



作者：王崇飛 (1999-07-28)；修改：王崇飛 (2000-05-05)；核可：徐業良 (2000-05-06)。

附註：本文為元智大學機械系大四自動化機械設計實務課程教材。

類比數位資料轉換器 ADC(Analog to Digital Converter)簡介

一、工作原理

由於微電腦系統具備了快速運算、儲存資料的能力，在現今的機電系統中，微電腦所製作而成的控制器(controller)早已取代舊時純機械式或是電機機械式的控制機構。微電腦內部之訊號模式，皆為數位式訊號，即通常所謂的邏輯「0」或「1」，邏輯 0 代表低電位，通常在微電腦系統中為 0 伏特，邏輯 1 代表高電位，通常在微電腦系統中為 5 伏特。

然而在自然界中的物理現象，當予以數量化之後往往是呈現連續的類比訊號，因此若欲將外界物理量的變化量傳入微電腦中進行運算，或是要由微電腦輸出命令驅動裝置時，就需要將訊號進行轉換的處理，圖 1 即為一利用微電腦控制系統的機電裝置的資料訊息處理流程。

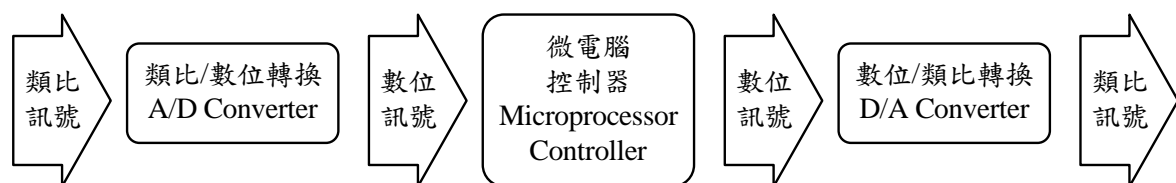


圖 1 資料訊息處理流程

ADC 類比 / 數位轉換過程可以用圖 2 表示，過程主要有兩項，首先要對欲轉換的資料進行取樣與保存(Sampling and Holding)，然後再將擷取到的資料加以量化(Quantization)，如此就完成了資料的轉換。其中取樣的目的是在於將原始類比資料一一擷取，因此取樣率(Sampling rate)越高則訊號越不易失真，亦即解析度越高；量化的目的則是在於將藉由取樣所獲得的資料以 0 與 1 的組合予以編碼，同樣的量化的位元數越高則解析度越高。

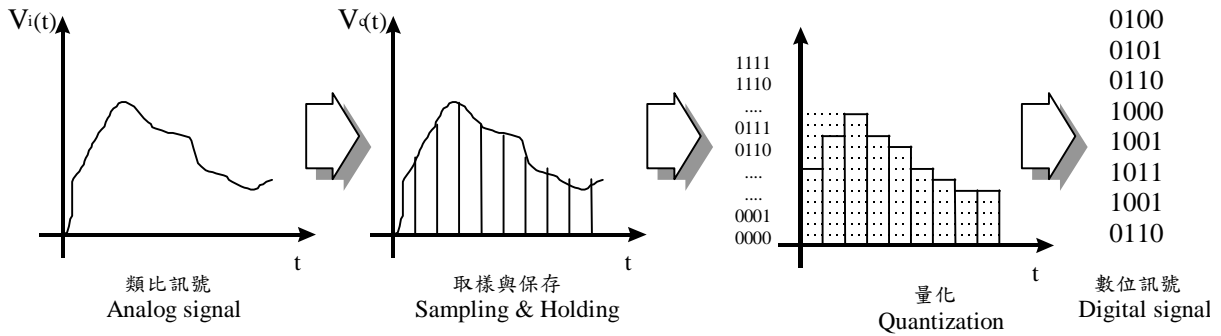


圖 2 類比/數位資料轉換

圖 3 則為 ADC 內部電路概念圖，在圖中開關 S 往復切換將輸入 V_i 訊號取樣，並且利用電容器 C 將取樣後的訊號加以保存，然而在下次取樣後電容器中的資料將會被更新，因此需要在下次取樣前將資料完成量化儲存至微電腦的記憶單元中。

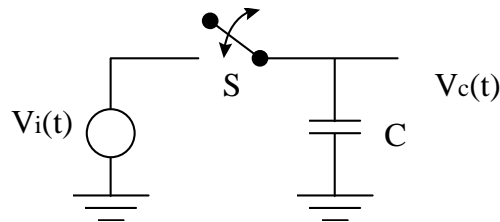


圖 3 ADC 取樣與保存電路概念圖

另一方面，為了要提高取樣率以及轉換的效率，在真實的電路設計上，往往利用多組的取樣—保存迴路，或是加上不同的比較電路至設計中，目前 ADC 大致有四類的設計，分別是：回饋型(feedback-type converter)、雙斜率型(dual-slope converter)、並聯型(parallel or flash converter)、以及電容充電型(charge-redistribution converter)，各類型 ADC 在轉換效能與單位成本方面均各有優缺點，例如就轉換速度而言以並聯型 ADC 速度最快，而以解析度而言則以雙斜率型 ADC 較高。

圖 4 為回饋型 ADC 的電路圖，圖中先將取樣後的訊號 V_c 以差動比較器產生正負變化的訊號，然後再以計數器將此正負變化的訊號記錄並輸出，而輸出的數位訊號再利用 DAC 轉換成類比訊號，與下一筆類比訊號作比較，如此就能將類比訊號一一的轉換成數位訊號，也正因為每一個轉換後的訊號會回饋至差動比較器與下一筆資料比較，因此稱為回饋型 ADC。

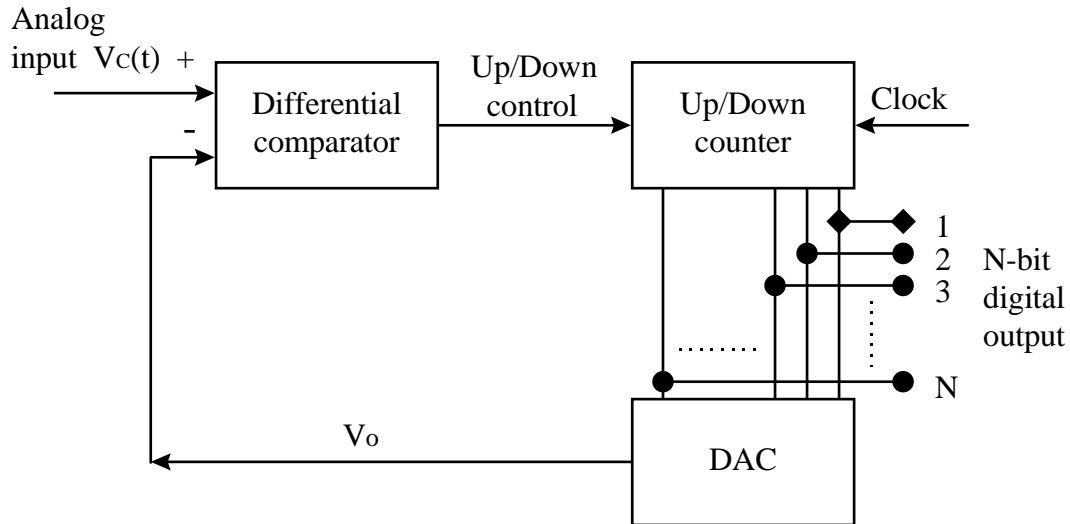


圖 4 回饋型類比數位轉換器

二、硬體配置

目前市面上不論是 ADC 或是 DAC 均有商品化的元件，一般稱為 AD 卡或 DA 卡(其實一般以兩者混合之複合產品居多)，在實務的應用上只需將 AD/DA 轉換卡插在 PC 的擴充槽，並將感測器訊號輸出端與 AD/DA 轉換卡輸入端連接，即完成硬體的安裝，接下來的工作只需利用程式驅動轉換卡讀取資料，便可以利用 PC 儲存資料，或是經由運算將資料列出圖表，當然也可以控制整個系統的運作。使用、選擇 AD/DA 轉換卡時，須注意以下幾項特性：

□ 訊號輸入極性

AD/DA 轉換卡的輸入訊號極性代表著其所能接受的訊號位準區間，不同的感測器輸出訊號有著不同的電壓位準，因此在系統選配上需注意盡量讓感測器的輸出訊號位準相近。

訊號極性可以分成單極性(unipolar)與雙極性(bipolar)，單極性代表所有輸入訊號介於 0V 至參考電壓 V_{ref} 之間，因此極性只有正電位；相對的雙極性意味著正電位與負電位同時存在，由於總參考電位差為 V_{ref} ，因此雙極性的輸入訊號介於 $-V_{ref}/2$ 至 $V_{ref}/2$ 之間。

□ 感測訊號輸入

依運算放大器之輸入方式而言，訊號的輸入可以分成反向、非反向、及差動輸入三種模式，相較於 AD/DA 轉換卡而言，電壓訊號利用多工器(multiplexes)之切換，依序將訊號送入運算放大器中，因此訊號也可分成兩種模式分別是 single end、以及 differential mode，其中 single end 就包含了 reference 及 non-reference。

如圖 5 所示為 single end 的電路模型，除了感測器正電位輸出端接至 AD/DA 轉換卡，其他各個端點均使用共同之參考電壓。Single end 由於所有訊號源使用相同的參考電壓，因此雜訊干擾的情形相當嚴重，一般採用的時機多半是為了節省 AD/DA 轉換卡接點，同時由感測器至 AD/DA 轉換卡訊號線之長度在 4M 以內，電壓訊號在 1V 以上，如此情況下 AD/DA 轉換卡才能有效的將雜訊與正常訊號加以鑑別。

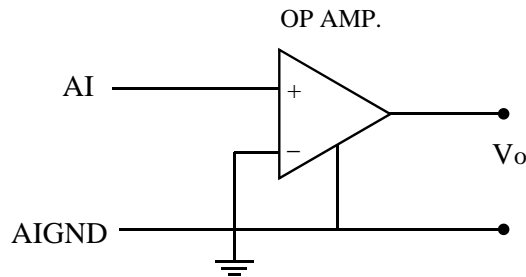


圖 5 Single End 電路模型

如圖 6 所示則為 differential mode，當傳輸距離較遠、訊號較弱、亦或需要抑制雜訊之產生，多建議使用此類接法，如圖所示 differential mode 接法係將感測器高電位與低電位均接至 AD/DA 轉換卡之輸入端，因此使 AD/DA 轉換卡所能讀取的感測器數目減少一半，同時 AD/DA 轉換卡只能設定為 differential mode 或 single end 其中之一。

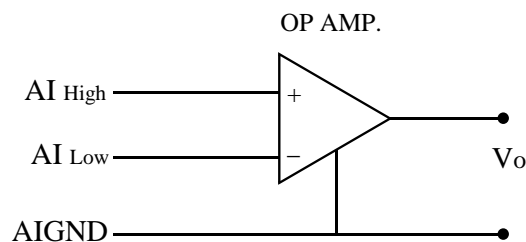


圖 6 Differential mode 電路模型

□ 訊號解析度(Resolution)

一般商品化的 AD/DA 轉換卡在 AD 部份的解析度有 12 bits 與 16 bits 兩種，電壓訊號在透過 AD 轉換後多少會有些許的失真，因此可以利用下式計算其解析度。

$$\text{Resolution}_{\min} = \text{device range} / 2^{\text{resolution}} \quad (1)$$

例如在式(1)中若感測器輸出訊號為單極性 0V 至 10V，同時 AD 部份的解析度有 12 bits，能夠輸入的最大電位差為 10V，此時只能將放大器的增益值(gain)設定為 1，則最小能解析的訊號為：

$$10 / 2^{12} = 2.44\text{mV}$$

若能改用輸出訊號為單極性 0V 至 5V 之感測器，則最小能解析的訊號增為：

$$5/2^{12} = 1.22\text{mV}$$

若選用較高解析度的 AD/DA 轉換卡（如 16 bits）也能大幅增進最小能解析的訊號範圍。如圖 7 所示，以前述同樣的單極性輸入條件下，最小能解析的訊號由 12 bits 時的 2.44mV 增進為 16 bits 時的 152.5 μ V (0.1525mV)。

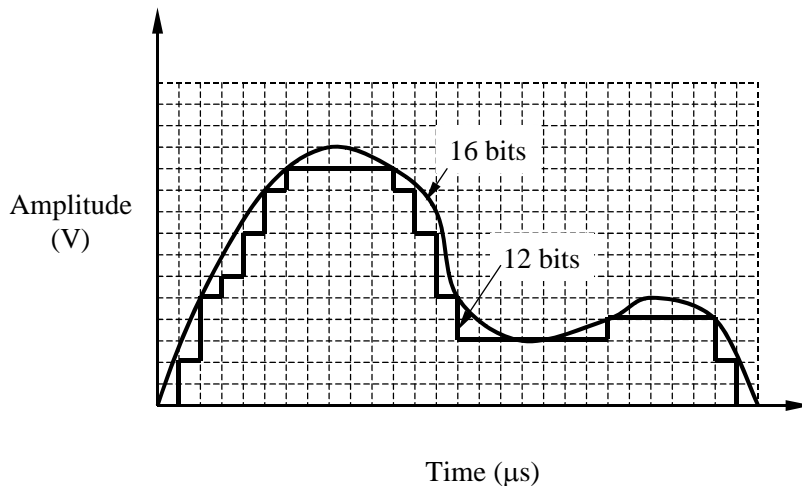


圖 7 解析度與訊號精確性

三、相關產品

目前市面上常見的三種 AD/DA 轉換卡品牌為：National Instruments (NI)、凌華科技 (ADLink)、以及研華科技(Advantech)，以下分別針對三種廠牌的特性與功能做介紹。

□ NI

NI 產品最大特色在於 AD/DA 轉換卡之所有硬體設定全部利用軟體切換，因此沒有短接器(jumper)與開關(switch)誤接的問題，在使用上也可省去反覆拆裝的麻煩，同時可搭配圖控軟體(Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench, LabVIEW)進行硬體功能測試及資料蒐集。此外由於 NI 為最早發展工程儀表之廠商，因此能提供之 Library 相當完善，對於工程應用有相當的幫助。

□ 凌華科技 ADLink

ADLink 為目前唯一解析度可以達到 16 bits 之本土化產品，同時也是唯一以 PCI 為傳輸界面之本土化產品，設計理念與 NI 相容，因此以 LabVIEW 所編撰而成的虛擬儀控程式可以完全相容，另一方面在價位上卻比 Advantech 更具有競爭力。

□ 研華科技 Advantech

Advantech 可能是目前國內各大專院校實驗室使用最廣泛之 AD/DA 轉換卡廠牌，主要利用 C 語言編撰之程式控制 AD/DA 轉換卡之存取，目前已有視窗版的驅動程式，因此在與其他套裝軟體的搭配上更為相容。

四、應用實例

在「工地及機車兩用安全帽衝擊實驗機」設計案例中，我們以加速規感測安全帽受到撞擊時產生的衝擊加速度，並以 ADC 將實驗資料由類比訊號轉換成數位訊號，再以 PC 將資料儲存並繪出圖表，圖 8 為案例之實驗結果加速度—時間圖。

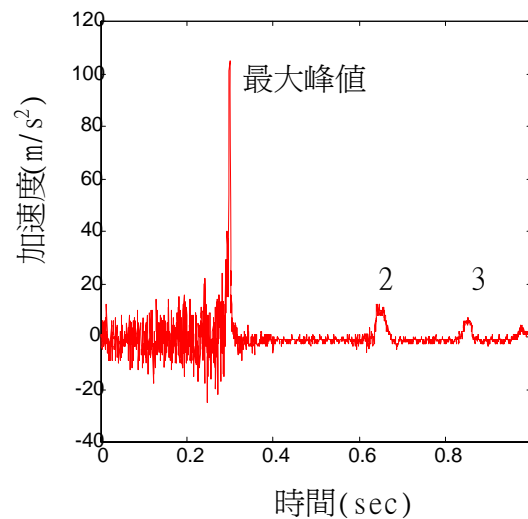


圖 8 衝擊加速度—時間圖

在本實驗中所用到的加速規，其原理主要係利用壓電效應原理，並且在加速規的設計上多了一組質量系統，這是由牛頓第二運動定律 $F = ma$ 而來，利用壓電效應或壓阻效應量測力量 F ，並與加速規之質量系統運算，便可以將力量轉換成加速度。

加速規在選用上應注意的要點首先要先確認實驗量測的範圍與頻率範圍，此外還要注意解析度以及輸入、輸出電壓，若是進行動態拋物的實驗，則需事先將所需的訊號電纜長度估算出來，以避免因訊號電纜長度不足而需追加或是拉扯加速規。一般加速規的規格可分為四個方面，分別是：動態性能、電氣規格、機械規格以及使用環境。

動態性能中包含了加速規的頻率範圍、量測範圍、解析度...等，電氣規格則包含了輸入輸出電壓、輸出阻抗、雜訊...等，機械規格則是提供安裝時所需的幾何尺寸、螺牙

規格以及感測元件材質（一般多為石英），最後在使用環境中則是提供環境的需求以及因環境而照成誤差的比例係數。

另一方面，加速規在裝置上也需注意是否與運動方向平行，同時也應注意加速規與待測物件間是否確實連結，圖 9 為加速規、電源供應器與 AD 卡接線圖。

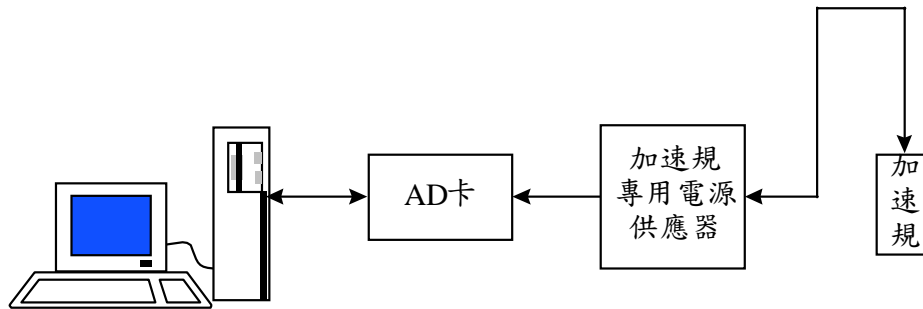


圖 9 系統接線圖

五、實驗設計

以 AD 卡擷取感測器感測器輸入訊號的形態有以下三種：

1. 電壓訊號輸入

一般 AD 卡的驅動程式內部均設計成參數式，也就是可以依照實際應用的場合修改程式中取樣時間、取樣範圍與解析度的設定參數，一般而言取樣時間可以取兩倍的訊號頻寬，例如人類聽覺頻寬為 2Hz 至 20kHz，因此 CD Player 之取樣時間便設計為 44kHz，如此便可以保證將整個訊號由最小值到最大值完全擷取下來。

2. 電流訊號輸入

一般感測器的輸出訊號除電壓訊號外，還有電流訊號，標準的國際規格為 4~20mA，最常見輸出為電流訊號的感測器為壓力感測器 (pressure sensors) 及流量感測器 (flow sensors)，由於市售商品化之 AD/DA 元件只能接受電壓訊號，因此針對電流訊號，必須額外利用界面電路將電流訊號先轉換成電壓訊號後才能利用 AD/DA 元件擷取。如圖 10 所示之電流-電壓轉換電路，由反向端輸入電流訊號，可以得到輸出電壓為 $V_o = -IR$ 。

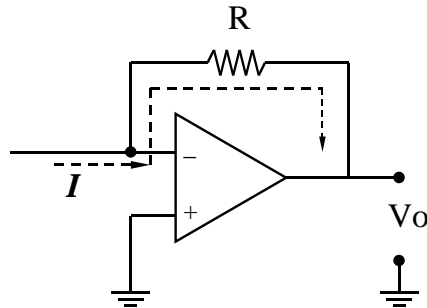


圖 10 電流-電壓轉換電路

3. 阻抗訊號輸入

最常見的阻抗訊號輸出感測器是電位計（電阻尺），由於阻抗訊號一般都可以利用分壓電路轉換成電壓訊號，因此在配置系統時需注意到阻抗匹配的問題，同時也要注意參考電壓的位準。

□ 實驗 1 電壓訊號輸入

利用訊號產生器(function generator)產生一頻率 1 kHz，振幅 1V 之 sine wave，先以示波器觀測訊號，然後分別以 single end、以及 differential mode 將訊號以 AD/DA 轉換卡擷取 10 ms 之訊號。

□ 實驗 2 阻抗訊號輸入

利用市售旋鈕式可變電阻器及光敏電阻，設計一分壓電路，將電阻器之 full scale 分割成 4096 個等分，並討論一下所選用之電阻器其線性度。

參考資料

1. Sedra, A.S., Smith, K.C., 1987. *Microelectronics Circuits*, Holt, Rinehart, and Winston.
2. *LabVIEW Basics Course Manual*, National Instruments, Feb. 1996.
3. *AT-MIO/AI E Series User Manual*, National Instruments, May 1996.
4. *Data Acquisition Basics Manual*, National Instruments, May 1997.
5. *PCL-818H High Performance Data Acquisition Card User's Manual*, Advantech Taiwan, May 1993.

6. *PCI-9114DG / 9114HG Enhanced Multi-Function Data Acquisition Card User's Manual*, ADLink Tech. Inc., Dec. 1998.
7. “常用線性 IC 資料手冊”，孫宗瀛、黃金定編著，全華圖書，82 年 9 月。
8. “LabVIEW 基礎篇”，蕭子健、儲昭偉、王智昱編譯，高立圖書，87 年 9 月。
9. “LabVIEW 進階篇”，蕭子健、儲昭偉、王智昱編譯，高立圖書，88 年 3 月。