



# 多軸伺服馬達控制器設計

萬能科技大學 電子工程系

## 摘要

本文介紹如何使用單一微控制器來設計一個多軸伺服馬達控制器，此控制器可提供七軸伺服馬達定位控制和一軸直流馬達正反轉與轉速控制。其中伺服馬達為一般遙控車用來控制方向的馬達而直流馬達則為一般常用的馬達，兩類馬達皆使用脈衝寬調變(PWM)來控制。本控制器也提供八個感測器輸入通道，每個通道分別對應到一個馬達，可以組成閉迴路用來調整與控制馬達。馬達與感測器之間工作模式有兩種，第一種是絕對模式，感測器值直接表示 PWM 值；第二種為相對模式，感測器值與感測器初始值相減後當作 PWM 調整量。感測器也提供反向與增益設定方便使用者安裝，所有馬達與感測器可以個別致能與除能。控制器採用串列方式送出 PWM 信號可以改善並列式 PWM 的缺點，此串列法可以比並列法更準確送出 PWM 信號且非常容易擴充到更多軸的控制。此外也介紹如何使用軟體來實現 I2C 與 UART 功能，讓沒有 UART 介面的 MCU 一樣可以有 RS232 功能，並設計 PC 人機介面以此通訊協定來控制本控制器。

關鍵字：RC 伺服馬達控制，PWM 脈衝寬調變。

## 一、前言

市售 RC 伺服馬達(Radio Control Servo Motor)，主要是利用脈衝寬來決定其旋轉的角度。一般規格是工作週期從 0.5ms 到 2ms，波形週期為 16ms~23ms；其中以 0.5ms 對應-90 度(逆時針)而 2ms 則對應+90 度(順時針)。此種馬達比較注重工作週期的精確性，而對波形週期則不要求其準確性，因此設計時必須注意工作週期寬度不可以讓中斷等事件干擾，否則會造成抖動現象[1]。

一般 RC 伺服馬達控制器大都沒有提供感測輸入功能，即使有也只是一或二個感測輸入而已，使用時往往需要另行購買或設計，造成使用者不便與困難。因此本控制器利用 MCU 內建的 ADC 功能提供八軸感測輸入，不但可以調整增益與方向，更可以與馬達連動組成閉迴路控制。這是一般 RC 伺服馬達控制器所沒有的功能。

此外所用 MCU 沒有硬體 UART 介面與主模式 I2C，本控制器皆以軟體方式實現之，大大降低 MCU 硬體需求。並提供通訊協定方便其他控制器與本控制器建立連接。

## 二、工作原理

本文共分六個部分來說明控制器設計的方法，依序分別為控制器方塊圖介紹、PWM 信號產生方法、軟體 UART 設計與通訊協定、感測器與馬達工作模式、記憶單元資訊意義，最後為結論。



## 2-1. 控制器方塊圖介紹

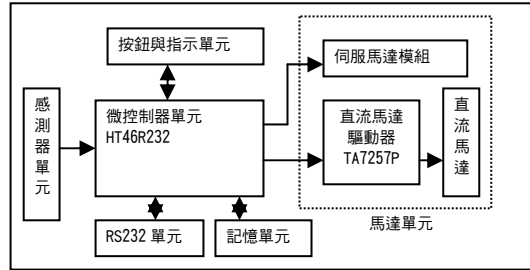


圖 1：控制器方塊圖

圖 1 為本控制器的方塊圖，共分六個部分分別敘述如下：

1. 微控制器單元使用一顆 HT46R232，工作頻率為 4MHz，負責整個系統運作。
2. 感測器單元為八通道類比電壓輸入，電壓範圍由 0 到 5V，經由 MCU 內部 ADC 轉換成數位信號後供控制器使用。本文使用 10K 可變電阻當作感測器輸入。
3. RS232 單元負責 TTL 到 RS232 電壓準位轉換，經由此單元將主機 (PC) 的信號送到 MCU 處理，處理後回傳到主機。由於使用的微控制器 (MCU) 本身無 UART 專屬介面，因此需使用軟體模擬 UART 介面，傳輸速率設為 2400bps，資料格式為 8, N, 1。
4. 記憶單元使用串列式電子抹除可程式唯讀記憶體 (EEPROM) 負責紀錄相關資訊，包括伺服馬達初始位置、伺服馬達致能狀態、伺服馬達與感測器工作模式、感測器致能狀態，感測器增益，感測器初始值以及紀錄各動作時馬達位置等資訊。
5. 按鈕與指示單元中按鈕接地後放開指示燈亮，可以使控制器進入 DEMO 模式，此時控制器會從記憶單元讀取所需動作值，並執行該動作直到碰到結束位置，指示燈熄滅。
6. 馬達單元中伺服馬達模組共有七個，由 MCU 送出 PWM 信號控制各馬達旋轉角度。而直流馬達驅動器則連接到直流馬達，MCU 同樣使用 PWM 控制此馬達轉速與正反轉。

## 2-2. PWM 信號產生方法

本控制器以串列方式送出 PWM 信號，先送出 PWM1 工作週期，等其做完後再送 PWM2 工作週期，以此類推。因此只要在工作週期時禁止中斷發生，就可以保證工作週期正確。產生波形如圖 2。

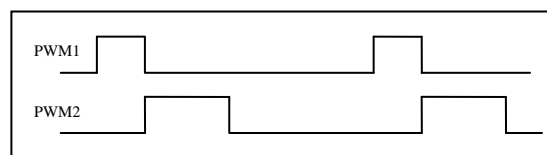


圖 2：各軸 PWM 波形

由於使用串聯方式產生，累加後雖可能超過波形週期上限 (23ms)，不過實作上並不影響旋轉角度正確性，此外為避免當只有少數軸動作時，會低於波形週期下限 (16ms)，本文累加各軸工作週期，不足時以延遲迴圈補滿。

第一軸到第七軸則使用伺服馬達，利用 IO 腳輸出 PWM 信號控制，而第八軸為一般直流馬達，使用 MCU 本身專屬 PWM 介面，因此只需設定 PWM 值即可，另外使用 TA7257P 做為直流馬達驅動器，是一顆控制小型直流馬達的單一橋氏驅動 IC。



為觀察實際 PWM 輸出情形，以孕龍公司提供的邏輯分析儀量測得到以下結果：圖 3 可知最小脈衝寬度為 627.139 $\mu$ s，週期為 65.192ms。圖 4 可知最大脈衝寬度為 2.687ms，週期為 77.421ms。

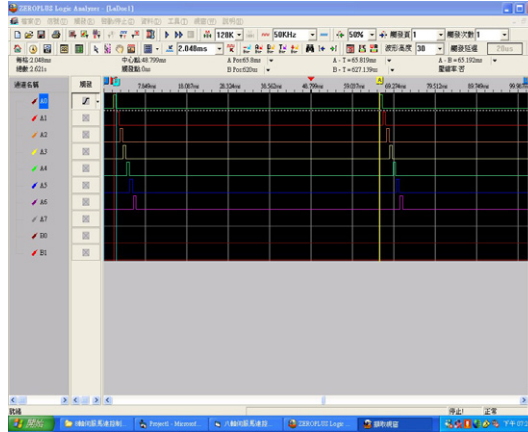


圖 3：最小脈衝寬度

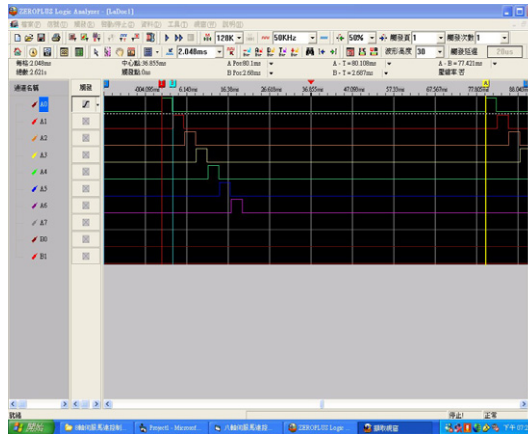


圖 4：最大脈衝寬度

### 2-3. 軟體 UART 設計與通訊協定

本控制器可由 PC 設定相關參數與控制各軸馬達動作，其與 PC 之間是透過 RS232 介面溝通，由於 MCU 本身沒有專屬介面，因此利用外部中斷接腳 (PA5) 與軟體來實現，其方法是當外部中斷腳收到一個負緣信號時 (RS232 的 start bit) 會產生中斷，此時中斷處理程式先禁止中斷避免再次被中斷，然後先延遲 0.5T，開始每隔 1T 接收一個位元，一共接收八個位元 (data bit)，接著延遲 1T (stop bit)，如此完成一個 byte 接收，最後重新允許中斷。T 為接收速率的倒數，此外本控制器命令長度為四個位元組，因此外部中斷處理程式每收完一個位元組將計數值 (Rcount) 加一，收完四個位元組後設定旗標 (RI=1)，通知主程式準備解釋命令。主程式發現 RI=1 後立刻解析命令，與清除 RI 旗標為 0。

通訊協定命令格式如表 1，檢查和是將前三位元組 XOR 後放入，可以用來檢查命令是否有效，藉以防止控制器誤動作。

表 1：命令格式

位元組 0	位元組 1	位元組 2	位元組 3
命令	馬達編號	值	檢查和



由於控制器必須在 PWM 期間禁止中斷，如果此時 PC 送來命令有可能沒有收到，因此本系統設計採用握手式交談協定，在 PWM 結束後利用 RS232 通知 PC 目前有空，此時 PC 則利用接收事件得知目前控制器有空，若有命令要送 (sendflag=true)，則立刻傳送到控制器。當控制器收到命令後，立刻回傳相同值到 PC，PC 藉此得知對方已收到命令，完成一次握手式交談。此外目前有空信號也可以讓 PC 得知目前控制器正常工作中。

同時為了解軟體 UART 接收與傳送情形，以孕龍公司提供的邏輯分析儀中 UART 分析功能得到以下結果：圖 5 為 PC 送來控制命令，圖 6 為送出控制器有空信號。清楚發現本控制器的軟體 UART 正確工作。

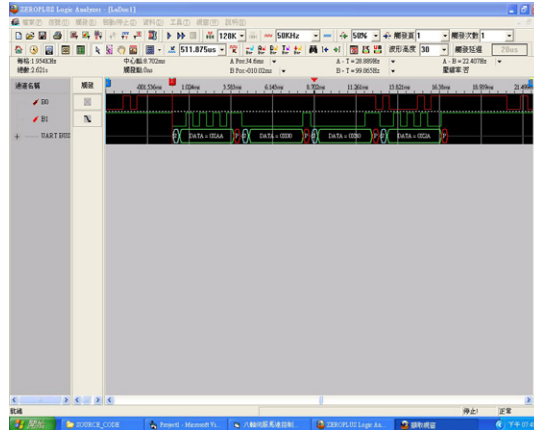


圖 5：PC 送來控制命令

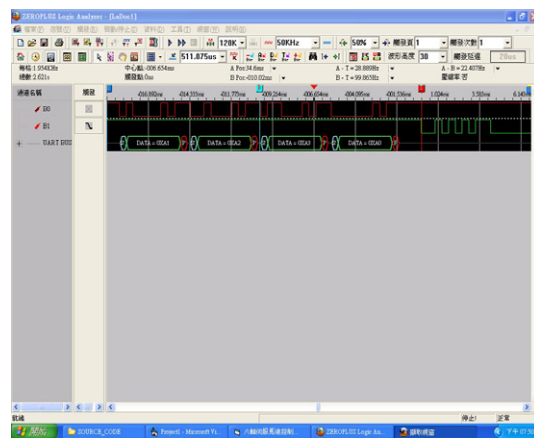


圖 6：控制器有空信號

## 2-4. 感測器與馬達工作模式

感測器提供控制器與外界溝通介面，讓控制器可以根據感測結果來調整各軸伺服馬達，本控制器提供以下方式調整，一、當馬達工作模式為絕對模式時，感測值經增益放大後即為該軸 PWM 值。二、相對模式時則是將感測值與初始位置相減後經增益放大當位移量，將此位移量與 pwm 初始值相加後當作新 PWM 值。此外也考慮感測器安裝方向提供反向開關方便使用。

本文利用 HT46R232 的八個類比轉數位通道將感測信號數位化，系統使用中斷方式完成所有通道轉換。由於一次只能轉換一個通道，因此每一次 ADC 中斷處理後須切換到另一的通道並重新啟動 ADC，所以感測器值放入變數 sensor[] 中。轉換時脈為系統時脈的 32 分之一，每次轉換需 76 個轉換時脈，因此若系統時脈為 4MHz，則轉換速率等於  $4M / (32 * 76)$  約為 1.644KHz 左右。



## 2-5. 記憶單元資訊意義

本控制器可以讓使用者紀錄不同動作的 PWM 值，本功能使用命令 (0xb7)，每個動作需 8 個位元組空間，儲存位址從 EEPROM 的位址 56 開始放，利用公式 ADDRESS=(index\*8)+56 算出儲存位址，紀錄後可以利用命令 (0xba) 做連續動作。為能動態調整連續動作的範圍，利用結束位址命令 (0xb9) 設定表示動作結束，只要位址的第一個位置放 0 則表示結束，最多可以儲存 25 個動作。

EEPROM 是使用 I2C 介面的 24LC02，容量為 256\*8bit。可以視需求改用更大容量如 24LC16。雖然 HT46R232 本身有提供 I2C 介面，但卻是 SLAVE 的 I2C 介面，因此本控制器使用軟體方法從 PA6 與 PA7 接腳模擬產生 I2C 所需讀寫時序，詳細時序參考 [2]。

## 2-6. 結論

本文所述控制器利用一顆八位元微控制器 HT46R232 完成七軸伺服馬達與一軸直流馬達 PWM 控制，提供八個感測輸入與馬達結合，可以以此完成閉迴路控制，並提供 RS232 介面方便使用者以通訊協定與控制器溝通。本文中所介紹的串列式 PWM 與軟體 UART 設計法及軟體 I2C，可以使微控制器在有限資源下做更多的功能，而不必遷就 MCU 本身的硬體限制，本控制器以最少的元件與硬體需求完成設計，充分發揮該 MCU 的內建功能。

## 2.7 參考文獻

1. "機電整合控制"，施慶隆、李文猶，全華科技圖書。
2. "HT46 系列微控制器理論與實習(C 語言版)"，李文昌，宏友圖書。

## 2.8 致謝

感謝盛群半導體公司提供 HT46 線上模擬器與孕龍科技股份有限公司提供 LAP-16128U 邏輯分析儀，使本控制器得以順利完成。

## 三、作品結構

硬體電路共分六個單元分別是，圖 7 為微控制器單元電路圖，圖 8 為馬達單元電路圖，圖 9 為記憶單元電路圖，圖 10 為 RS232 單元電路圖，圖 11 為感測器輸入單元與按鈕指示單元電路圖。

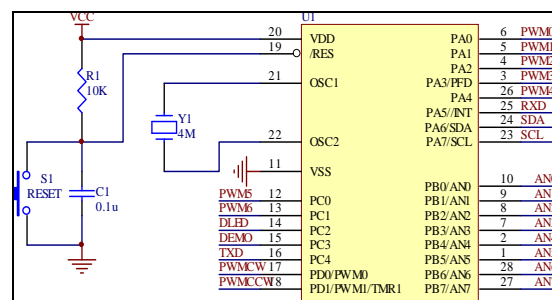


圖 7：微控制器單元電路圖



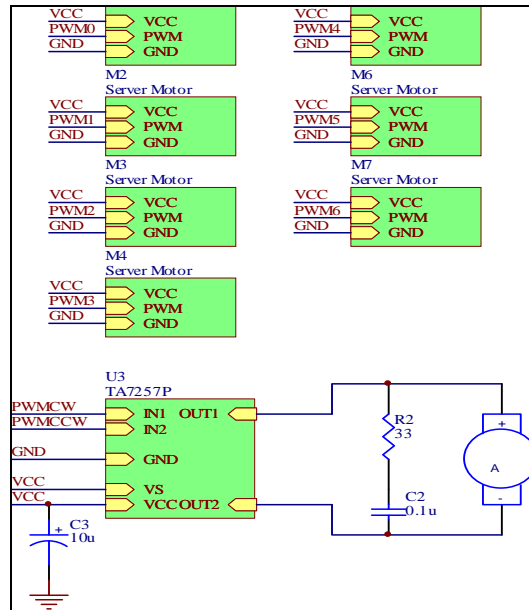


圖 8：馬達單元電路圖

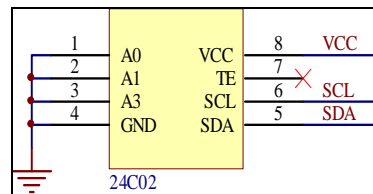


圖 9：記憶單元電路圖

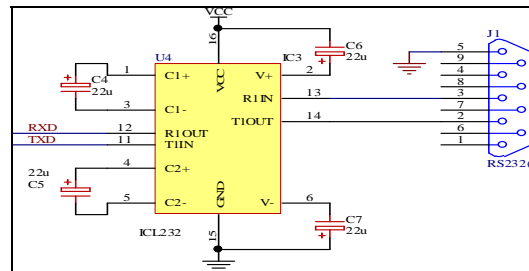


圖 10：RS232 單元電路圖

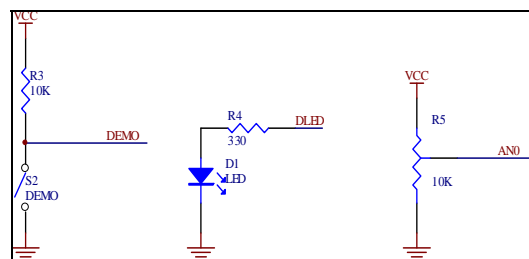


圖 11：感測器輸入單元與按鈕指示單元電路圖



#### 四、測試方法

1. 執行 PC 人機介面，設定工作參數包括：馬達致能與工作模式、感測器致能與方向增益設定。
2. 調整感測器(以電阻暫代)，可以觀察到伺服馬達運轉與感測器連動情況。
3. 關閉感測器使用人機介面送出角度控制命令，可以命令伺服馬達轉動到指定角度。
4. 調整各軸角度後可以下儲存單一動作命令，紀錄動作，最後下儲存結束動作完成訓練。
5. 按執行連續動作命令，會從第一個動作做到最後一個動作後停止。
6. 也可以按電路板上<DEMO>按鈕執行上述動作。