

國立臺灣大學生物資源暨農學院生物產業機電工程學系

碩士論文

Department of Bio-Industrial Mechatronics Engineering

College of Bioresources and Agriculture

National Taiwan University

Master Thesis

自主式養蝦投餌機器人之研發

Development of an Autonomous Shrimp Feeding Robot



指導教授：朱元南 博士

Advisor: Chu, Yuan-Nan, Ph.D.

中華民國 99 年 1 月

January, 2010

致謝

經過了兩年多的時間，終於能夠完成本論文，在這段研究過程中，雖然經歷過許多的困難與失敗，並需要不停的摸索前進，但最終能在這些經驗之中進步成長，為這兩年的研究所時光留下難忘的回憶。

首先我要感謝我的指導教授朱元南博士，在研究過程中，老師教導我們做研究必須面對真實的問題，並讓我們學習使用創意思考的方式，跳脫舊有框架來解決所遇到的難題。除此之外，老師給予我們自由的研究空間，尊重包容每個人的做事方式，並且當我們研究遇上難關時總是鼓勵我們，失敗或進度緩慢並不可怕，只要能從中獲得經驗就是一次進步。感謝周瑞仁博士與葉仲基博士能擔任我的口試委員，並給予珍貴切實的建議指導，使本論文內容能夠更加的充實豐富。

要完成一份研究，必然是需要許多貴人的幫忙與協助，在此誠摯的感謝添利學長，總是在自己的工作之餘，還要辛苦的到學校幫助我完成了船體的機構設計這個我最不擅長但又十分重要的部份，可以說若是沒有添利學長的幫忙，就沒辦法完成這份論文。感謝瑞裕必須不停的陪我去宜蘭做實驗，並且提供了各式的協助，使我能專注於實驗內容，最終才得以順利完成這份研究。

在404實驗室生活了兩年，感謝把知識當成常識的Angel學姊總是能對我們的各項問題提供最佳的解答，並且不厭其煩的幫我們修改亂七八糟的報告或論文內容。以容學姊，顯州、韋靜、志勇、育德、小小以及學弟妹及其他夥伴們，感謝你們的陪伴與協助，我才能擁有這多采多姿的研究所時光。

學校生活之外，感謝摯友兼室友的小馬、秋、德宗、seven與小容，這兩年多來相處的點點滴滴，都是最佳的回憶。

最後當然最需要感謝我的父母與家人，唯有父母在背後當我最大的靠山，體貼包容我的一切，並給予無限的支持，才能有今天的我。

再次感謝所有的人及這所有的一切，謝謝你們。

摘要

本研究之目的是研發一個用於蝦類養殖的自主式投餌機器人。養殖時每日的投餌工作是一項基本卻重要的程序，一般投餌時主要之注意事項為控制投餌時間、次數與投餌量等。而為了配合蝦子的生態習性，於夜間進行少量多餐式的投餌是較佳的投餌方式；在投餌量控制方面，投餌時須配合蝦子的不同成長期以及氣候與水質狀況等因素，來判斷投餌量，若投餌過量或過少都會影響養殖成效。但現實中，目前傳統的人力投餌方式難以達成以上幾點條件，因此本研究設計一個投餌機器人，讓此機器人可於夜間自主式的進行少量多餐的投餌，以改善投餌方式，增進養殖成效。

為使機器人能在養殖池上行動投餌，故此機器人決定採用「機器船」的形式，並使用船外機作為機器人前進與轉向之推進系統。行動模式方面，因蝦子之習性是遍佈在養殖池的底邊四周覓食，所以設計使機器人以沿著養殖池邊約1.5公尺處，繞行養殖池數圈的方式進行投餌。利用超音波感測器偵測機器人與岸邊之距離與角度，再利用模糊控制法則依此資訊計算機器人所需的轉向控制，以達成機器人的沿牆行走(Wall-following)控制；實驗結果顯示，機器人可與沿牆目標保持在1.5公尺 \pm 20%的距離之間前進，足以達成養殖投餌應用之需求。接著在停靠點設置紅外線發射器，使機器人投餌結束後，能利用自身之紅外線感測器，感測停靠點位置後返回停靠。機器人所使用之轉盤式投餌機構，投餌範圍包含半徑1.5公尺之範圍，並可依照投餌需求的不同，利用改變船速配合調整投餌頻率的方式，使機器人完成繞行養殖池四周的投餌量控制。

關鍵字：水產養殖、蝦、投餌、機器人、模糊控制

Abstract

This research focused on the developing of an autonomous shrimp feeding robot for improving the feeding method and cultivation results. Feeding shrimps day by day is a basic but important work in cultivation period. The feeding time, amount and frequency are the major factors that affect the results most. It is a better way to feed less more often at night for conforming it to the behavior of shrimps. For the amount of feeding, it depends on the weather, season, water quality, and the phase of life cycle in shrimps etc. No matter we overfeed or underfeed, it might reduce the cultivation results. In tradition, it is difficult to achieve the best feeding way using manpower. Instead of that this research developed a feeding robot and applied it to feed less more often at night.

Because the robot feeds and acts on the surface of aqua water, it was designed as the type of a boat. For the function of moving, it was made of a transom-mount trolling motor. Since shrimps usually forage along the edge of the bottom at a breeding pond, the robot was designed for moving along the banks several times in order to feed shrimps. And it kept a 1.5 meter distance away from the bank.

Ultrasonic distance sensors were used on the robot to determine the distance and angle between banks and itself. According to those data, fuzzy logic control made the robot accomplish wall-following action. The results indicated that the robot could move along the bank and keep a $1.5 \pm 20\%$ meter distance away from the bank. An IR transmitter was built up in the berth. The robot could rely on the IR receiver mounted on it to determine where to berth itself after finishing the job. The feeding mechanism was swing the bait out with a turntable, and it could feed within a radius of 1.5 meter. The mechanism could adjust the speed of the robot or the frequency of swing the bait to

control different kinds of feeding amount.

Key words: Aquaculture 、shrimp 、feeding 、robot 、fuzzy logic control



目錄

口試委員審定書

致謝.....	i
摘要.....	ii
Abstract.....	iii
目錄.....	v
圖目錄.....	viii
表目錄.....	xi
表目錄.....	xi
第一章 前言與研究目的.....	1
1.1 前言.....	1
1.2 研究目的.....	2
第二章 文獻探討.....	4
2.1 智慧型機器人設計.....	4
2.2 機器人於農漁業之應用.....	5
2.3 機器人之定位與導航控制.....	7
2.3.1 基本定位與導航方式.....	7
2.3.2 應用於水面上之定位與導航控制.....	12
2.4 目前常見之投餌機簡介.....	13
第三章 研究方法與原理.....	16
3.1 養蝦池投餌需求.....	16



3.2 投餌機器人機構設計.....	16
3.2.1 載重量計算.....	16
3.2.2 速度要求.....	17
3.2.3 船體設計.....	17
3.2.4 推進方式—船外機.....	18
3.2.5 投餌方式.....	19
3.3 投餌機器人控制電路.....	20
3.3.1 單板電腦.....	21
3.3.2 微處理器.....	22
3.3.2 電源供應.....	23
3.3.3 船外機與伺服馬達控制電路.....	24
3.3.4 超音波感測控制電路.....	26
3.3.5 電子羅盤.....	28
3.4 沿牆行走控制規則.....	32
3.4.1 模糊控制法則.....	32
3.4.2 輸入與輸出信號.....	33
3.4.3 語言變數與歸屬函數.....	36
3.4.4 模糊規則庫.....	38
3.4.5 模糊推論引擎與解模糊化.....	38
3.5 避障控制規則.....	40
3.5.1 機器人之避障轉向控制.....	40
3.5.2 養殖池障礙物控制.....	41
3.6 機器人返回停靠點控制.....	42
3.7 系統控制時間週期.....	44
第四章 結果與討論.....	45

4.1 沿牆行走控制模擬結果.....	45
4.2 實驗結果.....	48
4.2.1 實驗場地.....	48
4.2.2 暫態響應.....	49
4.2.3 繞行養殖池測試結果.....	51
4.3 結果討論.....	55
第五章 結論與建議.....	59
5.1 結論.....	59
5.2 建議.....	60
參考文獻.....	63
附錄一 超音波感測器及電子羅盤控制電路圖.....	67
附錄二 船外機、伺服馬達與投餌機控制電路圖.....	68



圖目錄

圖 2.1 自動化投餌系統	6
圖 2.2 以建造地圖之方式進行機器人定位	9
圖 2.3 以無線網路之節點求相對位置之定位	9
圖 2.4 水上機器人之三個自由度 Surge、Sway 與 Yaw	12
圖 2.5 較常見之投餌機型式：a.轉盤式 b.迴帶式 c.震動式 d.觸動式 e.區間拋出式 -拋板型 f.區間拋出式-鼓風型 g.噴灑式 h.螺管式	14
圖 3.1 投餌機器人船體設計圖	17
圖 3.2 利用伺服馬達控制船外機轉向之方式	18
圖 3.3 投餌機構外觀	19
圖 3.4 投餌機轉盤	19
圖 3.5 投餌機器人外觀	20
圖 3.6 投餌機器人之電路架構圖	21
圖 3.7 單板電腦 PCM-4386F	22
圖 3.8 PIC18F4520 微處理器	23
圖 3.9 左：YUASA 55AH 電瓶，右：LM317 穩壓 IC	23
圖 3.10 PWM 信號， $V_{in}=12V$ ， $D=50\%$	24
圖 3.11 左：TA8429H 全橋式馬達驅動 IC，右：PC725V 光耦合 IC	25
圖 3.12 S677-2BB/MG 伺服馬達	25
圖 3.13 船外機與伺服馬達控制電路實體圖	26
圖 3.14 SRF05 超音波感測器	26
圖 3.15 SRF05 超音波感測器控制與接收信號表示圖	27
圖 3.16 超音波感測器測試資料	28
圖 3.17 SRF05 超音波感測器之 Beam Pattern	28

圖 3. 18 左：HM55B 電子羅盤外觀 右：電子羅盤感測地磁角度示意圖	29
圖 3. 19 HM55B 電子羅盤感測原理	29
圖 3. 20 HM55B 電子羅盤感測信號表示圖	30
圖 3. 21 HM55B 電子羅盤信號接收表示圖	30
圖 3. 22 超音波感測及電子羅盤控制電路實體圖	32
圖 3. 23 投餌機器人整體電路實體圖	32
圖 3. 24 模糊推論系統架構圖	33
圖 3. 25 左：模糊控制輸入信號—機器人與岸邊距離 d ，右：模糊控制輸入信號 機器人與岸邊角度 θ_0	34
圖 3. 26 機器人右側超音波感測器所測得之距離 d_1 與 d_2	34
圖 3. 27 機器人與岸邊角度計算方式	35
圖 3. 28 模糊控制輸出信號-機器人旋轉角度 θ_1	35
圖 3. 29 歸屬函數常見之形式，左：高斯型 中：三角型 右：梯形	36
圖 3. 30 機器人與岸邊距離 d 之歸屬函數	37
圖 3. 31 機器人與岸邊角度 θ_0 之歸屬函數	37
圖 3. 32 機器人旋轉角度 θ_1 之歸屬函數	37
圖 3. 33 Mamdani Min-Max 模糊推論法表示圖	39
圖 3. 34 養殖池常見之障礙物類型	41
圖 3. 35 養殖池之工作平台	42
圖 3. 36 利用珍珠板圍起之工作平台	42
圖 3. 37 Pololu IR beacon	43
圖 3. 38 Pololu IR beacon 紅外線信號發射與接收示意圖	43
圖 3. 39 裝設於停靠點之紅外線發射器	43
圖 3. 40 投餌機器人停靠於停靠點	43
圖 4. 1 養殖池模擬初始設定圖	45
圖 4. 2 模擬理想情形下，機器人繞行養殖池 20 圈模擬路徑	46

圖 4.3 模擬機器人受水力與風力影響下，繞行養殖池 20 圈之路徑	47
圖 4.4 養殖池外觀	48
圖 4.5 工作平台	49
圖 4.6 利用珍珠板圍起後之工作平台	49



表目錄

表 2.1 機器人於農業之應用項目	5
表 3.1 伺服馬達 PWM 信號，脈寬與旋轉角度關係表.....	26
表 3.2 電子羅盤角度定點測試資料(測試次數：100 次)	31
表 3.3 電子羅盤角度直線移動測試資料	31
表 3.4 投餌機器人沿牆行走模糊規則庫	38
表 3.5 感測器與信號計算時間	44
表 4.1 模擬理想狀態下之機器人沿牆行走統計數據.....	46
表 4.2 模擬受風力與水流影響狀態下之機器人沿牆行走統計數據.....	47
表 4.3 暫態響應實驗 I，初始夾角 90°	50
表 4.4 暫態響應實驗 II，初始夾角 45°	50
表 4.5 暫態響應實驗 III，初始夾角 135°	51
表 4.6 機器人繞行養殖池實驗 I，暫態與轉向響應 (轉向距離 250 公分).....	52
表 4.7 機器人繞行養殖池實驗 I，沿牆行走結果.....	52
表 4.8 機器人繞行養殖池實驗 II，暫態與轉向響應 (轉向距離 300 公分).....	53
表 4.9 機器人繞行養殖池實驗 II，沿牆行走結果	53
表 4.10 機器人繞行養殖池實驗 III，暫態與轉向響應 (轉向距離 350 公分).....	54
表 4.11 機器人繞行養殖池實驗 III，沿牆行走結果	54

第一章 前言與研究目的

1.1 前言

在我們日常生活中，所食用水產類食物的來源，主要分為兩種供應方式：捕撈漁業以及水產養殖；一直以來，捕撈漁業提供了最大的產量供應，水產養殖業次之，但近年來，捕撈漁業之產量已逐漸開始停滯，但隨著全球人口的增加，收入以及生活水平的提升等因素影響，水產類食物之需求預測仍會持續增加，因此水產養殖之重要性更將與日俱增。而實際上，水產養殖業之產量的確逐年增加，已逐漸取代捕撈漁業成為最大之水產食物之供應來源，並且仍在持續的增長當中。而在水產產品當中，全球對蝦類產品的需求量非常的大，蝦類佔了漁業總出口值的16%，是漁業商品國際貿易中最重要的商品，此外蝦的營養價值極高，蝦肉具有高品質蛋白質，但又低脂肪及低卡路里，並且含有大量的微量元素硒、維生素D、維生素B12等。由以上可知，蝦類養殖同時具有高度的商業價值與營養價值。

水產養殖過程中，每日的投餌工作佔了整個養殖程序裡非常重要的一環，在養殖漁業的投餌方式上，依照養殖對象的習性，進行適時適量的投餌是一份基本卻又非常重要的工作，以蝦子而言，若是投餌過量，除了造成餌料的浪費之外，過多的有機沉積物會在水中形成有毒的硫化氫，危害蝦子的健康；然而若是投餌量不足，除了會讓蝦子生長緩慢之外，嚴重的情形甚至會有死亡以及互相蠶食的狀況發生。現階段的水產養殖方式，大部分仍是使用傳統的人工方式養殖，這在整體效率及人力資源耗費上都尚有許多可以加發展及改善空間；而每日的固定投餌工作也是如此，以人工的方式投餌，除了限制了養殖業者每天的時間規劃，所投餌的時間與投餌量的控制也未必能符合最佳的投餌方式，因此在工業及科技業如此高度發展的現代，若能引進自動化技術應用於養殖漁業上，相信將可提升養

殖技術，增加養殖產量。

1.2 研究目的

水產養殖產業在未來將具有高度的發展性，而其中蝦類養殖又佔了十分重要的部份，但目前養殖的投餌技術上，大部分卻仍僅是以傳統人力的方式進行投餌，而此方式並沒有配合蝦子的覓食習性，因此實際上無法達成最佳的養殖收益。關於蝦類養殖之投餌方式，一般而言蝦子之習性多是在夜間進行覓食，而覓食的方式為少量多餐式，覓食地點多是環繞在養殖池四周靠近池邊處。但實際上養殖者投餌時卻難以配合其習性，因此傳統的投餌方式仍是依照養殖者較方便的方式，以一日分為早晚共2~4次的方式，進行大量投餌，但相對的蝦子食用餌料的速度不快，因此每次過多的投餌量都會造成需要一兩個小時才能吃完，而餌料長期泡在水中，營養成分和風味將會持續流失，因此為了因應這種情況，一般在餌料的製造上都多增加了許多凝結劑，但如此一來卻又反而會影響蝦子的營養吸收情形；此外，關於投餌時之投餌量的判斷方面，餌料並非以定量方式投餌即可，而是應該根據蝦子不同的成長時期，以總體重的百分比計算總投餌量，進而還需依照每日的水質狀況，包含氣候，水溫，水中溶氧量，pH值等差異情形，再對投餌量進行調整。但現在多數的投餌實際情形卻僅是單純依賴投餌者概略的觀察水質狀況及個人經驗來判斷投餌量。基於上述之原因，現行之投餌方式實際上與蝦類之覓食習性是有所違悖的，也因此對於蝦子的成長會造成一定程度的影響，自然也使養殖者無法達成最佳的收益效果，因此若是能克服以上因素，而得以配合蝦子最自然的覓食習性來進行投餌，將可再增進目前的養殖成果。

本研究之目的即是希望能改善目前傳統養蝦投餌的方式，而對於改善方法曾設想過下列幾種可能的作法。首先現在市面上雖然有自動投餌之商品，但都是屬於定點定量的投餌機，無法對整個養殖池均勻灑餌。而雖然可採用在養殖池周圍安裝數個投餌機的方式以增大投餌範圍的方法，但這種方式在補充餌料時反而會造成人力較大的負擔。另一個方式是中央控制單一儲料桶，並利用自動化設備進

行遠距離大範圍之餌料投送，但其中餌料輸送方式及灑餌均勻度是仍待克服的問題。此外以上方式仍尚有兩個主要的缺點，首先就實際養殖現場情況而言，養殖池四周可供行動之空間極少，多是僅能使單人通行之步道，因此空間上可能不足以大範圍安裝投餌系統或投餌機，而若要將設備懸空安裝在養殖池上方，則實際所需之成本可能過高；而第二個缺點是若使用自動化系統方式，則每個養殖池都須再額外架設所需之機器設備及線路，便利性較低，且同樣需耗費不少安裝費用。考量以上因素之後，本研究選擇使用機器人的方式來作為研發目標，讓機器人能自主式的繞行養殖池邊前進並進行投餌，有別於自動化系統，自主式機器人的最大優點在於不需要對各個養殖池架設大量的設備與線路，在理想的情形下使機器人可直接在任何養殖池中使用，或者也使其僅需做少許的設備安裝，減少費時耗資的施工流程。

因此本研究的目的即是希望製造出一自主式投餌機器人，使其能依照蝦子的習性於夜間無人操縱的情況下，進行少量多餐式的投餌。而在機器人的設計上，為了要能在養殖池上沿著四周投餌，將採取機器船的形式，並在船上承載餌料進行投餌。而投餌機器人最基礎之功能為要能沿著養殖池邊繞行數圈行動，這主要的關鍵在於如何使機器人了解其自身所處的位置，以判斷如何進行正確的行動控制；接著是要使機器人能順利的避過行進路徑中的障礙物，並保持適當的投餌路線，最後則是當機器人投餌結束後，能順利的回到停靠點中停靠，並待機等待下一次的投餌時間。因此本研究之主題將會著重在機器人的定位導航控制之上。而完成此機器人之後，未來將可依此機器人為基礎，加強各項功能，如利用各種水質感測器，配合投餌策略運算，做出最適量的投餌判斷，以達成最佳之養殖效益。

第二章 文獻探討

2.1 智慧型機器人設計

智慧型機器人是屬於一個整合的科學，要完成一個智慧型機器人，需要配合電子、電機、機械、資訊、材料等許多不同的領域加以整合，才能得以完成，並且對應於不同之應用目的時，亦會有不同的研究方向，因此智慧型機器人所包含的研究範圍十分廣泛，而在一般而言若要設計一個智慧型機器人的應用，其主要所需考慮的架構可分為如下所列：

一. 硬體功能

設計一機器人，首先須思考其所包含之整體架構如何實現，而硬體架構又可分為如下：

機構設計— 在機體本身，除了外型的设计之外，還須考量到全部硬體的配置，系統散熱之考量，且依需求加入防水、耐高溫、高壓等各種功能。

動力系統— 機器人之動力來源，採用充電、更換電池或太陽能供電等方式，並且須考慮省電，電力穩定等功能。

行動模式— 機器人之行動是採用輪型、足行或水下等方式，且須設計完善之馬達運動控制系統。

控制核心— 負責整個系統之行動控制，各個模組資訊之溝通與整合，決策判斷。

通訊系統— 機器人與其他機器人、電腦伺服器、感測器間之通訊，所採用之通訊系統之設計。

感測系統— 機器人利用各式感測器感測環境資訊，以判斷自身所處位置，即依其不同應用目的之資料感測。

二. 軟體功能

環境認知— 若要設計一個自主式的機器人，則首先必須能讓其認識自己所處的環境

境，現在多是利用攝影機、雷射測距儀(Laser Rangfinder)、聲納超音波、全球定位系統(Globe Positioning System, GPS)、陀螺儀…等各式不同感測器，配合定位演算法與影像處理等方式，以達成機器人之定位及導航。

決策判斷—完成了硬體功能，才能使機器人擁有正常的行動控制，擁有了感知功能，機器人可以得知各種環境中所需之資訊，而當機器人擁有了各種資訊之後，就需針對其所目的於需求做出正確的判斷，因此決策判斷可說是智慧型機器人之靈魂所在，這時通常應用資訊領域之人工智慧，類神經網路，模糊控制等演算法，作為機器人之決策判斷依據。

以上所列之項目為目前在機器人研究上最為常見之研究內容，在這當中的每一個部份都各是屬於一個專業的研究領域，而只有當能整合各個項目的情況下，才有可能完成一個真正實用、可靠且穩定的智慧型機器人。

2.2 機器人於農漁業之應用

機器人發展至今，已有許多應用之實例，而在傳統的農業方面，亦有不少機器人應用相關之研究，其研究範圍廣泛，種類眾多無法詳列，在表2.1中將目前農業機器人依應用範圍分為溫室、田間與畜牧三大類，並列出其中最為普遍之應用項目。這些研究內容中，以有許多已實際應用於農業產業中，並協助提高收成成果之例子。

表 2.1 機器人於農業之應用項目

	應用項目
溫室	各式作物收割、自動灑水、植物雜枝減除
田間	自動插秧、自動去除雜草、田間看門狗、 作物自動分級、各式作物收割
畜牧	自動放牧、自動飼餵、自動擠牛奶

相較於機器人在農業應用之研究的興盛程度，在養殖漁業上卻幾乎沒有相應的熱度，關於投餌應用方面，目前已有自動化投餌系統，如圖2.1所示為Arvotec公司之自動化投餌系統，此系統可量測環境之溫度、水中溶氧量，並根據這些資訊及養殖產物之總量與平均重量等相關內容，控制投餌量及投餌頻率，但此系統僅對室內養殖較為適用。除此之外，目前亦有應用於水上或水中之機器人研究，如各式機器魚，或自主式水下航行器(Autonomous Underwater Vehicle, AUV)之控制等，但對於適用於室外養殖之自主式機器人應用，目前卻難以見到相關研究。



圖 2.1 自動化投餌系統(資料來源：www.avrotec.com)

2.3 機器人之定位與導航控制

2.3.1 基本定位與導航方式

在關於自動投餌機器人之應用中，為了能讓投餌機器人在一個養殖池上進行自主行動，以完成投餌之應用，機器人之定位與導航控制是一個相當重要的項目，而基本之定位與導航方式可分為三個主要的步驟：

一. 偵測環境資訊與感測器使用

利用感測器以感測環境資訊以判斷自身位置，或偵測與障礙物間之距離，最常使用之感測器為紅外線測距器、超音波測距器、雷射測距儀、攝影機與 GPS(全球定位系統)。其中紅外線與超音波測距器都是只能針對其所面向之單點量測直線距離，一般紅外線可偵測之距離相對較短，大多偵測距離都在 10 公分到一公尺之間為最常見，而超音波測距器可偵測範圍多在 1 公分到 5 公尺之間，因此與相對於紅外線感測器而言，超音波測距器之應用範圍較為廣泛。而為了克服超音波感測器本身之功能限制，亦有不同之研究用以探討超音波感測器對應不同障礙物形狀感測特性之研究(Tsuzuki and Sasaki, 1993; Han and Hahn, 1999)。雷射測距器一般可做大範圍且精確之環境偵測，例如可偵測左右各 120 度、5 公尺範圍內之障礙物資料，且精確度在 1~5 公分之內，因此可應用性遠較紅外線與超音波感測器為高，但因雷射測距器感測範圍大，故其單次測量所得到的資料量也十分龐大，且雷射測距器之價格也較紅外線與超音波感測器之價格高上許多。前面三種感測器所偵測的都是障礙物距離資料，但若利用攝影機搭配機器視覺技術，除了障礙物距離之外，有可能得到更多詳細資料，如可判斷物體(人、桌椅或牆壁等)、顏色等，應用範圍更加廣泛，但相對的機器視覺之技術需求與系統硬體要求也是以上數種方式中，最高的一種，此外機器視覺處理結果也極容易因環境中不同光源即照度而受到影響 (Tu and Chen, 2007)。GPS 與前面所述的各感測器使用方式又有所不同，GPS 能提供機器人所位於地球位置之經緯度資料，做為行動控制

的依據，但卻無法了解所處之環境資訊，且在使用單一 GPS 的情況下，其誤差值較大，約為 7~15 公尺，而若欲減少誤差值則須使用價格高昂之校正設備，才可將誤差值減少到 3~5 公尺左右。

以上幾種感測方式之使用上各有其優缺點，紅外線與超音波測距器可偵測之資料少，但技術與硬體需求低，價格便宜；雷射測距器與攝影機可偵測大範圍環境資料，但其技術與硬體需求則高上許多，且價格也昂貴，因此感測器之使用仍需針對不同的需求考量，做不同的選擇。並且也可同時應用不同之感測器以整合其各自之優點，最為常見的作法為整合超音波感測器及機器視覺，以同時提高增加控制即時性及控制精確度(Trabelsi *et al.*, 2007)。

二. 定位

當機器人使用感測器得到環境資訊之後，就是要利用這些資訊來判斷自身所處的位置，而定位技術上最常使用的有兩種方式：

一是採用使機器人即時建造地圖及定位(Simultaneous Localization and Mapping, SLAM)，這是在機器人行動控制中極為廣泛的應用方式。若要機器人建造環境地圖，為了因應環境中多變及複雜之障礙物情形，多是採用高精確度即大範圍之感測器，如雷射測距儀(Chung *et al.*, 2006)或是攝影機(Gemeiner *et al.*, 2007)等感測器，較足以精確的偵測環境資訊以建造地圖供定位及行動控制之用。如圖2.1所示，即是機器人利用雷射測距儀感測週遭環境資訊之示意圖，其中紅點為機器人所偵測到之環境物體位置。但另一方面為了節省感測器成本，亦有關於使用超音波以感測器建造地圖之研究(Bank and Kampke, 2007; Barshan, 2001)。使用建造地圖作為定位應用，可獲得較精確之環境資訊，因此可應用範圍較廣，彈性較高。目前關於SLAM已有為數眾多之研究，因應不同之需求，如：穩定性、支援度、易用性及價格亦各有不同之相關演算法可供採用(Ouellette and Hirasawa, 2007)。

第二種定位方式則是利用在環境中之固定點放置地標(Landmark)，圖2.3為設置地標之定位方式，其中灰色圓點為所設置之地標，而機器人經計算與各個地標

之間的距離與方向後，求得機器人在環境中所處之相對位置。而環境中之地標，主要多為使用無線信號節點 (Li *et al.*, 2008)、超音波感測器(Lin *et al.*, 2008)，或是利用GPS資訊(Dhariwal and Sukhatme, 2007)等設備。利用地標定位的方式僅能得知機器人在環境中之相對位置，因此使用範圍較受限制，適合使用於障礙物較少之環境中。

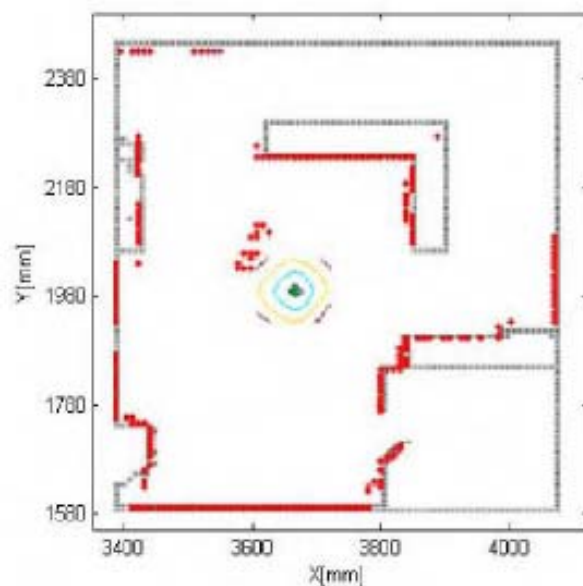


圖 2.2 以建造地圖之方式進行機器人定位(Chung *et al.*, 2006)

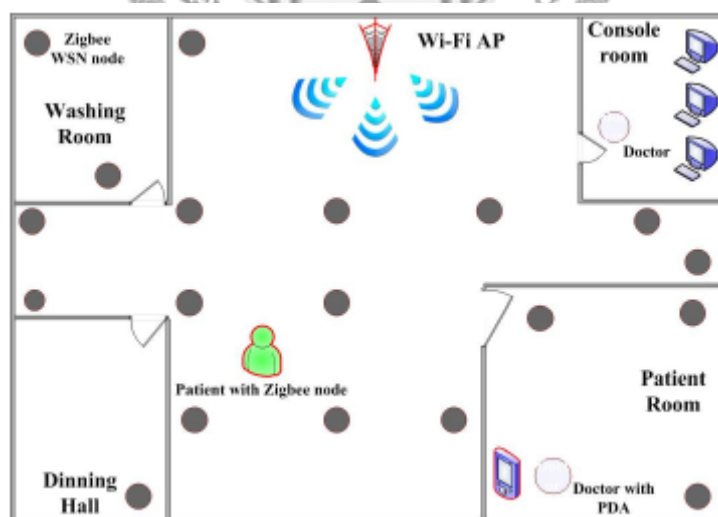


圖 2.3 以無線網路之節點求相對位置之定位(Li *et al.*, 2008)

三. 行動模式判斷與控制

完成定位工作之後，機器人將依照其應用目的來選擇其行動模式，在行動模

式的選擇上，目前有兩種常用方式：

一是根據所用有之環境資訊，做行動路徑規劃(Path Planning)，在做路徑規劃前首先會依已有之環境資訊程度做不同之分類，主要分為三類：(1) 環境資訊已知。(2) 環境資訊完全未知或部份未知。(3) 環境中包含以某種可知或可預知的方式進行移動之障礙物。等三種情形。之後再根據機器人對環境資訊之不同掌握程度將路徑規劃分為全局路徑規畫與局部路徑規畫。此外機器人之路徑規劃控制亦存在三項特點：(1) 複雜性：在一般環境中，機器人路徑規畫非常複雜，且需要極大之計算量。(2) 隨機性：複雜環境的變化往往存在許多隨機性和不確定因素。(3) 多約束：機器人之形狀、速度及加速度等對機器人之運動存在約束。(Li and Shi, 2008)。

第二種行動控制方式則是讓機器人僅僅根據幾種固定的行動模式的基於行為(Behavior Based)控制方式，其定義為「行為」是為完成或維持某一特定目的，之一組受到限制之控制法則」(Mataric, 1997)，基於行為模式控制最常見的行為有：沿牆行走(wall-following)、避障及追蹤等，而其控制架構，因可容易的對環境資訊做出即時之反應，所以也廣泛的應用在機器人之導航控制上(Song and Lin, 2006)。

而在行動模式控制方面，傳統之控制方式都是為機器人建立其數學模型，自主式機器人之移動控制是典型的非完整式約束系統(Nonholonomic system) (Ilya, *et al.*, 1995)，針對這種系統傳統仍是採用PID回授控制，如利用非線性回授控制(Samson *et al.*, 1991)、動態回授線性化技術(Dynamic Feedback Linearization Technique) (d' Andrea *et al.*, 1995)等方式控制，但因實際應用上，機器人之動態系統是具有高度非線性且十分複雜之系統，難以建構其數學模型，因此在近十年之機器人控制研究中，應用模糊邏輯控制、類神經網路或者兩者結合之模糊類神經網路，成為了自主式機器人控制領域中常用的控制系統。

模糊邏輯是採用語意式的控制模式，可以直接將人類的思考模式，經驗與推理的想法過程，直接化為控制規則，相對於傳統PID控制，模糊邏輯控制規則建

立簡單快速，並且彈性與強健性高(Yang *et al.*, 2003)。類神經網路是模仿人類神經網路之結構，採用分層遞迴的方式，經由多次重複的學習後，建立起完整的控制模式(Manki *et al.*, 2008)。模糊邏輯與類神經網路控制系統，具有一項最大的共通特色就是不用為機器人建立本身的系統數學模型，在應用上相對簡易許多，也因此成為了目前研究之主流，並已有許多不同的應用。關於模糊控制與類神經網路控制的性能比較方面，若將兩者同時應用於機器人之沿牆行走控制上時，類神經網路相對上擁有較佳之穩定性與較小之相對誤差，但其應用上首先須先做訓練，且應用結果會受到其訓練過程之結果(Training Data)影響，因此設計上較為複雜。而相對的模糊控制雖然穩定性及相對誤差性能較類神經網路為低，但其反應速度較佳且在應用設計上較為簡便。此外，模糊邏輯可將其控制知識簡易的利用語言項表現出來以便理解，但類神經網路之控制參數結果卻難以理解，但另一方面類神經網路之控制具有學習之功能，因此兩者整合之模糊－類神經網路控制，將可同時具有控制過程具有學習功能及控制結果易理解之優點(Tsui *et al.*, 2008)。

在本研究中基於養蝦投餌的應用需求，機器人的主要行動模式將採取沿著養殖池四周前進的沿牆行走控制，控制模式在考量控制規則的設計難易性後，選擇使用能簡便的設計控制規則的模糊邏輯控制。關於應用模糊邏輯控制於機器人沿牆行走的行動模式方面，經測試後證實能有效且即時的完成控制需求(Peri and Simon, 2005；Tsui *et al.*, 2008)。除了單純的沿牆行走控制之外，一個完整的機器人控制，基於不同的應用需求需整合各項不同行動模式，如為了使機器人在未知的環境中探索，其行動需包含避障、沿牆行走、目標追蹤等基本功能(Rahman and Jafri, 2005; Chang *et al.*, 2007)，或是讓輪型機器人模擬人類的駕車方式，實現包含沿牆行走、倒車入庫、路邊停車等功能(Li *et al.*, 2003)，在以上的例子中，模糊邏輯控制均能有效的完成其控制需求。

2.3.2 應用於水面上之定位與導航控制

雖然機器人之定位導航控制是一個相當熱門的研究項目，但是對於應用於水面上機器人之相關研究卻非常稀少，相對於陸地上之機器人控制，水面上之機器人將會受到水波、水流及風力交互作用之影響，造成自身位置無法預期的改變，因此非常難以做出機器人之控制模型，而要在水面上做導航控制同樣是非常困難。但水上之機器人會受到三個自由度的影響，即如圖 2.4 所示之 Surge、Sway 及 Yaw 三個自由度，此三自由度可簡單想成是以水上物體為基準，所相對應之 X 軸、Y 軸與 Z 軸方向所受到之力。因此在控制上，我們可以根據此三個自由度作為我們的控制基準。此外並可結合風向計及風速計與電子羅盤來增加水上控制之可行性(Dhariwal and Sukhatme, 2007)。

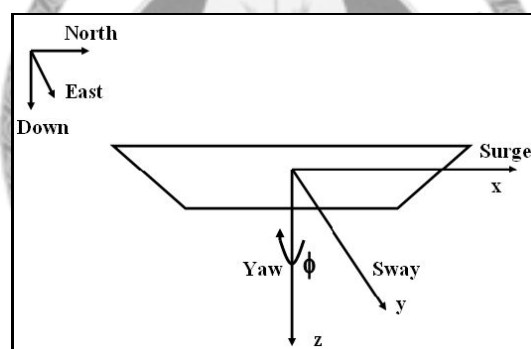


圖 2.4 水上機器人之三個自由度 Surge、Sway 與 Yaw
(Dhariwal and Sukhatme, 2007)

此外也可利用傾斜儀與加速度計等感測器來估量位置的改變量，求出機器人之姿態。一般在使用傾斜儀測量時，由於物理架構的關係，不只會受到傾斜的影響，還會受到所附著物體因運動而產生加速度的影響，而量測出不準確的值。而此外，人體對於傾斜或是加速時所產生的感覺在某些情況下是相同的，因此當要以量測器材獲得物體此時之運動姿態時，若加速度很小的情況下可以忽略不計，或是考慮加速度，運用數值演算法的方式去解聯立方程，以獲得正確的姿態，以協助增進水面上之定位導航控制。(戴，2004)

2.4 目前常見之投餌機簡介

目前於各養殖環境中所使用之自動投餌機多是僅能定點式投餌，目前較常見之投餌機型式，依其投餌方式可粗分為七種：轉盤式、迴帶式、觸動式、區間拋出式、螺桿式、震動式與噴灑式。

轉盤式之投餌方式主要為使用一料斗放置餌料，於料斗下方裝設轉盤，當轉盤靜止時，料斗中之餌料會因架橋現象而不會下落，當轉盤開始旋轉之後，會破會料斗之架橋現象，因此餌料會開始落到轉盤上，並受到轉盤旋轉之力而甩出，此外可調整轉盤不同轉速以此控制餌料之噴灑距離。迴帶式投餌機是鋪設一段迴帶，利用馬達帶動迴帶轉動，而餌料平鋪在迴帶上，當迴帶轉動就帶動餌料落入養殖池中，根據餌料鋪在迴帶上的不同分布情形決定一次投餌的延續時間。觸動式投餌機是在飼料料斗下方開口處加裝托盤，托盤下方連接連桿，當魚想覓食時，觸動連桿即可使餌料落下，這種投餌方式不需動力，但難以控制投餌量，易造成投餌過量之情形。區間拋出式投餌機多安裝於網箱或室外養殖池，以大飼料桶為料斗，使用不同動力，如鼓風或馬達與拋板等方式，將餌料拋出，可擴大投灑面積。螺管式投餌機之投餌出口為一螺管，投餌機上方同樣連接飼料桶，投料時利用馬達旋轉帶動螺管轉動將餌料推出，而螺管具有自我維護清潔功能，維護較容易，而出料量也可由螺管之轉速與時間來控制。震動式投餌機使用電磁鐵帶動托盤，通電時可使托盤震動而使餌料下落。噴灑式投餌機是目前室外養殖環境中較常見之投餌方式，其在儲料桶下方延伸出管子，餌料沿著管子所朝之方向噴灑出去。(廖，2000)

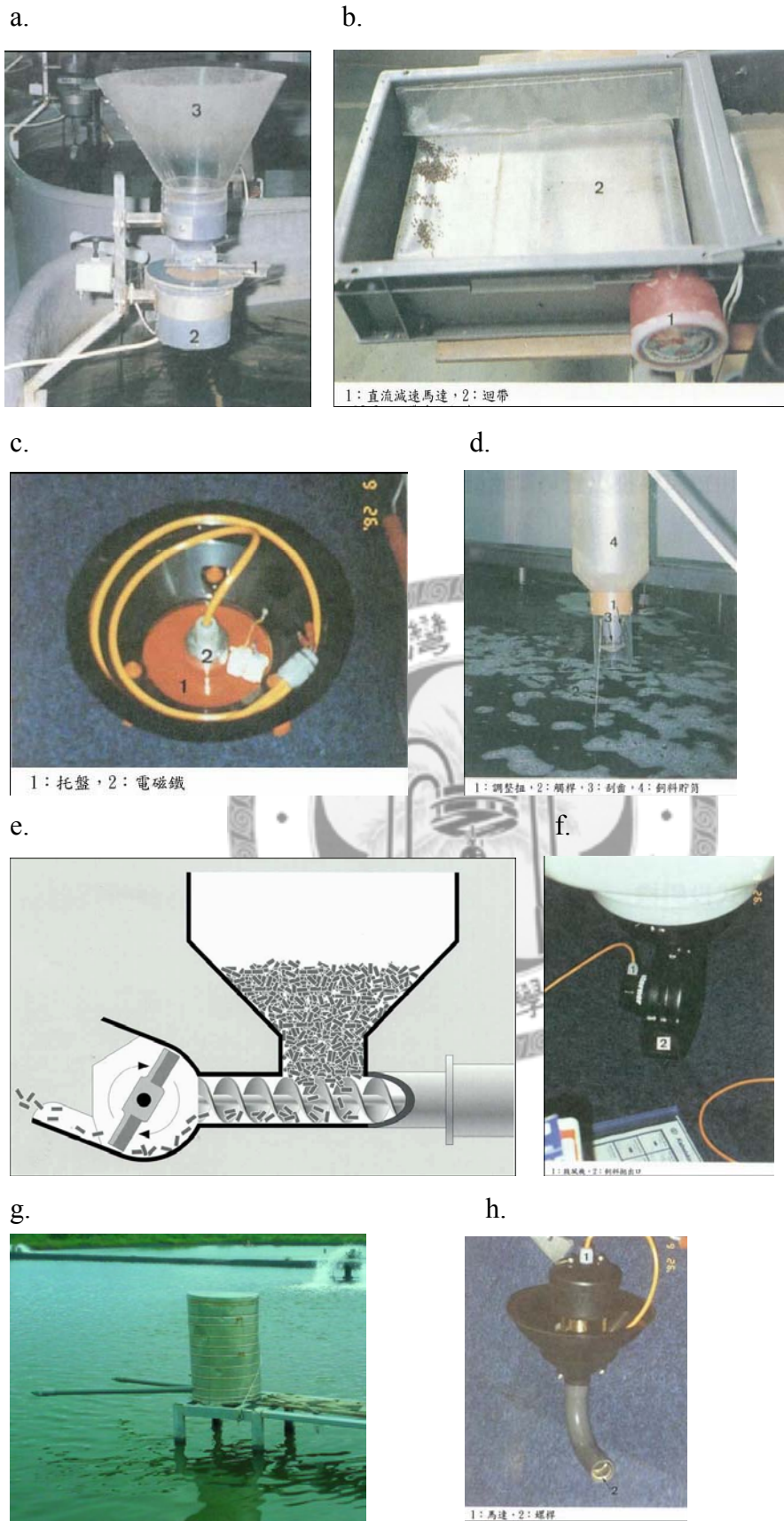


圖 2.5 較常見之投餌機型式：a.轉盤式 b.迴帶式 c.震動式 d.觸動式 e.區間拋出式-拋板型 f.區間拋出式-鼓風型 g.噴灑式 h.螺管式(廖，2000)

在投餌機選用方面，為了適用於室外養殖環境中，養殖池之面積較大，因此投餌機之投餌範圍與距離是本研究較注重之部分，而上述各投餌機中，可大範圍投餌的方式為轉盤式、區間拋出式與噴灑式三種，其中區間拋出式投餌機僅可單方向投餌，噴灑式投餌機大多可朝兩個方向投餌，而轉盤式投餌機之投餌範圍最廣，其餌料可朝 360 度方向噴灑投餌，因此較為適合本研究之投餌機器人使用。



第三章 研究方法與原理

3.1 養蝦池投餌需求

蝦子的覓食方式多是在夜間進行少量多餐式的覓食，且地點多是環繞在養殖池的池邊，因此本研究希望設計一個可以在夜間，無人控制的情況下，自主式沿著養殖池邊繞行一周，進行少量多次式投餌之機器人。而此機器人在投餌時，將使用不同的感測器，偵測項目包括：水中溶氧量、pH 值、水溫等環境資料，並依據所設定資料庫或公式計算，計算出最適當之投餌量，以達成最適量之投餌控制。此外，此機器人也將可與使用者之電腦伺服器進行無線通信，傳輸感測資料與投餌狀況，使養殖者得以隨時監控投餌情形，並且可在必須時利用電腦伺服器對機器人下達控制指令。

3.2 投餌機器人機構設計

為了使機器人能繞行養殖池四周一圈，並於距池邊約 200~300 公分處進行投餌，因此決定使用機器船的形式，使其能在養殖池上順利行動。

3.2.1 載重量計算

此機器船所需負載之重量來源主要分為三個部份：

1. 餌料—預設機器人一次裝載一天份的餌料，依照經驗約為 20 公斤左右，依實際養殖池約一分地（1000 平方公尺）飼養 600 斤蝦計算，初期幼蝦可投餌一週，而後期成蝦約可投餌一天半。而實際投餌量將再由機器人依照當天情形進行投餌量控制。
2. 電瓶—作為供應整體控制電路及船外機之電力來源，使用兩顆 55AH 之汽車電瓶，單顆電瓶重量為 16.2 公斤，兩顆共 32.4 公斤。

3. 船外機一裝置為船尾，作為推進動力來源之船外機，整體重量約為 7 公斤。以上三部份為主要之負載重量來源，其餘之電路系統等所佔之重量極少，可忽略不計或只需在船體浮力設計上，稍加給予安全限度 1 公斤以上即可。因此將上述之重量相加之後，預估此機器船所需之最少載重量約為 70 公斤。

3.2.2 速度要求

此機器人將採用船外機作為推進之動力，搭配伺服馬達來控制船行方向。因為機器人於投餌時之速度要求不高，依照本實驗所實地試驗之養殖池，長 35 公尺、寬 25 公尺，要求約 6 分鐘繞行一圈之情況下，僅需時速 1.2km/h 或 33.3cm/s 即可。

3.2.3 船體設計

依照以上載重量計算及船速要求，可知此機器船所需為較大的承載重量及極低的船速要求，因此在船型設計方面，不採用一般常見之流線型船體設計，而是以類似梯形體之方式，增加船下水後於水面下之體積，可加大浮力，提高載重量，另一方面也可提升船在水面上之穩定度，不易造成左右搖晃。

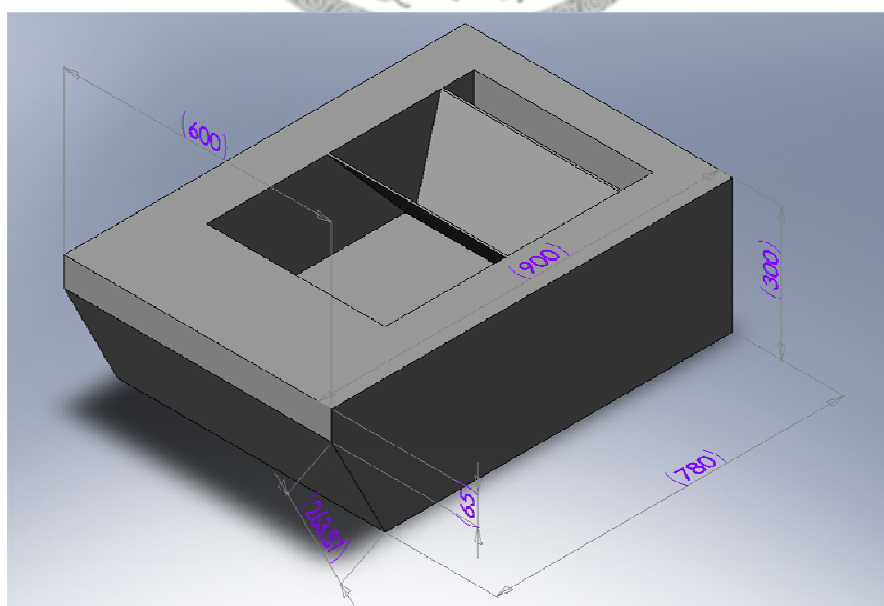


圖 3.1 投餌機器人船體設計圖

圖 3.1 為投餌機器人船體設計圖，設計船體約為長 90 公分，寬 60 公分，高 30 公分，船頭處作一定角度之傾斜，以減低渦流影響。

關於載重量部份，假設若船身吃水一半高度，即 15 公分高的情況下，經計算後所能承載之重量約為 74 公斤，足以承擔上述所以算之 70 公斤所需負重量，並尚有 4 公斤之安全額度。

船體之材料使用上，初步使用保麗龍作為浮體，再於船體外部覆蓋 PVC 板，以增加船體強度。

3.2.4 推進方式—船外機

本研究採用船外機作為機器人之推進系統，使用船外機之一個主要優點是，船外機本身是可以轉向的，利用此特點只需使用船外機再搭配一控制轉向角度用之伺服馬達，即可完成機器人的前進與轉向控制，而不需再額外多使用舵或是使用雙螺旋槳的方式，來控制轉向。船外機是由 Minn Kota 公司所設計製作之 Endura 型船外機，此船外機電源輸入為 12 伏特(V)，輸入電流為 3~5 安培(A)，推力為 30 磅，約 13.61 公斤，並可利用輸入不同電壓方式控制改變船速。

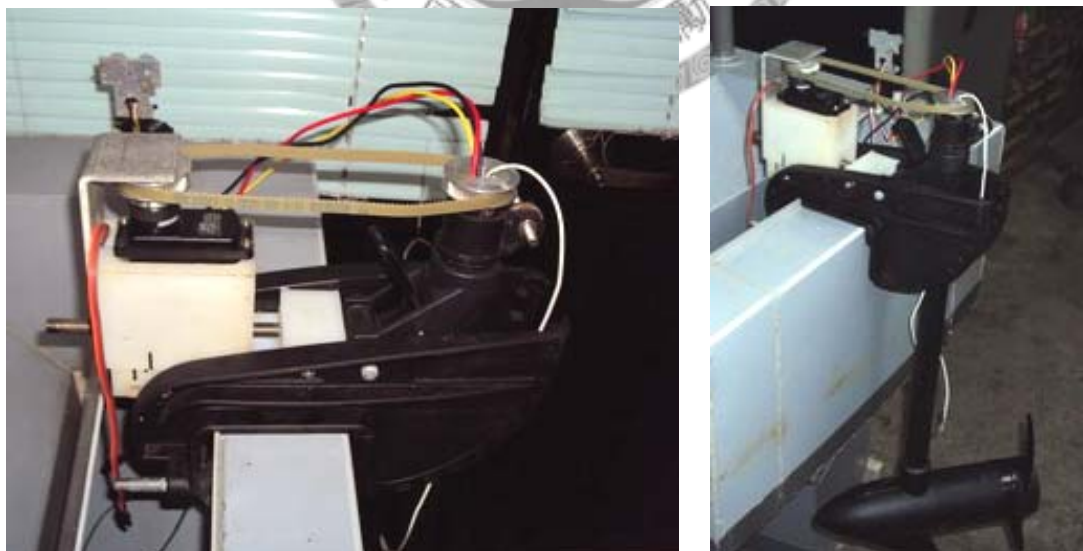


圖 3.2 利用伺服馬達控制船外機轉向之方式

關於轉向控制部份，如圖 3.2 所示在船外機之機架上設計一伺服馬達與皮帶輪的連接，以控制船外機轉向。此伺服馬達旋轉角度為 180 度，轉向精度為 1

度，並具有最高可達 26.5 kg-cm 之扭力，並可利用不同頻率之電壓信號輸入，控制此伺服馬達之旋轉角度。

3.2.5 投餌方式

投餌機構使用一漏斗型容器裝載餌料，而投餌方式為利用下方之轉盤旋轉噴灑餌料，當轉盤靜止時，容器內之餌料會因架橋現象而不會下落，而當轉盤開始轉動時，將可破壞架橋現象而使餌料開始落下，並且經由轉盤之旋轉甩出，經實驗測試後，噴灑範圍可包含約半徑 150 公分內之區域。圖 3.3 與 3.4 分別為投餌機與其轉盤外觀。圖 3.5 為所完成之投餌機器人整體外觀圖。



圖 3.3 投餌機構外觀



圖 3.4 投餌機轉盤



圖 3.5 投餌機器人外觀

3.3 投餌機器人控制電路

此投餌機器人之整體控制硬體方面，如圖 3.6 之電路架構圖，首先使用一單板電腦系統作為整體系統之控制核心，對各感測器發送所需之感測要求信號，之後接收各感測資料，以計算出機器人下一步之行動控制，接著再利用所求得的控制值控制推進馬達與轉向伺服馬達，完成當次之機器人行動控制；此外並同時控制投餌裝置進行投餌。而在單板電腦與各感測器或受控馬達之間，利用微處理器 (Microcontroller Unit, MCU) 做為溝通介面，單板電腦利用 RS-232 串列通信傳輸介面傳送控制信號予以微處理器，接著微處理器即會根據所接收之控制信號控制各感測器做資料感測，並將感測資料回傳給單板電腦；或是直接控制受控馬達如：船外機、轉向伺服馬達及投餌裝置等進行動作。

所使用之感測器有三個超音波距離感測器，用以感測船身與岸邊及前方障礙物間之距離，並且計算出船身與岸邊之相對角度。此外並利用一個電子羅盤感測

機器人所處之絕對角度，輔以提升控制穩定度。此外因養殖池處於室外環境，風力極大，會嚴重影響機器人之行動控制，因此再使用風速計及風向計感測風力影響，依此調整行動控制策略。

輸出控制硬體主要有三個，船外機直流馬達控制，船外機轉向之伺服馬達控制，以及投餌裝置之直流馬達控制。

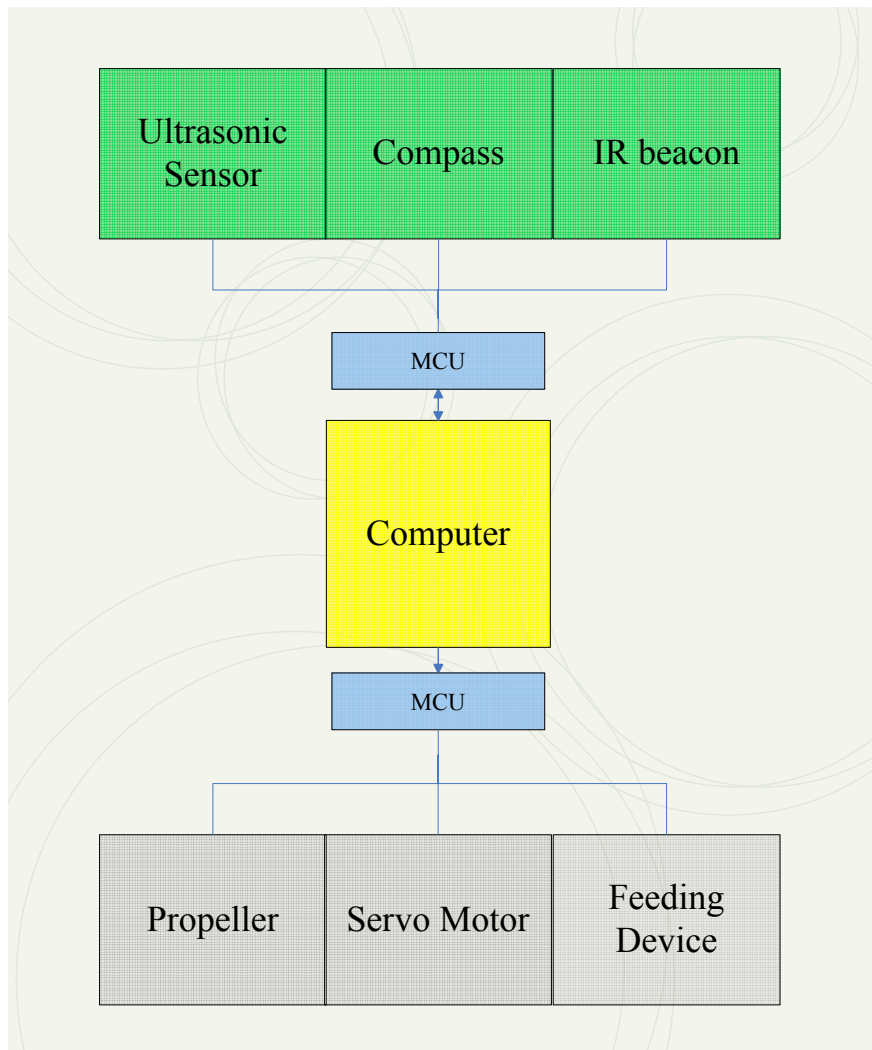


圖 3.6 投餌機器人之電路架構圖

3.3.1 單板電腦

本研究使用研華公司所製造之單板電腦 PCM-4386F 作為整個機器人之控制核心，此單板電腦使用 Intel Embedded Celeron M Processor 1GHz CPU，DDR 512 MB 系統記憶體，8G SD(Secure Digital)卡作為儲存設備，可完成快速之控制法則

運算，並擁有 4 個 RS-232 串列通訊埠以及四個 USB 2.0 通用序列埠，因此能與大量的外接控制電路作連結。使用單板電腦之最大優點是體積小與低功耗，本實驗所使用之 PCM-4386F 整體大小只有 115×165 mm，因此可以輕易的安裝於機器人之上作為主控電腦。而其所需之消耗電流，經由測試後得知，操作使用時約為 0.8A，而待機時為 1.5A，亦遠較一般筆記型電腦之 4~5A 為低。

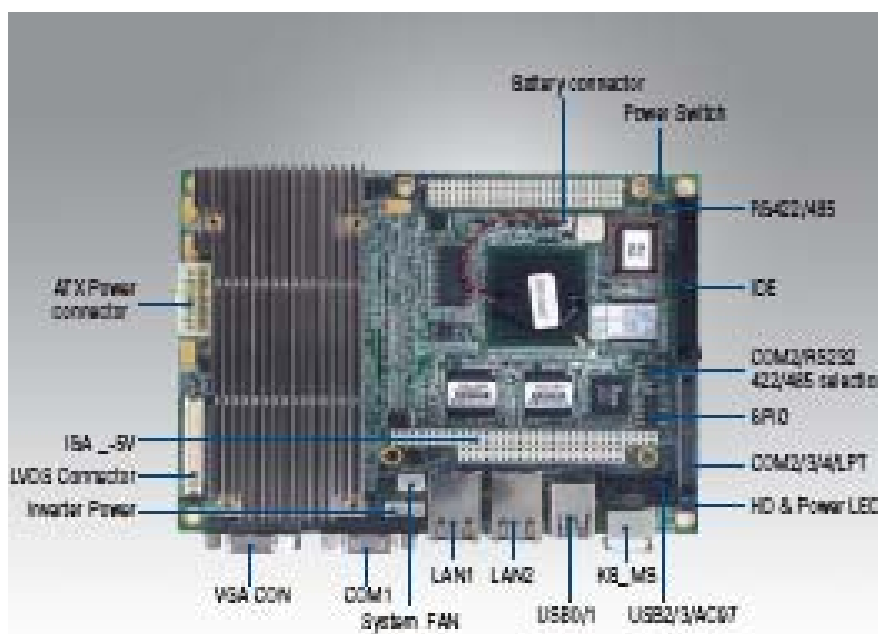


圖 3.7 單板電腦 PCM-4386F(資料來源:www.advantech.com)

3.3.2 微處理器

微處理器是單板電腦與各硬體設備間之重要溝通介面，Microchip 公司所生產之 PIC18F4520 微處理器操作頻率最高可達 40MHz，擁有 32K 位元的程式記憶體與 1.5K 位元的資料記憶體。而功能方面具有兩組 CCP (Capture/Compare/PWM) 模組，可處理信號捕捉、比較與輸出脈寬調變信號、多達 13 通道的 10 位元的類比數位(A/D)轉換模組與支援 RS-485、RS-232 與 LIN 1.2 通訊模式...等功能，足以完成投餌機器人之不同應用需求。



圖 3. 8 PIC18F4520 微處理器

3.3.2 電源供應

為了滿足單板電腦及船外機之大功耗電量使用，而採用兩顆 55AH YUASA 電瓶並聯使用。在假設投餌機器人每次投餌時間約為半小時，每日投餌三次，其餘時間皆為待機之情形下，經預估後此電瓶約可連續使用兩天。而為了避免當電瓶輸出電壓與電流時，突有瞬間過大之脈衝產生而傷及電路系統，在電瓶與電路之間，皆使用 LM317 穩壓 IC 提供電路之穩定電源輸入。LM317 是 FairChild 公司生產之三端子可調節式穩壓 IC，其在有適當供應電壓的情況下，可經由調整與其連結之電阻值後，提供範圍為 1.2~37V 之穩定輸出電壓，而輸出電流最高為 1.5A，若需提供更高之輸出電流值，可利用並聯功率電晶體或數顆 LM317 並聯等方式，即可完成大電流之穩壓電路輸出。在本實驗中，依不同需求設定，給予微處理器與各感測器 5V 電壓，而給予船外機 9.5V、10.5V 及 11.5V 三種不同電壓。



圖 3. 9 左：YUASA 55AH 電瓶，右：LM317 穩壓 IC

3.3.3 船外機與伺服馬達控制電路

船外機所使用之馬達屬於 DC 直流馬達，對於直流馬達之使用，只要給予輸入電壓即會開始轉動，而若要控制速度，則只需要在馬達接受範圍內，改變輸入電壓值，即可改變轉速。一般若要以軟體方式控制轉速，多是將電壓透過脈寬調變 PWM (Pulse Width Modulation)方式，改變電壓之脈波之工作週期(Duty Cycle)，進而改變輸出平均電壓，以完成轉速控制。

一 PWM 之工作週期為：

$$D = \frac{\tau}{T} \quad (3.1)$$

其中 T 為信號週期， τ 為一週期內，信號值非零之時間。而平均電壓為：

$$V_{avg} = D \times V_{in} \quad (3.2)$$

圖 3.10 為一輸入電壓 12V，工作週期 50%，輸出平均電壓為 5V 之 PWM 信號。

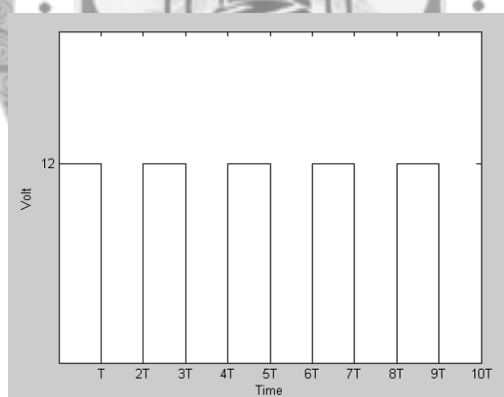


圖 3.10 PWM 信號， $V_{in}=12V$ ， $D=50\%$

控制電路部份使用，由 PIC18f4520 微控制器作為控制單元，接收單板電腦經由 RS-232 串列通信所傳輸之控制信號，並輸出所對應之 PWM 脈波信號以控制船外機。

而因船外機之直流馬達所需之電流約 3~5 A，但 PIC18f4520 之輸出電流最高僅為 25mA，所以必須外加一個馬達驅動 IC，以驅動馬達，本研究使用 Toshiba 公司所製造之 TA8429 全橋式馬達驅動 IC，此驅動 IC 可輸出平均 3.0A 及最高

4.5A(Peak)之電流，內部具有熱當機及短路保護電路，MCU 之控制信號透過此馬達驅動 IC，控制船外機之轉向及轉速。

在微控制器 PIC18F4520 將控制信號輸出給全橋式馬達驅動 IC TA8429 之前，仍需透過光耦合器將輸入與輸出信號做隔離，以避免微控制器之腳位信號受全橋式馬達驅動 IC 之大電流信號影響，造成信號干擾或失真。本研究使用 SHARP 公司之 PC725V 光耦合 IC，之光耦合 IC 之可輸出平均 50mA 及最高 1A 之電流，以驅動 TA8429 馬達驅動 IC。圖 3.11 為馬達驅動 IC 與光耦合 IC 外觀圖。

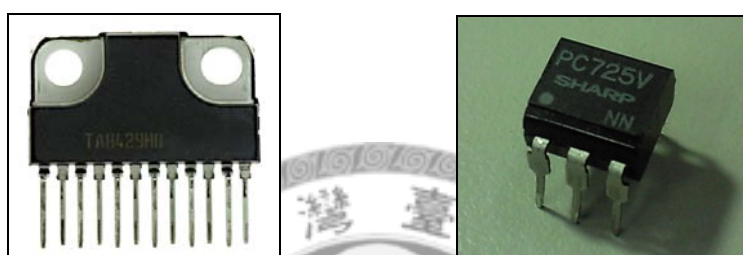


圖 3.11 左：TA8429H 全橋式馬達驅動 IC，右：PC725V 光耦合 IC

船外機之轉向部份，使用廣營電子之 S677-2BB/MG 伺服馬達控制，圖 3.12 為此伺服馬達外觀，此伺服馬達具有 21.50 kg-cm 扭力，並可利用控制信號控制其做左右共 180 度，最小轉動角度為 1 度的旋轉。信號控制方式為利用輸入不同工作週期之 PWM 信號，即可控制伺服馬達之不同旋轉角度，信號週期可為 16-23 ms，工作週期與旋轉角度關係如表 3.1 所示。



圖 3.12 S677-2BB/MG 伺服馬達(資料來源:www.gws.com.tw)

表 3.1 伺服馬達 PWM 信號，脈寬與旋轉角度關係表
(資料來源: www.gws.com.tw)

脈寬 (ms)	旋轉角度
0.8	安全界線(順時針方向)
0.9	$+90^{\circ} \pm 10^{\circ}$
1.5	0° (中立點)
2.1	$-90^{\circ} \pm 10^{\circ}$
2.2	安全界線(逆時針位置)

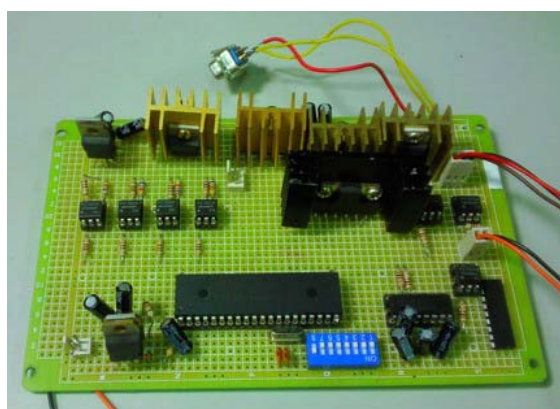


圖 3.13 船外機與伺服馬達控制電路實體圖

3.3.4 超音波感測控制電路

本研究使用三個 Devantech 公司之 SRF05 超音波感測器來感測機器人與岸邊或障礙物之間的距離，圖 3.14 為感測器外觀。SRF05 感測器感測距離為 1cm ~ 5m，其精確度為 $\pm 2\text{cm}$ 。

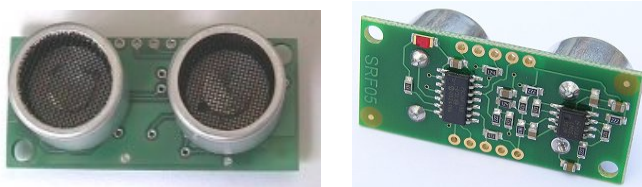


圖 3.14 SRF05 超音波感測器(資料來源: www.playrobot.com)

SRF05 超音波感測器之控制方式如圖 3.15 所示，對其輸入一個 10 μs 之脈波信號，則感測器將會發出循環輸出 8 個 40kHz 超音波，當此超音波前進時，若遇有障礙物，則會造成波之反射，而感測器並偵測此波的發射後至反射回傳時間來

計算障礙物距離，反射波回傳時間範圍在 100 μ s ~ 25ms 之間，當超過 25ms 沒有反射波回傳，即可判定前方無障礙物，而當感測器每次感測之觸發間隔為 50ms 或可說每秒可感測 20 次。障礙物距離之計算方式為

$$D = (t / 2) \times C \quad (3.3)$$

其中 D 為障礙物距離(m)，t 是反射波回傳時間(s)，C 是音速(m/s)，在常溫攝氏 25 度下音速一般近似於 346.14 m/s。

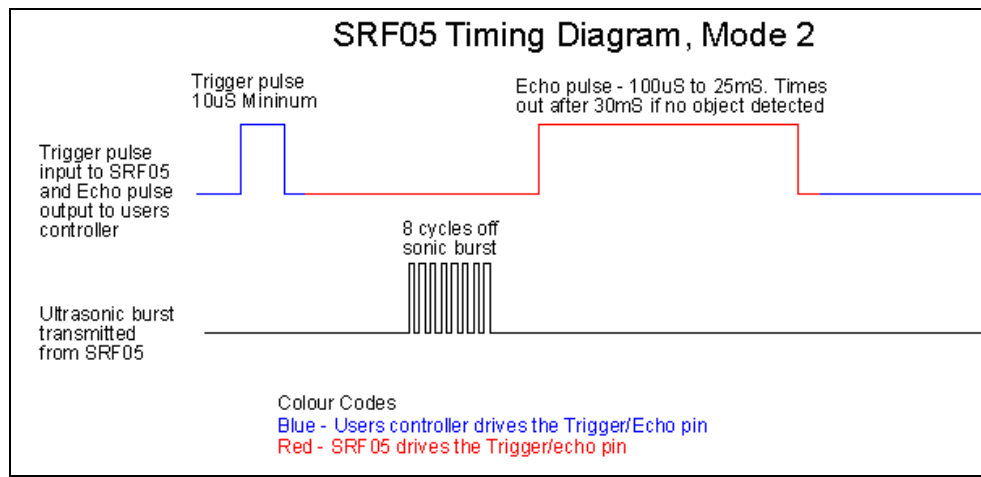


圖 3. 15 SRF05 超音波感測器控制與接收信號表示圖
 (資料來源: www.playrobot.com)

控制電路方面同樣使用 PIC18F4520 微控制器做為控制單元，對超音波感測器發送偵測信號，並接收回傳信號及計算感測距離，之後再將感測結果經由 RS-232 回傳給 PCM-4386F 單板電腦。因超音波感測器只需小電流驅動，因此直接使用 PIC18F4520 之輸出即可控制，不需要外加驅動電路。

圖 3.16 為超音波感測器之基本感測資料，所測項目為超音波感測器距離牆壁 50、150、250、350 及 500 公分處，並且分別與牆壁夾 0、15、30 與 45 度時，於每個位置各量測 10 次，所測得之感測數據。由此測試資料可知，超音波測距離當與牆壁夾 0 度角時，感測精確度誤差在 ± 1 公分之內；但超音波感測器會受 Beam Pattern 之影響，Beam Pattern 之意思為感測器所發出之超音波信號，會呈擴散之現象，因此所感測到之障礙物距離，並不一定是感測器所面對之直線方向內的障礙物，而有可能是與感測器直線方向左右一定距離內的障礙物，圖 3.17

為 SRF05 超音波感測器之 Beam Pattern 特性圖。因此即使超音波感測器與牆壁夾 15 或 30 度角時，其所測得之距離資料仍與 0 度角時近似。此外當感測器與牆壁距離越遠時，其可測得距離資料的夾角就越小，測試結果發現當距離小於 250 公分，夾角小於 30 度時，皆可測得距離資料，但當距離為 350 公分以上，夾角大於 30 度時，便已無法測得距離資料。

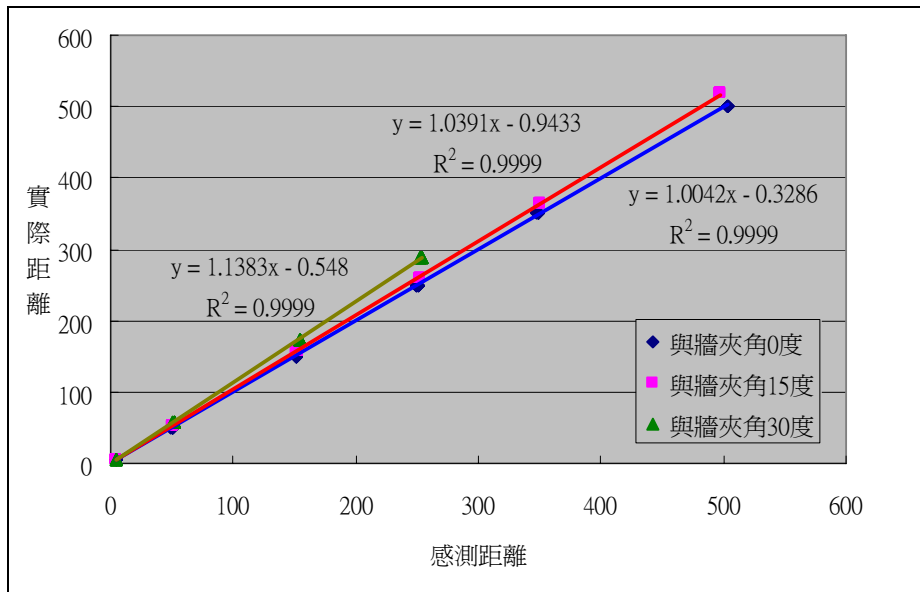


圖 3.16 超音波感測器測試資料

本研究使用了三個超音波感測器，其中兩個安裝在船身右側前後各一，以感測船身與岸邊之相對角度與距離，而一個安裝在船身正前方用以感測前方之障礙物。

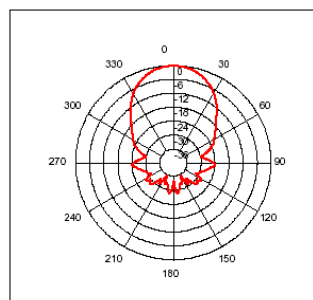


圖 3.17 SRF05 超音波感測器之 Beam Pattern(資料來源: www.playrobot.com)

3.3.5 電子羅盤

當機器人在水面上行動時，會受到水流與風力的影響，而使自身位置造成無

法預期之改變，並可能使機器人處於無法感測岸邊位置的情況下，為了克服此項問題，而使用 Hitachi 公司製造之 HM55B 電子羅盤，此電子羅盤為 X、Y 雙軸磁場感測器，可感測機器人所處相對於地磁南北之絕對角度，以北為 0 度，南為 180 度，機器人將可得到自身的方向改變，以增進定位準確性及提高行動控制之穩定度。圖 3.18 左方為 HM55B 電子羅盤外觀圖，而右方為感測地磁角度示意圖。

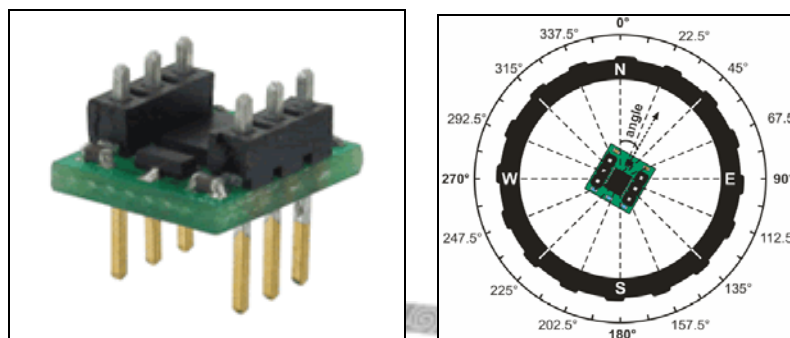


圖 3.18 左：HM55B 電子羅盤外觀 右：電子羅盤感測地磁角度示意圖
(資料來源: www.playrobot.com)

HM55B 的感測原理如圖 3.19，首先分別感測 X 軸與 Y 軸所測得之磁場強度，而其中 X、Y 軸與磁場強度的相關性為：

$$E_x = E \times \cos(\theta) \quad (3.3)$$

$$E_y = E \times \sin(\theta) \quad (3.4)$$

E_x 為 X 軸所測得之地磁強度， E_y 為 Y 軸所測得之地磁強度， θ 為感測器與地磁之夾角，由上式即可求得夾角 θ 之值為

$$\theta = \tan^{-1}\left(\frac{E_y}{E_x}\right) \quad (3.5)$$

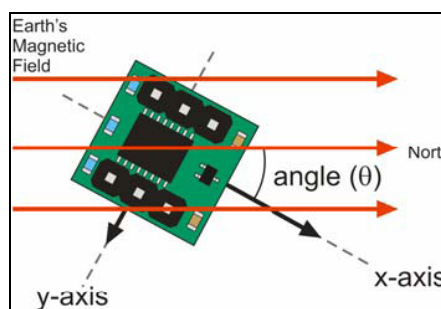


圖 3.19 HM55B 電子羅盤感測原理(資料來源: www.playrobot.com)

圖 3.20 為 HM55B 的使用方式，首先輸入一組重置信號「0000」，接著輸入

感測信號「1000」，感測器即會開始偵測船身角度所處之地磁角度，之後輸入檢測信號「1100」以確定感測器是否已感測完成，若感測正確則會回傳信號「1100」，表示感測完成，接著即可接收感測資料。接收感測資料時如圖 3.21 所示，首先回傳 X 軸之資料，接著回傳 Y 軸資料，完成之後即可利用此資料求得機器人所處之角度。

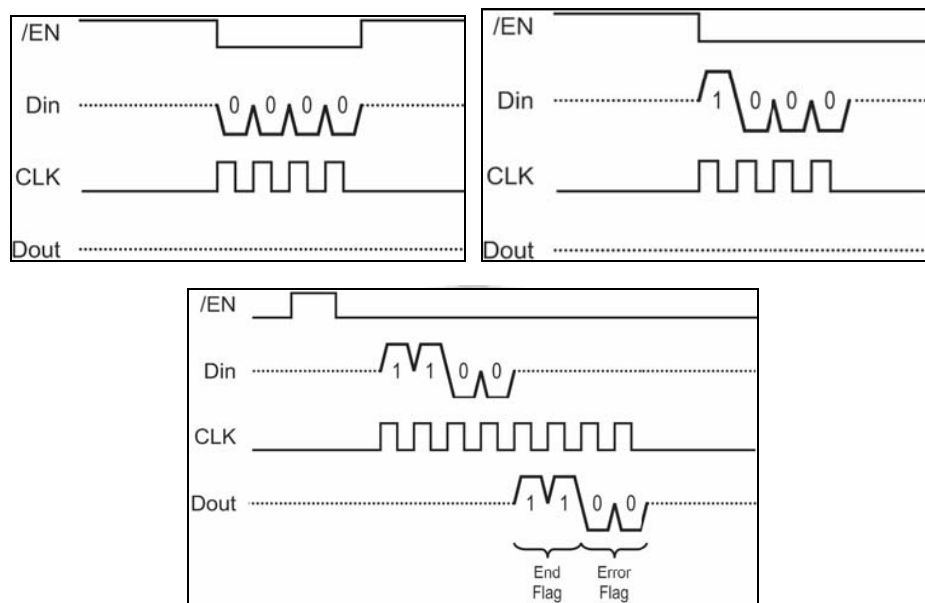


圖 3.20 HM55B 電子羅盤感測信號表示圖

左上：重置信號。右上：感測信號。下：檢測信號(資料來源: www.playrobot.com)

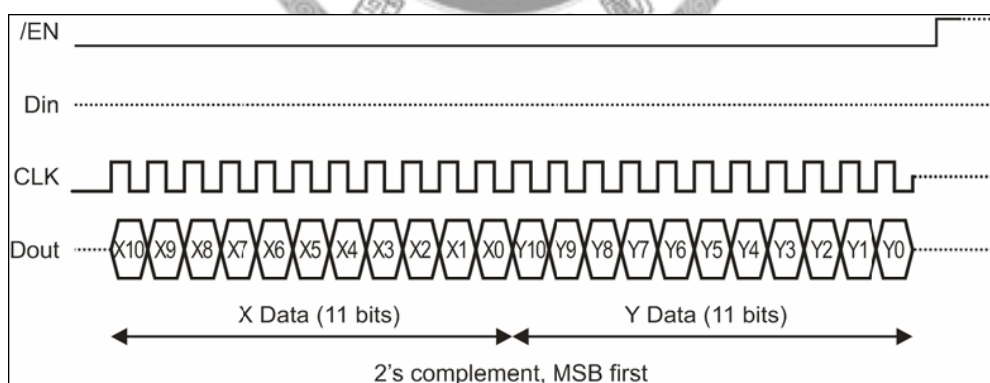


圖 3.21 HM55B 電子羅盤信號接收表示圖(資料來源: www.playrobot.com)

關於電子羅盤之感測精確度作了兩項測試，首先測試電子羅盤在靜止固定點時之感測精確度，將電子羅盤分別置放在同一直線上之四個地點 A、B、C 與 D 點作測試，其中此四點分別距離 10 公分，即 B 點在 A 點前方 10 公分，C 點在 B 點前方 10 公分，D 點在 C 點前方 10 公分，於每一點測試 100 次，並求出此 100

次感測角度之平均值與標準差，表 3.2 為此次測試之結果。

之後進行電子羅盤移動中之感測準確度，測試方式為使電子羅盤直線移動 40 公分，其間電子羅盤連續偵測 100 次，移動過程約 8 秒，接著求出此 100 次感測角度之平均值與標準差，本項實驗作了四次測試，表 3.3 為此次測試之結果。

表 3.2 電子羅盤角度定點測試資料(測試次數：100 次)

	A	B	C	D
角度(°)	158.7±0.5*	120.5±0.7	112.1±1.7	170.8±1.7

*平均值±標準差

表 3.3 電子羅盤角度直線移動測試資料

	I	II	III	IV
角度(°)	135.1±18.4*	148.7±32.6	148.6±32.0	244.0±26.6

*平均值±標準差

電子羅盤之功能為測量週遭之磁場強度以計算地磁角度，但因電子羅盤極易受到環境中之電磁場干擾，由表 3.2、3.3 可知，電子羅盤在移動後所感測之精確度之誤差值極大，並無法作為機器人定向行動之感測器。但此外在測試後發現，當電子羅盤在轉向時，其角度變化會正確呈現其轉變方向變化，因此僅以此電子羅盤作為輔助超音波感測器，確認所測得的之角度變化，用以驗證超音波感測資料是否正確或出現錯誤，或者在超音波感測器無法感測岸邊位置的情況下，暫時代替超音波感測器計算船身與岸邊角度。

圖 3.22 為包含超音波感測器與電子羅盤之控制電路外觀圖，圖 3.23 為控制電路之整體外觀圖。

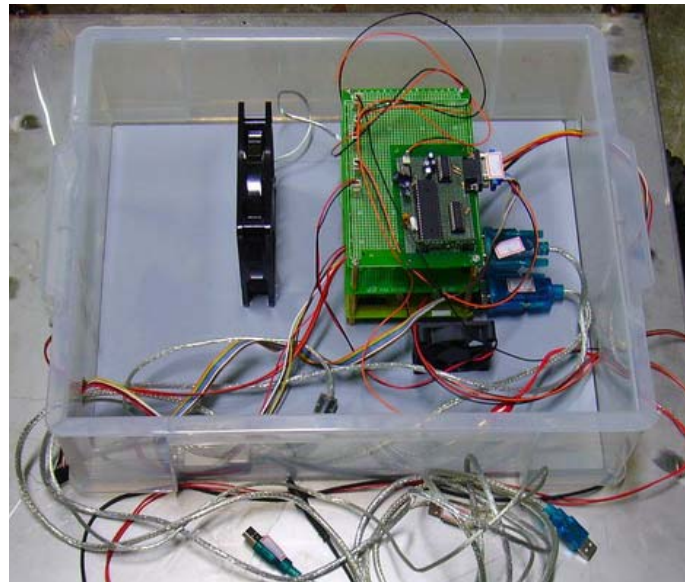
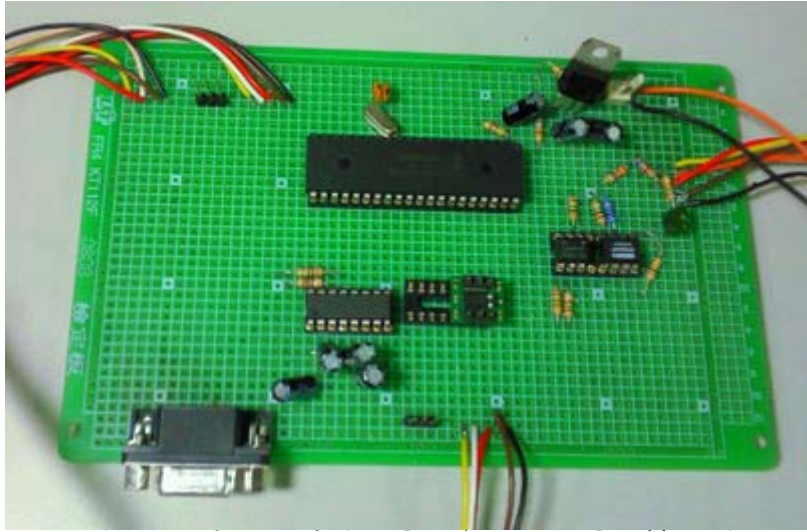


圖 3.23 投餌機器人整體電路實體圖

3.4 沿牆行走控制規則

3.4.1 模糊控制法則

模糊控制是以模糊集合理論為基礎，有別於明確集合非”1”即”0”的二元邏輯，模糊集合賦予集合內之元素可擁有不同之隸屬程度。起因是在現實中，人類的思考模式，充滿了不確定的模糊概念，例如「高、矮；冷、熱」等等無法嚴格定義的說法，因此在 1965 年時，Zadeh 提出了以模糊集合的方式，作為利用

數學模型來描述此種模糊語意的方法。而在實際應用上，當面對一受控系統時，傳統之之控制方式皆是需要先建立此系統之數學模型，再依此數學模型去建立控制規則，而當受控系統十分複雜難以建立模型，例如許多真實世界中之系統皆具有高度非線性因素時，模糊控制法則提供了一種不需依靠實際系統之數學模型，而是透過邏輯式、語意式的方式，依賴人為之經驗與知識，建立資料庫與控制法則，來完成所需之控制。

模糊控制系統架構如圖 3.24 所示，一般而言是先設定所需之輸入與輸出參數，並針對此參數根據人為之經驗與知識，建立模糊控制規則；而使用時，首先將系統輸入進行模糊化，將其轉換為與語意變量對等之論域，接著即可將其利用事先所建立之模糊控制規則進行模糊推論，得出輸出參數之語意變量，最後將此語意變量經解模糊化後，就可得出實際之輸出參數值。

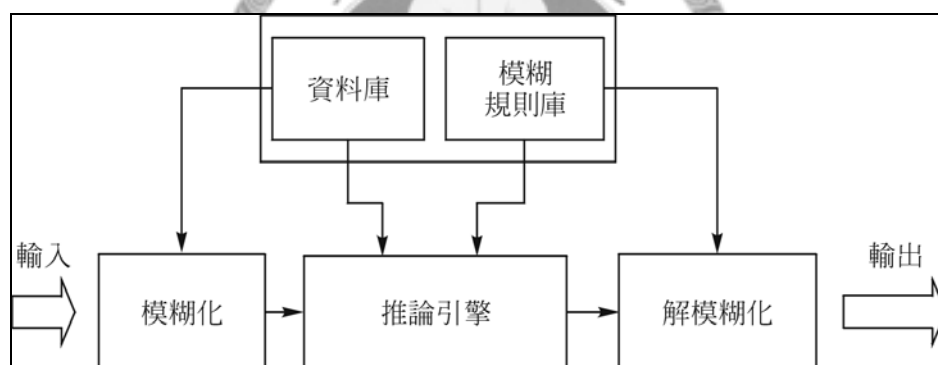


圖 3.24 模糊推論系統架構圖

投餌機器人於養殖池面上行動時，因其自身的位置會受到水流與風力等無法預測之外力影響，若要設計機器人在養殖池沿牆行走控制，其所需設計之整體系統參數將非常複雜，因此一般關於機器人沿牆行走之控制，模糊控制是一種常用之控制模式，利用其不需建立數學模型之特性，單憑經驗與知識建立控制法則，即可有效的達到所需之控制，而其設計複雜程度與傳統控制方式相比大為減少。

3.4.2 輸入與輸出信號

超音波感測器裝設於船身右測前後各一個以感測與池邊之距離與夾角，而本研究即是利用機器人與岸邊之距離「 d 」與機器人與岸邊所夾之角度「 θ_0 」，做為

模糊控制之輸入信號，圖 3.25 為輸入信號之表示圖。

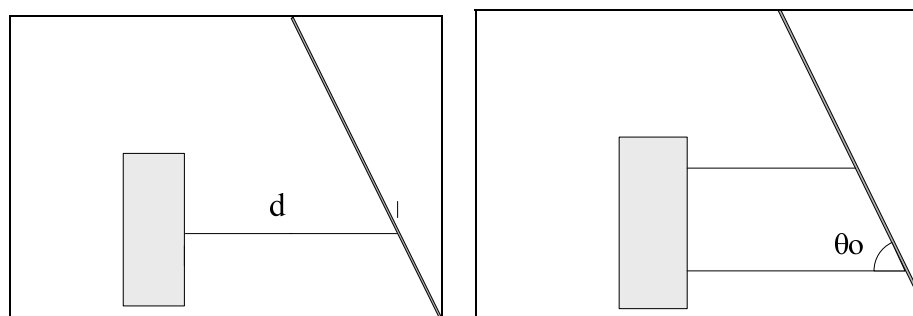


圖 3.25 左：模糊控制輸入信號—機器人與岸邊距離 d ，右：模糊控制輸入信號—機器人與岸邊角度 θ_0

其中輸入信號 d 的選擇方式為，如圖 3.26 利用機器人右側前後方之超音波感測器，可分別測得之距離 d_1 與 d_2 ，本實驗實際測試過三種 d 之取法：

- (1)取 d_1 或 d_2 之值，距離較大者為 d 。
- (2)取 d_1 或 d_2 之值，距離較小者為 d 。
- (3)取 d_1 或 d_2 兩者之平均值為 d 。

經實際試驗後採用取法(1)可達到最佳之控制穩定度。

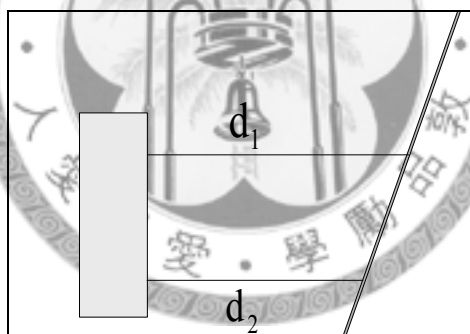


圖 3.26 機器人右側超音波感測器所測得之距離 d_1 與 d_2

θ_0 可經由利用超音波感測器所測得之 d_1 與 d_2 距離資料，經計算後求得，計算方式如下：

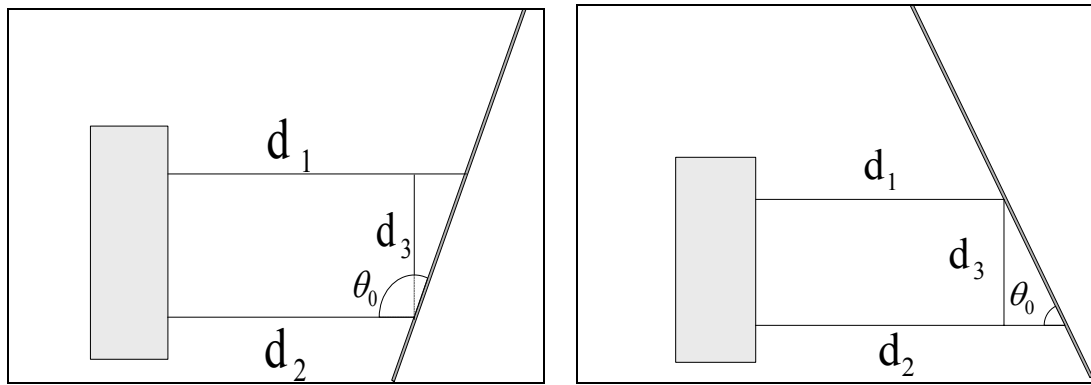


圖 3.27 機器人與岸邊角度計算方式

若 $d_1 > d_2$ ，如圖 3.27 之左圖，則：

$$\theta_0 = 90 + \tan^{-1}\left(\frac{d_1 - d_2}{d_3}\right) \quad (3.6)$$

反之，若 $d_2 \geq d_1$ ，如圖 3.27 之右圖，則：

$$\theta_0 = \tan^{-1}\left(\frac{d_3}{d_2 - d_1}\right) \quad (3.7)$$

模糊控制之輸出信號如圖 3.28，為控制機器人之轉向角度 θ_t ，向右方向轉動為正，向左為負。

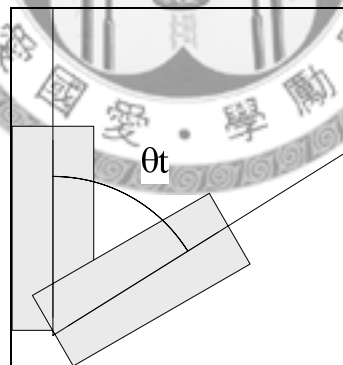


圖 3.28 模糊控制輸出信號-機器人旋轉角度 θ_t

3.4.3 語言變數與歸屬函數

語言變數是模糊理論的一項重要概念，將所有變數之指定論域化為語言變數的方式，即可利用 IF-THAN 的控制規則，建立邏輯式的模糊推論。在此將輸入變數 d 、 θ_0 與輸出變數 θ_t 之語言變數各設定五個語言項：

$$d = \{TC \text{ (Too Close), } C \text{ (Close), } M \text{ (Medium), } F \text{ (Far), } TF \text{ (Too Far)}\}$$

$$\theta_0 = \{TR \text{ (Too Right), } R \text{ (Right), } M \text{ (Medium), } L \text{ (Left), } TL \text{ (Too Left)}\}.$$

$$\theta_t = \{LR \text{ (Large Right), } R \text{ (Right), } M \text{ (Medium), } L \text{ (Left), } LL \text{ (Large Left)}\}$$

決定好語言變數之後即為設定模糊集合之歸屬函數，歸屬函數之形式有許多種，常見者如圖 3.29 有高斯型、梯形、及三角形等形式，該如何選擇使用何種形式的歸屬函數，是一項重要的基本課題，一般而言高斯型曲線較為平滑，因此具有較佳的非線性特型，但實務上為了簡化計算量，經常使用三角型與梯形作為歸屬函數之選擇。此投餌機器人的應用上，為了簡化計算量，選擇了利用三角型與梯形混合之歸屬函數。圖 3.30、3.31 與 3.32 分別是 d 、 θ_0 與 θ_t 之歸屬函數圖形。

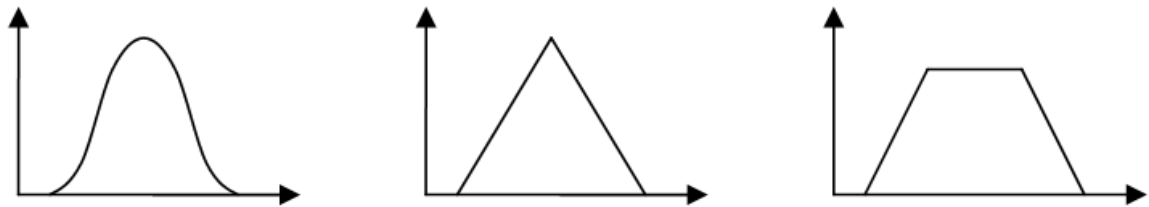


圖 3.29 歸屬函數常見之形式，左:高斯型 中:三角型 右:梯形

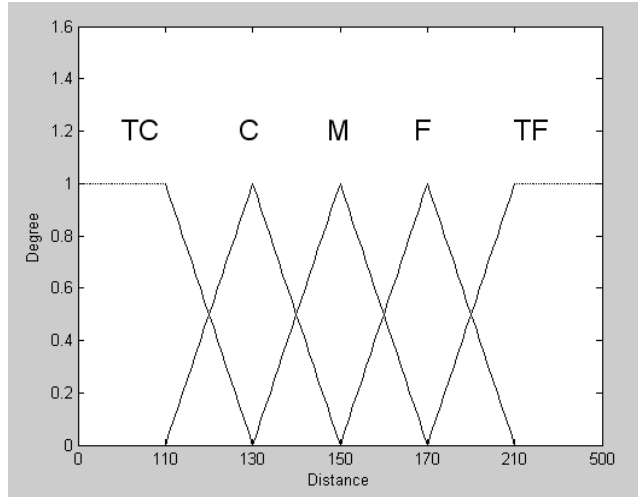


圖 3.30 機器人與岸邊距離 d 之歸屬函數

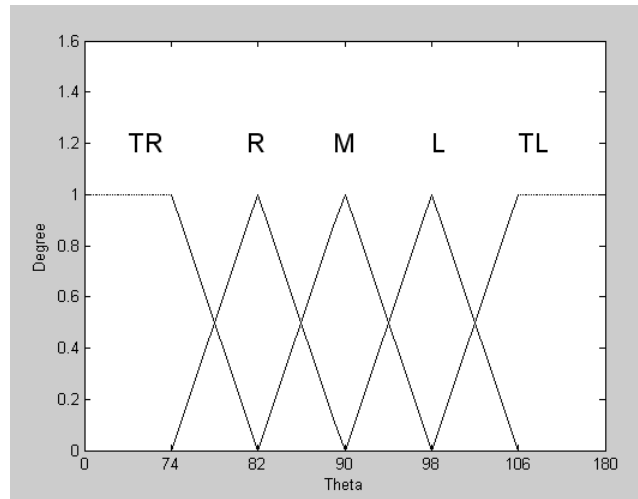


圖 3.31 機器人與岸邊角度 θ_0 之歸屬函數

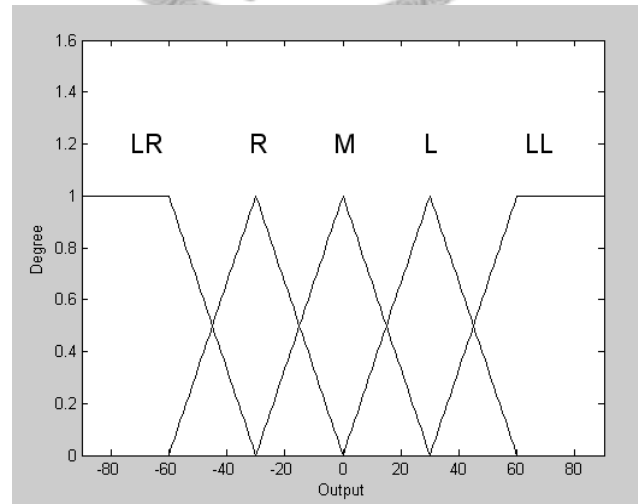


圖 3.32 機器人旋轉角度 θ_1 之歸屬函數

3.4.4 模糊規則庫

模糊規則一般是依從人為的經驗與知識，透過 IF-THAN 的形式建立的，根據不同的輸入變數，而產生相對應的輸出值，其一般表示方式如下：

$$R^i: \text{IF } d(t) = A_i \text{ and } \theta_0(t) = B_i$$

$$\text{THAN } \theta_i(t+1) = C_i, i=1,2,\dots,n$$

其中 i 為控制規則之編號， A_i 、 B_i 與 C_i 是輸入變數 d 與 θ_0 和輸出變數 θ_i 所分別對應之歸屬函數的語言項。

此投餌機器人之模糊規則庫，經由直覺判斷，經驗法則與實際測試修改之後，訂定模糊規則庫如表 3.4 所示：

表 3.4 投餌機器人沿牆行走模糊規則庫

		d				
		TC	C	M	F	TF
θ_0	TR	LL	LL	LL	L	M
	R	LL	L	L	M	R
	M	L	L	M	R	R
	L	L	M	R	R	LR
	TL	M	R	LR	LR	LR

3.4.5 模糊推論引擎與解模糊化

模糊推論使用 Mamdani 的 Min-Max 模糊推論法，如圖 3.32 所示，首先針對輸入部分各命題 (X_1 is A_i)、(X_2 is B_i) 的歸屬含數值取其邏輯積 (Min.) 作為 IF 輸入部分之適合度，之後將此適合度與 THAN 輸出部分的命題 (Y is C_i) 做邏輯積 (Min.) 運算，作為每一規則的結論程度值。最後對整個規則庫做邏輯和 (Max.)，

所得即為此次模糊推論之結果，表示式為：

$$R^1: \text{IF } X_1 = A_1 \text{ AND } X_2 = B_1 \text{ THAN } Y \text{ is } C_1$$

$$R^2: \text{IF } X_1 = A_2 \text{ AND } X_2 = B_2 \text{ THAN } Y \text{ is } C_2$$

$$W_i = \min \left\{ \max_{x_1} [\min(A_i, X_1)], \max_{x_2} [\min(B_i, X_2)] \right\} \quad (3.8)$$

$$B_i = \min(W_i, \mu_{B_i}(y)) \quad (3.9)$$

$$B^* = \max_{i=1}^r B_i \quad (3.10)$$

當經由模糊推論得出輸出值時，其輸出值仍是屬於模糊化之語言變數，要得到實際輸出值須將此語言變數解模糊化，此處使用重心法做為解模糊化之輸出，重心法為算出圖 3.33 中 B^* 之重心，做為模糊輸出之實際輸出值，其表示式為：

$$\theta_t = \frac{\sum_{i=1}^n w_i \alpha_i}{\sum_{i=1}^n \alpha_i} \quad (3.11)$$

經由解模糊化之後，即可得出系統所需實際輸出值，完成系統之模糊控制規則。

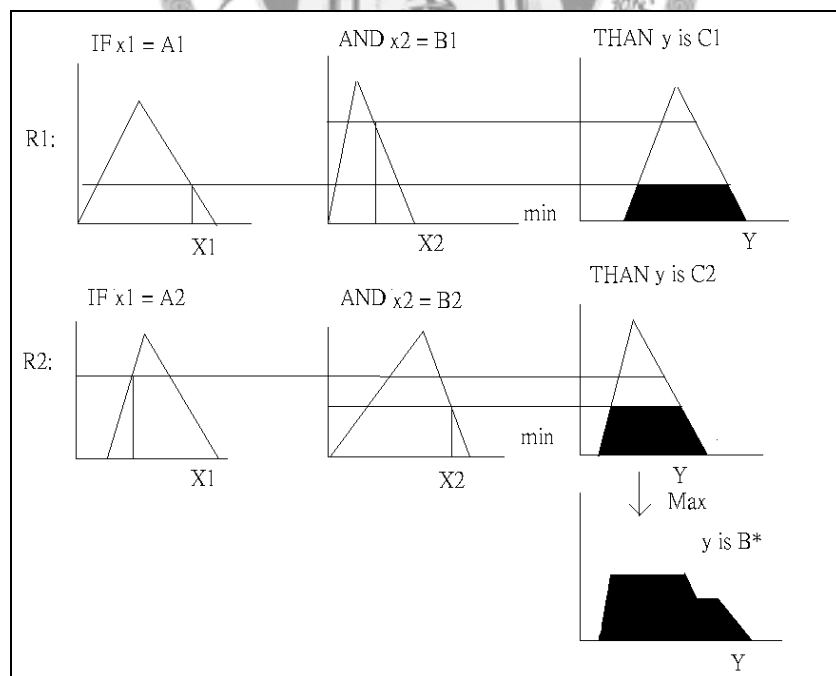


圖 3.33 Mamdani Min-Max 模糊推論法表示圖

3.5 避障控制規則

機器人之行動除了沿牆行走控制規則之外，當前方出現障礙物時，則需進行避障之動作。關於偵測前方障礙物功能上，目前僅是在機器人前方利用一個超音波感測器做偵測，而因在超音波感測器本身的功能限制之下，並無法辨別前方障礙物的種類、形狀或大小等資訊。初步考量在機器人投餌應用中，養殖池環境較為單純的情況下，因此預計採用人為控制方式，避免機器人行進路徑出現障礙物，或是將障礙物形式改為機器人可感測且避過之形式，以減少障礙物之影響。

3.5.1 機器人之避障轉向控制

機器人之避障控制規則方面，目前是簡單的分為兩種情形：

1. 機器人感測到前方出現障礙物，且機器人與岸邊角度為 $70^\circ \leq \theta \leq 110^\circ$ 時：若前方障礙物距離大於 300 公分時，則機器人仍保持沿牆行走控制。而若前方障礙物距離小於等於 300 公分時，則機器人進行 70 度的轉向，直到當前方沒有感測到障礙物時，即再改為沿牆行走控制。
2. 機器人感測到前方出現障礙物，且機器人與岸邊角度為 $70^\circ \geq \theta$ 或 $\theta \geq 110^\circ$ ：機器人轉向至與岸邊角度為 $70^\circ \leq \theta \leq 110^\circ$ 之間，若機器人前方沒有障礙物則機器人仍保持沿牆行走控制。而若前方仍有障礙物時，則採取第一種情形之控制規則。

以上兩種情形主要是為了簡單判斷當機器人與岸邊角度小於 70 度時，則所感測到之障礙物有可能是右岸，而實際上前方並沒有障礙物；而若機器人與岸邊角度大於 110 度時，所感測到之障礙物為左前方之水車，但前方仍可通行。

3.5.2 養殖池障礙物控制

為了能使前一節描述之簡化的避障規則得已實行，因此必須人為的對養殖池之障礙物做一定程度的控制。在一個養殖池當中，一般並不會出現的無法預測的障礙物，而通常則是會有幾種固定的障礙物種類出現，如：水車、由岸邊凸出至池內的水管、由池底凸出至水面的水管與池邊工作平台等，圖 3.34 為此類障礙物外觀圖。



圖 3.34 養殖池常見之障礙物類型

這些障礙物因形狀不規則或是體積太小，使超音波感測器不能正確的感測出障礙物，因此會造成機器人無法避過障礙物，或行動出現錯誤的情形。針對這些問題本實驗是預計採用在障礙物外圍之水面上方，以板狀物(如：木板、珍珠板…等)將障礙物圍成一方形區域，以使機器人得以感測到這些障礙物，並完成避障控制。

圖 3.35 是養殖池之工作平台，因其不規則形狀，當機器人要通過時會造成無法判斷與岸邊之位置與角度，而造成無法控制之情形。圖 3.36 是利用珍珠板將其圍起之後之工作平台，經由固定其表面形狀為完整平面之方式，即可使機器人順利通過。



圖 3.35 養殖池之工作平台



圖 3.36 利用珍珠板圍起之工作平台

3.6 機器人返回停靠點控制

在機器人開始投餌之前與投餌結束之後，都須有停靠於一停靠點，本研究預計使用 Pololu 公司所製造之 **Pololu IR beacon** 紅外線信號感測器，來達成機器人返回停靠點控制功能。圖 3.37 為其外觀圖。



圖 3.37 Pololu IR beacon (資料來源：www.playrobot.com)

如圖 3.38 一個 Pololu IR beacon 上皆有四個 IR 發射與四個 IR 接收器，偵測範圍為 0.15~6m，發送與接收紅外線信號之週期為 1000 次/秒。

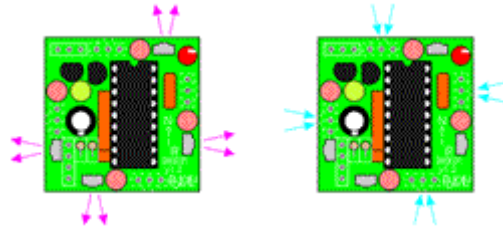


圖 3.38 Pololu IR beacon 紅外線信號發射與接收示意圖

如圖 3.39 與 3.40 所示在停靠點上裝設一個紅外線發射器，並在機器人前方安裝 Pololu IR beacon，當機器人靠近停靠點時，機器人將可感測到岸邊所發射之紅外線信號，並依此信號移動到停靠點進行停靠。此外當機器人感測到停靠點時，即將其沿牆之距離修改為 50cm，持續前進直到與前方障礙物距離為 50cm 內，則改為待機模式，等待下次啟動。

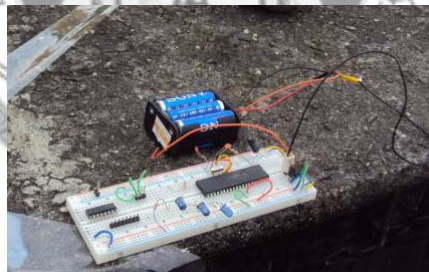


圖 3.39 裝設於停靠點之紅外線發射器



圖 3.40 投餌機器人停靠於停靠點

3.7 系統控制時間週期

系統控制速度是影響機器人控制的一個重要因素，若系統控制速度太慢，會使機器人無法對環境變化做出立即應變。而每次發出控制流程為先控制所有感測器感測環境資訊，之後再利用這些感測資料計算所需的控制信號，因此感測器的感測速度與電腦控制信號的計算時間都是影響控制週期的重要因素。

表 3.5 感測器與信號計算時間

	超音波 感測器	電子羅盤	紅外線 感測器	控制信號 計算時間	總時間
平均時間(s)	0.141	0.063	<0.01	0.015	0.229

表 3.5 為各個感測器感測資料與系統計算控制信號個別所需的時間，表中可看出目前機器人每次發出控制信號之時間平均約為 0.23 秒。

第四章 結果與討論

4.1 沿牆行走控制模擬結果

首先，利用 C++ 程式模擬投餌機器人利用超音波感測器與模糊控制法則，於養殖池行動之情形，設定養殖池為長寬各為 60 公尺之方形池，池內右前方與左後方距池邊 3 公尺處各有一個長 3 公尺、寬 2 公尺的水車，如圖 4.1 所示，其中外圍紅色方塊為養殖池岸邊，黃色方塊為水車，綠色方塊為機器人初始位置。

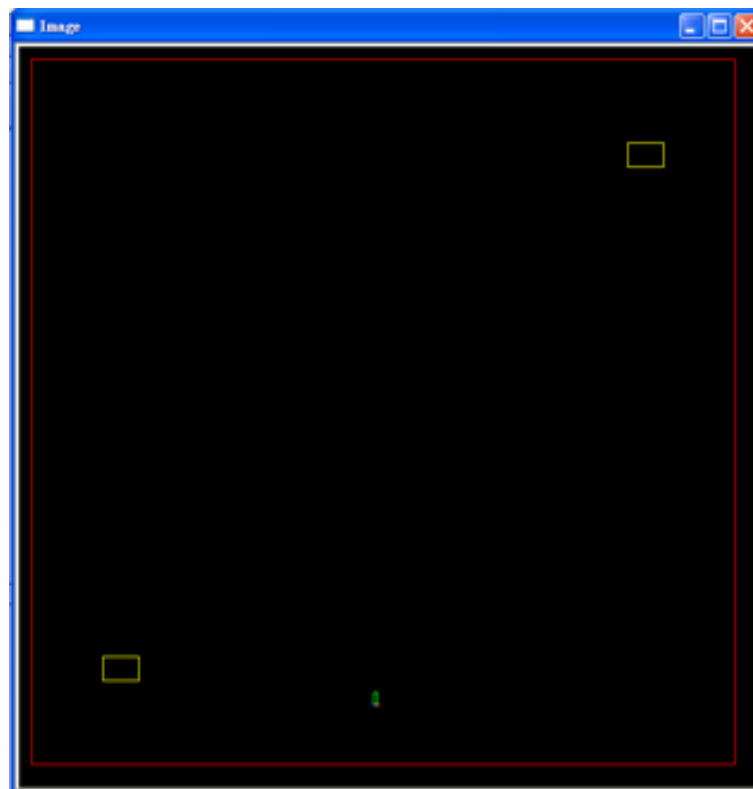


圖 4.1 養殖池模擬初始設定圖

首先模擬機器人在初始設定為理想情況下，不受風力與水流之影響，讓機器人以距離岸邊 1.5 公尺為基準，進行逆時針方向繞池邊沿牆行走控制。

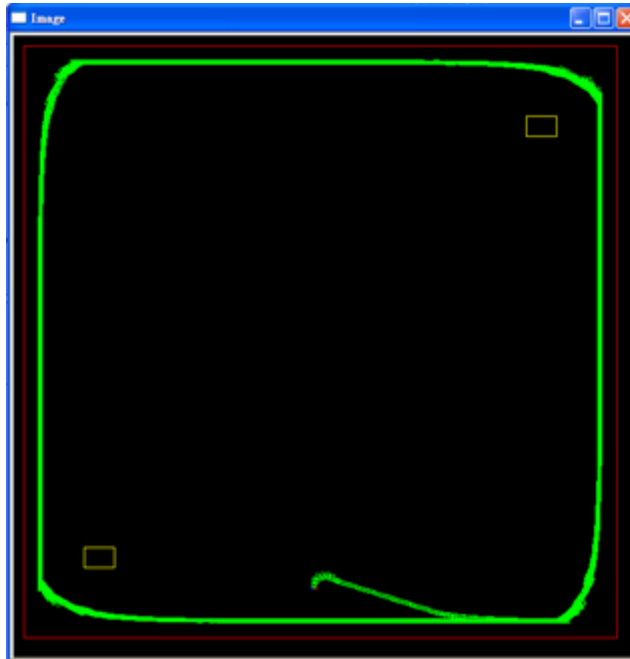


圖 4.2 模擬理想情形下，機器人繞行養殖池 20 圈模擬路徑

模擬結果如圖 4.2，機器人可順利的完成沿牆行走並且避障之功能，圖中綠色部分為模擬機器人繞行養殖池 20 圈的路線，因本次實驗為設定在理想情形下之行動模擬，故此 20 圈之路線十分接近，大部分幾乎為重疊。表 4.1 為機器人與牆邊距離與角度之統計數據，所得距離平均值為 178.22cm，標準差 7.04cm，而角度平均值為 87.5°，標準差為 8.54°，其中所統計之數值是包含了在轉向時所造成之較大的距離與角度差異值，由圖中亦可看出若扣除轉向時之數值，機器人模擬在理想狀況下沿牆行走之控制精確度極高。

表 4.1 模擬理想狀態下之機器人沿牆行走統計數據

	平均值±標準差
距離(cm)	178.22±7.04
角度(°)	87.50±8.54

接著為了模擬養殖池實際上可能出現之情形，在機器人行動時加入了機器人因受水力與風力的影響，而改變自身位置之設計。模擬方式為：當每次機器人做出行動控制後，其所處位置之 x 軸與 y 軸都會隨機受到 ±15 公分內的改變量，

而船身方向會受到隨機±15度內的改變。

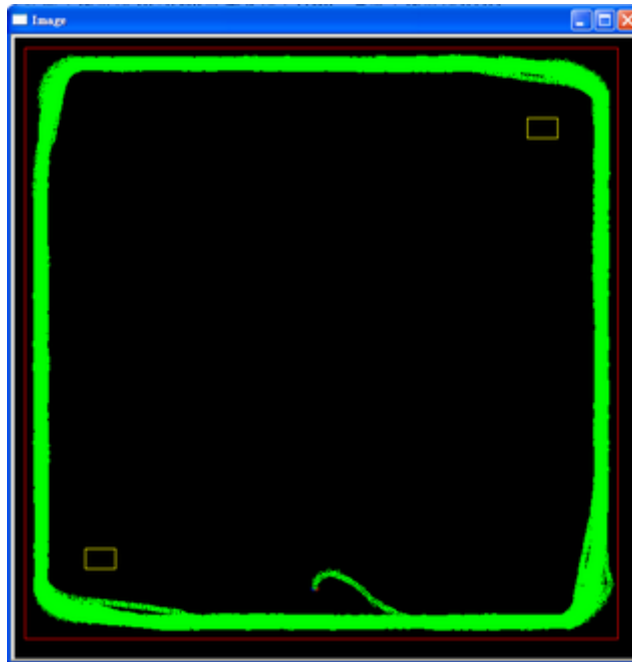


圖 4.3 模擬機器人受水力與風力影響下，繞行養殖池 20 圈之路徑

圖 4.3 為讓模擬機器人受水力與風力影響下，繞行 20 圈之模擬，在此情況下，雖然行動路徑會受到較大的影響而改變，如表 4.2 所示，平均距離約為 182 公分，而標準差增加為 8.99，但機器人仍能完成沿牆行走與避障控制。因應用於自主式養蝦投餌時，其所要求之距岸邊距離不須嚴格限制，可有較大之彈性空間，因此此模擬為可接受之結果。並且在實際應用時，機器人也可使用風向計與風速計來感測風力，進而將風力因素增加至控制規則內，以提高控制精確度。

表 4.2 模擬受風力與水流影響狀態下之機器人沿牆行走統計數據

	平均值±標準差
距離(cm)	181.22 ± 8.99
角度(°)	87.22±11.30

4.2 實驗結果

4.2.1 實驗場地

本次測試場地如圖 4.4 是在位於宜蘭古亭之養蝦池，此養蝦池形狀為長方形，長寬各為 35 公尺與 25 公尺，共計面積 800 平方公尺。此養蝦池之四個平面大部分為完整之平面，關於障礙物方面，除了其中一面有一工作平台之外，其餘僅在靠近池邊處有些許突出之水管，但因這些水管靠池邊非常接近，雖會使機器人控制有些許的干擾，但不致造成大的影響；而如 3.5.2 節所提過，此工作平台由圖 4.5 可看出是一個突出於牆面，約長 250 公分、寬 100 公分之工作平台，此工作平台是利用三個圓柱腳做支撐，這三個圓柱腳會造成機器人計算船身與岸邊的角度與距離之誤差，因此在實驗初期時進行投餌機器人繞行養殖池實驗，以測試沿牆行走控制之暫態響應與穩態響應時，沒有通過此工作平台，但已足可了解機器人繞行養殖池之控制情形。而在此之後才如圖 4.6 利用珍珠板將工作平台圍起，以使機器人得以避障經過，並將此工作平台做為機器人之停靠點。此外在測試時，因機器人需使用螢幕與鍵盤滑鼠等設備，以方便了解測試情況並即時修改控制程式。而單板電腦若要使用以上設備需額外外接使用，較不方便。因此測試時以可直接使用這些設備之筆記型電腦代替單板電腦使用。



圖 4.4 養殖池外觀



圖 4.5 工作平台



圖 4.6 利用珍珠板圍起後之工作平台

4.2.2 暫態響應

首先測試當機器人在初始狀態下，由靜止狀態到能夠穩定沿牆行走這之間所需的時間。暫態響應利用計算機器人之上升時間 T_r (Rising time)、延遲時間 T_d (Delay time)、安定時間 T_s (Settling time)與最大超越量 M_o (Maximum Overshoot)以了解系統性能。為了於此實驗方便計算，將其定義稍加修改為：

沿牆目標距離 D_o (Distance Object)：機器人行動時，欲使其與牆邊所保持之距離。

穩定狀態：因機器人在室外環境中，極易受到風力及水流影響，且因投餌機器人

可容許距離誤差較大，因此將穩定狀態設定為，當機器人行動時，可

穩定保持在沿牆目標距離 D_o 的 $\pm 20\%$ 之間。

上升時間 T_r ：當機器人開始行動後，由距離 D_o 10%移動到 80%，之間所需的時間。

延遲時間 T_d ：當機器人開始行動後，移動到位於目標距離之 50%，之間所

需的時間。

安定時間 T_s ：當機器人開始行動後，到機器人能夠處於穩定狀態時，所需的時間。

最大超越量 M_o ：當機器人開始行動後，若其與牆邊之最大距離為 D_m ，則

$$M_o = \frac{D_m - D_o}{D_o} \times 100\% \quad (4.1)$$

對於暫態響應做了三組實驗，測試當機器人處於不同的與右側牆相對角度：45°、90°與 135°時之反應情形，而每組實驗皆作三次。因在水面上實驗使機器人會有稍微飄動之情形，故實際之初始距離與夾角皆有小幅的變化，其中 D_I 為初始距離， θ_I 為初始角度。

表 4.3 暫態響應實驗 I，初始夾角 90°

		Tr (s)	Td (s)	Ts (s)	Mo (%)
實驗 I-1	$d_I=46\text{cm}$	3.3	8.8	10.0	12
	$\theta_I=86.2^\circ$				
實驗 I-2	$d_I=51\text{cm}$	2.5	7.7	22.2	26.7
	$\theta_I=86.2^\circ$				
實驗 I-3	$d_I=50\text{cm}$	1.3	8.4	8.8	12.7
	$\theta_I=88.1^\circ$				

表 4.4 暫態響應實驗 II，初始夾角 45°

		Tr (s)	Td (s)	Ts (s)	Mo (%)
實驗 II-1	$d_I=43\text{cm}$	1.9	8.5	10.7	21.3
	$\theta_I=56.3^\circ$				
實驗 II-2	$d_I=64\text{cm}$	2.9	10.6	13.3	26.0
	$\theta_I=48^\circ$				
實驗 II-3	$d_I=57\text{cm}$	1.5	8.3	10.8	26.0
	$\theta_I=51.93^\circ$				

表 4.5 暫態響應實驗 III，初始夾角 135°

		Tr (s)	Td (s)	Ts (s)	Mo (%)
實驗 III-1	dI=124cm	0.9	5.0	8.8	36.7
	$\theta I=135.9^\circ$				
實驗 III-2	dI=111cm	1.1	4.8	8.5	19.3
	$\theta I=133.5^\circ$				
實驗 III-3	dI=112cm	1.2	5.3	9.1	29.3
	$\theta I=133^\circ$				

由實驗結果可知機器人與牆初始所夾之相對角度，平均看來並不至於對機器人之暫態響應有太大之影響，除實驗 I-2 外，安定時間大部分介於 8~14 秒、最大超越量介於 10~40%之間，對於投餌機器人之應用皆是可接受之範圍。其中實驗 I-2 雖然約 23 秒才到達穩定狀態，但其並不是有大幅的控制誤差產生，而是在穩定狀態之外約 10 公分左右，花費了較多的時間才回到穩定狀態。

4.2.3 繞行養殖池測試結果

接著讓機器人進行繞行養殖池一周的實際測試，而如 4.2.1 節所提到的，機器人在測試路線中，並沒有經過工作平台，而是以工作平台之右側端為起點，繞行一周後以工作平台之左側為終點。在行進路線中，總共會有四個 90 度的轉角轉向，5 次直線前進。對於這些狀況，本次實驗記錄了機器人在初始狀態與轉向狀態時暫態響應，而轉向狀態則記錄其安定時間與最大超越量，其中轉向狀態之初始時間，設定為當機器人第一次發出轉向信號時， $d_{T,I}$ 轉向時機器人與前方障礙物之距離， $\theta_{T,I}$ 為轉向時機器人與右方牆之相對角度。而在直線前進時則是記錄機器人與岸邊之間的距離與角度的平均值(d_{Avg} 、 θ_{Avg})與標準差(d_{Cov} 、 θ_{Cov})。繞行實驗共作 3 次，其中每次並實驗遇到前方障礙物時，不同之轉向初始距離，實驗 I 為 250 公分，實驗 II 為 300 公分，而實驗三為 350 公分。

表 4.6 機器人繞行養殖池實驗 I，暫態與轉向響應 (轉向距離 250 公分)

		Tr(s)	Td(s)	T(s)	Mo(%)
初始狀態	$D_I=79\text{cm}$	2.6	7.7	21.5	37.3
	$\theta_I=86.2^\circ$				
第一次 轉向	$D_{T,I}=218\text{cm}$	×	×	13.0	28.7
	$\theta_{T,I}=88.1^\circ$				
第二次 轉向	$D_{T,I}=246\text{cm}$	×	×	2.4	24.0
	$\theta_{T,I}=80.5^\circ$				
第三次 轉向	$D_{T,I}=219\text{cm}$	×	×	11.7	38.7
	$\theta_{T,I}=90.0^\circ$				
第四次 轉向	$D_{T,I}=182\text{cm}$	×	×	9.0	40.0
	$\theta_{T,I}=88.1^\circ$				
轉向平均		×	×	9.0	32.8

表 4.7 機器人繞行養殖池實驗 I，沿牆行走結果

	距離(cm)	角度($^\circ$)	經過時間(s)
沿牆行走 I	$165.1 \pm 17.0^*$	85.2 ± 5.0	31.9
沿牆行走 II	170.1 ± 24.1	81.9 ± 11.5	62.1
沿牆行走 III	157.1 ± 15.6	87.5 ± 4.2	88.2
沿牆行走 IV	175.3 ± 32.0	95.9 ± 11.5	89.9
沿牆行走 V	145.5 ± 6.5	92.4 ± 6.1	17.3

*平均值±標準差

表 4.8 機器人繞行養殖池實驗 II，暫態與轉向響應 (轉向距離 300 公分)

		Tr(s)	Td(s)	T(s)	Mo(%)
初始狀態	$D_{T,I}=55\text{cm}$	2.2	8.1	9.6	20.0
	$\theta_{T,I}=87.1^\circ$				
第一次轉向	$D_{T,I}=271\text{cm}$	×	×	4.1	22.0
	$\theta_{T,I}=85.24^\circ$				
第二次轉向	$D_{T,I}=280\text{cm}$	×	×	8.5	80.7
	$\theta_{T,I}=84.3^\circ$				
第三次轉向	$D_{T,I}=281\text{cm}$	×	×	5.0	16.0
	$\theta_{T,I}=81.5^\circ$				
第四次轉向	$D_{T,I}=288\text{cm}$	×	×	9.7	42.7
	$\theta_{T,I}=40.0^\circ$				
轉向平均		×	×	6.8	40.3

表 4.9 機器人繞行養殖池實驗 II，沿牆行走結果

	距離(cm)	角度($^\circ$)	經過時間(s)
沿牆行走 I	162.3±18.1	90.2±7.4	38.8
沿牆行走 II	163.1±17.8	89.2±8.2	65.3
沿牆行走 III	168.5±18.5	86.7±4.2	86.3
沿牆行走 IV	165.7±15.7	87.2±3.4	79.4
沿牆行走 V	174.8±34.5	92.0±17.6	19.0

*平均值±標準差

表 4.10 機器人繞行養殖池實驗 III，暫態與轉向響應 (轉向距離 350 公分)

		Tr(s)	Td(s)	T(s)	Mo(%)
初始狀態	$D_I=69\text{cm}$	2.1	7.7	10.1	0
	$\theta_{T,I}=86.2^\circ$				
第一次轉向	$D_{T,I}=314\text{cm}$	×	×	11.0	0
	$\theta_{T,I}=90.0^\circ$				
第二次轉向	$D_{T,I}=341\text{cm}$	×	×	11.8	0
	$\theta_{T,I}=91.9^\circ$				
第三次轉向	$D_{T,I}=333\text{cm}$	×	×	6.8	0
	$\theta_{T,I}=87.14^\circ$				
第四次轉向	$D_{T,I}=183\text{cm}$	×	×	11.6	28.0
	$\theta_{T,I}=71.56^\circ$				
轉向平均		×	×	10.3	7.0

表 4.11 機器人繞行養殖池實驗 III，沿牆行走結果

	距離(cm)	角度($^\circ$)	經過時間(s)
沿牆行走 I	168.1±19.4	90.0±7.9	35.3
沿牆行走 II	167.4±17.6	87.4±10.0	62.4
沿牆行走 III	165.4±15.5	87.2±4.2	90.0
沿牆行走 IV	163.0±16.7	95.4±10.3	76.6
沿牆行走 V	131.9±21.6	104.8±16.1	15.7

*平均值±標準差

表 4.4 到表 4.9 分別表示了此三次實驗之暫態與轉向響應與沿牆行走控制之結果。當機器人在沿牆行走控制時，其與牆邊之平均距離在此三次實驗中，均可保持在沿牆目標距離的 $\pm 20\%$ 以內，足以滿足自主式投餌之應用需求。而轉向控制方面，由此三次實驗中可看出，當設定遇障礙物轉向之初始距離為 300 公分時，最快到達安定時間，平均為 6.8 s，而當轉向距離為 350 公分時，最大超越量最少，平均為 7%。由此結果可知，當轉向距離較大時，可減少最大超越量；而若要達成最快的轉向速度，則轉向距離不可過大或過小。未來我們將繼續測試在 300~350 公分之間，最佳的轉向距離，以達成最大超越量與轉向速度間之平衡。

4.3 結果討論

目前所完成之投餌機器人，已可在無風的環境中，達成沿牆行走及避障之控制並能利用紅外線感測器返回停靠點停靠，但在實驗中尚有些許缺點需要加以改進，以完成更佳的控制結果：

1. 馬達驅動 IC 實際供給船外機之電壓值，會比未連接船外機之電壓減少約 2V，即實際最高僅有約 9V，因此若風力或水流過大之時，可能會造成無法前進，而考量可能之原因為船外機之功率負載太大，因此未來可能的改善方式是使用兩個馬達驅動 IC 並聯使用，以提高其負載能力；或者是提高輸入電壓，例如以兩個電瓶串聯的方式，亦可提高最終輸入至馬達之電壓值。
2. 當轉向時，當機器人與前方池壁相對角度大於 45 度之時，超音波感測器會無法感測前方之障礙物而視為前方無障礙物，因此會造成無法順利轉向，需要 2~3 次控制才能順利轉向，可能的改善方式為使前方之超音波感測器利用伺服馬達帶動旋轉，使可偵測前方包含左右各 45 度以內之範圍，將可提高避障轉向功能。

3. 本研究原先預計使用電子羅盤完成機器人之定向功能，以協助更精確之行動控制，但在實際測試後發現電子羅盤之誤差極大，無法達成所需。未來可行之改善方式為增加陀螺儀或加速度計等感測器，配合程式計算校正以完成定向功能，此外市面上亦有整合完成之定向感測器可供購買使用。
4. 超音波感測器目前所放置之位置是放置在機器人船身右側，而以船身右側為一直線來看，兩感測器放置在距離船長中點前後各 30 公分處，因此兩感測器距離為 60 公分，一個感測器距離船頭 15 公分，另一感測器距離船尾 15 公分，利用這兩個感測器計算機器人與岸邊之距離與角度，計算方式如 3.4.2 節所述。為了要計算船身與岸邊之相對角度，這兩個感測器間之距離不宜太小，最好是分別在放置在靠近船頭處與船尾處，所計算出之角度才會較為準確，此外也較能即時感測右側障礙物。但若兩感測器間距離太大時，於避障功能方面可能較易出現誤差，如若行動時右側有障礙物且此障礙物長度較小，設此障礙物為一個長 30 公分之水管，當機器人前方通過此水管 20 公分後，後方雖未經過此水管，但此時可能前後感測器都感測不到右方有障礙物，因此會造成控制可能出現錯誤。故兩感測器間之距離也不宜過大。目前機器人感測器所放置之位置可一定程度滿足上述兩個因素。若是再縮短距離雖較能通過比較小之障礙物，但可能會影響到角度計算的準確度，相反的若是增大兩者之距離，可更即時的偵測右側障礙物及增加計算船身角度的準確度，但仍會減少通過障礙物的避障能力。
5. 關於機器人所使用之超音波感測器數量方面，目前機器人使用三個超音波感測器做前進與避障控制，在機器人右側使用兩個感測器量測與池邊的相對距離與角度，而在前方使用一個感測器感測前方障礙物。能僅使用三個感測器完成控制的最主要原因在於養殖池的環境單純，障礙物種類較少，而在未來使用時若是能夠確保養殖池之障礙物情形，讓障礙物之表面積大於一定長度，如船身右側兩個感測器之距離為 60 公分，則安全情況下使障礙物表面長

度至少大於 60 公分，以確保機器人能順利通過此障礙物，在這種情況下將可不需要增加右側超音波感測器數量，否則可能必須縮短兩個感測器之間的距離或是在兩感測器間再增加 1~2 個感測器以確保得以感測右側障礙物。而關於前方之超音波感測器數量因同樣如上述第 2 點所提到可使用伺服馬達帶動感測器轉向增大感測範圍的方式，因此前方應同樣僅使用一個感測器即可。此外因目前僅在船身右側安裝感測器，因此只能做沿右側牆逆時鐘繞行養殖池的行動控制，若是要使機器人同樣可以沿左側牆做順時鐘繞行控制，則同樣需要在機器人左側增加與右側同樣數量的感測器。最後做總結整理為如下三個情形，第一是若不控制障礙物表面積大於兩個超音波感測器之間距離，可能須視情形增加 1~2 個感測器以避障，第二種情形是如要增加沿左側牆行動之功能，則機器人左側必須增加與右側同樣數量之感測器，而第三則是與前兩者都相反，即控制障礙物表面積大於兩個超音波感測器距離且不增加沿左側牆行動功能，在此情況下將可不需要增加超音波感測器即可正常使用。

6. 投餌量控制部份，因目前之投餌機機構無法控制投餌量，因此預計可採用改變船速或者改變投餌機投餌頻率的方式來控制投餌量。改變船速的方式是保持投餌機持續投餌，而改變船速之快或慢來控制不同的投餌量，而改變投餌頻率的方式即是在保持船速固定的情況下，投餌機不連續運作，而是以不同的週期如每 1、3 或 5 分鐘投餌一次的方式，改變投餌量。

最後探討關於機器人在高溫、強風、下雨以及夜晚這幾種不同環境下可能之使用情形。

夏日高溫

若機器人在夏日高溫下使用，目前在放置電路之電控盒散熱部分，已有安裝散熱風扇進行散熱，但電控箱為了防水是做密閉設計，因此若溫度過高仍可能有系統過熱而當機的問題，不過因為投餌機器人之設計是以夜間使用為主，所以

散熱之實際影響情形可能較小。

強風

若在強風下，機器人前進及轉向都可能受到影響，轉向時可能會受風力而造成轉向角度過大或過小，而前進時若是在逆風的情形下，可能會有因風力太強而無法前進的情形。但因機器人控制週期短，約 0.23 秒即進行一次控制，因此可能足以即時控制轉向誤差的問題，克服風力影響，而前進部分則使機器人保持在較快之速度下前進，使其即使在強風下仍可繼續行動。此外未來仍可加入風力與風向感測器，感測風力調整行動控制。此外修改船體設計，減少船體受風面以減少風力造成之影響也是可行之改良方式之一。

雨天

當雨天時，機器人控制電路及電瓶等皆放置在船體內部，並有上蓋提供防水保護，但位於外部之超音波感測器還未製作防水保護，因此目前無法在雨中使用，此外即使有防水保護之情況下，超音波同樣可能受到雨水影響感測結果而無法使用。

夜晚

因機器人所使用之感測器如超音波及紅外線等皆不受光線之影響，因此於夜間時可正常使用

第五章 結論與建議

5.1 結論

本研究之目的是為了將養殖產業與機器人應用結合，利用自主式機器人替代人工投餌的方式，節省養殖所需之人力資源，並且可以進一步的加以配合養殖生物的作息習性的方式，於適當的時間進行投餌與進行投餌量控制，以期達成更加豐碩之養殖成果。

為了實現此應用目的，本研究將以設計一個可以在養殖池自主行動之機器人為主要目標，並將機器人控制分為三大部分，機器人沿牆行走與避障控制、機器人投餌控制與機器人返回停靠點之控制。

為了使機器人能在養殖池上行動，因此採用船的形式，並能載重 70 公斤以上的重量，以時速約 1.2km/h 的速度在水面上穩定的行動。在船身右側使用兩個超音波感測器以感測船身與岸邊所相對的距離與角度，而電子羅盤感測機器人與地磁南北所處之絕對角度，並使用模糊控制法則計算機器人所需之轉向角度控制，完成與池邊保持一定距離之沿牆行走控制。避障控制方面，利用養殖池內環境較單純，障礙物種類較少的特性，僅在船身前方安裝一個超音波感測器感測障礙物，並使用人為控制障礙物形式的方式，將使機器人感測錯誤之不規則形狀工作平台，利用珍珠板將其圍起，增大表面積，固定物體形狀，使機器人得以避障通過。目前機器人可在無風並且控制障礙物的環境中，進行沿牆行走控制，在沿牆目標距離為 150 公分的情況下，保持在目標距離之 $\pm 20\%$ ，足以滿足養殖池投餌需求。返回停靠點控制部份，使用紅外線感測器作為感測信號，在停靠點處放置紅外線發射器，並在機器人前方安裝一個紅外線感測器，當機器人完成投餌行動後，可利用感測紅外線信號返回停靠點停靠待機，等待下一次投餌時間。投餌方式為使用轉盤式投餌機，轉盤上方為一個漏斗型儲料裝置，當轉盤轉動時料斗

內之餌料會開始落下，並在轉盤上旋轉甩出，投餌範圍為以船身為中心點半徑 1.5 公尺之區域。

5.2 建議

本研究目前已完成投餌機器人之初步架構，使其在適當的環境下可進行沿池邊前進並投餌之控制，但現實環境中會有各種不確定因素對機器人控制造成影響，因此若是希望能實際使用此機器人進行投餌，則須再加強部分基本功能，使其能克服可能出現的不同狀況，以順利完成投餌任務，因此以下列出幾項在實際使用時，所需之最基本之需求：

1. 克服外力影響—目前實際上最主要的外力來源是風力及水流，這兩者都會對機器人的行動控制造成不小的影響，其中若是僅考慮風力影響，可參考 4.3 節探討關於風力影響的改善方式，而若是因水車所造成的水流影響的話，可選擇控制水車方向使不讓機器人逆流行動，或許以上兩種方式即可克服外力影響，但若不採取上述方式而僅討論機器人自身對抗外力的情形，可將外力所可能造成的影響分為三個方面來討論：
 - I. 首先若是逆風或逆流時，若是馬達推力不夠，可能會造成機器人無法前進的情形，而最佳的改善方式是使機器人能感測自己的前進速度，感測速度的方法可以採取利用無線節點作地標的方式，在養殖池四周放置數個地標，讓機器人持續計算與各個地標間之相對距離與角度，以計算機器人位置改變量並求出前進速度。但若考量實際成本問題而不放置地標情況下，退而求其次可讓機器人記憶該養殖池之邊長距離與障礙物資訊，行動時機器人計算前進多久時間下應該會遇到轉角或障礙物，而若超出該時間太久卻仍沒有遇到障礙物時，就表示目前前進速度受到影響，以此方式計算前進速度，但這種方式對感測速度的實際效果較差。
 - II. 第二種可能受到的影響是即使機器人有足夠的動力能前進，但前進時可能會受到來自左右兩邊的作用力，使轉向角度出現誤差，而造成機器人控制，

而可能的改善方式可以在控制法則部分增加一個改善誤差的法則，利用計算前一次預期控制機器人的轉向角度，與實際上感測得出的轉向角度求出誤差值，接著利用此誤差值改善下一次的轉向輸出控制。

III. 第三個可能的情形是，機器人受到外力影響時，可能使機器人飄離池邊，因目前機器人是以前方與右側之三個超音波感測器感測與岸邊之距離做沿牆行走控制，若是機器人與池邊距離大於 5 公尺的情形下，此時機器人會無法感測與岸邊的距離與角度，而出現無法控制的異常狀況。而可行的解決方式是如同第一點使用地標定位的方式，使機器人能隨時感測自己所在養殖池的位置，即可自行返回池邊繼續投餌行動。而若不採用定位方法，也可使用配合定向功能的方式，讓機器人知道在正常情況下，所前進的絕對方向是多少，而當無法感測岸邊位置的時候，即根據前一刻可正常行動時的前進方向與當時的方向來判斷行動，使機器人朝著池邊的方向前進，以回到正常的控制情形。

2. 防水功能—因機器人的使用環境是在室外養殖池上，因此防水性能會是一個重要的因素，機器人控制功能上使用了各種電子類產品，若是碰到水可能會造成感測器或電路損壞，因此整體的防水功能必須設計完善。
3. 機器人之停靠點需加裝自動柵欄，使其停靠時不會被水流及風力帶動飄走，此外停靠點最好能做成船塢形式，以提供擋風避雨功能。

當完成了以上三項基本功能之後，則機器人將可能實際應用於養殖投餌方面，但在此之外，仍應再強化其餘功能，以使機器人使用更加便利以及提高養殖成效，在此再列舉幾項未來可以增進的發展方向：

1. 目前機器人使用電瓶做為動力來源，而若要充電時，須將整個電瓶從船上取出充電，並不方便，未來應可將電瓶之兩極接上電線接頭拉出，而在停靠點處設置充電座，充電時將電線接頭接上充電器即可充電。此外也可參考目前市面上常見之掃地機器人的充電方式，當機器人返回停靠點時即自動充電，或是也可在船上安裝太陽能板，當有日光的時候利用太陽能充電，而其他

時候可利用充電座充電。

2. 增加環境感測功能，如感測水中溶氧量、pH 值、溫度等，並依照這些資訊建立投餌規則庫，以達成更加完善的投餌功能。
3. 讓機器人擁有無線傳輸功能，使其可與岸上之電腦伺服器進行資料傳輸，使用者可由電腦伺服器直接觀察機器人所測得之各項感測數據以及投餌情形，此外需要時也可利用伺服器直接控制機器人之行動。
4. 目前機器人使用單板電腦作為控制核心，主因是單板電腦計算能力強大，目前一般微處理器對於較複雜之數學式運算功能較差，此外單板電腦以完善整合各通訊介面，使用上極為便利，但單板電腦在待機時會持續耗費約 1.5A 左右的電力，是整體系統消耗電力最大的部份，因此未來可嘗試使用較高階的微處理器代替單板電腦使用，以節省電力消耗。



參考文獻

1. 廖仁毅。2000。超集約循環水養鰻自動化投餌與停餌控制系統之建立。碩士論文。台北：國立台灣大學生物產業機電工程學系
2. 戴天適。2004。使用傾斜儀及加速計之指向裝置的定向控制。碩士論文。台北：國立台灣大學電機工程系。
3. Bank, D., and T. Kampke. 2007. High-resolution ultrasonic environment imaging. *IEEE Transactions On Robotics*, 23:370-381.
4. Barshan, B. 2001. Ultrasonic surface profile determination by spatial voting. In “Proc. 18th IEEE Instrumentation and Measurement Technology Conference, 2001”, 1:583-588, Budapest, Hungary.
5. Chang, Y.Z., R.P. Huang, and Y.P. Chang. 2007. A simple fuzzy motion planning strategy for autonomous mobile robot. In “33rd Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society, IECON”, 477-482, Taipei, Taiwan.
6. Chung, W., C.B. Moon, K.R. Kim, and J.B. Song. 2006. Design of a sensor model and semi-global localization of a mobile service robot. In “Proc. International Joint Conference on SICE-ICASE”, 4260-4265, Busan.
7. D’Andrea, B., and K.A. Abderrahim. 1995. Control of nonholonomic wheeled mobile robots by state feedback linearization. *International Journal of Robotics Research*, 14:543-559.
8. Dhariwal, A., and G.S. Sukhatme. 2007. Experiments in robotic boat localization. In “Proc. International Conference on IEEE/RSJ Intelligent Robots and Systems”, 1702-1708, San Diego.
9. Gemeiner, P., W. Ponweiser, P. Einramhof, and M. Vincze. 2007. Real-time SLAM with a high-speed CMOS camera. In “Proc. ICIAP 2007. 14th International

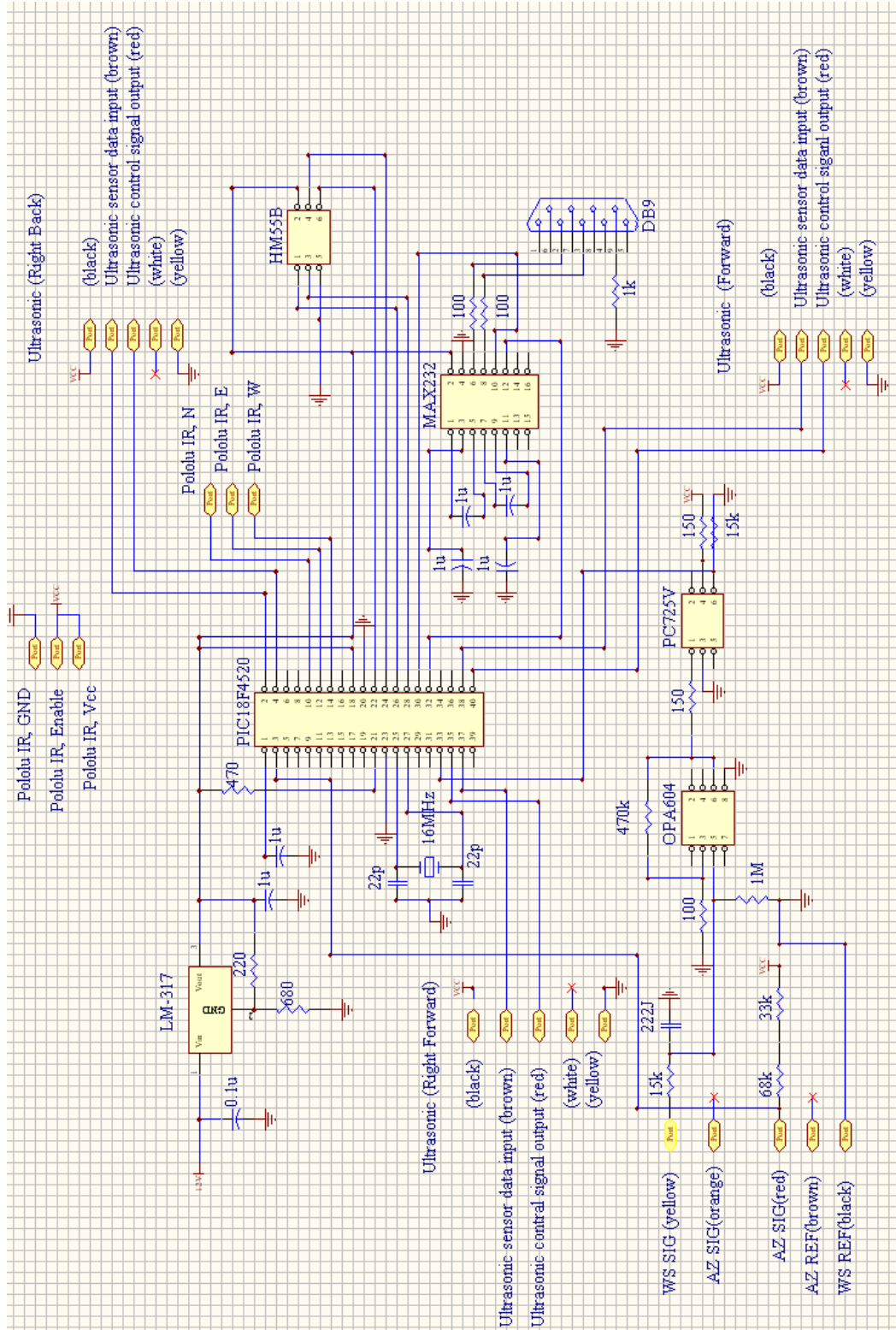
- Conference on Image Analysis and Processing”, 297-302, Modena.
10. Han, Y., and H. Hahn. 1999. Localization and classification of target surface using two pairs of ultrasonic sensors. In “Proc. International Conference on Robotics and Automation”, 1:637-643. Detroit, Michigan.
 11. Ilya, K., and N.H. McClamroch. 1995. Developments in nonholonomic control problems. *Control Systems Magazine, IEEE*, 15:20-36.
 12. Li, T.H.S., S.J. Chang, and Y.X. Chen. 2003. Implementation of human-like driving skills by autonomous fuzzy behavior control on an FPGA-based car-like mobile robot. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*. 50(5):867-880.
 13. Li, Y.Z., L. Wang, X.M. Wu, and Y.T. Zhang. 2008. Experimental analysis on radio transmission and localization of a zigbee-based wireless healthcare monitoring platform. In “Proc. International Conference on TIAB Technology and Applications in Biomedicine”, 488-490, Shenzhen.
 14. Lin, H.H., C.C. Tsai, J.C. Hsu. 2008. Ultrasonic localization and pose tracking of an autonomous mobile robot via fuzzy adaptive extended information filtering. *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, 57:2024-2034, Independence.
 15. Makni, W., M.S. Masmoudi., M. Masmoudi., N. Derbel. 2008. A neural controller for lane/wall following system. In “Proc. International Conference on DTIS Design and Technology of Integrated Systems in Nanoscale Era”, 1-6, Tozeur.
 16. Mataric, M.J. 1997. Behavior-based control: examples from navigation, learning and group behavior. *Journal of Experimental and Theoretical Artificial Intelligence*, 9:323-336.
 17. Ouellette, R. and K. Hirasawa. 2007. A comparison of SLAM implementations for indoor mobile robots. In “Proc. International Conference on IEEE/RSJ Intelligent Robots and Systems”, 1479-1484, San Diego.

18. Peri, V.M. and D. Simon. 2005. Fuzzy logic control for an autonomous robot. In “Annual Meeting of the North American on Fuzzy Information Processing Society NAFIPS”, 337-342, Michigan.
19. Rahman, N., and A.R. Jafri. 2005. Two layered behaviour based navigation of a mobile robot in an unstructured environment using fuzzy logic. In “Proc. IEEE Symposium on Emerging Technologies”, 230-235, St. Petersburg, Russia.
20. Samson, C., and K. Ait-Abderrahim. 1991. Feedback control of a nonholonomic wheeled cart in Cartesian space. In “Proc. International Conference on IEEE Robotics and Automation”, 2:1136-1141, Sacramento.
21. Song, K.T., and J.Y. Lin. 2006. Behavior fusion of robot navigation using a fuzzy neural network. In “Proc. SMC’06. International Conference on IEEE Systems, Man and Cybernetics”, 6:4910 – 4915, Taipei.
22. Trabelsi, M., N. Ait-Oufroukh, and S. Lelandais. 2007. Localization method for a rehabilitation mobile robot using visual and ultrasonic information. In “Proc. IEEE 10th International Conference on Rehabilitation Robotics”, 164-170. Noordwijk, The Netherlands.
23. Tsui, W., M.S. Masmoudi, F. Karray, I. Song, and M. Masmoudi. 2008. Soft-computing-based embedded design of an intelligent wall/lane-following vehicle. “IEEE/ASME Transactions on Mechatronics”, 13:125-135.
24. Tsuzuki, F., and K. Sasaki. 1993. Ultrasonic echo simulator for mobile robots. In “Proc. IROS ’93. International Conference on IEEE/RSJ Intelligent Robots and Systems”, 2:979-985. Yokohama, Japan.
25. Tu, K.Y., and C.H. Chen. 2007. Analysis of camera’s images influence by light variation. In “Proc. SICE Annual Conference”, 20890-2094, Japan.
26. Yang, X., M. Moallem and R.V. Patel. 2003. An improved fuzzy logic based navigation system for mobile robots. In “Proc. International Conference on

IEEE/RSJ Intelligent Robots and Systems”, 2:1709-1714, Las Vegas.



附錄一 超音波感測器及電子羅盤控制電路圖



附錄二 船外機、伺服馬達與投餌機控制電路圖

