 DOI: 10.35382/18594816.1.43.2021.819

ĐIỀU KHIỂN MÔ HÌNH MOBILE ROBOT BÁM QUỸ ĐẠO SỬ DỤNG PHƯƠNG PHÁP LOGIC MỜ

Nguyễn Thanh Tần[1], Đặng Hữu Phúc[2], Phạm Minh Triết[3], Kim Anh Tuấn[4]

CONTROL OF MOBILE ROBOT TO TRAJECTORY TRACKING USING FUZZY LOGIC METHOD

Nguyen Thanh Tan[1], Dang Huu Phuc[2], Pham Minh Triet[3], Kim Anh Tuan[4]

Tóm tắt – *Trong nghiên cứu này, tác giả đã áp dụng và điều khiển mô hình toán học của hệ mobile robot điều khiển bằng hai bánh sử dụng phần mềm Matlab/Simulink. Trong đó, tác giả trình bày phương pháp thiết kế bộ điều khiển mờ trong việc điều khiển mobile robot bằng cách điều khiển độc lập tốc độ motor bánh trái và motor bánh phải sao cho robot có thể di chuyển bám quỹ đạo tham chiếu cho trước. Kết quả mô phỏng thu được từ công cụ Matlab/Simulink cho thấy được hiệu quả của phương pháp điều khiển mờ lên đối tượng phức tạp như mobile robot điều khiển bằng hai bánh với yêu cầu đặt ra là robot có thể di chuyển bám theo mục tiêu tham chiếu với các dạng đường thẳng, đường tròn và đường lưới. Kết quả đạt được là mô hình robot hoàn toàn có thể đáp ứng yêu cầu đặt ra, mô hình có khả năng bám sát theo mục tiêu tham chiếu dựa trên những đường đi từ đơn giản đến phức tạp với khoảng cách và sai số cho phép.*

Từ khóa: điều khiển hiện đại, điều khiển mờ, mobile robot, robot bám quỹ đạo.

Abstract – *In this article, mathematical model of two-wheeled mobile robot system is applied and controlled using Matlab/Simulink software. The article focuses on presenting the method of designing Fuzzy Logic controller to control the mobile robot by independently controlling the wheel speed of the left and right wheel motors so that the robot can move and follow the given reference trajectory. Simulation results from Matlab/Simulink tool show the effect of Fuzzy Logic controller on complex objects such as two-wheeled mobile robot which is required that the robot can move to follow the reference trajectory with lines, circles, and gridlines. The results confirm that the robot model can fully meet the requirements, the model is able to follow the reference target based on the line from simple to complex with the allowable distances and errors.*

Keywords: Fuzzy Logic controller, mobile robot, modern control, trajectory tracking robot.

I. ĐẶT VẤN ĐỀ

Ngày nay, nhiều phương pháp được sử dụng để điều khiển hệ phi tuyến như phương pháp tuyến tính hóa, điều khiển trượt, điều khiển dùng mạng thần kinh nhân tạo, điều khiển mờ, điều khiển thích nghi hoặc các thuật toán tối ưu bầy đàn, giải thuật di truyền. Việc lựa chọn ra một phương pháp điều khiển phù hợp với một đối tượng phi tuyến nhất định nào đó đòi hỏi nhiều thời gian và thực nghiệm lâu dài.

Điều khiển mờ (Fuzzy Logic controller) là một phương pháp điều khiển hiện đại phỏng theo quá trình xử lí thông tin không rõ ràng và ra quyết định điều khiển của con người. Phương pháp này thích hợp để điều khiển các đối tượng phức tạp, không xác định được mô hình toán. Tuy nhiên, bộ điều khiển mờ trực tiếp thường được thiết kế dựa vào kinh nghiệm chuyên gia và mang tính "thử sai". Do đó, khi gặp các đối tượng phức tạp,

[1,2,3,4]Trường Đại học Trà Vinh

Ngày nhận bài: 11/7/2020; Ngày nhận kết quả bình duyệt: 06/12/2020; Ngày chấp nhận đăng: 24/4/2021

Email: thanhtantvu@tvu.edu.vn

[1,2,3,4]Tra Vinh University

Received date: 11th July 2020; Revised date: 06th December 2020; Accepted date: 24th April 2021

người thiết kế sẽ mất rất nhiều thời gian mà kết quả có được sẽ không tối ưu. Tuy nhiên, phương pháp này rất hữu ích và được sử dụng rộng rãi trong nghiên cứu hiện nay bởi sự linh hoạt, mềm dẻo và có khả năng kết hợp với các phương pháp thông minh khác để có thể đạt mục tiêu điều khiển hiệu quả nhất. Trong đó, mô hình mobile robot điều khiển bằng hai bánh là một mô hình điều khiển tự động khá điển hình có thể áp dụng nhiều phương pháp điều khiển khác nhau, bởi sự phổ biến và đã được áp dụng thực tế trong rất nhiều ngành, lĩnh vực nghiên cứu nhằm hỗ trợ con người trong một số công việc từ đơn giản đến tương đối nguy hiểm, chẳng hạn vượt địa hình, khám phá vũ trụ, nhiệm vụ quân sự, đánh giá môi trường, robot gia đình.

Bài báo sử dụng mô hình mobile robot điều khiển bằng hai bánh bám quỹ đạo sử dụng phương pháp điều khiển mờ làm đối tượng nghiên cứu, vận dụng phương pháp thiết kế bộ điều khiển mờ cho đối tượng mobile robot điều khiển bằng hai bánh để điều khiển độc lập tốc độ motor bánh trái và motor bánh phải sao cho robot có thể di chuyển bám các quỹ đạo tham chiếu cho trước. Kết quả đạt được là robot có thể di chuyển ổn định, bám sát các đường quỹ đạo khác nhau như đường thẳng, đường tròn, đường lưới trong phạm vi khoảng cách tối đa 35 cm và sai số góc xấp xỉ gần bằng 0.

II. TỔNG QUAN NGHIÊN CỨU

Mô hình mobile robot hai bánh đã được nghiên cứu và ứng dụng khá nhiều với các mục đích nghiên cứu khác nhau. Các nội dung nghiên cứu chủ yếu tập trung vào phát triển các phương pháp điều khiển hoặc kết hợp các giải thuật điều khiển thông minh với các phương pháp truyền thống sao cho việc điều khiển mô hình đầu ra đạt yêu cầu. Trong đó, Đặng Sơn [1] đã nghiên cứu và ứng dụng bộ điều khiển mờ – nơron để điều khiển cho robot di động WMR (Wheeled Mobile Robots) có khả năng thực hiện chức năng bám mục tiêu, tránh vật cản và ổn định tốc độ trong quá trình di chuyển sử dụng bộ điều khiển mờ – nơron với công cụ ANFIS trên Matlab. Kết quả là mô hình mô phỏng có thể bám quỹ đạo theo đường thẳng với góc nghiêng 400.

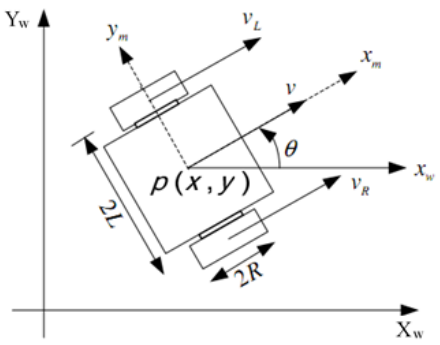
Điều khiển mờ là một phương pháp điều khiển hiện đại được áp dụng rất hiệu quả trên các đối tượng nghiên cứu tương tự như xe tự hành hoặc điều khiển cân bằng hệ thống. Sử dụng thuật toán điều khiển mờ trong việc điều khiển robot bám quỹ đạo theo các đường ziczac, hình tròn, hình elip có độ nghiêng các đoạn khác nhau. Với nghiên cứu này, robot có thể di chuyển khá ổn định theo quỹ đạo cho trước với điểm xuất phát của robot là (0,0) [2].Tuy nhiên, tại các đoạn đầu mút, robot có chút sai lệch về vị trí do phải chuyển hướng đột ngột. Bên cạnh đó, bộ điều khiển mờ cũng được áp dụng trên đối tượng robot tự hành để điều hướng và tránh chướng ngại vật. Robot di động đã sử dụng được trang bị động cơ DC, 9 cảm biến hồng ngoại (IR) để đo khoảng cách đến các chướng ngại vật và hai bộ mã hóa quang học để cung cấp vị trí và tốc độ thực tế [3]. Với nội dung tương tự, điều khiển robot trong nhà bám quỹ đạo thẳng với khoảng cách 60 cm, góc nghiêng 1250 theo hướng dương của trục x, việc điều khiển robot sử dụng bởi chip AT89C52 [4] giúp giảm sai số tối thiểu xấp xỉ và thời gian hoàn thành bám quỹ đạo hình xuyến tầm 0,3 s [5]. Tuy nhiên, khoảng cách bám quỹ đạo của robot khá xa, dễ bị mất phương hương hoặc nhiễu từ cảm biến đo khoảng cách.

III. GIẢI PHÁP ĐỀ XUẤT

A. Đối tượng điều khiển mobile robot

Mô hình toán học của mobile robot hai bánh

Mô hình mobile robot điều khiển bằng hai bánh độc lập được thể hiện như Hình 1.



Hình 1: Mô hình mobile robot điều khiển bằng hai bánh độc lập

Trong đó :

X_w, Y_w: hệ tọa độ toàn cục

x_m, y_m: là hệ tọa độ cục bộ gắn trên robot

p: tâm thân robot

R: bán kính bánh xe

L: khoảng cách từ tâm robot đến tâm bánh xe

θ: góc ngược chiều kim đồng hồ giữa xm và Xw

Phương trình động học của mobile robot điều khiển hai bánh độc lập [6] là:

$$\begin{bmatrix}\dot{x}\\ \dot{y}\\ \dot{\theta}\end{bmatrix}=\begin{bmatrix}\cos\theta & 0\\ \sin\theta & 0\\ 0 & 1\end{bmatrix}\begin{bmatrix}v\\ \omega\end{bmatrix} \quad (1)$$

Trong đó: $\dot{x}$, $\dot{y}$ là vận tốc của robot theo trục X_w và trục Y_w

v là vận tốc thẳng của robot

$\dot{\theta} = \omega$ là vận tốc góc của robot, chọn chiều dương ngược chiều kim đồng hồ.

Vận tốc thẳng v và vận tốc góc ω được mô tả như sau:

$$\begin{bmatrix}v\\ \omega\end{bmatrix}=\begin{bmatrix}\frac{1}{2} & \frac{1}{2}\\ -\frac{1}{2L} & \frac{1}{2L}\end{bmatrix}\begin{bmatrix}v_L\\ v_R\end{bmatrix} \quad (2)$$

Trong đó : $v_L = R\omega_L$ là vận tốc thẳng bánh trái mobile robot

$v_R = R\omega_R$ là vận tốc thẳng bánh phải mobile robot

ω_L: vận tốc góc bánh trái mobile robot

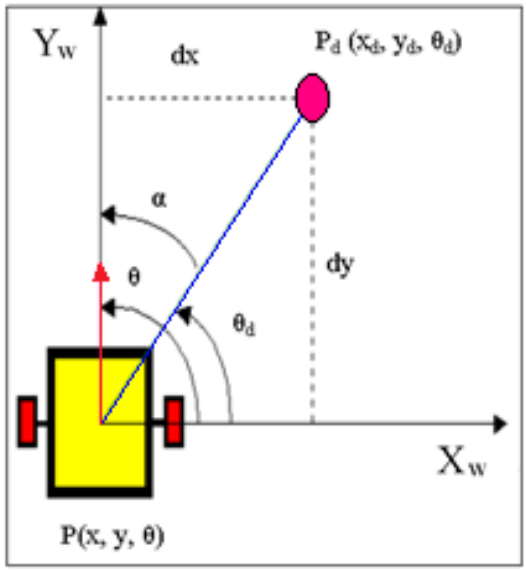
ω_R: vận tốc góc bánh phải mobile robot

Từ biểu thức (1) và (2), ta suy ra vận tốc bánh trái và vận tốc bánh phải:

$$\begin{bmatrix}v_L\\ v_R\end{bmatrix}=\begin{bmatrix}\cos\theta & \sin\theta & L\\ -\cos\theta & -\sin\theta & L\end{bmatrix}\begin{bmatrix}\dot{x}\\ \dot{y}\\ \dot{\theta}\end{bmatrix} \quad (3)$$

Mục tiêu điều khiển: Điều khiển vị trí hiện hành điểm P(x,y,θ) trên mobile robot chạy bám theo vị trí điểm tham chiếu di động $P_d(x_d, y_d, \theta_d)$. Trong đó, vị trí hiện hành P và vị trí tham chiếu P_d của mobile robot được biểu diễn trong Hình 2.

Trong đó:



Hình 2: Vị trí hiện hành và điểm tham chiếu của mobile robot

θ là góc của mobile robot so với trục ngang X_w

x_d, y_d và θ_d là vị trí và góc của điểm di động tham chiếu

α là sai lệch giữa góc điểm tham chiếu (θ_d) so với góc đầu robot (θ)

d là khoảng cách giữa robot và điểm tham chiếu

Các phép tính của góc điểm tham chiếu, sai lệch α và khoảng cách d được tính như sau:

$$d = \sqrt{dx^2 + dy^2} \quad (4)$$

$$dx = x_d - x, dy = y_d - y \quad (5)$$

$$\alpha = \begin{cases}\theta_d - \theta & ,\text{nếu } \theta_d - 180 < \theta < 180 \text{ và } 0 < \theta_d < 180\\ (\theta_d - \theta) - 360 & ,\text{nếu } -180 < \theta < \theta_d - 180 \text{ và } 0 < \theta_d < 180\\ \theta_d - \theta & ,\text{nếu } -180 < \theta < 180 - |\theta_d| \text{ và } -180 < \theta_d < 0\\ 360 - (\theta + |\theta_d|) & ,\text{nếu } 180 - |\theta_d| < \theta < 180 \text{ và } -180 < \theta_d < 0\\ 0 & ,\text{trường hợp khác}\end{cases} \quad (6)$$

Để thực hiện mô phỏng trên Matlab, tác giả đã chọn các thông số như sau: bán kính bánh xe R = 5 cm; khoảng cách từ tâm robot đến tâm bánh xe L = 10 cm.

B. Thiết kế bộ điều khiển mờ Mobile robot

Định nghĩa các biến vào – ra

Hai biến đầu vào: Khoảng cách d giữa robot so với điểm tham chiếu và sai số góc α giữa hướng đầu robot so với điểm tham chiếu.

Hai biến đầu ra: Tốc độ bánh trái ω_L và tốc độ bánh phải ω_R.

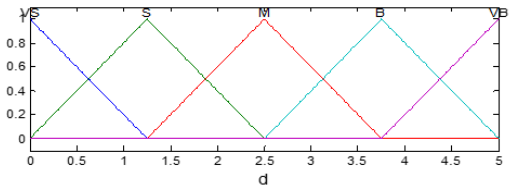
Xác định tập mờ cho các biến vào/ra

Miền giá trị các biến vào: Khoảng cách d ε [0 5] (m) và sai số góc $\alpha\varepsilon$ [-3.14 3.14] (rad)

Miền giá trị các biến ra: Tốc độ bánh trái và tốc độ bánh phải trong khoảng [-120 120] (rad/s)

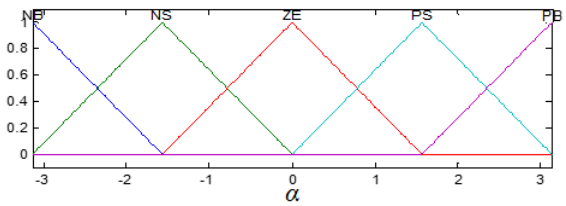
Tập mờ các biến vào, tham khảo Hình 3 và Hình 4.

Khoảng cách d = rất nhỏ (VS), nhỏ (S), trung bình (M), lớn (B), rất lớn (VB)



Hình 3: Hàm liên thuộc khoảng cách d

Sai số góc α = âm lớn (NB), âm nhỏ (NS), zero (ZE), dương nhỏ (PS), dương lớn (PB)

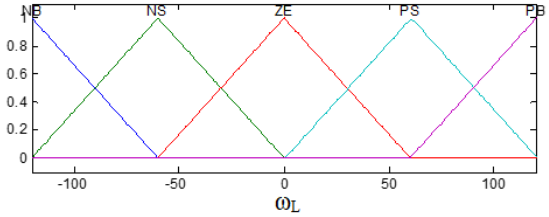


Hình 4: Hàm liên thuộc sai số góc α

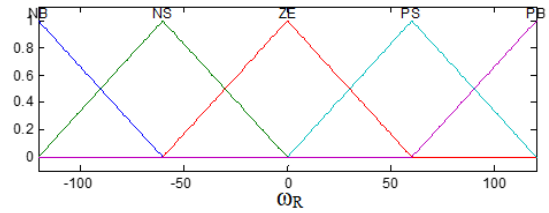
Tập mờ các biến ra, tham khảo Hình 5 và Hình 6:

Tốc độ bánh trái ω_L = âm lớn (NB), âm nhỏ (NS), zero (ZE), dương nhỏ (PS), dương lớn (PB)

Tốc độ bánh phải ω_R =âm lớn (NB), âm nhỏ (NS), zero (ZE), dương nhỏ (PS), dương lớn (PB)



Hình 5: Hàm liên thuộc tốc độ bánh trái



Hình 6: Hàm liên thuộc tốc độ bánh phải

Xây dựng luật hợp thành

Luật mờ tốc độ bánh trái ω_L: Có tổng cộng 25 luật IF…THEN như Bảng 1.

Bảng 1. Luật mờ tốc độ bánh trái ω_L

Tốc độ bánh trái ω_L		Khoảng cách d				
		VS	S	M	B	VB
Sai số góc α	NB	PB	PB	PB	PB	PB
	NS	ZE	PS	PS	PB	PB
	ZE	ZE	ZE	PS	PB	PB
	PS	NS	ZE	ZE	PS	PS
	PB	NS	ZE	PS	PS	PB

Luật mờ tốc độ bánh phải ω_R: Có tổng cộng 25 luật IF…THEN như Bảng 2.

Bảng 2. Luật mờ tốc độ bánh phải ω_R

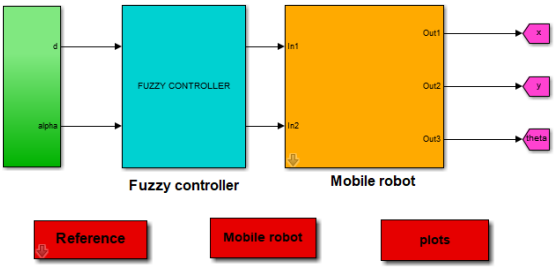
Tốc độ bánh phải ω_R		Khoảng cách d				
		VS	S	M	B	VB
Sai số góc α	NB	NS	NS	PS	PS	PS
	NS	NS	ZE	ZE	PS	PS
	ZE	ZE	PS	PS	PB	PB
	PS	ZE	PS	PS	PS	PB
	PB	PS	PB	PB	PB	PB

Giải mờ và tối ưu hóa

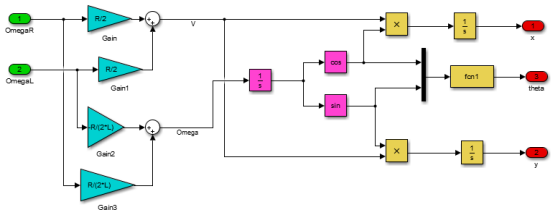
Chọn luật hợp thành theo quy tắc max-min

Giải mờ theo phương pháp trọng tâm

Sơ đồ mô phỏng Matlab Simulink



Hình 7: Sơ đồ mô phỏng Simulink

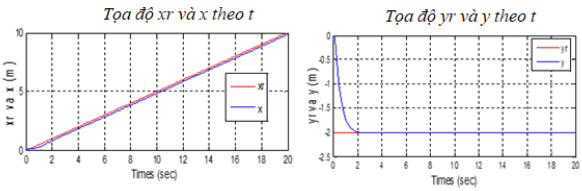


Hình 8: Khối mô hình toán học của mobile robot

IV. KẾT QUẢ MÔ PHỎNG VÀ THẢO LUẬN

Kết quả mô phỏng điểm tham chiếu chạy theo đường thẳng được thể hiện trong các Hình 9, Hình 10 và Hình 11.

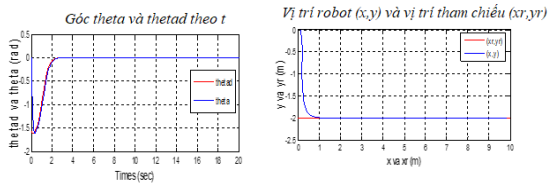
Tọa độ x, y và x_r, y_r



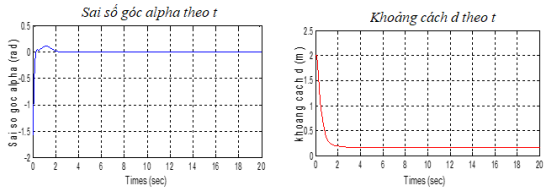
Hình 9: Tọa độ x và y theo thời gian dạng đường thẳng

Góc theta (θ) và vị trí robot như Hình 10.

Sai số góc α và khoảng cách d như Hình 11.



Hình 10: Góc theta và vị trí robot (x,y) theo thời gian dạng đường thẳng

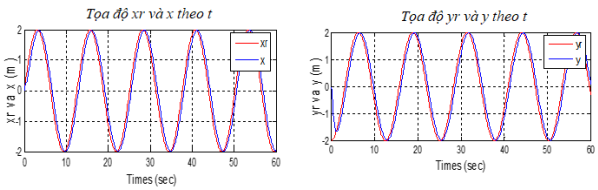


Hình 11: Sai số góc α và khoảng cách d theo thời gian dạng đường thẳng

Quan sát các đường biểu diễn kết quả mô phỏng theo dạng tham chiếu đường thẳng, ta thấy các điểm tọa độ luôn tịnh tiến sát với mục tiêu tham chiếu (Hình 9), góc theta tiến dần về 0 trong khoảng 2.5 s (Hình 10), khoảng cách so với mục tiêu duy trì ổn định tầm 20 cm (Hình 11).

Kết quả mô phỏng điểm tham chiếu chạy theo đường tròn được thể hiện trong các Hình 12, Hình 13 và Hình 14.

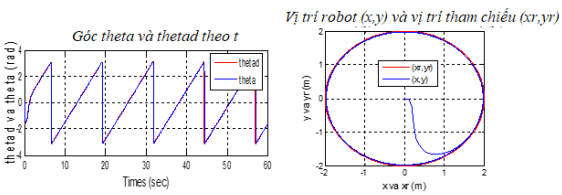
Tọa độ x, y và x_r, y_r như Hình 12.



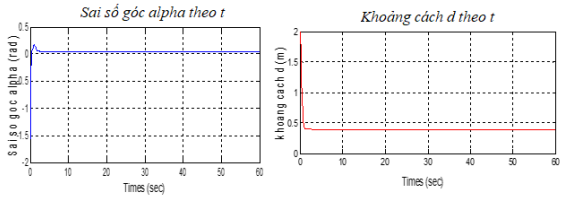
Hình 12: Tọa độ x và y theo thời gian dạng đường tròn

Góc theta (θ) và vị trí robot như Hình 13.

Sai số góc α và khoảng cách d như Hình 14.



Hình 13: Góc theta và vị trí robot (x,y) theo thời gian dạng đường tròn

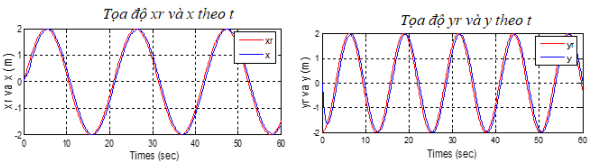


Hình 14: Sai số góc α và khoảng cách d theo thời gian dạng đường tròn

Với đường tham chiếu cho trước là đường tròn, ta nhận thấy rằng mô hình robot cũng đã có thể di chuyển bám theo quỹ đạo của đường tròn, với sai số góc theta và sai số góc alpha xấp xỉ bằng 0 rad (Hình 13, Hình 14), khoảng cách so với mục tiêu tham chiếu lớn hơn trường hợp điểm tham chiếu đường thẳng, giá trị tương đương 35 cm (Hình 14).

Kết quả mô phỏng điểm tham chiếu chạy theo đường lưới được thể hiện trong các Hình 15, Hình 16 và Hình 17.

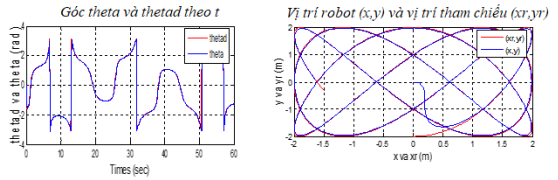
Tọa độ x, y và x_r, y_r như Hình 15.



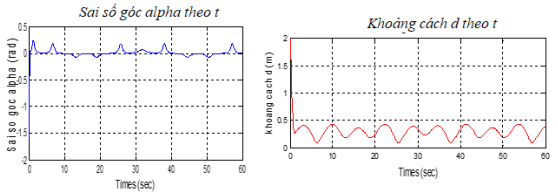
Hình 15: Tọa độ x và y theo thời gian dạng đường lưới

Góc theta (θ) và vị trí robot như Hình 16.

Sai số góc α và khoảng cách d như Hình 17.



Hình 16: Góc theta và vị trí robot (x,y) theo thời gian dạng đường lưới



Hình 17: Sai số góc α và khoảng cách d theo thời gian dạng đường lưới

Ta thấy rằng, kết quả mô phỏng với tham chiếu dạng đường lưới cũng tương tự với các dạng đường thẳng và đường tròn. Tuy nhiên, góc theta tương đối dao động xung quanh vị trí 0 (Hình 16) và khoảng cách so với mục tiêu cũng không hoàn toàn ổn định như đối với các đường thẳng và đường tròn, khoảng cách dao động trong khoảng từ 20 cm đến 35 cm (Hình 17).

Từ các kết quả đã khảo sát, ta thấy mô hình robot đều có khả năng bám theo các tọa độ quỹ đạo cho trước. Các mục tiêu có quỹ đạo đơn giản như đường thẳng sẽ giúp robot bám sát với mục tiêu dễ dàng hơn và sai số cũng là ít nhất. Mô hình robot đã hoạt động bám quỹ đạo với sai số rất nhỏ gần bằng 0, góc nghiêng khoảng 1300 theo hướng dương của trục x và không bị mất điều khiển với những đầu mút thay đổi hướng đột ngột. Ngoài ra, khoảng cách di chuyển của robot so với quỹ đạo mục tiêu cũng được cải thiện, giá trị dao động từ 20 cm đến 35 cm. Tuy nhiên, do các kết quả nghiên cứu đều dừng lại ở các giá trị mô phỏng khá lí tưởng nên mô hình thực nghiệm cần được kiểm chứng để có thể đối sánh một cách trung thực và khách quan so với các công trình nghiên cứu liên quan.

V. KẾT LUẬN

Trong bài báo, tác giả đã giới thiệu thuật toán logic mờ, cách xây dựng hàm liên thuộc và các luật mờ trong việc điều khiển mô hình mobile robot bằng hai bánh. Việc chỉnh định giá trị hàm liên thuộc cũng như các luật mờ chủ yếu dựa trên kinh nghiệm của chuyên gia với mức độ hiểu biết nhất định áp dụng trên mô hình toán tương ứng. Bài báo đã trình bày việc ứng dụng thành công thuật toán logic mờ vào việc điều khiển đối tượng mobile robot di chuyển bám theo quỹ đạo di động với các đường tham chiếu là đường thẳng, đường tròn, đường dạng lưới. Qua đó, ta thấy rằng phương pháp logic mờ đã thiết kế hoàn toàn có thể áp dụng hiệu quả cho mô hình mobile robot điều khiển bằng hai bánh độc lập sử dụng phần mềm mô phỏng Matlab/Simulink. Để mô hình điều khiển được hoàn thiện, ta cần nghiên cứu các giải thuật điều khiển hiện đại nhằm chỉnh định giá trị các hàm liên thuộc, tối ưu hóa bộ luật mờ như giải thuật bầy đàn PSO (Particle Swarm Optimization), giải thuật di truyền GA (Genetic Algorithm).

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1] Đặng Sơn. *Điều khiển bám cho robot di động sử dụng bộ điều khiển mờ – nơron* [Luận văn Thạc sĩ]. Trường Đại học Đà Nẵng; 2015.

[2] Mạc Thị Hoa, Vũ Văn Thích, Trần Đức Trung. Ứng dụng điều khiển mờ trong bài toán robot bám quỹ đạo. *Tạp chí Khoa học và Công nghệ*. 2015;53(2): 244–253.

[3] Hajer Omrane, Mohamed Slim Masmoudi, Mohamed Masmoudi. Fuzzy Logic Based Control for Autonomous Mobile. *Computational Intelligence and Neuroscience*. 2016;2: 1–10.

[4] Umar Farooq, K. M. Hasan, Athar Hanif, Muhammad Amar, Muhammad Usman Asad. Fuzzy Logic Based Path Tracking Controller for Wheeled Mobile Robots. *International Journal of Computer and Electrical Engineering*. 2014;6(2): 145–150.

[5] Mohammad Hossein Falsafi, Khalil Alipour, Bahram Tarvirdizadeh. Fuzzy motion control for wheeled mobile robots in real-time. *Journal of Computational and Applied Research in Mechanical Engineering*. 2018;8(2): 133–144.

[6] Phạm Hoàng Quân. *Điều khiển mờ mobile robot dùng thuật toán tối ưu bầy đàn* [Luận văn Thạc sĩ]. Trường Đại học Giao thông Vận tải Thành phố Hồ Chí Minh; 2013.