

ĐIỀU KHIỂN BÁM QUỸ ĐẠO CHO HỆ ROBOT DI ĐỘNG BÁNH MECANUM SỬ DỤNG BỘ ĐIỀU KHIỂN TRƯỢT BẬC CAO KẾT HỢP QUAN SÁT NHIỀU THÀNH PHẦN BẤT ĐỊNH MÔ HÌNH

TRAJECTORY TRACKING CONTROL FOR A MECANUM WHEELED MOBILE ROBOT USING HIGHER ORDER SLIDING MODE CONTROLLER COMBINED WITH DISTURBANCE OBSERVER FOR MODEL UNCERTAINTIES

Hà Huy Giáp

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

Đến Tòa soạn ngày 20/10/2025, chấp nhận đăng ngày 15/12/2025

Tóm tắt: Robot di động sử dụng bánh Mecanum có khả năng di chuyển theo mọi hướng mà không cần thay đổi hướng quay của thân xe. Tuy nhiên, do tính chất phi tuyến và có độ trượt, việc điều khiển robot Mecanum đòi hỏi các phương pháp điều khiển tiên tiến. Điều khiển trượt (Sliding Mode Control - SMC) là một phương pháp điều khiển phi tuyến mạnh mẽ, thường được sử dụng cho robot di động đa hướng sử dụng bánh Mecanum. SMC giúp đảm bảo khả năng bám quỹ đạo chính xác, ổn định trong môi trường có nhiễu và bất định, đồng thời khắc phục nhiều hạn chế của các phương pháp điều khiển khác. Trong bài báo tác giả đề xuất bộ điều khiển trượt bậc cao (Higher Order Sliding Mode Control - HOSMC) kết hợp nhận dạng thành phần bất định mô hình là một cải tiến của điều khiển trượt truyền thống để điều khiển bám quỹ đạo cho hệ robot di động bánh mecanum. Mặc dù SMC có khả năng chống nhiễu và bất định tốt, nhưng nó hội tụ tiệm cận và có thể gây chattering. Điều khiển trượt bậc cao kết hợp bộ quan sát thành phần bất định giúp khắc phục được những hạn chế này nhờ khả năng thích nghi với các thành phần phi tuyến, giảm chattering, giúp hệ thống điều khiển mượt mà và chính xác hơn.

Từ khóa: Điều khiển SMC, robot di động, bánh xe Mecanum.

Abstract: Mecanum-wheeled mobile robots are capable of moving in any direction without changing the heading of the robot body. However, due to their nonlinear characteristics and slippage, controlling Mecanum robots requires advanced control methods. Sliding Mode Control (SMC) is a powerful nonlinear control technique that is commonly applied to omnidirectional mobile robots using Mecanum wheels. SMC ensures accurate trajectory tracking and stability in environments with disturbances and uncertainties, while also overcoming many limitations of other control methods. In this paper, the author proposes a Higher Order Sliding Mode Control - HOSMC combined with an uncertain function identifier, which is an improvement over traditional Sliding Mode Control (SMC), for trajectory tracking control of Mecanum-wheeled mobile robots. Although SMC provides good robustness against disturbances and uncertainties, it converges asymptotically and may cause chattering. The integration of a disturbance observer with the Higher Order Sliding Mode Control addresses these drawbacks by adapting to nonlinear components and reducing chattering, thus enabling smoother and more accurate control performance.

Keywords: Sliding Mode Control, a self-propelled robot, mecanum wheel, Four Mecanum Wheeled Mobile Robot (FMWMR).

1. GIỚI THIỆU

Robot di động ngày càng được ứng dụng rộng rãi trong tự động hóa công nghiệp, logistics, y tế, và dịch vụ. Trong số nhiều cấu hình khác nhau, robot di động bốn bánh Mecanum (Mecanum-Wheeled Mobile Robot - MWMR) đã thu hút nhiều sự chú ý nhờ khả năng di chuyển toàn hướng (omnidirectional mobility), đạt được nhờ thiết kế đặc biệt của bánh xe Mecanum. Bánh xe Mecanum gồm các con lăn gắn chéo góc 45° quanh vành bánh, cho phép robot không chỉ tiến/lùi, mà còn di chuyển ngang, chuyển động chéo và xoay quanh trục đứng [1]. Tuy nhiên, bên cạnh ưu điểm cơ động cao, mô hình động học và động lực học của robot Mecanum phức tạp, phi tuyến và có liên kết chặt chẽ. Hơn nữa, các tham số bất định (khối lượng, moment quán tính, ma sát) và nhiễu ngoài (trượt bánh, môi trường không bằng phẳng) làm suy giảm hiệu quả điều khiển. Do đó, phát triển các chiến lược điều khiển thích nghi, bền vững và thông minh là trọng tâm của nhiều nghiên cứu trong thập kỷ qua.

Quá trình phát triển các phương pháp điều khiển cho robot di động bốn bánh Mecanum thể hiện sự phát triển từ các kỹ thuật điều khiển cổ điển sang các phương pháp hiện đại kết hợp trí tuệ nhân tạo và quan sát trạng thái. Các phương pháp điều khiển PID và LQR được áp dụng sớm nhất nhờ tính đơn giản, dễ cài đặt và khả năng điều khiển cơ bản [2, 3]. Tuy nhiên, các bộ điều khiển này hoạt động hiệu quả chủ yếu trên mô hình lý tưởng, kém bền vững khi có bất định tham số hoặc nhiễu môi trường, do đó hạn chế ứng dụng trong thực tế phức tạp. Sự xuất hiện của Sliding Mode Control (SMC) [4] đã mang lại tính bền vững cao trước bất định và nhiễu ngoài, đảm bảo hội tụ toàn cục. Tuy nhiên, hiện tượng chattering gây dao động và ảnh hưởng đến cơ

cấu chấp hành. Để khắc phục, các biến thể như Higher Order SMC (HOSMC) và Super - Twisting SMC (STSMC) được đề xuất [5], giúp giảm đáng kể chattering trong khi vẫn duy trì ưu điểm bền vững. Nhằm xử lý động lực học phi tuyến và chưa biết chính xác, các phương pháp fuzzy logic và neural networks (NNs) đã được nghiên cứu để xấp xỉ hệ thống. Sun và Zhang [6] đã phát triển bộ điều khiển adaptive fuzzy cho robot Mecanum, cho phép bám quỹ đạo trong điều kiện có nhiễu và bất định. Gần đây, Hasanlu và Siavashi (2025) [7] đã đề xuất phương pháp fuzzy adaptive backstepping, cho thấy khả năng bám quỹ đạo tốt cả trong môi trường có và không có nhiễu. Mặc dù đã có nhiều nghiên cứu về điều khiển cho xe tự hành đa hướng, từ điều khiển kinh điển PID, điều khiển phản hồi trạng thái, điều khiển phi tuyến, điều khiển thích nghi và điều khiển thông minh. Các bộ điều khiển này đảm bảo xe bám theo quỹ đạo trong điều kiện có nhiễu và trượt bánh xe. Tuy nhiên, các kết quả chủ yếu mới dừng lại ở kết quả mô phỏng với các bộ điều khiển nâng cao, do khối lượng tính toán phức tạp hoặc có hiện tượng rung chattering ảnh hưởng tới tuổi thọ của cơ cấu chấp hành. Cho nên cần phải nghiên cứu các bộ điều khiển có khối lượng tính toán đơn giản hơn, dễ cài đặt cho phần cứng và tránh được hiện tượng chattering. Trong báo cáo này đề xuất bộ điều khiển trượt bậc cao kết hợp nhận dạng thành phần bất định mô hình giúp tăng chất lượng điều khiển cho hệ robot di động.

2. MÔ HÌNH TOÁN CHO HỆ ROBOT DI ĐỘNG SỬ DỤNG BÁNH MECANUM

2.1. Phương trình động học của hệ FMWMR

Mô hình oobot sử dụng bốn bánh xe Mecanum được dẫn động độc lập bởi bốn động cơ riêng biệt. Các bánh được bố trí có

hướng của con lăn thụ động như trên hình. Các hệ tọa độ $x_I y_I$ và $x_B y_B$ lần lượt được định nghĩa là hệ quy chiếu quán tính và hệ quy chiếu thân xe. Góc của hệ quy chiếu quán tính biểu diễn tâm hình học của FMWMP tại vị trí ban đầu, trong khi góc của hệ quy chiếu thân xe biểu diễn tâm hình học thực thời (thời gian thực) của FMWMP. Vận tốc của FMWMP trong hệ quy chiếu quán tính và hệ quy chiếu thân xe có thể được mô tả lần lượt bởi các vectơ

$$V_I = (\dot{x}_I \quad \dot{y}_I \quad \dot{\varphi})^T \text{ và}$$

$$V_B = (\dot{x}_B \quad \dot{y}_B \quad \dot{\varphi})^T.$$

Trong đó:

$x_I y_I$, $x_B y_B$ là hệ quy chiếu quán tính và hệ quy chiếu gắn với thân xe; φ là góc xoay của robot so với hệ tọa độ quán tính $\varphi_a = \varphi + \frac{\pi}{4}$. $\theta_i, \dot{\theta}_i$ là góc quay và vận tốc góc

của các bánh xe thứ i ; r là bán kính bánh xe (m); I là momen quán tính của robot, I_b là momen quán tính bánh xe; l, d là khoảng cách từ trục By_B và trục Bx_B đến bánh xe như trên hình; D_0 là hệ số ma sát nhớt của bánh xe; μ là hệ số ma sát tĩnh của bánh xe với mặt đường; N_i là phản lực mặt đường tác động lên

bánh xe thứ i , $N_i = \frac{mg}{4}$. Xét trong hệ quy chiếu quán tính và hệ quy chiếu gắn với thân xe.

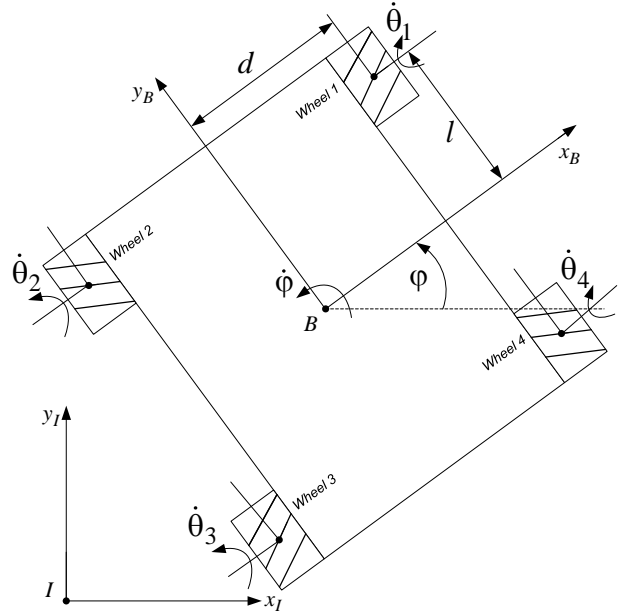
$$V_I = R_B^I(\varphi)V_B, V_B = rJ_B^+\dot{\theta} \quad (1)$$

Trong đó:

$$R_B^I(\varphi) = \begin{bmatrix} \cos(\varphi) & -\sin(\varphi) & 0 \\ \sin(\varphi) & \cos(\varphi) & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$\dot{\theta} = (\dot{\theta}_1 \quad \dot{\theta}_2 \quad \dot{\theta}_3 \quad \dot{\theta}_4)^T$$

$$J_B = \begin{bmatrix} 1 & 1 & (l+d) \\ -1 & 1 & -(l+d) \\ 1 & 1 & -(l+d) \\ -1 & 1 & (l+d) \end{bmatrix} \in R^{4 \times 3}$$



Hình 1. Mô hình động học FMWMP

2.2. Phương trình động lực học của hệ WMR

Áp dụng [12] mô hình động lực học của robot di động sử dụng bánh Mecanum (MWOV) có xét đến ma sát tĩnh được xây dựa trên hàm Lagrange.

Tổng động năng quay và động năng tịnh tiến của hệ là:

$$E = \frac{1}{2}m(\dot{x}_I^2 + \dot{y}_I^2) + \frac{1}{2}I\dot{\varphi}^2 + \frac{1}{2}I_b(\dot{\theta}_1^2 + \dot{\theta}_2^2 + \dot{\theta}_3^2 + \dot{\theta}_4^2) \quad (2)$$

Hệ di chuyển trên mặt đất nằm ngang nên thế năng trọng trường của hệ $T = 0$. Cơ năng của hệ mobile robot.

$$L = E + T = E$$

Năng lượng tiêu hao do ma sát nhớt:

$$D = \frac{1}{2} D_0 (\dot{\theta}_1^2 + \dot{\theta}_2^2 + \dot{\theta}_3^2 + \dot{\theta}_4^2) \quad (3)$$

Áp dụng Lagrange:

$$\frac{\partial}{\partial t} \left(\frac{\partial L}{\partial \dot{\theta}_i} \right) - \frac{\partial L}{\partial \theta_i} = \tau - \left(\frac{\partial D}{\partial \dot{\theta}_i} + F \right) \quad (4)$$

Thay (2), (3) vào (4) ta được:

$$\begin{aligned} 2(\tau - F) - \frac{\partial D_0 \sum_{i=1}^4 \dot{\theta}_i^2}{\partial \dot{\theta}} = \\ = \frac{\partial}{\partial t} \left(\frac{\partial \left(m(x_I^2 + y_I^2) + I_b \sum_{i=1}^4 \dot{\theta}_i^2 \right)}{\partial \dot{\theta}} \right) - \frac{\partial \left(m(x_I^2 + y_I^2) + I_b \sum_{i=1}^4 \dot{\theta}_i^2 \right)}{\partial \theta} \end{aligned} \quad (5)$$

Thay (1) vào (5) biến đổi ta được. Phương trình động lực học của robot có dạng:

$$\tau = M\ddot{\theta} + D_\theta \dot{\theta} + F \quad (6)$$

Trong đó: $\tau = [\tau_1 \quad \tau_2 \quad \tau_3 \quad \tau_4]^T$ là momen được cấp bởi động cơ gắn với bánh xe;

$$M = \begin{bmatrix} A+B+I_b & -B & B & A-B \\ -B & A+B+I_b & A-B & B \\ B & A-B & A+B+I_b & -B \\ A-B & B & -B & A+B+I_b \end{bmatrix} \quad (7)$$

$$\text{Trong đó: } A = \frac{mr^2}{8}; B = \frac{I_r^2}{16(1+d)}$$

Xét đến ảnh hưởng của nhiễu đầu vào và bất định mô hình. Phương trình động lực học (6) được biểu diễn lại như sau:

$$\tau + \tau_d = (M + \Delta M)\ddot{\theta} + (D_\theta + \Delta D_\theta)\dot{\theta} + F + \Delta F \quad (8)$$

Trong đó τ_d là nhiễu đầu vào. ΔM , ΔD_θ , ΔF là các thành phần bất định mô hình. Chuyển thành phần bất định mô hình sang bên phải ta thu được:

$$\tau + \tau_d + G_d = M\ddot{\theta} + D_\theta \dot{\theta} + F \quad (9)$$

$$\text{Trong đó: } G_d = -\Delta M\ddot{\theta} - \Delta D_\theta \dot{\theta} - \Delta F$$

Thay (1), (6) vào (9) ta được:

$$\begin{bmatrix} \ddot{x}_I \\ \ddot{y}_I \\ \ddot{\phi} \end{bmatrix} = -(J^+ J + D_0 J^+ M^{-1} J) \begin{bmatrix} \dot{x}_I \\ \dot{y}_I \\ \dot{\phi} \end{bmatrix} + r J^+ M^{-1} (\tau + \tau_d + G_d - F)$$

Ta đặt:

$$\begin{aligned} x_1 = [x_I \quad y_I \quad \phi]^T; x_2 = [\dot{x}_I \quad \dot{y}_I \quad \dot{\phi}]^T; x = [x_1 \quad x_2]^T \\ \dot{x}_2 = -(J^+ J + D_0 J^+ M^{-1} J)x_2 + r J^+ M^{-1} (\tau + \tau_d + G_d - F) \end{aligned} \quad (10)$$

Phương trình trạng thái của hệ:

$$\begin{cases} \dot{x}_1 = x_2 \\ \dot{x}_2 = f(x) + g(x)(\tau + \tau_d + G_d) \end{cases} \quad (11)$$

Trong đó:

$$\begin{aligned} f(x) &= -(J^+ J + D_0 J^+ M^{-1} J)x_2 - r J^+ M^{-1} F \\ g(x) &= r J^+ M^{-1} \end{aligned}$$

3. THIẾT KẾ BỘ ĐIỀU KHIỂN TRƯỢT BẠC CAO KẾT HỢP BÙ NHIỄU THÀNH PHẦN BẤT ĐỊNH CHO HỆ ROBOT BỐN BÁNH MECANUM

3.1. Thiết kế bộ quan sát thành phần bất định của hệ thống

Áp dụng kết quả nghiên cứu trong (10), (11). Xét hệ thống (11)

$\dot{x} = F(x, t) + B(x, t)(\tau + d)$, trong đó $x \in R^n$ là vector trạng thái; $\tau \in R^m$ là vector tín hiệu đầu vào; $F(x, t)$, $B(x, t)$ là ma trận tham số mô hình phụ thuộc thời gian (hệ không dừng) liên tục và bị chặn; d là tham số bất định. Bài toán đặt ra là xác định \hat{d} sao cho sai lệch ước lượng $\underline{d} - \hat{d}$ là nhỏ nhất (matched disturbances).

Tại thời điểm t_k hiện tại và trong một khoảng thời gian đủ nhỏ $t_{k-1} \leq t \leq t_{k-1} + \delta$ với $0 < \delta < 1$ chọn trước. Mô hình được xấp xỉ:

$$\dot{\underline{x}} \approx F(\underline{x}_{k-1}, t_k) + B(\underline{x}_{k-1}, t_k)(\underline{\tau} + \underline{d})$$

Trong đó $F(\underline{x}_{k-1}, t_k), B(\underline{x}_{k-1}, t_k)$ là hai ma trận hằng đã biết vì \underline{x}_{k-1} đo được.

Ký hiệu $\hat{\underline{d}}_{k-1}$ là giá trị thành phần bất định hàm đã ước lượng được ở thời điểm t_{k-1} trước đó. Khi bù bất định thông qua đầu vào $\underline{u} = \underline{\tau} - \hat{\underline{d}}_{k-1}$. Hệ sau khi bù sẽ xấp xỉ được có dạng:

$$\dot{\underline{x}} \approx F(\underline{x}_{k-1}, t_k) + B(\underline{x}_{k-1}, t_k)(\underline{\tau} - \hat{\underline{d}}_{k-1} + \underline{d})$$

$$\underline{x}_k - \underline{x}_{k-1} - \delta.F(\underline{x}_{k-1}, t_k) - \delta.B(\underline{x}_{k-1}, t_k)(\underline{\tau}_k + \underline{d}_k - \hat{\underline{d}}_{k-1}) = \varepsilon_k$$

Ta đặt:

$$\begin{aligned} \underline{h}_k &= \underline{x}_k - \underline{x}_{k-1} - \delta.F(\underline{x}_{k-1}, t_k) - \delta.B(\underline{x}_{k-1}, t_k).(\underline{\tau}_k - \hat{\underline{d}}_{k-1}) \\ \Rightarrow \varepsilon_k &= \underline{h}_k - \delta.B(\underline{x}_{k-1}, t_k).\underline{d}_k \end{aligned} \quad (12)$$

Để ước lượng được $\hat{\underline{d}}_k$ cho khoảng thời gian $t_k \leq t \leq t_k + \delta$ sao cho $\varepsilon_k \rightarrow \min$.

Chọn hàm mục tiêu:

$$J = \varepsilon_k^T \varepsilon_k = (\underline{h}_k - \delta.B(\underline{x}_{k-1}, t_k).\underline{d}_k)^T (\underline{h}_k - \delta.B(\underline{x}_{k-1}, t_k).\underline{d}_k) \rightarrow \min.$$

Giả thiết $B(\underline{x}_{k-1}, t_k)$ là đủ hạng thì ta giải bài toán tối ưu $\|\varepsilon_k\|^2 \rightarrow \min$. Ta được:

$$\hat{\underline{d}}_k = \arg \min_{\underline{d}_k} \|\varepsilon_k\|^2; \quad \underline{d}_k = [B^T . B]^{-1} . B^T . \underline{h}_k / \delta.$$

Thay (12) vào

$$\hat{\underline{d}}_k = [B^T . B]^{-1} . B^T . (\underline{x}_k - \underline{x}_{k-1} - \delta.F(\underline{x}_{k-1}, t_k) - \delta.B(\underline{x}_{k-1}, t_k).(\underline{\tau}_k - \hat{\underline{d}}_{k-1})) / \delta \quad (13)$$

Giá trị ước lượng này được sử dụng để bù bất định cho hệ trong khoảng thời gian kế tiếp là $t_k \leq t \leq t_k + \delta$.

3.2. Điều khiển bám quỹ đạo sử dụng bộ điều khiển trượt bậc cao kết hợp bộ quan sát nhiễu hệ thống

Xét hệ thống robot di động bánh Mecanum với đầu vào là momen động cơ τ , ta định

nghĩa: Sai số vị trí và vận tốc: $e = x_d - x$;
 $\dot{e} = \dot{x}_d - \dot{x}$

Định nghĩa mặt trượt:

$$S = \Lambda e + \dot{e} \quad (14)$$

$\Lambda > 0$: là ma trận xác định dương quy định động học mong muốn của sai số. Đạo hàm mặt trượt:

$$\dot{S} = \Lambda \dot{e} + \ddot{e} = \Lambda(\dot{x}_d - \dot{x}) + (\ddot{x}_d - \ddot{x})$$

Trong đó: $\ddot{x} = f + G\tau + d$, với d là nhiễu tổng hợp chưa biết. Thay vào ta được:

$$\dot{S} = \Lambda \dot{e} + \ddot{x}_d - f - G\tau - d$$

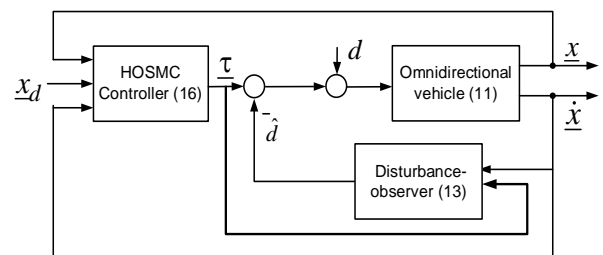
Luật điều khiển: $\tau = G^+ (\Lambda \dot{e} + \ddot{x}_d - f + u_s)$

Trong đó u_s là điều khiển bám theo dạng HOSMC:

$$u_s = k_1 \sqrt{|S|} . \text{sign}(S) + k_2 S \quad (15)$$

Khi có bộ quan sát nhiễu (DO) ước lượng được $\hat{\underline{d}}$, thì bộ điều khiển mới được thiết kế như sau:

$$\tau = G^+ (\Lambda \dot{e} + \ddot{x}_d - f + u_s) - \hat{\underline{d}} \quad (16)$$



Hình 2. Cấu trúc bộ điều khiển HOSMC kết hợp bộ quan sát nhiễu

3.3. Đánh giá tính ổn định của hệ thống

Chọn hàm Lyapunov ứng viên:

$$V(S) = \frac{1}{2} S^T S$$

Lấy đạo hàm theo thời gian: $\dot{V} = S^T \dot{S}$

Thay biểu thức \dot{S} từ hệ thống đã có:

$$\dot{S} = -k_1\sqrt{|S|} \cdot \text{sign}(S) - k_2S + \tilde{d}$$

với $\tilde{d} = d - \hat{d}$ là sai số ước lượng nhiễu. Ta có:

$$\begin{aligned} \dot{V} &= S^T (-k_1\sqrt{|S|} \cdot \text{sign}(S) - k_2S + \tilde{d}) \\ &= -\sum k_1(i)|S_i|^{3/2} - S^T k_2S + S^T \tilde{d} \end{aligned}$$

Giả sử $\|\tilde{\Delta}\| \leq \delta_{\max}$ và k_1, k_2 xác định dương.

Áp dụng bất đẳng thức Cauchy-Schwarz:

$$S^T \tilde{\Delta} \leq \|S\| \cdot \|\tilde{\Delta}\| \leq \|S\| \delta_{\max}$$

$$\dot{V} \leq -\alpha_1 \|S\|^{3/2} - \alpha_2 \|S\|^2 + \|S\| \delta_{\max}$$

Khi $\|S\|$ đủ lớn sao cho:

$\alpha_1 \|S\|^{1/2} + \alpha_2 \|S\| > \delta_{\max}$. Thì $\dot{V} < 0$, suy ra hệ ổn định tiệm cận xung quanh điểm cân bằng. Nếu giả sử $\tilde{d} \rightarrow 0$ khi $t \rightarrow \infty$ (nhờ bộ quan sát nhiễu hội tụ), thì hệ thống sẽ hội tụ về 0 theo định nghĩa Lyapunov.

4. MÔ PHỎNG VÀ ĐÁNH GIÁ CHẤT LƯỢNG HỆ THỐNG

Các tham số của mô hình robot di động được cho như sau:

$$m = 10 \text{ kg}, g = 9.81 \text{ m/s}^2,$$

$$I = 0.1; I_b = 0.01; d = 0.4 \text{ [m]}; l = 0.6 \text{ [m]};$$

$$m = 1; r = 0.05; D_\theta = 0.1$$

Tọa độ ban đầu của robot:

$$x_0 = [0.4; 0.3; -0.2; 0; 0; 0];$$

Quỹ đạo đặt:

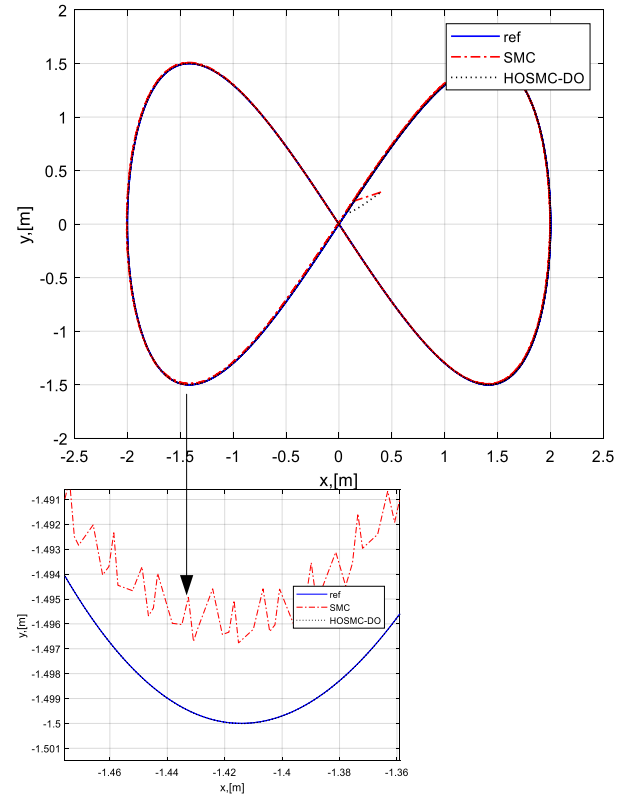
$$x_d = [2 \cdot \sin(0.2 \cdot t); 2 \cdot \cos(0.1 \cdot t); 0];$$

Nhiều ngoại tác động lên robot:

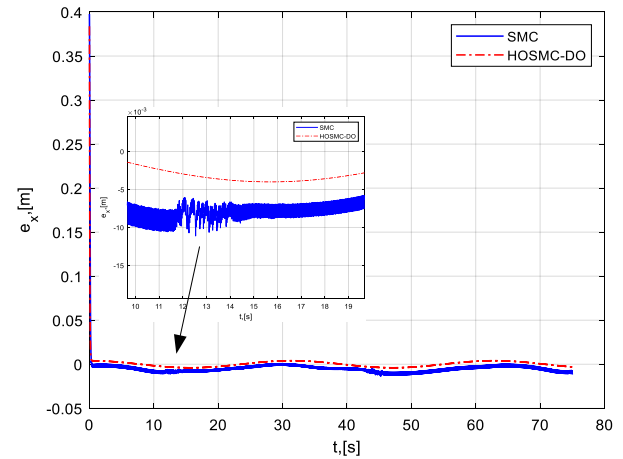
$$d = 50[0.1 \sin(0.3t) + 0.2 \cos(0.1t); 0.3 \cos(0.2t) + 0.2 \sin(0.5t); 1].$$

Kết quả mô phỏng trong thời gian 80s cho

robot khi có bù nhiễu và không bù nhiễu thể hiện trong các đồ thị sau.



Hình 3. Quỹ đạo của robot

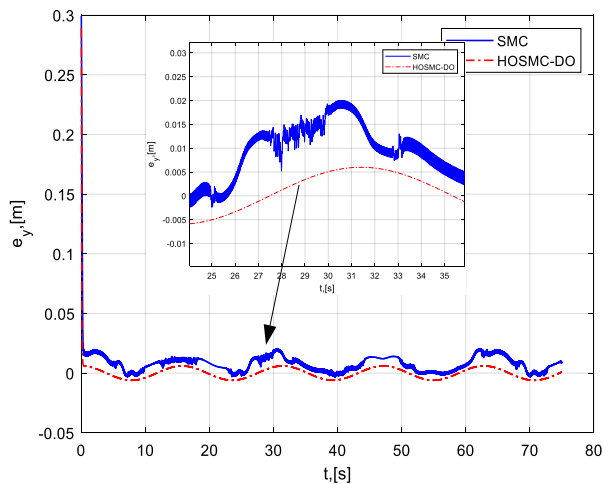


Hình 4. Sai lệch vị trí theo phương x của robot giữa hai phương pháp điều khiển

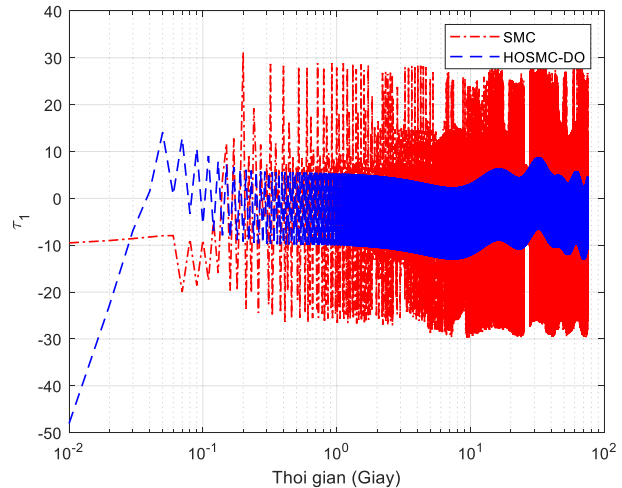
Từ đồ thị Hình 3, ta thấy bộ điều khiển HOSMC kết hợp bù nhiễu cho chất lượng điều khiển bám quỹ đạo hình số tám tốt hơn so với bộ điều khiển SMC. Hình 4, Hình 5 cho thấy sai lệch vị trí theo phương x và y của

bộ điều khiển SMC vào khoảng 0.013 (m), lớn hơn nhiều so với bộ điều khiển SMC có bù nhiễu khoảng 0.002 (m). Từ đồ thị Hình 6 ta nhận thấy tín hiệu điều khiển của bộ

HOSMC đáp ứng nhanh hơn và độ quá điều chỉnh nhỏ hơn so với bộ điều khiển SMC truyền thống.



Hình 5. Sai lệch vị trí theo phương y của robot giữa hai phương pháp điều khiển



Hình 6. Tín hiệu điều khiển của hai bộ điều khiển

5. KẾT LUẬN

Bộ điều khiển trượt bậc cao (HOSMC) kết hợp bù nhiễu thành phần bất định là một cải tiến của điều khiển trượt truyền thống (SMC) trong việc điều khiển robot di động đa hướng sử dụng bánh mecamum. Mặc dù SMC có khả

năng chống nhiễu và bất định tốt, nhưng nó hội tụ tiệm cận và có thể gây chattering. HOSMC kết hợp bù nhiễu khắc phục được những hạn chế này và giảm hiện tượng chattering, giúp hệ thống điều khiển mượt mà hơn và chính xác hơn.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Tagliavini, L., et al., Wheeled Mobile Robots: State of the Art Overview and Kinematic Comparison between Three Omnidirectional Locomotion Strategies. *Available at SSRN 4082295*, (2022).
- [2] Lin, L.-C. and H.-Y. Shih, Modeling and adaptive control of an omni-mecanum-wheeled robot. *Intelligent Control and Automation*, (2013).
- [3] Lu, X., et al. Design of adaptive sliding mode controller for four-Mecanum wheel mobile robot. in *2018 37th Chinese Control Conference (CCC)*. IEEE. (2018).
- [4] Alakshendra, V. and S.S. Chiddarwar, Adaptive robust control of Mecanum-wheeled mobile robot with uncertainties. *Nonlinear Dynamics*, 87: p. 2147-2169, (2017).
- [5] Manzl, P., M. Sereinig, and J. Gerstmayr, A Mecanum wheel model based on orthotropic friction with experimental validation. *Mechanism and Machine Theory*, 193: p. 105548, (2024).
- [6] Wang, D., et al., Formation control of multiple mecanum-wheeled mobile robots with physical constraints and uncertainties. *Applied Intelligence*,. 52(3): p. 2510-2529, (2022).

- [7] Sun, Z., et al., Path-following control of Mecanum-wheels omnidirectional mobile robots using nonsingular terminal sliding mode. *Mechanical Systems and Signal Processing*, 147: p. 107128, (2021).
- [8] Sun, Z., et al., Fuzzy adaptive recursive terminal sliding mode control for an agricultural omnidirectional mobile robot. *Computers and Electrical Engineering*, 105: p. 108529, (2023).
- [9] Tang, M., S. Lin, and Y. Luo, Mecanum wheel AGV trajectory tracking control based on efficient MPC algorithm. *IEEE Access*, (2024).
- [10] Nguyen, P.D. and N.H. Nguyen, A simple approach to estimate unmatched disturbances for nonlinear nonautonomous systems. *International Journal of Robust and Nonlinear Control*, 32(17): p. 9160-9173, (2022).
- [11] Nguyen, P.D., N.H. Nguyen, and H.T. Nguyen, Adaptive control for manipulators with model uncertainty and input disturbance. *International Journal of Dynamics and Control*, 11(5): p. 2285-2294, (2023).
- [12] Yuan, Z., et al., Trajectory tracking control of a four mecanum wheeled mobile platform: an extended state observer-based sliding mode approach. *IET Control Theory & Applications* 14(3): 415-426, (2020).

Thông tin liên hệ: **Hà Huy Giáp**

Điện thoại: 0917381984 - Email: hhgiap@uneti.edu.vn

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