RAMI4.0 架構之閉迴路製造誤差補償技術

Closed Loop Manufacturing Stream of Variation Compensation Technology for RAMI4.0 Architecture

許銘翔 *、蔡伶郁、廖錦棋、王俊傑

工研院機械所 工業物聯網技術組 預診決策技術部

摘要：因應全球加工機市場講求高效率的生產加工、降低品質瑕疵、提升產品品質等需求，各大智能化加工業者如 DMG MORI、MAZAK、FANUC 等已紛紛投入工業 4.0 智能化加工機的軟體技術與控制器開發，因此，本文將針對 RAMI4.0 架構之閉迴路誤差補償技術作開發，有效解決精密加工工件誤差造成之來源並將其修正，來因應傳統加工業者所面臨之經驗斷層與效率問題。透過工件誤差量測，搭配齊次轉換矩陣與治具、工件座標之關鍵尺寸與作動方式建立誤差轉換矩陣，使用非線性回歸逆推演算法判斷誤差值範圍，並將其結果直接修正於治具，供加工者迅速修正誤差。

Abstract：In order to keep pace with the fourth industrial revolution, leading global manufacturers such as DMG MORI, MAZAK and FANUC have been involved in the development of controller and software to improve machine intelligence in order to achieve high-efficiency production, shorten time-to-market, and improve product quality. This paper discusses development of error compensation technique based on the closed loop of RAMI4.0 architecture. An algorithm of the stream of variation analysis (SOVA) is proposed to achieve robust design by identifying sources of error and hence remove the errors. The design focuses on the knowledge-based machining.

關鍵詞：閉迴路製程、誤差流分析、工業 4.0

Keywords：Closed-Loop manufacturing, Stream of variation analysis, Industry 4.0

前言

由於全球供應鏈需求逐漸改變，面臨工資上漲、人力結構、區域經濟體系與產品生命週期改變等因素影響下等嚴峻挑戰，2011 年德國於漢諾瓦工業博覽會提出工業 4.0 概念，以虛實化系統 (Cyber-Physical System, CPS) 為核心，將雲端、大數據、物聯網、機器人、自動化、人工智慧相互連結，建構智慧工廠 (Smart Factory)，透過增加效率、縮短產品上市時間與改進生產彈性來強化國家製造業競爭力，並於 2015 年，德國發布《德國「工業 4.0」標準化路線圖》2.0 版，系統介紹了工業 4.0 參考架構模型 [1]（Reference Architecture Model of Industry 4.0, RAMI4.0），其架構為三維平面，垂直軸表示功能模型層級，分別為業務、功能、信息、通信、集成、資產六個功能層，下層為上層提供接口，上層使用下層的服務；左側水平軸為生命週期即其相關價值鏈；右側水平軸描述不同生產環境下的功能分類，如**圖 1** 所示。

針對 RAMI4.0 架構之閉迴路製造技術，可以分為三大區塊：加工參數變異自主補償、智慧化即位量測、製程模擬與佈建可視化，其中加工參數變異自主補償降低了傳統工業上經驗傳遞的斷層，智慧化即位量測降低了製造過程的人力需求，製

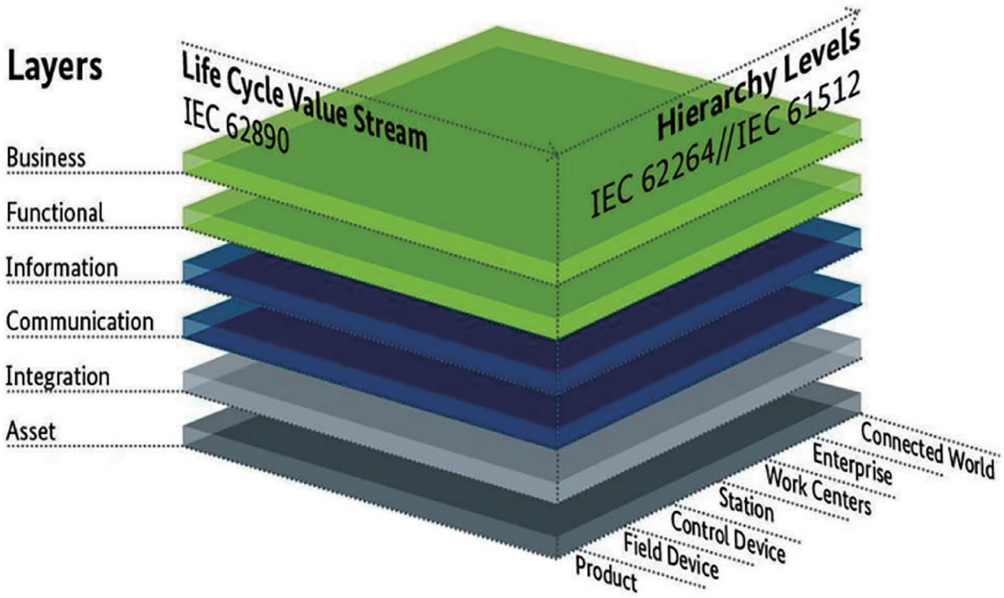

圖 1 RAMI4.0 架構

程模擬與部件可視化可對整現系統進行設計、模擬與佈建，加速產線設計及重組。

我國推行五大產業創新研發計畫，分別為智慧機械創新產業、綠能科技產業、亞洲矽谷、生技醫藥研發產業與國防產業，其中智慧機械創新產業定義為整合各種智慧技術元素，使其具備故障預測、精度補償、自動參數設定與自動排程等智慧化功能，並提供 Total Solution 及建立差異化競爭優勢之功能 [2] 隨著高科技產業製程技術不斷提升，精度規格亦日趨嚴苛，為增加產品良率、產品附加價值，工具機加入智能化系統為現今趨勢，透過智慧化連結之生產系統機能，包含監控數位化、智慧自動化、製造資訊整合與製程分析等製程優化技術，使製程最佳化、預防重工、提升生產效率與良率，進而提升整體生產力。

台灣加工業目前仍以傳統產業者為眾，透過人工紙本管理其加工資訊與派工資料之單機化運轉作業，導致製造設備稼動率無法有效提升，處理新的加工時機台佈置與機台設備之加工參數皆須仰賴人工調整，造成 Time-to-Market 時程無法有效降低，在中國大陸興起與全球局勢變化的情況下，我國製造業者所承接之工作多為大量客製化產品，導致台灣精密機械零件加工場面臨以下問題，(1) 經驗知識傳承斷層，由於相關廠商以中小企業為多數，傳統刻板印象中是所謂的黑手行業，在召募學徒上仍有困難存在，目前從業人員以師傅級為主幹，再加上師傅級培養不易，而像特殊元件加工參數調整等的加工現場知識多由師徒經驗相傳，缺乏有效知識傳承導致經驗斷層；(2) 加工資訊不透明，目前現場的加工參數調整多倚賴師傅經驗與試切時的試誤法，並沒有辦法透過科學方式將機台加工差異性透明化來提供現場操作人員作為調整參考、加工製程設定最佳化加工參數，與如何了解產品設計與製程限制問題、誤差源修正補償，無法及時判斷誤差的來源並加以補償。

精密加工製造過程是由各項加工工序所組成的，各項工序間有其相互連結之關係，加工工序之關鍵尺寸會受上一道加工工序影響，造成尺寸誤差累積的現象，然而，在近十幾年來有許多關於加工時序上所產生的誤差以及到下一個加工工序所產生的誤差累積之相關研究，在 2000 年 Nairong Zhou 等人提出了探討在加工過程中的誤差傳遞，並通過開發新模型用來描述工件尺寸在多

更完整的內容

詳見【機械工業雜誌】425 期・107 年 8 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