

DOI:10.22144/ctu.jvn.2019.090

## THIẾT KẾ BỘ ĐIỀU KHIỂN MỜ LAI CASCADE ÁP DỤNG CHO ROBOT RẮN

Huỳnh Minh Vũ<sup>1\*</sup>, Nguyễn Chí Ngôn<sup>2</sup> và Lê Đăng Khánh Linh<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Khoa Kỹ thuật cơ khí, Trường Đại học Kỹ thuật – Công nghệ Cần Thơ

<sup>2</sup>Khoa Công nghệ, Trường Đại học Cần Thơ

\*Người chịu trách nhiệm về bài viết: Huỳnh Minh Vũ (email: hmvu@ctu.edu.vn)

### Thông tin chung:

Ngày nhận bài: 15/02/2019

Ngày nhận bài sửa: 22/04/2019

Ngày duyệt đăng: 29/08/2019

### Title:

Designing fuzzy-PID controller apply for snake robot

### Từ khóa:

Bộ điều khiển mờ, bộ điều khiển PID, robot rắn

### Keywords:

Fuzzy controller, PID controller, snake robot

### ABSTRACT

Nowadays, PID controller have been used to regulate a process in most of the industrial control systems. This is commonly designed by the Ziegler-Nichols tuning method. However, this method has the disadvantage that it depends on actual processes, so it is difficult to find optimal parameters of the controller by manual turning. This paper is to propose a combination of a fuzzy controller to generate a signal to compensate for the PID controller, so called fuzzy-PID controller. The characteristics of the Fuzzy-PID controller are illustrated with simulation results in the control of direction and speed of a snake robot. Simulation results were implemented basing on MATLAB/Simulink software as follows. The overshoot, rise time and setting time of the system with fuzzy-PID controller are superior to those of the PID controller. Besides, the controller also responded to noise interference on the systems.

### TÓM TẮT

Hiện nay, hầu hết các hệ điều khiển trong công nghiệp đều sử dụng bộ điều khiển PID để điều khiển quá trình. Phương pháp thông dụng để chỉnh định bộ điều khiển này là giải thuật Ziegler-Nichols. Tuy nhiên, phương pháp này phụ thuộc bởi đối tượng điều khiển thực tế, khó đạt được giá trị tối ưu của bộ điều khiển thông qua việc hiệu chỉnh thủ công. Bài báo này đề xuất một giải pháp kết hợp bộ điều khiển mờ để bù cho bộ điều khiển PID kinh điển, gọi là Fuzzy-PID. Đặc tính của bộ điều khiển Fuzzy-PID được minh họa bằng kết quả mô phỏng điều khiển hướng và vận tốc của robot rắn. Kết quả điều khiển dựa trên phần mềm MATLAB/Simulink cho thấy: Độ vọt lố, thời gian tăng và thời gian xác lập của hệ thống với bộ điều khiển mờ lai vượt trội hơn so với bộ điều khiển PID truyền thống. Ngoài ra, bộ điều khiển còn đáp ứng được khi có nhiễu tác động vào hệ thống.

Trích dẫn: Huỳnh Minh Vũ, Nguyễn Chí Ngôn và Lê Đăng Khánh Linh, 2019. Thiết kế bộ điều khiển mờ lai cascade áp dụng cho robot rắn. Tạp chí Khoa học Trường Đại học Cần Thơ. 55(4A): 1-10.

## 1 GIỚI THIỆU

Do khả năng điều khiển hiệu quả, tính đơn giản trong thiết kế và phạm vi ứng dụng rộng, nên bộ điều khiển PID (proportional–integral–derivative controller) được ứng dụng rất phổ biến trong công nghiệp (Salami and Cain, 1995). 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 (Kwok and Wang, 1992).

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 (Zhu *et al.*, 1999). Do đó, với bộ điều khiển PID thông thường khó có thể đạt được chất lượng điều khiển như mong muốn. Trong những năm gần đây, một số giải thuật điều khiển thông minh đã được đề nghị để cải tiến bộ điều khiển PID truyền thống. Cụ thể là giải thuật điều khiển feedforward - feedback được kiểm chứng là phù hợp để điều khiển hệ phi tuyến (Nguyễn Hoàng Dũng, 2011). Trong đó, bộ điều khiển feedback được thiết kế dựa trên PID và bộ điều khiển forward được thiết kế dựa trên mạng nơ-ron lan truyền ngược. Hơn nữa, sự kết hợp giữa bộ điều khiển trượt và bộ điều khiển PID có thể điều khiển tốt đối tượng phi tuyến (Nguyễn Hoàng Dũng, 2012). Trong đó, hàm trượt của bộ điều khiển trượt được xây dựng dựa trên bộ điều khiển PID sao cho thỏa mãn tiêu chuẩn Hurwitz.

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 (Leonid, 1997). 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 để bù trừ cho tín

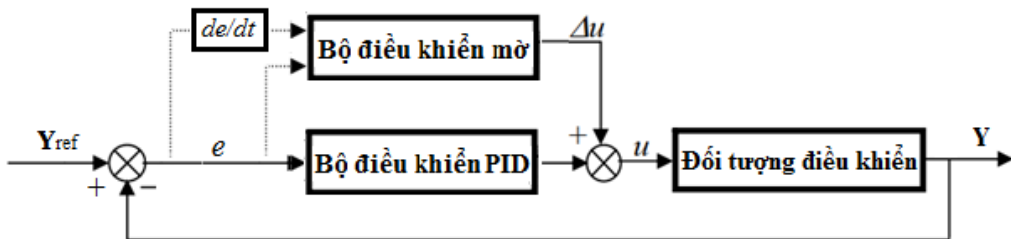
hiệu điều khiển của bộ điều khiển PID, quá trình này có thể thực hiện online, không phải dừng hệ thống để tinh chỉnh các thông số bộ điều khiển PID. Về mặt thực tiễn, việc nghiên cứu và thực hiện điều khiển thành công robot rắn sẽ ứng dụng để thăm dò, giám sát, thu thập dữ liệu được trong môi trường phức tạp, phục vụ công tác thăm dò trong quân sự, phục vụ công tác chữa cháy, là cơ sở nền tảng để nghiên cứu các cánh tay robot đa bậc tự do,...

Trong nghiên cứu này sẽ kết hợp giữa bộ điều khiển mờ và bộ điều khiển PID để tạo ra bộ điều khiển mờ lai, áp dụng để điều khiển robot rắn. Cụ thể là điều khiển vận tốc và hướng của robot rắn.

**2 PHƯƠNG TIỆN VÀ PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU**

**2.1 Phương tiện nghiên cứu**

Bộ điều khiển mờ lai cascade trong nghiên cứu này được xây dựng trên phần mềm MATLAB/Simulink phiên bản 2016a và công cụ logic mờ. Bộ điều khiển sẽ được mô phỏng, kiểm nghiệm kết quả và sẽ được trình bày trong phần kết quả, với cấu trúc điều khiển được trình bày như Hình 1. Nghiên cứu này sẽ sử dụng bộ điều khiển mờ để tạo ra tín hiệu  $\Delta u$  để bù cho tín hiệu điều khiển  $u$  của bộ điều khiển PID, áp dụng trên robot rắn.



**Hình 1: Cấu trúc bộ điều khiển mờ lai cascade**

**2.2 Mô hình hóa và điều khiển robot rắn**

**2.2.1 Mô hình toán học của robot rắn**

Mô hình robot rắn gồm  $n$  đoạn và  $n-1$  khớp với chiều dài mỗi đoạn là  $l$ , được trình bày như Hình 2.

Phương trình chuyển động của robot rắn (Saito *et al.*, 2002), được trình bày như Hình 2:

$$\begin{bmatrix} F & 0 \\ 0 & mL \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \ddot{\theta} \\ \ddot{\omega} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} C\dot{\theta}^2 \\ 0 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} R & S \\ S^T & Q \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{\theta} \\ \dot{\omega} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} D^T \\ 0 \end{bmatrix} u \quad (1)$$

Trong đó:

$$\theta = \begin{bmatrix} \theta_1 \\ \theta_2 \\ \vdots \\ \theta_n \end{bmatrix}, \text{ với } \theta_i \text{ là góc hợp với phương ngang của}$$

đoạn thứ  $i$

$$\omega = \begin{bmatrix} \omega_x \\ \omega_y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{1}{m} \sum_{i=1}^n m_i x_i \\ \frac{1}{m} \sum_{i=1}^n m_i y_i \end{bmatrix}, \text{ là tọa độ điểm trọng tâm}$$

của robot rắn

$$F = J + S_{\theta} H S_{\theta} + C_{\theta} H C_{\theta}; C = S_{\theta} H C_{\theta} - C_{\theta} H S_{\theta}; H = L A^T (D M^{-1} D^T)^{-1} A L$$

$$\begin{bmatrix} R & S \\ S^T & Q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} D\tau & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} Q^T \\ E^T \end{bmatrix} \Omega_{\theta} D_f \Omega_{\theta}^T \begin{bmatrix} Q & E \end{bmatrix}$$

$$Q = \begin{bmatrix} S_{\theta} N^T & -C_{\theta} N^T \end{bmatrix}^T; N = M^{-1} D^T (D M^{-1} D^T)^{-1};$$

$$e = [1 \quad \dots \quad 1]^T; m = \sum_{i=1}^n m_i$$

$$D_{\tau} = C_n J; \quad D_f = \begin{bmatrix} C_1 M & 0 \\ 0 & C_n M \end{bmatrix}; \quad E = \begin{bmatrix} e & 0 \\ 0 & e \end{bmatrix};$$

$$\Omega_{\theta} = \begin{bmatrix} C_{\theta} & S_{\theta} \\ S_{\theta} & C_{\theta} \end{bmatrix}; \quad I = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$A = \begin{bmatrix} 1 & 1 & & \\ & \ddots & \ddots & \\ & & 1 & 1 \end{bmatrix} \in R^{(n-1) \times n};$$

$$D = \begin{bmatrix} 1 & -1 & & \\ & \ddots & \ddots & \\ & & 1 & -1 \end{bmatrix} \in R^{(n-1) \times n}$$

$$S_{\theta} = \begin{bmatrix} \sin \theta_1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \sin \theta_2 & \cdots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \cdots & \sin \theta_n \end{bmatrix};$$

$$C_{\theta} = \begin{bmatrix} \cos \theta_1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \theta_2 & \cdots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \cdots & \cos \theta_n \end{bmatrix}$$

$$L = \begin{bmatrix} l_1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & l_2 & \cdots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \cdots & l_n \end{bmatrix}, \text{ với } l_i \text{ là } \frac{1}{2} \text{ chiều dài đoạn thứ } i$$

$$J = \begin{bmatrix} J_1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & J_2 & \cdots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \cdots & J_n \end{bmatrix}, \text{ với } J_i \text{ là moment quán tính}$$

đoạn thứ i

$$M = \begin{bmatrix} m_1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & m_2 & \cdots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \cdots & m_n \end{bmatrix}, \text{ với } m_i \text{ là khối lượng đoạn}$$

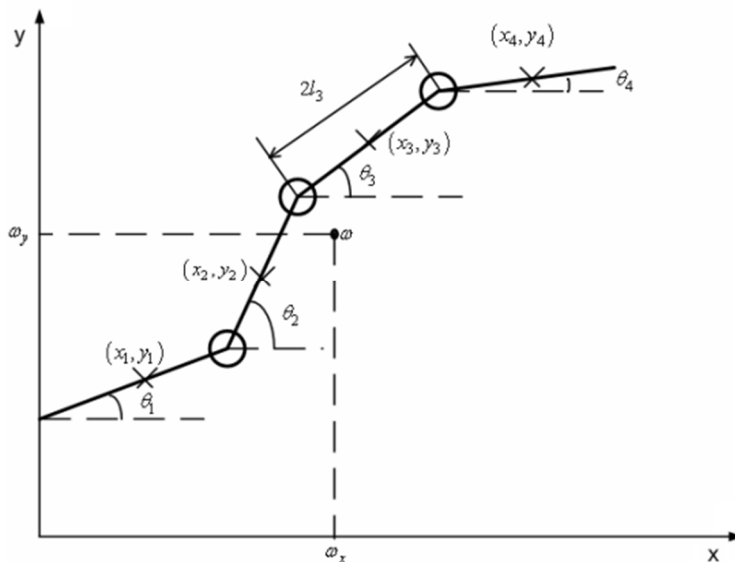
thứ i

$$C_t = \begin{bmatrix} C_{t1} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & C_{t2} & \cdots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \cdots & C_{tn} \end{bmatrix}, \text{ với } C_{t_i} \text{ là hệ số ma sát}$$

theo phương tiếp tuyến đoạn thứ i

$$C_n = \begin{bmatrix} C_{n1} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & C_{n2} & \cdots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \cdots & C_{nn} \end{bmatrix}, \text{ với } C_{n_i} \text{ là hệ số ma sát}$$

theo phương pháp tuyến đoạn thứ i



**Hình 2: Robot rắn gồm n đoạn và n-1 khớp**

Từ mô hình toán học của robot rắn cho ta thấy đây là đối tượng phi tuyến với một ngõ vào là moment xoắn  $u$  và ba ngõ ra là vận tốc  $v$ , hướng  $\zeta$  và góc tương đối  $\phi$ . Trong đó góc tương đối  $\phi$  được định nghĩa bởi công thức (3).

Trong nghiên cứu này xét robot rắn có 6 đoạn và 5 khớp, với giả thuyết là robot rắn chỉ di chuyển trong không gian hai chiều và mỗi đoạn có khối lượng như nhau. Đây là đối tượng có tính phi tuyến cao (Saito *et al.*, 2002), tương đối khó điều khiển.

2.2.2 Điều khiển robot rắn

a. Đường cong serpenoid

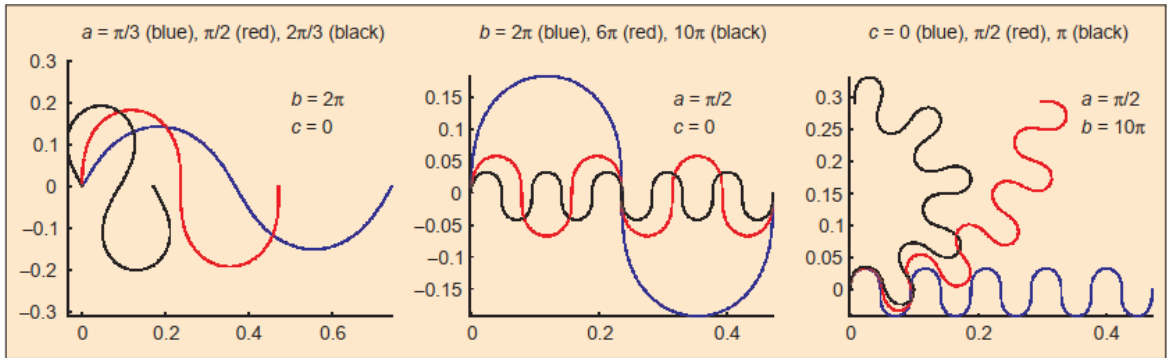
Xét một đường cong trên mặt phẳng OXY đi qua gốc tọa độ. Nó được gọi là đường cong Serpenoid nếu một điểm tùy ý (x, y) trên đường cong có thể biểu thị bằng (2) (Saito *et al.*, 2002):

$$x(s) = \int_0^s \cos(\zeta_\sigma) d\sigma \quad (2)$$

$$y(s) = \int_0^s \sin(\zeta_\sigma) d\sigma$$

$$\zeta_\sigma = a \cos(b\sigma) + c\sigma$$

Với a, b, c là các hằng số xác định hình dạng của đường cong Serpenoid như Hình 3 (Saito *et al.*, 2002) và s là chiều từ gốc tọa độ đến điểm xét.



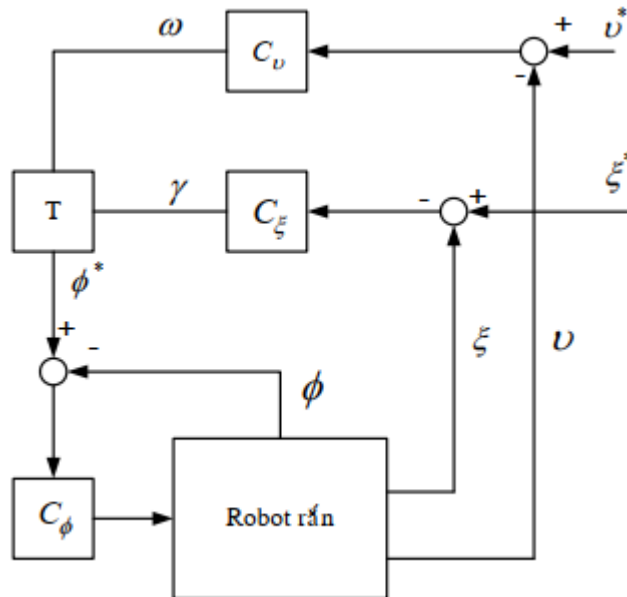
Hình 3: Đường cong Serpenoid

Chuyển động trượt của một con rắn có thể giả lập bởi robot rắn bằng cách thay đổi góc tương đối của robot rắn theo (3) (Saito *et al.*, 2002):

$$\phi_i(t) = \alpha \sin(\omega t + (i-1)\beta) + \gamma \quad (3)$$

Trong đó  $\alpha$ ,  $\beta$  và  $\gamma$  là các tham số xác định hình dạng của đường cong Serpenoid thu được bởi robot rắn và  $\omega$  xác định vận tốc của robot rắn.

b. Sơ đồ điều khiển robot rắn



Hình 4: Sơ đồ điều khiển robot rắn

Từ sơ đồ điều khiển robot rắn Hình 4 (Saito *et al.*, 2002), ta cần xây dựng hai vòng điều khiển:

- Bộ điều khiển vòng ngoài:  $C_v$  và  $C_\xi$  điều khiển vận tốc và hướng của robot rắn, đồng thời tạo

ra tín hiệu góc tương đối  $\phi^*$  qua phép biến đổi T (công thức (3)) để đạt được vận tốc và hướng mong muốn  $v^*$ ,  $\xi^*$ ;

– Bộ điều khiển vòng trong:  $C_\phi$  tạo ra moment xoắn u sao cho chuyển động thật  $\phi$  bám theo tín hiệu đặt  $\phi^*$ .

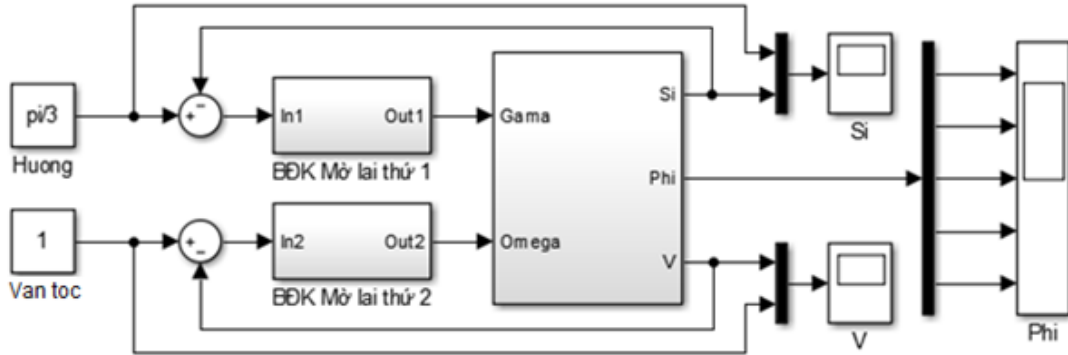
Nghiên cứu này xây dựng hai bộ điều khiển hướng và vận tốc cho robot rắn. Bộ điều khiển mờ lai thứ nhất sẽ điều khiển hướng của robot rắn, bộ

điều khiển mờ lai thứ hai sẽ điều khiển vận tốc của robot rắn.

Trong mô phỏng xét robot rắn có thông số như sau:

$$n=6; \quad m_i=0.3kg; \quad l_i=1m; \quad C_{l_i}=0.1; \quad C_{n_i}=10;$$

$$\alpha=\frac{\pi}{2}; \quad \beta=\frac{\pi}{3}.$$



Hình 5 : Mô hình điều khiển robot rắn trên MATLAB/Simulink

### 2.3 Bộ điều khiển PID kinh điển

Hàm truyền của bộ điều khiển PID lý tưởng được xác định bởi (4) (Ogata, 2009; Johnson and Moradi, 2005):

$$G_{PID}(s)=K_p(1+\frac{1}{T_i s}+T_d s) \quad (4)$$

Hoặc

$$u(t)=K_p e(t)+K_i \int_0^t e(t)dt+K_d \frac{d}{dt}e(t) \quad (5)$$

Trong đó,  $K_p$  là hệ số tỉ lệ;  $T_i$  và  $T_d$  là các thời hằng tích phân và vi phân tương ứng. Các hệ số tích phân  $K_i$  và vi phân  $K_d$  của bộ điều khiển được xác định bởi (6):

$$K_i=\frac{K_p}{T_i}; \quad K_d=K_p T_d \quad (6)$$

Từ (4) và (6), ta biểu diễn (4) tương ứng với (7):

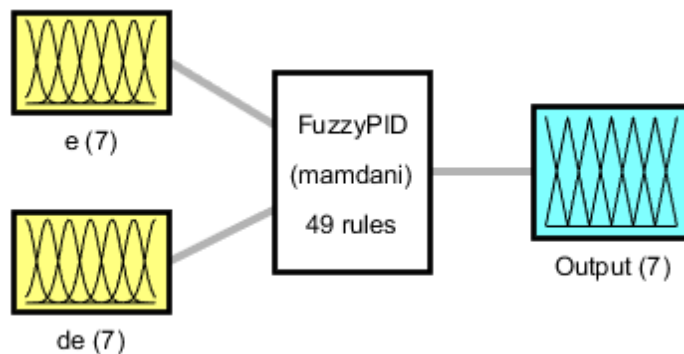
$$G_{PID}(s)=K_p+\frac{K_i}{s}+K_d s \quad (7)$$

Nhiệm vụ đặt ra cho việc thiết kế bộ điều khiển PID là lựa chọn bộ ba giá trị  $\{K_p, K_i, K_d\}$  để thỏa mãn các yêu cầu về chất lượng điều khiển.

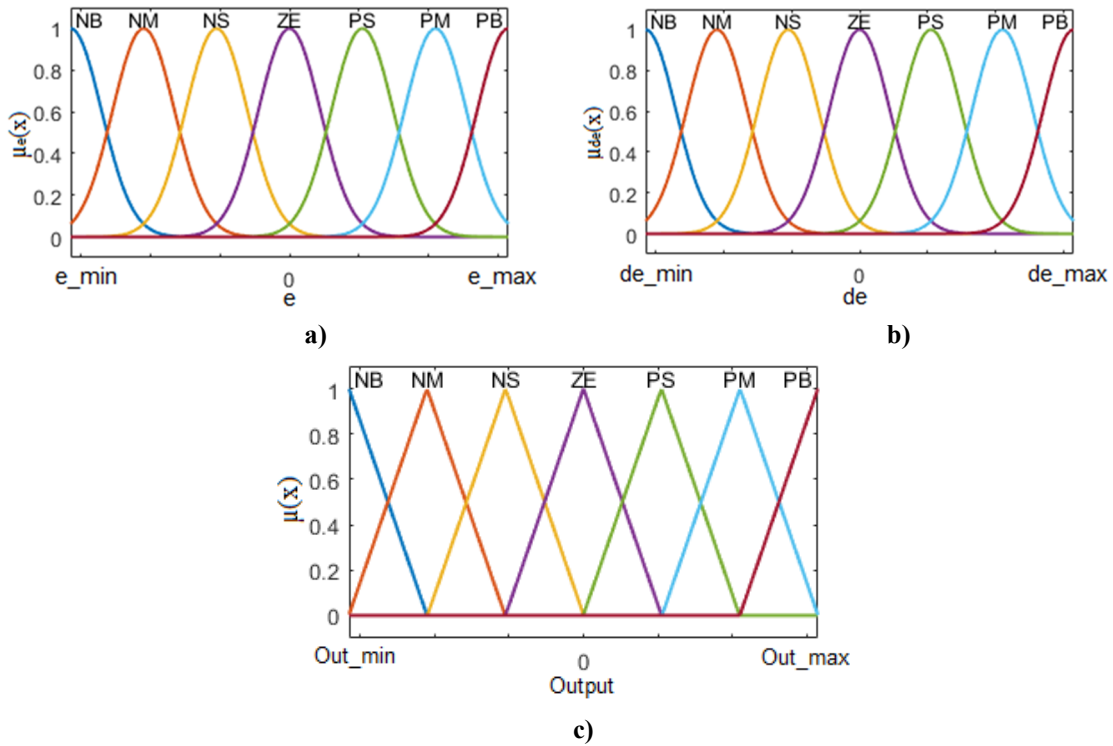
### 2.4 Thiết kế bộ mờ cho hệ mờ lai cascade

Bộ điều khiển mờ được xây dựng như cấu trúc Hình 1, nhằm mục tiêu đưa ra giá trị  $\Delta u$  để bù cho tín hiệu điều khiển u của bộ điều khiển PID, dựa vào sai số và đạo hàm của sai số theo thời gian trên bộ điều khiển PID.

Như vậy bộ điều khiển mờ sẽ có 2 ngõ vào và 1 ngõ ra, được trình bày như Hình 7.



Hình 6: Cấu trúc bộ điều khiển mờ



**Hình 7: Hàm liên thuộc ngõ vào và ngõ ra của bộ điều khiển mờ**

Trong cấu trúc Hình 7, ngõ vào thứ nhất của bộ điều khiển mờ là  $e$ , được mờ hóa bởi 7 tập mờ {NB, NM, NS, ZE, PS, PM, PB} và ngõ vào thứ hai là  $de$ , được mờ hóa bởi 7 tập mờ {NB, NM, NS, ZE, PS, PM, PB} (Hình 7a và 7b). 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. Hàm liên thuộc của các tập mờ ngõ vào được sử dụng là hàm Gauss, xác định bởi (8):

$$\mu_{A^i}(x) = \exp\left\{-\frac{(c_i - x)^2}{2b_i^2}\right\} \quad (8)$$

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

Miền xác định của các biến ngõ vào của bộ điều khiển mờ, được xác định bằng thực nghiệm và tùy vào đối tượng cụ thể. Trong nghiên cứu này, có hai bộ điều khiển mờ với các biến ngõ vào được xác định như sau:

Bộ điều khiển mờ thứ nhất:

$$e_1 = \left[-\frac{\pi}{2} \quad \frac{\pi}{2}\right], de_1 = \left[-\frac{\pi}{2} \quad \frac{\pi}{2}\right]$$

Bộ điều khiển mờ thứ hai:

$$e_2 = [-3 \quad 3], de_2 = [-2 \quad 2]$$

Ngõ ra của bộ điều khiển mờ là  $\Delta u$ , được mờ hóa bởi 7 tập mờ {NB, NM, NS, ZE, PS, PM, PB} (Hình 7c). 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 Small. Hàm liên thuộc của các tập mờ ngõ ra được sử dụng là hàm tam giác, xác định bởi (9):

$$\mu_{A^i}(x) = \begin{cases} 0 & x < a \\ \frac{x-a}{b-a} & a \leq x < b \\ \frac{x-c}{b-c} & b \leq x < c \\ 0 & x \geq c \end{cases} \quad (9)$$

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

Miền xác định của biến ngõ ra của bộ điều khiển mờ, được xác định bằng thực nghiệm. Trong nghiên cứu này, biến ngõ ra được xác định như sau:

Bộ điều khiển mờ thứ nhất:

$$\Delta u_1 = \left[-\frac{\pi}{2} \quad \frac{\pi}{2}\right]$$

Bộ điều khiển mờ thứ hai:

$$\Delta u_2 = [-1.5 \quad 3]$$

Cơ chế suy diễn mờ được chọn là MAX-MIN và việc giải mờ được thực hiện theo nguyên lý trung bình của phương pháp cực đại, được xác định bởi (10):

$$\Delta u = \frac{\sum_{i=1}^R b_i \mu_i}{\sum_{i=1}^R \mu_i} \quad (10)$$

với  $b_i$  và  $\mu_i$  lần lượt là hoành độ điểm trung bình và giá trị của hàm liên thuộc ngõ ra xác định bởi luật thứ  $i$  trong  $R$  luật tác động tại thời điểm xem xét.

Dựa vào đặc tính cơ bản của bộ điều khiển PID, các luật bộ điều khiển mờ được thiết lập thông qua thực nghiệm, được trình bày ở Bảng 1.

**Bảng 1 : Luật điều khiển**

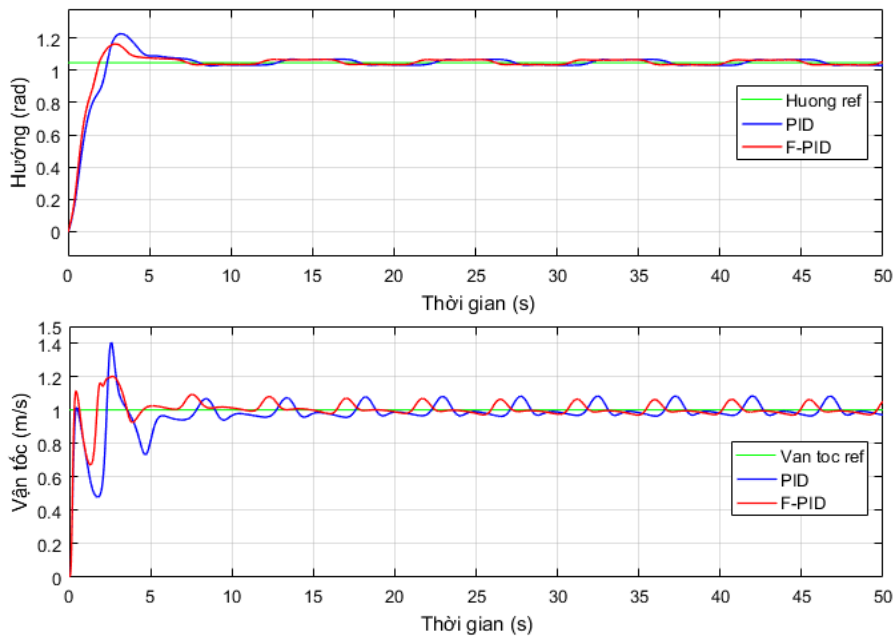
$\Delta u$	de						
	NB	NM	NS	ZE	PS	PM	PB
NB	NB	NB	NM	NB	NS	NM	NB
NM	NB	NB	NS	NM	NS	NM	NB
NS	NB	NM	NS	NS	NS	NM	NM
ZE	NM	NS	NS	ZE	PS	PS	PM
PS	PM	PS	PS	PS	PS	PM	PB
PM	PM	PS	PS	PM	PM	PB	PB
PB	PB	PM	PM	PB	PB	PB	PB

**3 KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN**

Kết quả mô phỏng khi chiều dài  $l = 1\text{ m}$ ,  $v^* = 1$

$\text{m/s}$  và  $\xi^* = \frac{\pi}{3}\text{ rad}$

Qua kết quả mô phỏng Hình 8 đã cho thấy được hiệu quả của bộ của bộ điều khiển mờ lai so với bộ điều khiển PID kinh điển thông qua các chỉ tiêu chất lượng như độ vọt lố, thời gian tăng, thời gian xác lập và được thống kê cụ thể trong Bảng 2.



**Hình 8: Đáp ứng hệ thống khi  $l = 1\text{ m}$ ,  $v^* = 1\text{ m/s}$  và  $\xi^* = \frac{\pi}{3}\text{ rad}$**

**Bảng 2: So sánh các chỉ tiêu chất lượng điều khiển**

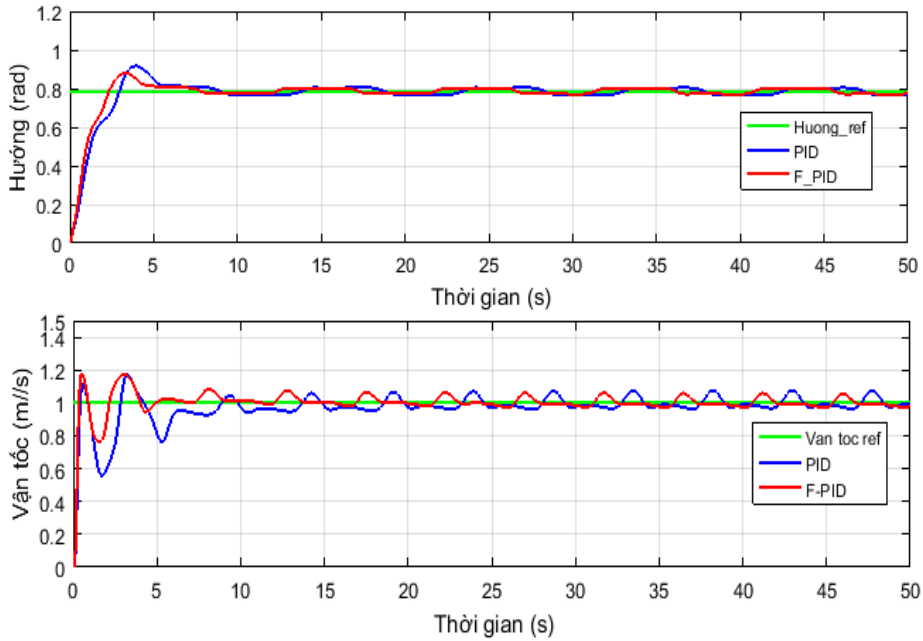
Chỉ tiêu	HƯỚNG		VẬN TỐC	
	PID	F-PID	PID	F-PID
Độ vọt lố (%)	18%	10%	37%	14%
Thời gian tăng (s)	1.8s	1.4s	0.2s	0.1s
Thời gian xác lập (s)	8s	5s	9s	5s

Khảo sát đáp ứng điều khiển robot rắn cho thấy hiệu quả điều khiển của bộ điều khiển mờ lai so với bộ điều khiển PID (Bảng 2) trong đó, khi điều khiển

hướng: Độ vọt lố của điều khiển mờ lai là 10%, thời gian tăng là 1.4 giây và thời gian xác lập là 5 giây; khi điều khiển vận tốc độ vọt lố là 14%, thời gian

tăng là 0.1 giây và thời gian xác lập là 5 giây. Các chỉ tiêu chất lượng như độ vọt lố, thời gian tăng, thời gian xác lập của bộ điều khiển mờ lai thì tốt hơn khá nhiều so với bộ điều khiển PID kinh điển.

Kết quả mô phỏng khi chiều dài  $l = 1\text{ m}$ ,  $v^* = 1\text{ m/s}$  và  $\xi^* = \frac{\pi}{4}\text{ rad}$



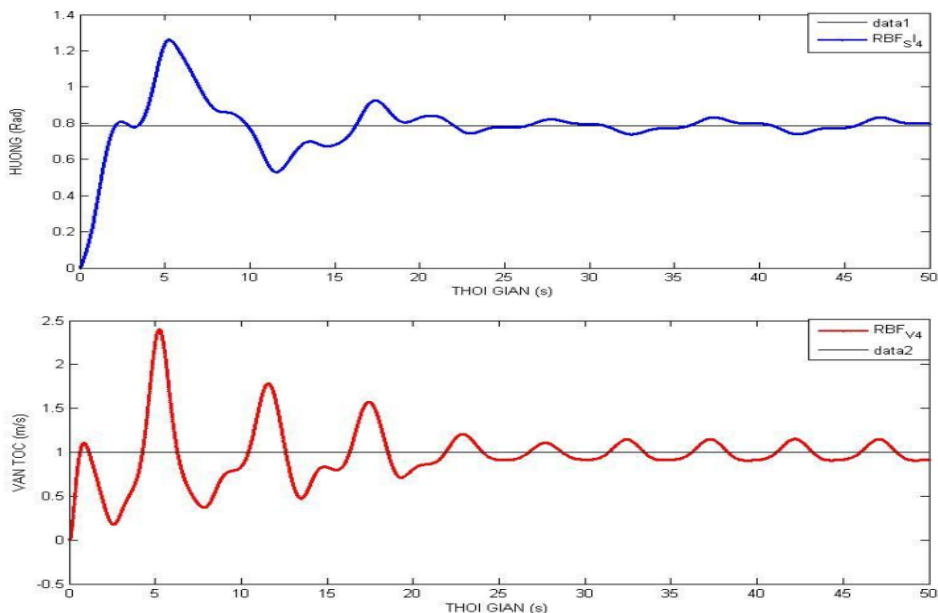
**Hình 9: Đáp ứng hệ thống khi  $l = 1\text{ m}$ ,  $v^* = 1\text{ m/s}$  và  $\xi^* = \frac{\pi}{4}\text{ rad}$**

Nhằm khẳng định hiệu quả của bộ mờ lai bài báo đã đề xuất so sánh chất lượng điều khiển của bộ điều khiển mờ lai với bộ điều khiển RBF-PID (Nguyễn Kim Tuyên, 2016) có đáp ứng như Hình 10.

điều khiển mờ lai vượt trội hơn về chất lượng điều khiển với các thông số như độ vọt lố, thời gian tăng, thời gian xác lập,...

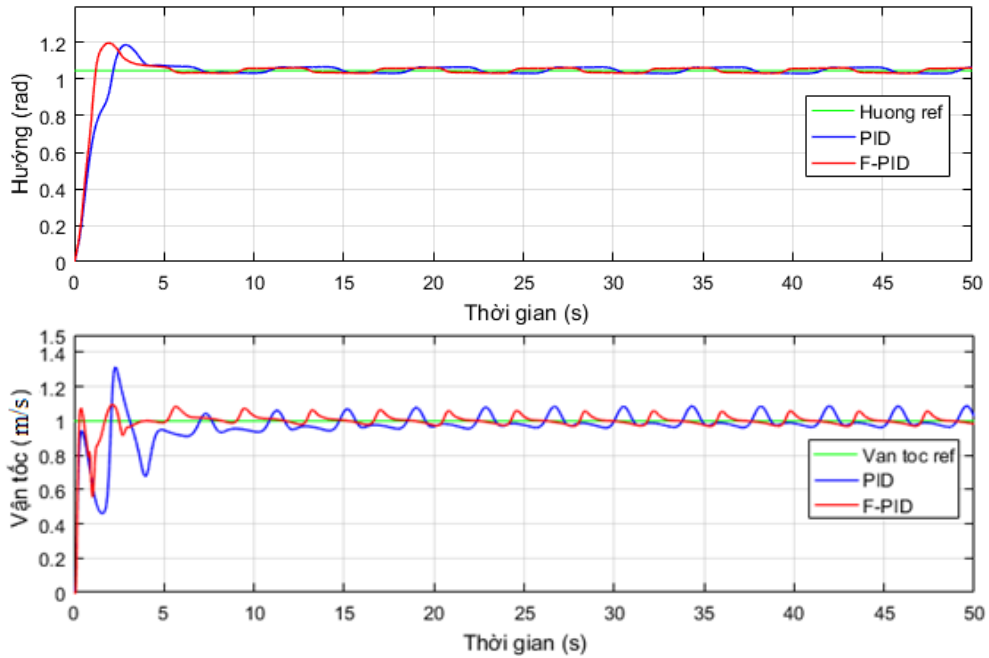
Qua đáp ứng của hai bộ điều khiển mờ lai và bộ điều khiển RBF-PID thì rõ ràng chúng ta thấy bộ

Kết quả mô phỏng khi chiều dài  $l = 0.8\text{ m}$ ,  $v^* = 1\text{ m/s}$  và  $\xi^* = \frac{\pi}{3}\text{ rad}$



**Hình 10: Đáp ứng của bộ điều khiển RBF-PID**



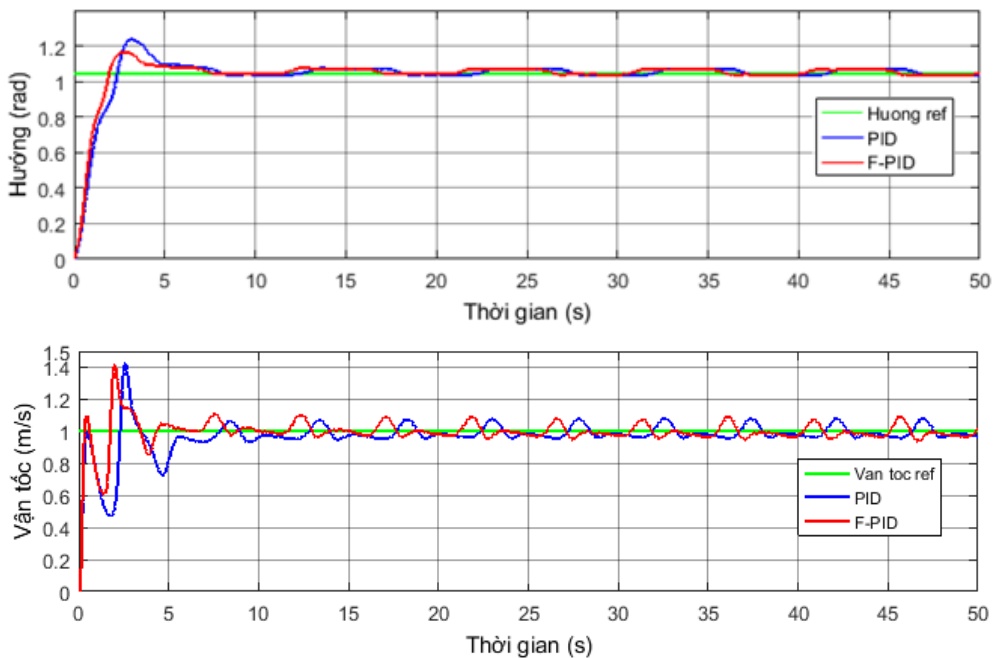


**Hình 11: Đáp ứng hệ thống khi  $l = 0.8 \text{ m}$ ,  $v^* = 1 \text{ m/s}$  và  $\xi^* = \frac{\pi}{3} \text{ rad}$**

Để kiểm tra khả năng đáp ứng của bộ điều khiển khi có nhiễu tác động, trong bài báo này tác giả đã giả sử hệ thống dưới tác động của nhiễu trên tín hiệu hồi tiếp (biên độ từ 0.001 đến 0.01), đáp ứng của ngõ ra khi có nhiễu tác động (Hình 12) của vận tốc có độ vọt lố là 37%, thời gian tăng là 0.17 giây, thời gian xác lập là 5 giây; mặc dù độ vọt lố tương đối cao

nhưng thuộc trong phạm vi cho phép, các thông số chất lượng còn lại tương đối tốt so với bộ điều khiển PID kinh điển. Đồng thời kết quả mô phỏng đánh giá được tính bền vững của bộ điều khiển khi thay đổi thông số chiều dài và hướng đi của robot rắn, nhưng bộ điều khiển vẫn có kết quả đáp ứng trong mức cho phép.

*Kết quả mô phỏng khi có tác động của nhiễu*



**Hình 12: Đáp ứng hệ thống dưới tác động của nhiễu**

#### 4 KẾT LUẬN

Bài báo này trình bày một phương pháp dùng bộ điều khiển mờ để nâng cao chất lượng của bộ điều khiển PID kinh điển. Ưu điểm của phương pháp này là thiết kế đơn giản mà không cần tâm đắc đến cấu trúc bên trong của đối tượng điều khiển. Từ các kết quả mô phỏng cho thấy bộ điều khiển mờ lai đã cải thiện được một số chỉ tiêu chất lượng so với bộ điều khiển PID kinh điển; đáp ứng của hệ thống có thời gian tăng và thời gian xác lập phù hợp, độ vọt lố và sai số xác lập không đáng kể. Ngoài ra bộ điều khiển còn có đáp ứng tốt khi thông số đối tượng thay đổi, cũng như sự ổn định dưới sự tác động của nhiễu vào hệ thống. Điều này cho thấy phương pháp điều khiển mờ lai có thể áp dụng tốt cho việc điều khiển robot rắn.

#### TÀI LIỆU THAM KHẢO

Johnson, M.A. and Moradi, M.H., 2005. Chapter 8, In: PID Control – New Identification and Design Methods, pp. 297-337. Springer-Verlag London Limited.

Kwok, D.P. and Wang, P., 1992. Fine-tuning of classical PID Controllers based on Genetic Algorithms. IEEE Inter. Workshop on Emerging Technologies and Factory Automation, pp. 37-43.

Leonid, R., 1997. Fuzzy Controllers. Newnes, 307 pages.

Nguyễn Hoàng Dũng, 2011. Điều khiển hệ phi tuyến dựa trên giải thuật Feedforward-Feedback. Tạp chí khoa học Trường Đại học Cần Thơ. 19a:17-26.

Nguyễn Hoàng Dũng, 2012. Điều khiển trượt dựa trên hàm trượt kiểu PID. Tạp chí khoa học Trường Đại học Cần Thơ. 21a: 30-36.

Nguyễn Kim Suyên, 2016. Ứng dụng mạng nơ ron để điều khiển robot rắn. Luận văn thạc sỹ. Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật Thành phố Hồ Chí Minh. Thành phố Hồ Chí Minh.

Ogata, K., 2009. Modern Control Engineering, Fifth edition. Prentice Hall. New Jersey, 912 pages.

Salami M. and Cain, G., 1995. An adaptive PID controller based on genetic algorithm processor. IEEE Conf. Publ. No. 414, 12-14 Sep 1995, pp. 88-93.

Saito, M., Fukaya, M. and Iwasaki, T., 2002. Modeling, analysis, and synthesis of serpentine locomotion with a multilink robotic snake. IEEE Control Systems Magazine. 22(1): 64-81.

Zhu, Q., Ma, Z. and Warwick, K., 1999. Neural network enhanced generalised minimum variance self-tuning controller for nonlinear discrete-time systems. IEE Proceeding-Control Theory and Applications. 146(4): 319-326.