THIẾT KẾ BỘ ĐIỀU KHIỂN THÍCH NGHI MỜ TRƯỢT KẾT HỢP VỚI THUẬT TOÁN A* TRONG ĐIỀU KHIỂN ROBOT DI ĐỘNG

DESIGN OF A SLIDING MODE ADAPTIVE CONTROLLER COMBINED WITH A* ALGORITHM IN MOTION CONTROL FOR MOBILE ROBOT

Võ Thu Hà, Thân Thị Thương, Võ Quang Lạp

Khoa Điện - Tự động hóa, Trường Đại học Kinh tế - Kỹ thuật Công nghiệp

Đến Tòa soạn ngày 14/05/2024, chấp nhận đăng ngày 01/10/2024

Tóm tắt: Bài báo trình bày bộ điều khiển trượt - mờ thích nghi kết hợp với thuật toán tìm đường tối ưu A* cho robot di động dựa trên động lực học robot di động. Bộ điều khiển mờ dùng để điều chỉnh các thông số của bề mặt trượt nhằm nâng cao chất lượng theo dõi quỹ đạo cho robot. Bộ điều khiển mờ này được thiết kế với hai biến trạng thái đầu vào là lỗi vị trí, đạo hàm lỗi vị trí robot và biến đầu ra làm tham số cho bộ điều khiển trượt thích nghi. Kết quả mô phỏng trên phần mềm Matlab/Simulink. Đồng thời, nội dung bài viết đề cập đến việc lập trình và vận hành thử nghiệm thuật toán này cho robot di động sử dụng hệ điều hành ROS (Robot Operating System) trên máy tính nhúng Jetson Nano 4G với việc bám theo quỹ đạo hoạch định bằng thuật toán A*. Kết quả mô phỏng lý thuyết và thực nghiệm với độ lệch vị trí x từ 0,0038 đến 0,0063 m, trục y từ 0,0029 đến 0,0049 m, góc hướng θ từ 0,0021 đến 0,0035 rad. Và kết quả thực nghiệm với sai số vị trí trên trục x từ 0,0062 đến 0,0105 m, trục y từ 0,0042 đến 0,0069 m và góc hướng θ từ 0,0031 đến 0,0053 rad.

Từ khóa: Robot di động; thích nghi, điều khiển mặt trượt, điều khiển logic mờ, điều khiển mờ trượt.

Abstract: This paper presents the adaptive sliding-fuzzy controller combined with the optimal path-finding algorithm A* for mobile robots based on mobile robot dynamics. The fuzzy controller is used to adjust the parameters of the sliding surface to improve the quality of orbital tracking for the robot. This fuzzy controller is designed with two input state variables position error, robot position error derivative, and output variable as parameters for the adaptive sliding controller. Simulation results on Matlab/Simulink software. At the same time, the content of the article mentions programming and experimental operation for mobile robots using the ROS (Robot Operating System) operating system on Jetson Nano 4G embedded computer. Theoretical and experimental simulation results with position deviation x from 0.0038 to 0.0063 m, y-axis from 0.0029 to 0.0049 m, from θ 0.0021 to 0.0035 rad. Experimental results with position error in the x-axis from 0.0062 to 0.0105 m, y-axis from 0.0042 to 0.0069 m, and θ 0.0031 to 0.0053 rad.

Keywords: Fuzzy logic control, sliding mode, fuzzy - adaptive sliding mode, mobile robot, adaptive.

1. GIỚI THIỆU CHUNG

Ngày nay, robot di động đã được tích hợp vào các hệ thống sản xuất thông minh hiện đại, hậu cần, bệnh viện, nhà máy thông minh, nhà kho… như hệ thống vận chuyển hậu cần không người lái với các thiết bị nhận và giao hàng tự động. Trong quá trình di chuyển robot di động thường gặp hai vấn đề, thứ nhất là phải tìm đường đi tối ưu đến đích [3], thứ hai là robot di chuyển bám được đường đi đã tìm đó. Trên thực tế hầu hết các nghiên cứu đều chưa đề cập giải quyết đồng thời hai vấn đề

này [4] và hầu hết các nghiên cứu đưa ra các thuật toán điều khiển đều dựa trên mô hình động học của hệ thống [1,5].

Hầu hết các phương pháp điều khiển chính xác đều phụ thuộc vào mô hình động lực của robot… [6-8]. Do tính chất phi tuyến cao của động học và động lực học của robot di động, các phương pháp điều khiển phi tuyến đã được hầu hết các nhà nghiên cứu chấp nhận [9-11]. Điều khiển trượt thích ứng là một phương pháp điều khiển phi tuyến nổi tiếng [14]. Bộ điều khiển trượt có một ưu điểm lớn là khả năng chống nhiễu cao và thời gian xác lập ngắn. Nhưng khi sử dụng bộ điều khiển trượt, việc xác định các thông số phù hợp cho bộ điều khiển là khá khó khăn. Chính vì lẽ đó nên trong bài báo đề xuất chỉnh định tham số cho bộ điều khiển trượt trên cơ sở logic mờ được đặt ra.

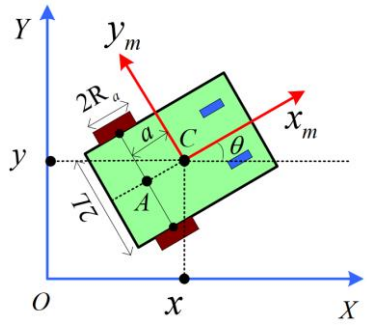
Trong nghiên cứu này, một bộ điều khiển chế độ trượt mờ thích nghi dựa trên phương trình động lực học robot được đề xuất. Bộ điều khiển kết hợp với thuật toán tìm đường tối ưu A* cho mobile robot trong môi trường tĩnh. Hiệu quả của thuật toán tìm đường cũng như bộ điều khiển đề xuất trong bài báo này đã được kiểm tra bằng mô phỏng trên Matlab và thực nghiệm tại Câu lạc bộ Khoa Điện Trường Đại học Kinh tế - Kỹ thuật Công nghiệp.

Bài báo này được tổ chức thành sáu phần chính. Phần 1 và 2 giới thiệu nghiên cứu mục tiêu và các mô hình động học và động lực học. Phần 3 trình bày về bộ điều khiển được đề xuất. Phần 4 là kết quả mô phỏng bộ điều khiển đề xuất. Phần 5 trình bày hoạt động thử nghiệm của robot di động khi sử dụng bộ điều khiển được đề xuất kết hợp với thuật toán A* trong tìm đường tránh trướng ngại vật. Phần cuối cùng là kết luận.

2. MÔ HÌNH ĐỘNG HỌC VÀ ĐỘNG LỰC HỌC CỦA ROBOT TỰ HÀNH

2.1. Mô hình động học

Xét một robot tự hành như hình 1 sau:



Hình 1. Mối quan hệ động học của robot tự hành

Trong đó: R_a là bán kính hoạt động bánh xe; A là trung điểm trục bánh xe chủ động; C là tọa độ trọng tâm của xe; a là khoảng cách giữa tọa độ trọng tâm và trục bánh xe chủ động; và 2L là khoảng cách giữa hai bánh xe; m là khối lượng của robot. Vị trí của robot được xác định bởi $q=[x,y,\theta]^T$ (x, y là tọa độ điểm C).

Trạng thái của robot trong hệ trục tọa độ gốc được biểu diễn bởi vecto với 5 biến trạng thái sau:

$$\xi=\begin{bmatrix} q^T & \varphi^T \end{bmatrix}^T=\begin{bmatrix} x & y & \theta & \varphi_r & \varphi_l \end{bmatrix}^T \qquad (1)$$

Theo như tài liệu tham khảo [1] ta có phương trình động học của robot sẽ được viết như phương trình (2) sau:

$$\dot{q}=\begin{bmatrix}\dot{x}\\ \dot{y}\\ \dot{\theta}\end{bmatrix}=\begin{bmatrix} R_a\dfrac{\dot{\varphi}_r+\dot{\varphi}_l}{2}\cos(\theta)\\ R_a\dfrac{\dot{\varphi}_r+\dot{\varphi}_l}{2}\sin(\theta)\\ \dfrac{R_a}{2L}\left(\dot{\varphi}_r-\dot{\varphi}_l\right)\end{bmatrix}=\begin{bmatrix}\cos\theta & -a\sin\theta\\ \sin\theta & a\cos\theta\\ 0 & 1\end{bmatrix}\begin{bmatrix}\upsilon\\ \omega\end{bmatrix}=H(q)\vartheta(t) \qquad (2)$$

Trong đó υ là vận tốc dài, ω là vận tốc góc của mobile robot, H là ma trận Jacobian biến đổi vận tốc $\vartheta(t)$ của mobile robot trong tọa độ cơ sở (x_mCy_m) thành vận tốc $\dot{q}$ trong hệ tọa độ quy chiếu quán tính (XOY)

2.2. Mô hình động lực học

Theo tài liệu [1,2], phương trình động lực học của mobile robot có thể được mô tả là:

$$M(q)\ddot{q}+C(q,\dot{q})\dot{q}+\tau_d=-\Lambda^T(q)\lambda+B(q)\tau \quad (3)$$

Trong đó: $M(q)$ là ma trận quán tính xác định dương; $C(q,\dot{q})$ là ma trận hướng tâm và Coriolis; τ_d là thành phần nhiễu không xác định của hệ thống; $B(q)$ là ma trận đầu vào; λ là nhân tử Lagrange; τ mômen điều khiển chuyển động cho mobile robot; $\Lambda(q)$ là ma trận rang buộc; $\dot{q}$ và $\ddot{q}$ lần lượt biểu thị các vectơ vận tốc và gia tốc tổng quát.

Với:

$$M(q)=\begin{bmatrix} m & 0 & -ma\sin\theta \\ 0 & m & ma\cos\theta \\ -ma\sin\theta & ma\cos\theta & I_G+ma^2 \end{bmatrix}$$

$$\tau=\begin{bmatrix}\tau_l\\ \tau_r\end{bmatrix},\quad C(q,\dot{q})=\begin{bmatrix}0 & 0 & -ma\dot{\theta}\cos\theta\\ 0 & 0 & -ma\dot{\theta}\sin\theta\\ 0 & 0 & 0\end{bmatrix},$$

Trong đó: m là khối lượng của robot; I_G là quán tính theo trọng tâm C của robot; τ_l và τ_r lần lượt là momen bánh trái và momen bánh phải.

Nhân tử Lagrange λ trong (3) chúng ta không thể xác định được, do đó ta sử dụng khái niệm không gia rỗng để loại bỏ phần tử này [4].

$$\Lambda^T(q)S(q)=0 \quad (4)$$

Nhân cả 2 vế của phương trình (3) với $S(q)$ ta được phương trình (5).

$$\bar{M}(q)\dot{\vartheta}+\bar{C}(q,\dot{q})\vartheta+\delta_\tau(q)=\bar{B}(q)\tau \quad (5)$$

Trong đó: $\bar{M}(q)=S^T(q)M(q)S(q)$,

$\bar{C}(q,\dot{q})=S^T(q)\left[M(q)\dot{S}(q)+C(q,\dot{q})S(q)\right]$,

$\bar{B}(q)=S^T(q)B(q)$ và $\delta_\tau(q)=\left[\delta_{\tau_1}\quad \delta_{\tau_2}\right]^T$

là thành phần nhiễu bất định phi tuyến.

3. THIẾT KẾ BỘ ĐIỀU KHIỂN THÍCH NGHI MỜ - TRƯỢT CHO ROBOT

3.1. Thuật toán điều khiển trượt động

3.1.1. Xây dựng thuật toán điều khiển quỹ đạo mặt trượt động cho WMR

Theo như tài liệu [3] các biến trạng thái được đề xuất như sau:

$$\begin{cases} x_1=q=\left[x \quad y \quad \theta\right]^T \\ x_2=\vartheta(t)=\left[\upsilon \quad \omega\right]^T \end{cases} \quad (6)$$

Kết hợp phương trình động học (2) và phương trình (6) ta sẽ có:

$$\dot{x}_1=H(q)x_2 \quad (7)$$

Từ các phương trình (5), (6) và (7) ta được mô hình trạng thái:

$$\begin{cases} \dot{x}_1=H(q)x_2 \\ \bar{M}(q)\dot{x}_2+\bar{C}(q,\dot{q})x_2+\delta_\tau(q)=\bar{B}(q)\tau \end{cases} \quad (8)$$

Trước tiên, đặt $e_1=x_1-x_{1d}$ là vectơ sai lệch quỹ đạo, ở đó $x_{1d}=q_d=\left[x_d \quad y_d \quad \theta_d\right]^T$ là quỹ đạo đặt, đặt $e_2=x_2-x_{2d}$

$$\Leftrightarrow \dot{e}_2=\dot{x}_2-\dot{x}_{2d}= \bar{M}(q)^{-1}(-\bar{C}(q,\dot{q})x_2-\delta_\tau(q)+\bar{B}(q)\tau)-\dot{x}_{2d} \quad (9)$$

Ta chọn:

$$V_1=\frac{1}{2}e_1^Te_1 \quad (10)$$

Đạo hàm hàm Lyapunov V_1:

$$\dot{V}_1=e_1^Te_1=e_1^T\left(H(q)x_2-\dot{x}_{1d}\right)=e_1^T\left(H(q)(e_2+x_{2d})-\dot{x}_{1d}\right)$$
$$=e_1^TH(q)e_2+e_1^TH(q)x_{2d}-e_1^T\dot{x}_{1d}=e_1^TH(q)e_2-e_1^Tc_1e_1 \quad (11)$$

Theo cách đặt c_1 ta có:

$$x_{2d}=H^{-1}(q)(c_1e_1-\dot{x}_{1d})$$

Với $c_1 = \begin{pmatrix} c_{1x} & 0 & 0 \\ 0 & c_{1y} & 0 \\ 0 & 0 & c_{1\theta} \end{pmatrix}$ là giá trị ma trận hằng số đường chéo phù hợp chứa các phần tử là các giá trị dương.

Chọn mặt trượt:

$s = \lambda e_1 + H(q)e_2 = (\lambda + c_1)e_1 + \dot{e}_1$,

Trong đó: $\lambda = diag(\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3)$

Khi đó mômen điều khiển

$$\tau_{dk} = \tau_{eq} + \tau_{s\omega} \quad (12)$$

τ_{eq} là thành phần tín hiệu điều khiển giữ trên mặt trượt;

τ_{sw} là thành phần lái trạng thái về mặt trượt.

Khi hàm Lyapuno $V_2 = \frac{1}{2}s^T s$ thì $\tau_{s\omega}$ phải thỏa mãn $\dot{V}_2 = s^T s < 0$.

Từ các điều kiện này ta có:

$$\tau_{dk} = \tau_{eq} + \tau_{sw}$$

$$= -\bar{B}^T(q)\left(\bar{B}(q)\bar{B}^T(q)\right)^{-1} \begin{pmatrix} \bar{M}(q)\left(H^{-1}(q)\left(\lambda\dot{e}_1 + \dot{H}(q)e_2\right) - \dot{x}_{2d}\right) \\ -(\bar{C}(q,\dot{q})x_2 - \delta_\tau(q)) - \bar{M}(q)H^{-1}(q)\left(c_2 sign(s) + c_3 s\right) \end{pmatrix} \quad (13)$$

***Định lý 1*:** WMR được mô tả bằng mô hình (5) được điều khiển bằng (13) với τ_{eq} và τ_{sw} được xác định bởi (12) đảm bảo hệ kín ổn định và sai lệch bám tiến về 0.

Chứng minh:

$$\dot{V}_2 = S^T\dot{S} \quad (14)$$

Sử dụng (13), $\dot{V}_2$ trở thành

$$\dot{V}_2 = S^T \begin{pmatrix} \lambda\dot{e}_1 + \dot{H}(q)e_2 + H(q) \\ \left(\bar{M}(q)^{-1}\left(-\bar{C}(q)x_2 - \bar{G}(q,\dot{q})\,\mathrm{sgn}(x_2) + \bar{B}(q)\tau\right) - \dot{\alpha}_f\right) \end{pmatrix} \quad (15)$$

Với tín hiệu điều khiển (13) và (9) thì $x_{2d} = \dot{\alpha}_f$, đạo hàm của V_2 có thể được viết lại thành:

$$\dot{V}_2 = -S^T c_2\,\mathrm{sgn}(S) - S^T c_3 S \quad (16)$$

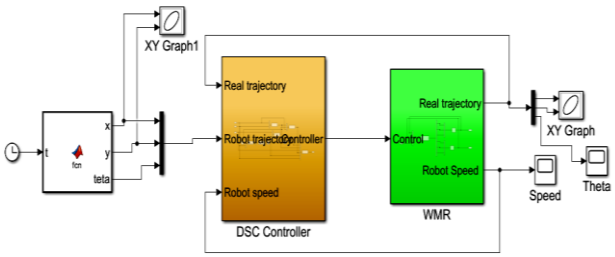
Bằng việc lựa chọn c_2, c_3 phù hợp, ta có

$$\dot{V} = -S^T c_2\,\mathrm{sgn}(S) - S^T c_3 S \le 0 \quad (17)$$

Phương trình (17) thỏa mãn mãn tiêu chuẩn ổn định Lyapunov theo định lý 3.

Bộ điều khiển DSC thường được áp dụng cho những hệ thống với việc xác định gần như chính xác cũng như nhiễu ngoại là nhỏ, mặt khác chất lượng của bộ điều khiển lại phụ thuộc vào việc xác định thông số bộ điều khiển để đản báo kéo hệ thống về mặt trượt.

3.1.2. Mô phỏng thuật toán mặt trượt trên matlab/Simulink



Hình 2. Cấu trúc mô phỏng hệ thống điều khiển sử dụng bộ điều khiển DSC

- Trường hợp không có nhiễu tác động (khối lượng ước lượng của robot là m=13 kg).

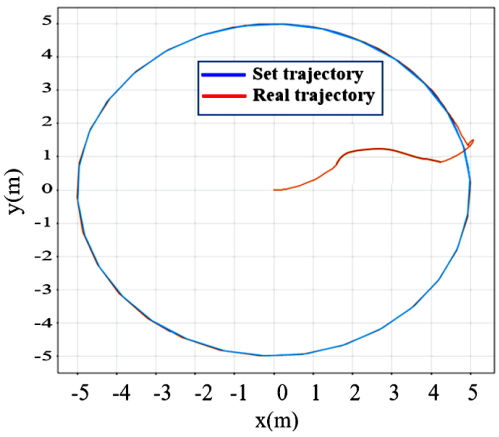
Thông số m = 13 kg; J = 0,56 kgm^2;
$a = 0,2$ m; $R_a = 0,08$ m; 2L=0,6 m.

Chọn quỹ đạo hình tròn với phương trình chuyển động như sau:

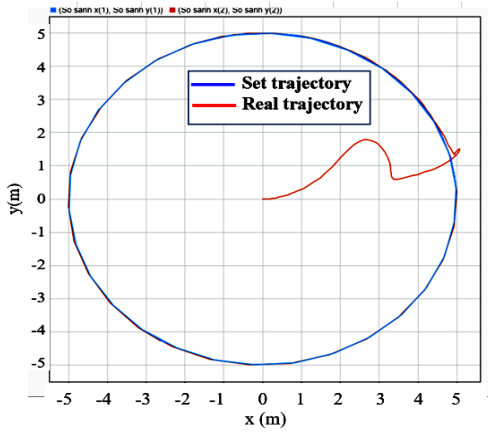
$$x = 5\cos(\frac{\pi}{15}t);\ y = 5\sin(\frac{\pi}{15}t);\ \theta = \frac{\pi}{15}t + \frac{\pi}{2}.$$

Bộ tham số điều khiển DSC:

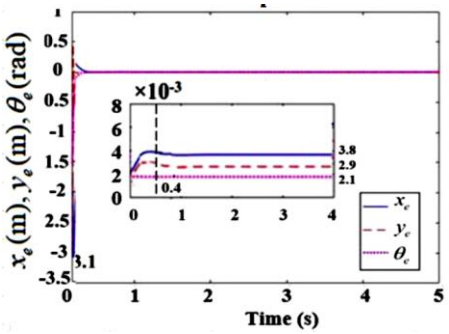
$\lambda = diag(10,10,10)$; $C_1 = diag(11,11,11)$;
$C_2 = C_3 = diag(15,15,15)$



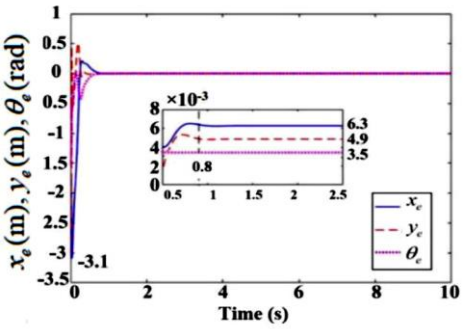
Hình 3. Quỹ đạo bám với bộ DSC khi không có nhiễu tác động



***Hình 5.* Quỹ đạo bám khi sử dụng DSC khi có nhiễu tác động**



Hình 4. Sai lệch bám với bộ DSC khi không có nhiễu tác động



Hình 6. Sai lệch bám khi sử dụng DSC khi có nhiễu tác động

Ta thấy rằng lúc ban đầu quỹ đạo lệch khỏi quỹ đạo mong muốn nhưng bộ điều khiển DSC đã đưa robot về quỹ đạo mong muốn trong khoảng thời gian tương đối nhanh (0,3 s) và giữ sai lệch ở giá trị nhỏ

$x_e = 0;035(\text{m});\ y_e = 0,052(\text{m});$
$\theta_e = 0,026(\text{rad})$

- Trường hợp có nhiễu tác động (tăng khối lượng m=30 kg).

Vẫn sử dụng thông số bộ điều khiển và thông ssos của mô hình như trên phần 3.1.1 nhưng ta thay đổi trọng lượng lên robot từ 13 kg thêm thành 30 kg, kết quả đáp ứng quỹ đạo như hình 5:

Nhận xét kết quả: Với bộ điều khiển DSC đề xuất cũng đã ổn định khi có sai lệch mô hình như kết quả trong hình 5 và hình 6, tuy nhiên để lựa chọn được thông số bộ điều khiển DSC là một thách thức lớn đối với phương pháp điều khiển này. Do đó nhóm tác giả đề xuất một bộ điều khiển thích nghi mờ trượt như phần 3.2.

3.2. Thuật toán điều khiển trượt động trên cơ sở logic mờ (AFDSC)

3.2.1. Xây dựng thuật toán điều khiển

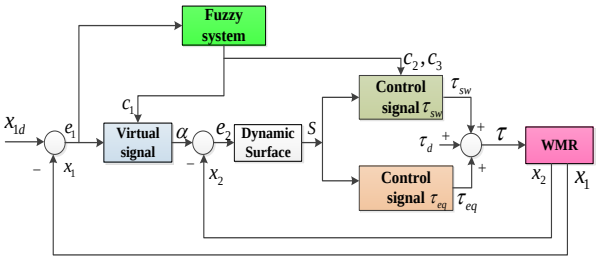
Sử dụng logic mờ để chỉnh định thông số cho bộ điều khiển DSC như sơ đồ cấu trúc hình 7:

Logic mờ có đầu vào là sai lệch quỹ đạo và đạo hàm sai lệch quỹ đạo của robot với các biến ngôn ngữ:

e: *NB* (âm lớn), *NS* (âm nhỏ), *Z* (không),

PS (dương nhỏ), *PB* (dương lớn).

Đầu ra của bộ logic mờ là các tham số c_1, c_2, c_3 của bộ điều khiển AFDSC.



Hình 7. Cấu trúc hệ thống điều khiển AFDSC cho WMR

Và đầu vào ra của bộ mờ được thực hiện theo cơ sở suy diễn như bảng 1:

Bảng 1. Hệ luật suy diễn cơ sở cho $c_1(c_2,c_3)$

$\dot{e}_1$	e_1				
	NB	*NS*	*Z*	*PS*	*PB*
NB	*M*(*B*)	*S*(*B*)	*VS*(*VB*)	*S*(*B*)	*M*(*M*)
NS	*B*(*S*)	*M*(*M*)	*S*(*B*)	*M*(*M*)	B(S)
Z	*VS*(*VB*)	*B*(*S*)	*M*(*M*)	*B*(*S*)	VS(VB)
PS	*B*(*S*)	*M*(*M*)	*S*(*B*)	*M*(*M*)	*B*(*S*)
PB	*M*(*M*)	*S*(*B*)	*VS*(*VB*)	*S*(*B*)	*M*(*M*)

Trong đó các giá trị đầu ra được chọn logic như bảng 2:

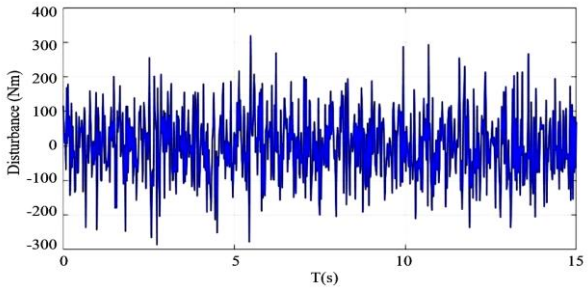
Bảng 2. Giá trị đầu ra c_1, c_2,c_3

Biến ra	Ý nghĩa	Đầu ra c_1	c_2 và c_3
VS	Quá nhỏ	1.3	13
S	nhỏ	3.75	18
M	TB	5.5	25
B	lớn	9	30
VB	quá lớn	13	37

Ngoài ra bộ mờ còn sử dụng hàm liên thuộc trimf và quy tắc tổng hợp sumPROD.

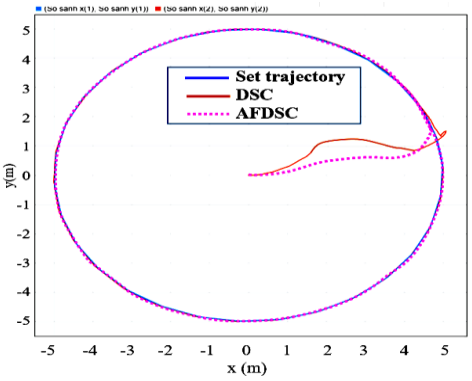
3.2.2. Mô phỏng kiểm chứng bộ điều khiển AFDSC

Để kiểm chứng tính hiệu quả của bộ điều khiển đề xuất AFDSC ta đi mô phỏng hệ thống với thông số mô hình và quỹ đạo như phần 3.2.1, nhưng ở đây ta cho thêm thành phần nhiễu ngoại như hình 8.

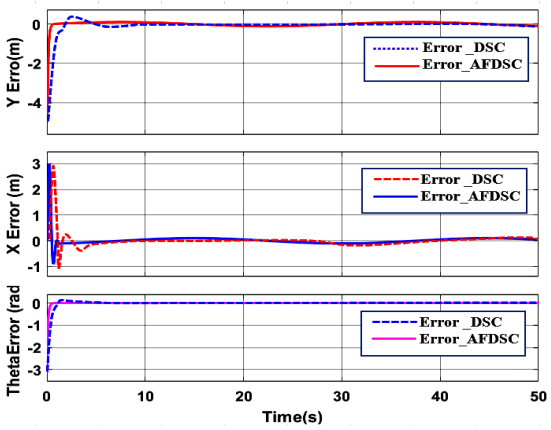


Hình 8. Nhiễu ngoại

Đáp ứng quỹ đạo và đáp ứng sai lệch quỹ đạo được thể hiện trên hình 11 và 12:



Hình 9. Quỹ đạo với bộ DSC và AFDSC trường có nhiễu ngoại



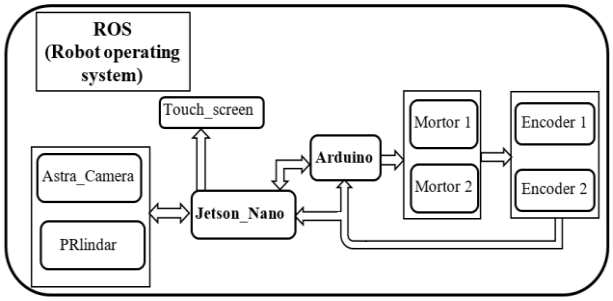
Hình 10. Sai lệch với bộ DSC và AFDSC trường có nhiễu ngoại

Nhận xét: Ta thấy rằng với cả hai bộ điều khiển DSC và AFDSC đều bám quỹ đạo (hình 11) nhưng bộ điều khiển AFDSC cho chất lượng bám tốt hơn và điều đặc biệt là ta không phải tính thông số bộ điều khiển. Cụ thể, với cùng một điều kiện khởi tạo, robot được dy chuyển với bộ AFDSC tiếp cận quỹ đạo tham chiếu sau khoảng 0,2 giây, trong khi đó với bộ DSC mất gần 0.5 giây.

4. THỰC NGHIỆM ĐIỀU KHIỂN ROBOT DI ĐỘNG SỬ DỤNG BỘ ĐIỀU KHIỂN AFDSC KẾT HỢP VỚI THUẬT TOÁN A*.

▪ Cấu trúc phần cứng hệ thống mobile robot

Ta thực nghiệm robot trên ROS (Robot Operating System) với mô hình mobile robot có cấu hình như hình 11.



Hình 11. Sơ đồ cấu trúc phần cứng điều khiển robot

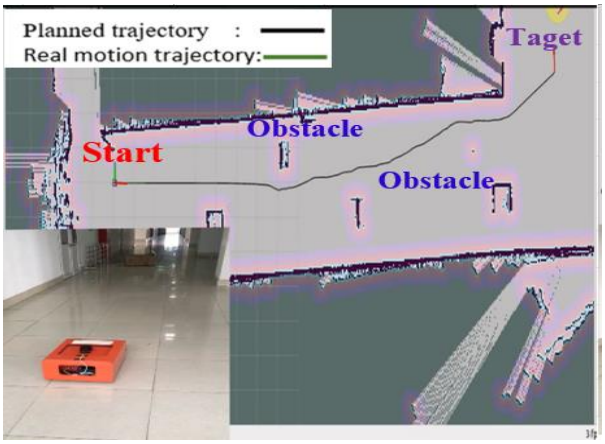
Mobile robot được chế tạo với thông số kỹ thuật có thân thép kích thước 70×50×38 cm. Robot được trang bị bộ xử máy tính nhúng Jetson Nano 4G. Các tín hiệu lấy để điều khiển từ các cảm biến Lindar 360^o A2, camera và IMU ((Inertial Measurement Unit)). Phần mềm ROS cung cấp các chức năng thư viện để xử lý điều hướng, lập kế hoạch đường đi, tránh chướng ngại vật và nhiều tác vụ robot khác.

Khi đích đến được chỉ định, WMR sử dụng thuật toán tìm đường A* để lập kế hoạch đường đi của nó nhằm tránh chướng ngại vật và đến được mục tiêu. Máy tính sẽ được sử dụng để giám sát và phản hồi thuật toán theo dõi và đường đi thực của robot, sẽ ghi lại và lấy số liệu bám giữa quỹ đạo hoạch định và quỹ đạo thực.

❖ Tiến hành thực nghiệm

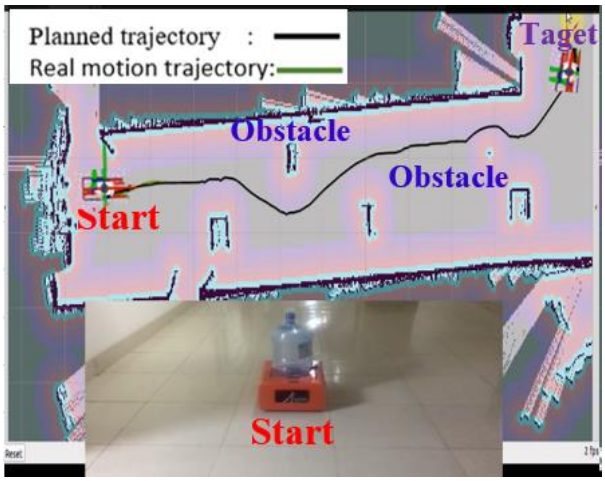
Lập kế hoạch di chuyển toàn cục là giao diện được sử dụng để thực thi thuật toán **A∗**[15]. Thuật toán A* sẽ được thực thi bởi 2 node là bản đồ (Map) và vị trí robot (Robot Pose), xuất ra dữ liệu về bản đồ và vị trí robot.

▪ Kết quả chạy thực nghiệm trường hợp hình 16: Với m=13 kg (chỉ có tải trọng của robot).



Hình 12. Hình ảnh thực nghiệm chuyển động mobile robot khi không trở tải (m=10 kg)

▪ Kết quả chạy thực nghiệm trường hợp B hình 17: Với m=30 kg (tang tải trọng của robot).



Hình 13. Hình ảnh thực nghiệm chuyển động mobile robot khi có thêm tải (m=30 kg)

Chạy thực nghiệm lặp đi lặp lại 3 lần đối với 2 trường hợp như trên, ta thống kê được sai lệch giữa quỹ đạo thực so với quỹ đạo hoạch định như bảng 3.

Bảng 3. Kết quả sai lệch quỹ đạo khi chạy thực nghiệm

Lần chạy	A			Thời gian tránh vật cản (s)	B			Thời gian tránh vật cản (s)
	x_e **(m)**	y_e **(m)**	θ_e **(rad)**		x_e **(m)**	y_e **(m)**	θ_e **(rad)**	
1	0.0062	0.0045	0.0037	0.8102	0.0102	0.0075	0.0053	1.0032
2	0.0065	0.0051	0.0031	0.7834	0.0095	0.0081	0.0049	1.2143
3	0.0071	0.0042	0.0040	0.8621	0.0105	0.0069	0.0051	1.7302

Kết quả thực nghiệm 3 lần cho thấy sai lệch trong cả 2 trường hợp là nhỏ (Bảng 7).

Thông qua mô phỏng và thực nghiệm ta thấy được hiệu quả của thuật toán điều khiển được đề xuất. Robot thiết lập được quỹ đạo tối ưu tránh chướng ngại vật và chuyển động theo như quỹ đạo đặt ra với các thông số sai lệch bám quỹ đạo trong phạm vi cho phép.

5. KẾT LUẬN

Bài báo đã trình bày thiết kế bộ điều khiển Mờ - Trượt thích nghi điều khiển cho mobile robot bám theo quỹ đạo được xác định dựa trên thuật toán tìm đường A*. Hệ thống điều hướng cho robot di động dựa trên hệ điều hành robot ROS, bao gồm cả phần cứng và phần mềm. Hệ thống thử nghiệm được tích hợp lên mobile robot kiểu visai và thử nghiệm hoạt động ở môi trường làm việc trong nhà. Kết quả thử nghiệm cho thấy hệ thống hoạt động ổn định. Bên cạnh đó, giải pháp thiết kế hệ thống trên ROS cho phép người dùng có thể linh hoạt trong việc điều chỉnh, cấu trúc lại theo từng ứng dụng cụ thể.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1] Nardênio Almeida Martins, Douglas Wildgrube Bertol , “Wheeled Mobile Robot Control” ISBN 9783030779122, 3030779122, August 12, (2021).

[2] Chen, C.Y.; Li, T.H.S.; Yeh, Y.C.; Chang, C.C., "Design and implementation of an adaptive sliding-mode dynamic controller for wheeled mobile robots". Mechatronics, 19(2), pp. 156-166 (2009).

[3] Duyen, H.T.K; Cuong, N.M.; Thuat, V.H.; Manh, T.V.; Dinh, N.D.; Dung, B.A.; “Trajectory tracking control for four-wheeled omnidirectional mobile robot using Backstepping technique aggregated with sliding mode control”**,** International Symposium on Instrumentation, Control, pp. 131-134 (2019).

[4] H. Maaref, C. Barret. "Sensor-based navigation of a mobile robot in an indoor environment". Robotics and Autonomous Systems, Vol 38, pp. 1-18 (2002).

[5] S. Thongchai, S. Suksakulchai, D. M. Wilkes, and N. Sarkar. "Sonar behavior - based fuzzy control for a mobile robot". Proceedings of the 2000 IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics, Vol 5, pp. 3532 - 3537 (2000).

[6] Iris F.A. Vis. “Survey of research in the design and control of automated guided vehicle systems.” European Journal of Operational Research, Vol 170, (2006).

[7] Ly. T.T.K., Thai. N.H., Dzung. L.Q., Thanh. N.T., “Determination of kinematic control parameters of omnidirectional AGV robot with mecanum wheels track the reference trajectory and velocity”. International Conference on Engineering Research and Applications, (2020).

[8] Khayyam Masood, David Pérez Morales, Vincent Fremont, Parking Pose Generation for Autonomous Freight Collection by Pallet Handling Car-like Robot. Energies (2021).

[9] Dongbing Gu, Huosheng Hu. “Neural predictive control for a car-like mobile robot”. Robotics and Autonomous Systems. Vol 39, PP. 73–86, (2002).

[10] Heidari, M.; Nikranjbar, A.; Ataei, A.A., "Integral Sliding Mode Trajectory Tracking Control of Nonholonomic Mobile Robots Based on the Harmonic Potential Field Approach", in 11th Intelligent Systems Conference, Vol 14, (2018).

[11] Fierro, R.; Lewis, F.L., "Control of a nonholonomic mobile robot: backstepping kinematics into dynamics", in Decision and Control, Proceedings of the 34th IEEE. (1995).

[12] Chen, C.Y.; Li, T.H.S.; Yeh, Y.C.; Chang, C.C., "Design and implementation of an adaptive sliding-mode dynamic controller for wheeled mobile robots". Mechatronics, 19(2), (2009).

[13] Solea, R.; Filipescu, A.; Nunes, U., "Sliding-mode control for trajectory tracking of a wheeled mobile robot in presence of uncertainties", in Proceedings of the 7th Asian Control Conference. (2009).

[14] Duyen, H.T.K; Cuong, N.M.; Thuat, V.H.; Manh, T.V.; Dinh, N.D.; Dung, B.A.; **“**Trajectory tracking control for four-wheeled omnidirectional mobile robot using Backstepping technique aggregated with sliding mode control”, Artificial Intelligence, and Robotics (ICA-SYMP), pp. 131-134 (2019).

[15] Hakyoung, C., Ojeda L., and Borenstein J. ,"Sensor fusion for mobile robot dead-reckoning with a precision-calibrated fiber optic gyroscope", IEEE International Conference on Robotics and Automation, 127 Proceedings (2001).

Thông tin liên hệ: **Thân Thị Thương**

Điện thoại: 0985066990 - Email: ttthuong.dien@uneti.edu.vn

Khoa Điện - Tự động hóa, Trường Đại học Kinh tế - Kỹ thuật Công nghiệp.