



# 運動學/反運動學 控制硬體IP設計開發

Development of the Control Hardware IP  
for Kinematics/Inverse Kinematics

## 龔應時

南台科技大學  
電機工程系  
教授

## 吳敏光

南台科技大學  
機械工程系  
副教授

## 鍾子涵

南台科技大學  
電機工程系  
碩士班研究生

## 李欣泓

工研院機械所  
智慧機械技術組  
機電控制整合部

## 陳文泉

工研院機械所  
智慧機械技術組  
機電控制整合部  
經理

## 關鍵詞(Keywords)

- 六軸垂直關節型機械手臂  
six-axis articulated robot
- 運動學/反運動學  
kinematics / inverse kinematics
- 硬體智材  
hardware intellectual property

## 摘要(Abstract)

執行機械手臂運動控制時，常需要複雜的運動學與反運動學之計算，然而此演算法在軟體執行時，需要較多的 CPU 時間，因此影響機械手臂的運動速度。針對此問題，本案旨在於發展運動

學與反運動學之控制硬體 IP(智材)，以期能在數個微秒( $\mu\text{s}$ )時間內完成計算，以提升機械手臂的運動性能。本文首先推導六軸垂直關節型機械手臂運動學與反運動學之演算法；接著再以 VHDL (Very high speed IC Hardware Description Language)來描述其電路行為。為了證實所發展運動學與反運動學控制硬體 IP 之正確性，將結合 ModelSim 及 SimuLink 之環境來共同模擬。在 ModelSim 將執行運動學與反運動學之控制硬體 IP，而在 SimuLink 將提供輸入之測試訊號及顯示輸出之量測訊號。

The implementation of robot motion control often requires complex kinematics and inverse kinematics calculations. However, this algorithm requires more CPU time in the software, and may affect robot movement speed. To solve this problem,



this article aims at the development of kinematics and inverse kinematics control hardware IP (intellectual property) in order to complete the calculations within several microseconds and ultimately enhance the performance of the robot movement. In this article, firstly, a six-axis articulated robot kinematics and inverse kinematics algorithm is derived. Secondly the circuit behavior using VHDL (Very high speed IC Hardware Description Language) is described. Finally, in order to confirm the validity of the developed kinematics and inverse kinematics IP, co-simulation using ModelSim and SimuLink is applied. ModelSim is used to run the kinematics and inverse kinematics IP, and the Simulink model is taken as a test bench that generates stimulus to ModelSim and displays the output results.

---

## 1. 簡介

---

在機械手臂之運動控制中[1]，常見的有點對點運動與特定軌跡運動。點對點運動可以經由預先教導來達成，因此手臂位置與各軸馬達旋轉角度之相對轉換量為已知。然而特定軌跡運動或者非經由預先教導之位置，機械手臂須由欲到達之空間位置來推算各軸馬達之旋轉角度，因此必須計算反運動學[2-3]。但是機械手臂反運動學之計算相當繁雜，以一般微處理器而言，軟體 CPU 計算常需要數個毫秒(ms)以上。因此計算反運動學公式成為機械手臂運動之瓶頸，也是值得挑戰之

處。

隨著半導體製造之進步，各種性能優異之晶片不斷的被開發完成，如數位訊號處理器(DSP)晶片、現場可程式邏輯閘陣列(FPGA)晶片、微控制器( $\mu$ C)晶片等，而這些晶片中常具有可程式規劃設計的功能及高效能之數值計算能力，可提供各行業發展，設計適合該行業之應用軟硬體，以提昇其產品與設備之品質及功能，使之達到小型化、網路化、低成本、省元件、智慧型與高性能的目的。其中 FPGA 具有硬體可程式化、快速計算能力、快速時間推到市場、短的設計週期、嵌入式微處理器、低電力消耗及高密度容量，因此極適合數位系統之實現，在工業控制及機器人運動控制上應用極為廣泛[4]。

近年來，藉由電子設計自動化(Electronic Design Automation, EDA)模擬連結器之共同模擬系統，逐漸被使用來驗證 Verilog 及 VHDL 程式之正確性與有效性[5]。EDA 模擬連結器提供 MATLAB/Simulink 及 HDL 模擬器(ModelSim)之共同模擬介面，利用此模擬介面便可以在 Simulink 之環境下，驗證 VHDL、Verilog 及混合語言之程式正確性。因此，EDA 模擬連結器可藉由 MATLAB 程式及 Simulink 模式產生訊號給 HDL 模擬器，然後接收並分析其響應值。因此，本案中將應用 EDA 模擬連結器，結合 ModelSim 及 Simulink 共同模擬六軸垂直關節型機械手臂(如圖 1)運動學與反運動學之控制硬體 IP。在 Simulink 的環境下，將產生輸出入值與 ModelSim 連接；在 ModelSim 內將執行機械手臂運動學與反運動學之控制硬體 IP，ModelSim 發展之元件將以 VHDL 程式撰寫。

更完整的內容

請參考【機械工業雜誌】368期・102年11月號

每期220元・一年12期2200元

劃撥帳號：07188562 工業技術研究院機械所

訂書專線：03-591-9342

傳真訂購：03-582-2011

機械工業雜誌官方網站：[www.automan.tw](http://www.automan.tw)