

Arduino

微電腦控制實習

邁向 AMA 中級
先進微控制器應用認證

第1章

微電腦系統概論

- 1-1 微電腦系統單元
- 1-2 微電腦系統架構
- 1-3 微控制器（單晶片微電腦）
- 1-4 類比與數位訊號介面

1-1 微電腦系統單元

- 隨著科技的進步，自動化產品越來越多，已大幅改善人們的生活品質。
- 自動化的核心是**微控制器**（micro-controller unit, MCU），它就像是人的大腦一般，由有經驗的專家設計了它，並準確有效地擔任人們所賦予的工作而達到自動化目的。
- 微控制器無所不在，舉凡**手機、遊戲機、家電（冰箱、冷氣、洗衣機、攝錄影機等）、健康醫療儀器、電腦及電視周邊、照明節能、汽車行車電腦、交通號誌控制**等，皆可看到微控制器的蹤跡。
- 本章透過介紹傳統的微電腦系統五大單元，了解微控制器的內部概況，並透過各種微控制器家族的介紹，了解本書學習之 Arduino 微控制器的特性。

1-1 微電腦系統單元

1-1 微電腦系統單元

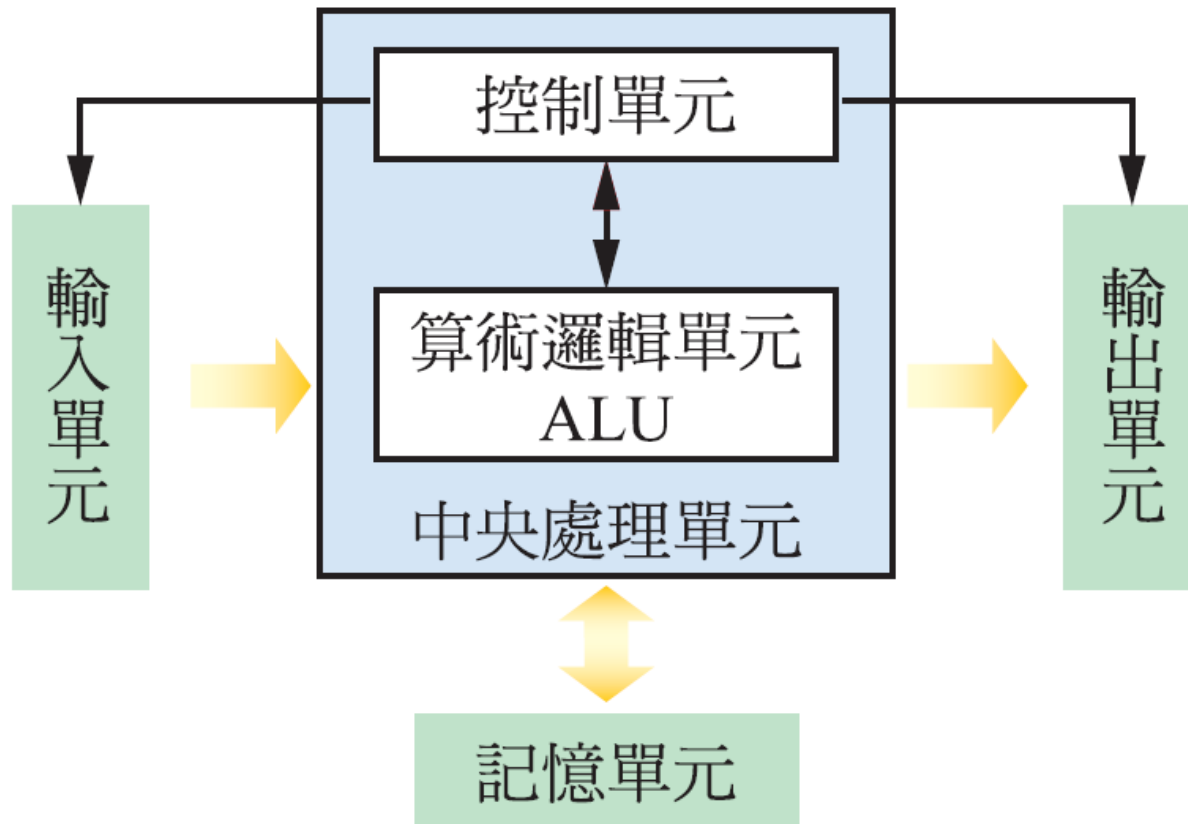
微電腦是由**硬體**（hardware）和**軟體**（software）所組成：

- 硬體是指有形的機器。
- 軟體則指用來控制微電腦工作的指令和程式。

本節先針對微電腦的硬體結構加以介紹。

- 微電腦的硬體結構包括了五個主要單元（unit），分別是輸入單元、輸出單元、記憶單元、算術邏輯單元和**控制單元**，其中算術邏輯單元和**控制單元**又可合併成為一個單元，稱為**中央處理單元**（central processing unit），就是所稱的CPU，這五個單元的關係如圖 1-1 所示。

1-1 微電腦系統單元



➤ 圖 1-1 微電腦的系統方塊圖

1-1 微電腦系統單元

CPU 是微電腦最重要的部分，它就像是人類的大腦一般，控制著各個單元的運作。以下簡介各單元的功用。

1. 輸入單元 (input unit, IU)

輸入單元的工作是將外來的資訊送到CPU 處理或直接存入記憶單元

- 個人電腦 (personal computer, PC) 上常用的輸入設備有讀卡機、磁碟機、鍵盤、光筆、滑鼠和掃描器等。
- 在實習上常見的輸入元件有指撥開關 (DIP Switch)、按鈕開關、微動開關、極限開關、磁簧開關 (Reed Switch)、鍵盤，還有可感測光 (光電晶體)、溫度 (溫度感測器)、濕度 (濕度感測器)、聲音 (麥克風)、磁場 (霍爾元件) 的各種物理量感測器等。

1-1 微電腦系統單元

2. 輸出單元 (output unit, OU)

輸出單元負責將CPU 處理過的資料，以人類或機器可以看懂的形態輸出或儲存。

- PC 上常用的輸出設備有顯示器 (monitor)、列表機 (printer) 和繪圖機 (plotter) 等。
- 在實習上常見的輸出元件有發光二極體LED、液晶顯示器LCD、七段顯示器、步進馬達、直流馬達、喇叭、蜂鳴器等。

3. 記憶單元 (memory unit, MU)

記憶單元是用來存放系統運作所需的程式 (code) 或資料 (data)，一般來說，程式是儲存在唯讀記憶體 (read only memory, ROM) 中，資料儲存在隨機存取記憶體 (random access memory, RAM) 中。

1-1 微電腦系統單元

4. 算術邏輯單元 (arithmetic logic unit, ALU)

顧名思義，算術邏輯單元可執行算術運算（如加、減、乘、除等）及邏輯運算（如AND、OR、NOT、XOR等），也可將資料或輸入單元送來的資訊，送到ALU以執行各種運算；在運算完成後，再由控制單元將資料送回記憶單元存放，或直接送到輸出單元。

5. 控制單元 (control unit, CU)

控制單元是微電腦的指揮中心，負責協調和指揮各單元之間的資料傳送及運作，使得微電腦可以按照人們的要求完成工作。執行一個程式時，控制單元：

- (1) 先從程式**讀取**第一個指令。
- (2) 加以**解碼** (decode)，瞭解指令的動作意義。
- (3) **執行** (execute) 這個指令。

然後再重複**讀取**下一個指令、**解碼**、**執行**，一步一步往下做，直到程式做完為止。

1-1 微電腦系統單元

- 由上述的五大單元說明可知，一套完整的微電腦系統，需由許多的控制晶片（chip）或IC 組成，一般稱這樣的系統為**多晶片微電腦控制系統**，主要用來設計較為複雜的控制系統，例如個人電腦就屬此類型。
- 由於此種系統使用的晶片數眾多、硬體成本高、體積大、電路除錯（debug）不容易，並不適合簡易的控制系統及互動裝置，因此就有了單晶片微控制器的需求。

1-2 微電腦系統架構

1-2 微電腦系統架構

硬體上，微電腦各單元都是靠排線所組成的**匯流排**（bus）做溝通，是CPU 與各單元、周邊設備溝通不可或缺的管道，微電腦的**匯流排**依功能不同分為底下三種：

1. 資料匯流排（data bus）：

資料匯流排為傳送或接收資料的通道，為雙向，其寬度（資料匯流排的線數）代表CPU 一次能處理資料的位元數，一般稱為字組（word）。所謂的64 位元個人電腦指的是電腦的資料匯流排寬度為64 位元。

1-2 微電腦系統架構

2. 位址匯流排 (address bus) :

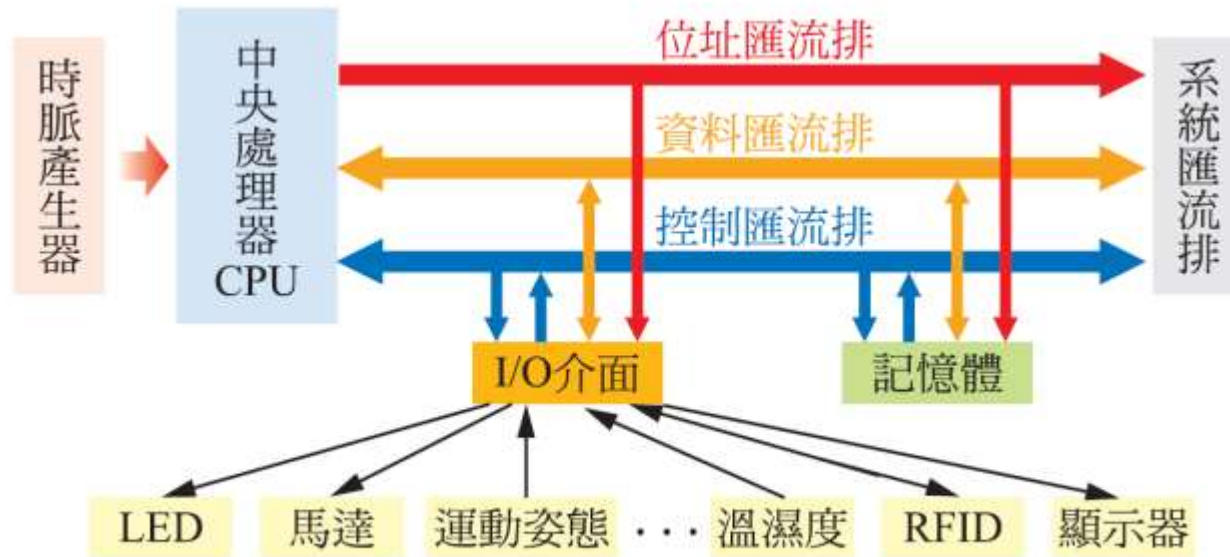
位址匯流排可決定微電腦可定址的空間大小，為單向。每筆記憶體都需要有獨一無二的控制位址，才能正確存取，例如1條位址匯流排，接邏輯0 或1 時各可存取1byte 資料，因此能定址的記憶體大小為2bytes，同理，n 條位址匯流排，則可存取 2^n bytes 的記憶體。

3. 控制匯流排 (control bus) :

控制匯流排為控制微電腦各大單元，進出微處理機之資料流向與時序的接腳，例如CPU 的讀寫 R/W 、中斷 INT 、重置RESET、致能腳 E 等。

1-2 微電腦系統架構

圖 1-2 所示為微電腦系統的硬體架構圖，從圖中可看出匯流排銜接各單元，透過CPU 發號司令，可有效的存取記憶體資料，也可控制周邊I/O 的讀入與輸出控制。



➤ 圖 1-2 微電腦系統的硬體架構圖

1-2 微電腦系統架構

有三個因素會影響到微電腦系統執行的速度與效能，分別是：

1. **位元數**：16 位元的微電腦在處理資料時，可同一時間處理 2bytes，而 32 位元可處理 4 bytes，所以 32 位元的微電腦比 16 位元的快，16 位元的微電腦比 8 位元快。
2. **時脈頻率**：執行指令的速度與微電腦時脈產生器的頻率相關，時脈頻率愈高，指令執行速度愈快，例如 MCS51 時脈頻率為 12MHz，Arduino UNO 板時脈為 16MHz，ARM 則更快可達 3GHz。

1-2 微電腦系統架構

3. **指令集架構**：微電腦的指令集架構可分為二種

- 複雜指令集CISC (complex instruction set computer)
- 精簡指令集RISC (reduced instruction set computer)

一般而言，指令集愈多則功能愈強，但過多指令集，會因解碼電路變多（或採用微指令碼設計）而影響效能，也因核心過大導致CPU的時脈頻率不能太高；而RISC指令數少，結構簡單，故速度較快，在體積、造價、功耗、散熱上都有優勢，缺點是因指令精簡化後造成程式碼變大，需要較大的程式記憶體空間。

1-2 微電腦系統架構

一般衡量CPU 速度的計量單位為 **MIPS** (millions instructions per second)，是指CPU 每秒可執行多少百萬個指令，能執行的指令越多，代表電腦的工作能力越強。不過MIPS 並不是固定數值，常會因軟體不同而有不同，故需在某些固定的環境標準下運作才能採用此指標比較。

1-3 微控制器（單晶片微電腦）

1-3 微控制器（單晶片微電腦）

微控制器（MCU）是將上述五大單元、以及一些周邊電路（定時／計數器、燒錄介面、類比／數位信號轉換）都整合在一塊晶片上的微型電腦，具有體積小、耗電低、外接少許零件即可工作的特點，可節約成本，十分適合當作微電腦控制實務、專題製作課程的主控元件，一般也稱為**單晶片微電腦**（single-chip microcomputer）。

1-3 微控制器（單晶片微電腦）

微控制器種類繁多，包含

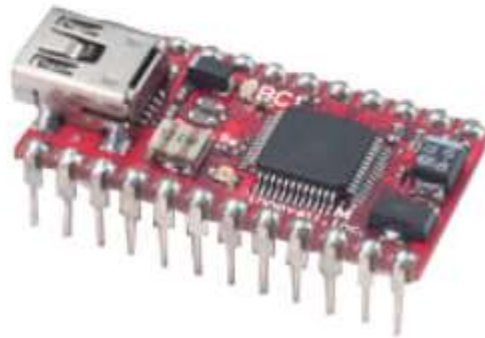
1. 歷史悠久，相容產品眾多且使用廣泛的MCS51系列（8051、89S51）
 2. Microchip 公司的PIC 系列
 3. Atmel 的AVR 系列
 4. 盛群半導體的HT48F/HT16F/HT32F 系列
 5. 安謀的ARM
- 註：ARM 稱為進階精簡指令集機器（Advanced RISC Machine），是一個32位元精簡指令集（RISC）的處理器架構

1-3 微控制器（單晶片微電腦）

6. 將MCU、USB 燒錄介面都整合在一塊基板上的微型電腦，雖然不是晶片型態，但其功能屬性與微控制器相同，故仍歸類為微控制器，一般稱為**單板電腦**，像是美國Parallax 的BASIC Stamp、臺灣利基的BASIC Commander、義大利的Arduino Nano皆是，其外觀如圖 1-3 所示。



(A)BASIC Stamp



(B)BASIC Commander



(C)Arduino Nano

➤ 圖 1-3 基板型態的微控制器

1-3 微控制器（單晶片微電腦）

- 根據處理能力的不同，MCU 可分為8 位元、16 位元及32 位元，其中位元數是指MCU 資料暫存器的寬度，而8 位元、16 位元多應用於家電及一般的控制領域，32 位元用於網路操作、多媒體處理、影像辨識處理的場合。
- 另外各開發商MCU 的輸出入I/O（Input/Output）接腳控制能力、A/D（類比/ 數位）信號處理能力不同，也會影響到使用者的系統開發與使用方便性。
- 表 1-1 為常用MCU 的比較表，本書以AVR 為核心的Arduino 為主。

1-3 微控制器（單晶片微電腦）

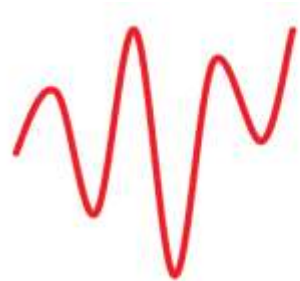
▶ 表 1-1 常用 MCU 比較表

資料暫存器 位元數	製造商	晶片型號（單板電腦名稱）	用途	
8 位元	Intel	MCS51 系列	適合較低階的應用，例如家電及一般的控制領域。	
	Microchip	PIC / PIC10、PIC12、PIC16、PIC18 系列		
	Atmel	AVR / AT90、ATmega 系列		
		51 系列 / 89S5x		
		Arduino（核心為 ATmega）		
	Parallax	BASIC Stamp（核心為 PIC 等）		
	盛群半導體	HT48F、HT66		
利基	BASIC Commander（核心為 HT48F70E）			
16 位元	Intel	MCS96 系列		
	Microchip	PIC / PIC24F、PIC24H		
32 位元	Microchip	PIC / PIC32 系列	適合高階的應用場合，例如嵌入式系統、網路操作、多媒體處理。	
	Atmel	AVR / ATXmega 系列		
	安謀	ARM		
	盛群半導體	HT32F（ARM Cortex-M3 Flash Type）		

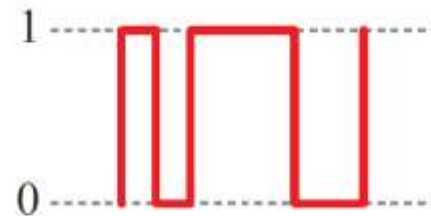
1-4 類比與數位訊號介面

1-4 類比與數位訊號介面

微電腦系統是以圖 1-4(b) 數位的方式儲存或運算資料，它只認識邏輯「0」與「1」，其訊號變化是非連續性的（不會隨時間變化而變化的量）；但是環顧生活四周，自然界的物理量例如溫度、壓力、光、熱、重量及電流等都是連續性變化的量，所有的訊號都是以圖 1-4(a) 類比的方式呈現。



(a) 類比訊號



(b) 數位訊號



圖 1-4 訊號種類

1-4 類比與數位訊號介面

物理量不是微電腦系統能直接使用的資料，所以要使用微電腦系統處理這些量，除了需要**感測器**（sensor）感應輸出類比訊號外，還必須經過**類比對數位轉換電路**（analog to digital converter, **ADC**），將一連串的類比信號轉換成數位信號後，微電腦系統才能將資料進行處理或儲存，整個微電腦物理訊號處理架構圖如圖 1-5 所示。

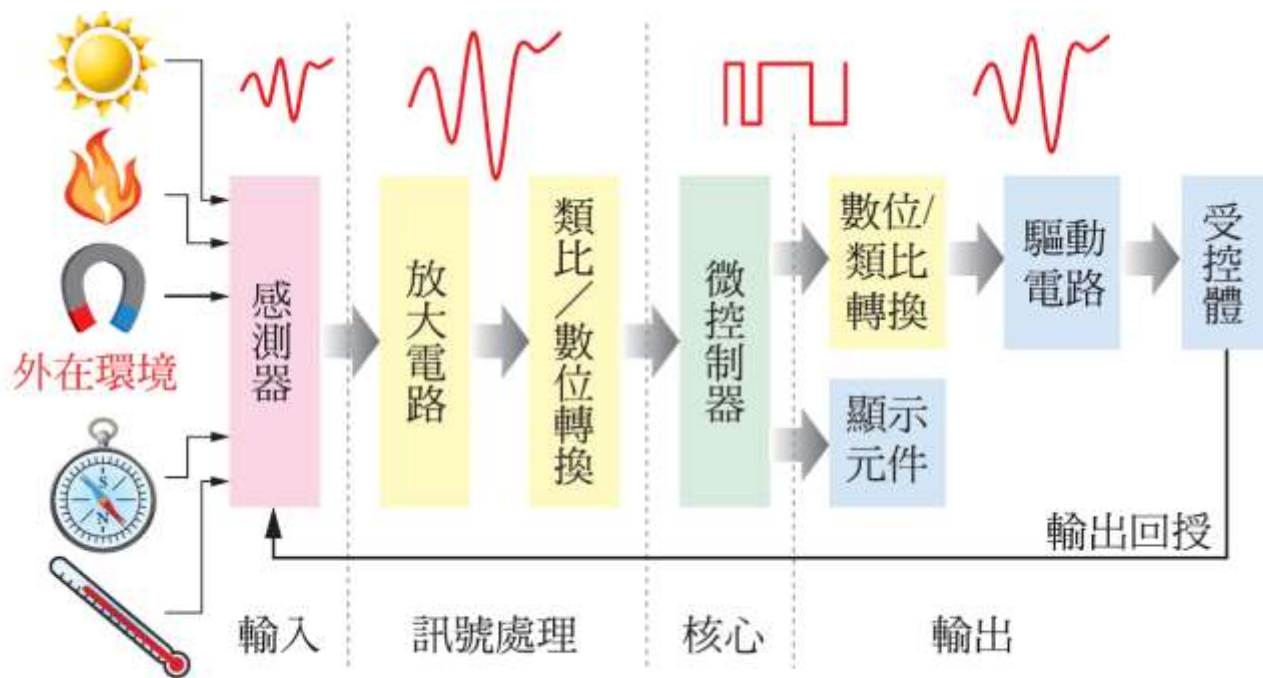


圖 1-5 微電腦物理訊號處理架構

1-4 類比與數位訊號介面

圖 1-5 所示為一般微電腦進行訊號處理的架構圖，主要分成輸入、訊號處理、核心及輸出四部分，其中受控體會回授訊號接至輸入，形成完整的閉迴路控制。以下針對圖 1-5 中一些重要的方塊進行說明。

一 感測器 (sensor)

感測器是指能將待測物理量或化學量轉換成電氣訊號的裝置或元件，有時也稱為感應器、察覺器、傳感器或轉換器，其中轉換後的電氣訊號可包含是位移變化、電阻變化、電壓變化、電流變化等，表 1-2 所示為實務上常見的幾種感測器，及其轉換後電氣訊號型態，無論何種，皆可透過電子電路取得，輸入至微控制器中處理。

1-4 類比與數位訊號介面

▶ 表 1-2 常見的感測器

類 型	感測器	電氣型態類型
溫度	熱敏電阻	電阻變化
	溫度 IC	電流變化
亮度	光敏電阻	電阻變化
磁場	霍爾 IC	電壓變化
壓力	壓力計	電阻變化
加速度	加速度計	電壓變化
距離	超音波或紅外線	電壓變化
一氧化碳瓦斯	氣體感測器	電壓變化
角度	電位計	電阻變化

1-4 類比與數位訊號介面

二 放大電路

放大電路的功能有二個：

1. 進行阻抗匹配
2. 放大輸出振幅

說明：由於感測器的輸出型態可能是電阻、電壓或電流的變化，因有些訊號非常微弱，故需要電路進行阻抗匹配，以避免負載效應，最後透過放大電路增加輸出振幅。

1-4 類比與數位訊號介面

三 類比／數位轉換器 (analog to digital converter, ADC)

1. 簡介：ADC 電路可將放大電路送來的類比訊號，轉換成可供 MCU 處理的數位訊號，有些微控制器例如 PIC、AVR、Arduino 內建 ADC 電路，使用上非常方便，至於沒有內建 ADC 的 MCU，例如 MCS51、BASIC Stamp、BASIC Commander，則需要外接 ADC 專用 IC (例如 ADC0804)。



1-4 類比與數位訊號介面

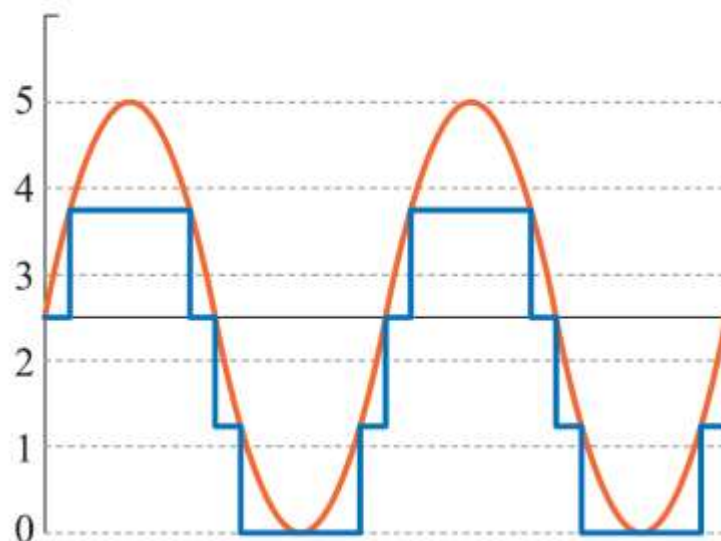
2. 由於類比量屬於連續變化的訊號，要轉成有限位元的數位訊號有精確度上的問題，例如滿刻度5V，使用2位元的ADC，其解析度為 $\frac{5V}{2^2}=1.25V$ ，即每一個數位數值變化，類比值有1.25V的變化，以此種低解析度的位元進行ADC，會有嚴重的失真問題，如圖 1-6 所示，其中類比值0~1.25V轉成數值0，類比值1.25V~2.5V 轉成數值1，類比值2.5V~3.75V轉成數值2，類比值3.75V~5V轉成數值3。

3. 若ADC 改為4 位元，其解析度變為 $\frac{5V}{2^4}=0.3125V$ ，情況有改善若改為8 位元，則解析度變為 $\frac{5V}{2^8}=19.53mV$ ，失真度降低，可逼近原來的波形，如圖 1-7 所示。

1-4 類比與數位訊號介面

數值	2 位元	類比值 (5V)
0	00	$0 \times \frac{5V}{2^2} = 0V$
1	01	$1 \times \frac{5V}{2^2} = 1.25V$
2	10	$2 \times \frac{5V}{2^2} = 2.5V$
3	11	$3 \times \frac{5V}{2^2} = 3.75V$

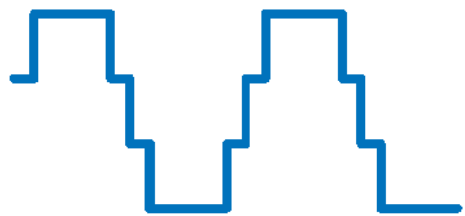
(a) A/D 值對照表



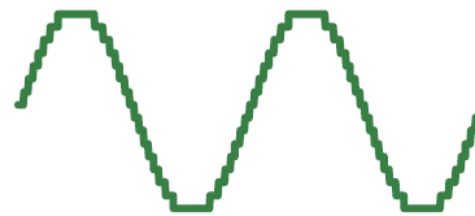
(b) 原波形與轉換後波形比較圖

➤ 圖 1-6 2 位元 ADC 解析度不足的影響

1-4 類比與數位訊號介面



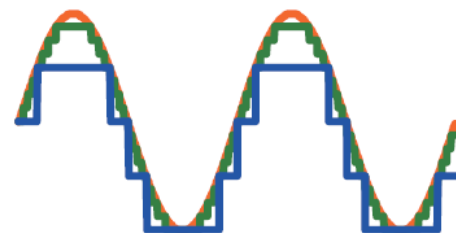
(a) 2 位元



(b) 4 位元



(c) 8 位元



(d) 重疊一起比較

➤ 圖 1-7 不同 ADC 位元的影響比較圖

1-4 類比與數位訊號介面

四 數位／類比轉換器 (digital to analog converter, DAC)

微控制器處理後的訊號為數位訊號，其輸出可直接連至同樣為數位處理器的周邊，例如LCD 顯示器；若是要接至加熱器、馬達等電阻性或電感性的周邊，則需要使用DAC 轉換成類比信號才能進行控制。數位系統中的DAC 方式有二種：

1. 採用DAC 專用IC 來處理，例如DAC08，處理後的輸出為類比信號，此種方式是DAC 最正規的作法，不過需接額外的電路處理。
2. 採用脈波寬度調變 (pulse width modulation, PWM) 方式，處理後的輸出為模擬類比信號，非真實類比信號。所謂的PWM 是指在一個固定的週期T 中，控制其正半週T1 大小來達成輸出平均電壓改變的目的，工作週期的定義為：

$$\text{工作週期} = \frac{T^1}{T} \times 100\%$$

1-4 類比與數位訊號介面

圖 1-8 所示為不同工作週期的示意圖，紅線代表該波形的平均值，將工作週期為25%的PWM 波形接至LED，則LED 的亮度會只有全亮時的1/4，同理，工作週期50%接至LED，LED 呈現半亮狀態；若將PWM 接至直流馬達，則可透過不同的工作週期控制馬達轉速。

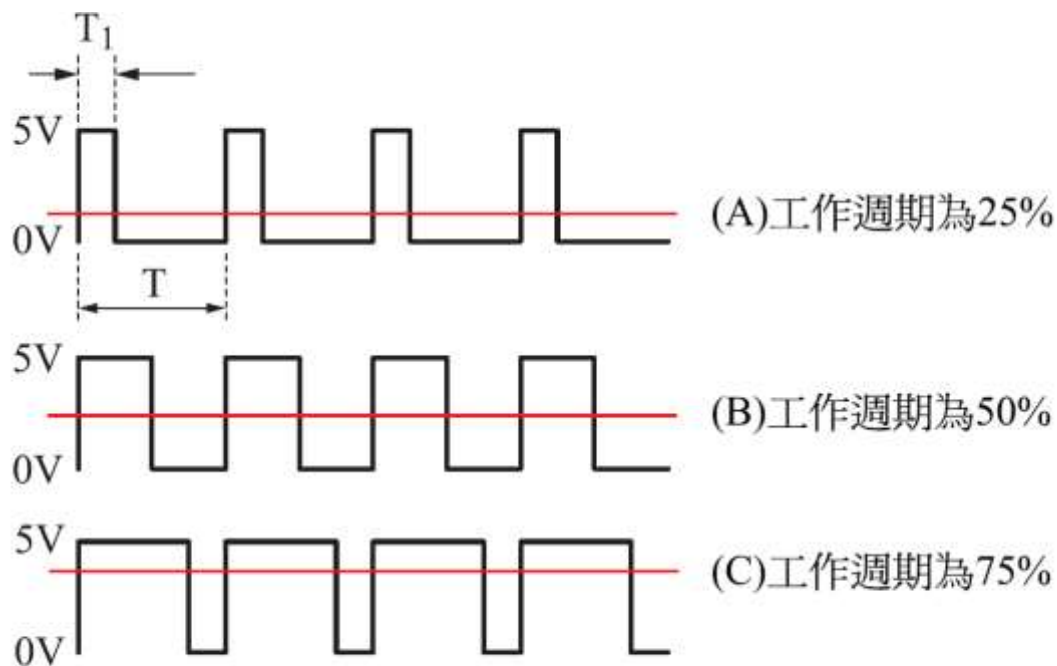


圖 1-8 PWM 示意圖

1-4 類比與數位訊號介面

五 受控體 (plant)

受控體是指受控制的設備或物體，例如冷氣、洗衣機，或是一些簡單的機電元件，例如LED、馬達、伺服機、電熱絲等。

