

行政院國家科學委員會專題研究計畫成果報告

DSP Based 最佳定量回饋控制 —最佳定量回饋控制研究 DSP Based Quantitative Feedback Theory

計畫編號： NSC 87-2212-E-009-005

執行期間：86年8月1日至87年7月31日

主持人：李安謙 交通大學機械系 教授

一、中文摘要(關鍵詞: 非圓切削、數位式定量回饋理論、彈性性能指標)

本計畫發展一套非圓切削強韌控制方法，運用電腦強大計算能力，來控制吾人所設計的電液伺服車削系統，彈性製造出任何不同輪廓的非圓工件。控制系統設計採用數位式定量回饋理論，使車刀不受系統微量不定性與雜訊的干擾，能夠穩定達到循徑功能。

首先，本計畫針對切削過程中的雜訊干擾及系統本身的不確定，所造成的切削精度問題進行分析與設計，作為控制器設計的基礎。控制器設計上，經由系統鑑別，設計回饋控制器，作跟蹤控制。由於預測性的控制可視為負值的時間延遲，本計畫以彈性性能指標最佳控制法抵消量測及電液伺服車削系統的動態時間延遲。藉設計最小相位系統的控制器，作為數位式定量回饋理論的起始函數；透過修改QFT限制曲線的方式，來解決非最小相位系統問題。並設計前饋控制器，使系統在本身不確定及雜訊干擾的情況下，時域及頻域響應依然能

達到容許範圍之內。

本計畫首先模擬結果，找出最適合的前饋—回饋控制器參數。最後配合DSP控制板，完成DSP Based最佳定量回饋控制，作線上實驗驗證。

英文摘要 (Keywords: Noncircular Cutting, Discrete Quantitative Feedback Theory (QFT), Relax Performance Index)

In this project, we develop a robust control method that uses discrete quantitative feedback theory (DQFT) to position the cutting tool by electro-hydraulic servo system in noncircular cutting. By examining the applicability, advantages and limitations of these techniques, the design of noncircular cutting can thus be achieved successfully.

In the controller design, the feedback controller are firstly designed based on the linearized model of electro-hydraulic system for tracking control. And then the feedforward controller is designed to compensate the system delay. In the mean time, to overcome the system uncertainty,

we use discrete quantitative feedback theory (DQFT) and Relaxed Performance Index to improve the robust performance and to compensate the system delay.

At first we try to find controller for linearized minimum phase system. Then we use the controller as the prefixed controller for nonminimum phase system. The parameters of feedback and feedforward controllers are adjusted by QFT method, so that the time response and frequency response of the system can be allocated in the tolerable range.

The performance of feedback controller and feedforward controller with QFT are investigated. Finally, the work involved is focused on the realization and implementation of experiment for noncircular cutting.

二、計劃緣由與目的

本計劃提出一套應用於加工系統的非圓切削智慧型控制方法，運用電腦強大計算能力，來控制吾人所設計的電液伺服車削系統，彈性製造出任何不同輪廓的非圓工件。

在加工控制系統的設計上，一般可分為點對點與路徑控制兩種。點對點的控制以點為目標，如鑽孔、攻牙加工等，路徑過程並不重要。另一為循徑控制，如車、銑、焊接、切割等，必須準確地計算路徑與加工系統的動態特性。以焊接切割為例，目前都是用機械手臂作加工的執行。由於只注重路徑的精確，因此系統的速度不必很快，傳統的PI控制器即可達到其要求。但對於高速

的車刀切削動作，PI控制器會造成嚴重的延遲落後問題，無法達到應有的精度要求。

非圓切削屬「高速的輪廓循徑加工」的重要應用之一。舉凡凸輪、曲軸及各種不同非圓工件的製造，非圓切削比傳統的鑄造、鍛造精良許多，因為鑄造與鍛造往往需要另一階段的細部加工。但由於現階段工具母機和加工環境的限制，目前切削方法，只能依賴已完成且非常精密的原始元件(如原始凸輪 master cam)作仿製切削，不但在製造精密的原始元件上浪費不少的經費與時間，且日後的工件製造也只能固定而無任何彈性可言，無法符合現今少量多樣、彈性製造的加工環境。

鑑於現今產業非圓工作製造的廣大需求，本計畫以作者於1988年針對數位凸輪、1995年設計製作的電液伺服車削系統及個人電腦附加卡形式之TMS320C50 DSP 伺服控制板為基礎，結合定量回饋理論，設計一強韌控制方法。運用主機CPU與DSP多處理器同時處理能力，做即時大量資料傳輸，以提升非圓切削性能。

三、研究方法與成果

在控制器設計方面，由於此電液伺服切削控制系統將作為一高速的輪廓循徑系統，故需要回饋控制使之作循徑運動。但對於高速的車刀切削動作，回饋控制器會造成嚴重的延遲落後問題，無法達到應有的精度與粗糙度要求。本計畫採用定量回饋理論與彈性性能指標最佳控制法則以抵消系統的延遲。

首先針對切削過程中，雜訊

干擾及系統本身的不確定所造成的切削精度問題，進行分析與設計，作為控制器設計的基礎。在控制器設計上，經由系統鑑別來設計回饋控制器，進行跟蹤控制。運用彈性性能指標最佳控制法設計前饋控制器，以抵消系統的延遲。透過修改QFT限制曲線的方式，來解決非最小相位系統問題，使系統在本身不確定及雜訊干擾的情況下，時域及頻域響應依然能達到容許範圍之內。

四、結果與討論

本研究著重於非圓切削系統控制器的分析與設計。首先針對電液伺服切削控制系統的本體分析與設計，使系統性能足以達到非圓切削的基本要求。藉著對電液伺服液壓系統作系統鑑別，找出線性化系統模式，以設計回饋—前饋控制器，作跟蹤控制。並藉由設計最小相位系統的控制器，作為數位式定量回饋理論的起始函數；在非圓切削時，由於加工工件在車床夾頭旋轉時，其控制狀態大致具重覆性及可預測性，因此控制輸入可由目前狀態、過去狀態及未來預期的切削輪廓來決定。我們運用彈性性能指標最佳控制法設計前饋控制器，以抵消系統的延遲。

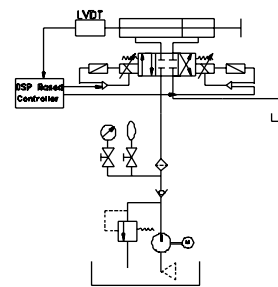
由於 $P(s)$ 為非最小相位系統，因此我們必須修改最小相位系統控制器。此時，依據非最小相位零點特性修改限制曲線。經過以彈性性能指標為基礎的QFT控制系統，可提高切削效率與切削精度。部份結果如圖二、圖三、圖四、圖五所示。經由DSP Based最佳定量回饋控制，作線上實驗驗證的實際切削工件如圖六所示。

五、參考文獻

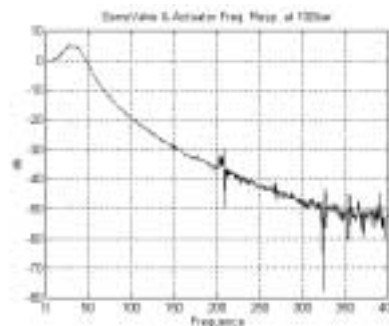
1. 王源泉、李安謙、林龍欽，“Complex Piston Contour Machining Using a Digital Cam System”，1988，中國機械工程學刊第九卷第五期，pp.361-370.
2. 王安謙、成維華，“非圓切削智慧型混合控制”，1996，國科會計劃 NSC 85-2612-E-009-035.
3. 王安謙，“非圓切削強韌控制研究”，1997，國科會計劃 NSC 86-2221-E-009-085.
4. Masory, O., “Improving Contouring Accuracy of NC/CNC Systems With Additional Velocity Feedforward Loop”，1986, J. of Engineering for Industry, Aug., Vol.108, pp.227-230.
5. Tomizuka, M., Chen, M. S., Renn, S. and Tsao, T. C., “Tool Positioning for Noncircular Cutting With Lathe”，1987, ASME, J. of Dynamic Systems, Measurement and Control, Vol.109, June, pp.176-179.
6. Tomizuka, M., “Zero Phase Error Tracking Algorithm for Digital Control”，1987, ASME, J. of Dynamic Systems, Measurement and Control, Vol.109, March, pp.65-68.
7. Tsao, T.C. and Tomizuka, M., “Robust Adaptive and Repetitive Digital Tracking Control and Application to a Hydraulic Servo for Noncircular Machining”，1994, ASME, J. of Dynamic Systems, Measurement and Control, Vol.116, March, pp.24-32.
8. Alter D.M. and Tsao T.C., “Two-Dimensional Exact Model Matching with Application to Repetitive Control”，1994, ASME, J. of Dynamic Systems,

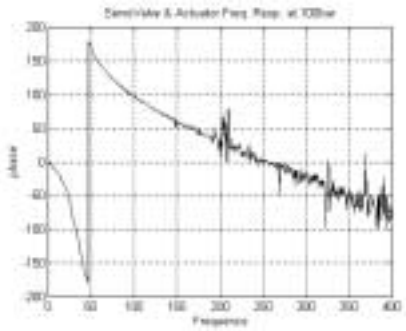
- Measurement and Control, Vol. 116, March, pp.2-9.
9. Tomizuka, M. and Whitney, D. E., "Optional Discrete Finite Preview Problems (Why and How Is Future Information Important)", 1975, ASME, J. of Dynamic Systems, Measurement and Control, December, pp.319-325.
 10. Haack, B. and Tomizuka, M., "The Effect of Adding Zeroes to Feedforward Controllers", 1991, ASME, J. of Dynamic Systems, Measurement and Control, Vol.113, March, pp.6-10.
 11. B. C. Wang, K.W. Ham, "Analysis of an Altitude control System of a Low Flying Vehicle", 1971, 9th Int. Symp. on Space, Tokyo, pp.937-942, Japan.
 12. J. G. Wang, I. Horowitz, C. Houppis, "Quantitative Synthesis for the forward swept wing X-29 aircraft", 1984, Proc. AECON, May.
 13. R. W. Betzold, I. Horowitz, C. H. Houppis, "MIMO flight control design with highly uncertain parameters application to C-135 aircraft", 1984, Proc. NAECON, May, pp.526-533.
 14. I. Horowitz, P. Arnold, C. Houppis, "AFT1/F16 flight Control Configuration design", 1985, Proc. NAECON, pp.578-585.
 15. D. Schneider, I. Horowitz, C. Houppis, "QFT digital flight control design for the AFT1/F16", 1987, ibid, pp.616-623.
 16. G. Wang, S. Wang, C. Chen, I. Horowitz, "A control design for a tracked Vehicle with implicit nonlinearities using QFT", 1988, Proc. CDC, pp.2416-2418.
 17. I. Horowitz, T. S. Wang, "A Synthesis theory for a close of multiple loop system with plant modification", 1978, Int. J. Control, Vol.27, No.3, pp.351-359.
 18. I. Horowitz, "Design of Feedback Systems with non-minimum-phase unstable plants", 1979, Int. J. System SCI, Vol. 10, NO.9, pp.1025-1040.
 19. I. Horowitz, S. Oldal and O. Yaniv, "An Important property of non-minimum phase multiple-input-multiple-output feedback systems", 1986, Int. J. Control, Vol. 44, No.3, pp.677-688.

六、圖

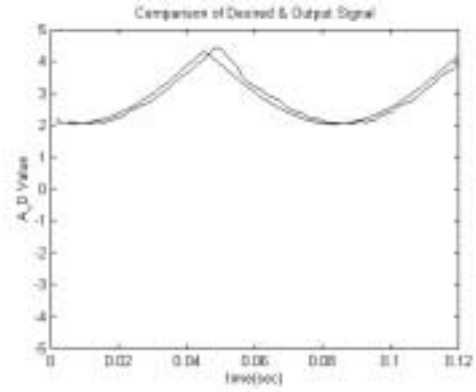


圖一電液伺服控制系統油路圖

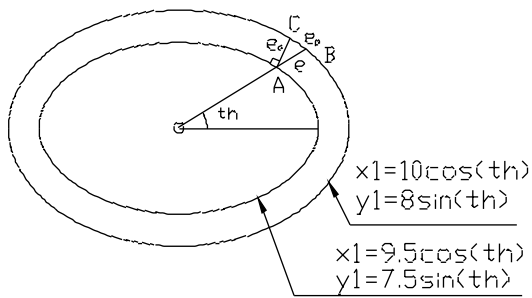




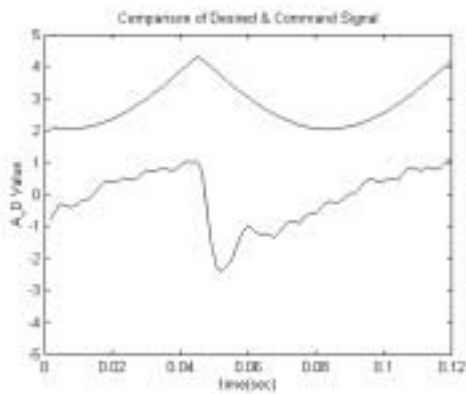
圖二閉迴路系統波德圖



圖五 實際切削與預期工件外徑尺寸比較圖



圖三 非圓工件示意圖



圖四 控制訊號與工件外徑比較圖



圖六 實際切削工件圖