適應性負荷控制與伺服參數優化技術開發

Development of Adaptive Load Control and Servo Parameters Optimization Technology

林明宗 [1*]、賴涵餘 [2]、李建毅 [3]、李日傑 [4]

[1] 國立虎尾科技大學 機械設計工程系 教授

[2] 國立虎尾科技大學 機械設計工程系 研究生

[3] 工研院智慧機械中心 智慧機械技術組 研發經理

[4] 工研院智慧機械中心 智慧機械技術組 資訊與資源部 副研究員

摘要：本研究開發適應性負荷控制技術，準確估測工具機工作平台的轉動慣量並提升加工效能。首先以掃頻訊號及鐘型加減速訊號激振機台，透過伺服模型最佳化方法搭配阻尼高斯牛頓法與成本函數求得系統轉移函數，並用鑑別後的系統模型及給定的規格，求得適當的伺服迴路參數。可變進給距離來回運動方法則利用最小平方法搭配速度與扭矩等資訊進行慣量估測與摩擦力鑑別。在實機加工進退刀時，控制器對於工作台的質量及轉動慣量可線上進行估測，適應性調整控制器參數。最後，在五軸工具機上模擬和實驗，驗證提出的方法可同時提升加工效能及加工精度。

Abstract：In this study, an adaptive load control (ALC) method is developed to estimate movement of inertia of a work-piece precisely and to improve machining performance for machine tools. The nominal plant of the machine is excited by swept-frequency cosine signals and bell-shaped signals. Servo modeling optimization (SMO) method with damped Gauss-Newton algorithm and cost function minimization is used to obtain the best order for the system transfer function. Based on the precise identified model, appropriate controller parameters of servo loops are correctly set with user-defined specifications. The back-and-forth movement with variable feed rates and distances (BMVFD) method along with least mean square algorithm with measured data of velocity and torque is adopted to estimate the moment of inertia and to identify friction parameters. In real machining, the controller is capable of estimating the current mass or moment of inertia of the work-piece and adaptively adjusting the control parameters. Finally, simulations and experiments are carried out on a five-axis engraving machine to verify the efficiency of the proposed method in the improvement of cycle time and machining accuracy.

關鍵詞：慣量估測、摩擦力模型、伺服自動調機

Keywords：Inertia estimation, Friction model, Servo auto-tuning

前言

本文提出一適應性動態偏差精度控制技術，包含適應性負荷控制與伺服參數優化功能，用來補償機床的動態偏差，以確保工件輪廓高精度和表面高品質，同時提高加工速度。國外知名商用控制器和工具機廠商為了滿足客戶對於高品質加工的需求，提供多樣智能化技術給使用者選擇。先進工具機智能化技術評比，如**表1**所示 [1]-[12]。其表面加工相關的智能化技術包含：先進引導、高品質加工、誤差補償等功能。

先進引導功能聚焦於透過系統鑑別程序優化伺服控制端的參數，來達到優異的動態匹配性能，

表 1 先進工具機智能化技術評比 [1]-[12]

廠商 / 功能	先進引導	高品質加工	誤差補償
FANUC	Servo Guide AI Servo Tuning	CNC Startup Tool	Volumetric Compensation System Thermal Deformation Compensation
SIEMENS	Auto Servo Tuning	Advanced Surface Top Surface	Volumetric Compensation System Automatic Measuring Cycles
HEIDENHAIN	TNCopt Advanced Dynamics Prediction	[Dynamic Precision] Cross Talk Compensation Active Vibration Damping Position Adaptive Control Load Adaptive Control Motion Adaptive Control [Dynamic Efficiency] Active Chatter Control Adaptive Feed Control	KinematicsOpt
MAZAK		Smoothing Machining Configuration Active Vibration Control Smooth Corner Control Variable Acceleration Control Smooth AI Spindle	Smooth Thermal Shield Intelligent Performance Spindle
DMG MORI		Application Tuning Cycle	Ultra Thermal Precision 3D quickset
OKUMA	ServoNavi	MachiningNavi	Thermo-Friendly Concept 5-Axis Auto Tuning System
MIKRON		Operator Support System Advanced Process System	Intelligent Thermal Control

主要由三大控制器廠商提供 [2]-[8]，如：FAUNC Servo Guide、SIEMENS Auto Servo Tuning、HEIDENHAIN TNCopt。除此之外，OKUMA 工具機廠則因擁有自行開發的伺服驅動系統，亦提供 ServoNavi 軟體 [9]，其 AI 功能包含工件重量與慣性自動設定；SF 功能包含反轉突起自動調整、制振自動調整。高品質加工功能更是工具機智能化技術的重點項目，FAUNC 提出精密表面處理技術 [4] 並針對工件條列出評價項目如**圖 1(a)** 所示，主要影響要素分為：加工程式、CNC、伺服、刀具等。Heidenhain 則提供進階動態預測 (Advanced dynamic prediction, ADP) 和動態精確 (Dynamic precision) 功能 [8] 如**圖 1(b)** 所示，進階動態預測能預讀單節並根據輪廓點分佈調整速度配置確保表面品質及輪廓精度；動態精確用於補償機床的動態偏差，確保工件輪廓高精度和表面高品質，同時提高加工速度。Siemens 也提出了先進表面 (Advanced Surface) 技術 [5][6] 如**圖 1(c)** 所示，使用者依據加工程序的需求 (粗切、粗精切、精切) 選擇以精度、速度或是表面品質為重，控制器會自動決定內部加工參數。MAZAK、DMG MORI、MIKRON 等工具機大廠皆提供類似西門子先進表面技術的客製化界面，各家技術依序稱為滑順化機台設定 (Smoothing Machining Configuration, SMC)[10]、自動切削循環 ATC(Application Tuning Cycle)[11]、操作者支援系統 (Operator Support System, OSS)[12]。

OKUMA 針對表面高品質加工需求，AI 功能進行工件重量與慣性自動鑑別，如**圖 2(a)** 所示，再依據系統動態模型進行控制器參數優化，可提高運動軸加速度以縮短加工時間；SF 功能維持加工精度及表面質量、抑制顫振以提供機床的使用壽命。慣量估測功能 Heidenhain 又稱之為適應性負荷控制 (LAC)，如**圖 2(b)** 所示，控制器可根據

更完整的內容

詳見 ▌機械工業雜誌 ▌ • 444 期 • 109 年 3 月號

機械工業雜誌·每期 220 元·一年 12 期 2200 元

線上訂購網址：https://www.automan.tw/magazine/orderMag.aspx

▌付款方式▌

1. 郵局劃撥—戶名：財團法人工業技術研究院機械所　帳號：07188562
   請於劃撥單的通訊欄寫明：購買期數、金額等
2. 匯款資料—兆豐國際商業銀行新竹分行(代號 017)
   帳號：203-07-02288-0　戶名：財團法人工業技術研究院
3. 信 用 卡—請填寫信用卡訂購單

麻煩您將**繳款收執**或**信用卡刷卡單**傳真至(03)582-2011，我們會盡快處理您的訂單並開通權限，再次感謝您的支持與愛護。

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

機械工業雜誌 優/惠/訂/購/單

訂閱一年 12 期

$ 2200 / 續訂戶 $ 2000

好禮二選一

A 史欽泰墨寶帆布袋

B 工研院機械所無人車USB (8G)

訂閱紙本+電子雜誌

$ 3000 ~~原價 $ 4400~~

一年12期

贈送

A 史欽泰墨寶帆布袋

訂閱二年 24 期

$ 4000 / 續訂戶 $ 3600

好禮四選二

A 史欽泰墨寶帆布袋

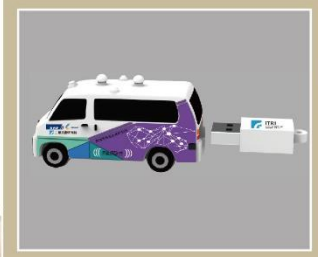
B 工研院機械所無人車USB (8G)

C 工具機叢書任一本

D 智慧機械人叢書任一本

限量專屬精品送給您

A



B

C

D