機械手臂空間感知技術開發策略

Technology Development Strategy of Robot Manipulators with Spatial Perception

蔡銘浩 [1]*、楊皓翔 [2]、連豊力 [3]

[1] 工研院機械所 智慧機器人技術組 工業型機器人技術部 副理

[2] 國立臺灣大學電機系

[3] 國立臺灣大學電機系 教授

摘要：執行固定空間軌跡的機械手臂已經不足以解決工件尺寸偏差在產線上造成的問題，因此開發具備空間感知的機械手臂已是業界刻不容緩的要務之一。為了使機械手臂可以接收到空間資訊，必需整合相關空間資訊感測裝置，例如：可取得轉軸位置的旋轉編碼器、可量測接觸力道的力量傳感器、可擷取空間影像的影像感應器與可精密測距的雷射追蹤儀等感測器。本文將分別敘述機械手臂加裝不同感測裝置所能產生的功用與效能。

Abstract：Industrial robots that perform fixed trajectories are not enough to solve the problems caused by the deviations of workpiece size. To the industry, the development of robot manipulators with spatial perception is one of the important tasks. In order to make the robot manipulators sense spatial information, it needs to integrate proper sensors, such as a rotary encoder that can obtain the position of the rotary shaft, a force sensor that can measure the contact force, an image sensor that can capture spatial images, and a laser tracker that can accurately measure distances. This article will separately describe the functionality and effectiveness of the robot manipulators with different sensors.

關鍵詞：機械手臂、空間感知、感測器

Keywords：Robot manipulator, Spatial perception, Sensor

前言

現今產業設備逐漸朝向智慧化製造的目標前進，而運作靈活的機械手臂被廣泛採用，應用的領域涵蓋小型電子元件的製程、大型汽機車的組裝、3K (骯髒、辛苦、危險) 產業的製造等等。當機械手臂被使用於單調且反覆的產線動作時，動作的精確度就是生產良率的關鍵因素。因此，機械手臂本身的精度與加裝工具的中心點亦需要量測與校正。精度量測的目的主要是找出機械手臂的定位誤差，其為端效器 (End-Effector) 的命令方位與實際方位的差值，例如控制器給定 1 mm 的移動命令，而機械手臂實際只移動了 0.9 mm，則定位誤差為 1 - 0.9 = 0.1 mm。多點位的量測資料與最佳化演算法的執行，即可直接對機械手臂進行精度的校正，降低定位誤差 [1]。同樣地，在機械手臂端效器加裝工具時，工具的裝配與尺寸難免會影響機械手臂在空間的精確度。工具中心點校正的典型方式可參考文獻 [2] 的內容。

上述的校正技術確實可以提昇機械手臂自身

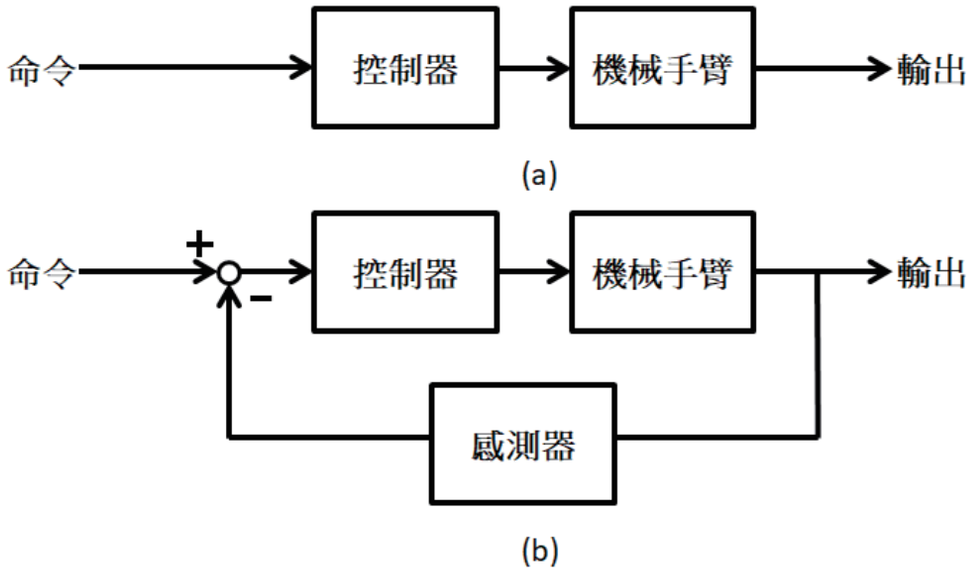

圖 1 開迴路系統與閉迴路系統

的精確度與重現性，然而，當機械手臂被付予加工任務時，為了可以順利完成工作，其必需透過感測器去掌握被加工工件的空間資訊。最常搭配機械手臂使用的感測器為旋轉編碼器，其被加裝於機械手臂構件內的馬達軸端。旋轉編碼器常見的使用方式為教導點位，將機械手臂移至工件的特徵位置，記錄下旋轉編碼器當時的位置資訊 (脈波數，Pulse Number)，之後要使機械手臂再次達到相同位置，只需要從控制器執行先前記錄下的旋轉編碼器數值。使用教導點位方式執行加工時，機械手臂只是忠實地完成控制器所交付的命令，倘若目標點的位置稍有偏差，則可能導致機械手臂無法順利完成任務。在自動控制系統的方塊圖示意下，教導點位方法即是開迴路系統 (Open-Loop System) 的控制法則，如**圖 1(a)** 所示。為了使機械手臂邁向智慧化與自動化，必要的手段之一即是增加額外的感測器，使機械手臂的加工成為閉迴路系統 (Closed-Loop System)，如**圖 1(b)** 所示。藉由加裝的感測器，控制器可以在加工過程中，即時感知工件的位置資訊，並適度調整與修正機械手臂的加工路徑，用以應付產線上的多種不確定性參數，如工件的尺寸偏差，夾治具的位置誤差等等。

產線上的真人操作員具有多種感知能力，懂得如何因應產線上工件的微小變化，作出適應性的動作修正。因此，為了使控制器具備智慧化的感知能力，可以從機械手臂模仿作業員的動作，選擇額外加裝的感測器種類。以電子元件於電路板上的插件動作為例，說明搭配機械手臂的四種感測器。不同批量的電路板或多或少存在著尺寸的差異，導致插件孔位不一致，而作業員的熟練插件動作可簡易依序分類成以下四種步驟：

(1) 執行同款式的電子元件插件時，憑藉著長時間重覆相同的手臂動作，完成插件工作。

(2) 更換不同樣式的電子元件時，先以視覺觀察孔位的大致方位，意識反應手臂各關節需轉動的角度，直覺地手持電子元件接近對應的電路板孔位，順利插件。

(3) 當電子元件插入孔位的過程中，藉由電子元件腳位與電路板間的接觸力道，可了解插件動作是否完成。

(4) 若插件動作一再失敗，會以多個視線角度觀察孔位，選定某一方向，達成插件目的。

根據上述各步驟的動作特性，在機械手臂與控制器方面，分別搭配合適的感測器與對應的演算法，即可使機械手臂模仿上述的動作。機械手

更完整的內容

詳見【機械工業雜誌】424 期・107 年 7 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：03-582-2011
機械工業雜誌・官方網站：www.automan.tw
機械工業雜誌・信箱：jmi@itri.org.tw