

高性能PC_based 運動控制器之設計與發展

Design and Development of High Performance PC Based Motion Controller

計畫編號：NSC 88-2212-E-009-033

執行期限：87年8月 - 88年7月

主持人：李安謙 E-mail: aclee@cc.nctu.edu.tw

執行單位：交通大學機械系

一、中文摘要(關鍵詞：運動控制器、即時控制核心)

本計畫為二年期之計畫，目標是發展一高性能運動控制器。此運動控制器可支援與運動控制有關之產業機械，如 CNC 工具機、放電加工機、工業機器人，甚至次微米精密定位的半導體製程設備。計畫中以雙CPU (PC 及 DSP) 之主僕 (Master and Slave) 架構來發展一即時運動控制系統，其中 slave CPU 主要負責細插值及運動控制之工作，而 master CPU 主要負責粗插值及人機界面之工作。

計畫第一年的研究目標包含三部份：

(1) 以 DSP 為平台，發展一即時控制核心軟體；(2) 路徑插值及加減速之研究及性能模擬；(3) 迴授控制器、前饋控制器之設計及性能模擬。

第二年的研究偏重於系統之實現及實機測試，目標包含五部份：(1) 路徑插值及加減速之實現；(2) 迴授控制器、前饋控制器之實現；(3) 系統鑑別法則建立與實現；(4) 迴授控制器、前饋控制器之調適法則建立與實現；(5) 即時控制核心軟體、路徑插值、加減速及控制法則之實機測試。

英文摘要(Keyword: motion controller, real-time kernel)

This project is a two-years project. The objective of this project is to develop a high performance motion controller which supports the related motion-control industrial

mechanical systems such as the CNC machine tools, EDM, industrial robots and the semiconductor manufacturing equipment, etc.. This project will develop a real-time motion control system based on dual-CPU architecture – master CPU and slave CPU. The master CPU is PC which handles the man-machine interface, contour coarse interpolation, parameters setting of feedback and feedforward controller. And the slave CPU is DSP which handles the contour fine interpolation and the servo control.

In the first year, we are planning to finish the investigations as below : (1) develop the real-time kernel based on the DSP, (2) the study of contour interpolation and Acceleration/Deceleration, (3) design the feedback controller and feedforward controller for precise contouring control . The performance of above-mentioned works will be simulated and evaluated by simulation.

In the second year, this project will finish the following objects: (1) the realization and testing of contour interpolation and Acceleration/Deceleration, (2) the realization and testing of feedback and feedforward controller, (3) investigation and software realization of system identification, (4) parameters tuning of feedback and feedforward controller, (5) experimental verification for the above works in the first and second year.

二、計劃緣由與目的

運動控制器支援與運動控制有關之產業機械，如 CNC 工具機、放電加工機、工業機器人及次微米精密定位的半導體製程設備。而經濟部「發展關鍵零組件及產品推動小組」所擬定的關鍵零組件及產品中就有多項與本計畫密切相關，如電腦數值控制器、機械人、線切割放電加工機等。

近年來，半導體產業發展迅速，PC 功能也隨之日益強大，PC_Based 控制器的發展也漸漸成為全世界控制器研發的主流【1~3】，如1991年歐洲開始了一項控制系統計畫 O S A C A (Open System Architecture for Control with Automation Systems)，目標是研製出自動化系統中的開放式控制系統結構；美國各主力工業控制器廠商也採用 PC_Based 之架構，如 DELTA TAU 公司推出 PMAC 運動控制器，採用 PC 平台及 Window 95【4】。台灣 PC 產業十分蓬勃，無論硬體或軟體開發資源都容易取得，國內產業界應掌握台灣擁有 PC 眾多資源之優勢，積極發展 PC_Based 控制器。

由於 DSP 微處理器計算能力強大，因此，要求高速、高精度之運動控制已使用 DSP 為中央處理器 (CPU)【4, 5~7】。本計畫將以雙 CPU (PC 及 DSP) 之主僕 (Master and Slave) 架構來發展一即時運動控制系統【4, 11】，其中 slave CPU 為德州儀器之 DSP TMS320C52，主要負責細插值及運動控制之工作，而 master CPU 為 PC，主要負責粗插值及人機界面之工作。

本計畫乃針對國內工具機及產業機械之需求，擬發展一以 PC 為基礎之高性能運動控制核心技術，利用 PC 價格低廉的優勢，在其匯流排上加上控制板，達到 CNC 之功能，計畫完成後，對於往後工業界在開發高性能 PC_based 運動控制器時，能提供研發之經驗與相關之技術，縮短其研發摸

索之時間，提升我國工業運動控制器之自主性。

三、研究方法及成果

第一年之研究目標，首先以 DSP 為平台，發展即時多工控制核心軟體【8~10】。針對運動控制之特性，本計畫於 DSP 發展之核心將具有以下特性：

1. 完全優先權式多工。
2. 具數個即時計時器 (Real-time timer)。
3. 中斷處理之延遲 (Interrupt Latency) 要小。
4. 提供行程間通訊 (Inter-process Communication)。

其架構如圖一所示，此核心可供伺服及介面程式發展之基礎。

運動控制所涵蓋的內容可概分為：

1. 運動路徑規畫 (Path planning)。
2. 伺服迴路控制 (Servo loop Control)。

運動路徑規畫過程中，我們必須產生一組描述工件外型的參考命令訊號，將此命令訊號送入對應的控制迴路。此種產生命令訊號的過程，稱為插值 (Interpolation) 或是命令產生器 (Command Generation)

【11~17】。基於高精度、高性能的運動路徑規畫考量，本計畫採用資料命令架構中廣為應用的直接函式計算法來處理插值的運算，其中包含最常見的線性插值法及圓弧插值法，高次的 cubic-spline 插值法，以及衍生出兼顧系統計算時間與軌跡精度的合成插值法 (Hybrid Interpolation)，合成插值法之示意如圖二所示，Host CPU 計算粗差點，而 Slave CPU 則於粗差點間再以高次曲線或直線內插數個命令點。

經由插值機構所得的參考命令將輸入伺服控制系統；當插值運算的輸出改變量大時，對伺服迴路將產生一個大的階梯變化，造成不良影響。因此，參考命令產生後送入伺服迴路之前，一定要經過加減速之處理，以期能達到平順的加工路徑運

動。本計畫利用移動平均的觀念來達成加減速之機構【18】。

關於伺服控制迴授迴路設計，工業上使用之控制器幾乎都是PID型式【19】，因為PID控制器是由比例、積分及微分這些單純的動作構成，很容易理解各控制動作的功能。本計畫提出一般化PID控制器的架構，此架構將考慮驅動器為電流迴路型式及速度迴路型式之控制。另一方面，為了與真實物理世界較吻合，作系統之分析及電腦模擬時，我們將數位類比轉換器(DA converter)之前以數位系統表示，而數位類比轉換器之後以類比系統表示，其架構如圖三所示，其中 $G_p(z^{-1})$ 為受控本體、 $C_{vfw}(z^{-1})$ 和 $C_{vfb}(z^{-1})$ 為速度迴路控制器、 PG 為位置迴路控制器。

要達成高速、高精度之運動控制，必須提升原來迴授控制系統之追蹤能力，所以為了提昇運動控制系統的追蹤能力，本計畫將評估不同前饋控制器(Feedforward Controller)，考慮其與原迴授系統之影響及控制法則之簡單化【20】。然後提出一改良型前饋控制器—直接速度、加速度前饋控制器(DVAFF)，除了能提高追蹤能力外，由於架構簡單，無形中縮短了控制法則之計算時間，且當系統存在出力極限時，可調整直接速度、加速度前饋控制器之增益來減少響應之超越量。其結構如圖四所示，其中 $FFA(z^{-1})$ 為速度迴路前饋控制器控制， K_A 為 $FFA(z^{-1})$ 之增益； $FFV(z^{-1})$ 為位置迴路前饋控制器控制， K_V 為 $FFV(z^{-1})$ 之增益。只調整控制器值但未加前饋控制器之響應如圖五所示，加入前饋控制器後系統位置響應如圖六所示。

第一年度本計畫目前完成之項目如下：

1. DSP即時控制核心規劃。
2. IPC控制介面軟體以C++語言實現。

3. DSP即時控制核心軟體以DSP組語實現。
4. 路徑插值法則理論分析、模擬與推導。
5. 加減速法則理論分析、推導與模擬。
6. 迴授控制器設計、模擬及性能評估。
7. 前饋控制器設計、模擬及性能評估。

四、結論與討論

在本次研究中，經由DSP多工核心軟體設計，提供在Slave CPU進一步發展複雜的整合介面與伺服控制程式。另外也完成路徑插值、加減速法則、迴授控制器與前饋控制器設計及模擬。控制效果之驗證預計在第二年的計畫中完成，我們將繼續完成下面事項：

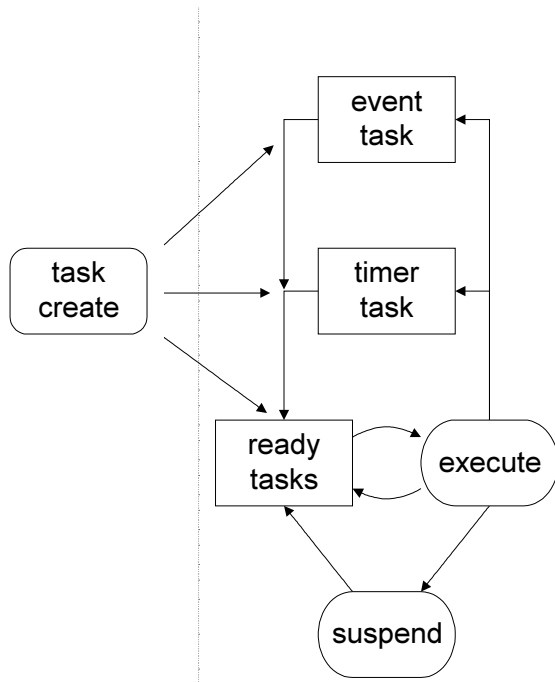
1. 粗插值法則以C++語言實現。
2. 細插值法則以DSP組語實現。
3. 加減速法則以C++語言實現。
4. 系統鑑別法則理論分析與推導。
5. 系統鑑別法則以C++語言實現。
6. 迴授控制器及前饋控制器以DSP組語實現。
7. 迴授控制器調適法則建立。
8. 迴授控制器調適法則以C++語言實現。
9. 前饋控制器調適法則建立。
10. 前饋控制器調適法則以C++語言實現。
11. 運動控制器實機測試。

五、參考文獻

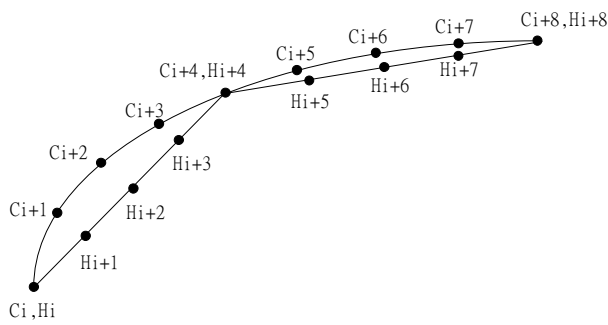
- [1] "PC-Based CNC 控制器與伺服系統應用技術", 工業技術研究院, 機械工程研究所研討會講義, 84年4月14日
- [2] Kolluri, Surya and Tseng, "Simulation of CNC Controller Features in Graphics-Based Programming", Computers in Industry, V. 11, No. 2, pp. 135~146, Jan. 1989

- [3] Halpert and David E., "Object Oriented Programming for Motion Control", IEEE Conference of Electrical Engineering Problems in the Rubber and Plastics Industries, Piscataway, NJ, USA., pp. 58~68, 1991
- [4] "PMAC User's Manual," Delta Tau Data Systems Inc., CA, 1992
- [5] Yasuhiko D., "Servo Motor and Motion Control Using Digital Signal Processors," Prentice Hall and TEXAS Instruments, 1990
- [6] Meshkat S., "Parallel DSPs in Open System Improve Machining Accuracy", PCIM, pp. 78~82 Feb., 1995
- [7] Meshkat S., "Quantifying System Performance VS DSP MIPS-It's About Time", PCIM, pp. 34~46, May. 1994
- [8] David M. A., "Real-Time Software for Control : Program Examples in C," Prentice Hall, 1990
- [9] Tzafestas, Spyros G. and Pal J. K., "Real Time Microcomputer Control of Industrial Processes," Dordrecht Kluwer Academic Pub., 1990
- [10] Stuart B., "Real-time Computer Control," Prentice Hall, 1994.
- [11] Koren Y., and Masory O., "Reference-Pluse Circular Interpolators for CNC Systems ", ASME Journal of Engineering for Industry, vol.103, Feb., pp131-136, 1981
- [12] Masory O., and Koren Y., "Reference-Word Circular Interpolators for CNC systems", ASME Journal of Engineering for Industry, vol.104, Nov., pp.400-405, 1982
- [13] Koren Y., "Computer Control of Manufacturing System ", McGraw-Hill Co., 1983
- [14] Chou J.J., and Yang D.C.H., "Command Generation For Three-Axis CNC Machining", ASME Journal of Engineering for Industry, vol.113, Aug., pp.305-310, 1991,
- [15] Chou J.J., and Yang D.C.H., "On the Generation of Coordinated Motion of Five-Axis CNC/CMM Machines", ASME Journal of Engineering for Industry, vol.114, Feb., pp.15-22, 1992
- [16] Wilson C. S., " Consideration for Motion Controller Trajectory Generators", intelligent Motion, Proceeding, pp.1-14, Oct., 1990
- [17] Dharma S. K., "High Performance Motion Control Trajectory Commands Based on The Convolution Integral and Digital Filtering ", Intelligent Motion, Proceeding, pp.54-64, Oct., 1990
- [18] Chen C.S. and Lee A. C., "Design of Acceleration/Deceleration Profiles in Motion Control Based on Digital FIR Filters," Int. J. Mach. Tools Manufact., Vol. 38, No. 7, pp. 799-825, 1998
- [19] 張道弘, "PID控制理論與實務", 全華科技圖書, 1997
- [20] Masory O., "Improving Contouring Accuracy of NC/CNC Systems with Additional Velocity Feed Forward Loop", ASME Journal of Engineering for Industry, vol.108, pp.227-230, 1986

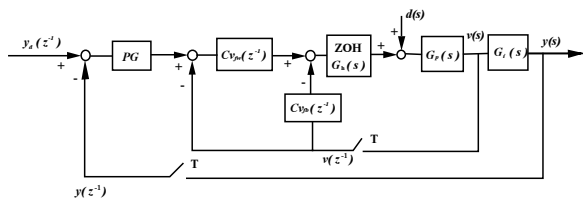
六、圖表



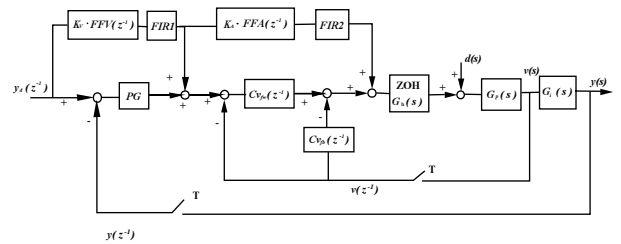
圖一 DSP即時核心架構



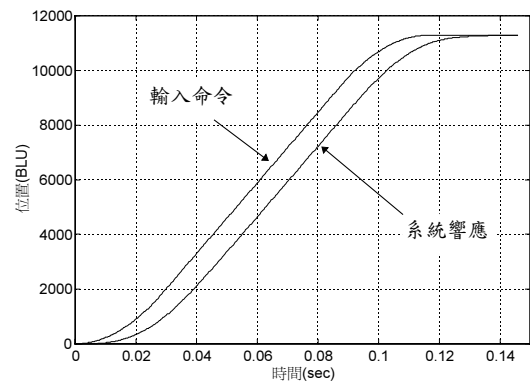
圖二 合成插值法之示意圖



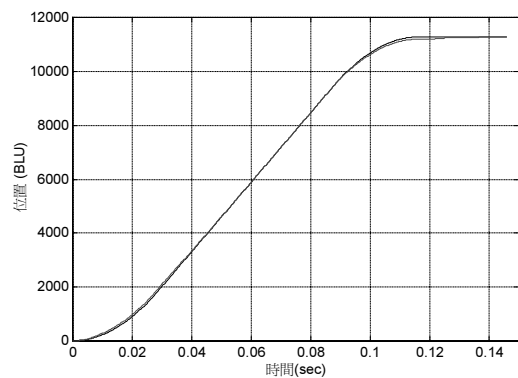
圖三 迴授控制之控制架構



圖四 前饋控制及迴授控制之控制架構



圖五 $\omega_n = 33Hz$ 時的位置響應圖



圖六 加入前饋控制器後的位置響應圖