

六軸機械手臂之設計與製作

江奕旋 李家崧 林宗毅

摘要

隨著現代化科技的進步，自動化設備儼然成爲現代化製造業的潮流，而機械手臂的應用即爲最受歡迎的發展技術之一。

本文中發展了一組以個人電腦爲控制基礎之六軸機械手臂系統，其中並採用了多種電機技術與機械架構於系統製作，使用者可經由電腦鍵盤來控制機械手臂，並藉著控制視窗來操控機械手臂之六自由度動作，該機械手臂可精確地完成物件之取放功能。

本文中所研製出的系統可用來執行不同的（預設）規劃工作（任務）。

關鍵字：自動化、機械手臂、自由度、步進馬達

壹、簡 介

近年來，科技發展迅速，爲了因應產業界之大量生產，以及提升工作品質、提高良率之目標，於是自動化、機電整合的觀念乃應運而生，且逐漸盛行，而機器人、機械手臂即是最廣被積極發展的主題之一。在此趨勢之下，各型機械手臂[1]之發展紛紛，輕載型機械手臂[2,3]亦爲其中的一種發展構想。

現今產品的複雜度越來越高，而手臂的機械結構和控制電路往往十分複雜，有的甚至將動作的流程和使用之元件均固定化，無法隨使用者之需求而變更，因此，往往僅要產品的加工方式或使用元件需作改變，就須對機器作重大的調整，甚至重新購買新的機器，增加公司的負擔。爲此，本文即在擬訂低成本、高效能的發展方針後，來進行機械手臂之設計，企圖充分發揮步進馬達能夠準確定位、以及微電腦 I/O 控制介面的優良特質，以尋求成功地設計擁有精確動作以及優秀控制環境的可規劃式機器手臂。

貳、系統概述

在以經濟、實用、操作簡便和多功能爲發展前提下，機械手臂之結構方面採用玻璃纖維板製作，可分爲底座、主臂、中臂、前臂、腕部和夾頭，以達到全方位的動作要求；在控制方面則使用 8255 晶片，由微電腦 I/O 進行控制以達到多工的要求。爲了增加機械手臂驅動系統之動作多元性以及操作上的便利性，本文採用 IBM PC 之微電腦作爲機械手臂之控制伺服主機，其系統架構如圖一所示。

所下達之動作命令經由 PC 的輸入 / 輸出 (I/O) 通道將控制信號送至 8255 介面卡，再經由其內部匯流排將信號由 Port A、Port B、Port C 三組輸出 / 輸入埠輸出，輸出訊號再藉由信號放大電路送達驅動電路，以驅動馬達完成所命令之動作。其中，所採用的步進馬達驅動用 IC FT5754（其內部使用四個達寧頓電晶體，最大可提供 3A 電流）需要 3mA 的電流才能足以將其觸發，爲

改善此一現象，因此加入緩衝器（如 4049 等）將信號進行放大後，再提供予驅動電路使用[2]。

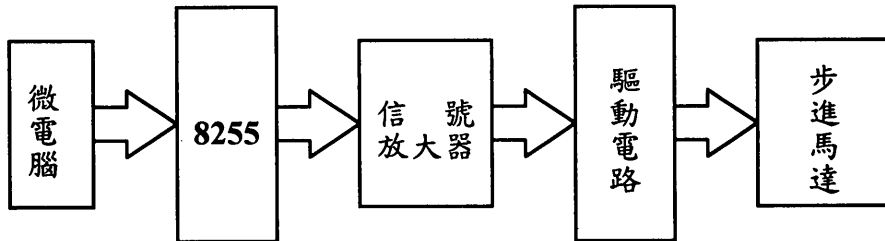


圖 1.系統架構圖

參、步進馬達驅動原理[4]

在今日之工業中，步進馬達(Stepping Motor)之具有相當之重要性，尤其是目前最熱門的電腦週邊，均使用步進馬達來運作，例如磁碟機、印表機以及繪圖機都是以步進馬達來作為應用裝置。又如工業控制方面的機器人，NC 車床，銑床等工具機，以及程序控制機等許多亦是以步進馬達為驅動的中樞。步進馬達有下列幾項特點：

1. 必須以脈衝式的電流來加以驅動。
2. 連續以脈衝推動時，其旋轉角度與脈衝數成正比。
3. 加入脈衝的順序可以使之正轉或反轉。
4. 以單迴路控制即可，不需要複雜的回授控制電路。

步進馬達的運轉動作如圖 2 所示，脈衝信號輸入至驅動電路，推動步進馬達轉子的運轉，轉動的速度與脈衝頻率成正比，轉動的角度為步進角，一般有 0.9 度及 1.8 度等多種規格。

步進馬達有三線式、五線式以及六線式等不同形式，激磁方法有三種：1 相激磁法、2 相激磁法以及 1-2 相激磁法，其中 1-2 相激磁法是屬於半步前進的方式，也就是每一步的角度為前兩方法的一半；2 相激磁法可以有較大的轉矩。分述於後：

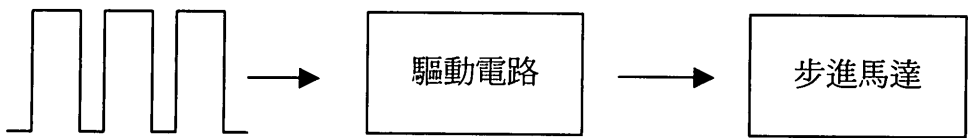


圖 2.步進馬達驅動圖

(1) 一相激磁法：此種激磁法運轉的角度為 0° 、 90° 、 180° 及 270° 四個位置，稱為全步運轉，表 1 所示為半步激磁信號。

表 1. 一相激磁法的激磁表

步序	A	B	\bar{A}	\bar{B}	運轉特性
1	1	0	0	0	0°
2	0	1	0	0	90°
3	0	0	1	0	180°
4	0	0	0	1	270°


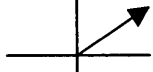

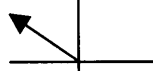
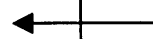
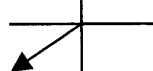

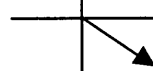
(2) 二相激磁法：此種激磁法運轉的角度為 45° 、 135° 、 225° 及 315° 四個位置，表 2 所示為半步激磁信號。

表 2. 二相激磁法的激磁表

步序	A	B	\bar{A}	\bar{B}	運轉特性
1	1	1	0	0	45°
2	0	1	1	0	135°
3	0	0	1	1	225°
4	1	0	0	1	315°

(3) 一、二相激磁法：此種方法激磁角度為 0° 、 45° 、 90° 、 135° 、 180° 、 225° 、 270° 及 315° 等八個位置，是一種稱為半步運轉的激磁法，表 3 所示為半步激磁信號。

表 3. 一、二相激磁法的激磁表

步序	A	B	\bar{A}	\bar{B}	運轉特性
1	1	0	0	0	 0°
2	1	1	0	0	 45°
3	0	1	0	1	 90°
4	0	1	1	0	 135°
5	0	0	1	0	 180°
6	0	0	1	1	 225°
7	0	0	0	1	 270°
8	1	0	0	1	 315°

上述三種激磁方法中，單相激磁是在同一時間內，每步只有一相的線圈被激磁，此種方式耗電較少，定位角度精確，但每步的阻尼振盪甚大，很容易使馬達產生共振，因此很少採用。

二相激磁在同一時間內，每步都有兩相線圈被激磁，應此它的激磁電流是單相激磁電流的兩倍，其轉矩也是單相激磁的兩倍；但其阻尼振盪較低，可適

用的頻率較寬，用途頗廣泛。

一、二相激磁（半步激磁）是將單相激磁和二相激磁交互應用的方式，其輸入電流為單向激磁電流的 1.5 倍，而其步進角度為單向激磁的一半（即解析度加倍）。但其接受的頻率加倍，極適合小角度的驅動。

肆、硬體及軟體架構

一、硬體架構

所設計之手臂（如圖 3 所示）共擁有六處關節，因此在動作上考量，乃採用六顆馬達（步進馬達：1A5V×3, 1A12V×1, 0.5A12V×2）分佈於基台及各關節處。其次，由於傳動過程所產生的摩擦可能對馬達的形成過多的負擔，甚至造成結構上的破壞，故為了減少摩擦所產生的影響起見，乃在各關節處，均加上軸承，以增加動作的流暢性。在馬達的配置上，為了克服力矩原理所造成的影響，因此，配置上盡可能地將各馬達配置在底盤處，再利用齒輪和皮帶來傳動，以使此現象的影響減至最低。另外，手臂主結構則使用 FRP（玻璃纖維）板，此一材料的可塑性高，加工上較為容易，且強度佳，故在製作上可減少許多困擾。

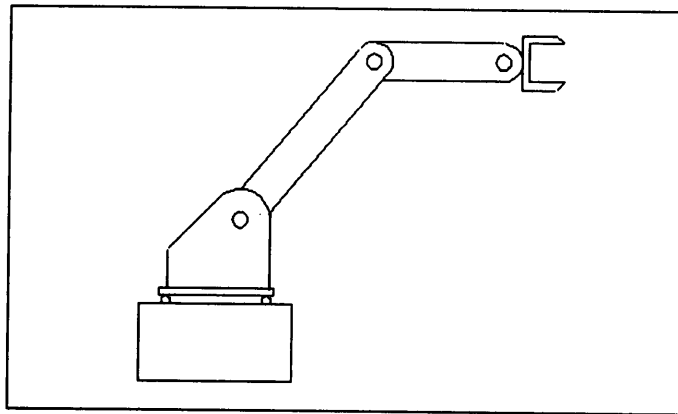


圖 3.輕載型機械手臂之結構簡圖

如圖 4 所示，手臂在動作上需利用 6 顆馬達來進行底盤、主臂、中臂、前

臂、腕部以及夾頭部份（如圖 5 所示）的控制。爲了提高動作的精確度，乃採用馬達來作爲定位控制之使用。步進馬達有許多種激磁方式，例如：一相激磁法、二相激磁法及一、二相激磁法等。若控制訊號僅爲一相或二相，稱爲全步控制，以 200 步/圈爲例，在一、二相控制中，旋轉一圈恰爲 200 步，其步進角度爲 1.8 度；若爲一相、二相交替控制即一、二相控制，稱爲半步控制，旋轉一圈的步數爲全步控制的兩倍，步進角皆減爲一半。本系統之機械手臂，以一、二相激磁法爲主要之驅動方式。在步進馬達的控制上，使用可規畫周邊介面晶片 8255A 經由微電腦 I/O 進行控制 [4-6]。

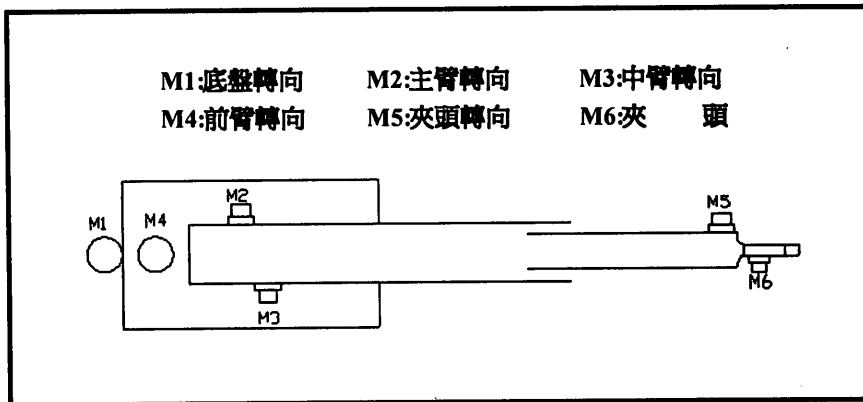


圖 4.馬達配置鳥瞰圖

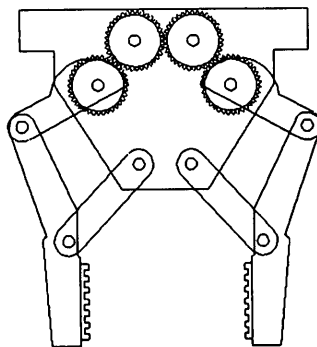


圖 5.所設計之夾頭結構

步進馬達在動作完成之後，會持續在該處激磁，以提供手臂的支撐力。但是，如果使用多顆馬達時，會產生無法同時激磁的情形，如執行完成 A 馬達動作後，再執行 B 馬達動作時，則會將 A 馬達的激磁清除，造成手臂下滑的現象。改善的方法如下列三種：

- 1) 由硬體上改良。將各關節處的齒輪比調大，使手臂動作之後就算馬達消磁也不至下滑，但此方法的成本十分高，且完成之後手臂的動作將十分緩慢，效能極差。
- 2) 改良電路。在 8255 的傳輸埠前，加裝門鎖器以防止滑動現象，此方法的缺點在於電路的接續十分複雜，不易使用。
- 3) 改良程式。在各程式中加上馬達彼此的動作程式，每次驅動程式執行時，同時呼叫別顆馬達給予激磁動作，使手臂不至下滑。此法的使用最為方便，且不需增加成本。

本手臂採用上述之第三種方法來改善滑動現象，結果顯示其成效十分良好。圖 6 所示為硬體之完成結構。

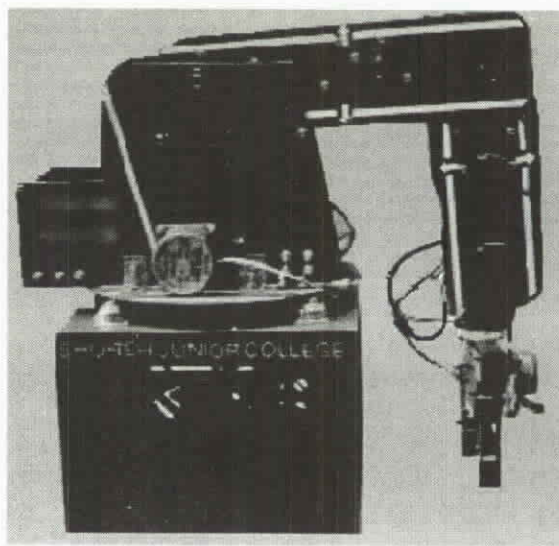


圖 6. 硬體之完成結構圖

二、軟體架構

使用組合語言進行馬達驅動程式之編寫，每個馬達均附有正向運轉及反向運轉的動作程式，並且細分為大、小動作規格，以增加控制上的精確度。此外，並架構各種動作指令集，以連貫部分動作流程、增加手臂動作之流暢度，再配合所建立之控制視窗，可迅速、準確地完成所下達的諸項動作指令。

為便利動作之規劃及控制，建立手臂之控制視窗，由控制視窗，可將操作者之命令傳送至各馬達，使夾頭移位至三維工作區域中的各位置。在視窗的選單中，可選擇個別驅動單個馬達，亦可直接作小單元連續動作，將小單元連續動作組合起來，即可完成流暢之複雜連續動作。視窗中的選單亦建有基定之數種預設 Demo 動作。利用視窗，可簡化手臂動作的控制程序，使操作人員可很方便地規畫動作需求。

Task Management V95.3 (VGA Version)					08/14
F1	FORWARD_1(L)	1	REVERSE_1(L)	K	
F2	FORWARD_2(L)	2	REVERSE_2(L)	L	
F3	FORWARD_3(L)	3	REVERSE_3(L)	M	
F4	FORWARD_4(L)	4	REVERSE_4(L)	N	
F5	FORWARD_5(L)	5	REVERSE_5(L)	O	
F6	FORWARD_6(L)	6	REVERSE_6(L)	P	
F7	forward_1(s)	7	reverse_1(s)	Q	
F8	forward_2(s)	8	reverse_2(s)	R	
F9	forward_3(s)	9	reverse_3(s)	S	
F10	forward_4(s)	0	reverse_4(s)	T	
F11	forward_5(s)	-	reverse_5(s)	T	
F12	forward_6(s)	=	reverse_6(s)	T	
Functions select key [A-V] [O-9] [F1-F10], [ESC] – Quit					
(C)Copyright 1995 03 01					

圖 7.文字模式之控制視窗

圖 7 所示為文字化之控制視窗，其中 F1~F12、1~9、0、-、=均表快速鍵。以第一項『F1：FORWARD_1(L)』為例說明之：

F1 (鍵盤上之 Function Key F1) 為 FORWARD_1(L)之快速鍵，
 “FORWARD”代表『正轉』，“1”代表『第 1 個馬達 (底盤)』，
 “L”為大動作(Large displacement)之代號。
 即『第 1 個馬達 (底盤) 正轉大動作』之意。
 以下式說明之：

$$F1 = \text{FORWARD_1(L)} \left\{ \begin{array}{ll} \text{FORWARD:} & \text{Forward rotate} \\ 1 & : 1\text{st stepping motor} \\ L & : \text{Large displacement} \end{array} \right.$$

同理

$$8 = \text{reverse_2(s)} \left\{ \begin{array}{ll} \text{reverse:} & \text{Reverse rotate} \\ 2 & : 2\text{nd stepping motor} \\ s & : \text{Small displacement} \end{array} \right.$$

以此文字模式視窗配合以批次檔格式(.bat)之規劃、整合，即可發揮控制視窗之效能。這種以文字模式方式所製作之視窗縱使是在 PC-286 之個人電腦亦可進行機械手臂之控制(若為 586 以上之電腦則可改以圖形介面之視窗來操控)，因此，更可視需求來掌握、調整成本。操控時僅需按鍵盤上相對應之快速鍵，即可完成所需之動作，既簡便又迅速。

伍、結 語

檢視本系統之效能，其具有下列優點：

1. 各關節的傳動均採用有齒皮帶來完成，以有效地減少打滑的現象，且可免除鍊條需要時常保養之困擾。
2. 手臂上的設計，以往常見馬達分散在各關節處，徒增動作上的不便。本型手臂則將大部分馬達配置於底盤處，以增加動作之便捷性。
3. 製作上，大量採用玻璃纖維材料、減少金屬的使用。如此，不但可維持強度，更降低了製作之成本。

4. 建立程式與程式間互相連接的程式集，可規劃出流暢的控制程序，並連貫地執行動作。
5. 建立控制視窗。將所有動作程式集與視窗連接，簡化手臂動作的控制程序，就算不熟悉電腦操作的初學者也能輕鬆使用。
6. 製作成本低廉。採用 FRP 為硬體框架之主要素材，並配合以步進馬達與自行設計之驅動電路，使得整個製作成本低廉。

本系統以經濟、實用、操作簡便和多功能為主要發展方向，在手臂結構方面由玻璃纖維板製成，分為底座、主臂、中臂、前臂和腕部（夾頭轉向）和夾頭等六個部分，以達到全方位的動作要求；在控制方面則使用 8255 晶片，由微電腦 I/O 進行控制以達到多工的要求，並採用個人電腦來進行機械手臂設備之控制，研製所得成果除可進行任務操控外，亦可作為教學指導之教材設備。

陸、參考文獻

- [1] 郭俊良, 王培士, “機器人的機構與控制”, 全華書局.
- [2] 江奕旋, 李家崧, 林宗毅, “輕載型機械手臂之研製,” 第十四屆全國技術及職業教育研討會論文集, 作品類, 165-168 頁, 台南, 1999 年 5 月.
- [3] 江奕旋, 蘇慶宗, 李家崧, 卓家得, 林蒼民, 林宗毅, “機械手臂網路監控應用,” 2000 年暨第五屆全國電腦與通信研討會論文集, 彰化, 2000 年.
- [4] 許溢适, “步進馬達原理與應用,” 全華書局, 1994
- [5] 黃義盛, “微電腦 I/O 介面控制實習,” 全華書局.
- [6] 洪錦魁, “IBM PC 80286 組合語言入門與應用徹底剖析,” 松崗圖書.

Design and Implementation of A 6-DOF Manipulator System

Yi-Hsuan Jiang, Chia-Sung Lee, Tsung-Yi Lin

Abstract

As modern technologies evolve, automatic equipments precisely become the current of modernistic manufacturing. Robot application is one of the most popular developing technologies.

This paper develops a 6-DOF(Six degrees of freedom) Manipulator system by PC-based control mode. Many electric techniques and mechanical constructs are applied to implement the system. In this system, the operator will control the robot through the keyboard. The user can operate the 6-DOF motion of the robot with visualizing the control-window. And the robot can complete precisely the function of access object.

The developed system will be used to execute different kinds of planning tasks.

Key Words : Automatic, Robot, DOF, Stepping Motor.