

## 六軸工業機械手臂加工 Machining with 6-Axis Articulated Robots

簡孟樹 王金國

Robert Gian, Chin-Kuo Wang

黎明技術學院機械工程學系

Department of Mechanical Engineering, Lee-Ming Institute of Technology

### 摘 要

六軸關節型機械手臂是具有模仿人類手臂功能並可完成各種作業的產業自動化設備，其應用廣泛且相當成功，工業應用上以貨物搬運、機台上下料、包裝、裝配、各種焊接應用、噴漆、去毛邊…等繁複工作為主。而六軸關節型機械手臂取代電腦數值控制機台做電腦輔助製造（CAM）加工，多年來一直是世界知名手臂大廠努力目標之一，本文就六軸關節型機械手臂執行電腦輔助製造加工成功案例作一說明。

**關鍵詞：**六軸關節型機械手臂、電腦輔助製造（CAM）

### Abstract

The 6-axis articulated robot is an automatic system that can move like a real human's arm. With its greater flexibility, lots of works had been done by it successfully. Most of the industrial applications are material handling, part transfer, machine tending, packaging, assembling, arc/resistance/plasma/TIG/MIG welding, painting, deburring, grinding, ... and so on. Replacing CNC machines with robot CAM is one of the promising target that most worldwide-known robots corporations have hoped for years. This paper is an introduction of successful implementation of robot CAM.

**Key Words:** 6-Axis Articulated Robot, CAM (Computer Aided Manufacturing)



## 1. 前言

六軸關節型機械手臂 (6-Axis Articulated Robots) (如圖 1 所示) 是結合了機械、電子、自動控制、計算機及人工智能等跨領域綜合應用於一身的實用技術。1973 年德國庫卡機器人集團 (KUKA Aktiengesellschaft, Germany) 成功研發出第一台機電驅動的六軸關節型機械手臂名為：FAMULUS 後，此項技術至今隨著驅動與控制技術的不斷進步改良，機械手臂的移動速度、運動精度及重現性均有長足的進步，因此目前六軸關節型機械手臂在機器人技術領域中已成為最廣泛實際應用的裝置，甚至成為工業型機械手臂的標準型式。

目前機械手臂的應用已經非常廣泛，由於其任勞任怨可二十四小時工作，一年 365 天不用休息，加上其工作品質一致、可靠性高、速度又快，故經常可以在產業自動化中看到其應用，例如：許多工業危險之組裝、上下料、噴漆、拋光、去毛邊、焊接、切割、高溫鑄鍛...等繁重工作，皆能以機器手臂取代人工作業；其他像軍事用途、太空探險、太空站維護、海底探測及醫療應用上亦可窺見其身影，甚至在娛樂事業亦有應用例子，如：杜拜購物中心的機械手臂雲霄飛車 (Robotcoaster) ... 等。雖然機械手臂在產業自動化中有如此廣泛的應用，但是要其模仿人類手臂功能般靈活運動，甚至拿起刀具做複雜路徑加工，一直有其困難度。直到 2008 年九月美國芝加哥國際製造技術展 (International Manufacturing Technology Show, IMTS) 中，德國庫卡機器人集團以其 KR100-HA 型高精度機械手臂結合該公司 CAMROB 軟體，讓機械手臂拿起加工主軸結合刀具，展現出機械手臂加工的可能性，開展出機械手臂全新可能應用的範疇。本文乃

就本人與德國庫卡機器人集團台灣分公司 (庫卡股份有限公司) 於 2009 年合作之「機械手臂加工」技術，作一說明介紹。

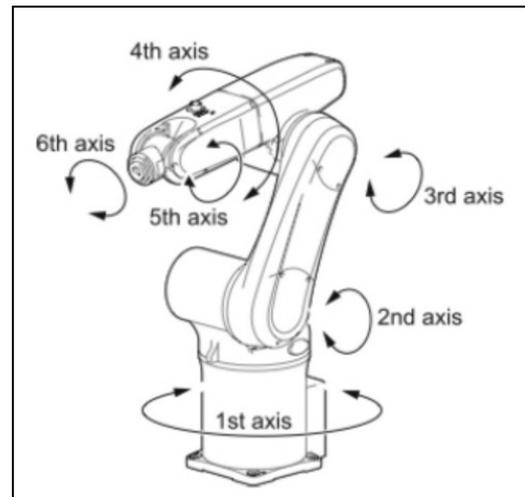


圖 1 六軸關節型機械手臂

## 2. 六軸運動及其工作範圍

工業型機械手臂 (Industrial Robots) 有多種不同的軸向配置，其中最大宗是以六軸關節型機械手臂為主，其共有六個自由度 (A1~A6)，這六個自由度的不同角度組合，提供了六軸關節型機械手臂異於其他機械手臂的姿勢彈性變化度 (flexibility) 及更大的工作範圍。

### 2.1 六軸機械手臂各軸運動

六軸關節型機械手臂有別於其他各種機械手臂的運動方式，如：Gantry robot (其配置有三個 prismatic joint, 而三軸移動形成 Cartesian coordinate system); Cylindrical robot (其配置形成 Cylindrical coordinate system); SCARA robot (其配置有兩平行旋轉軸形成在同一平面運動) [1]，六軸關節型機械手臂共有六個旋轉軸：A1~A6 軸 (如圖 2 所示)，其中



- A1 軸：提供手臂底座 (base) 的旋轉。
- A2 軸：提供下手臂 (lower arm) 的前後伸展。
- A3 軸：提供上手臂 (upper arm) 的舉高放下。
- A4 軸：提供手腕 (wrist) 的左右旋轉。
- A5 軸：提供手腕 (wrist) 的上下傾斜。
- A6 軸：提供手腕 (wrist) 的旋轉。

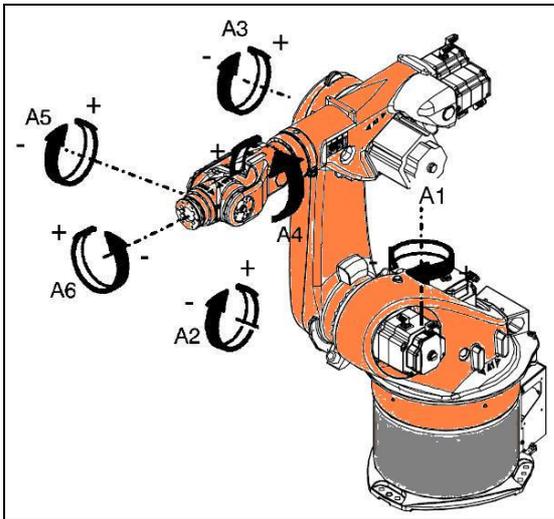


圖 2 六軸關節型機械手臂之旋轉軸及其朝向

有了這六軸的關節運動，加上各軸的旋轉角度比起人類手臂所能旋轉的角度更大，因此提供了六軸關節型機械手臂的運動靈活性及彈性的應用範圍。

## 2.2 六軸機械手臂工作範圍

六軸關節型機械手臂各軸的旋轉角度，依其結構之配置不同會有不同的旋轉角度範圍，此以德國庫卡六軸關節型機械手臂 KR60 HA 其各軸資料 (如表 1 所示) 為例。

表 1 KUKA KR60 各軸資料

軸	移動範圍	速度
A1	$\pm 185^\circ$	110°/s
A2	$-40^\circ \sim +100^\circ$	110°/s
A3	$-210^\circ \sim +60^\circ$	101°/s
A4	$\pm 350^\circ$	154°/s
A5	$\pm 100^\circ$	167°/s
A6	$\pm 350^\circ$	251°/s

註：表中移動範圍是以各軸機械零點為參考。

六軸關節型機械手臂 (KR60 HA) 之整個工作範圍如圖 3、4 所示。機械手臂往前最遠可伸展至 2429mm，往後可至 1480mm，機械手臂正前方可上下移動到 3795mm，正後方方可上下移動到 2984mm；加上 A1 軸提供手臂底座可旋轉  $\pm 185^\circ$ ，而使整個工作包絡區 (working envelop) 可達約  $27.24\text{m}^3$ ，遠大於同等級包覆型五軸加工機之加工範圍。

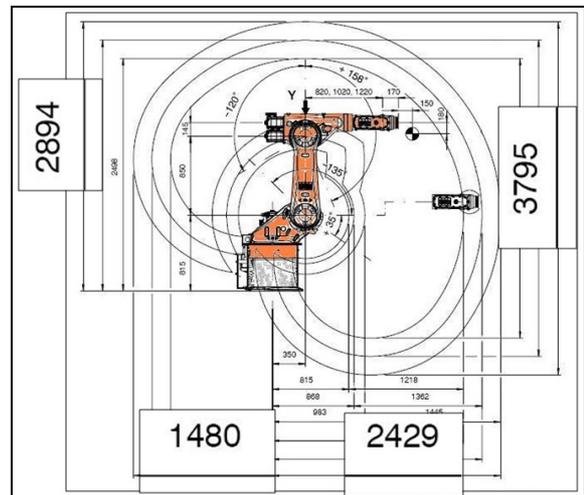


圖 3 六軸關節型機械手臂之工作範圍 (側視圖)



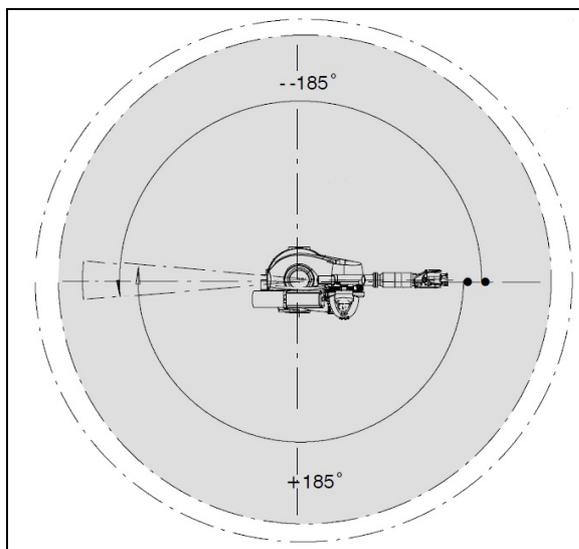


圖 4 六軸關節型機械手臂之工作範圍  
(上視圖)

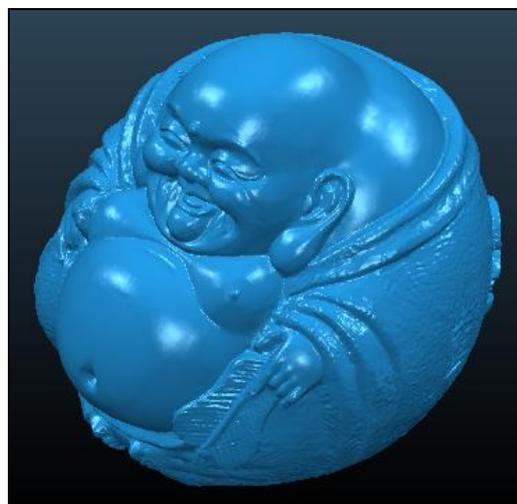


圖 5 檔案大小 61Mbyte 的彌勒佛雕像

### 3. 實測範例

實際以六軸關節型機械手臂加工一尊彌勒佛雕像 (如圖 5 所示), 檔案大小為 61Mbyte, 格式為 STL 檔案, 雕像尺寸:  $400 \times 400 \times 380 \text{mm}^3$ , 材料為保麗龍。

整個加工程序是由 PowerMILL 3-5 軸加工軟體中依雕像幾何外型規畫出粗加工、中加工及精加工路徑, 配合 Robot 後處理輸出 CNC 加工程式 (三軸加工為 X, Y, Z; 五軸加工為 X, Y, Z, I, J, K), 再以 KUKA CAMRob 軟體讀入 CNC 加工程式並設定適當策略條件轉成 Robot KRL (KUKA Robot Language): X, Y, Z, A, B, C or A1, A2, A3, A4, A5, A6, 最後將 Robot KRL 傳至機械手臂控制器進行實際加工。粗加工如圖 6 所示; 中加工如圖 7 所示; 精加工路徑規畫如圖 8 所示; 精加工如圖 9 所示。最後完成成品如圖 10 所示。



圖 6 粗加工



圖 7 中加工



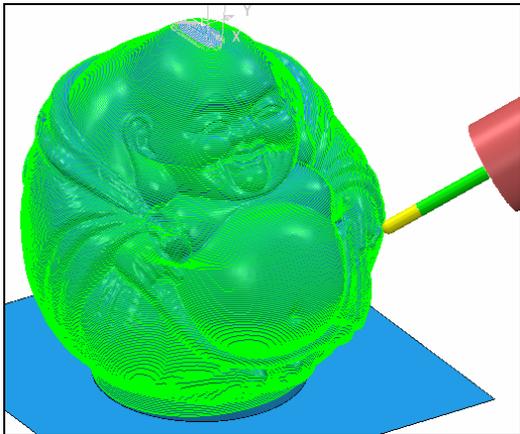


圖 8 精加工路徑規畫



圖 9 精加工



圖 10 完成成品

#### 4. 結論

對於六軸關節型機械手臂，只要其負載強度足以抓起主軸頭及刀具重量，並依所要加工材料特性配合適當切削條件（主軸轉速、切削深度及進給），且機械手臂的結構強度能夠於加工中抵抗加工中的反作用力，即可應用於加工上。由於六軸關節型機械手臂有六個自由度可供變化，故可靈活改變加工刀具姿勢，因此具備有 CNC 五軸加工的所有彈性刀軸變化優點。另外由於六軸關節型機械手臂具有非常大的工作包絡區，因此對於大型工件加工更是合適，無其他設備可提供此項優點。然機械手臂其整體剛性強度還是無法達到 CNC 加工機台的需求，因此目前機械手臂加工只能運用在較軟材質或非接觸（soft-hard contact or no contact）加工，如：保麗龍、木頭、塑膠、鋁合金…等軟性材料銑削加工，零件拋光或複雜外型零件的塗裝應用。

#### 參考文獻

1. Douglas R. Malcolm, Jr., “Robotics: an introduction”, pp. 28-32.
2. Delcam, “PowerMILL five-axis machining training manuals”, 2010.
3. KUKA, “CAMRob Release 1.0 manuals”, 2006.
4. Mark W. Spong, Seth Hutchinson, M. Vidyasagar, “Robot Modeling and Control”.
5. Richard P. Paul, “Robot Manipulators: Mathematics, Programming, and Control”.
6. John J. Craig, “Introduction to Robotics Mechanics and Control”.
7. 彭彥嘉，〈六軸機械操作手臂—位置運動分析〉，《機械工業雜誌》，321 期（2009），頁 96-103。

