


逢 甲 大 學
自 動 控 制 工 程 學 系 碩 士 班
碩 士 論 文

以數位訊號處理器實現模糊理論
於車型機器人之避障策略

**Obstacle Avoiding Device for Car-Like Mobile Robot with
Fuzzy Theorem Realized by Digital Signal Processors**

The seal of Feng Chia University is a circular emblem. It features a central shield with a cross-like design, surrounded by a wreath. The words "FENG CHIA UNIVERSITY" are inscribed around the top inner edge, and "勤 誠 敬 忠" (Qin Cheng Jing Zhong) is inscribed around the bottom inner edge.

指導教授：陳杏圓
研 究 生：尤清達

中 華 民 國 九 十 四 年 六 月

中文摘要

本文僅以 DSP's-TMS320C6416T 作為主要控制核心，經由所設計之介面電路來驅動直流馬達，藉由超音波感測器來取得週遭狀況，引進模糊理論作為規劃避障策略之方向，以達到車型機器人閃避障礙物之功能。而 C6416T 此顆晶片具超高效能，整個系統均由單顆晶片整合，將 System on Chip (SoC) 觀念引進系統中，來達成即時(Real Time)控制的最佳性能。理論的實現由 C 語言及組合語言撰寫，因系統需要極高的控制響應，因此整個程式都經過優化考量來開發。本人研究主要在於硬體及理論的結合，且強調相當程度上的即時控制響應，往後將以此機構當為開發平台，易於理論上的實現及後續發展。



Abstract

The goal of this thesis is to design and implement a Car-Like Mobile Robot (CLMR) using Digital Signal Processors (DSP) TMS320C6416T as its control center. Two DC motors provide its motive power. An IC HCTL-1100 is used to control its maneuverability and encoder. Its speed is controlled by a Pulse Width Modulation (PWM) technique. The sensing obstacle-avoiding is assembled by four ultrasonic sensors that are installed to predict the position all around. Besides, fuzzy theory is employed in the system, so that the CLMR can successfully reach the specific performance. On the other hand, the C6416T DSK has ultra high performance. Therefore, the whole system is combined by the single chip and System on Chip (SoC) concept, then it can approach the best efficiency. The realization of the theory adopts C and assembly program language to be written. We constructed a module CLMR that has some modes: proceeding, turning, obstacle avoiding, and going along aside a wall.

誌謝

首先，由衷感謝耐心指導我兩年的陳杏圓博士，在這段期間不只單單是專業上的授業，也包括人生路途中許多問題的解惑。而在學生心情低落時，或是身體不適時，總會不時送上鼓勵以及關心。對學生們的照顧真是不在言下，三言兩語並不能代表什麼，但在此還是發自內心的說聲：謝謝妳 我最敬愛的吾師！而整個自控所的老師們，不管於課堂上或課後請益，都會以充滿著熱情的認真態度，為我們分析著問題的癥結，並給予方向來訓練學生的獨立思考。除了課業的教導之外，也不時的與我們分享人生的經驗，並提醒我們做人處事的重要性。此外，也得感謝不辭辛勞替我們口試的蘇武昌博士以及黃榮興博士，給予許多寶貴意見，使本篇論文能更加齊全完整。謝謝各位老師們的照顧！

有那麼優秀且認真教學的老師們，當然也會有優質的學習環境，以及開朗活潑的實驗室。同屬智慧型控制實驗室的俊宏兄，我們一同經過許多戰役，你除了是很好的學習對象外，也是個值得認識的好哥們。而在同間實驗室的元澤大哥，在本文硬體的實現上，給予的建議及幫助甚多，稱之為貴人也不為過。然而其他實驗室的家銘、添根、正豐等多位同學，於許多問題的互相討論中，不僅培養了同袍情誼同時也獲益良多。此外，本實驗室的師弟們，智惟、家延以及志丞，雖然僅有一年左右的相處，卻不難發現對實驗室的向心力。於論文的研究過程中，得感謝智惟於各項器材上的借用，而家延則在理論模擬部份協助不少，志丞則提供瑣事上的幫忙。感謝大家的互相扶持，謝謝你們！

最後我最想說的是，此篇論文的產生是來自於我，而我的誕生及成長則是父親、母親及奶奶，當然還有兩位非常疼愛我的哥哥姐姐。家人給我不用擔心經濟的學習環境，還有不斷的鼓勵及精神上的支持，除了感謝還是感謝，我只想用行動去證明我對他們的愛。而那些關懷我的朋友們、女朋友小玲及結拜兄弟 BLEF^2，你們對我的一言一行，簡單的一句加油，就是最直接的一份心意，這些我都謹記於心，永難忘懷。謝謝你們！謝謝!!!

目錄

中文摘要.....	i
Abstract.....	ii
誌謝.....	iii
目錄.....	iv
圖目錄.....	viii
表目錄.....	xi
第一章 緒論.....	1
1.1 前言.....	1
1.2 研究動機.....	3
1.3 國內外相關研究.....	4
1.4 論文架構.....	5
第二章 車型機器人之系統架構.....	6
2.1 系統簡介.....	6
2.2 車體結構.....	7
2.3 開發軟體.....	10
2.4 人機介面.....	11
第三章 車型機器人之硬體架構.....	13
3.1 硬體架構簡介.....	13
3.2 主控制核心.....	13

3.3 馬達驅動電路	20
3.3.1 HCTL-1100 的簡介	20
3.3.2 DSK 與 HCTL-1100 之溝通	24
3.3.3 LMD18201 的簡介	27
3.3.4 LMD18201 與 HCTL-1100 之連接	31
3.4 超音波感測器	33
3.4.1 超音波簡介	33
3.4.2 超音波距離檢測	35
3.4.3 POLAROID 6500 簡介	37
3.4.4 DSK 與 POLAROID 6500 之溝通	39
3.5 電源電路	42
3.5.1 車型機器人之電源配置	42
3.5.2 電源電路之規劃	42
3.5.3 保護措施之設計	44
第四章 直流馬達之系統鑑別	45
4.1 類神經網路理論	45
4.2 系統鑑別簡介	51
4.3 線性化之系統鑑別	56
4.4 模擬結果	59

4.4.1 系統鑑別之模擬結果	59
4.4.2 模擬結果之討論	61
第五章 模糊理論之避障策略	62
5.1 模糊理論	62
5.1.1 模糊理論概要	63
5.1.2 模糊集合	63
5.1.3 歸屬函數	65
5.1.4 模糊推論	65
5.1.5 模糊控制	65
5.2 避障策略之制定	69
5.2.1 方法描述	69
5.2.2 模糊控制器之實現	71
5.3 模擬結果	75
5.3.1 無障礙物時	75
5.3.2 單一障礙物時	76
5.3.3 多障礙物時	76
5.3.4 模擬結果之討論	77
第六章 實際硬體測試結果	78
6.1 理論模糊與硬體實現的差異	78

6.2 硬體實際測試	79
6.2.1 無障礙物時	79
6.2.2 單一障礙物時	81
6.2.3 多障礙物時	83
6.3 實際與模擬的結果討論	86
第七章 結論及未來展望	87
7.1 結論.....	87
7.2 未來展望	88
參考文獻.....	89
自述.....	92



圖目錄

圖 2-1 車型機器人系統架構圖	7
圖 2-2 實際車體前向圖	8
圖 2-3 實際車體側向圖	8
圖 2-4 實際車體俯瞰圖	9
圖 2-5 車體架構示意圖	10
圖 2-6 CCS 開發介面	11
圖 2-7 UART 通訊格式[24]	11
圖 2-8 8N1 通訊模式[24]	12
圖 2-9 傳輸位元轉換示意圖	12
圖 3-1 硬體架構圖	13
圖 3-2 C6416T DSK 實體圖	14
圖 3-3 C6416T DSK 方塊圖[18]	14
圖 3-4 C6416T 晶片架構圖[19]	16
圖 3-5 C6416T CPU 資料路徑圖[19]	17
圖 3-6 C6416T DSK 記憶體配置圖[19]	17
圖 3-7 HCTL-1100 PDIP 封裝接腳圖[20]	21
圖 3-8 HCTL-1100 系統工作原理圖[20]	22
圖 3-9 HCTL-1100 內部結構圖[20]	23
圖 3-10 HCTL-1100 工作模式流程圖[20]	24
圖 3-11 HCTL-1100 訊號寫入時脈圖[20]	25
圖 3-12 HCTL-1100 訊號讀取時脈圖[20]	25
圖 3-13 HCTL-1100 PWM 輸出對照圖[20]	26
圖 3-14 DSKC6416T 與 HCTL-1100 電路連接示意圖	27
圖 3-15 LMD18201 11-LED 封裝接腳圖[22]	28

圖 3-16 LMD18201 功能方塊圖[22].....	30
圖 3-17 LMD18201 正反轉示意圖[22].....	31
圖 3-18 LMD18201 與 HCTL-1100 連接示意圖	32
圖 3-19 超音波檢測模式：(a)單一發射型(b)雙頭對射型(c)雙頭反射型(d)收發同體型 ...	35
圖 3-20 飛行時間示意圖	35
圖 3-21 超音波距離量測之基本原理	36
圖 3-22 Polaroid 6500 電路結構圖[36].....	38
圖 3-23 Polaroid 6500 感測模組信號排線[36].....	38
圖 3-24 單一回應模式時序圖[36].....	39
圖 3-25 多重回應模式時序圖[36].....	40
圖 3-26 C6416T DSK 與超音波感測模組的連接圖	41
圖 3-27 電源配置示意圖	42
圖 3-28 LM7805 與 LM7812 的接腳圖[37].....	43
圖 3-29 穩壓電路圖	44
圖 3-30 保護電路圖	44
圖 4-1 典型生物神經元結構圖[28].....	45
圖 4-2 人工神經元模型[29].....	46
圖 4-3 單層類神經網路	48
圖 4-4 多層類神經網路	49
圖 4-5 類神經網路鍵結分類	49
圖 4-6 類神經網路之回饋式架構	50
圖 4-7 鑑別模型 I 架構圖[33].....	52
圖 4-8 鑑別模型 II 架構圖[33].....	52
圖 4-9 鑑別模型 III 架構圖[33].....	53
圖 4-10 鑑別模型 IV 架構圖[33].....	53
圖 4-11 平行模式鑑別架構圖[33].....	54

圖 4-12 串列-平行模式鑑別架構圖[33]	55
圖 4-13 系統鑑別網路架構圖	56
圖 4-14 串列-平行模式類神經鑑別架構圖	57
圖 4-15 ARMA 模式系統鑑別架構	57
圖 4-16 鑑別網路與被鑑別系統的輸出比較圖	59
圖 4-17 被鑑別系統與鑑別網路之輸出誤差圖	60
圖 5.1 模糊控制基本架構[16]	62
圖 5-2 超音波感測器擺設示意圖	69
圖 5-3 偵測障礙物距離與角度之示意圖	69
圖 5-4 車型機器人之幾何結構圖	70
圖 5-5 模糊控制器方塊圖	72
圖 5-6 避障角度的歸屬函數	73
圖 5-7 行進角度的歸屬函數	73
圖 5-8 行進速度的歸屬函數	74
圖 5-9 無障礙物時的情況	75
圖 5-10 單一障礙物時的情況	76
圖 5-11 多障礙物時的情況	77
圖 6-1 實際硬體的超音波感測器配置圖	79
圖 6-2 車型機器人於無障礙物時	80
圖 6-3 車型機器人於單一障礙物時	82
圖 6-4 車型機器人於多障礙物間隔較遠時	84
圖 6-5 車型機器人於多障礙物間隔較近時	85

表目錄

表 3-1 LMD18201 邏輯真值表[22].....	29
表 3-2 各個接腳功能配置表[36].....	39
表 5-1 輸入及輸出變數	72
表 5-2 模糊規則庫	74



第一章 緒論

1.1 前言

在科技日新月異的時代裡，將產品數位化已是潮流趨勢，而數位化商品也逐漸出現於生活週遭中，如數位電視、數位相機、數位音響...等等。且因半導體製程技術的成長，使得性能優異之晶片相繼問世，也廣泛應用於控制、影像處理、聲音處理、通訊等相關產業，而其中數位訊號處理器 Digital Signal Processor (DSP)的運用，也日趨普及化。使用 DSP 來處理數位訊號的控制方式，為現今設計控制系統的潮流，而這樣的數位系統具有以下優點[1][7]：

1. 靈活度高：數位訊號處理器一般都是可編程(Programmable)的設計，因此只需修改程式碼，即可達到不同控制法則之實現，使得運用上之靈活度較高。
2. 高可靠度：數位系統較不易受外在環境因素影響，較能抵抗雜訊，其穩定性較佳。
3. 高精確度：普通的類比元件中，因雜訊的影響，其精確度很難達到 0.1% 以下。而數位訊號處理器，其精確度可達 10^{-5} % 以下。
4. 可實現複雜的訊號處理演算法：數位訊號處理器利用其可編程特性，以實現複雜的訊號處理演算法，提昇整體系統的性能。
5. 便於大型積體電路的整成：數位元件基本都遠小於類比元件，因此數位電路較類比電路易於積體電路上的合成。

數位訊號處理器有別於一般的微處理器，主要差別於數位訊號處理器會提供一些的特殊功能，使得處理速度能加快及增進它的處理效率。因此將數位訊號處理器做為整體系統的中央處理器，並利用其快速的運算能力，以實現較複雜的理論。由於，近年來通用數位訊號處理器的普及，使得數位訊號處理系統的設計，能有更多方面的選擇及成本考量。若結合近年來所發展的智慧型控制理論(Fuzzy Theory、Artificial Neural Network、Genetic Algorithms 等等)，來代替傳統工具所設計的控制器，這不同於以往傳統的設計方法，不用需要詳細的系統資料，只要按照性能來要求設計即可，而此特性將使得應用層面更加廣泛且多元。

世界萬物中的特性，通常都是屬於非線性的現象，而線性系統是我們較容易處理的。因此，對於非線性系統的分析及控制，以傳統的控制理論來設計，是比較不適合且困難重重。因為傳統控制必須先建立數學模式來描述系統，才能進而去設計所需的性能條件，但前提是所建立的數學模式是正確且精準的。幸而近來智慧型控制結合專家經驗知識及推論等方式，此做法可省略建立數學模式時的繁瑣過程。而模糊理論對於非線性時變系統，不但能簡化數學模型，且能結合人類的操作經驗，有效來達成目標。且模糊控制能將操作者的專家經驗轉換成控制器設計人員的設計觀念，想必比一般的傳統控制擁有更佳之強健性與容錯性[2]。模糊理論是為解決真實世界中普遍存在的模糊現象而發展的一門學問，它是由美國自動控制學家 Lotfi. A. Zadeh 於 1965 年首先提出的一種定量表達工具，用來表示某些無法明確定義的模糊性概念，尤其是在表現人類語言特有的模糊性現象方面有頗佳的成果[3]。

在這個充斥著科技新知的時代，不難想像自動化的重要性，而機器人就是自動化發展的重點之一。因機器人可取代人力，甚至可完成我們所要求的各種任務，例如在危險環境中，像是具毒性或污染性環境、拆除爆裂物、海底探勘、採礦、救災等等特殊任務，而這就是驅使機器人發展迅速的原因之一。其實車型機器人就是無人不知的”機械人”，只不過因行進方式上不同，所給的另外一種別稱。而車型機器人是利用輪子或者履帶來行進，這樣的傳動方式會有地形上的限制，但卻有其行動快速的優點。因此車型機器人是比較符合業界的需求，這也是近年來發展迅速的原因。而車型機器人的發展更是重要，現今的車型機器人均需要人為操控，應用上只限定於特定的場合，若能設計出更自主性的車型機器人，則更能提高生產效率及降低成本與風險[4][5]。

車型機器人為了完成我們所給予的任務，所以也必須具備基本的運動能力，並因應不同的用途，具有不同機構設計，且在無人操控的狀態下，它也必須具備基本的邏輯思考。由於須隨著環境的不同，做出自我調整的功能，完成給予的任務或目標，所以在車型機器人的設計上，通常是以車型機器人本身決策能力及可靠度做為設計成功與否的標準。車型機器人的路徑規劃，在先前早已被廣泛討論(Bouchon & Despres,1987; Barshan & Durrant-Whyte,1995; Kundur & Raviv, 1995)；然而以往的研究都採取建立演算法來處理感

測器所得到之不嚴密的資訊，且多數的演算法已事先將地形與感測器的精確資訊包含在其中。相對的，演算法的建立會趨於複雜，精確的資訊也代表著需要大量的感測器。對於未知的環境做即時的路徑規劃更是極為複雜，因此近年來，有些研究已將模糊器應用於車型機器人於未知環境中閃避障礙物，但僅僅只有閃避障礙物而已，並沒有對其速度作控制，所以無法縮短車型機器人的航行時間。

車型機器人並不是新名詞，各方面的相關研究及成果也都相當豐碩，實際的結果測試也都有顯著的效果，但卻因使用工業電腦而提高整體成本，且機具的體積大小也是考量的重點之一。隨後雖有利用單晶片來做單一處理，若在實現較複雜的理論上，會存在響應速度不夠快的隱憂。因此本文將引入 SoC 觀念[6]，利用高效能的 DSP 晶片實現模糊理論，將其應用於車型機器人最重要的環節，也就是車型機器人的自我保護措施上。其所謂 SoC 就是 System on Chip 的縮寫，而基本架構主要可以整合複雜的元件進而縮短系統開發的時間，如此的作法可避免掉多系統之間，因處理速度的不同、雜訊產生及功率的損耗，對系統響應所造成的損失。因本文強調即時響應的實現，所以將此觀念引入，以期得到硬體於理論展現時，能發揮出即時響應的效能。

1.2 研究動機

以微控制晶片或其他高效能晶片來實現控制理論於車型機器人上，學術上已經有許多研究發表，其中有許多甚至發展多年，而研究成果也相當豐碩且完整。不過大部分的研究，都是以工業電腦及其他晶片輔助設計，並非真正以單顆晶片來控制。這樣的系統會存在某些問題，如響應速度會因溝通的關係而造成延遲，以造成不能達到即時控制的缺失，讓功能強大的無人車型機器人無法真正發揮。

本文強調以單顆 DSP 晶片當主控制核心，且所有的決策訊號的輸出入，都經由 DSP 的擴充介面接收及發送，並未有其他微處理晶片或工業電腦輔助。如此的設計可免掉不同系統的傳輸中，高效能晶片必需遷就於速度較慢的晶片，使得整體系統處理效率的提升。這樣的想法是將 SoC 的觀念引進於本文，且以 DSP's-C6416 此顆高效能的處理器當為主控制核心，將撰寫好的程式語言經優化過後，再以燒錄執行檔的方式，將開發好的

程式碼置於 DSP 晶片內的 ROM，使整個系統成為可獨立工作的個體。

因車型機器人常工作於未知的環境內，雖車體均有配備功能強大的感測器，如 CCD，超音波感測器、光感測器及紅外線感測器等等，但若忽然發生通訊中斷或資訊傳輸錯誤，此時有可能導致車型機器人發生誤動作，甚至造成車型機器人與障礙物接觸，使得車型機器人損壞進而無法完成任務。因此，本文強調以獨立系統所發展的一套避障措施，在車型機器人喪失控制能力時，讓車型機器人於不需控制條件下，能以最即時響應來避開所有障礙物來確保車型機器人的安全。此系統除了避障措施之理論發展外，也非常強調整體系統的響應速度，因而將 SoC 觀念引入，將控制理論實現於硬體上，且達到即時控制的響應速度，在許多工作場合及應用上是必須且被要求的。

而目前德州儀器所提供的數位訊號處理器，可以用途不同、領域不同及使用需求的不同，可大致分為三大類別：C2000 系列主要運用於控制方面、C5000 系列主要為省電效率所開發、而 C6000 系列則具有高處理速度取向的高效能晶片。本文主要為控制直流馬達以驅動車型機器人，理論上為了方便發展應該採用 C2000 系列來開發之，但本文卻大費周章的設計馬達驅動電路，才得以使用 C6416 DSK 當為本系統主處理核心。其主要原因為上兩段話所提及的即時控制及 SoC 之外，還為了此車型機器人未來發展所構思。C6416 此晶片除了具有超高執行效率，可用於實現較為複雜之理論，且具有許多由德州儀器所開發之模組，如機械視覺模組、語音處理模組等等。

1.3 國內外相關研究

車型機器人的發展，國內外都有不少的相關研究，其主題大概可分為兩大類：車型機器人的導引控制及車型機器人的應用探討。而導引控制方面又以超音波位置感測系統歷史最為悠久，因超音波感測器可偵測出障礙物位置、形狀及距離等等資訊，進而利用這些資訊來對車型機器人進行避障行為之機制設計。1995 年 Audo[8]等人利用多個收、發獨立之超音波轉換器，以上下位置配置方式，設計出一套能使機器人沿牆行走之機制，不同位置的感測器配置能給予不同的偵測資訊，由這些偵測資訊提供車型機器人做適當反應。於 1998 年 Yata[9]等人利用超音波感測器所偵測的角度關係，對機器人做沿牆巡航

的避障措施。而 2000 年 Han[10]等人提出透過兩組超音波感測器，以差距 1 毫秒的時間接連觸發，接著計算兩組所接收的反應時間差，進而得知障礙物的表面形狀及位置距離。隔年 2001 年 Young-Shick Ro[11]使用類似方法將所量測的資料，整合後將其建構成環境地圖。2003 年 Xue-Song Wang[12]等人將此方法進行改善，且經由測試所建構出的虛擬環境，可容許接受之干擾能小於 5%之內。

1.4 論文架構

本論文架構共可分成八個章節，第一章緒論，內容包括前言、研究動機、研究方向以及國內外相關文獻與論文架構。而在第二章中，即車型機器人的整體系統架構之簡介。在第三章將本文的硬體架構做逐一介紹，其中包括了系統核心 DSK 的簡介、馬達驅動電路之設計應用、超音波感測器測量方法及電源電路之規劃。於第四章將描述如何以線性化類神經網路對直流馬達作系統鑑別，並描述鑑別原理與模擬結果。而在第五章中，也就是本文的重點所在，如何利用模糊理論將所接收的超音波訊號，制定車型機器人於行進中之避障策略，並呈現以 Matlab 軟體所模擬出的結果。於第六章中則敘述實際硬體測試之步驟，及實際結果之呈現與分析。第七章，將對整篇論文下個結論及結果討論，以及車型機器人於未來之研究方向及須改進的地方。

第二章 車型機器人之系統架構

2.1 系統簡介

車型機器人大致可分為五大部分：(1) 控制核心 (2) 馬達驅動電路 (3) 感測器系統 (4) 導航系統 (5) 電源電路，如圖 2-1 所示。雖然每部份各司其職，但之間確有密不可分的關係存在，因此最重要的工作在於，將其整合為本研究所要求的。以下分別簡介各系統所負責的工作：

(1)控制核心

控制核心所負責的部份主要在於搭起溝通橋樑及控制理論實現，本論文的控制核心為 DSP 晶片，而採用德州儀器(TI)所開發的發展版 C6416T Dsp Starter Kit (DSK)，採用此開發版的好處在於：節省開發時間、免費的程式開發環境及網路資源多。

(2)馬達驅動電路

移動為車型機器人最基本的功能，如何讓直流馬達運轉，進而帶動車型機器人的行進，轉彎以及速度控制，即為馬達驅動電路所該負責的主要工作。本文以兩顆晶片來構成驅動電路：HCTL-1100 及 LMD-18200，HCTL-1100 可產生直流馬達所需要的 PWM 控制訊號，且能用來接收馬達的 encoder，以提供往後車型機器人的定速及定位控制，而 LMD-18200 此晶片主要功用為 H 電橋的保護及功率放大，以提供足夠驅動力來推動直流馬達產生動作。本文採用直流馬達的原因，主要的優點有低功率消耗、轉矩大以及速度快，且方便控制理論的實現。

(3)感測器系統

感測器主要可分為兩類，其一為外部感測器，其主要功能在於偵測車型機器人周圍環境，如超音波、紅外線等。其二為內部感測器，功能則是提供車型機器人本身的相關資訊，如車型機器人目前所在位置及速度，較常見的為馬達編碼器、陀螺儀、電子羅盤等。本文採用超音波感測器及馬達編碼器。

(4)導航系統

導航系統最主要的工作，就是在於如何將車型機器人順利導引至我們所要的目的地，則必須建立車型機器人的運動方程式，並配合超音波感測器所回傳的資訊，再利用本文所規劃的模糊之避障策略，使車型機器人能夠避開所有障礙物以到達目的地。

(5)電源電路

電源電路必須提供車型機器人上，所有大大小小的動力來源，而且直流馬達與硬體電路所需電源不同，因此必須妥善的規劃及分配。而本文在此將採三顆 7.2V 鎳鎘電池來提供電源，再利用其穩壓晶片電路，來供應穩定的 5V 及 12V 給予 DSK、馬達驅動電路及直流馬達所需電力。

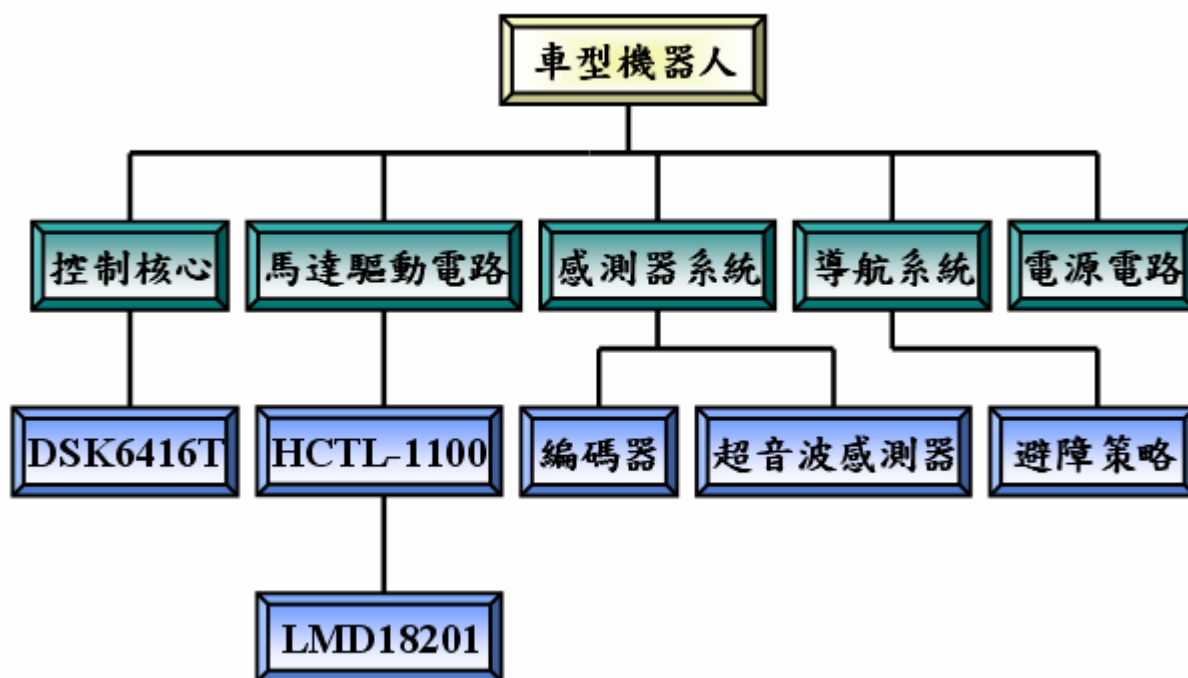


圖 2-1 車型機器人系統架構圖

2.2 車體結構

本研究重於理論的實現原因，因此為了節省整個開發的過程，所以本文所使用的車體是由益眾科技公司所購得。但整體全部的控制電路及周邊設計，全是本文的設計重點，如加裝具有編碼器的直流馬達及超音波感測器，來達到理論與實現的結合。圖 2-2、圖 2-3 及圖 2-4 為本文實際車體的前向、側向、俯瞰圖。

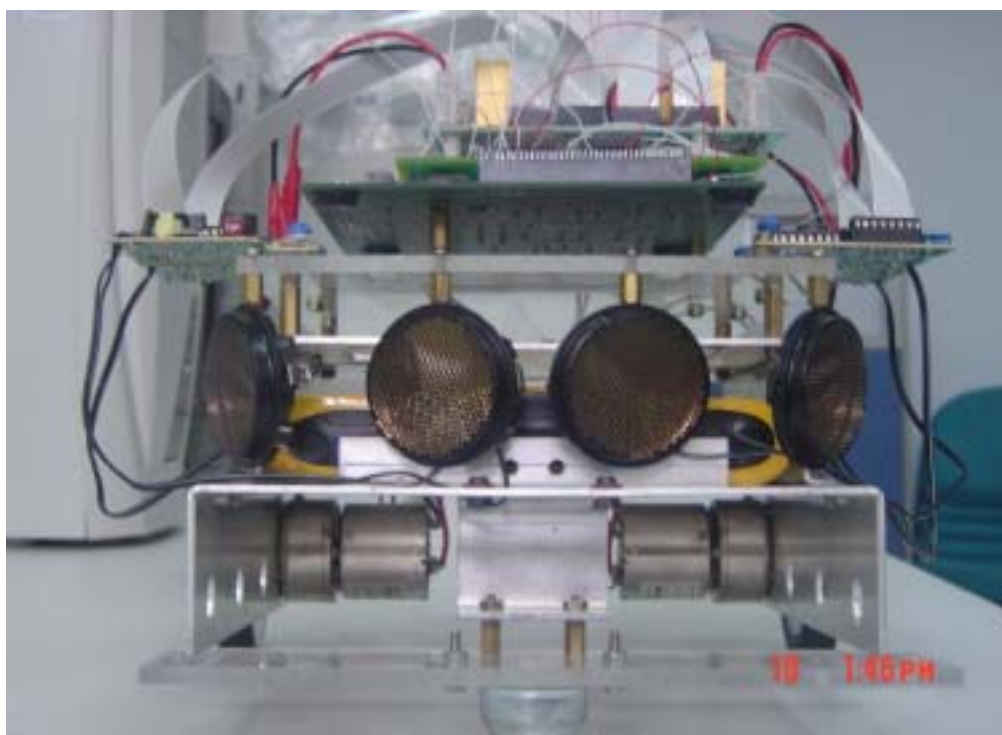


圖 2-2 實際車體前向圖

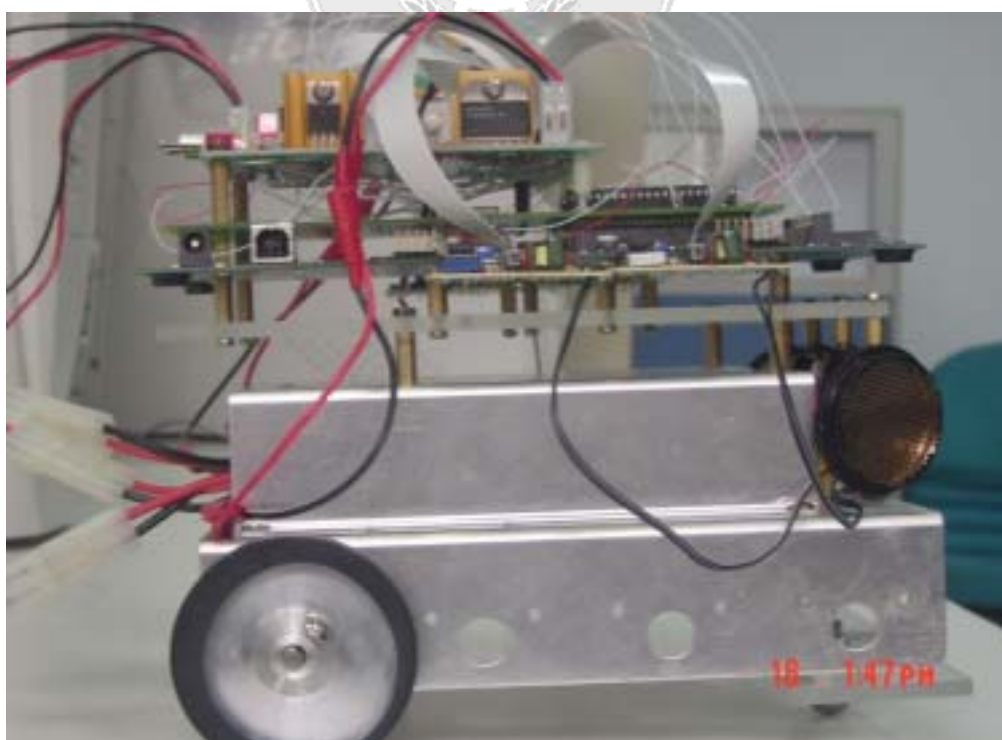


圖 2-3 實際車體側向圖

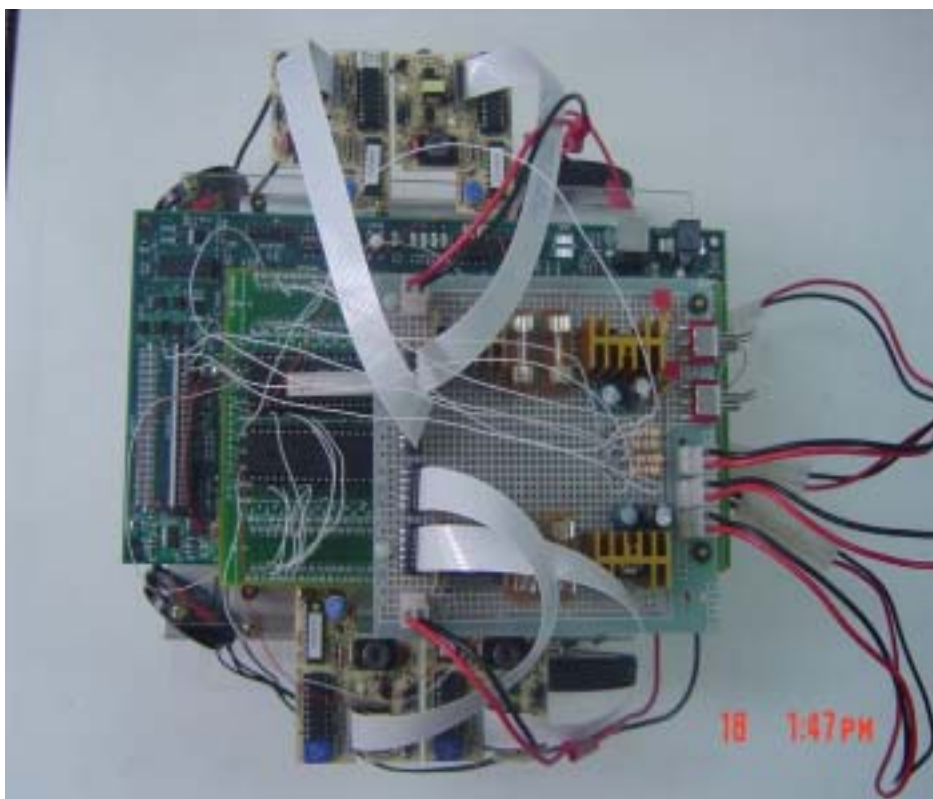


圖 2-4 實際車體俯瞰圖

此外，因本文所採用的控制核心 C6416T DSK 開發版，此 DSP 晶片並不是專門被運用於馬達控制，但為了車型機器人的即時響應及後續開發，才選用此高效能但並無馬達控制介面的 DSP 晶片。因此，馬達驅動電路的設計就更為重要，必須將 DSP 所輸出的訊號精確的放大並驅動直流馬達，進而帶動車型機器人行進。車型機器人的行進方式包括前進、後退、左轉及右轉，為了使車型機器人具有旋轉半徑小且反應速度較佳的優點，因而捨棄擁有較佳傳動力的四輪驅動方式，進而採用更為簡單控制的雙輪驅動。所以本文將於車體底盤前端裝置萬向滾輪為輔助，使其任何方向的轉動及前進，並不會因此而受其影響，在動力方面就由後端的兩顆直流馬達來實現之，然而左右轉則僅需利用雙輪差速來達成。車體架構示意圖如圖 2-5 所示。

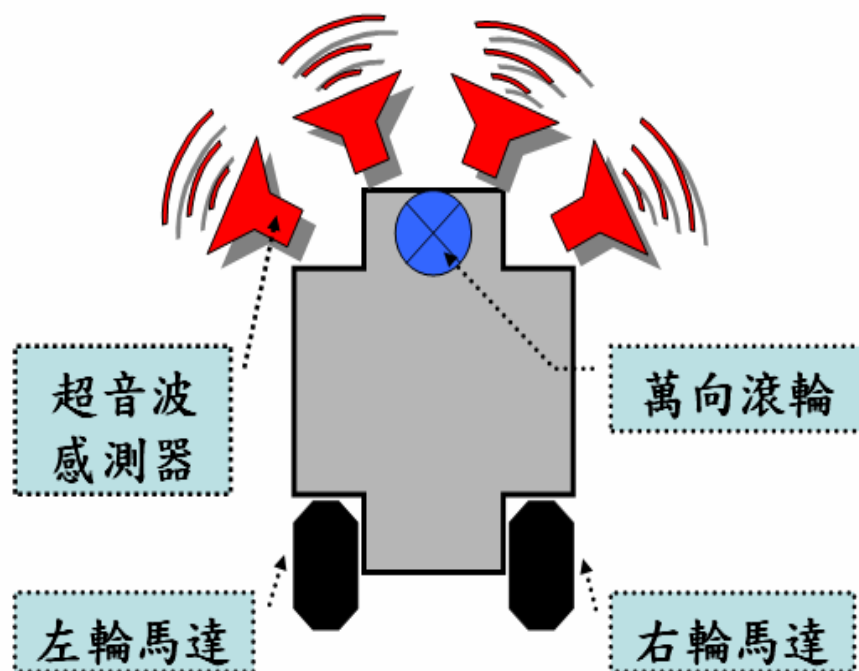


圖 2-5 車體架構示意圖

2.3 開發軟體

軟體部分則採用 TI 所提供 Code Composer Studio (CCS) 的開發系統，再搭配 Matlab/Simulink 來進行理論的驗證，最後撰寫 C 語言及組合語言以實現理論於硬體上。將本文所推導的模糊避障理論，經由模擬的驗證後再將所開發好的程式，編譯成 C6416T DSK 的執行檔。之後，將此執行檔置於 DSK 內的 Flash 記憶體中，而在當整個系統重置過後，此避障系統則獨立運作於所開發的避障措施上。這樣的架構可避免當控制命令中斷或車型機器人脫序時，若將此機制當為最後一層的保護措施，則能避免車型機器人碰撞到周邊環境，進而造成車型機器人之損壞。而依損壞程度上的不同，可能會導致車型機器人無法完成其任務，甚至車型機器人完全報廢，造成不必要上的損失。若將此套避障方法運用於未來的無人汽車上，使其能保護車體內人員的安全，則更能顯現出即時閃避障礙物的重要性。本文所採用的開發軟體 CCS 其介面如圖 2-6 所示：

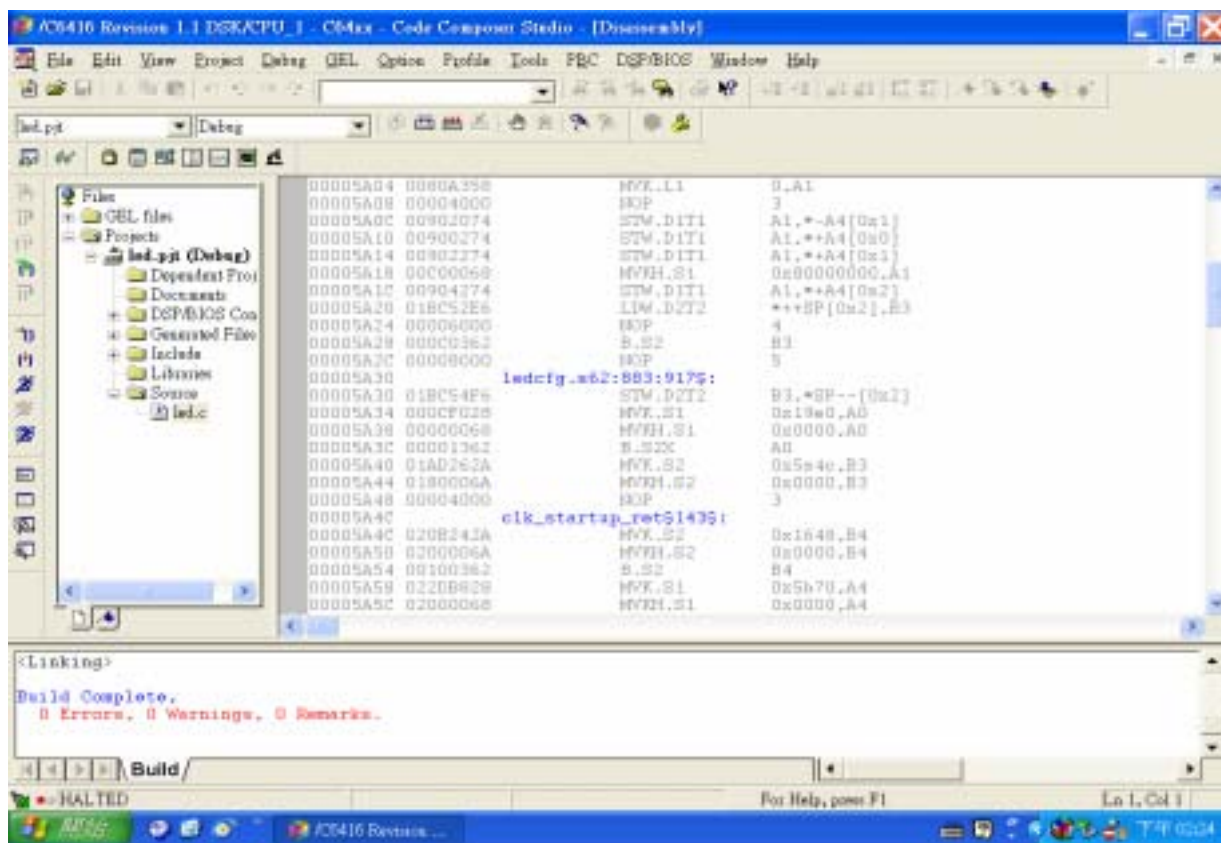


圖 2-6 CCS 開發介面

2.4 人機介面

因 C6416T DSP 並無 RS-232 傳輸介面，因此利用 DSK 板上之高速串聯埠介面（Multichannel Buffered Serial Ports；McBSPs）設定 McBSP 所需之暫存器參數，使 McBSP 之狀態能接符合 UART 通訊協定之規格。UART (Universal Asynchronous Receiver/Transmitter) 是一標準的通訊協定，用來傳輸串列訊號，其標準通訊格式如圖（圖 2-7）所示。而本文系統傳輸訊號為 ASCII 碼，因此利用 URAT 中 8N1 之模式如下圖所示（圖 2-8），此種資料格式為起始位元（0）與終止位元（1）之間為 8 位元傳輸資料，之間沒有同位元存在。



圖 2-7 UART 通訊格式[24]

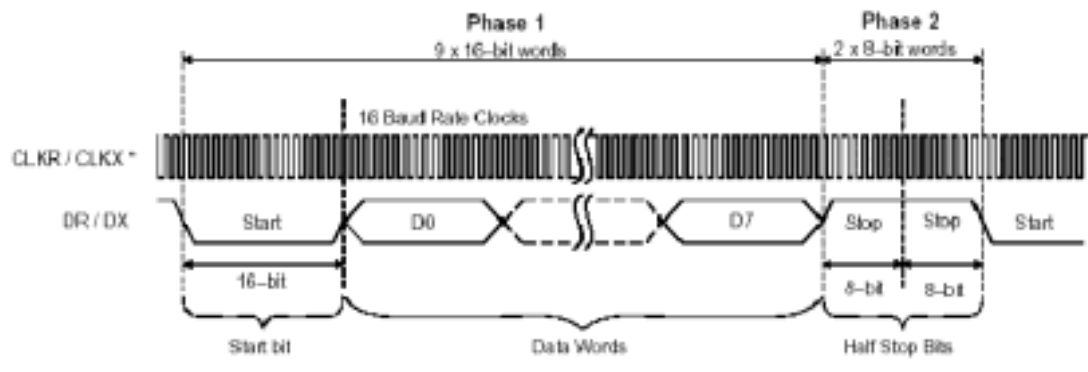


圖 2-8 8N1 通訊模式[24]

而在傳輸資料接收方面，因 C6416 中將每個訊號 16 位元的位元組以字組格式儲存於接收暫存器中，所以當所接收位元組值為 0x0000 時，則代表所儲存值為 0，若所接收位元組值為 0xFFFF 時，則此時表示儲存值為 1。而在傳輸與接收上，需搭配 DSP 所提供 EDMA 通道，傳送儲存在暫存器內之數值，且配合上述之傳輸格式，先將暫存器中各數值轉換成 0x0000 或 0xFFFF，並加上起始、終止位元則可送出完整的 ASCII 訊號。整個過程如圖 2-9 所示：

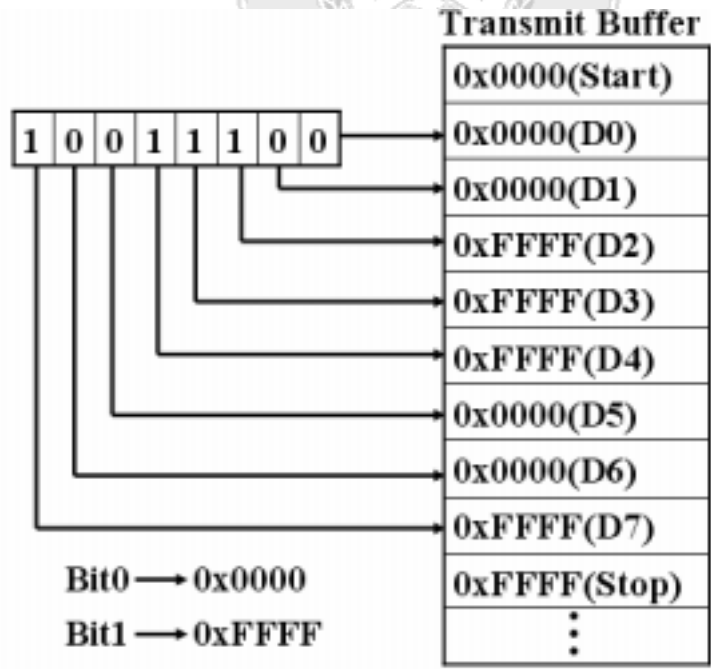


圖 2-9 傳輸位元轉換示意圖

第三章 車型機器人之硬體架構

3.1 硬體架構簡介

本章節主要介紹所採用的硬體架構，而整體硬體架構圖如圖 3-1，其中包含了馬達驅動電路、超音波感測器、直流馬達編碼器、主控制核心 C6416 DSK 以及電源電路跟保護措施之規劃，以下章節將一一介紹。

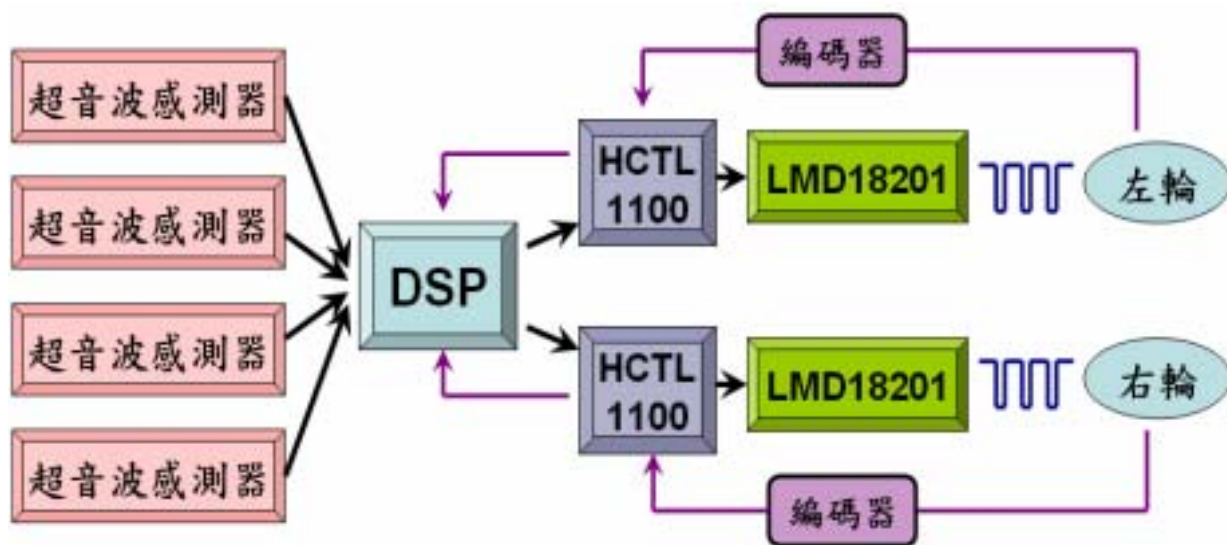


圖 3-1 硬體架構圖

3.2 主控制核心

本文的主控制核心採用 TI 所開發的發展版 C6416T DSK，採用此開發版的好處在於：節省開發時間、免費的程式開發環境及效能強大。而此塊發展版利用 USB 介面可隨插即用(plug-and-play)，搭配的 DSK 版 CCS v2.2 IDE 及 eXpress DSP 軟體(內含 DSP/BIOS 及參考框架)，這樣的架構優點在於容易上手，能很快利用此套工具進行產品的研發。此外，你可將開發好的程式快速下載置 C6416T DSK 上，並利用 RTDX™ 來加速主端與目標板的連繫，其它內含功能如 Flashburn 用來 Program Flash，產品效能更新通知，及自我診療測試軟體來確保 DSK 運作正常，圖 3-2 為此 C6416T DSK 的實體圖及方塊圖(圖 3-3)。



圖 3-2 C6416T DSK 實體圖

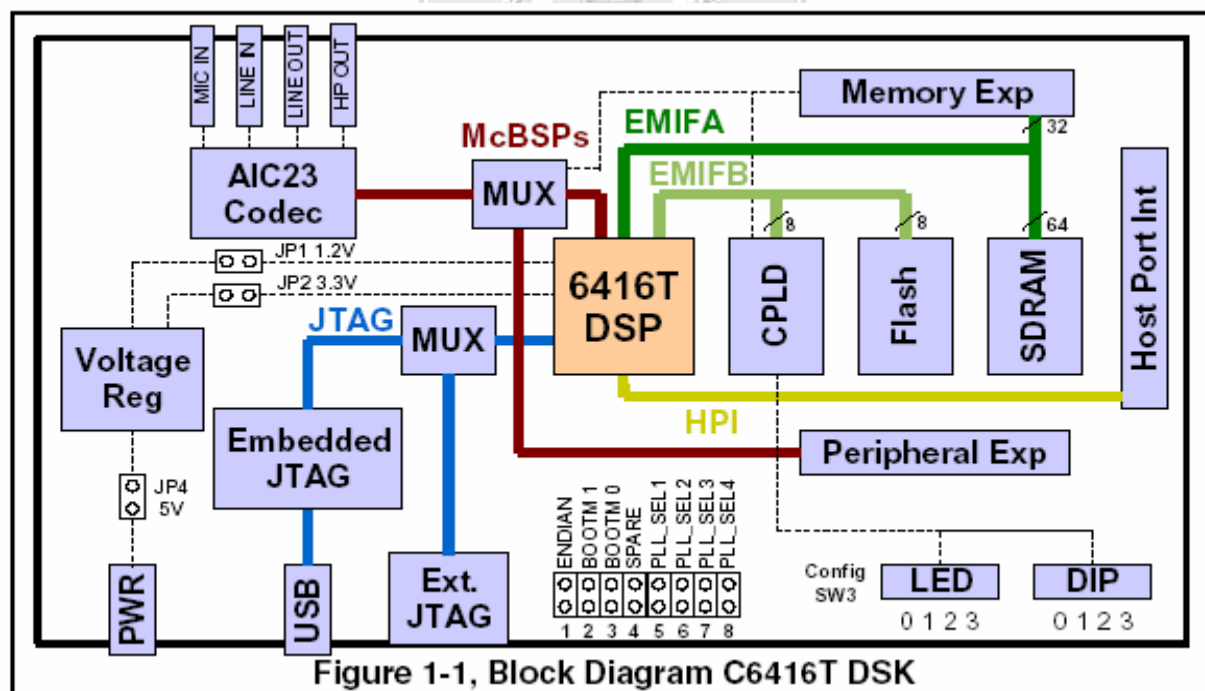


圖 3-3 C6416T DSK 方塊圖[18]

數位訊號處理器是一種單晶片中央處理器 IC，其主要功能為數位訊號的處理，所以在 DSP 的硬體設計上有較特殊的設計，用以加強其數位訊號處理能力。例如：一般的 DSP 均是採用程式匯流排（Program Bus）與資料匯流排（Data Bus）分別給程式與資料使用，以及不共用的哈佛（Harvard）架構。而 C6416 採行修改後的哈佛結構(Advanced Harvard architecture)在晶片內將程式匯流排與資料匯流排分開，及使二種記憶體間資料可以互換，使得指令執行及運算更快速。CPU 內含有單指令的 16x16 硬體乘法器，不佔記憶體的硬體堆疊器，防止溢位飽和功能，大部分的指令執行時間只需要一個週期，這也是 DSP 處理速度快的原因之一。而數位訊號處理器的整個晶片是由幾個主要單元及部分週邊所組合而成，這幾個主要單元分別為：

- (1) 中央算術邏輯單元(Center Arithmetic Logic Unit /CALU)。
- (2) 並行邏輯單元(Parallel Logic Unit /PLU)。
- (3) 輔助暫存器算術單元(Auxiliary register Arithmetic Unit /ARAU)。
- (4) 記憶體映對暫存區(Memory-mapped Registers)。
- (5) 程式控制器(Program Controller)。

圖 3-4 所示為 C6416T 的晶片架構，此 DSP 提供了 16M Bytes 的程式記憶體，而快取記憶體也有 512k Bytes 的大容量，而在資料記憶體方面，C6416T 則提供了一種可變資料長度的機制，依使用者的需求，可被規劃成 8bit、16bit、32bit 與 64bit 等不同格式。在週邊的控制上，C6416 提供了 64 個 Channel EDMA、EMIF(External Memory Interface、Power Down Logic、HPI(Host Port Interface)、UTOPIA(Universal Test and Operations PHY Interface for ATM)及 3 組 McBSP (Multi-Channel Buffer Serial port)等控制端。而此 DSP 核心有 8 個功能單元,包含二個乘法器和六個算術單元，倘若編譯器和組合語言需要許多的執行資源可得到高的執行效能，每一個週期 CPU 可抓取 8 個 32-bit 的精簡指令集。VelociTI 原理是准許這 8 個指令在平行、序列或平行/序列混合處理。如此的最佳化排程可減少程式碼的大小、程式抓取次數和電源損耗。

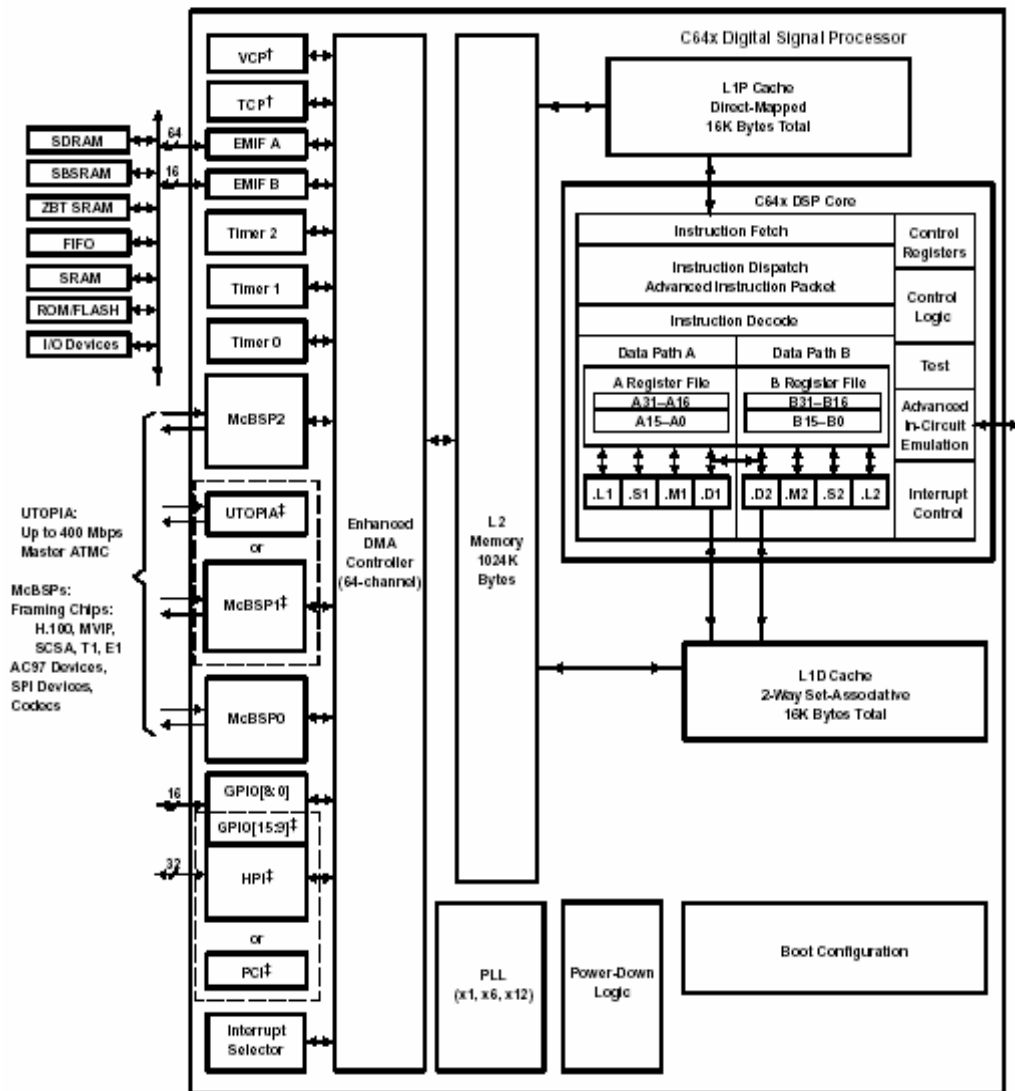


圖 3-4 C6416T 晶片架構圖[19]

TMS320C6416 DSP 的資料路徑架構如圖 3-5 所示，其中包含：

1. 兩個獨立的資料路徑 A 與 B，分別負責 A 暫存器群與 B 暫存器群。
2. 兩個 load from memory 的資料路徑(LD1,LD2)。
3. 兩個 store to memory 的資料路徑(ST1,ST2)。
4. 兩個資料位址路徑(DA1,DA2)。
5. 兩個記憶體檔案資料通過路徑(1X,2X)。

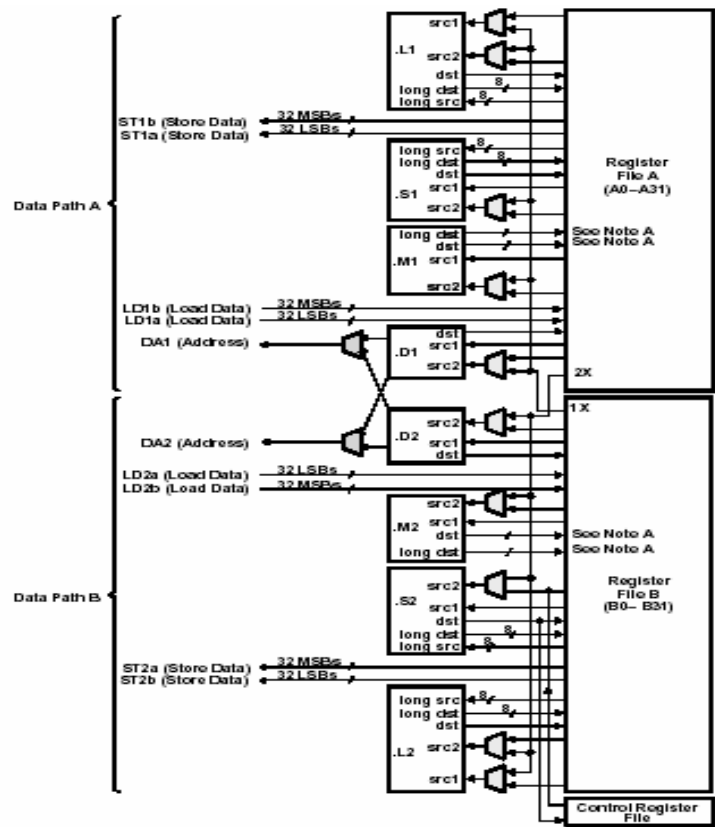


圖 3-5 C6416T CPU 資料路徑圖[19]

TMS320C6416T DSK 的記憶體配置圖如圖 3-6 所示：

Address	Generic 6416 Address Space	6416 DSK
0x00000000	Internal Memory	Internal Memory
0x00100000	Reserved Space or Peripheral Regs	Reserved or Peripheral
0x60000000	EMIFB CE0	CPLD
0x64000000	EMIFB CE1	Flash
0x68000000	EMIFB CE2	
0x6C000000	EMIFB CE3	
0x80000000	EMIFA CE0	SDRAM
0x90000000	EMIFA CE1	
0xA0000000	EMIFA CE2	
0xB0000000	EMIFA CE3	Daughter Card

Figure 1-2, Memory Map, C6416T DSK

圖 3-6 C6416T DSK 記憶體配置圖[19]

此DSP晶片C6416T具有如下的特性：

- (1) 加強的直接記憶體存取(EDMA)控制器
64bit 獨立的通道，支援多種系統資料流
不損耗 CPU 資源，可輕易的做複雜的傳送
-自動初始設定,鏈結,鎖住通道
每一週期有自動對多重週邊裝置做載量控制的能力已達到無比的效率
- (2) 週邊零件連接介面(PCI)
32-bit/33MHz,3.3V 主從式介面，符合 PCI 2.1 規格
符合 PC99 的需求
存取完全記憶體配置圖
三個 PCI 匯流排位址暫存器
-可預先抓取記憶體
-非可預先抓取記憶體 I/O
四線序列 EEPROM 介面
PCI 中斷請求在 DSP 程式控制下
可透過 PCI I/O 週期中斷 DSP
- (3) 非同步傳輸模式(UTOPIA)完整的測試和操作 PHY 介面
UTOPIA Level 2 ATM 控制器-C6415/C6416
可在 50MHz 下做 8-bit 傳送和接收
使用者自定的封包格式可到 64 位元組
- (4) Viterbi 協處理器(VCP)
在 8kbps(每秒千位元)時，支援大於 500 聲道
可程式化的解碼器參數，包括限制長度,編碼速率,和頁框長度
- (5) Turbo 協處理器(TCP) - 只有 C6416 DSP 適用
在 384kbps 時可支援 35 個數據通道
3GPP/IS2000 Turbo 程式碼
最小處理器延遲
可程式化的參數包括模式,速率和頁框長度
- (6) 外部的記憶體介面(EMIFs)
支援從較少到多數的外部的設備包括:
-同步爆發靜態隨機存取記憶體(SBSRAM)
-同步動態隨機存取記憶體(SDRAM)
-非同步設備，包含靜態隨機存取記憶體(SRAM),唯讀記憶體(ROM)和 FIFOs

- 外部的分享記憶體設備

C6416 DSPs 提供雙 133MHz EMIF :

- 為高效能的工業標準記憶體預留的專用高速 64-bit 介面
- 為高效能的工業標準記憶體預留的專用高速 16-bit 介面
- 其他所有裝置有單獨 32-bit EMIF

(7) 多通道的緩衝序列埠(McBSPs)

高速全雙工序列埠

- 全雙工通訊

- 為連續數據流的雙重緩衝區資料暫存器

直接連接到

- C6000 裝置

- 標準工業編碼/解碼器,類比式介面晶片(AICs),和其他的相關 A/D 和 D/A 裝置
提升到 128 通道傳送和接收

- 選擇從 8-,12-,16-,20-,24-,或 32-bit 數據尺寸

- McBSPs 支援提升到選擇獨立的 128 傳送和 128 接收通道

高可程式化內部計時器與新型頁框

(8) 主機埠介面(HPI)

32/16-bit HPI 在 C6414/C6415/C6416

給主機直接存取 DSP 的記憶體空間的並列埠

因為主機設備為介面的擁有者,所以主機可以做抹除

HOST 與 DSP 能經由內部/外部的記憶體交換資訊

主機可以直接存取週邊裝置的記憶體

(9) 直接記憶體存取(DMA)控制器

傳送資料到特定的記憶體空間,而不損耗 CPU 資源

在 CPU 動作時准許資料搬移到(從)內部記憶體,外部記憶體和週邊設備

獨立運作的 CPU

四個可程式化通道和第五補助通道

加強型直接記憶體存取(EDMA)有 16 個可程式化通道也如同隨機存取記憶體(RAM)空間為了傳送而握住多重配置

(10) 32-bit 擴張匯流排

取代在 C6202 ,C6203 和 C6204 的 HPI

擴張匯流排主機埠能操作在非同步奴隸模式(asynchronous slave mode)(類似於 HPI)

或同步主/從模式(master/slave mode)二者之一

同步 FIFOs 和非同步週邊 I/O 設備可與擴張匯流排連接

3.3 馬達驅動電路

馬達驅動電路方面以兩顆晶片組成：HCTL-1100 及 LMD-18200，HCTL-1100 為控制馬達所開發的晶片，本文利用此晶片來接收馬達的 Encoder 及產生 PWM 訊號，以提供往後車型機器人的定速及定位控制，而 LMD-18200 此晶片主要功用為 H 電橋的保護及功率放大，以驅動直流馬達動作。本章節將對 HCTL-1100 及 LMD-18200 兩顆晶片做一介紹：

3.3.1 HCTL-1100 的簡介

(1) HCTL-1100 的特性：

HCTL-1100 是美國 Agilent 公司生產的高性能通用控制系統晶片，它內部集成了數字濾波器、換向器等可程式器件，因而可以使系統使用最少的元件來實現控制，這樣不但減輕了主控制器的負擔，同時能具有很大的靈活性。主要特點如下：

- 功率低
- 可用來控制直流有刷、直流無刷和步進馬達
- 內含可程式數字濾波器和換向器
- 具有 8 位元平行和 PWM 電機額定值輸出端
- 與 TTL 電路相容
- 具有協調多個 HCTL-1100 的 SYNC(同步)接腳
- 工作頻率範圍 100kHz~2MHz
- 具有編碼器輸入端

(2) 接腳功能說明：

HCTL-1100 具有 40-PDIP 和 44-PLCC 兩種封裝形式，圖 3-7 為 PDIP 封裝形式的接腳圖。

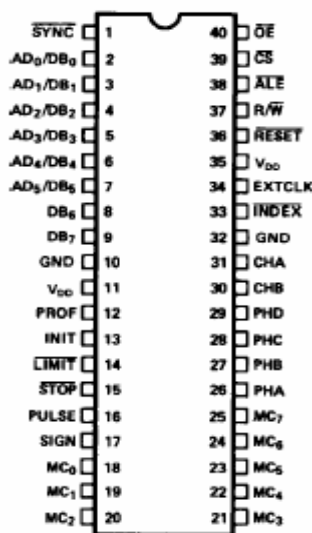


圖 3-7 HCTL-1100 PDIP 封裝接腳圖[20]

主要接腳的功能說明如下：

- 同步接腳(SYNC)

該接腳只在 INIT/IDLE 模式下有效，可用來同步兩個或多個晶片，將多個晶片的 SYNC 接腳連在一起接收控制器的命令可實現同步控制。

- 限位接腳(LIMIT)

用來輸入緊急限位旗標，低電壓致能。當該接腳致能時，將進入 INIT/IDLE 模式，清除電壓設定值並切斷電壓電源，同時清除三個控制模式旗標。當由 INIT/IDLE 模式重新進入控制模式後，這些旗標可自動恢復原值。不用時此接腳該接至高電位 VDD，否則會引起觸發導致系統進入錯誤的緊急狀態。

- 停止接腳(STOP)

該停止旗標僅適用於積分速率模式，低電位時致能。致能後系統將會減速直到停止，同時將保持零速度狀態直到該腳高電位和新的速度命令被接收為止，不用時此接腳需接高電位 VDD。

- 編碼器輸入接腳(CHA,CHB,INDEX)

這三個接腳可用於接收上數編碼器的 TTL 電壓輸出，其中通道 A 和 B 所接收的訊號將被編碼成 24 位元位置計數器訊號。

- 馬達設定值輸出入端

八位元馬達設定值輸出端是由暫存器 R08H 所組成，該暫存器的數據將直接傳到外部接腳 MC0-MC7，其中 MC7 是最高有效位元，R08H 可讀可寫，寫入時通常為 INIT/IDLE 狀態。

- 脈寬調變(PWM)輸出端(PULSE,SIGN)

PWM 輸出端由 PULSE 和 SIGN 接腳組成，該接腳輸出的馬達設定值為帶有正負極性的脈寬調變信號。

- 初始化接腳(INIT)

該接腳的狀態用於表示 HCTL-1100 正處於初始化狀態，應與內部狀態暫存器第五個位元相連，也可由旗標暫存器(R00H)第一個位元表示。

- 換向器接腳(PHA~PHD)

這些接腳用於驅動無刷或步進馬達，使用時可利用程式撰寫來驅動這四個接腳，以驅動多相馬達的每個線圈。

(3) 工作原理

HCTL-1100 可通過 8 位元雙向資料與主控制器溝通，以接收運動控制命令並控制馬達，同時從上數編碼器的輸出端接收位置或速度的回授訊號。將該訊號與設定值進行比較，並將修正後的數值輸出給控制馬達，便可實現馬達位置及速度控制。圖 3-8 為 HCTL-1100 系統工作原理圖，及圖 3-9 所示為 HCTL-1100 的內部結構圖。

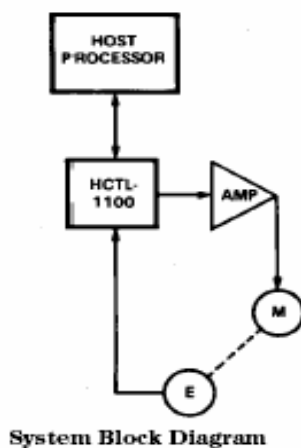


圖 3-8 HCTL-1100 系統工作原理圖[20]

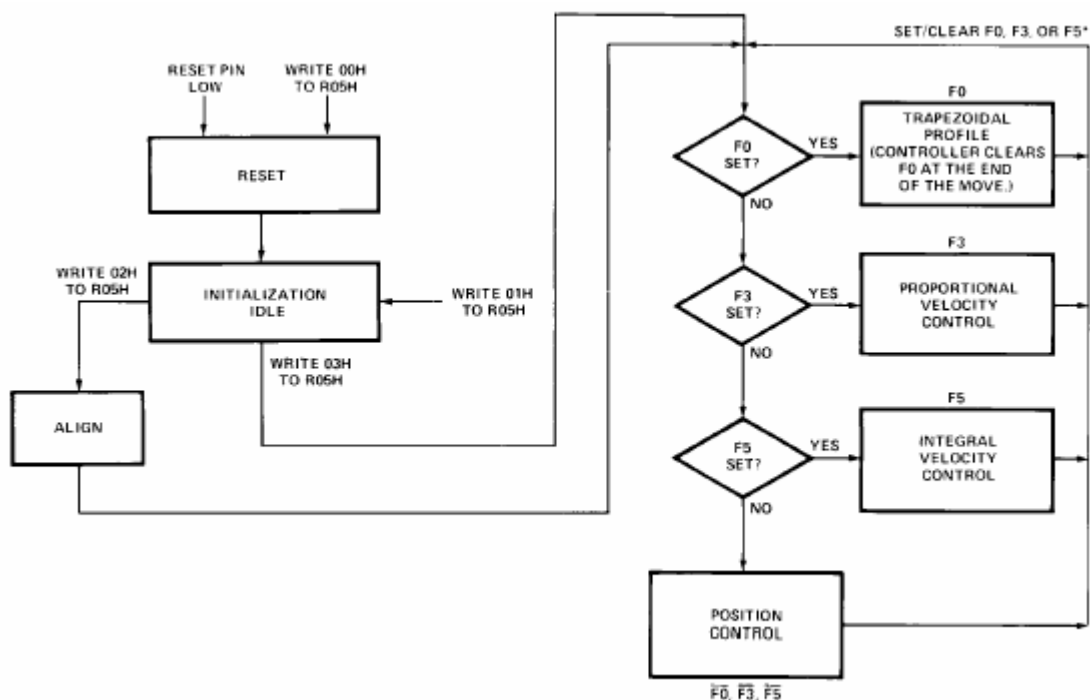


圖 3-10 HCTL-1100 工作模式流程圖[20]

3.3.2 DSK 與 HCTL-1100 之溝通

本文車型機器人是藉由雙顆直流馬達來驅動，因此必須要有兩顆HCTL-1100來提供PWM訊號及接收編碼，且要能精準的收發訊號，才能達到即時響應的控制。而前章節有提及到DSP C6000系列並非專門為控制所研發的晶片，所以當其它晶片的溝通時，必需透過自行製作的時脈，來當成與晶片間溝通的橋樑。而圖3-11為HCTL-1100寫入訊號的時脈圖，若要將資料丟給HCTL-1100做一處理，必需符合如圖所示的時脈圖，才可得到我們所需的PWM訊號。因此，這邊需要利用DSP所提供的General Purpose Input/Output (GPIO)，利用其三隻GPIO接腳來替代圖中的Address Latch Enable (\overline{ALE})、Chip Select (\overline{CS})及Read/Write (R/\overline{W})。反之，若要讀取HCTL-1100中的資料的話，需要多加一隻GPIO接腳，來取代圖3-12中的Output Enable (\overline{OE})的接腳，這樣才能在HCTL-1100接收編碼器時，將訊號傳回DSP中作後續處理。而在經由時脈時間計算後，且在不斷反覆測試後，可得到幾乎完全相同的時序動作，進而順利取得與HCTL-1100晶片的溝通。

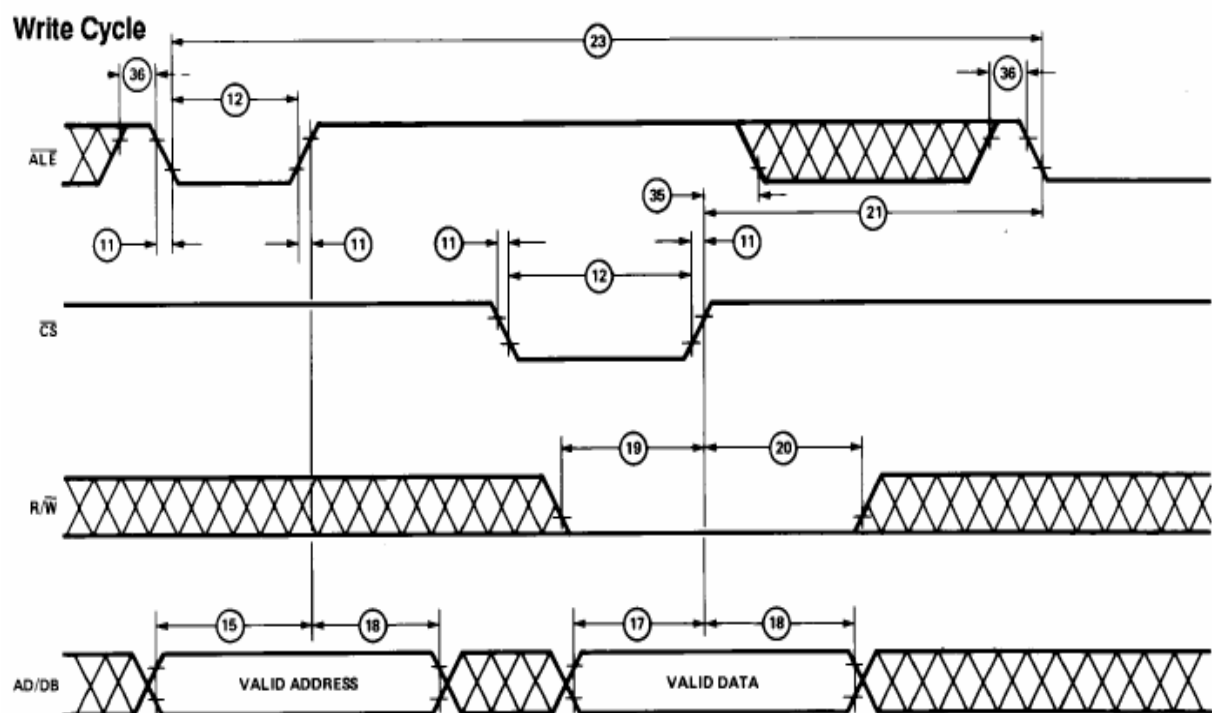


圖 3-11 HCTL-1100 訊號寫入時脈圖[20]

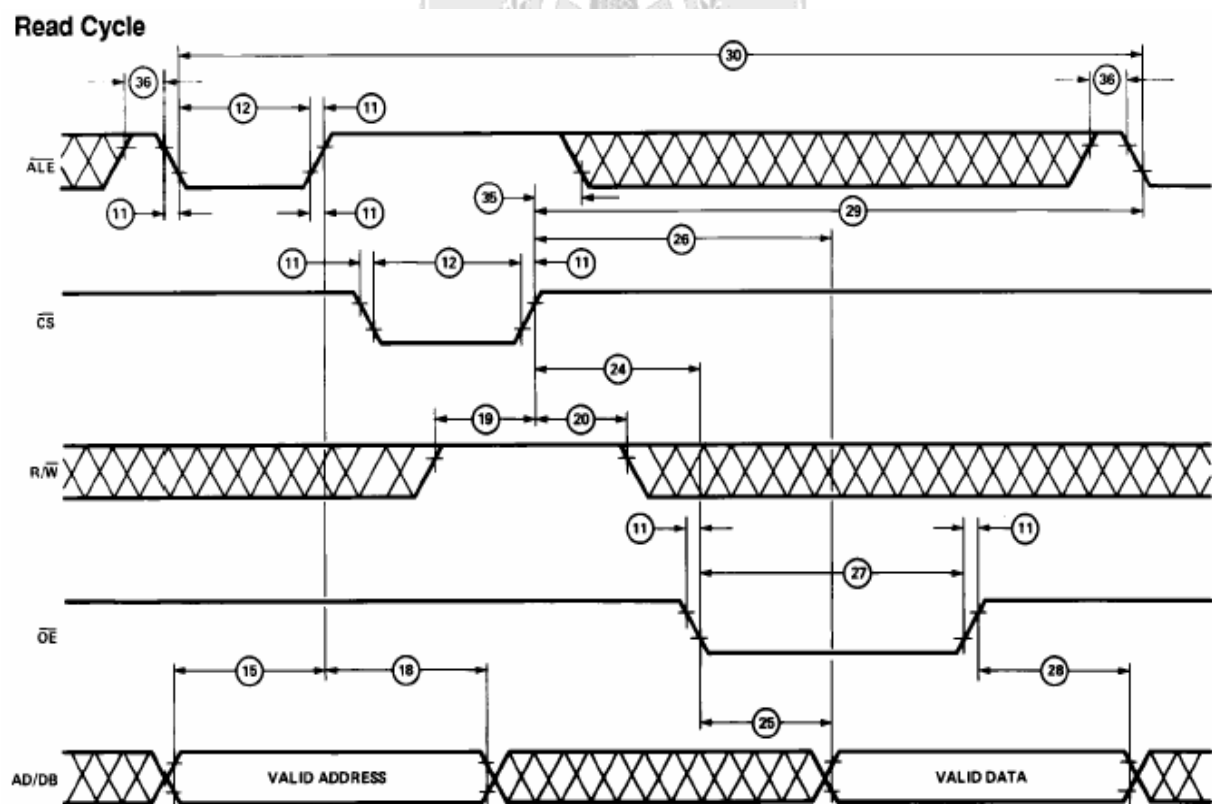


圖 3-12 HCTL-1100 訊號讀取時脈圖[20]

在自行製作的時脈圖下，已經可精確的傳送及接收資訊，來達到 DSP 與 HCTL-1100 的溝通橋樑。此時，若要 HCTL-1100 輸出所需的 PWM 訊號，只須於位址 R09H 輸入所需的工作週期大小，如圖 3-13 所示。圖中所顯示的為 PWM 與輸出值大小的對照圖，而左右代表馬達之正反轉，正反轉定義須按照你後級推動電路為基準。從圖中可發現其 PWM 的輸出值的解析度為 8-bit，也就是代表訊號輸出為 00H to FFH (-128D to +127D)，這樣的解析度已經足夠本文理論的實現。

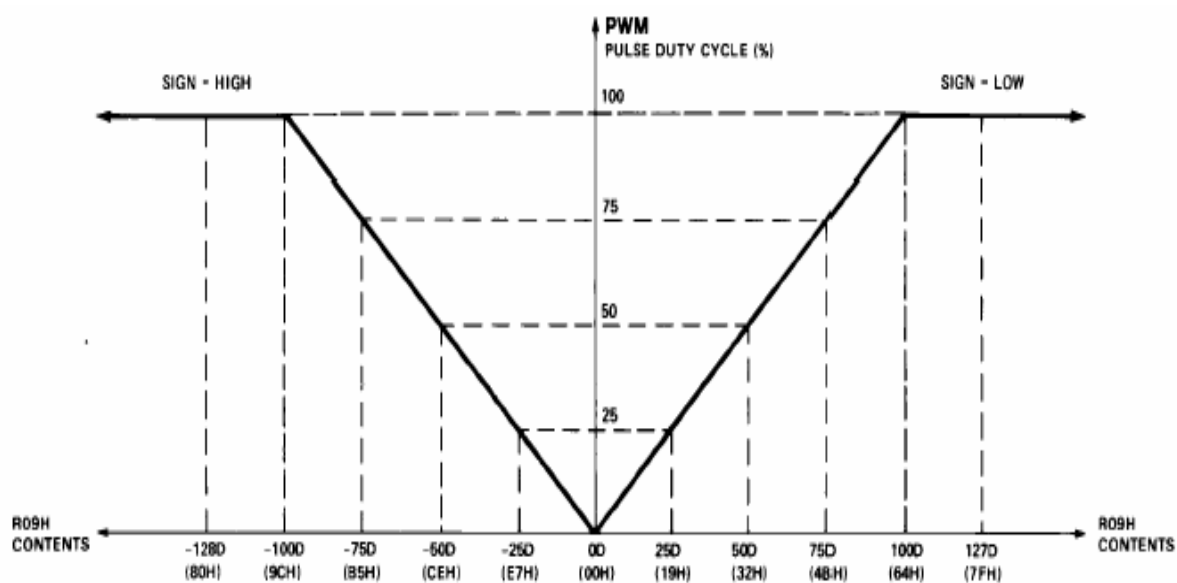


圖 3-13 HCTL-1100 PWM 輸出對照圖[20]

而本文的 HCTL-1100 除了輸出 PWM 訊號外，還有一個重要的任務，也就是接收直流馬達所回傳的編碼訊號。因 HCTL-1100 是專門替馬達控制所設計的運動晶片，因此有許多功能都是專為馬達控制所制定的，這也是當初選定此晶片作為控制馬達的首要考慮。如此作法能節省其自行設計電路時，所花費時程及多串級所損失的傳輸時間，來達到本文所提及的即時響應。而接收編碼是由 CHA、CHB 這兩隻接腳接收，之後經由所傳回的相位差，比較過後可得知車型機器人的本身資訊。

因兩顆直流馬達需要兩顆 HCTL-1100 運動晶片，而考慮 DSK 所提供之 GPIO 接腳有限，特別將兩顆 HCTL-1100 的時脈相連接。且 HCTL-1100 有特別設置同步時脈的功能，可將兩顆以上的 HCTL-1100 的 SYNC(同步接腳)連接一起，如此的做法則可節省掉許多

GPIO 接腳的使用。因 DSKC6146 有提供 32-bit EMIF(External Memory Interface)介面，可將兩顆 HCTL-1100 的 8-bit 資料線分別接於 EMIF data pin0 to EMIF data pin15，經過實際驗證過後，仍可順利傳送接收所需資料且無時差影響。然而本文 DSK 與 HCTL-1100 運動晶片的連接線路，則可規劃如圖 3-14 所示。而以上所提功能，僅為本文所強調之部分，其 HCTL-1100 此晶片所提供功能之多，希望有助於車型機器人後續發展。

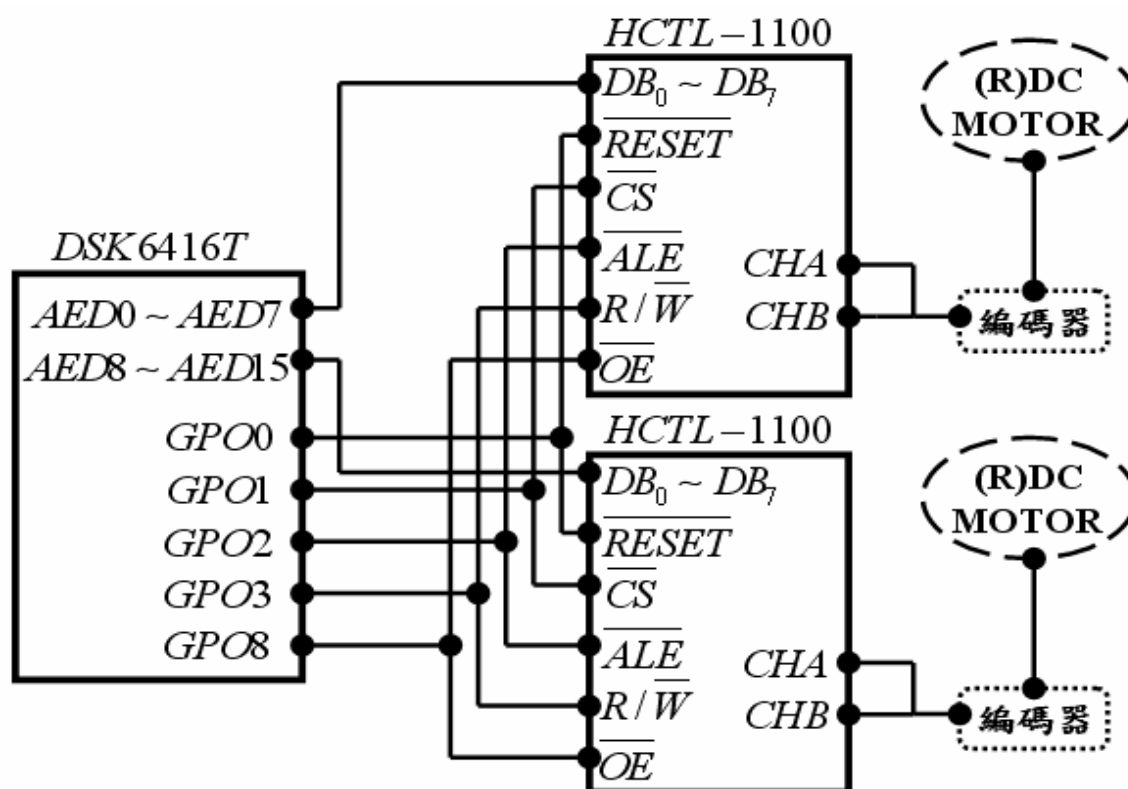


圖 3-14 DSKC6416T 與 HCTL-1100 電路連接示意圖

3.3.3 LMD18201 的簡介

(1) LMD18201 的特性：

LMD18201 是由美國國家半導體公司(NS)所推出，是專用於驅動直流電動機的 H 電橋功率晶片。此晶片主要功用在於 PWM 訊號的功率放大，同時也具有 H 電橋的保護作用，可防止馬達因為電流反饋而造成直接燒毀。在 LMD18201 內部結構由 CMOS 和 DMOS 元件所組成，前者主要用於控制電路專用，而後者的用途則專注於放大功率，這樣的作法能抑止功率散漫的情況。利用此晶片與 HCTL-1100 做搭配使用，則可形成一個很完整

的運動控制系統結構，更能顯示出本文所強調的即時控制響應。其主要特性如下所示：

- 峰值輸出電流高達 6A，連續輸出電流達 3A
- 工作電壓可高達 55V
- TTL/CMOS 可相容輸入
- 無”shoot-through”電流
- 具有溫度警告和過熱與短路保護功能
- 當晶片溫度於 145 會有警告回報
- 當晶片溫度高達 170 會自行停止動作
- 具有良好的抗干擾性質

(2) LMD18201 接腳說明：

LMD18201 具有 11-LED 和 24-LEAD 兩種封裝形式，圖 3-15 為 11-LED 封裝形式的接腳圖。

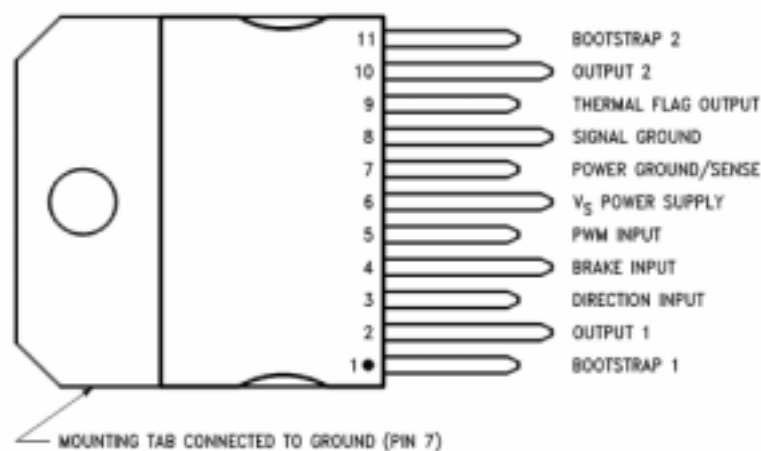


圖 3-15 LMD18201 11-LED 封裝接腳圖[22]

主要接腳的功能說明如下：

- 啟動接腳(BOOTSTRAP)

該接腳為電橋臂上的啟動輸入電容連接端，而必須在接腳 1 與接腳 11 之間，接上 10nF(10^{-8} 法拉)的啟動電容。

- H 電橋輸出端(OUTPUT)

接腳 2 與接腳 10 為 H 電橋電壓輸出端，利用輸出壓差來提供直流馬達，連接上需考

慮馬達正反轉的問題。

- 方向輸入端(DIRECTION INPUT)

接腳 3 為方向輸入端，輸出驅動電流方向如表 3-1 所示，該接腳控制輸出 1 與輸出 2(接腳 2 與接腳 10)之間電流的方向，進而控制馬達旋轉的方向。

表 3-1 LMD18201 邏輯真值表[22]

PWM	Dir	Brake	Active Output Drivers
H	H	L	Source 1, Sink 2
H	L	L	Sink 1, Source 2
L	X	L	Source 1, Source 2
H	H	H	Source 1, Source 2
H	L	H	Sink 1, Sink 2
L	X	H	NONE

- 煞車輸入端(BRAKE INPUT)

煞車輸入端為接腳 4，輸出驅動電流方向如表 3-1，通過該端將馬達線組短路而使其有煞車功能。而整個煞車流程為，將該接腳輸入至高邏輯電位，並將 PWM 訊號輸入端(接腳 5)輸入至高邏輯電位，而方向輸入端(接腳 3)邏輯狀態決定於短路馬達的時候。當方向輸入端為高邏輯電位時，H 電橋中兩個高端 DMOS 導通；而當方向輸入端呈現低電位時，H 電橋中的兩個低端 DMOS 導通。當煞車輸入端為高邏輯電位時，PWM 訊號輸入端為低邏輯電位，而 H 電橋中所有 DMOS 都是關閉的狀態，此時，輸出端只有很小的微電流(1.5mA)。

- PWM 訊號輸入端(PWM INPUT)

接腳 5 為 PWM 訊號的輸入端，而驅動電流的方向對照表 3-1，而該接腳與方向輸入端(接腳 3)搭配使用，來決定 PWM 訊號的類型，進而改變直流馬達的正反轉。

- 溫度旗標輸出(THERMAL FLAG OUTPUT)

溫度旗標輸出為此晶片上的接腳 9，專門提供晶片工作時的溫度。平時此接腳為高邏輯電位，當晶片工作溫度到達 145 時，此接腳會改變為低電位邏輯狀態，以提供使

用者的一個參考指標，。而當溫度高達 170 以上，若此時使用者並無設定機制，將使此晶片停止運作，會有自行關閉輸出的動作，來保護整個驅動電路的安全機制。

(3)LMD18201 工作原理：

LMD18201 晶片內部有四個 DMOS 功率放大器，以構成一個標準型式的 H 驅動電橋，H 電橋上臂的兩個開關提供切換驅動電路(Charge Pump Drive)，此切換驅動電路是由 300kHz 左右的工作頻率所驅動。而在啟動接腳(接腳 1 與接腳 11)之間所外接的電容，形成了第二個切換驅動電路，而所外接的電容越大，代表電容充電速度越快，電壓所上升的時間也越少，則使其工作頻率可以更高。輸出接腳(接腳 2 與接腳 10)是連接於直流馬達上，正轉時電流的方向應該從接腳 2 到接腳 10，而反轉時電流的方向為相反，但這需要由前級驅動電路的方向接腳來決定之。內部的保護電路所設置的過電流值為 10A，當超過該值時會自動封鎖輸出，並會週期性的自動恢復其輸出。但假如過電流持續發生的時間是比較長，也就到達此晶片所設定的 170 時，此時過熱保護則將永遠關閉此晶片的輸出。若使用者想自行設定溫度過熱保護機制，此晶片於 145 時，溫度旗標輸出也就是接腳 9 會有訊號輸出，會將此接腳改變為低電位邏輯。圖 3-16 所示為 LMD18201 功能方塊圖。

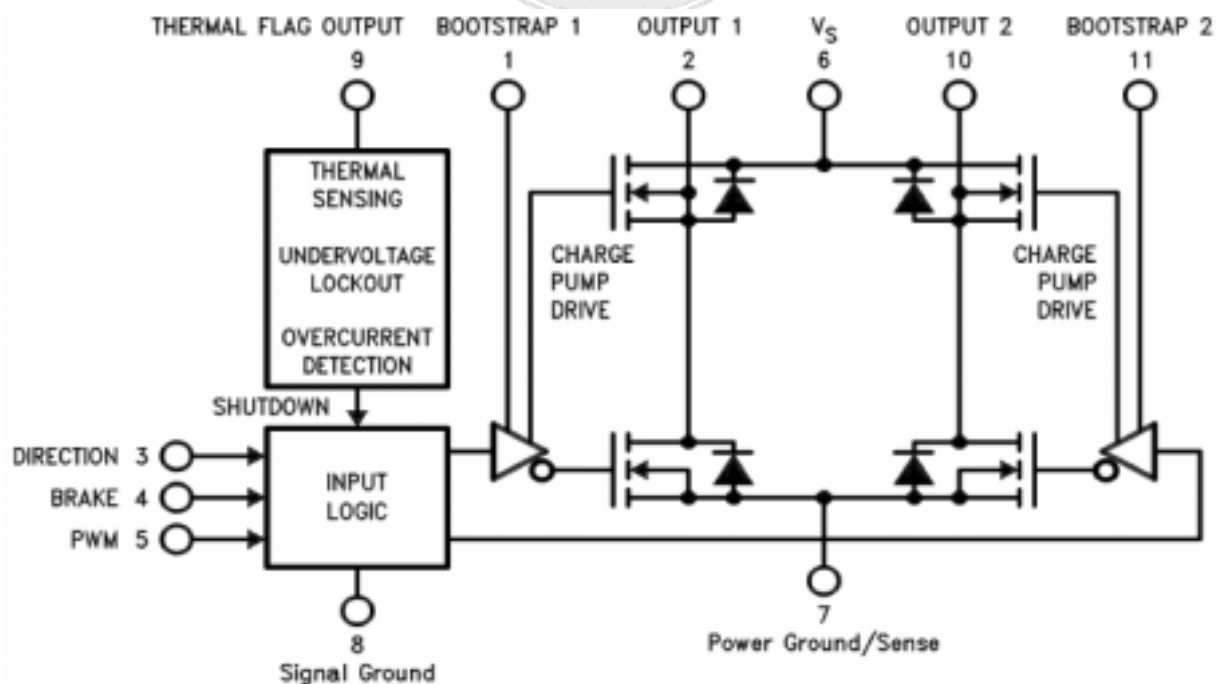


圖 3-16 LMD18201 功能方塊圖[22]

(4) LMD18201 正反轉機制：

LMD18201 的正反轉是由 PWM 訊號輸入(接腳 5)與方向輸入(接腳 3)所組成，圖 3-17 為輸出(接腳 2 與接腳 10)與正反轉之間的示意圖。LMD18201 的接腳 5 與接腳 3 所接收的訊號是，驅動電路的上級 HCTL-1100 所輸出 PWM 與 SIGN 的訊號，使直流馬達能依我們所需的轉速動作。而車型機器人最重要的行進能力，包括前進、後退及轉彎，都必須靠兩顆馬達完成，尤其轉彎更需要利用馬達的差速來達成。因此，整個馬達的正反轉機制，必須要有基本程度的了解，才不至於造成馬達轉向錯誤問題發生。

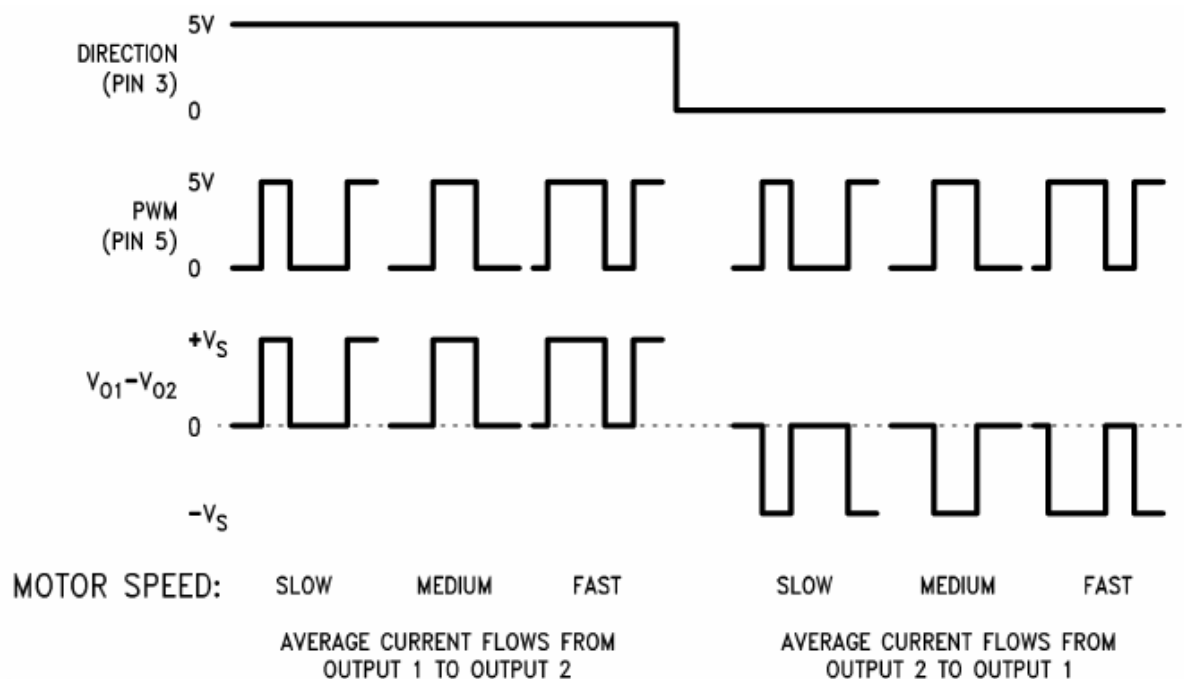


圖 3-17 LMD18201 正反轉示意圖[22]

3.3.4 LMD18201 與 HCTL-1100 之連接

因本文使用兩顆直流馬達，馬達驅動電路的前級HCTL-1100也是使用兩顆，因此在LMD18201的採用上原本應該是要採用24-LEAD的封裝形式。因為24-LEAD是將兩組的LMD18201封裝於同一顆上，且這樣的格式是符合一般麵包板格式，如此作法能省掉自行鑽孔的麻煩與線路規劃。但因為此封裝格式的LMD18201一顆難求，只好改用兩顆11-LED

來取代之，雖然電路上的設計是較為麻煩，因為其腳位的間隔與一般格式不同。不過如此作法卻也有散熱優良的優點，這是因為LED的封裝格式比LEAD的封裝格式比較容易做散熱，可直接於背面加上散熱片即可完成。而且散熱對於這樣的驅動晶片是很重要的，因為其功率消耗比較高，所發出的熱度比一般的晶片來得高，若沒有好好做散熱的措施，會嚴重影響其晶片驅動效率。而在與HCTL-1100的線路連接的過程中，該注意的重點在於HCTL-1100的SIGN接腳定義，需與LMD18201的DIRECTION弄清楚，不然可能有馬達轉向顛倒的結果。雖然轉向相反並不會造成馬達燒毀，但在整個測試過程中，還是該仔細檢查清楚為佳。圖3-18為LMD18201與HCTL-1100的電路連接示意圖。

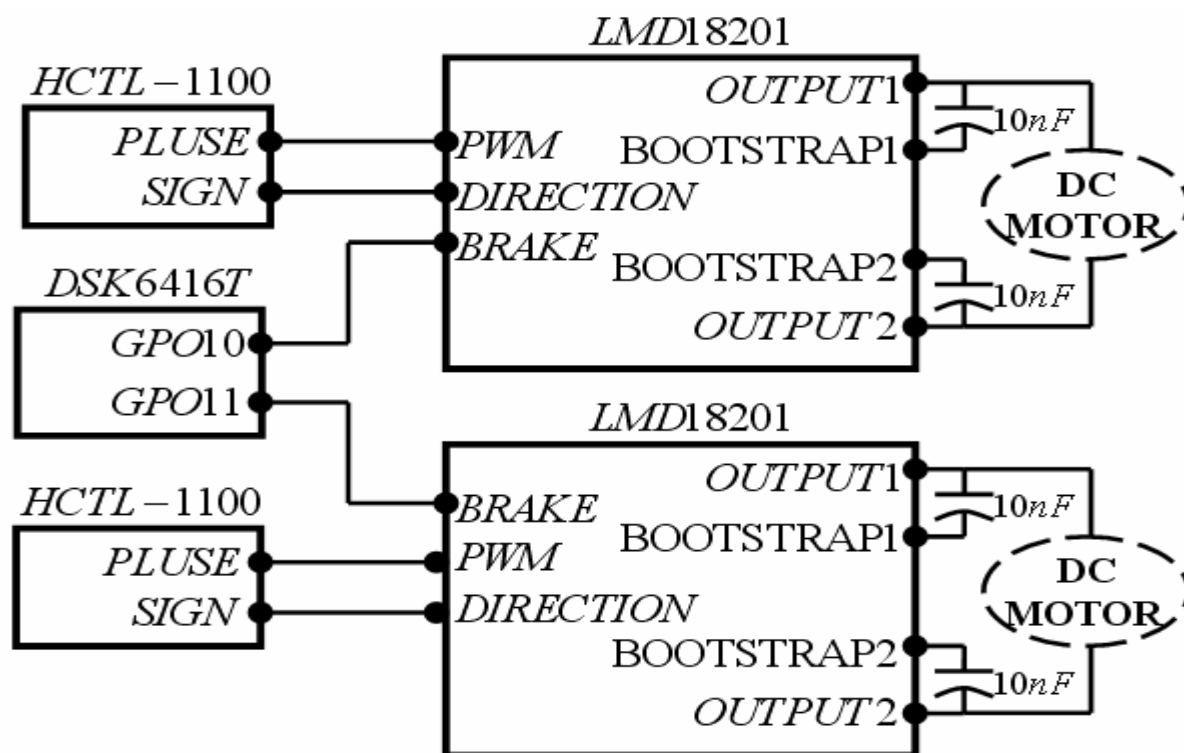


圖 3-18 LMD18201 與 HCTL-1100 連接示意圖

3.4 超音波感測器

本文的車型機器人研究重點在於，設計出能即時閃避障礙物的 SoC 系統，也就是當為無人操控時，而且系統發生危急的錯誤，仍然可以安逸的保護車型機器人。因此由超音波感測擔任此任務最為理想，這是因為超音波感測時間迅速，雖然有感測器會有互相干擾情形且量測誤差較為不理想。但由於本文是將其所接收訊號，經由模糊理論的判斷之後，將其所得輸出反應於直流馬達上，所以這樣的誤差並不會影響結果。而本文預估車型機器人於閃避障礙物的要求，大概是離障礙物 40~60 公分左右的距離，且整體架構需 4 顆的超音波感測器，有鑑於實驗的成本考量，本文所採用的超音波感測器模組為 POLAROID 6500。

3.4.1 超音波簡介

超音波大致又可分為兩大類：機械波與電磁波，超音波就是屬機械波的一種，而電磁波最典型的就無線電波。超音波由字面意義又可解釋為”高於人類所能聽見的頻率範圍”，而人耳可聽見的頻率範圍大概於 20Hz~20KHz 左右，低於此範圍被稱為超低音波。而超音波感測器又可依頻率高低有其不同用途，高頻率大概是被應用於醫學方面，而本文所需要的是低頻率範圍，通常就運用於距離上的量測，而頻率範圍大致分佈於 20KHz~數百 KHz。[31]

波的傳播速度是頻率與波長的乘積，音波的傳播速度其實不快，速度大約是 343m/s，比起電磁波的 3×10^8 m/s 慢很多。因此波長短就變成超音波的一種特色，而且傳遞介質不限於氣體、液體及固體上，並會因介質不同所產生的傳播速度也不一樣。超音波的強度會隨距離越長而衰減越大，這是因為能量的散失及所分佈球面積越來越大，所造成的一種音波上的衰減。衰減是與超音波的頻率成正比的，也就是代表頻率越高，所能量測的距離也越短。所以超音波應用於距離量測時，反射波要以很大的放大率，加以增強來達成短距離量測的任務。因此，在實驗的過程除了距離量測的制定外，還有一個重點就是障礙物的選擇。剛有提及不同的介質會有不同的反射速度，經由多種物質比較結果可得知，紙類與塑膠是最好的障礙物，其原因之一為材料較容易取得。

一般超音波感測器的檢測方式可分為以下四種：

(1) 單一發射型：

單顆超音波發射器將頻率高於20KHz的音波發散至空氣中，以達到某種特定的功能，像市面上常見的驅蟲器，都屬於單一發射型的超音波。如圖3-19 (a) 所示。

(2) 雙頭對射型：

將超音波發射器及接受器面對面分置兩處，若發射器與接收器之間並無遮蔽物時，接受器有最大之電氣信號。而當有遮蔽物出現時，則大部分的發射波會被遮蔽物所阻擋，僅有少數的音波因其他繞射因素能抵達於接受器，因此可藉由接收器的訊號大小，來判斷這區間是否有遮蔽物的物體出現。此類檢測方式常被應用於遙測及檢測物體，如影印機及傳真機之送紙與卡紙偵測，以及自動化生產線計數等應用。如圖3-19 (b)所示。

(3) 雙頭反射型：

雙頭反射檢測方式與檢測方式(2)最大的不同點，在於發射器與接收器都是置於同一面，因此發射器所發射出之音波，會經而反射物的折返，最後抵達同側之接受器上。此檢測方式經常被應用於量測距離或物體檢測，如超音波防盜器及機器人之障礙物檢測等。如圖3-19 (c) 所示。

(4) 單頭反射型（收發同體）：

本文所採用的超音波感測模組，就是此種超音波檢測方式，它是利用單個脈波型換能器（Transducer），再以脈波驅動換能器使其發射超音波，且當脈波停止時換能器轉為接收器，藉以接收折返回來之音波。單頭反射型檢測方式常用於檢測物體及量測距離。如圖3-19 (d) 所示。

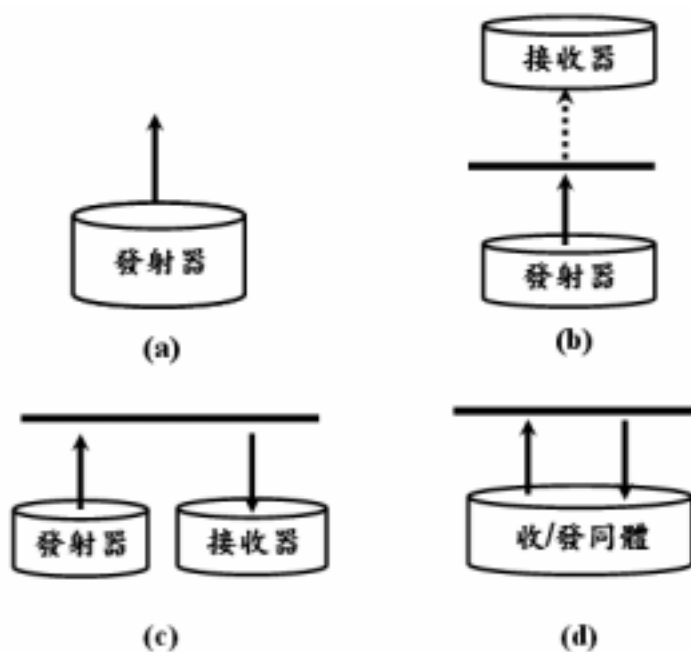


圖 3-19 超音波檢測模式：(a)單一發射型(b)雙頭對射型(c)雙頭反射型(d)收發同體型

3.4.2 超音波距離檢測

超音波距離檢測的原理[32]，是利用控制電路發出一個脈波驅動超音波，使發射器發射一小段時間的超音波訊號，直到訊號遇到障礙物反射回來後，經由接收器將反射回來的超音波接收。因此只要計算發射到接收超音波訊號的時間，即可算出超音波模組與障礙物的距離，一般稱這段時間為飛行時間，如圖 3-20 所示。



圖 3-20 飛行時間示意圖

而距離與飛行時間的關係可表示為下式(3.1)式：

$$\text{距離} = \text{音速}(C) \times \frac{\text{飛行時間}(t)}{2} \quad (3.1)$$

假設在一大氣壓下、溫度為 25 的情況下，音波在空氣的波速大概為 346 m/s (公尺/秒)，然而音速會因為外在環境溫度的改變而隨之變化，而關係式(3.2)表示如下：

$$\text{音速}(C) = 331.31 \sqrt{1 + \frac{T}{273.15}} \quad (3.2)$$

式中 T 表示為操作溫度，因此實際的距離量測必須將環境溫度列入考慮。所以超音波距離量測的基本原理，可表示為圖 3-21。

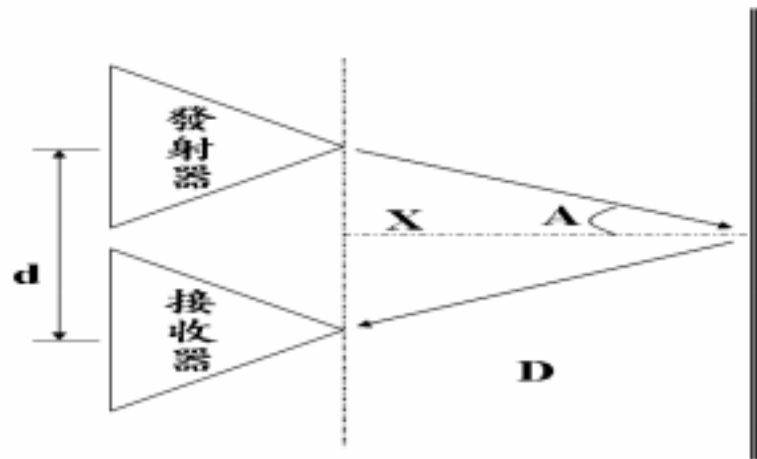


圖 3-21 超音波距離量測之基本原理

其距離量測的基本原理的關係式，可表示為式(3.3)和式(3.4)：

$$X = \frac{C \times t \times \cos(A)}{2} \quad (3.3)$$

$$D = C \times \frac{t}{2} \quad (3.4)$$

其中，

C：波速

t：超音波發射信號至接收訊號所需之時間

A：音波入射角

D：音波實際飛行距離/2

X：感測器與障礙物相隔距離

由距離量測的基本原理的關係式中，可發現若是採用雙頭反射型的檢測模式，則必須考慮其音波入射角的問題。這代表發射器與接收器必須非常靠近，否則會有基線誤差的產生，造成發射與接收上的距離誤差。但太靠近也不行，因為需擔心接收器會不會有共振的情形產生，影響了較近反射波的接收，也就是發射器所生的音波馬上被接收器接收，造成超音波在距離量測的誤判。但因本文所採用的並非此種檢測模式，而是收發同體的單頭反射檢測模式，因此音波的發射接收於同位置上，基線誤差可以說是微乎其微。但這樣的檢測模式需要由切換電路控制發射與接收，所以當切換電路的測量頻率提高時，才能夠得到較高的解析度。反之，若頻率太高則必須考慮切換電路。因此會存有一個大缺陷，那就是不能用於近距離上的量測。

3.4.3 POLAROID 6500 簡介

本文所採用的超音波模組型號為Polaroid 6500，此模組為單頭反射檢測模式，模組電路內已經具有換能器，直接於開發上節省許多時程。圖3-22所示為整個感測器模組的電路結構圖。以下為超音波感測器Polaroid 6500的特色：

- 量測範圍為6英吋至35英尺
- 轉換器直徑為38mm
- 單一電源供應
- 兩種接收ECHO訊號的選擇
- 與電晶體邏輯電路相容
- 可調變之感測強度
- 發射頻率為50KHz
- 波長為6.8mm
- 指向角為25°
- 發射角約為23

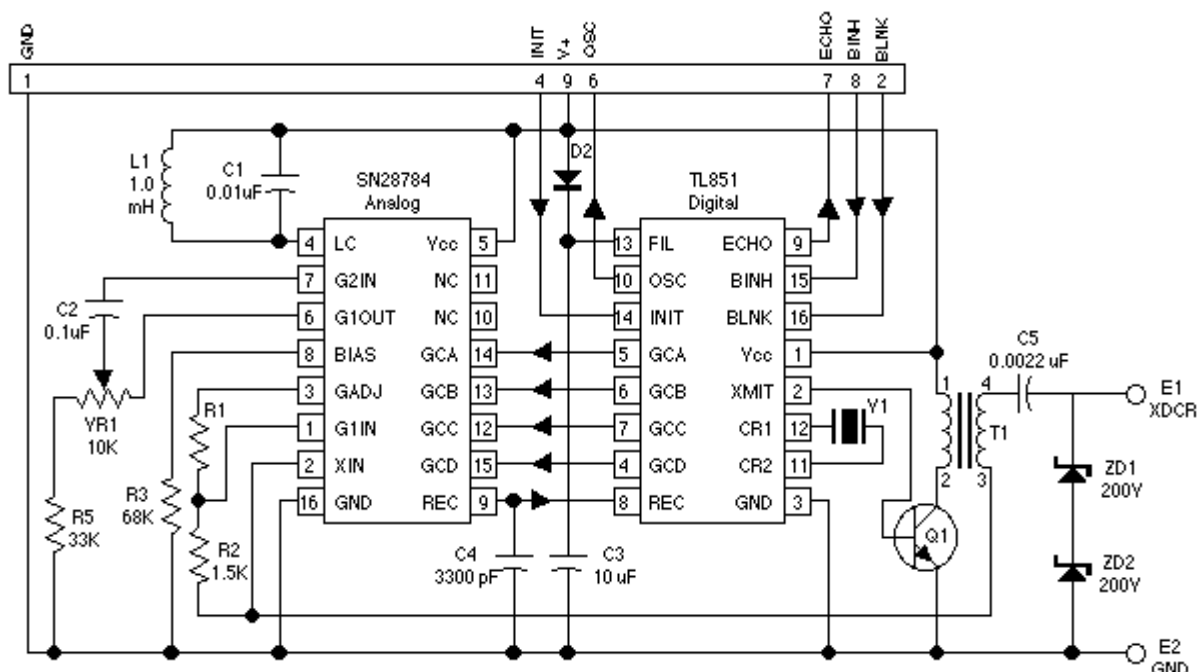


圖 3-22 Polaroid 6500 電路結構圖[36]

而Polaroid 6500此超音波感測器模組，所提供的信號排線接頭如圖3-23所示。而表3-2所顯示的為各個接腳的功能配置表，經由所提供的時脈模式，即能正確的控制觸發及接收訊號。接下來只要記錄觸發至接收的這段時間，再將此段飛行時間，經由所推導的公式來得到距離。

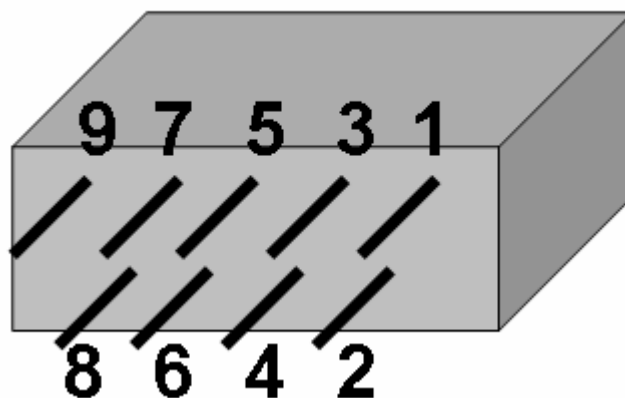


圖 3-23 Polaroid 6500 感測模組信號排線[36]

表 3-2 各個接腳功能配置表[36]

接腳編號	功 能 描 述
1	模組接地(GND)
2	接收控制選擇(BLNK)
3	
4	訊號發射(INIT)
5	
6	震盪頻率(OSC)
7	訊號接收(ECHO)
8	接收控制輸入(BINH)
9	模組電源(V+)

3.4.4 DSK 與 POLAROID 6500 之溝通

該如何去觸發超音波感測器，以及偵測這段時間的長短，這必須利用 DSK 上的 GPIO 以及外部中斷來處理。而 GPIO 是給予超音波模組的起始觸發，而外部中斷則是偵測反射的音波是否抵達，再加上 DSK 所配置的計時器，即可準確的計算出這段飛行時間。Polaroid 6500 此模組有兩種檢測模式，其一為單一回應模式(Single-Echo-Mode)及多重回應模式(Multiple-Echo-Mode)的模式，如圖 3-24、圖 3-25 為個別時序圖。

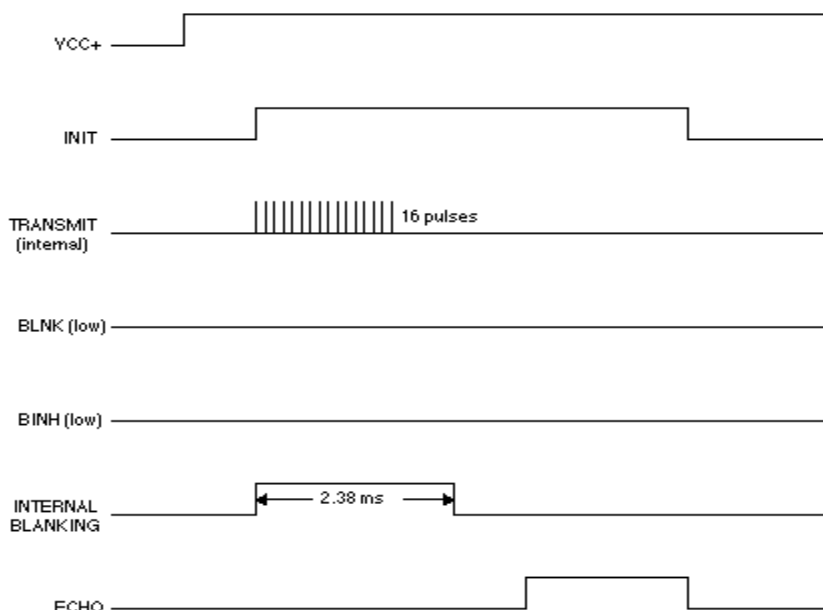


圖 3-24 單一回應模式時序圖[36]

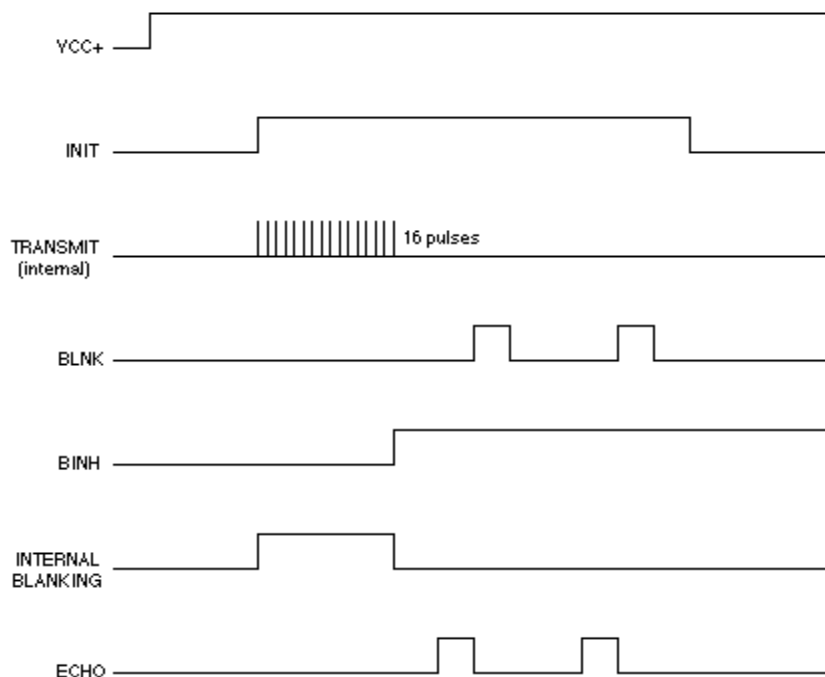


圖 3-25 多重回應模式時序圖[36]

而這兩種都有其優缺點，但因本文是將超音波運用於多顆檢測，所以選擇單一回應模式應該是比較合適。而其考慮的因素最主要是為了節省 DSK 的 I/O 所做的決定，為了實現本文最大的期許，也就是將整個系統作為單顆晶片的運作，以確保在整個系統的即時響應，所以並無打算利用其他單晶片來做 I/O 擴充。此外多重回應模式的量測處理時間，會比單一回應模式多上許多，這也是當初選擇的考量其一。前文有提及到單頭反射檢測模式會有換能器切換的問題，所以在檢測的過程中，會有一個內部空白(Internal Blanking)時間，大概會持續有 2.38 毫秒，換算成檢測距離大概是 1.33 英尺。因此，在這段時間內不能有觸發的動作產生，而此模組於電路設計上有設定一段時間，就是稱為空白時間(Internal Blanking)時間。這樣的設定是避免發射音波後，所產生的震盪被當成反射回來的音波，而造成誤判的情形發生。

圖 3-26 為超音波感測模組與 DSK 的線路連接圖，而其中必須注意的地方為超音波的訊號接收(ECHO)，因為此訊號僅有 $100\mu A$ 的電流驅動力，因此必須加上提昇電阻。由圖中可看出從參考電壓與訊號接收(ECHO)之間，加上一個大約 $4.7k\Omega$ 的提昇電阻，這樣

才能有足夠電位來驅動 DSK 的外部中斷，進而取得超音波所量測到的時間。但是這段時間如何量測，通常有兩種慣用的方法，其一是利用程式撰寫計時功能，但這會有計數上的誤差產生，這是沒 TIMER 時的作法。而本文所用的 DSK 內部有提供三組 TIMER，而且計數的位元數可達 32-bits，使得量測的解析度能被提高。而量測的距離解析度與計數頻率也有直接關係，若量測的距離要越遠時，相對的解析度會降低。反之，若要有較高的解析度，則相對的所能量測的距離也越短。而車型機器人於一般環境行走時，是不需要太遠的距離量測，所以可由計數器的暫存器來調整適當的初始值。

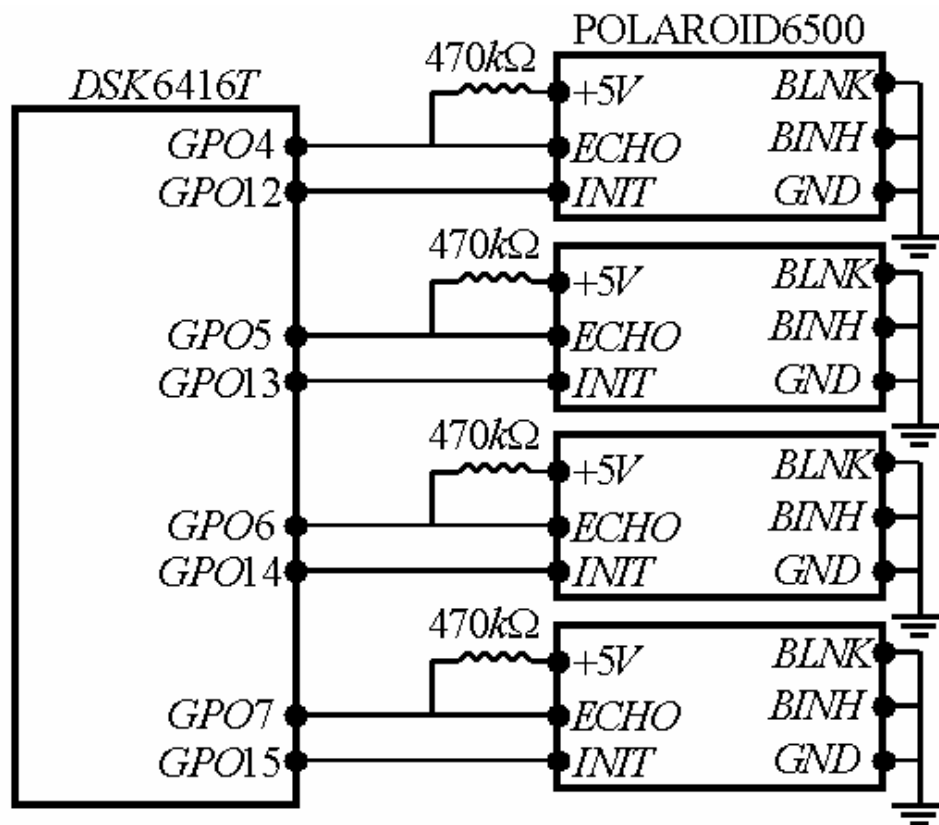


圖 3-26 C6416T DSK 與超音波感測模組的連接圖

3.5 電源電路

3.5.1 車型機器人之電源配置

電源電路這部份，是以三顆7.2V鎳鎘電池來提供車型機器人的電力來源，為了顧及DSK及電路的安全保護，因此將三顆電池分為雙電源使用。也就是將兩顆以串聯結構提供直流馬達驅動，而兩顆串聯的電壓等於14.4V，但本文所使用的直流馬達是12V驅動，因此還必須透過穩壓IC來調整。而另外一顆7.2V的鎳鎘電池，則可以單獨提供給DSK與整個硬體電路使用，這樣的設計可避免直流馬達故障時，所產生的反回饋電流造成DSK及電路損壞。且本文所採用的電路包括超音波感測器，都是以5V當為電源供應，因此也只要透過簡單的穩壓IC來設計即可。因此整體的電源配置圖如圖3-27所示。

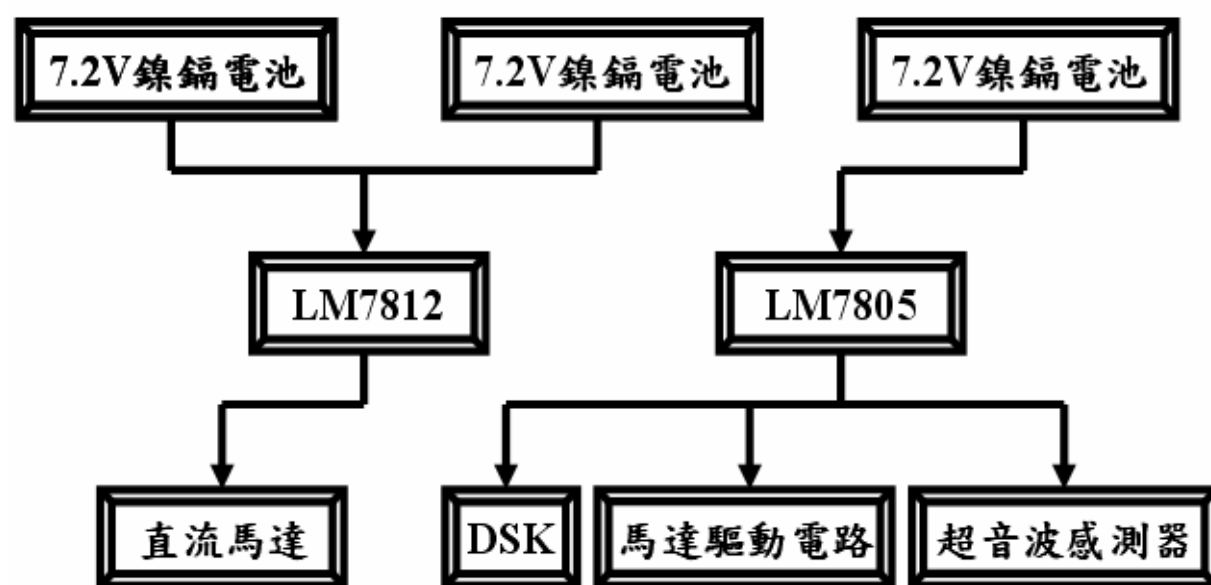


圖 3-27 電源配置示意圖

3.5.2 電源電路之規劃

上一節說明了車型機器人的電源配置，必須要有雙獨立的電源設計，因此必須要利用穩壓IC來得到穩定的5V及12V。而本文是採用了LM7805與LM7812，這兩顆IC於穩壓電路中經常被使用，而且穩壓的效能也算穩定。而穩壓於運用時較該注意的地方，就是

當IC工作時的最低容許輸入電壓，也就是當輸入電壓低於此範圍內，會造成所穩壓出來的電壓有不穩定現象。雖然於LM7805資料手冊中發現了，此顆IC最低限度的工作輸入電壓為7.5V，高於本文所採用的鎳鎘電池7.2V。但於實際的硬體驗證中，可以得知這樣並不會影響DSK與周邊電路的工作情況，而且所量測出的電壓均是穩定的5V。其實這是因為鎳鎘電池的輸出電壓品質也是參差不齊，三顆鎳鎘電池經由逐一量測過後，可發現有兩顆電池根本超過7.2V。所以供應給予LM7805工作的輸入電壓，是一顆大概7.8V左右的鎳鎘電池，這樣的電壓值已經符合其最低限度工作電壓。另一方面，要供應給予直流馬達的12V，所存在的問題也是相同。而LM7812的最低工作輸入電壓是14.5V，但兩顆串聯之後的鎳鎘電池是14.4V，但於實際測量過後的值可修正為14.7V。而所有鎳鎘電池的電壓量測，都是於電池充飽過後，量測的時間都是超過一個小時以上。因此，這樣的設計並不會影響車型機器人於動作時的結果，而且於實際的硬體驗證上也是相同的。圖3-28為LM7805及LM7812的接腳圖。

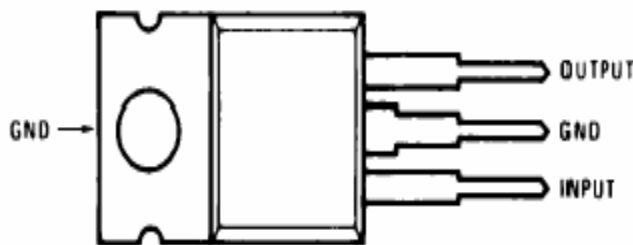


圖 3-28 LM7805 與 LM7812 的接腳圖[37]

圖 3-29 所示，電源電路主要是由一顆 LM7805 穩壓 IC 所組成，而電路中於輸入端、輸出端分別跨接 $1000\mu F$ 及 $470\mu F$ 的電容，這樣能穩定其輸出的電壓。這樣能避免電源電路因開關突波或負載變化而造成的損壞，而且旁路電容有消除漣波的功能，使能夠有穩定的 5V 輸出。而 LM7812 的電路設計與 LM7805 相同，於輸入端與輸出端分別跨接上 $1000\mu F$ 及 $470\mu F$ 的電容，使其能得到穩定的 12V 來供應直流馬達驅動。

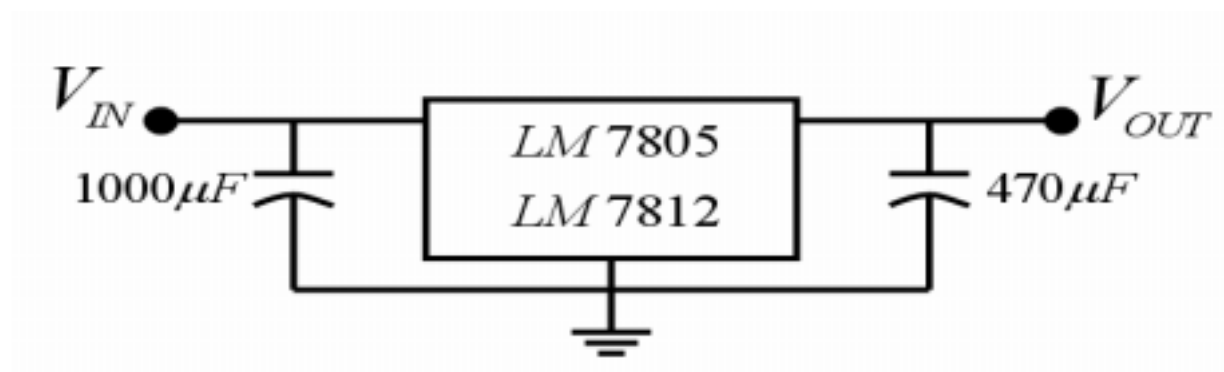


圖 3-29 穩壓電路圖

3.5.3 保護措施之設計

將電源電路的設計分為雙獨立電源，分別獨立來供應馬達和DSK及周邊電路，這樣對於保護DSK及周邊電路是比較安全的。就算直流馬達有故障的情形發生，也不會對於直接供應5V的電路造成影響，除非電流是從馬達驅動電路後端倒流回來，不然是不會對於DSK及周邊產生直接的破壞影響。但為了整體電路安全保護的完整性，必須參考於馬達驅動電路的後端部分，這段從HCTL-1100所輸出給LMD18201的線路。參考如圖3-30所示，在HCTL-1100所輸出的PLUSE到LMD18201的PWM之間，及HCTL-1100所輸出的SIGN到LMD18201的DIRECTION線路之間，必須加上一個保險絲設計。而這個保險絲的大小為1A，這是考慮本文所採用的馬達於故障時，最低限度的一個參考值。這樣的設計是讓馬達在發生故障時，能將這四條線路呈現短路狀態，藉以保護DSK以及周邊電路的安全。而LMD18201已經有自我保護功能，再加上如此的保護設計，可以說是具有雙層保護的安全考量。

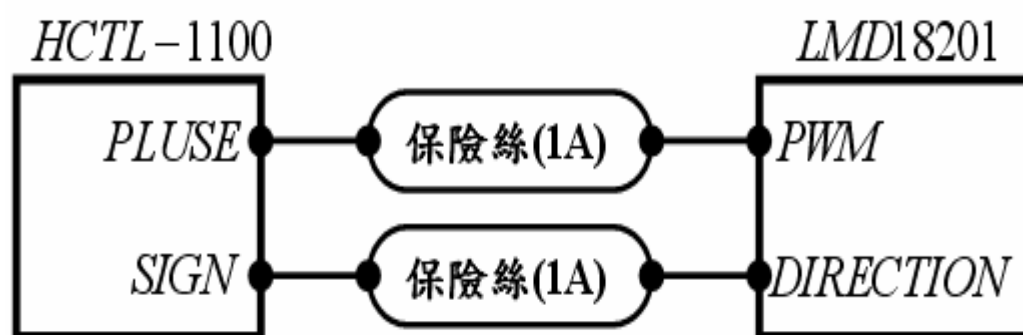


圖 3-30 保護電路圖

第四章 直流馬達之系統鑑別

本章主要是對車型機器人所使用之直流馬達，以較為簡易之類神經網路理論，來建立直流馬達之系統模型。而所謂較為簡易的鑑別方法，也就是將複雜的典型類神經網路結構，經由類似線性化之轉換過程，來建立比較容易分析之轉移函數。因此能直接鑑別出直流馬達的轉移函數，對於運動系統上的分析、穩定性的分析以及控制器的設計，會有許多設計分析時的優點。使得車型機器人於往後的設計上，能直接的對於馬達做 PID 控制，以取得車型機器人的移動時的即時控制響應。

4.1 類神經網路理論

類神經網路（Artificial Neural Network），也可稱為人工神經網路，它是以人類心智與腦部活動時所發展出的模型。就以整體架構來講，它是以大量的人工神經元相連來模仿生物神經網路的能力，也就是以許多簡單而且相互連結的處理單元（Processing Elements）所組成。而就網路功能而言，它是以生物模型的概念為基礎，所延伸出來的新型態資訊處理與計算方式。但事實上，真正的神經系統是很複雜的，就算當今的醫學相當發達，對於腦神經的運作仍然有許多未知。但類神經網路理論的發展，並不是針對真正去發展出實際的神經運作，而是保留其中一些該有的特性，其目的重點在於如何應用。而我們則可將此特性來建立系統模型，利用系統的輸出入資料來組成，有此模型即可用於推估、預測、決策、判斷等等分析。

首先，先了解實際生物神經元的基本架構，再經由與人工神經元對照之中，來體會生物的神經系統特性，與人工神經元之間的差異性。圖4-1為典型的生物神經元的結構圖：

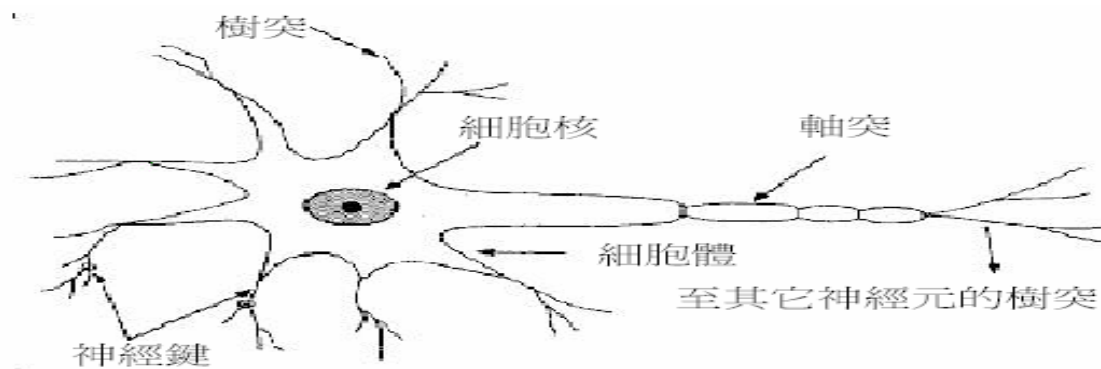


圖 4-1 典型生物神經元結構圖[28]

其中：

樹突 (Dendrites)：為接收其他神經元所傳送訊號的接收處，一個神經元能擁有多個樹突，而這些樹突會連接至一個軸突上的神經鍵。

神經核 (Nucleus)：神經細胞的細胞核。

細胞核(Soma)：它是神經細胞體的核心，主要作用是樹突收集到的訊號，作總和後經過非線性轉換，再由軸突將信號傳送給其他神經細胞中。

神經鍵 (Synapse)：神經元之間的訊號傳遞世界由軸突與樹突，而神經鍵位於軸突分支末端，為神經元之間傳送的連接點。可將此單元視為類神經網路上的記憶體，它表示神經元之間的連接強度，且強度 (Strength) 直接決定訊號的重要性，而此連接強度我們稱為加權值 (Weight)。

軸突 (Axon)：軸突又可稱為神經纖維 (Nerve fiber)，主要是將細胞核所發射之訊號，傳遞至其他神經元處，為訊號輸出的機構。

當神經細胞動作時是經化學作用產生電流脈衝 (Impulse) 由軸突傳至另一神經細胞的樹突，軸突與樹突之間以神經鍵相連，此神經鍵的強度決定傳到樹突訊號的大小，它可以有增強或抑制訊號的效果，當這些樹突接收到訊號的總和大於某一值，才會再發出另一脈衝，傳至另一神經細胞[29][30]。

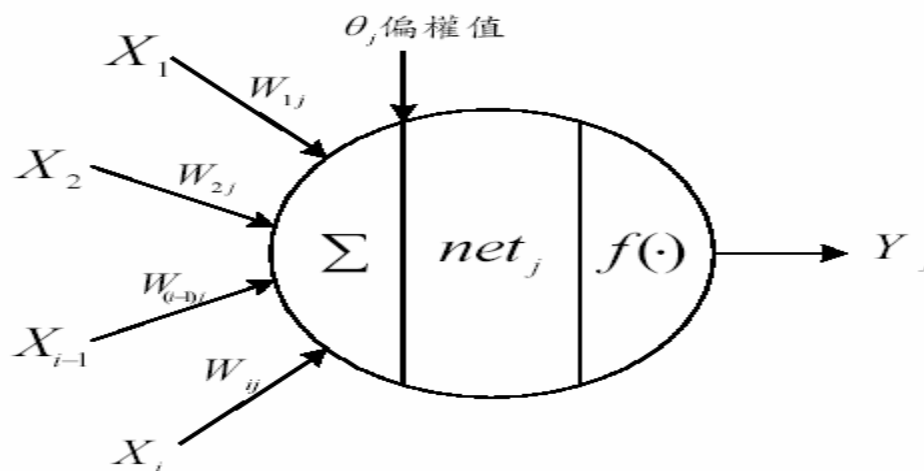


圖 4-2 人工神經元模型[29]

經由與生物神經元對照後，人工神經模型(Artificial Neuron)以類似的元件，組成具有生物神經特性的架構，如圖 4-2 所示。其實人工神經元就是所謂的處理單元，而其中輸入與輸出的關係，可表示如式(4.1)及式(4.2)：

$$net_j = \sum_{i=1}^n (W_{ij} \cdot X_i) - \theta_j \quad (4.1)$$

$$Y_j = f(net_j) \quad (4.2)$$

其中，

net_j ：為人工神經元 j 的總輸入

Y_j ：為輸出變數，模仿生物神經元的輸出訊號。

$f(\bullet)$ ：稱為轉換函數或者激發函數(Activation Function)，用於模仿生物神經元的細胞核非線性處理機能，模仿生物神經元的細胞核之非線性處理機能。主要為將處理單元的輸入值加權乘積和，轉換成處理單元輸出的數學表示式。

W_{ij} ：連結加權值，模仿生物神經元模型的突觸強度。表示第 i 個處理單元對第 j 個處理單元之間的影響強度。

X_i ：為輸入變數，模仿生物神經元的模型之輸入訊號。

θ_j ：表示為人工神經元 j 的門限值或偏權值(Threshold或Bias)，用於模仿生物神經元的細胞核閾值，也就是輸入訊號的加權乘積和必須大於偏權值後，才被允許傳輸至其它人工神經元中。

由式(4-2)可得知，轉換函數可表示成 $f(x)$ ，而 $f(x)$ 是將輸入值 x 經由轉換為輸出值 y 的函數。而一般常用的轉換函數為以下四種：

(a) 線性函數(Linear Function)：

$$f(x) = x \quad (4.3)$$

(b) 斜坡函數(Ramping Function)：

$$f(x) = \begin{cases} 1, & x > 1 \\ x, & -1 \leq x \leq 1 \\ -1, & x < -1 \end{cases} \quad (4.4)$$

(c) 雙彎曲函數(Sigmoid Function)：

$$f(x) = \frac{1}{1 + e^{-x}} \quad (4.5)$$

(d) 雙曲正切函數(Hyperbolic Tangent Function)：

$$f(x) = \frac{e^x - e^{-x}}{e^x + e^{-x}} \quad (4.6)$$

上敘已將人工神經元作簡單介紹，它是類神經網路中最基本的元素，而類神經網路就是利用多個神經元所組成而來的。若依據類神經網路的層數則可分為：

(a)單層網路(Single-Layer Networks)：單層網路顧名思義就是只有單層，而整個網路是由一層的神經元所連結，因為僅有一層的神經元。因此，這樣的單層類神經網路，其功能性是比較不好的。如圖4-3示。

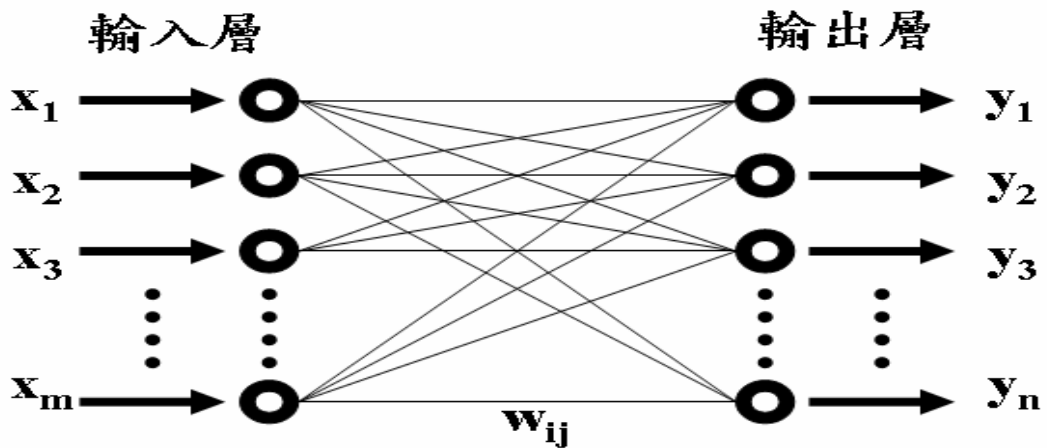


圖 4-3 單層類神經網路

(b)多層網路(Multi-Layer Networks)：因為其單層網路的功能性較差，所以才會遇到無法解決的問題發生，這時候可以在輸入與輸出之間加入隱藏層。而整個網路則包括輸入層(Input Layer)、隱藏層(Hidden Layers)及輸出層(Output Layer)，其中隱藏層可以是一層或多層，這樣的多層類神經網路可以處理複雜性較高的問題。如圖4-4所示。

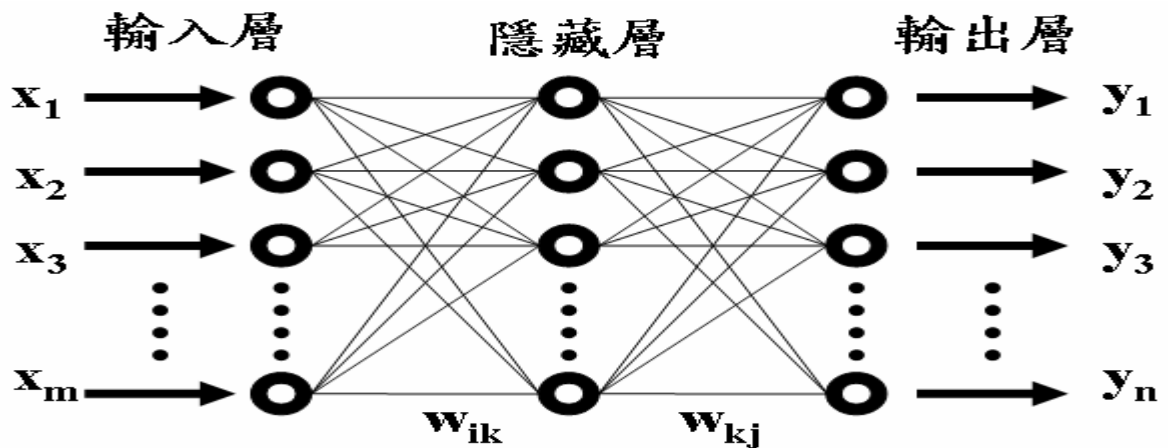


圖 4-4 多層類神經網路

類神經網路又可依據不同鍵結方式，如圖4-5所示，大致可分為三類：

- (a)遞迴鍵結(Recurrent Connection)：神經元本身的輸出與輸入互相連接
- (b)層內鍵結(Intra-layer Connection)：同層之間的神經元互相連接
- (c)隔層鍵結(Inter-layer Connection)：不同層之間的神經元互相連接。

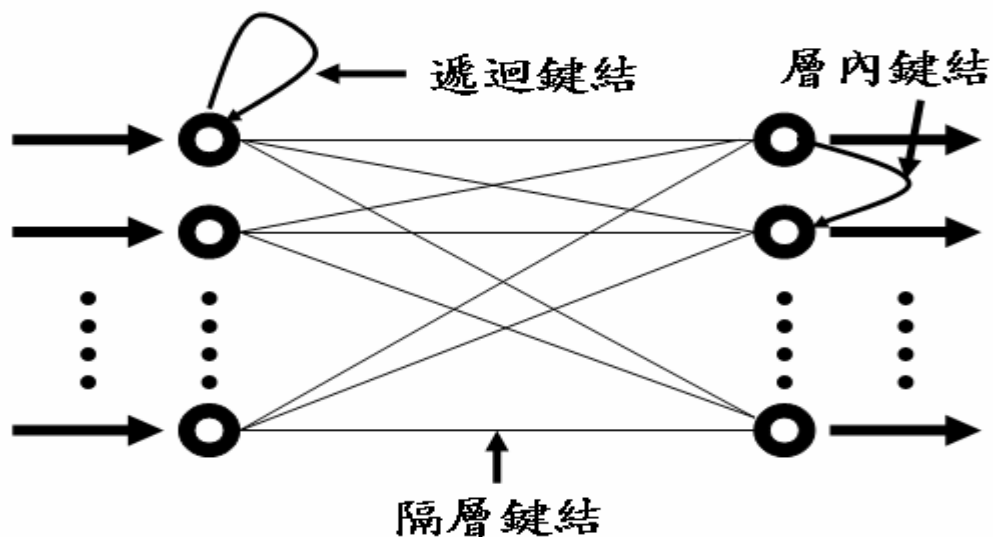


圖 4-5 類神經網路鍵結分類

類神經網路又可根據不同傳遞方向，可分成兩種不同的的架構：

(a)前向式架構(Forward)：對於每個神經元而言，它的輸出是直接連接到下層神經元的輸入，且都沒有遞迴鍵結與層內鍵結的情形發生，一般稱為前向式架構，而剛所舉之例子皆為此架構。

(b)回饋式架構(Feedback)：從輸出層回饋到輸入層，或層內各處理單元間有連接者，及神經元可以不分層排列，也就是所有的鍵結方式均可採用，我們則稱為回饋式架構。如圖4-6所示。

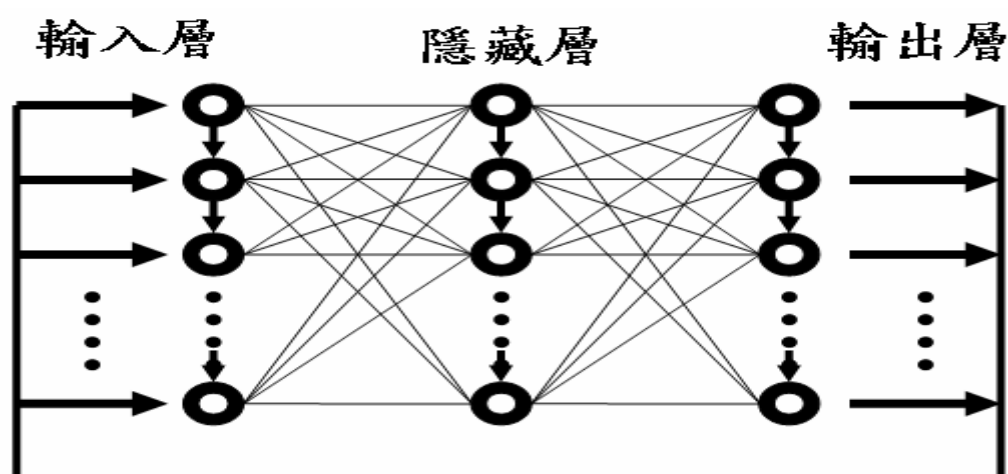


圖 4-6 類神經網路之回饋式架構

4.2 系統鑑別簡介

於控制工程領域中，得知系統動態特性是很重要的，這與控制系統設計及系統穩定性分析是息息相關。但實際中大多數的系統數學模型中，其中包含許多未知數及複雜的非線性關係，而且當操作環境改變時，其系統之間的參數也會隨之變化，因此要正確的建立系統的數學模型是相當困難的。但對系統動態特性的了解程度，又會直接影響系統的穩定性及整體性能的分析結果，也就是對控制器的設計有極大影響。而系統鑑別則是從實驗現象來著手，將實際所測量之數據，以較為接近的數學式來逼近實際狀態，藉此來了解受控系統的動態行為。

而系統鑑別對於一個單輸入單輸出的非線性系統，一般來講可分為四種鑑別模型，其數學式如下所示[33]：

$$\text{模型} : y(k) = \sum_{i=0}^n \alpha_i y(k-i) + f[u(k-1), u(k-2), \dots, u(k-m)] \quad (4.7)$$

$$\text{模型} : y(k) = f[y(k-1), y(k-2), \dots, y(k-n)] + \sum_{i=0}^m \beta_i u(k-i) \quad (4.8)$$

$$\begin{aligned} \text{模型} : y(k) = & f[y(k-1), y(k-2), \dots, y(k-n)] \\ & + g[u(k-1), u(k-2), \dots, u(k-m)] \end{aligned} \quad (4.9)$$

$$\begin{aligned} \text{模型} : y(k) = & f[y(k-1), y(k-2), \dots, y(k-n)] \\ & ; u(k-1), u(k-2), \dots, u(k-m)] \end{aligned} \quad (4.10)$$

上述數學式中的函數 f 和函數 g 是假設為不同的函數，這樣的函數可以是線性或非線性所組成的，是以最接近所要鑑別的模型來趨近之。而通常於實際系統鑑別模型的選用上，大部份都是採用模型 的鑑別架構，其最主要的因素是因為模型 的架構，包含了其他三種的鑑別架構的特性。以下為各鑑別模型的架構作簡介：

- (a) 鑑別模型：此鑑別模型的架構可由式(4.7)中觀查出，它是假設非線性系統的輸出值，是由過去系統輸出值的線性組合，以及過去系統輸入值的非線性組合，這兩種數學組合所相加而來的。而其架構圖如圖4-7所示。

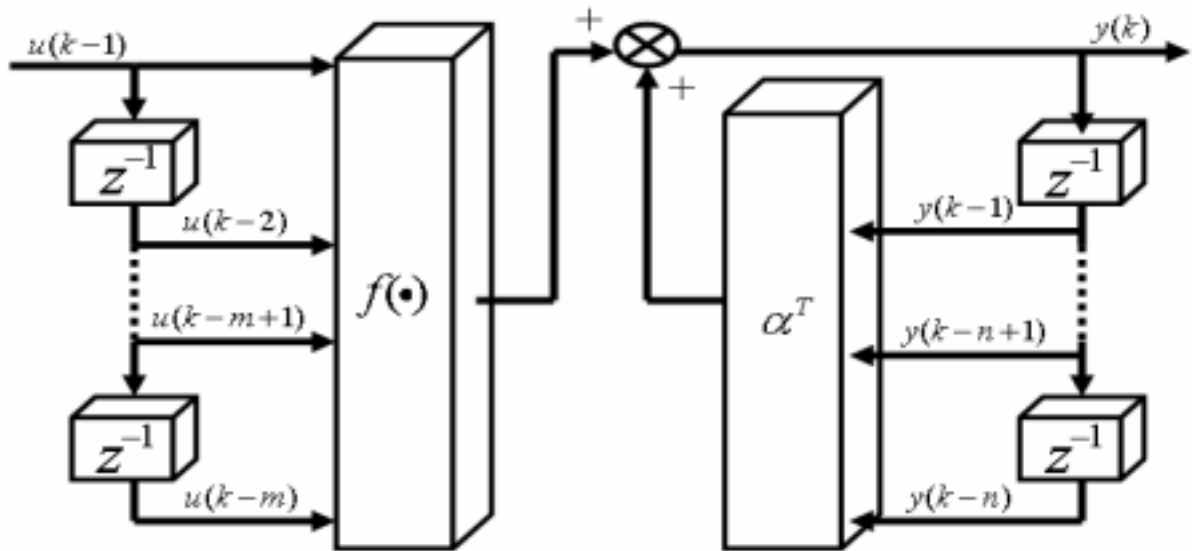


圖 4-7 鑑別模型 架構圖[33]

- (b) 鑑別模型：此鑑別模型的架構可由式(4.8)中觀查出，它是假設非線性系統的輸出值，是由過去系統輸出值的非線性組合，以及過去系統輸入值的線性組合，這兩種數學組合所相加而來的。而其架構圖如圖4-8所示。

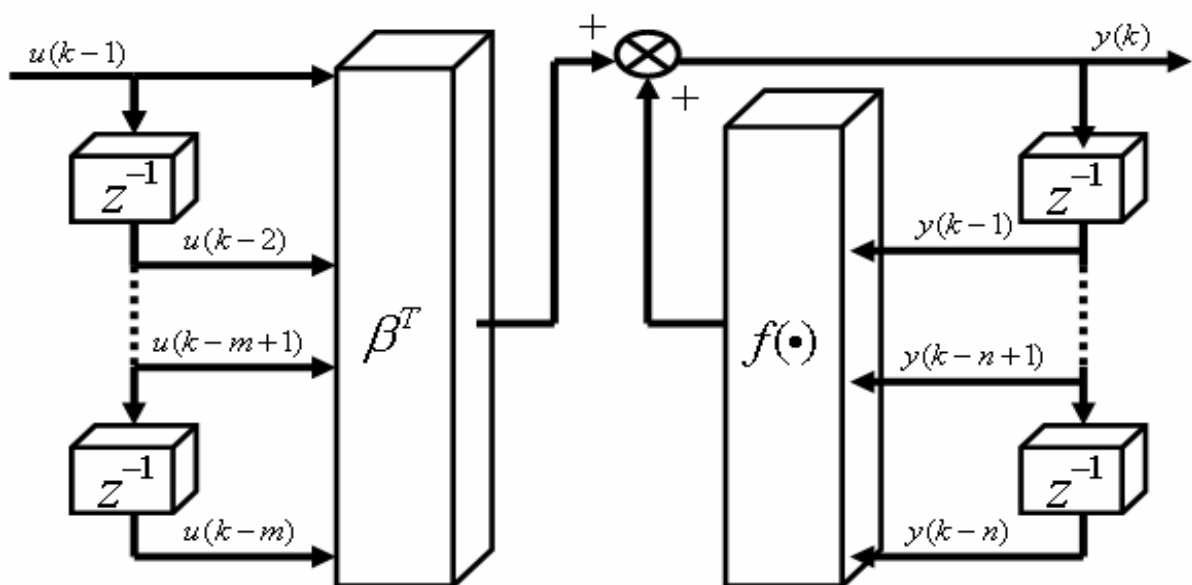


圖 4-8 鑑別模型 架構圖[33]

- (c) 鑑別模型：此鑑別模型的架構可由式(4.9)中觀察出，它是假設非線性系統的輸出值，是由過去系統輸出值的非線性組合，以及過去系統輸入值的非線性組合，這兩種數學組合所相加而來的。而其架構圖如圖4-9所示。

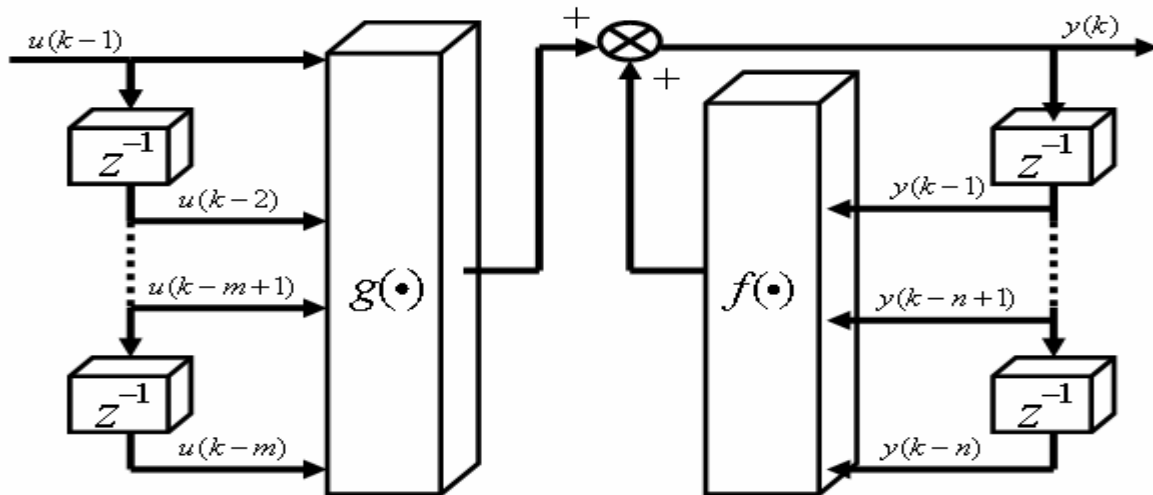


圖 4-9 鑑別模型 架構圖[33]

- (d) 鑑別模型：此鑑別模型的架構可由式(4.10)中觀察出，它是假設非線性系統的輸出值，是由過去系統輸入輸出值的非線性組合所組成的，此鑑別模型架構包含以上三種特性，因此在實際應用上經常被選用之。而其架構圖如圖4-10所示。

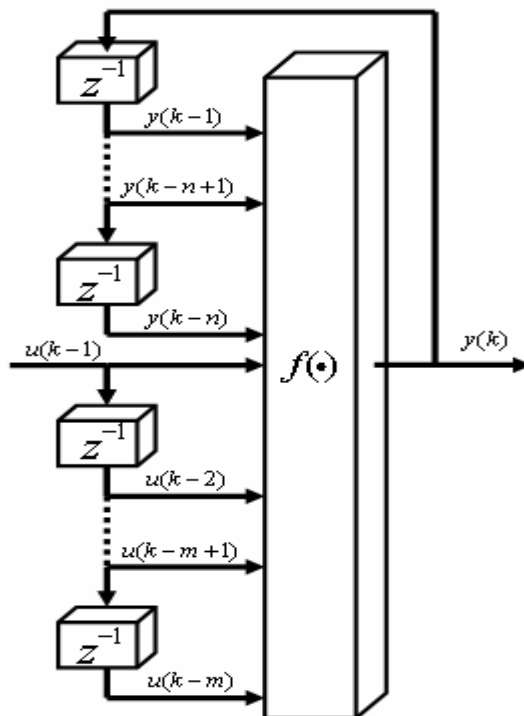


圖 4-10 鑑別模型 架構圖[33]

本文所採用的鑑別模型為第一種，再經由學習法則來調整識別網路 N_p 的權重值，使得網路 N_p 所得的關係能映射等於 $f(\cdot)$ 。定義 $y(k)$ 為 k 時刻的系統輸出，而 $\hat{y}(k)$ 則定義為系統鑑別網路 k 時刻的推論輸出，誤差則等於 $e(k) = y(k) - \hat{y}(k)$ ，用來調整網路各個的權重值，若依網路輸入訊號來源的不同，可分為以下兩種模式：

(a) 平行模式(Parallel Model)：而其此模式數學式可表示為如式(4.11)，而鑑別網路的輸入訊號是由兩個值所組成，過去的輸入值及過去的鑑別網路之推論輸出值，其架構圖為圖 4-11 所示。

$$\hat{y}(k) = N_p[y(k-1), \dots, y(k-n); u(k-1), \dots, u(k-m)] \quad (4.11)$$

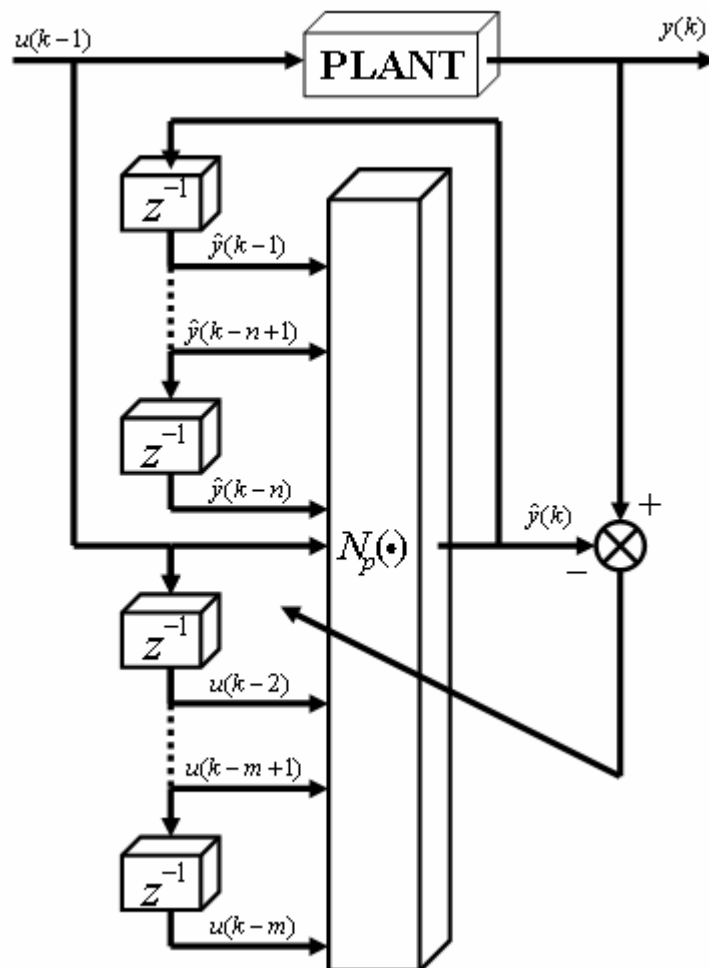


圖 4-11 平行模式鑑別架構圖[33]

(b) 串列-平行模式(Series-Parallel Model)：而其此模式數學式可表示為如式(4.12)，而鑑別網路的輸入訊號是由兩個值所組成，過去的輸入值及過去的鑑別網路輸出值，其架構圖為圖4-12所示。

$$\hat{y}(k) = N_p[y(k-1), \dots, y(k-n); u(k-1), \dots, u(k-m)] \quad (4.12)$$

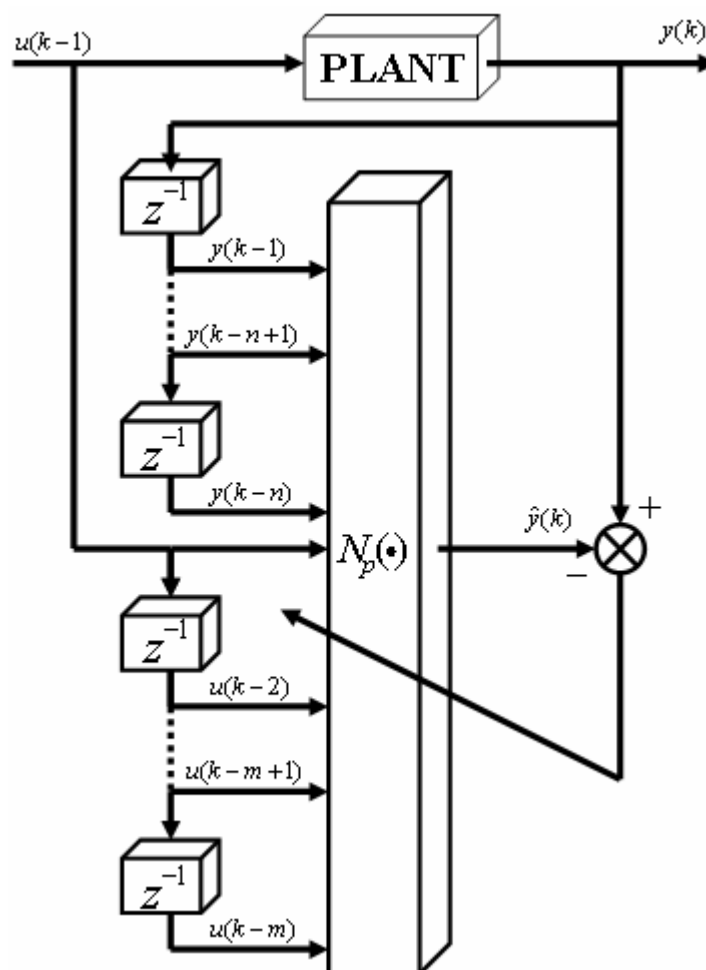


圖 4-12 串列-平行模式鑑別架構圖[33]

4.3 線性化之系統鑑別

此章節所要介紹的是本文所採用系統鑑別的方法，而所採用的鑑別模型架構為前章節所提及的模型，所用的鑑別方法則選用串列-平行模式。而為選用串列-平行模式的原因，是因為平行模式並不保證參數會收斂或誤差會趨近於零，也就是此鑑別系統的輸入輸出值是无界的，而Narendra[33]於文章中有特別提及到，串列-平行模式的鑑別方法於穩定性上是優於平行模式的。而線性化轉換的系統鑑別方法，是將轉移函數採用具有線性特性的函數，這樣能利用類神經理論來訓練，將非線性的函數以線性來近似之。而整個架構如圖4-13所示，其中系統鑑別網路 N_p 就如同線性函數，輸入分別是鑑別系統的前兩次輸入值 $u(k-1)$ 、 $u(k-2)$ ，以及輸出狀態值 $y(k-1)$ 、 $y(k-2)$ 。則輸出方程式的數學式可表示為式(4.13)、式(4.14)，而式中的活化函數為線性函數 $f(v)=v$ ，可調整的輸入權重值有4個，分別為 w_1 、 w_2 、 w_3 、 w_4 。

$$v = w_1 u(k-1) + w_2 u(k-2) + w_3 y(k-1) + w_4 y(k-2) \quad (4.13)$$

$$\hat{y}(k) = f(v) \quad (4.14)$$

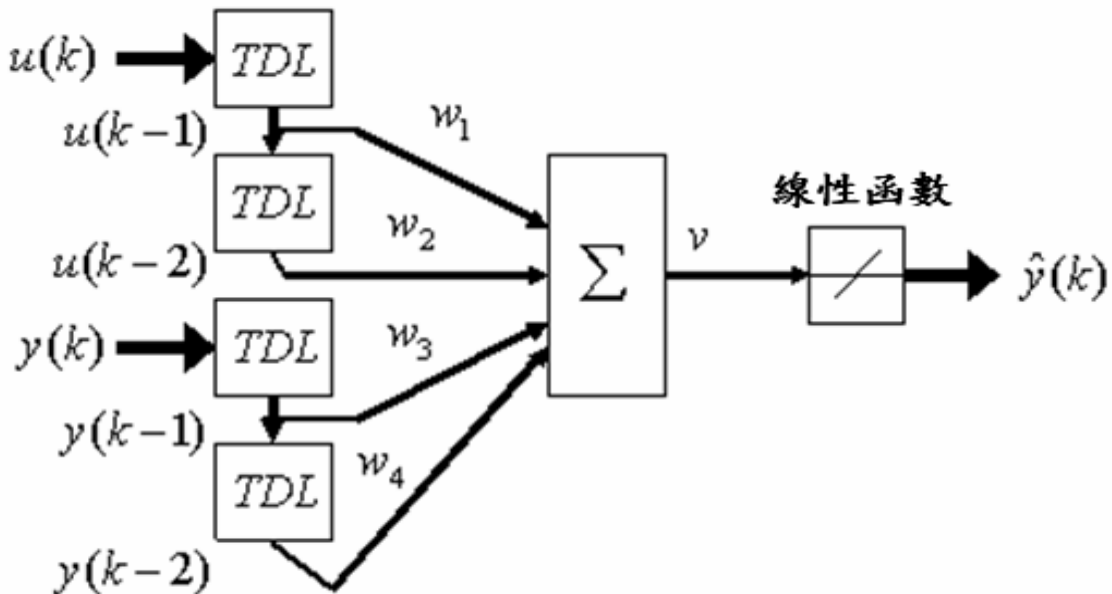


圖 4-13 系統鑑別網路架構圖

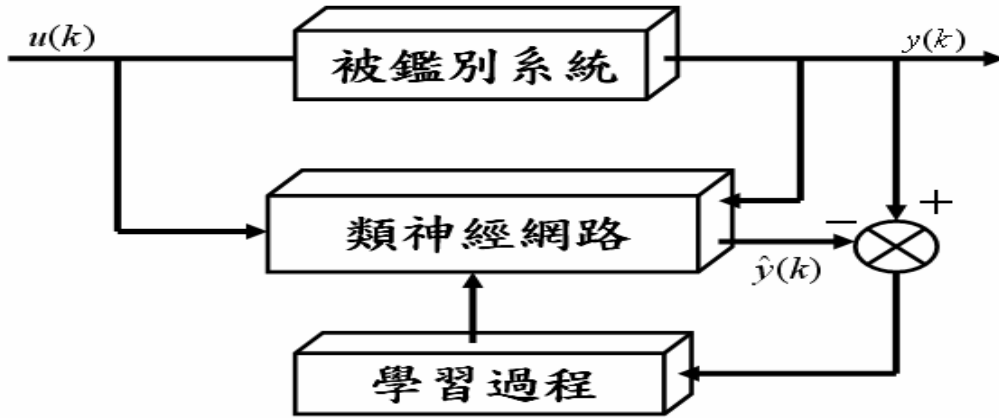


圖 4-14 串列-平行模式類神經鑑別架構圖

本文所採用的鑑別方法為串列-平行模式的類神經架構，而整個架構如圖4-14所示，且這樣的類神經鑑別架構，如同自動遞迴移動平均ARMA（AutoRegressive Moving Average）的系統鑑別模式，其所利用鑑別的原理相當類似。而ARMA系統鑑別模式的架構圖如圖4-15所示，其整個輸出值的數學式可表示為式(4.15)。

$$y(k) = a_1 y(k-1) + a_2 y(k-2) + b_1 u(k-1) + b_2 u(k-2) \quad (4.15)$$

利用一個二階的Z-Domain轉移函數來表示：

$$\frac{Y(z)}{U(z)} = \frac{b_1 z^{-1} + b_2 z^{-2}}{1 - a_1 z^{-1} - a_2 z^{-2}} \quad (4.16)$$

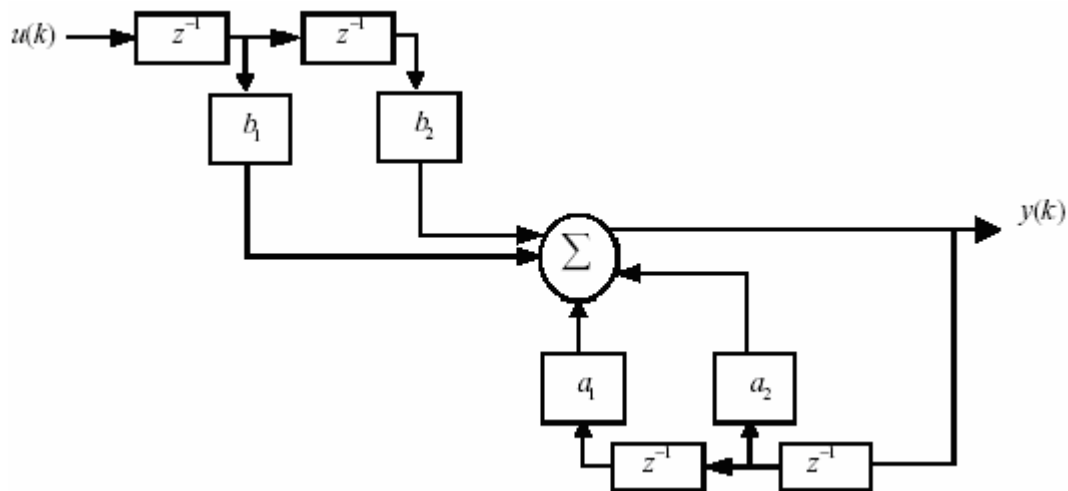


圖 4-15 ARMA 模式系統鑑別架構

由上敘可得知其本文所採用的鑑別架構，與ARMA的鑑別模式的架構是相當類似的，因此可將套用於ARMA的鑑別原理上，便可用簡單的方法得知轉移函數的各項係數。而整個鑑別原理是利用，類神經網路的學習最終目的，是要將網路的輸出值逼近被鑑別系統之實際輸出值，也就是相減之後的誤差要越小越好。而當此誤差在差距很小的情況下，我們可以將鑑別網路輸出值 $\hat{y}(k)$ 視為與實際系統輸出值 $y(k)$ 相等，若此誤差已經小於我們所要求的範圍內，且本文神經元所採用的活性函數為線性函數，因此可將式(4.13)代入式(4.14)後改寫成式(4.17)。

$$y(k) = w_1 u(k-1) + w_2 u(k-2) + w_3 y(k-1) + w_4 y(k-2) \quad (4.17)$$

假設誤差已達到本文所要求的範圍內，則我們將式(4.15)與式(4.17)做一比較，此時類神經網路的四個輸入權重值 w_1 、 w_2 、 w_3 、 w_4 ，已經是經由訓練完成所得之值。也就是鑑別網路輸出值和被鑑別系統之實際輸出值，雙方之間的誤差近似於零時，而此時類神經網路的四個輸入鍵結權重值，則可與以相對應於 ARMA 的四個參數值 a_1 、 a_2 、 b_1 、 b_2 。此時再將式(4.16)改寫成為式(4.18)，此時將可得到一個二階的 Z-Domain 轉移函數式來近似於被鑑別系統的特性。

$$\frac{Y(z)}{U(z)} = \frac{w_1 z^{-1} + w_2 z^{-2}}{1 - w_3 z^{-1} - w_4 z^{-2}} \quad (4.18)$$

4.4 模擬結果

4.4.1 系統鑑別之模擬結果

此章節的模擬結果，是將本文所設計的線性化類神經鑑別架構，經由 Matlab 所撰寫的 M-File 程式來實現之。而所用的實驗數據是經由直流馬達轉移函數，以隨機電壓其輸入範圍為 12V 的 Sine 波形，取得模擬時所需要的輸出入關係。如此的作法僅是要驗證，本文所提出的方法是否能鑑別出，特性相似的直流馬達轉移函數，以確保整個方法的可行性。而在類神經鑑別網路經過 30 次的訓練之後，其所要求的均方誤差已達到 10^{-2} ，這代表著類神經鑑別網路的參數訓練完成了。將原本訊號同時輸入類神經鑑別網路以及被鑑別系統，再將所得的圖形放置於一起，而圖 4-16 為鑑別網路的輸出及被鑑別系統的真實輸出比較圖，其中藍色實線為被鑑別系統之輸出曲線，紅色實線為鑑別網路的輸出曲線。

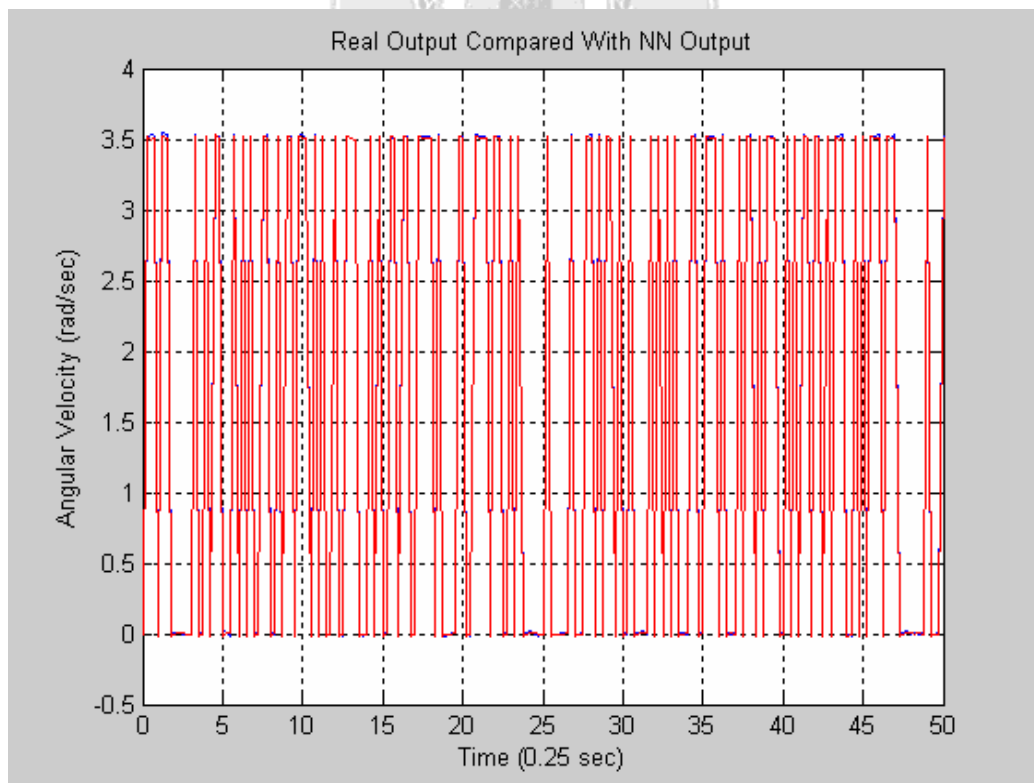


圖 4-16 鑑別網路與被鑑別系統的輸出比較圖

而為了方便觀察比較，圖 4-17 為被鑑別系統與網路輸出的誤差比較圖，由圖可看出所鑑別出的系統轉移函數與真實系統的誤差都壓制於 10^{-2} 以下，這樣的結果可顯示出所鑑別出的系統轉移函數，是具有相當大的參考價值。

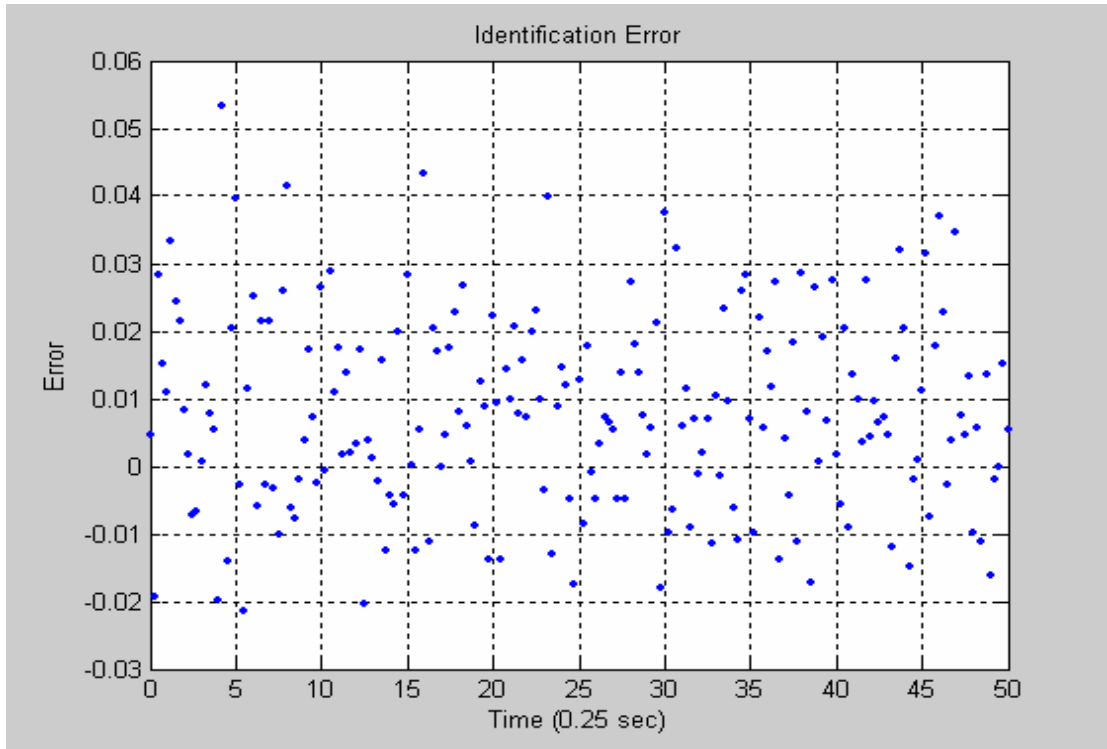


圖 4-17 被鑑別系統與鑑別網路之輸出誤差圖

而在誤差小於 10^{-2} 的範圍以內，代表此時類神經網路的訓練已經完成，而當時鑑別網路的鍵結值為 $[3.5208 \quad -0.8747 \quad 0.2435 \quad -0.0005]$ 。而經過前章節所推導的結論，當鑑別網路的輸出與被鑑別系統的輸出，之間的誤差趨近於 0 時，其最後所訓練完成的權重鍵結值，相對應於式(4.16)中 a_1 、 a_2 、 b_1 、 b_2 四個參數。只要將此四個參數帶入之後，將可得到一個近似於被鑑別系統的轉移函數，則可改寫成如式(4.19)的兩階 Z Domain 函數式。

$$G(z) = \frac{\omega(z)}{V(z)} = \frac{3.5208z^{-1} - 0.8747z^{-2}}{1 - 0.2435z^{-1} - 0.0005z^{-2}} \quad (4.19)$$

4.4.2 模擬結果之討論

由模擬結果中可觀察出，本文所提之線性化之類神經鑑別網路，確實能以簡單的方法來得到系統的轉移函數，且鑑別出的誤差也能壓抑至 10^{-2} 。在系統參數未知的情況下，利用類神經網路來系統識別，也已經被廣泛的應用於各個領域，而且實際的運用上效果也都頗佳。但在系統鑑別的工作上，通常都是非線性關係，因此必須利用多層的函數來設計，且因為整個網路的複雜化提昇，會使得運算分析時的困難度增加。本文嘗試利用線性化的觀念，將此觀念引入類神經網路，使用簡單的線性觀念來將複雜的網路，轉換成容易分析理解的轉移函數。因此能直接鑑別出系統的轉移函數，對於系統上的分析、穩定性的分析以及控制器的設計，會有許多設計分析時的優點。



第五章 模糊理論之避障策略

本章節中，本文應用模糊控制器於車型機器人的航行設計，利用此控制器來處理由超音波感測器所得到之外界不確定的資訊，藉由在車型機器人上的七顆超音波感測器來察覺外界的環境訊息，作為吾人所設計之模糊控制器的輸入，經由建立模糊規則(IF~THEN 的模式)作為模糊推論的資料庫，使車型機器人能即時的避開障礙物，且對其速度做控制，讓車型機器人不僅能安全的到達目的地，更能縮短其航行時間，模擬結果能顯示出此設計方法能滿足，使車型機器人可以在未知的環境中航行。

5.1 模糊理論

近年來控制領域中發展了智慧型控制理論，與傳統控制最大的不同點在於，傳統控制必須有一個精確的數學模型(Model)來描述系統，再藉由數學模型來分析設計此系統之控制器。但因非線性無法用很精確的數學模型來描述，也因此導致傳統控制方法於應用上有所限制。而智慧控制是結合人類於操作經驗上、知識與推理過程，並將其直接運用於控制器的設計，間接減少對數學模型的依賴，而此方式對研究不確定過程的控制有極大的潛力。整個模糊邏輯控制系統的基本結構如圖 5-1 所示，其中包含模糊化單元、推理引擎、資料庫、控制規則庫、解模糊化單元等五個主要部分所組成。

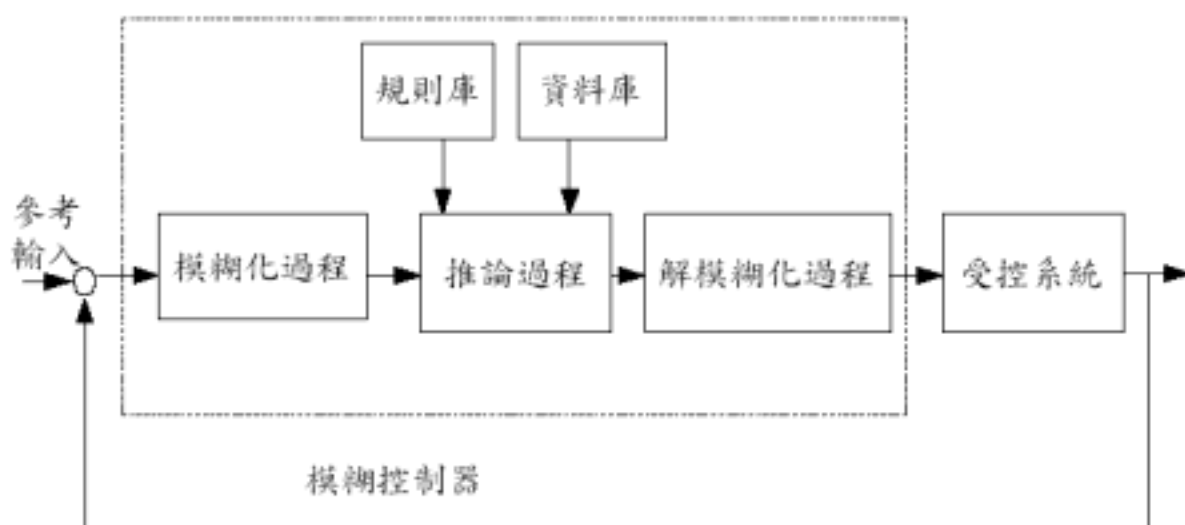


圖 5.1 模糊控制基本架構[16]

5.1.1 模糊理論概要

模糊理論起源來自於美國加州柏克萊分校的札德(L.A. Zadeh)教授，在1965年於「Information and Control」期刊所發表的論文[17]，內容中提及某些不易定義的模糊事物利用模糊集合討論，並利用語言變數對系統特性進行描述。模糊理論特性是以人類處理事物之模糊觀點，將專家知識與經驗表現出來，這有別傳統以二值邏輯設計之觀念。札德教授於1973年曾提出模糊思考的概念，此篇文章描述：「人類的思維過程充滿了模糊觀念，這表示人類推理背後所運用的邏輯多半不是兩值，或是多值邏輯，而是具有模糊真值、模糊連接和模糊推論的邏輯。」這不就是解釋人類於思維中，並不只存在「是、非」兩種答案，而是存在許多不確定、似是而非的思考。更明確的說，人類於辨別的過程中，是採用「可能」的程度思考方式來組成人的思維[15]。

因此，模糊集合論就是把傳統集合論，從二值邏輯的基礎擴展到連續值，使得應用的範圍，由數學上確定現象，擴大到模糊現象的領域。而模糊推論的過程如下：將輸入訊號之明確值轉成模糊值，控制規則庫則藉由專家經驗建立之，之後透過推論機制產生模糊輸出值，最後將經解模糊化後對系統進行控制。這樣的控制流程可發現，並不需對受控系統建立數學模型，就可以利用專家經驗法則，來對此系統做一控制行為，這也是模糊控制常被用於受控系統數學模式未知，或系統非常複雜而數學模型不易建立時。且模糊系統是存在著如此的特性，代表著控制系統在操作過程中，若有系統參數改變或外擾訊號加入時，也能同時具有較佳之強健性[16]。

5.1.2 模糊集合

事實上，真實世界的人事物，並非完全可以由傳統集合予以清楚表示，傳統集合是利用0或1來給予硬性分類。而模糊集合是指用來表示界限或邊界不明顯的模糊概念之集合，在許多日常生活中的概念中，通常都是屬於不明確的答案，這些都可說是模糊概念，例如：好遠、很多、真快等等，由於傳統的二值集合論只能表是與非，所以並不能很明白的表示出這些不十分明確的概念。模糊理論是以模糊集合(Fuzzy Set)為基礎，模糊集合

用來表示界限不明確，或是無法以傳統集合清楚劃分為二之模糊概念的集合。若U為一可能是連續或離散的集合，用U表示，則U稱為論域，u表示論域U的元素，而模糊集合是用歸屬函數表示的，因此可定義如下：

模糊集合：

$$F = \{(u, u_F(u)) \mid u \in U\} \quad (5-1)$$

若U為連續論域則：

$$F = \int_U \frac{u_F(u)}{u} \quad (5-2)$$

若U為離散論域則：

$$\sum_{i=1}^n \frac{u_F(u_i)}{u_i} \quad (5-3)$$

其中 $u_F(u)$ 稱為模糊集合F的歸屬函數， $u_F(u_i)$ 稱為元素u的歸屬度。且模糊集合具有以下的基本運算之性質

聯集(Fuzzy Union Set)：

若 C 為 A 和 B 的聯集則可表示成為： $C = A \cup B$ ，或者以歸屬函數型態表示為：

$$\mu_{A \cup B} = \max \{\mu_A(x), \mu_B(x)\}, \forall x \in X \quad (5-4)$$

交集(Fuzzy Intersection Set)：

若 C 為 A 和 B 的交集則可表示成為： $C = A \cap B$ ，或者以歸屬函數型態表示為：

$$\mu_{A \cap B} = \min \{\mu_A(x), \mu_B(x)\}, \forall x \in X \quad (5-5)$$

補集(Fuzzy Complement Set)：

模糊集合 A 的補集以 A^c 表示：

$$\mu_{A^c}(x) = 1 - \mu_A(x), \forall x \in X \quad (5-6)$$

5.1.3 歸屬函數

模糊集合所採用之表示函數，為0~1之間的數值，稱為歸屬函數(Membership Function)。歸屬函數用 $\mu_A(x)$ 表示

$$0 \leq \mu_A(x) \leq 1 \quad (5-7)$$

利用歸屬函數可以描述模糊集合的性質，透過歸屬函數我們才能對模糊集合進行量化，才能利用精確的數學方法去處理模糊或界限不明確的事物。在模糊集合中所使用的歸屬函數一般都具備凸(Convex)集可正規化之性質。歸屬函數可以分成數值及函數兩種定義方式，數值定義方式稱為離散型歸屬函數，是直接給予模糊集合內每個元素的歸屬程度。函數定義方式又稱為連續型歸屬函數，應用上一般都使用連續型，而常見的有高斯型、三角型、梯型、鐘型等歸屬函數。

5.1.4 模糊推論

模糊推論(Fuzzy Inference)是根據知識庫的規則和給與的事實條件近而推導出的結論，而其推論方式則是由近似推理(Approximate Reasoning)的概念而來，近似推理是兩種精確推理(Exact Reasoning)的一般化。此原理是從傳統二值邏輯中的肯定律(Modus Ponens)、否定律(Modus Tolens)推廣而來。

5.1.5 模糊控制

利用模糊理論來當控制器的話，基本上都是採閉迴路的控制架構，不同傳統控制是模糊控制利用邏輯的思考方式，作為整個控制系統的工作原理，如此的特色能於一組以語意描述的定性控制法則。而模糊邏輯控制的基本架構，是由模糊化、知識庫、模糊推論機、解模糊化這四大部份所組成，如下將一一作介紹：

1.模糊化(Fuzzification)

控制器的輸入通常為一個確定的數值，然而模糊控制的知識庫是以語意形式所表達，而其推論過程中也是利用語意形式進行推論作業，因此為了方便整個模糊控制的運

作，輸入到模糊控制系統的訊號必須經過模糊化的過程。而此過程是將明確數值轉為語意形式，將所觀測量的數值大小轉換到語意形式對等的論域中，以方便模糊推論機能進行推論動作，這樣的轉換過程稱之為模糊化。

2.知識庫(Knowledge Base)

知識庫是模糊控制的推論依據，用來定義所有使用到有關的語言控制法則及相關參數設定。整個模糊控制系統的資料核心就是以資料庫為準，包含資料庫(Data Base)與規則庫(RulesBase)這兩大部份：

(a)資料庫

模糊控制規則表達通常有兩種形式，第一種方式為狀態評價形式(State evaluation type)，此種方式是利用時間 t 去衡量系統狀態，並以資料庫之控制規則和輸入變數來計算出時間 t 時的模糊控制動作。另外一種為目標評價形式(Object evaluation type)，這種方式是先預估目前及未來的控制動作，並對控制目標是否達成所要求的評價，再決定加以輸出控制命令。而資料庫通常由以下來源來建立產生：

- 1.工作經驗及專家經驗法則：模糊控制的規則是依據受控系統的資訊所得，因此經驗法則是屬最重要的部份。
- 2.系統自我學習：此方法利用離線學習的方式，由其他演算法輔助去建立規則資料庫，但這個方法要先建立起系統之模型。
- 3.預測評估：這個方法可說是土法煉鋼，要利用反覆測試去驗證結果，而最新所得之結果來修改資料庫規則，但此方法需要較長的時間。

(b)規則庫

所謂規則庫即包含許多以語言形式表現的規則，以下所表現出來的簡單條件式敘述語句：

$$R_t : IF x \text{ is } A_t \text{ THEN } y \text{ is } B_t$$

其中 t 為敘述語句的編號，句中IF部分稱為敘述語句的前題(Antecedent)或稱前件部，來提供條件以判斷此語句成立與否，而THEN部分則為敘述語句的結論(Consequent)或稱

後件部，用來表現判斷符合條件的推論結果。前件部 x 是模糊系統的輸入變數，用來觀測系統狀態，後件部 y 則是模糊系統中的輸出變數，用來控制受控系統。實際變數量可依被控制系統的狀況來作增減，而規則中的 A_i 及 B_i ；是利用語言形式所表現的模糊性概念，例如：高矮胖瘦的定義、速度快慢的定義等，因這些都存有人類主觀意識，並不容易以數據來表示之，所以採用歸屬函數的方式定義。

3.模糊推論機(Fuzzy Inference Engine)

模糊控制最重要的階段在於模糊推論機，其主要工作於實際的決策過程處理，而它的基本理論就是近似推理，模糊推論機中有兩種重要之推論方式，分別為 GMP(Generalized modus ponens)及 GMT(Generalized modus tollens)。其 GMT 是目標驅動式的逆向模糊理論，然而 GMP 為前向鍊結的推論方式，當進行資料輸入時，便可按照規則將輸出推論出，因此非常適合應用於模糊控制的推論機構上。而實際的動作由下面三個運算工作來完成：

- (a)將被觸動的規則前件部各個命題做 AND 運算，以求得前題部的適合度。
- (b)被觸動規則前件部的適合度對應到的結論部各個命題做 AND 運算，以求得該規則成立的強度。
- (c)最後完成所有被觸動規則各結論部做 OR 運算。

4.解模糊化(Defuzzification)

解模糊化的過程剛好與模糊化相反，目的在於將模糊推論機的輸出值，轉換成相對等的明確值，使得這個明確值能符合受控系統的輸入訊號，此過程是便於將輸出控制訊號給予受控系統。而解模糊化有幾個原則：

- 合理性：如同人類的直覺必須合理。
- 計算便利：需考量處理模糊控制問題時的便利性。
- 連續性質：模糊集合的形狀若有些許的變化時，明確值的位置變化不至於過大。

因此，只要符合上面三個準則的話，所定義的解模糊化方法皆能被接受，目前較常

用的解模糊化方法有重心法、面積法、高度法及最大值平均法，以下將對這四種方法做一介紹：

(a)重心法(Center of Gravity)

$$y^n = \frac{\sum_{t=1}^n y_t A(y_t)}{\sum_{t=1}^n A(y_t)} \quad (5-8)$$

其中 y^n ：模糊控制器的輸出控制量

y_t ：第 t 個控制規則所對應輸入歸屬函數的歸屬值

$A(y_t)$ ：第 t 個控制規則所對應輸出歸屬函數的歸屬值

(b)面積法(Area Method)

$$y^n = \frac{\sum_{t=1}^n \int_{\gamma} y A_t(y) dy}{\sum_{t=1}^n \int_{\gamma} A_t(y) dy} \quad (5-9)$$

(c)高度法(Height Method)

$$y^n = \frac{\sum_{t=1}^n k_t h(A_t)}{\sum_{t=1}^n h(A_t)} \quad (5-10)$$

其中 $h(A_t)$ ：每個 A_t 的高度。

k_t ：未經去頭或矮化前的最高點的 y 值

(d)最大值平均法(Average of Maximum)

$$y_F^* = \min_{y \in Y} \{y \in Y \mid A(y) = h(A)\} \quad (5-11)$$

$$y_L^* = \max_{y \in Y} \{y \in Y \mid A(y) = h(A)\} \quad (5-12)$$

$$y^* = \frac{y_F^* + y_L^*}{2} \quad (5-13)$$

其中 $h(A)$ 所表示的為模糊集合 A 的高度

5.2 避障策略之制定

5.2.1 方法描述

本節介紹避障策略的制定方法，而車型機器人閃避障礙物時，主要是利用超音波感測器來得到的外界資訊，進而利用所制定的閃避方法，來使得車型機器人能順利的抵達目的地。因此必須知道在行進的過程中，是否有障礙物的存在，來避免造成車型機器人的損害。就此而言，吾人只考慮車型機器人前進路徑的環境資訊，在環境訊息方面，我們藉由在車體上方裝上七顆超音波感測器，如圖 5-2 所示。藉由各超音波的感測器強度不同，進而推算出障礙物與車型機器人的相對位置，由極座標 $Pos = (D, \theta)$ ，其中 D 為車型機器人與障礙物之距離， θ 則為車型機器人與障礙物之角度，示意圖如圖 5-3 所示。藉由 $Pos = (D, \theta)$ 這樣的方式，則可將各個感測器所得到的數值，經由計算之後來推算車型機器人，下個時間的速度及行進方向。所有的外界資訊是由超音波感測器所提供，而車型機器人下一個動作，則完全是靠模糊控制器來決定之。

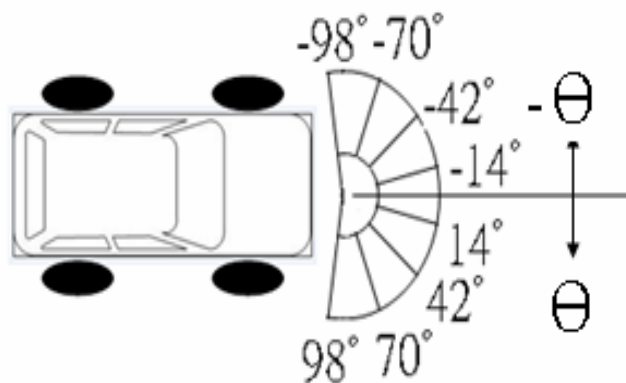


圖 5-2 超音波感測器擺設示意圖

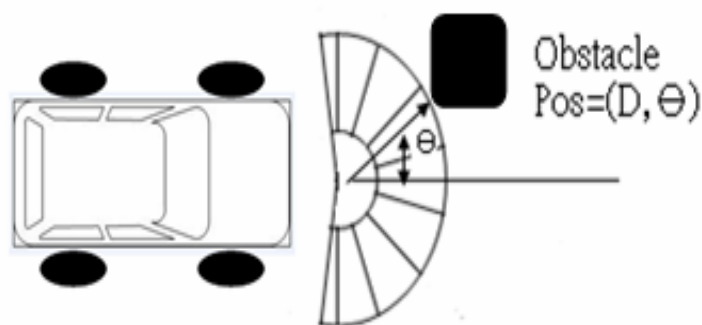


圖 5-3 偵測障礙物距離與角度之示意圖

本文將各個感測器所得到的資訊，視為各自獨立的，再把得到的參數值，一一交由模糊控制器做分析。而每一個感測器所得到之參數，經由模糊控制器後，都會產生一組方向向量及速度向量，因此七顆的超音波感測器，就會得到七組的方向向量及速度向量，如圖 5-3 所示。而就前進方向而言，吾人會將之前七顆超音波感測器的方向向量，做個簡單的計算。例如：若行進於一狹長的通道中，若模糊控制器都是收到左側的資訊，則此時需要控制車型機器人往右邊前進，相對的情形，若模糊控制器都是收到右側的資訊，則需控制車型機器人往左邊前進。再者也可將所有的方向向量皆包含於模糊控制器中，經由分析過後，再將最後的控制訊號傳給車型機器人，例如：在一狹長的通道中，車型機器人除了會閃避邊牆之外，還可朝目標的方向前進。而在速度向量方面，車型機器人的速度是建立在距離障礙物的遠近，藉此來保護車型機器人免發生碰撞的情形。因此在以安全為出發點的設計上，吾人會將七顆感測器所偵測與障礙物的距離後，再交由模糊控制器分析，進而計算出之最小的速率，最後傳至車型機器人並發送馬達控制訊號。

因此只要利用上述之方法，即可順利控制車型機器人，使其安全的到達目標，甚至還可將其擴展到其它方向。例如：增加更多的感測器，如此只需增加新的規則，即可對此車型機器人進行其他功能。我們也可全方向的偵測外界環境，但那勢必得增加感測器的數量，而隨著感測器的增加，也意味著控制器的計算時間也隨之增加。所以，為了確保車型機器人能有即時響應，我們必須要對外界環境的偵測程度，與整個模糊控制器的計算時間，經由衡量來做適度的取捨。

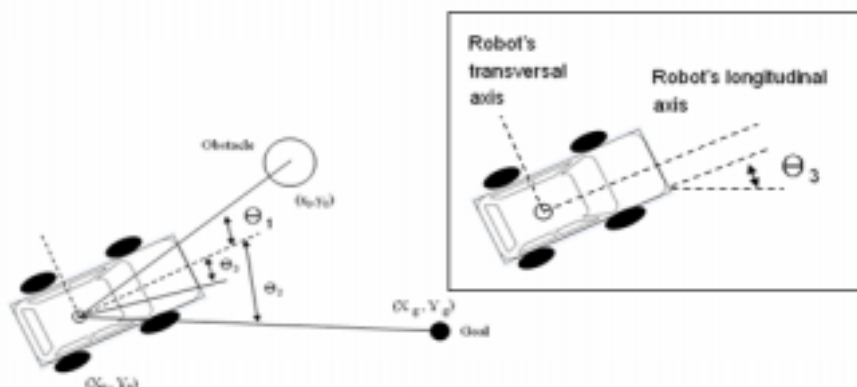


圖 5-4 車型機器人之幾何結構圖

因此於整個避障策略之制定，只要知道障礙物的距離及方位，就可以設計如何閃避障礙物。所以本文的目標是要建立一個控制系統，使得車型機器人能安全的由出發點到達目標，而行進路徑中不產生任何的碰撞，且能在最短時間內到達。而航行問題的幾何結構圖如圖 5-4 所示，是因為要於最短距離及最短時間的情況下到達目標，因此，當我們已經偵測出障礙物時，車型機器人一方面要能閃避障礙物外，另一方面也要往目標方向行走，也就是減少與目的地的誤差角度 θ_2 。然而車型機器人的行進速度的判定準則，是以障礙物與目的地的距離遠近為基準，因此，當車型機器人與障礙物或目的地的距離較遠時，則此時以高速行駛，相對的，若車型機器人與障礙物或目的地的距離接近時，則以較慢的速度來移動。因此可推導出所要的準則，也就是假設車型機器人與障礙物的角度為 θ_1 ，可改變車型機器人轉彎的角度 θ_3 ，當順利閃避障礙物後，再減小與目的地的誤差角度 θ_2 。

5.2.2 模糊控制器之實現

本節要將本文所提的避障策略，以所設計模糊控制器來實現之，使車型機器人能確保行進時的安全防護。而整個模擬過程，是將超音波感測器所得到的障礙物距離與障礙物的角度，與先前就設定好的目標角度，作為模糊控制器的輸入。之後經由模糊化的過程，把感測器所得到的精確數值，將其轉成語意上的變數。再定義輸入及輸出的歸屬函數，以及建立模糊規則庫，再藉由 Mandini 的模糊推論，得到語意上的控制輸出，最後經由解模糊化的過程，將語意上的控制輸出，再轉變為精確的數值。最後將推論得到的控制量，傳給車型機器人的馬達驅動電路，進而控制車型機器人轉彎的角度及行進速度，如圖 5-5 所示。

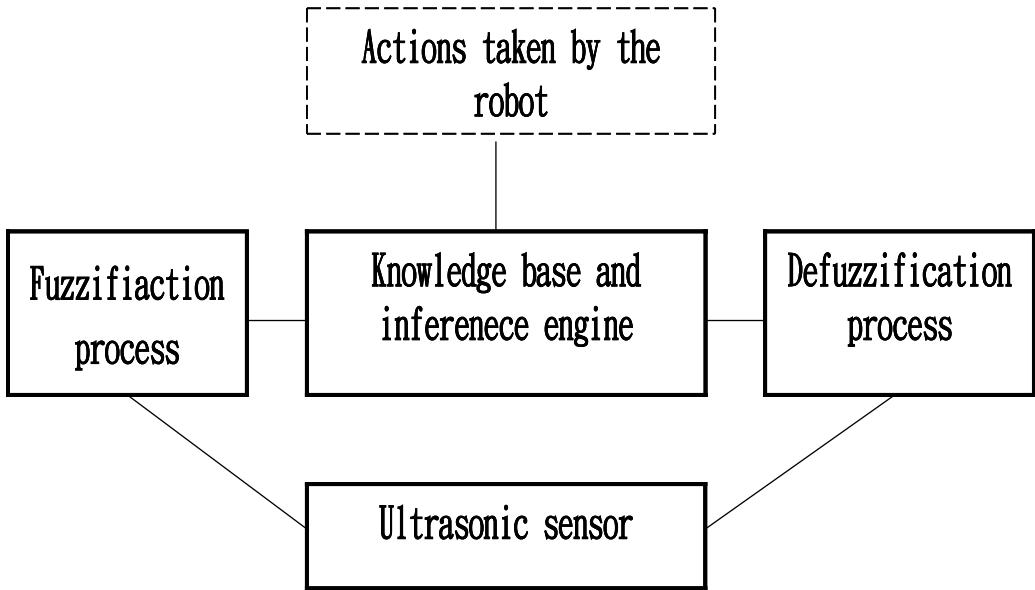


圖 5-5 模糊控制器方塊圖

整個模糊控制器的設計，大致上可分為五個步驟來進行設計：

步驟1. 首先，先定義輸入變數、輸出變數及語意上的變數，如表 5-1 所示。

表 5-1 輸入及輸出變數

Obstacle angle(θ_1)	Error angle(θ_2)	Steering angle(θ_3)	Robot' s velocity	Distance form the robot to the goal	Obstacle distance relative to robot
Left Big(LB)	Left Big(LB)	Left Big(LB)	Zero(Z)	Zero(Z)	Near(N)
Left	Left	Left	Very Slow(VS)	Near(N)	Medium(M)
Small(LS)	Small(LS)	Small(LS)	Slow(S)	Regular(RE)	Far(FA)
Zero(Z)	Zero(Z)	Zero(Z)	Medium(M)	Medium(M)	-
Right	Right	Right	Fast(F)	Far(FA)	-
Small(RS)	Small(RS)	Small(RS)			
Right Big(RB)	Right Big(RB)	Right Big(RB)			

步驟2. 根據先前所定義的語意上變數，來建立輸入歸屬函數，而避障角度的歸屬函數圖如圖 5-6 所示。

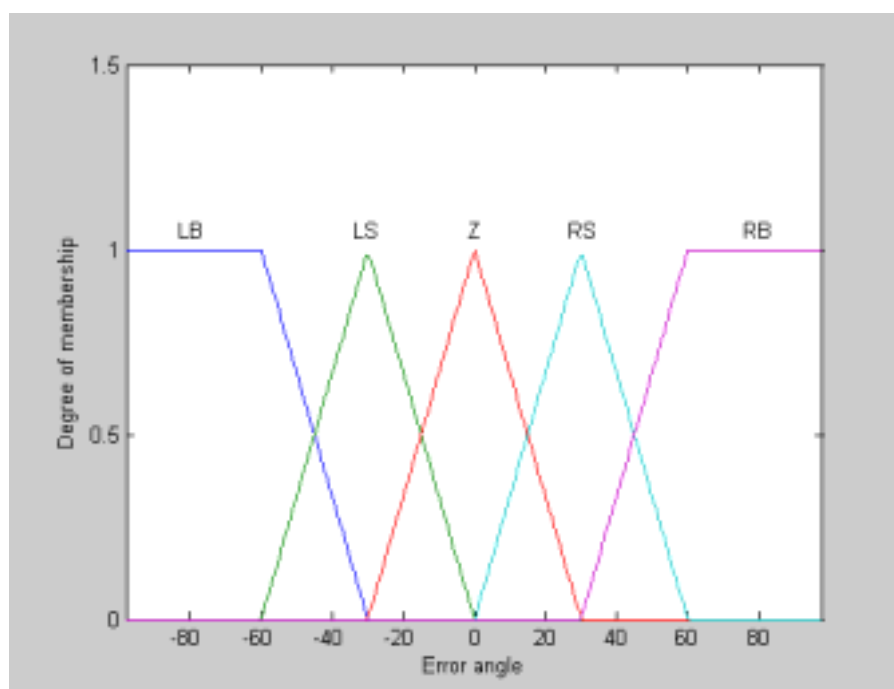


圖 5-6 避障角度的歸屬函數

建立輸出的歸屬函數，車型機器人的行進角度及行進速度的歸屬函數圖，如圖 5-7、5-8 所示。

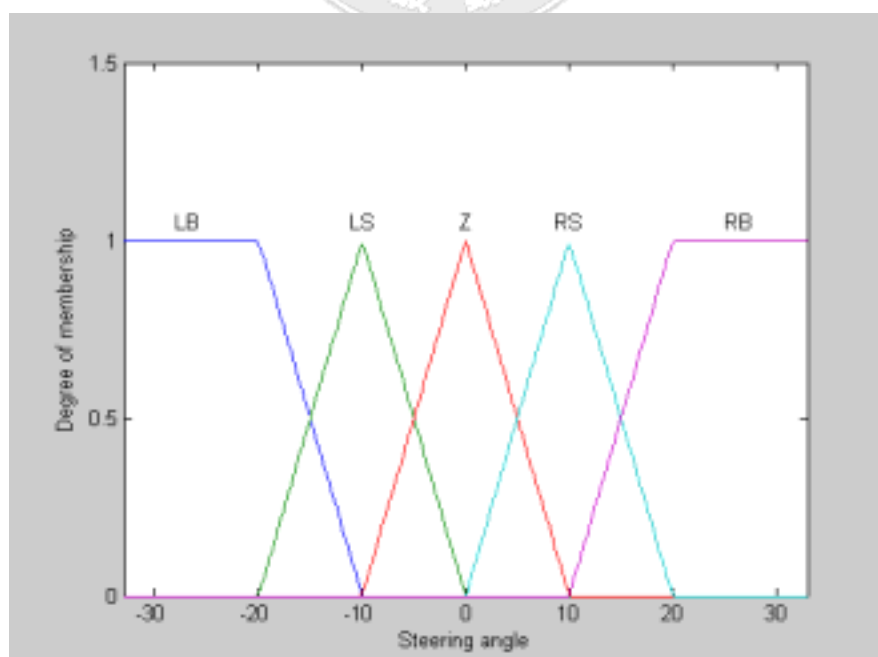


圖 5-7 行進角度的歸屬函數

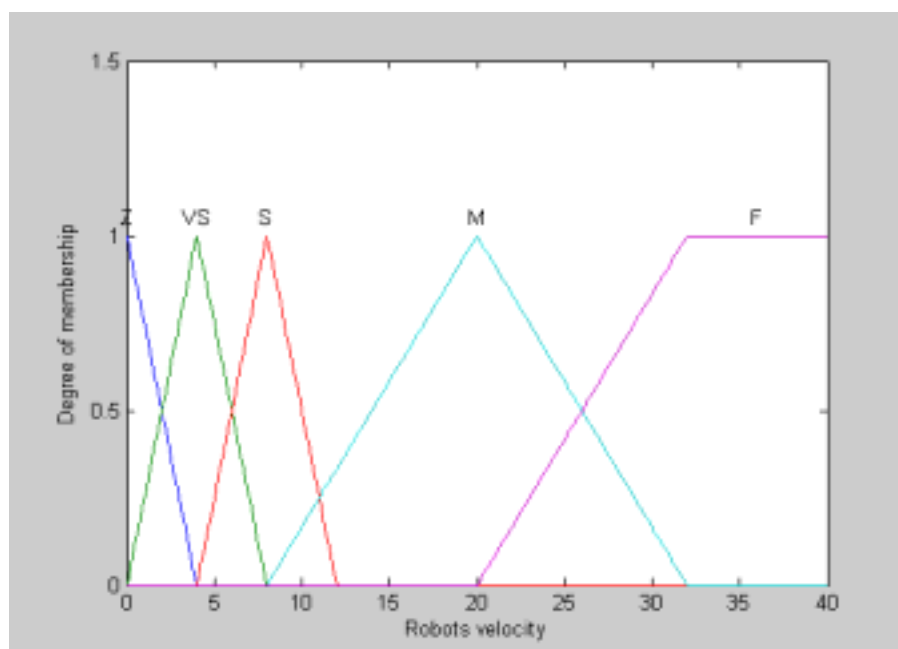


圖 5-8 行進速度的歸屬函數

步驟3. 建立模糊規則庫，而根據專家的經驗法則可得知，若要順利建構一個模糊規則庫，在此採用 48 條控制法則，而假設 obstacle distance 等於 Medium 時，其所建立的規則庫如表 5-2 所示。

表 5-2 模糊規則庫

Steering angle(θ_3)		Error angle(θ_2)				
		Left Big(LB)	Left Small(LS)	Zero(Z)	Right Small(RS)	Right Big(RB)
Obst acle angl e(θ_1)	Left Big(LB)	Left Small(LS)		Right Small(RS)		Right Big(RB)
	Left Small(LS)	Left Big(LB)	Zero(Z)			
	Zero(Z)		Left Small(LS)			
	Right Small(RS)		Zero(Z)			
	Right Big(RB)		Right Small(RS)			

步驟4. 定義其模糊推論引擎，模糊推論的方法有許多種，且不同的模糊推論會得到不一樣的推論結果，而本文在此是選用 Mamdani 的推論方式，其主要原因為這種方法較為簡單而且可靠度高。

步驟5. 最後的一個步驟，是將模糊推論引擎所推算出的結果，在經由解模糊化的過程，轉換為精確的數值。而解模糊化也是有許多種方法，本文是採用解重心法來做解模糊化的過程，來達到實際的操作量。

5.3 模擬結果

此模擬結果是採用 Matlab 軟體，以 M-File 來撰寫模糊控制器，以模擬車型機器人於實際行進時的情形。而模擬的狀況將分為三種情形：(a)行進路徑上沒有障礙物時(b)行進路徑上有單一障礙物時 (c)行進路徑上有多障礙物時的情形。

5.3.1 無障礙物時

由圖 5-9 所示為車型機器人於行進路徑上並無障礙物，由圖中可以發現出，當車型機器人由起始位置出發，而路徑上並無障礙物時，車型機器人將會以最大速度來行進之，直到目標前才開始減速抵達目的地。

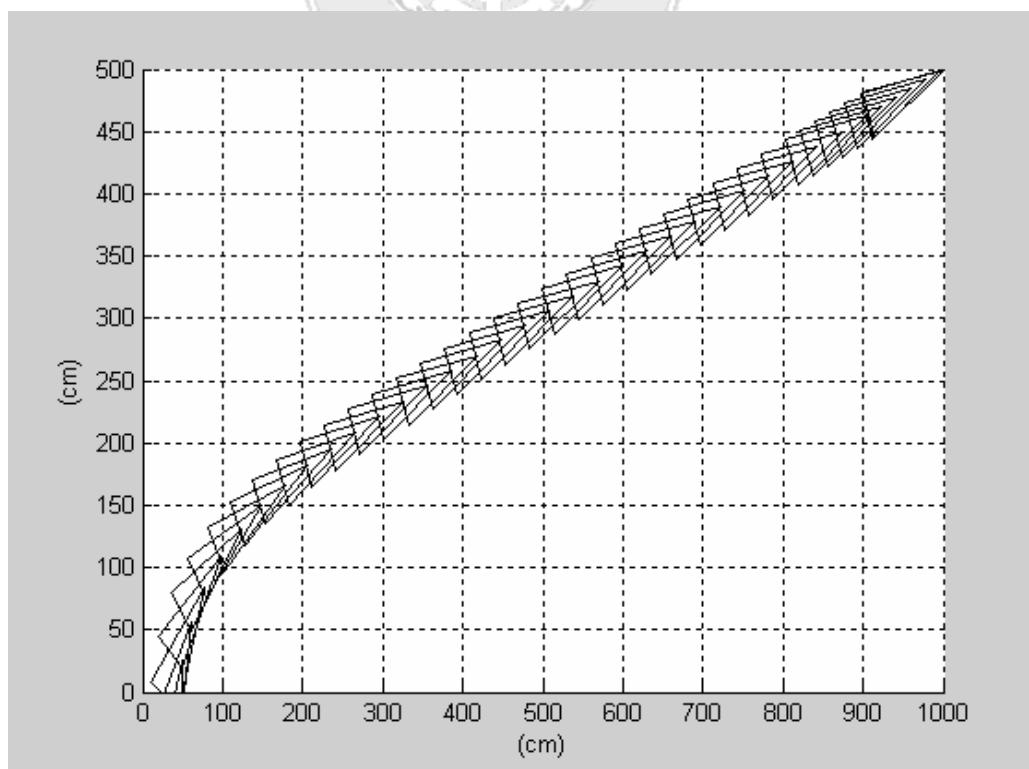


圖 5-9 無障礙物時的情況

5.3.2 單一障礙物時

當車型機器人於行進路徑上，有一個障礙物出現時，其模擬結果如圖 5-10 所示。一開始車型機器人的出發即以最大的前進速率行進，但於快接近障礙物的時候，車型機器人則有明顯減速的情形發生。在車型機器人順利避開障礙物後，可由模擬圖中發現，此時的車型機器人會有加速情形，而在快抵達目的地時才減速到達。

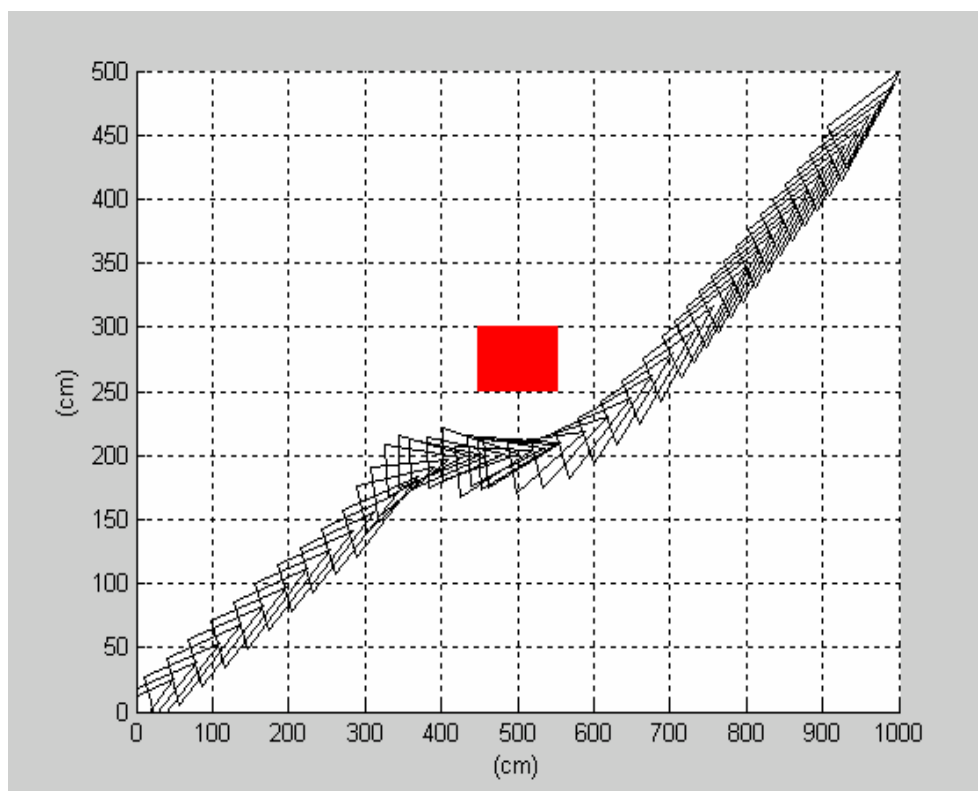


圖 5-10 單一障礙物時的情況

5.3.3 多障礙物時

本文於多障礙物時的避障模擬中，只取兩個障礙物來模擬多障礙物時的情況，如此可節省其模擬的時間，而且所測試得到的結論也與兩個以上的障礙物相同。模擬過程也是測試出發點至目的地的狀況下，只是為證實其車型機器人於未知空間，若遇到多障礙的情況發生時，實際上會有怎樣的閃避結果，而其模擬結果如圖 5-11 所示。一樣的當接近障礙物時，會有減速的情形發生，但在確保閃避之後，又會以較高的速度行進，而快抵達目的時又會放慢其行進速度。

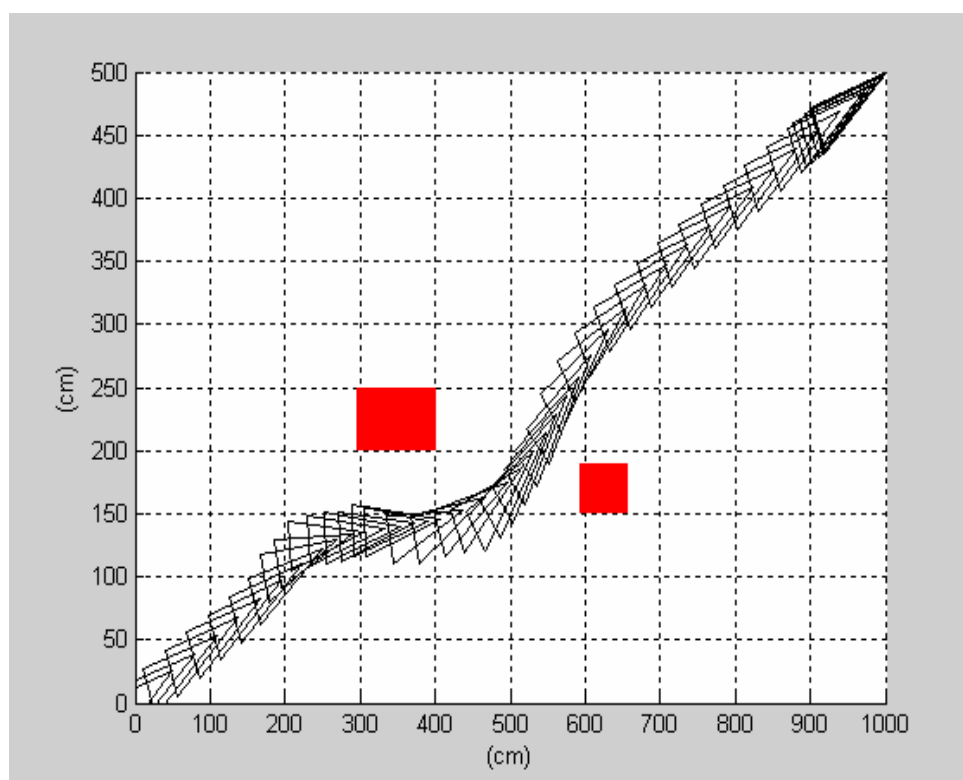


圖 5-11 多障礙物時的情況

5.3.4 模擬結果之討論

由模擬結果可以證實，所設計出的模擬控制器，能夠實現本文所制定的模糊避障策略。而且所呈現出的模擬結果，是具有能即時的避開障礙物，且能對其行進做有效的速度控制，讓車型機器人不僅僅能安全的到達目的地，更能縮短其航行時間。

第六章 實際硬體測試結果

6.1 理論模糊與硬體實現的差異

本論文於第五章中的模糊避障模擬，是假設以七顆超音波感測器裝設於車型機器人上，而所做的模擬結果及理論推導。但在實際的車型機器人的製作，卻只僅僅擺置四顆超音波感測器呢？這是因為當初於模糊避障的策略制定時，考慮本文所採用的 POLAROID6500 的超音波感測器模組，所發射出的音波訊號張角約 23° 。因此為了取得車型機器人前方的完整資訊，便將七顆超音波感測器均勻的配置於半圓上，這樣剛好可以平均檢測出車型機器人的前方資訊，以便提高模糊理論所推導出避障策略的精確度。

而模擬驗證上的是假設七顆超音波感測器來推導，但於實際的硬體實現上，卻有個該重視的隱憂問題。那就是超音波感測器是利用收發音波訊號，進而計算其飛行時間來檢測距離，但因為兩顆太相近的超音波感測器，很難避免掉超音波誤傳所帶來的問題。如某感測器所發出的音波被另一感測器所接收，或者某感測器同時接收到兩個以上的音波訊號，這樣會進而導致有誤判的情形發生。這樣的問題雖然可以運用單一輪流觸發來解決，也就是先觸發第一個超音波感測器，等第一個超音波感測器完成檢測距離之後，進而觸發第二個超音波來進行檢測，以此類推。但這樣的單一輪流觸發模式，因為需要等七顆全部進行完檢測距離後，才能將所檢測的結果回傳給 DSK 作總處理，會喪失掉本文所強調的即時控制響應。且本文所採用的 DSK C6416T 僅有 16 隻 GPIO，因此在硬體的 I/O 使用也是考量的重點之一，再經由詳細的考量後，決定以低於模擬的四顆來實現之，而於車型機器人的配置上也是以半圓平均分配之，這樣雖然降低了整個檢測的解析度，卻無損理論於實際硬體驗證上的正確性。圖 6-1 所示為實際硬體的超音波感測器配置圖。



圖 6-1 實際硬體的超音波感測器配置圖

6.2 硬體實際測試

6.2.1 無障礙物時

假設車型機器人是由出發點行進至目的地，而行進路徑並無障礙物的情形，因此車型機器人會以最短路徑來行進之，也就是以直線方式來抵達目的地。且本文所採用的馬達驅動電路，是以具有 8bit 解析度的 PWM 訊號來驅動直流馬達，若以二補數的形式來表達正反轉，則正反轉的範圍大小為 80H~7F H(-128~+127)。因此在沒有障礙物的情況下，此時的車型機器人將是以最快的正轉速度，來帶動整個車型機器人的移動，則 PWM 訊號應該是+127 的狀態。為了方便記錄車型機器人的行進情況，且又必須以書面方式來呈現結果，所以利用影片的擷取程式，來完成本文書面資料的動態結果。而圖 6-2 則為車型機器人於沒有障礙物時的 8 連拍動態圖，其觀看順序為由上而下、由左而右。

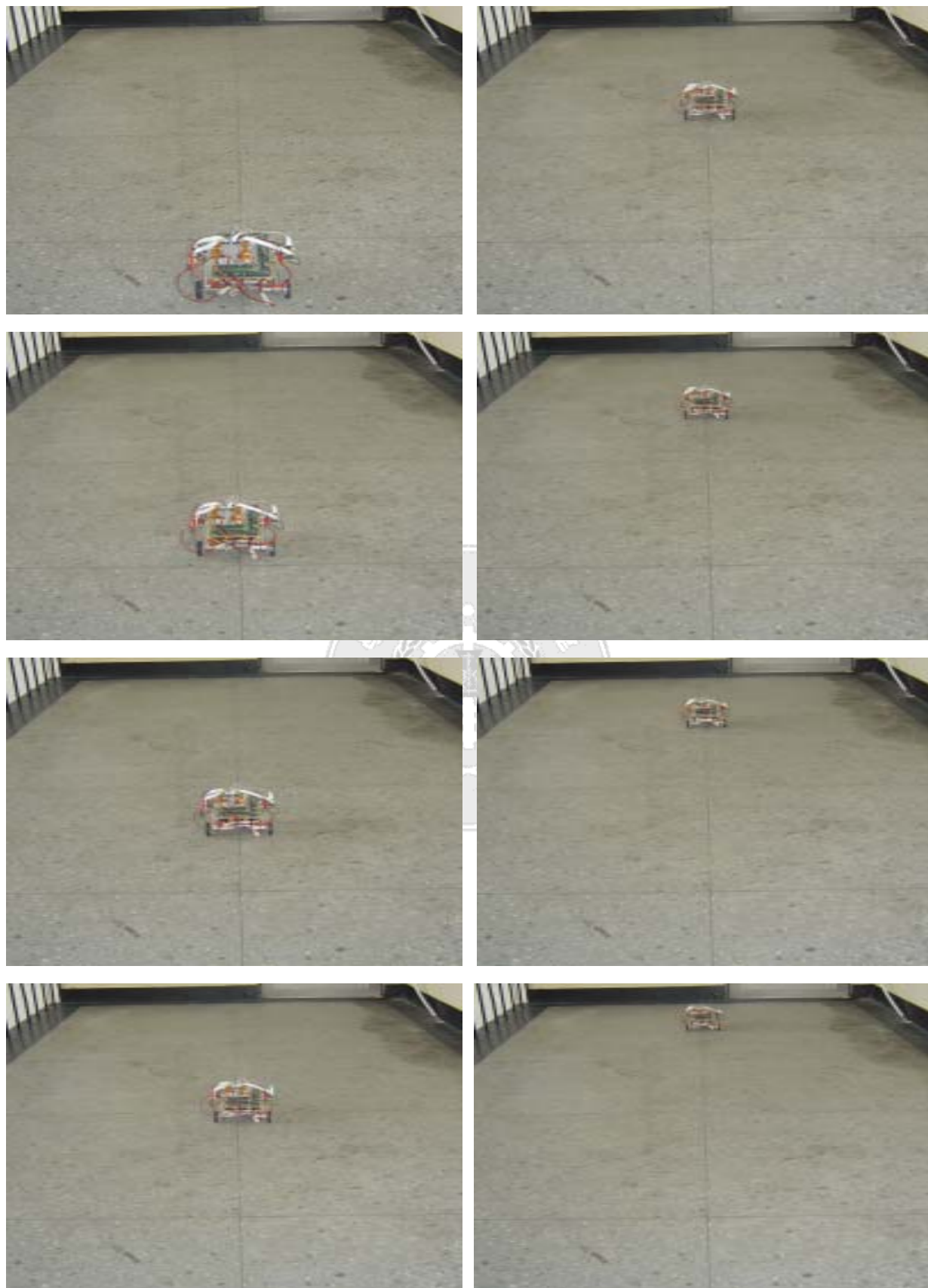


圖 6-2 車型機器人於無障礙物時

6.2.2 單一障礙物時

假設狀況與無障礙物時相同，假定車型機器人由出發點行進至目的地，但此時於行進路徑上，故意放置一個長寬高大小約 45 公分乘 30 公分乘 23 公分的紙箱，以便模擬真正車型機器人遇到障礙物時的情況。而一開始車型機器人的出發即以最大的前進速率行進，但於離障礙物大約 50 公分的時候，車型機器人則有明顯減速的情形發生。之後會依模糊理論所制定的避障策略，加以判斷四個超音波感測器的訊號強度，進而決定此時車型機器人的行進路徑。由車型機器人閃避單一障礙物的動態圖中可發現，其車型機器人在閃避障礙物的過程中，移動的速率會有較為慢的情況發生，這是因為模糊避障策略中歸屬函數及規則庫，其設計參數上的調校問題，而這可依車型機器人應用的環境及用途不同，來做更較為適合的修正改進。因為模糊理論中的參數選用及設定，也是一個很值得深入的研究題目，但因此方面並非本文的主要研究方向，所以在這此領域並沒有多做琢磨。其圖 6-3 為車型機器人於閃避單一障礙物時的動態圖，而觀看順序也是由上而下、由左而右。在此特別說明本文所有的動態圖，並非於相同的時間間隔所拍攝的，取八張的原因是為了讀者方便觀看比較。

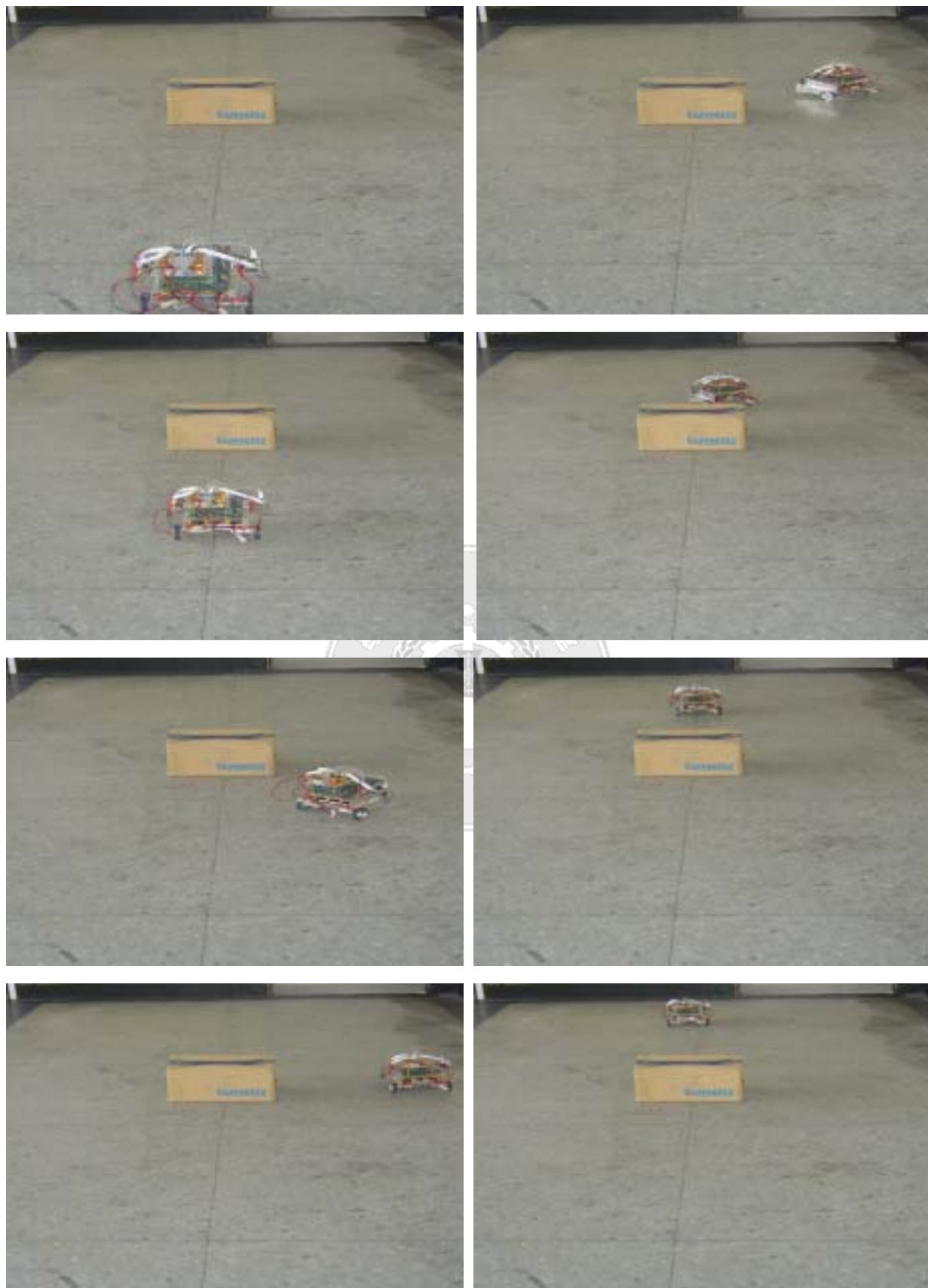


圖 6-3 車型機器人於單一障礙物時

6.2.3 多障礙物時

本文於多障礙物時的避障實驗中，是取兩個障礙物來假設多障礙物時的情況，如此可節省其實驗過程的步驟，而且所測試得到的結論也與兩個以上的障礙物相同。實驗過程也是測試出發點至目的地的狀況下，只是為證實其車型機器人於未知空間，若遇到多障礙的情況發生時，實際上會有怎樣的閃避結果。因此在此多放置了一個紙箱，來模擬第二個障礙物的實際情形，此紙箱長寬高大小約 35 公分乘 25 公分乘 20 公分。由車型機器人閃避多障礙物的動態圖中可發現，當車型機器人遇到第一個障礙物時，所做的反應判斷與單一障礙物時相同。而在閃避第一個障礙物過後。碰到第二個障礙物時的反應，則會有不同的情況發生，會隨著兩個障礙物所擺的距離遠近，所閃避的方向也會跟著改變，所到達的目的地位置也會有所偏差，這是因為車型機器人旋轉半徑的關係。若是將兩個障礙物的距離擺近一點，而剛閃避完第一個障礙物時，車型機器人還沒回歸到原本的路徑上，此時又偵測到第二個障礙物，因此車型機器人會依照模糊避障策略繼續閃避。而且本文的車型機器人並無路徑規劃的設計，所以當此種狀況發生時，閃避完第二個障礙物後，所抵達的目的地與我們所要求的目標點會有一小段距離的偏差。其圖 6-4 為車型機器人於閃避多障礙物時的動態圖，此時兩個障礙物擺設距離較遠，而圖 6-5 則是將兩個障礙物擺設較為接近。由兩張圖的比較更能發現，其車型機器人最後到達的目的點，會有些許的偏差產生。

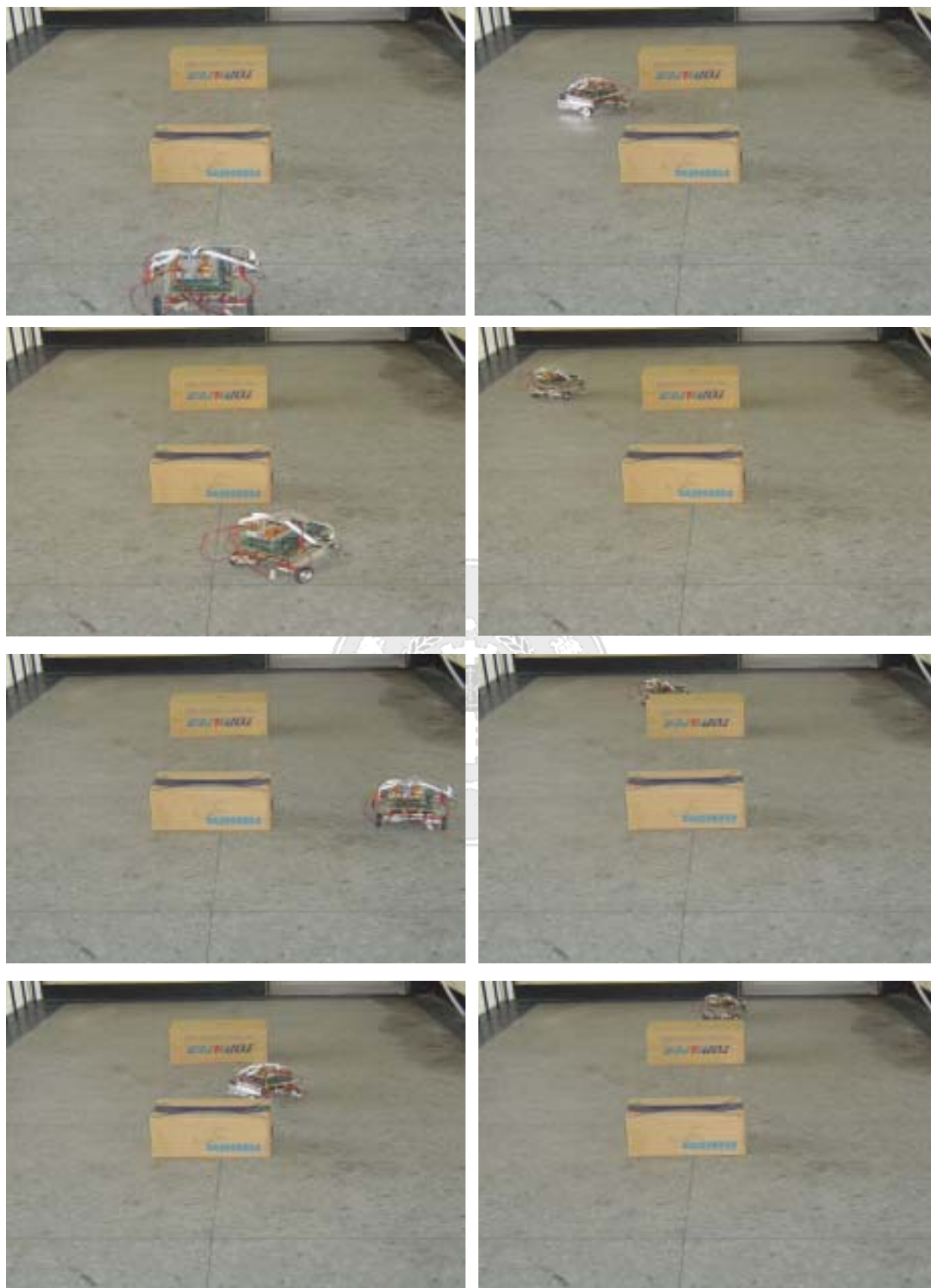


圖 6-4 車型機器人於多障礙物間隔較遠時

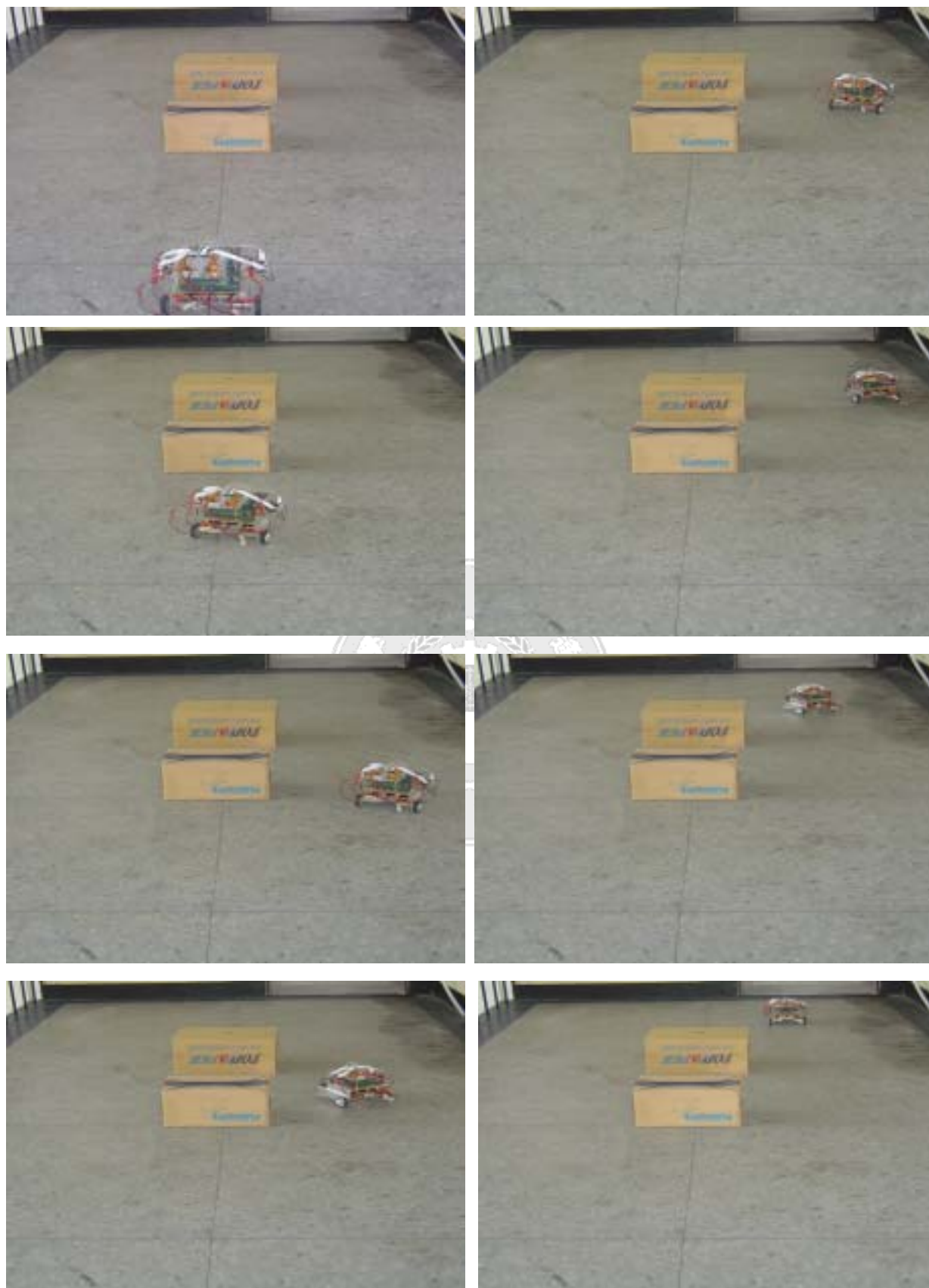


圖 6-5 車型機器人於多障礙物間隔較近時

6.3 實際與模擬的結果討論

本節主要討論實際硬體與理論模擬時，因為所採用的超音波感測器的數量是不同的，所以在此對分別所得到的結果，做進一步的討論以及分析比較。而在理論模擬時是裝設車體上具有七顆超音波感測器，但在實際硬體實現上卻因某些因素關係，只採用了四顆超音波感測器來取得行進的環境資訊。但可由實際測試結果與理論模擬中觀察出，車型機器人仍然能依照模糊理論所制定出的避障策略，順利的閃避障礙物之外，也能以最短的時間來抵達目的地。而事實上模擬與實際結果還是有其差異性存在，因其實際硬體在超音波感測器的配置上，只使用少於模擬時的四顆來實現。這樣會致使車型機器人於行進過程中，因為前方環境所偵測的解析度不足，而導致若障礙物體積太小的話，使得所制定的避障策略會有誤判的情形發生。但這樣的問題是可以去解決的，只需要按照當時的環境情況，對於所制定的模糊避障策略，做相對性的調整以期許達到要求。因此，車型機器人超音波感測器的數量，以及所配置的位置，對於環境偵測時的資訊取得，是佔有極大的絕對關係。



第七章 結論及未來展望

7.1 結論

本文研究重點在於，利用模糊理論所制定的避障策略，以自行製作的車型機器人來實現之，且必須是獨立運作的一個避障系統。而在模擬結果可發現，本文所制定的模糊避障策略，是具有可行性而且能對行進速度作修正，能以最快的速度到達其目的地。而在車型機器人的硬體製作部份，本文所採用的 C6416T DSK 並非專門為控制設計，但在自行設計的馬達驅動電路下，已經能當為其車型機器人之開發平台，可節省未來實現複雜理論時的時程。而於理論與實際硬體的結合上，也能從呈現的結果得知，其所制定的模糊避障策略，確實能實現於本文所設計的車型機器人，代表著實際結果也與模擬時的情況相符合。而以下為本文的參考建議：

- 建議一：

因車型機器人是以前輪驅動，且轉彎時是利用左右輪差速來實現，所以必須考量到輪胎會不會因車體扭力過大，而造成抓地力不夠導致空轉現象產生，近來影響車型機器人的操控性及即時響應。所以更換具有深胎痕之輪胎或較大輪圈，進而產生足夠的抓地力，以應付較為平滑之路面。

- 建議二：

本文車型機器人是採超音波感測器來做避障之功能，因超音波感測器是具有方向性，因此研究一開始先以四個方向均放置一個為主，但實際操作可能或有因裝置多寡或方向，而使所得訊號受干擾，使所得判斷結果錯誤。因此，要依實際操作之結果，視情況增加或減少感測器數量，或改變其放置之位置，而以改善精確度當為最主要考量。或者以加裝其他的感測器，來增強車型機器人的環境偵測資訊，以進一步提升車型機器人之自主性。

● 建議三：

閃避障礙物策略是由模糊理論作實際應用，雖說模糊理論並不用對所控制進行系統鑑別，即可直接做控制行為，但其中的規則庫及歸屬函數，都是必須由經驗法則做一設定，才能達到最佳控制效果。此問題雖說只要時間夠久，都能把最佳化調出來，或者搭配其他最佳化理論，進行參數的最佳化搜尋。但為了克服此問題，本人將於實際操作於硬體前，會先行於 Matlab/Simulink 做基本驗證，將所得模擬結果當為調模糊理論參數的基本依據，進而縮短開發理論的時程。

7.2 未來展望

以上的建議都是依照本文所遇到的問題時，想繼續進行修改的部份，而在車型機器人的未來展望。會於車型機器人的控制核心上，加裝 TI 所提供之影像處理卡，因此能於車型機器人的車體裝置 CCD，來開發車型機器人於機械視覺的研究。而在感測器部份，則以加裝雷射感測器為優先考量，因為雷射筆感測敏感度極佳，經由 DSK 所加裝的 RS-232 介面，即可擁有更多未知環境的外部資訊。而在理論部份，則是以其他最佳化理論，來調整本文模糊理論的參數，以讓車型機器人於閃避障礙物時，能有更佳的避障效能。而且未來會以類神經理論，來規劃其車型機器人的行進路徑，進而朝向車型機器人未來單獨進行任務的研究方向。

參考文獻

- [1] Farzad Nekoogar, Gene Moriarty, Digital Control using digital signal processing New Jersey: Prentice-Hall, 1999.
- [2] L. A. Zadeh, "Outline of a new approach to the analysis of complex systems and decision processed, "IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, vol.3, no.1, pp.28-44, 1973
- [3] C. C. Lee, "Fuzzy logic in control systems: Fuzzy logic controller, "IEEE Trans. on Syst. Man, Cybern, pp.404-434, 1990.
- [4] T.H. Lee, F.H.F. Leung, and P.K.S. Tam, "Position control for wheeled mobile robots using a fuzzy logic controller, " The 25th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society, vol.2, pp.525-528, 1999.
- [5] C.C. Wong, M.F. Chou, C.P. Hwang, C.H. Tsai, S.R. Shyu and P.Y. Chih, "Fuzzy system design for the path planning of the robot soccer," National Conference on Fuzzy Theory and Applications, 2000.
- [6] A. Baghdadi, D. Lyonnard, Nacer-E. Zergainoh, and Ahmed. A. Jerraya, "An Efficient Architecture Model for Systematic Design of Application-Specific Multiprocessor SoC," Design, Automation, and Test in Europe (DATE '01) , Munich, Germany, March 13 - 16, 2001.
- [7] TMS320 DSP Product Overview, Texas Instruments, SPRU258A, March 1998.
- [8] Ando Y. and Yuta S., "Following a wall by an Autonomous Mobile Robot with a Sonar-Ring," IEEE International Conference on Robotics and Automation, Vol.4, pp.2599-2606, 1995.
- [9] Yata T., Kleeman L. and Yuta S., "Wall Following Using Angle Information Measured by a Single Ultrasonic Transducer," IEEE International Conference on Robotics and Automation, Vol.2, pp.1590-1596, 1998.

- [10] Han Y. and Hahn H., "Localization and Classification of Target Surfaces Using Two Pairs of Ultrasonic Sensors," Elsevier Science on Robotics and Autonomous Systems, Vol.1, pp.31-41, 2000.
- [11] Young-Shick Ro, "A Geometrical Sonar Maps for Mobile Robots," The Fifth Russian-Korean International Symposium, Vol.1, pp.209-212, 2001.
- [12] Xue-Song Wang, Guang-Zheng Peng, and Ji-Fei Hao, "An evidential approach to environment sensing for autonomous robot," Machine Learning and Cybernetics, 2003 International Conference on , Vol.1, pp.210-215, 2003.
- [13] Silver, D., Morales, D., Rekleitis, I., Lisien, B. and Choset, H., "Arc carving: obtaining accurate, low latency maps from ultrasonic range sensors," 2004. Proceedings. ICRA '04. 2004 IEEE International Conference on Robotics and Automation, Vol.2, pp.1554-1561, 2004.
- [14] H. Noborio, I. Yamamoto and T. Komaki, "Sensor - Based Path- Planning Algorithms for a Nonholonomic Mobile Robot, " IEEE /RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, pp.917-924, 2000.
- [15] J. Yen, and R. Langari, "Fuzzy Logic: Intelligence, Control, and Information, " New Jersey: Prentice-Hall, 1999.
- [16] Li-Xin Wang, "A Course in Fuzzy Systems and Control, " New Jersey: Prentice-Hall, 1997.
- [17] L. A. Zadeh, "Fuzzy set, "Information and Control, Vol.8, pp.338-353, 1965.
- [18] TMS320C6416T DSK Technical Reference, Texas Instruments, April 2003
- [19] TMS320C6416 Fixed-Point Digital Signal Processors, Texas Instruments, SPRU146G, March 2003.
- [20] HCTL-1100 Technical Data, Agilent Technologies, 5965-5893E 1999.
- [21] Interfacing the HCTL-1100 to the 8051, Agilent Technologies, M-015, 1999.
- [22] LMD18200 Data Sheet, National Semiconductor Corporation, DS010568, 1999.

- [23] HW2596 Data Sheet, Huaya Technologies, 910-2001-02, 2003.
- [24] Texas Instruments, “TMS320C6000 McBSP: UART, “SPRA633a, 2001.
- [25] Texas Instruments, “How to Begin Development with the TMS320C6416 DSP, “SPRA522, 1999.
- [26] Texas Instruments, “Code Composer Studio User’s Guide, “SPRU509C, 2001.
- [27] 邱振銘, 類神經網路之線性化及其在識別與控制上之評估, 逢甲大學自動控制工程研究所碩士論文, 2003.
- [28] 林昇甫, 洪成安, 類神經網路入門與圖樣辨識, 全華科技, 1993.
- [29] M. T. Hagan, H. B. Demuth, and M. Beale, “Neural network design, “PWS Publishing Company, 1996.
- [30] S. Haykin, Neural networks : a comprehensive foundation, Macmillan College Publishing Company, 1994.
- [31] 黃茂坤, 工業用超音波檢測實務彙編, 中船公司編印, pp.1-8, 1997.
- [32] 陳瑞和, 感測器 ,全華圖書出版, pp.479-485, 1994.
- [33] K. S. Narendra, and K. Parthasarathy, “Identification and control of dynamical systems using neural networks, “IEEE Transactions on Neural Networks, Vol.1, No.1, pp.4-27, March 1990.
- [34] B. M. Marc, and R. S. Alejandro, “Fuzzy knowledge-based controller design for autonomous robot navigation, “Expert Systems with Applications, Vol.14, pp.179-186, 1998.
- [35] B. M. Marc, and R. S. Alejandro, “Ultrasonic Sensing and Fuzzy Logic Control for Navigation in Unknown Static Environments, “IEEE Proceedings of EUROBOT ‘96, 1996.
- [36] POLAROID 6500 Technical Documents, Acroname easier robotics, PID#615077, 2000.
- [37] LM78xx Series Voltage Regulators, National Semiconductor Corporation, TL/H/7746, 1995.

自述

作者：尤清達

生日：1980 年 12 月 24 日

籍貫：台灣省台中縣

學歷：逢甲大學自動控制工程研究所畢業（92/7~94/8）

國立勤益技術學院電機工程系畢業（90/9~92/6）

國立聯合大學電機工程科畢業（88/8~90/6）

新民高級中學電機科畢業（85/8~88/7）

台中縣立成功國民中學畢業（82/9~85/6）

台中縣立塗城國民小學畢業（76/9~82/7）

國際會議論文：

1. Chen, Hsin-Yuan*, **Yu, Ching-Ta** and Liu, Chen-Hung, “Neuro-Fuzzy Control Design with Robustness and Applications to Mobile Systems”, AIAA Conference on Navigation, Guidance and Control, 2005.
2. Chen, Hsin-Yuan*, Liu, Chen-Hung and **Yu, Ching-Ta**, “An Error Study on The GPS-Based Navigation”, AIAA Conference on Navigation, Guidance and Control, 2005.

國內研討會：

1. Chen, Hsin-Yuan*, **Yu, Ching-Ta** and Liu, Chen-Hung, “Neuro-Fuzzy Control Design with Robustness and Applications to Mobile Systems”, National Symposium on Aeronautics and Astronautics, Dec. 12, 2004.
2. Chen, Hsin-Yuan*, **Yu, Ching-Ta** and Liu, Chen-Hung, “Fast Passing over Steps with Unknown Height by a Variable Structure Type-Wheeled Robot”, National Symposium on Automatic Control, March 27, 2004.
3. Chen, Hsin-Yuan*, Liu, Chen-Hung and **Yu, Ching-Ta**, “An Error Study on The GPS-Based Navigation”, National Symposium on Aeronautics and Astronautics, Dec. 12, 2004.

4. Chen, Hsin-Yuan*, Liu, Chen-Hung and **Yu, Ching-Ta**, "GPS/GSM Positing System Design with Fuzzy Logic", National Symposium on Aeronautics and Astronautics, Dec. 12, 2004.
5. **尤清達**, 梁智惟, 陳杏圓 and 劉俊宏, "無陀螺式之慣性導航系統", National Symposium on Aeronautics and Astronautics, Dec. 12, 2004.
6. **尤清達**, 劉俊宏 and 陳杏圓, "雙足四輪式爬階梯型機器人之設計與研製", 2004 年中華民國自動控制研討會.

