

行政院國家科學委員會專題研究計畫 成果報告

智慧型機器人前瞻技術開發計畫〔I〕 研究成果報告(精簡版)

計畫類別：個別型
計畫編號：NSC 95-2623-7-002-013-
執行期間：95年09月01日至96年08月31日
執行單位：國立臺灣大學機械工程學系暨研究所

計畫主持人：黃漢邦

計畫參與人員：博士班研究生-兼任助理：鍾書耘、嚴舉樓
碩士班研究生-兼任助理：管軍毅、葉峻弘、鄭博壬

處理方式：本計畫可公開查詢

中華民國 96年07月23日

行政院國家科學委員會專題研究計畫年度報告

智慧型機器人前瞻技術開發計畫(I)

(The Development of Integrated Intelligent Robotics System)

計畫編號：NSC-95-2623-7-002-013

執行期限：95年9月1日至96年8月31日

主持人：黃漢邦 台灣大學機械工程學系

Email: hanpang@ntu.edu.tw

研究人員：鍾書耘、嚴舉樓、管軍毅、葉峻弘、鄭博壬

一、摘要

計畫所要開發的『輪型保全機器人平台』，目標在發展一個具有半人形外觀的輪型保全機器人系統平台，並期望此，平台將可以整合應用保全之客製化功能，同時可做為其餘人工智慧等智慧型控制的應用機器人平台載具。

本計畫發展的輪型保全機器人平台具有移動方式簡單、設計簡單、效率高、速度快等優點，同時也具有承受高負載的能力，因此底盤及機構本計畫採用輪式設計，整體底盤及機構亦是本計畫重點需求之一。

而此平台最大之特色，為此平台上將配置多自由度擬人形機器手臂機構及其控制系統。因此本計畫另著重於多自由度的擬人形機器手臂的機構設計與製作，並預期未來將建立此擬人形機器手臂的姿態運動分析、路徑規劃及控制理論於所發展的機電系統。

關鍵詞：輪型機器人平台、多自由度機器手臂

二、計畫緣由及目的

輪型機器人於國外已有多年的研究成果，近年來國內對機器人的研究發展越來越重視。由於電腦硬體、感測器、致動器技術的快速提升，以往無法實現的演算法，也可以於電腦上做即時的運算與控制。本計畫研究輪型保全機器人的相關研發；保全機器人整合了光機電、資訊通訊及人工智慧、與人互相溝通的人機介面，其主要功能配備有：自動導航系統、同步定位與環境重建、電源

管理系統、武器配備、辨識系統、通訊系統、防災系統。

由於保全機器人的活動環境，大部份都侷限在大樓、社區、居家等人造環境，目前大部份保全機器人都採用輪型設計。輪型機器人具有移動方式簡單、設計簡單、效率高、速度快等優點，同時也具有承受高負載的能力，因此底盤及機構本計畫採用輪式設計，整體底盤及機構亦是本計畫重點需求之一。

而近年來，隨著世界各地機器人相關技術的迅速發展與人力資源昂貴的因素，機器人實際進入人類社會中為人服務的趨勢與需求，無可避免的逐漸升高。因此，國內外許多研究團隊相繼開始嘗試發展不同機構與應用的機器人。其中以本計畫預期發展的輪型機器人應用的範圍最廣。在此類機器人中，又以搭配多自由度擬人形機器手臂的機器人平台具有較高之機動性與操控性，可以輕易的適應以人類為主的工作環境。

而目前，市面上所發展的輪型機器人，無論是用於教育或商業用途，礙於多自由度的擬人形機器手臂運動規劃、控制理論與機構設計過於複雜，所以大多僅搭配三至四個自由度的機器手臂。但是此類的機器手臂受限於缺乏多餘的自由度，以及非人形的外觀，造成其行動範圍及功能受到限制，僅能執行有限的工作，也無法應用於所有人類的工作環境。因此一個多自由度的擬人形機器手臂設計是必須的。同時為達到協助人們工作與人們互動，新一代的機械手臂必須具有良好的機構設計、路徑規劃和即時控制系統，使得其能夠適應人類多變且不確定的環境與工作。

基於以上原因，本計畫除了發展，輪型保全機器人平台外，另針對多自由度擬人形機器手臂設計及控制系統之開發進行研發，主要著重於多自由度的擬人形機器手臂的機構設計與製作，同時並建立此可以配合應用擬人形機器手臂的姿態運動分析、路徑規劃及控制理論之機電系統。

三、研究方法

1 輪型保全機器人平台

設計理念

本計畫之輪型底盤包括兩個傳動輪、兩個惰輪、電池自動抽換機構、高扭力精密馬達與內建編碼器、上半身平衡機構，以及輔助充電的充電站機構。在機器人運動規劃方面，加入了運動控制卡與馬達驅動器用以輔助運動控制。本計畫底盤架構設計目的主要有下列幾點：

1. 能跨越 2 公分高的障礙物→最小半徑需大於 0.027 (m) ,(速度 $v=1$ m/sec)
2. 能夠行走於傾斜角度 15 度的斜面→自動調整上半身重心
3. 機器人上半身能夠旋轉 300 度
4. 具備自動交換電池的功能
5. 能自動偵測環境以避免走向具有較大的高度落差環境，如：樓梯
6. 模組化設計→方便改良與更換

對於底盤機構之設計理念詳述如下：

1. 使用大傳動輪與惰輪：

使用大尺寸的傳動輪目的為跨越不平坦的地面。以往小型傳動輪的機器人，在平坦的平地行走上雖然可以達到與大傳動輪同樣的行走功能，但若遇到障礙物阻擋於輪子欲行經之路線上，將出現跨越不過的情況。本計畫採用大尺寸之傳動輪，配合高扭力馬達與避震裝置，欲達成跨越障礙物之目的。使用兩個惰輪目的在於使機器人保持靜態平衡。採用惰輪的理由為：目前市面上雖有全

向輪與惰輪的使用案例，但全向輪控制不易，且耐重能力差，成本高昂。基於本計畫機器人多功能性的考量，全向輪恐將無法適用於此。而惰輪雖有沒有轉彎死角的優勢，且亦可有高度的耐重能力，但因容易有髒物堆積的困擾，使用一段時間後就必需要進行清理的動作，這將增加管理上的負擔。機器人的轉動主要是利用兩輪差速的原理來完成動作。設計圖如圖 1 所示。

2. 上半身平衡機構之設計：

保全機器人身載許多貴重儀器，行走於不平之路面時，除了靠傳動輪以及避震器跨越於路面之障礙，本計畫另外加裝了上半身之平衡機構，避免機器人在行走斜面時，因重心傾斜而傾倒的疑慮，以及對上半身和整個機器人裝備設備的保護。本計畫之保全機器人能行走於平地計算起，傾斜 15 度的斜坡方面，亦是靠設計的上半身平衡機構完成平衡動作。

3. 腰部轉動：

為了能夠讓機器人與真人動作相近，故我們設計了上半身旋轉的機構，讓機器人能夠旋轉腰身。本計畫之保全機器人上半身能夠旋轉 300 度，腰身加入旋轉軸的設計，詳細規格稍後說明。

規格與硬體架構：

1. 底盤機構：

機器人的底盤整體高度為 820mm，驅動輪的直徑為 250mm，惰輪的直徑為 150mm，底盤與上半身平衡機構使用一旋轉軸連接，其連接處為空心，目的是為了配線而設計。

圖 1(a)中，A 為馬達(致動器)，B 為趨動輪之避震裝置，C 為底盤部份與上半身平衡機構之旋轉軸馬達，D、E 分別為上半身平衡機構 pitch 和 yaw 之致動器。規劃之電池空間為 325mm * 115mm * 100mm，電池上方左測規劃為放置電腦主機之空間。而在電腦空間部分，我們規劃了直徑為 600mm，高 220mm 的電腦擺放空間，預計放置工業級電腦 365.8mm x 170mm x 157mm。

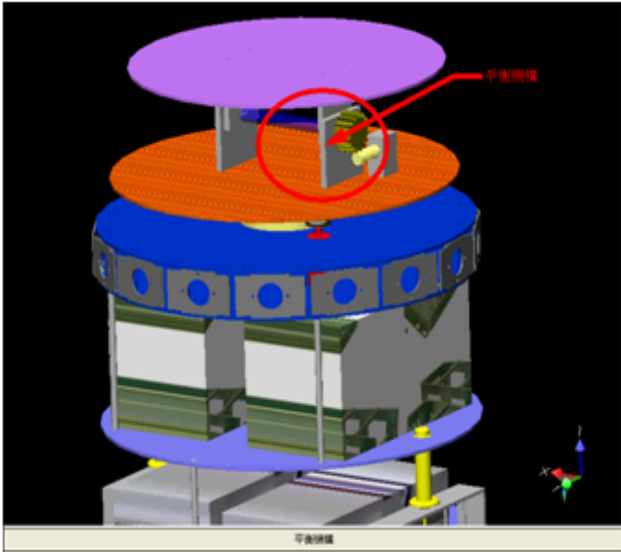


圖 4. 平衡機構設計圖

3. 避免走向斷路之設計：

利用紅外線雷射，將雷射垂直的打向地面，來進行與地面距離的檢測。

利用此方式，同時可以克服三種地形

1. 地面極大落差，如：樓梯
2. 能偵測障礙物是否大於 2 公分
3. 如果遇到斜坡可以提早得知地形傾斜角，提前告知自我重心平衡裝置，以增加可容許響應時間。

其設計機構如下圖 5 所示：

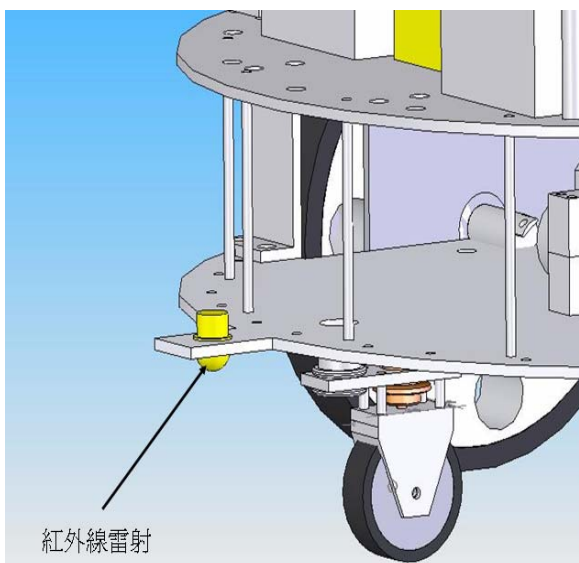


圖 5. 避免走向斷路之機構設計

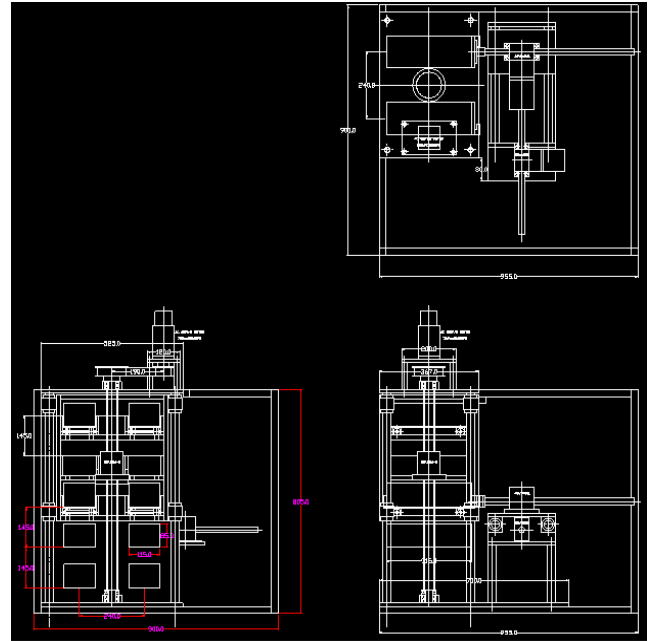


圖 6. 充電站之詳細設計

如圖 6 所示，由於以往機器人在充電時，往往都必須到插座前面進行充電動作，但在充電的過程中，該機器人只能夠站在充電站前面待命，並無法真正的 24 小時工作，各為了讓機器人能夠更有時效性的工作，於是我們設計了充電站不只是電池充電，本身該充電站還能夠兼具與機器人交換電池的功能，如果機器人沒有電力時，只需要到電池站交換以充飽電力的電池，不必如以往待在充電站前面待命。充電站內設計放置 4 組電池，供機器人抽換；充電站內設計滑軌，並且採用上下移動電池組之方式，切換欲抽換之電池組。

4. 上半身旋轉設計：

為了能夠讓機器人跟真人相仿，而且也為了能夠滿足機器人的多功能性，所以在機器人的身上我們也設計出了能夠旋轉腰身的功能。該腰身旋轉左右各可以旋轉 150 度，該機構由兩個外齒輪直接帶動之。如圖 7 所示。

5. 機器人上半身骨架設計：

在機器人上半身的設計中，身驅之圓盤設計為高度可調式設計，目的在於可較彈性的使用空間。左右兩旁之鐵板墊片為手臂放置

處，中間之鐵板墊片為頭部(包含頸部)之放置處。如圖 8 所示。

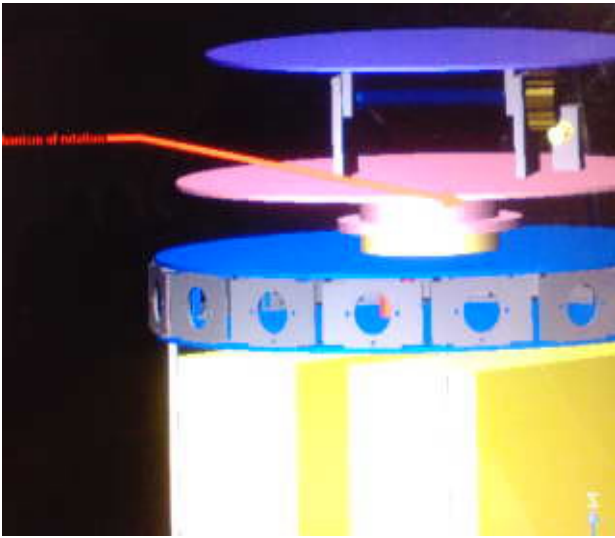


圖 7. 上半身旋轉機構

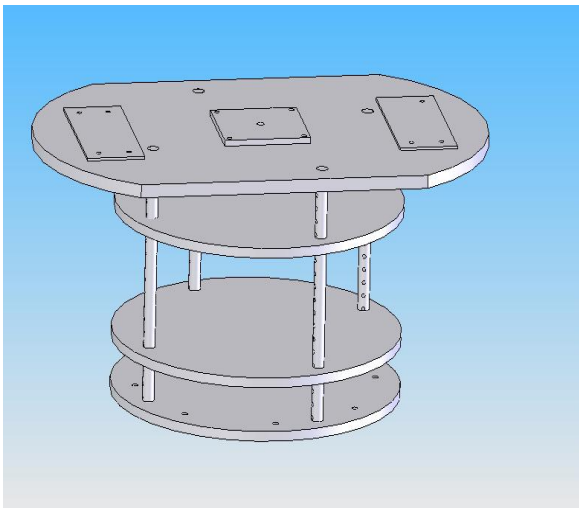


圖 8. 機器人上半身骨架機構圖

6. 運動控制卡：

為快速處理對馬達的運動控制，本計劃採用 NI-8 軸運動控制卡；因為自行設計運動控制卡在參數的調整上會有無可避免的誤差，對於需要做精確控制的設計有一定困難，並且在控制上會有誤差累積的可能性，採用此運動控制卡有強大的 DSP 運算功能，以及自動 PID 參數調整等強大功能，對於機器人精確的馬達控制、定位等有相當大的助益。此

外利用 Labview 的控制介面，利用 Block 規劃的方式，可以降低設控制架構的困難度，下圖為此 8 軸運動控制卡之實體圖及詳細的規格表。

在 motion planning 的軌跡追蹤往往是一個困難點，要如何讓機器人的軌跡依照設定的軌跡行走，且精確的走在設定的路徑上。而這張 NI motion card 是可以自動追蹤所設定好的軌跡，能夠自行調整 PID 參數來達到追蹤的目的。相信有該 Motion card 對未來機器人的 motion planning 研究上，能夠發揮出更好的成果。

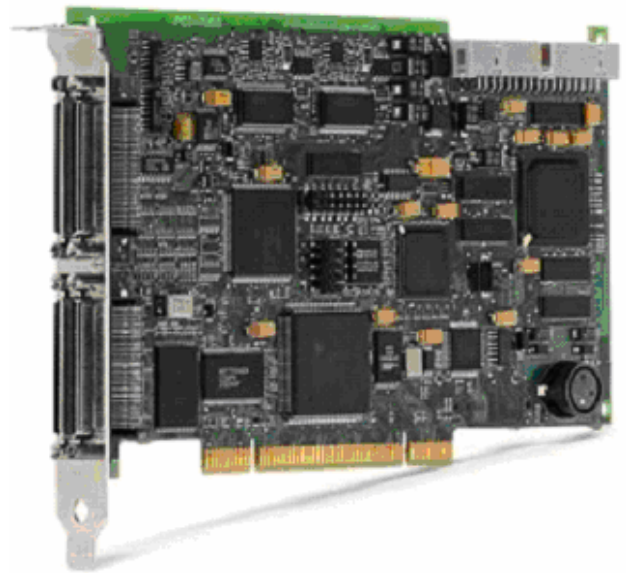


圖 9 運動控制卡實體圖

NI 735x

- 8 axes of motion, maximum
- Each axis configurable for stepper or servo control
- 3D linear and circular interpolation
- 3D contouring
- Sinusoidal commutation for brushless motors
- Buffered breakpoints for high-speed integration
- High-performance architecture

Operating Systems

- Windows 2000/NT/XP
- LabVIEW Real-Time
- Linux and Mac OS X

Recommended Software

- LabVIEW
- NI Motion Assistant
- LabWindows/CVI
- Measurement Studio
- Motion Control Module for Measurement Studio

Other Compatible Software

- Visual Basic
- C/C++

Driver Software (included)

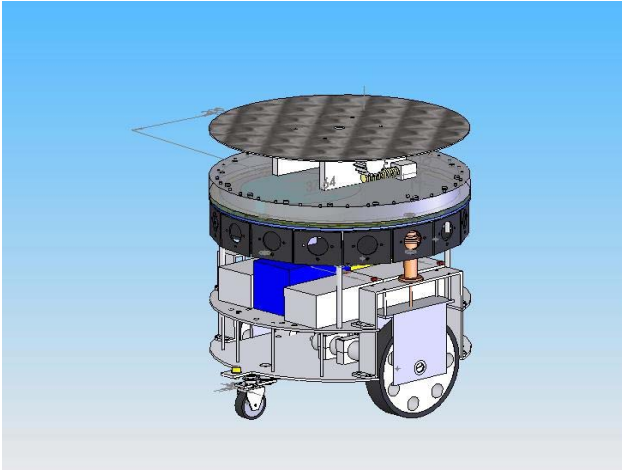
- NI-Motion

圖 10 運動控制卡規格列表

成果:

機器人機構:

整體設計完成圖如下圖所示，並以 MSC visualNastran 4D 做出模擬動畫，整體底盤目前已設計完畢並且發包製做，整部機器人的機構將在最近完工，並可以立即的進行運動控制及相關研究。



(a) 機器人平台



(b) 上半身機構

圖 11 機器人機構設計全圖

運動控制實驗:

圖 12，是未來將放在機器人身上控制用的直流伺服馬達，而目前仍在測試階段，嘗試著將 NI motion card 和該直流伺服馬達架構起來並控制之。

在圖 13.中，A 為受控馬達，B 為配合運動控制卡之接線盒(Panel)，C 為馬達的趨動電路卡(Driver)，D 為提供 24V 與 5V 兩組直流電源的電源供應器。

將 Driver，Panel，以及受控馬達連接，以 Motion Controller(運動控制卡之配合軟體)控制。Motion Controller 可以快速找出馬達的最佳控制參數，並藉由 Driver 上的鈕作微調整。



圖 12. 直流伺服馬達

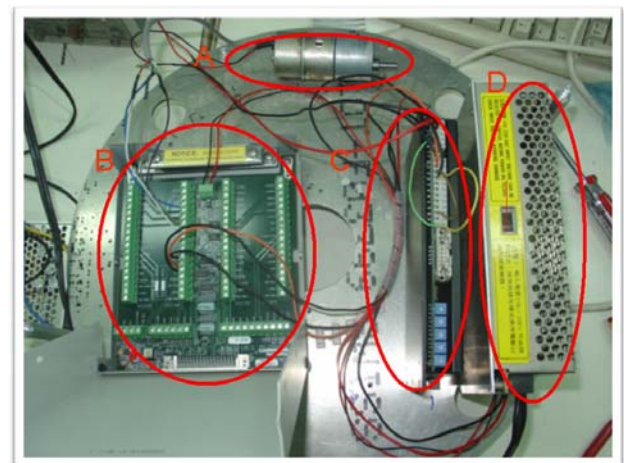


圖 13. 實驗設備系統實體圖

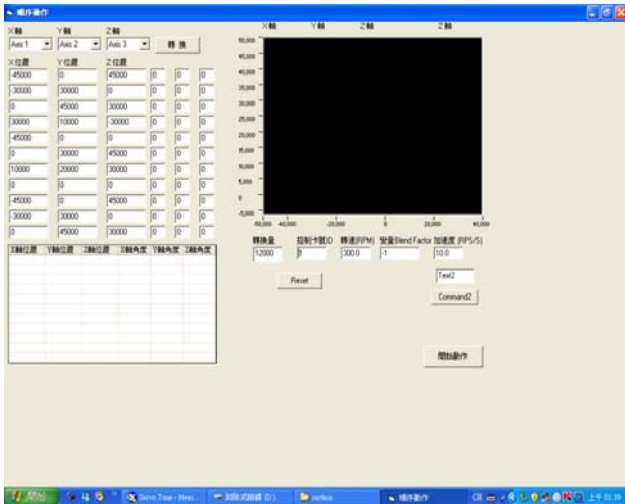


圖 14 馬達控制軟體

圖 14 為馬達運動控制軟體，是一個簡單的操作介面，藉由輸入三個軸的連續位置可分別控制三顆馬達轉到理想位置。

運動控制卡之實際操作：

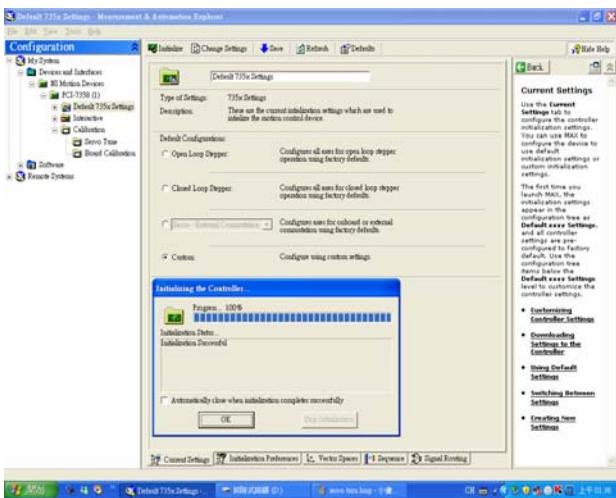


圖 15 馬達初始化執行畫面

當然，機器人控制最後會利用 Labview 來做更複雜與更穩定的運動控制，勢必將該 motion card 和馬達發揮至極限，使機器人能夠擁有最佳的運動控制成果。

2 多自由度擬人形機器手臂設計及控制系統

多自由度擬人形機器手臂設計及控制系統之開發主要是著重於多自由度的擬人形機器手臂的機構設計與製作，同時並建立可供

此擬人形機器手臂的執行姿態運動分析、路徑規劃及控制理論之機電系統。總括而言，本發展研究主要可以分成三大部分：

(1) 擬人形機器手臂之機構建制

多自由度擬人形機器手臂的機構設計主要牽涉到外觀機械設計、致動器和感應器的選擇以及擺放位置、身體重量比重的分佈、材質的選擇、運動學和動力學的分析。

(2) 擬人形機器手臂之路徑規劃及控制理論建立

為了使機器人能夠直接對人類服務，以及能做出良好的行為決策，本研究發展的擬人形機器手臂擁有良好的控制效果，與即時反應的平順運動決策能力。因此本研究將建立運動路徑規劃系統與即時決策的控制理論系統，整合成為完整的控制決策系統。

(3) 擬人形機器手臂的機電控制系統建立

由於擬人形機器手臂具有多個自由度，以及複雜的運動方式，如何建構一個快速與高效率的協調控制系統將為一重要課題。因此本研究建立有效及完整的硬體電路及控制網路兼備的機電控制整合系統，可快速與高效率的達成多自由度擬人形機器手臂的伺服控制。

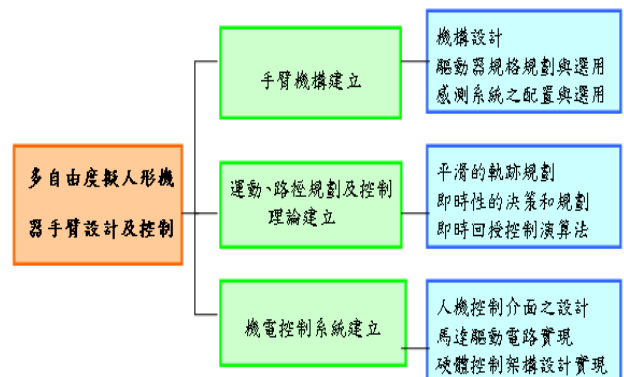


圖 16 研究結構樹狀圖

圖 16 所示為本研究的結構樹狀圖，而本研究將以上三大部分完全整合，亦將完整的運動路徑規劃系統與即時決策的控制理論利用自身所發展的機電控制系統，實現於本研究所發展的擬人形機器手臂上，使得任何搭

配本機器手臂的機器人平台擁有高機動性與操控性，可以輕易的適應以人類為主的工作環境，為人類服務。

二、實施方法

本部分將分為前半部與後半部來執行。而前半部分將主要針對多自由度擬人形機器手臂機構設計、運動分析及路徑規劃與控制理論建立為主要目標。而除了製作機器手臂外，另將製作一個單自由度的夾具，使此擬人形機器手臂機構未來能進行抓握、搬運等動作。而研究執行的後半部分，將先進行硬體控制架構的設計與比較。最後將建立有效、完整的硬體電路及控制架構的機電控制系統，並將前部分所發展的控制理論與運動路徑規劃實現於此系統上。

而詳細的規劃與實現方式如下：

(1) 擬人形機器手臂之機構建制

參考人體手臂模型與市面上之機器手臂設計，以及要求之規格，利用 CAD 與 MSC. ADAMS 等機構設計與動力學模擬軟體，設計與製作 7 自由度的機器手臂一隻，與單自由度的夾具一個。同時將利用 MATLAB 等軟體，以進行擬人形機器手臂的工作區域及操縱性能分析。圖 17 為機構設計建立之流程圖。圖 18 為在 ADAMS 模擬軟體內建立之手臂模型。而目前設計完成的機械手臂機構立體圖與工程圖，如圖 19、20 所示，已進入發包加工的階段，預期在今年八月底即可以完成機構實體。

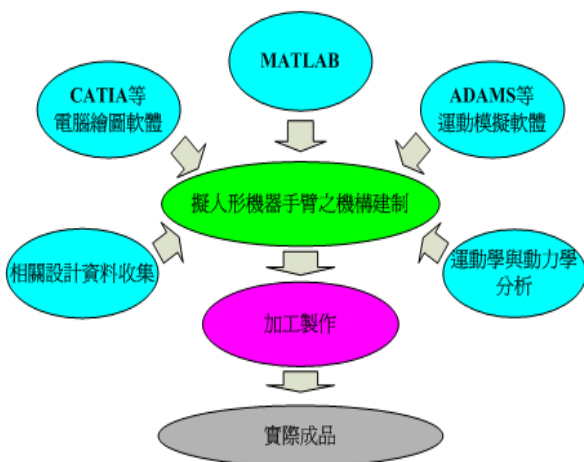


圖 17 機構設計與實體建立之流程圖

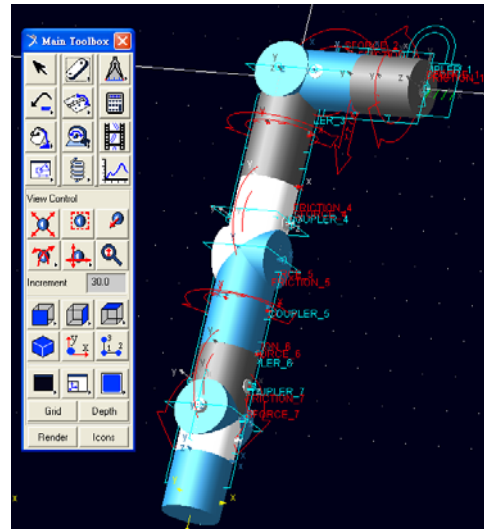


圖 18 ADAMS 模擬軟體內建立之手臂模型

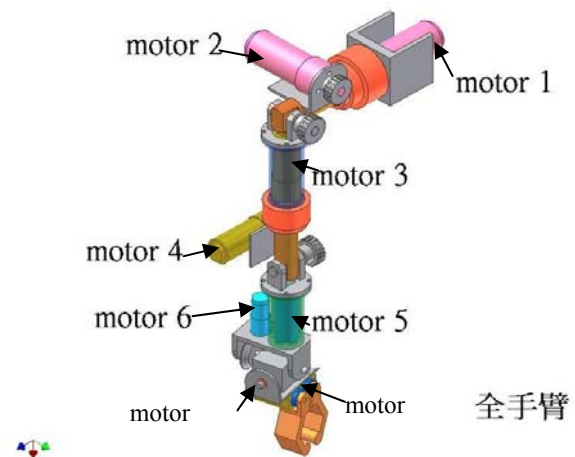


圖 19 機械手臂機構立體圖

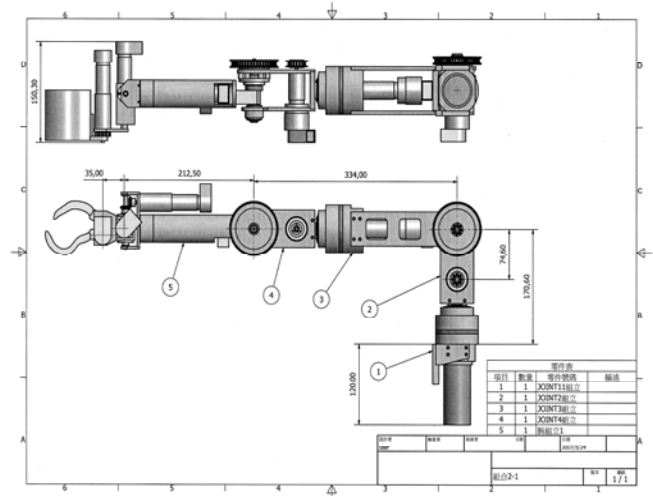


圖 20 機械手臂機構工程圖

(2) 運動、路徑規劃及控制理論平台建立

在運動、路徑規劃初期的階段，將以電腦模擬的方式，先建立一套可應用於多自由度機器手臂的擬人化行為、路徑規劃之演算架構，而此演算架構應可達到順滑機器手臂運動及馬達輸出之效果。最後則將此演算架構實現於本研究所產出的機器手臂上，作為運動行為的決策系統。

在控制理論發展方面，未來將可以比較現有的控制理論架構與本實驗室所自行研發的控制理論分別應用於本研究的控制系統上的優缺點，提出一套可降低誤差收斂時間，減少馬達定位時的振動現象，使多軸機器手臂運動更為平滑的控制理論。而此控制理論應可完成多軸機器手臂的伺服控制，並達成本研究所要求的控制需求。而實現的方式，初期將利用 MATLAB 等電腦軟體模擬驗證其結果，最後將以 C 語言實現，並透過自行發展的 GUI 介面完成系統整合，如圖 21 所示。而完整的運動、路徑規劃及控制理論的架構如圖 22 所示。

(3) 機電控制系統建立

機器手臂機電控制部分將以數位訊號處理器、可程式邏輯閘的整合、馬達驅動電路和預計建立的人機控制 GUI 介面之整合來實現手臂之多軸控制。透過 GUI 設定手臂運動輸出馬達定位角度，可經由串列傳輸埠傳到電腦。而數位訊號處理器負責接收電腦端資訊，同時擷取每個馬達來自可程式邏輯閘的編碼器數值，來計算每個馬達之 PID 運算，再將得到所需要運轉之 PWM 控制訊號，傳給可程式邏輯閘處理。可程式邏輯閘負責所有 I/O 之介面處理，將數位訊號處理器之 PWM 訊號，透過程式所撰寫的 PWM 產生器，產生各馬達所需的 PWM。可程式邏輯閘也具備了編碼器解讀器的功能，將解碼出來的數值，傳至數位訊號處理器做運算。後端的馬達驅動電路則將馬達 PWM 數位訊號轉成類比輸出給馬達運轉。整個系統的流程圖如圖 23 所示。

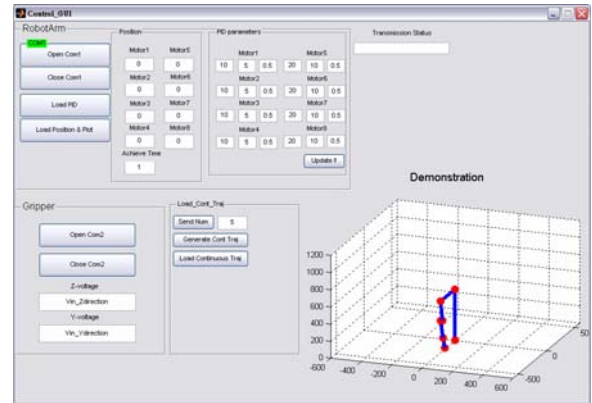


圖 21 MATLAB 控制 GUI 介面

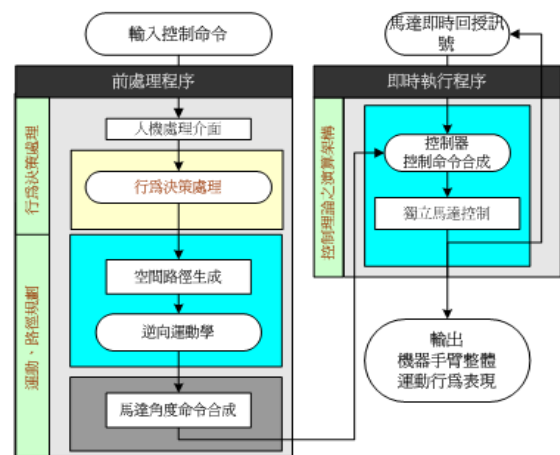


圖 22 運動、路徑規劃及控制之流程圖



圖 23 機電控制系統流程圖

四、結論

目前市面上的保全機器人移動平台機動性與地形適應性多不足，並缺乏配有多自由度的擬人型機器手臂。因此，本計畫中所設計開發之輪型保全機器人與機器手臂等機構與控制機電技術結合，可預期的應可創造出未來社會所嚮往具有良好移動性與操縱性的智慧型保全機器人平台，可同時進行教育與商業上的應用，提高國內機器人產業的附加價值。

五、參考文獻

- [1] R. L. Andersson, "Computing the Feasible Configurations of a 7-DOF Arm Subject to Joint Limits," *IEEE Transactions on Robotics and Automations*, Vol. 9, No. 2, pp. 186-195, 1993.
- [2] J. Angeles, A. Morozov, and O. Navarro, "A Novel Manipulator Architecture for the Production of SCARA Motions," *Proceedings of IEEE International Conference on Robotics and Automation*, Vol. 3, pp. 2370 - 2375. Apr. 2000.
- [3] A. M. Anthony, "Dealing with the Ill-Conditioned Equations of Motion for Articulated Figures," *IEEE Computer Graphics and Applications*, pp. 63-71, May 1990.
- [4] S. Arimoto, J. H. Bae, H. Hashiguchi, and R. Ozawa, "Natural Resolution of Ill-Posedness of Inverse Kinematics for Redundant Robots under Constraints," *communications in Information and Systems*, Vol.4, pp. 1-28, 2004.
- [5] S. Arimoto, M. Sekimoto, J. Bae, and H. Hashiguchi, "Three-Dimensional Multi-joint Reaching under Redundancy of DOFs," *Proceeding of the 2005 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems*, 2005.
- [6] T. Asfour and R. Dillmann, "Human-like Motion of a Humanoid Robot Arm Based on a Closed-Form Solution of the Inverse Kinematics Problem," *Proceedings of International Conference on Intelligent Robots and Systems*, Vol. 2, pp. 1407-1412, Oct. 2003.
- [7] P. Baerlocher and R. Boulic, "Task-Priority Formulations for the Kinematic Control of Highly Redundant Articulated Structures," *Proceedings of IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems*, Vol. 1, pp. 323 - 329, Oct. 1998.
- [8] J. Baillieul, J. M. Hollerbach, and R. W. Brockett, "Programming and Control of Kinematically Redundant Manipulators," *Proceedings IEEE Conference on Decision and Control*, New York, pp. 768-774, 1984.
- [9] J. W. Burdick, "On the Inverse Kinematics of Redundant Manipulators: Characterization of the Self-Motion Manifolds," *Proceedings of IEEE International Conference on Robotics and Automation*, Vol. 1, pp. 264 - 270, May 1989.
- [10] P. H. Chang, "A Closed Form Solution for the Control of Manipulators with Kinematic Redundancy," *Proceedings of IEEE International Conference on Robotics and Automation*, pp. 9 - 14, Apr. 1986.
- [11] A. K. Charles and H. H. Ching, "Review of Pseudoinverse Control for Use with Kinematically Redundant Manipulators," *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, Vol. SMC-13, No. 3, pp. 245-250, Mar./Apr. 1983.
- [12] **SOLIDWORKS 2007 基礎設計**, 博碩文化股份有限公司, 林龍震
- [13] **機構學**, 東華書局, 嚴鴻森
- [14] **LABVIEW 8.X 圖控程式應用**, 全華圖書公司, 惠汝生
- [15] **自動化量測與控制 LABVIEW**, INTERNATIONAL THOMSON, 朱朔嘉
- [16] **機構模擬**, 全華圖書公司, 黃錦煌
- [17] http://www.electhai.com/E_link/Link_Motor.htm
- [18] <http://www.hds.co.jp>
- [19] <http://www.jsk.t.u-tokyo.ac.jp/research/saika/>
- [20] <http://www.harmonic-drive.com/>
- [21] <http://www.honda-taiwan.com.tw/asimo/>