

先進家用機器人系統研發(2/3) - 總計畫

Development of Advanced Home Robot System

計畫類別： 個別型計畫 整合型計畫

計畫編號：NSC 91 - 2213 - E - 009 - 023

執行期間：91年08月01日起至92年07月31日

計畫主持人：宋開泰教授

共同主持人：胡竹生教授

楊谷洋教授

莊仁輝教授

李迪章副教授

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 92 年 5 月 29 日

摘要

本計畫之目的在發展智慧型家用機器人系統，五個子計畫分別針對家用機器人各項關鍵技術進行研究。在第二年計畫執行期間，無論在基本方法的發展與實際硬體技術的開發，皆有多項具體成果，此份報告將對這些進展提出精簡說明。在資訊平台部分，我們成功地建置了家用機器人之嵌入式 Linux 乙太網路伺服控制器及嵌入式乙太網路控制器模組。在以網路達成分散式控制的設計方面，我們提出一個硬體層即時網路通訊協定(Hardware Real Time Protocol, H RTP)及 H RTP 之乙太網路時脈同步方法之理論與實作，這對一個複雜的多感測器多致動器之家用機器人而言，具有分散式控制與分散式智慧的發展潛力。在機器人視覺方面，我們完成了影像特徵點擷取與對應的設計，並應用機器人參數校正的結果達成三維空間重建，對未來機器人自我定位與影像追蹤控制是一項重要進展。在機器人互動系統部分，我們已完成以 web camera 取像達成人臉辨識的功能，並以此為基礎，建構完成對特定人物(家庭成員)的搜尋與辨識，可以進行機器人對家庭成員的追蹤。在語音部分，我們應用語音辨識的技術完成了以語音操控機器人的實驗，未來將整合人臉辨識使機器人與家庭成員間之互動更實用化。我們亦已完成家用機器人之 3 自由度機械手臂之設計與製作，配合遠端操控及網路遙控的功能，進一步的功能將逐步被開發出來。

Abstract

The goal of this project is to develop an intelligent home robotic system. All five sub-projects aim to investigate key technologies of an advanced interactive robotic system. In the second year of the project, both in the area of basic methods and practical realization, we have achieved many useful and breakthrough results. This report will summarize these advancements of this integrated research. For the computational platform of the home robot, we successfully designed and implemented an embedded real-time Linux ether-net servo controller and a distributed embedded ether-net controller module. We propose a hardware real-time protocol (H RTP) and its real-time synchronization method. These have been realized and tested to demonstrate their practicability. For the robot vision system, we have developed a new algorithm to solve the correspondence problem in the stereovision. We propose a method for 3-D scene reconstruction using multiple view frames. These results are useful for future robot self-localization and image-based tracking control. We have achieved a remote control of the robot using internet (through a PC, a notebook or a PDA). This capability provides a easy-to-access interaction between the host and his/her home robot from virtually any place in the world. We also completed a face recognition and searching system using the on-board web camera. This provides the robot a capacity to recognize the members of the family and interacts with the member by following him/her or waiting for commands. Based on the voice recognition achieved in the previous year, we developed a voice control system for the home robot. Moreover, we also designed and constructed a 3-degree-of-freedom robot arm for the home robot. A more practical interaction system will be developed using these features in the next phase of project.

第一章 計畫緣由與目的

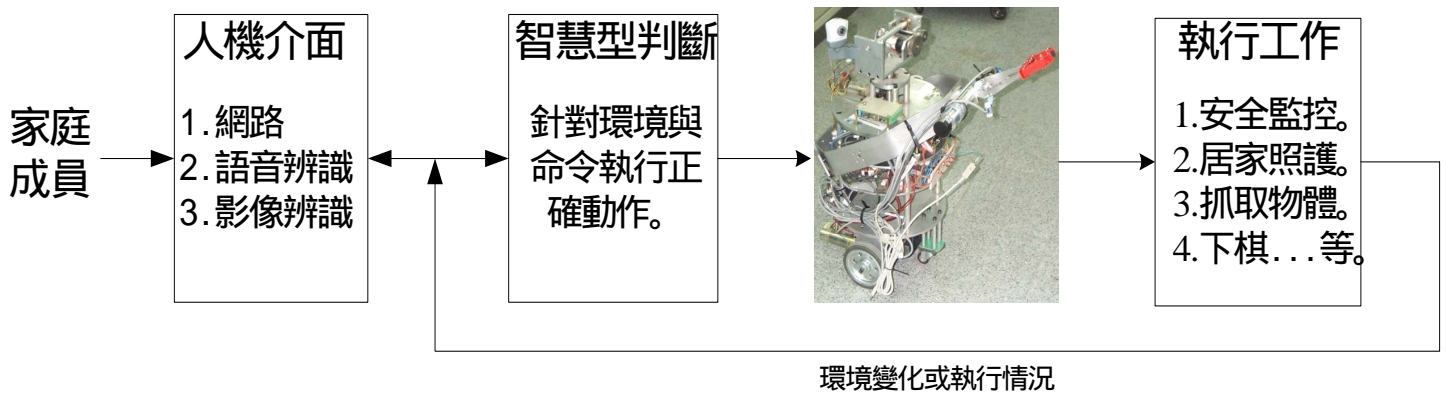
Sony、Honda 及其他日本廠商在最近幾年一連串的公開了好幾款擬人化機器人，如日本本田 2001 年 11 月發表小型且更親切的 Asmio, Sony 發表了會隨音樂跳舞的機器人 SDR-4X, 日本政府和民間聯合成立的 ATR 智能影像通訊研究所發表能幫人處理日常生活事務的機器人。事實上，智慧型機器人已引起科技界的注意，而其中最具有未來市場潛力的應該算是與網路連接的家用機器人。此處家用機器人可說是結合家庭夥伴(Robot mate)及家庭幫傭(Robot maid)的一種多用途機器人。這種家用機器人設備將可以供在一般家庭使用而成為一種資訊家電(Information appliance, IA)，重要的是它整合了多種有用的功能。雖然這些機器人尚未成為成熟的商品，但可預見的是在不久的未來將有機器人走入辦公室及家庭，成為與人們共同相處的家電商品。可移動式的機器人走入家庭似乎已經是一個重要趨勢，然而現階段具備高度智慧的移動式機器人大都屬於較龐大的設備。對於民生化、家庭化的需求仍有一段距離。一個家用機器人系統，所應有的要求應該是一個體積小、省電、運作速度快、網際網路資訊介面寬廣，具有影像與聲音系統的處理環境，擁有對外在環境之感測介面，以及互動性和家電系統有一定之整合能力的設備。甚至擁有一定程度的人工智慧與擴充能力。

本計畫之主要目的在發展家用機器人系統及其關鍵技術，這包括以下幾個重要項目：

1. 家用機器人系統之資訊與網路平台。發展運用嵌入式 DSP 以及新興的 Embedded Ethernet 技術，整合出一個擁有靈活彈性且低成本之機器人發展系統。
2. 家用機器人之遠端呈現與操控系統。發展機器人之遠端呈現、虛擬實境與遠端操控。
3. 家用機器人之電腦視覺系統。發展家用機器人的視覺模組。藉由此視覺模組，機器人可以建立三維場景的模型，並推估自身與所處環境間的幾何相對關係，期使行進過程中不致與環障礙物發生碰撞。
4. 家用機器人之智慧型互動系統。探討與設計機器人與家庭成員之互動、機器人與環境中物體如智慧型家電間之互動、及機器人與其他機器人之間之互動。
5. 家用機器人之影像追蹤控制系統。研究機器人之影像追蹤控制器設計。

此外，綜合目前發表出的智慧型家用機器人來說，在功能上大多不具有抓取物體的功能。

然而，為智慧型機器人架設上屬於它的手臂，將可以增加機器人與環境物體的互動，並為智慧型機器人的功能更加延伸。因此我們所發展的智慧型家用機器人將具有一簡單之機械手臂，並研發出一套設計，讓機器人能依照我們的指示到家庭中的某個地方代替我們抓取一些東西或操作某些家庭用品，如此一來，將可為家庭中的成員造成很大的方便，這樣也就更增加了機器人與加家庭中成員的互動。圖一為智慧型家用機器人與機械手臂結合之功能流程圖構，希望它能產生對家庭有幫助的效果及功能，其中我們希望此手臂可以提供家庭娛樂，例如下棋等，甚至在家庭成員不方便時，代替家庭成員來抓取或移動物體。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。



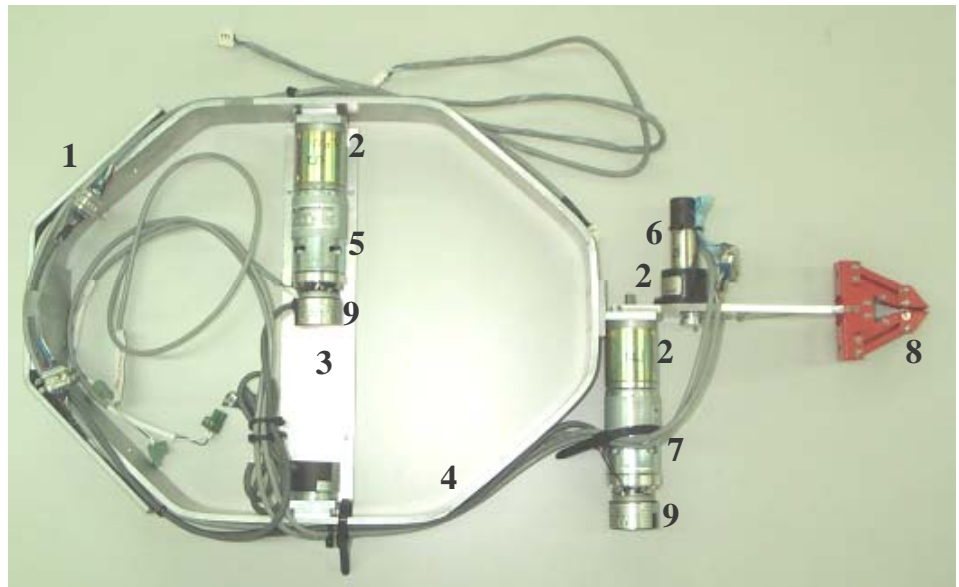
圖一 智慧型家用機器人與機械手臂結合之功能流程圖。

第二章 研究方法與成果

2.1 家用機器人手臂硬體之研製

在此機械手臂的硬體設計上，所需要考慮的包括、可抓取的最大高度、手爪的最大寬度、以及整個手臂的轉動維度...等，最重要的是與現有家用機器人之間整合的考量。因此我們最後考量設計出的為一 2 自由度的手臂，可執行上升、下降功能，再搭配上智慧型家用機器人的轉動及移動，如此一來將可滿足我們的需求。我們設計手臂外框為一對稱八邊型，垂直手臂部分為 42 公分，水平手臂部分為 32 公分圖，希望垂直套設在我們的智慧型家用機器人上面，做成對稱八邊形的目的在於希望能平衡機器人左右兩邊重量，而手臂後方我們增加了一塊長方形鐵板，希望用來平衡手臂前後，彌補手爪及手腕所造成的不平衡。配合肩膀的設計我們將手腕長度設計成 20 公分，可以配合機器人來抓取地面上的物體，不會太長或太短。手臂前方為手爪，我們設計此手爪為兩根手指外型，並且將手爪最大張開寬度設計成為 8 公分，希望此手爪能夾取常見之簡單物體，8 公分對一般物體厚度來說已經足夠。此外我們搭配的齒輪組的齒輪比為 1:294，因此抓取 1 公斤重的物體將不是問題。圖二為我們所建構手臂的實際圖片，表一-1 為此手臂配合智慧型家用機器人後之硬體規格與功能說明。

- 1.平衡鐵板
- 2.齒輪組
- 3.固定鐵板
- 4.八角形外框
- 5.肩膀伺服馬達
- 6.手爪伺服馬達
- 7.手腕伺服馬達
- 8.手爪
- 9.軸編碼器



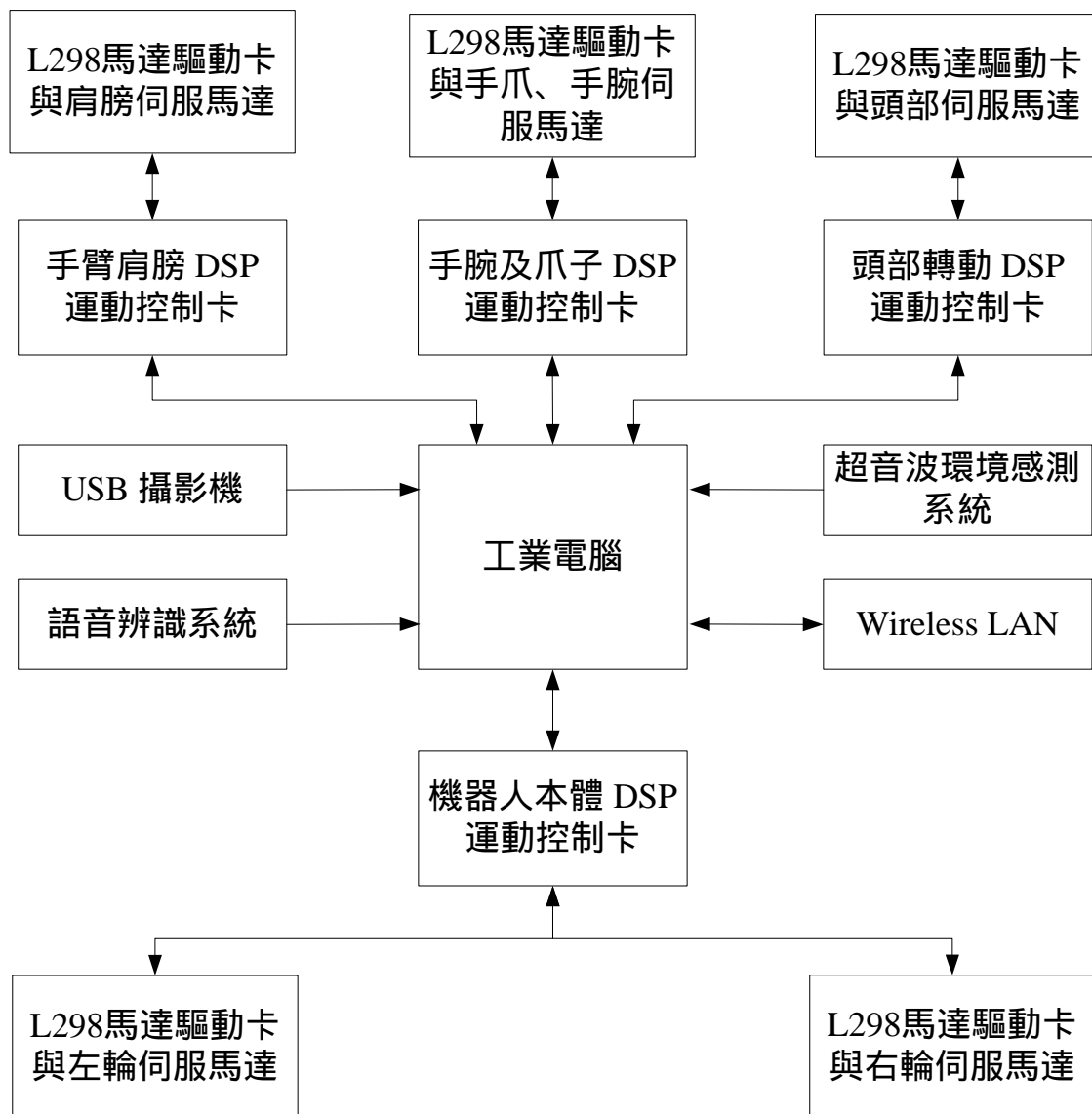
圖二 家用機器人機械手臂實體圖

表一 機械手臂與機器人結合之硬體規格說明

項 目	規 格
製造材質	鋁
手爪最大張開長度	8 公分
手腕長度	20 公分
平衡鐵板體積	13.5 × 0.5 × 6 立方公分
平衡鐵板重量	0.95 公斤
肩膀外型	對稱八邊型，長軸為 42 公分，短軸為 32 公分
手腕最大上升角度	90 度
手腕最大下降角度	90 度
肩膀最大上升角度	45 度
肩膀最大下降角度	45 度
機器人可抓取高度	最高：100 公分左右 最低：0 公分(地面)
機器人可抓取最大重量	1.3 公斤
驅動裝置	DSP 馬達控制器及 L298 驅動電路
手爪伺服馬達	馬達型號：ESCAP 23LT12-216E DC Motor 輸入電壓：12 V 限定力矩：21.7 g-cm 無負載轉速：8800rpm 無負載電流：90mA 軸編碼器：400 pules/turn 齒輪比：60
1.手腕伺服馬達 2.肩膀伺服馬達	馬達型號：IG-42GM DC Motor 輸入電壓：12 V 限定力矩：553 g-cm 限定電流：<4000 mA 無負載轉速：7000 rpm 無負載電流：<900mA 軸編碼器：2000 pules/turn 齒輪比：294

未來我們將會結合機器人的視覺系統來做一人機介面的發展，期望此智慧型家用機器人能達到我們架設此手臂的構想。另外我們還會加上 CCD 影像擷取功能，希望藉由影像辨識，讓機器人自主性的選擇我們希望的物體來抓取。圖三為整個系統的架構方塊圖。

在手臂馬達控制方面，我們採用計畫第一年所發展出來的 DSP 馬達控制卡。本運動控制卡在最底層以 PID 控制法則控制馬達，單顆 DSP 完成雙軸同動控制，雙軸控制不需額外解碼電路，RS-232 介面與 PC 連接，同時另有路徑蹤控制器時現於 DSP 控制卡內，使本運動控制卡不只是單純的 PID 運動控制卡。



圖三 智慧型家用機器人結合手臂系統架構方塊圖

在控制方面我們當初設計肩膀部分能上、下轉動最大角度為 45 度，而再利用手腕的部分來做配合我們可夾取地面物體，以及最大高度在 1 公尺上下的物體。圖四為手臂架設於機器人上面之後，所能到達的最大高度；圖五顯示手臂所拿抓取到地面位置的功能。

2.2 資訊與網路平台

家用機器人資訊與網路平台主要完成四項結果。 1.成功的設計建置家用機器人之嵌入式 Linux 乙太網路伺服器控制器 2. 嵌入式乙太網路微型控制器 3. 硬體層即時網路通訊協定 (Hardware Real-Time Protocol ; H RTP) 4. H RTP 之乙太網路時脈同步方法之理論研究以及實作和驗證，其內容簡述如下：

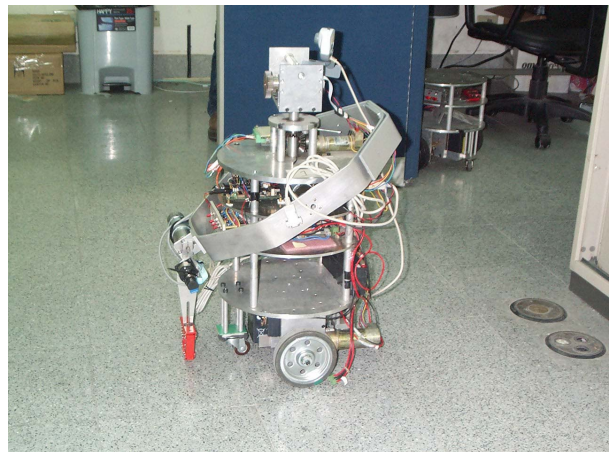
運用 Embedded Linux 技術成功的建構出 Home Robot 之即時嵌入式 Linux 乙太網路伺服器控制器。本控制器擁有不到 3Mbyte 的 code size 便能擁有 Ftpd、Telnetd、Httpd、NFS Client、Real Time Task 等能力。並運用 RTLinux[1]建構於核心當中提供硬體即時排程規劃。運用此架構建構一個屬於家用機器人網路伺服器環境如圖六。

2.2.1 嵌入式乙太網路微型控制器

為了符合 Home Robot 小體積，省電的目的，本計畫亦運用 Mobile Thin Client 技術研發多種嵌入式乙太網路微型控制器模組。此可擴充主從架構式的 Robot 應用周邊模組，模組之原型如圖七。此嵌入式乙太網路微型控制器模組最大的特色為運用傳統單晶片 RSIC 為核心



圖四 抓取最大高度

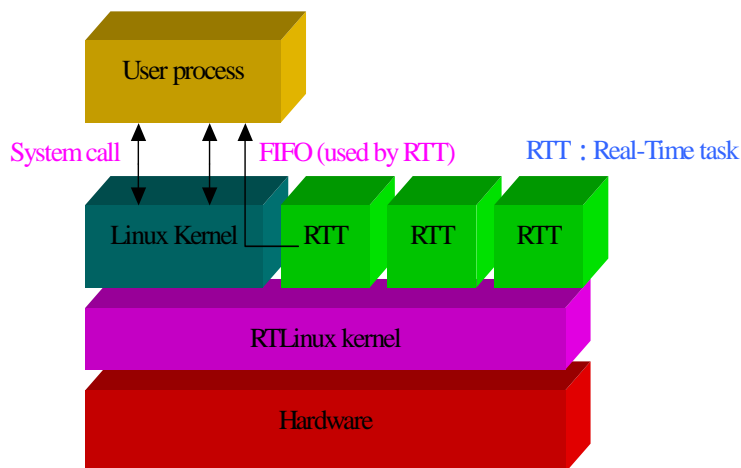


圖五 抓取最低高度

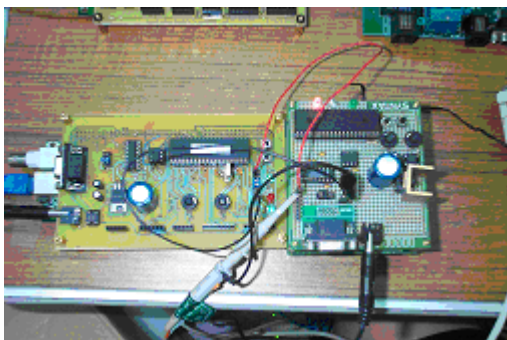
降低成本體積小省電、運用乙太網路為傳輸媒介且使用強健性之 TCP/IP 協定為通訊基礎降低使用的困難度。更近一步的完成 Ethernet 馬達控制模組，如圖八。

2.2.2 硬體層即時網路通訊協定 Hardware Real-Time Protocol (H RTP)

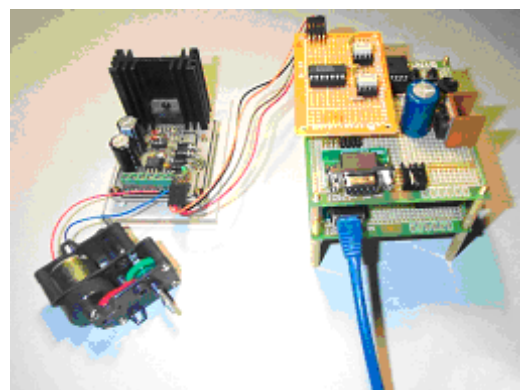
硬體層即時網路通訊協定方面，運用傳統的 OSI 與 CSMA/CD 理論架構。將 H RTP 建構於 OSI 第三層之內將網路封包依照 H RTP-Time Table 所作的時間傳輸規劃作傳輸分配。藉此避免掉網路碰撞造成 Back-off Time 的不確定性。因而達成即時網路對時間嚴謹要求。且將系統通訊延遲時間便成一個可預測規劃的架構。更重要的是 H RTP 對系統所作的封包切換控制技術 Packet Traffic Control[2]並不會影響傳統封包傳遞，也就是說擁有完全相容於傳統網路協定，此為其最大的特色。本研究結果已發表學術論文[2]。



圖六 家用機器人網路伺服環境



圖七 Robot 應用周邊模組



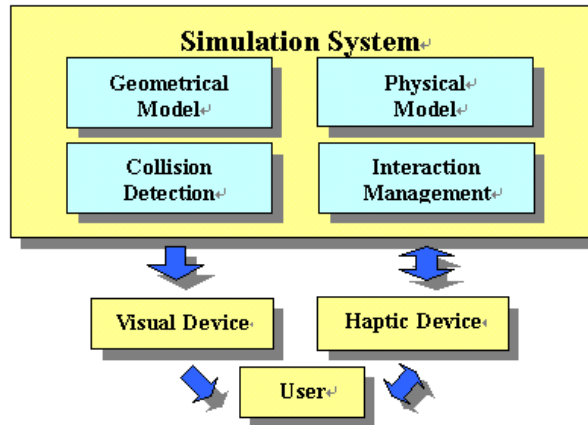
圖八 Ethernet 馬達控制模組

2.2.3 H RTP 之乙太網路時脈同步方法

配合著硬體層即時網路通訊協定理論基礎下，更進一步延伸出 H RTP 之乙太網路時脈同步方法。在分散式網路控制中，時脈同步為複雜的問題之一。運用"硬體層即時通訊協定"(Hardware Real-Time Protocol)H RTP 提供一個新的封包控制技術，擬造出擁有頻率誤差特性之特殊網路封包流。再藉由“時脈頻率誤差偵測演算法”(The Algorithm of Clock Frequency Error Detection)粹取出網路封包流的頻率誤差特性。經由實驗運用此方法成功的檢測出 100us 以下的頻率誤差。並將其驗證和實作於嵌入式網路系統(Embedded Internet Controller)上。證明此方法之簡單，實用且高精度之特性。本研究結果已發表學術論文，詳細內容請參考[2]。

2.3 電腦視覺與虛擬實境遠端操控系統

真實世界中，不同材質的物體具有不同的物理性質而反映出不同的行為。為了要在虛擬實境中真實的模擬出物體行為，我們發展出一物體建模技術，此技術結合了幾何建模與物理建模技術來為物體建構出一混和模型，此混合模型利用幾何模型的部分來描述物體外觀，並以物理模型的部分來描述物體的行為。除了物體模型的建構外，另一重要的主題就是要真實模擬出物體之間的互動。在我們所建構的虛擬家用機器人場景中，互動的模擬是根據家用機器人與其互動的物體所可能發生的互動行為來設計，例如機器手對物體的壓、夾、抬、放等操作。總結來說，要在虛擬實境中真實的模擬物體行為，必須藉由整合幾何建模、物理建模以及互動模擬來達成。我們根據上述概念開發一模擬系統來模擬家用機器人與彈性物體間的互動，該系統包括下列主要元素：幾何模型、物理模型、碰撞偵測及互動的管理等，如圖九所示。在圖九中，使用者透過觸覺裝置，如力回饋搖桿，操控虛擬實境中的機器人與彈性物體互動，此時碰撞偵測會去偵測機器人與彈性物體間的碰撞情形，一旦發生碰撞，系統將提供適當的操作方式來模擬它們之間的互動情形，並透過視覺與觸覺裝置將模擬結果呈現給使用者。



圖九 模擬系統架構圖

以下將針對模擬系統中每個元素的實現方式做描述：

A. 幾何模型

為了提高模擬系統的效率，我們只對物體的表面進行描繪，而以能夠提供物體平滑表面的 B-spline 曲面來繪製物體的外觀。並透過設定一些燈光效果與物體的色澤來增強物體真實感。

A. 物理模型

我們利用質量 – 彈簧模型來建構彈性物體的物理模型。首先將整個彈性物體離散成許多質點，並在質點間架設彈簧，而每個彈簧可以(1)式來描述：

$$f_i = -K(|L| - R) + D \dot{L} \quad (1)$$

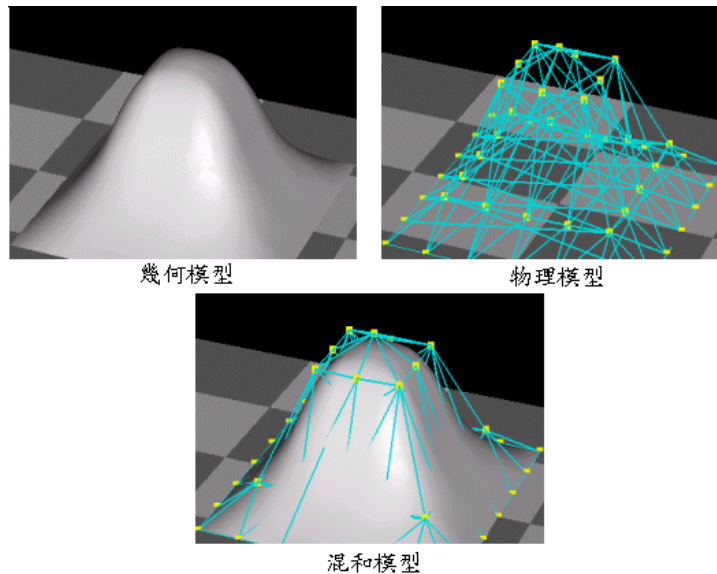
其中 f_i 代表整個彈簧所產生的力；K 是彈簧的彈性係數；L 是彈簧的長度；R 是彈簧平衡長度；D 是阻尼係數。

B. 混和模型

混和模型包含了幾何模型與物理模型，且這兩者的呈現必須一致。故需將幾何與物理模型做整合，其整合方法可透過將幾何模型中 B-spline 曲面上的控制點投影到物理模型中質量 – 彈簧模型上的質點來達成，如圖十所示。

C. 碰撞偵測

以一簡單的幾何體將物件完全包住，偵測這些簡單幾何體交疊情形來判斷那些物體間距小到可能會發生碰撞，再對這些物體作碰撞偵測；對於彼此距離過遠的物件則



圖十 混和模型之建構

可省略作碰撞偵測。此外，對於物體發生碰撞的位置也需偵測出來，我們採用一階層式樹狀結構有效的搜尋出物體發生碰撞的位置。

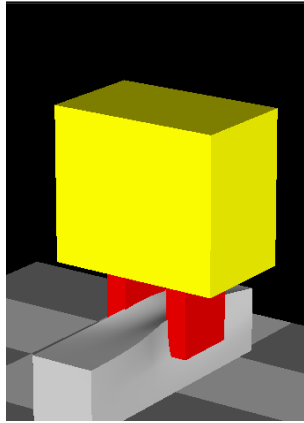
D. 互動管理

物體中發生碰撞的部位將以適當的方法來模擬它們之間的互動行為，目前我們所完成的互動包括了機器手對彈性物體的夾、壓、抬、放等操作。我們利用前述的方法建構一些簡單的彈性體，如彈性長方體與彈性圓柱體，並藉由模擬系統來模擬機器手與這些彈性體的互動。圖十一、十二顯示機器夾爪與彈性長方體的例子，圖十三、十四顯示機器夾爪與彈性圓柱體的例子。

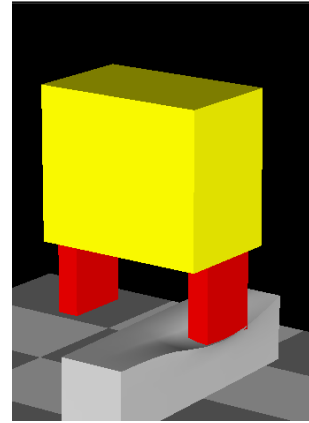
為了讓操作者能即時且有效率地執行遠端操作，我們也採用了以虛擬實境為基礎的預先顯示技術(VR-based predictive display)來達到視覺和觸覺上的同步。綜合上述，可得圖十五所示的系統實現圖。

我們採用我們所提出的控制策略，來針對單自由度的系統進行進行模擬印證，首先在變動的時間延遲下，我們採用滑動模式控制策略來達成系統的穩定度，有環境的牆，操作者所下達的位置命令，機器人所行走的軌跡，機器人與環境接觸時，所產生的接觸力，由模擬結果可知，遠端機器人的位置軌跡完全與操作者所下達的位置命令一致。

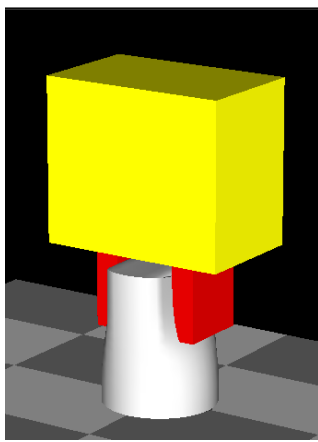
接著，在變動的時間延遲下，我們針對此單自由度系統執行順行性的工作，我們可知當機器人與環境接觸時，會因為我們所加入順應性控制策略，而維持穩定的接觸力。



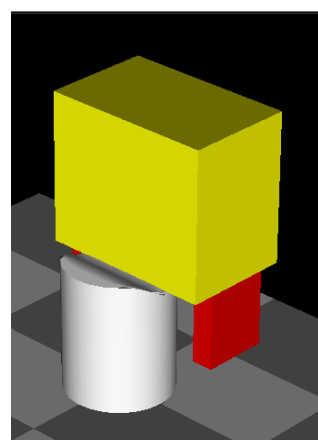
圖十一 機器夾爪夾住一彈性長方體



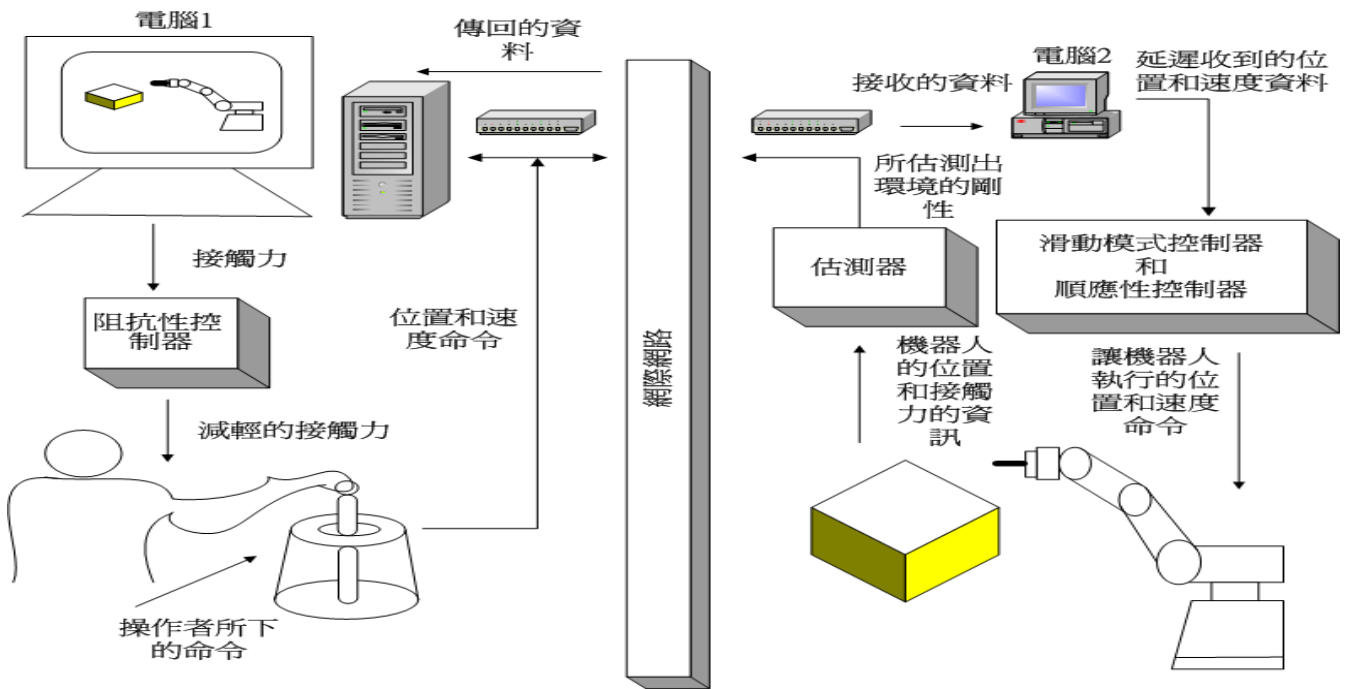
圖十二 機器夾爪壓住一彈性長方體



圖十三 機器夾爪夾住一彈性圓柱體



圖十四 機器夾爪壓住一彈性圓柱體



圖十五 抗時間延遲控制系統實現圖

接著，在變動的時間延遲下，我們採用以虛擬實境為基礎的預先顯示技術(VR-based predictive display)來達到位置和力的同步。

為了印證模擬的結果，我們也進行實際的遠端操作實驗，由實驗結果得知，當機器人與環境接觸時，會因為我們所加入順應性控制策略，而仍然維持穩定的接觸力，並且系統位置和力的同步性也被維持。

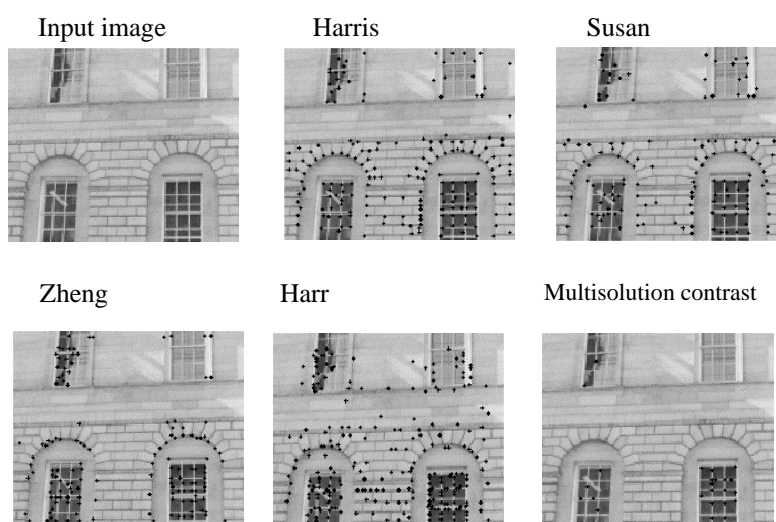
2.4 機器人視覺及三維模型重建

2.4.1 影像特徵點擷取及對應

模組的目標，著重於從影像中抽取出真正有意義的特徵點，便於往後的特徵點對應計算。考量結果與運算速度，我們選擇 Harris Corner Detector 來做角點的選取[4,5,6]，如圖十六所示五種方法比較。此方法是基於 MORAVEC 的 Corner Detector 所衍生出來的。

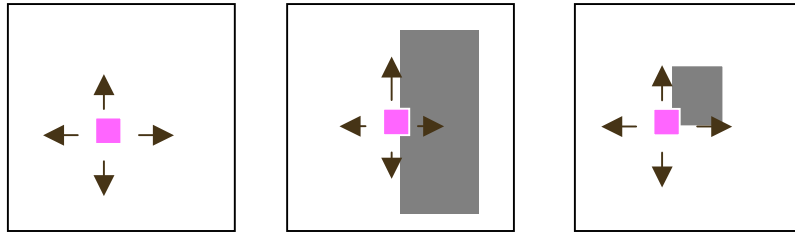
MORAVEC 的方法為在影像內部取一固定大小的搜尋視窗，在影像中循著不同方向少量位移此視窗，再觀察視窗內 image intensity 變化的量，如圖十七，其判斷法則如下：

- A. 如果影像沒有多大的變化，像是灰階值幾乎類似或者是相同，則這個搜尋視窗往任何方向 shift，均不會造成太大的變化。



圖十六 五種方法所選出的角點。

圖中可以看出 Harris 演算法可選出具有代表性的特徵點。



圖十七 搜尋視窗在影像中移動示意圖

- B. 如果影像上是一段邊或一條線，往一個方向 Shift 會造成很大的改變，但若往與這個方向垂直的方向 Shift 則改變很小。
- C. 如果影像上是一個 corner 或者是一個獨立的點，那麼往任意方向 shift 均會造很很大的變動，根據 shift 後得到最大的變動值就可以偵測出這個點或 corner 的位置。

用數學式描述以上的作法，Harris 提出了一個偵測特徵點和邊的關係式

$$R = Det(M) - k[Tr(M)]^2 \quad (2)$$

其中 $M = \begin{bmatrix} A & C \\ C & B \end{bmatrix}$ ， A 、 B 和 C 分別是影像在 x 、 y 及 xy 方向上的梯度。

$$Det(M) = AB - C^2, Tr(M) = A + B$$

式(2)可重寫成式(3)以簡化運算。

$$R = 0.92AB - C^2 - 0.04(A^2 + B^2) \quad (3)$$

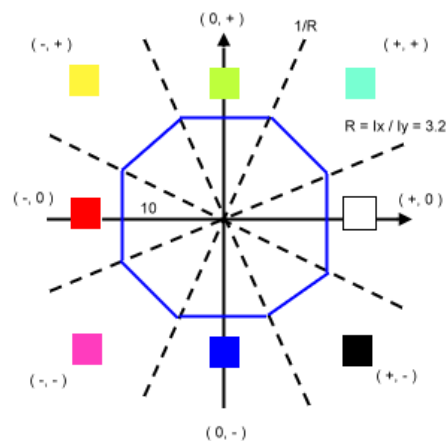
Harris 的方法優點在於運算簡單，計算速度快。在上年度我們更發展了簡單自動篩選特徵點的方法。在加速方面，也研究了在 Edge 上的點做 Harris Corner Detector 的加速方法，以縮短計算時間。

本年度我們利用所找出的特徵點，進行特徵點對應，此階段我們分析了 Harris 演算法並引入梯度方向的資訊。我們試著由 Harris 演算法的過程中，取得一些計算結果可供後續比對的使用，以節省計算時間。在 Harris 擷取特徵點的過程中，我們可以得到影像在 x 方向的梯度和 y 方向的梯度，也就是其梯度向量 ∇f

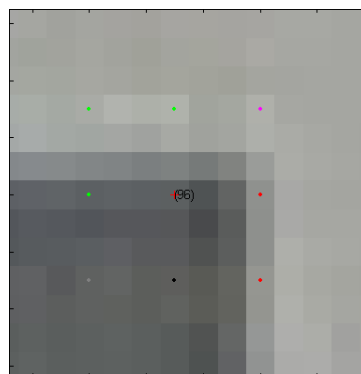
$$\nabla f(x, y) = \left(\frac{\partial f}{\partial x}, \frac{\partial f}{\partial y} \right) \quad (4)$$

藉由梯度向量，我們得到每一個影像點周圍灰階變化的強度和方向。我們將所有的梯度方向量化為八個方向，分別為0°、45°、90°、135°、180°、225°、270°、315°、和一個 x 方向梯度加 y 方向梯度小於 10 的區域，如圖十八所示。

我們在特徵點周圍定義了八個 3×3 的視窗 (Window)，分別為0°、45°、90°、135°、180°、225°、270°、315°。在每一個 3×3 的視窗中有九個影像點，而每一個影像點皆對應一個量化的梯度方向；我們統計在此視窗中最主要的梯度方向來代表整個 3×3 範圍的梯度方向，也就是以佔多數的梯度方向作為代表，如此對一個特徵點就可以取得其周圍八個方向所對應的彩色碼，如圖十九。



圖十八 以九種顏色分別代表九個量化後的梯度方向



圖十九 特徵點所對應的彩色碼

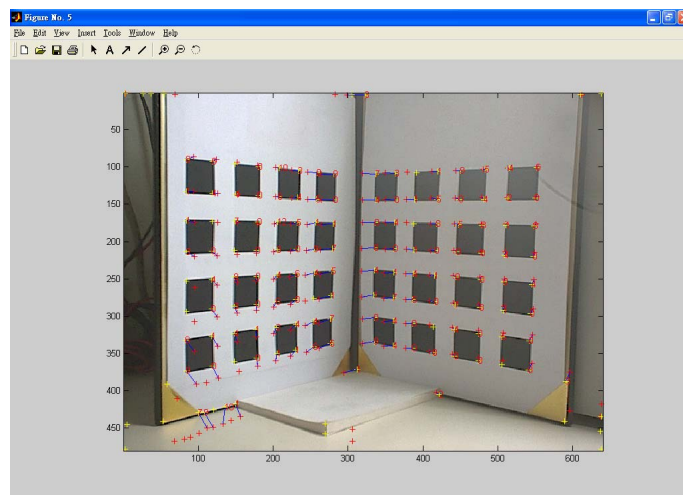
由於彩色碼利用的是 Harris 的中間計算結果，因此無需額外的計算，當對應特徵點時，只需要比較兩個特徵點的彩色碼即可，在計算的複雜度上減少許多。圖二十為考慮彩色碼之後的對應結果。

2.4.2 相機外部參數及三維場景的重建

在相機校正部分，於上年度我們採用藉由觀察平面圖形的方法來做校正。這個方法只需要在兩個以上不同的角度對一張平面的圖形 (planar pattern) 拍照，以進行相機參數的推算。

而在三維場景的重建部份，我們先對同一場景選取不同角度所拍攝的影像，分別找出對應角點後，先求基本矩陣，再計算相機之外部參數。而後即可利用這些資訊，求得歐式投影矩陣並將影像上的點反投回三維空間，而重建真實世界的三維場景。圖二十一為已找出特徵點之原始影像，及重建後的三維座標點。

另外，對於已求得的三維座標點，本年度我們更進一步將其連結成有意義的幾何形狀。此階段會利用 polygonal approximation 技巧，進行多邊形的邊界連結。例如圖二十一，實驗室場景中，包含大門、配電箱及緊急照明燈具。大門及配電箱皆已連結成封閉的多邊形。這些重建得到的三維座標點皆可在我們的圖形介面(GUI)中任意以不同角度觀察。



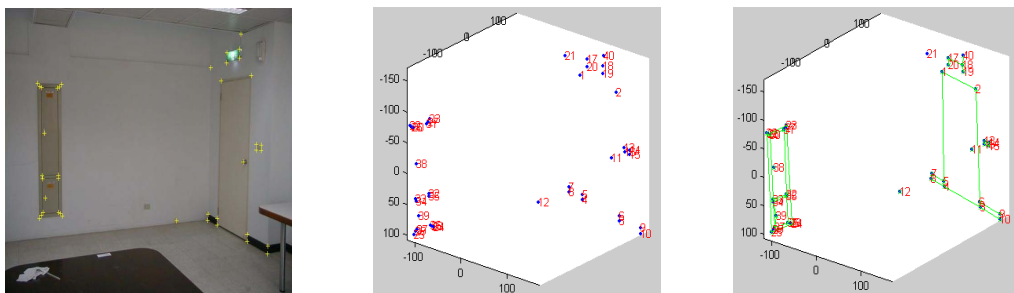
圖二十 對應後的結果

為了驗證三維場景重建後的正確性，我們利用圖二十二之垂直校正板影像，每次以其中兩張重建出三維幾何形狀。該夾角的正確值為 90 度。由實驗結果可知，在相機夾角較大時(左下角)，三維重建的結果是十分精確的。在相機夾角小時，則會因三角定位的誤差較大，在角度上有 1 至 4 度的誤差。

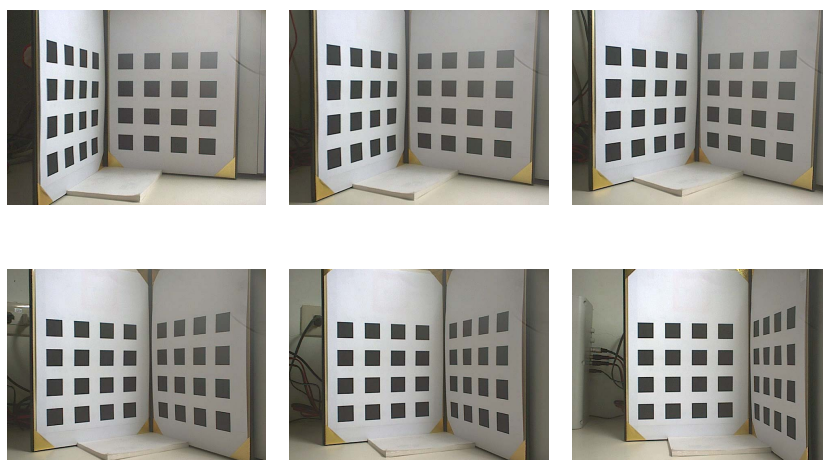
2.5 家用機器人智慧型互動控制系統

在家用機器人與家庭成員之互動系統設計方面，我們將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。在設計上，我們將使家用機器人能夠達成以下的功能：

- (1) 使用者可藉由語音對家用機器人下達家庭成員搜尋的命令。
- (2) 藉由家庭成員辨識系統對使用者的語音控制命令進行權限的確認，以確保家用機器人的安全性。



圖二十一 找出特徵點之原始影像，及重建得到的三維座標點



圖二十二 一組校正板影像

使家用機器人藉由簡單的語音辨識與人對話，並且藉由家庭成員辨識系統，使家用機器人能對不同的使用者進行不同的對話方式，而不是單一的對話方式及內容。

圖二十三為整合語音辨識系統及家庭成員辨識系統之互動系統架構圖。在此架構中，我們可以藉由網路或 PDA 對家用機器人下達命令，亦可藉由語音辨識進行語音命令的辨別。利用語音辨識系統進行使用者命令的辨認及與使用者對話。整合家庭成員辨識確認使用者所下達的命令是否超過使用者可行使的權限，或對家庭中成員進行搜尋與追蹤。在與人對話方面，配合上家庭成員辨識系統將使對話內容更豐富多變，而不在只是單一的對答方式。

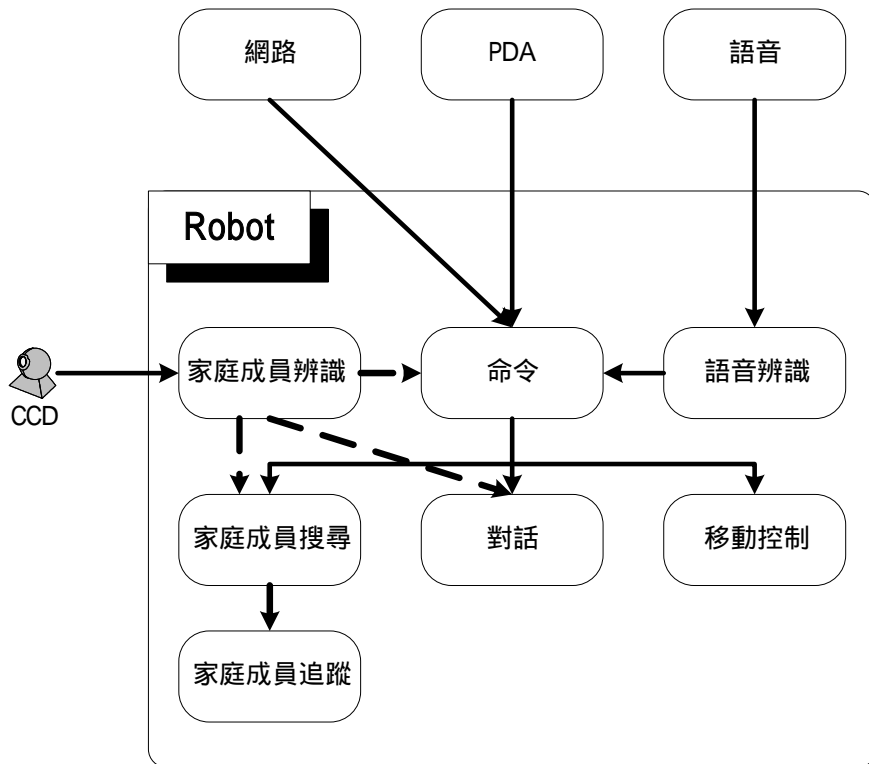
本實驗室發展之網際網路遠端操控機器人系統，可以讓我們在世界任何一個角落，透過 internet 遙控家裡的機器人，不但能夠直接控制機器人的移動、安排它巡邏的路徑，監控機器人所在的位置狀況，還可以看到機器人所在的環境影像。使用者不需要作任何安裝的動作，只要輕鬆上網瀏覽即可。使用者可以隨時隨地透過網路操控機器人，更換巡邏路線，取代固定式的監視器的有監視死角的缺點，達到居家看護與安全監控的效用，如圖二十四所示。

在機器人端，我們架構一精簡之 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。

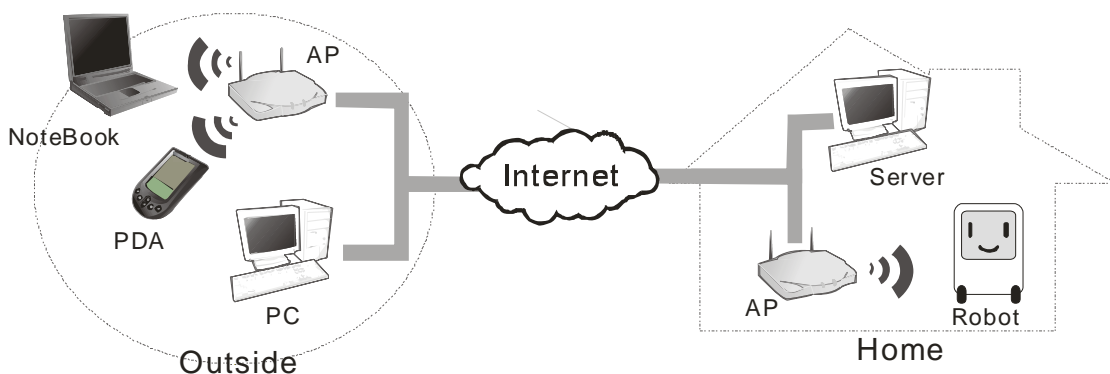
在 Server 端，替使用者端以及機器人端交換資訊，包括使用者的命令、機械人的狀態以及機器人所抓取之影像。透過 Server 管理連線可減輕機器人的負擔，並且按照用戶端的狀況調整影像品質，維持最佳操縱狀態。在使用者端，利用 JAVA 跨平台之特性製作操作介面程式。使用者可透過 PDA 或者任意平台電腦上的網頁瀏覽器操控家中之機器人，檢視家中狀態，安排巡邏路徑或者自由行走皆可。操作介面以簡單為主，只要 click 即可輕鬆操作。未來再配合上醫療儀器或警報系統，將可使家用機器人擁有更多與人互動的應用，可達成家庭看護及家庭保全的功能。

2.5.1 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



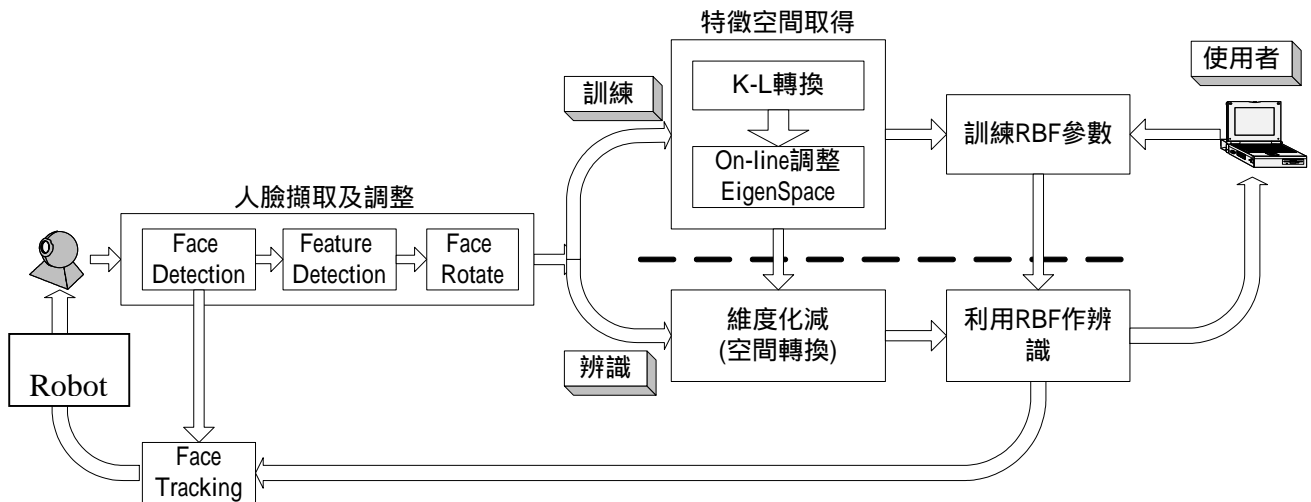
圖二十三 家用機器人與家庭成員互動系統(整合語音辨識及家庭成員辨識系統)



圖二十四 網際網路遠端操控個人機器人系統

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。圖二十五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。[7,8,9]本系統



圖二十五 家庭成員辨識系統及機器人與人互動

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。

2.5.2 人臉辨識測試結果

目前已實際藉由 Web Camera 抓取影像進行人臉搜尋、臉部調整及人臉辨識。[10,11,12] 以下就各個階段的實際展示其結果。

a) 人臉搜尋及臉部調整實際測試結果：

在此，我們在機器人主控電腦上實現人臉搜尋及臉部調整的演算法，該程式可直接藉由 Web Camera 擷取影像進行處理，表 1 為利用程式進行實際測式的結果。

b) 人臉辨識系統測試結果

目前利用實驗室中 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 2 為 3 位成員各取 8 張用以建立人臉資料庫。

在人臉辨識部分，我們設計了兩個實驗，任取一張人臉影像(不限定資料庫中成員)，與資料庫中所有成員比對。下表 3 為測試結果。若該成員的 RBF 的輸出值接近 1，則表示此輸

入影像為該成員。反之，若 RBF 的輸出值接近 0，則表示此輸入影像非為該成員。

之所以辨識系統的輸出值能夠如此的接近 0，主要是因為在 RBF 的輸出值 y 再經過 $\frac{1}{1+e^{-y}}$ 計算輸出。

- (1) 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。下表 4 為測試結果。。
- (2) 由前面兩實驗結果，我們可以看出本系統對於存在於資料庫中成員的辨識率很高，而且 RBF 的輸出值不是接近 0，就是接近 1。其幾乎不會出現在模糊地帶(0.5 左右)，而造成不容易如何區分輸出的結果。對於不存在資料庫中之成員，容易造成誤判為資料庫中的某位成員。

表 1 人臉搜尋及臉部調整測試結果

由 Web Camera 擷取到的影像	臉部經正規化調整	經照度補償
		
		

表 2 資料庫成員臉部影像

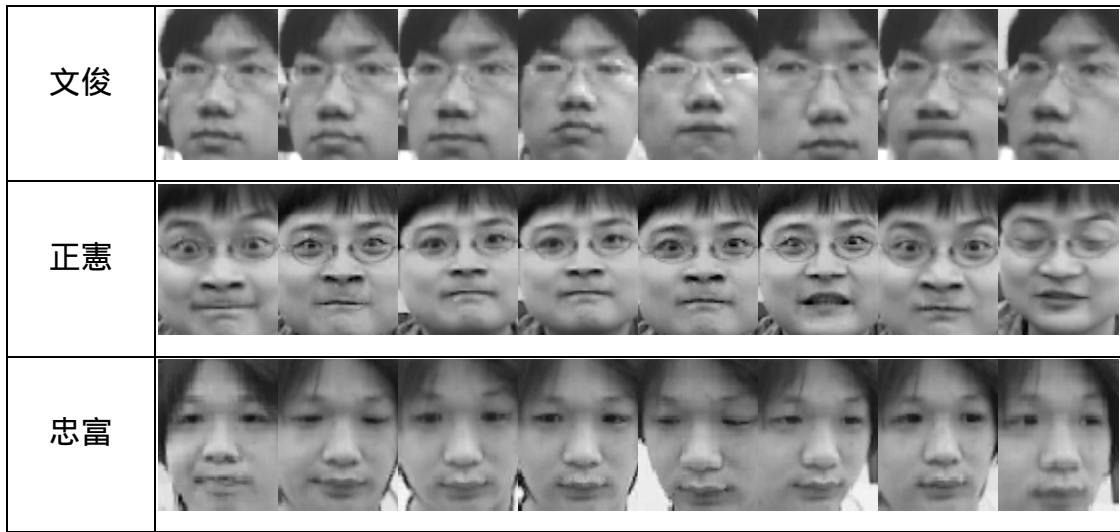






表 3 人臉辨識實驗結果一

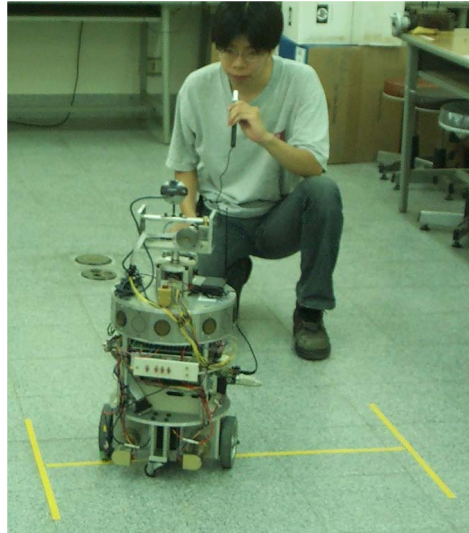
環境中輸入 辨識系統之 影像		資料庫		資料庫		資料庫		
		中影像		中影像		中影像		
辨識系統之 辨識結果，輸 出為成員名 字		文俊	文俊	正憲	正憲	忠富	忠富	正憲
辨識 系統 輸出 值	文俊	1	1	5.60E-65	3.13E-45	3.71E-38	9.73E-12	2.09E-45
	正憲	2.32E-51	1.01E-56	1	1	3.53E-48	2.43E-14	1
	忠富	3.18E-45	8.56E-45	2.88E-45	3.30E-43	1	2.54E-10	2.32E-31

表 4 人臉辨識結果二

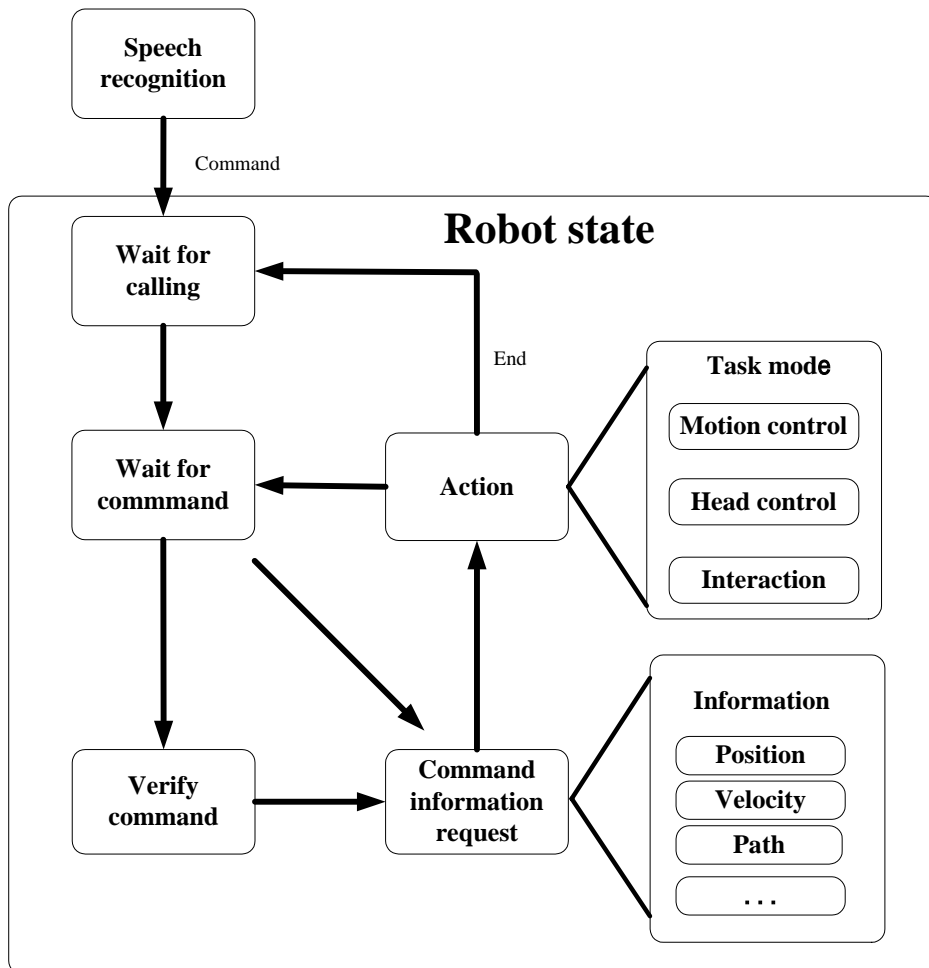
環境中人臉影像					
選取之資料庫成員	文俊	1	1.95E-64	2.12E-19	2.09E-45
	正憲	1.69E-66	1	7.43E-9	1
	忠富	4.76E-45	2.77E-45	1	2.32E-31

2.5.3 家用機器人之語音操控系統

目前我們已完成語音操控系統，圖二十六顯示一個實際操控狀態。家用機器人是為了要給使用者帶來便利，為了方便使用者對家用機器人的操作，我們應用第一年所完成之語音辨識系統，製作一對於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、資訊傳達等功用來說。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，圖二十七顯示操控系統設計之概念圖。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。



圖二十六 語音操控實驗



圖二十七 機器人內部狀態流程圖

2.6 家用機器人之影像追蹤控制器系統

我們將機器人停車問題轉變成一個軌跡追蹤問題[13,14]，藉此而提出一個新的全域追蹤控制器以達到指數收斂性，因而加速家用自走車之移位控制速度[15,16,17]。我們並使用線性化和極點移置，進一步提升控制器的性能，所設計的的控制器非常簡單且容易實現之。完成的控制器已在總計畫的實驗車 H2 上進行實驗，其中包括路邊停車和倒車入庫等幾個吸引人的實驗，以證實所提出的控制器確實有非常不錯的停車效能。

一個變通的方法，即由結合追蹤控制器及移位規劃的方法來研究兩輪自走車停車問題。概略的想法是將虛擬的軌跡加到原始軌跡上，以將停車問題轉變成軌跡追蹤問題。藉著這樣的處理程序，就能夠使用許多現存的軌跡追蹤控制器來解決停車問題。更具體的說，我們將改進[3]所提出之全域軌跡追蹤控制器，以達到軌跡追蹤的指數收斂，並用某種線性化和極點移置方法來改進軌跡追蹤的暫態表現，所設計出的控制器將很簡單且容易執行。並能夠保證快速的收斂結果。最後，包括路邊停車和倒車入庫等幾個吸引人的實驗將用以證實所提出的控制器確實有非常不錯的停車效能。

2.6.1 實驗結果

首先使用電腦模擬驗證控制法則，然後由實際的自走車來實際驗證之。其中自走車的運動由調整左右兩輪輪子的速度來控制之。相關的公式如下：

$$v = \frac{v_l + v_r}{2}, w = \frac{v_r - v_l}{E}, \theta_{new} = \theta_{old} + T \cdot w,$$
$$x_{new} = x_{old} + T \cdot v \cdot \cos(\theta_{old}), y_{new} = y_{old} + T \cdot v \cdot \sin(\theta_{old}). \quad (5)$$

其中 v_l 、 v_r 分別為左右兩輪的輪子速度， E 是兩輪之間的距離，並且 T 表示取樣時間。

已知總計畫的實驗車 H2 其 $E = 0.3\text{m}$ ，在實驗中取樣時間定為 $T = 0.05\text{sec}$ 。

下列公式把速度控制器轉變成左右兩輪的速度控制器。

$$v_{lcmd} = v^* - \frac{E \cdot w^*}{2} \quad \text{和} \quad v_{rcmd} = v^* + \frac{E \cdot w^*}{2} \quad (6)$$

實驗中，有兩個軌跡即路邊停車和倒車入庫，被選擇來驗證控制法則的表現。在這兩個實驗

中，誤差 ε 設定為 0.1117。當軌跡誤差小於 ε 時，我們將關閉這個控制器。在實驗方面， a_0 總是等於 1 並且選擇 k_0 為一個很小的數。定理 1 將被用來設計 $k_2(t)$ 。由定理 3 和數值方法以決定參數 (λ_1, λ_2) 。為了達到更好的暫態行為，根據模擬結果為這些軌跡選擇了不同的值。路邊停車的實驗展示新控制器的軌跡表現和暫態的行為。圖二十八顯示一次路邊停車之實驗機器人之軌跡連續變化照片。

2.6.2 倒車入庫實驗

我們在這個實驗中將利用 L 形狀軌跡。用於實驗的參數在表 II 中列出。

表 II 用於倒車入庫的實驗參數

a_0	k_0	λ_1	λ_2
1	0.10	-2.50	-2.80

令 $w_f(t) = 0.1 \sin(0.1 \times t) \in S_{0.1}$ ，其中 $\tilde{\theta}_r(t)$ 及 $\tilde{w}_r(t)$ 由(6)計算如下：

$$\begin{cases} \tilde{\theta}_r(t) = \frac{\pi}{2} + 1 - \cos(0.1(t - T_f + \bar{t}_0)) \\ \tilde{w}_r(t) = 0.1 \sin(0.1(t - T_f + \bar{t}_0)), \end{cases} \quad \forall t \geq T_f, \quad (7)$$

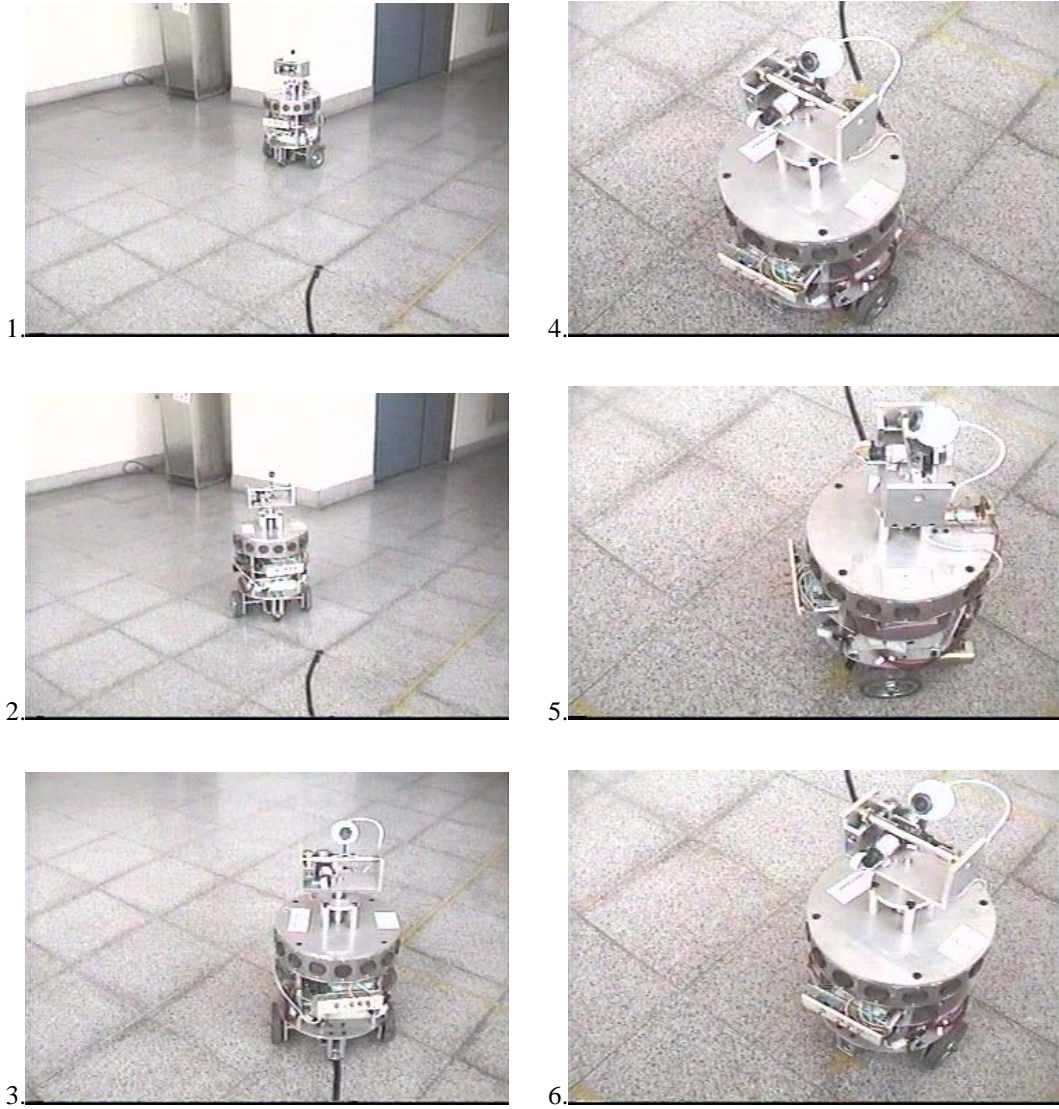
其中 $T_f = \frac{L_x}{v_s} + \frac{\pi}{2\omega_s} + \frac{L_y}{v_s} = 43$ 並且參數 $\bar{t}_0 = 0$ 。

$k_2(t)$ 可以改進軌跡控制的表現。為了觀察它的影響，我們比較兩個不同情況如下：

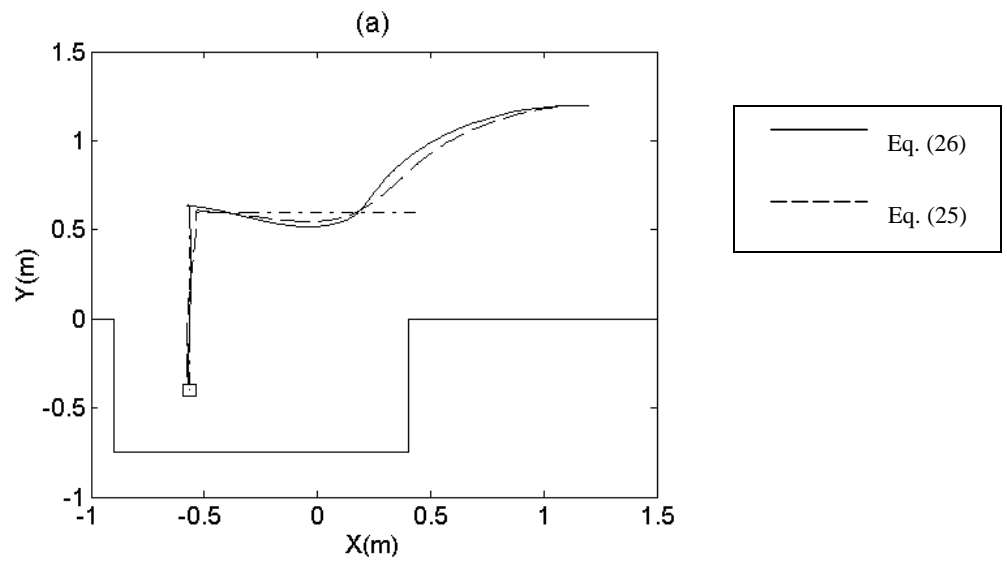
$$k_2(t) = 0 \quad (8)$$

$$k_2(t) = \begin{cases} 0.125, & 0 \leq t \leq 33 \\ 0.0125 \times (43 - t), & 33 < t. \end{cases} \quad (9)$$

圖二十九 顯示倒車入庫的實驗結果。我們看到當 $k_2(t)$ 在起始的時間區間內大於一正數時，軌跡表現和收斂性較好。因此，實驗結果證實了 $k_2(t)$ 的調節功能。



圖二十八 一次路邊停車之實驗機器人之軌跡連續變化照片.



圖二十九 顯示倒車入庫的實驗結果

第三章 計畫成果自評與未來工作

本計畫執行至今已完成家用機器人雛型及其機械手臂，計畫內容與原計畫完全相符，各子計畫皆依計畫進度進行且已完成多項具體成果。本計畫之成果已有多篇論文發表於「IEEE ICRA2003」、「IEEE CIRA2003」、「ICMT2002」及中華民國自動控制研討會等國內外研討會，另有幾篇論文已投稿學術期刊。其中幾項結果亦具有實用價值，子計畫一之 ether net 網路即時控制器模組，提供機器人資訊平台之基本架構，有助於整合多感測器多致動之複雜系統。機器人視覺系統透過相機校準，特徵點選取與對應，已完成三維空間重建技術之開發，有助於未來機器人自我定位與視覺追蹤控制。網路遙控、語音操控、人臉搜尋與辨識設計，提供家用機器人互動控制之慧型介面。下一階段本計畫之重點將致力於整合各項軟硬體模組於家用機器人上，一方面目前已展開以多代理人系統(multi-agent system)發展系統整合功能，另一方面，亦展開另一機器人本體之製作，以利未來之整合工作進行。

參考文獻

- [1] <http://fsmllabs.com/developers/>
- [2] Liwei Wu, Jwu-Sheng Hu, "Achieving Internet synchronization clock error detection with H RTP", CAC2003.
- [3] T. C. Lee and B. S. Chen, "A general stability criterion for time-varying systems using a modified detectability condition," *IEEE Trans. on Automatic Control*, Vol. 47, pp. 797-802 , 2002.
- [4] Z. Zhang, "A Flexible New Technique for Camera Calibration." *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, vol. 22, no. 11, November 2000.
- [5] S. Bougnoux, "From projective to euclidean space under any practical situation, a criticism of self-calibration. " In *Proceedings of the 6th International Conference on Computer Vision*, pp. 790-796, Jan. 1998.
- [6] C. HARRIS, M. STEPHENS, "A Combined Corner and Edge Detector", *Proc 4th Alvery Vision Conf. Manchester*, pp189-192, August 1988.
- [7] Jordao, L.; Perrone, M.; Costeira, J.P.; Santos-Victor, J., "Active face and feature tracking", *Image Analysis and Processing, 1999. Proceedings. International Conference on* , 1999Page(s): 572 -576.
- [8] Han CC, Liao HY, Yu GJ, Chen LH. "Fast face detection via morphology-based pre-processing", *Pattern Recognition*, 2000, 33(10):1707-1712.
- [9] 黃士銓, "灰階人臉辨識之研究", 碩士論文, 國立交通大學, 民國 91 年。
- [10] 黃俊欽, "灰階人臉辨識之研究", 碩士論文, 國立交通大學, 民國 85 年。
- [11] P. Hall, D. Marshall, and R. Martin. "Incremental eigenanalysis for classification, In *British Machine Vision Conference*, volume 1, pages 286-295, September 1998.
- [12] J.O. Rawlings. "Applied Regression Analysis", Wadsworth & Brooks/Cole, Pacific Grove, CA, 1988.
- [13] K.T. Song and C.E. Li, "Tracking control of a fee ranging automatic guided vehicle," *Control Engineering Practice*, Vol.1, No.1, pp.163-169, 1993.
- [14] Z. P. Jiang and H. Nijmeijer, "Tracking control of mobile robots: a case study in backstepping," *Automatica* Vol. 33, pp. 1393-1399, 1997.
- [15] T. C Lee, " Practical stabilization for nonholonomic chained systems with fast convergence, pole-placement and robustness," in *Proc. IEEE International Conference on Robotics and Automation*, Washington DC, 2002, pp. 3534-3539.
- [16] T. C. Lee, K. T. Song, C. H. Lee and C. C. Teng, "Tracking control of unicycle-modeled mobile robots using a saturation feedback controller", *IEEE Trans. on Control Systems Technology*, Vol. 9, pp. 305-318, 2001.
- [17] C. Samson, "Control of chained systems application to path following and time-varying point-stabilization of mobile robots," *IEEE Trans. Automat. Contr.*, Vol. 40, pp. 64-77, 1995.