

行政院國家科學委員會專題研究計畫成果報告

精密運動控制之實現技術研究

Research on Realization of Precise Motion Control Design

計畫編號：NSC90-2212-E-009-064

執行期限：90年8月1日至91年7月31日

主持人：徐保羅 國立交通大學電機與控制工程系

plhsu@cc.nctu.edu.tw

一、中文摘要

本論文成功的使用 CAN bus 來傳輸位置命令到各軸，並且在各軸加入了零相位追跡誤差控制器(ZPETC)與零振幅追跡誤差控制器(ZMETC)，ZPETC 可抵消位置回授控制系統的落後相位，使各軸都能有良好的追跡控制，並且使整體系統得到良好的增益響應。而 ZMETC 可大幅改善系統的頻寬，使得系統於高速時仍保有一定的運動精密度。另一方面我們藉著 CAN bus 來擷取各軸的誤差訊息並且再將交叉耦合補償器的補償命令回傳至各軸，來協調各軸並且消除兩軸以上的綜合軸廓誤差。最後我們將包含零振幅誤差追跡控制器與交叉耦合補償器的整合型控制器應用於 CAN bus 的分散式多軸運動控制系統上，進一步的降低系統的綜合輪廓誤差與各軸的追跡誤差，建構出一個高速精密的分散式多軸運動控制系統。

關鍵字：CAN bus、輪廓誤差、追跡誤差、整合型控制器、分散式多軸運動控制。

Abstract

This study successfully applies CAN bus to transmit positional commands to each axis. In addition, the zero phase error tracking control (ZPETC) and the zero magnitude error tracking control (ZMETC) are included. So that the present systems maintains high precision as the system increases operation speed. Furthermore, the CCC is integrated to reduce the motion contouring error for the proposed high-speed and high-precision systems.

Keywords: CAN bus, contouring error, tracking error, integrated control system, distributed multi-axis motion control.

二、緣由與目的

近年來網路通訊在自動化工廠日趨重要，因為訊息已變得大量且即時。所以結合網路與多軸運動控制系統以成為目前的趨勢[1]。分散式控制系統可從各軸之感測器、致動器及控制器可獲得即時的訊息，但這些大量的訊息需要一個高速且可靠的場域匯

流排來實現。所以本論文將 CAN bus 建構在分散式控制系統上[2]，並且加入了運動控制的理論，成功的建構出一個分散式的多軸運動控制系統。

本研究之目的，在於引進先進之運動控制設計，達成 HSHP 高速精密運動控制如下：

- 提昇各軸的追蹤精密度

首先我們希望先降低各軸的位置誤差，所以我們在各軸加入了零相位追蹤誤差控制器(ZPETC)[3]，用以改善其 tracking error。以下對於 ZPETC 做一個簡介。

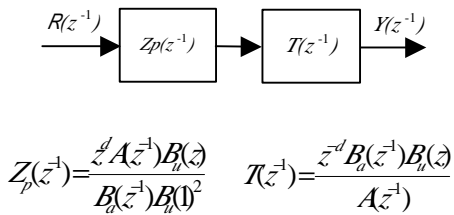


圖 1 ZPETC 基本架構圖

- 提升系統高速之追蹤精密度

零振幅誤差追蹤控制器(ZMETC)[4]，有別於 ZPETC 以補償位置回授控制系統的相位誤差的方式提高精密度，其設計理念是以互補的觀點(complementary point of view)，搭配極零點對消與極零點配置(pole-zero placement)的技巧，消去位置回授控制系統可對消的極點與零點，對於不可對消(在單位圓以外)的零點，則以其共軛零點補償振幅誤差，減少追蹤誤差，並使系統具有高速的追蹤精密度。其架構如下圖所示。

$$Z_m(z^{-1}) = \frac{D(z^{-1})}{N_a(z^{-1}) [\hat{N}_u(z)]^*} \quad T(z^{-1}) = \frac{N_a(z^{-1}) \hat{N}_u(z^{-1})}{D(z^{-1})}$$

圖 2 ZMETC 基本架構圖

理論上經 ZMETC 補償過後的控制系統，在任何頻率都沒有振幅誤差，振幅響應皆為單位增一。換句話說，ZMETC 能將控制系統補償成一個全通濾波器(all-pass filter)，理論上，經 ZMETC 補償過的控制系統將具有無限大的頻寬，而其相位則除了在 DC 外均有落後之特性。

- 改善多軸的輪廓精密度

在多軸的輪廓誤差(Contouring error)方面，我們使用了交叉耦合補償器來協調各軸的位置誤差以改善輪廓誤差[5]。交叉耦合控制器並無法直接改變各軸的運動控制迴路，而是在軸與軸的控制迴路間加上補償器，藉由補償器產生適當的回授信號送至各軸而使得各軸的動態響應能夠匹配。下面為兩軸之可變增益交叉耦合控制器架構。其結構如下圖所示。

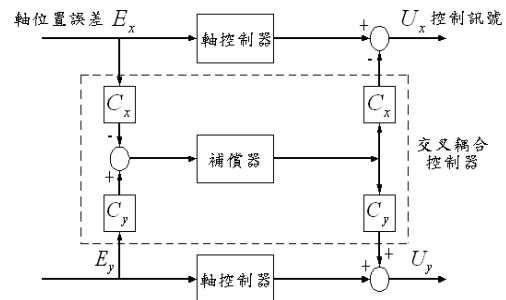


圖 3 2-軸 CCC

- 整合型控制器的導入

最後我們將 ZPETC 與 CCC 合併使用，而形成了一個整合型運動控制系統[5]，其系統架構如下圖所示：

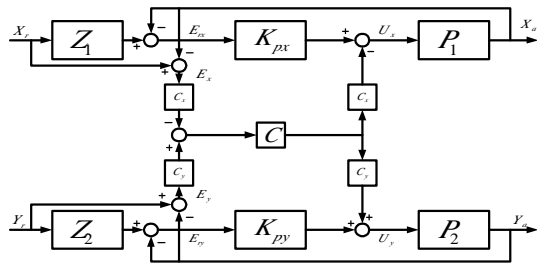


圖 4 整合型運動控制器架構圖

本控制器其好處是能夠同時兼顧到位置誤差與輪廓誤差，而且可以分別設計零相位誤差追跡控制器與交叉耦合控制器之系統參數。

● CAN bus 之應用

首先 CAN bus 為 Controller Area Network Bus 的縮寫，是一種支援分散式即時控制，並且具有高安全性的序列傳輸通訊協定，傳輸速度最快可達 1 Mbits/s。

三、結果與討論

各軸的實驗架構包含數位伺服控制器，使用由德州儀器所生產的 TMS320F243 這顆數位訊號處理器、保護電路與 IGBT 構成的功率級、永磁式同步馬達內含光學編碼器與霍爾感測器、emulator 發展環境以及個人電腦一台。數位伺服控制器直接送出 PWM 訊號給功率級來驅動馬達，電流迴授訊號由 DSP 內部的 ADC 介面輸入，馬達位置由 QEP 介面讀取。

在多軸的系統架構圖如圖 5，我們使用了 TMS320F243 內建的 CAN bus 介面作為各軸之間的溝通網路。並且我們將交叉耦合補償器實現在這個由 CAN bus 所建構出來的分散式多軸控制系統上，來協調各軸位置誤差以消除兩軸以上的綜合軸誤差。

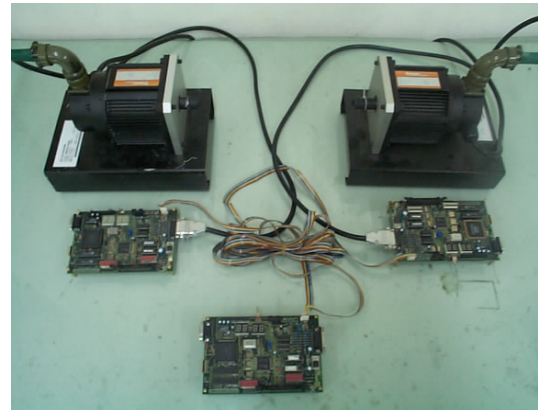


圖 5 多軸實驗系統架構圖

我們針對設計出的各種控制架構，將兩軸分為 X 軸與 Y 軸，分別輸入峰值為 4096 pulse 的 sin 波和 cos 波，且還有低、中、高兩種不同速度之循環命令，分別為 51 pulse/ms(低速)、77 pulse/ms(中速)、103 pulse/ms(高速)，以量測各種控制架構的追跡誤差與輪廓誤差，藉此比較其效能。

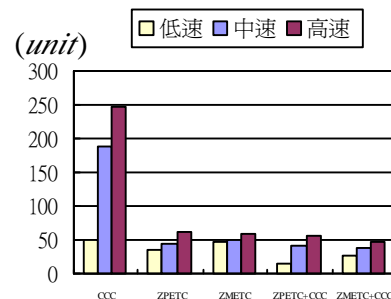


圖 5-1 追跡誤差比較圖

我們可從圖中發現：

1. ZPETC 與 ZMETC 的追跡精密度

皆比 CCC 來的要好

2. ZMETC 在不同的速度下，可維持一定的追跡精密度
3. ZMETC+CCC 的整合型控制器在不同速度下，其追跡誤差的變異量不大
4. 整合控制器可使系統得到最佳的追跡精密度

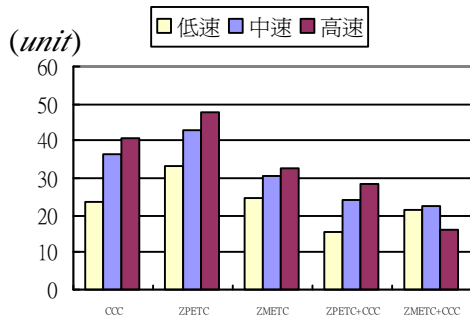


圖 5-2 追跡誤差比較圖

我們可從圖中發現：

1. CCC 的輪廓精密度比 ZPETC 來的要好
2. ZMETC 的輪廓精密度相似於 CCC，且再高速時有較佳的趨勢
3. ZMETC 在不同速度下，其輪廓誤差之變異量不大
4. 整合型控制器可使系統得到最佳的輪廓精密度

從以上的結論，我們可得到幾點重點：

1. ZMETC 兼具了改善追跡誤差與輪廓誤差的功能
2. 整合型控制器的控制效能皆比其他控制器來的要好
3. ZMETC+CCC 的整合型控制器可使系統得到高速的輪廓精密度與追跡精密度

四、計畫成果自評

基於以上所完成的分散式兩軸運動控制系統，對本計畫自評如下：

- 研究內容與原計畫相符程度為 90%，對如何設計 CCC，已有理論基礎，且可調整參數，但對穩建設計，尚待進一步實現。
- 達成 ZMETC 及 CCC 之整合運動控制器，最為穩健及精密。
- 達成 CAN bus 之網路化運動控制實現。
- 本研究結果將在學術會議中發表。

參考文獻：

- [1] F. L. Lian, J. R. Moyne, and D. M. Tilbury, "Network design consideration for distributed control systems," *IEEE Transactions on Control Systems Technology*, vol. 10, no. 2, pp. 297-307, Mar. 2002.
- [2] K. Etschberger, *Controller Area Network*, Germany: IXXAT Press, 2001.
- [3] M. Tomizuka, "Zero phase error tracking algorithm for digital control," *ASME J. Dyn. Syst., Meas. Contr.*, vol. 109, pp. 65-68, 1987.
- [4] 翁啟信, "零振幅誤差追跡運動控制器設計," 國立交通大學, 碩士論文, 中華民國 90 年
- [5] S. S. Yeh and P. L. Hsu, "Analysis and design for the integrated controller for precise motion systems," *IEEE Trans. on Control Systems Technology*, vol. 7, no. 6, pp. 706-717, Nov. 1999b.