

Thiết kế bộ điều khiển mờ lai cho robot tự hành bám quỹ đạo với hai bánh chủ động điều khiển độc lập

■ TS. ĐỖ KHẮC TIỆP

Trường Đại học Hàng hải Việt Nam

TÓM TẮT: Bài báo trình bày về bộ điều khiển thông minh cho robot tự hành bám quỹ đạo với hai bánh chủ động điều khiển độc lập. Bộ điều khiển được sử dụng trong nghiên cứu là bộ điều khiển mờ lai (Fuzzy - PID) với hai đầu vào và một đầu ra. Khi trong hệ thống xuất hiện sai số (robot lệch khỏi quỹ đạo đặt) bộ điều khiển mờ (Fuzzy controller) sẽ tự động điều chỉnh các thông số của bộ điều khiển PID để cho robot nhanh chóng hành trình đúng quỹ đạo với sai lệch là nhỏ nhất. Mô hình toán học của robot với hai bánh độc lập được xây dựng dựa trên mô hình động Lagrange. Kết quả thực hiện bám quỹ đạo của robot mô phỏng trên Matlab/Simulink bằng cả hai bộ điều khiển PID truyền thống và bộ điều khiển Fuzzy - PID được sử dụng để kiểm tra, phân tích và so sánh với nhau. Từ kết quả nghiên cứu cho thấy, cả hai bộ điều khiển PID và Fuzzy - PID đều có thể thực hiện được việc điều khiển bám quỹ đạo của robot, tuy nhiên bộ điều khiển mờ lai Fuzzy - PID thực hiện việc điều khiển nhanh chóng và chính xác hơn. Bộ điều khiển Fuzzy - PID có ưu điểm là phản hồi nhanh, độ ổn định và độ chính xác cao, chống nhiễu tốt hơn so với bộ điều khiển PID truyền thống. Do đó, việc lựa chọn bộ điều khiển Fuzzy - PID là lựa chọn thích hợp cho điều khiển robot tự hành bám quỹ đạo với hai bánh chủ động điều khiển độc lập.

TỪ KHÓA: Robot di động, PID controller, Fuzzy logic controller, Trajectory tracking, Matlab/Simulink.

ABSTRACT: In this paper, a design of a fuzzy-PID controller for path tracking of a mobile robot with differential drive is proposed. The Fuzzy - PID controller consists of PID controller and a fuzzy controller with two inputs and three outputs. When the system appears the error and the error rate, the fuzzy controller will tune the parameters of the PID controller. The model of a mobile robot based with differential drive based on Lagrange dynamic approach is described. The Fuzzy - PID controller and the classical PID controller are compared by the simulation. The path tracking of a differential drive mobile robot with differential drive was tested using Matlab/Simulink. The simulation results show that the Fuzzy - PID controller has a better performance than

the classical PID controller. The proposed controller has better convergence rate in comparison with the classical PID controller for a mobile robot with any arbitrary initial state. It has the advantages of rapid respond, high stability, tracking accuracy and good anti-interference, so the Fuzzy - PID controller is the appropriate choice for trajectory tracking control of mobile robots with differential drive.

KEYWORDS: Mobile robot, PID controller, Fuzzy logic controller, Trajectory tracking, Matlab/Simulink.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Như chúng ta đã biết, việc điều khiển robot di động với hai bánh chủ động điều khiển độc lập là rất phức tạp vì nó được xây dựng dựa trên rất nhiều thiết bị công nghệ như các cảm biến, mạch điện tử, thị giác máy tính, xử lý thông tin và truyền thông [1-3]. Trong quá trình thiết kế và phát triển robot di động, bộ điều khiển đóng vai trò rất quan trọng vì khả năng làm việc chính xác và hiệu suất của rô bốt di động phụ thuộc vào hiệu suất của bộ điều khiển. Vấn đề quan trọng trong việc điều khiển robot di động là sự ổn định và điều khiển theo dõi. Điều khiển theo dõi đường đi, quỹ đạo mong muốn được đưa ra bởi các thông số hình học [4]. Trong điều khiển chuyển động của robot di động, việc kiểm soát theo dõi là rất cần thiết vì robot di động bắt buộc phải di chuyển đến một địa điểm nhất định trong thời gian nhất định [1-3].

Những năm gần đây, nhiều bộ điều khiển đã được nghiên cứu, thiết kế để thực hiện điều khiển robot di động. Trong các phương pháp điều khiển đã được nghiên cứu, bộ điều khiển PID truyền thống vẫn được sử dụng rộng rãi trong lĩnh vực điều khiển robot di động. Bằng cách sử dụng bộ điều khiển PID, có thể đạt được cả tính ổn định và điều khiển bám quỹ đạo, tuy nhiên độ chính xác khi thực hiện bám quỹ đạo của robot là không cao. Điều khiển mờ cho robot di động tự hành đã trở nên phổ biến đáng kể trong những thập kỷ qua và bộ điều khiển mờ cũng được ứng dụng rất thành công trong hầu hết các lĩnh vực. Bộ điều khiển mờ lai ngày càng được sử dụng bởi khả năng xử lý những thông tin không chính xác dựa trên quy tắc

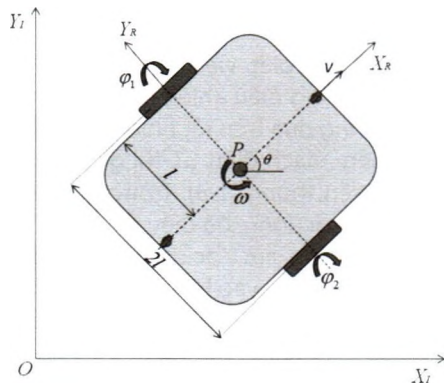
Heuristic, bản chất nội suy của bộ điều khiển mờ và tính linh hoạt trong định nghĩa của luật điều khiển phi tuyến [5].

Trong bài báo, thiết kế của bộ điều khiển Fuzzy- PID sẽ thực hiện điều khiển bám quỹ đạo của một robot di động với hai bánh chủ động được điều khiển độc lập. Bộ điều khiển Fuzzy-PID bao gồm bộ điều khiển PID truyền thống và bộ điều khiển Fuzzy với hai đầu vào và ba đầu ra. Khi hệ thống xuất hiện lỗi và tỷ lệ lỗi, bộ điều khiển mờ sẽ điều chỉnh các thông số của bộ điều khiển PID. Hoạt động của hai bộ điều khiển Fuzzy - PID và PID được so sánh với nhau thông qua kết quả mô phỏng. Robot tự hành với hai bánh chủ động có cấu hình như *Hình 2.1* được thực hiện mô phỏng trên Matlab/ Simulink. Từ kết quả mô phỏng thu được cho thấy bộ điều khiển Fuzzy - PID có hiệu suất, độ chính xác, đáp ứng tốt hơn so với bộ điều khiển PID.

2. GIỚI THIỆU VỀ ROBOT DI ĐỘNG VỚI HAI BÁNH CHỦ ĐỘNG

2.1. Cấu hình của robot di động với hai bánh chủ động

Trong bài báo sử dụng cấu hình của robot di động với hai bánh chủ động được mô tả như *Hình 2.1*. Trong cấu hình này, robot được trang bị hai bánh với hai động cơ độc lập, cấu hình của robot bao gồm một khung xe với hai bánh xe được lắp tại chính giữa khung. Ngoài ra, khung của robot có bánh xe đẩy sẽ không ảnh hưởng đến chuyển động của robot bao gồm lực cản tác động lên chuyển động của robot.



Hình 2.1: Cấu hình của robot với hai bánh chủ động

2.2. Mô hình của robot di động với hai bánh chủ động

Robot di động với hai bánh chủ động bao gồm hai động cơ độc lập gắn với hai bánh xe có đường kính là 2r (*Hình 2.1*). Điểm P là trọng tâm của robot được đặt tại điểm giữa trục của hai bánh xe, khoảng cách từ mỗi bánh xe đến P có độ dài là l (m). Ta qui ước θ là góc hợp bởi hệ qui chiếu được gắn trên robot (X_r, Y_r) với hệ qui chiếu toàn cục (X, Y) ; $\dot{\varphi}_1$ và $\dot{\varphi}_2$ tương ứng là tốc độ quay của bánh phải và bánh trái của robot di động.

2.2.1. Mô hình động của robot di động với hai bánh chủ động

Để mô phỏng chuyển động và thiết kế các thuật toán điều khiển chuyển động của rô bốt di động, chúng ta cần biết mô hình động lực học của robot với hai bánh chủ động điều khiển độc lập. Điều này có thể được thực hiện dựa trên phương pháp tiếp cận động Lagrange, Lagrange đã giới thiệu một cách có hệ thống để suy ra các phương

trình chuyển động của robot [4]. Mô hình động Lagrange nổi tiếng nhất với việc lập phương trình chuyển động của robot di động.

Biểu thức Lagrange được biểu diễn như phương trình:

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial L}{\partial \dot{q}_i} \right) + \frac{\partial L}{\partial q_i} = F - \Lambda^T(q)^s \tag{1}$$

Trong đó: L = T - V - Hàm Lagrangian;

q - Các tọa độ tổng quát;

T - Động năng của robot;

F - Lực tổng quát;

V - Thế năng.

Tọa độ tổng quát q được chọn:

$$q = [x_p \quad y_p \quad \theta \quad \varphi_R \quad \varphi_L]^T \tag{2}$$

Động năng của hệ được biểu thị bằng:

Trong đó:

$$T_c = \frac{1}{2} m_c v_c^2 + \frac{1}{2} I_c \dot{\theta}^2 \tag{3}$$

$$T_{wR} = \frac{1}{2} m_w v_w^2 + \frac{1}{2} I_m \dot{\theta}^2 + \frac{1}{2} I_w \dot{\varphi}_R^2 \tag{4}$$

$$T_{wL} = \frac{1}{2} m_w v_w^2 + \frac{1}{2} I_m \dot{\theta}^2 + \frac{1}{2} I_w \dot{\varphi}_L^2 \tag{5}$$

Tc - Động năng của bộ robot;

TwR - Động năng của bánh xe bên phải;

TwL - Động năng của bánh xe bên trái;

mc - Khối lượng của rô bốt (không có bánh xe và động cơ);

mw - Khối lượng của bánh xe (kể cả động cơ);

Ic - Mô-men quán tính của robot;

Iw - Mô-men quán tính của mỗi bánh xe dẫn động với động cơ đối với trục bánh xe;

I_m - Mô-men quán tính của mỗi bánh xe dẫn động với động cơ trên đường kính bánh xe.

Tất cả các vận tốc của các tọa độ là:

$$v_i^2 = \dot{x}_i^2 + \dot{y}_i^2 \tag{6}$$

Tọa độ của các bánh xe có thể được xác định như sau:

$$\begin{cases} x_{wR} = x_p + l \sin \theta \\ y_{wR} = y_p + l \cos \theta \end{cases} \tag{7}$$

$$\begin{cases} x_{wL} = x_p - l \sin \theta \\ y_{wL} = y_p + l \cos \theta \end{cases} \tag{8}$$

Từ công thức (3) đến (8) tổng động năng của robot có thể được xác định:

$$T = \frac{1}{2} (m_c + 2m_w) (\dot{x}_p^2 + \dot{y}_p^2) - m_c d \dot{\theta} (\dot{y}_p \cos \theta - \dot{x}_p \sin \theta) + \frac{1}{2} I \dot{\theta}^2 + \frac{1}{2} I_w (\dot{\varphi}_R^2 + \dot{\varphi}_L^2) \tag{9}$$

Sử dụng công thức (1) với hàm Lagrangian, L = T, phương trình chuyển động của robot được cho bởi:

$$m \ddot{x}_p - m d \ddot{\theta} \sin \theta - m d \dot{\theta}^2 \cos \theta = C_1 \tag{10}$$

$$m \ddot{y}_p - m d \ddot{\theta} \cos \theta - m d \dot{\theta}^2 \sin \theta = C_2 \tag{11}$$

$$I \ddot{\theta} - m d \dot{x}_p \sin \theta + m d \dot{y}_p \cos \theta = C_3 \tag{12}$$

$$I_w \ddot{\varphi}_R = \tau_R + C_4 \tag{13}$$

$$I_w \ddot{\varphi}_L = \tau_L + C_5 \tag{14}$$

Trong đó: m = mc + 2mw - Tổng khối lượng của robot;

$l = lc + mcd^2 + 2mwl^2 + 2lm$: quán tính toàn phần; C_1, C_2, C_3, C_4, C_5 : hệ số ràng buộc động học.

Ma trận liên kết với các ràng buộc động học:

$$\Lambda^T(q) = \begin{bmatrix} C_1 \\ C_2 \\ C_3 \\ C_4 \\ C_5 \end{bmatrix} \quad (15)$$

Từ phương trình (10) đến (14) chuyển động của robot có thể được biểu diễn bằng phương trình (16):

$$M(q)\ddot{q} + V(q, \dot{q}) + F(\dot{q}) + G(q) + \tau_d = B(q)\tau - \Lambda^T(q)\lambda \quad (16)$$

- Trong đó: $M(q)$ - Ma trận quán tính;
- $V(q, \dot{q})$ - Ma trận hướng tâm và ma trận Coriolis;
- $F(\dot{q})$ - Bề mặt ma sát;
- $G(q)$ - Trọng lực;
- $B(q)$ - Ma trận đầu vào;
- τ - Vector đầu vào;
- τ_d - Nhiễu loạn;
- λ - Vector số nhân Lagrange;
- Λ - Ma trận ràng buộc.

2.2.2. Mô hình động học của robot di động với hai bánh chủ động

Robot di động với hai bánh chủ động hoạt động trên một mặt phẳng nằm ngang, được xác định vị trí hiện tại bởi ba thành phần là vị trí của robot trên hệ quy chiếu trái đất và góc hợp bởi giữa hệ quy chiếu trái đất và hệ quy chiếu được gắn trên robot [1].

Vị trí của robot là mối quan hệ giữa hệ quy chiếu toàn cục $O: \{X_r, Y_r\}$ và hệ quy chiếu của robot $\{X_r, Y_r\}$, như trong Hình 2.1. Vị trí của P trong hệ quy chiếu toàn cục được xác định bởi tọa độ x và y và sự khác biệt về góc giữa tham chiếu toàn cục và tham chiếu rô bốt θ . Chúng ta có thể xác định được vị trí của robot bằng một vector gồm 3 thành phần $\{x, y, \theta\}$.

Trong hệ quy chiếu gắn trên robot và hệ quy chiếu toàn cục, vị trí của một điểm bất kỳ trên robot có thể được xác định như sau.

$$\xi_I = \begin{bmatrix} x \\ y \\ \theta \end{bmatrix} \quad (17)$$

Để miêu tả chuyển động của robot ta cần thiết phải lập bản đồ chuyển động của robot dọc theo các trục của hệ quy chiếu toàn cục và theo các trục của hệ quy chiếu được gắn trên robot. Bản đồ này sẽ thể hiện được vị trí hiện tại của robot tại một thời điểm cụ thể nào đó. Bản đồ chuyển động của robot sẽ được xây dựng bằng cách sử dụng ma trận quay trục giao:

$$R(\theta) = \begin{bmatrix} \cos \theta & \sin \theta & 0 \\ -\sin \theta & \cos \theta & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (18)$$

Ma trận này được sử dụng để mô tả chuyển động của robot trong hệ trục toàn cục với tọa độ $\{X_r, Y_r\}$ để di chuyển trong điều kiện của hệ quy chiếu cục bộ (hệ quy chiếu gắn

trên robot) $\{X_r, Y_r\}$.

Hai hệ tọa độ này có liên hệ với nhau bằng phép biến đổi sau:

$$\dot{\xi}_R = R(\theta)\dot{\xi}_I \quad (19)$$

Mô hình động học này sẽ dự đoán tốc độ của robot trong hệ qui chiếu toàn cục:

$$\dot{\xi}_I = \begin{bmatrix} \dot{x} \\ \dot{y} \\ \dot{\theta} \end{bmatrix} = f(l, r, \theta, \dot{\phi}_1, \dot{\phi}_2) \quad (20)$$

Vận tốc của robot được tính bằng trung bình cộng của vận tốc bánh phải và vận tốc của bánh trái:

$$v = \frac{v_R + v_L}{2} = \frac{r \cdot \dot{\phi}_1 + r \cdot \dot{\phi}_2}{2} \quad (21)$$

Vận tốc góc của robot được tính bằng công thức:

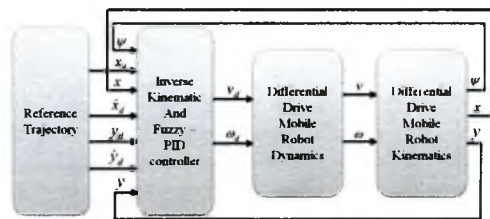
$$\omega = \frac{v_R - v_L}{2l} = \frac{r \cdot \dot{\phi}_1 - r \cdot \dot{\phi}_2}{2l} \quad (22)$$

Kết hợp các công thức trên ta thu được mô hình động học của robot di động với hai bánh chủ động:

$$\dot{\xi}_I = R(\theta)^{-1} \dot{\xi}_R = R(\theta)^{-1} \begin{bmatrix} \frac{r\dot{\phi}_1 + r\dot{\phi}_2}{2} \\ 0 \\ \frac{r\dot{\phi}_1 - r\dot{\phi}_2}{2l} \end{bmatrix} \quad (23)$$

3. THIẾT KẾ BỘ ĐIỀU KHIỂN MỜ LAI CHO ROBOT TỰ HÀNH VỚI HAI BÁNH CHỦ ĐỘNG ĐIỀU KHIỂN ĐỘC LẬP

Bộ điều khiển mờ lai cho robot tự hành với hai bánh chủ động điều khiển độc lập được thiết kế gồm hai phần. Phần thứ nhất dựa trên bài toán động học ngược và phần thứ hai chính là bộ điều khiển mờ lai (Fuzzy - PID).



Hình 3.1: Cấu trúc của bộ điều khiển cho robot tự hành với hai bánh chủ động điều khiển độc lập

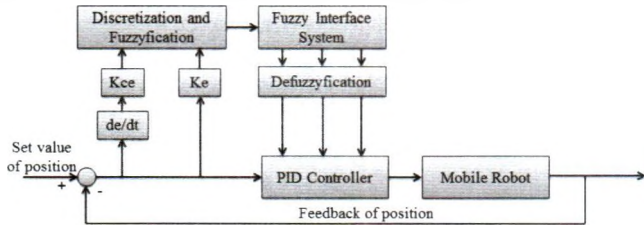
Để đảm bảo tính ổn định và độ chính xác của hệ thống điều khiển, mỗi một bánh xe của robot sẽ được điều khiển độc lập bằng một bộ điều khiển Fuzzy - PID. Bộ điều khiển quỹ đạo sẽ nhận các giá trị của quỹ đạo mẫu, sau đó sẽ tiến hành tính toán ra các giá trị mong muốn: vận tốc (v_d), vận tốc góc (ω_d). Các giá trị này sẽ được đưa đến khối động học và khối này sẽ có nhiệm vụ sử dụng các giá trị vận tốc (v_d), vận tốc góc (ω_d) để tạo ra lệnh điều khiển động cơ quay với vận tốc thực (v) và vận tốc góc thực (ω).

Bộ điều khiển mờ (FLC) Mamdani (Hình 3.3) thực hiện điều chỉnh trực tuyến các hệ số của bộ điều khiển PID [1,2]. Bộ điều khiển mờ lai với đầu vào là các sai số 'e' của các góc quay và vi phân của sai số 'ce', quá trình này được sử dụng để xác định thông số của bộ điều khiển. Phép biến đổi tuyến tính được sử dụng cho phép xác định tham số K_p ,

K_p, K_d của bộ điều khiển PID theo công thức:

$$\begin{aligned} K_p &= (K_{pmax} - K_{pmin}) K_p' + K_{pmin} \\ K_i &= (K_{imax} - K_{imin}) K_i' + K_{imin} \\ K_d &= (K_{dmax} - K_{dmin}) K_d' + K_{dmin} \end{aligned} \quad (24)$$

Với: $[K_{pmin}; K_{pmax}]$, $[K_{imin}; K_{imax}]$ và $[K_{dmin}; K_{dmax}]$ được xác định dựa vào kinh nghiệm và thực nghiệm.

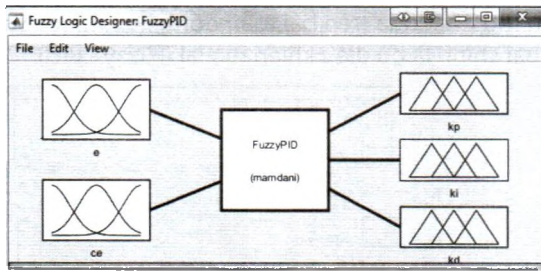


Hình 3.2: Sơ đồ khối của bộ điều khiển Fuzzy - PID

Bộ điều khiển mờ lai Fuzzy - PD với đầu vào là sai lệch 'e' và vi phân sai lệch 'ce' với 5 giá trị của tập mờ có mối quan hệ theo Bảng 3.1, trong đó: Negative Big (NB), Negative Small (NS), Zero (Z), Positive Small (PS), Positive Big (PB). Đầu ra của bộ điều khiển bao gồm 4 giá trị: Very Big (VB), Big (B), Medium (M), Small (S).

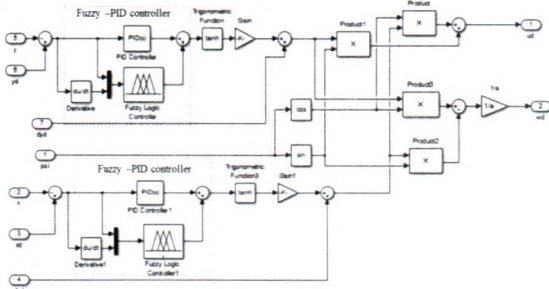
Bảng 3.1. Bảng qui tắc mờ cho các tham số P, I, D

e/ce	NB	NS	Z	PS	PB
NB	VB/S/S	VB/M/S	S/M/VB	S/M/B	M/S/S
NS	VB/B/S	B/B/S	S/B/B	S/B/B	B/B/S
Z	B/B/S	M/B/M	S/VB/B	S/VB/M	VB/VB/S
PS	M/B/M	S/B/B	S/B/B	M/B/S	VB/B/S
PB	S/S/M	S/S/VB	S/M/VB	B/M/S	VB/S/S



Hình 3.3: Cấu trúc của bộ điều khiển Fuzzy - PID

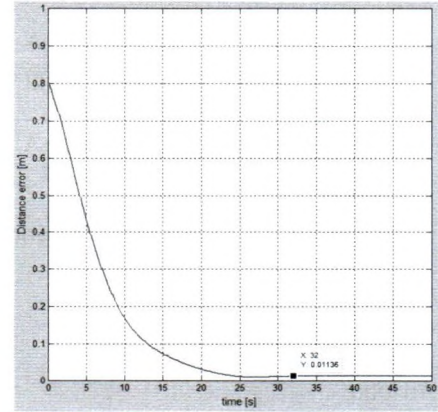
Hình 3.4 biểu diễn bộ điều khiển mờ lai cho robot tự hành với 2 bánh chủ động điều khiển độc lập với: $(x1, y1)$ là vị trí thực của robot; $(xd1, yd1)$ là vị trí mong muốn; $dx1$ là tốc độ mong muốn trên trục x; $dy1$ là tốc độ mong muốn của robot trên trục y.



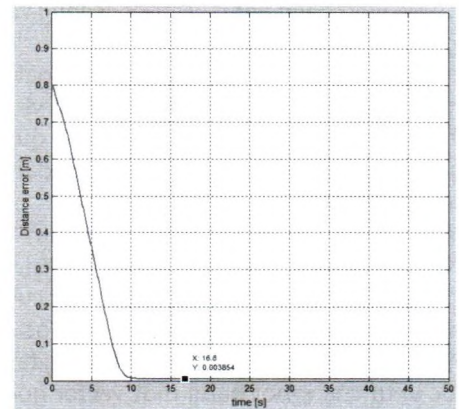
Hình 3.4: Sơ đồ khối của bộ điều khiển Fuzzy - PID được xây dựng trên Matlab/Simulink

4. KẾT QUẢ MÔ PHỎNG

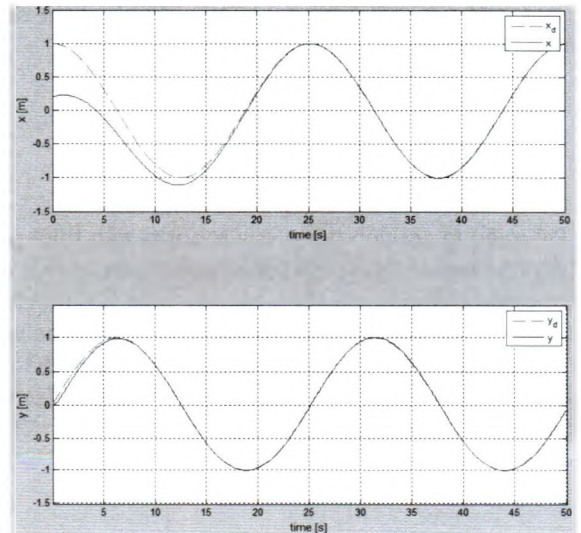
Để tiến hành kiểm nghiệm và đánh giá hoạt động của bộ điều khiển Fuzzy - PID được đề xuất, tác giả tiến hành mô phỏng hoạt động của robot tự hành bám quỹ đạo với hai bánh chủ động điều khiển độc lập trên phần mềm Matlab/Simulink. Tiến hành mô phỏng hoạt động của robot với quỹ đạo đặt có dạng đường cong với bán kính bằng 1.



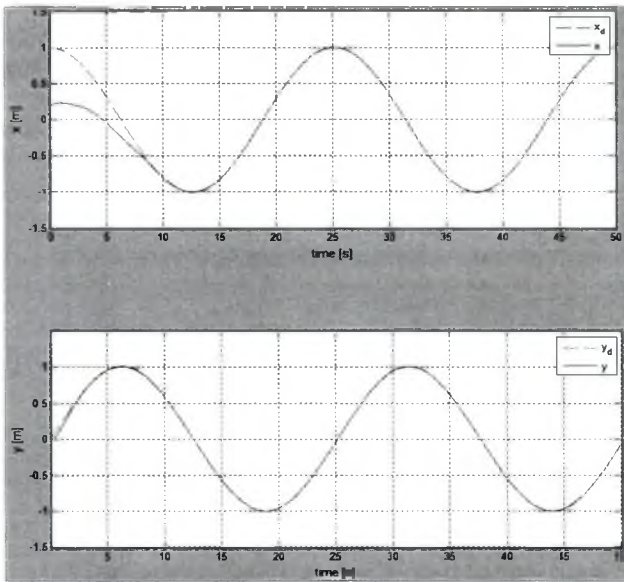
Hình 4.1: Sai số khoảng cách của robot với bộ điều khiển PID



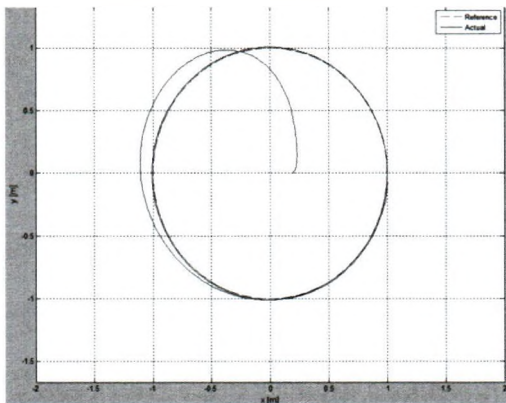
Hình 4.2: Sai số khoảng cách của robot với bộ điều khiển Fuzzy - PID



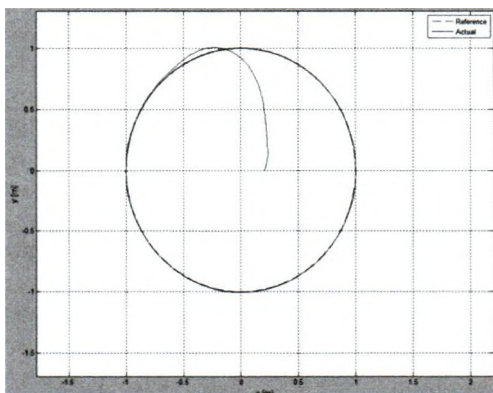
Hình 4.3: Sai lệch vị trí của robot với bộ điều khiển PID



Hình 4.4: Sai lệch vị trí của robot với bộ điều khiển Fuzzy - PID



Hình 4.5: Sai lệch vị trí của robot với bộ điều khiển PID



Hình 4.6: Sai lệch vị trí của robot với bộ điều khiển Fuzzy - PID

Kết quả mô phỏng hoạt động của robot tự hành bám quỹ đạo với 2 bánh chủ động điều khiển độc lập với bộ điều khiển PID và bộ điều khiển Fuzzy - PID được mô tả trên Hình 4.3, 4.4, 4.5, 4.6.

Từ kết quả thực nghiệm (Hình 4.3 - 4.6) ta có thể nhận thấy sự khác biệt trong quá trình robot thực hiện bám quỹ đạo đặt trước khi sử dụng bộ điều khiển PID truyền thống và bộ điều khiển mờ lai (Fuzzy - PID). Kết quả thực nghiệm của robot tự hành bám quỹ đạo được áp dụng bộ điều khiển

PID và Fuzzy - PID với sai số khoảng cách được thể hiện trong Hình 4.1 và Hình 4.2. Từ những kết quả này, chúng ta có thể thấy sai số khoảng cách của robot di động với bộ điều khiển PID cổ điển lớn hơn bộ điều khiển Fuzzy - PID.

Từ Hình 4.3 và 4.4 chúng ta có thể thấy, sai số về vị trí của robot di động với bộ điều khiển PID là xấp xỉ 0,01 m và thời gian đáp ứng là 25s, trong khi sai số vị trí của robot di động với bộ điều khiển Fuzzy - PID là khoảng 0,004 m và thời gian đáp ứng là 10s.

Từ Hình 4.2, Hình 4.4 và Hình 4.6 chúng ta có thể nhận thấy rằng, khi sử dụng bộ điều khiển mờ (Fuzzy) để tự động điều chỉnh các tham số của bộ điều khiển PID cho hiệu suất làm việc cao hơn so với bộ điều khiển PID. Sai lệch vị trí, độ quá điều chỉnh và đáp ứng thời gian của robot khi áp dụng bộ điều khiển Fuzzy - PID là nhỏ hơn nhiều so với bộ điều khiển PID.

Hình 4.2 và 4.4 và 4.6 mô tả quỹ đạo chuyển động robot bằng cách áp dụng bộ điều khiển Fuzzy - PID được đề xuất. Đúng như dự đoán, phương pháp ứng dụng bộ điều khiển Fuzzy - PID giúp robot tự hành bám quỹ đạo đặt được chính xác hơn với thời gian đáp ứng ngắn hơn. Chúng ta có thể thấy, quỹ đạo thực tế - đường màu xanh gần như khớp với quỹ đạo đặt - đường màu đỏ. Sai số của quá trình tự hành bám quỹ đạo của bộ điều khiển Fuzzy-PID đạt được có giá trị nhỏ hơn nhiều so với bộ điều khiển PID.

5. KẾT LUẬN

Bài báo đã giới thiệu mô hình động và mô hình động học của robot với hai bánh chủ động điều khiển độc lập. Bộ điều khiển Fuzzy - PID được thiết kế và triển khai áp dụng cho robot di động với hai bánh chủ động điều khiển độc lập. Bộ điều khiển Fuzzy - PID được đề xuất có hiệu suất làm việc tốt hơn rất nhiều so với bộ điều khiển PID cổ điển như chúng ta có thể thấy trong phần kết quả. Loại bỏ độ quá điều chỉnh với đáp ứng chính xác là ưu điểm lớn nhất của bộ điều khiển Fuzzy-PID.

Bài báo cũng đề xuất và tiến hành thực nghiệm chương trình điều khiển robot di động với hai bánh chủ động điều khiển độc lập bằng bộ điều khiển Fuzzy - PID. Chương trình điều khiển đề xuất đã thực hiện điều khiển được hoạt động robot tự hành, với các lệnh được thực hiện chính xác với thời gian đáp ứng của hệ thống là nhanh. Các kết quả đã chứng minh độ tin cậy và hiệu quả của phương pháp được đề xuất.

Lời cảm ơn: Nghiên cứu này được tài trợ bởi Trường Đại học Hàng hải Việt Nam trong Đề tài mã số DT 20-21.42.

Tài liệu tham khảo

- [1]. Beom, H. R., Cho, H. S (1997), *A Sensor-based navigation for a mobile robot using fuzzy-logic and reinforcement learning*, IEEE Transaction on systems, man, cybernetics, vol.12, no.6, pp.521-527.
- [2]. Pratihari, D. K., Deb, K., Ghosh, A (1999), *Fuzzy-Genetic Algorithms and Mobile Robot Navigation among Static Obstacles*, IEEE Transaction on systems, man, cybernetics, pp.327-333.

[3]. Dayal R. Parhi (2005), *Navigation of Mobile Robots Using a Fuzzy Logic Controller*, Journal of Intelligent and Robotic Systems.

[4]. D.R. Parhi, M. K. Singh (2008), *Intelligent Fuzzy Interface Technique for the Control of an Autonomous Mobile Robot*, Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part C: Journal of Mechanical Engineering Science, pp.222.

[5]. Đỗ Khắc Tiệp (2019), *Đề xuất bộ điều khiển Fuzzy - PD cho thiết bị bay không người lái*, Tạp chí Khoa học Công nghệ Hàng hải, (số 60), tr.63-68.

Ngày nhận bài: 07/5/2021

Ngày chấp nhận đăng: 11/6/2021

**Người phản biện: TS. Đồng Xuân Thìn
TS. Nguyễn Văn Tiến**