

應用模糊類神經網路控制器於雙軸線性伺服馬達同步運動控制

陳添智^a 陳俊榮^b 吳明芳^c 蔡志輝^d 傅彬硯^e

^a 崑山科技大學電腦與通訊系

^b 崑山科技大學電機工程系

^c 崑山科技大學電機工程系

^d 崑山科技大學電機工程系

^e 崑山科技大學電機工程系

摘要

本文提出模糊類神經網路控制器設計，以控制雙軸線性伺服馬達同步運動。利用模糊類神經網路交叉耦合控制器以消除雙軸線性伺服馬達同步運動之相對速度誤差。此模糊類神經網路交叉耦合控制器之設計在於取代傳統比例-積分-微分交叉耦合控制器，以保持雙軸線性伺服馬達同步運動。利用兩個模糊類神經網路速度控制器提供需要控制動作，以保持雙軸線性伺服馬達同步運動且追隨速度命令。本文所提控制方法對負載干擾具有高強健性。由模擬結果證明本文所提控制方法可適應在寬廣的速度範圍且足以抗負載干擾。

關鍵詞：模糊類神經網路交叉耦合控制器、模糊類神經網路速度控制器、雙軸線性伺服馬達、同步運動控制、強健性、負載干擾

一、簡介

隨著微電腦與電子科技日益進步，以伺服馬達系統已廣泛的運用於生產或裝配生產線上。其中線性伺服馬達系統的能量轉換以及高加速度等特點，廣泛的應用於需要高速度與高精度的控制系統，如半導體芯片安裝設備、高架龍門起重機、CNC 加工和各種多致動系統。另外對於需要高動力推動之控制系統，多軸線性伺服馬達之同步運動控制技術更需不斷的創新研發。

在多軸線性伺服馬達應用中，多軸同步運動控制會受到許多因素的影響，包含環境變化造成的系統參數變動、負載的快速劇烈變動，以致多軸線性伺服馬達之同步運動控制性能大大降低。在傳統的多軸同步運動控制系統中，並不考慮它軸之作動狀態，而是各軸根據本地資訊獨立運作。因此解耦合的控制方法，各軸線性伺服馬達的動態特性如增益和時間常數的差異或非對稱干擾，可能造成同步運動性能降低，導致軸動態不匹配 [1]。

在 1980 年的交叉耦合控制多軸同步運動的概念被提議 [2]，基於此類控制概念，多軸同步運動控制系統被結合到一個多變數控制系統。大量的研究調查顯示交叉耦合技術應用於雙軸運動[3-6]能有效提高同步運動性能。由於交叉耦合控制系統為一個多變數耦



合控制系統，將很難執行交叉耦合控制器上的穩定性分析，因此，控制器參數的選擇仍然是一個懸而未決的問題。在普遍控制器設計之參數選擇，多半使用嘗試錯誤與驗證的做法，因此控制器設計困難，且精確度不高。

本文提出模糊類神經網路控制器[7]-[12]設計，以控制雙軸線性伺服馬達同步運動。主要是設計模糊類神經網路交叉耦合控制器，取代傳統比例-積分-微分交叉耦合控制器，以消除雙軸線性伺服馬達同步運動之相對速度誤差。模糊類神經網路控制器在非線性、未知參數、參數變動的系統上，具有良好的控制能力[13]-[18]。另外設計兩個模糊類神經網路速度控制器，以控制雙軸線性伺服馬達同步運動且追隨速度命令。本文所提控制方法對負載干擾具有高強健性。由模擬結果證明本文所提控制方法可適應在寬廣的速度範圍且足以抗負載干擾。

二、雙軸線性伺服馬達系統的數學模式建立

雙軸線性伺服馬達系統如圖 1 所示，為一對 Y 軸平行的線性伺服馬達，並由在 X 軸上的線性伺服馬達耦合連接在兩個滑動的 Y 軸雙軸線性伺服馬達。由於數控製造產業對強大的推力與高剛度的需求不斷的提升，箱方格結構或龍門式雙軸線性伺服馬達系統，已成為應用於兩個平行的線性伺服馬達被耦合並驅動運動的一種解決方案。這種配置通常需要精確的同步運動控制技術，但即使兩個馬達都提供相同的命令，由於不確定的干擾影響和不同電機特性，可能無法保證精確的同步運動。

在雙軸耦合伺服系統，由於機械式聯軸器，兩個線性伺服馬達的輸出相互影響著。因此圖 1 之雙軸線性伺服馬達系統可以建立四個轉移函數，分別為線性伺服馬達 1 之輸入控制電流 I_1^* 對線性伺服馬達 1 之速度 V_1 之轉移函數 V_1/I_1^* ，線性伺服馬達 1 之輸入控制電流 I_1^* 對線性伺服馬達 2 之速度 V_2 之轉移函數 V_2/I_1^* ，線性伺服馬達 2 之輸入控制電流 I_2^* 對線性伺服馬達 1 之速度 V_1 之轉移函數 V_1/I_2^* ，線性伺服馬達 2 之輸入控制電流 I_2^* 對線性伺服馬達 2 之速度 V_2 之轉移函數 V_2/I_2^* 。在系統模型建立時，必須考慮負載變化特徵，因此須建立施加負載干擾 F_L 作用於線性伺服馬達 1 之速度 V_1 之轉移函數 V_1/F_L ，負載干擾 F_L 作用於線性伺服馬達 2 之速度 V_2 之轉移函數 V_2/F_L 。使用頻譜測量設備和系統識別概念與疊加原理可建立雙軸線性伺服馬達系統的數學模式，如圖 2 所示，六個轉移函數如表 1 所示。



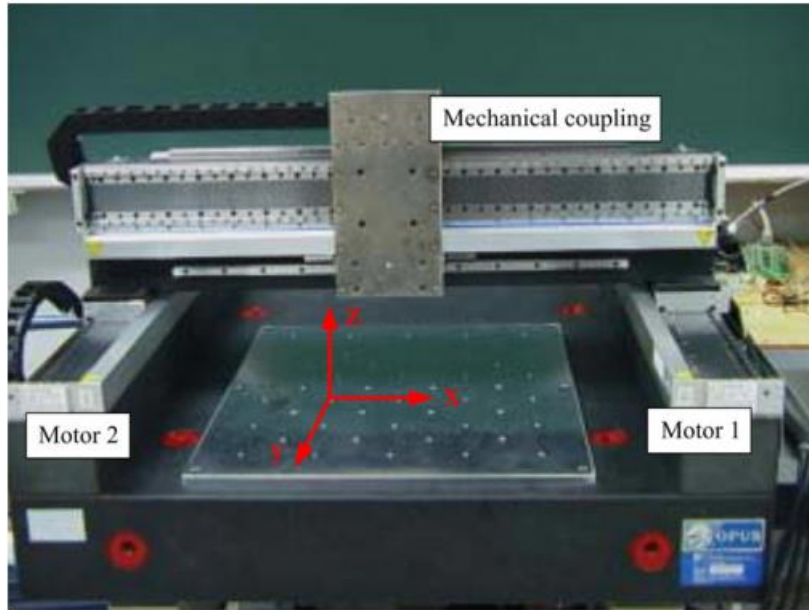


圖 1 雙軸線性伺服馬達系統

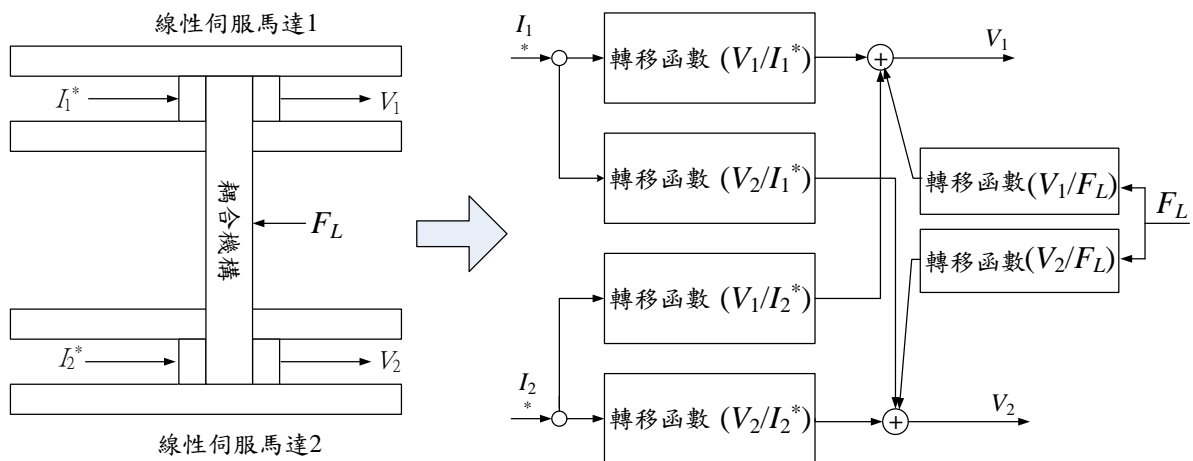


圖 2 雙軸線性伺服馬達系統的數學模式

表 1 雙軸線性伺服馬達系統的轉移函數

轉移函數(Transfer Function)	
$\frac{V_1}{I_1^*} = \frac{1892.1}{s^2 + 38.2s + 38.3}$	$\frac{V_2}{I_1^*} = \frac{1923.6}{s^2 + 38.5s + 38.4}$
$\frac{V_1}{I_2^*} = \frac{3241.1}{s^2 + 46.5s + 64.8}$	$\frac{V_2}{I_2^*} = \frac{3206.2}{s^2 + 46.3s + 64.3}$
$\frac{V_1}{F_L} = \frac{19.5}{s^2 + 42.8s + 44.8}$	$\frac{V_2}{F_L} = \frac{20.2}{s^2 + 42.5s + 45.1}$



三、模糊類神經網路控制器

為了達到高性能雙軸線性伺服馬達同步運動控制，本文提出雙軸線性伺服馬達之同步運動控制架構如圖 3 所示，利用兩個模糊類神經網路速度控制器以控制兩個線性伺服馬達之速度 V_1 和 V_2 追隨速度命令 V^* ，另外設計模糊類神經網路交叉耦合控制器以消除 V_1 和 V_2 之相對速度誤差，達到 V_1 和 V_2 同步運動控制。

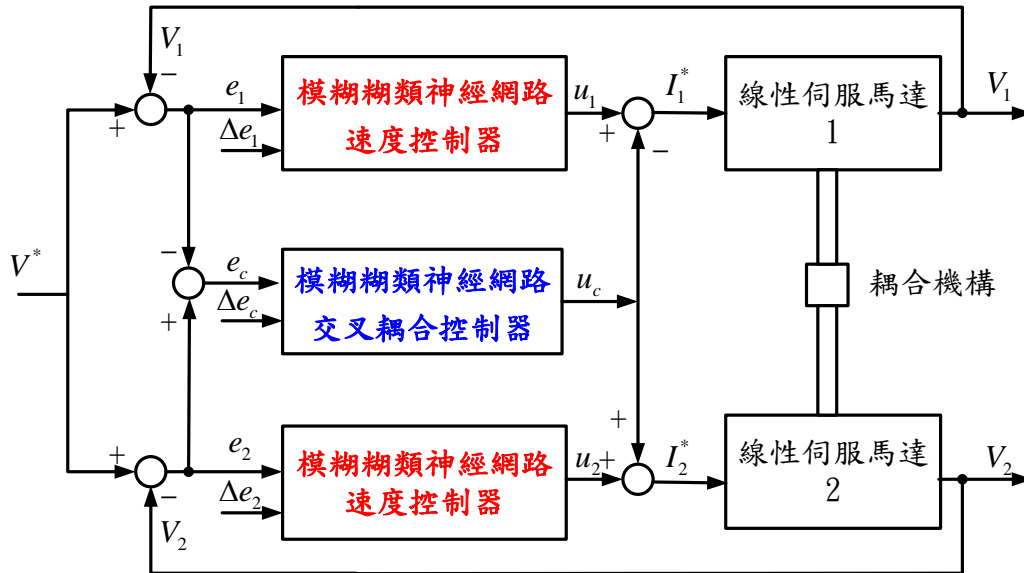


圖 3 雙軸線性伺服馬達之同步運動控制架構

模糊類神經網路(Fuzzy Neural Network, FNN)是結合模糊理論和類神經網路技術而成的。模糊控制是一種以 IF~ THEN 的形式來表示判斷控制的演算法，其優點為可以簡化系統設計的複雜性，通常特別適用於非線性、模型不完全等的系統上，也就是說模糊控制器不必對受控制的對象建立完整的數學模式，所以模糊控制器是一種簡易、容易掌控的非線性控制器，其具有較佳的適應性、強健性及容錯性。類神經網路是一種模仿人腦神經網路和功能的方式，常用來對輸入和輸出間複雜的關係進行建模或是探索數據的模式。類神經網路是由大量的神經元和神經元之間相互連接構成。每個神經元代表一種特定的輸出函數，稱為激勵函數。每兩個神經元間的連接表示一個對於通過該連接信號的加權值，稱之為權重值(weight)。類神經網路的基本架構可分為前授型網路(Feed-Forward net)及回歸型網路(Recurrent net)兩種，本文採用前授型網路架構，其特點為每層與每層間彼此相連，而同層間則是彼此不相連，其信號的傳導也是由單方向的由輸入層引導入下一層直到輸出層為止。

圖 3 為雙軸線性伺服馬達之同步運動控制架構，其中之模糊類神經網路速度控制器和模糊類神經網路交叉耦合控制器之網路架構都一樣如圖 4 所示。圖 4 中 $e(k)$ 表示圖 3 之 $e_c(k)$ 或 $e_1(k)$ 或 $e_2(k)$ ， $\Delta e(k)$ 表示圖 3 之 $\Delta e_c(k)$ 或 $\Delta e_1(k)$ 或 $\Delta e_2(k)$ ， $u(k)$ 表示圖 3 之 $u_c(k)$ 或 $u_1(k)$ 或 $u_2(k)$ 。



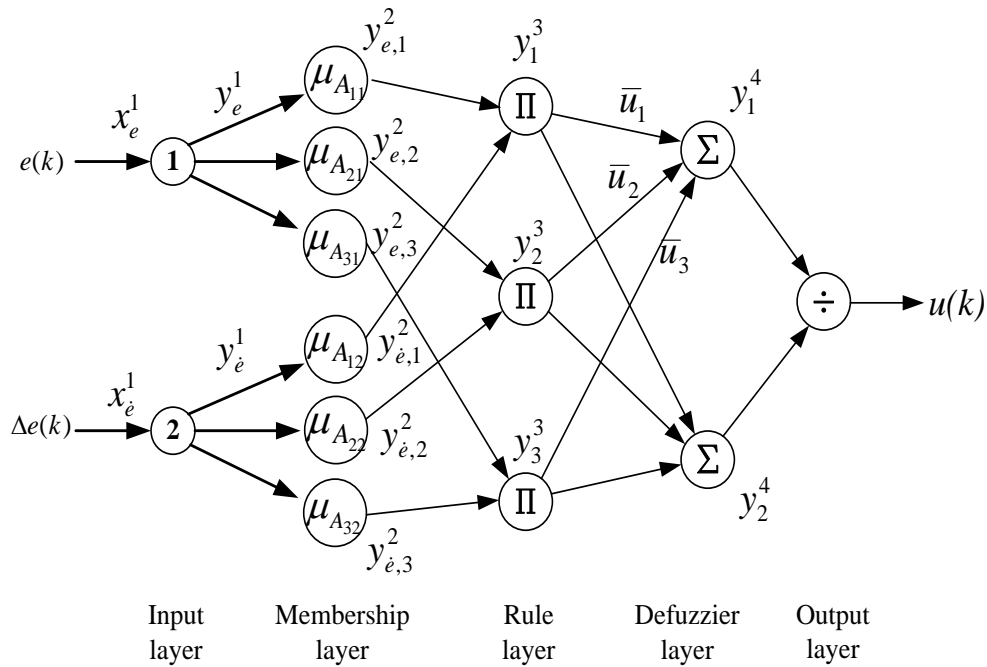


圖 4 模糊類神經網路架構圖

首先假設有一個模糊邏輯系統，可以表示為

R_1 : If x_1 is A_{11} and x_2 is A_{12} ... and x_n is A_{1n} , then u is B_1

R_2 : If x_1 is A_{21} and x_2 is A_{22} ... and x_n is A_{2n} , then u is B_2

.....

R_m : If x_1 is A_{m1} and x_2 is A_{m2} ... and x_n is A_{mn} , then u is B_m

(1)

其中 R_m 表示第 m 個控制規則， A_{mm} 稱為第 m 個控制規則中，第 n 個輸入變數的前件部模糊集合(即 if---then---之 if 部分)。而 B_m 表示第 m 個控制規則中，輸出變數的後件部模糊集合(即 if---then---之 then 部分)。(1)式之模糊邏輯系統經 center average defuzzifier, max-product composition 和 singleton fuzzifier，則可表示如圖 4 之模糊類神經網路。此網路為一個五層的模糊類神經網路架構，其中包含了輸入層、歸屬函數層、規則層、解模糊層、輸出層。其中符號 y 的上標表示層數，下標表示為名稱或編號， \bar{u}_k 為模糊集合的中心值。

(1) 輸入層(Input layer)

輸入層，不進行任何的運算，只是將輸入信號直接導引至下一層。輸入訊號等於輸出訊號，關係如下：

$$y_{e,i}^1 = x_e^1, i = 1 \sim 3 \quad (2)$$

$$y_{\dot{e},i}^1 = x_{\dot{e}}^1, i = 1 \sim 3 \quad (3)$$

其中 $x_e^1 = e(k)$ 和 $x_{\dot{e}}^1 = \Delta e(k)$ 為輸入訊號，為 y_e^1 和 $y_{\dot{e}}^1$ 為輸入層的輸出訊號。 $e(k)$ 為命令與實際位置的誤差， $\Delta e(k)$ 誤差值的變化量。

(2) 歸屬層(Membership layer)

歸屬函數層從 $e(k)$ 和 $\Delta e(k)$ 個別分出 3 個歸屬函數，每一個節點表示一個歸屬函數，該層每一個輸入訊號對映一個歸屬函數值，歸屬函數層的輸出訊號 $y_{e,i}^2$ 和 $y_{\dot{e},i}^2$ 如



下所示。

$$y_{e,i}^2 = e^{-\left(\frac{y_{e,i}^1 - \bar{x}_{e,i}}{\sigma_{e,i}}\right)^2}, \quad i = 1 \sim 3 \quad (4)$$

$$y_{\dot{e},i}^2 = e^{-\left(\frac{y_{\dot{e},i}^1 - \bar{x}_{\dot{e},i}}{\sigma_{\dot{e},i}}\right)^2}, \quad i = 1 \sim 3 \quad (5)$$

其中 $\bar{x}_{e,i}$, $\bar{x}_{\dot{e},i}$ 和 $\sigma_{e,i}$, $\sigma_{\dot{e},i}$ 為高斯函數的平均值和標準偏差值。

(3)規則層(Rule layer)

規則層的輸出為歸屬函數層個別輸出的訊號相乘，表示為：

$$y_i^3 = y_{e,i}^2 \cdot y_{\dot{e},i}^2, \quad i = 1 \sim 3 \quad (6)$$

(4)解模糊化層(Defuzzier layer)

解模糊層負責執行聯集運算，將具有相同後鑑部模糊規則整合，其數學關係式表示如下：

$$y_1^4 = \sum_{i=1}^3 \bar{u}_i \cdot y_i^3, \quad i = 1 \sim 3 \quad (7)$$

$$y_2^4 = \sum_{i=1}^3 y_i^3 \quad (8)$$

(5)輸出層(Output layer)

輸出層將解模糊層的輸出表示為：

$$\Delta u(k) = \frac{y_1^4}{y_2^4} = \frac{\sum_{i=1}^3 [\bar{u}_i y_i^3]}{\sum_{i=1}^3 y_i^3} \quad (9)$$

$$u(k) = u(k-1) + \Delta u(k) \quad (10)$$

四、雙軸線性伺服馬達系統之模擬

首先定義在速度誤差 $e(k)$ 之模糊集合(Fuzzy Set)為 NE(大的負速度誤差)、nE(小的負速度誤差)、ZE(零速度誤差)、pE(小的正速度誤差)、PE(大的正速度誤差)共五個，其歸屬函數如圖 5 所示。

其次定義在加(減)速度誤差 $\Delta e(k)$ 之模糊集合(Fuzzy Set)為 ND(大的減速度誤差)、nD(小的減速度誤差)、ZD(零加速度誤差)、pD(小的加速度誤差)、PD(大的加速度誤差)共五個，其歸屬函數如圖 6 所示。

最後定義在控制量 $u(k)$ 之模糊集合(Fuzzy Set)為 NNU(特大的負控制量)、NnU(大的負控制量)、NU(中的負控制量)、nU(小的負控制量)、ZU(零控制量)、pU(小的正控制量)、PU(中的正控制量)、PpU(大的正控制量)、PPU(特大的正控制量)共九個，其歸屬函數如圖 7 所示。



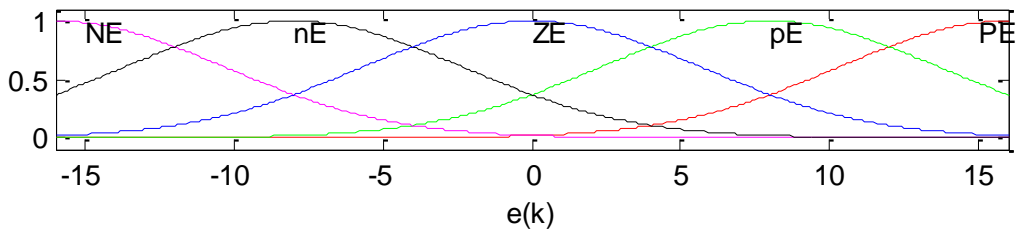


圖 5 定義在速度誤差 $e(k)$ 之模糊集合之歸屬函數

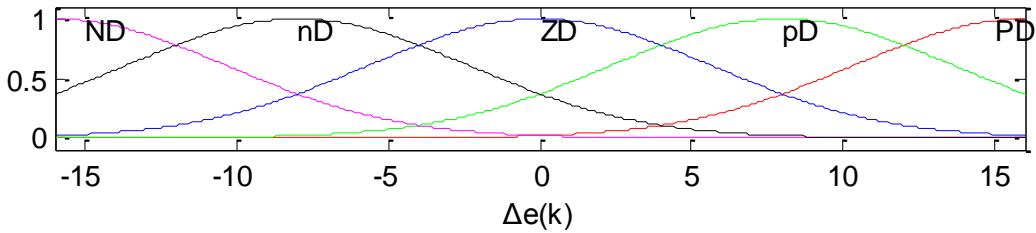


圖 6 定義在加(減)速度誤差 $\Delta e(k)$ 之模糊集合之歸屬函數

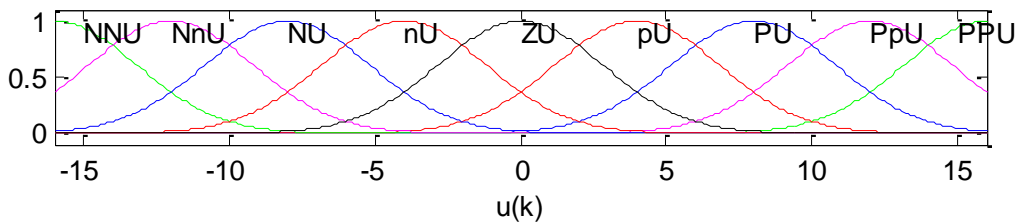


圖 7 定義在控制量 $u(k)$ 之模糊集合之歸屬函數

模糊規則庫如表 2 所示，共 25 條模糊規則，其意義如下：

R_1 : If $e(k)$ is NE and $\Delta e(k)$ is ND , then $u(k)$ is PPU ,

R_2 : If $e(k)$ is NE and $\Delta e(k)$ is nD , then $u(k)$ is PpU ,

.....

R_{24} : If $e(k)$ is PE and $\Delta e(k)$ is pD , then $u(k)$ is NnU ,

R_{25} : If $e(k)$ is PE and $\Delta e(k)$ is PD , then $u(k)$ is NNU .

表2 模糊規則庫

$e(k)$ $\Delta e(k)$ \ $u(k)$	NE	nE	ZE	pE	PE
ND	PPU	PpU	PU	pU	ZU
nD	PpU	PU	pU	ZU	nU
ZD	PU	pU	ZU	nU	NU
pD	pU	ZU	nU	NU	NnU
PD	ZU	nU	NU	NnU	NNU



(一)雙軸線性伺服馬達在無加載的情況下之同步運動控制模擬

速度命令設定為 100 cm/s，且無加載的情況(圖 2 之 $F_L = 0$)下，經如圖 3 之雙軸線性伺服馬達之同步控制模擬，得到線性伺服馬達 1 之速度和電流響應如圖 8 所示，線性伺服馬達 2 之速度和電流響應如圖 9 所示，線性伺服馬達 1 和 2 之速度響應和相對速度誤差響應如圖 10 所示。由圖 8 和圖 9 可觀察出線性伺服馬達 1 和 2 之速度響應約 0.3 秒達到穩態，且起動電流也控制在適當範圍。由圖 10 可觀察出線性伺服馬達 1 和 2 在啟動時約有最大 1.3 cm/s 之相對速度誤差，但約 2 秒後幾乎沒有相對速度誤差，很快達到同步運動控制。

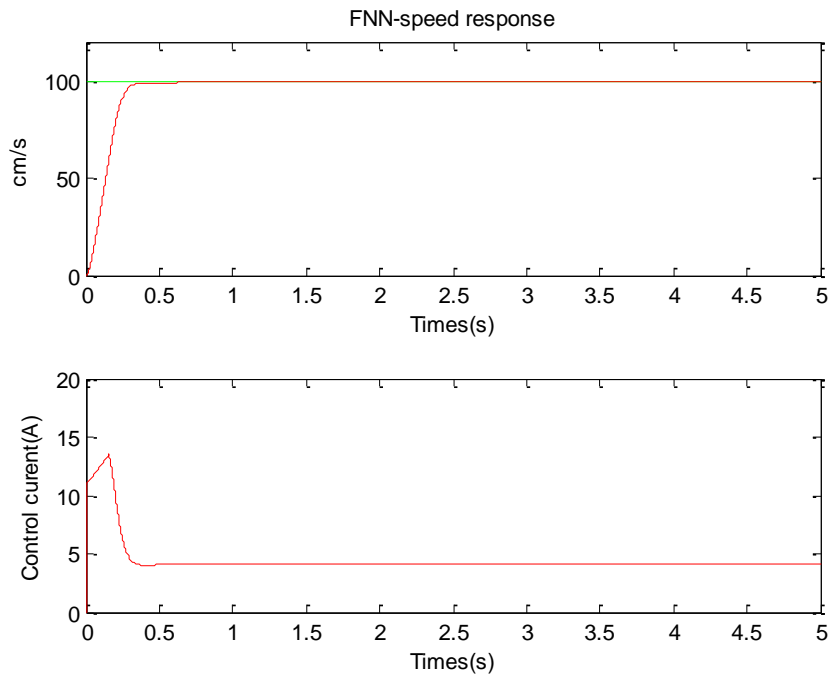


圖 8 速度命令為 100 cm/s 且無加載的情況，線性伺服馬達 1 之速度和電流響應



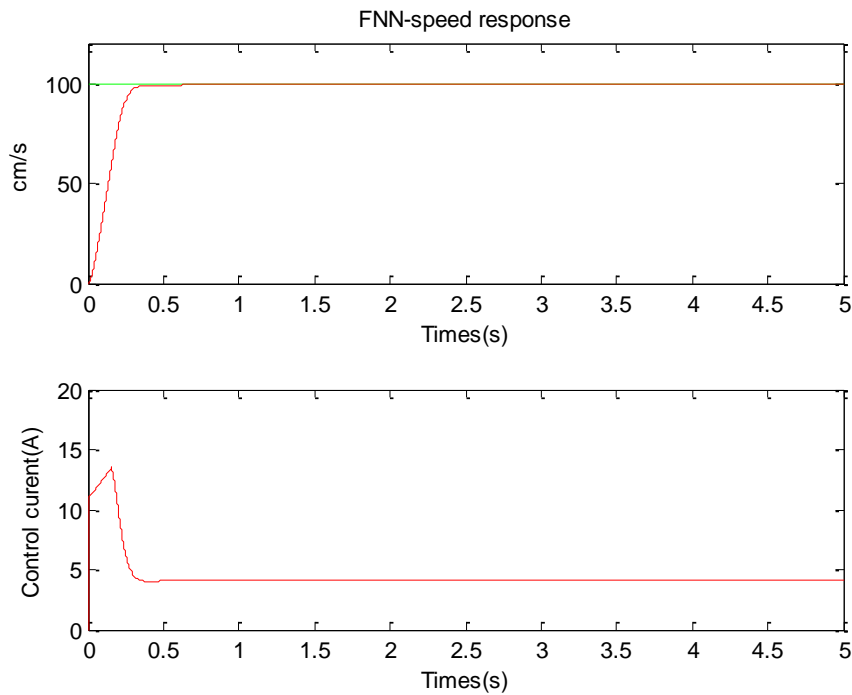


圖 9 速度命令為 100 cm/s 且無加載的情況，線性伺服馬達 2 之速度和電流響應

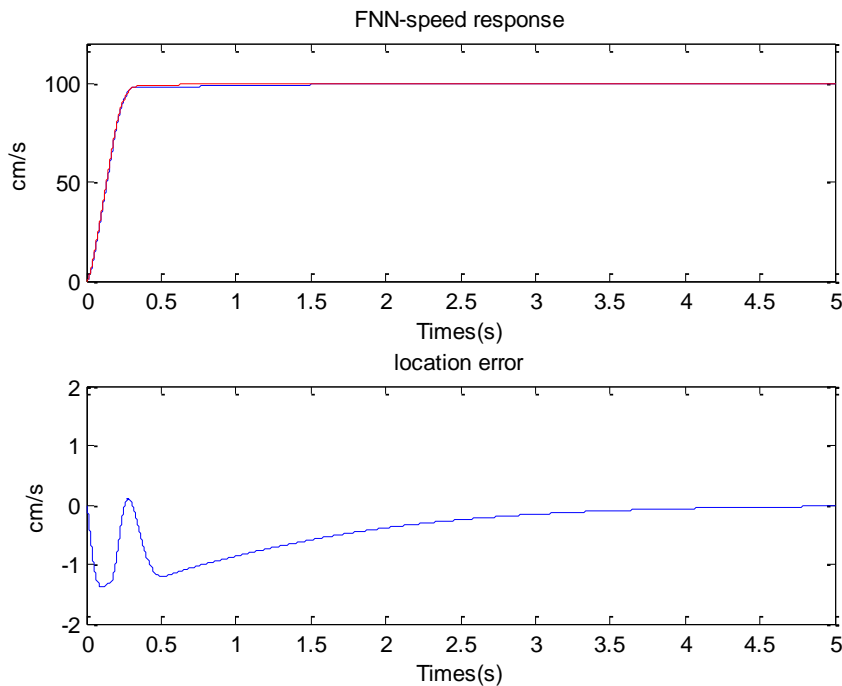


圖 10 線性伺服馬達 1 和 2 之速度響應和相對速度誤差響應

(二)雙軸線性伺服馬達在無加載的情況下之同步運動控制模擬

將速度命令設定為較低速 10 cm/s，且無加載的情況(圖 2 之 $F_L = 0$)下，經如圖 3 之雙軸線性伺服馬達之同步控制模擬，得到線性伺服馬達 1 和線性伺服馬達 2 之速度和電流響應，分別表示在圖 11 和圖 12，線性伺服馬達 1 和 2 之速度響應和相對速度誤差響應表示在圖 13。由圖 11 和圖 12 可觀察出線性伺服馬達 1 和 2 之速度響應約 0.3 秒達到



穩態，且起動電流也控制在適當範圍。由圖 13 可觀察出線性伺服馬達 1 和 2 在啟動時約有最大 1.0 cm/s 之相對速度誤差，約 0.4 秒後幾乎沒有相對速度誤差，非常快的達到同步運動控制。

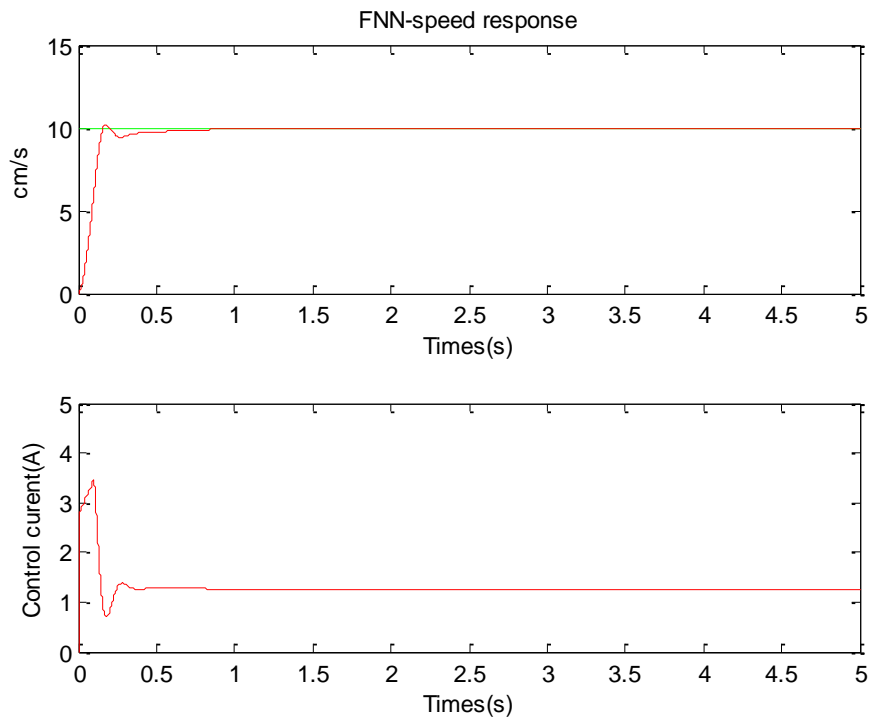


圖 11 速度命令為 10 cm/s 且無加載的情況，線性伺服馬達 1 之速度和電流響應

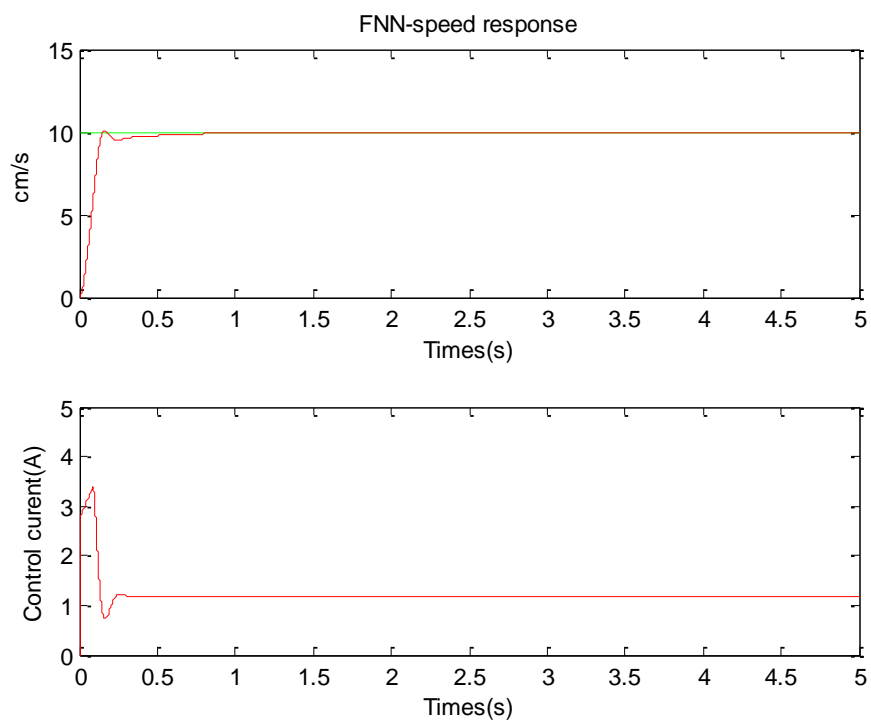


圖 12 速度命令為 10 cm/s 且無加載的情況，線性伺服馬達 2 之速度和電流響應

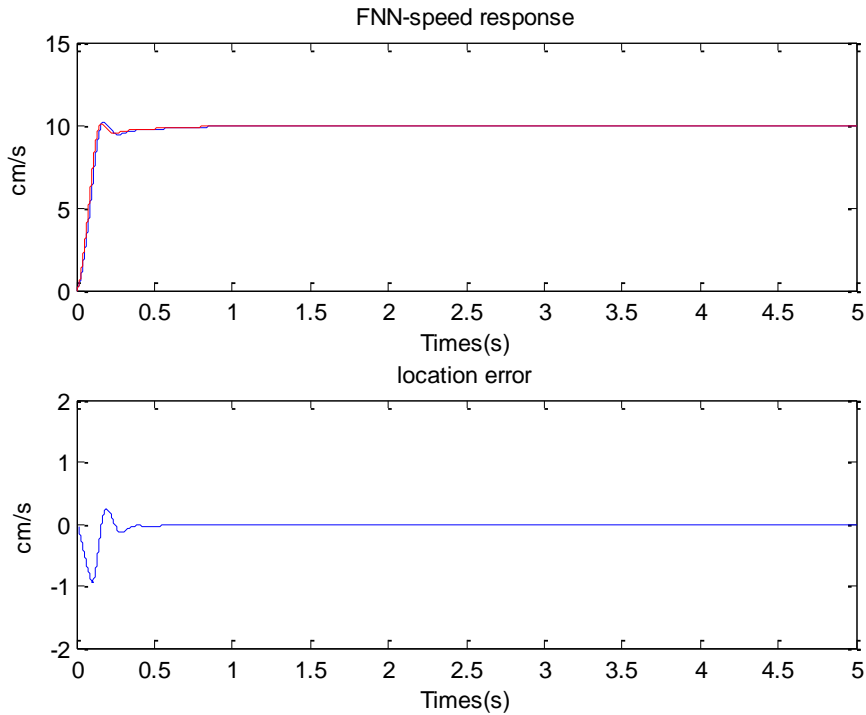


圖 13 線性伺服馬達 1 和 2 之速度響應和相對速度誤差響應

(三)雙軸線性伺服馬達在加載 10 N 的情況下之同步運動控制模擬

將速度命令設置於 100 cm/s，且加載 10 N 的情況(圖 2 之 $F_L = 10$)下，經如圖 3 之雙軸線性伺服馬達之同步控制模擬，得到線性伺服馬達 1 和線性伺服馬達 2 之速度和電流響應分別表示在圖 14 和圖 15，線性伺服馬達 1 和 2 之速度響應和相對速度誤差響應表示在圖 16。由圖 14 和圖 15 可觀察出線性伺服馬達 1 和 2 之速度響應約 1.5 秒達到穩態，且起動電流也控制在適當範圍。由圖 16 可觀察出線性伺服馬達 1 和 2 在啟動時約有最大 5.0 cm/s 之相對速度誤差，約 1.5 秒後幾乎沒有相對速度誤差，在加載 10 N 的情況下仍很快達到同步運動控制。



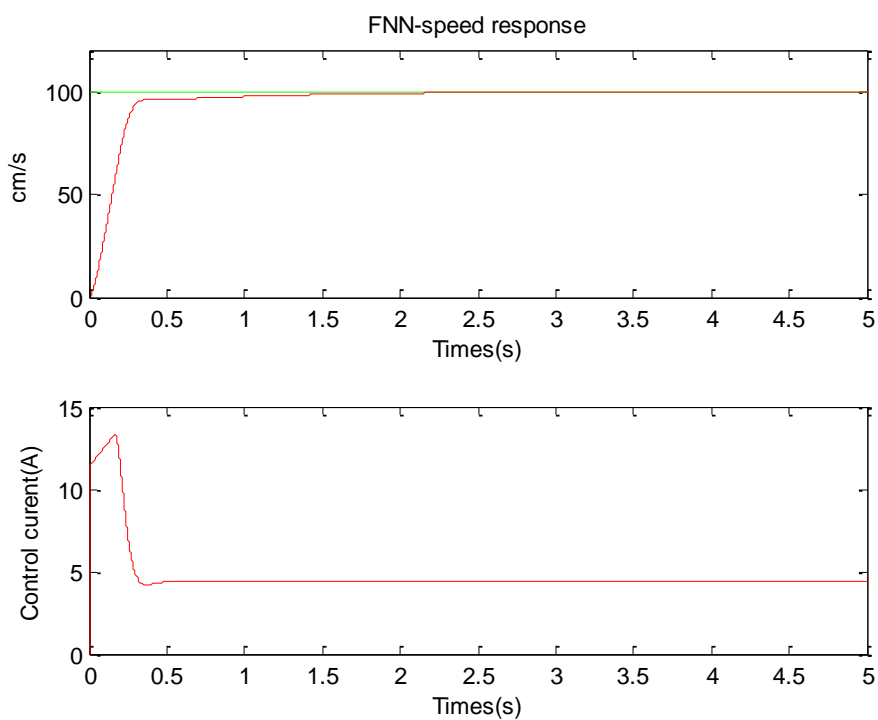


圖 14 速度命令為 100 cm/s 且加載 10 N 的情況，線性伺服馬達 1 之速度和電流響應

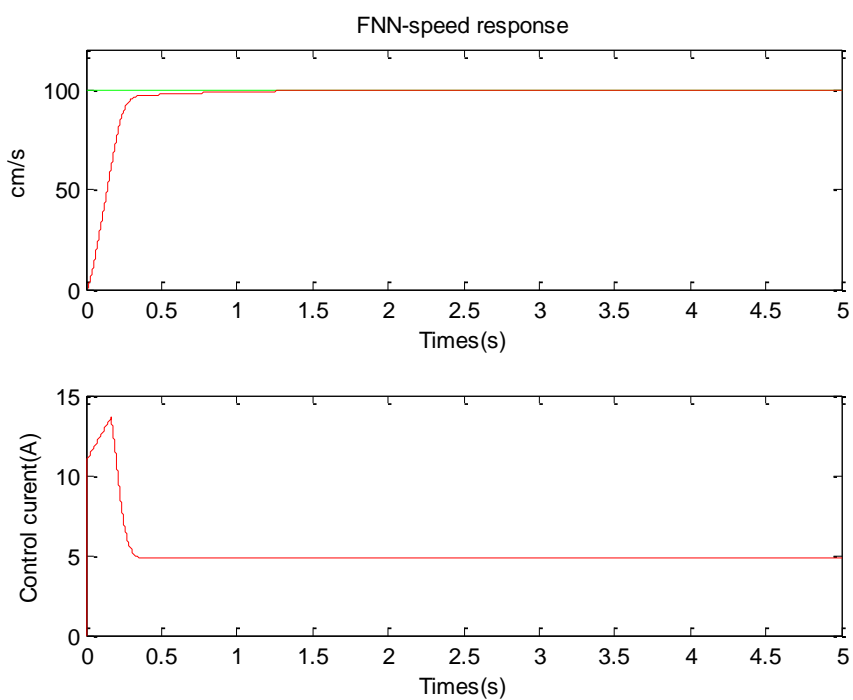


圖 15 速度命令為 100 cm/s 且加載 10 N 的情況，線性伺服馬達 2 之速度和電流響應



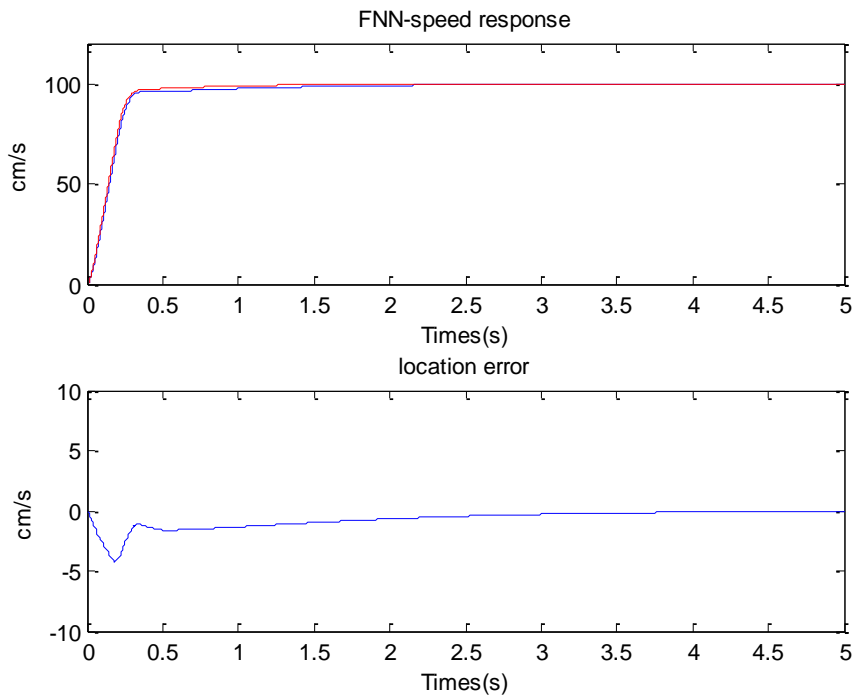


圖 16 線性伺服馬達 1 和 2 之速度響應和相對速度誤差響應

(四)雙軸線性伺服馬達在加載 10 N 的情況下之同步運動控制模擬

將速度命令設置於較低速 10 cm/s，且加載 10 N 的情況(圖 2 之 $F_L = 10$)下，經如圖 3 之雙軸線性伺服馬達之同步控制模擬，得到線性伺服馬達 1 和線性伺服馬達 2 之速度和電流響應分別表示在圖 17 和圖 18，線性伺服馬達 1 和 2 之速度響應和相對速度誤差響應表示在圖 19。由圖 17 和圖 18 可觀察出線性伺服馬達 1 和 2 之速度響應約 1.2 秒達到穩態，且起動電流也控制在適當範圍。由圖 19 可觀察出線性伺服馬達 1 和 2 在啟動時約有最大 2.0 cm/s 之相對速度誤差，約 0.5 秒後幾乎沒有相對速度誤差，在加載 10 N 的情況下仍很快達到同步運動控制。



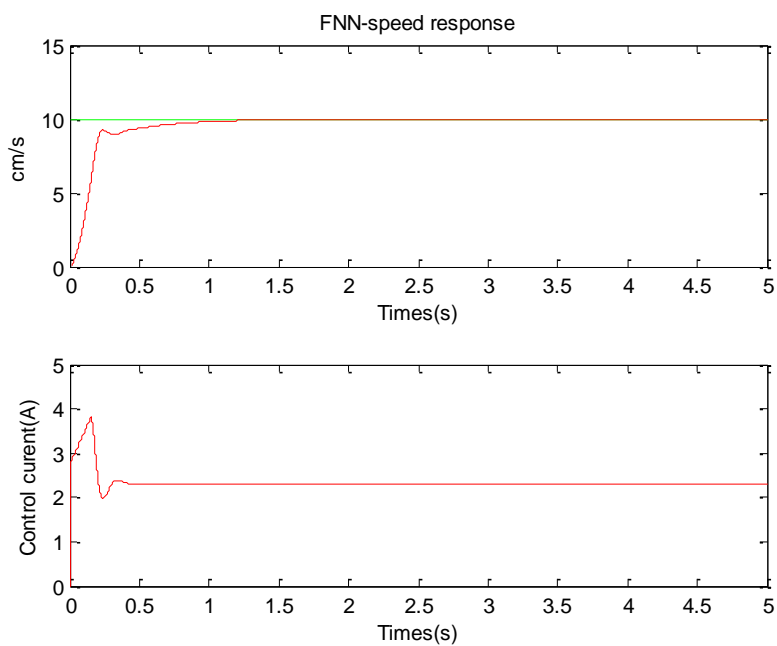


圖 17 速度命令為 10 cm/s 且加載 10 N 的情況，線性伺服馬達 1 之速度和電流響應

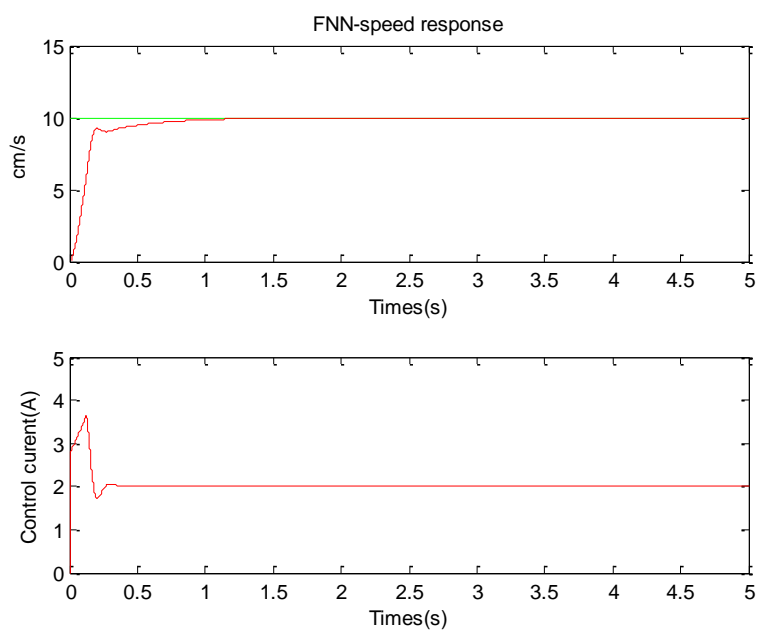


圖 18 速度命令為 10 cm/s 且加載 10 N 的情況，線性伺服馬達 2 之速度和電流響應



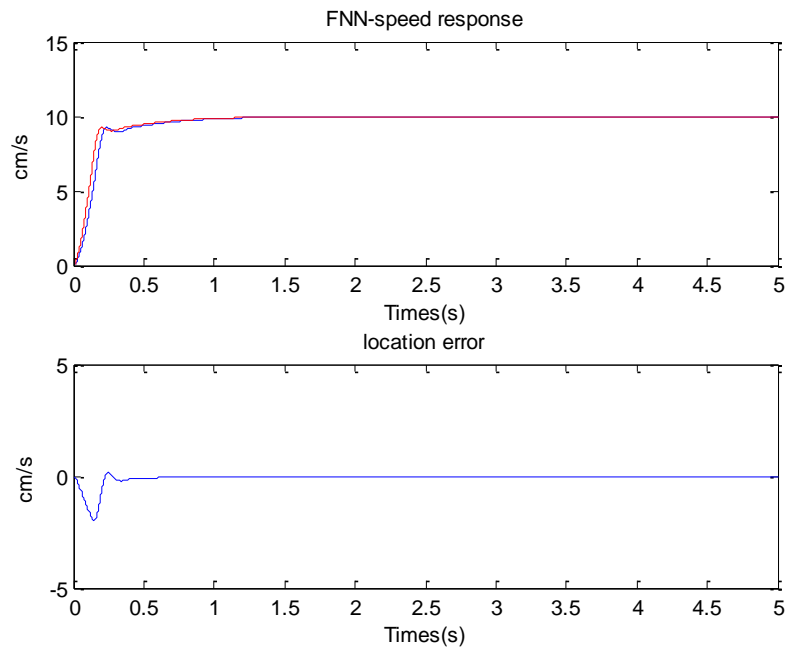


圖 19 線性伺服馬達 1 和 2 之速度響應和相對速度誤差響應

五、結論

本文提出利用模糊類神經網路交叉耦合控制器，以消除雙軸線性伺服馬達同步運動之相對速度誤差。利用兩個模糊類神經網路速度控制器，以控制雙軸線性伺服馬達同步運動且追隨速度命令。由模擬結果可觀察出，在較高速度 100 cm/s 到較低速度 10 cm/s 的寬廣速度範圍，本文所提控制方法對雙軸線性伺服馬達均可達到良好的同步運動控制。另外在加載 10 N 的情況下，本文所提控制方法對負載干擾具有高強健性，對雙軸線性伺服馬達仍可達到良好的同步運動控制。

六、參考文獻

- [1] B. Chu, S. Kim, D. Hong, H. K. Park, and J. Park (2004), "Optimal cross-coupled synchronizing control of dual-drive gantry system for a SMD assembly machine," *JSME Int. J. Series C*; 47(3):939-945.
- [2] Y. Koren (1980), "Cross-coupled biaxial computer control for manufacturing system," *Tran. ASME J. Dyn. Syst. Meas. Control*, 102:265-272.
- [3] K. Srinivasan and P. K. Kulkarni (1990), "Cross-coupled control of biaxial feed drive servomechanisms," *Tran. ASME J. Dyn. Syst. Meas. Control*, 112:225-232.
- [4] M. Tomizuka, J. S. Hu, and T. C. Chiu (1992), "Synchronization of two motion control axes under adaptive feedforward control," *Tran. ASME J. Dyn. Syst. Meas. Control*, 114(6):196-203.
- [5] K. K. Tan, S. Y. Lim, S. Huang, H. F. Dou, and T. S. Giam (2004), "Coordinated motion control of moving gantry stages for precision applications based on an observer-augmented composite controller," *IEEE Trans. on Control Syst. Technol.*, 12(6):984-991.
- [6] Y. Su, D. Sun, L. Ren, and J. K. Mills (2006), "Integration of saturated PI synchronous



- control and PD feedback for control of parallel manipulators,” *IEEE Trans. on Robot*, 22(1):202-207.
- [7] T. C. Chen and C. H. Yu (2009), “Generalized Regression Neural Network Based Modeling Approach for Traveling Wave Ultrasonic Motors,” *Electric Power Components and Systems*, 37(6):645–657.
- [8] R. H. Abiyev and O. Kaynak (2008), “Fuzzy wavelet neural networks for identification and control of dynamic plants-A novel structure and a comparative study,” *IEEE Trans. on Industrial Electronics*, 55(8):3133-3140.
- [9] C. F. Juang (2002), “A TSK-type recurrent fuzzy network for dynamic systems processing by neural network and genetic algorithms,” *IEEE Trans. on Fuzzy Systems*, 10(2):155-170.
- [10] S. E. Shafiei1 and M. R. Soltanpour (2011), “Neural network sliding-mode-PID controller design for electrically driven robot manipulators,” *International Journal of Innovative Computing, Information and Control*, 7(2),511-524.
- [11] T. Li, R. Li and D. Wang (2012), “Adaptive neural control of nonlinear MIMO systems with unknown time delays,” *Neurocomputing*, 78:83–88.
- [12] A. Prieto, F. Bellas, P. Caamano and R. J. Duro (2012), “Automatic neural-based pattern classification of motion behaviors in autonomous robots,” *Neurocomputing*, 75:146–155.
- [13] C. Quek, M. Pasquier, and B. B. S. Lim (2006), “POP-Traffic: A Novel Fuzzy Neural Approach to Road Traffic Analysis and Prediction,” *IEEE Trans. on Intelligent Transportation Systems*, 7(2),133-146.
- [14] J. Zhang and A. J. Morris (1995), “Fuzzy Neural Networks for Nonlinear Systems Modeling,” *IET Proc. Control Theory and Application*, 142(6),551-561.
- [15] D. G. Stavrakouds and J. B. Theochairs (2007), “Pipelined Recurrent Fuzzy Neural Networks for Nonlinear Adaptive Speech Prediction,” *IEEE Trans. on Systems, Man, and Cybernetics, Part B*, 37(5):1305-1320.
- [16] C. H. Wang, T. C. Lin and H. L. Liu (2002), “Adaptive Hybrid Intelligent Control for Uncertain Nonlinear Dynamical Systems,” *IEEE Trans. on Systems, Man and Cybernetics*, 32(5):583-597.
- [17] F. Jahangiri (2012), A. Doustmohammadi and M. B. Menhaj, “A An adaptive wavelet differential neural networks based identifier and its stability analysis,” *Neurocomputing*, 77:12–19.
- [18] R.J. Bhiwani and B.M. Patre (2011), “Stability analysis of fuzzy parametric uncertain systems,” *ISA Transactions*, 50:538–547.



Fuzzy Neural Network Controller for Biaxial Linear Servo Motors Synchronizing Motion Control

Tien-Chi Chen^a Chun-Jung Chen^b Ming-Fang Wu^c Jih-Huei Tsai^d Pin-Yen Fu^e

^a Department of Computer and Communication, Kun Shan University

^b Department of Electrical Engineering, Kun Shan University

^c Department of Electrical Engineering, Kun Shan University

^d Department of Electrical Engineering, Kun Shan University

^e Department of Electrical Engineering, Kun Shan University

ABSTRACT

A fuzzy neural network control method for synchronizing a biaxial linear servo motors motion is proposed in this paper. A fuzzy neural network cross-coupled controller is used to cancel out the skew speed error of the biaxial linear servo motors motion. The conventional fixed gain PID cross-coupled controller is replaced with the proposed fuzzy neural network cross-coupled controller to maintain biaxial linear servo motors synchronization motion. Two fuzzy neural network speed controllers provide the necessary control actions to maintain synchronization while following a variable command trajectory. This scheme provides strong robustness with respect to load disturbance. The simulation result reveals that the proposed control structure adapts to a wide speed range of operating conditions and provides promising results under load changes.

Keywords: fuzzy neural network cross-coupled controller, fuzzy neural network speed controller, biaxial linear servo motors, synchronizing motion control, robustness, load disturbance

