

Nâng cao chất lượng bám quỹ đạo cho robot 4 bánh đa hướng trên cơ sở kết hợp Logic mờ cho bộ điều khiển mặt trượt động

Enhance trajectory tracking quality for 4-wheeled omnidirectional robots based on a combination of Fuzzy logic with Dynamic sliding Surface Controller

Trần Đức Lương¹, Hồ Sỹ Phương¹, Vũ Đình Thi¹, Lê Văn Chương¹, Tạ Hùng Cường¹,
Cao Nguyễn Tiến Dũng¹

¹Viện Kỹ thuật và Công nghệ, trường Đại Học Vinh
Email: hosityphuong@gmail.com

Abstract

This paper proposes a controller to enhance trajectory tracking quality for 4-wheeled omnidirectional robots based on the fuzzy logic combination for the dynamic sliding surface controller (AFDSC). In the article, the stability of the controller is proven based on mathematics and Lyapunov stability criteria, and simulation results on Matlab Simulink software are compared with Dynamic Sliding surface Controller (DSC) to demonstrate the correctness, usability, and advantages of the proposed controller.

Keywords

Autonomous Robot; Omnidirectional Robot; Dynamic Surface Sliding Control; Fuzzy Logic Control.

Tóm tắt

Bài báo đề xuất bộ điều khiển nhằm nâng cao chất lượng theo dõi quỹ đạo cho robot đa hướng 4 bánh dựa trên sự kết hợp logic mờ cho bộ điều khiển mặt trượt động. Trong bài báo, sự ổn định của bộ điều khiển được chứng minh trên cơ sở toán học và tiêu chuẩn ổn định Lyapunov, kết quả mô phỏng trên phần mềm Matlab Simulink được so sánh với các bộ điều khiển khác như Dynamic Sliding surface Control để chứng minh tính đúng đắn, khả dụng và ưu thế của bộ điều khiển đề xuất.

Ký hiệu

O_{xy}	Hệ tọa độ toàn cục
$O_m x_m y_m$	Hệ tọa độ cục bộ
v_i, ω_i	Vận tốc dài, vận tốc góc của mỗi bánh

Chữ viết tắt

AFDSC	Adaptive Fuzzy Dynamic Sliding surface Control
DSC	Dynamic Sliding surface Control
SMC	Sliding Mode Control
MPC	Model Predictive Control

1. Giới thiệu

Trong những năm gần đây, robot di động đóng một vai trò quan trọng trong lĩnh vực tự động hóa, đặc biệt là các ứng dụng trong công nghiệp, dịch vụ, thám hiểm, v.v. [1-3]. Bánh xe Omni với sự cải tiến trong cấu trúc với các con lăn được bố trí xung quanh bề mặt theo trình tự thích hợp giúp robot có khả năng cơ động cao, định vị linh hoạt với khả năng di chuyển theo nhiều hướng và xoay độc lập. Trong bài báo này, bài toán nâng cao chất lượng theo dõi và bám quỹ đạo cho mô hình robot với bốn bánh omni truyền động độc lập được tiếp cận và nghiên cứu. Đối tượng này đã và đang

được nghiên cứu nhiều trong nhiều thập kỷ với nhiều hướng tiếp cận và cải tiến nâng cao chất lượng trong mô hình hóa cũng như xây dựng các bộ điều khiển. Công thức Euler – Lagrange là một trong những giải pháp cho việc mô hình hóa robot 4 bánh omni [4,5,6], trên cơ sở mô hình động học và động lực học, các bộ điều khiển nghiên cứu, xây dựng và phát triển để nâng cao chất lượng hoạt động của robot trong các nhiệm vụ của mình. Điều khiển bám quỹ đạo đặt là một trong những hướng đi quan trọng trong điều khiển robot, nhiệm vụ của bài toán này là cung cấp tín hiệu điều khiển cho cơ cấu truyền động của robot sao cho robot đi theo đường dẫn cho trước với thời gian đáp ứng nhanh, sai số bám nhỏ và tính ổn định cao nhất. Bộ điều khiển PI được áp dụng cho robot trong các công bố [7,8]. Tuy nhiên, đối mặt với sự tồn tại của các thành phần phi tuyến mạnh cộng với các thành phần ma sát, dao động, độ trượt của bánh xe trong thực nghiệm thì bộ điều khiển này khó có thể đáp ứng hết. Đề thỏa mãn yêu cầu về chuyển động, dạng phản hồi chặt chẽ như Backstepping [8] là một giải pháp khả thi để giải quyết các mô hình toán học phi tuyến phổ biến. Tuy nhiên, mặt hạn chế của kỹ thuật Backstepping là phụ thuộc rất nhiều vào mô hình của hệ thống. Nếu mô hình có sai số thì phương pháp điều khiển sẽ không còn đảm bảo được sự ổn định. Bộ điều khiển trượt [9,10] đã được sử dụng rộng rãi với khả năng chống lại các nhiễu loạn và sai số trong mô hình robot. Tuy nhiên hiện tượng “chattering” lại là vấn đề lớn nhất trong SMC. Bộ điều khiển mặt trượt động [11,12] kết hợp kỹ thuật Backstepping và bộ điều khiển đa mặt trượt đã giữ lại được những ưu điểm mạnh mẽ của SMC và cũng khắc phục tốt hiện tượng chattering. Bộ điều khiển dự báo (MPC) [13-16] với các ưu điểm vượt trội so với SMC, PID và kỹ thuật Backstepping bởi khả năng xử lý ràng buộc và giới hạn của hệ thống tốt hơn do tính toán dự đoán trong tương lai, điều khiển đa biến và hệ thống phi

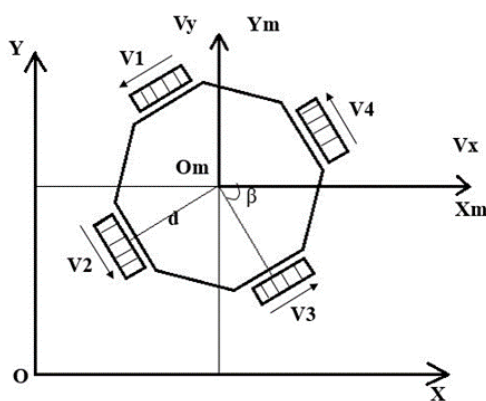
tuyến hiệu quả. Điều khiển thích nghi là một trong những giải pháp phù hợp cho robot, nó giúp cho hệ thống thích ứng với những thay đổi phát sinh trong quá trình hoạt động nhờ những chỉnh định các tham số liên quan trong các bộ điều khiển. Trong [17-19], bộ điều khiển PI thích ứng mờ được sử dụng. Luật mờ được xây dựng chủ yếu dựa trên kiến thức và kinh nghiệm của các chuyên gia qua đó bộ điều khiển được trang bị thêm tính năng tự chỉnh định các tham số điều khiển, hạn chế của phương pháp này là sự phụ thuộc rất lớn vào kinh nghiệm của người xây dựng luật. Đối mặt với nhiều thành phần phi tuyến bất định trong hệ thống và sai số của mô hình robot, mạng nơ-ron được biết đến và áp dụng cho trong việc thiết kế bộ điều khiển thích nghi với khả năng xấp xỉ được các thành phần bất định trong hệ thống [20][21], tuy nhiên với hạn chế về mặt yêu cầu cao về phần cứng và các giải thuật phức tạp, bộ điều khiển dung mạng nơ-ron là một hạn chế cho khả năng áp dụng vào hệ thống điều khiển đáp ứng thời gian thực.

Trong bài báo này, bộ điều khiển kết hợp logic mờ với điều khiển mặt trượt động cho robot được đề xuất cho bài toán điều khiển bám quỹ đạo của robot 4 bánh omni. Hiệu quả của bộ điều khiển được kiểm chứng, so sánh với DSC thông qua mô phỏng trên phần mềm Matlab-Simulink.

Bài nghiên cứu được chia làm 5 phần: phần 2 mô hình hóa phương trình động học, động lực học. Phần 3 thuật toán điều khiển của robot. Kết quả mô phỏng bộ AFDSC trên Matlab simulink được trình bày trong phần 4 chứng minh hiệu quả của luật điều khiển đã đề xuất. Cuối cùng là phần kết luận và hướng phát triển.

2. Mô hình robot 4 bánh omni

Mô hình robot được sử dụng trong bài báo là dạng robot điều hướng bằng 4 bánh xe omni truyền động độc lập có cấu trúc thể hiện trên H.1.



H.1 Cấu trúc của robot 4 bánh omni

Hệ tọa độ toàn cục và hệ tọa độ động gắn trên thân robot được ký hiệu lần lượt là Oxy và $O_m x_m y_m$, vị trí của robot trong hệ tọa độ toàn cục được biểu diễn qua vector $\mathbf{q} = [x \ y \ \theta]^T$, $\mathbf{V} = [v_x \ v_y \ \omega]^T$ là vector vận tốc của robot trong hệ tọa độ động. $\boldsymbol{\omega} = [\omega_1 \ \omega_2 \ \omega_3 \ \omega_4]^T$ là vector vận tốc góc của mỗi

bánh gắn trên thân robot, r là bán kính bánh xe, d là khoảng cách từ tâm robot đến các bánh, robot có thiết kế với góc lệch $\beta = 45^\circ$ của bánh số 3 so với trục x_m , m là khối lượng của robot.

Theo [7,8,10] vector vận tốc của robot trong hệ tọa độ động và vận tốc góc của các bánh được thể hiện như sau:

$$\mathbf{V} = \mathbf{H}\boldsymbol{\omega} \quad (2.1)$$

Với \mathbf{H} là ma trận hệ số:

$$\mathbf{H} = \frac{r}{4} \begin{bmatrix} -\sqrt{2} & -\sqrt{2} & \sqrt{2} & \sqrt{2} \\ \sqrt{2} & -\sqrt{2} & -\sqrt{2} & \sqrt{2} \\ d & d & d & d \end{bmatrix}$$

Mối quan hệ giữa vận tốc của robot trong 2 hệ tọa độ được thể hiện qua một ma trận chuyển đổi hệ trục:

$$\dot{\mathbf{q}} = \mathbf{R}\mathbf{V} \quad (2.2)$$

trong đó

$$\mathbf{R} = \begin{bmatrix} \cos\theta & -\sin\theta & 0 \\ \sin\theta & \cos\theta & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Kết hợp (2.1) (2.2) (2.3) phương trình động học của robot được biểu diễn:

$$\dot{\mathbf{q}} = \mathbf{H}\mathbf{V}\boldsymbol{\omega} \quad (2.3)$$

Theo các công bố [10,14,15,20] phương trình động lực học của robot có dạng:

$$\mathbf{M}(\mathbf{q})\ddot{\mathbf{v}} + \mathbf{C}(\mathbf{q}; \dot{\mathbf{q}})\dot{\mathbf{v}} + \mathbf{G}(\mathbf{q})\text{sgn}(\mathbf{v}) + \boldsymbol{\tau}_d = \mathbf{B}\boldsymbol{\tau} \quad (2.4)$$

Trong đó:

$$\mathbf{M}(\mathbf{q}) = \begin{bmatrix} m & 0 & 0 \\ 0 & m & 0 \\ 0 & 0 & J \end{bmatrix}, \mathbf{C}(\mathbf{q}, \dot{\mathbf{q}}) = \begin{bmatrix} B_x & 0 & 0 \\ 0 & B_y & 0 \\ 0 & 0 & B_\omega \end{bmatrix}$$

$$\mathbf{G}(\mathbf{q}) = \begin{bmatrix} C_x & 0 & 0 \\ 0 & C_y & 0 \\ 0 & 0 & C_\omega \end{bmatrix}$$

$$\mathbf{B} = \begin{bmatrix} -\frac{\sqrt{2}}{2r} & -\frac{\sqrt{2}}{2r} & \frac{\sqrt{2}}{2r} & \frac{\sqrt{2}}{2r} \\ \frac{\sqrt{2}}{2r} & -\frac{\sqrt{2}}{2r} & -\frac{\sqrt{2}}{2r} & \frac{\sqrt{2}}{2r} \\ \frac{d}{r} & \frac{d}{r} & \frac{d}{r} & \frac{d}{r} \end{bmatrix}$$

$\boldsymbol{\tau} = [\tau_1 \ \tau_2 \ \tau_3 \ \tau_4]^T$ là momen của các bánh. $\boldsymbol{\tau}_d$ là thành phần nhiễu bất định.

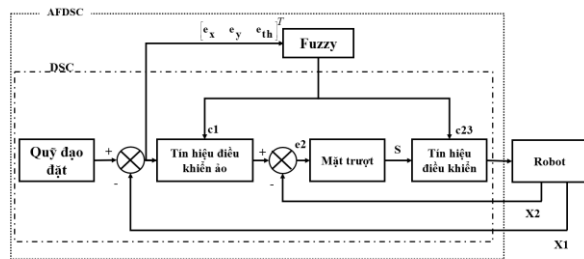
$\mathbf{C}(\mathbf{q}, \dot{\mathbf{q}})$, $\mathbf{G}(\mathbf{q})$ lần lượt là ma trận hệ số ma sát nhớt và ma trận hệ số ma sát Coulomb.

3. Thiết kế bộ điều khiển AFDSC

DSC là một kỹ thuật điều khiển dựa trên lý thuyết điều khiển mặt trượt để ứng phó với các nhiễu loạn bên ngoài hệ thống. Cấu trúc của DSC bao gồm MSS và LPF. Trong đó MSS được thiết kế ưu tiên tách riêng từng mặt trượt cho từng trạng thái của hệ thống với khả năng xử lý được thành phần nhiễu loạn "mismatched". Qua đó khắc phục được nhược điểm của bộ điều khiển

trượt và giảm bớt được hiện tượng chattering. LPF lọc nhiễu tần số cao nội sinh vừa cung cấp thông tin về đạo hàm tín hiệu điều khiển ảo

Trong DSC sẽ tồn tại 2 tham số ảnh hưởng trực tiếp đến khả năng bám quỹ đạo đặt, bao gồm giá trị ma trận của bộ điều khiển ảo quyết định chất lượng bám quỹ đạo và giá trị ma trận của bộ điều khiển lái trạng thái của hệ thống tiến về mặt trượt quyết định tốc độ và độ ổn định bám. Trong trường hợp có sự ảnh hưởng của nhiễu loạn bộ điều khiển với khả năng tự chỉnh định các tham số này là cần thiết. Một bộ điều khiển thích nghi trên cơ sở kết hợp Fuzzy Logic với DSC được đề xuất (AFDSC).



H. 2 Cấu trúc bộ điều khiển AFDSC

3.1. Thuật toán điều khiển mặt trượt động

Trong trường hợp không xét đến nhiễu bên ngoài phương trình trạng thái của robot được biểu diễn dưới dạng:

$$\begin{cases} \dot{x}_1 = R x_2 \\ M \dot{x}_2 + C x_2 + G \operatorname{sgn}(x_2) = B \tau \end{cases} \quad (3.7)$$

Với $e_1 = x_1 - x_{1d}$

Đạo hàm e_1 ta được:

$$\dot{e}_1 = \dot{x}_1 - \dot{x}_{1d} = R x_2 - \dot{x}_{1d} \quad (3.8)$$

Giả sử rằng α là tín hiệu điều khiển ảo trong việc thiết kế bộ điều khiển DSC. α được cho bởi:

$$\alpha = -R^{-1}(c_1 e_1 - \dot{x}_{1d}) \quad (3.9)$$

Với $c_1 = \begin{pmatrix} c_1 & 0 & 0 \\ 0 & c_2 & 0 \\ 0 & 0 & c_3 \end{pmatrix}$ là ma trận hệ số xác định dương

phù hợp.

Bộ lọc thông số thấp bậc nhất có dạng:

$$T \dot{\alpha}_f + \alpha_f = \alpha \quad (3.10)$$

Tính khả dụng của tín hiệu điều khiển ảo được chứng minh thông qua việc chọn hàm Lyapunov thứ nhất:

$$V_1 = \frac{1}{2} e_1^T e_1 \quad (3.11)$$

$$\dot{V}_1 = e_1^T \dot{e}_1 = e_1^T (R x_2 - \dot{x}_{1d}) = -e_1^T c_1 e_1 + e_1^T (c_1 e_1 + R x_2 - \dot{x}_{1d}) \quad (3.12)$$

Nếu $x_2 = \alpha$ thì

$$\dot{V}_1 = -e_1^T c_1 e_1 + e_1^T (c_1 e_1 + R \alpha - \dot{x}_{1d})$$

$$= -e_1^T c_1 e_1 + e_1^T \dot{c}_1 (e_1 - e_1)$$

Với giá trị điều khiển ảo α

Thì điều kiện $\dot{V}_1 = -e_1^T c_1 e_1 \leq 0$ được thỏa mãn.

Tiếp theo sử dụng kỹ thuật điều khiển trượt để thiết kế các tín hiệu điều khiển của hệ.

Sai lệch tín hiệu điều khiển ảo được biểu diễn:

$$e_2 = x_2 - \alpha_f \quad (3.13)$$

Chọn mặt trượt:

$$S = \lambda e_1 + R e_2 \quad (3.14)$$

λ là hệ số của mặt trượt.

Đạo hàm của mặt trượt:

$$\begin{aligned} \dot{S} &= \lambda \dot{e}_1 + R \dot{e}_2 + \dot{R} e_2 = \lambda \dot{e}_1 + \dot{R} e_2 + R(M^{-1}(-C x_2 \\ &- G \operatorname{sgn}(x_2) + B \tau) - \dot{\alpha}_f) \end{aligned} \quad (3.15)$$

Tín hiệu điều khiển của hệ thống sẽ bao gồm 2 thành phần là τ_{eq} và τ_{sw} .

τ_{eq} là tín hiệu điều khiển để giữ trạng thái hệ thống trên mặt trượt. Và thu được từ điều kiện $\dot{S} = 0$

$$\begin{aligned} \tau_{eq} &= -B^T (B B^T)^{-1} (M(R^{-1}(\lambda \dot{e}_1 + \dot{R} e_2) - \dot{x}_{2d}) \\ &- C x_2 - G \operatorname{sgn}(x_2)) \end{aligned} \quad (3.16)$$

Ta sử dụng thêm luật điều khiển τ_{sw} là khả năng điều khiển trạng thái của hệ thống tiến về S

$$\tau_{sw} = -B^T (B B^T)^{-1} M R^{-1} (c_2 \operatorname{sgn}(S) + c_3 S) \quad (3.17)$$

Với $c_2 = \begin{pmatrix} c_{21} & 0 & 0 \\ 0 & c_{22} & 0 \\ 0 & 0 & c_{23} \end{pmatrix}$ và $c_3 = \begin{pmatrix} c_{31} & 0 & 0 \\ 0 & c_{32} & 0 \\ 0 & 0 & c_{33} \end{pmatrix}$ là

các ma trận hệ số xác định dương.

Tín hiệu điều khiển của hệ là tổng của τ_{eq} và τ_{sw} :

$$\tau = \tau_{eq} + \tau_{sw} \quad (3.18)$$

Để hệ thống ổn định và tính toán tín hiệu điều khiển hàm Lyapunov thứ hai được chọn:

$$V_2 = \frac{1}{2} S^T S$$

Đạo hàm V_2 :

$$\begin{aligned} \dot{V}_2 &= S^T \dot{S} = S^T (\lambda \dot{e}_1 + \dot{R} e_2 + R(M^{-1}(-C x_2 - G \operatorname{sgn}(x_2) \\ &+ B \tau) - \dot{\alpha}_f)) \end{aligned} \quad (3.19)$$

Với tín hiệu điều khiển thì $x_{2d} = \dot{\alpha}_f$, đạo hàm của V_2

có thể được viết lại thành:

$$\dot{V}_2 = -S^T c_2 \operatorname{sgn}(S) - S^T c_3 S \quad (3.20)$$

Lựa chọn 2 ma trận c_2 và c_3 phù hợp sao cho:

$$\dot{V}_2 = -S^T c_2 \operatorname{sgn}(S) - S^T c_3 S \leq 0 \quad (3.21)$$

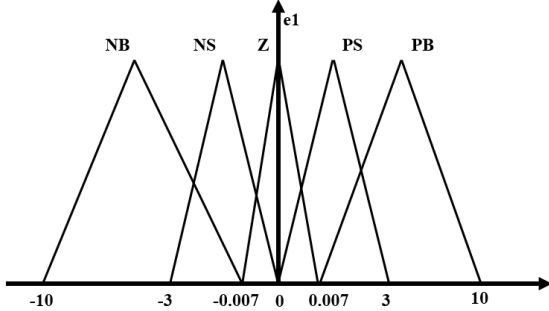
Do $\dot{V}_2 < 0$ nên theo định lý 1 tiêu chuẩn ổn định Lyapunov. Hệ ổn định tiệm cận.

3.3 Điều khiển logic mờ

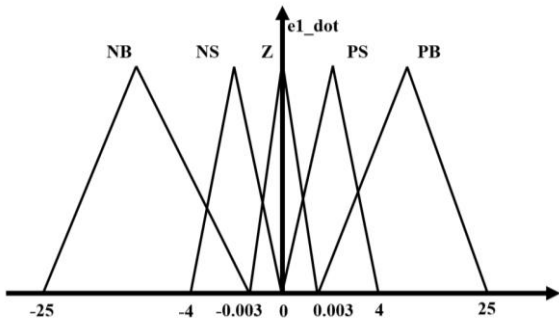
Trong điều kiện có nhiễu tác động, việc hiệu chỉnh các tham số này sẽ giúp cho hệ thống chống lại được các tác động từ các yếu tố không rõ từ môi trường. Luật Fuzzy logic được xây dựng để chỉnh định các tham số c_i ($i=1,2,3$) giúp cho hệ thống chống lại được các tác động từ các yếu tố nhiễu bất định trong quá trình hoạt

động của robot. Việc chỉnh định c_1 sẽ quyết định đến chất lượng bám quỹ đạo đặt trong thời gian quá độ, thay đổi c_2, c_3 sẽ ảnh hưởng đến tốc độ bám và tính ổn định của bộ điều khiển.

Đầu vào của bộ chỉnh định mờ là sai lệch của quỹ đạo bám và đạo hàm theo thời gian thời của nó. Với các tập mờ đầu vào được biểu diễn dưới dạng tam giác có dạng như trong hình H.3 và H.4.



H.3 Các tập mờ đầu vào e_1



H.4 Các tập mờ đầu vào e_{1_dot}

Bảng 1. Các biến đầu vào sử dụng

Biến e_1	Biến e_{1_dot}	Ý nghĩa
NB	NB	Khoảng âm lớn
NS	NS	Khoảng âm nhỏ
Z	Z	Khoảng 0
PS	PS	Khoảng dương nhỏ
PB	PB	Khoảng dương lớn

Biến đầu ra được xây dựng dựa theo mô hình mờ Sugeno c_1 gồm 5 biến VS,S,M,B,VB có giá trị nằm trong đoạn $[1;10]$. c_2, c_3 gồm 5 biến VS,S,M,B,VB có giá trị nằm trong đoạn $[0.2;0.6]$.

Bảng 2. Hệ luật suy diễn cho c_1

e_{1_dot}	e_1				
	NB	NS	Z	PS	PB
NB	M	S	VS	S	M
NS	B	M	S	M	B
Z	VS	B	M	B	VS
PS	B	M	S	M	B
PB	M	S	VS	S	M

Bảng 3. Hệ luật suy diễn cho c_2, c_3

e_{1_dot}	e_1				
	NB	NS	Z	PS	PB
NB	M	B	VB	B	M

NS	S	M	B	M	S
Z	VB	S	M	S	VB
PS	S	M	B	M	S
PB	M	B	VB	M	M

4. Kết quả mô phỏng và thảo luận

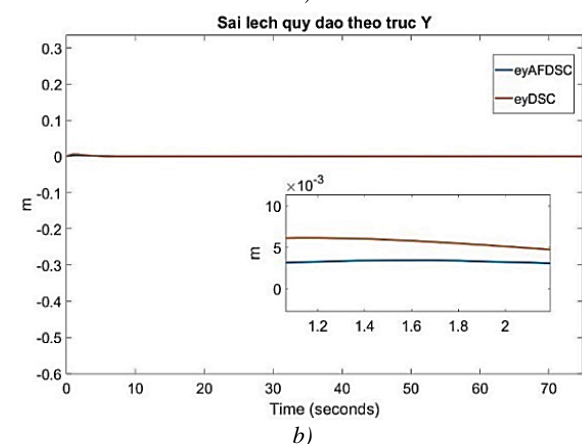
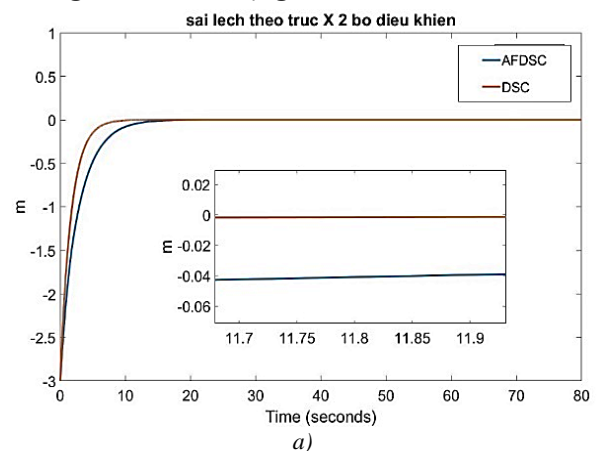
Phần mềm Matlab-Simulink được sử dụng để mô phỏng kiểm chứng hiệu quả của bộ điều khiển đề xuất. Các tham số và thiết lập mô phỏng được thể hiện trên bảng 4.

Bảng 4. Tham số dùng trong mô phỏng

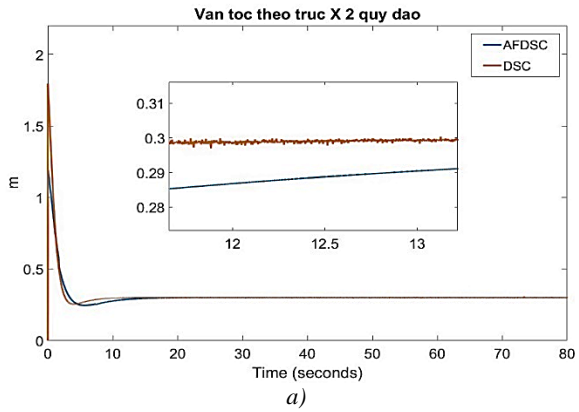
Tham số mô hình robot	$m=12\text{kg}, J=0.56\text{kg.m}^2, d=0.3\text{m}, r=0.076\text{m}.$
Hệ số mặt trượt	$c_1 = \text{diag}(5,5,5); c_2 = c_3 = \text{diag}(2,2,2)$
Quỹ đạo đặt:	$x_d = R_d \cos(\omega_d t)$ $y_d = R_d \sin(\omega_d t)$ $R_d = 3(\text{m}), \omega_d = 0.1(\text{rad/s})$
Vị trí ban đầu	$x(0) = 0; y(0) = 0; \theta(0) = 0$

Để kiểm chứng tính đúng đắn và hiệu quả của bộ điều khiển đề xuất, DSC sẽ được đưa vào để tham chiếu và so sánh kết quả trong mô phỏng. Quá trình mô phỏng được tiến hành trong 2 trường hợp: không có nhiễu tác động và có nhiễu tác động.

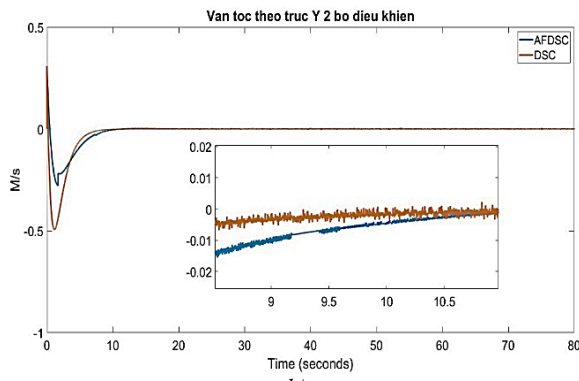
Tường hợp 1: Bộ điều khiển DSC và AFDSC khi không có nhiễu tác động



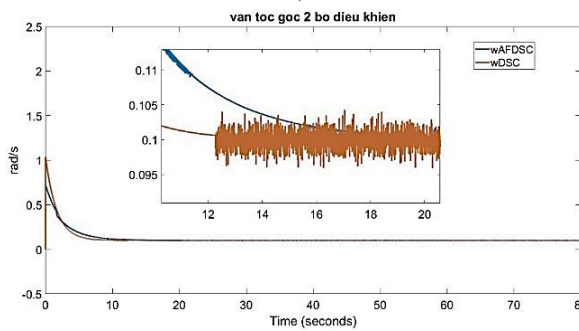
H.5 Sai lệch bám của robot theo các trục: a) trục Ox, b) trục Oy.



a)



b)



c)

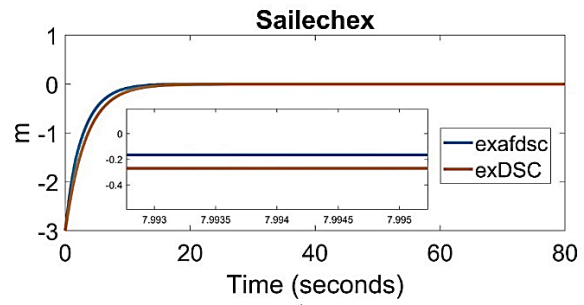
H. 6 Vận tốc và vận tốc góc của robot khi không có nhiễu tác động: a) v_x b) v_y c) ω

Vận tốc theo các trục x, y và vận tốc góc được thể hiện trên H.6. Trong điều kiện không có nhiễu tác động, 2 bộ điều khiển chứng tỏ được khả năng bám quỹ đạo khá tốt. Sai lệch bám thể hiện trên H.5 cho thấy hiệu quả bám của bộ AFDSC trong trường hợp này.

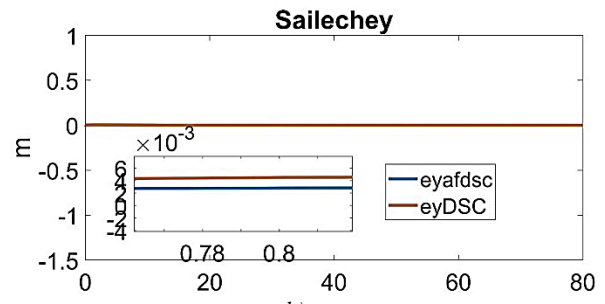
Trường hợp 2: So sánh DSC và AFDSC khi có nhiễu tác động:

Mô phỏng kiểm chứng:

-Thành phần thay đổi tham số mô hình được thêm vào: $m= 12+ 5\sin(5t)$ (kg). và $J=0.56+a$ ($kg.m^2$)

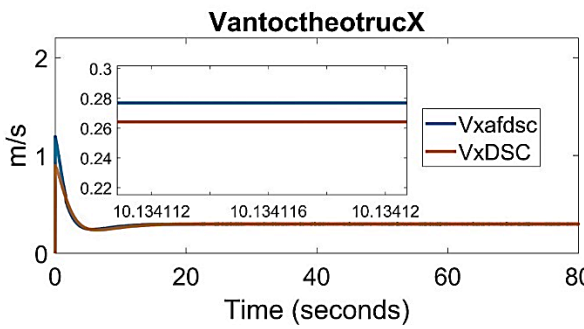


a)

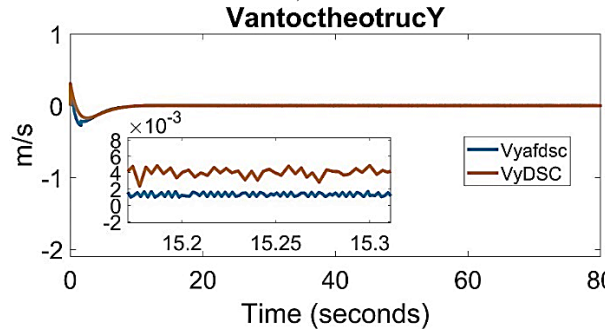


b)

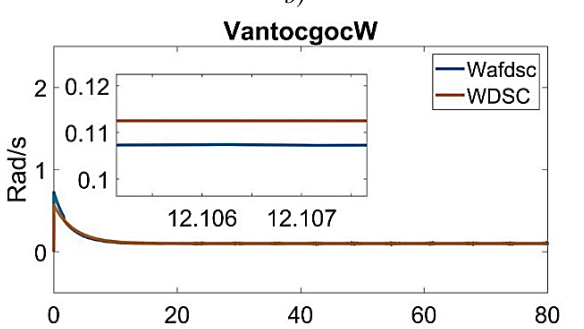
H. 7 Sai lệch bám của robot theo các trục: a) theo trục x, b) theo trục y,



a)

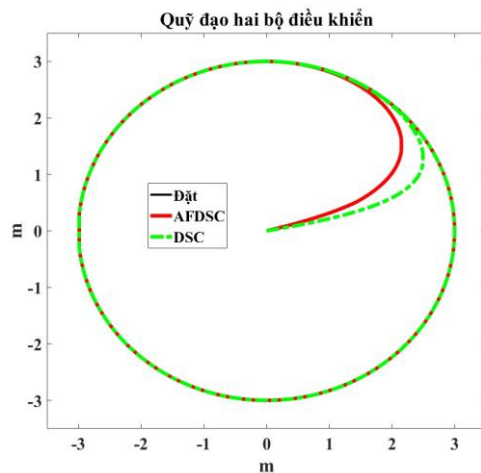


b)



c)

H. 8 Vận tốc của robot khi có nhiễu tác động: a) v_x b) v_y c) ω



H.9 Quỹ đạo của robot khi dùng các thuật toán AFDSC và DSC trong trường hợp 2.

5. Kết luận

Bài báo đề xuất bộ điều khiển thích ứng cho robot tự hành 4 bánh đa hướng dựa trên việc kết hợp điều khiển mờ và bộ điều khiển mặt trượt động. Kết quả mô phỏng và so sánh với DSC chứng minh được tính hiệu quả và khả năng nâng cao chất lượng bám quỹ đạo cho robot trong điều kiện nhiễu bất định tác động.

6. Cảm ơn

Bài báo này được sự hỗ trợ nghiên cứu của Đề tài cấp Viện Hàn lâm KHCVN Việt Nam: “Nghiên cứu, hoàn thiện thiết kế và chế tạo mẫu robot dạng người thông minh IVASTBot ứng dụng trong giao tiếp lễ tân văn phòng”, mã số: CT0000.01/24-25.

Tài liệu tham khảo

- [1] Dong, F.; Jin, D.; Zhao, X.; Han, J. *Adaptive Robust Constraint Following Control for Omnidirectional Mobile Robot*. An Indirect Approach. IEEE Access 2021, 9, 8877–8887
- [2] Zijie, N.; Qiang, L.; Yonjie, C.; Zhijun, S. *Fuzzy Control Strategy for Course Correction of Omnidirectional Mobile Robot*. Int. J. Control Autom. Syst. 2019, 17, 2354–2364.
- [3] Tzafestas, S.G. *Mobile Robot Control and Navigation: A Global Overview*. J. Intell. Robot. Syst. 2018, 91, 35–58
- [4] Sheikhlari, A.; Fakharian, A. *Adaptive optimal control via reinforcement learning for omnidirectional wheeled robots*. In Proceedings of the 2016 4th International Conference on Control, Instrumentation, and Automation (ICCA), Qazvin, Iran, 27–28 January 2016; pp. 208–213
- [5] Peng, T.; Qian, J.; Zi, B.; Liu, J.; Wang, X. *Mechanical Design and Control System of an Omni-directional Mobile Robot for Material Conveying*. Procedia CIRP 2016, 56, 412–415
- Normey-Rico, J.E.; Alcalá, I.; Gómez-Ortega, J.; Camacho, E.F. *Mobile robot path tracking using a robust PID controller*. Control Eng. Pract. 2001, 9, 1209–1214
- [6] J. A. Vazquez and M. Velasco-Villa. “*Computed-Torque Control of an Omnidirectional Mobile Robot*,” in 2007 4th International Conference on Electrical and Electronics Engineering, Mexico City, Mexico, 2007, pp. 274–277.
- [7] S.-H. Chen et al. “*Backstepping Control with Sum of Squares Design for Omnidirectional Mobile Robots*,” presented at ICROS-SICE International Joint Conference, Japan, 2009
- [8] V. Alakshendra et al. “*Trajectory Tracking Control of Three-Wheeled Omnidirectional Mobile Robot: Adaptive Sliding Mode Approach*,” in CAD/CAM, Robotics and Factories of the Future, D. K. Mandal and C. S. Syan, Eds. New Delhi: Springer India, 2016, pp. 275–286
- [9] Sh o-T s u n g, K., C. W a n-J u n g, H. M i n g-T z u. *Integral Sliding Mode Control for Trajectory Tracking Control of an Omnidirectional Mobile Robot*. In: 8th Asian Control Conference (ASCC), 2011, 765-770.
- [10] B. Song and J. K. Hedrick, *Dynamic Surface Control of Uncertain Nonlinear Systems*. An LMI Approach, Springer Science Business Media, 2011.
- [11] D. Swaroop, J. K. Hedrick, P. P. Yip, and J. C. Gerdes, “*Dynamic surface control for a class of nonlinear systems*,” IEEE Transactions on Automatic Control, vol. 45, no. 10, pp. 1893-1899, 2000
- [12] Caireta, I.M. *Model Predictive Control for a Mecanum-Wheeled Robot in Dynamical Environments*. Universitat Politècnica de Catalunya Facultat de Matemàtiques i Estadística, Universitat Politècnica de Barcelona: Barcelona, Spain, 2019.
- [13] Han, Y.; Zhu, Q. *Robust Optimal Control of Omni-directional Mobile Robot using Model Predictive Control Method*. In Proceedings of the 2019 Chinese Control Conference (CCC), Guangzhou, China, 27–30 July 2019; IEEE: Piscataway, NJ, USA, 2019; pp. 4679–4684

Với khả năng tự chỉnh định các tham số điều khiển nhờ luật mờ, bộ điều khiển đề xuất hoạt động hiệu quả và vượt trội hơn so với DSC dưới sự ảnh hưởng của các yếu tố bất định là m và J . H.8 cho thấy vận tốc dài và vận tốc góc của robot trong quá trình hoạt động, H.7 và H.9 cho thấy khả năng bám của bộ điều khiển đề xuất là vượt trội hơn so với DSC.

- [14] Wang, C.; Liu, X.; Yang, X.; Hu, F.; Jiang, A.; Yang, C. *Trajectory tracking of an omnidirectional wheeled mobile robot using model predictive control strategy*. Appl. Sci. 2018,8, 231
- [15] Malayjerdi, E.; Kalani, H. *Malayjerdi, M. Self-Tuning Fuzzy PID Control of a Four-Mecanum Wheel Omni-directional MobilePlatform*. In Proceedings of the Iranian Conference on Electrical Engineering (ICEE), Mashhad, Iran, 8–10 May 2018; IEEE: Piscataway, NJ, USA, 2018; pp. 816–820
- [16] Subbhash, P.; Chong, K.T. *Adaptive network fuzzy inference system based navigation controller for mobile robot*. Front. Inf.Technol. Electron. Eng. 2019
- [17] Chao, C.-T.; Sutarna, N.; Chiou, J.-S.; Wang, C.-J. *Equivalence between fuzzy PID controllers and conventional PID controllers*.Appl. Sci. 2017
- [18] Essien, E.; Ibrahim, H.; Mehrandezh, M. Idem, R. *Adaptive neuro-fuzzy inference system (ANFIS)—Based model predictive control (MPC) for carbon dioxide reforming of methane (CDRM) in a plug flow tubular reactor for hydrogen production*. Therm.Sci. Eng. Prog. 2019
- [19] B. Song and J. K. Hedrick. *Dynamic Surface Control of Uncertain Nonlinear Systems*. An LMI Approach, Springer Science Business Media, 2011.
- [20] D. Swaroop, J. K. Hedrick, P. P. Yip, and J. C. Gerdes, “*Dynamic surface control for a class of nonlinear systems*” IEEE Transactions on Automatic Control, vol. 45, no. 10, pp. 1893-1899, 2000



Hồ Sỹ Phương, sinh năm 1986, nhận bằng Thạc sĩ chuyên ngành Kỹ thuật điều khiển và Tự động hóa của Học viện Kỹ thuật quân sự năm 2013. Hiện tại là giảng viên Viện Kỹ thuật và Công nghệ, Trường ĐH Vinh. Từ năm 2023 là nghiên cứu sinh tại Viện Hàn lâm khoa học và công nghệ Việt Nam, hướng nghiên cứu chính: Robotics, điều khiển thích nghi, điều khiển mờ và mạng nơ ron.



Trần Đức Lương, sinh năm 2001, sinh viên ngành Kỹ thuật Điều khiển và tự động hóa, viện Kỹ thuật và Công nghệ, trường Đại học Vinh. Hướng nghiên cứu: Robotica, điều khiển thích nghi, mạng nơ ron.



điều khiển tự động.

Lê Văn Chương, sinh năm 1985, bảo vệ luận án Tiến sĩ chuyên ngành Kỹ thuật điều khiển và Tự động hóa tại Viện Khoa học và công nghệ quân sự năm 2023. Hiện tại là giảng viên Viện Kỹ thuật và Công nghệ, Trường Đại học Vinh. Hướng nghiên cứu chính: các phương pháp phân tích và tổng hợp các hệ thống



công nghiệp, hệ thống truyền thông công nghiệp.

Tạ Hùng Cường, sinh năm 1986, nhận bằng Thạc sĩ chuyên ngành Kỹ thuật điều khiển và Tự động hóa của Học viện Kỹ thuật quân sự năm 2013. Hiện tại là giảng viên Viện Kỹ thuật và Công nghệ, Trường ĐH Vinh. Hướng nghiên cứu chính: điều khiển các quá trình công nghệ trong công nghiệp, hệ thống truyền thông công nghiệp.



Vũ Đình Thi, sinh năm 2001, sinh viên ngành Kỹ thuật Điều khiển và tự động hóa, viện Kỹ thuật và Công nghệ, trường Đại học Vinh. Hướng nghiên cứu: Robotica, điều khiển thích nghi.



Cao Nguyễn Tiến Dũng, sinh năm 2002, sinh viên ngành Kỹ thuật Điều khiển và tự động hóa, viện Kỹ thuật và Công nghệ, trường Đại học Vinh. Hướng nghiên cứu: Robotica, điều khiển logic mờ.