

行政院國家科學委員會專題研究計畫成果報告

以 DSP 為核心之高速射出成型控制系統研究

計畫編號：NSC 90-2212-E-164-003-

執行期限：90 年 08 月 01 日至 91 年 07 月 31 日

主持人：趙時勉

執行機構及單位名稱：修平技術學院電機系

一、中文摘要

本計畫利用 TI 所生產之單晶片 DSP(TMS320LF2407)來研製一個控制晶片並結合週邊電路，實現所設計之電液伺服系統之位置與速度控制以達到射出成型製程中高速射出之要求。為驗證系統之可行性，除了以電腦軟體模擬分析驗證外，並製作一套實驗設備來測試整體系統之性能。

關鍵詞：單晶片 DSP、速度控制、射出成型製程

Abstract

This project used TI TMS320F2407 DSP to develop an electro hydraulic servo control system to conduct precise position and velocity control to meet high-speed requirements in the injection molding process. To demonstrate the validation and the performance of the system, computer simulations were presented and hardware in the loop test results were also presented.

Keywords:DSP、velocity control、injection molding process

二、緣由與目的

射出成型製程，因其生產成本低、產品質量輕與可製造形狀複雜產品的特點，而成為最重要的加工技術之一。近年來，塑膠製品在普遍化的同時，對於產品的品質要求也愈來愈嚴格。成品不僅要輕又薄，形狀也愈來愈複雜。雖然射出成型加工法的應用已相當的長久和廣泛，但對上述提到的產品，除了需要在高速化的成形條件下生產才能產出，也才具有利潤。而高速化的成形條件下，些微的成型條件變

化將會造成成品品質極具不穩定的結果。為了解決因高速射出而衍生的問題，有待於研究的項目還相當的多。對於高速射出，基本上控制的方法或可參考。如Wang[1]探討以遞迴最小平方誤差法對電液控制充填速度動態系統做系統判別，Pandelidis和Agrawal[2]以固定結構之Deadbeat控制器，最佳控制理論在充填速度控制上[3]Davis等[4]利用伺服控制系統控制射出速度，Chiu, Shih and Wei,[5]應用模式跟隨控制法則（Model Following）控制射出速度及Gao等人[6]以適應控制法則（Adaptive Control）控制射出速度，均有相當之成果。然而，在高速的要求下，控制器的反應速度、精度及受控系統在相當大的負載下的穩定度等現象在學術上的研究則相當的缺乏。因此本研究計畫將針對高速射出成型製程中最重要的製程參數：溶膠充填速度進行下列之探討：（1）高速射出成型機的動力系統結構及高速充填速度的動態模式（2）高速充填速度的控制及實現。

為了使液壓驅動系統的效能增高，在設計上系統內漏及機械磨擦力均儘可能的加以降低。然而，對閉迴路伺服控制而言會使得系統在高增益值下趨於不穩定。如以加入速度或速度與加速度的回授信號，並配合有適當反應快速的控制閥，可主動的提昇系統的阻尼比值。只是這種方法需要考慮到因增加感測器所產生的成本及安裝的問題。解決這些因硬體所產生的問題，狀態變數觀測器（state variables observer）為一種具有潛力的方法。狀態變數觀測器可經由模擬的方法，提供所須要的速度或速度與加速度的回授信號。因為經由狀態變數觀測器所得到的為近似解，在應用時須要經常的讀入新的數據來提高

其正確性。在實現上應考慮到運算的速度。目前隨著DSP晶片功能的增進、高整合性，且因製作技術更為成熟與價格更低，使得新一代DSP晶片產品更具競爭力。以TI公司生產之定點式TMS320LF243及TMS320F2407晶片，其晶片內部已構建有伺服控制器所需之週邊電路，如A/D、PWM、QEP等電路，因此極適合發展單軸或多軸伺服驅動系統，加上DSP晶片具有高速之計算能力，故將可適合發展上述之高速射出成型製程中之觀測器控制器。

三、理論基礎

(一) 動態模式

首先，針對高速射出之電液伺服系統建立迴路，並依規範需求選擇元件後，先以 Matlab/Simulink 建立模擬方塊圖，圖一。由於所需之數學模式與數據相當複雜，不易獲得準確之結果，因此利用 HyPneu 此一簡易有效的電腦模擬工具來進行系統動靜態模擬。模擬的方法為先以 Hypneu 將所使用的電氣液壓伺服控制系統的液壓系統部分建立動態模擬方塊圖，圖二。在不同的操作點，進行數值模擬。並利用這些結果以 Matlab/Simulink 來進行動態模式的鑑別。一二階線性的參數模式將被選擇，此一模式將表現出控制輸入與干擾對輸出的影響。在計算時，將以狀態變數方程式來實現以利後續控制法則的推導。

(二) 觀測器的分析

假設系統可以下列狀態方程式表示

$$\begin{aligned} \dot{x}(k+1) &= A\dot{x}(k) + Bu(k) + w(k) \\ y(k) &= Cx(k) + v(k) \end{aligned} \quad (1)$$

則觀測器可由式(2)來獲得估測的狀態變數

$$\hat{\dot{x}}(k+1) = \hat{\dot{x}}(k) + L[y(k) - \hat{y}(k)] \quad (2)$$

而(2)式中之 $\hat{y}(k)$ 則由式(3)求得。

$$\hat{y}(k+1) = C\hat{x}(k) \quad (3)$$

(三) 經由觀測器之最佳狀態回授控制器

以權重函數式(4)之最小化，可得到一最佳控制法則，式(5)，其中之狀態變數則為

經由觀測器所估測之結果。

$$J = \sum x^T Qx + u^T Ru \quad (4)$$

$$u = -Kx \quad (5)$$

(四) 模擬

依模擬所獲得之閉迴路射出速度的響應曲線圖，圖三，及採用 G.P. Rangaiah 及 P.R. Krishnaswamy[7] 的近似之方法及步驟，可得開迴路二階射出速度動態模式(6)。

$$G_{op}(s) = \frac{V(s)}{I(s)} = \frac{k_o e^{-ds}}{s(\tau_r s + 1)} \quad (6)$$

式中之 I 為設定之輸入電流 (4mA~20mA)， k_o 為系統開回路之增益值。 V 為液壓致動器之速度 (mm/s)， τ_r ，液壓致動器的時間常數。

圖四為以 Simulink 架構之系統控制方塊示意圖，其中之 L 及 K 則由 Matlab 之 Kalman 及 LQG 先行計算後再傳入。圖五為對步階輸入的時間響應。

(五) DSP 之實現

本計劃以 VisSim/TI C2000 Rapid Prototyper 整合型軟體，來快速完成應用德州儀器公司 (TI) 生產的 TI C2000 系列之 DSP 控制系統原型機測試工作。圖六為整體測試之程式及輸出之結果，其內包含上述之動態模式、觀測器以及狀態回授控制器。

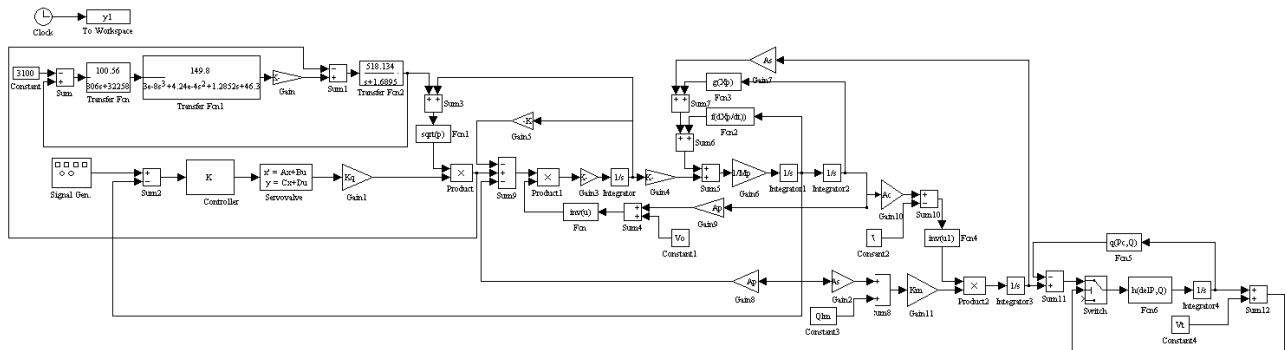
四、結論

經由分析與原型機測試的結果，一經由觀測器之最佳狀態回授控制器可提供相當好的高速充填速度的控制性能。在實際的應用上，VisSim/TI C2000 Rapid Prototyper 可直接產生 DSP 可執行之輸出程式，簡化複雜的硬體設計。

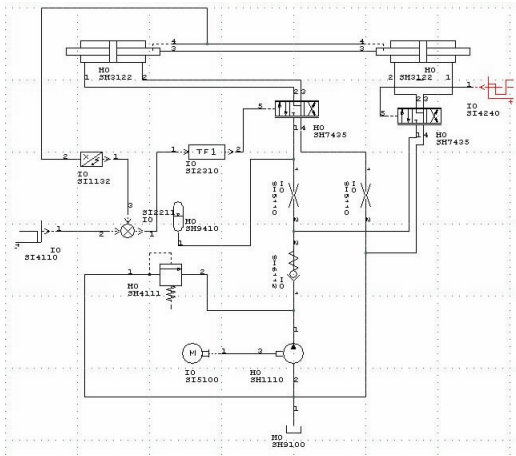
五、參考文獻

1. K. K. Wang, et al. *Process Control, Estimation of Controlled-System Parameters For Injection Velocity Control*, Progress Report No. 10, Cornell University, 224-241,(1984)
2. I. O. Pandelidis and A. R. Agrawal, *Self-Tuning Control Of Ram Velocity In Injection Molding*, SPE

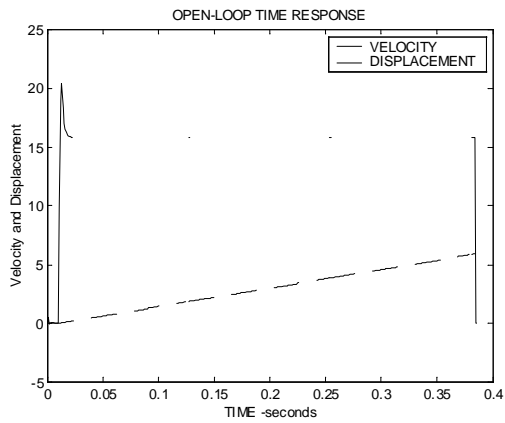
- Tech. Papers, 235, (1987).
3. A. R. Agrawal and I. O. Pandelidis, *Optimal Anticipatory Control Of Ram Velocity In Injection Molding*, Polymer Engineering And Science, **28**, Mid-February, 147 (1988).
 4. W. J. Thayer and M. A. Davis, *Control For Injection Molding Of Thermoplastics*, Moog Technical Bulletin 145, June (1980).
 5. C. P. Chiu, M. C. Shih and J. H. Wei, *Adaptive Model-Following Control Of The Mold Filling Process In An Injection Molding Machine*, Polymer Engineering And Science, **31**, August, 1123-1129 (1991).
 6. F. Gao, W. I. Patterson and M. R. Kamal, *Cavity Pressure Dynamics And Self-Tuning Control For Filling And Packing Phases Of Thermoplastics Injection Molding*, Polymer Engineering And Science, **36**, Mid-May, 1272-1285 (1996)
 7. P. R. Krishnaswamy and G. P. Rangaiah, *Closed-Loop Identification Of Second Order Dead Time Process Models*, Trans IchemE, 74, Part A, January, 30-34 (1996).



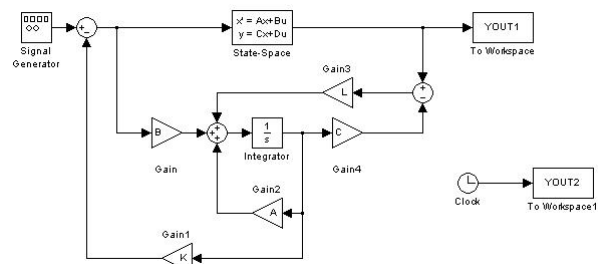
圖一 射出成型機液壓伺服系統(考量負載之狀況)



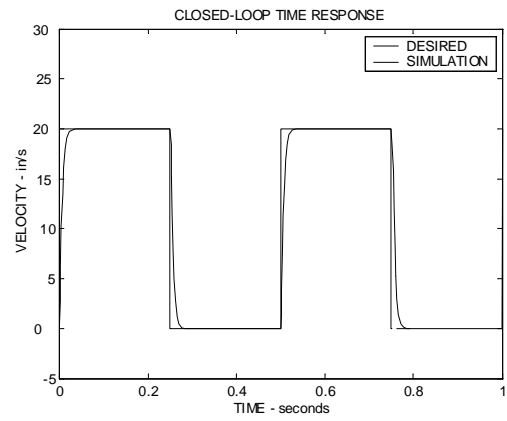
圖二 HYPNEU 模擬系統圖



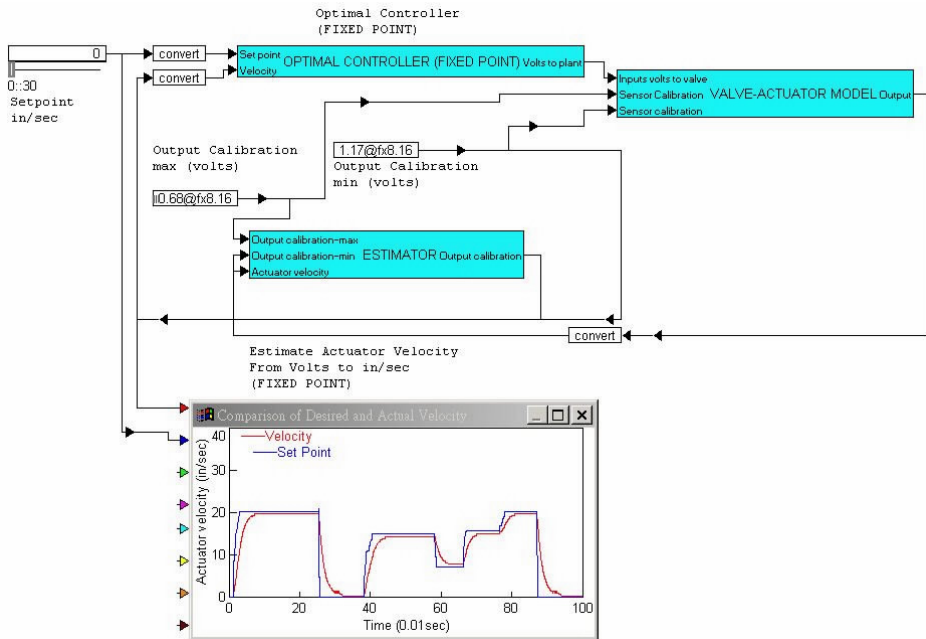
圖三 閉迴路控制時間響應圖



圖四 經由觀測器之最佳狀態回授控制模擬方塊圖



圖五 經由觀測器之最佳狀態回授控制時間響應圖



圖六 DSP in the loop 程式與輸出