

1. 工業型水平關節機器人開發

黃敏昌
大華技術學院 自動化工程系 助理教授

摘要

勝晟精密機械股份有限公司為國內具備機械設計及加工製造能力的業者。歷年來為工業界研製各類自動化生產設備。於民國98年榮獲經濟部工業局的補助，成功開發出工業型水平關節機器人。

關鍵詞：機械設計、機器人。

一、簡介

工業機器人[1]起源於美國，卻發揚於日本及歐洲。最早當屬在1961年由George Charles Devol, Jr.主導開發成功可程式化的Unimate。其後日本安川電機(Yaskawa)取得授權後即積極展開機器人業務，在1969年安川電機資深工程師森徹郎將機電整合(Mechatronics)的概念具體化。現今日本已有許多工業機器人廠商。除安川電機外，尚有發那科(FANUC)、川崎重工(Kawasaki)、三菱電機(Mitsubishi)、...等。歐洲較知名的廠商有KUKA、ABB(Asea Brown Boveri)及STAUBLI。至於製造娛樂型而非工業型機器人的廠商在全球更是多的不勝枚舉。近年來，臺灣再次掀起機器人的熱潮，各項機器人競賽推陳出新，許多機器人研究案亦如火如荼進行著。在此洪流中，本校很慶幸與勝晟精密機械股份有限公司合作，於民國98年參與經濟部工業局委由臺中精密機械研究發展中心承辦的智慧型機器人產業發展計畫，成功完成工業型水平關節機器人開發。

二、機構分析

機器人端點在空間中相對於基底座標的位置，可採用1955年由Denavit-Hartenberg所提議的方法來描述。本機器人(圖 1)僅需設置四個參考座標系即可完整描述其端點位置。表1陳列相鄰座標間的各項參數，如連桿偏移量 z_i 、關節轉角 θ_i 、連桿長度 L_i 及扭曲角度 α_i 等。依此定義出三個齊次變換矩陣 T_1^0 、 T_2^1 、 T_3^2 ，再相乘為一齊次變換矩陣 T_3^0 。

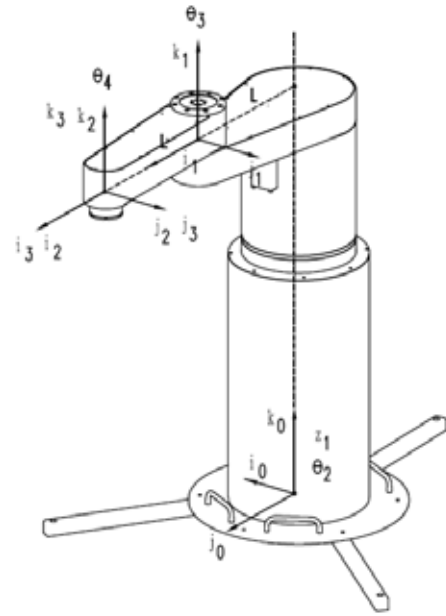


圖 1 Denavit-Hartenberg座標系統

表 1 D-H Parameters

	Link Off-set Z_i	Joint Angle θ_i	Link Length L_i	Twist Angle α_i
1	z_1	$\theta_2 + \frac{\pi}{2}$	L	0
2	0	θ_3	L	0
3	0	θ_4	0	0

$$T_1^0 = \begin{bmatrix} -\sin\theta_2 & -\cos\theta_2 & 0 & -L\sin\theta_2 \\ \cos\theta_2 & -\sin\theta_2 & 0 & L\cos\theta_2 \\ 0 & 0 & 1 & z_1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (1)$$

$$T_2^1 = \begin{bmatrix} \cos\theta_3 & -\sin\theta_3 & 0 & L\cos\theta_3 \\ \sin\theta_3 & \cos\theta_3 & 0 & L\sin\theta_3 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (2)$$

$$T_3^2 = \begin{bmatrix} \cos\theta_4 & -\sin\theta_4 & 0 & 0 \\ \sin\theta_4 & \cos\theta_4 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (3)$$

$$\text{故 } T_3^0 = T_1^0 T_2^1 T_3^2 = [T_{ij}] \quad (4)$$

其中之各項結果如下：

$$T_{11} = -\sin(\theta_2 + \theta_3 + \theta_4)$$

$$T_{21} = \cos(\theta_2 + \theta_3 + \theta_4)$$

$$T_{31} = 0$$

$$T_{41} = 0$$

$$T_{12} = -\cos(\theta_2 + \theta_3 + \theta_4)$$

$$T_{22} = -\sin(\theta_2 + \theta_3 + \theta_4)$$

$$T_{32} = 0$$

$$T_{42} = 0$$

$$T_{13} = 0$$

$$T_{23} = 0$$

$$T_{33} = 1$$

$$T_{43} = 0$$

$$T_{14} = -L \sin\theta_2 - L \sin(\theta_2 + \theta_3)$$

$$T_{24} = L \cos\theta_2 + L \cos(\theta_2 + \theta_3)$$

$$T_{34} = z_1$$

$$T_{44} = 1$$

本機器人兩節懸臂長度L皆為400mm，圖1的架構提供機構設計及製作的準則，而程式設計則是根據齊次變換矩陣(4)逐步發展而成。

三、研製成果

機電整合[2]及可程式化是機器人[3]的兩大特性。機電整合則包括機構、驅動器、感測器及通訊等等，可謂是琳瑯滿目。可程式化的概念在數位控制器中更產生革命性的變化，其促成了微處理機的誕生。有趣的是微處理機正好與工業機器人在美日間交錯發展，因為微處理機起源於日本，卻發展於美國。而前述工業機器人起源於美國，卻發揚於日本。由於Hoff(1969)受顧於日本商用電腦公司提出微處理機的架構，起初是由該日商公司製造，後來授權給美國英特爾(Intel)才蓬勃發展。

目前勝晟開發的專用型移載臂，具備固定的行程及固定的動作模式，以致環境條件稍有差異則需修改硬體機構因應，故會形成樣多量少。這種傳統的做法需繪製圖面再加工製作，待機構完成才編輯程式控制，是很耗費時間及人力。故開發機器人取代專用型移載臂可節省設計的時間及製作費，藉以提昇自動化技術來增強公司的競爭力。

考量到經費有限，為降低開發成本，故選定關節數較少的機種--水平關節機器人。即所謂的SCARA (Selective Compliance Assembly Robot Arm)。SCARA是在1981由牧野洋教授首次研製成功的機款，在業界亦有廣泛的用途。

表 2 功能規格表

軸數	重量 (kgf)	活動半徑 (mm)	活動角度	垂直昇降 (mm)	負載能力 (kgf)
4	105	800	±135°	280	40



圖 2 水平關節機器人



圖 3 圖形人機界面

無論在機電系統[4]、機械構結[5]、零件組裝及加工程序等，皆經過雙方團隊密切合作而逐步克服。終而如期完成水平關節機器人(圖2)的開發。此機器人具備四個自由度。第一軸為直線軸，第二軸、三軸、四軸為旋轉軸。本機器人主要運用於重

物搬運。亦可依高低落差及轉角變化來堆疊或取放工件。其功能規格如表2所示。

在本團隊精心規劃及努力下[6]，亦開發出圖形人機界面(圖3)，提供使用者便利的操作環境。使用者可以教導機器人到規劃的位置，記錄下關節座標。當完成所有的教導點即可讓機器人重複執行任務。

四、工作範圍及實驗數據

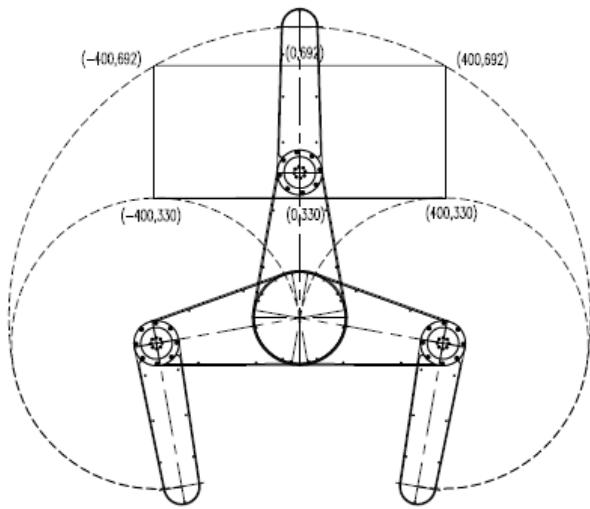


圖 4 工作範圍

在機構分析中，已探討過機器人的順向運動議題。所謂順向運動是指已知關節座標而欲求空間座標。反之，機器人的逆向運動議題則是已知空間座標卻反求其對應之關節座標。

機器人工作範圍則是典型的逆向運動問題。譬如，機器人以右手姿態在一矩形框架中工作(圖4)，其框架點的關節座標可以下列之逆向運動方程式求得：

$$\theta_3 = 2 \cos^{-1} \frac{r}{2L} \quad (5)$$

$$\theta_2 = -\sin^{-1} \frac{x}{r} - \frac{\theta_3}{2} \quad (6)$$

其中 $r = \sqrt{x^2 + y^2}$ 。

圖4中的六個空間點代入(5)(6)求得表3之實驗數據。將表3的關節座標輸入機器人，其實際操作結果與圖5所示之右手姿態模擬吻合。

表 3 實驗數據

	(x, y) mm	θ_2 degree	θ_3 degree
1	(-400,692)	27.6	4.8
2	(0,692)	-30.1	60.2
3	(400,692)	-32.4	4.8
4	(400,330)	-100.1	99.2
5	(0,330)	-65.6	131.3
6	(-400,330)	0.9	99.2

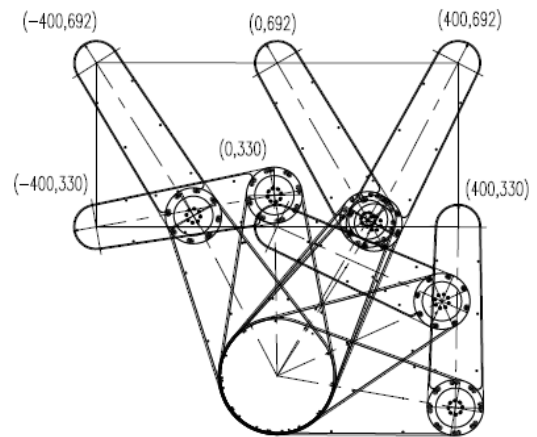


圖 5 右手姿態模擬

在逆向運動分析引發另一問題，即同一組的空間點其對應的關節座標並非唯一。公式(5)(6)為右手姿態之解，而左手姿態之解則是如公式(7)(8)所示。

$$\theta_3 = -2 \cos^{-1} \frac{r}{2L} \quad (7)$$

$$\theta_2 = -\sin^{-1} \frac{x}{r} - \frac{\theta_3}{2} \quad (8)$$

其中 $r = \sqrt{x^2 + y^2}$ 。

我們再次將圖4中的六個空間點代入(7)(8)求得表4之實驗數據。又將表4的關節座標輸入機器人，其實際操作結果與圖6所示之左手姿態模擬亦吻合。

表 4 實驗數據

	(x, y) mm	θ_2 degree	θ_3 degree
1	(-400,692)	32.4	-4.8
2	(0,692)	30.1	-60.2
3	(400,692)	-27.6	-4.8
4	(400,330)	-0.9	-99.2
5	(0,330)	65.6	-131.3
6	(-400,330)	100.1	-99.2

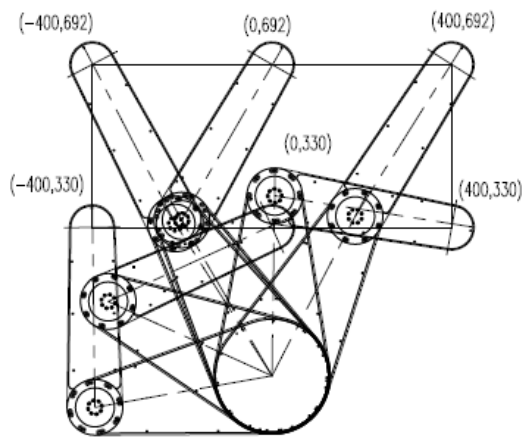


圖 6 左手姿態模擬

五、結論

勝晟精密機械股份有限公司擁有令人敬佩的專業技術。藉由此產學合作案，體驗到潛藏在臺灣工業界的實力。尤其在經費不充裕的狀況下進行此開發案，只要發生些微的差錯，皆會以失敗收場。因為沒有多餘的經費可讓我們修補錯誤。所以整個開發過程是倍感壓力。雖然開發過程仍遇到許多困難及問題。但終究在勝晟精湛的專業能力參與下，皆迎刃而解。當機器人實體建造完畢，目睹其開始運作的那一刻，頗令人雀躍。

此計畫讓本校有機會與業者建立起良好的產學合作模式。藉此機會更帶領學生到工廠參與各項測試及調整，提供學生極佳的職前訓練機會。個人更是從業者處學習到機器人的各項技術，實在受益匪淺。

很感謝經濟部工業局的補助，使得本校在此技職教育環境中，藉此計畫扮演更積極與主動的角色來參與傳統產業升級和技術服務，進而培育產業所需的人才。而在申請及執行計畫期間，更感謝臺中精密機械研究發展中心的協助，使得本計畫得以順利執行。最重要的是感謝勝晟精密機械股份有限公司詹前銻董事長的贊助及參與人員的努力，方得以如期完成工業型水平關節機器人的開發。

參考文獻

1. Richard D. Klafter, Thomas A. Chmielewski, Michael Negin, *Robotic Engineering An Integrated Approach*, Prentice-Hall Inc., New Jersey, 1989.
2. Charles Fraser, John Milne, *Integrated Electrical and Electronic Engineering*, McGraw-Hill, New York, 1999.
3. David Cook, *Robot Building for Beginners*, Springer-Verlag, New York, 2002.
4. Min-Chan Hwang, Stephen Felszeghy, *The Design and Building of a Robot with Five Degrees of Freedom*, *Journal of Material Science Forum*, Vol. 594, pp110-118, August 2008.
5. Min-Chan Hwang, Stephen Felszeghy, *The Design and Building of a Robot with Two Degrees of Freedom*, *Journal of Nan Kai Institute of Technology*, Vol.5, No.1, June 2008.
6. Joseph L. Jones, *Robot Programming A Practical Guide to Behavior-Based Robotics*, McGraw-Hill, New York, 2004.