

國立中央大學

資訊工程學系
碩士論文

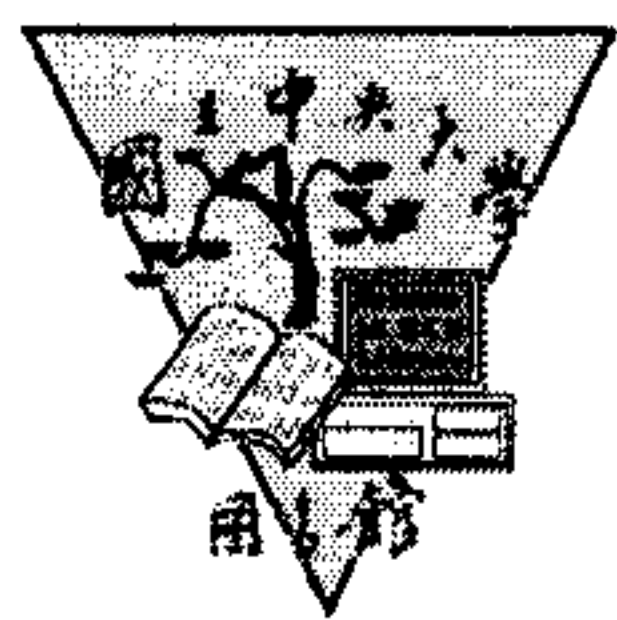
室內居家服務機器人之研究

The Study of an Indoor Service Robot System

研究生：丁穆仁

指導教授：蘇木春 博士

中華民國 九十八年 六月



國立中央大學圖書館 碩博士論文電子檔授權書

(98 年 4 月最新修正版)

本授權書所授權之論文全文電子檔(不包含紙本、詳備註 1 說明)，為本人於國立中央大學，撰寫之碩/博士學位論文。(以下請擇一勾選)

(V) 同意 (立即開放)

() 同意 (一年後開放)，原因是：_____

() 同意 (二年後開放)，原因是：_____

() 同意 (三年後開放)，原因是：_____

() 不同意，原因是：_____

以非專屬、無償授權國立中央大學圖書館與國家圖書館，基於推動「資源共享、互惠合作」之理念，於回饋社會與學術研究之目的，得不限地域、時間與次數，以紙本、微縮、光碟及其它各種方法將上列論文收錄、重製、公開陳列、與發行，或再授權他人以各種方法重製與利用，並得將數位化之上列論文與論文電子檔以上載網路方式，提供讀者基於個人非營利性質之線上檢索、閱覽、下載或列印。

研究生簽名：_____

學號：_____ 965202074

論文名稱：_____ 室內居家服務機器人之研究

指導教授姓名：_____ 蘇木春 教授

系所：_____ 資訊工程 所 ☐ 博士班 ☒ 碩士班

日期：民國 98 年 7 月 6 日

備註：

1. 本授權書之授權範圍僅限電子檔，紙本論文部分依著作權法第 15 條第 3 款之規定，採推定原則即預設同意圖書館得公開上架閱覽，如您有申請專利或投稿等考量，不同意紙本上架陳列，須另行加填聲明書，詳細說明與紙本聲明書請至 <http://thesis.lib.ncu.edu.tw/> 下載。
2. 本授權書請填寫並親筆簽名後，裝訂於各紙本論文封面後之次頁（全文電子檔內之授權書簽名，可用電腦打字代替）。
3. 請加印一份單張之授權書，填寫並親筆簽名後，於辦理離校時交圖書館（以統一代轉寄給國家圖書館）。
4. 讀者基於個人非營利性質之線上檢索、閱覽、下載或列印上列論文，應依著作權法相關規定辦理。

國立中央大學碩士班研究生

論文指導教授推薦書

資訊工程 學系/研究所 丁穆仁 研究
生所提之論文

室內居家服務機器人之研究 係由本
人指導撰述，同意提付審查。

指導教授 陳木君 (簽章)

98年7月6日

國立中央大學碩士班研究生
論文口試委員審定書

資訊工程 學系/研究所 丁穆仁 研究生
所提之論文

室內居家服務機器人之研究 經本委員
會審議，認定符合碩士資格標準。

學位考試委員會召集人
委 員

謝祖國
范國清
周建興
曾定豪
蔡木春

中華民國 98 年 7 月 6 日

摘要

台灣已經成為全球高齡化國家之一，因觀念習俗使得老人家不願意至療養院集中照顧，反而選擇與子女同居，平日子女外出工作，家裡只有老人時，將成為老人發生危險程度最高的時段。有鑒於目前的遠距居家看護系統所提供的服務，疑似發生意外時以文字警告訊息為主，較為缺乏即時的現場狀況資訊。因此本論文期望能研究設計一套居家看護系統，以機器人為主要的服務人機介面，在疑似發生意外狀況時，快速提供現場近距離影像資訊。

本論文使用市售的機器人平台為介面，為機器人設計模糊控制系統，透過無線網路控制機器人，結合建築物內已架設的室內監視系統，以攝影機為主要追蹤以及導航機器人的工具。而室內攝影機多以斜向監視室內環境，因為有角度而需要做修正，減少使用者架設的複雜度，本論文使用統計的方法，僅擷取少量影像資訊，使用三次回歸曲線來推估整個環境的影像變化，以確實追蹤機器人位置。而此推估曲線也將利用在，修正機器人因高度的影響，判斷其在地板上的位置，還有模糊控制時要輸入的角度與距離。用加速度計結合無線射頻收發模組，來感應老人是否發生跌倒狀況，或是門口是否有人開門，當電腦判定意外發生時啟動機器人執行服務。

最後本論文以系館內的辦公室，模擬一般家庭室內情境，做幾個不同的實驗來測試本系統的效能與穩定度，證明本系統是可以完成居家服務的效果，而且具有預期中的便利性、擴充性的系統架構。

關鍵字：居家服務、機器人、模糊控制、攝影機、定位、導航。

Abstract

There are more old people in Taiwan now. Because of the Chinese custom, elder person lives at home with their children rather than in sanatorium. It is very danger when all family out of home in the daytime. We worry about the distance home service only send character message when an accident happened. The message lacks for some view of the situation in real time. For this reason, this paper went to design an indoor service system to get the view for worry fast. The system uses a robot for human-computer interface.

We use the commercial robot platform to be an interface, design a fuzzy control system for the robot, and control it through the wireless network in this paper. Combining the indoor monitoring system erected in the building, we use the camera as the main tracking and navigating tool. Consider about revising the camera with oblique, we use the method of statistics and only need a few images in order to reduce the complexity of erecting this system. It used the three order polynomial function to estimate the image change to track the robot. The results of estimating also make use of revising the height of robot and the input of fuzzy system. The system watch whether old man fallen or someone opened door with accelerometer RF-module. Computer will start the robot to serve when it judges the accident takes place.

In the end, we simulate a general family's indoor situation with office in CSIE building, and do several different experiments to test this system's stability and efficiency. This paper proves the indoor service robot is workable, convenient and expandable.

Key word: indoor service, robot, fuzzy control, camera, location, navigation.

誌謝

首先要感謝蘇木春老師，從我大學專題時候，到現在碩士二年級準備要畢業了，長達三年半辛苦的指導，有很多的學期機會和資源，我沒有能夠大量的吸收，有點心虛，但我會帶著這幾能所成長的成果，努力的繼續往前走，成為從老師這畢業的優秀學生。也感謝評審委員們，在百忙之中抽空給我建議，讓我看到了許多的缺點，使論文可以更精進。

要感謝博士班的學長們，大寶學長在機器人方面給了我許多的建議與方向，不時的提醒我，要趕上尖端技術的腳步，在學生活中能有如此多聞的學長，確實是件很幸運的事情；長毛學長將我帶入打壘球的世界，這是我碩士生涯的快樂時光，比賽有輸有贏，就有檢討還有成就感，讓我能更勇敢的面對人生中的其他挑戰；小捲學長，親切仔細的討論，還有許多的歡笑，是研究時的最大動力。

在這兩年中，一起努力的幾個同學，雖然我們做的領域不一樣，但我們的目標是一致的。跟我一樣宅的正倫，硬體超強的文洲，熱血男兒黑狗，還有悶燒的阿乳。感謝這兩年在研究室的熬夜時光，有你們做伴。

還有其他大學時的朋友，這兩年也在中央唸書的同學，有的要跟我一起畢業了，有的才剛渡過碩士一年級，還有在一起約一年多的女朋友，給了我很多的溫暖，我最懷念的就是在中央有你們的日子。

最後要感謝的是我的父母，在我跌跌撞撞的求學過程中，依然支持我要努力的完成學業，不斷的學習向上，在我失敗的時候，可以有一個回去的地方。現在我是念完碩士畢業，要回家鄉去了。

目錄

摘要	i
Abstract	ii
誌謝	iii
目錄	iv
圖目錄	vi
表目錄	viii
第一章 緒論	1
1-1 研究動機	1
1-2 研究目的	2
1-3 論文架構	3
第二章 相關研究	4
2-1 人為居家服務介紹	4
2-2 機器人服務介紹	6
第三章 服務機器人系統	9
3-1 服務機制	11
3-2 機器人控制	15
3-2-1 硬體設備	15
3-2-2 模糊控制	18
3-3 攝影機導航	26
3-3-1 機器人追蹤	27
3-3-2 斜向修正	32
3-3-3 導航機制	38
第四章 系統實驗結果	43

4-1 系統基本功能.....	43
4-1-1 移動測試	44
4-1-2 來回巡邏測試	46
4-2 實驗 1：老人跌倒看護	49
4-2-1 跌倒偵測	49
4-2-2 機器人服務結果	49
4-3 實驗 2：門口警衛	52
4-3-1 門口偵測	52
4-3-2 機器人服務結果	52
第五章 結論與未來展望	55
5-1 結論	55
5-2 未來展望	55
參考文獻	57

圖目錄

圖 1	各類居家看護器材 資料來源：[22]	5
圖 2	分散式健康資料伺服器 資料來源：[24]	6
圖 3	系統流程圖	9
圖 4	整體系統架構圖	10
圖 5	服務機制流程圖	11
圖 6	加速度晶片	12
圖 7	無線接收模組(a)正面(b)背面，加速度訊號發送模組(c)正面(d)背面	12
圖 8	加速度發送模組佩帶圖	13
圖 9	門上加速度計	14
圖 10	機器人控制架構圖 資料來源：[13]	15
圖 11	SCOUT 機器人正面與背面圖 資料來源：[13]	16
圖 12	PMB5010 控制版 資料來源：[13]	17
圖 13	機器人硬體運算架構資料來源：[13]	17
圖 14	網路 AP	18
圖 15	無線網卡 資料來源：[13]	18
圖 16	溝通架構 資料來源：[13]	18
圖 17	模糊系統基本架構 資料來源：[25]	19
圖 18	機器人與移動向量	20
圖 19	模糊運算架構	21
圖 20	距離歸屬函數	22
圖 21	角度歸屬函數	22
圖 22	馬達歸屬函數	23

圖 23	最大最小合成推論.....	25
圖 24	機器人身上的圖形標記.....	28
圖 25	攝影機架設.....	28
圖 26	機器人追蹤演算法架構.....	29
圖 27	搜尋範圍內的三值化影像.....	30
圖 28	比對樣板範例.....	31
圖 29	XY 數據比較.....	34
圖 30	三次多項式迴歸.....	36
圖 31	分割收尋區塊.....	36
圖 32	搜尋樣板在不同位置的大小.....	37
圖 33	導航機制架構圖.....	39
圖 34	導航點狀態圖.....	39
圖 35	中間不相連的地圖.....	42
圖 36	黑色方框.....	43
圖 37	移動測試實驗(a)實驗圖(b)攝影機影像及導航點狀態.....	44
圖 38	移動測試連續圖.....	45
圖 39	來回巡邏的測試實驗(a)實驗圖(b)攝影機影像及導航點狀態.....	46
圖 40	來回巡邏測試連續圖.....	48
圖 41	機器人拍攝的人跌倒影像.....	49
圖 42	服務實驗(a)攝影機影像(b)導航點狀態.....	50
圖 43	老人跌倒測試連續圖.....	50
圖 44	測試位置標示圖.....	51
圖 45	機器人拍攝的門口影像.....	52
圖 46	門口警衛測試連續圖.....	53

表目錄

表 一	右輪的模糊規則庫.....	24
表 二	左輪的模糊規則庫.....	24
表 三	色塊標誌長寬統計.....	33
表 四	不同回歸曲線結果.....	35
表 五	移動實驗結果.....	46
表 六	巡邏實驗結果.....	49
表 七	跌倒實驗結果.....	52
表 八	門口警衛實驗結果.....	54

第一章 緒論

1-1研究動機

現今台灣社會早已經不是在是男主外女主內的模式，在所有壯年人都出外工作謀生的時候，家庭裡依然有許多需要照顧的人。尤其台灣社會的老人大多不願意至療養院集中照顧，喜歡在自己土生土長的環境安渡餘生，在此文化背景之下，在台灣的老人居家照顧更顯得重要。根據內政部八十九年的老人生活狀況調查[20]發現，老人與子女同居者佔有 69.89%，而與配偶同居者佔有 13.29%，於老人福利機構者 5.2%，獨居者 6.27%。最大族群為近七成的老年人與子女同居，於白天子女都去上班之後，將成為老人發生危險程度最高的時段。

依據內政部人口統計資料[20]發現，台灣地區早在民國八十二年九月底時，就有 148.5 萬人口為六十五歲以上的老年人，為台灣總人口數的 7.09%，已經達到聯合國世界衛生組織所訂的高齡化社會指標。而在民國九十七年年底時[21]，老年人口數總共 240.2 萬人，佔總人口的 10.43%，也就是目前社會上已經有一成的老人。另外行政院經建會也推估，至民國 110 年老年人口將高達 402 萬人，為總人口數的 16.88%，此時的老年人口比例將相當可觀，相關服務的需求將成為龐大的社會壓力。

居家服務需求最高的成本，即為專業服務人員的訓練培養，受顧者分散在不同區域不同家庭，需要一一到各家庭服務，人力的需求將會相當龐大。其中如何管理服務人員，確保受顧者和服務人員的人生安全，建立服務人員的健康心理，還有提高受顧者的接受度，是否會因為常常換新的服務人員而擔心，這些方面的問題需要各方的配合。

如何建立節省人力、可靠、又能有高親和力的系統，將是我們要努力

的目標。近年來機器人的研究趨於成熟，許多的專家學者都致力於讓機器人走入家庭，希望能完成家庭裡的居家服務需求。目前各種清潔功能的機器人，為家庭裡最普遍的服務應用，市面上已有許多的相關功能機器人，可以幫忙打掃居家環境，也可以幫忙除草，也有專門幫大樓清理通風口的機器人，眾多種類的保全機器人，守護著居家環境。事實上機器人已經在我們的生活週遭，正發揮著許多的功能。因此我們相信將老人或是病患照顧的問題，結合機器人走入家庭的服務，將會是相當有意義的應用。

1-2研究目的

有鑒於目前的居家看護系統所提供的服務，疑似發生意外時以文字警告訊息為主，或是提供受顧者的健康資訊來做觀察，由系統提供的文字內容，描述狀況有限，較為缺乏即時的現場狀況資訊。因此本論文期望能研究設計一套居家看護系統，以機器人為主要的服務人機介面，建構一個在疑似發生意外狀況時，可以快速提供現場近距離影像資訊，使得遠方的服務人員或家屬，可以立即掌握完整的現場狀況，得到較多的資訊去判斷意外的嚴重性，決定出該較為適當幫助受顧者的服務。

此系統架構的規劃，設備的選擇上為了降低成本，要能簡易的與其他既有的設備做結合，例如跌倒裝置、生理感測器、室內監視攝影機等等。系統的服務介面，選擇目前極為流行的機器人，除了擁有方便在室內移動的高機動性之外，還能提高親和力，讓受顧者比較能接受。利用目前相當實用普及的網路作為架構橋樑，提高遠端服務人員的便利性，透過無線網路控制，可以使機器人更為輕便，一般使用者也可以直接透過網際網路控制，或是接收影像資訊，便於拉近患者和家屬的距離。

為了希望能讓使用者方便上手，本論文在攝影部分我們規劃一套方法，讓使用者不需要計算出攝影機的參數，或是實際量測攝影機的角度等資訊，來克服面臨的追蹤問題。另外對於機器人的控制導航，也以避免太

過複雜的室內環境設定，也不用佈置大量的感應器或標記，以較為直覺化的方式導航機器人，而當家具有所移動的時候，也不必煩惱需要大動作修改。

1-3論文架構

本論文共分為研究建立機器人居家服務系統的方法，論文內容共分為五章，首先本章介紹本論文研究的動機與目的，隨後在第二章分別會介紹本論文的這兩大主題，(1)台灣社會的居家服務現況，以及(2)機器人應用的一些相關研究。在本論文的第三章會提出目前的系統架構，包含機器人控制、攝影機導航還有服務的機制，這三部分需解決的問題，還有系統的實作方法。其後會在第四章展示系統的測試實驗結果，本論文會分別測試系統的基本的功能，以及兩個常見的狀況服務。最後會在第五章討論本論文的結果與未來展望。

第二章 相關研究

本章將依序介紹，目前人為的居家服務設備，還有目前機器人所提供的服務內容，本論文將結合部分居家服務設備的特色，以及機器人的優勢來設計一套系統，整合目前既有的資源提供更親近的居家服務。

2-1人為居家服務介紹

當台灣進入老年化社會之後，配合政府的政策提供居家照顧，以幫助那些子女無法整天在家裡照顧，而又不希望被集中到療養院的老人或病患。以台灣社區照顧協會[23]為例，該協會建立一套居家服務系統，在固定的時間提供專業的老人陪伴服務，服務人員會幫忙簡易的居家環境清潔，生活上的協助，當老人有狀況可以馬上現場做簡單處理。其它完整的具體服務如：協助餵食、協助穿衣、用藥提醒、紀錄飲食營養狀況、確保沐浴安全等等。完整照顧老人的所有生活。

此方面的居家看護機制，需要花費相當大量的社會成本。例如居家照顧人員與受顧者應為一人照顧一人的數量，則要訓練大量的看護人員，需要較多的人力資源。看護人員應有的醫療素質，該如何評定看護人員的心理健康狀況，如何避免引狼入室的慘劇發生。另一方面，受顧者的心理狀態是否能安心，面對陌生的外來看護人員而非其子女，其接受度將影響服務的效果，是否能真正達到有意義的居家服務內容。這些都是以大量人力來完成居家服務，所會面臨的問題。

於是有許多專家也努力開發不需要人力的遠距離照顧服務設備，如今也有許多醫院或療養機關有提供所謂的遠距看護，提供許多配套看護裝置，許多都可以方便讓受顧者攜帶在身上的感應器，或是放置在家裡面受顧者最常出現的範圍內觀察，可以隨時幫助受顧者的器材。

在台灣有一些醫療照顧的社會組織，像中華民國長青協會[22]為專門照顧老人的一個團體，則有規劃一系列遠距照顧系統。主要設備為一個對講機如圖 1(a)，可放置在客廳方便的地方，接收所有感應器等其他設備的訊號，需要的時候也可以直接與服務人員或家人通話；可讓老人身上配戴跌倒偵測感應器如圖 1(b)，當老人跌倒而一段時間過後還沒站起來的話，就送出訊息給服務人員；尿床感應器如圖 1(c)可以針對特殊的病患服務，感應器放在床下當感應到患者尿失禁時，送出訊息給服務人員。



(a)



(b)



(c)



(d)

圖 1 各類居家看護器材 資料來源：[22]

類似的技術如老人福祉科技研究中心[24]，研發利用網路遠端健康監控裝置，名為分散式健康資料伺服器 DDS 如圖 2，連接上網路之後成為一個

具有固定 IP 的網頁伺服器。與其它感應器裝置連結，紀錄老人的各項健康數據，除了具有資料庫的功能，還能有網頁提供家人方便遠距離觀察的介面。



圖 2 分散式健康資料伺服器 資料來源：[24]

諸如以上的看護服務系統，已經提供相當多元的感測功能，可以觀察照顧到很多層面的老人或是病患，可惜只用文字訊息警告家屬，或是讓家屬上網看一些數字資料，還是不夠拉近遠端的人與家內病患的距離，需要多一些影音資訊，來增加居家服務的親切感。於是我們規劃的系統，以機器人為介面，加入近距離影像的服務。

2-2 機器人服務介紹

古老中國有設計端茶機器人，利用事先設計好的齒輪來控制機器人移動路徑，使機器人可以依照規劃將茶水端到客人面前，此為古人智慧奧妙的結晶。近年如何讓機器人走入家庭，是各方學者正在努力研究主要方向，不僅限於產業的人力替代，如何用機器人來解決更多生活上的問題，真正的服務到更多人。

目前市面上最常見的室內服務功能為清潔機器人，此方面的服務適合使用輕巧簡單的機器人，幫助人們打掃清理環境，這些各式各樣的打掃地板機器人[17]，均運用簡單的距離感測器，或是碰撞感測器，讓機器人閃避家具，在室內亂走移動，以簡單的行為模式，提供清潔的服務。另外還有

像 danduct clean 公司[12]的通風管清潔機器人，ZODIAC 公司[19]的游泳池清潔機器人與除草機器人，都是針對特殊的服務環境而開發來服務人群，節省打掃清潔的時間。目前清潔機器人市場產值約 3.4 億美元，其中又以家用自走式吸塵器之產值最大，於 2008 年有 2.3 億美元的產值，此部份為機器人走入家庭生活中，最成功的案例。

目前在機器人架構方面設計上的研究，大部份會在機器人本身內架構強大運算能力，若要讓機器人能有更複雜的服務能力，有一些公司專門提供功能較為完整的機器人平台，使得研究人員可以更快速的開發機器人的應用，著名的公司有德國的 ROBOWATCH[18]公司和 Noebotix[16]公司，美國的 Cybermotion[11]公司。此為相當有用的資源，加速服務機器人的開發，本研究也直接使用類似的機器人開發平台，在上面規劃智慧型服務。

加拿大的 Dr. Robot 公司[13]，除了提供了許多各類型的機器人平台，在最新的一代機器人中，裝備人型手臂以執行倒茶的服務。而該公司將一般常用的衛星導航定位系統 GPS，經過移植改良成為室內可用的定位系統，以得知機器人在室內的確切位置與方向，配合事先繪製好的室內地圖，來定位與導航機器人在室內移動服務。

美國的 MobileRobots Inc.[15]也為大型機器人平台製造商，其生產的保全機器人可以多重環境感測，例如熱源、煙霧、氣體等資訊，還配有 360 度的視覺影像。該公司的保全機器人，使用方向陀螺儀，來辨別機器人的移動方向，搭配雷射測距感應器，可以偵測最遠 50m 範圍內的所有障礙物，以其優異的準確度以及 180 大範圍的資訊，經過機器人來回移動以建置室內地圖，再藉由地圖完成定位與導航，於室內定點來回的巡邏，觀察各項資訊的危險程度。

近年來由於無線感測器網路(Wireless Sensor Networks, WSN)的發展，利用微型控制器與感測元件，結合為一個小電腦節點，此方面的技術也將

使用在機器人定位與導航方面，其中以 Zigbee 無線網路協定應用最為普遍，其特色為低耗電、低成本、快速可靠、支援大量結點和各種網路結構，實現「無所不在」的網路(ubiquitous networking)之願景。例如宋開泰教授[14]所提出的方法，利用 Zigbee 建立無線網路架構，藉由節點之間的網路訊號，來定位機器人的位置，在各網路節點之間移動導航，結合其感應器來控制移動目標。而 Zigbee 模組上配有聲音、溫度等感應感測裝置，可以放置在特定的位置作為警報器，告知機器人移動往該節點。

以上眾多的機器人的主要特色，其身上都必須配戴一台電腦為主要運算，以機器人自身上的感應器探索週遭環境，自主的運算完成定位與導航的功能。此方面的機器人設計上較為複雜且昂貴，而體型需較為龐大略為笨重，本研究希望能不同於以往機器人自主運算的架構，將機器人定位為互動介面，配有感應器與取得影像畫面的功能，由家用電腦為主要運算，以放射狀網路的架構，和其他感應器、機器人溝通。

對於家中有老人的使用者而言，本論文所規劃的系統架構，在使用這個服務的時候，只需要增加一台簡單的機器人介面，就可以與既有的跌倒感測器和攝影機結合，能夠以較低的成本和改變走入居家服務。程式系統為直覺化的第三人稱視角操作介面，對於家具的搬移改動也能簡易的修改，方便與其他需求結合，這些為上面的系統方法所無法完成的特色。

第三章 服務機器人系統

本章節首先將會介紹本系統所使用之機器人，其硬體架構以及我們所架設的控制系統。其後依序介紹本系統之各部分架構，以及其詳細演算法之實做內容。本系統的服務目的，希望可以使得遠端的人可以就近觀察到現場狀況，隨時在遠方做出反應與決策。整體的系統服務流程如下圖 3 所示。本系統提供一個介面讓遠端的使用者可以利用影像，直接驅動機器人巡邏室內角落，觀看可疑地方的近距離畫面，確認居家環境的安全。無人的時候也可錄影或拍照，提供遠端的使用者在空閒時候可以回顧確認。

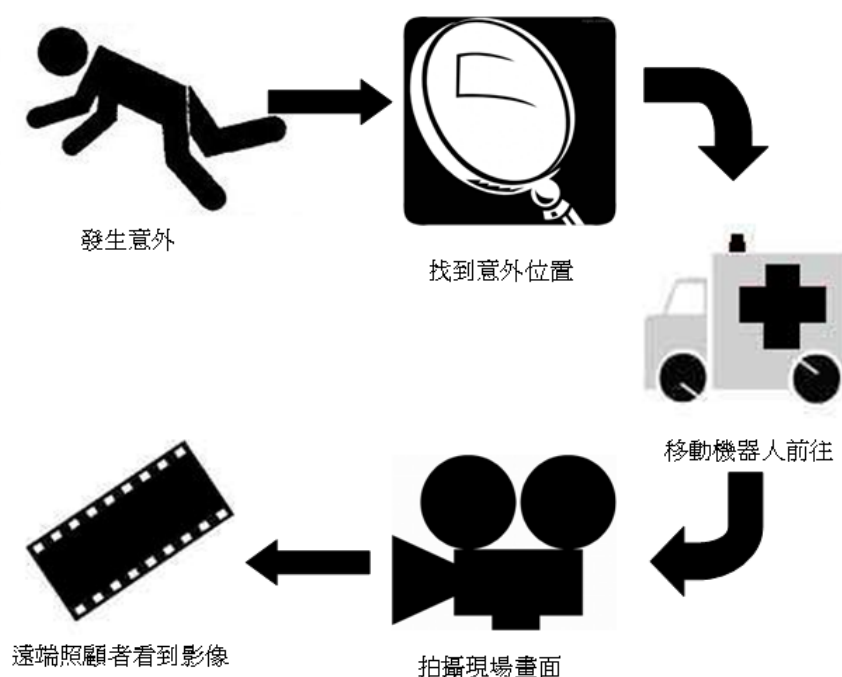


圖 3 系統流程圖

當老人身上或是門上的感應器判斷出老人跌倒或是門被打開，即為偵測到服務需求，依照設定的服務方法取得服務位置，啟動機器人移動到意外狀況的發生地點，到達服務需求的位置之後，用機器人連續拍攝多張老

人或是門口的近距離影像。讓家人可以觀察老人受傷的情形，是否有流血或是老人臉部表情；家人開門後，機器人會移動到門口取得到家的家人影像，透過系統對遠端還沒回家的家人打招呼。

本系統的實作架構如下圖 4，電腦端主要分為三個部份，為攝影機追蹤、機器人導航還有機器人模糊控制，而系統其他配備除了機器人與攝影機之外，還有跌倒服務的感測器，由主要運算的電腦為主，整個系統呈一個放射狀控制架構，分別利用室內無線網路、USB、無線傳輸模組、網際網路等媒體與其他設備溝通。

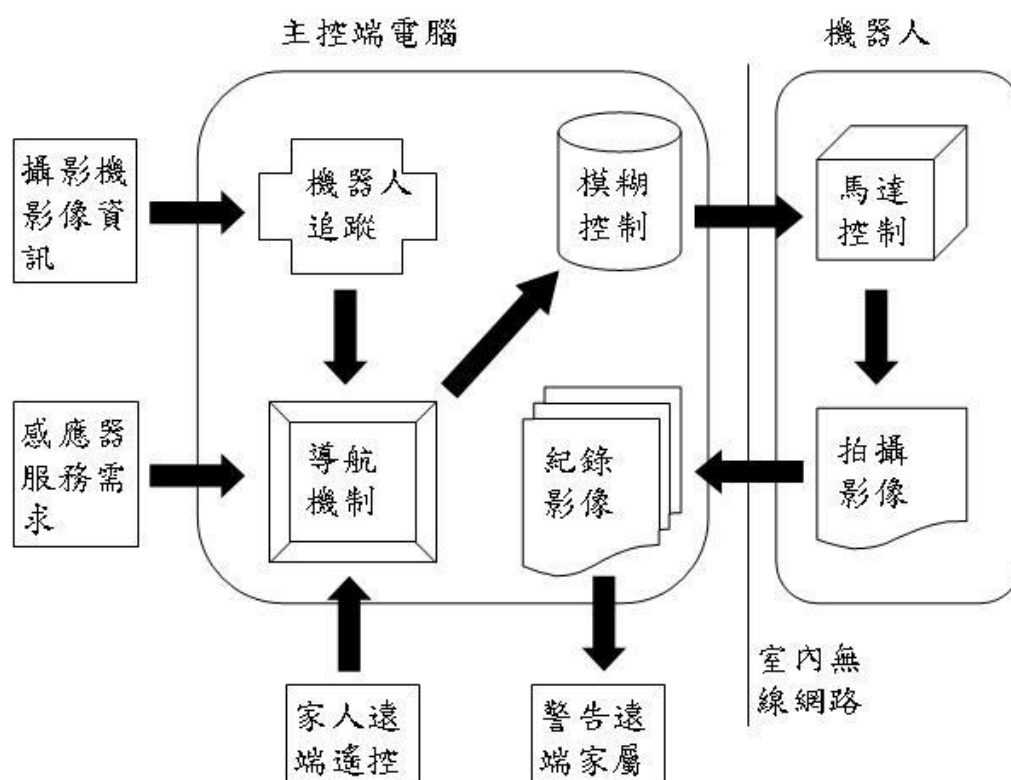


圖 4 整體系統架構圖

由攝影機影像取得家裡環境影像之後，由角度校正過後的追蹤演算法，找出機器人的位置。再依照服務的需求或是遠端家人的控制，規劃機

器人的導航路線。最後依照路徑的要求，持續透過模糊控制算出機器人的馬達控制訊號，藉由發送至機器人身上的馬達控制器，完成機器人導航而移動到定點之後，拍攝影像存回主控端電腦中，再提供給家人觀看。

3-1服務機制

為了達到本服務系統的目的，需要一個器材來偵測監視服務的位置，若有意外狀況的發生時，則先確認狀況地點，然後啟動機器人前往拍攝近距離影像。本節將介紹我們偵測服務的器材，和意外狀況的判定，以及找出服務地點的方法。

例如我們將加速度計配戴在老人身上，當老人跌倒時，電腦會依加速度的數值變化偵測到意外狀況的發生，利用攝影機，找尋到老人的位置，以控制機器人前往取得近距離影像。不同服務的加速度訊號則由不同的發送模組來發送，使用者在啟動系統的時候，只要先確定每一個發送器都確實裝置在服務目標上，設定好個別的服務內容即可，而單一的服務架構流程如下圖 5。

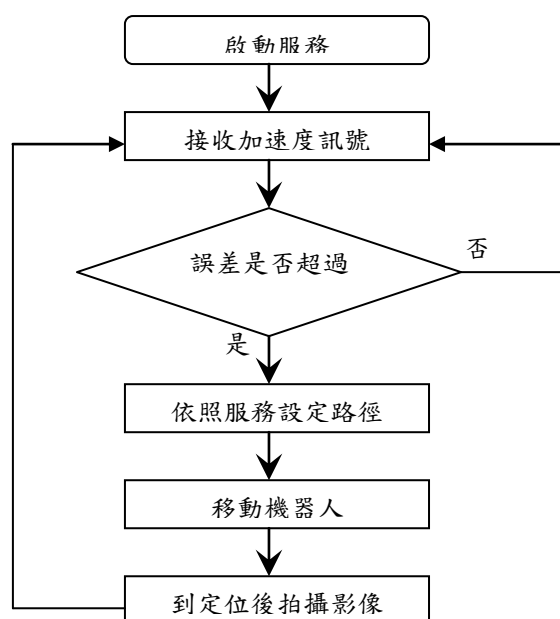


圖 5 服務機制流程圖

本系統偵測意外狀況的方法，利用加速計晶片圖 6 作為服務的主要感應器材，利用 RF 無線射頻來傳輸，電腦端也有一個相同的 RF 傳輸模組圖 7(a)，感應器持續的發出加速度圖 7(b)訊號到主電腦上，當接收到訊號判斷為發生疑似緊急狀況時，本系統會讓機器人停下手邊的任務，立刻前往狀況地點。

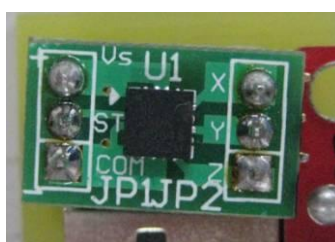
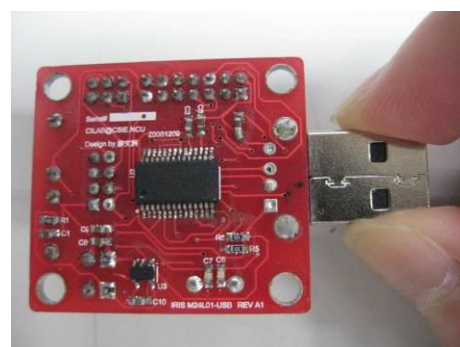


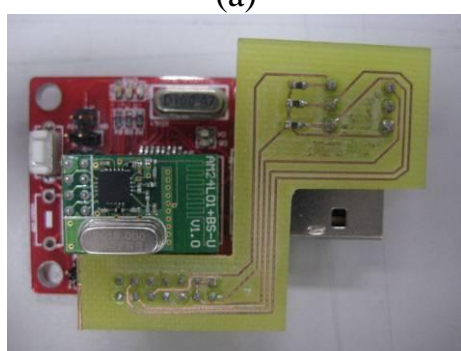
圖 6 加速度晶片



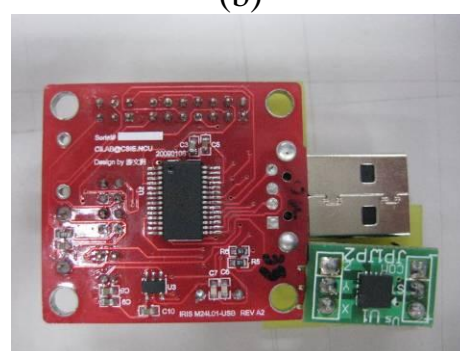
(a)



(b)



(c)



(d)

圖 7 無線接收模組(a)正面(b)背面，加速度訊號發送模組(c)正面(d)背面

本系統所使用的加速度計，可以分別取得三個維度方向的加速度值，加速度計內的電子元件，受到加速度的影響產生不同的電壓值，經過 RF 模

組上的類比數位轉換晶片，將類比的電壓值訊號，轉換而得到精細度為 16bit 整數的三個方向加速度值，一般的活動速度下，得到的加速度數值的範圍約在 400~700 之間。由於加速度計不易配帶的很正，穩定的在一個角度位置，加上跌倒的過程很多種，因此不適合以不同的方向加速度值來辨別，所以得到加速度值之後，以一個較為廣泛的特徵來判斷，利用下面公式 (1)，算出與前一刻加速度值之間高斯距離作為其差異值，觀察誤差值的變化作為發現意外狀況的依據。

$$D = \sqrt{(X_t - X_{t-1})^2 + (Y_t - Y_{t-1})^2 + (Z_t - Z_{t-1})^2} \quad (1)$$

為了預防老人在家跌倒之後，發生了意外導致無法起來，或是因為疾病的發作而跌倒，需要緊急觀察情況，於是本系統設計持續觀察老人腰部的加速度，將加速度計發送模組配戴在腰的左側方，如圖 8 所示。



圖 8 加速度發送模組佩帶圖

為了正確的分別一般活動和跌倒的不同，我們觀察各種活動的加速度差異，例如一般行走、上下樓梯、快走等。另外一般人行走移動的時候，除了地球的引力所產生的加速度之外，其他上下震動，走走停停的移動，本身硬體的雜訊，都會造成不穩定的加速度值。於是我們經過實驗，讓同學將加速度計配戴在身上，作走路、走樓梯、快走與坐下等一般正常發生

的行為，統計出一般正常的時候加速度值，其前後兩個值的差異大約在 5~15；另外也讓同學進行多次跌倒的動作，經過統計跌倒過程中的差異值約為 30~35，因此歸納出一個適合區分兩組數值的閾值 $K=25$ 。當系統得到的加速度值超過閾值時，則判定為發生跌倒意外，啟動機器人執行跌倒服務。

為了架構本系統的另一項服務，我們則觀察門邊緣附近的加速度，將加速度計裝設在門上方靠近邊緣的位置，如圖 9 所示。當有人開門的時候，門的邊緣會快速的做弧形移動，而門上的加速度值會產生巨大的改變。觀察到此誤差則判定為有人做開門的動作，系統則啟動機器人執行看門服務，移動機器人前往門的位置，面向門口取得近距離影像，以觀察門口狀況。



圖 9 門上加速度計

本系統規劃兩種狀況地點的取得方式，其一為事先在系統設定裝有感應器的特定區域，例如門口、床邊、客廳沙發、廚房瓦斯等，這些容易發生危險的地方。另外一個方式為，利用架在天花板的攝影機取得室內的整體影像，去掉事先準備的室內背景資訊以及當時的機器人影像資訊，運算出發生狀況的可能位置，再控制機器人前往有異狀的地方。

特定點的設定方式，由使用者在畫面上點選兩個點構成一個方向向量，此方向向量應指向此服務想要拍攝畫面的方向，而向量的終點也應為機器人要拍攝畫的需要停留的位置。例如要拍門口，則在稍遠處點選向量

的起點，在靠近門口處點選終點，則機器人將會由起點轉向並移動到終點，面朝設定的方向，位於設定的終點拍攝近距離影像。

異狀可能出現位置取得方式，在系統啟動的時候，取得當時的室內環境影像，轉換為 YCbCr 色彩空間之後，設定為室內背景資訊。當狀況發生時，將目前影像資訊與背景資訊色彩相減，再經過二值化，取得一個黑白影像。黑色區域判定為狀況發生的可能地點，算出黑色區域的重心，設定為服務路徑的終點，由於該位置上應該有物體，所以將路徑終點移到路徑與黑色區域邊界相交的點，為機器人停止並且拍攝近距離影像的位置。

3-2 機器人控制

我們使用由 Dr. Robot[13]公司所開發之 SCOUT 機器人，我們選擇此機器人因為上面立即配有攝影機，方便我們實現居家服務的功能。而機器人本身設計為利用無線網路來控制，這也符合目前分散式系統的主流，可以方便與其他系統結合。機器人可以在室內方便的移動，成為本系統完成服務功能的主要工具。

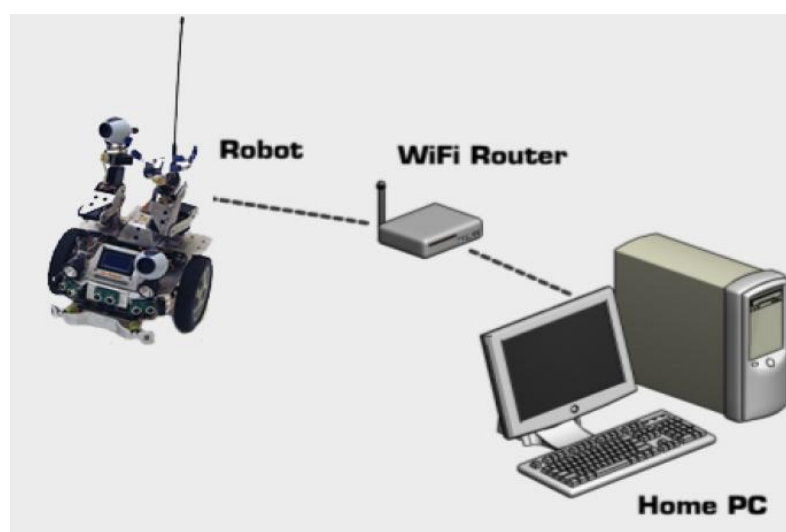


圖 10 機器人控制架構圖 資料來源：[13]

3-2-1 硬體設備

本系統使用 Dr. Robot 製造的 SCOUT 機器人，其為一台典型的三輪機

器人，圖 11 為機器人的正視圖案以及背視圖，機器人以前方左右兩輪為主要的驅動馬達，後方為一自由輪子以平衡整個機器人架構。

機器人主體的前方有三組超音波感測器，分別量測前方與左右約三十度角方向的距離；於機器人前方左右四十五度角處共配有兩組紅外線距離感測器，另有一組在機器人前端用來偵測車頭與地面距離，還有一組偵測正後方的距離。左邊的手臂上配有一個 CMOS 攝影機，本系統將用此攝影機來取得狀況的近距離影像。

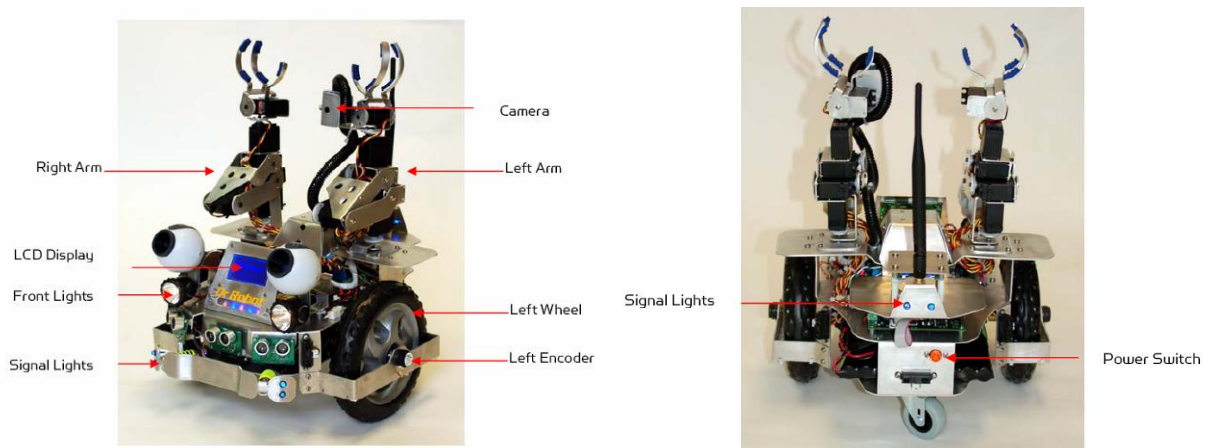


圖 11 SCOUT 機器人正面與背面圖 資料來源：[13]

機器人身上配有一塊主要的系統控制板 PMB5010 如圖 12 與 PMS5005，其功能為(1)控制機器人身上的所有馬達，(2)負責接收機器人身上的所有感應器的值，以及(3)提供對機器人身上的燈和 LED 面板輸出，其系統架構如圖 13。

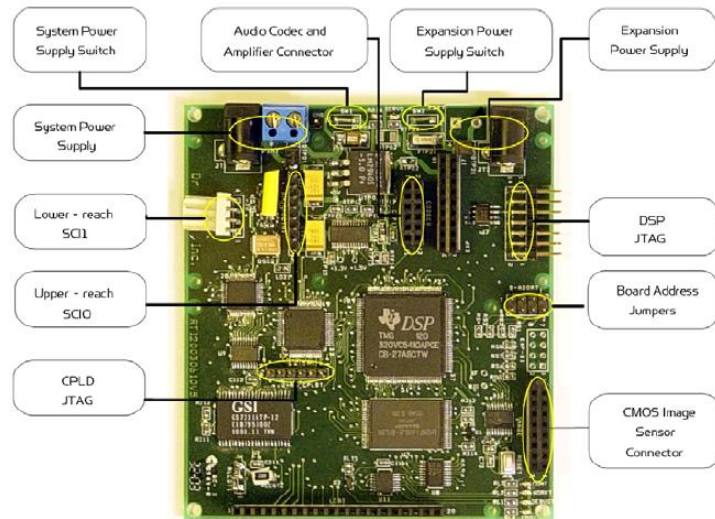


圖 12 PMB5010 控制版 資料來源：[13]

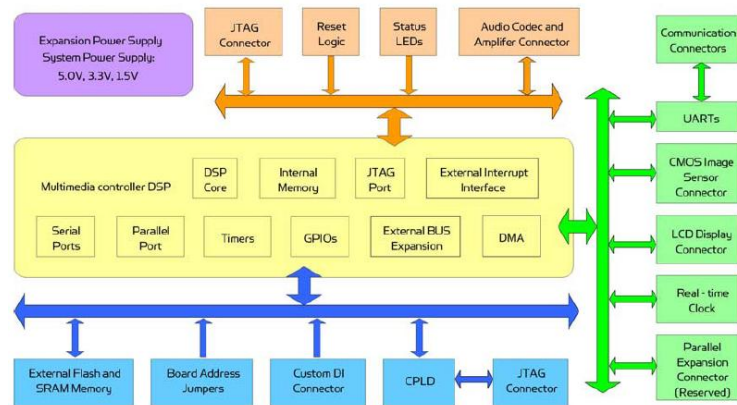


圖 13 機器人硬體運算架構資料來源：[13]

為了控制機器人，我們使用網路 AP 如圖 14 來架設一個區域網路，機器人和主服務端電腦皆為此區域網路下的點。機器人正後方的平台上配有無線網路卡模組如圖 15，此為本系統控制機器人的主要媒介，由於機器人移動範圍較大，我們更換較長的天線來加長可以控制的距離。而機器人擁有一個實體 IP 位置，分別透過不同的兩個通訊埠 200001、200002 與來兩塊控制板溝通，其溝通架構如圖 16。



圖 14 網路 AP



圖 15 無線網卡 資料來源：[13]

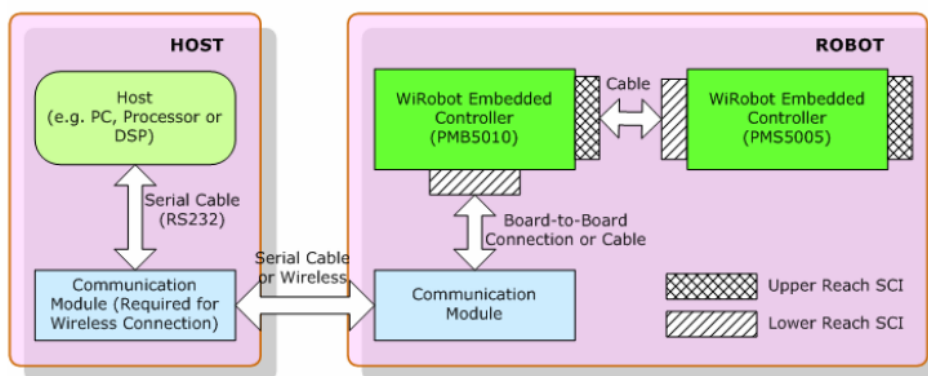


圖 16 溝通架構 資料來源：[13]

3-2-2模糊控制

在機器人控制方面，傳統的自動控制系統，必須先對機器人的運動狀態做分析，再建立系統的數學模型，利用回饋控制或微分方程等方式，設計出穩定狀態的 PID 控制模型，調整馬達的輸出，來驅動機器人移動到目的地。

模糊控制為近代發展相當普遍的控制系統，模糊理論起源來自於加州柏克萊分校的札德(L .A. Zadeh)教授，於 1965 年 Information and Control 期刊所發表的論文[9]，該論文將一些難以建立數學模型的模糊事件，利用模糊集合來討論，並用邏輯推論將系統特性進行描述。札德教授在 1973 所提出論文[10]中，解釋了人類的思維是存在許多不確定的思考，並非只有「是」和「否」兩種二元的回答。而人類的決策過程是採用「可能」的程度來組成人的思維。

模糊控制的方法，其主要特色可以定義模糊現象的領域，藉由基本的規則和推展成連續值的邏輯推論，進而由模糊的結果訂出最後的控制決策。模糊控制的基本架構如圖 17 所示，分為模糊化機構、模糊推論引擎、模糊規則庫、去模糊化機構四個部分。模糊控制的典型應用為倒單擺平衡控制，控制單擺的馬達使單擺可以穩定的維持直立在平面上。近年來也大量用在機械手臂、二足機器人、輪型機器人、車型機器人等相關馬達控制，而本論文將利用此模糊理論來控制機器人的正確移動。

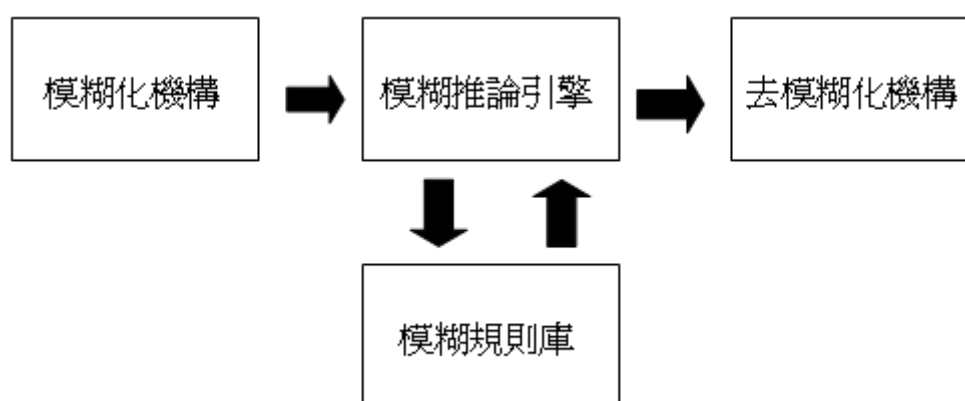


圖 17 模糊系統基本架構 資料來源：[25]

要控制機器人的移動，決定因素為移動的目的地，與機器人目前位置方向的關係，人類可以直覺的調整雙腳肌肉，判斷該如何施力移動身體，由於架構的不同，我們很難直接將人的經驗套用在機器人上面，因此難以

建立順暢的移動的控制模型。

模糊控制的優點在於，較為容易建立複雜的控制模型，一方面不需要精確的數學模型，同時也可以將人類專家的經驗與知識，與控制器的設計流程結合。可以藉由簡單的數學表示，還有語意式描述的模糊資訊，來描述要控制的系統，降低設計控制系統的複雜度。

機器人移動的方式為兩個馬達的輸出，當機器人要移動到不同的地方時，需要決定其兩個馬達的轉速，所我們建立的模糊系統來調整兩個馬達應有的轉速，進而控制機器人的基本移動。要控制兩輪的轉速，其控制因素直接與兩個向量有關係，所以輸入本應為兩個向量，其一為目前機器人的位置方向向量，由兩個標記圖形的位置來求得，由機器人尾部指向頭部；其二還要有要移動目的的方向向量，我們由輸入的目標點與輪子位置求得，由輪子指向目的，如圖 18。為了降低輸入的複雜度，我們固定機器人的方向，用兩向量的夾角與長度來描述兩個向量之間的關係；而同一台機器人，其方向向量長度不應有太大的變化，所以應輸入的資訊應為目標向量的長度。因此我們用目標向量的長度，以及目標向量與機器人向量的夾角這兩項變數，來替代兩組向量座標，成為控制系統的輸入。

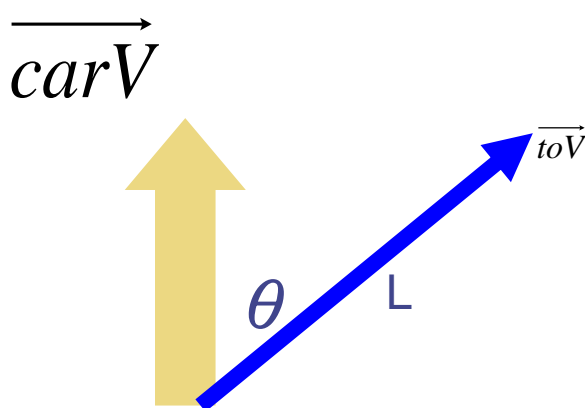


圖 18 機器人與移動向量

本系統所建立的模糊控制運算架構如下圖 19，其資料輸入有二維，分別為移動目的距離以及與車身的夾角角度，而以資料輸出有二維，分別為左右兩輪馬達的輸出轉速。

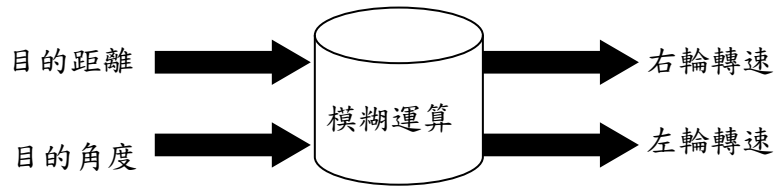


圖 19 模糊運算架構

輸入的部分，我們建立兩組模糊集合。本系統使用梯型的歸屬函數來設計系統模型，用公式(2)來建立每一個歸屬函數。

$$\mu_A(x) = \begin{cases} 0 & x \leq a \\ \frac{x-a}{b-a} & a \leq x \leq b \\ 1 & b \leq x \leq c \\ \frac{d-x}{d-c} & c \leq x \leq d \\ 0 & d \leq x \end{cases} \quad (2)$$

其中目的地的距離我們分為到達(R)、近程(N)、中程(M)、遠程(F)四個歸屬函數，如下圖 20。由於距離的單位為在影像處理時，所設計的空間轉化平面上的假想單位，而不同的房間中，路徑規劃所要求的每一個移動指令，最大值的範圍可能不盡相同，在歸屬函數的設計上，我們定影像的長度 320 為最遠距離量，超過的其歸屬值都以 320 來運算。

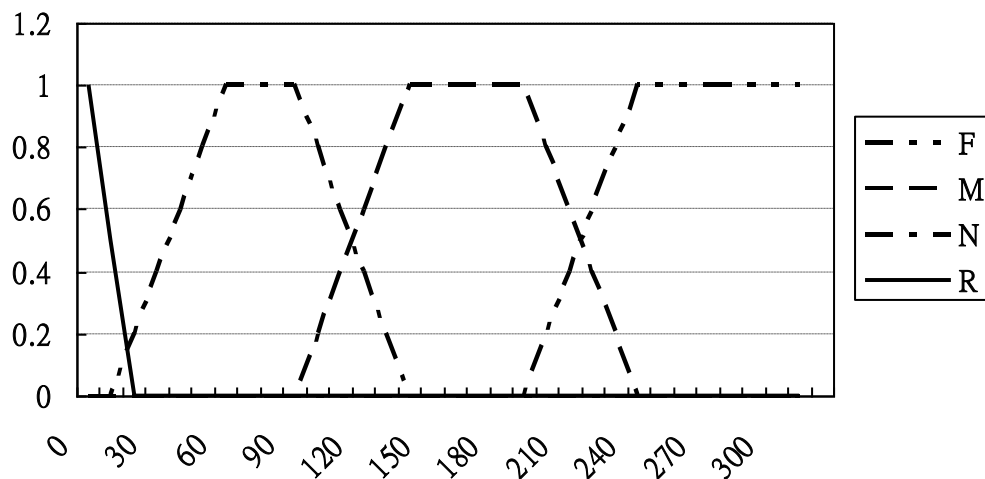


圖 20 距離歸屬函數

而角度則分為正前方(F)、左方(L)、右方(R)、左後方(LB)、右後方(RB)共五個歸屬函數，完整的模糊集合如下圖 21。角度範圍必定在 360 度之內，所以不會有數值超過定義域以外的問題。但是由於正後方 180 度與-180 度代表的意義相同，所以逆向的角度範圍只取到-179 度，將正後方歸類在右後方，避免在正後方的時候左右為難。

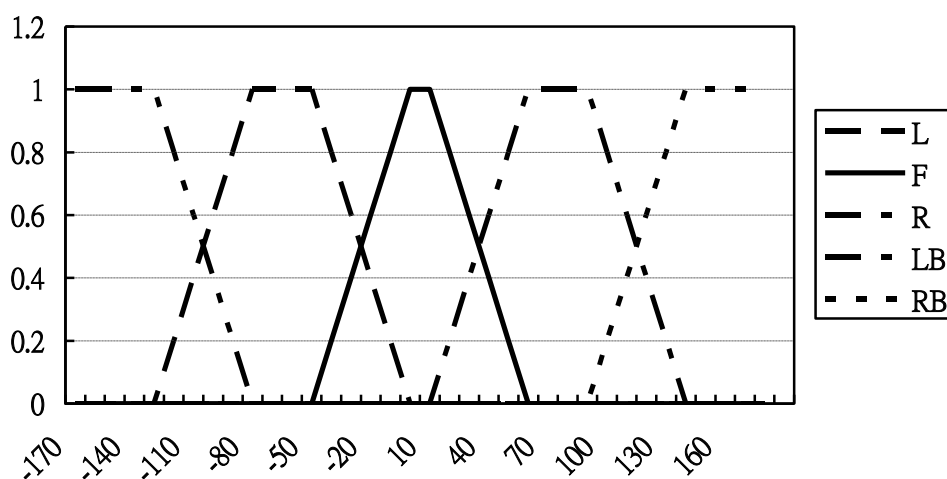


圖 21 角度歸屬函數

輸出的部分我們也利用公式(2)建立輪子轉速的模糊集合，套用在左右

兩輪皆相同，依轉速分為向前慢速轉動(FS)、向後慢速轉動(BS)、向前中速轉動(FM)、向後中速轉動(BM)、向前快速轉動(FF)、向後快速轉動(BF)以及停止轉動(S)，共分為七條歸屬函數如下圖 22。由於在室內移動，不適合太高速的衝刺，所以轉速的設計依照機器人控制板上，可以輸入的數值範圍調整，選擇較低轉速範圍的控制訊號。

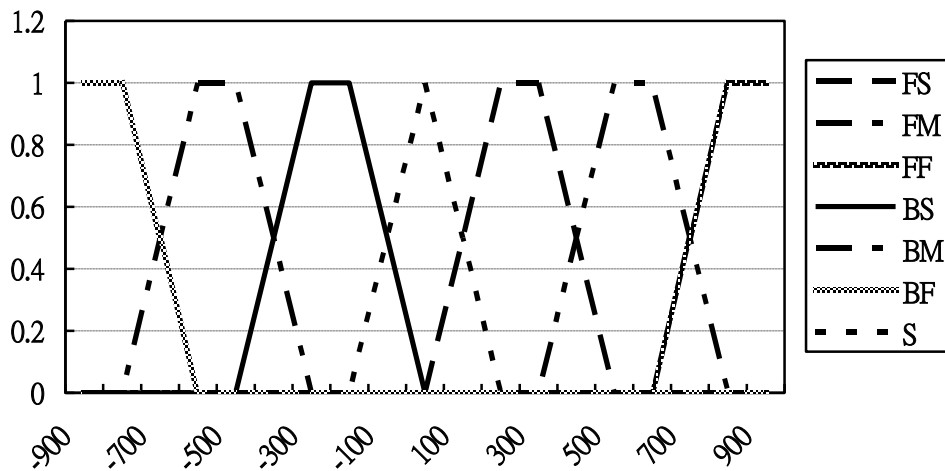


圖 22 馬達歸屬函數

我們使用語意式模糊規則來設計本模糊規則庫，先為右輪建立一組模糊規則庫，用來描述距離、角度和右輪速度輸出的關係，分別五個和四個模糊集合。本控制系統規則庫的規劃方式，憑藉一般駕駛經驗來設計。首先定義出符合停止的幾項條件，推展較接近的條件，將其結果定為輪子慢速轉動，依序規劃中距離和遠距離，而將正前方最遠設定為最快轉速，其他後方的條件其轉速設定都較為前方的條件慢一些。最後各種狀況的模糊規則庫內容如下列：

IF X is F and Y is LB, Then Z is FF
 IF X is F and Y is L, Then Z is FM
 IF X is F and Y is M, Then Z is FF

.....

.....
IF X is R and Y is RB, Then Z is BS

以上模糊規則庫共有二十條規則，歸納整理如下表 一；本模糊規則庫並沒有包含機器人後退移動，而除了前進的時候，左右輪的轉向相同之外，其他時刻左右輪轉速則為相反，所以我們左輪使用與右輪子對稱的模糊規則庫，整理如下表 二。

表 一 右輪的模糊規則庫

	LB	L	F	R	RB
F	FF	FM	FF	BM	BF
M	FM	FS	FM	BS	BM
N	FM	FS	FS	BS	BM
R	FS	S	S	S	BS

表 二 左輪的模糊規則庫

	LB	L	F	R	RB
F	BF	BM	FF	FM	FF
M	BM	BS	FM	FS	FM
N	BM	BS	FS	FS	FM
R	BS	S	S	S	FS

整個模糊系統的核心為模糊推論引擎，藉由近似推論或模糊推論模擬人類的思考決策，來解決複雜的問題模型。推論引擎由一連串的集合運算組成，模糊推論的運作過程，要先將每一條規則裡所對應到的所有變數集合做運算，利用模糊交集(t-norms)運算來比較單一規則的變數，依序得到每一條規則的結論；接著將前面所得不同規則結論的歸屬函數結果做加總，利用模糊聯集(t-conorms)運算來加總所有規則的結果，得到一個較為複雜的右(左)輪輸出的結果歸屬函數。本系統使用的模糊交集為取每一個量化值中，不同歸屬函數的最小值為結果，所以稱為 minimum 運算；而模糊聯

集則取每一個量化值中，不同歸屬函數的最大值為結果，所以稱為 maximum 運算。而整體推論引擎則稱為最大最小合成(max-min operation)，其數學的表示如以下公式(3)，而其詳細運作過程如下圖 23。

$$\mu_C(y) = \max_x [\min(\mu_A(x), \mu_{A \rightarrow C}(x, y))] \quad (3)$$

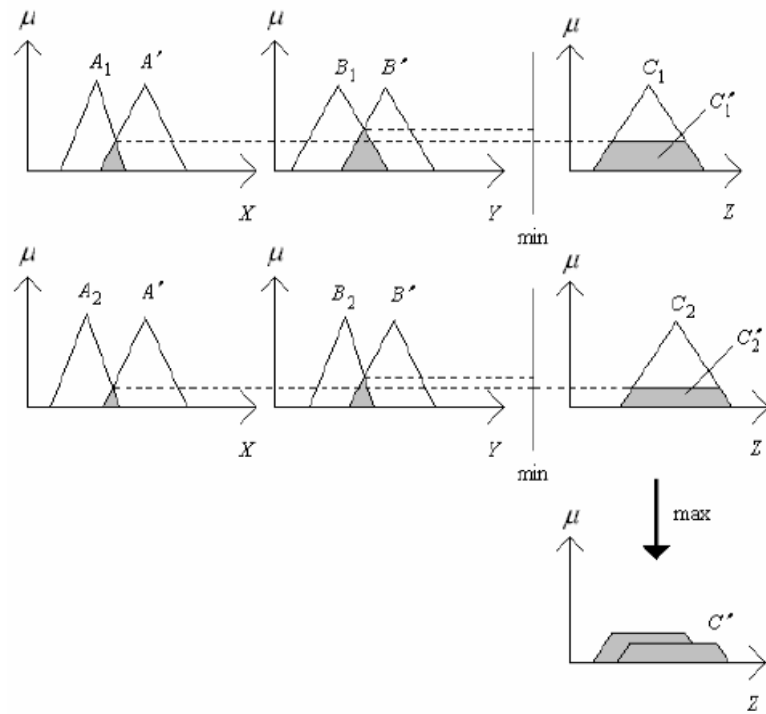


圖 23 最大最小合成推論

最後模糊系統所得到的結果要去模糊化，以得到一個明確的控制數值輸出，才得以控制左右輪馬達的轉速。本系統選擇較常用的重心法((center of gravity)來去模糊化，其公式(4)如下：

$$Z = \frac{\sum_{i=1}^k \mu_C(y_i) y_i}{\sum_{i=1}^k \mu_C(y_i)} \quad (4)$$

其中 $\mu_C(y_i)$ 是模糊後第 i 個離散點集合所對應的歸屬函數值， y_i 是模糊

化後第 i 個離散的點集合， k 代表的式輸出的量化數，馬達轉速的輸出本系統規劃為-900~900，每 100 取一個量化範圍，所以在此我們設定為 19 個量化數。

依此方法建立之機器人移動模糊控制架構，可以容易控制機器人之移動，也由於有到達這項歸屬函數，使得機器人大幅將低停止時候的打滑，而鏡頭也能順利對準狀況位置。

3-3攝影機導航

架構在控制機器人之上的，則是機器人的導航與路徑規劃，進而完成整個機器人的運動行為。目前導航與規劃路徑的方法，普遍會先建立移動區域的詳細地圖，再使用不同的演算法去決定路徑，再用各種不同的方法去規劃與導航機器人[2]-[6]。

而在居家服務內容中，特地去量測家裡實際詳細地圖，不是個方便使用者的介面。近來分散式系統發展蓬勃，特別是感測網路(sensor network)的流行也應用在機器人導航上面[7]，如無線射頻定位、藍芽定位、無線網路定位等方式，在各感應器之間導航機器人。此方法則需在家中的天花板架設許多的感測器。

本論文將採用分散式網路導航的概念，作為較簡單方便使用者使用的導航機制，結合攝影機環境的影像，提出一個在畫面上導航的方法。可直接與一般室內監視器做結合，簡化使用者建立詳細地圖的麻煩，也節省在室內佈置許多感應器的動作。

前面的章節已完成控制機器人直接移動的方式，為了讓機器人可以在室內空間完成服務任務，我們結合室內已經安裝的攝影機，一般室內攝影機在架設的時候，就會挑選可以廣泛看到室內各角落，而避開大部分的視線障礙的位置，藉由這項優點和既有的設備，本論文將利用攝影機建構一個機器人導航的方法。

機器人導航問題可分為兩個部份，分別為(1)機器人位置追蹤與(2)移動路徑規劃導航，有別於一般機器人定位和移動導航機制在自己身上運算，本系統利用監視整體室內環境的攝影機，在服務端主電腦端上完成位置追蹤與路徑導航這兩項主要任務。本節將依序介紹，本系統追蹤機器人的影像處理方式，以及室內導航的機制。

3-3-1 機器人追蹤

我們模擬一般室內監視攝影機，在房間的角落天花板上架設一台市面上販售的網路攝影機，以取得較大範圍的室內影像。為了方便得知機器人在室內的位置與方向，我們利用兩個圓形色塊來當標記，挑選鮮豔的色紙來當標記的材料，在一般室內光線之下，可以得到明確的特徵，不易受到雜訊或環境影響到其表現，而若要在夜晚的時間進行服務，則需要在室內開燈來辨識標記，這是系統適用上主要的限制；若使用可發光的特徵，例如 LED 燈光等，在夜間可以取得機器人位置，但還是會缺乏室內其他傢俱，或是老人的資訊，而在白天反而會因為日光燈的影響，特徵較為不清楚。

本系統用兩個標記來取得機器人的頭尾的位置，進而得知機器人的方向，我們利用事先定義好的形狀樣板來比對圖形的相似程度，藉由影像處理的方法在畫面中找到圓形色塊的正確位置，如圖 24。標記為接近 RGB 三色中的其中兩色，剪成圓形貼在另外做好的白色機殼上，成為機器人的新外殼，露出機器人前方，以使手臂上的攝影機可以正常拍攝前方畫面。



圖 24 機器人身上的圖形標記



圖 25 攝影機架設

在追蹤機器人的時候，我們選取顏色與形狀兩個主要特徵來辨識，因為此兩種特徵較為明顯，可以與大部分的物品區隔，其值也容易取得和判定。為了降低外在環境的干擾，在室內可能有相同顏色的物體，我們就以形狀來辨識，若有類似形狀的物體，我們則以色彩來區隔，以兩種特徵做交互判斷。其中演算法以顏色辨識為優先，過濾掉大部分的環境資訊，其次比對色塊形狀和樣板的相似度，確認機器人的確實位置。

由於攝影機的角度並非正向我們貼在機器人身上的識別圖案，而是掛在天花板的角落，斜向取得整個室內影像如圖 25，所以色塊在攝影機內會因為遠近有明顯的大小變化和稍微的形狀變化，為了能穩定的追蹤機器人位置，我們對色塊樣板作修正，使得樣板可以更接近在不同遠近時的形狀

和大小變化結果。而整體機器人位置追蹤的演算法架構如下圖 26：

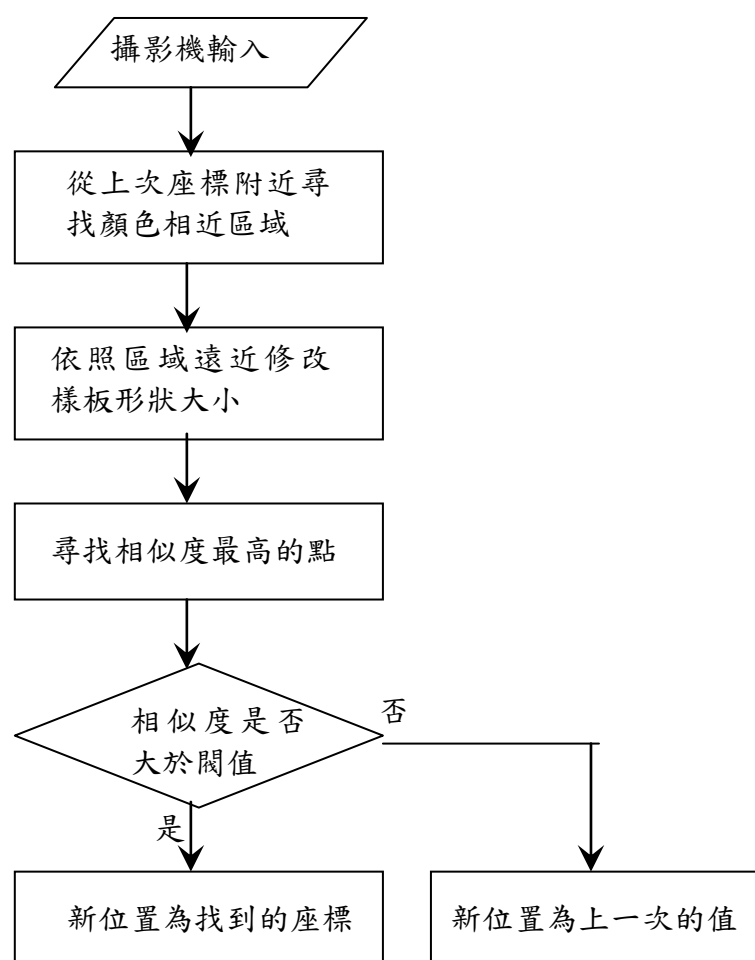


圖 26 機器人追蹤演算法架構

室內的環境較大，會因為光照明角度的關係，各角落的明暗程度不平均。而 RGB 色彩系統，將亮度資訊分別包含於 RGB 三個數值裡，相似的顏色的 RGB 值容易因為光的角度，數值有很大的變化，不易訂出顏色是否相似的判別條件。為了降低光線明暗的因素而影響到系統追蹤的效果，本論文將使用 YCbCr 色彩系統，其亮度資訊由 Y 來表示，而 Cb 、 Cr 則為色相資訊，在做比較顏色的相似時，可以以 Cb 、 Cr 兩個資訊為主， Y 的資訊也是判斷的條件，只是可以有接受較高的誤差，以降低光線的影響。本論文利用公式(5)轉換影像的色彩空間，由原本的 RGB 色彩影像轉換為 YCbCr 色彩影像。

$$\begin{cases} Y(x, y) = 0.299 \times R(x, y) + 0.587 \times G(x, y) + 0.114 \times B(x, y) \\ Cb(x, y) = -0.168 \times R(x, y) - 0.311 \times G(x, y) + 0.499 \times B(x, y) \\ Cr(x, y) = 0.500 \times R(x, y) - 0.419 \times G(x, y) - 0.081 \times B(x, y) \end{cases} \quad (5)$$

當已取得機器人位置之後，機器人因為移動速度有限，在下一個時刻不會出現在畫面中其他不合理的地方，因此本系統為了加快搜尋速度，從上次機器人座標附近，或是由使用者點出機器人起始位置，依照機器人的最大移動速度，選取一個下一刻機器人可能位置的範圍，此範圍為接下來後續處理的主要範圍，如圖 27 裡白色區域。



圖 27 搜尋範圍內的三值化影像

取得新的色彩空間影像之後，為了要簡化色彩比對的複雜度，針對搜尋範圍內各點色彩做三值化處理。主要分別找出畫面中與機器人前方色塊相近的像素點，以及與機器人後方色塊相近的像素點，還有與兩色塊都不相近的像素點。於是我們利用公式(6)對影像作三值化。

$$T(x, y) = \begin{cases} 0 & , else \\ 1 & , if -k \leq Cr(x, y) - Cr_1 \leq k \text{ and } -k \leq Cb(x, y) - Cb_1 \leq k \\ & \text{and } -3 \times k \leq Y(x, y) - Y_1 \leq 3 \times k \\ 2 & , if -k \leq Cr(x, y) - Cr_2 \leq k \text{ and } -k \leq Cb(x, y) - Cb_2 \leq k \\ & \text{and } -3 \times k \leq Y(x, y) - Y_2 \leq 3 \times k \end{cases} \quad (6)$$

其中 Cr_1 、 Cb_1 、 Y_1 為前方色塊標記的色彩值， Cr_2 、 Cb_2 、 Y_2 為後方色塊標記的色彩值。主要針對 Cb 、 Cr 值的相近程度來做比較，其數值在一定的誤差範圍內判斷為相同的顏色，經過實驗測試取得一個較為適用的閾值 k 來判斷相似度，由於亮度值 Y 可以接受的誤差範圍較大，則以閾值 k 的三倍來當新的閾值，用來判斷亮度值的相似度。在搜尋範圍內的三值化結果如圖 27 所示，其中白色區域為沒有相似色彩，綠色以及紅色分別為與頭尾標記色彩相似的點。

取得三值化的影像之後，在搜尋範圍內比對色塊的形狀。每一個色塊樣板皆為一個正方形大小不等的二值化圖形如圖 28，僅紀錄色塊在此方形樣板中，屬於該色塊的區域和不屬於該色塊的區域。



圖 28 比對樣板範例

從收尋範圍內，選取一個與樣板大小相同的範圍影像，利用公式(7)來取得在樣板中各點的相似度 $h(x,y)$ ，其中 $t(x,y)$ 為該樣板該點的布林值， $p(x,y)$ 為影像中該點的布林值。最後用公式(8)將所有的點得到的相似度值加起來，成為在影像中該區域與樣板的相似度 S 。

$$h(x,y) = \begin{cases} 1 & ,if\ t(x,y) = p(x,y) \\ -2 & ,else \end{cases} \quad (7)$$

$$S = \sum_{x=0 \rightarrow M} \sum_{y=0 \rightarrow M} h(x,y) \quad (8)$$

當有三分之二的樣板比對為正確時，所得到的相似度數值剛好等於零，於是我們以零為閾值，比對的結果必須大於零，才算有找到相似形狀的區塊，才將此記錄之相似度值列入比較。由左上從左至右、從上至下依

序尋找搜尋範圍內所有的點，相似度值最高的區域，定此區域為機器人前方或後方的位置，而方形區域的中心點則為其座標。

若範圍內都沒有相似度值為零以上的區域，就暫時當作沒有找到機器人，且暫時將機器人位置判定為沒有移動，維持上一個時刻的搜尋範圍，通常是因為有移動的物體正好從機器人與攝影機之間通過，則暫時停止機器人移動，等下次再度追蹤機器人正確位置時，再啟動機器人繼續完成任務。當系統過久時間沒追蹤到，則會重新對整個畫面搜尋。

3-3-2斜向修正

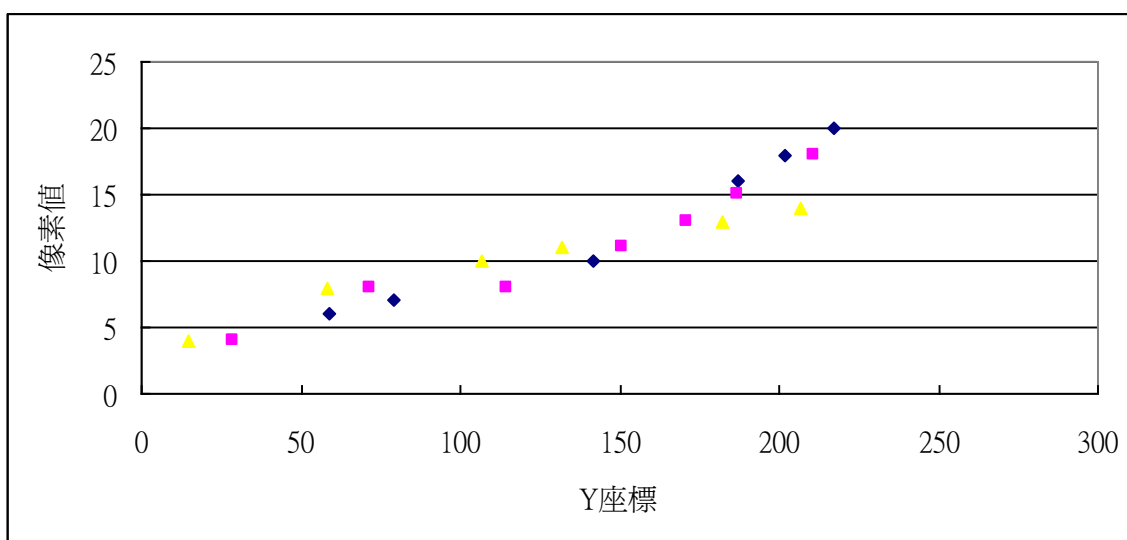
由於攝影機是斜向的掛在室內天花板角落，其畫面並非正向我們貼在機器人身上的識別圖案，圖案將不會是原本的正圓形，會因為遠近影響，變成不同程度的橢圓形。其橢圓大小變化之後，會與原本的樣板有很大的差異，因此很難比較取得正確的位置。

欲解決此問題，本論文用統計的方法觀察圖形標誌在影像中的變化，讓機器人在幾個較具代表性的位置上對圖形作取樣，拍攝十九張影像來觀察，記錄在每一各位置其圓形圖案高與寬的像素量，其統計結果如表 三。其中高與寬的單位為像素，抓取的方式為找出橫向與垂直方向，點最多的那一行或列，其長度即為高與寬；而圖形區塊的中心則為座標，用來描述每一個位置所代表的變化程度。

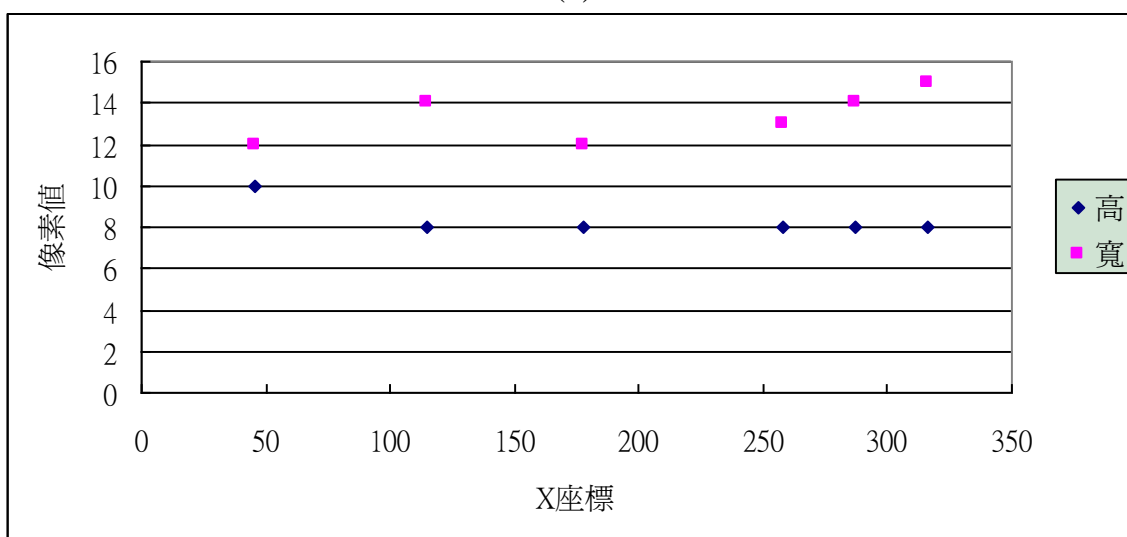
表 三 色塊標誌長寬統計

紅點	X 座標	Y 座標	長	寬	藍點	X 座標	Y 座標	長	寬
1	96	185	12	16	1	74	188	16	20
2	80	98	7	12	2	61	98	8	12
3	62	58	4	8	3	47	61	6	8
4	45	33	4	8	4	32	31	5	10
5	297	82	6	10	5	284	82	6	10
6	228	161	8	12	6	211	164	10	14
7	83	140	8	14	7	64	144	10	15
8	27	126	8	12	8	47	123	10	12
9	101	120	6	10	9	115	118	8	12
10	163	117	6	10	10	179	116	8	10
11	272	112	6	10	11	287	111	8	12
12	260	83	6	9	12	274	82	8	10
13	242	59	4	8	13	254	57	6	10
14	228	37	4	8	14	236	36	6	8
15	160	88	6	8	15	173	86	6	10
16	194	118	8	10	16	209	116	8	10
17	174	168	10	14	17	190	164	10	14
18	207	224	15	22	18	228	220	16	22
19	197	168	10	14	19	213	164	12	16

觀察與分析這些點資料代表的意義。我們取出 X 軸座標接近的所有點來比較，分別有在畫面的左中右三個區塊的三組比較資料，發現其大小變化與影像的 Y 方向值呈高度相關，如圖 29(a)；另外取出 Y 軸接近的所有點來比較，發現同一橫排的高與寬的值很接近，而因為 X 值位置不同而造成的差異甚小，如圖 29(b)。



(a)



(b)

圖 29 XY 數據比較

根據這些觀察結果，我們假設色塊的高與寬的長度變化比率為 Y 的函數， $h'(Y)$ 及 $w'(Y)$ 。而紅色與藍色圖形的大小雖略有不同，但是其在 Y 方向的變化比例，兩個顏色的變化曲線幾乎相同，所以推測可以依照相同的變化比率來調整樣板。

我們將所有點資料畫出其 $y-h'$ 以及 $y-w'$ 的關係圖，分別利用線性方程、二次多項式、三次多項式、四次多項式、五次多項式、六次多項式、乘冪函數、指數函數及對數函數等回歸曲線，分別用來逼近影像 Y 方向值與高

度變化以及寬度變化的相關性，我們利用以下公式(9)與(10)來計算估算曲線以及輸入樣本的相關程度，若數值越接近 1 表示樣本與曲線相關度越高，這些樣本越能用該曲線來表示。

$$S_{xy} = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y}) \quad (9)$$

$$R = \frac{S_{xy}}{S_x S_y} \quad (10)$$

這裡的 XY 分別為樣本與曲線的值。其結果如表 四，發現以多項式的趨勢最為接近，而其中三次多項式回歸曲線即可以得到一個相當接近的結果，而四次以上的回歸曲線雖然可以更逼近統計結果，但是相關度與三次回歸曲線接近，所以本系統選擇僅使用三次回歸曲線。

表 四 不同回歸曲線結果

函數類型	相關度 R^2
線性	0.6943
二次多項式	0.9195
三次多項式	0.964
四次多項式	0.964
五次多項式	0.9741
六次多項式	0.9741
乘冪	0.5264
對數	0.4479
指數	0.7599

由於欲推估整個 Y 軸的曲線，我們僅需要再不同的 Y 軸位置上高與寬的資訊，即可分別推估出整條曲線，而輸入的點其 X 軸為何並不影響，所以任意取得數個不同機器人位置的影像，點選同一種顏色的色塊資訊作為輸入。本論文將取得約十餘張機器人位置影像，利用三次多項式回歸曲線來逼近，取得一個相對於影像各 Y 值的放大比例推估曲線，其推估的結果如下圖 30。

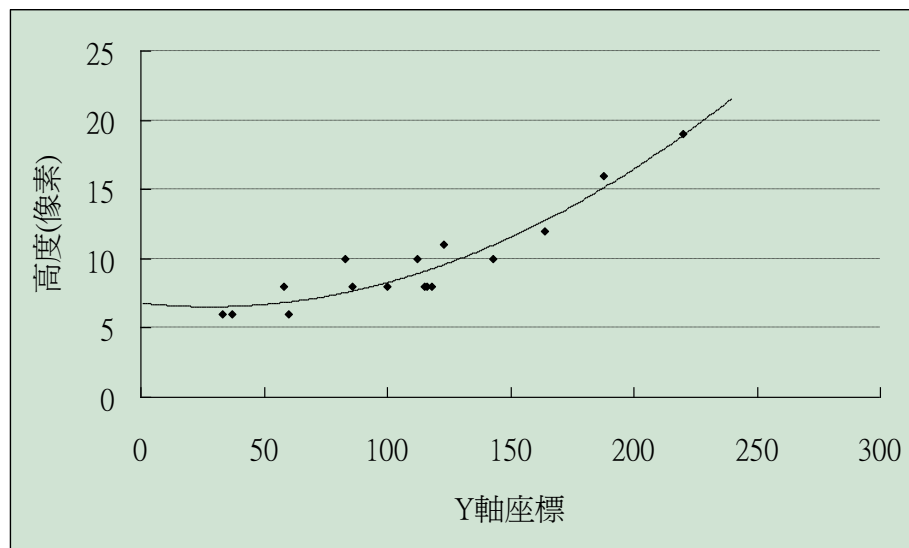


圖 30 三次多項式迴歸

針對此曲線將放大比例等分為六個區塊，將使得影像的 Y 值切割為六個區塊，此六個區塊作為搜尋時選擇不同樣板的分界。於是依照區塊內的最大放大比例調整樣板，製作出六個不同大小的新樣板，分別對應此六個區塊，當搜尋不同區塊時就用不同大小的樣板，如圖 31。

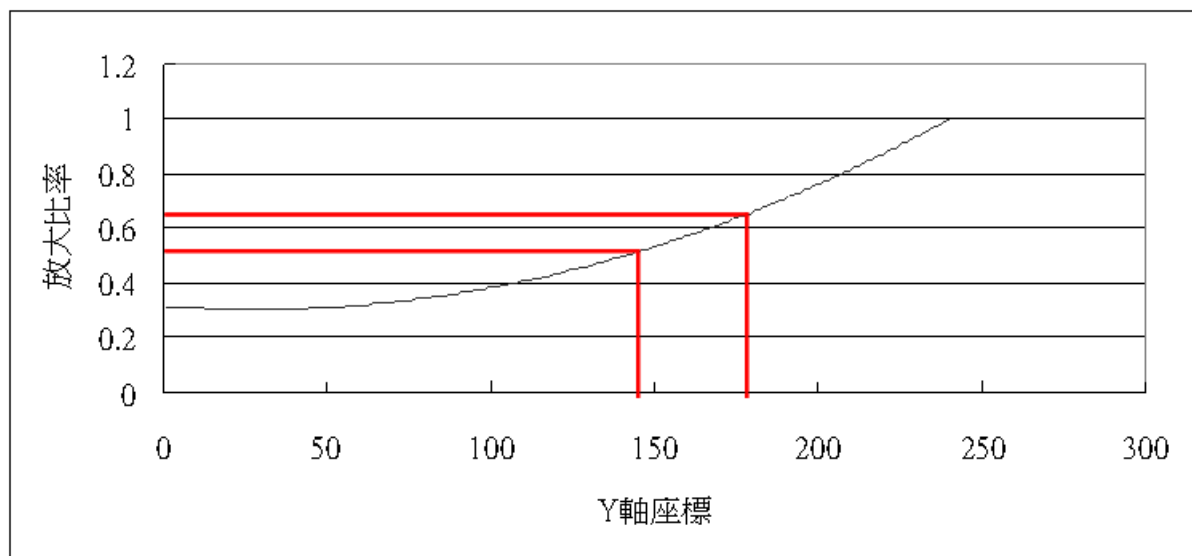


圖 31 分割收尋區塊

如圖 32 可以看到在不同位置，兩個搜尋樣板的黑色框框大小皆有所改變。例如(a)此時維持原本的樣板大小，追蹤到機器人的位置；(b)樣板縮小一點點，其形狀較為橢圓；(c)樣板縮的更小，形狀變得更扁。

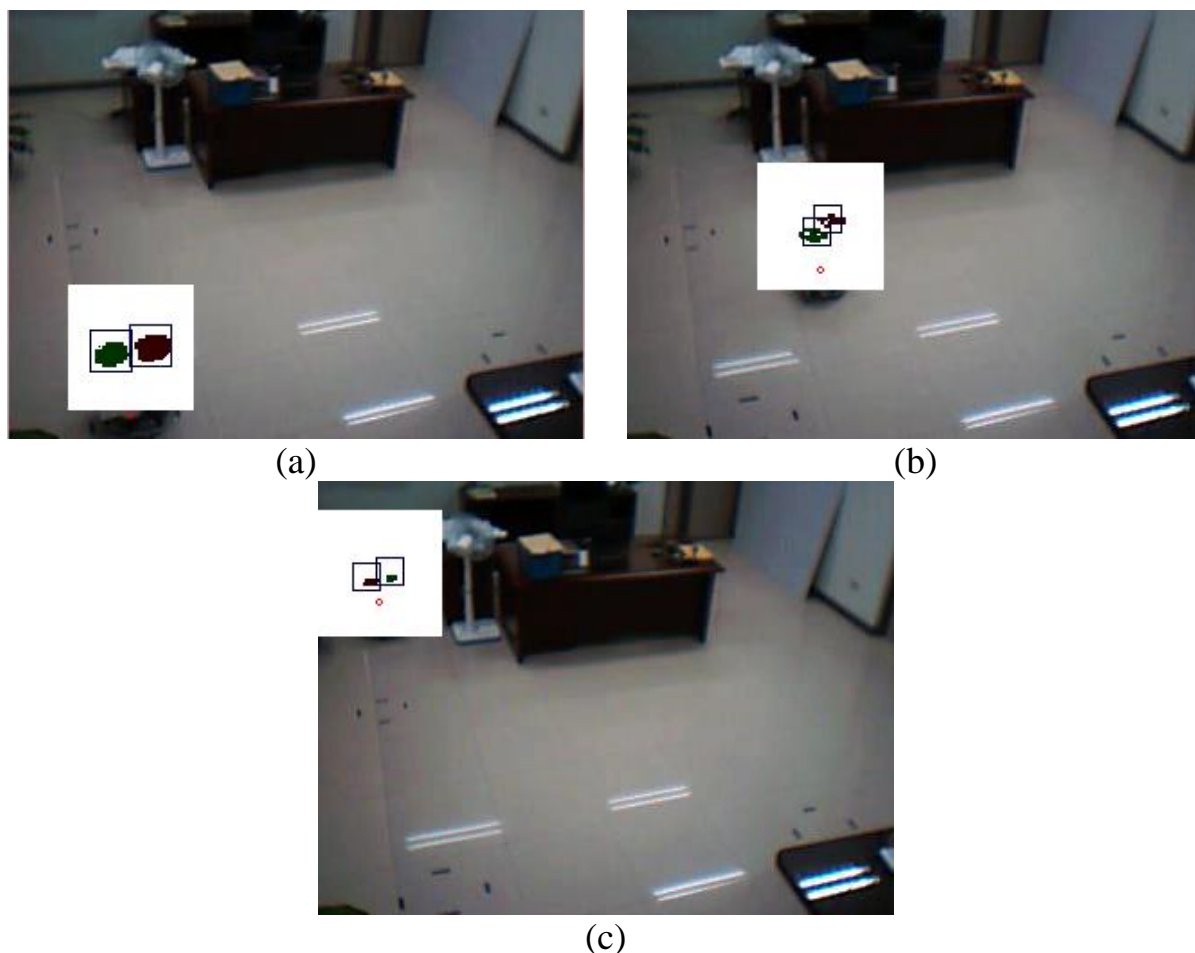


圖 32 搜尋樣板在不同位置的大小

穩定追蹤到機器人頭部與尾部位置之後，由於為高度斜向視角的關係，機器人所在位置並非兩個標記的中點，需考量機器人高度因素的影響，估算機器人的高度找到地板上對應的點。機器人在畫面中的高度，亦會因為攝影機角度的關係，在遠近不同的位置，會有高低的變化，因此我們利用上面所得到的推估曲線，標出機器人輪子的位置，如上圖 32 中紅色的圓圈標示的位置。

為了降低移動距離跟角度因為遠近因素，造成運算上的誤差，導致機器人需要多次的修正其移動方向。本論文參考前面所求得的 X 和 Y 方向放大比例，利用公式(11)來分別調整影像上所有點座標的 X 和 Y 值。

$$\begin{aligned} x'(y) &= \left\lfloor val_w(y) \times \left(x - \frac{W}{2} \right) \right\rfloor \\ y'(y) &= \left\lfloor \sum_{t=Y}^{y'} val_h(t) \right\rfloor \end{aligned} \quad (11)$$

其中 $val_h(y)$ 與 $val_w(y)$ 為上面取得的高度與寬度變化曲線，W 為影像的寬度，座標系以影像的正中間下方為原點。使所有的點都對應到一組新的座標系，使該座標系可以逼近室內地面上的座標系。利用此一座標系的結果，讓主服務端電腦在控制機器人時，可以取得較為恰當的移動角度與速度。

3-3-3 導航機制

由於家裡的空間，普遍不會太複雜，以大型障礙物為主，所以我們選擇不為了每一個房間建立一個明確詳細的地圖，也方便使用者可以快速直接在影像上面控制，所以我們設計直接在影像畫面上導航的方法，本系統的導航機制架構圖如下圖 33。

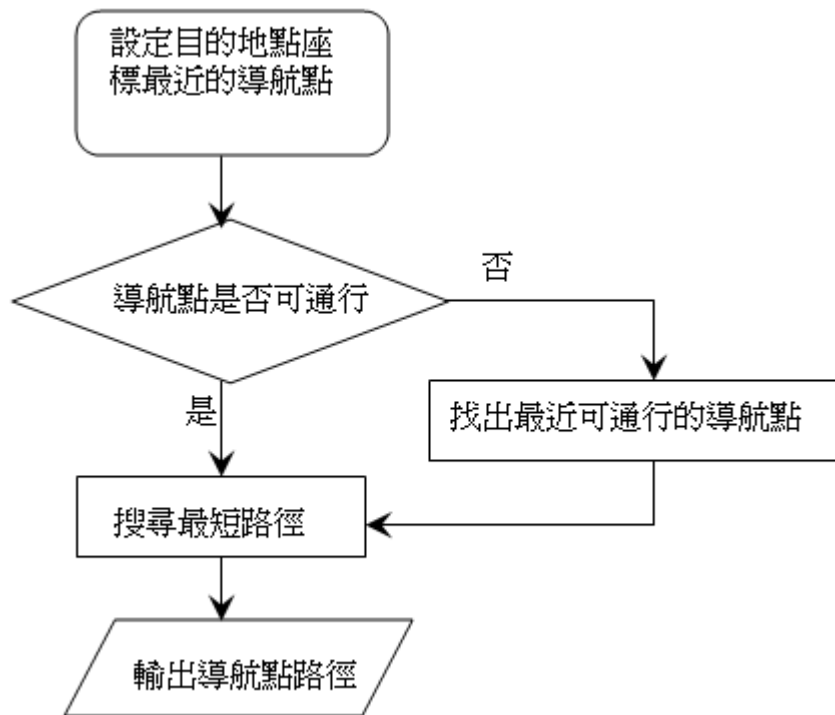


圖 33 導航機制架構圖

我們在影像上面建立導航點如圖 34，使導航點平均散佈在房間中，由使用者設定每一個導航點是否可以通行，綠色的點代表設定為可通行狀態的導航點，紅色的點代表不可通行的導航點。網格狀的導航點設計，點只與八鄰居的其他點為連通，點和點之間的距離為固定的值，都假設為最短且距離 1，而斜方向的點距離則為 1.414，將導航點設計為網格架構，可讓路徑規劃的演算法較為簡便。



圖 34 導航點狀態圖

此導航點架構可隨時因為家具移動，或是其他原因而改變其是否可以通行的值，不必複雜的重新繪製完整的地圖，讓使用者能更簡易直覺的使用。使用者在設定的時候，直接在選導航點上按滑鼠右鍵即可將導航點設定為可通行，在點上按滑鼠左鍵可設定為禁止通行，另外有範圍設定功能，在兩個點上分別按下左鍵或右鍵，即可將兩點之間的所有導航點，設定為禁止通行或可以通行。

當服務啟動之後輸入目的地座標，或是使用者點擊影像畫面控制機器人前往目的，系統會先找尋離輸入座標最接近的導航點，設定為路徑的終點。本系統可以開啟人性化的協助功能，若是不小心點到障礙區，會自動找尋距離最近的一個可通行的導航點作為路徑的終點。為避免機器人太接近容易撞到障礙物，有時候會將禁止通行的導航點設定多一點，讓可通行的導航點距離障礙物遠一點，若機器人不小心中太靠近障礙物，而被判定為身在障礙區的時候，會移動往最近的可通行導航點。

我們使用傳統的搜尋最短路徑演算法 Dijkstra's algorithm[1]，此演算法可求出單一點到其他所有點的最短距離，並且求出其路徑。計算幾何圖學的發展，有更多的路徑規畫運算方法，例如 convex hull 等，由於本系統的導航點設計，已經將導航節點的圖形極簡化，為簡單的整數點，使得 Dijkstra's 演算法省略了許多運算，略為修改之後，可以相當的快速求得一個正確的路徑。本系統設定新輸入的點為源頭開始尋找，標示出源頭到附近每一個點的距離，當找尋範圍包含機器人目前的點，或是路徑排程中最後一個目的地的導航點，則完成此段新的路徑規劃，回溯找出一個導航點序列。

Dijkstra's algorithm 的主要概念是只要每次加入新的點為距離目前已知集合最近的點，這樣加入一個新的點之後的新集合依然會是最短路徑集合。其演算法如下：

```

DIJKSTRA ( G, w, s )
1  INITIALIZE-SINGLE-SOURCE ( G, s )
2  S  $\leftarrow$   $\phi$ 
3  Q  $\leftarrow$  V[G]
4  while Q  $\neq$   $\phi$ 
8      do u  $\leftarrow$  EXTRACT-MIN ( Q )
6          S  $\leftarrow$  S  $\cup$  { u }
7          for each vertex v  $\in$  Adj[u]
8              do RELAX ( u, v, w )

```

首先剛開始的時候，已知集合 S 只有起始點，而其他的點皆為剩餘點 Q ，將依序從剩餘的點 Q 中挑選出距離 S 最短的一個點 u ，納入目前已找到答案的集合中，成為新的已知最短路徑集合 S ，再針對新加入點 u 的所有邊 $Adj[u]$ 去修正其與 u 有相鄰的所有點 v 新的距離，一直重複直到目的地的點納入已知答案集合。

由於導航點之間的距離固定，所以本系統在實做上面的演算法時，並不需要記錄和修正各點的距離，只要標示新增點之後的連結狀態，以供演算法回溯找出路徑用。按照上面的最短路徑演算法，我們可以取得一個導航路徑序列。我們再依序比對前後兩組導航點的連線方向是否相同，若相同則將中間的導航點從路徑序列中刪除，化簡直線路徑上的所有導航點，最後將得到一個只有轉折導航點的序列。其簡易演算法如下：

```

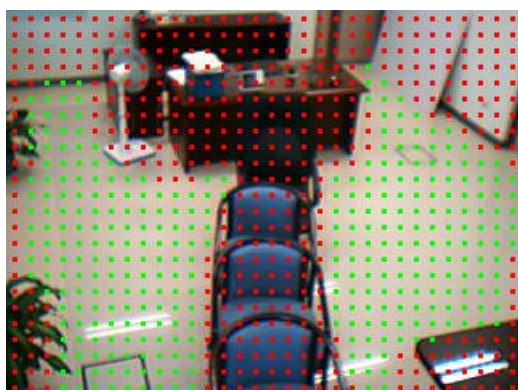
REDUCTION ( P )
1  for each  $P_i \in P$ 
2      while direction of ( $P_i$  to  $P_{i+1}$ ) and ( $P_{i+1}$  to  $P_{i+2}$ ) is the same
3          Delete  $P_{i+1}$ 

```

當使用者用滑鼠左鍵點擊影像畫面時，系統將會清除之前的所有路徑，設定目前點的點為目標，進行路徑規劃；用滑鼠右鍵點擊畫面時，系統會將該點新增在原本的路徑之後，當之前的任務完成之後，就會走向新指定的目的地。

導航過程中，機器人可能因為打滑，或是其他因素而偏離原本規劃的路線，由於攝影機會一直追蹤機器人的最後位置，在新的位置利用模糊控制系統，不斷的修正給機器人移動指令，使機器人可以延的路線移動，完成正確的移動任務。

若目的地的導航點與機器人位置的導航點，雖然都可以通行，但是中間並不相連，如圖 35(a)。左邊和右邊的綠色導航點之間的區域，隔著椅子成為紅色的導航點，而在長椅背後可能有機器人可移動的空間。



(a)



(b)

圖 35 中間不相連的地圖

此時系統會找尋兩邊可通行點，最短距離的兩個可通行點，並假設這兩點可以相通，而規劃一條經過紅色區域的路徑，如圖 35(b)，線條有圓圈的一端為機器人目前要移動的位置，而另一端為最後機器人的目的，中間則穿越了椅子的背後，以降低視角的影響。

第四章 系統實驗結果

為了測試系統的功能，還有是否能順利完成任務，本論文在資工系的系館辦公室裡面，模擬一般家庭使用環境，我們在天花板的角落架設一台羅技的網路攝影機，使攝影機的視角可以幾乎涵蓋整個室內環境，避免過多的死角。室內的辦公桌和椅子，則模擬為一般家庭內的障礙物桌椅，而將門模擬為客廳大門。

本章依序為系統的基本移動及巡邏功能做測試實驗，以及分別測試老人跌倒服務、門口警衛服務的結果。每一個實驗都將重複測試機器人，在不同的起始狀態，統計多次機器人移動的結果，來評估系統的穩定度。

4-1 系統基本功能

本系統的最基本功能，為可以簡易的驅動機器人在室內來回繞行巡邏，也可以由遠端的使用者控制機器人，並且取得室內的近距離影像。本論文測試基本功能的方法為，在室內的環境中任意放幾張椅子做為障礙物，而在室內挑兩個點作為起點與終點，在起點與終點以黑色膠帶圍成方形框框標示，如下圖 36 目的區塊範圍大小為 35cm*30cm，此大小約為機器人機身左右輪之間的寬度。



圖 36 黑色方框

此節將做兩個不同的測試實驗，(1)機器人的移動測試，(2)機器人的來回巡邏測試。此兩組測試實驗，分別探討機器人是能順利避開不同位置的障礙物，並且到達指定的位置，以及順利的持續在兩個位置之間巡邏，除了可以到達目的地，還要能回到起始位置。

4-1-1移動測試

作移動測試時，我們將機器人移動到左上方牆壁附近，在室內擺放幾張椅子作為障礙物，預期機器人可以繞過椅子，到達右下方的桌子旁邊如圖 37(a)，而其中(b)為攝影機的室內俯視影像，可以看到椅子和黑色方框的位置，還有導航點的狀態。綠色的導航點代表該點可以通行，紅色則為不可通行之導航點。

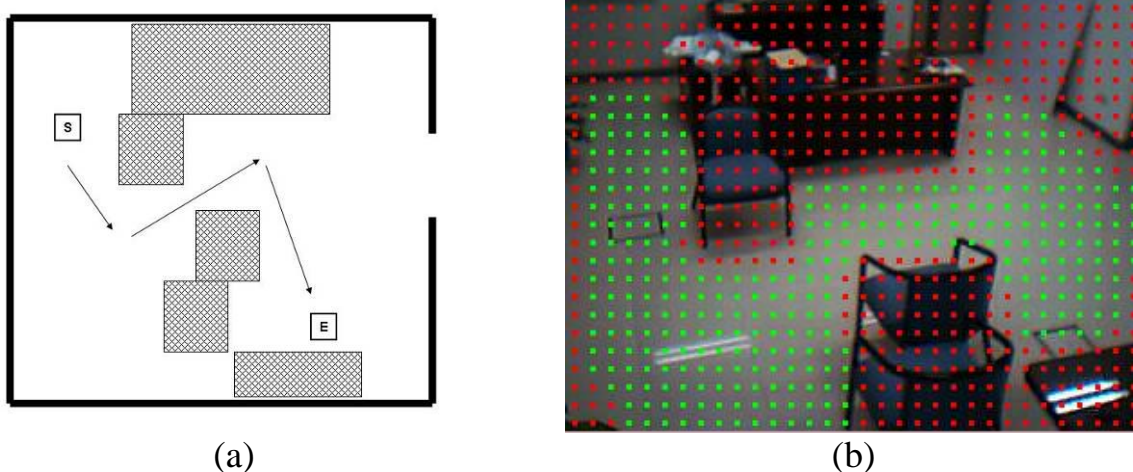


圖 37 移動測試實驗(a)實驗圖(b)攝影機影像及導航點狀態

而其執行其行走成果如下圖 38。(a)一開始機器人於起始點的黑色方框中，方向朝向後方牆壁；(b)機器人轉正之後，向前移動至超過椅子可以繞過的距離，轉向要穿越椅子中間的方向如；(c)機器人穿過兩椅子中間的空間，朝室內右方移動；(d)機器人繞過椅子之後，轉向朝目的地移動；(e)路上已經無障礙物，機器人直線朝目的地移動；(f)機器人將機身停入黑色方框中，完成本次移動任務的測試。



(a)



(b)



(c)



(d)



(e)



(f)

圖 38 移動測試連續圖

經過多次的實驗，每次都將機器人擺放在黑色方框內，隨機使其朝不同的方向，統計結果如下表 五。共執行 40 次測試實驗，其中有 33 次完整的走入黑色方框中，並且正確停止，正確率約為 82.5%；有 5 次未走到黑色方框就停止了，其主要原因為，在畫面中點選的時候，可能點在黑色方框邊緣或是略偏了位置，所以導致對於停止的判定並非在黑色方框內；其中

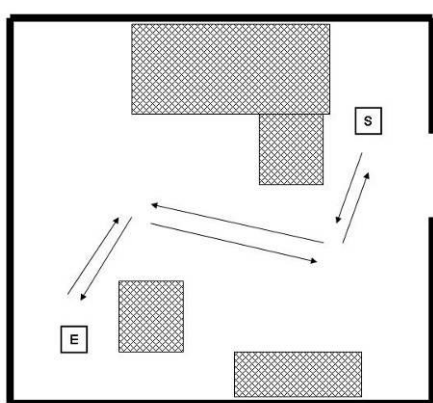
中途撞到障礙物，主要原因為機器人轉向過多，移動的時候左輪撞到左上方的障礙物；而超過方框未停止，主因為機器人位置判斷錯誤。

表 五 移動實驗結果

結果	次數
完整到達方框內	33
中途撞到障礙物	1
超過方框未停止	1
未到方框已停止	5
	40

4-1-2來回巡邏測試

我們更換了障礙物椅子的位置，調整機器人起始方框位置在由上方，而終點方框位置則移到右下方，進行來回巡邏的移動測試。室內配置如下圖 39(a)所示，而(b)為攝影機所取得的室內俯視圖，以及使用者點選的導航點狀態。



(a)



(b)

圖 39 來回巡邏的測試實驗(a)實驗圖(b)攝影機影像及導航點狀態

其執行的過程如下圖 40。(a)機器人移動於起始的黑色方框內；(b)向下移動至可繞過椅子的距離之後，轉動機身將繞過椅子；(c)繞過右上方的椅

子，轉動方向準備穿越兩椅子中間；(d)穿過兩椅子中間之後，繼續向左移動；(e)接近終點黑色方框時，轉向朝終點方向移動；(f)到達終點之後，將機身方向轉回，準備移動至起點黑色方框；(g)向上移動並且準備繞過左下方的椅子；(h)再次穿越兩椅子中間；(i)繞過右上方的椅子之後，轉向朝起點黑色方框移動；(j)回至起點黑色方框內，完成本次來回巡邏任務的測試。



(a)



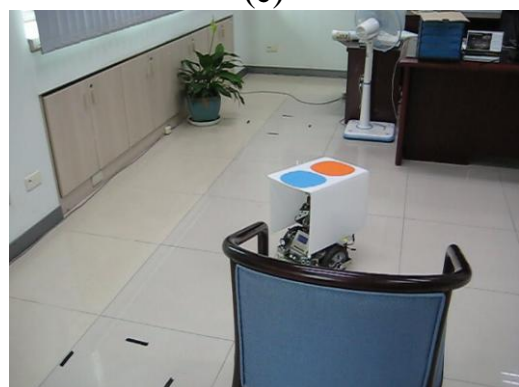
(b)



(c)



(d)



(e)



(f)



(g)



(h)



(i)



(j)

圖 40 來回巡邏測試連續圖

經過多次的實驗，每次都將機器人擺放在黑色方框內，隨機使機器人朝不同的方向，統計結果如下表 六。其中有 41 次成功的來回在兩個黑色方框內移動，正確的在終點黑色方框迴轉，以及正確停止在起點黑色方框，本實驗的正確率約為 82%。；前往終點的過程幾乎沒有出現問題，主要為有四次在壓到黑色邊框的時候就轉向回頭，此問題也主要因為人為點位置的時候，有所偏差點到黑色方框邊緣所致；回來時有兩次因為機器人轉向過多，導致左輪撞到右上角的椅子而卡到；由於回來的起點在攝影機畫面中較小，比較不容易點到其他導航點的位置，所以未走到方框的次數相對較低，只有兩次；而超過方框未來停止也是主因為機器人位置的判斷錯誤。

表 六 巡邏實驗結果

結果	次數
完整到達兩個方框內	41
回程撞到障礙物	2
回來超過方框未停止	1
回來未到方框已停止	2
沒到終點就回頭	4
	50

4-2實驗 1：老人跌倒看護

4-2-1跌倒偵測

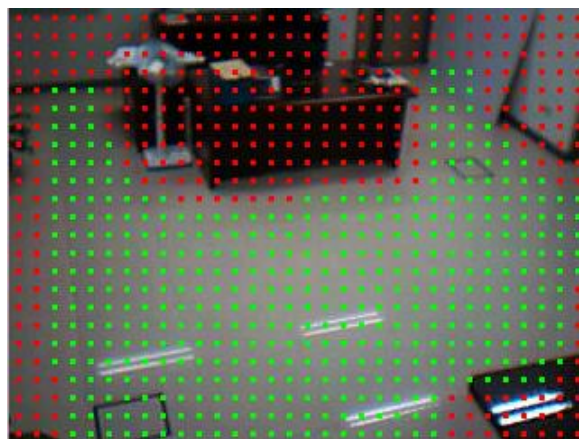
本系統將加速度偵測器裝設在老人身上，當老人在室內發生意外而跌倒的時候，利用事先取得的背景畫面，去掉背景資訊以推估老人的位置，立刻前往老人跌倒的地方。本論文的測試方法，由同學穿戴加速度偵測器於腰間，陸續再不同位置跌倒，將統計機器人停下來後，正確拍攝到跌倒的同學圖 41 身上的正確率。



圖 41 機器人拍攝的人跌倒影像

4-2-2機器人服務結果

實驗時，將機器人放置在隨意的地方，而同學也在不同的地方跌倒，做此實驗的時候，我們不放椅子在室內空間，以測試較多不同的跌倒還有機器人位置。其室內環境和導航點狀態如下圖 42。



(a) (b)
圖 42 服務實驗(a)攝影機影像(b)導航點狀態

本次實驗將機器人移動往右上方，而同學在左邊牆腳跌倒，實驗過程如下圖 43。(a)機器人本來要移動往右上方，此時同學跌倒，系統判定加速度值超過閾值，啟動跌倒服務；(b)找出跌倒位置之後，機器人停止之前的指令，轉向朝跌倒的位置移動；(c)接近同學跌倒的位置；(d)到達跌倒的同學旁邊，進行近距離影像拍攝。



(a)



(b)



(c)



(d)

圖 43 老人跌倒測試連續圖

我們在室內選取六個不同的地方讓同學跌倒，如圖 44 所標示的 A~F 六個地方，也分別在這六個不同的地方放置機器人，觀察比較不同的地方組合，所以每次的跌倒都測試機器人從五個不同的地方出發，測試系統的穩定效果。

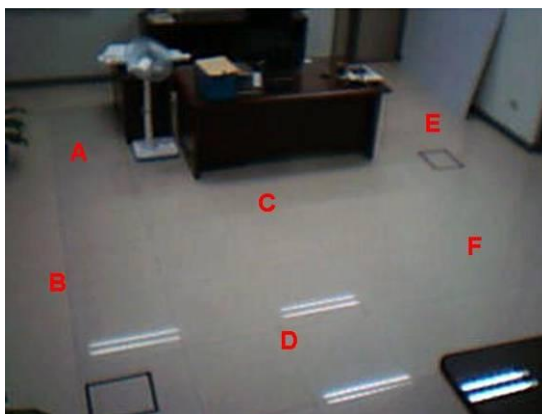


圖 44 測試位置標示圖

本服務的實驗結果如下表 七，機器人的起始位置以大寫英文字母表示，同學的跌倒位置以小寫的英文字母表示，測試的內容不會把機器人跟跌倒在同個位置，所以每一個機器人起始位置或跌倒位置都為十筆測試資料。根據實驗觀察，機器人大多可以很穩定的移動到同學附近，並且拍攝到同學的影像。其中跌倒的位置 e 在室內的轉角處，機器人由 A 出發，會經過 C 到達 e 附近的時候，可能會轉向過多導致機器人面向桌子，而無法取得人形影像。

表 七 跌倒實驗結果

跌倒 機器人	a	b	c	d	e	f	all	正確率
A		2/2	2/2	2/2	1/2	2/2	9/10	90
B	2/2		2/2	2/2	2/2	2/2	10/10	100
C	2/2	2/2		2/2	1/2	2/2	9/10	90
D	2/2	2/2	2/2		2/2	2/2	10/10	100
E	2/2	2/2	2/2	2/2		2/2	10/10	100
F	2/2	2/2	1/2	2/2	2/2		9/10	90
ALL	10/10	10/10	9/10	10/10	8/10	10/10	57/60	
正確率	100	100	90	100	80	100		95

4-3實驗 2：門口警衛

4-3-1門口偵測

本實驗門口在房間的右邊偏上方，而我們設定兩個預設的位置，讓機器人先到 A 位置，然後藉由移動到 B 位置，調整機器人的方向，以取得門口的影像現場影像如圖 45。將進行多次實驗，來比較與驗證此方法能拍攝到門的影像的正確率。



圖 45 機器人拍攝的門口影像

4-3-2機器人服務結果

門口警衛服務的測試，其室內佈置狀態接與上一節，跌倒服務測試實驗相同，可以參考圖 44。本次實驗讓機器人放在左下角的位置測試，使其

方向朝其他地方，關上門啟動門口警衛服務，實驗過程如下圖 46。(a)一開始機器人在左下方，朝向牆邊；(b)服務啟動後，機器人轉向移動往預設的 A 點；(c)到達 A 點後，轉向移動往 B 點；(d)到達 B 點之後，機器人正好面對門口，進行拍攝近距離影像。

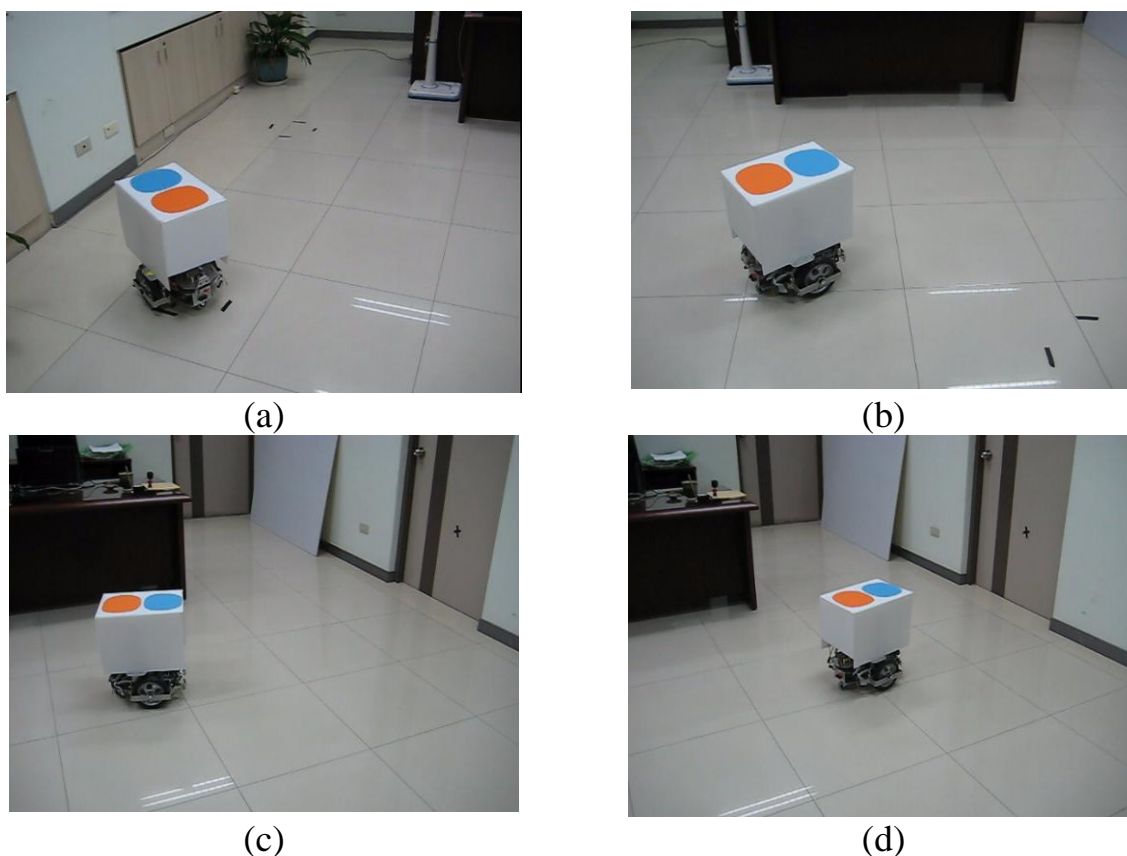


圖 46 門口警衛測試連續圖

本服務的測試，在室內選取六個不同的地方放置機器人，如前一節圖 44 所標示的 A~F 六個地方，放置時機器人隨機朝向不同的方向，觀察不同的地方與起始方向，測試系統的穩定效果，其結果如下表 八。此服務的實驗結果相當穩定，除了一次從很遠的地方移動到門口，速度太快沒有穩定按照向量的點依序移動，造成機器人的朝向偏左，僅看到門的邊緣一部分；其他的測試皆能觀察到完整的門的影像。

表 八 門口警衛實驗結果

狀態 機器人	正對門口	側向門口	背對門口	未到門口	all	正確率
A	6	0	0	0	6	100
B	5	1	0	0	6	83.33333
C	6	0	0	0	6	100
D	6	0	0	0	6	100
E	6	0	0	0	6	100
F	6	0	0	0	6	100
ALL	35	1	0	0	36	97.22222

第五章 結論與未來展望

5-1 結論

本篇論文所提出的室內居家服務機器人系統，利用室內影像監督攝影機來控制機器人，達成各項居家服務。服務的主要功能為，當發生意外或特殊狀況時啟動服務的功能，驅動機器人前往意外發生地點，將取得意外的近距離影像，提供給家屬或服務人員，即時觀察當時的實際狀況，以方便家屬當下做出適當的處理。

將攝影機用在室內機器人控制的方法，斜向影像而有遠近距離，同樣的物體上的特徵會有明顯的大小變化，造成機器人追蹤上的困擾。為了解決此問題，本論文利用統計的方式，蒐集在機器人在各個位置上，記錄在畫面上的像素長寬；依照取得的統計資料，我們利用幾個常見的數學函式逼近這些統計資料，得到一個相當接近的結果。再利用此逼近函數，修正追蹤機器人所使用的比對樣板，取得最相似的機器人標記位置。而此變化推測曲線，也用於機器人高度的修正，以找到機器人在地板的平面上的正確位置，另外也拿來調整模糊控制系統的輸入，以取得較為正確的距離與角度。

本系統利用加速度感測器，作為居家服務的主要偵測裝置，分別觀察老人腰部的加速度，以及門邊緣的加速度資訊，來啟動服務機制。經過直接執行服務內容的測試，證明用統計資料來修正。

5-2 未來展望

本論文已建立在一個房間完成兩種不同的居家服務，依照本論文的系統架構，將能很方便的增加其他服務功能，將本系統推展的更為完整。除了可以設定更多需要觀察服務的地點之外，可以結合更多感應器，例如尿

床感應器可以照顧尿失禁患者，以照顧更多那些可以獨立在家中生活，但是有極高意外危險的老人與患者。

本系統已經可以取得即時近距離影像，方便家屬以視覺化的介面得知危險警告，由於本系統架設在一般區域網路內，所以也可方便的建立伺服器，提供網頁或是其他介面，讓家屬可以透過更多管道，得到視覺化的危險警告，或是隨時可以視覺化的觀察當時狀況。

本研究提出的方法，最大的缺陷為會遇到視線死角，然而室內不會只架設單一台攝影機，必然會互相涵蓋其他攝影機的死角，因此我們可以規劃在各台攝影機之間移動的方法，除了更穩定的控制機器人之外，還可以在不同的樓層和房間內都裝設有攝影機，擴大服務範圍到整個建築物，甚至多台機器人四處服務。

我們利用了攝影機建立地圖來導航，可以加入地板辨識的功能，來自動建立地圖，使用者可以針對自動產生的地圖，再些微的修改就可以直接使用，當有物體移動的時候，也可以自動偵測家具環境的改變，達到更快速簡單的使用原則。於機器人的控制，若能加入學習的機制，則模糊控制的方法可以讓機器人適應更多不同的環境。

由於機器人相當的輕便，因此可以規劃更多的感應器在機器人身上，例如裝上溫度感測器，可以讓機器人定時到室內各角落觀察，除了可以幫忙調整室內舒適的溫度，還能提早發現可疑火災地點。除了影像的資訊，若能在機器人身上加裝麥克風，讓老人在需要的時候，機器人自動走到他旁邊，幫助他與親友對話溝通，將會更為拉近服務的距離。

藉由本系統架構的優點，可將其推展為更完整豐富的居家服務內容，能照顧更多的老人與病患，這一直都會是我們應努力的目標。

參考文獻

- [1] T. H. Cormen, C. E. Leiserson, R. L. Rivest, and C. Stein, *Introduction to Algorithms*, Second Edition, the MIT Press, 2001.
- [2] M. J. Er and C. Deng, "Obstacle Avoidance of a Mobile Robot Using Hybrid Learning Approach," *Industrial Electronics*, Vol. 52, No 3, pp.898-905, 2005.
- [3] C. L. Hwang and N. W. Chang, "Fuzzy Decentralized Sliding-Mode Control of a Car-Like Mobile Robot in Distributed Sensor-Network Spaces," *Fuzzy Systems*, Vol. 16, No 1, pp.97-109, 2008.
- [4] T. A. Lasky and B. Ravani, "Sensor-Based Path Planning and Motion Control for a Robotic System for Roadway Crack Sealing," *Control Systems Technology*, Vol 8, No 4, pp.609-622, 2000.
- [5] T. H. S. Li, S. J. Chang, and W. Tong, "Fuzzy Target Tracking Control of Autonomous Mobile Robots by Using Infrared Sensors," *Fuzzy Systems*, Vol. 12, No4, pp.491-501, 2004.
- [6] C. Luo and S. X. Yang, "A Bioinspired Neural Network for Real-Time Concurrent Map Building and Complete Coverage Robot Navigation in Unknown Environments," *Neural Networks*, Vol. 19, No 7, pp.1279-1298, 2008.
- [7] K. J. O'Hara, D. B Walker, and T. R. Balch, "Physical Path Planning Using a Pervasive Embedded Network," *Robot*, Vol. 24, No 3, pp.741-746, 2008.
- [8] A. R. Willms and S. X. yang, " Real-Time Robot Path Planning via a Distance-Propagating Dynamic System with Obstacle Clearance, " *System, Man, and Cybernetics*, Val. 38, No 3, pp. 884-893, 2008.
- [9] L. A. Zadeh, "Fuzzy set," *Information and Control*, Vol. 8, pp.338-353, 1965.

- [10] L. A. Zadeh, "Outline of a new approach to the analysis of complex system and decision processed," *Systems, Man, and Cybernetics*, Vol.3, No.1, pp.28-44, 1973.
- [11] Cybermotion. [Online]. Available: <http://www.cybermotionedu.com/index.html> June 16, 2009 [data accessed]
- [12] danduct clean. [Online]. Available: <http://www.danuct.com/> June 16, 2009 [data accessed]
- [13] Dr. Robot. [Online]. Available: <http://www.drrobot.com/> June 16, 2009 [data accessed]
- [14] ISCI Laboratory. [Online]. Available: <http://isci.cn.nctu.edu.tw/ResearchResult/index.html> June 16, 2009 [data accessed]
- [15] Mobile Robots. [Online]. Available: <http://www.mobilerobots.com/> June 16, 2009 [data accessed]
- [16] Neobotix. [Online]. Available: <http://www.neobotix.de/en/index.html> June 16, 2009 [data accessed]
- [17] NexTag. [Online]. Available: <http://www.nextag.com/robot-cleaner/products-html> June 16, 2009 [data accessed]
- [18] ROBOWATCH. [Online]. Available: <http://www.robowatch.de/index.php?id=1> June 16, 2009 [data accessed]
- [19] ZODIAC. [Online]. Available: <http://uk.zodiac-poolcare.com/index.php> June 16, 2009 [data accessed]
- [20] 九十四年度提昇社區老人居家照顧研討觀摩會。 [Online]. Available : <http://www.npo.org.tw/Bulletin/showact.asp?ActID=8194> June 16, 2009 [data accessed]
- [21] 內政部戶政司全球資訊網。 [Online]. Available : <http://www.ris.gov.tw/version96/stpeqr00.html> June 16, 2009 [data accessed]

- [22] 中華民國長青協會。 [Online]. Available :
http://www.evergreen.org.tw/tw/showroom_1.html June 16, 2009 [data
accessed]
- [23] 台灣社區照顧協會。 [Online]. Available :
<http://www.elephants.org.tw/welfare05.html> June 16, 2009 [data accessed]
- [24] 老人福祉科技研究中心。 [Online]. Available : <http://grc.yzu.edu.tw/> June
16, 2009 [data accessed]
- [25] 蘇木春、張孝德，機器學習：類神經網路、模糊系統以及基因演算法
則。全華科技圖書股份有限公司，民國九十三年。