

行政院國家科學委員會專題研究計畫成果報告

線性馬達驅動之盲用點字印表機研究

Analysis and Design of Linear Motor Driven Braille Printer

計畫編號：NSC 89-2614-E-032-001-

執行期限：88 年 8 月 1 日至 89 年 7 月 31 日

主持人：楊勝明 副教授 淡江大學機械系

共同主持人：葉豐輝 副教授 淡江大學機械系

計畫參與人員：林逢傑、李沛恆 淡江大學機械系碩士班

一、中文摘要

本計畫的目的是研究利用線性馬達作為盲用點字印表機的驅動控制，使其傳動系統可以快速、精確定位，以提昇其列印的性能。一般撞擊式的印表機傳動機構通常是以旋轉式的馬達透過皮帶將打點器移動至所要的位置，這種機構由於皮帶的關係較易產生振動問題，致使成列印品質及速度降低。而本計畫嘗試分析設計以線性無刷馬達直接驅動打點器的機構，並應用向量控制理論以控制馬達，同時研究打點器之控制法則以降低週期時間並提升列印的速度；最後並且實作軟體以實驗驗證理論分析的結果。

關鍵詞：盲用點字印表機、線性馬達、無刷直流馬達、向量控制

Abstract - The objective of this project is to design a control system for Braille Printer using linear motor; the goal is to achieve better positioning and speed in printing. Conventional impact printers usually employed stepper or dc motors and belt to drive its print-head, this mechanism requires significant design efforts to avoid vibration and hunting problems due to the harmonics of the mass-belt link of the system. This project investigates a direct drive structure using linear brushless motor to eliminate the above problems. Field orientation control scheme is used for the motor control to improve its performance. A method to reduce print-head cycle time is also proposed. Both simulation

and experimental verifications are performed to verify the proposed control schemes.

Keyword: Braille Printer, Linear Motor, BLDC motor, Vector Control

二、緣由與目的

紙張自古以來一直都是傳遞訊息的主要媒介，而今日不論是個人或公司機關的資訊系統亦為不可或缺的設備之一。然而對盲人而言，由於視覺器官的障礙而喪失了接收視覺資訊的能力，以視覺為媒介的顯相器、印表機等對他們的生活而言是毫無幫助。而隨著電腦資訊技術的快速發展，點字成為盲人與電腦溝通的主要方法，但目前盲用點字印表機以國外進口為主，價格相當昂貴，並非一般盲人所能負擔。因此，為了使盲人亦能利用電腦資訊以增進他們生活的品質，甚至利用電腦作為工作輔具，開發高性能、價格合理的利用觸覺傳遞電腦資訊的點字週邊設備為本計畫所針對發展的技術。

撞針撞擊式點字印表機的動作原理是利用撞針撞擊紙張，使被撞擊的部分產生凹凸的盲人點字碼（Braille Code）。這種機械式的點字印表機與早期陣列式印表機類式，其價格要較熱熔式點字印表機[1]便宜。撞針撞擊式印表機傳動機構的設計，通常是以旋轉式的直流或步進馬達透過皮帶傳動固定於滑軌上的打點器的撞針線圈機構，馬達控制系統並沒有撞針的實際位置回授，因此很容易使位置控制系統產生振動或追逐現象。同

時，為避免打點器在定位時振動所產生的問題，通常必須增加列印的週期時間。雖然利用非線性控制[2-5]或智慧型的控制，如模糊控制、類神經網路等[6-7]，可改善以皮帶驅動的點字印表機控制的性能，但這些終究只是小幅度的改善；欲使此類印表機的性能顯著地改變必從傳動機構著手。例如，若能以線性馬達驅動，則以上所述之振動的問題幾可不考慮，而且可大幅提昇點字的速率。

本計畫研究探討以線性無刷馬達驅動之點字印表機的驅動與控制系統設計，主要內容包括以下三項：

- 1) 線性馬達驅動之印表機傳動機構設計
- 2) 馬達與打點器之控制系統之設計
- 3) 實作軟硬體以驗證設計的控制法則

原計畫擬採用線性感應馬達作為點字印表機的驅動，但由於可以購得的線性感應馬達規格都相當大，並不適合於印表機使用；而且由於經費的關係，所以最後我們使用線性直流無刷馬達作為驅動。無刷馬達之成本雖較感應或步進馬達高，但其驅動性較好，因此對計畫之研究目標與方法並不會有任何影響。

三、研究方法與結果

影響點字印表機列印品質最重要的因素是傳動機構的定位控制精確度與週期時間。本研究以線性直流無刷馬達做為印表機之傳動機構，可免除傳統以旋轉馬達與皮帶帶動時會產生的振動、齒隙等問題外。又由於是直接驅動，故可加速列印速度。此外，利用具智慧的控制方法於打點器加上，亦可減少週期時間且不會增加成本。

線性馬達驅動之印表機傳動機構設計

圖一為以線性馬達驅動之盲用點字印表機傳動機構設計示意圖。水平移動的驅動使用一線性無刷馬達，動子跨架在兩條滑軌上，而其下為馬達之永久磁鐵；在動子上則有定子線圈（Stator），控制線圈之電流可改變加在動子上的電磁力以控制動子的運動，

動子的位置訊號則由一平行於滑軌的光學尺來讀取。

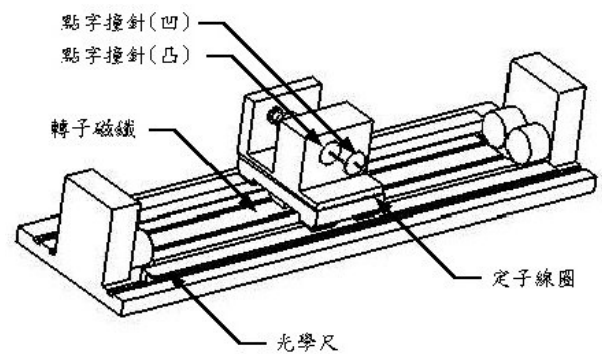
打點的點字頭裝設在馬達的動子上，如圖一所示；為了方便研究，僅架有兩個打點器，分別一凸一凹的撞針使其可以打出正反兩面都能摸出為凸點的點字文件。此二打點器擺放成有一行距高度差的形式，即利用兩個凸點間的空隙打出凹點，如此可同時列印正反兩面的資料，同時又可避免同一位置同時打出凹點跟凸點，而造成誤讀。

線性無刷馬達之模式與控制

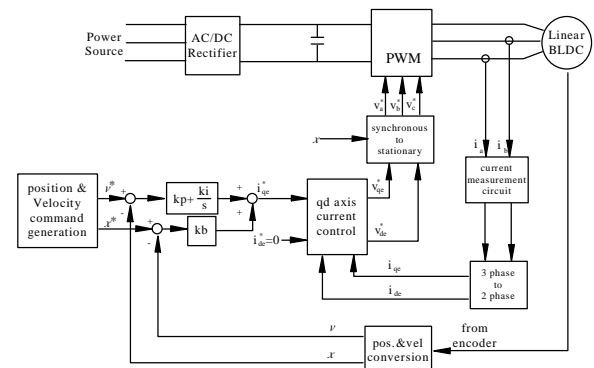
線性直流無刷馬達的控制是利用向量控制的方法[8]來達到高動態響應的性能，其基本原理簡述如下。馬達的電壓若以 d-q 同步座標表示，可得下式：

$$V_{qs} = r_s I_{qs} + p\{I_{qs}\} + \dot{S}_s\{I_{ds}\} \quad (1)$$

$$V_{ds} = r_s I_{ds} + p\{I_{ds}\} + \dot{S}_s\{I_{qs}\} \quad (2)$$



圖一、以線性馬達驅動之盲用印表機傳動機構設計示意圖



圖二、線性無刷馬達之控制系統方塊圖

上式中之 λ_{qs} 與 λ_{ds} 分別為 q、d 軸之磁通， r_s 為定子線圈電阻， $p=d/dt$ ， S_s 為電流頻率。q、d 軸之磁通又可以以電流表示成： $\lambda_{qs} = L_q I_{qs}$ ， $\lambda_{ds} = L_d I_{ds} + \lambda_m$ ， λ_m 為永久磁鐵所產生的磁通。利用(1)(2)兩式可求出線性無刷馬達的力矩方程式如下：

$$T_e = \frac{3P}{2} [\lambda_m I_{qs} + (L_d - L_q) I_{ds} I_{qs}] \quad (3)$$

P 為極對數。因無刷馬達本身已具有磁鐵，故控制時令激磁電流 I_{ds} 為零，因此力矩方程式可簡化如下：

$$T_e = \frac{3P}{2} \lambda_m I_{qs} \quad (4)$$

因為 λ_m 為定值，故馬達的輸出力矩與 I_{qs} 成正比，因此只要控制即可控制 I_{qs} 即可控制線性無刷馬達的動態。

線性無刷馬達以向量控制時控制系統的方塊圖如圖二所示。因為電流控制在同步座標執行以降低其追蹤誤差，故回授之電流需先轉換至同步座標，之後在執行控制的計算。控制器計算之後，再將電壓命令轉換回固定座標並輸出至 PWM。馬達的位置與速度迴路為一狀態回授 (State Feedback) 控制，因此需計算位置與速度之命令；經過狀態回授控制器計算後的值為 I_{qs} ，以控制馬達的電磁轉矩。

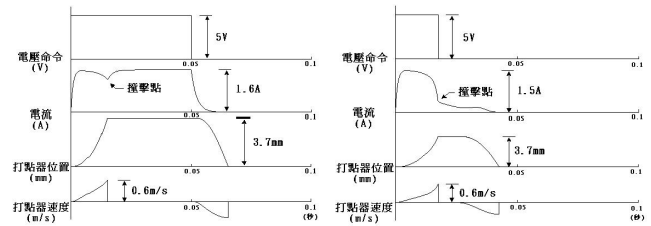
打點器控制

傳統的點字印表機通常是給定一個夠長時間的電壓脈衝命令，讓撞針能夠確實地打在紙上產生點字。此方法雖然簡易，但因為撞針在撞擊後電壓脈衝並未立即消失，而使撞針多停留在紙張和滾輪上一段時間，這對點字的品質並無幫助，但卻會增加點字的週期時間，降低列印的速度。事實上，只要撞針在撞擊時具有足夠的動能，即撞擊時的速度夠大，即可打出清楚的點字。而此速度可經由適當地設計線圈、電源電壓、打點器參數、與移動之間距便可得到。然而在撞擊後，線圈電壓應立即去除，俾使撞針儘速返回待命點，以降低點字的週期時間。但在沒有撞

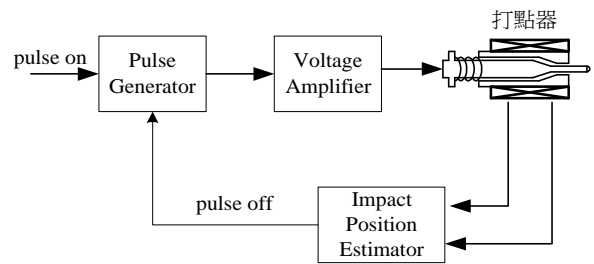
針位置資訊的情況下，要得知撞針是否撞到滾輪並不容易。本計畫提出一利用量測線圈的電流以估測撞擊點的方法，此方法可由圖三所示打點器打擊時的線圈電壓、電流、位置與速度之模擬結果來說明。觀察圖三 a) 知在撞擊的瞬間打點器的速度會突然降到零，同時電流也會由下降轉變為上升。此現象可由以下線圈的電流的方程式得知：

$$\frac{di}{dt} = \frac{e}{L} - \left[\frac{v}{(x_i - x) + g} + \frac{R}{L} \right] i \quad (5)$$

在撞擊前，當速度 v 夠大時， di/dt 值會小於零；反之，在撞擊後， $v=0$ ， di/dt 值則會大於零。因此藉著量測電流並計算其微分值即可知道撞針是否撞到滾輪，一旦控制器偵測到撞擊點之後即可將線圈電壓去除。以此方法控制後的模擬結果如圖三 b) 所示，點字的週期時間很明顯地比圖三 a) 所示的時間短。又此控制方法可參考圖四的方塊圖。



a) 固定電壓脈衝 b) 加上撞擊點控制
圖三、打點器之控制模擬結果



圖四、打點器之控制方塊圖

實驗系統與實驗驗證結果

實驗的控制系統設計，我們使用一 TMS320C240 DSP 來執行所有的控制迴路；

線性馬達的電流控制與向量控制執行速度為 9.8 kHz，以提昇控制系統的頻寬。打點器電壓脈衝控制因為必須估測撞擊點，故亦在此速度執行。馬達的位置與速度迴路的執行速度則為 1 kHz。又實驗系統僅用一個點字頭作為控制法則的驗證。整個實作系統的方塊圖如圖五所示，系統的實體照片見附錄一。

圖六顯示實驗系統以大約 6 點/sec. 的速度打出間距為 2 mm 的點字時的馬達位置、速度、電流，以及打點器之電壓命令與位置之波形。觀察此結果，點字的時間業已經由前面描述的控制方法縮減至其最小值，馬達大約輸出其額定電流，但依然需要約 0.18 秒才能完成一個點字週期。由於此線性馬達之原用途並非做為印表機用，因此，若能重新設計改用較適合的馬達，並降低馬達負載重量等，必可大幅降低點字週期時間。

四、結論與成果

本計畫的主要研究成果如下：

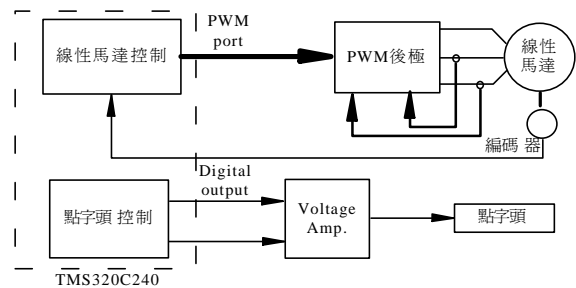
- 1) 研究設計一以線性無刷馬達驅動之盲用點字印表機傳動機構，此機構由於是直接驅動，所以沒有傳統以旋轉馬達與皮帶帶動時會產生的振動、齒隙等問題外，且可加速列印的速度。
- 2) 研究設計一使用電壓脈衝驅動，但點字週期時間最小化的方法，此方法可提升列印的速度但並不會增加系統成本。
- 3) 實作盲用點字印表機之軟硬體以驗證設計的控制法則。由於受限於線性馬達規格，實驗結果顯示約需 0.18 秒才能完成一個點字週期。但若改用較適合的馬達，可以再降低點字週期時間，以增加列印的速度。

五、計畫成果自評

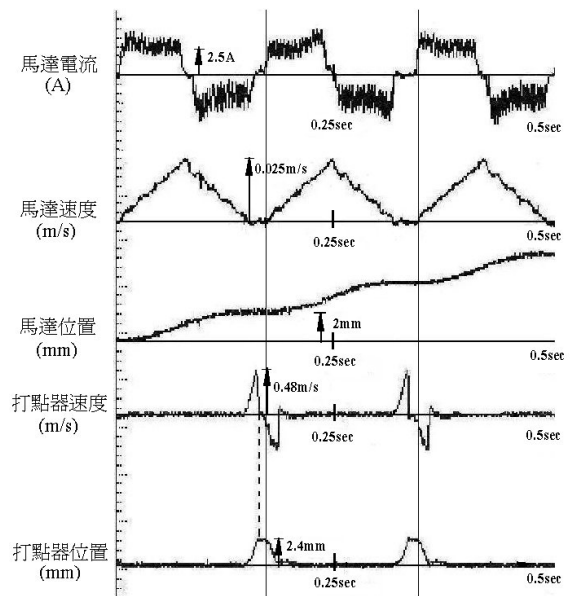
- 1) 本計畫的研究內容與原計畫最大的不同處是原計畫擬採用線性感應馬達作為點字印表機的驅動，但由於經費的關係，可以購得的線性感應馬達規格都相當大，並不適合於印表機使用，所以最後我們使用

一由其它經費購買的線性直流無刷馬達作為驅動。但除了無刷馬達成本較高外，機構、打點、驅動器等研究皆與原計畫相同。整個研究的重點在盲用點字印表機系統之機電整合與實作，最後結果也都能達成預期目標。

- 2) 研究的過程中最具學術性價值的部分是關於打點器的控制，我們研究出一利用量測線圈的電流以估測撞擊點的方法，而利用此資訊可以控制打點器的電壓，以減少點字週期時間以提升列印的速度，但並不會增加系統成本。目前正在整理此研究成果，將以專文發表在與控制相關的研討會。



圖五、實作系統的方塊圖



圖六、盲用印表機以高速打點時之馬達位置、速度、電流，以及打點器之電壓命令與位置

六、參考文獻

- [1] Tsutomu, Y. Tsutomu and Yoshimichi, "Braille printer using hot-melt material", Journal of Microcomputer Application, Vol.13, No.2, pp.123-131,1990.
- [2] Iwazaw, M. Hashimoto and N. Tagawa, "Development of an Ultrahigh-Speed Serial Printer using the Modal Control", JSMA International Journal, SIII, Vol.33, No.1, pp.83-88, 1990.
- [3] C. Johnson and R. D. Lorenz, "Experimental Identification of Friction and Its Compensation in Precise, Position Controlled Mechanisms", Trans. of IEEE-IAS, Nov./Dec., 1992, pp.1392-1398.
- [4] K. Sato, K. Tanaka, Y. Mouri and T. Tamatsu," Influence of Printhead Vibration in Impact Printer on Printing Quality", JSME International Journal, series III, Vol.33,No.1, pp.65-69,1990.
- [5] Tung, "Chaotic Dynamics of an Impact Printer Model", Journal of the Chinese Society of Mechanical Engineers, Vol.11, No.2, pp.159-164, 1990.
- [6] 華建智，葉豐輝，蔡慧駿，李經綸，1998，"適應性類神經模糊控制系統於盲用點字印表機之應用"，1998 自動控制研討會暨兩岸機電及控制技術交流學術研討會，1998.
- [7] 王西幸、葉豐輝、蔡慧駿,"電腦輔助盲用印表機設計與模擬之應用",中國機械工程學會第十五屆全國學術研討會, pp.737-744, 1998.
- [8] D.W. Novotny, and T. A. Lipo, "Vector Control and Dynamics of ac Drives", Oxford Science Publications, 1996.

附錄一、實作系統的照片

