



機械手臂絕對精度 量測與校正

Measurement and Calibration of Robot Absolute Accuracy

胡竹生

工研院機械所
智慧機器人技術組
組長

張永融

工研院機械所
智慧機器人技術組
控制與感測技術部

陳祖興

工研院機械所
智慧機器人技術組
控制與感測技術部

關鍵詞(Keywords)

- 機械手臂 Robot arm
- 絕對精度 Absolute accuracy
- 校正 Calibration

摘要(Abstract)

隨著自動化產業的蓬勃發展，高精度的機器人在工業產線上的運用逐漸變多變廣，例如電子元件製造業和航太製造業，為確保機器人在運行時有高精確度和重複性，機器人精度定位方法顯得格外重要。本文將針對絕對精度的定義、國際規範標準(ISO)和國際知名機器人廠商 ABB 的作法、量測運用到的座標轉換關係、精度校正使用

的儀器與校正方法分別做探討。

Along with the rapid development of industrial automation in recent years, high precision robots can be seen in many industrial production applications such as electronic components and aerospace manufacturing industries. Calibration of robot absolute accuracy has been crucial for implementation of robots for cell manufacturing with high precision and high repeatability performance. This article will focus on the definition of absolute accuracy, international standards for robot performance criteria, calibration methods proposed by the internationally renowned robot company - ABB, concepts of coordinate transformation with respect to robot calibration, instruments used in calibration processes, and lastly,



comparison and evaluation between different calibration techniques.

1. 前言

一般來說，機械手臂在出廠前的製造過程中會經過層層的把關與調校，達到相當水準的絕對精度，因此到使用端的初期能以相當的精準度作業，但若是出廠前要更進一步地提升精準度，則需要絕對精度校正的輔助。而機械手臂經過長時間使用後，機械性偏移會導致精度難以保持，或是因為維修機械手臂(如：拆解、置換馬達或減速機)造成精度偏差。絕對精度校正能彌補這方面的問題，確保機械手臂在要求的精度範圍中重複運作，因而加強在產線中的可靠度。

機器人校正的目的是找出機器人的端效器(End-effector)在空間中的方向與位置和機器人各軸的角度與平移量之間的關係。對於機器人精度的定義大致分為兩種：絕對精度以及重複精度。絕對精度(Absolute accuracy)[1]是指機器人端效器的實際位置(和角度)與指令位置(和角度)的一致程度，其不一致量則稱為定位誤差，譬如一個系統被命令移動 1 mm，而實際的移動量只有 0.99 mm，產生的定位誤差為 0.01 mm。相對於絕對精度，重複精度(Repeatability accuracy)是指機器人重複多次到達一個目標點的精確程度，機器人不可能每次都能完全地到達同一點，而會在以該點為圓心的一個圓區域範圍內，此圓的半徑就是重複精度的概念。另外，有些系統對於重複精度的計算是利用數學統計中標準差的概念的來界定樣

本的發散度，藉以定義在目標點上的重複精度。

在機器人精度校正中，重複精度校正通常只能針對可預期性的誤差進行校正，假設一台機器人在動作時總是向某一個方向偏移 0.1 mm，那麼可以透過程式的編寫規定機器人移動位置向反方向偏移 0.1 mm 藉此達到校正的效果。然而，多軸機器人於工作區域中的不同位置上的誤差是不相同的，無法藉由重複精度校正來簡單的補償。絕對精度校正則提供了一個較為完善的解決方式，利用物理量測的方式，直接針對端接器的絕對位置進行修正，藉以達到校正目的。

多軸機器人的定義誤差大致上可以區分為兩類：幾何誤差與非幾何誤差。機器人的正向運動方程式(Forward kinematics)是機器人每一連桿與座標系間的齊次轉換矩陣(Homogenous transformation matrix)相乘出來而得到的機器人各軸變數與機器人端效器的方向與位置轉換關係，齊次轉換矩陣則常用標準 DH (Denavit-Hartenberg parameters)[2]表達方式來呈現。造成幾何誤差[3]的原因包括連桿的參數誤差、參考座標系與實際座標系之誤差與關節軸線之不平行度等誤差。在機器人精度校正的範疇中，幾何誤差可以歸咎為機器人各連桿座標系之 DH 參數與理論值的差異，大約佔機器人總定位誤差 90% 的比重。非幾何誤差[4]包含齒輪背系(Backlash)、關節連桿受力的形變(Bending and Torsion)、熱形與齒輪傳動誤差等因素造成，非幾何誤差佔總定位誤差量的比重較低，大約佔 10% 比重。不論是幾何還是非幾何的誤差，都是機器人安裝在產線時必要面對的問題。

更完整的內容

請參考【機械工業雜誌】377期・103年8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