

## ĐIỀU KHIỂN ROBOT SCARA SỬ DỤNG GIẢI THUẬT MỜ-NƠON CONTROL OF SCARA ROBOT USING FUZZY-NEURAL ALGORITHM

Huỳnh Minh Vũ<sup>1</sup>, Trần Thanh Hùng<sup>2</sup>, Nguyễn Chí Ngôn<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Trường Đại học Kỹ thuật – Công nghệ Cần Thơ, Việt Nam

<sup>2</sup> Trường Đại học Cần Thơ, Việt Nam

Ngày toà soạn nhận bài 01/8/2019, ngày phản biện đánh giá 19/8/2019, ngày chấp nhận đăng 30/8/2019

### TÓM TẮT

Bài báo này nhằm mục tiêu kiểm chứng khả năng học hành vi điều khiển của chuyên gia dựa trên cơ chế suy diễn mờ-nơon thích nghi (adaptive neuro fuzzy inference systems - ANFIS). Để giả lập hành vi điều khiển của chuyên gia, bộ điều khiển fuzzy-PID cho robot SCARA đã được xây dựng. Bằng cơ chế huấn luyện, sau khi học được từ dữ liệu điều khiển của chuyên gia, bộ điều khiển ANFIS có thể hoạt động độc lập. Đối tượng được chọn lựa để kiểm chứng là robot SCARA. Đây là một hệ phi tuyến nhiều ngõ vào nhiều ngõ ra (multi inputs multi outputs – MIMO) tương đối khó điều khiển. Kết quả mô phỏng trên phần mềm MATLAB cho thấy bộ điều khiển dùng ANFIS hoàn toàn có thể sử dụng để học dữ liệu điều khiển của chuyên gia, tạo nền tảng cho xây dựng các bộ điều khiển có khả năng học theo hành vi của con người.

**Từ khóa:** Robot SCARA; Điều khiển mờ; Điều khiển PID; Điều khiển PID mờ; Mạng thích nghi dựa trên cơ chế suy luận mờ.

### ABSTRACT

This paper aims to verify the expert's ability to learn behavioral control based on adaptive fuzzy - neuro inference systems (ANFIS). To simulate the control behavioral of experts, a fuzzy-PID controller for SCARA robot has been built. By a training mechanism, ANFIS controller can operate independently, after learning from an expert control data. A SCARA robot is selected to verify this idea. This is a multi-input multi-output (MIMO) nonlinear system which is relatively difficult to control. The simulation results on MATLAB show that the controller using ANFIS can be used to learn expert control data, creating a foundation for building controllers that have the capacity to learn people behavior.

**Keywords:** SCARA robot; Fuzzy controller; PID controller; Fuzzy-PID controller; Adaptive Network based fuzzy inference systems (ANFIS).

### 1. GIỚI THIỆU

Robot công nghiệp là một trong những đối tượng được sử dụng phổ biến và mang lại hiệu quả cao trong sản xuất, sinh hoạt,... nhưng đồng thời cũng là đối tượng có tính phi tuyến mạnh, các tham số bất định lớn và chịu nhiều tác động của nhiễu. Song song với việc nâng cao độ chính xác trong các khâu lắp ghép cơ khí thì điều khiển cũng là một vấn đề hết sức quan trọng để cải thiện đáng kể chất lượng làm việc của robot. Hiện nay có nhiều phương pháp điều khiển đã được công bố và áp dụng thành công cho robot [1]. Tuy nhiên,

đến nay bài toán điều khiển robot vẫn luôn dành được nhiều sự quan tâm của các nhà khoa học nghiên cứu giải quyết để cải thiện chất lượng động học của robot. Robot công nghiệp là đối tượng phi tuyến nên rất khó xác định được chính xác các thông số đo lường tại các thời điểm nhất định.

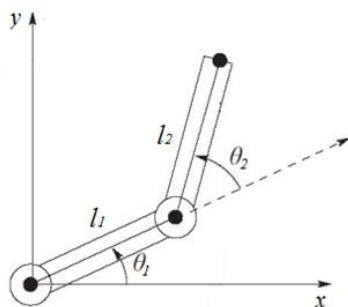
Do vậy, bài toán điều khiển robot là bài toán tương đối phức tạp và khó điều khiển. Do khả năng điều khiển hiệu quả, tính đơn giản trong thiết kế và phạm vi ứng dụng rộng, nên bộ điều khiển PID được ứng dụng rất phổ biến trong công nghiệp [2]. Trong lý

thuyết điều khiển, có rất nhiều phương pháp để hiệu chỉnh thông số của bộ điều khiển PID, phổ biến nhất là phương pháp Ziegler–Nichols [3]. Tuy nhiên, bộ điều khiển này có nhiều hạn chế như không phù hợp với đối tượng điều khiển là hệ phi tuyến hoặc thay đổi theo thời gian, khó xác định chính xác mô hình toán, các tham số không thể điều chỉnh tự động để thích ứng với điều kiện đã thay đổi [4]. Do đó, với bộ điều khiển PID thông thường khó có thể đạt được chất lượng điều khiển như mong muốn.

Trong quá trình phát triển các kỹ thuật điều khiển thông minh, logic mờ được ứng dụng thành công trong nhiều lĩnh vực với vai trò của một bộ quan sát. Cơ chế suy diễn mờ được xem là một phương pháp đơn giản và hiệu quả để tinh chỉnh các bộ điều khiển kinh điển [5]. Bộ điều khiển mờ với ngõ vào là tín hiệu lỗi và đạo hàm của tín hiệu lỗi, sẽ có ngõ ra là tín hiệu  $K_P$ ,  $K_I$  và  $K_D$  của bộ điều khiển PID, quá trình này có thể thực hiện online, không phải dừng hệ thống để tinh chỉnh các thông số bộ điều khiển PID. Song song đó thì mạng nơron có thể huấn luyện một cách nhanh chóng để xấp xỉ một quan hệ phi tuyến bất kỳ [6] để thực hiện bài toán nhận dạng hệ thống. Từ đó có thể tận dụng ưu điểm của logic mờ và mạng nơron để có sự kết hợp trong việc xây dựng bộ điều khiển có khả năng học theo hành vi của con người và có thể tự cải thiện chất lượng điều khiển trong quá trình học.

## 2. MÔ HÌNH TOÁN HỌC ROBOT SCARA

Khảo sát mô hình robot SCARA với giả thiết khớp tịnh tiến được cố định, được trình bày như hình 1.



Hình 1. Mô hình robot SCARA

Trong đó, các thông số mô hình robot SCARA được trình bày như bảng 1.

Bảng 1. Thông số mô hình robot SCARA

Kí hiệu	Ý nghĩa	Giá trị
$l_1$	Chiều dài khớp 1	1 m
$l_2$	Chiều dài khớp 2	0.8 m
$m_1$	Khối lượng khớp 1	1 kg
$m_2$	Khối lượng khớp 2	1 kg

Phương trình động lực của robot SCARA, trình bày như công thức (1). [7]

$$\begin{bmatrix} M_{11} & M_{12} \\ M_{21} & M_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \ddot{\theta}_1 \\ \ddot{\theta}_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} V_1 \\ V_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} G_1 \\ G_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \tau_1 \\ \tau_2 \end{bmatrix}, \quad (1)$$

trong đó:

$$\begin{cases} M_{11} = (m_1 + m_2)l_1^2 + m_2l_2^2 + 2m_2l_1l_2 \cos \theta_2, \\ M_{12} = m_2l_2^2 + m_2l_1l_2 \cos \theta_2, \\ M_{21} = m_2l_2^2 + m_2l_1l_2 \cos \theta_2, \\ M_{22} = m_2l_2^2, \end{cases} \quad (2)$$

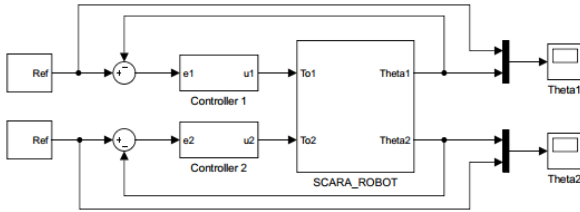
$$\begin{cases} V_1 = -m_2l_1l_2(2\dot{\theta}_1\dot{\theta}_2 + \dot{\theta}_2^2) \sin \theta_2, \\ V_2 = m_2l_1l_2\dot{\theta}_1^2 \sin \theta_2, \end{cases} \quad (3)$$

$$\begin{cases} G_1 = 0, \\ G_2 = 0. \end{cases} \quad (4)$$

Khi đó:  $M_{11}$ ,  $M_{12}$ ,  $M_{21}$  và  $M_{22}$  là các ma trận quán tính;  $V_1$  và  $V_2$  là vector vận tốc hướng tâm;  $G_1$  và  $G_2$  là vector gia tốc trọng trường (do robot thuộc mặt phẳng Oxy nên thành phần này bằng 0);  $\theta_1$  và  $\theta_2$  là vị trí của khớp thứ nhất và thứ hai;  $\tau_1$  và  $\tau_2$  là moment động cơ tác động lên trục quay của khớp thứ nhất và thứ hai. Giới hạn vùng hoạt động của

hệ tay máy trong khoảng  $-\frac{\pi}{2} \leq \theta_1, \theta_2 \leq \frac{\pi}{2}$ .

Để điều khiển robot SCARA, nghiên cứu này sử dụng phương pháp điều khiển đơn khớp, nghĩa là đặt từng bộ điều khiển lần lượt cho hai khớp, mô hình điều khiển được trình bày như hình 2.

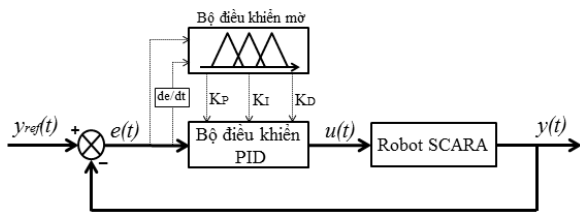


Hình 2. Mô hình điều khiển robot SCARA

3. ĐIỀU KHIỂN ROBOT SCARA

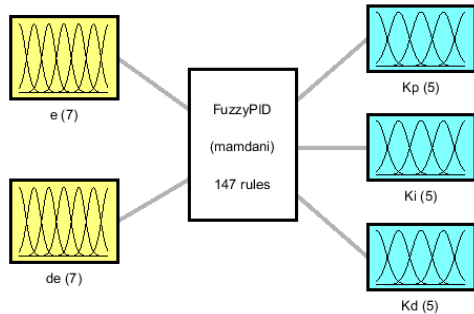
3.1 Xây dựng bộ điều khiển fuzzy-PID

Sơ đồ mô tả mô hình tổng quát của bộ điều khiển fuzzy-PID, được trình bày như hình 3.



Hình 3. Mô hình tổng quát điều khiển fuzzy-PID

Khi đó bộ điều khiển mờ được trình bày như hình 4 có nhiệm vụ cung cấp các thông số  $K_P$ ,  $K_I$  và  $K_D$  cho bộ điều khiển PID nhằm mục đích tạo ra tín hiệu điều khiển  $u(t)$  để điều khiển robot SCARA.



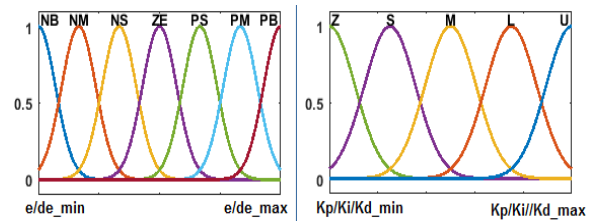
Hình 4. Cấu trúc bộ điều khiển mờ

Trong cấu trúc hình 4, ngõ vào thứ nhất của bộ điều khiển mờ là  $e$  và ngõ vào thứ hai là  $de$ , cả hai được mờ hóa bởi 7 tập mờ {NB, NM, NS, ZE, PS, PM, PB}. Trong đó, NB là Negative Big, NM là Negative Medium, NS là Negative Small, ZE là Zero, PS là Positive Small, PM là Positive Medium, PB là Positive Big. Ngõ ra của bộ điều khiển mờ là  $K_P$ ,  $K_I$  và  $K_D$ , cả ba được mờ hóa bởi 5 tập mờ {Z, S, M, L, U}. Trong đó, Z là Zero, S là Small, M là Medium, L là Large, U là Ultra

large. Hàm liên thuộc được sử dụng là hàm Gauss (hình 5), được xác định như công thức (5).

$$\mu_{A_i}(x) = \exp\left\{-\frac{\|c_i - x\|^2}{2b_i^2}\right\}, \quad (5)$$

với  $c_i$  và  $b_i$  là tâm và độ rộng của hàm Gauss.



Hình 5. Hàm liên thuộc ngõ vào và ngõ ra bộ điều khiển mờ

Miền xác định của các biến ngõ vào và biến ngõ ra của bộ điều khiển mờ dựa trên thực nghiệm và được trình bày trong bảng 2 và bảng 3.

Bảng 2. Thông số bộ điều khiển fuzzy-PID 1

Thông số	Kí hiệu	Giá trị
$e_1$	$[e_{1min}, e_{1max}]$	$[-1, 1]$
$de_1$	$[de_{1min}, de_{1max}]$	$[-1, 1]$
$K_{P1}$	$[K_{P1min}, K_{P1max}]$	$[0, 340]$
$K_{I1}$	$[K_{I1min}, K_{I1max}]$	$[0, 40]$
$K_{D1}$	$[K_{D1min}, K_{D1max}]$	$[0, 100]$

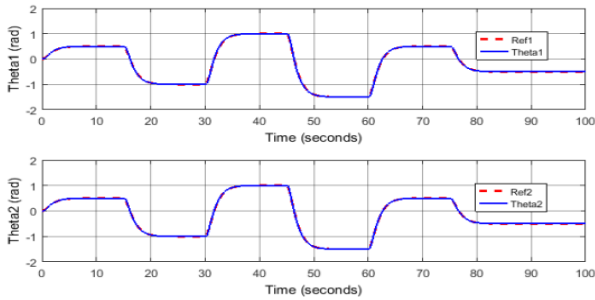
Bảng 3. Thông số bộ điều khiển fuzzy-PID 2

Thông số	Kí hiệu	Giá trị
$e_2$	$[e_{2min}, e_{2max}]$	$[-1, 1]$
$de_2$	$[de_{2min}, de_{2max}]$	$[-1, 1]$
$K_{P2}$	$[K_{P2min}, K_{P2max}]$	$[0, 200]$
$K_{I2}$	$[K_{I2min}, K_{I2max}]$	$[0, 10]$
$K_{D2}$	$[K_{D2min}, K_{D2max}]$	$[0, 20]$

Cơ chế suy diễn mờ được chọn là MAX-MIN. Việc giải mờ thực hiện theo phương pháp trọng tâm.

3.2 Kết quả mô phỏng fuzzy-PID

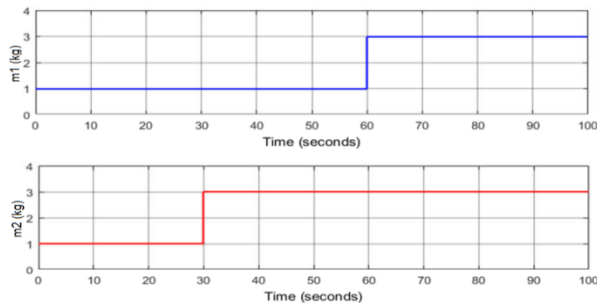
Hình 6 trình bày kết quả điều khiển của bộ điều khiển fuzzy-PID khi tín hiệu đặt là hình nấc.



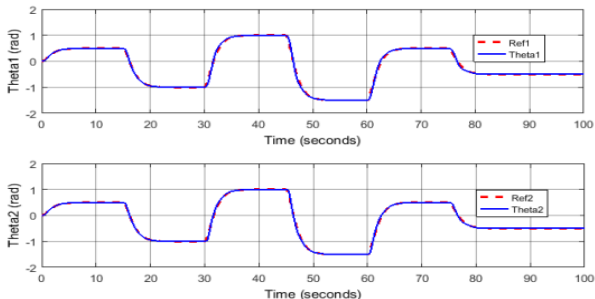
**Hình 6.** Đáp ứng của hệ thống với tín hiệu đặt hình nấc

Kết quả hình 6 cho thấy hiệu quả điều khiển của bộ điều khiển fuzzy-PID điều khiển các khớp bám theo tín hiệu đặt hình nấc đã qua bộ lọc tương đối tốt, đảm bảo các chỉ chất lượng hệ thống như độ vọt lố, thời gian tăng, thời gian xác lập và sai số xác lập.

Để kiểm tra khả năng thích nghi của bộ điều khiển fuzzy-PID khi thay đổi tải trọng, tác giả đã giả sử tải trọng tại các khớp thay đổi theo thời gian, cụ thể khối lượng của khớp 2 tăng 200% tại thời điểm 30 giây, khối lượng khớp 1 tăng 200% tại thời điểm 60 giây như hình 7, khi đó kết quả điều khiển được trình bày như hình 8.



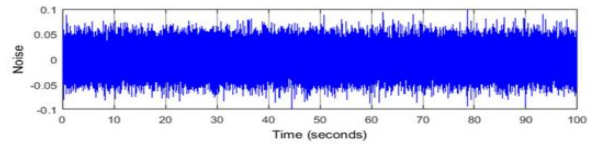
**Hình 7.** Tải trọng thay đổi theo thời gian



**Hình 8.** Đáp ứng của hệ thống khi tải trọng thay đổi

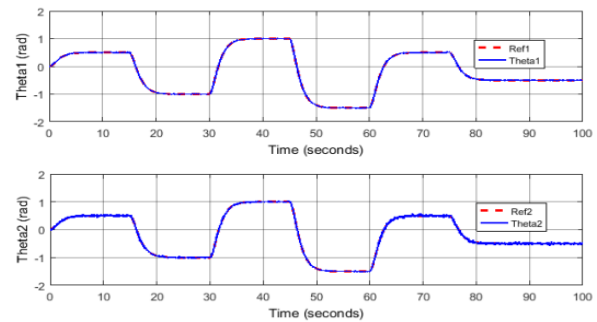
Kết quả hình 10 cho thấy hiệu quả điều khiển của bộ điều khiển fuzzy-PID khi tải trọng thay đổi theo thời gian, các thông số

chất lượng hệ thống vẫn được đảm bảo, tuy nhiên tại các thời điểm thay đổi tải trọng và sau đó thì tín hiệu điều khiển có giá trị cao hơn so với lúc hệ thống có tải trọng không thay đổi tại cùng thời điểm.



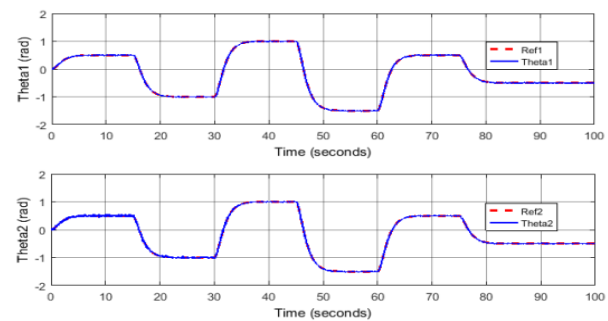
**Hình 9.** Tín hiệu nhiễu cảm biến góc khớp

Để kiểm tra hiệu quả của bộ điều khiển fuzzy-PID dưới tác động của nhiễu, tác giả đã giả sử hệ thống dưới tác động của nhiễu, cụ thể là nhiễu tại tín hiệu hồi tiếp, giả lập nhiễu do cảm biến góc khớp gây ra như hình 9, khi đó kết quả điều khiển được trình bày như hình 10.



**Hình 10.** Đáp ứng của hệ thống khi có nhiễu tác động

Kết quả hình 10 cho thấy hiệu quả điều khiển của bộ điều khiển fuzzy-pid khi có nhiễu tác động, tín hiệu ngõ ra vẫn bám với tín hiệu đặt, các thông số chất lượng hệ thống vẫn đảm bảo nhằm khẳng định hiệu quả của bộ điều khiển fuzzy-pid tác giả đã giả sử hệ thống có tải trọng thay đổi (hình 7) và có nhiễu tác động (hình 9) cùng lúc, kết quả điều khiển được trình bày như hình 11.



**Hình 11.** Đáp ứng hệ thống khi tải thay đổi và nhiễu tác động

Kết quả hình 11 cho thấy hiệu quả điều khiển của bộ điều khiển fuzzy-PID khi tải trọng thay đổi và có cả tác động của nhiễu, tín hiệu ngõ ra vẫn bám với tín hiệu đặt, các thông số chất lượng hệ thống vẫn đảm bảo. Tuy nhiên tín hiệu điều khiển có sự vọt lố lớn tại thời điểm tải trọng thay đổi.

### 3.3 Xây dựng bộ điều khiển mờ-nơron

Có thể xem bộ điều khiển fuzzy-PID đã xây dựng trước đó như kinh nghiệm của một chuyên gia, tiến hành thiết kế bộ điều khiển mờ-nơron để điều khiển robot SCARA gồm các bước chính như sau:

- Bước 1: Xây dựng tập dữ liệu huấn luyện từ bộ điều khiển fuzzy-PID.
- Bước 2: Sử dụng công cụ ANFIS Editor/MATLAB, tiến hành load tập dữ liệu có được từ Bước 1.
- Bước 3: Tiến hành huấn luyện mạng cho đến khi đạt sai số cho phép.
- Bước 4: Truy xuất dữ liệu huấn luyện được thành file FIS đưa vào bộ điều khiển.

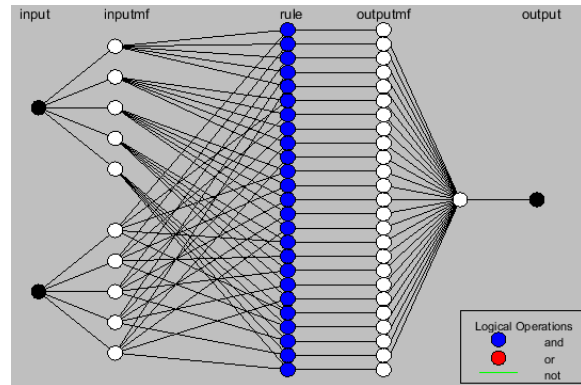
Tập dữ liệu huấn luyện là tập các thông số ngõ vào và thông số ngõ ra tối ưu dùng để điều khiển hệ thống. Việc xây dựng tập dữ liệu huấn luyện có ảnh hưởng quyết định đến chất lượng điều khiển.

Để xây dựng được tập dữ liệu huấn luyện cho bộ điều khiển ta cần mô phỏng hệ thống khi được điều khiển bởi bộ điều khiển fuzzy-PID để lấy các dữ liệu như sai lệch, đạo hàm sai lệch theo thời gian và tín hiệu ngõ ra.

Bộ điều khiển mờ-nơron có thể xây dựng theo nhiều cấu trúc khác nhau, trong nghiên cứu này tác giả chọn cấu trúc như hình 12. trong cấu trúc này bộ điều khiển mờ-nơron có 2 ngõ vào và 1 ngõ ra, mỗi ngõ vào có 5 nơron, hàm liên thuộc ngõ vào được chọn là hàm dạng tam giác, được xác định như công thức (6).

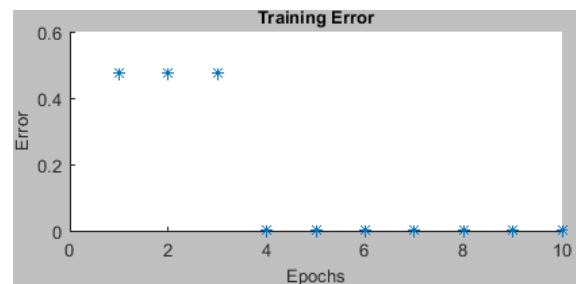
$$\mu_{A^i}(x) = \begin{cases} 0 & x < a \\ \frac{x-a}{b-a} & a \leq x < b \\ \frac{x-c}{b-c} & b \leq x < c \\ 0 & x \geq c \end{cases} \quad (6)$$

với  $a, b, c$  là hoành độ đỉnh của tập mờ tam giác.

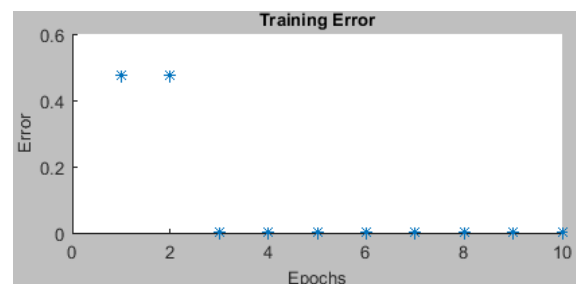


Hình 12. Cấu trúc hệ mờ - nơron

Sau 10 chu kỳ huấn luyện ta thu được bộ điều khiển mờ-nơron với sai số huấn luyện (hình 13 và hình 14) lần lượt của hai bộ điều khiển là 0.473575 (tại chu kỳ thứ 2) và 0.477806 (tại chu kỳ thứ 3), sau đó sai số huấn luyện đã hội tụ về 0. Kết quả này có thể chấp nhận được.



Hình 13. Kết quả huấn luyện hệ mờ-nơron 1

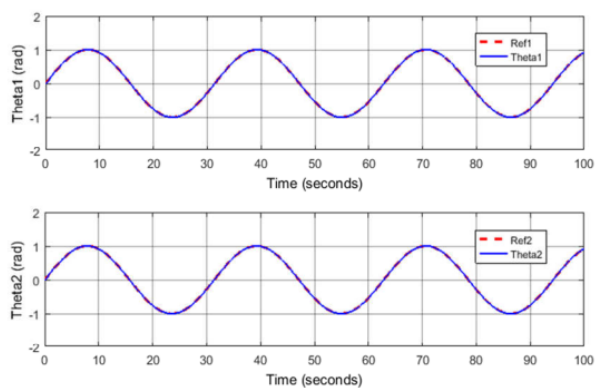


Hình 14. Kết quả huấn luyện hệ mờ-nơron 2

### 3.4 Kết quả mô phỏng mờ-nơron

Để thấy rõ khả năng điều khiển của bộ điều khiển mờ-nơron, kết quả mô phỏng sẽ được khảo sát với các tín hiệu đặt khác nhau.

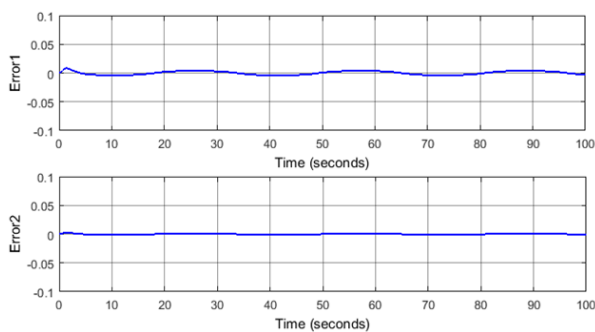
Hình 15 khảo sát đáp ứng của robot SCARA với tín hiệu đặt là hình sin.



**Hình 15.** Đáp ứng của hệ thống với bộ điều khiển mờ-nơron khi tín hiệu đặt hình sin

Kết quả hình 15 cho thấy hiệu quả điều khiển của bộ điều khiển mờ-nơron đối với tín hiệu đặt hình sin, tín hiệu ngõ ra bám tốt với tín hiệu đặt, cho thấy các thông số chất lượng hệ thống vẫn được đảm bảo.

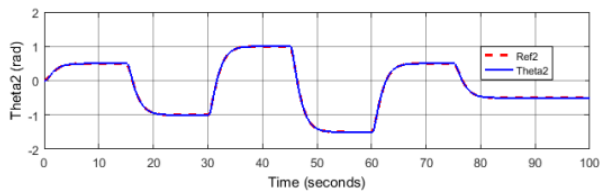
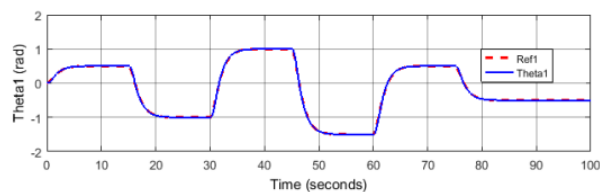
Tín hiệu lỗi của bộ điều khiển mờ-nơron khi tín hiệu đặt hình sin được trình bày như hình 16.



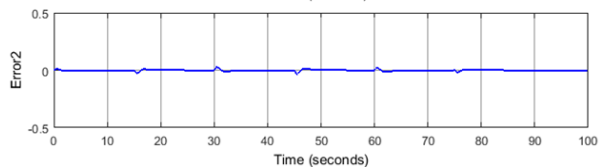
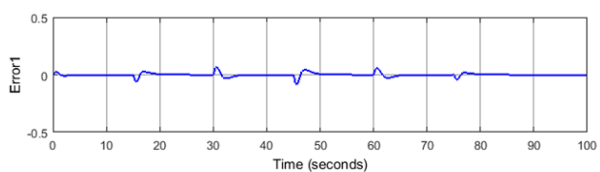
**Hình 16.** Sai số giữa tín hiệu đặt và đáp ứng khi tín hiệu đặt hình sin

Từ hình 16, nhận xét thấy tín hiệu lỗi của bộ điều khiển đối với khớp thứ nhất cao hơn so với khớp thứ hai, do đó việc điều khiển khớp thứ nhất sẽ khó khăn hơn khớp thứ hai của robot SCARA.

Đáp ứng điều khiển và tín hiệu lỗi của bộ điều khiển khi tín hiệu đặt là hình nấc, được trình bày như hình 17 và hình 18.



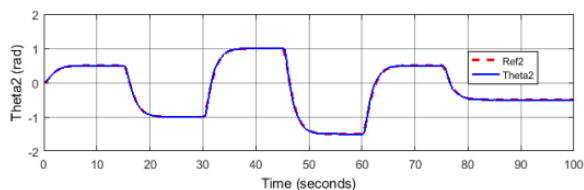
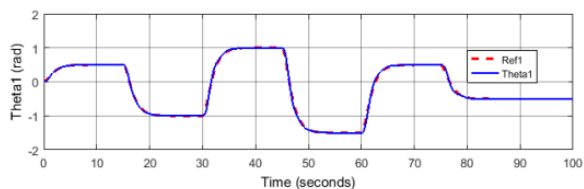
**Hình 17.** Đáp ứng của hệ thống với bộ điều khiển mờ-nơron khi tín hiệu đặt hình nấc



**Hình 18.** Sai số giữa tín hiệu đặt và đáp ứng khi tín hiệu đặt hình nấc

Kết quả hình 17 cho thấy hiệu quả điều khiển của bộ điều khiển mờ-nơron để điều khiển robot SCARA khi tín hiệu đặt hình nấc, tín hiệu ngõ ra bám tốt với tín hiệu đặt, các thông số chất lượng hệ thống vẫn được đảm bảo.

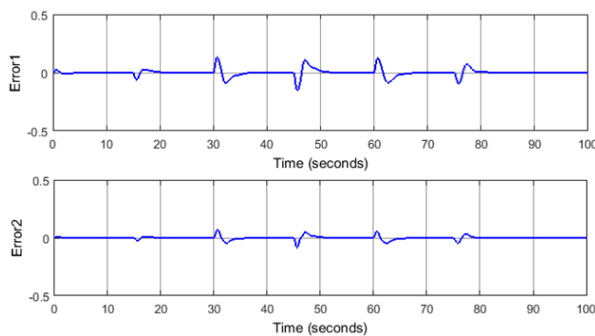
Để kiểm tra tính ổn định của bộ điều khiển mờ-nơron tác giả đã giả sử trong quá trình điều khiển tải trọng thay đổi theo thời gian, kết quả điều khiển được trình bày như hình 19.



**Hình 19.** Đáp ứng của hệ thống với bộ điều khiển mờ-nơron khi tải thay đổi

Kết quả hình 19 cho thấy khả năng thích nghi của bộ điều khiển mờ-noron ngay cả khi tải trọng thay đổi, tín hiệu ngõ ra vẫn bám tốt với tín hiệu đặt, tuy nhiên ngay sau lần thay đổi tải đầu ở giây thứ 30 thì tín hiệu điều khiển có giá trị cao hơn so với cùng thời điểm khi tải trọng không thay đổi.

Hình 20 trình bày tín hiệu lỗi của bộ điều khiển mờ-noron với tín hiệu đặt hình nấc và tải trọng thay đổi theo thời gian.



**Hình 20.** Sai số giữa tín hiệu đặt và đáp ứng khi tín hiệu đặt hình nấc và tải trọng thay đổi

Từ hình 20, nhận xét thấy tín hiệu lỗi khi tải trọng thay đổi sẽ cao hơn so với lúc tải trọng không thay đổi, điều này hoàn toàn phù hợp với thực tế.

#### 4. KẾT LUẬN

Các kết quả mô phỏng trên cho thấy hiệu quả của bộ điều khiển fuzzy-PID và bộ điều khiển mờ-noron khi điều khiển robot SCARA, điều này cho thấy sự kết hợp giữa hệ mờ và mạng noron đã có hiệu quả và có khả năng tạo ra bộ điều khiển từ kinh nghiệm của con người, không cần quan tâm mô hình đối tượng.

Tuy nhiên, trong quá trình huấn luyện kinh nghiệm chuyên gia phải được cập nhật liên tục để có được kết quả điều khiển tốt nhất. Hướng nghiên cứu tiếp theo là áp dụng bộ điều khiển đã đề xuất vào mô hình robot SCARA thực tế và cập nhật liên tục kinh nghiệm chuyên gia trong quá trình điều khiển.

#### TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Thái Hữu Nguyên, *Điều khiển thích nghi phi tuyến robot công nghiệp trên cơ sở mạng noron nhân tạo*, Luận án tiến sĩ, 2014.
- [2] Salami M. and G. Cain, *An adaptive PID controller based on genetic algorithm processor*, IEEE Conf. Publ, pp. 88-93, 1995.
- [3] Kwok DP and Wang P, *Fine-tuning of classical PID Controllers based on Genetic Algorithms*, IEEE Inter, Workshop on Emerging Technologies and Factory Automation, pp. 37-43, 1992.
- [4] Zhu Q, Ma Z and Warwick, *Neural network enhanced generalised minimum variance self-tuning controller for nonlinear discrete-time systems*, IEE Proc, Control Theory Appl, 146(4): 319–326, 1999.
- [5] Leonid Reznik, *Fuzzy Controllers*, Newnes, 1997.
- [6] Nguyễn Chí Ngôn, *Điều khiển trượt mạng noron hệ nâng vật bằng từ trường*, Tạp chí khoa học Đại học Cần Thơ, 17b: 140-147, 2011.
- [7] Frank L.Lewis, *Robot manipulator control theory and practice*, Springer, 2004.

#### Tác giả chịu trách nhiệm bài viết:

Nguyễn Chí Ngôn  
 Trường Đại học Cần Thơ  
 Email: ncngon@ctu.edu.vn