



contouring and hybrid CBILC are introduced. Finally, a P-type CBILC with a zero-phase filter is implemented on a three-axis milling machine with the ITRI M100Touch controller. Experiments are performed to validate that the proposed method can improve contouring performance more than 50 % as compared with the original accuracy for two NC paths.

1. 前言

對於固定製程的重複性工作，疊代學習控制可藉由每次輸出誤差來更新下一次的輸入命令，進一步提升控制器之追蹤性能以及加工精度。爲了滿足 3C 及汽車產業的大量生產需求，國外高階控制器(如：FANUC)則多已內建智能化的學習功能，並將學習控制技術應用於 CNC 工具機的多軸循跡重複加工以及高速剛性攻牙上。

疊代學習控制(Iterative learning control, ILC)的概念首先在 1971 年由 M. Garden[1]於美國專利中提出，並在 1978 年 M. Uchiyama[2]首先發表於論文中，針對重複性的工作進行疊代式學習來進一步提升追蹤性能，在工業上則主要應用於機器人夾持定位、塗料、焊接等工作[3,4]、射出成型機[5]、晶圓精密運動、原子力顯微鏡掃描[6]、工具機[7]等各種領域。傳統的疊代學習控制架構是透過更新輸出扭矩的方式來提升追蹤性能，該方法類似透過前饋控制的方式補償控制系統的伺服落後[8]；Tsai 等人[9]則提出一命令式疊代學習控制架構，在不改變 CNC 控制器架構下，透過更新

輸入命令的方式來提升性能，該演算法僅使用一 P-type 學習控制參數搭配零相位濾波器的頻寬設計，讓使用者能夠簡易地調整參數，非常適合應用於商用控制器上。Tsai[10]進一步針對追蹤以及輪廓誤差提出一混合式疊代學習控制器，該架構可依據追蹤以及輪廓誤差的加工精度需求於學習階段切換不同權重，藉以加快學習時的收斂速度。Barton 等人[11]則提出一整合追蹤及交叉耦合疊代學習控制之架構，可以同時提升追蹤以及輪廓精度，並確保達到單調式收斂。接著再提出一最佳化時變疊代學習控制器[12]，用以提升轉角之輪廓性能，但此類疊代學習控制需要針對系統動態模型有深入之了解，並有許多參數矩陣(如：強健性、性能以及收斂速度權重等)須要調整，且該演算法必須耗費大量的記憶體空間，因此目前僅適合應用於數個單節且簡單的直線路徑。

本研究針對 CNC 工具機，提出一命令式疊代學習控制器來提升多軸輪廓軌跡運動的加工精度，並針對多軸循跡控制系統推導了單軸追蹤、輪廓以及混合式等三種命令式疊代學習控制演算法。最後，將命令式疊代學習控制演算法實現並嵌入於工研院 GMC 控制器內，並於工研院三軸銑床上驗證該演算法之可行性以及多軸輪廓循跡性能。此外，值得一提的是，此研究亦提出一快速輪廓誤差演算法(Fast contour error computing algorithm)取代過去文獻中所使用的即時輪廓誤差估測公式[13,14]，用來準確計算尖銳轉角或急加減速區域之輪廓誤差，可提升輪廓疊代學習演算法的運算性能。

更完整的內容

請參考【機械工業雜誌】360期・102年3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