行政院國家科學委員會補助專題研究計畫 ■ **成 果 報 告**
□**期中進度報告**

先進家用機器人系統研發—子計畫四：
家用機器人之智慧型互動系統研發
Development of the Intelligent Interaction System of an Advanced Home Robot

計畫類別：□ 個別型計畫　　■ 整合型計畫
計畫編號：NSC－92－2213－E－009－007-
執行期間：　92 年 8 月 1 日至 93 年 7 月 31 日

計畫主持人：宋開泰教授
共同主持人：
計畫參與人員：蔡奇謚、沈柏瀚、林嘉豪、王耀慶、陳志豪

成果報告類型(依經費核定清單規定繳交)：□精簡報告　■完整報告

本成果報告包括以下應繳交之附件：
□赴國外出差或研習心得報告一份
□赴大陸地區出差或研習心得報告一份
□出席國際學術會議心得報告及發表之論文各一份
□國際合作研究計畫國外研究報告書一份

處理方式：除產學合作研究計畫、提升產業技術及人才培育研究計畫、列管計畫及下列情形者外，得立即公開查詢
□涉及專利或其他智慧財產權，□一年□二年後可公開查詢

執行單位：

中　華　民　國　93 年　10　月　18　日

行政院國家科學委員會專題研究計畫成果報告

先進家用機器人系統研發──子計畫四：家用機器人之智慧型互動系統研發

Development of the Intelligent Interaction System of an Advanced Home Robot

計畫編號：NSC-92-2213-E-009-007-
執行期限：92年08月01日至93年07月31日
主持人：宋開泰教授　國立交通大學電機與控制工程學系

摘要

本計畫之主要目的在發展家用機器人之智慧型互動系統，這包括機器人與家庭成員之互動、機器人與環境中物體間之互動、及機器人與其他機器人之間之互動。本計畫在第一年執行期間，完成了兩套家用機器人運動平台之設計與製作，並自行開發多項硬體與軟體關鍵模組，包括自走式平台機構、DSP 雙軸馬達控制卡、伺服區驅動器、運動控制模組、路徑追蹤控制器及控制模組與工業電腦之連接介面。在語音辨識系統方面，開發出基於 DSP DSK Board 之獨立式語音辨識系統，目前已成功第完成一平均辨識率達 90% 的模組，並成功地應用於家用機器人之運動控制上。與環境互動方面，開發出以多超音波感測器作環境模型建立，目前已完成一個以鄰近的超音波感測器來共同決定障礙物位置機率的方法可以有效提高超音波感測器的角度解析度，並經由機器人在不同位置對相同方位量測來提高環境辨識的可靠度，所研製完成的多超音波感測器模組可以提供機器人一個可靠且反應快的環境探索系統。在計畫執行第二年期間，我們完成了家用機器人之網路遙控系統設計與測試，可經由個人電腦、筆記型電腦或 PDA 等上網裝置在世界任何地方操控家用機器人，是一種實用之互動介面。對於家庭中成員互動部分，我們已完成以機器人頭部之 web camera 取像之人臉辨識系統。經由此項技術，機器人可以在環境搜尋特定之對象(如家庭成員)，進而追蹤這個人之移動，達成一種互動之控制。基於第一年之語音辨識研究成果，我們完成家用機器人語音辨識操控設計，機器人可以接受特定人之語音命令進行設定之動作。另外，本計畫也已完成一 3 自由度之機械手臂設計與製作，並安裝於家用機器人上，接下來我們將進行抓取物品之整合互動設計與實驗。在計畫執行第三年期間，我們開發出多機器人合作感測定位與環境地圖建構功能。最近幾年，利用多機器人合作感測定位的研究逐漸受到重視，如何提供智慧型機器人對本身位置做準確的估測，進而建立可供後續使用的環境地圖是此研究領域的重點。本計劃已發展出一個運用多機器人系統，以合作式感測並利用卡曼濾波器概念來對機器人團隊中的機器人做感測資訊融合，降低其位置不確定性，進而建立較準確的線段環境地圖。我們設計一套多機器人 Server-Client 架構，用來對多機器人系統做一有效的操作與監控。最後利用 2 台機器人做合作感測定位的驗證，結果顯示所提出之方法確實有預期的功效。

(關鍵字：機器人、影像追蹤、超音波感測器、語音操控、智慧型系統、互動式機器人介面、多機器人合作感測定位、同時定位與地圖建構、卡曼濾波器)

Abstract

This project involves the development and construction of an intelligent interaction system for an advanced home robot system. In this design, the interaction between the home robot and the people in the family, the environment and other robots are considered. In the first year project, we have designed and constructed two prototypes of home robot, the *Easybot* H1 and H2. This includes self-developed hardware and software modules, including the mobile platform, DSP-based two-axis motor control card, servo drivers, motion control modules, path tracking controller and the interface design between the modules and the onboard IPC. A voice recognition system has been developed based on a TI DSP DSK board. An average of 90% recognition rate is achieved with a processing time of 0.76 sec. This module has been integrated into the robot motion control system. An ultrasonic environment sensing system has been designed and implemented. Algorithms have been developed to reduce the beam angle of ultrasonic sensors and increase the reliability of the environment recognition of the multi-sensor system. In the second year of the project, we have achieved a remote control of the robot through internet (through a PC, a notebook or a PDA). This capability provides an easy-to-access interaction between the host and his/her home robot from virtually any place in the world. We also completed a face searching and recognition system (FSRS) using the on-board web camera. This provides the robot a capacity to recognize members in a family and interacts with the member by following him/her or waiting for commands. Moreover, we also designed and constructed a 3-degree-of-freedom robot arm for the *Easybot*. In the third year of the project, we have developed the function of multi-robot cooperative localization and map-building. In recent years, the problems in multi-robot cooperative sensing have been an interesting research area. The simultaneous localization and map-building based on multi-robot cooperation has been studied in this project. A method for construction of a 2-D environment map based on vision system has been developed. Sensed information by multiple robots is fused using Kalman filtering techniques to reduce the uncertainty of robot positions. We design a client-server architecture to coordinate robot tasks. Our method has been demonstrated with experiments using two mobile robots. Satisfactory experimental results are presented in this report.

（keywords：robotics, image tracking, ultrasonic sensors, voice control, intelligent systems, interactive man-machine interface, multi-robot cooperative sensing, SLAM, Kalman filtering）

目錄

摘要 I

Abstract II

一 、前言 1

二 、研究目的 1

三 、文獻探討 2
3.1 家用機器人之構造與運動平台 2
3.2 家用機器人與環境互動之設計 2
3.3 家用機器人與家庭成員之間之互動系統 3
3.4 機器人與其他機器人之間之互動與合作 4

四 、研究方法 4
4.1 家用機器人本體機構設計 4
4.2 家用機器人本體之運動控制系統 5
4.3 環境辨識感測模組設計與製作 6
4.4 網路互動控制 8
4.5 家用機器人語音辨識系統 9
4.6 人臉辨識系統 10
4.7 家用機器人之語音操控 15
4.8 家用機器人之影像追蹤控制器系統 15
4.8 辨識系統 13
4.9 以立體視覺為基礎之環境地圖建構與機器人定位 16
4.10 融合演算法 19
4.11 多機器人定位融合及環境地圖建立實驗 19

五 、結果與討論 23

六 、結論 24

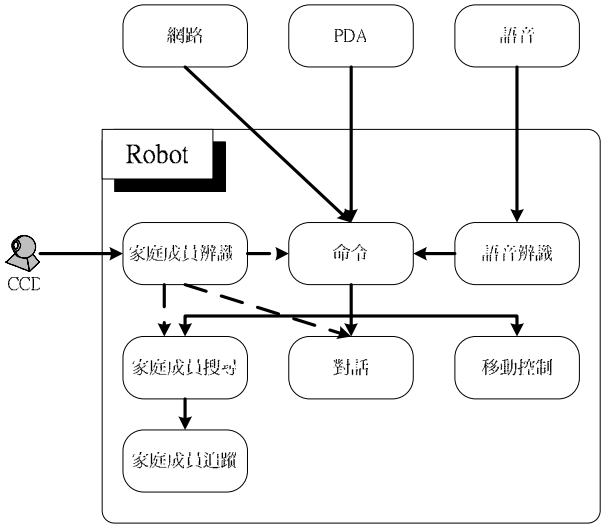
參考文獻 24

一 、前言

家用機器人（Home robots）雖然目前尚未成為成熟的商品，但在不久的未來機器人將走入辦公室及家庭，成為與人們共同相處的家電商品。這些家用機器人將具有人性化的操作介面與機器智慧，可以做服務性的工作，也將與其周圍環境中之人或物產生交互作用以達成某些特定的工作。本計畫之主要目的在發展家用機器人之智慧型互動系統，這包括機器人與家庭成員之互動、機器人與環境中物體間之互動、及機器人與其他機器人之間之互動。在機器人與家庭成員的互動方面，本計畫開發出結合影像與語音的辨識系統，使機器人可以辨認家庭中每一成員，進而探討如何與成員間產生智慧型互動。為了使機器人的使用更為「自然」與「方便」，並且賦予機器人與使用者之間能夠產生溝通的能力，本計畫一方面藉由影像辨識技術來發展人臉辨識系統，以達成提供機器人作家庭成員的辨識，讓機器能對不同的使用者提供不同的服務及互動。另一方面亦發展語音辨識系統，讓機器人能夠藉由語音的方式，得到使用者希望給予機器人的訊息，並轉化為實質的控制訊號，作出適時適當的反應動作。在機器人與環境中物體間之互動方面，本計畫研製一三自由度機器手臂，以提供家用機器人抓取環境中的物體。在機器人與其他機器人之間之互動方面，本計畫發展出一套分散式的多機器人合作系統，透過精心設計的通訊協定，達成機器人自我定位與地圖建構之目標。

二 、研究目的

本計畫之主要目的在發展家用機器人之智慧型互動系統。家用機器人與一般工業機器人的一個主要差別在於家用機器人必須和家庭裡的人互動，也就是必須要有足夠的智慧來應付家庭中的人員給予他的一些命令，然後採取正確適當的反應。由功能上來看，一個家用機器人兼具家庭夥伴(Robot mate)與家庭幫傭(Robot maid)的特性。一方面它具有容易使用的人機介面，可接受家庭中成員的命令，產生多媒體呈現的親善功能。另外一方面也可以被賦予清潔及安全防護方面的服務性工作。因此家用機器人在功能上將具有多樣性，但這些與日常家庭生活有關的操作或功能往往必須仰賴與家庭中成員的互動來完成。它也經常和環境中的物體產生互動，如電視機、電話、安全系統等等。另外在與其他機器人互動方面，我們可以預期機器人與機器人之間可以有某種通訊方式來協調合作，將有助於它們完成較複雜的任務，增加了機器人的實用性。圖一顯示家用機器人之互動系統架構圖。



圖一 家用機器人之互動系統架構圖

三 、文獻探討

3.1 家用機器人之構造與運動平台

家用機器人運動平台的設計上可關連到自走式機器人(Mobile robots)的研究發展上，因為兩者所強調的都是如何讓機器人在環境中安全的移動。自走機器人的發展歷史上已具有相當多的研究成果，並結合各種不同的感測器，以使機器人能在環境中安全的移動。在移動平台的技術發展方面，早期技術是利用地標[1](Land mark)來達到在環境中對機器人做定位的目的，這種方式對於一環境變化性較低的情況下較有效率。近來之系統多採取利用影像[2-4]和輔助的感測器（如：超音波[5, 6]）、紅外線[1] 、等）進行對環境的探測，以達到對環境資訊的了解，並進行動線規畫來增加移動之機動性和安全性。而機器人在移動時，所面臨的問題不只是靜止不動的障礙物（如：家具…等），而必須包括移動性的障礙物（如：家人、動物….等），因此如何安全地移動或避免碰撞，或者是當碰撞無可避免時如何盡量減少傷害，都是我們在設計家用式運動平台所必需考量的重點，所以如何設計一智慧型機器人系統[7]和友善（Human-Friendly）的軟硬體系統設計將會是我們所關心的問題。

3.2 家用機器人與環境互動之設計

文獻上已有許多智慧型機器人與環境互動方面的研究成果[8-15]，可了解到一個機器人頭部及其具備影像追蹤功能的必要性。基於本家用機器人的影像追蹤功能，機器人之頭部機構將會設計成二軸機構，一軸為控制左右方向，一軸控制 CCD Camera 之上下方向，而二軸機構則有以下優點：

(1) 兩軸的配合將可以組合成一三度空間之工作區，進而達到靈活追蹤物件與環境資料搜尋之目的。

(2) 比一軸機構靈活，可運動空間大，自由度高，可完成一軸機構所無法達成之動作。

(3) 在機構方面又比三軸(含)以上之機構簡易，且頭部之動作使用二軸即已足夠。

(4) 機構簡單容易實現與維護。

而在視覺方面，將由單一個攝影機來達成任務，使用單一 Camera 原因有以下幾點：

(1) 影像追蹤功能由單一 Camera 即可實現，可節省成本。
(2) 使用立體視覺追蹤時，Camera 需要經過精密校正，否則會有極大誤差產生，而單一 Camera 可避免此問題。
(3) Camera 數量增加代表重量也增加，相對要推動的馬達力量也需要更高，馬達瓦數增加體積重量隨之增加，會減低靈活度。

在馬達驅動與影像追蹤方面，將採用兩個獨立單元來完成，選擇以 DSP 控制卡來達成控制馬達功能，並以電腦來處理影追蹤，DSP 控制卡將接受電腦處理完後的控制命令，來控制 Camera 運動方向，DSP 卡和電腦的溝通方式，機於資料量並不大，故將選用 RS232 來作溝通介面。選擇獨立單元分別處理兩項功能有以下優點：

(1) 由於影像處理計算量很大，當分開處理時，將不會因為影像處理所造成之延遲而使馬達控制反應過慢，相對的也不會因為要管理馬達，而影響到影像的擷取與計算。
(2) 使用 DSP 控制可以設計出良好的控制器，精確控制頭部移動，同時減少控制電路之體積。

另外本計畫也將探討家用機器人與家用電器與保全系統間之連線與遙控方面的設計，這可利用市面上現有之控制模組配合另外所需之電路，設計套用即可使用在機器人身上，當機器人接收到適當的命令，即可利用此控制器去控制電視、錄影機等相容於此模組之電器。而在控制電話方面，則要另外設計一模組與電話串聯，即可利用遙控器來控制電話撥號功能。

3.3 家用機器人與家庭成員之間之互動系統

除了影像辨識以外最重要的機器人與人之間之互動管道應該是語音辨識系統了。基於需要用到語音的技術來達到機器人與使用者溝通的目的，因此需要了解今日語音技術發展的現況，整體上看來，語音技術已普遍的商業化，顯示語音的技術已到達某一種成熟的階段，語音運用成功的例子也是越來越多，有些甚至已經普遍的存在於我們的日常生活中，例如有很多單位採用的「自動語音查詢系統」就是一個很典型的例子，最早最成功的例子是 1983 年在日本的金融界利用與日本電信公司（NTC）結合，製作出語音客戶查詢系統 [16]；而在國內，為了使電腦及資訊家電產品能夠更容易的使用，對於智慧型人機介面的發展也很積極，像是工研院就有發展所謂「消費性語音處理技術」、「智慧型人機交談技術」等等，產品有像是大哥大的免持聽筒撥號系統等等，因此，我們可以很清楚地知道，語音技術可以使用的範圍十分寬廣，其中利用「聲音控制」對發展具人性化家用機器人是一項關鍵的技術，因此，我們可以很清楚地發現，為了使機器人具備與使用者溝通的能力，將語音技術加之於上是一個很自然的選擇與必然的趨勢，目前在國內外也有著相當多的研究將注意力投注於這一方面之上。

3.4 機器人與其他機器人之間之互動與合作

當任務複雜時，我們會考慮機器人合作方式來完成任務。因為服務用機器人處於動態且複雜的環境，不易預先對所有的可能做規劃。最好的方式就是放棄集中的思考方式，將決定的權利下放，讓機器人彼此交談、自我分派任務。這種思維方式已被運用在許多場合。美國聯邦航空總署讓飛機彼此通訊並選擇自己的航道，以增進飛航安全、舒緩空中交通瓶頸；日本人把鐵路交通的調度交由各地區進行，來替子彈列車排定班次[17]，機器人亦可循同樣的思考邏輯，因此分散式的機器人合作系統就成為了一個相當熱門的研究領域。日本的學者 Arai 提出了一個即時的任務指派架構，利用任務樣板的觀念來處理時變的工作目標及可能改變的機器人成員數目[18]。Alami 等也提出 M+協定讓機器人來自行分派工作[19]。這個部分牽涉了機器人的決策機制及資源衝突或死鎖（dead-lock）情況的避免，有相當多的理論被提出來解決這種問題，如 Game theory[20, 21]、Fuzzy logic[22]、Petri Net[23]等。不過這方面的研究目前大部分仍限制在某一理想的環境下，因此需要一個標準的實驗平台作測試，機器人足球就是其中最知名的一個[24-27]。然而這種群體的思考方式仍需要某些程度的管制，倘若沒有任何的約束，下層的機器人群體將因選擇過多而癱瘓。MARTHA 計劃的目標在於讓自走車群在機場或碼頭等地協助搬運物品，將路口的衝突或相互閃避的行為交由自走車自行判斷，但是路徑的選擇仍交由一中央控制站來處理[28]。因此如何將資訊及處理能力有效的分配在每一隻機器人身上，將是一個重要的研究課題。另外一個值得探討的課題是與網際網路的整合。目前已具網際網路整合遠端監控的機器人系統可概分為兩大類，第一種是對固定式機器人（基座固定不動）的遠端監控，另一種則是對移動式機器人的遠端監控。固定式機器人的遠端監控系統主要用於天文望遠鏡，或是環境影像監看；這種系統主要訴求是利用網際網路的普遍及便利性，讓全球各地的人可以隨時隨地獲取伺服端的天文或工作場景資訊。也有用於機械臂的操作，這種系統不只可以獲得影像資訊，使用者也可以利用機械臂來操作遠端的物體或執行某種任務，此類系統為了增進操控性，常與虛擬實境技術或感知回饋感測器結合。然而對於固定式機器人遠端監控系統而言，由於機器人本身沒有移動的能力，因此可以執行的任務及收集的資訊就受到了限制，因此越來越多研究人員將焦點放在移動式機器人的遠端監控系統[29]。這種系統特別適合用在保全、危險物品搬運或清理以及危險環境（如核電廠）和不可及環境（深海或外太空）的工作上，也有用於娛樂及一般性服務。不過根據 Engwirda 等的調查，目前的網際網路監控機器人的控制模式皆為由操作員直接控制，並無合作式機器人系統與網際網路整合的研究。事實上與合作式機器人系統整合應是發展的重點，使用者只需要指定工作目標（例如清除某一區域的垃圾），執行的細節由機器人群自行決定，才是智慧型的遠端監控，同時免除因網路壅塞造成的操控延遲，如此更能應用於實際環境。

四 、研究方法

4.1 家用機器人本體機構設計

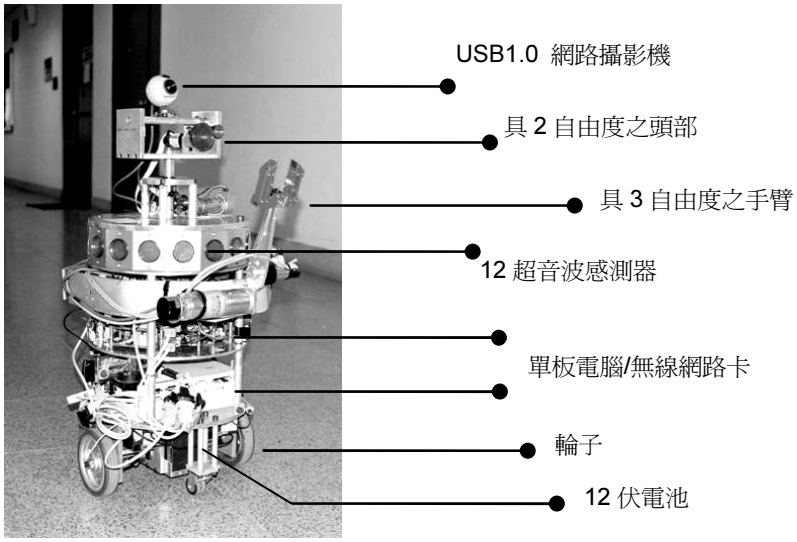
本計畫所設計的家用機器人外型是屬於移動式機器人的架構，分為兩個部分：本體與頭部。本體底部有兩輪驅動並由兩個輔助輪保持平衡。家用機器人的設計目的為

走入家庭並提供娛樂與生活輔助用途，為避免給人壓迫感並增加親合力故其體積不能太大，本計畫設計之機器人本體與頭部高度共 610 mm，寬度為 300 mm，圖二顯示家用機器人之照片。其不但具有網路操控與影像監測功能外，同時也裝配了具 3 自由度的機器手臂，以提供機器人與環境中的物體互動之功能。

4.2 家用機器人本體之運動控制系統

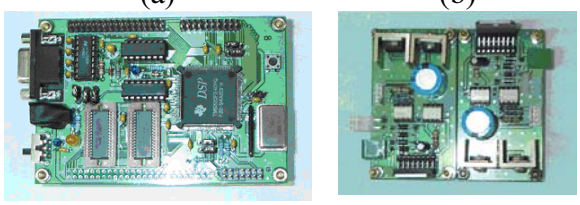
家用機器人在實際應用上，會依據使用者的規劃在不同的路徑行走，而依循路徑的功能是由運動控制卡來完成。車上控制電腦(IPC)只要下達運動的命令，剩下的就交由運動控制卡來處理，使其能在規劃好的路徑上達成精確的運動控制。路徑追蹤控制需要路徑追蹤演算法與車體運動模型來交互參考運算，再者我們希望此運動控制卡是獨立模組，所有的運算都不消耗 PC 的資源，故運動控制卡並不是簡單的 PID 控制而已，所以必須自行發展機器人之雙軸運動控制卡，以符合我們的需求。我們以德州儀器所出產的 TMS 320C240 數位訊號處理器(Digital Signal Processor，DSP)[36-38]為核心，來發展雙軸耦合路徑追蹤運動控制卡。圖三(a)為本運動控制卡及馬達驅動電路實體圖。機器人之運動控制模組可分三部份，如圖四所示：

1. PC 端：將控制命令經由 RS-232 傳給運動控制卡。
2. DSP 控制卡本體：接收 PC 端的命令以路徑追蹤控制器 PID 控制法則來控制雙軸馬達。
3. 驅動電路:將控制訊號與驅動訊號隔離,接收控制訊號驅動馬達，實體圖如圖三(b)所示。

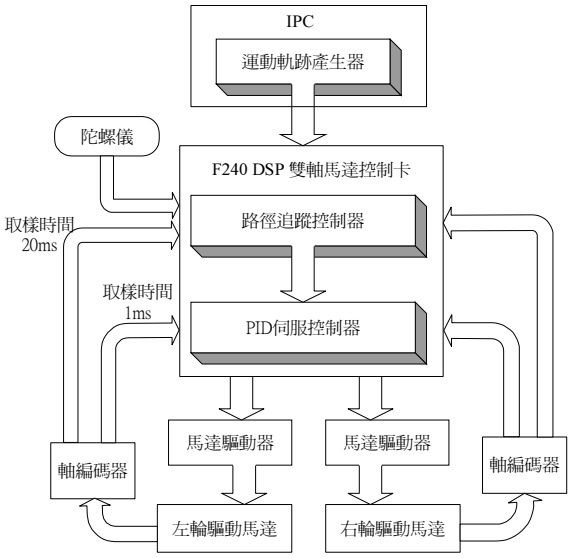


圖二 家用機器人 *Easybot* 之照片

(a) (b)



圖三(a)控制卡實體圖(b)驅動電路實體圖

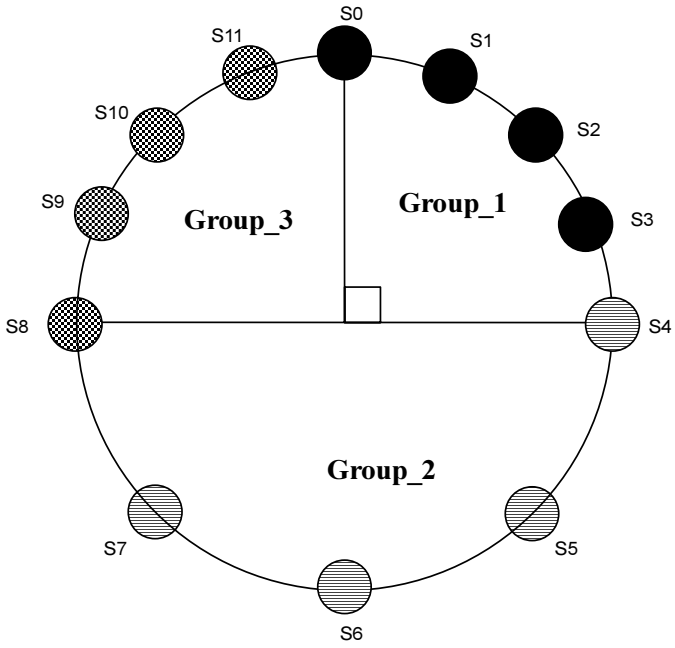


圖四 運動控制系統架構圖

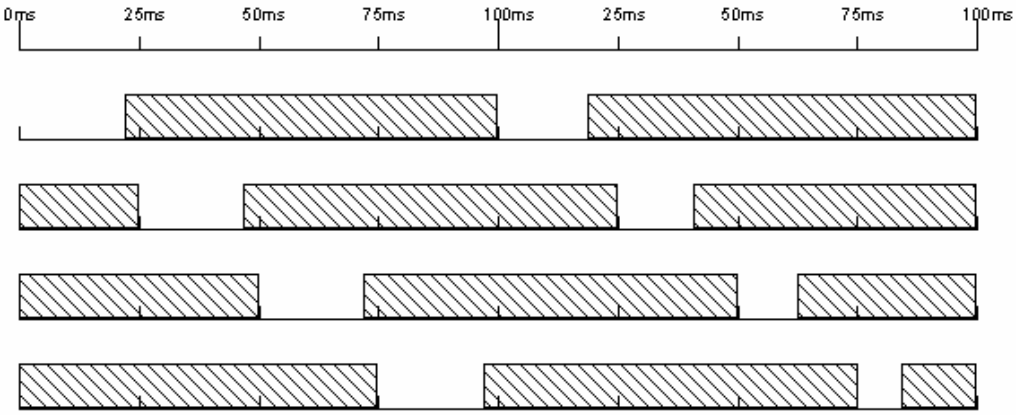
4.3 環境辨識感測模組設計與製作

我們採用超音波感測器來當機器人的環境感測器。利用超音波感測器量測環境資訊，用以躲避障礙物、並建立環境地圖。我們利用單晶片 8051 為主控 IC 控制 12 組超音波 Module 的發射，再藉由 8051 的 I/O 埠讀取超音波的 Echo 訊號，以 8051 內建的 Timer 來計算從超音波發射到接收到 Echo 的時間間隔：Δt；再透過 8051 的 RS-232 埠將所得到的Δt 傳送給主控電腦計算出障礙物的距離。下面圖五為超音波模組電路模組實體圖。在超音波模組的配置規劃上，採取每個 Module 相隔 22.5°(±11.25°)，如此就可以涵蓋到超音波主要的感測範圍，Robot 背後的 Module 相隔 45°配置的方式；所以總共用了 12 個超音波 Module。配置方式如圖六。為了增加超音波感測模組之掃描角度，我們採用 Borenstein 之 EERUF 的超音波發射方法，設計超音波發射順序電路。藉由事先規劃的時序，如圖七，將 12 個 Sonar 分成 4 個一組共 3 組，每一組的時序相同。表一所示為此超音波感測器模組之發射時序表；再經由 8051 分別讀取各個超音波感測器收到 Echo 訊號的時間，並將這 12 組時間資料透過 RS-232 傳回給 IPC，IPC 再將這些時間資料轉換為距離資料。圖八為實際量測 12 個超音波感測器的情況。

圖五 超音波模組電路模組實體圖



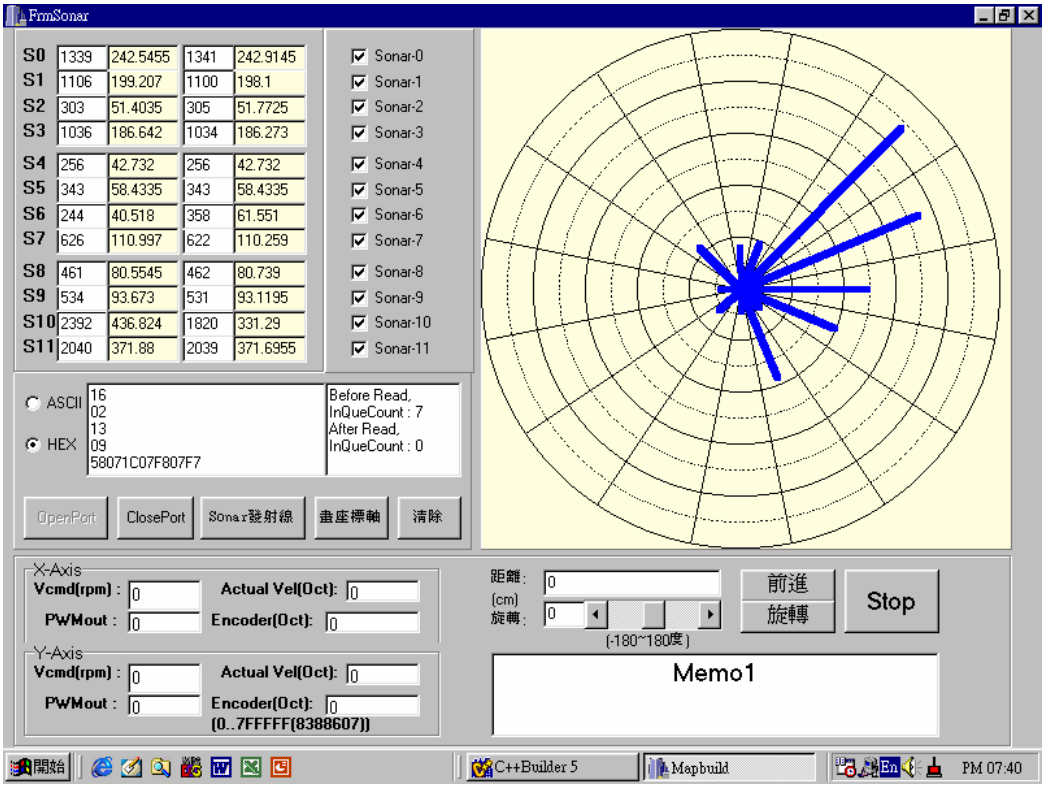
圖六 超音波 Module 配置圖



圖七 超音波發射時序

表一 超音波感測器發射時序表

Sonar	S0,4,8	S1,5,9	S2,6,10	S3,7,11
T_{lag}(ms)	0	25	50	75
$T_{Wait,a}$(ms)	24	24	24	24
$T_{Wait,b}$(ms)	22	16	10	4
$T_{fire,a}$(ms)	24	49	74	99
$T_{fire,b}$(ms)	22	41	60	79

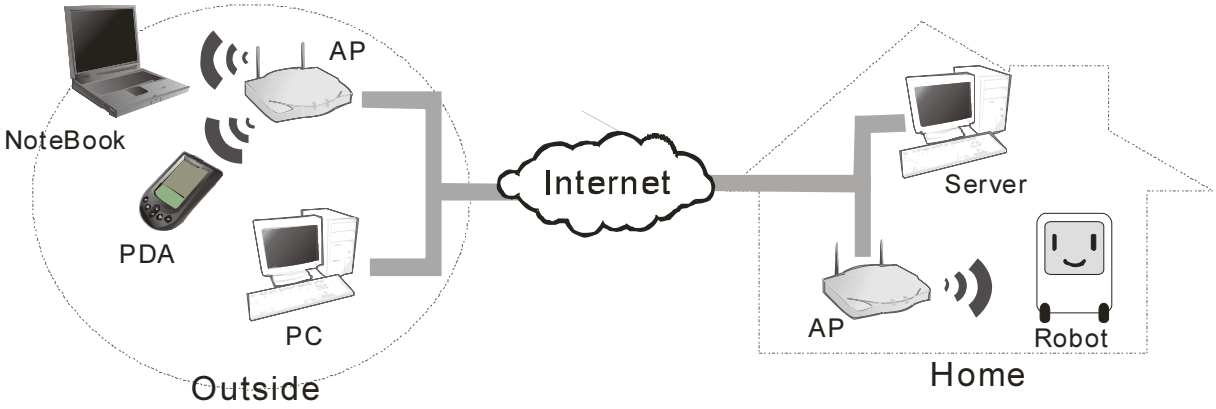


圖八 十二組超音波感測實驗畫面

4.4 網路互動控制

本實驗室發展之網際網路遠端操控機器人系統，可以讓我們在世界任何一個角落，透過 internet 遙控家裡的機器人，不但能夠直接控制機器人的移動、安排它巡邏的路徑，監控機器人所在的位置狀況，還可以看到機器人所在的環境影像。使用者不需要作任何安裝的動作，只要輕鬆上網瀏覽即可。使用者可以隨時隨地透過網路操控機器人，更換巡邏路線，取代固定式的監視器的有監視死角的缺點，達到居家看護與安全監控的效用，如圖九所示。圖十為影像監控操作實例圖，機器人能利用攝影機將觀測畫面透過網路即時的傳送至使用者端，透過電腦或 PDA 來觀看。搭配電腦使用可以獲得更清楚的影像，提供更充分的資訊；而 PDA 則提供外出時使用的便利性。如有需要的時機器人也可以錄製畫面提供使用者參考。

在機器人端，我們架構一個精簡之 Linux 系統，使用 CF 卡為儲存媒介增加系統之強韌性。透過無線網路可即時將 camera 抓取之家中影像壓縮並透過無線網路傳回 Server。另外也回傳機器人的狀態與位置提供使用者參考。在 Server 端，替使用者端以及機器人端交換資訊，包括使用者的命令、機械人的狀態以及機器人所抓取之影像。透過 Server 管理連線可減輕機器人的負擔，並且按照用戶端的狀況調整影像品質，維持最佳操縱狀態。在使用者端，利用 JAVA 跨平台之特性製作操作介面程式。使用者可透過 PDA 或者任意平台電腦上的網頁瀏覽器操控家中之機器人，檢視家中狀態，安排巡邏路徑或者自由行走皆可。操作介面以簡單為主，只要 click 即可輕鬆操作。未來再配合上醫療儀器或警報系統，將可使家用機器人擁有更多與人互動的應用，可達成家庭看護及家庭保全的功能。



圖九 網際網路遠端操控個人機器人系統

PC 端監控　　PDA 監控　　PDA 監控畫面

圖十 影像監控操作實例

4.5 家用機器人語音辨識系統

在家用機器人與家庭成員之互動系統設計方面，我們的目標是整合家庭成員辨識系統及語音辨識系統，以提高家用機器人與人的互動性及使家用機器人能提供使用者更多的幫助。目前已有許多機器人配有語音辨識系統，本計畫需求的是一能獨立運算的語音辨識平台，因此我們採用了德州儀器公司生產之 TMSVC5402 DSK Board 作為整體系統的核心，並利用 RS232 串傳輸介面將語音辨識結果回傳給主控電腦。這樣的設計模式一大優點是大幅減少主控電腦的負擔，主控電腦只要負責接收運算處理完成的結果，並對於接收到的結果作出適合的判斷和發出控制命令。如此一來資源可以分配運用到更適合的地方，以正確的控制家用機器人的各個反應動作。在系統整體辨識率的表現上，中文平均辨識成功率可達 90%左右，英文則可以到達 94%左右。辨識時間在 8 組的字彙量實驗設定下，維持平均所需辨識時間 0.76 秒左右，如表二及表三所示。目前已在家用機器人本體上完成運動控制的實驗測試，可以用符合一般說話方式對家用機器人發出運動控制的命令，讓家用機器人在使用者的指導下，作特定路徑的移動。

表二 運動控制命令設計

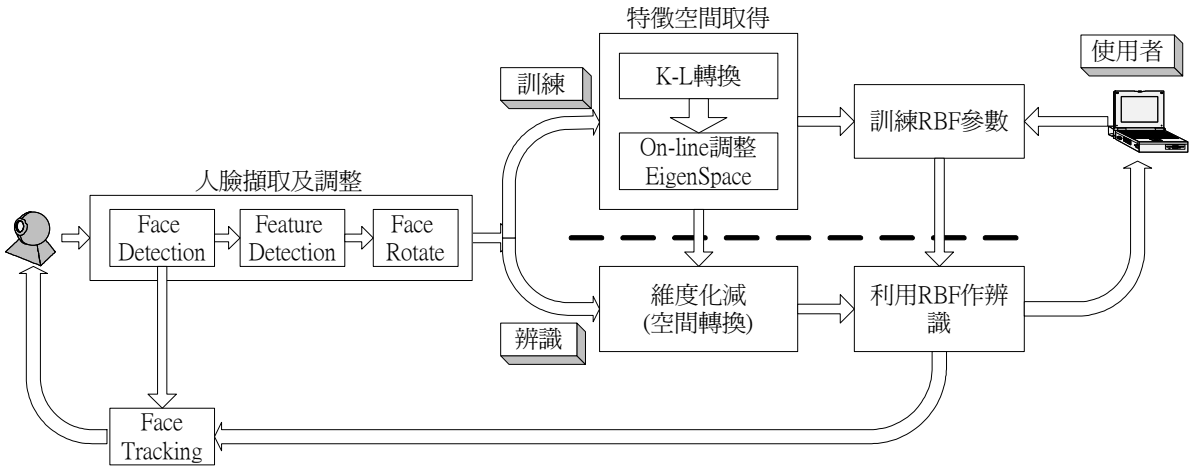
運動控制	功能說明
Robot（作為呼叫之用）	下命令之前的呼叫
停止（Stop）	停止
前進（Go）	等速前進
後退（Back）	等速後退
左轉（Left）	左轉
右轉（Right）	右轉
加速（Accelerate）	提升一個速度等級
減速（Decelerate）	減少一個速度等級

表三 語音辨識成功率及時間分析

控制命令	辨識成功率
Robot	98%
前進	78%
後退	100%
右轉	88%
左轉	96%
停止	76%
加速	100%
減速	78%
平均	**89.25%**
測試控制命令	平均辨識時間
8組	0.7625秒

4.6 人臉辨識系統

為了使家用機器能夠對不同的家庭成員提供適當的服務與互動，使家用機器人能更人性化，我們發展一種家庭成員的辨識方法，使家用機器人能夠辨識不同的家庭成員。人臉辨識屬於主動式辨識方法，不需高解析度的攝影機或近距離拍攝，只需要家庭成員距離攝影機某一範圍內就可進行辨識，再配合家用機器人的運動控制，家用機器人將可以主動的去進行人臉的搜尋與辨識，不需家庭成員自己走到機器人面前等待進行辨識。要完成家庭成員辨識系統，除了要能夠辨別出不同的家庭成員之外，在進行辨識之前，我們還需要能夠從影像中找出人臉在影像位置及大小。圖十一顯示家庭成員辨識系統及互動的主要架構。其主要分為三部分：(1)人臉偵測、(2)人臉辨識、(3)人臉追蹤。本系統主要藉由家用機器人上之 Web Camera 作為影像輸入設備，將其擷取到的影像傳到機器人上的主電腦進行人臉搜尋、臉部調整及人臉辨識。使用者可藉由網路要求機器人對特定家庭成員進行搜尋，並且整合人臉追蹤系統，使其能對搜尋到的目標進行持續的追蹤，以等待使用者的下一步要求，例如，與特定家庭成員進行視訊交談。

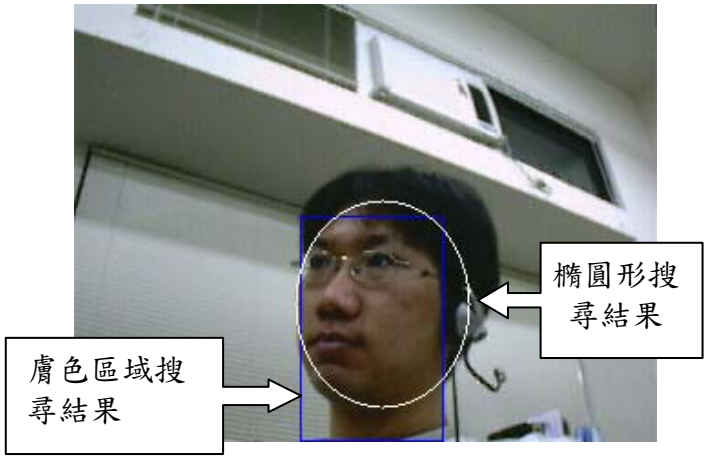


圖十一 家庭成員辨識系統及機器人與人互動系統架構

在家用機器人進行人臉辨識之前，我們必須求得經由 Web Camera 所擷取到的影像中的人臉位置與大小，所以我們需在影像中對人臉進行搜尋。在人臉搜尋方法，一般常利用人臉的某些特徵進行人臉的判別。其中膚色是利用於識別人臉的主要特徵之一。我們經由 Web Camera 所得到的影像資料為紅、綠、藍(RGB)三原色，RGB 三原色的色彩形成與光的照度、物體表面、攝影機的特性都有關。RGB 三原色所構成的色彩空間(color space)很容易受到光線的影響，會隨光線的變化有很大的變動，所以 RGB 三色並不適合直接使用於膚色區域分割，必須要做色彩空間的轉換以減少 RGB 三原色對光之靈敏度。我們使用 Normalized RGB 的色彩空間作膚色區域分割，因為 Normalized RGB 的轉換只需簡單的數學運算就可達成，且能夠降低光的照度對影像影響。

單用膚色作為人臉判別，容易受到其它與膚色相似的物體的影響而產生誤判，因此，除了膚色之外，我們亦使用另一人臉的特徵—輪廓。由於人臉的輪廓近似於橢圓形，且其橢圓形之長短軸半徑比約為 1.2:1。在輪廓判別部份，我們利用 Sobel 的方法對灰階影像作邊緣偵測，再以邊緣偵測的結果作橢圓形的輪廓搜尋。最後整合膚色分割與輪廓判別的結果，找出臉部位置。

在人臉搜尋系統中，我們整合膚色分割及橢圓搜尋方法，但在實際的實作過程中，我們發現在 320x240 大小的影像中執行橢圓形搜尋相當的浪費時間。為了加速人臉搜尋速度，以提供家用機器人一個即時人臉搜尋系統，所以在進行橢圓形搜尋之前，利用膚色分割後的資料，求其在 X 軸及 Y 軸上的投影量，以判斷出可以人臉的區塊，減少橢圓形搜尋的範圍。藉由膚色在 X 軸及 Y 軸上的投影量，我們分別設定一個門檻值，找出有可能的人臉範圍，最後在利用橢圓形搜尋得到圖十二的結果，圖五中黑線所框出來的區域為可能人臉區塊，白線框出的為橢圓形搜尋後的結果。



圖十二 膚色分割及橢圓形搜尋結果

為了要達到提高辨識率的目標，除了有強健的辨識演算法之外，還需要有一適當的人臉影像的前置處理機制，以減少輸入影像資料間的差異性(諸如：不同照度下、臉部影像大小不同、臉部的旋轉角度不同及表情不同等情況)。在人臉影像的前置處理方面，我們將輸入的影像經過正規化的調整，以得到標準的影像形式。希望藉由減少輸入影像之間的差異性，提高辨識率。本計畫提出的人臉影像正規化處理過程包括：

(1) 特徵(眼睛)的擷取
(2) 臉部的調整
(3) 臉部照度補償

圖十三為利用多張未經照度補償的臉部影像，經過為經照度補償後的結果。由其結果可看出確實改善了光照度的問題。

人臉辨識系統主要的目的是為了應用在家用機器人上，所以系統的即時性對我們來說非常的重要。我們希望儘可能的減少辨識時所需花費的時間。在此，我們使用主要元素分析法(Principal Component Analysis，PCA)的特徵臉演算法(Eigenfaces approach)對臉部影像作維度的化減，再利用 Radial Basis Function Neural Network 作最後的辨識。特徵臉演算法是利用主要元素分析法透過 K-L 轉換來達成影像上統計資訊的維度化減的方法，其可將輸入訊號的高維度資訊中所有的相關性消去，以化減資料的維度。在演算法的運算過程中，將二維矩陣的資訊，以一維的向量方式來表示，並且從輸入的所有影像中萃取出臉部特徵空間，臉部特徵空間的維度比原空間維度小，將輸入影像投影到臉部特徵空間，可以得到較少的維度的資訊，以達到減少維度的目的。在辨識方法，因為 Radial Basis Function 的類神網路具有快速學習的好處，相當適合於即時(Real-Time)系統。在此，我們利用 Radial Basis Function 作人臉的訓練及辨識，並且利用 Normal Equation 方法來求得 RBF 的權重值。再利用最小均方誤差(Least Mean Square Error，LMSE)作參數細部的調整，以求得最佳的 RBF 參數。

(a)原影像

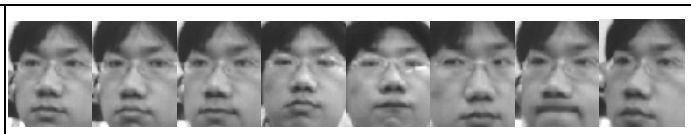
(b) 經照度補償後

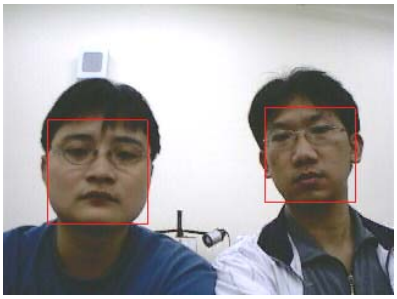
圖十三 臉部影像照度補償

本計畫目前已完成藉由 Web Camera 抓取影像進行人臉搜尋、臉部調整及人臉辨識。採用實驗室中 4 位成員的臉部影像進行人臉辨識測試，每位成員取 10 張影像，且 4 位成員中取其中 3 位建立資料庫，另一位則用來測試非資料庫成員時的情況。表三為 3 位成員各取 8 張用以建立人臉資料庫。取出資料庫中某位成員之參數，對環境中的 4 張人臉進行比對。圖十四所示為特定人臉識別與追蹤實驗結果。實驗中，兩位成員在機器人前進行臉部識別與追蹤實驗，而機器人識別出特定人臉後，便會進行人臉追蹤的動作。圖十四(a)為人臉偵測結果。圖十四(b)為人臉識別結果，其中白色框所框選出來的為特定人臉識別結果。圖十四(c)為機器人進行特定人臉追蹤結果。圖十四(d)為特定人臉移動時，機器人進行追蹤結果。

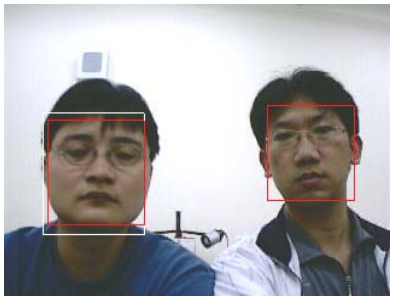
為了提供家用機器人對家庭成員的識別及其與人的互動，我們將家庭成員辨識系統及去年所完成之人臉追蹤系統整合到家用機器人上，製作一家用機器人對特定人之搜尋系統。圖十五為主要的流程圖，除了開始時為等待狀態及結束時為追蹤狀態，其它系統大部分都是在執行搜尋的動作。在移動式追蹤方面，本計畫結合第一年完成之 2 自由度頭部控制系統及本體操控系統，對搜尋到的目標進行移動式的持續追蹤。圖十六為家用機器人對特定人搜尋與互動之實驗結果。實驗中機器人必須在三位家庭成員中識別出特定目標成員並與其進行互動。實驗結果顯示辨識系統的功能運作可達到預期的目標。

表三 資料庫成員臉部影像

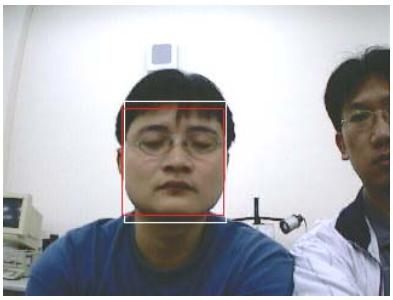
文俊	
正憲	
忠富	



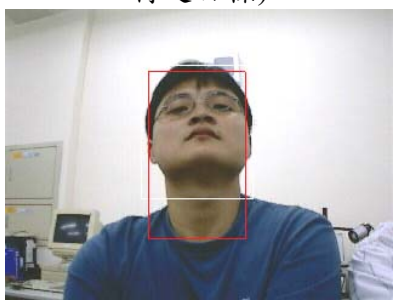
(a) 人臉偵測



(b) 尋找特定目標(白色框為特定目標)

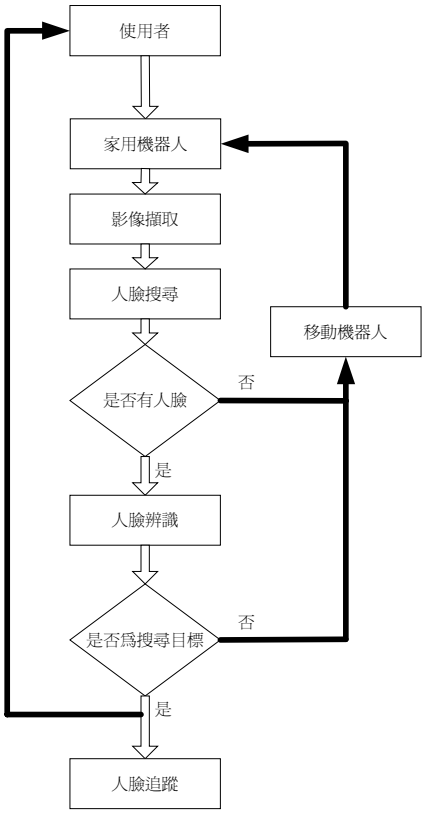


(c) 頭部追蹤

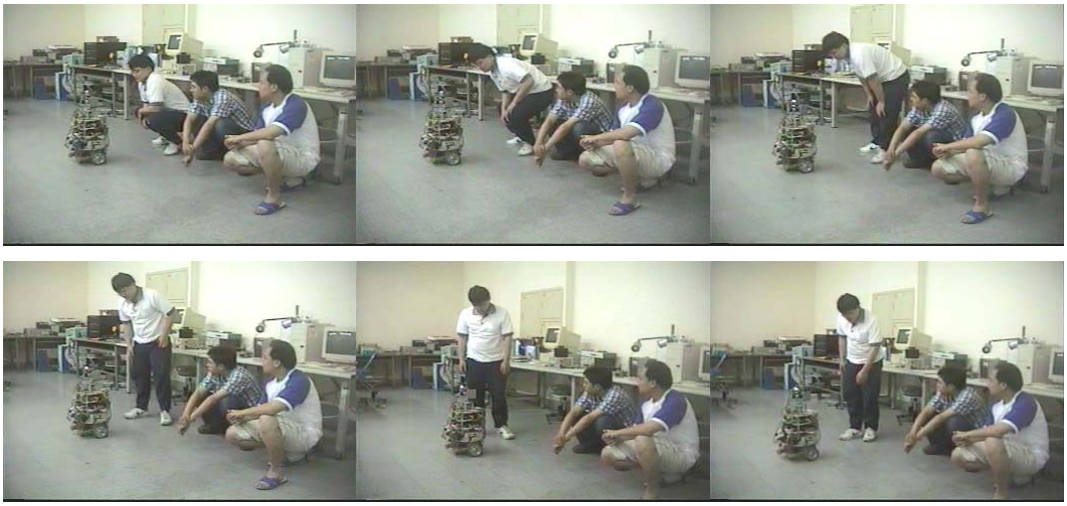


(d) 特定目標上移

圖十四 臉部識別與追蹤實驗



圖十五 家用機器人對特定人搜尋之流程



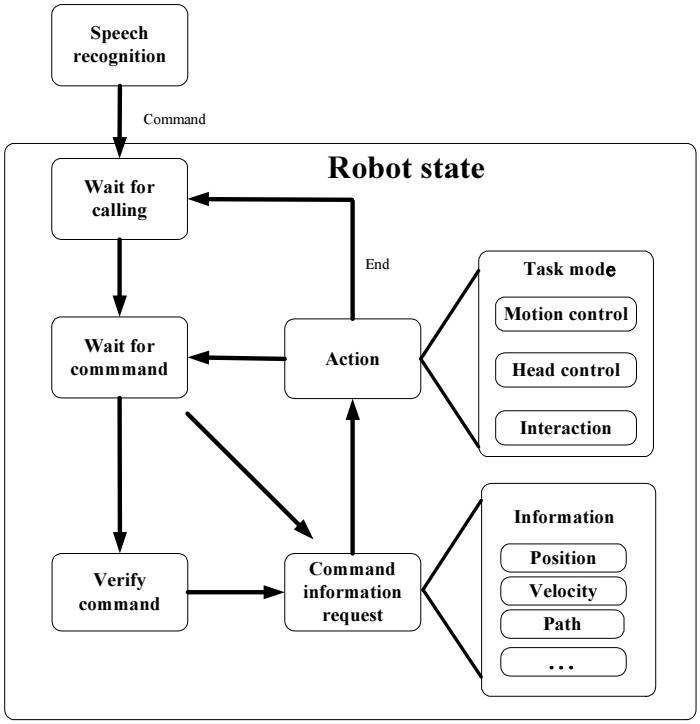
圖十六 家用機器人對特定人搜尋與互動之實驗

4.7 家用機器人之語音操控

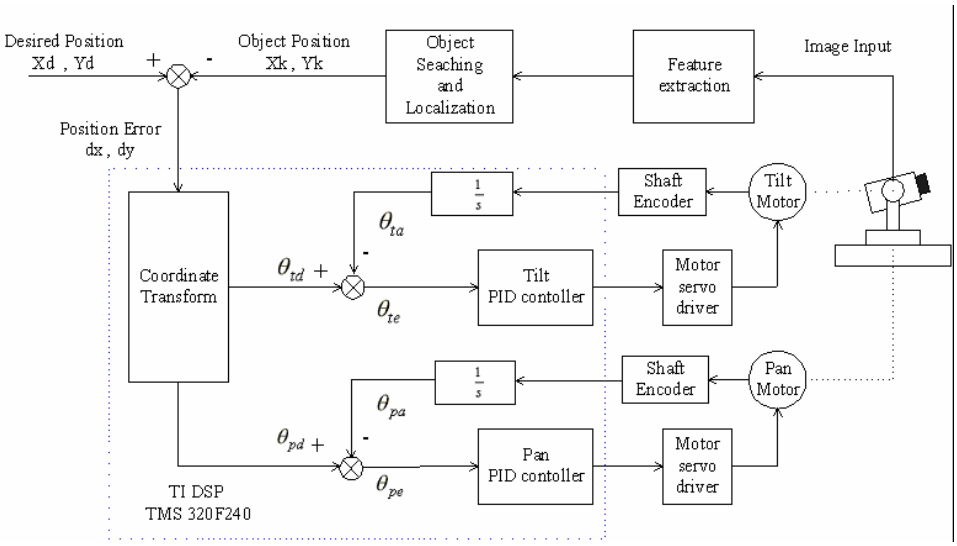
在語音互動方面，目前我們已完成語音操控系統。為了方便使用者對家用機器人的操作，利用第一年所完成之語音辨識系統，發展家用機器人之行為操控系統。設計上，機器人除了需要持續目前的運動狀態，亦需隨時等待使用者的呼叫。只要呼叫的命令輸入，就可以介入機器人的控制狀態之中。並且讓機器人進入下一個狀態，即等待命令的部分。對於特定的任務模式，例如家電控制、資訊傳達等功用，機器人需要使用者給定所需要的資訊，利用這些資訊，讓家用機器人可以正確地執行任務。圖十七顯示語音操控之狀態流程圖，圖中動作(Action)包含了兩個概念，一是機器人運動控制的部份，二是在機器人的語音回應。在特定的時刻，機器人可以用語音的方式回應資訊給使用者，增加與使用者之間的互動性，回應之內容是以機器人自己目前的狀態或是對於資訊的要求。在機器人執行任務時，使用者仍隨時可以透過以語音的方式變更其目前之狀態，這樣的設計是具彈性的，可以使得使用者在任何時刻皆可以對機器人的狀況進行控制。在語音的輸入介面，目前是透過無線麥克風的方式，將語音信號傳入 DSK Board，因此使用者可以在近端或遠端對家用機器人發出語音命令。目前使用之無線麥克風，有效距離可達 20 公尺，因此，在此有效距離之內，使用者可以利用無線麥克風直接的對機器人發出呼叫或命令。家用機器人語音資料庫設計為小字彙量的範疇，主要會可分為三個部分，本體運動控制命令、頭部運動控制命令及互動對話詞彙，並以中、英文混用的方式，中文以雙字詞為主、英文以單字為主。

4.8 家用機器人之影像追蹤控制器系統

影像追蹤控制器之功能即在控制機器人頭部之運動，而頭部運動控制主要目的在於使機器人頭部上的攝影機能移到目標物所在的位置上。本系統是基於影像(Image-based)的伺服控制系統，由影像的特徵作為伺服控制命令，不需透過逆向運動學來推導目標物的位置與姿態，控制系統中有兩種回授迴圈：1.控制系統影像位置回授迴圈，可稱之外迴路控制。2.頭部機構伺服控制迴圈，可稱之內迴路控制。系統中的影像特徵萃取與定位功能，配合兩種回授迴圈完成以影像特徵為基礎的閉迴路控制。圖十八為影像追蹤控制器系統架構圖。在本系統中希望目標物始終能在影像的中心點位置上，故設定期望位置(Desired Position)(Xd,Yd)=(160,120)。



圖十七 機器人語音操控狀態流程圖



圖十八 影像追蹤控制器系統架構圖

4.9 以立體視覺為基礎之環境地圖建構與機器人定位

我們知道機器人要提供智慧型的服務，必須對其周圍環境有一定程度上的認知。對移動式的機器人而言，其最重要的問題在於〝where am I？〞，機器人必須知道其所在位置，客廳、廚房、還是臥室, 因此給機器人一個適當的環境模型來做導航(navigation)及定位(localization)是非常重要的。為了讓智慧型家用機器人了解自己身處何處，並且知道週遭環境的狀況，建立一個環境地圖是必要的，因為有了適當的環境資料，機器

人便可以進行導航亦即探索或搜尋的動作。為了要實現提供可以提供智慧型家用機器人一個可靠的環境模型，作為家用機器人智慧型行為的依據，我們必須希望能利用多機器人系統建立一精準的環境模型。利用多機器人來做環境地圖建立的目的在於〝降低由單一機器人感測所造成的不確定性〞，來達到精準的量測，建立與環境更加匹配的地圖。

在機器人架構方面我們維持計畫第一年所建構的智慧型家用機器人本體。在環境感測方面，我們建構出兩套立體視覺模組(Stereo Vision Module)，用來當做機器人的視覺；我們將在機器人單版上面的 USB port 上，裝上兩顆 USB camera，來做為我們立體視覺系統的建立，立體視覺的建構在於其兩張影像匹配的設定，當立體視覺系統一但架設完畢，對於我們後續的資料擷取以及使用都非常的便利。在我們測試的雙 USB CCD Camera 上面，我們發現其影像傳輸速率可達每秒 4~5 張，對於我們所要做的位置估測以及地圖建立來說，已經足夠我們使用。圖十九為我們所架設上立體視覺模組後的機器人，其中紅色以及藍色的球體是我們將來所要運用在機器人辨識上所設計。

靜態立體視覺分析(static stereo analysis)是假設在左、右兩 CCD 擷取影像時，影像中的景物都是靜止的，如果擷取的速度夠快的話，我們將其架設在機器人上面也是可行的。其基本的演算流程如下：

- 影像擷取(Image acquisition)：這個必須考慮到擷取進來的影像顏色與參數是否與真實世界接近，其所遭受的影響很多，例如光源、硬體設備等，我們採用威瑞 MC300 攝影機。
- 攝影機模型(Camera Model)：又可以稱為校正(calibration)，在此我們必須決定攝影機的內部及外部參數，這邊我們採用實驗室之前發展的校正程式做校正。
- 特徵擷取(Feature Extraction)：用影像處理技術來計算我們所想要得到邊緣或物體特徵。
- 影像匹配(Correspondence analysis 或 Matching analysis)：立體視覺深度距離的求得，這個步驟在整個立體視覺是相當重要的，對應點(Correspondence 或 Matching point)的尋找速度與正確性是主要關鍵。
- 三角量測法(Triangilation)：利用上一步驟所的的匹配點所得到的深度圖來建構出 3D 世界中的環境。

圖十九 架設上立體視覺模組後的機器人，紅球以及藍球用來做機器人辨識

在做立體分析時，有一重要的步驟就是立體匹配(Stereo matching)，匹配的目的就是要尋找右影像中某一元素最相似於已知的左影像中之元素(或左影像中某一元素最相似於已知的右影像中之元素)。在無限制條件的情形之下，匹配的程序顯然會花費相當多的時間，所以在很多的立體匹配方法中皆假設左右影像的共軛極點線(Conjugate epipolar lines)是共線的(Collinear)，或接近共線，使得在尋找對應點(Corresponding points)能在一維的範圍內進行，而共線的條件即是左右相機的光軸(Optical axes)必須是平行且垂直於基準線 (Baseline，兩透鏡中心的連線) 。搜尋的影像元素可以是一個點、一個區域或某種特徵。無論對應的元素為點、區域或特徵，其搜尋 Conjugate point 的方法大致可以分為兩類：Area-based (or Correlation-based or intensity-based correspondence analysis) 及 Feature-Based algorithms。 但是在這邊將利用 MSE 演算法(mean square error algorithm)配合 RGB 彩色模型來做匹配點的搜尋。原因為使用 MSE 演算法較簡單、快速，適合運用在需要即時反應的機器人身上且使用 RGB 彩色模型可大大降低匹配失敗的機率，因為它有三種值可供我們評估，這樣會比用灰度值(gray)來的強韌(robust)與精確(accuracy)，並可減低不確定性區域。MSE 演算法則如下：

$$\begin{aligned} &MSE(x,y,d)= \\ &\frac{1}{mn}\sum_{j=0}^{m-1}\sum_{i=0}^{n-1}\{(E_{L_R}(x+i,y+j)-E_{R_R}(x+i-d,y+j))^2+ \\ &(E_{L_G}(x+i,y+j)-E_{R_G}(x+i-d,y+j))^2+(E_{L_B}(x+i,y+j)-E_{R_B}(x+i-d,y+j))^2\} \end{aligned} \tag{1}$$

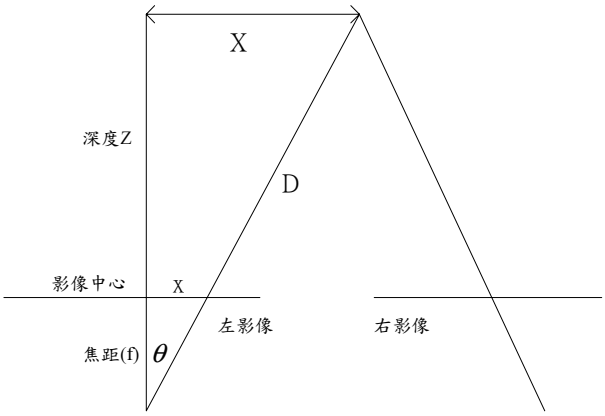
其中 E 為像素位置，m、n 為遮罩大小。我們希望尋找的匹配點即為以 d 為變數，使得 MSE error 為做小，則此時之 d 值為我們所希望找尋之視差，意義如下：

$$d_c(x,y)=\arg\min_d MSE(x,y,d) \tag{2}$$

通常我們對於尋找的得視差值，對其精確度仍然覺得不足，因此在此使用子像素(subpixel)的概念，來增加我們對於求取距離時，能減少其誤差。

在周圍物體深度 Z 求得之後，我們便可以利用之前攝影機校正(Camera Calibration)所得到的攝影機內部參數—影像中心(image plane)來重建世界座標，如圖二十所示。同時，經由相似三角形的比例關係，則可得到 D 值。最後我們在結合左邊攝影機與機器人關係，將世界座標相對於左攝影機轉換成世界座標相對於機器人即可。

$$\begin{aligned} &f:x=Z:X \\ &\rightarrow X=\frac{x\times Z}{f} \text{又} \theta=\tan^{-1}\frac{x}{f} \\ &\rightarrow D=Z\times(\cos\ \theta)^{-1} \end{aligned} \tag{3}$$



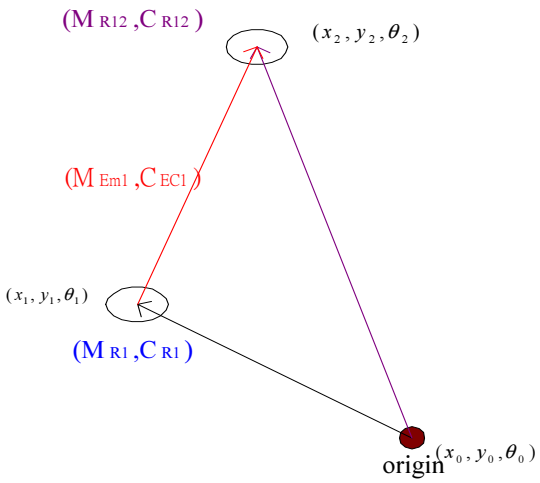
圖二十 距離與視差值轉換概念圖

我們利用具有 R、G、B 色彩模型的影像來做機器人搜尋，而要做搜尋之前必須先了解到要搜尋的機器人特徵，或者我們將可在機器人上面加裝人工特徵(artificial feature)，強化對機器人搜尋時的辨識率。在機器人搜尋方面我們將暫時在機器人身上裝置 R、G、B 三種顏色的球狀物體，我們第一步將會採用顏色分割的步驟將 R、G、B 三種彩色模型分割出來；首先我們把讀進來的影像分離成 R、G、B 模式，將 R、G、B 模式與灰階值相減，另外設定一臨界值，便可取得 R、G、B 分割後的模型。接著便可在此色彩模型中，以 Soble 運算以及 Hough 轉換來進行機器人搜尋的動作。

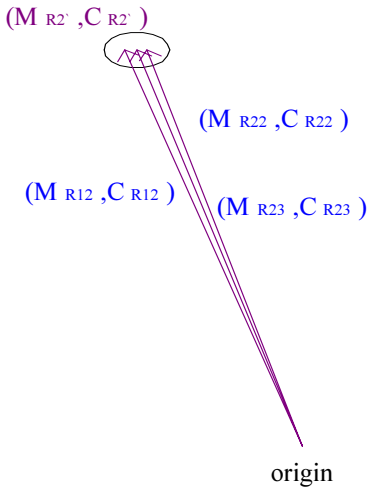
4.10 融合演算法

在多機器人網路架構當中，我們將經過兩個融合階段：Serial Fusion, Parallel Fusion。. 融合的演算法當中，為了要配合硬體及系統的處理能力， 我們利用矩陣計算來加速及簡化我們的處理。此融合法則採用離散卡曼濾波器(Discrete Kalman Filter)原理來實現。

利用 R1 本身之不確定參數指標，再加上 R1 對 R2 估測之不確定參數指標，來得到 R2 相對於世界座標系原點的不確定性(uncertainty)。M 表示機器人位置的平均值，C 為機器人位置不確定性之共變異數矩陣。圖二十一為串列融合概念圖。令 (x_i, y_i, θ_i) 為機器人 i 的姿態資訊，i=1、2。(x_e, y_e, θ_e) 為機器人 1 估測機器人 2 的姿態資訊。則機器人 2 由機器人 1 所觀測到的姿態資訊可表示為:



圖二十一 串列融合概念圖



圖二十二 並列融合概念圖

$$M_{R12}=\begin{bmatrix} x_1+x_e\cos\theta_1-y_e\sin\theta_1 \\ y_1+x_e\sin\theta_1+y_e\cos\theta_1 \\ \theta_1+\theta_e \end{bmatrix} \tag{4}$$

$$C_{R12}=J*\begin{bmatrix} C_{R1} & \sigma C_{R1}C_{E12} \\ \sigma C_{R1}C_{E12} & C_{E12} \end{bmatrix}*J^T \tag{5}$$

其中 J 為 Jocabian 矩陣，其表示式為:

$$J=\begin{bmatrix} 1 & 0 & -x_e\sin\theta_1-y_e\cos\theta_1 & \cos\theta_1 & -\sin\theta_1 & 0 \\ 0 & 1 & x_e\cos\theta_1-y_e\sin\theta_1 & \sin\theta_1 & \cos\theta_1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix},$$

式中 σ 為共變異數矩陣 C_{R1} 與 C_{E12} 之間的相關係數(correlation coefficient)。

當我們在所有網路節點中的 serial fusion 皆簡化到平行時，此時我們進行最後步驟，並列融合(Parallel Fusion)，目標再於將多組不同之二維高斯分布融合成一組。圖二十二為並列融合概念圖，其可用離散卡曼濾波器(Discrete Kalman Filter)原理來實現:

$$(M_{Rj})_{k+1}=(M_{Rj})_k+K*[(M_{Rj})_k-(M_{Rij})_k] \tag{6}$$

$$(C_{Rj})_{k+1}=(C_{Rj})_k-K*(C_{Rj})_k \tag{7}$$

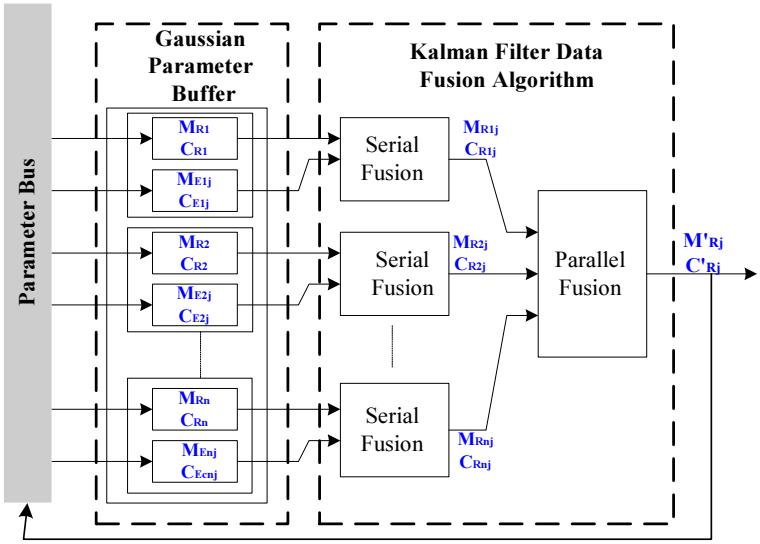
$$K=(C_{Rj})_k*\left[(C_{Rj})_k+(C_{Rij})_k\right]^{-1} \tag{8}$$

其中 K 為卡曼增益(Kalman gain)。

圖二十三為整個多機器人感測融合之流程圖。圖中 Gaussian Parameter Buffer 方塊儲存所有機器人的位置不確定參數，M_{Ri} 及 C_{Ri}，同時也儲存著機器人的感測模型參數，M_{Eij} 及 C_{Eij}，$1\le i、j\le n$。假設機器人 R1 感測到 Rj 時，其位置不確定參數及感測模型參數會馬上進行串列融合，我們經過串列融合馬上得到 R1 觀測到 Rj 的位置不確定參數 M_{E1j} 及 C_{E2j}，同理，假設有更多機器人觀測到 Rj 則會有更多的串列融合參數產生。最後我們把所有的串列融合參數進行並列融合，就會得到機器人 Rj 被觀測融合後新的位置不確定參數 M'_{Rj} 及 C'_{Rj}，我們再將此參數經過 Parameter Bus 將 Gaussian Parameter Buffer 中舊的位置不確定性參數更新。將此流程遞迴的演算下去，我們將能隨時更新住機器人的位置不確定性參數，使機器人達到定位的效果。

4.11 多機器人定位融合及環境地圖建立實驗

圖二十四為環境地圖建立流程圖，首先我們將立體視覺模組所感測到的環境資料點當作輸入，我們先將這些資料點作分群(Clustering)的動作，其目的在將屬於同一線段特徵的點粹取出來，接下來我們利用 Decide Slope 方塊判斷每個群最接近的斜率，在 LSE 方塊中以最小平方誤差法來利用線段 $y=ax+b$ 或 $x=cy+d$ 來擬合群中的點集合，為了避免斜率有無窮大的情形，再將這些線段轉換為單一表示式 $y\sin\theta+x\cos\theta=\rho$ 來表示，將所有找到的線段進行權重線段資料融合(Weighted Line Data Fusion)，將最後結果顯示成地圖線段。

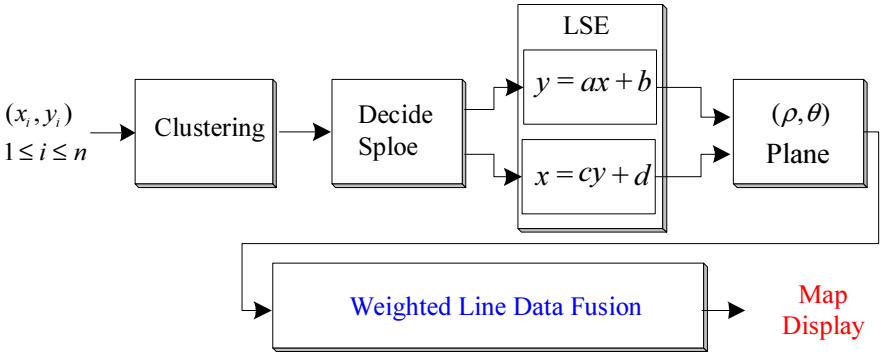


圖二十三 多機器人感測融合流程概念圖

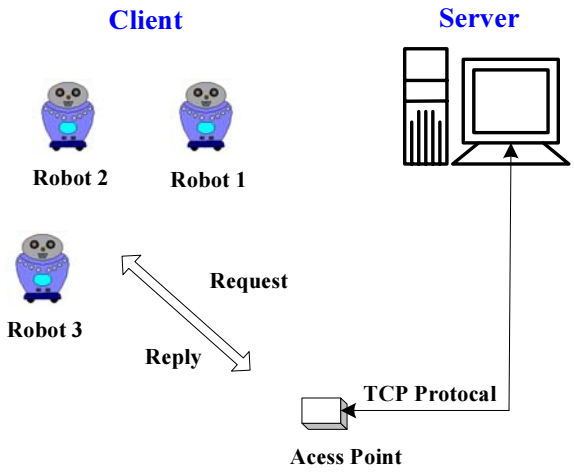
我們採用實驗室自行研發之智慧型家用機器人 H1 及 H2。H1 與 H2 機器人本體所使用之運動控制卡，為本實驗室所開發之 DSP Base 雙軸運動控制卡，此運動控制除一般 PID 伺服控制外，本體運動控卡包含了路徑追縱控制器，用於追蹤路徑產生器所下之命令，使用鉛酸電池為其電力來源。利用目前普遍的網際網路 TCP/IP 通訊協定架設了多機器人合作專用之 Server-Client 架構，以供實現多機器人網路合作架構。

Server 主要作為使用者與機器人的傳輸媒介，同時整合機器人所得到的環境資訊，多機器人團隊中的成員只要得到周圍環境的地圖資訊或者發現其身邊有其他成員，就會將資料傳送到伺服器端，等待伺服器的處理完畢，會將個別資料回傳至機器人團隊，如此一來，多機器人團隊的互動與操控架構便會建立起來。機器人伺服器端在整個多機器人合作定位架構上是不可或缺的，它除了當作機器人間的橋樑之外，它更監控了所有的機器人(Client 端)，當機器人有突發狀況時，例如有障礙物出現、網路中斷等，都會馬上將資訊傳送回 Server 端，此時再由 Server 端來作工作上的分配調整，讓失去工作能力的機器人負擔較少的工作，增加其它正常運作機器人的工作。伺服器端與機器人團隊間的通訊必須透過一個網路橋接器(Wireless Access Point)，無線橋接器可以視為是 Ethernet 上的一個節點，接收機器人上的無線網路卡所傳回來的資料並送至 Ethernet 上的 Server，圖二十五為我們設計之多機器人 Server-Client 示意圖。

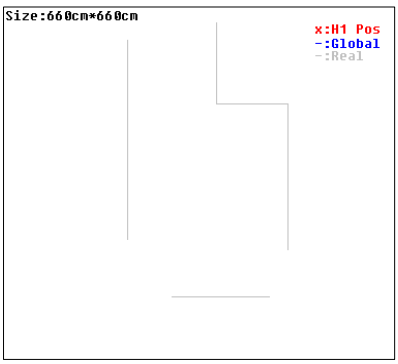
本研究以機器人 H1 及 H2 組成機器人團隊，進行多機器人合作感測定位與環境地圖建立的實驗，圖二十六顯示 2D 實際環境地圖。圖二十七(a)顯示在 Server 端機器人 H1 所建立的區域地圖，圖二十七(b)為機器人 H2 所建立的區域地圖，其環境範圍皆為 660cm×660cm。圖二十七中黑點代表機器人移動軌跡，黑色線段代表機器人所建構的環境特徵，圖中灰色線顯示的是環境的真實線段。加入本研究所提出之合作感測融合(Cooperative Sensing)，將卡曼濾波器的並列融合(Parallel Fusion)導入本實驗當中，所得之結果如圖二十八，此為 H1 與 H2 的合作感測地圖建構結果，其結果比原個別所建者更符合實際環境。



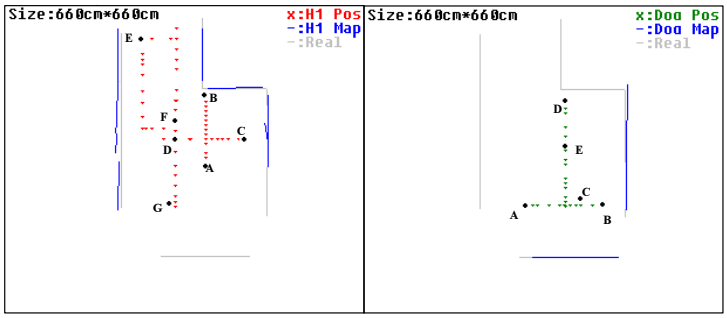
圖二十四 環境地圖建立流程圖



圖二十五 多機器人 Server-Client 示意圖

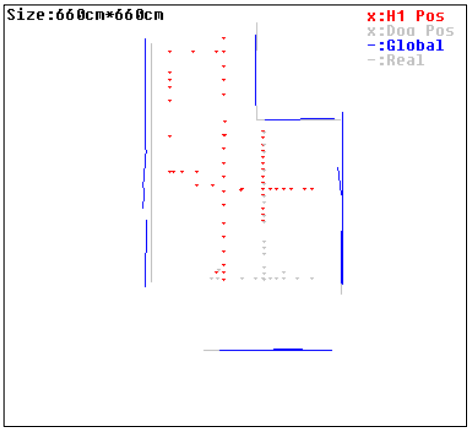


圖二十六 實際比例地圖



(a) (b)

圖二十七 (a) H1 地圖建立 (b) H2 地圖建立



圖二十八 H1 及 H2 合作地圖建構結果

五 、結果與討論

本計畫第一年的執行期間我們完成了家用機器人機構本體與頭部的設計與製作。所研製成功的雙軸同動 DSP 馬達運動控制卡與馬達驅動電路，同時應用於頭部機構控制與底輪運動控制。在運動控制卡中，加入了路徑追蹤控制器，使家用機器人能遵循所規劃的路徑行走。在頭部方面，由於馬達運動的座標系統與影像移動的座標系統不同，所以我們設計了一種座標轉換的方式，使馬達能隨著影像中目標物的移動而迅速的到達定點。由於馬達控制卡是獨立於 PC 之外，所以各種運動控制皆不會消耗 PC 的資源，使能有更多的資源做不同的事。目前本計畫進行順利，未來工作我們將逐一的按照所訂定的進度持續下去，如：加入嵌入式操作系統、影像辨識系統、家電遙控模組研製、建立一套有用的學習法則和進化法則、建立家用機器人的反應式行為決策機制並且設計任務自我分派的機制……等等。

第二年的執行期間我們完成了家用機器人經由網路操控系統，使用者可以透過 PDA 等上網裝置與機器人互動。藉由語音辨識及人臉辨識，我們發展出家庭成員之互動系統，即語音操控家用機器人及家用機器人對特定家庭成員搜尋。在影像辨識方面，我們提出了一個人臉辨識系統架構，並應用於家用機器人上，使其能夠與人互動。本計畫完成一平均辨識成功辨識率可達到 90%的中英文混合語音辨識系統，並且在家用機器人上完成實驗測試，可以符合一般人說話的方式對家用機器人發出控制命令，讓家用機器人在使用者的指揮下，作指定的動作。

第三年的執行期間我們利用計畫第一年所完成的機器人本體架構出了一套利用立體視覺來判斷週遭環境的多機器人合作系統，而我們建構的立體視覺系統，也成功的運用在機器人身上。經過以上實驗與理論推導中，我們發現對於我們所設計的多機器人環境地圖建立系統，其可行性是存在的，而且效果也相當不錯，未來我們希望能將此機器人系統加入實際家庭環境場景中，希望能建立出可靠的環境地形表示，以提供智慧型家用機器人後續使用以及家庭成員利用。本計畫之研究內容與原計畫完全符合並已達到預期目標，所發展之多機器人感測融合及定位演算法之設計等研究成果具有學術價值與實用性，較完整的論文近期內將投稿於學術期刊。

六 、結論

本計畫第一年完成了家用機器人環境感測與反應操控系統研製；第二年完成了機器人家庭成員之智慧型機人介面(Robot-man interface)系統研發；第三年完成了機器人學習與合作機制的研究。經由本計畫之執行，我們將提出機器人控制方面的新架構與理論，也將研發出具體之機器人與外界互動之資訊處理法則及硬體設備，對機器人學術界產生具體的貢獻。本計畫之研究內容與原計畫完全符合並已達到預期目標，所發展之機器人影像追蹤控制設計及家庭成員辨識設計等研究成果具有學術價值與實用性，已有兩篇期刊論文及六篇國際研討會論文 ICMT 2002、IEEE ICRA2003、IEEE CIRA 2003、IEEE CCA 2004、IEEE IROS 2004、IEEE SMC 2004，較完整的論文近期內將投稿於學術期刊。

參考文獻

[1] Natsuki Miyata, Jun OTA, Yasumichi Aiyama, and Tamio Arai, “Real-time Task Assignment for multi-agent Robots,” *IEEE international conference on Systems, Man, and Cybernetics*, Volume: 4, Page(s): 761 -768, 1999.

[2] Georges M. Quent, “The Orthogonal Algorithm for Optical Flow Detection using Dynamic Programming, “*IEEE International Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing*, Volume: 3, Page(s): 249 -252, 1992

[3] Anuj Dev, Ben Krose and Frans Groen, “Navigation of a mobile robot on the temporal development of the optic flow,” *IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems*, Volume: 2, Page(s): 558 -563, 1997.

[4] Thomas Braunl, “Improv and EyeBot Real-time Vision on-Board Mobile Robot,” *Fourth Annual Conference on Mechatronics and Machine Vision in Practice*, Page(s): 131 -135, 1997.

[5] Zhongbin Liu, Hideki Hashimoto, Ren. Luo, Fumio Harashima and Qian Li, “Path Following Control of A Mobile Robot,” *IEEE International Conference on Industrial Technology*, Page(s): 607 -611, Dec. 1994.

[6] N.Moghadam Charkari, Kazunari Ishii and Hideo Mori, “Proper Selection of Sonar and Visual sensors for Vehicle Detection and Avoidance,” *IEEE/RSJ/GI International Conference on Intelligent Robots and Systems*, Volume: 2, Page(s): 1110 -1117, 1994.

[7] Tetsuya Ogata and Shigeki Sugano, “Mechanical System for Autonomic Nervous Systemin in Robots,” *IEEE/ASME International Conference on Advanced Intelligent Mechatronics*, Page(s): 113, June 1997.

[8] Inacio Fonseca and Jorge Dias, “Exploring Image Properties for Robot Navigation,” *IEEE International Symposium on Intelligent Robots and Systems*, Volume: 1, Page(s): 533 -538, 1998.

[9] S. Feyrer and A. Zell, “Tracking and pursuing persons with a mobile robot,” *International Workshop on Recognition, Analysis, and Tracking of Faces and Gestures in Real-Time Systems*, Page(s): 83 –88, 1999.

[10] C. Breazeal , A. Edsinger, P. Fitzpatrick, B. Scassellati and P. Varchavskaia, “Social Constraints on Animate Vision,” *IEEE Intelligent Systems*, Volume: 15, Issue: 4, July-Aug. 2000 Page(s): 32 -37

[11] M. Ricotti, M. Ceresa, and A. Barili, “Real time active vision for the mobile robot PARIDE,” *International Conference on Industrial Electronics, Control and Instrumentation*, Volume: 2 , Page(s): 1072 -1077, 1994.

[12] Jian Peng, A. Srikaew, M. Wilkes, K. Kawamura and A. Peters, “An active vision system for mobile robots,” *IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics*, Volume: 2,

Page(s): 1472 –1477, 2000.
[13] E. Guglielmelli, C. Laschi, G. Teti, R. Fontanelli and P. Dario, “A modular and distributed supervisory system for a semi-autonomous personal robot for household applications,” *International Conference on Advanced Robotics*, Page(s): 45 –50, 1997.
[14] Agah, A.; Walker, R.; Ziemer, R., “A mobile camera robotic system controlled via a head mounted display for telepresence,” *IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics*, Volume: 4, Page(s): 3526 -3531, 1998.
[15] Bonarini, A.; Aliverti, P.; Lucioni, M. “An omnidirectional vision sensor for fast tracking for mobile robots,” *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, Volume: 49, Issue: 3 , Page(s): 509 –512, June 2000
[16] Zue, V.W.; Glass, J.R., “Conversational Interface : Advances and Challenges, “ *Proceedings of the IEEE* , Volume: 88, Issue: 8, Page(s): 1166 -1180, Aug. 2000.
[17] K. Kelly, “NET & TEN,”大塊文化出版社出版,1999。
[18] Natsuki Miyata, Jun Ota, Yasumichi Aiyama , and Tamio Arai, “Real-time Assignment for Multi-agent Robots,” *IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics*, pp. 761-768, 1999.
[19] S. C. Botelho and R. Alami, “A Multi-robot Cooperative Task Achievement System,” *IEEE International Conference on Robotics and Automation*, pp. 2716-2721, 2000.
[20] Steven M. LaValle and Seth A. Hutchinson, “Game Theory as a Unifying Structure for a Variety of Robotic Tasks,” *International Symposium on Intelligent Control*, pp. 429-434, 1993.
[21] V. N. Rajan and S. Y. Nof, “Planning Knowledge and Game-theoretic Models for Cooperative Assembly,” *IEEE International Symposium on Intelligent Control*, pp. 957-962, 1990.
[22] Pierre-Yves Glorennec, “Coordination Between Autonomous Robots,” *International Journal of Approximate Reasoning*, pp. 433-446, 1997.
[23] Kyung No Lee and Doo Yong Lee, “An Approach to Control Design for Cooperative Multiple Mobile Robots,” *IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics*, pp. 1-6, 1998.
[24] Randy Sargent, Bill Bailey, and Anne Wright, “The Importance of Fast Vision in Winning the First Micro-robot World Cup Soccer Tournament,” *Robotics and Autonomous Systems*, pp. 139-147, 1997.
[25] Sung Ho Kim, Jong Suk Choi, Jae Kwon Kim, and Byung Kook Kim, “A Cooperative Micro Robot System playing Soccer:Design and Implementation,” *Robotics and Autonomous Systems*, pp. 177-189, 1997.
[26] Takayuki Nakamura, “Development of Self-Learning Vision-based Mobile Robots for Acquiring Soccer Robots Behaviors,” *IEEE International Conference on Robotics and Automation*, pp.2592-2598, 1998.
[27] Jong-Hwan Kim, kwang-Choon Kim, Dong-Han Kim, Yong-Jae Kim and Prahlad Vadakkepat, “Path Planning and Role Selection Mechanism for Soccer Robots,” *IEEE International Conference on Robotics and Automation*, pp.3216-3221, 1998.
[28] R. Alami, S. Fleury, M. Herrb, F. Ingrand, and F. Robert, “Multi-robot Cooperation in the MARTHA Project,” *IEEE Robotics, and Automation Magazine*, pp. 36-47, 1998.
[29] A. Ferworn, R. Roque, and I. Vecchia, “MAX: Wireless Teleoperation via the World Wide Web,” *IEEE Canadian Conf. On Electrical, and Computer Engineering Shaw Conference Center*, Edmonton, Alberta, Canada, pp.1380-1384, 1999.