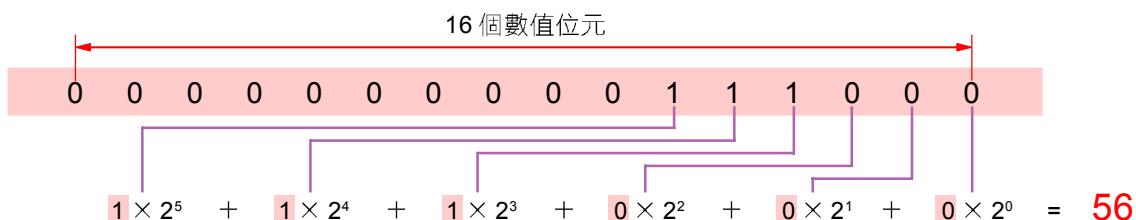
#### 正整數的表示法

假設電腦以 2 個位元組（2 Bytes = 16 Bits）來儲存整數，這十六個位元共可組合 65536 ( $2^{16}$ ) 個數目，如果用這 2 個位元組來表示正整數，其所能表示的範圍為 0~65535。

例如要儲存  $(56)_{10}$  時，因為  $(56)_{10} = (111000)_2$ ，所以電腦內部可以如圖 2-19 的方式來表示。



電腦中以浮點數來表示帶有小數的數值，如  $0.00543$ ，會在記憶體中存成  $0.543$  與  $-2$  兩部份，其原理與科學表示法  $0.543 \times 10^{-2}$  相近。



▲ 圖 2-19  $(56)_{10}$  在電腦中的儲存方式為  $111000$

## 負整數的表示法

負整數在電腦內部的表示法，常用的有符號位元表示法、1的補數法、與2的補數法三種。

**表 2-4 符號位元表示法**

二進位表示法	十進位數值
0111	7
0110	6
:	:
0010	2
0001	1
<b>0000</b>	0
1000	-0
1001	-1
1010	-2
:	:
1110	-6
<b>1111</b>	-7

最高位元為 0 即為正數

最高位元為 1 即為負數

● 符號位元表示法 (**signed-magnitude**) :

使用最左位元表示正負號。最左位元為 0 時表示正數，最左位元為 1 時表示負數；在表 2-4 中，我們簡單以 4 bits 來表示一個整數，說明符號位元法如何表示負數，從表中可看到 0000 與 1000 都可用來表示 0。相同的，若在電腦中以 2 Bytes 來表示一整數，則 00000000 00000000 與 10000000 00000000 也都可用來表示 0，如此會造成運算及電路設計上的困擾。

**表 2-5 1 的補數法**

二進位表示法	十進位數值
0111	7
0110	6
:	:
0010	2
0001	1
<b>0000</b>	0
1111	0
1110	-1
1101	-2
:	:
1001	-6
<b>1000</b>	-7

將正數的每一位元取其反相，即為該數的相反

● 1 的補數法 (**1's complement**) :

將一個數的每一位元取其反相（即 1 變 0、0 變 1），即是該數的相反數。在表 2-5 中，我們簡單以 4 bits 來表示一個整數，說明 1 的補數法如何表示負數。從表中可看到，此種表示法將 0000 與 1111 都用來表示 0，因此同樣會造成運算及電路設計上的困擾。

## ● 2的補數法 (2's complement)

：2的補數法可以改良上述兩種表示法的缺點。在2的補數法中，要表示一個數的負數即是將該數的每一位元取反相再加1，在表2-6中，我們以8 bits來表示一個整數，說明2的補數法如何表示負數。

**表 2-6 / 2 的補數法**

二進位表示法	十進位數值
01111111	127
01111110	126
: :	: :
00000010	2
00000001	1
00000000	0
例外，反相 再加1時會 端末進位， 仍變為	
00000000	0
11111111	-1
11111110	-2
: :	: :
10000010	-126
10000001	-127
10000000	-128

### 知識頻道

#### 補數 (Complement)

當 $r$ 進位的兩個正數相加，其和為 $r^n$ 時（ $n$ 為 $\geq 1$ 的整數），此二數互為 $r$ 的補數。

例：十進位： $(12345)_{10} + (87655)_{10} = (10^6)_{10}$   
 → 12345 和 87655 互為 10 的補數

例：二進位： $(101010)_2 + (010110)_2 = (1000000)_2 = (2^6)_{10}$   
 →  $(101010)_2$  和  $(010110)_2$  互為 2 的補數

當 $r$ 進位的兩個正數相加，其和為 $r^{n-1}$ 時（ $n$ 為 $\geq 1$ 的整數），則此二數互為 $r-1$ 的補數。

例：十進位： $(12345)_{10} + (87654)_{10} = (99999)_{10} = (10^6)_{10} - 1$   
 → 12345 和 87654 互為 9 的補數

例：二進位： $(101010)_2 + (010101)_2 = (111111)_2 = (2^6)_{10} - 1$   
 →  $(101010)_2$  和  $(010101)_2$  互為 1 的補數

補數可用來簡化電腦的減法運算，例如兩數相減（如 $X - Y$ ），可使用加法運算（ $X + Y$ 的補數）的方式運算。

## 二進位的加減運算

二進位數的四則運算規則和十進位的運算原則大致相同，其中電腦內部在進行減法運算時，是先取減數的補數，再與被減數相加，其原理類似數學的變號運算，即 $A - B = A + (-B)$ ，表2-7為二進位的四則運算規則及簡單的運算範例。

**表 2-7** 二進位的四則運算規則與運算範例

運算規則								範例	
加法運算	0	0	1	1					
	+ 0	+ 1	+ 0	+ 1					
	0	1	1	10					
					逢 2 進位				
							+	10110010	
								10100	
									11000110
減法運算	(10111010) <sub>2</sub> - (00010100) <sub>2</sub>								
	(1) 先取減數(00010100) <sub>2</sub> 的 2 補數(11101100) <sub>2</sub>								
	(2) 將被減數與減數的 2 補數相加							10111010	
							+	11101100	
									10100110

## 字元資料表示法

A	65	01000001
B	66	01000010
C	67	01000011
D	68	01000100

英文字母    十進位數    二進位數

▲ 圖 2-20 編碼表

數值資料在電腦內部皆以二進位的形式儲存，這是因為電腦只能處理二進位形式的資料；同樣地，當使用者從鍵盤上輸入字元資料時，電腦亦會將其轉換成相對應的二進位碼儲存，這種將字元資料轉換成二進位碼的系統稱為編碼系統。以英文字母為例，我們可以建立一套編碼表，如圖 2-20 所示。

電腦中的編碼系統有很多種，以下將介紹較常使用的 ASCII、EBCDIC、Unicode、以及在中文電腦中的 Big-5 碼。

## ASCII

### ！小提示

ASCII 碼以 8 個 bits 組合成一個字元，其中最後一個位元作為檢查碼使用，因此只能表示  $2^7 = 128$  種字元符號。

早期各廠牌電腦的編碼方式不一，為了使不同廠牌電腦內的資料能互相交換使用，美國國家標準局特別制定出一套資訊交換碼，稱為 ASCII (American Standard Code for Information Interchange)。

ASCII 是以 8 個位元（最後一個位元為檢查碼）來表示一個字元，可用來表示英文大小寫字母、阿拉伯數字、以及各種符號，最多可表示 128 個字元。在 ASCII

編碼表上的每一個編碼都對應一個字元，稱為 ASCII 字元；例如 ASCII 編碼中以十進位表示的 65 所對應的字元是大寫英文字母「A」，97 所對應的字元是小寫英文字母「a」，48 所對應的字元是數字「0」。ASCII 字元可分為兩類：

- **可見字元**：凡是大小寫英文字母、阿拉伯數字（0~9）、符號（!、@、#、&、空格…）等可以在螢幕或印表機列印出來的字元稱為可見字元；ASCII 編碼由 32~126 皆屬之（表 2-8），例如 ASCII 編碼 65（大寫英文字母 A）即為可見字元。
- **不可見字元**：凡是無法在螢幕上顯示字形的字元，稱為不可見字元；它的主要用途是用來控制電腦設備的運作，所以又稱為控制字元（Control Character）；ASCII 編碼由 0-31 皆屬之，例如 ASCII 編碼 7 便是用來控制電腦喇叭使其發聲的不可見字元。

**表 2-8 ASCII 可見字元的編碼表（以十進位表示）**

ASCII 碼	字元										
32		48	0	64	@	80	P	96	'	112	p
33	!	49	1	65	A	81	Q	97	a	113	q
34	"	50	2	66	B	82	R	98	b	114	r
35	#	51	3	67	C	83	S	99	c	115	s
36	\$	52	4	68	D	84	T	100	d	116	t
37	%	53	5	69	E	85	U	101	e	117	u
38	&	54	6	70	F	86	V	102	f	118	v
39	'	55	7	71	G	87	W	103	g	119	w
40	(	56	8	72	H	88	X	104	h	120	x
41	)	57	9	73	I	89	Y	105	i	121	y
42	*	58	:	74	J	90	Z	106	j	122	z
43	+	59	;	75	K	91	[	107	k	123	{
44	,	60	<	76	L	92	\	108	l	124	
45	-	61	=	77	M	93	]	109	m	125	}
46	.	62	>	78	N	94	^	110	n	126	~
47	/	63	?	79	O	95	_	111	o		

## EBCDIC

EBCDIC ( Extended Binary-Coded Decimal Interchange Code ) 是美國 IBM 公司所制定的一種編碼方式，這種編碼方式也是以 8 個 Bits 來表示一個字元，因此最多可表示  $256 (2^8)$  種字元或符號。目前使用此種編碼方式的電腦主要是 IBM 廠牌的大型電腦。

## Unicode

### ◎—腦力激盪—

在電腦中為什麼英數字可以使用一個 Byte 來表示，但中文字則需使用二個 Bytes 才能表示呢？

由於各國所使用的文字編碼方式不同，因此使得資訊交換不易，為此 1991 年美國 IBM 、 DEC 、 Sun 、 Apple 、 Xerox 、 Novell 、 Microsoft 等廠商共同出資成立了一個編碼組織（ The Unicode Consortium ），制訂出一套全球通用的文字編碼系統— Unicode ，又稱統一碼或萬國碼、萬用碼。

Unicode 以 2 Bytes ( 16 bits ) 來表示一個字元，因此共可表示  $65536 (2^{16})$  個字元或符號。 Unicode 除了前 128 個編碼的字元符號和 ASCII 相同之外，其餘之字元則劃分為控制碼區、拼音文字區、符號區、及中日韓常用文字符號區…等多個字元集區，可涵蓋各國常用的文字、字母、及符號。目前較新的作業系統如 Windows XP 等皆已支援 Unicode 編碼。

## BIG-5 碼

### 相關連結

[http://www.aphic.net/tw/  
font/font\\_qa.htm](http://www.aphic.net/tw/font/font_qa.htm)

查詢文鼎各期字型的資訊

在電腦中 8 個位元就足以表示所有的英文字母、阿拉伯數字、及許多常用的符號；但是， 8 個位元卻不足以表示所有的中文字，所以中文字通常是以 2 Bytes (=16 bits) 來編碼，最多可表示  $65,536 (=2^{16})$  個字元或符號。

BIG-5 碼又稱 "大五碼"，是 1984 年由台灣資訊工業策進會所制訂的一套中文編碼系統（共制訂 13053 個中文字）；在 BIG-5 碼中，每一個英文字、中文字、及特殊符號都是使用 2 Bytes 來表示。此種編碼系統目前廣泛地使用在台灣、香港等地區。除了 BIG-5 碼以外，其他常見的中文有通用碼、倚天碼、GB 碼（又稱國標碼，中文簡體字適用）等。

### 知識頻道 內碼、外碼、交換碼

內碼指的是中文字儲存在電腦內部時的編碼，例如BIG-5 碼、GB 碼等即為內碼；而我們由鍵盤輸入代表某一中文字的按鍵組合，則稱為外碼。目前常見的外碼有倉頡碼、大易碼、無蝦米碼、注音符號碼等。

中文內碼有許多種，使用不同中文內碼的電腦要交換訊息時，必須透過中文交換碼來轉換；常用的中文交換碼有全漢字標準交換碼（C C C I I 碼）與通用漢字標準交換碼（C I S C I I I 碼）二種，民國 75 年行政院公佈以『通用漢字標準交換碼』做為國家標準交換碼。

民國 81 年中央標準局將漢字標準交換碼編修後，稱為『中文標準交換碼』（或稱 CNS 碼、CNS 11643-1972，簡稱中標碼）。

## 馬上練習

### 一、是非題

- ( ) 1. Unicode只能用來表示歐美語系的拼音文字，無法表示中文。
- ( ) 2. 以 BIG-5 碼儲存 "中華民國" 這四個中文字，共需要 8 個 Bytes 。

### 二、選擇題

- e** ( ) 1. 目前個人電腦最常使用的資訊交換碼是美國國家資訊交換標準碼簡稱為： (A) ASCII (B)BCD (C)ANSI (D)EBCDIC 。
- ( ) 2. 中文電腦所使用的 BIG-5 碼最多共可表示幾種符號？ (A)128 (B)256 (C)64 (D)65536 。
- e** ( ) 3.  $(10110)_2$  之 2 的補數( $2^S$ )= (A)01001 (B)01010 (C)10100 (D)10101 。

### 三、問答與實作題

1. 假設在電腦中一個整數佔用 2 個位元組的長度，請以 2 的補數法表示 -126 。

提示：(1)先以 2 進位表示  $(126)_{10}$  。  
 (2)將該數的每一位元取反相。  
 (3)加 1 。

**2-3 節練習****一、選擇題**

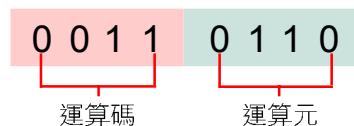
- @ ( )1. 下列四個不同基數的數值，何者是錯誤的表示法？ (A) $(F16)_{16}$  (B) $(110)_2$  (C) $(118)_8$  (D) $(1010)_{10}$ 。
- ( )2. 在 $(6A)_{16}$ 這個數值中，"6" 的權值為何？ (A) $16^2$  (B) $16^1$  (C) $16^0$  (D) $10^{16}$ 。
- ( )3. 試比較 $(11)_2$ 、 $(11)_8$ 、 $(11)_{10}$ 、 $(11)_{16}$ 四個數值的大小  
 (A) $(11)_{16} > (11)_{10} > (11)_8 > (11)_2$   
 (B) $(11)_2 > (11)_8 > (11)_{10} > (11)_{16}$   
 (C) $(11)_{10} > (11)_{16} > (11)_8 > (11)_2$   
 (D) $(11)_{16} > (11)_8 > (11)_2 > (11)_{10}$ 。
- @ ( )4. 下列四個數值何者最大？ (A) $(143)_{10}$  (B) $(2301)_4$  (C) $(231)_8$  (D) $(11100111)_2$ 。
- @ ( )5. 大多數中文系統用2 Bytes而非1 Byte來代表一個中文字，以下敘述中何者是合理的原因？  
 (A)1 Byte 只能表示 256 個中文字，而 2 Bytes 可表示 65536 個中文字  
 (B)2 Bytes 中，用 1 Byte 放字型，另外 1 Byte 放注音  
 (C)中文字型大小為  $16 \times 16$  而非  $8 \times 8$   
 (D)電腦處理 2 Bytes 中文比處理 1 Byte 中文的速度快。
- @ ( )6. 電腦的資料儲存單位 GB 是 2 的多少次方位元組 (Bytes)？ (A)10 (B)20 (C)30 (D)40。
- @ ( )7. 下列資料量的大小關係，何者錯誤？  
 (A) $1M\text{ Bytes} > 1M\text{ bits}$   
 (B) $1G\text{ Bytes} > 1M\text{ Bytes}$   
 (C) $1K\text{ Bytes} > 1M\text{ Bytes}$   
 (D) $1G\text{ bits} > 1M\text{ Bytes}$ 。
- @ ( )8. 各電腦系統所使用的中文內碼不盡相同，為使不同系統的中文資料可以互相交流溝通而制定的編碼為 (A)外碼 (B)BIG-5 (C)交換碼 (D)電信碼。
- @ ( )9. 如果記憶體大小為 32KB，相當於可以儲存多少個 ASCII 碼英文字？ (A) $2^{15}$  (B) $2^{16}$  (C) $2^{17}$  (D) $2^{18}$ 。
- @ ( )10.  $(10110)_2$  之 2 的補數為 (A) $(01010)_2$  (B) $(01001)_2$  (C) $(01011)_2$  (D) $(10100)_2$ 。

## 2-4 電腦運作的模擬實作

程式是用來指揮電腦運作的一連串指令集合。在電腦科學中，電腦只能接受及執行以 0 與 1 組合而成的機器語言程式，因此在本節中我們將介紹機器語言指令的格式，並模擬幾個基本程式指令的執行過程，讓同學對電腦的運作有較清楚的認識。

### 2-4.1 機器語言指令的格式

每一種電腦所能接受的機器語言都有其特定的格式，一般而言，一個機器語言指令可分為 **運算碼**（Operation Code）及 **運算元**（Operand）兩部份，右圖是一個佔 8 個位元的指令示意圖。



- **運算碼（Operation Code）**：用來指示電腦從事某一運算的代碼，例如：指示電腦做相加、相減等動作。
- **運算元（Operand）**：表示欲處理資料的值（可為數值或文數字）、位址、或暫存器的名稱。

#### 小提示

有些機器語言的指令並不需要運算元，例如表 2-9（請參閱 P.84）中的 "0110" 及 "0111" 指令，僅是分別用來終止程式執行及在螢幕上顯示累加器中的值。

### 2-4.2 機器語言指令的說明

在下一小節中，我們將以軟體來模擬一台簡易的電腦，並假定此電腦的中央處理單元具有以下 7 個指令，其指令格式為每一個指令佔 8 個位元，左邊 4 個位元為運算碼，右邊 4 個位元為運算元。以下分別說明這 7 個指令的功能：

表 2-9 各指令功能說明

指令	功能	說明
0001	清除	用以清除累加器中的內容，亦即將累加器設定為 0。0001 指令不需要運算元，所以在運算元部分可為任意二進位數
0010	載入	用以將某記憶體位址內的資料載入至累加器中
0011	相加	用以將累加器的內容與某記憶體位置的資料相加，然後再存回累加器
0100	相減	用以將累加器的內容與某記憶體位置的資料相減，然後再存回累加器，其中原來累加器中的值是被減數
0101	儲存	用以將累加器中的值儲存於某個記憶體位址上
0110	終止	用以終止程式的執行。0010 指令不需要運算元，所以在運算元部分可為任意二進位數
0111	顯示	用以在將累加器中的值顯示在螢幕上。0111 指令不需要運算元，所以在運算元部分可為任意二進位數

## 2-4.3 機器語言執行的模擬

本程式可由 [www.fisp.com.tw](http://www.fisp.com.tw) 網站取得。

在本小節中我們將使用一套模擬機器語言程式執行的軟體來瞭解程式在電腦中執行的過程<sup>註</sup>。圖 2-21 是這一套模擬軟體的操作畫面及功能說明。



▲ 圖 2-21 模擬軟體的操作畫面

## 程式實例

程式必須輸入至主記憶體中才能執行。以下之機器語言實例用來計算二進位算術運算  $0100-0010+0110$ 。

**表 2-10 本機器語言程式用來計算二進位算術運算  $0100-0010+0110$**

記憶體位址	程式運算碼	說明
運算元		
0000	0010	將記憶體位址 1000 中的值 0100 載入至累加器中
0001	0100	將記憶體位址 1001 中的值 0010 與累加器的值相減並將結果存回累加器中
0010	0011	將記憶體位址 1010 中的值 0110 與累加器的值相加並將結果存回累加器中
0011	0111	將存在累加器中的結果顯示在螢幕上
0100	0101	將存放在累加器中的結果，儲存至記憶體位址 1111 中
0101	0110	終止程式
1000	0000	存放數值資料 0100
1001	0000	存放數值資料 0010
1010	0000	存放數值資料 0110
...	...	...

註：在本模擬程式中，運算碼 "0000" 不具任何運算及處理功能。

### 操作實例 1

### 程式執行模擬

將二進位的運算  $0100-0010+0110$  的機器語言程式輸入至模擬電腦的記憶體，並執行之。



#### ▶ 輸入指令

Step 1 輸入記憶體位址  
0000

Step 2 輸入指令 00101000

Step 3 按傳送至記憶體鈕

Step 4 重複步驟 1~3 將整個  
程式輸入至記憶體

## ▶ 執行指令

(本操作實例僅示範第一個指令(00101000)的執行)

### Step 1 摄取(指令)

按開始執行程式鈕，執行攝取指令動作

A. 電腦系統首先會將程式計數器收到的資料 0 000，傳送至記憶體位址暫存器內。

B. 程式數器中的值，會變更為 0001 (下一個指令要執行的位址)。

C. 中央處理器會依 MAR 中的位址 0000，至主記憶體取出指令，並將機器語言指令 00101000 傳送至 MBR 中。

### Step 2 解碼

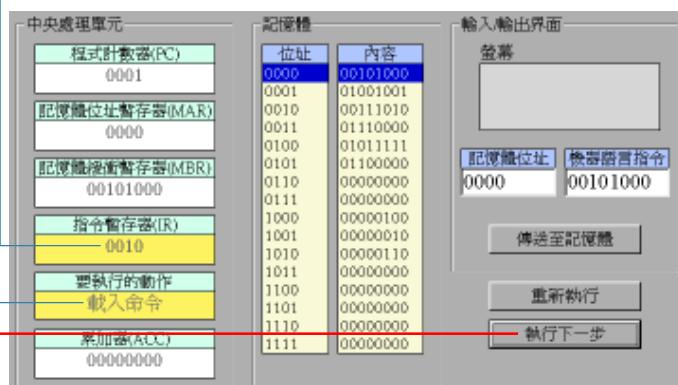
按執行下一步鈕，執行解碼動作

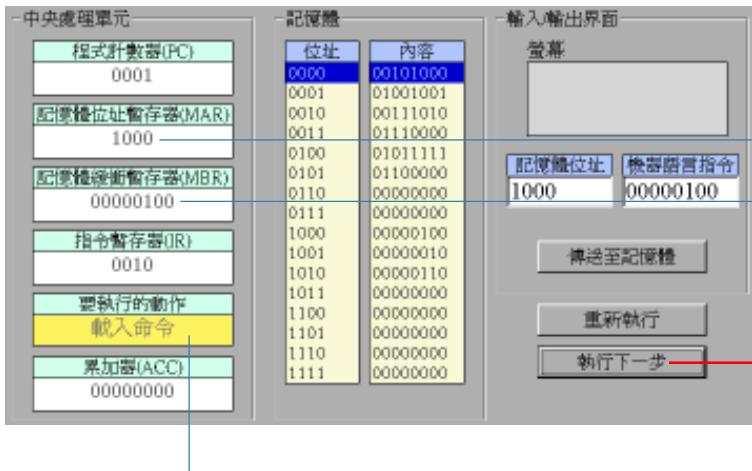
A. MBR 中的指令有運算碼 0010 及運算元 1000 兩部份，運算碼 0010 會被傳送至 IR 中。

B. 而 IR 會將指令 0010 傳送至解碼器中解碼，解碼後會產生「載入」控制信號，通知控制單元要執行「載入」的運算。

### Step 3 摄取(運算元)

按執行下一步鈕，執行攝取運算元的動作





- A. MBR 中的運算元 1000 被傳送至 MAR 中。
- B. 中央處理單元會依 MAR 所指出的位址至主記憶體中取出要運算的資料 00000100，並將資料傳送至 MBR 中。

#### 4 執行

按執行下一步鈕，執行載入命令

- A. 控制單元執行載入的動作。



資料 00000100 被載入至累加器中了！

#### 5 儲存

按執行下一步鈕，將運算資料 00000100 載入至累加器中

- A. 將運算資料 00000100 載入至累加器中。

#### 小提示

第一個指令已經執行完成了，其餘指令可依相同的操作方式繼續進行程式執行的模擬！

### 馬上練習

- 右列之程式用以計算二進位算術運算  $0001 + 0010 + 0011(1 + 2 + 3)$ ，請在程式的空格處填入適當的指令。
- 使用模擬軟體將上列程式輸入模擬電腦中執行，並驗證此程式執行的結果。

記憶體位址	程式
0000	_____
0001	00111010
0010	_____
0011	01110000
0100	01100000
0101	00000000
0110	00000000
0111	00000000
1000	00000001
1001	00000010
1010	00000110
1011	00000000
1100	00000000
1101	00000000
1110	00000000
1111	00000000

# 科 技脈動

## 電腦晶片無所不在

電腦晶片除了應用在電腦硬體設備之外，還應用在許多工業控制及電子設備中。這些應用在不同領域中的電腦晶片都具有特定的功能，只要細心觀察，不難發現它們幾乎是無所不在。



**A 智慧雙輪車** 一部內有許多電腦晶片，能自動平衡的雙輪運動車，它可以控制直線行徑，轉彎時則需利用左手把控制。適合用來作為短距離的代步工具。

**B 智慧愛寶狗 (Aibo)** 有人工智慧的機器狗，它不但肢體動作靈活、具有寵物行為，頭部數位相機還可用來拍攝四周的景物。



- C 吸塵機器人** 內建有雷達探測器，會自己找尋處吸塵的機器人，在吸除地板上的灰塵時，不會撞碰到傢俱及牆壁，快沒電時還會自行回充電座充電。
- D 冰烤箱** 具有冰箱及烤箱功能的家電產品，它能讓使用者在出門前，先將食物放置在設為冷藏狀態下的冰烤箱內，並在算好時間時，將食物烤熟。
- E 電腦果汁機** 內建40道食物的攪拌程式，使用者只要將食材放入果汁機內，選擇所要使用的攪拌程式並按下啟動按鈕，即可輕輕鬆鬆地完成一道美食佳餚。
- F 頂級單眼數位相機** 能擷取的影像資訊最高可達1389萬像素，使用的感光元件尺寸與傳統相機用的底片相同（35mm），因此可解決單眼數位相機使用特殊鏡頭所造成視野及焦距上的誤差。



C

介紹吸塵機器人網頁



D

介紹冰烤箱網頁



E

介紹電腦果汁機網頁



F

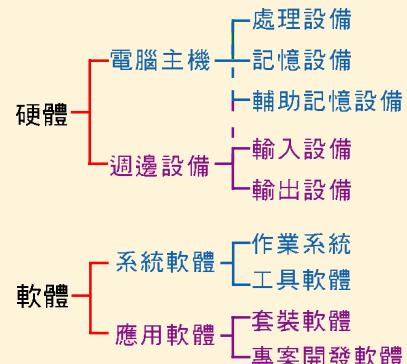
介紹頂級單眼數位相機網頁

# 重點回顧 CHAPTER REVIEW

- 硬體是指組成電腦的各種機械及電子設備，可概分為電腦主機及週邊設備兩大部分。
- 電腦軟體是指以各種程式語言撰寫而成的程式，依照其用途可概分為系統軟體及應用軟體兩大類。

## 電腦的組成

- 電腦是由輸入單元（IU）、控制單元（CU）、算術／邏輯單元（ALU）、記憶單元（MU）、及輸出單元（OU）等五大單元所組成，其中控制單元與算術／邏輯單元合稱為中央處理單元（CPU）。
- 匯流排（Bus）是CPU、記憶體、輸出／入設備、及儲存設備間進行資料傳送的管道。



## 記憶體

- 暫存器是CPU在處理資料時，用來暫時儲存運算中的資料及記錄程式執行狀態的地方。
- 快取記憶體是一種存取速度比主記憶體更快的記憶體，這種記憶體可用來存放CPU最近經常需使用的資料或指令，因此可提昇電腦的處理效能。
- 各種記憶體存取速度的比較：

暫存器 > 快取記憶體 > 主記憶體 > 輔助記憶體  
 (Register) (L1 Cache > L2 Cache) (RAM) (HDD > FDD)

## 電腦的運作

- 電腦執行指令的步驟包括輸入、記憶、擷取、解碼、執行、儲存、及輸出等步驟，其中擷取、解碼、執行、儲存等4個步驟是CPU執行一個指令的過程，又稱為機械週期。

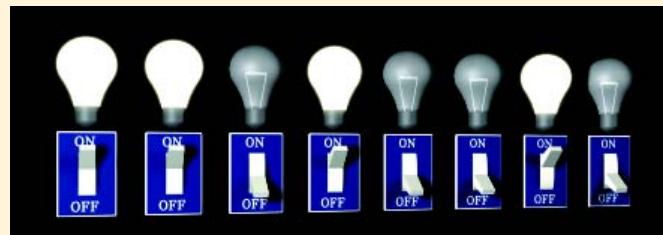
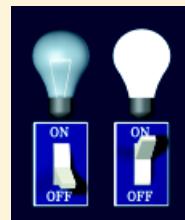


## 數字系統

- 電腦是以二進位的方式來處理及儲存資料。由於二進位資料不易閱讀，為了方便檢視及記錄，我們也常使用八進位制及十六進位制來表示電腦中的資料。
- 每一種數字系統所使用的數字個數與該數字系統的基數相同，例如十進位制是以 10 為基數，總共有 0~9 十個數字。
- 一個數值是由一串數字符號所組成，每一個數字還會因其所在的位置不同而有不同的權值；所謂「權值」就是每一個數字所在的位置所代表的值。
- 負整數在電腦內部的表示法，常用的有符號位元表示法、1 的補數法、與 2 的補數法等三種。

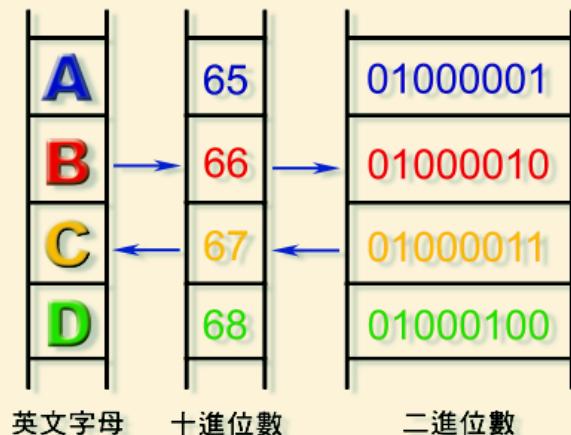
## 儲存單位

- 位元（Bit）是電腦中最小的儲存單元，將八個位元合成一組稱為位元組（Byte），一個位元組可用來表示 256 種符號（資料）。
- 字組（word）是電腦執行時，中央處理單元一次能處理的資料位元數，一般而言，電腦的字組長度越長，處理資料的速度就越快。



## 編碼系統

- ASCII 是美國國家標準局制定的一套資訊交換碼，以 8 個位元來表示一個字元，最多可表示 256 個字元。
- Unicode 是一套全球通用的文字編碼系統，以 2 Bytes (16 bits) 來表示一個字元或符號，又稱統一碼或萬國碼、萬用碼。
- BIG-5 碼是一套目前廣泛使用在台灣、香港等地區的中文編碼系統，以 2 Bytes (16 bits) 來表示一個字元或符號，又稱 "大五碼" 。



# 綜合評量 EXERCISES

## 一、選擇題

- @** ( ) 1. 一般我們說的電腦主機通常包含了哪些元件？ (A)RAM (B)CPU (C) ROM (D)以上皆是。
- ( ) 2. 下列哪一種儲存設備不兼具輸入及輸出的功能？ (A)光碟機 (B)硬碟機 (C)軟碟機 (D)光碟燒錄機。
- ( ) 3. 電腦的硬體架構，包括了輸入設備、輸出設備、儲存設備，以及下列哪一種設備？ (A)作業系統單元 (B)中央處理單元 (C)公用程式單元 (D)影印設備。
- ( ) 4. 電腦用來和使用者溝通的單元為 (A)算術與邏輯單元 (B)記憶單元 (C) 輸出 / 入單元 (D)控制單元。
- Q** ( ) 5. 下列哪項不屬於電腦的週邊裝置？ (A)印表機 (B)暫存器 (C)螢幕 (D)軟式磁碟機。
- e** ( ) 6. 在電腦系統中，負責資源調派與作業管理的軟體是 (A)系統程式 (B)公用程式 (C)應用程式 (D)資料庫管理程式。
- ( ) 7. 軟體公司專門為特定的客戶所開發的軟體稱為 (A)套裝軟體 (B)系統軟體 (C)共享軟體 (D)專案開發軟體。
- ( ) 8. 下列哪一種軟體負責監督電腦系統工作？ (A)作業系統 (B)應用軟體 (C) 套裝軟體 (D)專案開發軟體。
- ( ) 9. 下列哪一項軟體可歸屬為工具軟體？ (A)文書處理軟體 (B)遊戲軟體 (C) 磁碟重組軟體 (D)繪圖軟體。
- ( ) 10. 以下哪種裝置只能做為輸出設備使用，無法做為輸入設備使用？ (A)印表機 (B)鍵盤 (C)硬碟機 (D)軟碟機。
- @** ( ) 11. 下列對於電腦硬體各單元的敘述何者有誤？  
 (A)輸入單元：待處理的資料須經由此單元進入電腦  
 (B)輸出單元：處理完成之資訊由此單元送出  
 (C)算術 / 邏輯運算單元：所有的算術運算均在此單元完成  
 (D)記憶單元：僅儲存剛輸入之待處理資料。
- Q** ( ) 12. 設  $B = 5$  ,  $C = 10$  , 則計算  $A = B + C$  時，控制單元是到何處取出代表  $B$  及  $C$  之值，再送到 ALU 相加？ (A)輸入單元 (B)CPU (C)記憶體 (D) 輸出單元。

- ( ) 13.下列哪一種匯流排的寬度通常用來做為評估電腦的效能？ (A)內部匯流排 (B)系統匯流排 (C)擴充匯流排 (D)以上皆是。
- Q ( ) 14.假設電腦係由五大部門所組成，則專門負責電腦系統之指揮及控制的是 (A)控制單元 (B)輸出入單元 (C)算術 / 邏輯單元 (D)記憶單元。
- Q ( ) 15.以下的設備，一般而言哪個存取資料的速度最快？ (A)光碟機 (B)3.5吋軟碟機 (C)5.25吋軟碟機 (D)硬碟。
- Q ( ) 16.微處理器 80586 具 64 位元的資料匯流排及 32 位元的位址匯流排，其可定址的最大線性記憶體空間為 (A)1GB (B)4GB (C)8GB (D)16GB。
- Q ( ) 17.所謂 32 位元個人電腦之 32 位元是指 CPU 的 (A)控制匯流排 (B)位址匯流排 (C)資料匯流排 (D)輸入 / 輸出匯流排 為 32 位元。
- Q ( ) 18.CPU 必須先將要存取的位址存入何處才能到主記憶體中存取資料？ (A)資料暫存器 (B)位址暫存器 (C)輸出單元 (D)指令暫存器。
- ( ) 19.下列敘述何者有錯？  
 (A)主記憶體是用來儲存處理中及待處理的資料  
 (B)輔助記憶體是用來儲存需長期保存的資料  
 (C)主記憶體內儲存的資料會因電腦關機而消失  
 (D)快取記憶體的存取速度較主記憶體慢。
- ( ) 20.在 CPU 中，用來暫時存放立即要處理的指令及資料的是 (A)硬碟 (B)光碟 (C)暫存器 (D)ALU。
- @ ( ) 21.下列哪一個因素，不直接影響 CPU 執行速度？  
 (A)記憶體的大小  
 (B)CPU 內部資料暫存器的大小  
 (C)資料匯流排的位元數  
 (D)電腦內部的頻率。
- @ ( ) 22.下列關於 CPU 的敘述何者有誤？  
 (A)定址能力是指 CPU 能直接控制之主記憶體容量  
 (B)暫存器是在 CPU 內部的記憶體，其存取時間比主記憶體短  
 (C)指令集分為複雜指令集（CISC）及精簡指令集（RISC）兩大類  
 (D)匯流排有內部匯流排、系統匯流排及擴充匯流排之分，其寬度一定相同。
- ( ) 23.CPU 執行一個指令的全部過程稱之為 (A)指令時間 (B)執行時間 (C)機械週期 (D)I-time。

# 綜合評量 EXERCISES

@ ( ) 24. 下列有關資料存取速度何者正確？

- (A) 暫存器 (Register) > 快取記憶 (Cache-Memory) > 主記憶體 (Main Memory) > 磁碟 (Disk)
- (B) 快取記憶體 > 主記憶體 > 暫存器 > 磁碟
- (C) 快取記憶體 > 暫存器 > 主記憶體 > 磁碟
- (D) 快取記憶體 > 主記憶體 > 磁碟 > 暫存器。

( ) 25. 電腦是以何種數字系統做為其計算及進位的方式？ (A)二進位 (B)十進位 (C)八進位 (D)十六進位。

@ ( ) 26. 將十進位數 1455 轉換成十六進位數，其結果應為

- (A) $(5AF)_{16}$  (B) $(5DC)_{16}$  (C) $(63B)_{16}$  (D) $(6CF)_{16}$ 。

@ ( ) 27.  $(0776)_8 + (1657)_8$  等於

- (A) $(5AD)_{16}$  (B) $(5BD)_{16}$  (C) $(56D)_{16}$  (D) $(59D)_{16}$ 。

@ ( ) 28. 將十六進位數 $(6A)_{16}$  轉換為十進位數，其值應為何？

- (A)116 (B)106 (C)70 (D)16。

( ) 29. 記憶體中每個可來儲存資料的位置，都有一個用以標示的代碼，稱為 (A) 位組 (B)位址 (C)位置 (D)位元。

Q ( ) 30. 八進位數字 $(136)_8$ 轉換為十六進位數字，下列何者正確？ (A) $(4A)_{16}$  (B) $(5E)_{16}$  (C) $(6C)_{16}$  (D) $(70)_{16}$ 。

Q ( ) 31. 十進位數值 $(1999)_{10}$ 化成十六進位為多少？ (A) $6F3_{16}$  (B) $6CD_{16}$  (C) $7DE_{16}$  (D) $7CF_{16}$ 。

Q ( ) 32. 如果記憶體大小為 32KB，相當於可以儲存多少個 ASCII 碼英文字？ (A) $2^{15}$  (B) $2^{16}$  (C) $2^{17}$  (D) $2^{18}$ 。

Q ( ) 33. 硬碟大小單位為 GB，1GB 表示大小約多少？ (A) $10^3$  bytes (B) $10^6$  bytes (C) $10^9$  bytes (D) $10^{12}$  bytes。

Q ( ) 34. 某電腦以 8 bit 表示一整數，其負數以 2'S 補數方式表示，則 -31 的二進位表示為何？ (A)11100010 (B)11100001 (C)11100011 (D)11100100。

( ) 35. 一個位元組是由幾個位元所組成？ (A)2 (B)8 (C)16 (D)10。

( ) 36. 若一年以 365 曰計算，則至少須使用多少位元才可表示該數目？ (A)1 (B)9 (C)8 (D)2。

- @ ( ) 37. 採用倉頡輸入法打完一篇中文文章，並存入磁碟中。請問其採用下列何種編碼方式儲存？ (A)倉頡碼 (B)ASCII 碼 (C)中文內碼 (D)EBCDIC 碼。
- @ ( ) 38. 10111100 為一個 2'S 補數，若換算成一個十進位的負數，其值為何？ (A)-67 (B)-68 (C)-66 (D)-65。
- @ ( ) 39. 以 ASCII 碼來儲存 "Win-98" 這幾個字（不包含雙引號），須使用多少位元組？ (A)9 (B)7 (C)5 (D)6。

## 二、多元練習

1. 請將以下的電腦硬體設備依照其用途加以分類：  
 A.鍵盤 B.CPU C.顯示器 D.硬碟機 E.滑鼠 F.記憶體 G.數位相機  
 H.喇叭 I.光碟機 J.印表機 (如果有不認識的硬體，可上網查詢)
  - (1) 輸入設備：
  - (2) 輸出設備：
  - (3) 處理設備：
  - (4) 儲存設備：
2. 請比較下列幾項記憶體的存取速度？
  - A.硬碟 B.主記憶體 C.暫存器 D.L1 Cache E.軟碟 F.L2 Cache
3. 某公司有 800 名員工，若每名員工的人事資料需要使用 5KB 來儲存，請問：
  - 需要多大的儲存空間，才足夠儲存所有員工的人事資料呢？
  - 若要將所有員工的人事資料儲存在每張 1.44MB 的磁片中，至少需要多少張磁片？
4. 電腦是以二進位來儲存及處理資料，假設電腦是以 2 Bytes 來表示一個整數，試完成下表。

科目	國語	數學	計概	總分
分數	70	68	87	225
電腦中的儲存情形				