



機械手臂工具中心自動校正方法

An Automatic Calibration Method of a Robot Arm's TCP

¹黃成凱、¹古有彬、¹陳詣倫、¹朱証裕、²陳俊皓

¹工研院智慧機械科技中心 智慧機械技術組 群聚產業創新部

²工研院智慧機械科技中心 智慧機械技術組 群聚產業創新部 經理

摘要：機械手臂之動作皆以工具中心座標表示，因此絕對精度受到工具中心相對於法蘭面座標系座標的正確性影響；為了提高運動精度需將工具中心進行校正，但目前自動校正的方法大多須在工具中心安裝感測器或經過多次的重複校正才能得到一個工具中心的近似座標值；若以手動方式校正則需教導機械手臂使工具中心點以數個不同方位到達空間中一相同位置，以此方法進行校正所得之準確度受到操作者的經驗與技術影響。為解決此問題，本文提出工具中心點的自動校正方法：利用複數個不平行擺放且軸線交於一點的影像感應器配合視覺伺服完成工具中心點校正。

Abstract : The coordinates of the tool center point (TCP) of a robotic arm or manipulator indicate the action of the arm. Therefore, the absolute accuracy of the manipulator is subject to the precision of the TCP relative to the flange coordinate system. Improving the precision of the manipulator's motion requires calibrating the TCP automatically or manually. An automatic calibration of the manipulator's TCP typically involves installing image sensor at the TCP or calibrating them multiple times to obtain a set of approximate coordinates, whereas a manual calibration procedure, whose precision depends on the operator's experience and technical competence, requires adjusting the manipulator until its TCP reaches the same position in different orientations. To address the limitations in existing TCP calibration procedures, this paper presents an automatic TCP calibration method that involves using multiple image sensors placed in nonparallel positions, with their axes intersecting at a given point and performing visual servo control to calibrate the TCP.

關鍵詞：工具中心、校正、工業機器人

Keywords : Tool center point, Calibration, Industrial robot

前言

1. 研究動機

隨著科技的進步與演進，工業自動化已經成為企業所追求的目標，不僅可縮減人力，亦可提升產品與勞工工作之品質與安全性；近年來機械手臂的使用率有逐年攀升的趨勢（根據國際機器

人聯盟 IFR 預測，2020 年全球機器人使用量將達 305.3 萬台 [1])，憑著工時長、高重複精度、低失誤率、增加產能等優點，在工業自動化扮演著舉足輕重的角色。

在利用機械手臂執行自動化的技術領域中，大多透過人工教導的方式產生機械手臂動作；此方法簡單、方便且可修正機械結構產生的誤差。



但隨著機器人應用領域的擴展，示教編程已開始顯得力不從心；離線編程逐漸成為當前流行的編程方式，使得機械手臂的運動精度逐漸開始受到重視。運動的準確性受到機械手臂工具中心位置的正確性影響，因此工具中心相對於法蘭面座標的準確度成為機器人實現精確操作的重要指標。

將機械手安裝工具時通常要知道工具中心相對於法蘭面座標系的準確座標值，但由於加工、組裝等皆會產生誤差，因此通常需要經過校正後才可得到正確的座標。傳統的工具中心校正方法需透過人工教導的方式使工具中心以數個不同姿態到達空間中相同位置，而後再透過齊次轉換矩陣與運動學方程式計算工具中心座標以完成校正，但透過人工操作的方法進行校正十分費時且誤差較大；目前的自動校正方法，則具有以下缺點：(1) 透過重複的校正流程，逐步修正工具中心座標使其往正確位置逼近 [2][3]；(2) 於機械手安裝額外的感測器，利用感測器與工具中心點的相對關係估算座標值 [4]；(3) 於空間中安裝一裝置並先校正裝置與機械手的相對關係後再進行工具中心的校正 [5][6]。鑒於以上問題，本文提出工具中心自動校正方法，透過複數個軸線交於一點的影像感應器以影像伺服 (visual servo control) 方式控制機械手臂使工具中心以數個不同姿態到達空間中相同位置完成工具中心校正。

2. 文獻回顧

機械手臂精度之提升與校正方法在機器人研究領域裡面，是一常被研究的主题。影響機器人位置精確度的重要因素包括幾何性誤差及非幾何性誤差，而穆林 (Mooring) 更進一步證明，機器人幾何尺寸若包含微量誤差，將會造成機器人端效器 (end-effector) 方位之嚴重誤差 [7][8]。以軟體修正改善機器人方位精確度方法，可由發展一個精確的數學模式，建立機器人關節位移和端效器間之關係。目前大部分機器人控制器描述各軸之關係式是使用 D-H 轉換矩陣，但以此方法分析幾乎平行之連續關節軸機器人時，連桿偏移不容易描述，使得轉換矩陣中參數定義遭遇障

礙 [9]。為克服此困難，哈亞提 (Hayati) 及馬諾莫尼 (Mirmirani) 提出一個改進方法，把平行或幾乎平行的兩個旋轉軸視為特殊情況處理 [10]。隨後許 (Hsu) 和埃弗雷特 (Everett) 又提出另一種修正方法，此法類似於 Denavit-Hartenberg 轉換矩陣，不同的是轉換矩陣改以五個參數描述 $\theta_i, a_i, d_i, \alpha_i, \beta_i$ ，但增加的參數缺乏明確的物理意義 [11]。

在工具中心校正方面，尹等人提出以結構光傳感器與基準球校正工具中心之方法，提出的方法可用於機械手臂發生碰撞之快速修復，但須先校正座標系與感測器之相對關係 [12]。劉等人提出以雙目視覺進行非接觸式的工具中心校正，該方法相對於接觸式校正方法具有較高的精度與效率，但該方法需要在前期搭建一個雙目測量系統，且要對相機內外參數進行準確的校正，否則會影響到最後工具中心的校正精度 [13]。鮑曼 (Bormann) 等人提出透過外部量測系統搭配三個感測光點量測工具中心相對於機器人的方位與座標，並透過運動學方程式完成校正 [14]。哈倫貝 (Hallenberg) 提出透過一台影像感測器，並將機械手臂分別移動到多個位置後透過視覺系統取得工具中心座標，最後再利用數值迭代方法求解工具中心座標，但此方法可能因為數值迭代方法的初始值不當而得到離譜的校正結果 [15]。

工具中心校正技術

以機械手執行自動化應用時皆透過安裝於法蘭面之工具來完成操作；操作時須在工具中心位置定義一工具座標系並以此座標系描述機械手之動作，但由於加工、組裝或工具磨耗等均會使工具中心位置產生偏差，因此大多需要經過校正才可得到準確的座標值。本文提出機器人工具中心點之自動校正方法，此方法利用複數個影像感應器構成校正系統，此系統可任意擺放於機械手臂運動範圍，並可自動控制機械手臂產生運動以求得工具中心點相對於法蘭面參考座標系之實際關係。以下將對工具中心校正方法進行詳細說明。本文提出之工具中心校正方法利用機械手、工具

更完整的內容

詳見【機械工業雜誌】420期・107年3月號

機械工業雜誌・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：03-591-9339

傳真訂購：03-582-2011

機械工業雜誌・官方網站：www.automat.tw

機械工業雜誌・信箱：jmi@itri.org.tw