

# 利用模糊理論控制鋼球定位

## Using Fuzzy Theorem to Control the Steel Ball Positioning

黃國興(Guo-Shing Huang)、黃思倫(Sy-Ruen Huang)\*  
董秋溝(Chiou-Kou Tung)、廖凱全(Kai-Chen Liao)

國立勤益技術學院電子工程系

\*逢甲大學電機工程學系

### 摘 要

本論文主要目的是利用模糊控制演算法來控制直流伺服馬達正、反轉及轉速帶動一顆鋼球停止在預先設定的位置點上，強調無需複雜的數學模型，即可達到瞬時精確控制。研究所用的受控體為滾球的位置，利用電位計—導電橡皮作為系統的回授感測器，由於其為非線性(鋼球位置和感測電壓)且時變(同一點電壓會有差異)系統，若要以某一數學式來表示，將會非常複雜，而模糊控制就能依據模糊經驗法則省略此一步驟。經實驗結果，只要適當地調整模糊控制的參數，就可得到精確的定位，且具有強健性。鋼球定位後受外力之干擾，而移位驅動伺服馬達即可將之調整回位，成功地完成模糊控制法則解決鋼球定位問題。

**關鍵詞：**模糊控制、歸屬函數、伺服系統

### ABSTRACT

In this paper, the main purpose is to use the fuzzy control algorithm to control DC servo motor rotation and set a steel ball stop a position on which we default. It is emphasized that using the fuzzy control need not more complex mathematic model and will reach a high accuracy control condition instantaneously. The plant of this research is the position of a steel ball, uses potentiometer--a conductor's rubber as a feedback sensor of this system. Due to the relation between the position of steel ball and the output voltage of sensor is not linear, and the output voltage is different at the same time, it is a nonlinear, time variant system. It is more complex to describe this system with a mathematic model. So, the fuzzy control does. Through more experiments, the results verify that the system will arrive at a high accuracy positioning and a robustness by adjusting the fuzzy control parameters depending on fuzzy experienced rule. After the steel ball is positioning, its position may be shifted due to an uncertainty disturbance force, drives a servo motor then the steel ball can be bake to its correct position. It is successful that we achieve to resolve a ball positioning problem with the fuzzy control algorithm.

**Keywords :** Fuzzy Control、Membership function、Servo System

## 一、前言

近年來，由於 3C 產業相關產品經常冠以「模糊」字樣，提高其產品的知名度，因此，模糊控制技術就變成近代控制理論中的一種高級策略和新穎的技術，其應用範圍相當廣泛，無論是工業處理過程或是家電產品均有「模糊」控制的影子，因此本篇論文即在探討如何利用模糊控制技術解決滾球定位之問題，作為開設「模糊控制」課程，一項很好的實務教材。目前國內外針對這項近似之研究情形包括利用新的模糊控制器控制滾球與球桿系統的穩定度，模糊控制器可自動切換滾球位置及球桿角度依據其控制狀態，可得有效的控制結果[1]。根據 Lyapunov 穩定理論，設計一模糊控制器控制滾球與球桿穩定設計[2]。利用模糊邏輯影視導引控制滾球與球桿平衡系統，該篇文章提出一新的滾球球桿平衡系統構想，使用照相機影視決定滾球在球桿上的位置與速度[3][4]。而本篇論文，基於滾球定位為非線性控制問題，可以排除使用傳統的古典控制理論，不需建立複雜的數學模式，而強調適當地調整模糊控制參數，即可得到收斂效果好穩定性較佳的結果。本篇文章分六段其中第二段為理論推導與研究方法，第三段為系統硬體描述，第四段為模糊控制軟體架構介紹，第五段為實驗結果說明，最後一段作個結論。

## 二、理論基礎與研究方法

本篇論文是以球桿軌道傾角位置為受控體，主體為一滾球(鋼球)及一可上升下降的軌道，目的乃利用模糊控制器驅動馬達，帶動軌道之升降，使得軌道上的鋼球能滾到指定的位置，並穩定在該點上，且有容許外界干擾的能力，本系統的硬體機構如圖一所示。



圖一、鋼球定位系統硬體機構

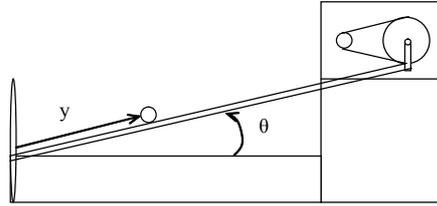
本控制系統模擬器之建立，首先假設系統為線性模型，其表示如下：

$$\begin{aligned}\dot{\underline{x}} &= A\underline{x} + B\underline{u} \\ \underline{y} &= C\underline{x}\end{aligned}$$

其中  $\underline{x}$  為狀態變數向量， $\dot{\underline{x}}$  為此向量的時間微分， $\underline{u}$  為輸入向量， $\underline{y}$  為輸出變數向量，而

驅動伺服馬達的電流為控制狀態變數  $\underline{x} = [y, \dot{y}, \theta, \dot{\theta}]^T$  的函數，其中  $y$  為鋼球的位置， $\theta$  為

鋼球位置的球桿傾角， $\underline{y} = [y \ \theta]^T$  為輸出向量，輸入向量  $\underline{u}$  為控制器的輸出轉矩向量即控制伺服馬達正反轉及轉速和轉矩。



圖二、鋼球位置與傾角關係

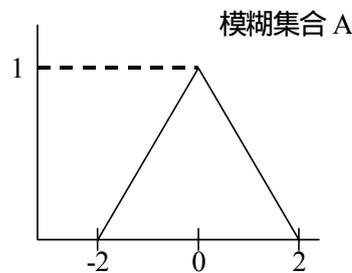
控制器可採用狀態回授控制設計  $\underline{u} = K\underline{x}$

$$\dot{\underline{x}} = A\underline{x} + B\underline{u} = (A + BK)\underline{x}$$

$$\underline{y} = C\underline{x}$$

以上狀態方程式即為此系統的數學模型表示法，並先將之視為線性系統來描述。接著說明本篇論文所用模糊理論建立模型，模糊控制器內容包括輸入模糊化，根據歸屬函數及模糊規則作模糊運算及輸出解模糊化分別說明如下：本論文所用的歸屬函數為連續型三角形，可表示為

$$A = \int_{-2}^0 \frac{(2+x)/2}{x} + \int_0^2 \frac{(2-x)/2}{x}$$



圖三、連續型三角形歸屬函數

之所以使用三角形模糊集合主要是因為容易演算，易於表示之故。輸出解模糊化模糊控制

器的輸出量可由解模糊運算來求得，在此採用重心法，其算法如下：
$$y_0 = \frac{\sum_{i=1}^n W_i B_i}{\sum_{i=1}^n W_i}$$

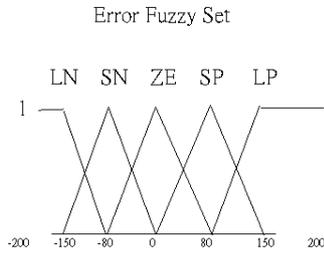
其中

$y_0$ ：模糊控制器輸出量

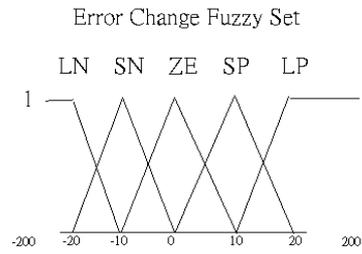
$W_i$ ：第  $i$  個控制規則命題部的適合度

$B_i$ ：第  $i$  個控制規則推論部歸屬函數中心點對應值。

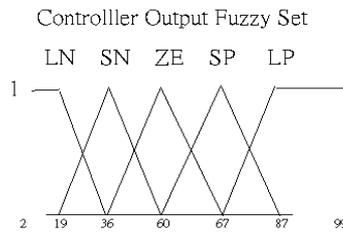
本論文定義兩個輸入變數，一為鋼球位置誤差  $e$ ，另一為鋼球位置誤差變化率  $e'$  而輸出變數為控制器輸出量  $y$ ，其模糊集合定義如圖四~六所示。



圖四、誤差的模糊集合



圖五、誤差變化量的模糊集合



圖六、模糊控制器輸出的模糊集合

本系統共有 25 個模糊規則，

- 1、 If  $e$  is LN and  $e'$  is LN then output  $y$  is LP.
- 2、 If  $e$  is LN and  $e'$  is SN then output  $y$  is LP.
- ⋮
- 14、 If  $e$  is ZE and  $e'$  is LN then output  $y$  is SN.
- 15、 If  $e$  is ZE and  $e'$  is LN then output  $y$  is SN.
- ⋮
- 23、 If  $e$  is LP and  $e'$  is ZE then output  $y$  is LN.
- 24、 If  $e$  is LP and  $e'$  is SP then output  $y$  is LN.
- 25、 If  $e$  is LP and  $e'$  is LP then output  $y$  is LN.

其中定義 LN(Large Negative), SN (Small Negative), ZE(Zero), SP(Small Positive), LP(Large Positive).

其模糊規則表可參考表一。

表一、模糊規則表

$e' \backslash e$	LN	SN	ZE	SP	LP
LN	LP(1)	ZE(6)	SP(11)	ZE(16)	LN(21)
SN	LP(2)	ZE(7)	SP(12)	ZE(17)	LN(22)
ZE	LP(3)	SP(8)	ZE(13)	SN(18)	LN(23)
SP	LP(4)	SP(9)	SN(14)	SN(19)	LN(24)
LP	LP(5)	SP(10)	SN(15)	SN(20)	LN(25)

舉例說明

當  $e = 30$   $e' = 4$  時根據上面的設定計算歸屬度

$$ZE(e) = 30 - 0 / 66 - 0 = 0.45$$

$$SP(e) = 66 - 30 / 66 - 0 = 0.54$$

$$ZE(e') = 4 - 0 / 10 - 0 = 0.4$$

$$SP(e') = 10 - 4 / 10 - 0 = 0.6$$

取最小值

$$W_1 : \min \{ZE(30), ZE(4)\} = 0.4$$

$$W_2 : \min \{ZE(30), SP(4)\} = 0.45$$

$$W_3 : \min \{SP(30), ZE(4)\} = 0.4$$

$$W_4 : \min \{SP(30), SP(4)\} = 0.54$$

Rule13 output is ZE, So B13=53

Rule14 output is SN, So B13=36

Rule18 output is SN, So B13=36

Rule19 output is SN, So B13=36

輸出解模糊化得明確值

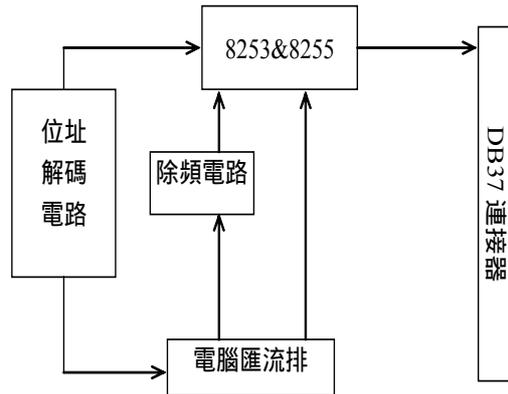
$$\frac{0.4 \times 53 + 0.45 \times 36 + 0.4 \times 36 + 0.54 \times 36}{0.4 + 0.45 + 0.4 + 0.54} = 37.69$$

就伺服馬達而言其 PWM 的訊號輸入是介於 1~99 之間，50 是代表 50% 方波，馬達停止不動，大於 50 方波正半週大於負半週，馬達正轉，小於 50 方波負半週大於正半週馬達反轉。因為 37.69 小於 50，所以伺服馬達進行小煞車動作，引導鋼球至設定點。

### 三、系統硬體

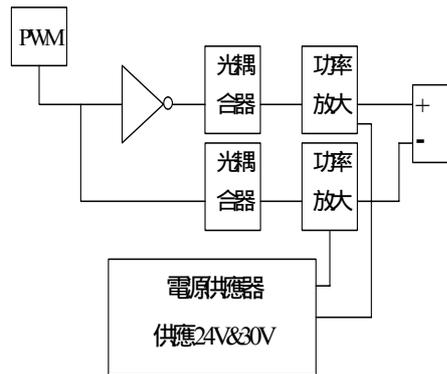
本論文所使用到的三塊重要的介面電路為 I/O 介面電路，伺服馬達驅動電路及感測回授電路，其功能說明如下：

1. I/O 介面電路：由一顆 8255 可程式週邊介面 IC 及 8253 可規劃計時/計數器 IC 及 ISA Bus 位址解碼電路所組成。8255 port A 負責傳送電位計輸出的數據，而 8253 則負責產生 PWM 訊號，其中 8253 的時脈是由電腦所提供，再經由除頻電路所完成，此 PWM 訊號由兩組計時器共同完成，由第一組去觸發第二組所產生的，如圖七所示。[5] [6]



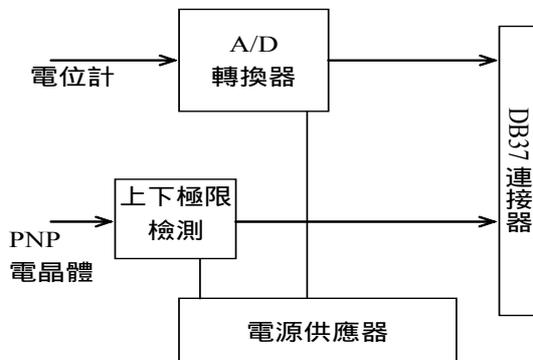
圖七、I/O 介面卡方塊

2. 伺服馬達驅動電路：由 HCPL-4503 光耦合器 IC，IR2111 半橋式驅動 IC 及 IRFP250 功率晶體所構成，即將 PWM 訊號一經反向閘輸出另一直接經光耦合器輸出，變成兩個相位相反的方波輸出，經光耦合器把訊號作一個隔離，再連接功率放大後驅動伺服馬達，如圖八所示。



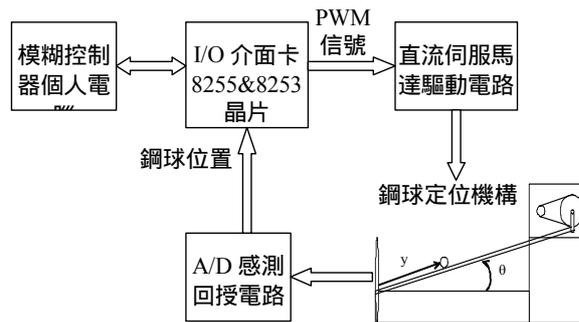
圖八、伺服馬達驅動電路方塊圖

3. 感測回授電路：主要是 ADC0804 將類比電位計訊號轉換成數位信號，並用 PNP 電晶體來檢測上下極限是否已碰到。由於電晶體電壓和電腦的高電位邏輯輸出不同，因此以兩個可變電阻來提升電壓以便準確地斷邏輯輸出為高準位或低準位。如圖九所示。



圖九、感測回授電路方塊圖

接著將本系統整體功能說明於後，本研究的基本架構主要是由一部個人電腦來當作系統的控制中心，並傳遞輸入命令，將命令值即 PWM 訊號設定值，透過 I/O 介面卡傳送給 8253 產生所需的 PWM 信號，再將此信號送至直流伺服馬達驅動電路，來推動直流伺服馬達使得軌道升降造成鋼球開始滾動。藉由 A/D 轉換器及馬達解碼電路，能分別得鋼球的位置及馬達的位置，再將所得到的位置，回授至個人電腦作修正，修正過後所得到的數值與所下的命令相比較，結果再送到 I/O 介面卡作傳輸的動作，如此循環不已，直到達成所要設定的位置之控制任務，即鋼球定位。整個系統功能方塊圖，如圖十所示。外觀圖可參考圖十一。



圖十、模糊控制鋼球定位功能系統架構



圖十一、受控體外觀圖

#### 四、Fuzzy 控制軟體架構

本論文使用 C 語言來編寫軟體程式，當作整個系統的控制器，其中比較重要的變數就是控制器的輸入位置及其輸出 PWM 信號。首先將鋼球位置利用電位計讀取，經過一量化程序根據模糊歸屬函數，先將明確值轉換成模糊值，即稱為模糊化接著延遲一段時間，取得第二個位置讀值，就可得到位置的誤差。

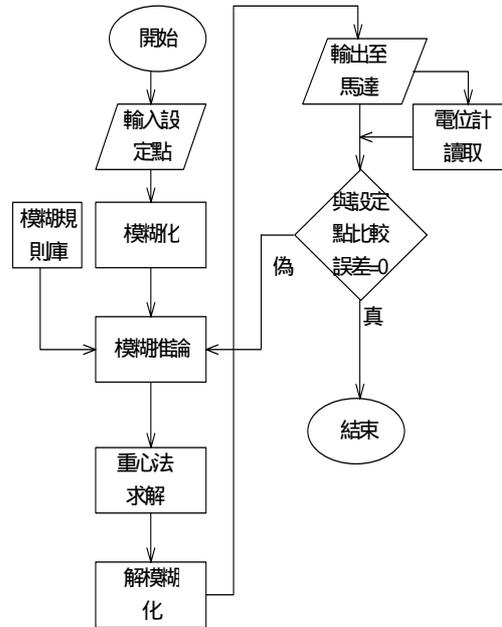
$$e_2 = p_2 - s$$

$$e_1 = p_1 - s$$

$$e' = (e_2 - e_1)/T$$

其中  $e_2$  為第二個時間點的位置誤差， $p_2$  為第二個時間點的位置， $e_1$  為第一個時間點的位置誤差， $p_1$  為第一個時間點的位置， $e'$  為位置誤差變化量， $s$  為設定點位置， $T$  為控制器取鋼球位置的間隔時間。

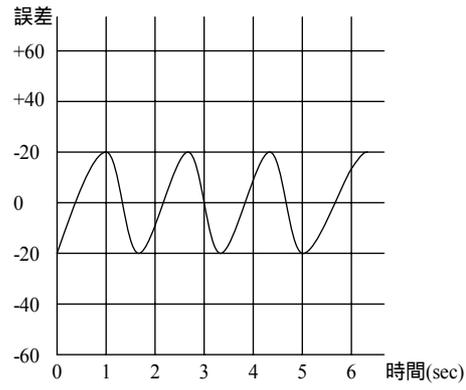
將誤差變化量也模糊化之後，將  $e$  和  $e'$  當作輸入，以模糊規則作判斷，如 If  $e$  is Max., and  $e'$  is Max., then output  $y$  is Max. 來得到輸出的模糊值，再解模糊化得明確值輸出即可，如此週而復始不斷地修正，可參考圖十一系統控制軟體流程圖。



圖十一、系統控制軟體流程圖

## 五、實驗結果

經過多次長時間的調整模糊集合歸屬度及模糊規則庫，其結果可得到證實，當位置誤差  $e$  及位置誤差變化量  $e'$  之模糊集合歸屬度設定失當時，會造成大的過量修正，overshoot 過大的現象，且不斷振盪以致於無法收斂，如圖十二所示，而最佳狀態則是經過良好的調整兩個輸入變數及其輸出變數，鋼球即可到達預先設定的位置，如圖十三所示。不再偏移十分穩定且其超越量小，穩定時間短，如圖十四所示。在實驗過程中所用的電位計是不理想的感測器，它存在兩個大問題，即非線性與不穩定。在非線性上只要適當地調整模糊集合歸屬度及模糊規則庫就能獲得良好的定位。最大問題在於不穩定性上，雖然在固定同一點上，所測得的信號是飄移的，當讀取感測值頻率太快，會造位置誤差變化量小於飄移量，所測得信號將不知道是位移還是感測器不穩定。解決方法是算出滾球下滑最大速率，再推算出最佳讀值頻率，就能減低感測器的不穩定。以上說明，均是實驗過程中所碰到的一些小問題，若這些硬體裝置能滿足研究的需求，如更換電位計為光電感測器，則系統的性能表現就會更臻於完美。



圖十二、誤差的模糊集合設定失當系統



圖十三、到達預先設定的位置



圖十四、控制器輸出最後調整結果系統響應

## 六、結論

本篇論文所要探討的為設計一模糊控制器來控制鋼球定位工程問題。之前，有諸多的描述本研究所設計的硬體介面電路，機構及軟體發展。和其他球感控制不同的是只用感測

位置輸入，而此信號具有不穩定性及非線性。若能將電位計輸出補償得到較線性及穩定或更換一較佳的電位計或光電感測器，則系統的效益及響應度會大為提高。設計模糊控制器的歸屬函數及規則數，可以得到極佳的響應度，而系統的穩定準則也可應用到模糊控制器上。由實驗結果證實模糊控制法則適用於非線性的系統，只要適當地調整模糊參數，就可以準確穩定地解決伺服系統工程問題。

## 七、誌謝

本研究是由本校教師學術研究群計畫其中的導航與控制研究群計畫補助，在此表示感謝之意。

## 八、參考文獻

- [1] J. Yi, N. Yubazaki, and K. Hirota, 2001, "Stabilization Control of Ball Beam Systems," IFSA World Congress and 20<sup>th</sup> NAFIPS international Conference 2001 Joint 9<sup>th</sup> Vol.4, pp.2229-2234, July 25-28.
- [2] H. K. Lam, F. H. F. Leung, and P. K. S Tam, 1999, "Design of a Fuzzy Controller for Stabilizing a Ball and Beam System," Industrial Electronics Society, 1999. IECON'99 Proceeding. The 25<sup>th</sup> Annual Conference of the IEEE, Vol.2, PP.520-524.
- [3] E. P Dadios, R. Baylon, R. De Guzman, A. Florentino, R. M. Lee, and Z. Zulueta, 2000, "Vision Guided Ball-Beam Balancing System Using Fuzzy Logic," Industrial Electronics Society, 2000. IECON 2000.26<sup>th</sup> Annual Conference of the IEEE, vol.3.pp.1973-1978.
- [4] J. Jantzen, 1999, "Analysis of a Pendulum Problem," Technical University of Denmark, Department of Automation. Bldy 326, DK-2800 Lyngby, DENMARK, Tech. Report No.98-E 863 pp.1-14, April 16.
- [5] 王進德 蕭大全，1993，"類神經網路與模糊控制理論入門"，全華科技，pp.1-251。
- [6] 陳瑞熙、高堅志、鄭明哲著，1995，"微電腦界面技術與實作"，碁峰資訊。