



行政院國家科學委員會專題研究計畫成果報告

多功能彩色噴墨印表機之設計與實現

(總計劃)噴墨列印強韌 H^∞ 控制之設計Design and Implementation of Robust H^∞ Control for Inkjet Printing

計畫編號：NSC-90-2213-E-019-006

執行期限：90年8月01日至91年7月31日

主持人：容志輝 國立臺灣海洋大學電機系

參與研究生：賴國清、羅國偉

一、摘要：

本整合型計劃的主要目的在研究多功能彩色噴墨印表機之設計與實現，研究主題包括：(一)建立系統之模型並以 H^∞ 強韌控制法則以達到準確的高速列印 (二)開發適用於彩色噴墨印表機之影像壓縮與半色調化技術以提昇圖像的品質 (三)利用特殊用途積體電路之設計以提昇系統的速度並縮小其體積。

二、研究方法與成果：

本整合型計畫每個子計畫環環相扣，無論 H^∞ 強韌控制法則設計、系統模式建立、數位信號與影像處理，以及特殊晶片之開發，無論在觀念上，方法上或成果上都必須相互支援及配合。

在子計劃一中我們完成的工作有(1)系統的鑑別(2)權重函數的選取(2)驅動電路的製作(3)外部 I/O 介面(4)回授電路，在權重函數選取方面，利用 Matlab 所提供的 Robust Control Toolbox 將龐大的運算方程式透過 Matlab 運算求出控制器。

所求出的 H^∞ 控制器為：

$$K(s) = \frac{0.4206s + 4.6040}{s^2 + 118.8820s + 101887}$$

將求出的控制器離散化後才能在 C 語言上執行， $K(s)$ 為我們的控制器，可以令

$$s = \frac{1-z^{-1}}{T} \quad (T \text{ 為 sample time})$$

來將之離散化。經過一些數學的推導後可以找到離散化後的控制器為：

$$y(n) = \frac{u(n)}{C_3} - \frac{C_1}{C_3} u(n-1) + \frac{C_2}{C_3} u(n-2) + \frac{C_4}{C_3} y(n-1)$$

其中：

$$C_1 = \frac{2 + 118.882T}{1 + 118.882T + 1.1887T^2}$$

$$C_2 = \frac{1}{1 + 118.882T + 1.1887T^2}$$

$$C_3 = \frac{0.4206T + 4.604T^2}{1 + 118.882T + 1.1887T^2}$$

$$C_4 = \frac{0.4206}{1 + 118.882T + 1.1887T^2}$$

$u(n-1)$ 為 $u(n)$ 之上一筆資料

$$n = kT \quad k = 0, 1, 2, \dots$$

$y(n)$ 為 16bits 回授訊號， $u(n)$ 為 8bits 之 PC 輸出訊號，系統控制方塊圖如圖 1 所示。

在驅動電路方面我們選用 PBL-3770 這類 IC 來驅動我們的直流馬達，在 I/O 部份則利用研華的 PCL-818L 卡做為我們的 I/O 介面，因其內部附有 A/D 和 D/A 的功能可

以直接使用。並且我們以 16bits 輸出的計數器將回授訊號傳回電腦做控制。

如圖 2、3 所示，由系統響應圖可以了解 H[∞] 控制器能夠精準地使噴墨頭馬達定位，因為響應圖中不管是暫態響應或穩態響應皆能合乎規格。

子計劃二的目的是為了提供彩色掃描噴墨印表機列印系統控制器設計所需之系統模型，以利於後續定位及定速控制器的設計與實現。為因應不同控制法則的使用，在第一年的計畫中我們建立了系統硬體架構，如圖 4 所示，此外還建立了系統常態模型與不確定的參數模型，由於考量模型可能的時變因素，本子計畫第二年主要的目標在於研究線上即時的參數判別法則，以利於模式參數的更新與數位信號處理器的實現，在本年度中，重點在於如何將各子計劃的成果整合，利用數位信號處理器並配合開發的特殊晶片將掃描與列印等功能實現。本整合計畫中伺服控制的部份以研究噴墨印表機噴墨頭速度控制為主，除了改善速度控制的精確度以提昇列印品質，完成的工作有(1)批次強韌參數估測：在此我們發現每一筆輸入輸出的資料可獲得兩個線性規劃中的限制條件，最後我們將其限制條件用矩陣形式表現，再利用線性規劃工具，可將我們所要估測的參數空間表現出來(2)遞迴強韌參數估測：在此以遞迴參數法來減少計算量，以橢圓形的型態來表達我們要的參數集合(3)時變系統：參數可能隨時間變動，如墨水的耗去，我們的方法是再做修正以達更精密的估測

在子計劃三方面，主要發展以數位半色調為基礎之 JPEG 影像壓縮技術。透過結合半色調演算法與人類視覺系統，我們得以設計出完全符合 JPEG 標準影像壓縮程序

的量化表。透過這個程序所設計出的 JPEG 量化表能夠有效地提高影像的壓縮率，而且能夠列印出品質優良的影像。我們所提出的量化表設計程序並不預設半色調演算法，因此可適用於各種半色調演算法。子計劃三在本年度完成的工作有：(1)量化表的設計：要將半色調演算法與 JPEG 編碼器結合，必須先決定衡量半色調誤差和量化誤差的適當方式(2)半色調誤差的計算：(3)量化誤差的計算(4)量化表設計演算法和收斂。以上演算法收斂後，便設計出一個結合半色調演算法和人類視覺系統的 JPEG 量化表。圖 5 為其設計流程圖。

子計畫四主要藉由特殊用途積體電路設計技術(ASIC)，來作印表機系統電路整合，以及將適當之強韌控制法則與整合技術，以 ASIC 設計中之快速電路設計驗證方法(FPGA)及全客戶設計方法(Cell Based or Full-Custom Design)加以實現，而得以將新控制法則之多功能印表機系統加以驗證，此外亦可提高週邊系統之速度與功能，減少系統電路複雜性與提高系統之保密性。子計畫四至今為止，已完成(1)整合週邊數位電路之類比數位轉換器：此部份將原先十位元 40MHz 單端類比數轉換器電路改善為一顆十位元，取樣頻率 100MHz 的雙通道全差動管流式平行類比數位轉換器，單通道為 50MS/s，並整合週邊電路為一顆 ASIC。(2)步進馬達驅動電路：以 FPGA 來設計步進馬達的驅動電路(3)驅動 CCD 之時序電路：CCD 的時序控制信號是依據數位電路設計的方法設計出來的，也因此適合利用 FPGA 來作快速驗證。圖 6 為 CCD 控制訊號時序電路圖(4)列印控制電路的設計與驗證(5) 整合各個週邊電路：我們使用了 Xilinx 的 XC4003PC84 型的 FPGA，不僅是

將噴墨頭控制電路縮小了面積，並且連同馬達控制電路和 CCD 控制電路，將它們都整合在同一晶片上再作不同 PIN 腳輸出，已取代多個電路板，有效的減小噴墨印表機的體積。如圖 7 所示。

三、結論：

在這三年的計劃裡，大家的分工合作已有成果出來，在子計畫一中目前的印表機控制已能做到定位控制，接下來如果對列印品質要求更高，我們可以針對各種非線性或時變現象，如皮帶張力、系統磨擦力...等等來設計控制器。噴墨印表機列印速度雖然無法超越雷射印表機，但由於它具有低價位和實用性高的優點，因此廣受一般大眾喜愛，亦成為電腦週邊不可或缺的配備。子計畫二中系統鑑別的部份，我們利用測試的信號送入印表機的系統，量測噴墨模組的輸出，利用輸入輸出資料的分析，套用前述的 H[∞]強韌判別的運算法則，計算出噴墨列印系統的模型，再進行 H[∞]強韌控制器的設計，最後計畫將控制法則置於 DSP 中實現。在子計畫三方面透過了結合半色調演算法與編碼器的觀念來設計 JPEG 量化表，透過這個新方法可以將基線 JPEG 的壓縮率提高 40%以上。雖然新方法所得之 PSNR 值大約達到基線 JPEG 的 PSNR 值之 90%，但是半色調列印的品質卻近似。由此可知新方法能在不影響列印品質的前提下顯著提升壓縮率。子計畫四整合性計畫中，目標為整合系統電路，包括噴墨頭驅動電路與馬達驅動電路，使用 FPGA 做快速驗證與實現數位部分的周邊電路，以提高電路速度與穩定性，並減少系統電路複雜性，提高系統之保密性。整個系統整合的硬體電路圖如圖 8 所示，我們採用 DSP 晶片來整合列印的功

能，使其可以達到列印的目的，並嘗試將不同的半色調演算法實現在所整合的彩色噴墨印表機。

四、參考文獻：

- [1] Thrasyvoulos N.~Pappas and David L.~Neuhoff, "Printer models and error diffusion", IEEE Trans. Image Processing, vol. 4, no. 1, pp 66-80, January 1995.
- [2] Thrasyvoulos N.~Pappas, "Printer models and color halftoning,"Proc". IEEE Int.Conf. Acoustics, Speech and Signal Processing, vol. 5, pp 333-336, April 1993.
- [3] Byonghyo Shim and Wonyong Sung ,Adaptive threshold error diffusion technique for color inkjet printer," Proc. of Int. Conf. Image Processing, pp 779-782, Oct. 1997.
- [4] Gregory S.~Yovanof, "Compression in a printer pipeline," Conference Record of The Twenty-Ninth Asilomar Conference on Signal, System and Computers, pp 219-223, Nov. 1995.
- [5] V.~Ostromoukhov, P.~Emmel, N.~Rudaz, I.~Amidror, and R.D.~Hersch, "Dithering algorithms for variable dot size printers," Proc. IEEE, 1996.
- [6]TMS320C5x User's Guide, Texas Instrument Inc., 1997.
- [7] Datasheet-PBL3717/2 stepper Motor Drive Circuit.

[8] T.~Yamamoto, U.~Takahara, H.~Shimegi, S.~Toshiharu, T.~Shozo, and O.~Toshiro, "A design method of robust controller and its application to positioning servo," JAME Series III., vol. 33, pp 649-654, 1990.

[9] I.D.~Landau, System Identification and Control Design, Prentice Hall, 1990.

[10] R.~Johansson, System Modeling and Identification, Prentice Hall, 1993.

[11] R.L.~Kosut, M.K.~Lau and S.P.~Boyd, "Set-Membership Identification of Systems with Parametric and Nonparametric Uncertainty," IEEE Transactions on Automatic Control, Vol. 37, pp. 929-941, 1992.

[12] R.C.~Gonzalez and R.E.~Woods, Digital Image Processing, Addison Wesley, 1992.

[13] D.L.~Neuhoff, T.N.~Pappas, and N.~Seshadri, "One-dimensional least-squares model based half-toning," in Proc. ICASSP-92(San Francisco, CA), Mar. 1992, pp 189-192, vol. 3.

[14] J.~Wild, "Design of multilevel threshold matrices for ordered dither digital half-toning, optimized for edge sharpness, detail reproduction and texture," IEEE Comput. Soc. Press, 1989.

[15] R.C.~Gonzalez and R.E.~Woods, it Digital Image Processing, Addison Wesley, 1992. G.K.~Wallace, "The JPEG still picture

compression standard," IEEE Trans. Commu. of the ACM, vol. 34, no. 4, pp. 30-44, Apr. 1991.

五、圖表：

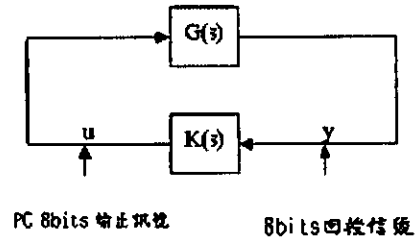


圖 1: 系統控制方塊圖

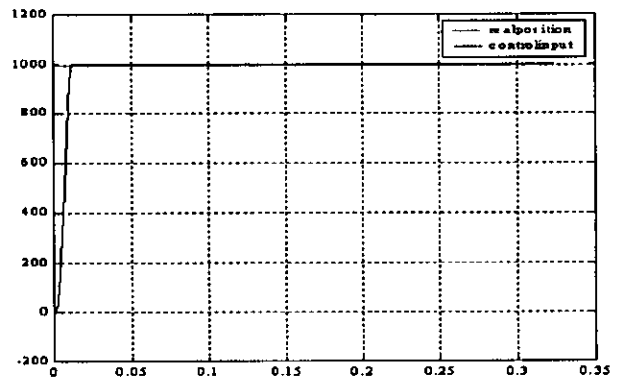


圖 2: 加 H^∞ 控制器，command=1000 時之系統響應圖

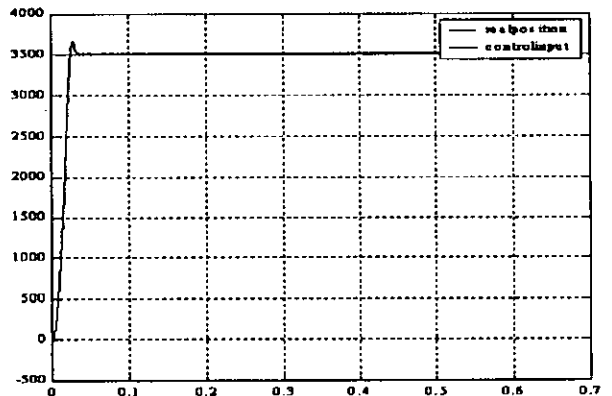


圖 3: 加 H^∞ 控制器，command=3500 時之系統響應圖

