

# 行政院國家科學委員會專題研究計畫成果報告

## 分散式學習控制系統的研究 Research of Distributed Learning Control System

計畫編號：NSC 88-2212-E-009-009

執行期限：87年8月1日至88年7月31日

主持人：唐佩忠 交通大學電機與控制工程系所

### 一、中文摘要

在自動化產業中，低成本自動化是最基礎也是最龐大的產業。學習控制的是在不增加硬體成本的條件下，以軟體手段將過去的控制經驗整合而逐步修正未來的控制效果，達到低成本的硬體生產為目標。

**關鍵詞：**自動化、學習控制、分散控制

### Abstract

Low-cost automations are the basic and most popular parts in the whole automation industry. Learning control scheme use the pure software to improve the system performance without increasing the hardware cost. Thus it is very suitable for low-cost automation. In this report, we did a series of simulation and simple experiments to show the contributions of learning control scheme.

**Keywords:** Automation, Learning Control, Distributed Control

### 二、緣由與目的

在金字塔結構的自動化產業中，低成本自動化是最基礎也是最龐大的產業。低成本意味著有限的生產和開發經費，因此很多高精度的理想設計必須被迫放棄，最終產品往往是成本考量下的妥協式設計。

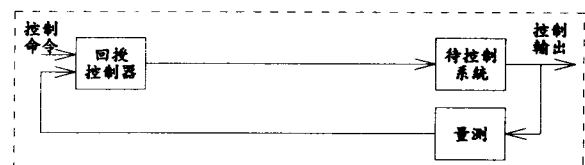
以具體的問題來說，雖然閉迴路控制早已是眾所皆知的成熟控制方法，但是放眼現在的低成本自動化產業，開迴路控制仍然佔據著相當大的市場。廠商不是不清楚開迴路控制的缺點，但是產品的市場和價格卻決定了他們的選擇。

像是台灣的橡塑膠機械，每年的產值都有一百多億，其中射出機和押出機就各佔了40多億。在橡塑膠機械的控制中，主要包括了溫度控制、油壓控制和順序控制三個部份。其中溫度控制早已採用閉迴路控制，而順序控制也是用微電腦的可程式控制器，只有油壓控制還是使用傳統的比例閥做開迴路控制。只是因為伺服閥加上放大器要兩三萬，而比例閥才幾千元；廠商在成本壓力下自然選擇便宜的開迴路控制。

在這個計劃中，我們針對開迴路系統的控制問題，在不增加硬體成本的限制下，開發相關學習控制的軟體技術，以增進整體的系統響應和精度。

### 三、系統架構

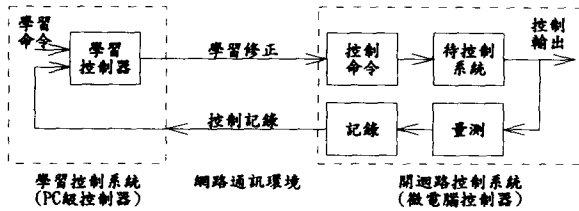
傳統的回授控制系統量測目前的控制輸出，立即計算回授誤差並藉以修正控制輸出；其優點是較不受環境變異和雜訊的干擾(就是所謂的低靈敏度和強健性)，其缺點是需要較高的控制增益和系統頻寬，也就是較快的電腦和較貴的驅動器。



回授控制系統  
(微電腦控制器)

而學習控制系統雖然一樣需要量測控制輸出，但並不是立刻回授，而是將量測結果加以記錄，等控制告一段落時才將控

制記錄一併送給學習控制器；當學習控制器經由複雜的計算處理問題後，才用學習結果來修正下一次的控制命令以調整控制輸出，因此可以面對非線性和時間延遲等傳統控制不易解決的現象。但另一方面，在環境變異時只能逐漸調整而無法立刻修正，所以只能處理週期性或重複性命令。



在硬體方面，學習控制系統屬於分散式控制系統，分別由單晶片微電腦作簡單的開迴路控制而由個人電腦執行複雜的學習控制，並由標準的網路通訊環境加以連接。因此，學習控制系統只是分散式控制系統下的一項軟體功能，不需要額外的硬體裝置和成本。

#### 四、模擬結果

為了深入瞭解開迴路學習控制的各種特性，我們利用電腦模擬開迴路學習控制系統，收集模擬結果並加以分析；首先我們先針對線性系統作分析，之後再加入非線性的各種特性。

由於低價位的受控體都變近似於一階的線性系統，因此我們也用來做為模擬開迴路學習控制的受控體，假設該線性系統的轉移函數為：

$$P(s) = \frac{0.16}{s + 0.2}$$

在開迴路學習控制系統中，新命令是指下一個週期執行的命令，是一個完整的命令序列，與開迴路控制中新命令是指下一個瞬間的命令不同；而學習命令則是理

想輸出，同樣是一個序列，在我們的模擬中，學習命令當作開迴路控制系統的第一個週期命令。

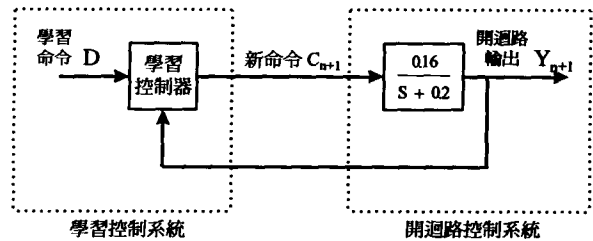
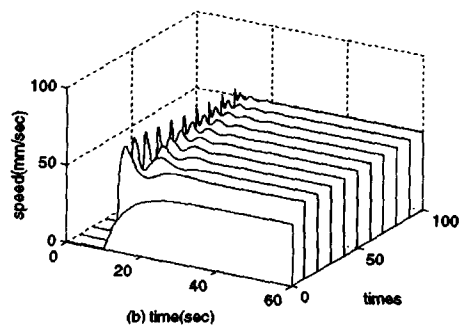
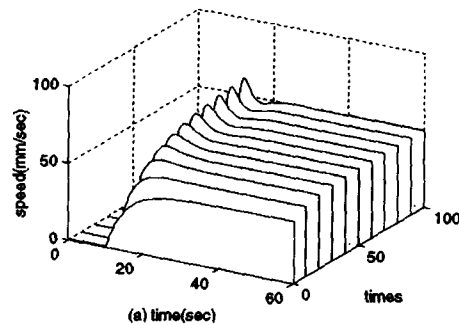


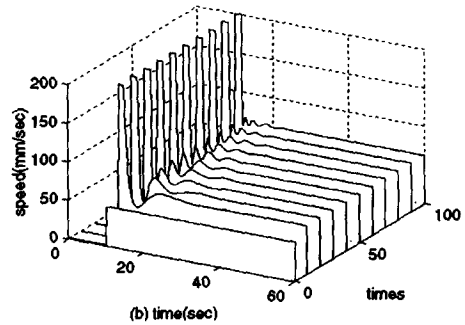
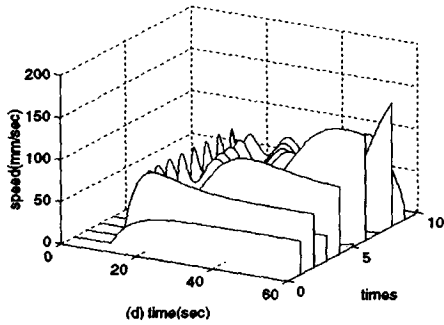
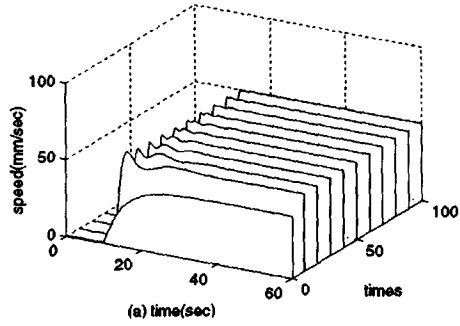
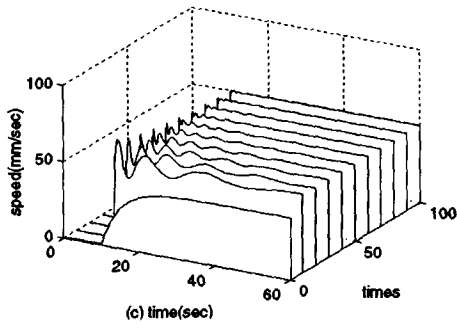
圖 3.1 開迴路學習控制系統

在本實驗中開迴路控制週期為 0.2 秒，因此，同一個命令序列中，兩命令之間的時間差異為 0.2 秒，也就是  $T=0.2$  秒。

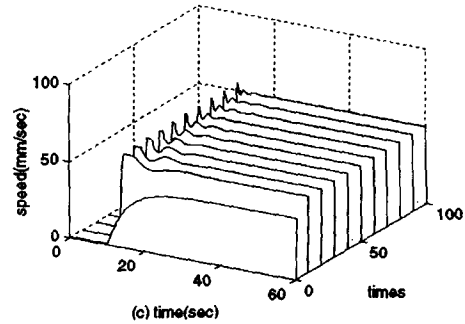
首先探討 KP 值大小對系統響應的影響。我們的理想輸出(也就是學習命令)設定為一個步階(step)訊號，也當作執行的第一個週期的輸入命令，step 訊號在第 10 秒時輸入，大小為 50mm/sec。

當 KP 的參數值分別使用 0.1、1、2 以及 3 時，各執行 100 次控制週期的模擬。結果如下圖所示。

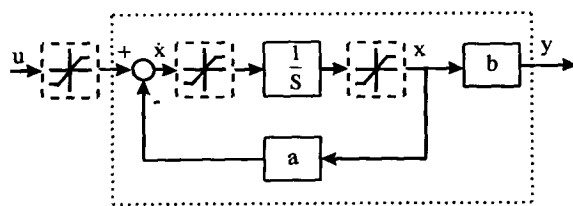
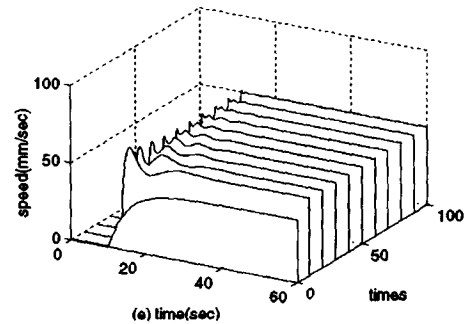




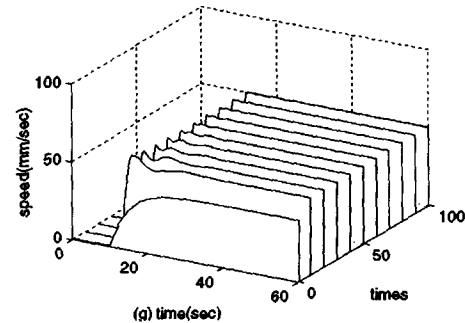
就模擬的結果來看， $K_P$  值過大會使得系統響應發散，和一般閉迴路的控制類似。就穩定的觀點來看，不管  $K_P$  數值大或小，執行的過程都會有 overshoot 產生， $K_P$  值大，震盪頻率比較高， $K_P$  值小，收斂速度慢。



當考慮系統的非線性問題時，影響就有些複雜了。我們假設系統的各個模組中都有系統飽和 (saturation) 的問題，方塊圖如下。



當加入各種飽和限制時，100 次模擬的輸出響應如下。



由以上的模擬結果，我們歸納這些飽和限制構成的影響，輸入命令的飽和限制

會使得系統輸出無法達到比較快速的響應；系統的響應速度限制也會使得系統的輸出響應無法達到超過該限制的響應速度，如果輸入命令沒有飽和限制的話，響應無法達到理想輸出的部份，誤差無法修正，在 P Control 中會使得輸入命令持續增大；而系統的輸出飽和限制會限制輸出值的大小，反而使得震盪減小，只要理想輸出的設定小於飽和限制，輸出飽和限制不會有太大影響。

## 五、討論與結論

計畫中我們首先分析比例閥的特性，找出其線性模型和其中的非線性特性。接著以一階線性模型作為受控系統，以 PID 的控制概念，建立學習控制的設計方法。首先分別從 P、I、D 等線性參數開始，建立一系列的模擬和控制結果。接著再分別檢討量測雜訊、外部干擾、控制延遲、系統飽和等非線性問題加以分析，也得到一些不錯的控制效果。

但由於時間限制及環境配合上的困難，除了比例閥的系統判定外，目前的效果還侷限在模擬的結果，還有許多實際上的問題尚待探討。

## 計畫成果自評

本計畫提出一個異於傳統閉環路控制的學習控制方式，將開環路控制系統的響應加以記錄，再利用學習控制計算來修正下一階段的命令，逐步改善開環路系統的控制效果。

這種學習控制方式不需快速的硬體配合，

在不增加硬體成本的前提下，也可大幅改善整體的控制結果，提供低成本自動化的一个精度升級的機會。另一方面，學習控制方面的相關研究相當貧乏，也是深入學術探討的一項好素材。

## 參考文獻

- [1] Bernard Sanchagrin, "Process Control of Injection Molding", Polymer Engineering and Science, vol.23, no.8, pp.431-438, 1983.
- [2] J.Y Lai and Y.R Chen, "Adaptive Flow Rate Control of a Hydraulic Proportional Valve", JSME International Journal, Series III, vol.35, no.4, pp.582-590, 1992.
- [3] T.C.Hsia "System Identification", University of California, Davis, 1979.
- [4] Katsuhiko Ogata "Discrete-Time Control Systems", Prentice-Hall, 1995
- [5] Gene F. Franklin, J. David Powell, Abbas Emami-Naeini "FEEDBACK CONTROL OF DYNAMIC SYSTEMS", Addison-Wesley, 1994
- [6] 黃燕文、許世卿、林進誠、朱明輝編著，"液氣壓學"，大揚出版社。
- [7] 李光耀 "射出成形機之射料控制"，國立清華大學動力機械工程研究所碩士論文，1995。
- [8] 林信隆編譯 "塑膠射出成形"，機械技術出版社
- [9] "射出成形機及後處理設備專題研究"，財團法人工業技術研究院機械工業研究所。