



國立勤益科技大學
電機工程系碩士班

碩士論文

仿人形機械手臂設計

及控制之研究

The Study of Humanoid Robot Arm Design and Control

研究生：劉偉建

指導教授：洪清寶 教授

中華民國 九十九 年 七 月

國立勤益科技大學

博碩士論文全文上網授權書

(提供授權人裝訂於紙本論文書名頁之次頁用)

本授權書所授權之論文為授權人在國立勤益科技大學
 電機工程系 控制 組 98 學年度第 二 學期取得碩士學位之
 論文。

論文題目：仿人形機械手臂設計及控制之研究
 指導教授：洪清寶

■ 同意

本人具有著作權之論文全文資料，非專屬、無償授予本人畢業學校圖書館，不限地域、時間與次數，以微縮、光碟或數位化等各種方式重製與利用，提供讀者基於著作權法合理使用範圍內之線上檢索、閱覽、下載及列印。

論文全文上載網路公開之範圍及時間：

校內區域網路	■ 中華民國 101 年 8 月 5 日公開
校外網際網路	■ 中華民國 104 年 8 月 5 日公開

授權人：劉偉建

簽名：劉偉建

中華民國 99 年 8 月 9 日

國家圖書館

博碩士論文電子檔案上網授權書

本授權書所授權之論文為授權人在國立勤益科技大學電機工程系 98 學年度第__學期取得碩士學位之論文。

論文題目：仿人形機械手臂設計及控制之研究
指導教授：洪清寶

茲同意將授權人擁有著作權之上列論文全文（含摘要），非專屬、無償授權國家圖書館，不限地域、時間與次數，以微縮、光碟或其他各種數位化方式將上列論文重製，並得將數位化之上列論文及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。

上列論文為授權人向經濟部智慧財產局申請專利之附件或相關文件之一（專利申請案號：_____），請於_____年_____月_____日後再將上列論文公開或上載網路。

因上列論文尚未正式對外發表，請於_____年_____月_____日後再將上列論文公開或上載網路。

授權人：劉偉建

親筆簽名及蓋章：劉偉建 民國99年8月9日

電話：091-961-272 傳真：

聯絡地址：彰化縣二林鎮華崙里挖仔路3號

E-Mail：n0915n@yahoo.com.tw

國立勤益科技大學
研究所碩士班
論文口試委員會審定書

本校電機工程系碩士班 劉偉建 君

所提論文 仿人形機械手臂設計及控制之研究

合於碩士資格水準，業經本委員會評審認可。

論文口試委員會：

召集人：

洪三山

委員：

王秋傑

沈清寶

指導教授：

沈清寶

主

任：

郭吳哲

中華民國九十 年 月

仿人形機械手臂設計及控制之研究

學生：劉偉建 指導教授：洪清寶

國立勤益科技大學 電機工程研究所碩士班

摘要

本論文主要為進行一仿人形機械手臂設計及控制之研究，以開發人形機器人的關鍵組件及電控系統設計為目標。主要包括：

1. 仿人形機器手臂結構之設計：主要包含肩關節設計、上下臂設計、肩關節與上臂連接設計、上下臂連結設計、下臂末梢腕關節設計，總共六個可動關節。每一個可動關節之機械構成使用行星式減速機帶動機構可動處，前四者馬達與減速機驅動接面使用皮帶輪驅動，後二者使用齒輪直接驅動，設計機械手臂時以一普通人手臂之比例作為設計。
2. 仿人形機器手臂電控系統之設計：所設計的仿人形手臂機構主要由直流伺服馬達所驅動，由於必須驅動的軸數達六軸，若進一步考慮將來結合手掌設計之擴充彈性，總驅動軸數將高達 20 軸以上。因此本論文的電控系統設計將植基於嵌入式系統之架構，每一直流伺服馬達搭配一伺服控制介面卡，伺服控制介面卡上主要包括控制晶片、功率晶體、記憶體儲存馬達的狀態行為、串列通信埠接收來自主控電腦/電路板的驅動命令，並進而單獨完成閉迴路之伺服控制。藉此架構之設計，每一介面卡與一直流伺服馬達結合後，其功能有如 RC 馬達單體，藉由主控電腦/電路板下達命令到各單體，以

分散式控制的架構即可輕易達成仿人形機器手臂之操控。

3. 人機介面系統設計：使用人機介面系統來設計各個軸的運動情形與狀況，手臂的運動可藉由簡單的介面輔助進而加以設計與擴充，人機介面的圖文引導可讓一般人進行簡單操作。
4. 電源系統設計：穩定的電源供應為仿人形機器手臂操控之關鍵，本論文所有關節及電控系統與周邊電路所需之電源，經估算後，並整合設計有一電源供應系統，以提系統操控所需之電力來源。

本論文所完成之仿人形機械手臂系統，經整合實驗測試，已達成手臂擺動、定位及特定姿勢操控之預期目標。

關鍵詞：仿人形機器人、機器臂、行星式減速機、電控系統、伺服控制

The Study of Humanoid Robot Arm Design and Control

Student : Wei-Ging Liu

Advisor : Chin-Pao Hung

Department of Electrical Engineering
National Chin-Yi University of Technology

Abstract

The aim of this thesis is to design and control a humanoid robot arm. Robot arm is the major component of humanoid robot. The nimble motion of humanoid robot strongly depends on the mechanism design and control of robot arm. In this thesis, the humanoid arm design includes shoulder design, upper and lower arm design, joints design for connecting shoulder and upper arm, upper and lower arms and the end-effector wrist joint design. And the electrical control system is implemented by embedded system. It contains a mother control board and multiple servo control cards. Each servo control card receives a control command and finishes the desired motion independently. The main objectives of this thesis are list as follows.

1. **The humanoid robot arm design** It includes shoulder design, upper and lower arm design, and joints design for connecting shoulder and upper arm, upper and lower arms and the end-effector wrist joint design. Each joint is driven by DC servo motor with suitable gear train connected.
2. **Electrical control system design** The humanoid robot arm has six axes at least. Considering the future work which integrates the hand

design, the totally axes will be more than 20 axes. Therefore, this thesis developed a DC servo control card including embedded chip, power module, memory, and communication port. The servo control card receives the command such as pulse command, voltage command or pulse width modulation command and finished the close loop servo control. Combing the servo card and DC servo motor will become a new independent unit which function is similar to RC type servo motor. Therefore, the multi-link humanoid robot arm can be control easily just like the RC robot.

3. **Human machine interface design** Integrating the electrical control system and the humanoid robot arm to develop a humanoid robot arm platform. The human machine interface can plan the robot motion trajectory and display the necessary data. It also can guide the operator to operate the robot motion easily by graph and text indication.
4. **Power system design** The robot operation needs a stable power system. This thesis evaluates the totally power consumption and design a power supply system to guarantee the system stable operation.

誌謝

雖然是短暫的兩年學習旅程，我接觸許多人、事、物的方面學習。首先要感謝指導教授洪清寶老師細心的指導與教誨，讓我能突破種種困難，才能順利的完成學業與碩士論文。同時感謝口試委員，洪三山與白能勝兩位教授提供的寶貴建議與指導，使本論文更加完整，謹在此致上萬分的感謝。

這段研究所的學習過程中，感謝實驗室同仁與碩士班同學們在這兩年內，一起打拼學業的路程，讓我不勝感激。除此之外，還要感謝宜生、順在等學長們，提供許多在學習上的意見，以及開闊我的人生觀，獲益匪淺。其次感謝機電整合團隊內威佐、人丰、顏忠、家偉、佳樂、博明、建中、威佐等人與學弟妹們，在他們協助與幫忙下，讓我處理事情方面能夠順利。最後，衷心感恩我的父母，在我學習過程中，不畏辛苦，總是在背後默默支持我，使我能專注於學業之路。我無法完全表達此感謝之意，在此僅以一句「謝謝你們」表達內心的摯忱。

目錄

摘要	i
英文摘要	iii
誌謝	v
目錄	vi
表目錄	viii
圖目錄	ix
符號說明	xii
符號說明	xii
第一章 緒論	1
1.1 研究動機與目的	1
1.2 文獻回顧	2
1.3 本論文貢獻	4
1.4 章節概要	5
第二章 機械手機構設計	6
2.1 簡述	6
2.2 機械手臂架構	7
2.2.1 行星式減速機 (Planetary Gearboxes)	8
2.2.2 時規齒輪 (Timing Gear)	9
2.2.3 機械手臂關節分解解說	10
A. 大車輪旋轉之肩膀關節	12
B. 大字形平伸之肩膀關節	15
C. 上臂旋轉之肩膀關節	17
D. 上下臂彎曲之手軸關節	19
E. 下臂旋轉之手腕關節	21
F. 手掌結合之旋轉手腕關節	24
2.3 完成之機械手臂	26

第三章 電控系統設計	29
3.1 馬達驅動電路	31
3.2 串列傳輸介面	32
3.3 EEPROM 記憶體擴充介面	36
3.4 馬達定位控制的設計	37
3.4.1 馬達參數尋找	37
3.4.2 程式流程	40
3.4.2.1 特殊功能說明	43
第四章 系統整合與人機介面系統	44
4.1 系統介紹	44
4.2 人機介面系統操作範例	49
第五章 實驗結果	51
5.1 減速機相關資料	51
5.2 馬達相關資料	51
5.2.1 馬達規格	52
5.2.2 馬達轉移函數	52
5.3 伺服控制介面卡控制結果	56
第六章 總結及未來發展	63
6.1 總結	63
6.2 本論文貢獻	63
6.3 未來發展	64
參考文獻	66
作者簡介	69

表目錄

表 2-1 馬達可動範圍值	28
表 3-1 RS-232 接腳功能簡介	33
表 3-2 RS-232 參數設定	34
表 5-1 減速機規格表	51
表 5-2 馬達規格表	52
表 5-3 馬達轉移函數	53
表 5-4 設定目標值	57



圖目錄

圖 1-1 人類手臂肩部構造示意圖	2
圖 1-2 四軸伺服控制卡	2
圖 2-1 機械手臂的基礎架構	6
圖 2-2 仿人形機器手臂移動示意圖	7
圖 2-3 機械手臂的雛形	7
圖 2-4 槓桿原理	8
圖 2-5 行星式減數機	9
圖 2-6 時規齒輪及時規皮帶	10
圖 2-7 關節示意圖	10
圖 2-8 機械手臂結構	11
圖 2-9 大車輪旋轉之肩膀關節	12
圖 2-10 時規齒輪與皮帶	13
圖 2-11 FAULHABER 公司出產 3257CR 馬達	13
圖 2-12 APEX 公司出產 AL095 減速機	14
圖 2-13 大字形平伸之肩膀關節	15
圖 2-14 APEX 公司出產 AD095 減速機	16
圖 2-15 上臂旋轉之肩膀關節	17
圖 2-16 上下臂彎曲之手軸關節	19
圖 2-17 下臂旋轉之手腕關節	21
圖 2-18 FAULHABER 公司出產 2342CR 馬達	23
圖 2-19 祥儀公司出產 IG-32 減速機	23
圖 2-20 手掌結合之旋轉手腕關節	24
圖 2-21 FAULHABER 公司出產 2224SR 馬達	25
圖 2-22 實體機械手臂完成圖	26
圖 2-23 機械手臂力矩計算	27
圖 2-24 簡易手臂關節圖	28

圖 3-1 電控系統設計示意圖	29
圖 3-2 數位式直流伺服系統方塊圖	29
圖 3-3 介面卡功能方塊圖	30
圖 3-4 橋式電路示意圖	31
圖 3-5 L6203 全橋式驅動器	31
圖 3-6 RS-232 接腳圖	33
圖 3-7 介面卡連接方式	34
圖 3-8 完整的資料結構	35
圖 3-9 25AA1024 實體圖	36
圖 3-10 RC 充電曲線圖	37
圖 3-11 馬達系統測試方塊圖	37
圖 3-12 主程式流程圖	40
圖 3-13 中斷程式流程圖	42
圖 4-1 實體機械手臂完成圖	44
圖 4-2 控制介面卡與周邊電路	44
圖 4-3 交換式電源供應器	45
圖 4-4 人機介面測試版	46
圖 4-5 人機介面	47
圖 4-6 人機介面連線顯示	48
圖 4-7 人機介面連線顯示	48
圖 4-8 人機介面操作流程	50
圖 4-9 操作人機介面時的截圖	50
圖 5-1 A 關節的開迴路曲線	53
圖 5-2 B 關節的開迴路曲線	54
圖 5-3 C 關節的開迴路曲線	54
圖 5-4 D 關節的開迴路曲線	55
圖 5-5 E 關節的開迴路曲線	55

圖 5-6 F 關節的開迴路曲線	56
圖 5-7 A 關節動作曲線圖	57
圖 5-8 B 關節動作曲線圖	58
圖 5-9 C 關節動作曲線圖	58
圖 5-10 D 關節動作曲線圖	59
圖 5-11 E 關節動作曲線圖	59
圖 5-12 F 關節動作曲線圖	60
圖 5-13 同時下達命令時的動作曲線圖	61
圖 5-14 同時歸回原點的動作曲線圖	61
圖 5-15 不同時下達命令動作曲線圖	62



符號說明

符號	意義
U	控制量
K_p	馬達的比例增益
τ	馬達時間長數
a	馬達時間長數的倒數
H	回授增益
$C(s)$	馬達輸出
$R(s)$	馬達輸入
v_{\max}	曲線的最大值
t	時間



第一章 緒論

1.1 研究動機與目的

工業自動化技術的迅速發展下，各種自動化產品的設計與應用日益普及，其中馬達更是扮演自動化技術應用的重要元件。結合控制系統理論、驅動器設計及必須的回授信號處理，可以達成各種產業上應用的目的。諸如於工業機械手臂、醫療用機械手、雕刻機、縫紉機…等各種裝置上的應用，皆能發揮各種機具的功能與控制目標。而學會馬達控制所需之相關技術，更是電機背景學生不可或缺的基本專長。

近年來機器人之設計開發已蔚為風尚，國科會自動化學門及控制學門並將機器人之相關研究列為重點研究方向，民間或學術界等機器人相關協會也陸續成立，伴隨的各種形式的鼓勵研究措施正風起雲湧。從關鍵性零組件到將各種領域技術整合到產業用機器人上，已成為全球產業界與學術界的研究重點，同時也激起了本人對機器人之設計及控制的濃厚興趣。

但遍尋國內有關機器人的應用，幾乎找不到國人自主研發的機器人，產業界使用的關節型機器人幾乎全向國外採購。即便是時下流行的人形機器人，研究的進度亦遠不如歐、美、日等先進國家。惟機器人之設計需要龐大的經費，更不是一蹴可幾，因此本論文乃先選定仿人形的機器手臂作為研究的開端，並建立自主之電控系統，以期在此一基礎下，能逐步建立自主的機器人設計及控制技術。

1.2 文獻回顧

人類手臂是高自由度之精密構造，欲完全達成人類手臂操作之仿人形機器手臂設計不是件容易的事。如圖 1-1 所示，單單肩部的動作即包含 5 個自由度的構造[1]。此 5 個自由度分為 2 組，A、B 一組為肩部，C、D、E 為另一組位於胸部。此二組各自獨立運作，因此人類的肩部可以平順的移動[2]。為了建構人類手部的運動力學，在[3-4]的文章中亦深入探討了手臂的力學及相關特性。Masafumi Okada 曾在[1]發表 3 自由度之生物肩構造，藉由非固定旋轉中心的設計架構簡化機構的設計，並達成控制簡化及平滑移動的效果。

國內外各種人型機器人、仿人形機器手臂的文章陸續的被發表。國內在 2007 年提出了 7 個自由度的手臂控制演算法[5]，然而仍停留在理論的模擬分析，並未有實作上的控制實現。近年來保全機器人的競賽，亦出現了類似手臂的設計[6]，但其手臂的設計僅具備簡單的轉動功能，尚無法進行複雜的手部操作。而國外的研究機構，亦有針對人形

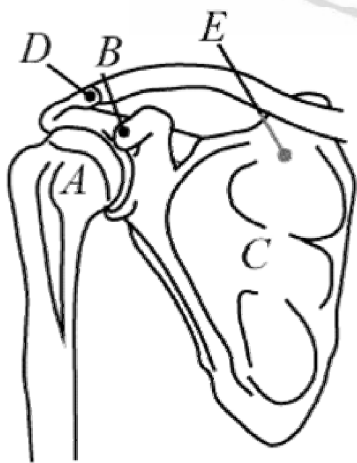


圖 1-1 人類手臂肩部構造示意圖



圖 1-2 四軸伺服控制卡

手臂的研究作探討[7]，且已發展到全人形的機器人控制[8-9]。最著名者為 ASIMO 機器人[9]，其靈巧的走路身影，不知凡幾的在新聞版面上佔有一席之地。然欲發展到全人形的機器人設計及控制，畢竟不是件容易的事，也非一蹴可幾。其所牽涉到的技術錯綜複雜，除了機構的設計，更包括電控系統的整合。

關節型機器人的主要構件為連桿(link)及關節(joint)，而關節的轉動主要由馬達進行驅動。為了提供足夠的扭力及馬達位置的適度收藏，減速機及皮帶輪亦為機器臂設計的主要構件[10-12]。

機器人的電控系統隨著軸數的增加變得益形複雜。以 PC 為主控核心的控制系統，通常配合軸卡達成控制的介面需求[13-14]，如圖 1-2 所示的軸卡為四軸的伺服控制卡，軸數高於四軸時，則必須由多片軸卡才能達成控制之需求，控制器的成本增加且加重了 PC 的工作負荷。隨著微控晶片技術的發達，以微控晶片作為伺服控制系統的核心逐漸成為控制之主流[15-16]，本論文亦提出了一新穎的伺服控制架構，容易彈性的應用到任何軸數的機器人控制。

於機器人控制器的設計，固然有許多的控制理論，如可變結構控制器[17-18]、適應性控制器[19]，但這些控制器的設計多半流於空泛的理論，簡化或假設的數學模型與實際的機器設計有一段距離。嘗試一穩定可靠的控制器設計，在本論文中將作進一步的探討。

1.3 本論文貢獻

本論文完成了仿人形機器臂的機構設計及電控系統之建置，其主要的貢獻如下：

- (1) 完成六個自由度仿人形之機器手臂設計，自行開發設計的機械手臂較市面上販賣之機械手臂來的便宜。如此一來可以取代一些需要機械手臂但不要求動作非常精密之場所，如博弈常用的機械手臂發牌機器手是使用晶圓加工的手臂，價格高昂且大材小用，若利用自行設計之手臂可達成相同之效果，亦可取代之。
- (2) 本論文機械手臂的驅動來源為直流馬達，而驅動馬達的控制器在本論文使用以串列命令傳輸的伺服控制介面卡，此介面卡為自行開發，除了可以節省專用伺服驅動器的經費，更可以完全自主所需之驅動技術，以利於系統擴充之彈性。
- (3) 建置了分散式之電控系統架構，可應用於任何軸數的機器人控制，每片介面卡配置一顆馬達，若對象不是直流馬達只需更換其驅動馬達的驅動器即可，若機器手臂的軸數增加或減少也只需增加會減少介面卡的數量。
- (4) 完成一 pc-based 的人機介面程式，使用人機介面程式可以增加使用者上手的速度，本論文所提供之人機介面雖未完成所有功能，但已完成之功能仍然能讓使用者操作起來簡單且方便。

1.4 章節概要

本論文以仿人形機械手臂設計及控制之研究為研究主題，內容共分為六章節，其介紹如下：

第一章 針對研究動機與目的予以概要說明。

第二章 介紹本論文如何設計仿人形機械手臂與設計時的相關步驟與機械手臂使用之基礎零件介紹。

第三章 說明如何控制機械手臂的直流馬達，包括如何設計介面卡的通信電路、伺服控制數學模型之建立、回授信號之處理及記憶體擴充說明等，並說明軟體控制流程。

第四章 將介紹人機介面，利用人機介面來對機械手臂做命令的下達與操作。

第五章 分析及討論實驗的結果。

第六章 總結及未來發展，對本論文所達成的研究成果作一總結，並揭示未來欲達成商品化目標的研究方向。

第二章 機械手機構設計

機械手臂的用途相當廣泛，如汽車車體焊接、搬運晶圓、廢料清運、怪手等等…舉凡可減少危險或取代人力之各種場合皆會使用要機械手臂。所以機械手臂的外型也有許多樣的變化，為建立自主之機器人設計及控制技術，本論文並不使用市售之機械手臂及驅動控制器，依據人類手臂之運動關節與長度來設計與製作仿人形之機械手臂，整體架構皆自行開發完成。

2.1 簡述

機械手臂的基礎架構包括：活動關節 (joint)、連桿 (link)、驅動控制器 (drive controller)，如圖 2-1 所示。活動關節是手臂主要機械結構，關節與關節間相連接稱為連桿，而活動關節的動力來源主要由驅動控制器提供，當驅動器旋轉或位移時驅動節點關節的可動範圍為機構設計時的極限。

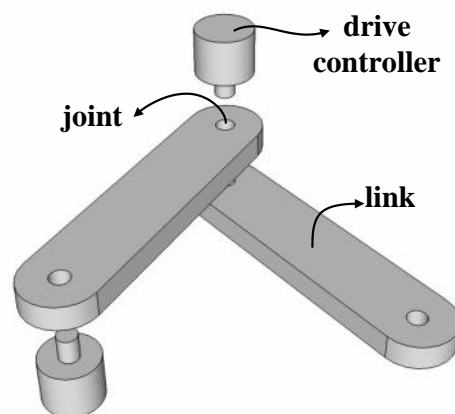


圖 2-1 機械手臂的基礎架構

2.2 機械手臂架構

本論文從仿人形之機械手設計著手，人類手臂是高自由度之精密構造，欲完全達成人類手臂操作之仿人形機器手臂設計不是件容易的事。如圖 1-1 所示，單單肩部的動作即包含五個自由度的構造。此五個自由度分為兩組，A、B 一組為肩部，C、D、E 為另一組位於胸部。此二組各自獨立運作，因此人類的肩部可以平順的移動。參考人類手臂的運動，首先先依據人體自由度的構造來預設機械手臂的關節。如圖 2-2 所示將人體手臂關節大致分成六個自由度，而這六個自由度大概可以模仿人類手臂的運動狀況，擬出機械手臂的雛形如圖 2-3 所示。圓柱體表示為關節所在的位置分別為 A、B、C、D、E、F，後續所述之仿人型機器手臂均依此一雛型模型設計之。A 為使模仿手臂呈前後大車輪旋轉之關節，B 為使手臂可以呈大字形平伸之關節，C 為上臂旋轉之關節，D 為上下臂彎曲之關節，E 為下臂旋轉之關節，F 則為預留與手掌結合之旋轉關節。

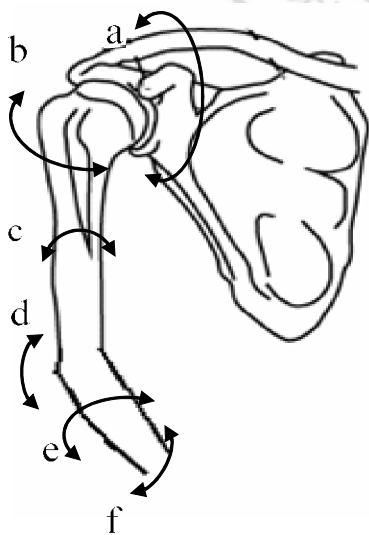


圖 2-2 仿人形機器手臂移動示意圖

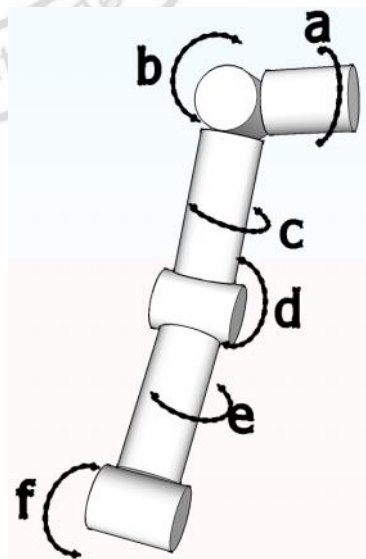


圖 2-3 機械手臂的雛形

2.2.1 行星式減速機 (Planetary Gearboxes)

機械手臂的關節與關節間互相連結耦合如圖 2-1，手臂驅動的動力主要來自驅動控制器，其驅動器輸出一個出力至節點，而節點上有軸承與連桿聯結裝置來帶動連桿。此一運動情形有如圖 2-4 所示之槓桿原理，其中支點有如節點，力臂有如連桿。當施力臂長度大於抗力臂長度的兩倍時，依據槓桿原理施力臂出一單位力後抗力臂側可以測量出兩倍之力。這個效果有如放大一樣，但也會產生出負作用就是抗力臂的移動速度將會是施力臂的一半，這種原理有如機械手臂一樣，只是手臂施力點在支點上，若欲提起重物則施力點就必須提供大的出力，大的出力表示驅動器的輸出也需要較大的輸出功率。如此驅動器的體積將會變的龐大且重量也會跟著提高，所以在本論文選用行星式減速機作為節點，以將驅動器的輸出放大，減速機的作用有如槓桿原理一

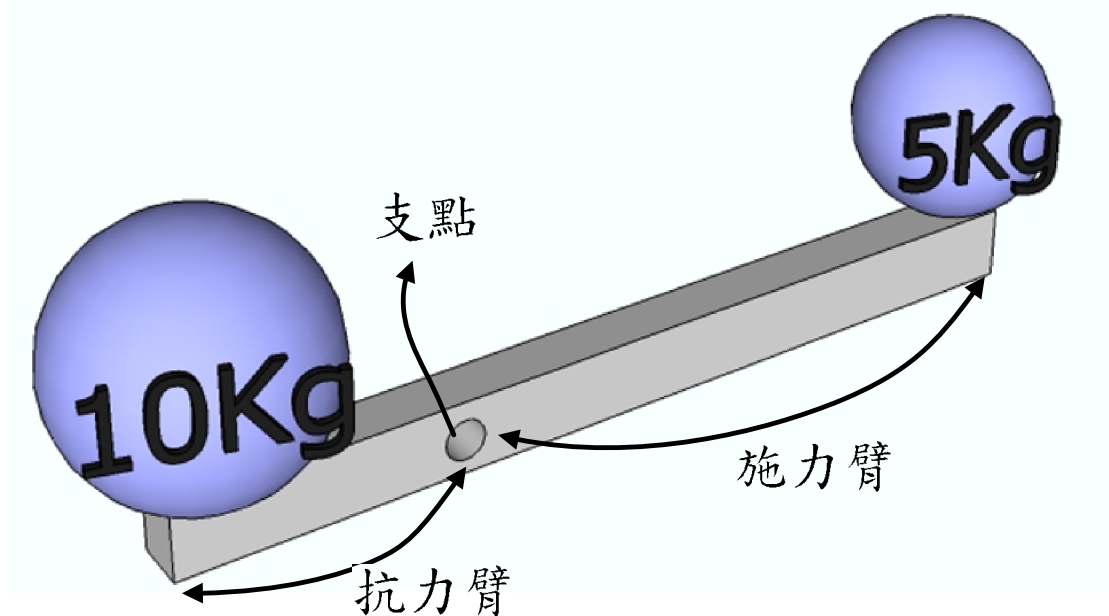


圖 2-4 槓桿原理

樣，但減速機使用齒輪作為放大如圖 2-5 所示，齒輪比的多寡有如施力臂的長度一樣，齒輪比越大力量放大倍數也越大，但轉速也會相對的減少，其優點是驅動器的輸出功率將會大幅的降低。為何稱為行星式？因齒輪在旋轉時會繞著中心齒輪旋轉，有如行星一樣故稱之行星齒輪。減數機的外型與形式有很多種選擇，符合機構本身之規格即可。

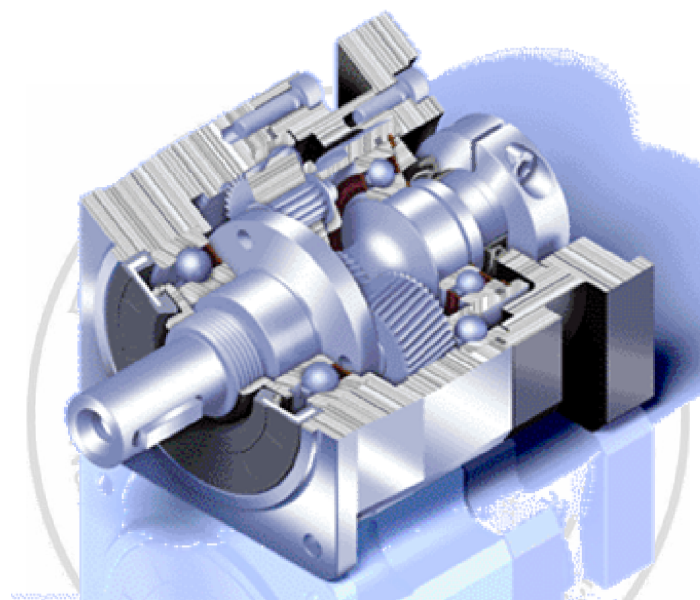


圖 2-5 行星式減數機

2.2.2 時規齒輪 (Timing Gear)

本論文中馬達輸出軸並沒有直接驅動減速機，而在中間傳動中使用時規齒輪與時規皮帶(Timing Belt)的配合，如圖 2-6 所示。時規齒輪採用融合齒輪與皮帶特點，通常應用在較精密傳動的場合，因時規齒輪不會發生像皮帶輪瞬間啟動時產生空轉與軟性帶動的優點，所以在本論文中選用此元件。



圖 2-6 時規齒輪及時規皮帶

2.2.3 機械手臂關節分解解說

由圖 2-3 之機械手臂雛形來個別設計各關節機構，每一個關節均使用類似的零組件，主要有兩個元件一是直流馬達二是減速機。直流馬達的輸出軸用來驅動減速機，而減速機的輸出驅動下一個關節的連桿。如圖 2-7 所示為一關節的基礎構造，可是在直流馬達驅動減速機的部份分為兩種模式，分別是由皮帶輪驅動與直接驅動，接著將使用類似圖 2-7 模式來設計六個可動關節。

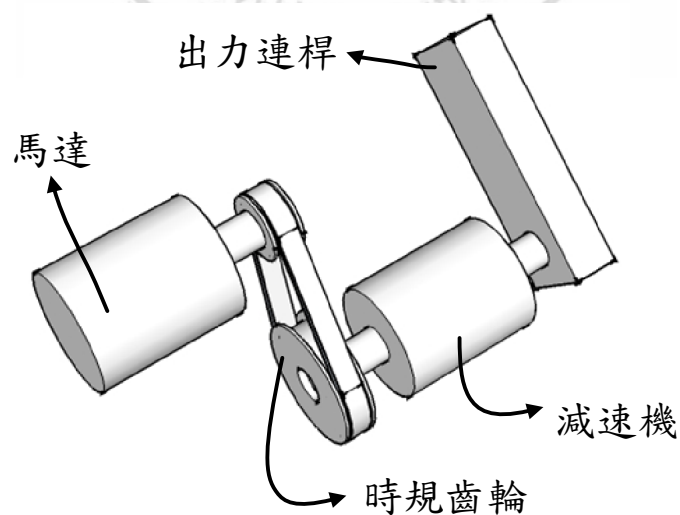


圖 2-7 關節示意圖

完成設計之機械手臂具有六大關節，如圖 2-8 所示。手臂總長 63.53 公分重量大約 7kg，每一個關節皆可自由的運動，接著將介紹完整之機械手臂結構，並依據圖 2-3 將關節命名為 A 為使模仿手臂呈前後大車輪旋轉之肩膀關節，B 為使手臂可以呈大字形平伸之肩膀關節，C 為上臂旋轉之肩膀關節，D 為上下臂彎曲之手軸關節，E 為下臂旋轉之手腕關節，F 則為預留與手掌結合之旋轉手腕關節。

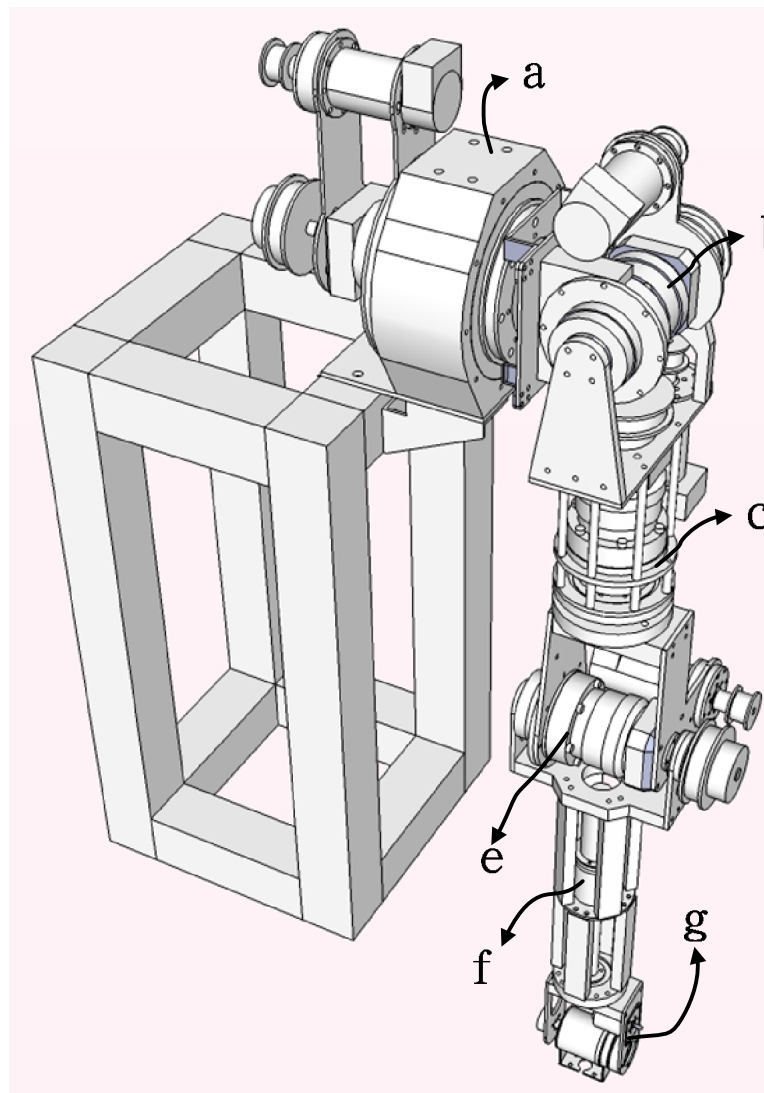


圖 2-8 機械手臂結構

A. 大車輪旋轉之肩膀關節

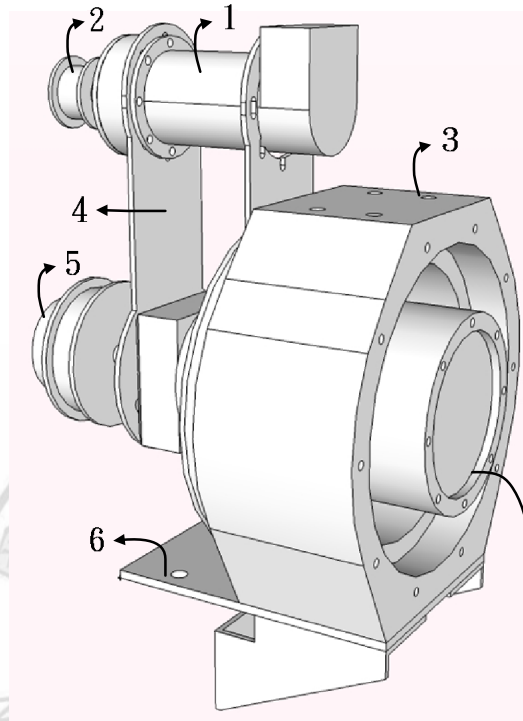


圖 2-9 大車輪旋轉之肩膀關節

介紹圖 2-9 大車輪旋轉之肩膀關節各項細部

- 1：直流馬達
- 2：時規齒輪 12 齒
- 3：旋轉軸承固定架
- 4：馬達固定架
- 5：時規齒輪 30 齒
- 6：固定片
- 7：減速機

關節使用有刷直流馬達藉由皮帶輪傳動至減速機輸入之架構，旋轉軸承固定架 3 與固定片 6 為支撐整體機械手臂的裝置，3 可以承載肩膀

轉動之機構，6 是將 3 固定在機台上時使用。圖中時規齒輪 2、馬達固定架 4 與時規齒輪 5 是傳動機構部分，馬達固定架 4 可以調整馬達上下高度位置，時規齒輪 2 與 5 由於齒數比的關係可以將出力放大為 2.5 倍，如圖 2-10 所示。圖 2-11 為直流馬達 1 的實體圖，圖 2-12 為減速機 7 的實體圖，所選用的減速比為 1:100，整體減速比為 1:250。



圖 2-10 時規齒輪與皮帶

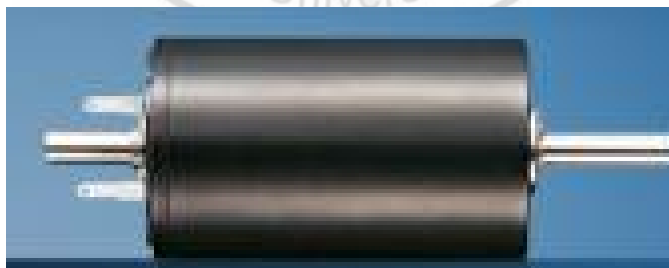


圖 2-11 FAULHABER 公司出產 3257CR 馬達

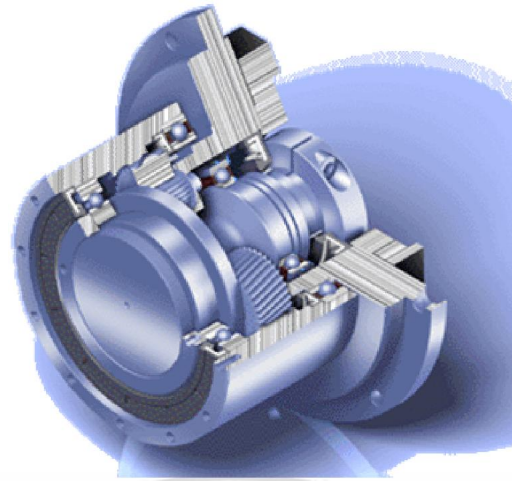


圖 2-12 APEX 公司出產 AL095 減速機



B. 大字形平伸之肩膀關節

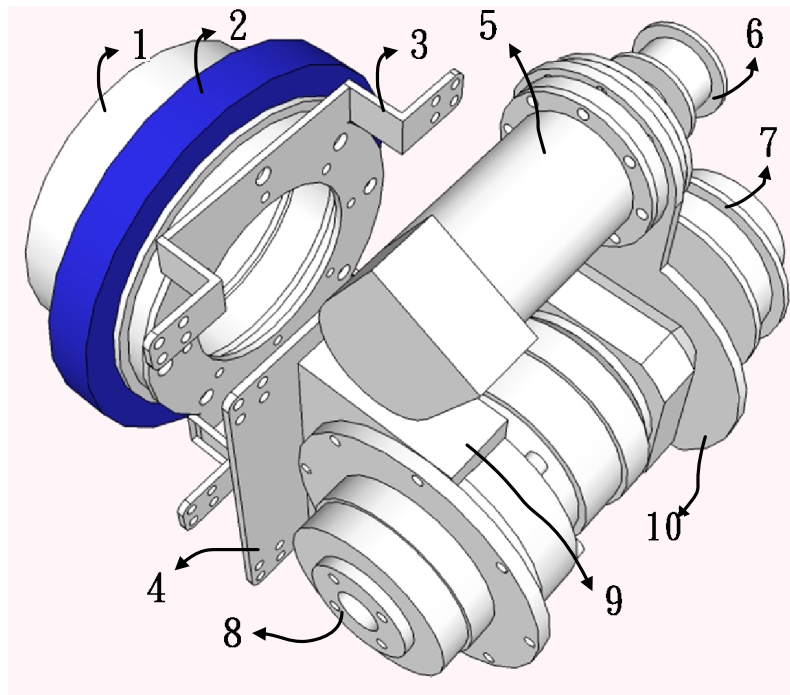


圖 2-13 大字形平伸之肩膀關節

介紹圖 2-13 大字形平伸之肩膀關節各項細部

- 1：套筒
- 2：滾珠承軸
- 3：固定夾爪
- 4：固定夾片
- 5：直流馬達
- 6：時規齒輪 12 齒
- 7：時規齒輪 30 齒
- 8：減速機
- 9：減速機固定架
- 10：馬達固定架

此關節與 A 關節接合，接合元件使用套筒 1、滾珠承軸 2 與固定夾爪 3 其中套筒 1 是直接套入圖 2-12 之減數機內，套筒組合滾珠承軸 2 與固定夾爪 3 方可連動旋轉，滾珠承軸 2 作用是穩定機械手臂之作用使減速機減少承受向下之重力，固定夾爪 3 對鎖於固定夾片 4，固定夾片 4 固定了減數機固定架 9 與馬達固定架 10，9 與 10 組合起來可以固定 8 之減速機，固定馬達處 10 也可以調整馬達上下位置，而減速機動力來源也是由直流馬達 5 與皮帶輪傳動 6 與 7，圖 2-11 為 5 的實體圖，圖 2-14 為 8 的實體圖所選用的減速比為 1:90，6 與 7 由於齒數比的關係可以將出力放大為 2.5 倍為圖 2-10，整體減速比為 1:225。

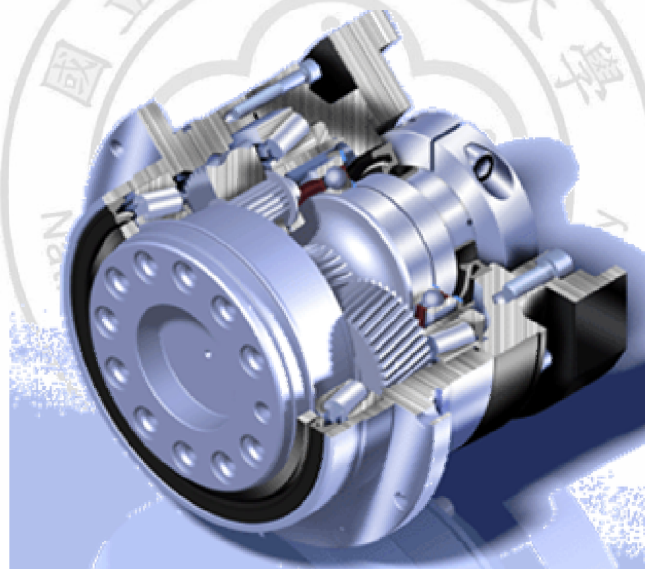


圖 2-14 APEX 公司出產 AD095 減速機

C. 上臂旋轉之肩膀關節

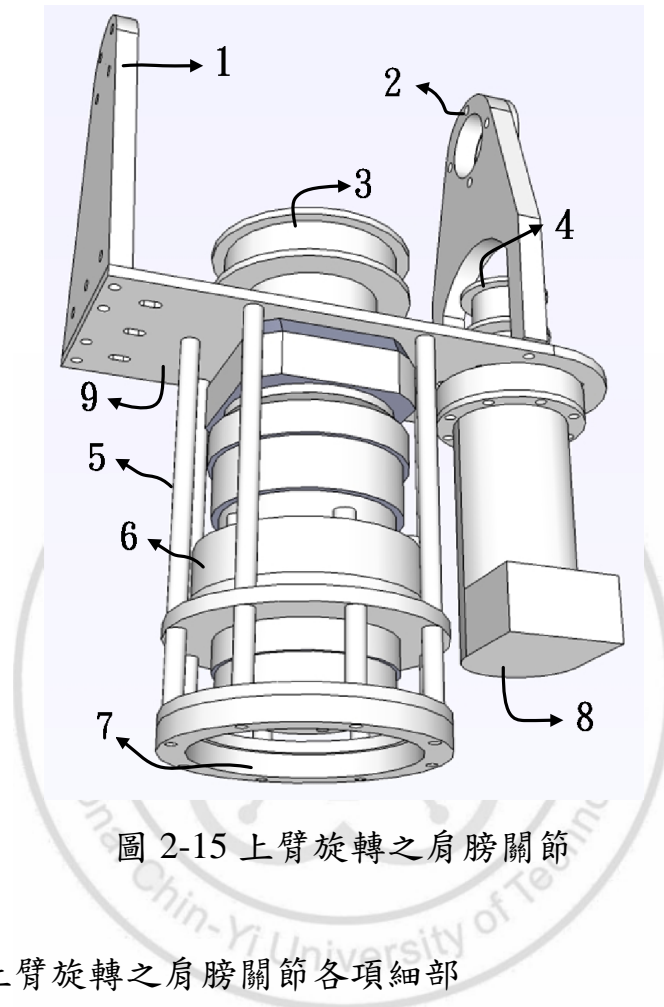


圖 2-15 上臂旋轉之肩膀關節

介紹圖 2-15 上臂旋轉之肩膀關節各項細部

- 1：固定支架
- 2：軸承固定支架
- 3：時規齒輪 12 齒
- 4：時規齒輪 30 齒
- 5：輔助棒
- 6：減速機
- 7：輸出軸承固定架
- 8：直流馬達
- 9：主要固定片

此關節與 B 關節接合，接合元件使用固定支架 1 與軸承固定支架 2 其中固定支架 1 連接減速機之輸出，軸承固定支架 2 用途為輔助固定架載於分擔固定支架 1 之受力點，主要固定片 9 相接於固定支架 1 與軸承固定支架 2 且固定輔助棒 5、減速機 6 與直流馬達 8，其中直流馬達 8 可以左右移動調整，輔助棒 5 的目的在於分擔減速機各方向施加之應力，減少減速機本體受其他應力影響，輸出軸承固定架 7 為減速機的輸出處加裝滾珠軸承之後為輔助的固定架，圖 2-11 為直流馬達 8 的實體圖，圖 2-14 為 6 的實體圖所選用的減速比為 1:90，時規齒輪 3 與 4 由於齒數比的關係可以將出力放大為 2.5 倍為圖 2-10，整體減速比為 1:225。



D. 上下臂彎曲之手軸關節

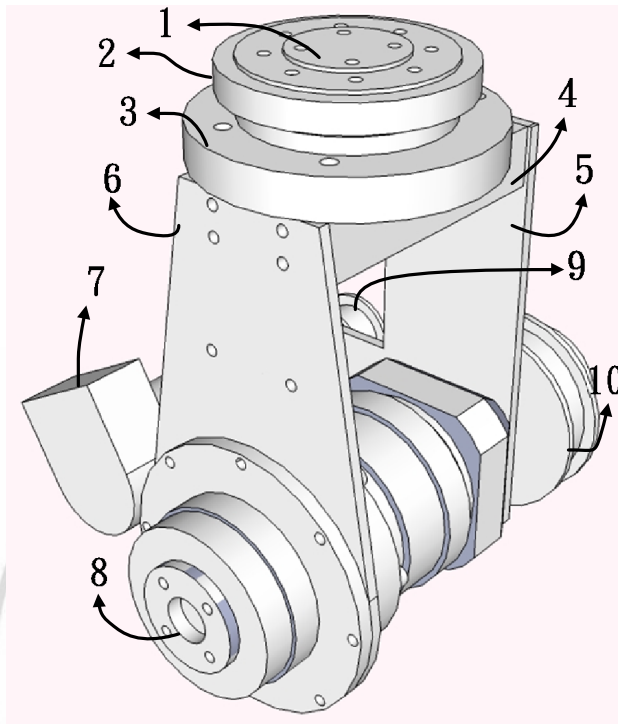


圖 2-16 上下臂彎曲之手軸關節

介紹圖 2-16 上下臂彎曲之手軸關節各項細部

- 1：輸出連接器
- 2：滾珠軸承
- 3：連接器底座 1
- 4：連接器底座 2
- 5：軸承固定架
- 6：固定架
- 7：直流馬達
- 8：減速機
- 9：時規齒輪 12 齒
- 10：時規齒輪 30 齒

此關節與 C 關節接合，接合元件使用輸出連接器 1 與滾珠軸承 2 其中輸出連接器 1 連接減速機之輸出，滾珠軸承 2 用途為分擔輸出連接器 1 之受力點目的在於分擔減速機各方向施加之應力，並且使用連接器底座 3 作為底座固定，連接器底座 4、軸承固定架 5 與固定架 6 組合可以將減速機加以固定，馬達則固定在軸承固定 5 上並可左右調整，圖 2-11 為直流馬達 7 的實體圖，圖 2-14 為減速機 8 的實體圖所選用的減速比為 1:90，連接器底座 3 與 4 由於齒數比的關係可以將出力放大為 2.5 倍為圖 2-10，整體減速比為 1:225。



E. 下臂旋轉之手腕關節

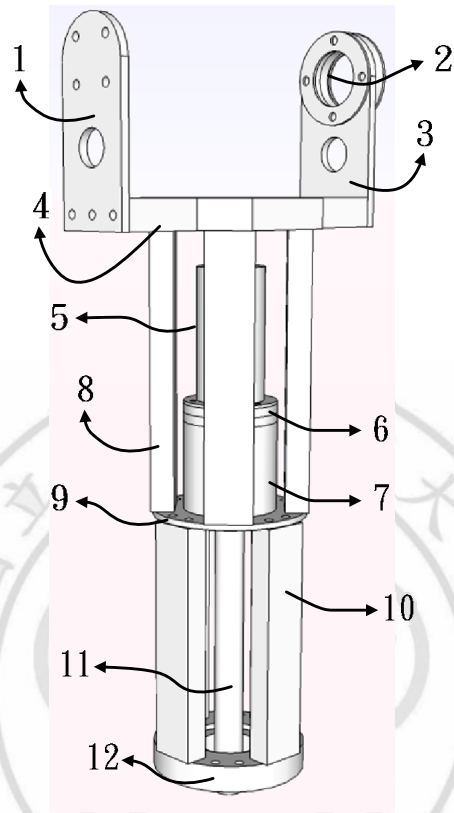


圖 2-17 下臂旋轉之手腕關節

介紹圖 2-17 下臂旋轉之手腕關節各項細部

- 1：輸出連接器
- 2：軸承固定器
- 3：軸承固定架
- 4：主要固定座
- 5：直流馬達
- 6：墊片
- 7：減速機
- 8：延長支架 1
- 9：連接片

10：延長支架 2

11：輸出延伸柱體

12：輸出軸承固定架

此關節與 D 關節接合，接合元件使用輸出連接器 1 與 2 其中輸出連接器 1 連接減速機之輸出，輸出連接器 2 與 3 用途為輔助固定架載於分擔輸出連接器 1 之受力點，並且使用主要固定座 4 作為底座固定將輸出連接器 1、軸承固定架 3 與延長支架 8 結合，延長支架 8 為延伸之用途，並設中間空心處有放置馬達與減速機，連接片 9 為固定減速機之鐵片銜接於延長支架 8 與延長支架 10 的中間位置，輸出延伸柱體 11 為減速機的輸出延長圓柱體是為方便驅動下一個關節，12 為減速機的輸出處加裝滾珠軸承之後為輔助的固定架，直流馬達 5、墊片 6 與減速機 7 為馬達與減速機組結合使用墊片 6 接合在一起以直接驅動的方式來設計，圖 2-18 為直流馬達 5 的實體圖其中軸承上的齒輪為驅動行星減速機之用，圖 2-19 為減速機 7 的實體圖所選用的減速比為 1:139，因直接驅動所以整體減速比為 1:139。

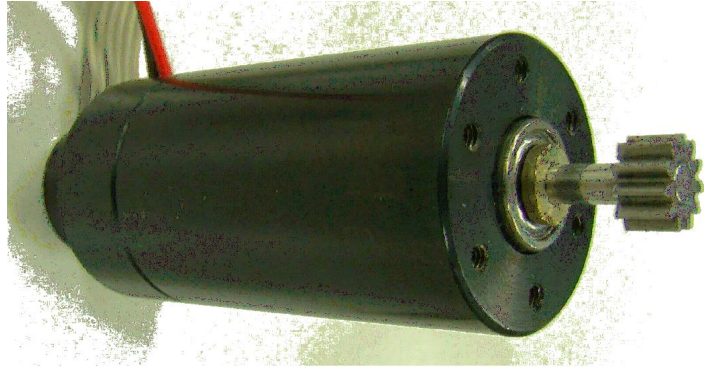


圖 2-18 FAULHABER 公司出產 2342CR 馬達



圖 2-19 祥儀公司出產 IG-32 減速機

F. 手掌結合之旋轉手腕關節

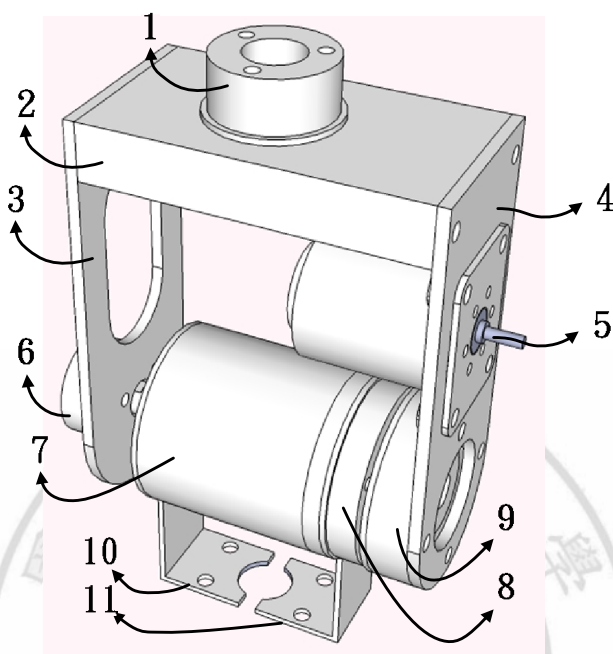


圖 2-20 手掌結合之旋轉手腕關節

介紹圖 2-20 手掌結合之旋轉手腕關節各項細部

- 1：軸承套筒
- 2：軸承套筒底座
- 3：固定架 1
- 4：固定架 2
- 5：直流馬達
- 6：承軸固定座
- 7：減速機
- 8：軸承套筒
- 9：軸承套筒底座
- 10：手掌結合預留處 1
- 11：手掌結合預留處 2

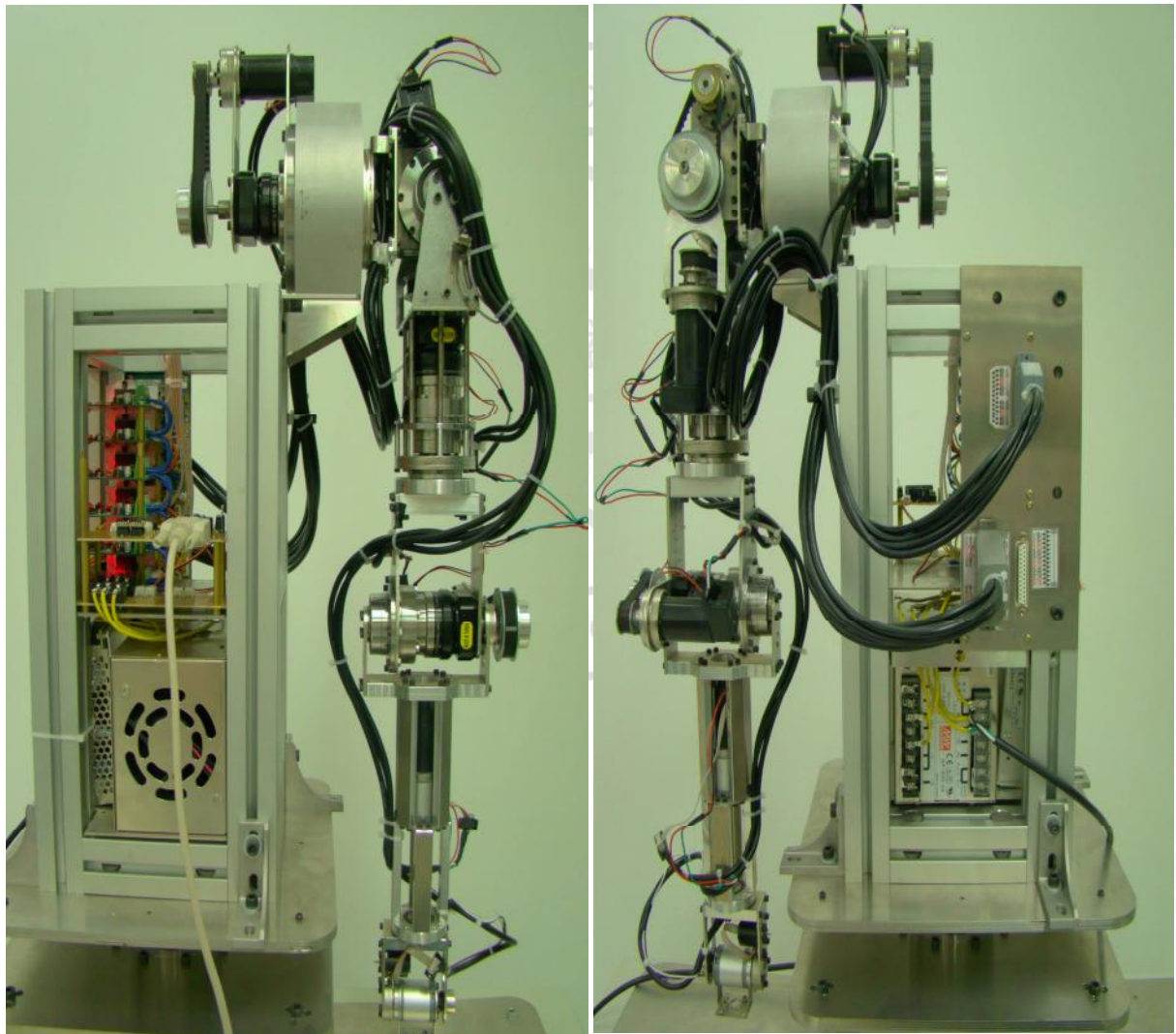
此關節與 E 關節接合，接合元件使用軸承套筒 1 連接，減速機輸出與滾珠軸承接合在軸承套筒 1 上並將軸承套筒 1 固定於軸承套筒底座 2 上，軸承套筒底座 2、固定架 3 與固定架 4 的組合用以固定軸承套筒固定座 6 與軸承套筒底座 9，直流馬達 5 的直流馬達固定在固定架 4 上且可上調整，減速機本體兩側使用手掌結合預留處 10、手掌結合預留處 11 與軸承套筒 8 銜接，軸承套筒 8 為承軸套筒外圈需鑲入軸承套筒底座 9 內的滾珠軸承，內圈也有滾珠軸承為輸入軸承時之用，減速機的輸出則套入承軸固定座 6 內，手掌結合預留處 10 與手掌結合預留處 11 為後續手掌連接時之用。圖 2-21 為直流馬達 5 的實體圖，圖 2-19 為減速機 7 的實體圖所選用的減速比為 1:100，馬達驅動減速機使用齒輪作為傳動，整體減速比為 1:200。



圖 2-21 FAULHABER 公司出產 2224SR 馬達

2.3 完成之機械手臂

完成後之實體圖為圖 2-22 所示，其中黑色線是將馬達控制線與回授信號線之配接線，彙整至右邊的 D 型插頭，且與控制板上的輸出與輸入相連接，手臂架的中空位置為放置伺服控制介面卡與電源供應的部份。



正面

背面

圖 2-22 實體機械手臂完成圖

機械在設計時必須考慮到的因素有下列幾點：

1. 減速機與馬達的選用
2. 機構的乘載能力
3. 抓取能力

在本論文所選用的減速機與馬達相關資料皆於第五章，在選用馬達時要先行計算馬達的扭矩，再觀察到減速機後的輸出扭矩為多少，如此一來可以得知此關節的載重能力。機構也必須有一定的機械應力，例如 A 關節的 3 旋轉軸承固定架，他必須承載機械手臂的所有重量，所以固定要相當牢固，也要能夠應付手臂動作時上下左右的各種應力。由圖 2-23 中可以計算出關節的扭矩，以 A 關節來說他必須承受 CDEF 的重力，可以粗計算出如下

$$1.242 \times 0.15 + 1.242 \times 0.3 + 0.558 \times 0.45 + 0.516 \times 0.6$$

$$= 1.1196 \text{ kg-m}$$

在計算 A 關節所輸出的扭矩

$$70 \text{ mNm} \times 2.5 \times 90 = 15.75 \text{ Nm}$$

$$= 1.61 \text{ kg-m}$$

由此可以知道此關節的輸出扭矩大於機構的扭矩所以方可帶動，其他關節均依照相同方法計算之。

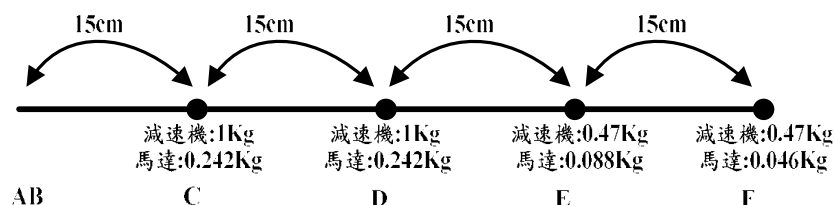


圖 2-23 機械手臂力矩計算

將圖 2-22 中的機械手臂轉成線條形狀的模式來表示如圖 2-24 所示，以圖 2-24 中關節所停留的位置為機械手臂的起點位置，以起點為中心點分別將每一關節的可動角度分別顯示於表 2-1 中。

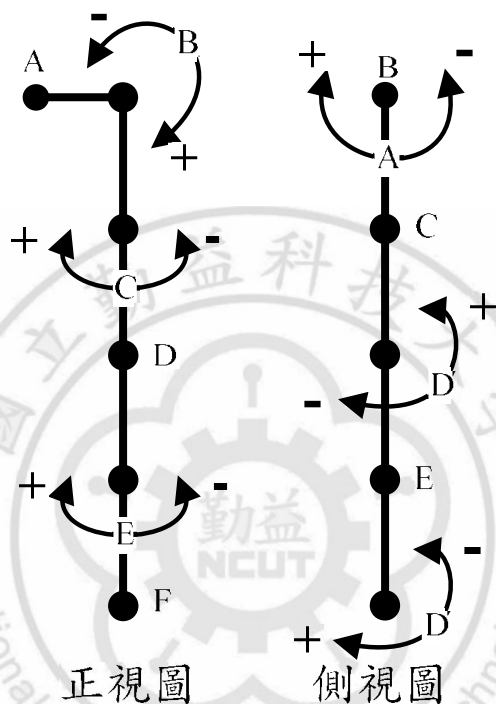


圖 2-24 簡易手臂關節圖

表 2-1 馬達可動範圍值

	+	-
	(度)	(度)
A	180	180
B	10	130
C	90	90
D	10	120
E	180	180
F	90	90

第三章 電控系統設計

本章之電控系統設計主要包括專用伺服介面卡設計、電源系統設計及主控電腦/晶片程式電控程式設計，如圖 3-1 虛線方塊所示。其中使用了六片伺服控制介面卡，每片介面卡分別控制一個主要關節，而六片介面卡與主控端間溝通方式使用 RS-485 介面，主控端可以使用個人電腦或微控晶片來控制介面卡，各軸的軌跡規畫及命令下達於主控端完成，各伺服控制卡再依所接收到的命令完成需之位置控制。

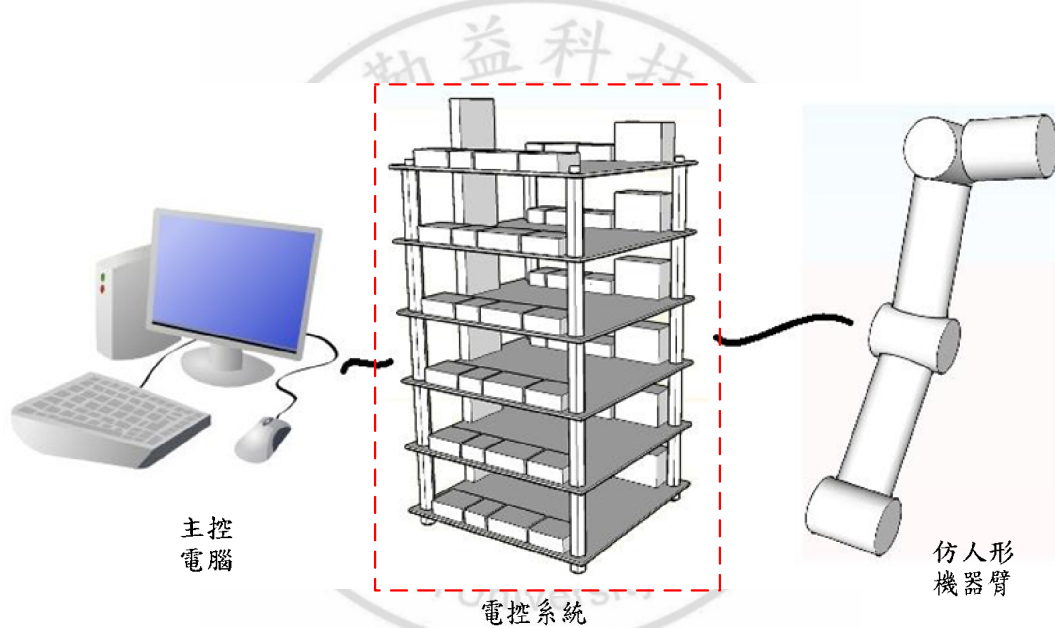


圖 3-1 電控系統設計示意圖

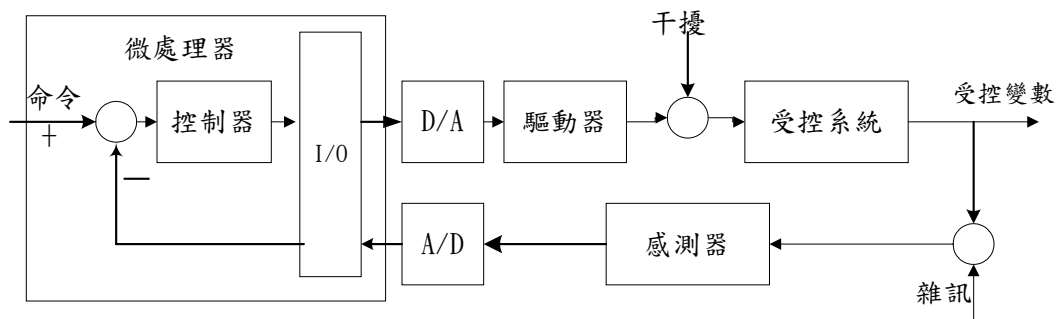


圖 3-2 數位式直流伺服系統方塊圖

本章所規畫之伺服控制介面卡以常用之直流伺服馬達控制為主。數位式直流伺服控制系統方塊圖一般可以圖 3-2 加以表示[20-21]。微處理器統籌命令信號的處理及控制器信號的演算，控制信號並透過 I/O 介面的處理經 D/A 電路與受控的類比系統取得連結。驅動器主要做為信號的放大以使馬達產生運動，回授的信號並經感測器及 A/D 回授到微處理器，以完成控制的迴路。而隨著晶片技術的推陳出新，許多與馬達驅動有關的功能模組已整合到微控制器中，使得馬達的控制更加容易。

本論文則以 dsPIC30F3010 系列晶片[22-26]作為伺服控制介面卡的核心。此一晶片內建的 PWM 模組、編碼器位置回授信號計數模組、A/D 模組及 UART 串列通信埠的功能，正符合了伺服控制介面卡製作之需求。且整個 PIC/dsPIC 支援的周邊功能強大眾多，舉凡 USB、TCP/IP...等周邊功能齊全，未來的功能擴充性強。本章所設計的伺服控制介面卡功能如圖 3-3 中的粉橘色方塊所示。

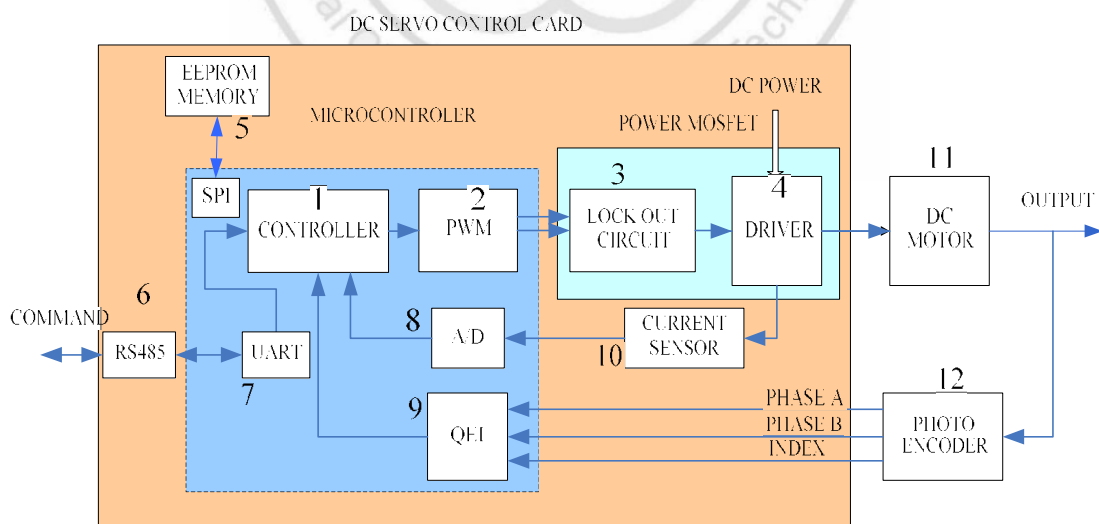


圖 3-3 介面卡功能方塊圖

3.1 馬達驅動電路

習用的驅動電路為橋式電路如圖 3-4，由電晶體或 MOSFET 等組合而成。若 A、D 晶體導通 C、B 晶體不通，則馬達為正轉；C、B 晶體導通 A、D 晶體不通則馬達為反轉。如果馬達需轉速變化時只要在 PWM SIGNAL 端加入 PWM 調變信號。若要以此電路來設計驅動器，則必須附加額外的電路來配合，譬如說 A 與 B 電晶體需為互補式的動作，但是兩者同時動作時會發生短路現象。為避免此現象發生所以需設計錯開 (lock-out) 電路來防止。凡此種種的附加電路會增加電路板的大小，所幸市面上有專用的功率晶體模組可以使用，免除了自行設計的麻煩。本論文所設計之介面卡則採用 SGS-THOMSON 公司的 L6203[27] 全橋式驅動器，其最高切換頻率可達 100KHz，最大額定電流達 5A，並具過熱自我保護功能，足以滿足小型伺服馬達驅動之需求。L6203 的實體圖如圖 3-5 所示。

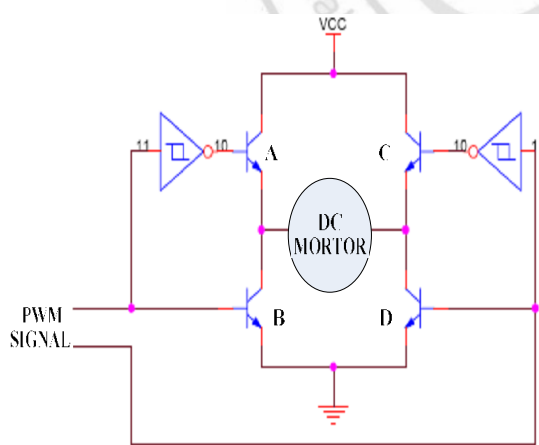


圖 3-4 橋式電路示意圖



圖 3-5 L6203 全橋式驅動器

3.2 串列傳輸介面

並列埠通信的概念是資料一組為單位進行發送，並列通信在傳輸資料時是依據資料線數的多寡來決定一組資料的寬度。串列埠通信的概念是資料拆分以位元 (bit) 為單位進行發送，串列通訊埠只要使用一根發送資料線同時用另一頭接收板也只需一根接收資料線。所以比較起來並列的速度優於串列，而串列的使用導線數則優於並列。所以在本章選擇串列通訊模式來與主控端進行溝通，以減少使用的導線數目。基本串列傳輸使用 3 根線完成：(1) 地線(SG)，(2) 發送(TD)，(3) 接收(RD)。典型地，串列埠用於 ASCII 碼字元的傳輸。由於串列埠通信可以為非同步的，埠能夠在一根線上發送資料同時在另一根線上接收資料，其他線用於交握，但並不是必須的。PC 序列埠和設備間點對點的通信界面，其硬體接腳如圖 3-6。此介面稱為 DB9，各接腳功能列於表 3-1。但在本章需使用串列通訊來控制所有的伺服控制介面卡，需將原始 PC 所送出之 RS-232 訊號加以轉換，否則較難實現多塊介面卡的整合。

所以設計使用 RS-485 模式來達成傳輸之目的，圖 3-7 為 PC 與伺服控制介面卡的連接方式稱為 RS-485 全雙工模式，可同時接收訊號與發出訊號。但 PC 所送出來的訊號不符合 IC MAX-491 的需求，所以使用時需要經過 MAX-232[28]的電壓轉換轉為 TTL 的信號。TTL 的信號再使用 MAX-491 將信號轉換為差動的信號，利用雙絞線將訊號分別連接至各個伺服控制介面卡。介面卡上也使用 MAX-491 將差動的訊號轉換為 TTL 訊號，利用這個方式訊號再傳送過程中如果有雜訊干擾雙絞線時，雜訊會在雙絞線上產生大小相同發生時間相同的訊號，但因使用差動接收的 MAX-491 時同向的訊號將會被濾除而無法輸出，如此一來可消除雜訊干擾的影響達到較穩定的資料傳輸。

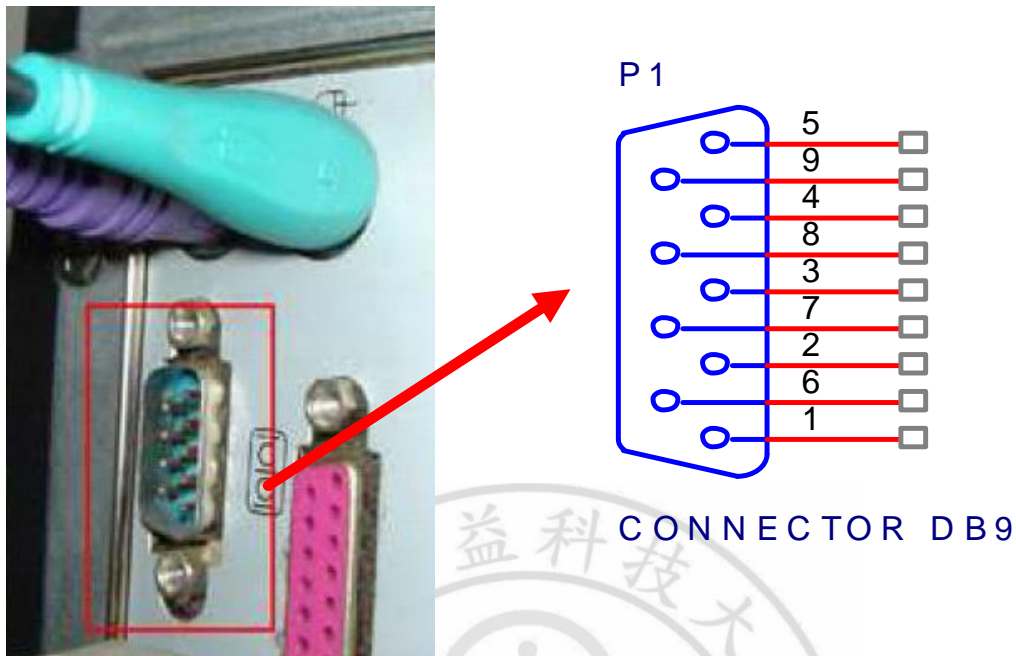


圖 3-6 RS-232 接腳圖

表 3-1 RS-232 接腳功能簡介

接腳	名稱	功能簡介	接腳	名稱	意義
1	DCD	資料載波偵測	6	DSR	資料發送就緒
2	RD	接收資料線	7	RTS	傳送端要求傳送
3	TD	傳輸資料線	8	CTS	清除發送
4	DTR	資料終端備妥	9	RI	鈴響指示
5	SG	信號接地			

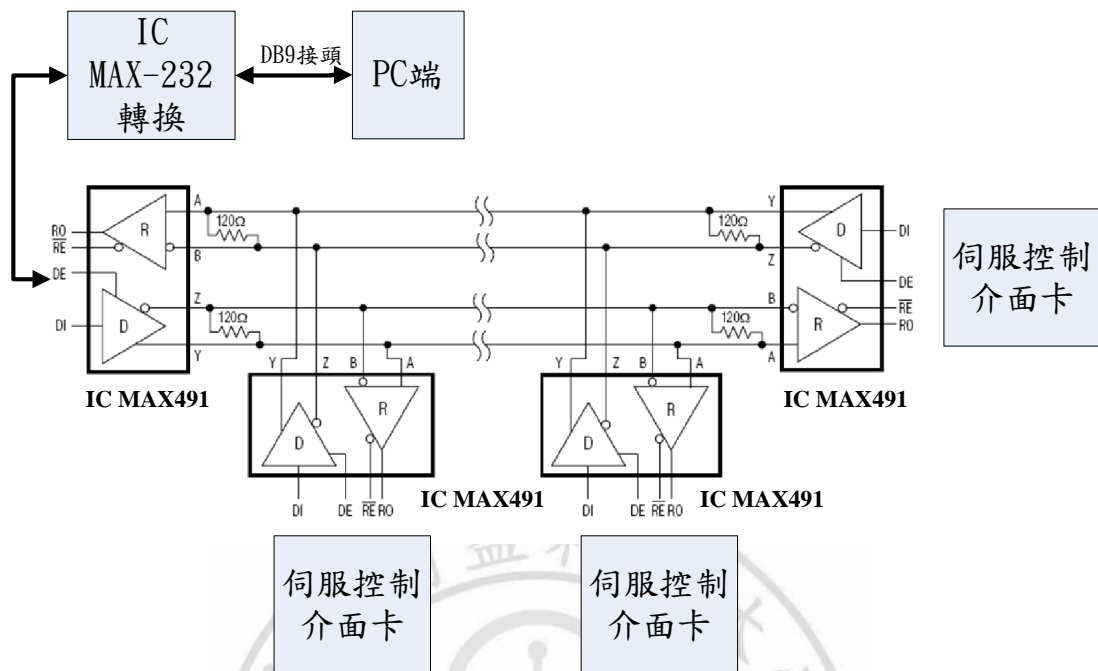


圖 3-7 介面卡連接方式

表 3-2 RS-232 參數設定

名稱	參數設定值
鮑率(Baud rate)	38400
資料位元數	8
終止位元數	1
奇偶元數	無
傳輸埠	PC commport 埠

寫入碼 ~ [I][D]<[code]=[n]@

回應碼 >[n]@

圖 3-8 完整的資料結構

資料傳輸中所設定的參數為表 3-2，傳輸協定需依照表來設定相關參數否則無法與伺服介面卡溝通。但這只是傳輸的協定，在本章資料傳輸時也有固定的資料格式，就算傳輸協定是一樣的但資料格式不一樣這樣也無法溝通。而本章所設計的資料格式中一個位元組以 ASCII 碼來表示，利用 ASCII 碼來組合成為完整的資料結構，如圖 3-8 中內資料表示可設定資料模式亦稱為指令，其他的符號皆為固定的格式不可以改變。

指令介紹：

I：指令，為主要的功能目錄的選擇。

D：指令碼，為功能目錄下的指令，需選擇要執行何種命令。

code：介面卡編號，選擇所要下達的介面卡編號。

n：資料，為命令的資料，長度依據指令的功能而有所不同，最大長度為八個

寫入碼為使用者所送出的資料串，需依照固定的格式與範圍介面卡方可認知接收指令並會傳一串回應碼，使用者可以根據回應碼來判斷資料是否在傳輸過程中發生錯誤。

3.3 EEPROM 記憶體擴充介面

本章伺服介面卡所選用的微控制晶片為 Microchip 公司所生產之 dsPIC30F3010 微控制晶片，這一顆微控制晶片為二十八根接腳，程式記憶體 24Kbyte，資料記憶體為 1024byte。雖然記憶體在程式規劃與設計中都相當充足，但若要將伺服控制介面卡控制的相關資訊記錄下來，則記憶體的大小就會不夠，因此必須作記憶體的擴充。

市售記憶體大約分為兩種，一是並列傳輸，二是串列傳輸。前者傳輸速度較快但會佔用較多的接腳數，後者使用的接腳數較精簡但傳輸速度較慢。但因本章的微控制晶片接腳為二十八根，在 IO 的調配下必需要節省 IO 的使用量。所以在本章中選用 Microchip 公司所生產之 25AA1024[29]的串列式記憶體圖 3-9，這一顆記憶體的大小為 1Mbit 傳輸速率為 20MHz 接腳數為八根，實際有使用的接腳為四根(CS、SO、SCK、SI)。它主要的通訊協定為 SPI 傳輸，在設計時一組資料為 32bit，共可以記錄 32768 組足夠記錄一段時間，若需要再擴增時只需再增加一支接腳即可。

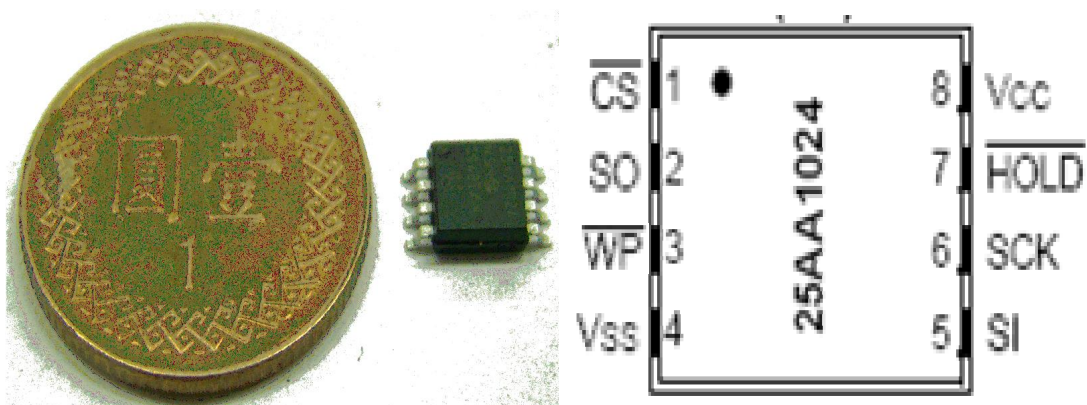


圖 3-9 25AA1024 實體圖

3.4 馬達定位控制的設計

定位控制為機械手臂主要的動作控制，若無控制器的配合機械手臂也無法進行定位。當控制器接收了使用者所下達的位置或速度命令時，此時設計者必須選擇要使用什麼方式來達成目的。所以在事前需要了解馬達的特性參數，在得知馬達的參數後就可以進行控制器的設計。

3.4.1 馬達參數尋找

一個良好控制系統，需有完整的控制器，而一個完整的控制器需要計算良好的控制參數。但控制參數的取得須取決於已知的控制設備參數，已知的控制設備參數就可以求得系統的特性根是否落在穩定的區域，在分析系統中特性根的位置是非常重要的，但是在操作一個未知的系統時，無法直接得知設備參數值，所以將使用間接的方式來求得系統的數學模型，以利系統分析與系統模擬，在本章節中介紹如何將一顆未知參數的直流馬達，建立直流馬達的識別系統與數學模型。

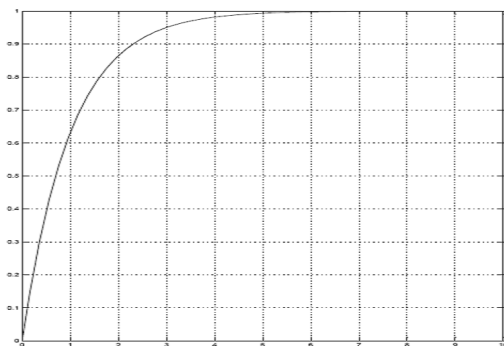


圖 3-10 RC 充電曲線圖

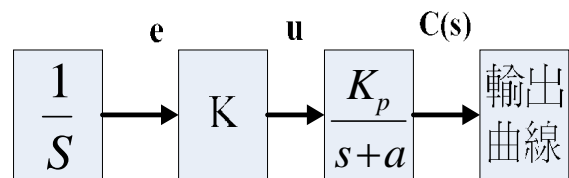


圖 3-11 馬達系統測試方塊圖

馬達開迴路速度響應曲線與圖 3-10 RC 充電曲線圖比較起來相當類似，所以以這張圖可以看出此馬達的速度響應曲線可以近似為一階的系統，如同 RC 電路。

馬達轉移函數定義

$$\frac{C(s)}{u} = \frac{K_p}{s+a} \quad (3-1)$$

方程式(3-1)中 $C(s)$ 為馬達的輸出單位為 rad/sec， $R(s)$ 為輸入， K_p 為馬達的增益， a 為時間常數(time constant)的倒數即 $a = \frac{1}{\tau}$ 。定義直流馬達轉移函數完成後，就可建立圖 3-11 的系統測試方塊圖； K 為控制命令的輸出；當輸入為步階函數時輸出的方程式為方程式(3-2)

$$C(s) = \frac{K_p}{s+a} \times \frac{1}{s} \times K \quad (3-2)$$

因式分解後得

$$C(s) = \frac{K \frac{K_p}{a}}{s} - \frac{K \frac{K_p}{a}}{s+a}$$

$$C(s) = K \frac{K_p}{a} \left(\frac{1}{s} - \frac{1}{s+a} \right) \quad (3-3)$$

對方程式(3-3)進行反拉斯轉換可得

$$c(t) = K \frac{K_p}{a} (1 - e^{-at}) \quad (3-4)$$

由方程式(3-4)可以求出單位步階輸入時馬達速度輸出響應曲線，而由

響應曲線與方程式(3-4)方程式可以求出對應的 K_p 與 a 值，方式如下
 當 $t = \infty$ 時馬達速度到達穩定，轉速 v_{\max} 將為固定值，代入方程式
 (3-4)

$$c(t = \infty) = K \frac{K_p}{a} (1 - e^{-a \times \infty}) = v_{\max}$$

$$K \frac{K_p}{a} = v_{\max} \quad (3-5)$$

當 $t = \frac{1}{a}$ 時代入方程式(3-4)中

$$c(t = \frac{1}{a}) = K \frac{K_p}{a} (1 - e^{-a \times \frac{1}{a}})$$

$$= K \frac{K_p}{a} (1 - e^{-1})$$

$$= 0.632 \times K \frac{K_p}{a} \quad (3-6)$$

由方程式(3-6)中 $K \frac{K_p}{a}$ 與方程式(3-5)是一樣的，改寫方程式(3-6)

$$= 0.632 \times v_{\max} \quad (3-7)$$

方程式(3-7)中可以得知當系統輸出曲線在最大值的 63.2% 時所對應的
 時間為 t 可以得知，因 $t = \frac{1}{a}$ 可以求得 a 值，將 a 值代入方程式(3-5)將可
 求得 K_p 值。

3.4.2 程式流程

伺服控制介面卡的程式基本流程如圖 3-12 與圖 3-13 所示，介面卡開機時先行規劃周邊所使用之 IO 接腳，在將其周邊功能與記憶體初始化，將其周邊功能模組化再結合中斷功能，完成開機的初始規劃。主程式主要在處理馬達的定位控制的演算，若主程式需其他週邊模組支援或提出需求時，此時主程式須執行特殊功能方塊，特殊功能主要在分配命令的執行、優先順序、中斷的使用權、周邊模組功能的搭配等等，主程式或中斷副程式在執行時有時必須參照特殊功能，待特殊功能分配後方能執行，特殊功能有如橋樑一樣的功能。

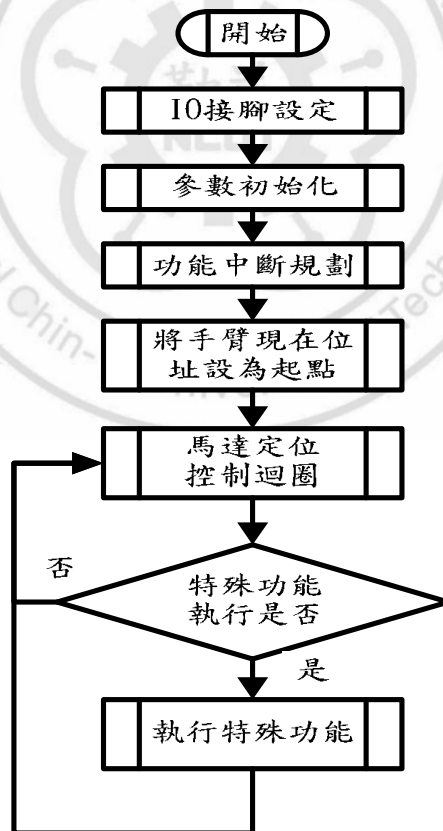
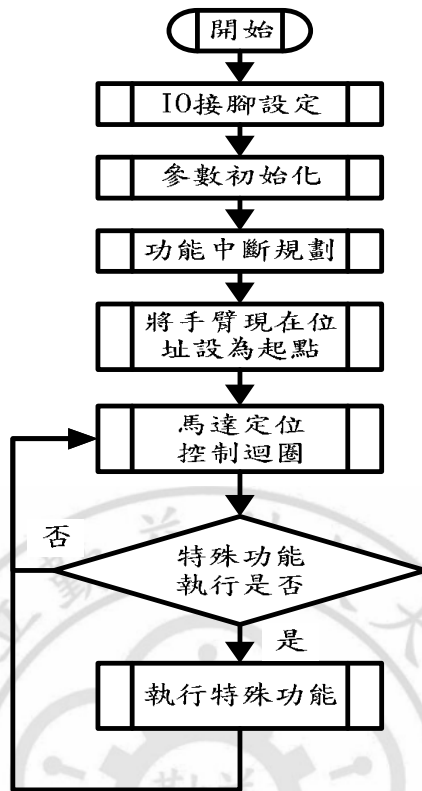
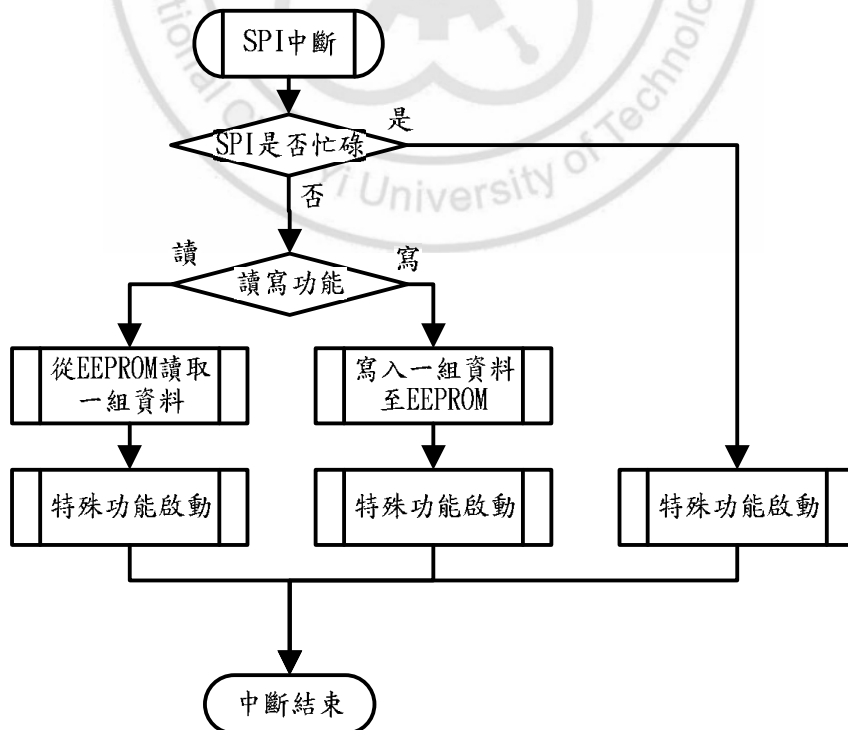


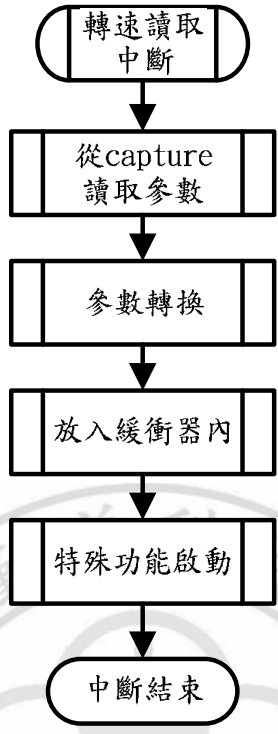
圖 3-12 主程式流程圖



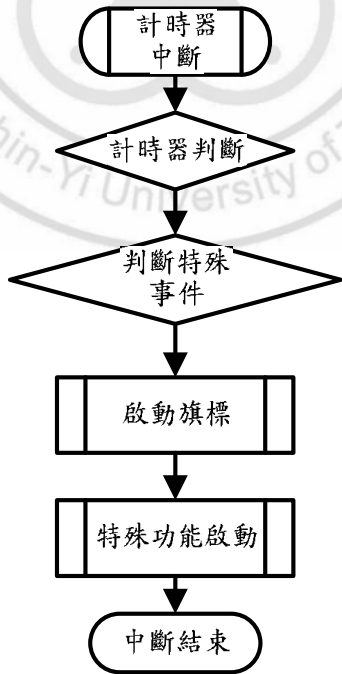
(A) 串列通訊中斷



(B) SPI 中斷



(C) 轉速讀取中斷



(D) 計時器中斷

圖 3-13 中斷程式流程圖

3.4.2.1 特殊功能說明

特殊功能為控制程式中主要的銜接橋梁，特殊功能也將各種功能的資料與訊息整合再一起，因功能程式在執行時每一種功能不會單獨使用所以在功能與功能間也需要特殊城市來銜接，如下將功能分為以下 9 大項，9 大項的功能皆在特殊功能的處理範圍。

1. T1 計時器結合 UART
2. T2 計數器結合 capture 轉速讀取
3. T3 主程式專用
4. T4 功能結合 SPI
5. QEI 計數器超越處理
6. SPI 讀寫 EEPROM 功能
7. UART 請求 SPI 讀取 EEPROM
8. 請求記憶緩衝器寫入 EEPROM
9. 記憶緩衝器記憶目標選擇

例如主程式需要將資料儲存至 EEPROM 時須請求 SPI 功能支援，但在儲存時外部 UART 也會請求 SPI 功能支援讀取功能，這時特殊程式就要協調 4 個功能間的狀態。

第四章 系統整合與人機介面系統

4.1 系統介紹

本論文完成後之機械手臂實體圖如圖 4-1 所示，手臂配線為黑色線主要用以連結馬達輸出與回授信號線，黑色線末端並分別匯整至右端之 D 型端頭。D 型端頭固定的面板為連接面板，而伺服控制介面卡的信號線也匯整至連接面板後的電路板，連接面板為提供伺服控制介面卡與機械手臂的接面，使用此連接面板可以快速插拔相當方便，在連接面板上加裝馬達的保護裝置保護馬達過電流如圖 4-2。

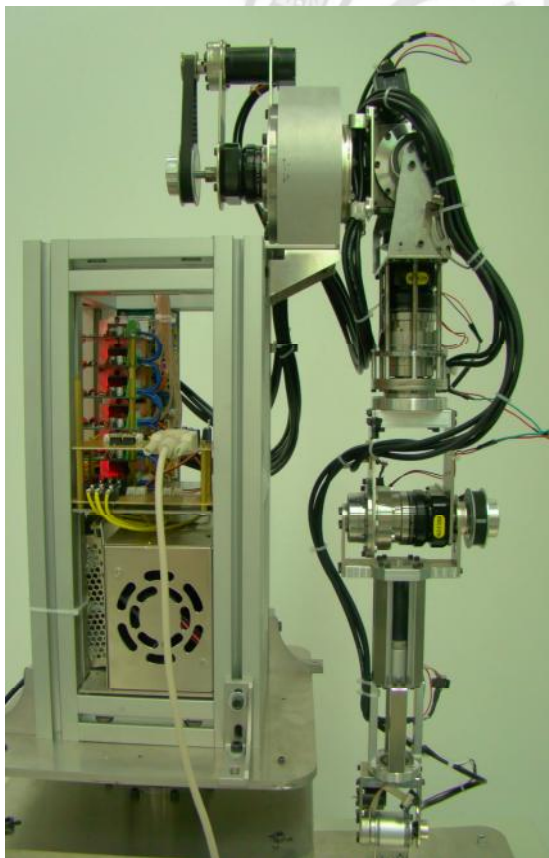


圖 4-1 實體機械手臂完成圖



圖 4-2 控制介面卡與周邊電路



圖 4-3 交換式電源供應器

圖 4-2 為控制介面卡與周邊電路，伺服控制介面卡為綠色的板子使用六塊堆疊，褐色的電路板有 2 塊，下面電路板為電源連接的接面電路方便電源的配線，上面電路板是 PC 與介面卡通訊的轉換電路，主要將 PC 端 RS-232 信號轉換為 RS-485 信號。

在圖 4-1 中面板下面有銀色箱體，此為系統的電源供應器，其放大圖如圖 4-3 所示。依據馬達的額定概算之總功率不超過 500W，因此選定 500W，24V/20A 的電源供應器提供馬達的耗電需求，而介面卡與信號電源則選定 50W，12V/4.2A 之電源供應器供電，組合而成之電源系統並一體鑲嵌入支撐手臂的支架本體中。

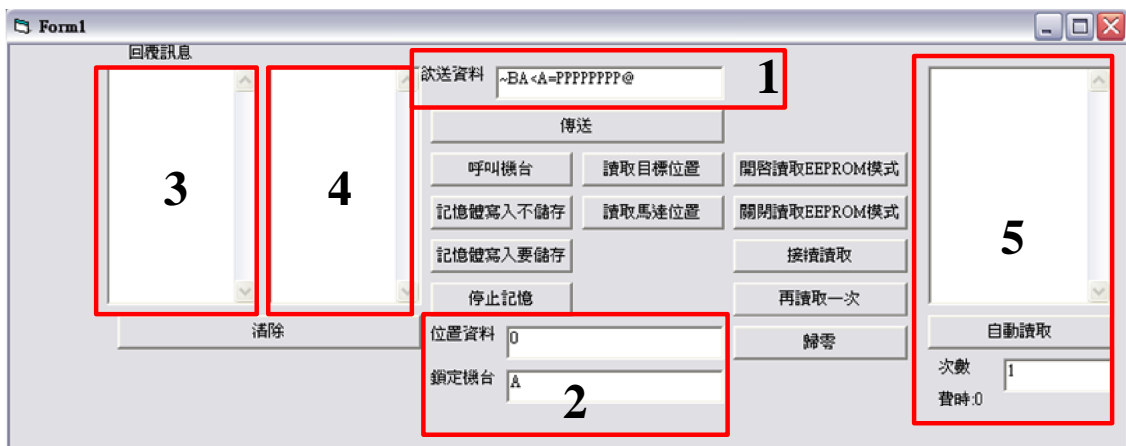


圖 4-4 人機介面測試版

圖 4-4 為控制伺服控制介面卡的簡易溝通人機介面，利用此人機介面可以分別對伺服控制介面卡進行進階指令下達，可以利用圖 4-4 中 1 號紅色格子欲送資料來直接寫入想要控制的指令碼。若點選按鈕上功能方塊時控制的指令碼也將會顯示在欲送資料上，設定好控制指令碼時方可利用傳送的按鈕方塊來傳出訊號。送出的指令碼會顯示在 3 號紅色格子內，其主要作用為儲存先前傳送的指令碼。而指令碼傳送至介面卡後若介面卡判斷指令與機台號碼無錯誤時，此時介面卡將會有一串回傳碼，PC 端接收到訊號將會顯示於 4 號紅色格子內。若想要控制其他介面卡時，此時只需要修改 2 號紅色格子內的鎖定機台編號即可。使用者需要傳送資料時必須要將資料轉換為指令碼的格式，為了方便使用者操作只要將想要設定的參數鍵入位置資料的格子中，人機介面將參數立即轉換為指令碼的模式，使介面較人性化。5 號紅色格子是讀取介面卡所記憶的參數，必須預先設定讀取的先前設定，設定幾個步驟後即可啟動自動讀取的按鈕，讀取數量也可預先設定，讀取出來的馬達相關參數有利於後續分析之用。

以上為單純測試用之人機介面也是系統開發時之用，使用起來較不容易上手。所以為了要更人性化，本論文把人機介面優化使操作者容易上手如圖 4-5 所示。在圖中有兩個紅色區塊 1 號紅色區塊為連線狀態顯示，2 號紅色區塊為控制狀態方塊。這個人機介面專為此機械手臂而設計使用了六塊介面卡，必須要六塊介面卡連接並且在待命的狀況下才能進行指令的下達，所以設計了一號紅色區塊為連線狀態的顯示，連線的過程如圖 4-6 所示。當 RS-232 傳輸線尚未連結時會顯示未連接的狀態，且紅色指示燈會閃爍。若 RS-232 連接時此時介面會自行尋找有連接的伺服控制介面卡，並且顯示連線中的狀態而紅色指示燈轉為藍色指示燈閃爍。若已全部尋找到六塊介面卡時會顯示連線完成的狀態，而藍色指示燈轉為綠色指示不閃爍。若中途有連線中斷或者拔線時，介面會回到圖 4-5 的狀態下等待連線恢復正常。



圖 4-5 人機介面

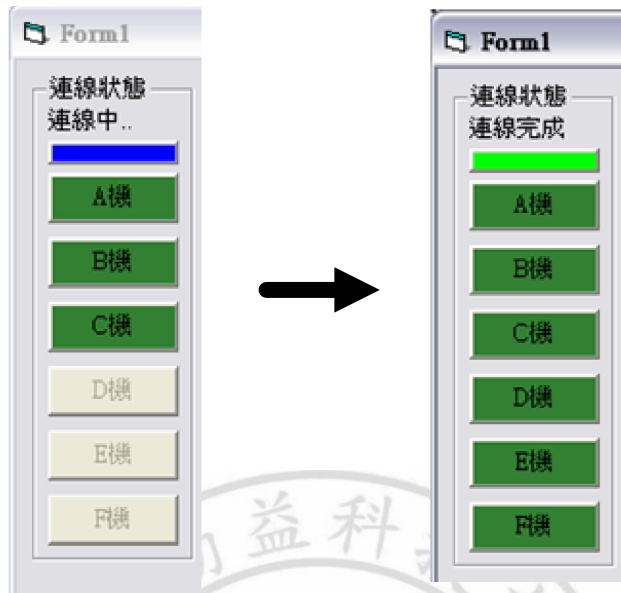


圖 4-6 人機介面連線顯示



圖 4-7 人機介面連線顯示

連線完成後就可以選擇工作的模式，在本論文中只開發到第一個模式，最後三個模式未完整所以不列入介紹範圍。直接命令模式也保留資料轉換的功能，使用者將指令碼放入指令碼的框框內，在框框內的環境是一個順序流程，程式的執行是由第一行執行至最後一行，而介面卡回傳的所有訊息也會顯示在回傳碼的框框內。

4.2 人機介面系統操作範例

利用第二種人機介面來簡單介紹如何操作，操作步驟如圖 4-8 所示，步驟一首先先確認實體傳輸線連接是否完成確認接線完成後，人機介面會自動尋找以連接完成且待命的伺服控制介面卡。在執行步驟二以上之動作時若實體傳輸線突然拔除，此時會停止執行步驟全部回到步驟一。步驟三選擇工作步驟如圖 4-7 紅色格子 1 上選擇功能，選擇完成後在圖 4-5 紅色格子 2 空白部分將會有功能表單出現，使用可以將已知的功能指令放入紅色格子 4 內，當程式書寫至使用者想要稍微測試時此時可以將輸出測試鈕按下，按下後介面會將使用者書寫成的程式依序送出，而指令送出後必須要確認送出的資料是否正確，所以介面會判斷伺服控制介面卡的回傳資料，確認無誤後會顯示在紅色格子 5 內，若發現錯誤時即會停止發送下一筆資料，待錯誤排除後才會繼續發送下一筆資料。程式再送出時若使用者想突然停止執行，此時只需要將 **STOP** 鈕按下即可，按下後 **STOP** 鈕顯示文字將變為 **RUN** 鈕待使用者再次啟動。圖 4-9 顯示操作人機介面時的截圖，程式停止在中途正在等待使用者按入 **RUN** 鈕。

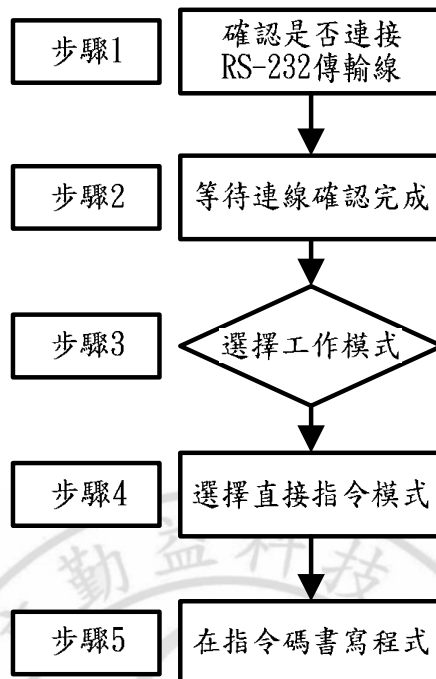


圖 4-8 人機介面操作流程



圖 4-9 操作人機介面時的截圖

第五章 實驗結果

本章節主要對第四章所完成的系統架構進行測試，主要包括對每一軸進行數學模型識別，控制器的設計，以及各軸的操作測試驗證。各軸減速機及馬達的規格表亦一併於本章中表列。

5.1 減速機相關資料

表 5-1 為減速機的細部規格，在本篇所選用的減速機皆列於表上。其中減速機在手臂上 AD047 使用 3 顆，其餘的減速機各使用 1 顆。效率為輸入減速機與輸出減速機的比值。

表 5-1 減速機規格表

型號	減速比	額定輸出(N-m)	效率(%)	重量(g)
AL095	90	40	94	2400
AD047	100	14	94	1000
IG-32	100	0.98	60	147
IG-32	139	0.98	60	147

5.2 馬達相關資料

此節為顯示機械手臂上所使用的直流馬達相關的資料，資料的取得皆由本論文所使用的伺服介面卡上取得。

5.2.1 馬達規格

表 5-2 為馬達的細部規格表，其中馬達的操作電壓皆為 24 伏特。其中 3257CR 馬達使用 4 顆而其他種馬達使用個 1 個。

表 5-2 馬達規格表

型號	額定輸出 (W)	額定扭力 (mN-m)	額定轉速 (rpm)	效率 (%)	重量 (g)
3257CR	83.2	70	5000	83	242
2342CR	19	16	7000	81	88
2224SR	3.88	5	8000	81	46

5.2.2 馬達轉移函數

馬達轉移函數所測量的資料為每一關節所讀取出來的相關資訊，利用讀取出來的資料來求出馬達的轉移函數。利用介面卡將每一關節的開回路測試曲線讀取出來，讀取出來後的資料放入 Excel 內顯示圖形以利計算，再使用 3.4.1 節的方法來求出馬達的轉移函數。

各關節的馬達轉移函數顯示於表 5-3 中，其曲線圖顯示於圖 5-1 至圖 5-6 中，而其中正反轉的控制量 K 分別設定為 ± 1023 。顯示於此表圖中的各項參數與資料並不是唯一的，本篇測試了許多組的數據資料，在此只擷取出固定幾筆資料。圖 5-2 中顯示的曲線不同於其他的曲線，因此關節的機械結構導致減速機輸出軸被影響，所以讓所測出來的曲現有變化。

表 5-3 馬達轉移函數

關節 \ 參數	正轉		反轉	
	K_p	a	K_p	a
a	0.08066	35.714	0.08038	35.714
b	0.05431	28.571	0.04893	25
c	0.06841	35.714	0.06988	37.037
d	0.07074	34.483	0.06573	34.482
e	1.19950	153.84	1.12953	144.927
f	0.40097	95.238	0.40600	91.743

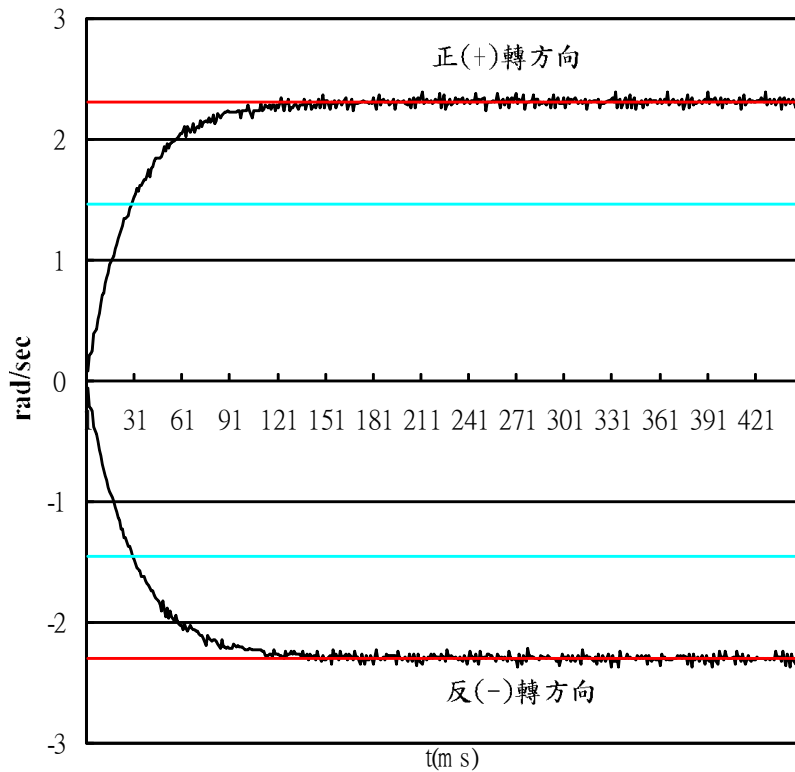


圖 5-1 A 關節的開迴路曲線

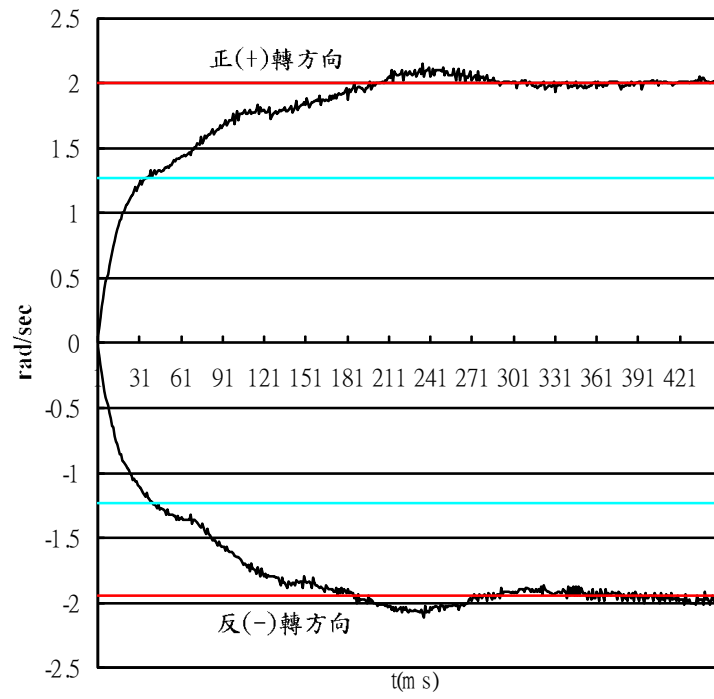


圖 5-2 B 關節的開迴路曲線

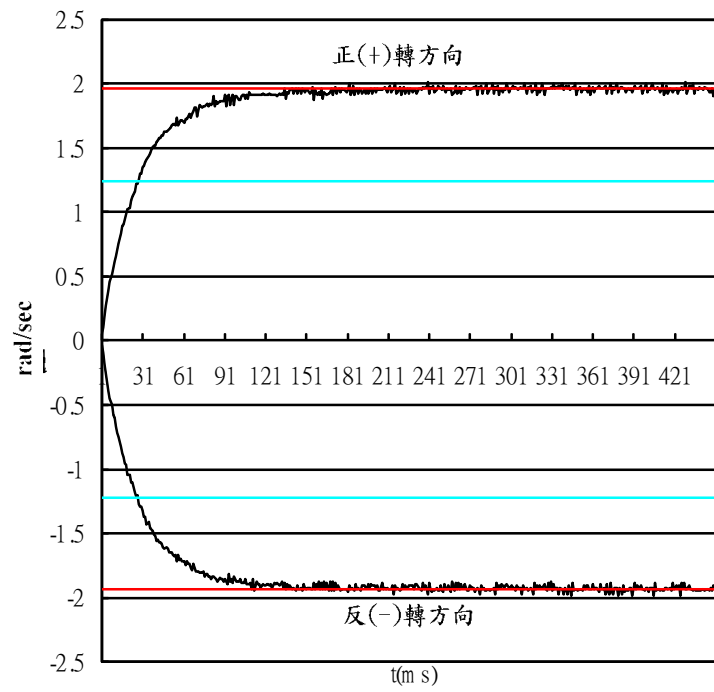


圖 5-3 C 關節的開迴路曲線

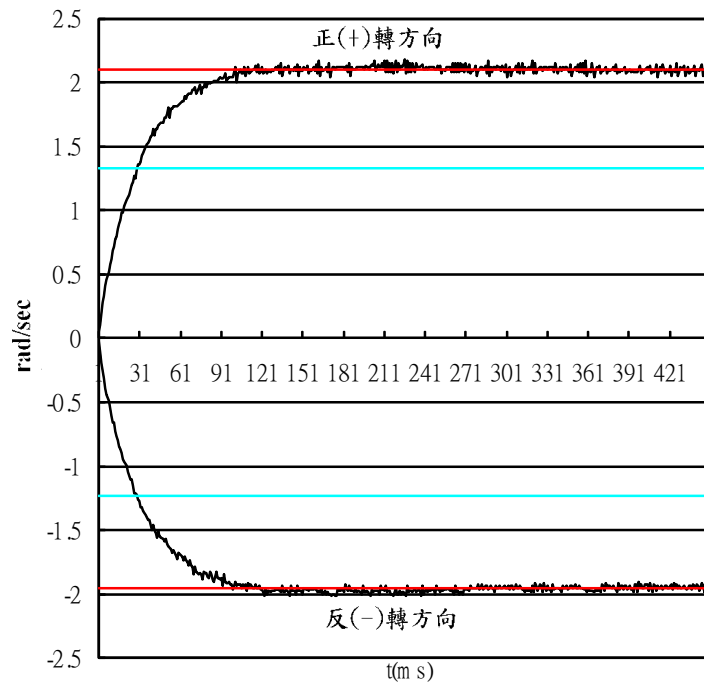


圖 5-4 D 關節的開迴路曲線

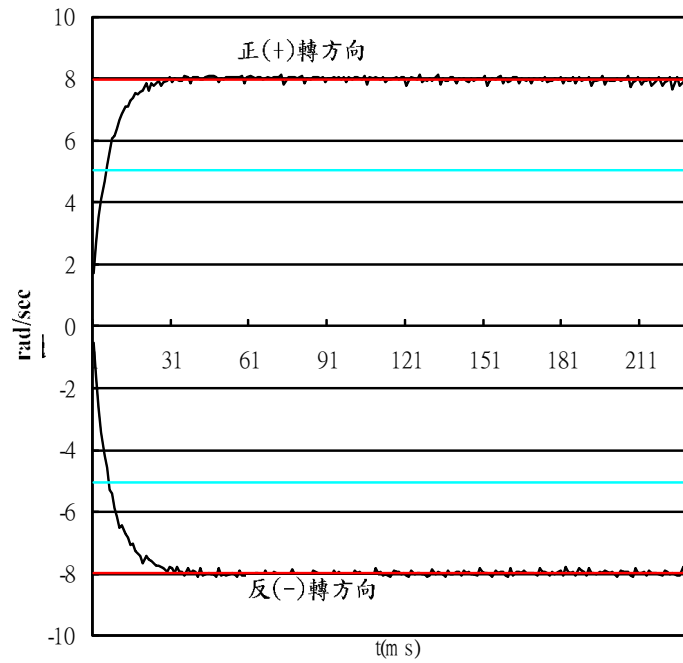


圖 5-5 E 關節的開迴路曲線

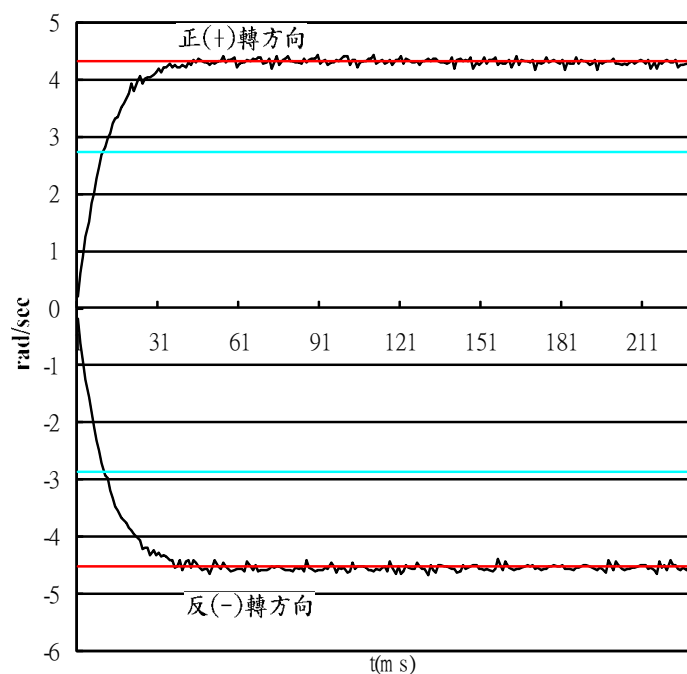


圖 5-6 F 關節的開迴路曲線

5.3 伺服控制介面卡控制結果

控制介面卡使用比例控制器外加軟體處理方法來加以控制馬達的位置。利用人機介面將所控制相關資訊讀取出來，來判斷是否達成控制成功。以曲線圖分別下達來回命令判斷是否有到達定位，顯示於曲線上的Y軸座標為目標點的相對encoder pulse數量，X軸座標為刻度為控制週期時間，一格的單位為1ms。在表5-4為單軸的目標命令值與到達目標後的pulse誤差，pulse誤差又代表什麼意義呢，以A關節來看，總減數比為1:225而馬達轉一圈encoder pulse為2000，在減速機的輸出軸轉一圈時馬達必須要轉動225圈，此時可以計算出減速機的輸出軸轉一圈時可以產生出450000個pulse，如此一來可以換算出一個pulse為實際的 8×10^{-4} 個角度，若要在換算為幾公厘時就必須由半徑來決定了。測試時為單軸單獨動作而曲線顯示在圖5-7至圖5-12中。

以A關節來說pulse誤差的計算為實際角度方式為公式(5-1)，其中500為encoder的解析度；4為倍頻倍率；90與2.5分別為減速機與時規齒輪的比例。5個pulse相對於0.004度的誤差。

$$\frac{5}{500 \times 4 \times 90 \times 2.5} \times 360^\circ = 0.004^\circ \quad (5-1)$$

表 5-4 設定目標值

	命令角度表示	命令pulse表示	pulse誤差
A	80	100000	±5
B	-90	-125000	±5
C	72	100000	±2
D	-72	-100000	±2
E	176	100000	±3
F	132	100000	±5

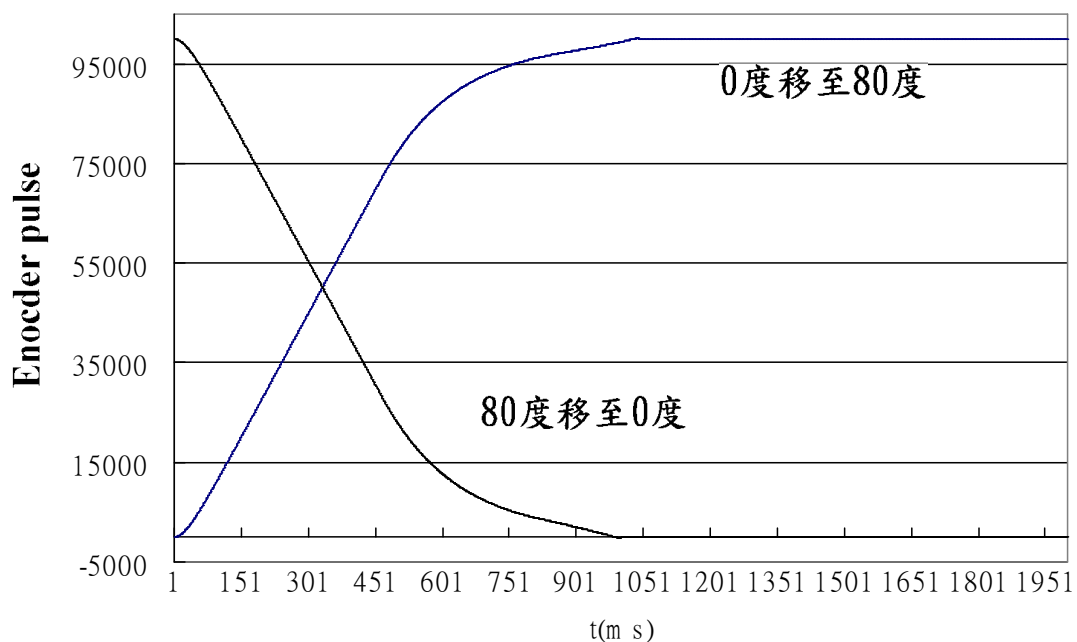


圖 5-7 A 關節動作曲線圖

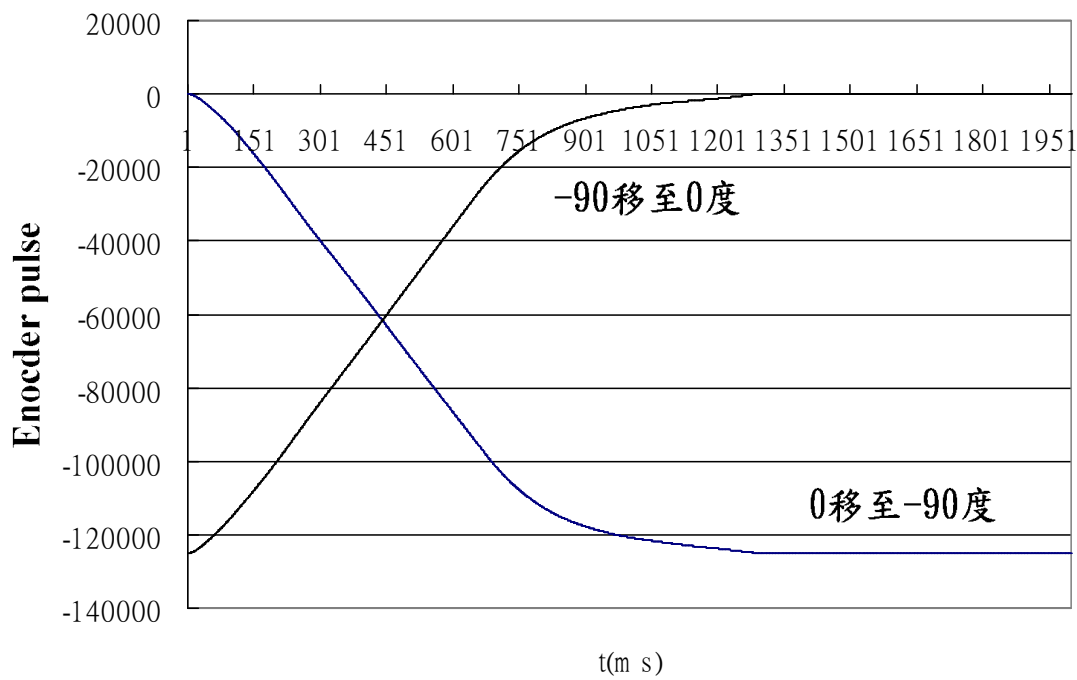


圖 5-8 B 關節動作曲線圖

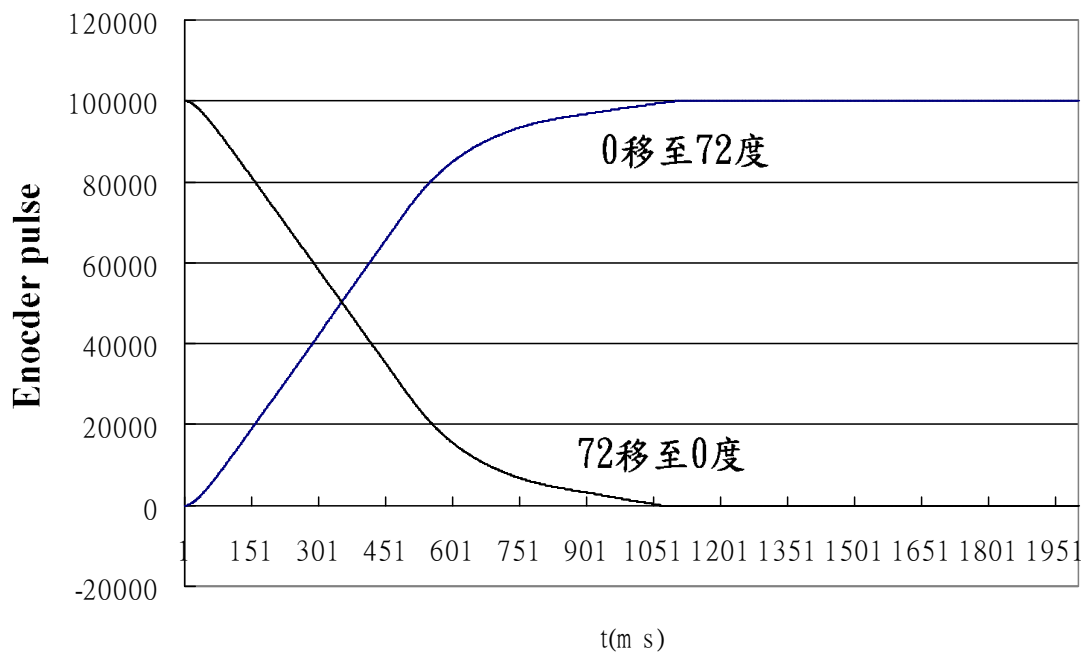


圖 5-9 C 關節動作曲線圖

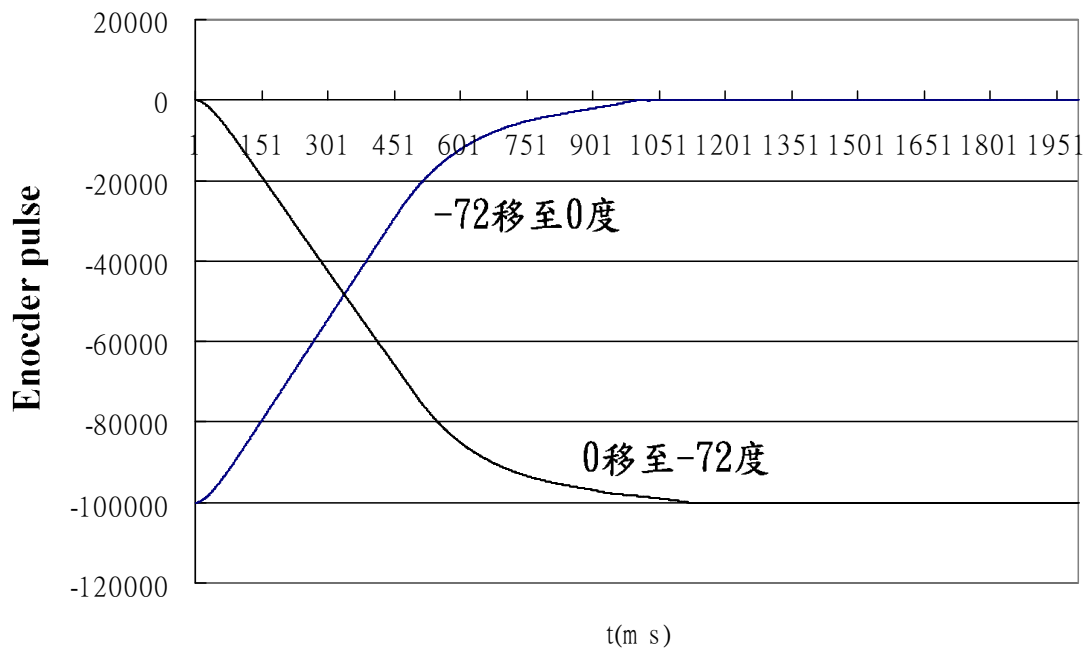


圖 5-10 D 關節動作曲線圖

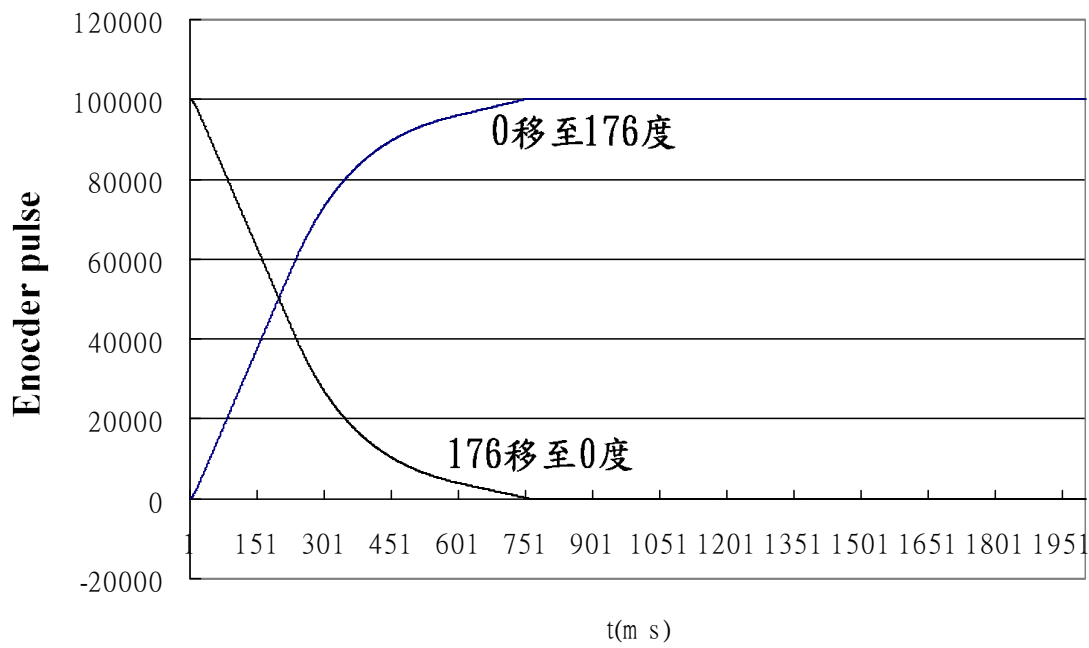


圖 5-11 E 關節動作曲線圖

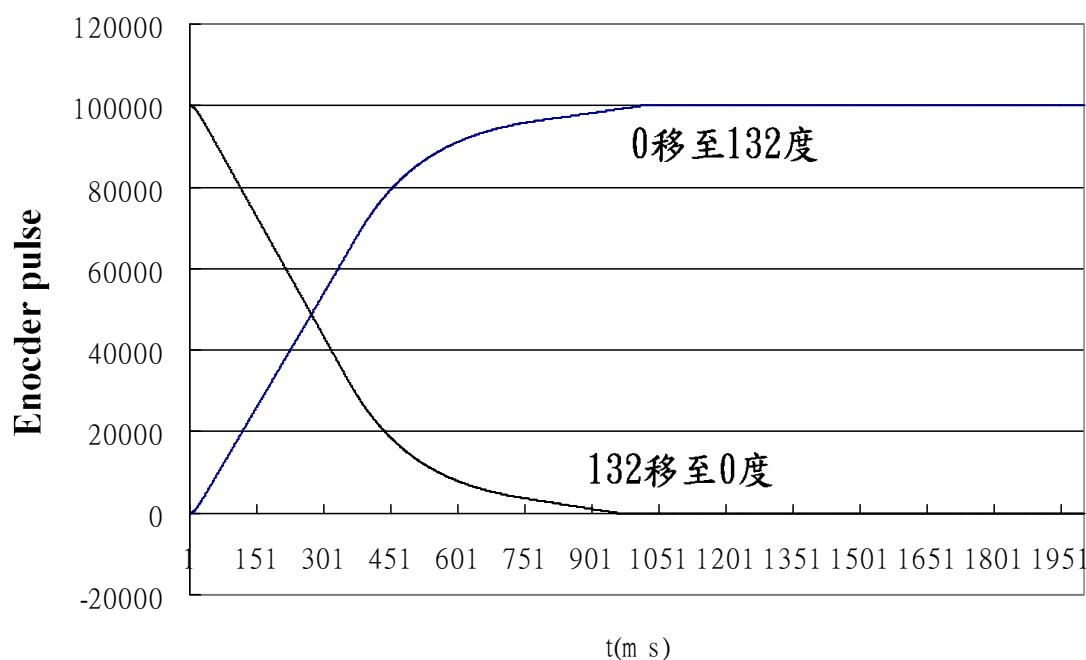


圖 5-12 F 關節動作曲線圖

在表5-4與圖5-7至圖5-12中顯示的資料皆為單軸單獨的動作狀態，其零度的起點位置顯示在圖2-24上，測試的關節動作模式由原點啟動再回到原點重覆的測試。接著將使用同時下達動作命令時的動作狀態曲線圖，且目標分為120000 pulse與-100000 pulse。圖5-13下達命令到達定位的動作曲線圖，圖5-14將手臂從命令點歸回原點的動作曲線圖，由圖中可以看出手臂動作均達到目標位置。在使用分開下達動作命令時的動作狀態曲線圖，如圖5-15命令依序A至F分別為12500、-12500、11500、-11500、10500、-10500，下達命令的時間差大約為0.5秒，指令完全下達時間約為2.5秒，而在圖5-15中將所有動作的起點設置為原點，因還沒接收到指令的介面卡被正在執行時的介面卡影響非常小，所以將所有曲線的啟動時間全部拉至原點上。

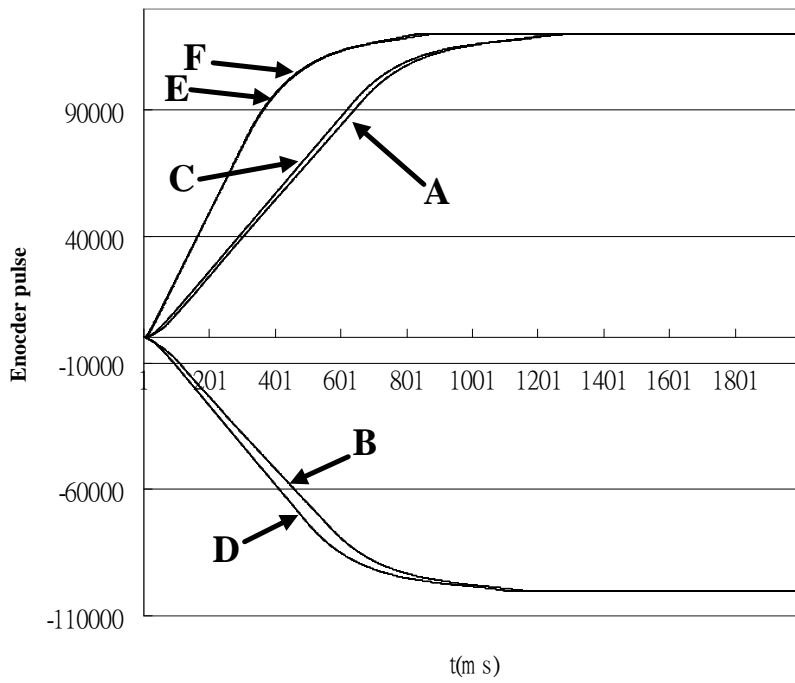


圖 5-13 同時下達命令時的動作曲線圖

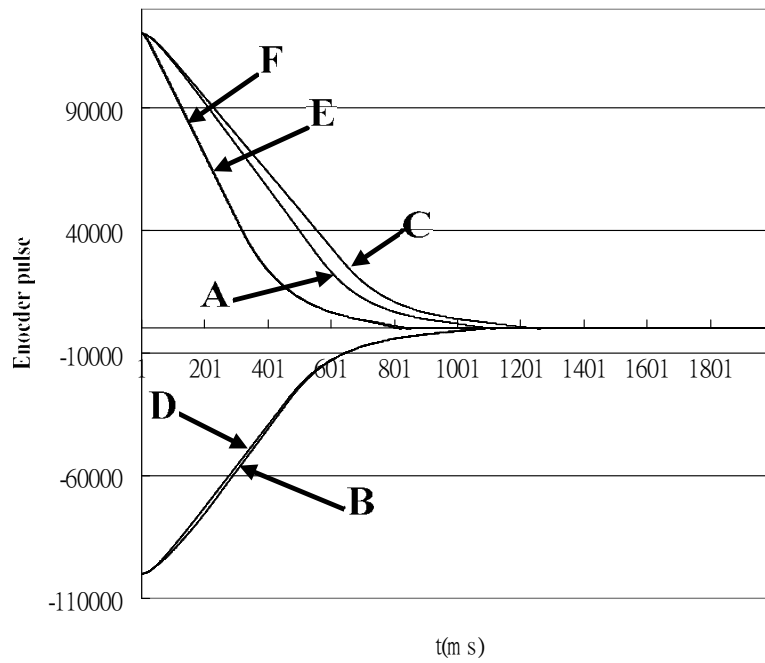


圖 5-14 同時歸回原點的動作曲線圖

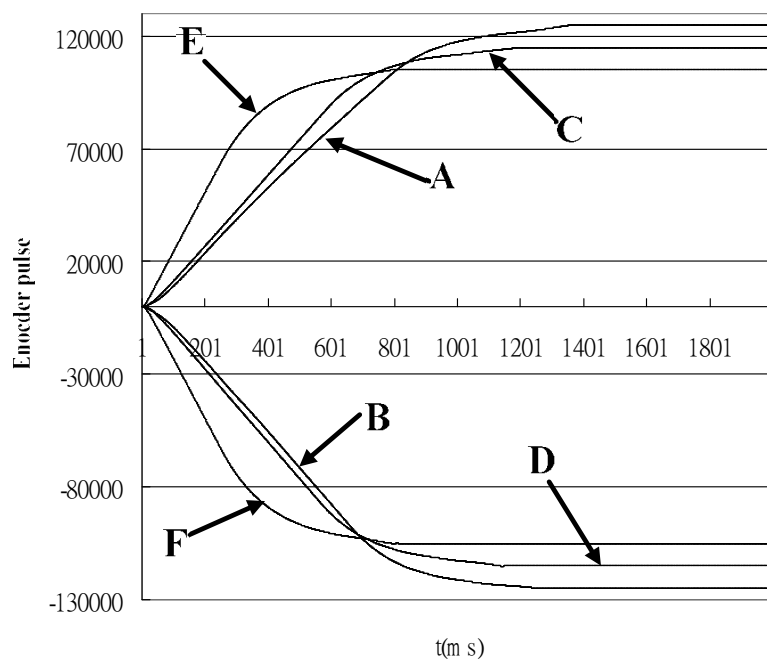


圖 5-15 不同時下達命令動作曲線圖



第六章 總結及未來發展

6.1 總結

本論文成功開發完成機械手臂，結合市售的減速機與直流馬達，再利用自行設計的關節零件組合一仿人形機械手臂的架構，並且設計與機械手臂相關的介面電路與伺服控制介面卡，整合起來的系統使用人機介面來加以控制。控制機械手臂所使用伺服控制介面卡使用自行開發介面卡，利用 PIC 微控制器為核心來設計如同市售之伺服驅動器大大減低成本，而機械手臂的精準度也由實驗結果來證實自行開發的伺服控制介面卡是可用的，人機介面在此使用個人電腦位主要介面，利用 Microsoft Visual Basic 軟體來建立人機介面的功能，為了要與介面卡溝通結合利用 RS-232 來作為傳輸的協定。藉著人機介面的指令下達可以方便且快速的達到使用者的目的，以利機械手臂應用於適當之場合中。

6.2 本論文貢獻

本論文完成了仿人形機器臂的機構設計及電控系統之建置，其主要的貢獻如下：

- (1) 完成六個自由度仿人形之機器手臂設計，自行開發設計的機械手臂較市面上販賣之機械手臂來的便宜。如此一來可以取代一些需要機械手臂但不要求動作非常精密之場所，如博弈常用的機械手臂發牌機器手是使用晶圓加工的手臂，價格高昂且大材小用，若利用自行設計之手臂可達成相同之效果，亦可取代之。
- (2) 本論文機械手臂的驅動來源為直流馬達，而驅動馬達的控制器在

本論文使用以串列命令傳輸的伺服控制介面卡，此介面卡為自行開發，除了可以節省專用伺服驅動器的經費，更可以完全自主所需之驅動技術，以利於系統擴充之彈性。

- (3) 建置了分散式之電控系統架構，可應用於任何軸數的機器人控制，每片介面卡配置一顆馬達，若對象不是直流馬達只需更換其驅動馬達的驅動器即可，若機器手臂的軸數增加或減少也只需增加或減少介面卡的數量。
- (4) 完成一 pc-based 的人機介面程式，使用人機介面程式可以增加使用者上手的速度，本論文所提供之人機介面雖未完成所有功能，但已完成之功能仍然能讓使用者操作起來簡單且方便。
- (5) 本論文完成的機械手臂可以利用在較不要求精密場所，例如發牌機器人、小型機器手玩具等等，利用簡單的機構設計配合所要抓取的物件特性方可實現，所以本論文所提出的概念可以符合各種需求，提升商品化的可行性。

6.3 未來發展

在本論文的的研究中，仍然有許多方面需要改善與提升功能，如下：

- (1) 在機構方面中，本論文所使用的減速機重量有點重，若後續想減輕整體機構的重量，首先可改用較輕的減速機。
- (2) 關節上的馬達需搭配介面卡，所以手臂上會有馬達與回授的訊號線，訊號線的連結在多關節的時候也會有大量的訊號線，所以可

以採用將介面卡安插至手臂的機構內，一來可以節省訊號線的線材，二來可增加機構的擴充性。

- (3) 以 Microsoft Visual Basic 作人機介面還有許多模式尚未開發，利用新的模式可以讓使用者更快進入狀況，例如使用 3D 的軟體來配合動作，盼後續能夠完成更多模式操作。
- (4) 伺服控制介面卡目前只利用串列傳輸作為主要的控制信號來源，後續可以增加其他控制信號來設計。本論文所使用的串列傳輸速度為 38400 bit/s 為固定的傳輸速率，後續可以設計為可調整的傳輸速率，使傳輸速率不會有所限制。



參考文獻

- [1] Masafumi Okada and Yoshihiko Nakamura, “Development of a cybernetic shoulder—A 3-DOF mechanism that imitates biological shoulder motion”, *IEEE Trans. on Robotics*, vol.21,no.3,2005.
- [2] A. E. Emgin and S. T. Tumer, “Three-dimensional kinematics modeling of the human shoulder complex—part I: physical model and determination of joint sinus cones,” *ASME J. Biomech. Eng.*, vol. 111, pp. 107 – 121,1989.
- [3] J. Lenarcic and M. Stanisic, “A humanoid shoulder complex and the humanoid pointing kinematics,” *IEEE Trans. Robot. Autom.*, vol. 19, no.3, pp. 499 – 506, Jun. 2003.
- [4] B. Hannaford, J. M. Winters, C. C. Chou, and P. H. Marbot, “The anthroform biorobotic arm: a system for the study of spinal circuits,” *Ann.Biomed. Eng.*, vol. 23, pp. 399 – 408, 1995.
- [5] C. T. Chang, H. P. Huang, and J. Y. Kuan, “Independent joint sliding mode control of a humanoid robot arm”, 33rd *IEEE Conf. on IECON*, Taipei, Taiwan,2007.
- [6] http://www.sks.com.tw/index.php?option=com_content&view=article&id=332&Itemid=150
- [7] Yongseon Moon Jinju Park,Cheol-Ho Yun, Nak Yong Ko, and Hong Sik Moon Youngchul Bae,”The design of humanoid robot arm based on morphological and neurological analysis of human arm, 33rd *IEEE Conf. on IECON*, Taipei, Taiwan,2007.
- [8] Kenji KANEKO, Kensuke HARADA, Fumio KANEHIRO, Go MIYAMORI, and Kazuhiko AKACHI,” Humanoid robot HRP-3”, *IEEE/RSJ Inter. Conf. on Intelligent Robots and Systems*, Nice, France,2008.
- [9] Behzad Dariush, Michael Gienger, Bing Jian, Christian Goerick, and Kikuo Fujimura,” Whole body humanoid control from human motion descriptors”, *IEEE Inter. Conf. on Robotics and Automation*, CA, USA, 2008.

- [10] 和田中太，劉傳根，賴光哲，機械結構解剖圖鑑，世茂出版社，台北，1999。
- [11] 和田中太，劉傳根，賴光哲，機械結構完全解體圖鑑，世茂出版社，台北，2004。
- [12] 陳坤松， Google Sketchup7 室內設計經典 IV，松崗出版社，台北，2009。
- [13] 三菱驅動器技術手冊，三菱公司，2000 年。
- [14] 研華 PCI-1784 卡使用手冊，2007 年。
- [15] Chin-Pao Hung, Wei-Ging Liu, Hong-Jhe Su, Jia-Wei Chen, Bo-Ming Chiu, "PIC-based multi-channel PWM signal generation method and application to motion control of six feet robot toy", *International Journal of Circuits, Systems and Signal Processing*, Issue 2, vol.3, pp.73-81, 2009.
- [16] 洪清寶、劉偉建、陳順在、蘇宏哲，"Multi-channel PWM signals generation method"，第三屆智慧生活科技研討會，2008。
- [17] 洪清寶，白能勝，郭英哲，喻國滿，"機器臂之可變增益可變結構控制器設計"，勤益學報第卅卷第二期，第 151-165 頁，2002
- [18] 洪清寶，可變結構控制器應用於機器臂控制之研究，逢甲大學自動控制系碩士論文，78 年 6 月。
- [19] Karl j.Astrom, Bjorn Wittenmark, Adaptive control, Pearson Education Taiwan Lit., 2006.
- [20] 洪清寶，陳順在，劉偉建，"嵌入式電控系統應用於阻抗匹配器伺服控制之研究"，第二屆智慧智生活科技研討會，2007。
- [21] 洪清寶,陳順在,劉偉建,蘇宏哲,"以 PIC 為核心之電控系統快速開發平台設計及應用",勤益學報 25 卷第二期，2007。
- [22] Microchip,"PIC18F86520/8520/6620/8620/6720/8720 Data Sheet", 2004.
- [23] Microchip,"PIC24FJ128GA Data Sheet ", 2006.
- [24] Microchip,"dsPIC33F/dsPIC30F Family Data Sheet ", 2006.
- [25] Microchip technical Library CD-ROM and <http://www.microchip.com/>, 2007
- [26] Han-Way Hunag,"PIC microcontroller: an introduction to software and hardware

interfacing”, Thomson, 2005.

[27] SGS-THOMSON, ”L6201/L6201P/L6202-L6203 Data Sheet”, 1995.

[28] <http://www.chipwinner.com/DS/MAX485.pdf>

[29] <http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/21836H.pdf>



作者簡介

姓名：劉偉建(Wei-Ging Liu)

出生日期：民國七十五年六月三十日

籍貫：彰化縣

學歷：

國立勤益技大	電機工程研究所	(97.9~99.8)
國立勤益技大	電機工程系	(93.9~97.6)
國立二林工商	電機工程科	(90.9~93.6)

著作論文：

- [1] 洪清寶、陳順在、蘇宏哲、劉偉建，“真空系統射頻電漿阻抗匹配器設計之研究”，第三屆智慧生活科技研討會，2008。
- [2] 洪清寶、劉偉建、陳順在、蘇宏哲，“Multi-channel PWM signals generation method”，第三屆智慧生活科技研討會，2008。
- [3] 洪清寶、蘇宏哲、劉偉建，“Embedded electrical control system design for impedance matching network”，第四屆智慧生活科技研討會，2009。
- [4] Chin-Pao Hung, Wei-Ging Liu, Hong-Jhe Su, and Shun-tzai Chen, ” Multi-channel PWM signals generation method and its application on robot toy control”, *Proceeding of the 8th WSEAS Intern. Conf. on Signal Processing, Robotics and Automation*,#575-052, Feb.,2009.
- [5] Chin-Pao Hung, Wei-Ging Liu, and Hong-Jhe Su,” Fault diagnosis of steam turbine-generator sets using CMAC neural network approach and portable diagnosis apparatus implementation”, *Lecture Notes in Computer Science*, ,2009.
- [6] Chin-Pao Hung, Wei-Ging Liu, Hong-Jhe Su, Jia-Wei Chen, Bo-Ming

Chiu, "PIC-based Multi-Channel PWM Signal Generation Method and Application to Motion Control of Six Feet Robot Toy", *International Journal of Circuits, Systems and Signal Processing*, Issue 2, vol.3,pp.73-81,2009.(EI)

