

三、四足機器人系統介紹

本章將介紹本實驗室自行研發之四足機器人(NCTU-CIDM-F4-2005，簡稱 NC-F4)之硬體及軟體架構。包括接續過去研究的機械結構、步進馬達、感測器、及驅動電路。以及重新設計架構作為輸入的控制系統。以及相關的控制程式原理及控制流程。

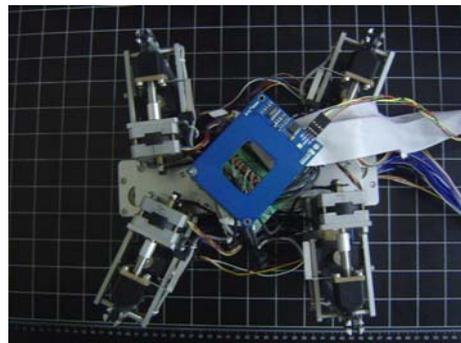
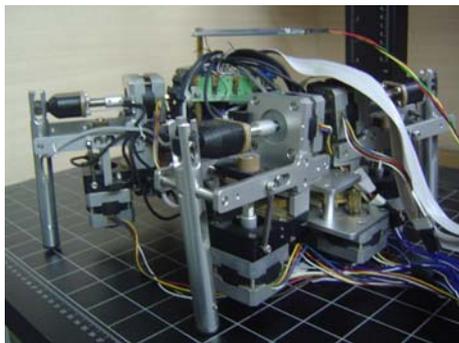
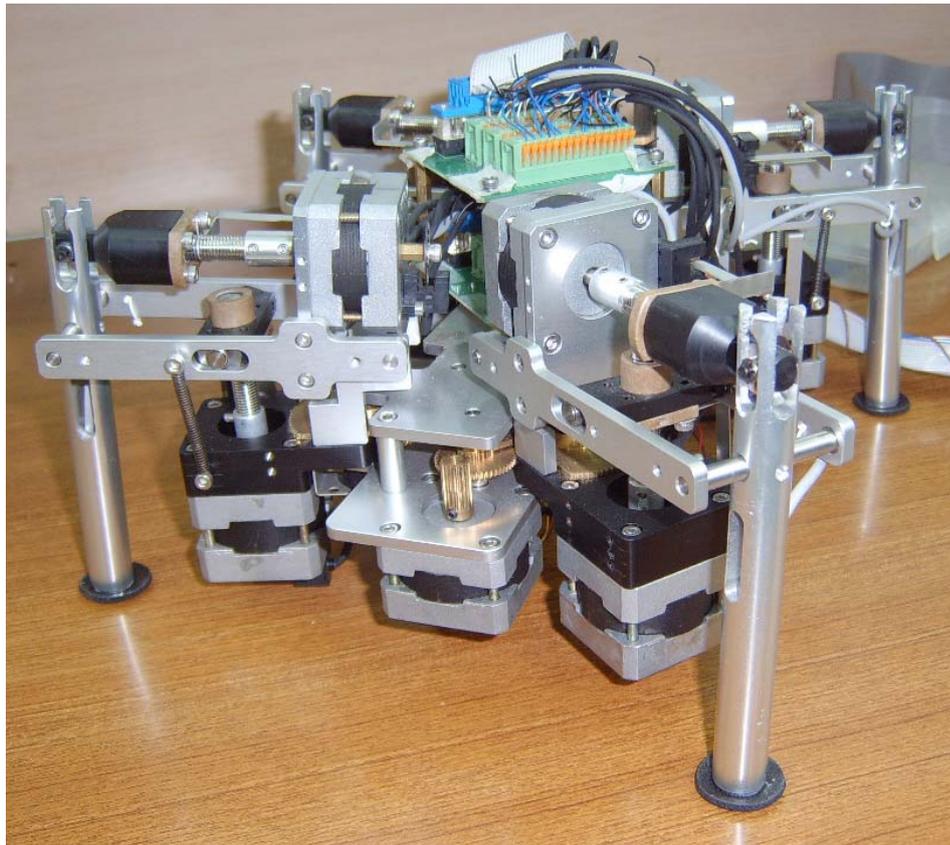


圖 35 機器人(NCTU-CIDM-F4-2005)之外觀

3.1 四足機器人控制架構

原 NC-F4 之控制架構如圖 36，是利用由 NI(National Instruments)美商

慧基所製作之數位式輸入輸出控制卡 DIO-96 I/O 控制卡作訊號輸入及輸出。控制卡是插入在電腦中，控制則藉由電腦撰寫程式下達訊息，指令利用 LabView (Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench) 的圖形化程式語言方式撰寫。主要由於程式設計簡單，訊號輸出輸入統一管理，方便監控。能於機器人建構初期，快速的達到系統控制目的。

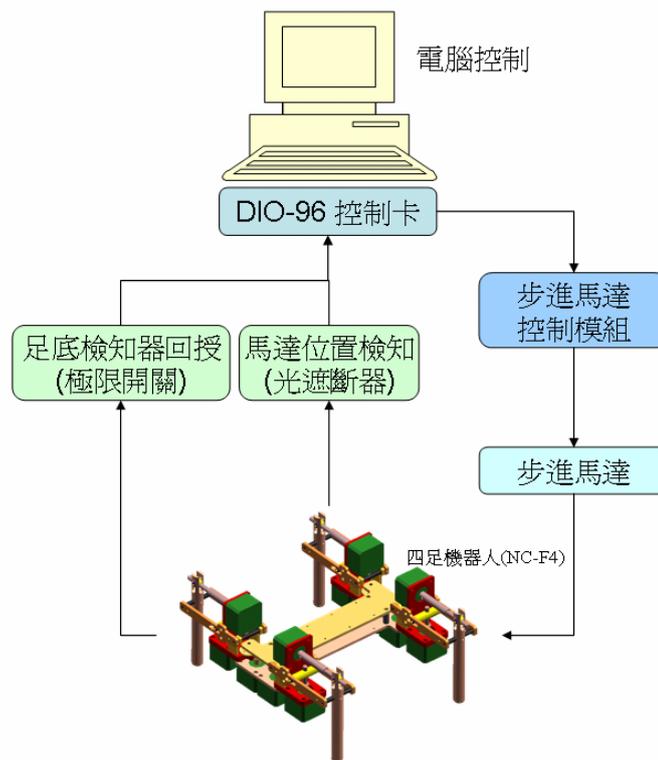


圖 36 原 NC-F4 四足機器人控制架構圖

本研究為了使機器人控制上更為靈活，採用新的控制架構，以利用單晶片微處理器代替電腦做控制核心的觀念進行研發設計。其目的在於能一方面使機器人具備脫離個人電腦而能獨立行走的能力，同時也還保留與電腦相連的控制方式，增加實用上的效果。因為舊有的控制方式雖簡單，但需針對每個步進馬達的 4 個腳位做不同方式的激磁，而 NC-F4 共有十二顆馬達，重複性的設定過多，造成簡單的動作都需要繁雜的控制。新的控制器針對此部份做直覺式的設計，預先將重複處理計算的部份程式化，使用者可較直觀的配合運動學計算，針對機器人各擺臂的運動角度做規劃，對於步伐設計研究是有利的。新的控制架構如圖 37 所示，除改變控制方式外，另外也增添了其它用於避障的感測器元件。

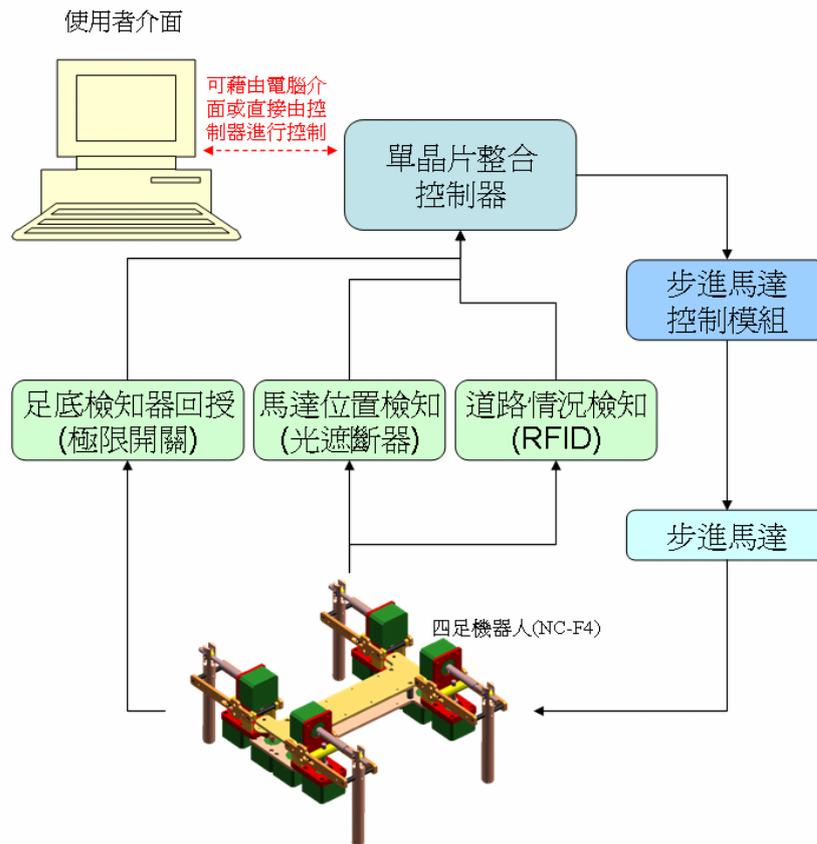


圖 37 改良後之 NC-F4 四足機器人控制架構圖

3.2 步進馬達與馬達控制模組

四足機器人(NC-F4)採用 TECO 之二相步進馬達作為驅動來源，其全步級為每一轉 200 步(單步 1.8°)。步進馬達的特點在於：

- i. 旋轉的角度和輸入的脈波數 (pulse) 成正比。
- ii. 由於線圈不移動也沒有會損耗的電刷 (Brush)，所以幾乎不需要對馬達內部做任何維護。
- iii. 步進馬達不論在啟動、停止或正反轉的應答性 (response) 都非常優越。
- iv. 由於沒有直流 DC 伺服馬達附有的電刷與整流元件，故其很牢固、磨擦少且省時。
- v. 控制較為容易，且價格較 DC 直流馬達便宜。

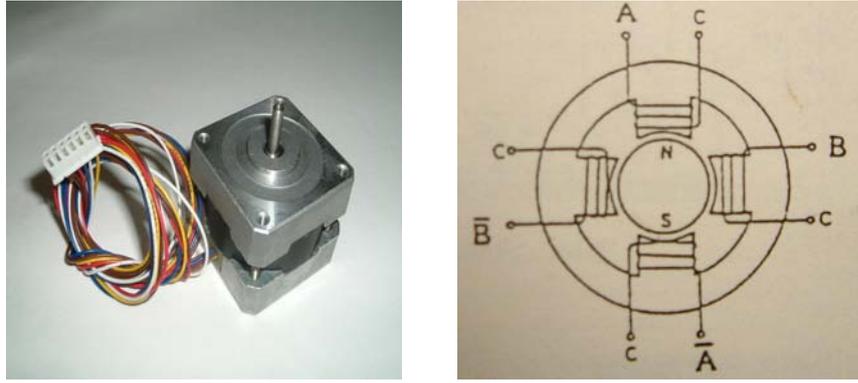


圖 38 步進馬達及其基本架構圖

3.2.1 步進馬達的激磁

步進馬達是透過激磁順序的變化使其轉動。二相步進馬達的激磁方式主要分為三種，一相激磁、二相激磁及一一二相激磁。一相激磁如圖 39 所示，是指每次有一個線圈通過電流，因此轉矩較小、振動因此較大，其優點在於消耗的電力小。

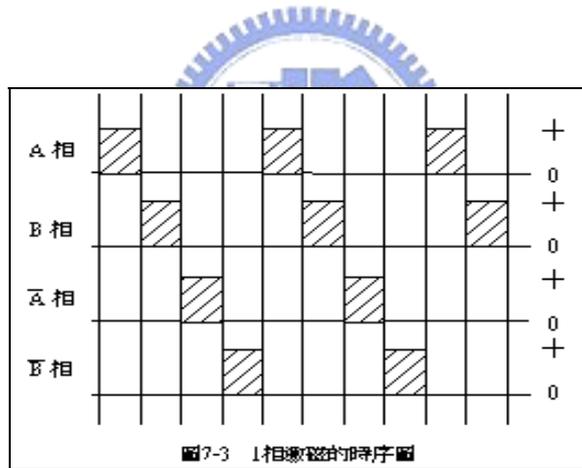


圖 39 步進馬達一相激磁示意圖

二相激磁則是每次使二個線圈激磁，因此轉矩比一相激磁來的大、振動變小，是目前使用最多的方式。

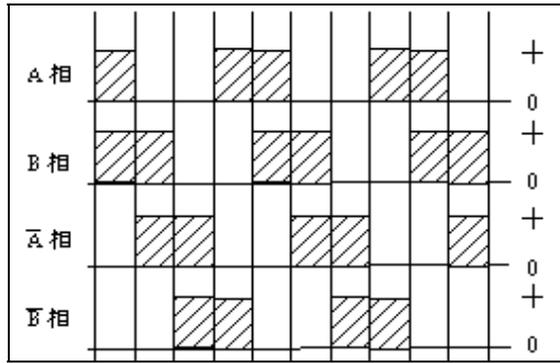


圖 40 步進馬達二相激磁示意圖

一一二相激磁(半步激磁)是輪流進行一相和二相的激磁，轉動時會出現半步，因此解析度比上述兩種提高一倍，且運轉平順。

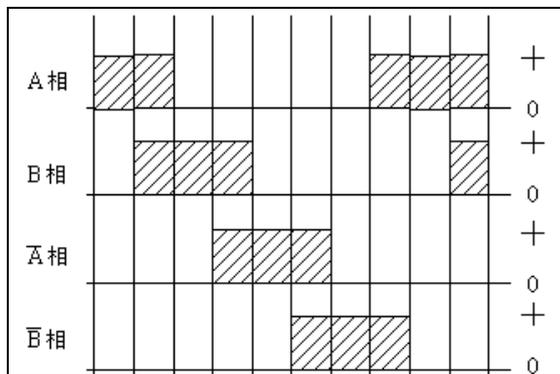


圖 41 步進馬達一一二相激磁示意圖

3.2.2 步進馬達控制電路模組

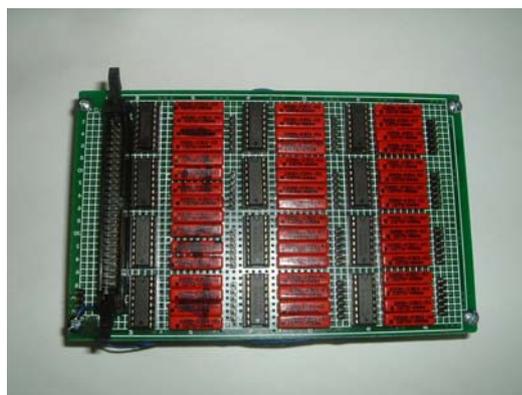


圖 42 步進馬達控制電路模組外觀

馬達控制模組目的是建立控制系統與馬達間的連線，將晶片輸出至馬達的訊號進行放大。由於一般的 I/O 控制卡或是單晶片，控制時提供馬達

的僅是電壓訊號的輸出，能流出的總電流過小，若直接連接步進馬達將無法產生足夠的激磁力推動。且目前使用之步進馬達輸入電壓為 12V，晶片控制訊號為一般電子元件標準的 5V。因此，在控制器與步進馬達間利用此電路模組。以 ULN2003A IC 及 1A(安培)之繼電器(Relay)來改變控制電壓，並增加電流的輸出。

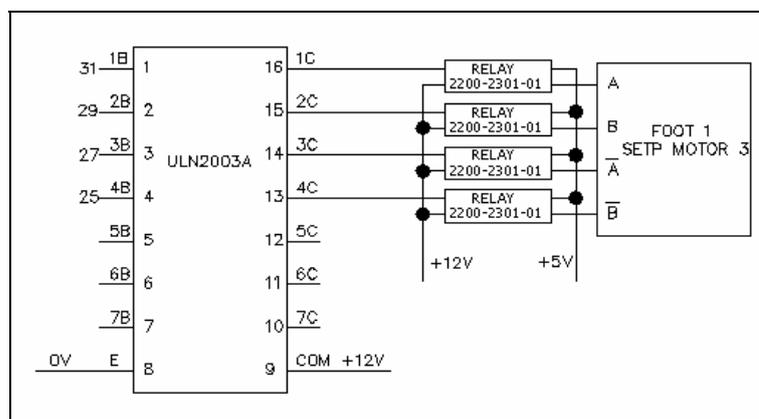


圖 43 單一馬達控制電路圖

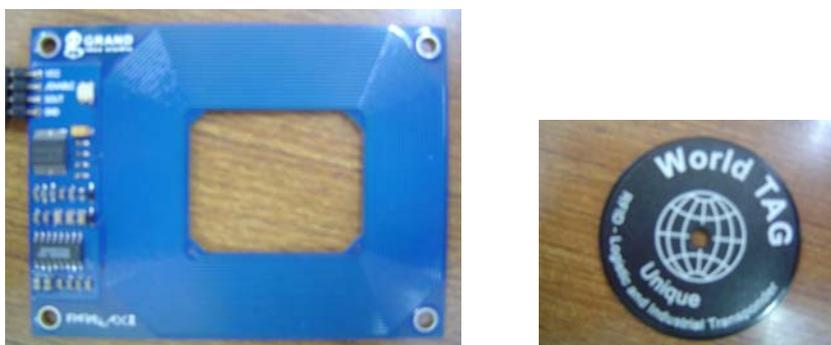
3.3 無線射頻辨識系統 (Radio Frequency identification)

無線射頻辨識系統(Radio Frequency identification，縮寫 RFID)。無線射頻辨識技術的基本原理很簡單，是把電路裝在未通電〈或稱被動式〉的標籤上，既不需要電池，也無需維修。當讀取機從一段距離外間歇發射能量給標籤時，標籤上的電路即可通電，與讀取機交換訊息。標籤基本上是在一塊矽晶片上加裝簡單的天線，然後以玻璃或塑膠組件封裝。

標籤的運作根據幾個不同的因素而異，尤其是其作用頻率。早期的無線射頻辨識標籤只能在 13.56 百萬赫茲或更低的頻率下作用。這類標籤仍是今日的主流，但它們與讀取機之間的距離通常必須小於一公尺，而且可辨識度相當差，讀取機無法快速區分出堆在一起的大量標籤。

實驗利用 RFID 的辨識功能，於機器人身上裝置讀取機，而不同的道路上給以不同標籤，以類似交通號誌牌的方式即時給與機器人道路資訊。這裡採用 Parallax 公司之產品，其外型如圖 44 所示，表 5 列出讀取機的各接腳功能。讀取機可從標籤讀取 12 位元組的 ASCII (American Standard Code for Information Interchange，美國資訊互換標準代碼) 訊號，以串列傳輸方

式，從第 3 隻接腳將訊號傳回給控制器，讓機器人配合著轉換步伐進行避障。



(A) 讀取機(RFID Reader Module) (B) 標籤(RFID tag)

圖 44 無線射頻辨識系統(Radio Frequency identification)

表 5 RFID Reader 各接腳功能

Pin	Pin Name	Type	Function
1	Vcc	P	System power, +5V-DC input
2	/ENABLE	I	Module enable pin. Active LOW digital input. Bring this pin LOW to enable the RFID reader and active the antenna
3	SOUT	O	Serial Out. TTL-level interface, 2400bps, 8 data bits, no parity, 1 stop bit.
4	GND	G	System ground. Connect to power supply's ground (GND) terminal

Note: Type: I = Input, O = Output, P = Power, G = Ground

3.4 單晶片整合控制器

微電腦硬體結構包含中央處理單元、記憶體單元、輸入單元與輸出單元等四個主要單元，其結構關係則如圖 45 所示。

其中，中央處理單元則是由運算單元與控制單元兩部分所組成的單元，即是一般所通稱的 CPU(Center Processing Unit)，此為微電腦最重要的部分。

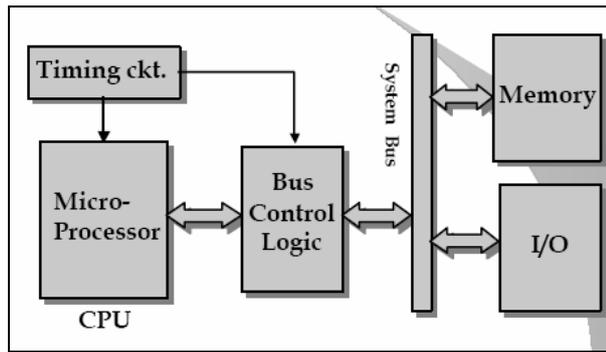


圖 45 微電腦基本架構

以下就微電腦中各單元的功能做簡單介紹：

- i. 運算單元(Arithmetic Logic Unit，簡稱 ALU)：運算單元又稱為算數邏輯單元，在中央處理單元中可用於執行算數運算，(如：加、減、乘、除等)，以及邏輯運算(如：AND、OR、NOT 等)，能將記憶體單元或輸入單元送至中央處理單元的資料執行各種運算。當運算完成後再由控制單元將結果資料送至記憶體單元或輸出單元。
- ii. 控制單元(Control Unit，簡稱 CU)：此單元在中央處理單元中，負責協調與指揮各單元間的資料傳送與運作，使得微電腦可依照指令的要求完成工作。在執行一個指令時，控制單元先予以解碼(Decode)，瞭解指令的動作意義後再執行(Execute)該指令，因此控制單元將指令逐一執行，直到做完整個程式的所有指令為止。
- iii. 輸入單元(Input Unit，簡稱 IU)：此單元是用以將外部的資訊傳送到 CPU 做運算處理或存入記憶體單元，一般在為電腦的輸入單元有鍵盤、磁碟機、光碟機、滑鼠、光筆、掃描器或讀卡機等週邊設備。
- iv. 輸出單元(Output Unit，簡稱 OU)：此單元是用以將 CPU 處理過的資料輸出或儲存傳送外部週邊設備，一般在微電腦的輸出單元有顯示器、印表機、繪圖機、燒錄機或磁碟機等週邊設備。
- v. 記憶體單元(Memory Unit，簡稱 MU)：記憶體單元是用來儲存輸入單元傳送來的資料，或儲存經過中央處理單元處理完成的資料。記憶體單元之記憶體可分為主記憶體(Main Memory)與輔助記憶體(Auxiliary Memory)兩種，而主記憶體依存取方式不同，又可分為唯

讀記憶體(Read Only Memory, 簡稱 ROM)與隨機存取記憶 Random Access Memory, 簡稱 RAM)。ROM 所儲存的資料, 在微電腦中只能被讀出但不能被寫入, 也不會因為關機斷電而使資料流失; 至於 RAM 在微電腦中, 則可被讀出或寫入資料, 但在關機斷電後儲存於 RAM 中的資料將會流失。輔助記憶體則是指磁片、硬碟或磁帶等週邊硬體, 一般亦為輸出入單元, 主要用來彌補主記憶體的不足, 其容量可無限制擴充。

而將以上所述組成微電腦系統的要件包含在一個晶片內, 這個晶片就稱之為單晶片微電腦 (single chip microcomputer), 由於工業上常用單晶片微電腦來當控制器, 所以也稱之為單晶片微控制器(single chip microcontroller)。採用單晶片微電腦的好處在於:

- i. 體積小: 將微電腦的結構濃縮於單一晶片內, 使產品輕薄短小, 減少空間使用。
- ii. 可靠度良好: 依工業控制的要求設計, 抗雜訊干擾能力高。
- iii. 電路偵錯時間短: 內部已包含於晶片中, 外部只需少許零件及可動作, 節省硬體電路偵錯時間。
- iv. 價格低廉: 相較於以電腦控制, 一顆晶片的成本遠小於此。

NC-F4 的控制器架構如圖 46, 採取利用多顆晶片分工處理的設計, 四隻腳中, 每一隻腳各使用一顆 89C51 晶片, 一方面控制脈波數量、頻寬的運算輸出, 用來處理各馬達的激磁相位變化。另一方面接受感測器訊號, 進行獨立的運算、判斷, 讓機器人的步伐適應於各種非平整地形。中央則由一顆 BASIC Stamp 晶片做管理, 負責步伐規劃數據的執行。使用上直接由 BASIC Stamp 發出主要的運動控制命令, 然後分配給各足去執行, 遇到非平坦, 傾斜地面等問題, 由各足之 89C51 晶片自行解決、判斷。優點有, 設計上直接對運動參數做控制, 而非對 IO 訊號做處理, 在進行步伐規劃時, 數據能夠延用不需先做處理, 較為直覺。以上而下兩種命令層級進行分工, 不但分擔計算量, 且能對於一般問題作自我判斷, 成為一種有效的管理機制。控制器可直接架設於機器人上, 減去訊號線累贅, 更接近實用層面一

步。

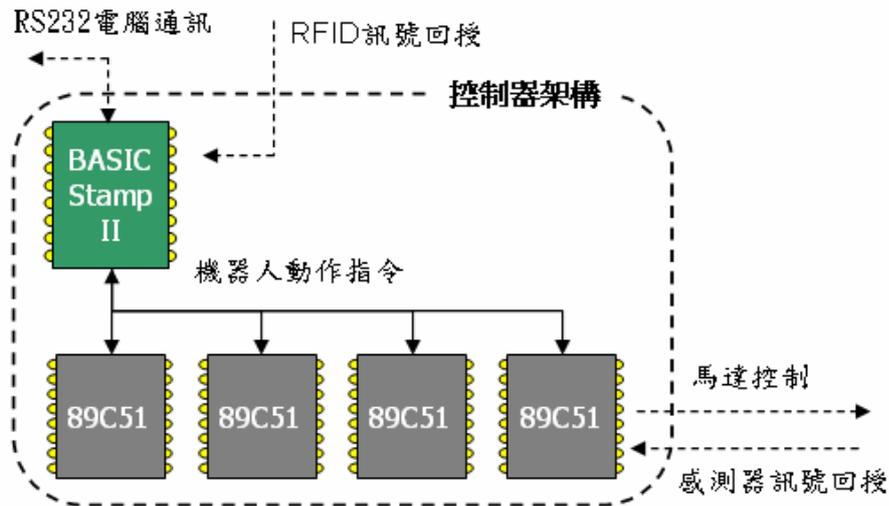


圖 46 控制器結構圖

3.4.1 單晶片 89C51

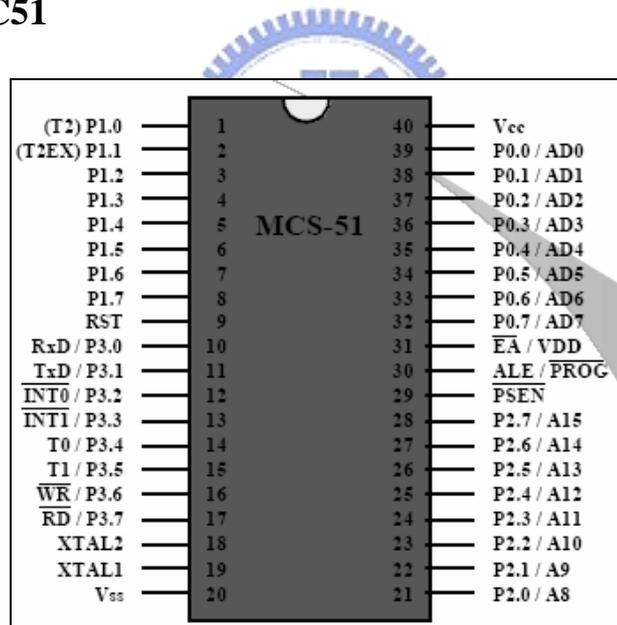


圖 47 89C51 接腳功能圖

89C51 與常見之 8051 同為 MCS-51 系列的晶片，本研究採用的 89C51 為 ATMEL 公司所開發的晶片，特色是採用 Flash Memory 做內部的程式記憶體，具有可重複清洗、燒錄一千次以上的能力。選擇此系列產品的主要原因在於其開發時間久，經二十多年使用，產品成熟穩定。因此價格低廉，單一晶片價格在百元以下。數學運算上有乘、除指令，並有高階語言及發

展系統支援，其週邊系統多且便宜，相關資訊充足，容易上手。目前晶片的工作頻率在使用 12MHz 之石英震盪器情況下，單一指令時間為一百萬分之一秒。記憶容量 2K 位元組，通用 I/O 共 32 個，其中 8 個為特殊用途。用於控制機器人單足機構上的三顆步進馬達以及多個感測器裝置，數目足夠。

3.4.2 整合型晶片 BASIC Stamp

BASIC Stamp 控制器，由於具有非常簡易的開發環境，功能以及使用介面非常友善，是目前國外十分受歡迎的微處理器，它有幾項主要特色：

功能強，操作簡單，應用整合領域廣的微處理控制器晶片。可支援涵蓋所有機器人的應用範圍包括各式感測器，馬達與控制器，機器人套件，通訊與無線應用領域。

1. BASIC Stamp 微處理器整合 PLC (Programmable Logic Controller，可程式化邏輯控制器)，多工控制器及單晶片的處理功能，具備 Visual Basic、Java、Assembly 等語言編譯功能，但處理速度及記憶容量無法與專業的單晶相比。另可免除使用單晶片系列工作時所需的週邊裝置，如模擬器，燒錄器等。
2. 完全 Windows 環境下開發與編譯，有支援 Win95/98/NT/2000。具備 EEPROM (電子式可抹除可編程唯讀記憶體)，最多可支援四千行指令(8 x 2K Bytes)；處理速度可達每秒 12000 行。
3. 超過百種產品支援，都有線路圖與範例程式，例如機器人周邊裝置種類齊全，包括各種感測器，無線通訊裝置，影像/音校卡，液晶顯示，各種工業應用電子電路卡，馬達控制等。
4. 有非常詳細操作手冊、範例程式與電路圖說明。使用方法簡單，只要將晶片插在電路板上後，對應接腳、電源輸入與通訊埠接上，馬上就能使用。

BASIC Stamp 有別於一般單晶片微電腦，是由多個晶片結合而成的整合型晶片。本研究採用的為 BASIC Stamp 2 型號，以下簡稱 BS2。其核心

採用了 PIC16C57 的單晶片，出廠時已將 PBASIC 2 編譯器，放進單晶片內。程序執行速度達到每秒五百萬句，執行 PBASIC 語句的時候可達每秒三、四千句。

PIC16C57 單晶片共有 20 個 I/O，BS2 提供 16 條為通用 I/O，2 條 I/O 連接電腦通訊，二條與 EEPROM 連接通訊。通用 I/O 編號為 P0 到 P15，可連接所有 5V 的 TTL(Transistor-Transistor Logic)或 CMOS(Complementary metal-oxide semiconductor)。所有通用 I/O 可以用作輸入或輸出，由 BASIC 語句所設定。每個 I/O 在輸出"0"時流入電流最大是 25mA，輸出"1"的時流出電流最大 20mA，總流入電流不可超過 50mA，流出不可超過 40mA。

BS2 上內置永久性的 PBASIC 程序編譯器，不能接收由個人電腦下載的 PBASIC 原始程式，所以需要外接一片 EEPROM。EEPROM 應用上，需要較長的時間才能將 PBASIC 由個人電腦寫進去，寫入的次數大約一千萬次。電源供應利用 S-81350HG 5V 穩壓器，這器件的輸入電壓範圍由+7V 至 15V 都可以輸出穩定+5V 電源。而且本身消耗的電流很少。最大可以提供的輸出電流為 50mA。由於 BS2 本身沒有鍵盤和顯示器，所有的操作利用 RS-232 介面與電腦進行通訊進行軟體操作。

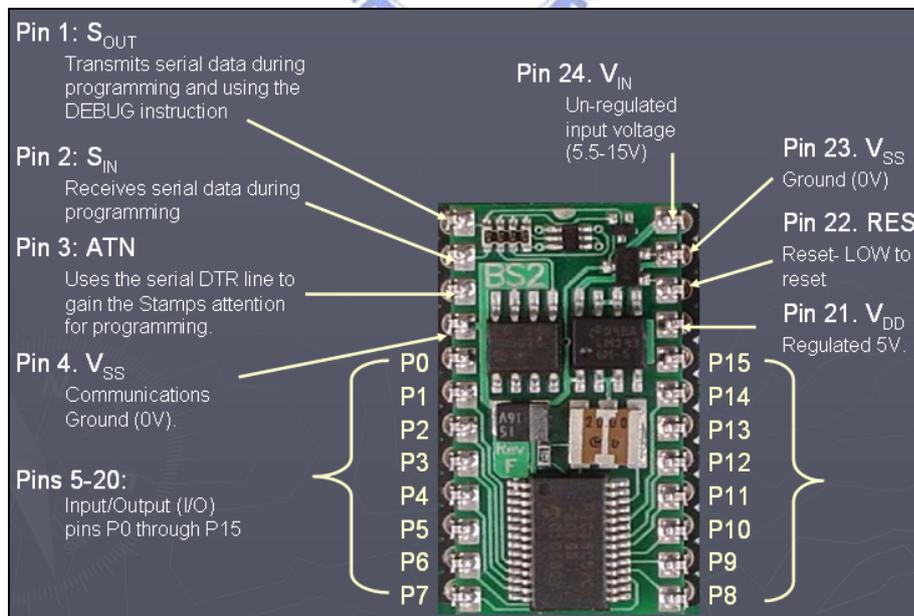


圖 48 BASIC Stamp 2 接腳功能圖

3.5 NC-F4 四足機器人控制程式

微算機的控制，通常是使用程式語言。常見的有 Assembly、C、Basic... 等。主要依照使用者的要求來選擇，有各自適合的用途。C 語言是十分普遍使用的語言，指令繁多，語法可以近於人性，使閱讀容易。但編譯上較複雜困難，造成執行速度下降，是一大缺點。主要應用於傳播討論，以及繁雜困難的數學演算。Assembly(組合語言)，語法構造單調，指令簡單而少。由於接近機械碼(可人工直接編譯)，組譯後執行速度佳，適合工業為單一用途，而大量生產來使用。BASIC 居中，有基本的流程指令，但沒有 C 語言物件導向觀念和給予使用者方便的各種進階指令。BASIC Stamp 2 顧名思義採用 BASIC 語言撰寫。其從燒錄到執行只需電源及傳輸線，特點是採用直譯(interpreter)方式。並非一次編譯完成再執行，而是單行逐步執行，雖然因此執行速度較慢。但能與使用者建立如同交談般的互動效果，在偵錯及測試上十分方便，適合新產品開發之用。

NC-F4 的控制，主要重點在控制馬達的運轉，使各足依目標曲線運動。步進馬達的控制方式如同控制跑馬燈一般，使控制的訊號正或逆轉，連續輸出不同頻寬的脈波，便能使步進馬達轉動。但在機器人運動控制時，需要速度及加速度的變化，使運動的軌跡圓滑，此時就需要對訊號的長短和延遲的時間做細部調整。程式利用 89C51 內部的計時器，在每隔一固定時間發生中斷來調整輸出訊號。

以直行步伐為例，這裡以第一隻腳的軌跡作範例討論，其它各足的結果只有方向的正負部份相異。座標圖圖 49 為第一隻腳在直行時同 2.5 節所述的相對座標(Ref-Traj 線段)與以重心為原點的絕對座標(Abs-Traj 線段)。移動方式是從+Y 方向移到-Y，也就是當第一隻腳為支稱足時，相對於重心往後運動，使身體前進。經由前面的運動分析結果，再利用齒輪與螺桿的減速比來反推，可以得到腳部各個關節上，共三個馬達的所需脈波數與時間關係曲線，如圖 50 所示。

一般的運動控制會以富利葉轉換來計算速度曲線，這裡因要以晶片同時處理三顆馬達與感測器，改採用更精簡，但誤差較大的方式來控制。將每顆馬達的所需脈波曲線，在等時間間隔內，分別用一次直線近似。而將直線的初值及斜率數位化後列表於晶片中，等到需要時再藉由程式拿取使用。各時間點所需的輸出脈波數，便利用累加的方式逐次求出使用。BASIC

Stamp 2 則將經由外部感測器判斷所要執行的步伐，利用串列傳輸通知給 89C51 達成。整個程式的流程。控制程式如圖 51 所示。

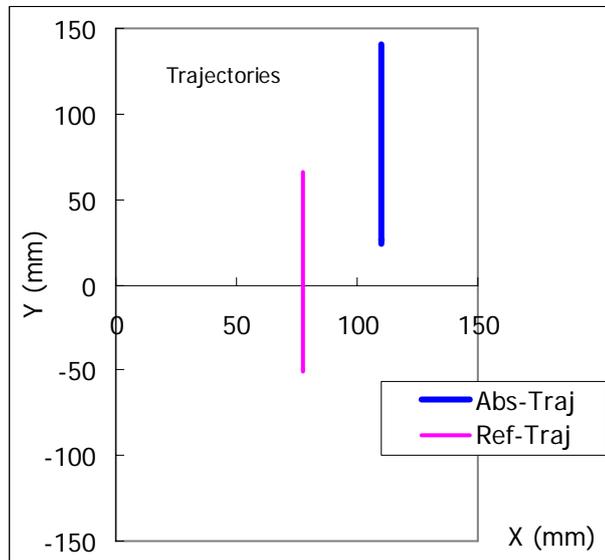


圖 49 直行步足 1 相對座標與重心座標軌跡圖

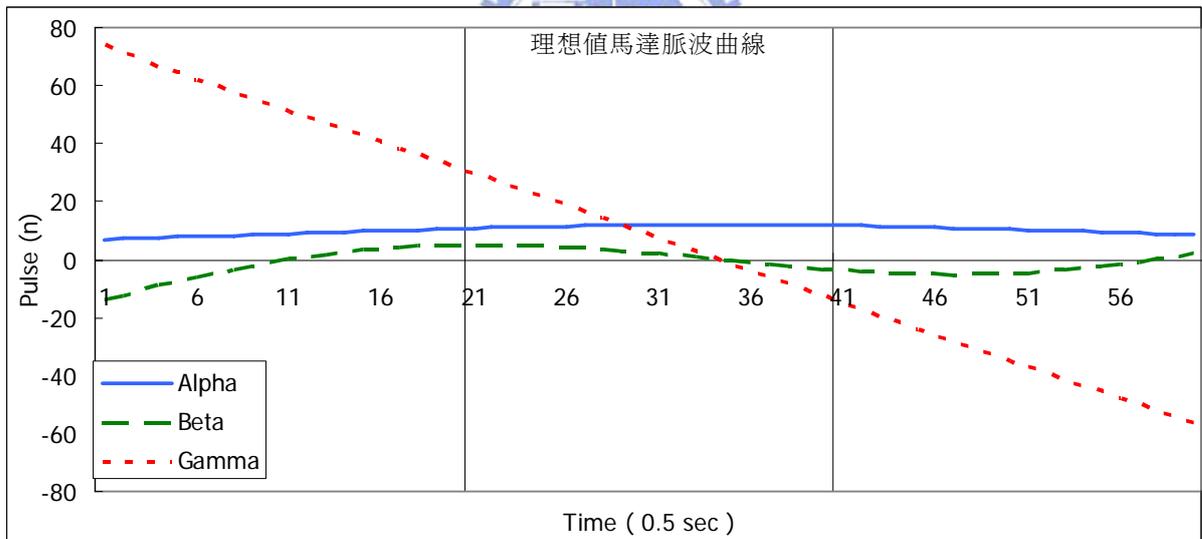


圖 50 理想晶片輸入馬達脈波圖

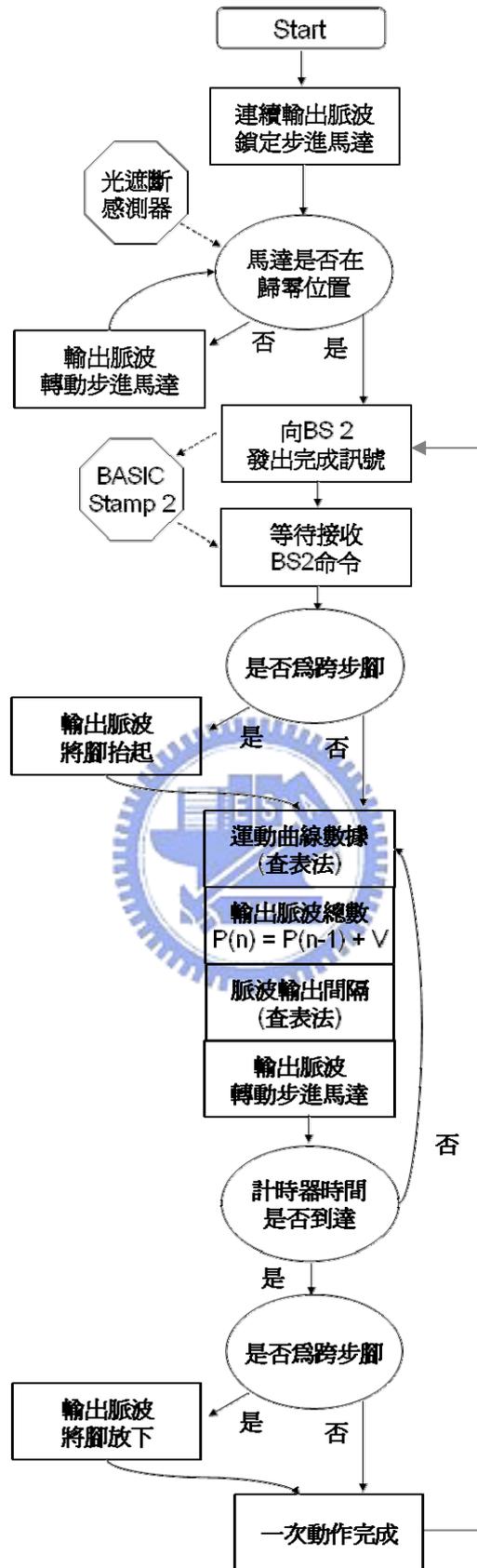


圖 51 馬達控制程式流程圖