

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

(子計劃一)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-019-003

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

1.摘要:

由於電腦科技的進步，使得電腦周邊產品蓬勃發展，其中，彩色噴墨印表機或許是最被廣為應用的周邊產品之一。在子計劃一中，我們針對列表機噴墨頭馬達做控制。首先作系統鑑別、權重函數的選取，最後利用 Matlab Robust Control Toolbox 所提供的指令找到 H^∞ 控制器，實驗中以研華的 PCL-818L 介面卡做 I/O 介面並設計出所需之驅動電路，且用一個 16 位元輸出的計數器將馬達訊號解碼，再透過 PCL-818L 將回授訊號傳回電腦。最後將 H^∞ 控制器離散化，並撰寫 C 語言做噴墨頭馬達的定位控制和強健控制。

2.動機與目的:

針對噴墨印表機而言，評估其列印品質的標準相當多，其中一項是列印垂直線的對準度(alignment)。由於噴墨頭是以固定的頻率噴點，因此噴墨頭的移動越穩定越能將墨水噴在正確的位置，所以噴墨頭移動的穩定度是影響列印品質好壞的重要因素之一。現在的家電用品大多強調輕、薄、短、小，不但能方便使用，也能降低製作

成本，我們可以藉由縮短噴墨頭的加速距離，來縮小噴墨印表機的體積。本計劃研究的重點是如何控制噴墨頭馬達的移動位置，以改善其穩態響應及暫態響應的性能。本計劃採用直流伺服馬達來帶動噴墨頭，配合 H^∞ 強健控制演算法則來減少各種雜訊干擾及量產校正(calibration)誤差之影響，使馬達能定位在最佳的位置上。

3.已完成的工作:

3.1 系統鑑別

先由 DSP 晶片儲存光學尺所產生的多筆脈波資料，再由 UART 與 RS232 介面傳輸到電腦中，最後依最小平方法來估測出系統的一階模型:

$$G(s) = \frac{136.3623}{s + 10.9458} \quad (3.1)$$

由圖 3.1 可看出此一階模型非常近似原系統。

3.2 權重函數的選取

利用 Matlab 提供的 Robust Control Toolbox 工具來幫助我們輕易的將資料龐大的運算方程式透過 Matlab 內建指令之輔助找到 H^∞ 控制器為:

$$K(s) = \frac{0.4206s + 4.6040}{s^2 + 118.8820s + 101887} \quad (3.2)$$

3.2.1 權重間的協調

權重函數的選擇是要取得各規格間的協調且降低彼此的矛盾性，分別討論如下：

- (1) 降低干擾和控制機構單元不確定性的影響。
- (2) 穩態誤差的要求。
- (3) Matlab algorithm 的限制。

3.2.2 Matlab 模擬

我們利用 Matlab 做以下的模擬：

- (1) 選取權重函數：整個控制迴路架構圖如圖 3.2 所示，圖中 W_1 、 W_2 即為要找的兩個權重函數。
- (2) 利用 Matlab 模擬出的 S-T 響應圖去判斷最佳的權重 W_1 、 W_2 。找到兩個最佳的權重為：

$$W_1 = \frac{0.5s + 1}{100s + 1}, \quad W_2 = 2s \quad (3.3)$$

3.2.3 H^∞ 控制器離散化

必須將找到的控制器離散化後才能撰寫 C 語言來作控制，在 3.2 式中 $K(s)$ 為控制器，可以令 $s = \frac{1-z^{-1}}{T}$ (T 為 sample time) 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 16 位元迴授訊號， $u(n)$ 為 8 位元之電腦輸出訊號，系統控制方塊圖如圖 3.3 所示。

3.3 驅動電路

直流伺服馬達是透過皮帶來帶動噴墨頭，其必須使用驅動電路才能轉動，我們利用的直流馬達驅動 IC 之內部架構圖如圖 3.4 所示，下面對這顆 IC 做介紹：

(1) 直流馬達利用電流驅動器 PBL3770 這顆 IC 來驅動，其輸入電壓範圍是 0~5V，相對應的輸出電流大小是 0~1.6A。其中由十一接腳輸入電壓， I_m 為輸入電流，輸入電流的百分比是由第七隻腳位 I_o 和第九隻腳位 I_1 決定。

(2) PBL3770 這顆 IC 有一個重要的特性，我們只要控制第八隻腳位就可以控制電流的方向，亦即可以控制馬達帶動噴墨頭移動的方向。

3.4 外部 I/O 介面

利用研華的 PCL-818L 和其 I/O 介面截取卡做為我們的 I/O 介面，因其內部附有 A/D 和 D/A 的功能故為我們選擇的對象。

3.5 回授電路

馬達的回授訊號經由光學尺編碼後是兩個相位相差 90 度的脈波訊號，當噴墨頭移動時會由光學尺送出脈波訊號，每移動一英寸產生 150 個脈波，移動速度越快脈波產生越多，亦可用這情形來量測噴墨頭移動速度，除此之外，我們利用 16 位元輸出之計數器將回授訊號傳回電腦做控制。

3.6 實作響應圖

如圖 3.5 所示，由響應圖我們可以了解 H^∞ 控制器能夠使噴墨頭馬達準確地定位。圖 3.6 為我們的實作硬體照片。

4. 結論與展望:

噴墨列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。

在子計劃一中，列表機已能做到定位控制，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。

5. 參考文獻:

- [1] G. Zames, "Feedback and optimal sensitivity: model reference transformations, multiplicative seminorms, and approximate inverses, IEEE Trans. Automat. Contr., vol. AC-23, pp.301-302, 1981.
- [2] J.C.Doyle, B.A. Francis and A.R. Tannenbaum, Feedback Control Theory, Maxwell MacMillan, Singapore, 1992.
- [3] J..M.Maciejowski, Multivariable Feedback Design, Addison-wesley, Reading, Massachusetts, 1989.
- [4] B. A Francis, A Course in H^∞ Control Theory, Lecture Notes in Control and Information Sciences, Vol.88, SpringerVerlag, 1987.
- [5] J.C. Doyle, K. Glover, P.P.Khargonekar and B.A.Francis, State-space solutions to standard H^2 and H^∞ control problems, IEEE Trans. Automat., vol. AC-34, pp. 831-847, 1989.
- [6] K. Glover and J. C. Doyle, State-space formulae for all stabilizing controllers that satisfy an H^∞ norm bound and relations to risk sensitivity, Systems and Control Letters, vol. 11, pp. 167-172, 1988.
- [7] C.L. Phillips and H.T. Nagle, Digital Control System Analysis and Design, 3rd Edition, Prentice Hall, New Jersey, 1995.
- [8] K. Ohishi, S.Matsuda, and K. Ohnishi, "DSP-based DC servo acceleration control without speed sensor," IEEE PESC Conference, pp. 480-485, 1989.
- [9] 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.

[10] F.B. Yeh and C.D. Yang, Post modern control theory and design, Eurasia Book Company, Taipei, Taiwan, 1991.

[11] 林能賢，噴墨印表機伺服控制系統的設計與實現，海洋大學電機工程研究所碩士論文。

[12] 蒙以正，Matlab 5 專業設計技巧。

[13] 殷孟雲，噴墨印表機設計原理，全華出版。

6. 圖表:

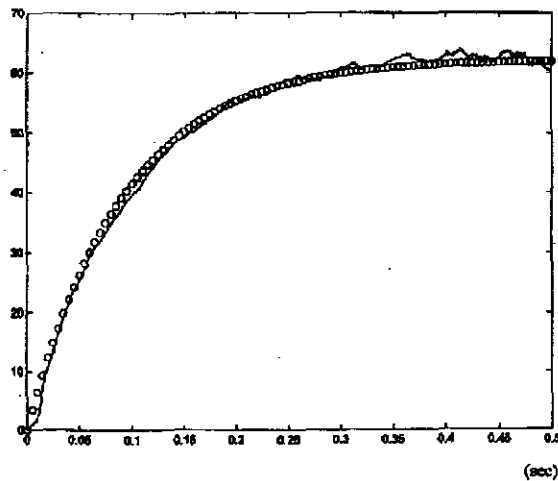


圖 3.1: 一階模型與原系統響應的比較圖
(圈圈形成之曲線為一階模型)

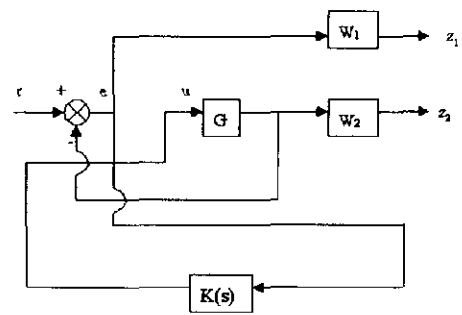


圖 3.2: 控制迴路架構圖

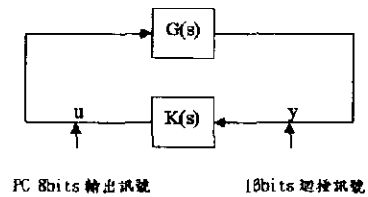


圖 3.3: 系統控制方塊圖

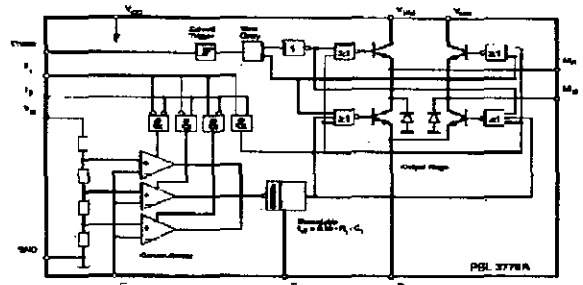


圖 3.4: PBL-3770 內部架構圖

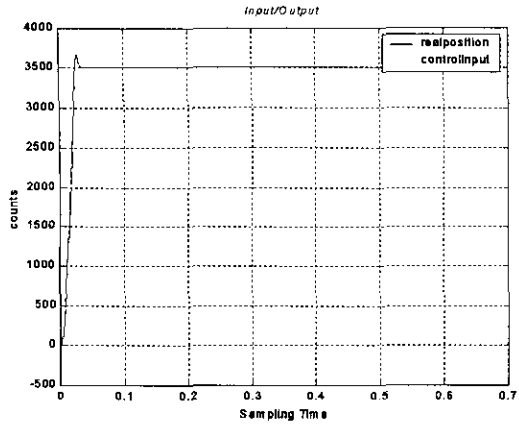


圖 3.5: 加 H^∞ 控制器, $\text{command}=3500$ 時之系統響應圖

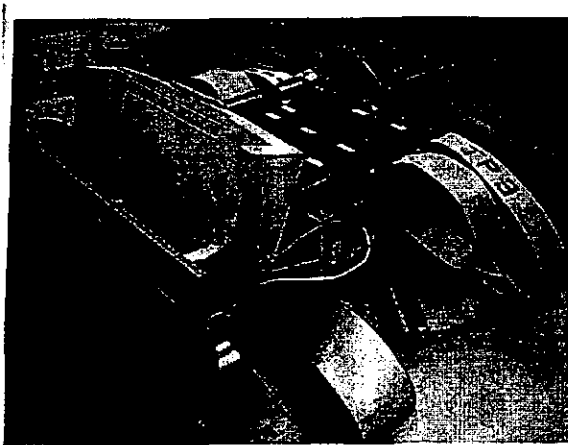


圖 3.6: 硬體實作相片