

NGHIÊN CỨU THIẾT KẾ BỘ ĐIỀU KHIỂN BACKSTEPPING ỨNG DỤNG CHO RÔ BỐT DI ĐỘNG BỐN BÁNH MECANUM

RESEARCH AND DESIGN APPLICATION BACKSTEPPING CONTROLLER FOR MOBILE ROBOT WITH FOUR MECANUM-WHEEL

Hà Huy Giáp^{1,*}, Nguyễn Quang Đại²

DOI: <https://doi.org/10.57001/huih5804.2023.105>

TÓM TẮT

Rô bốt di động bốn bánh mecanum là rô bốt tự động có bốn bánh xe được trang bị bánh mecanum, đây là loại bánh xe được thiết kế đặc biệt để cho phép xe di chuyển theo nhiều hướng khác nhau mà không cần phải thay đổi hướng quay của bánh xe. Các bánh mecanum được thiết kế với các bánh xe nhỏ đặt lệch 45 độ trên bề mặt, và chúng có thể xoay quanh trục của chúng. Khi xe di chuyển, bánh mecanum xoay để tạo ra một lực xoắn, giúp xe di chuyển theo nhiều hướng khác nhau. Nhờ tính năng này, rô bốt di động bốn bánh mecanum có thể di chuyển theo các hướng khác nhau một cách linh hoạt và chính xác. Có nhiều phương pháp điều khiển rô bốt di động như điều khiển PI, PD, điều khiển trượt, điều khiển mờ, điều khiển thông minh, trong báo cáo này tác giả nghiên cứu ứng dụng bộ điều khiển Backstepping cho rô bốt di động bốn bánh mecanum. Bộ điều khiển Backstepping là một phương pháp điều khiển phi tuyến được sử dụng để thiết kế bộ điều khiển cho các hệ thống phi tuyến có độ phức tạp cao, cho phép điều khiển các hệ thống phi tuyến đạt được hiệu suất tốt và ổn định.

Từ khóa: Điều khiển backstepping, rô bốt di động, bánh xe mecanum.

ABSTRACT

The mecanum four-wheel mobile robot is a type of automatic robot with four wheels equipped with mecanum wheels, which are specially designed wheels to allow the vehicle to move in different directions without changing of the direction of rotation of the wheel. The mecanum wheels are designed with small wheels placed 45 degrees off the surface, and they can rotate around their axis. As the car moves, the mecanum wheel rotates to create a torsion force, which helps the car move in different directions. Thanks to this feature, the mecanum four-wheeled mobile robot can move in different directions flexibly and precisely. There are many control methods for mobile robots such as PI, PD control, sliding control, fuzzy controller, and intelligent control, in this report the author studies the application of a Backstepping controller for a four-wheeled mobile robot mecanum. A Backstepping controller is a nonlinear control method used to design controllers for highly complex nonlinear systems, allowing the control of nonlinear systems to achieve good performance and stability.

Keywords: Backstepping control, a self-propelled robot, mecanum wheel.

¹Khoa Điện, Trường Đại học Kinh tế Kỹ thuật Công nghiệp

²Trường Đại học Công nghiệp Hà Nội

*Email: hhgiap@uneti.edu.vn

Ngày nhận bài: 10/3/2023

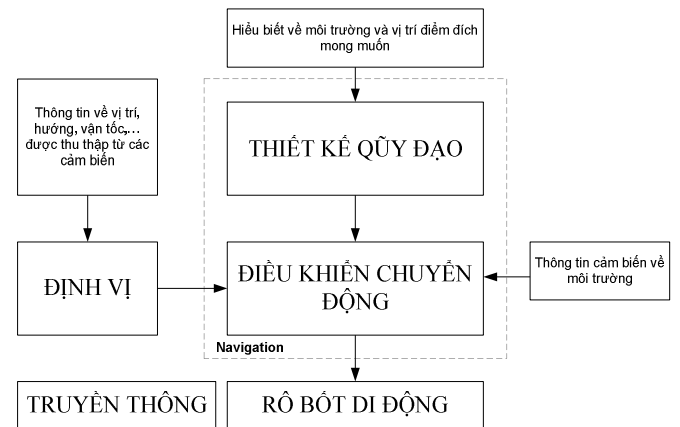
Ngày nhận bài sửa sau phản biện: 25/4/2023

Ngày chấp nhận đăng: 15/6/2023

1. GIỚI THIỆU

Nghiên cứu rô bốt di động là lĩnh vực nghiên cứu tập trung vào việc phát triển các rô bốt có khả năng di chuyển trong môi trường thực tế. Nó bao gồm nhiều lĩnh vực như cơ khí, điều khiển, nhận dạng, thị giác máy tính, trí tuệ nhân tạo và học máy. Mục tiêu của nghiên cứu rô bốt di động là tạo ra các rô bốt có khả năng di chuyển linh hoạt, tự động hóa các tác vụ trong môi trường khác nhau và thực hiện các nhiệm vụ hữu ích cho con người.

Nghiên cứu về rô bốt di động được chia làm bốn bài toán chính: Thiết kế quỹ đạo, điều khiển chuyển động, định vị và truyền thông.



Hình 1. Mối liên hệ giữa các bài toán nghiên cứu trong lĩnh vực rô bốt di động

Bài toán định vị là bài toán phối kết hợp các cảm biến để ước lượng vị trí, hướng, vận tốc, và gia tốc của rô bốt di động trong thời gian thực.

Bài toán truyền thông là bài toán thiết lập kênh giao tiếp giữa rô bốt di động này với rô bốt di động khác hoặc giữa rô bốt di động với các thiết bị khác trong môi trường hoạt động.

Thiết kế quỹ đạo là một bài toán quan trọng trong lĩnh vực rô bốt di động, đặc biệt trong môi trường có nhiều vật cản. Trong bài toán này, bộ điều khiển cần tìm ra một quỹ đạo tối ưu để rô bốt di động đi từ điểm xuất phát đến điểm đích mà không có va chạm với bất kỳ vật cản nào. Sau khi quỹ đạo được thiết kế, bài toán điều khiển chuyển động được chú

ý đến để làm sao cho rô bốt phải bám theo quỹ đạo vừa được thiết kế. Bài toán thiết kế quỹ đạo kết hợp với bài toán điều khiển chuyển động được gọi là bài toán navigation.

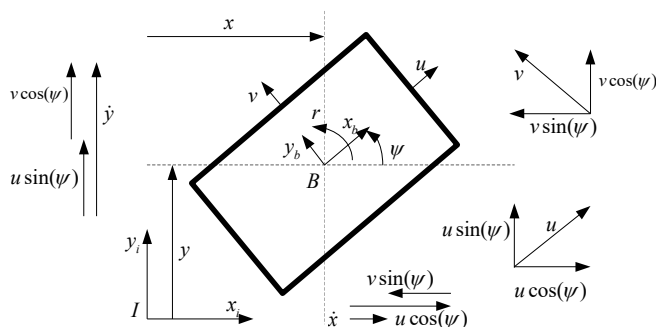
Để tạo điều kiện cho việc thiết kế và áp dụng các thuật toán điều khiển, rô bốt được mô hình hóa bằng mô hình động học và mô hình động lực học. Trong [1], nhóm tác giả đã tập trung vào việc phân tích động học của một rô bốt di động bánh xe với bánh xe mecanum bằng cách sử dụng phương trình Lagrange loại hai. Các phương trình này được sử dụng để mô hình hóa rô bốt và tính toán các tham số cần thiết để điều khiển rô bốt. Mô hình động học được xây dựng dựa trên các đặc tính của bánh xe mecanum, bao gồm các góc quay của bánh xe và các lực tác động lên rô bốt. Bài báo cũng xây dựng một mô hình động học chi tiết của rô bốt, bao gồm các thông số như khối lượng, kích thước và động cơ. Sau khi xây dựng mô hình động học, bài báo đề xuất sử dụng bộ điều khiển PI và bộ điều khiển PID để điều khiển rô bốt. Các bộ điều khiển này được sử dụng để giữ cho rô bốt duy trì vị trí và hướng đi chính xác. Bài báo [2] của Lih-Chang Lin, Hao-Yin Shih tập trung vào mô hình hóa và điều khiển một rô bốt di động bánh xe omni-mecanum. Bài báo đề xuất một phương pháp điều khiển tự động dựa trên điều khiển phản hồi trạng thái để giải quyết vấn đề của các bánh xe không đồng bộ trong quá trình di chuyển, phương pháp này sử dụng một bộ lọc Kalman để ước lượng trạng thái rô bốt, bao gồm vị trí, tốc độ và gia tốc của bánh xe và rô bốt. Trong [3] của tác giả Alakshendra và Chiddarwar, được công bố tại hội nghị IROS năm 2016, nghiên cứu về việc áp dụng phương pháp điều khiển linh hoạt để điều khiển rô bốt di động bánh mecanum. Bài báo đã sử dụng phương pháp giải thuật di truyền để tối ưu hóa các tham số của bộ điều khiển thích nghi, từ đó đảm bảo rằng rô bốt di động bánh mecanum có thể thích ứng với các điều kiện động trong quá trình di chuyển. Trong [4] tác giả tập trung vào việc giải quyết vấn đề điều khiển rô bốt di động đa hướng (omnidirectional) với độ ổn định cao trong việc theo dõi (tracking) các đường đi được chỉ định. Các phương pháp kiểm soát truyền thống thường gặp khó khăn khi điều khiển rô bốt di động đa hướng vì tính phức tạp của chuyển động của rô bốt. Trong bài báo này, tác giả đề xuất sử dụng phương pháp điều khiển trượt (sliding-mode) đầu ra dựa trên việc sử dụng các thông số đầu ra của hệ thống để giảm thiểu sai số trong việc theo dõi đường đi, bài báo đưa ra hai phương pháp điều khiển trượt đầu ra khác nhau, một dựa trên lý thuyết đồ họa (graph theory) và một dựa trên lý thuyết hệ động lực phi tuyến (nonlinear dynamics). Cả hai phương pháp đều sử dụng một bộ điều khiển thích nghi (adaptive control) để đảm bảo tính ổn định của hệ thống. Trong [5] tác giả Hao Ce và cộng sự tập trung vào việc điều khiển rô bốt di động với bánh xe nonholonomic. Trong bài báo, các tác giả đề xuất một mô hình toán học chi tiết cho rô bốt di động với bánh xe nonholonomic, sau đó sử dụng phương pháp điều khiển sliding-mode bậc hai và luật chuyển mạch để giải quyết vấn đề điều khiển của rô bốt trong các chế độ khác nhau. Đồng thời, họ cũng đưa ra một phương pháp học tăng

cường để cải thiện hiệu quả của phương pháp điều khiển. Các tác giả đã chứng minh được rằng phương pháp điều khiển bằng sliding-mode bậc hai này có khả năng tối ưu hóa hiệu suất của hệ thống điều khiển rô bốt và giảm thiểu hiệu ứng chuyển đổi trong quá trình điều khiển. Viện CNTT, Viện Cơ học - Viện Hàn lâm KHCN Việt Nam có khá nhiều công trình công bố về nghiên cứu rô bốt di động, như [6, 7] trình bày về các phương pháp điều khiển mới để bù trượt cho rô bốt di động khi tồn tại trượt bánh xe, bất định mô hình và nhiễu ngoài cho rô bốt di động 03 bánh xe, bộ điều khiển đề xuất sử dụng mạng Gaussian wavelet để học các thông số chưa biết của hệ thống rô bốt và cung cấp khả năng thích nghi với các thay đổi bất ngờ. Một bộ điều khiển trượt được tích hợp để giúp điều khiển rô bốt theo quỹ đạo được đưa ra. Bài báo cũng đề xuất một phương pháp tối ưu hóa tham số để đạt được hiệu suất tốt của bộ điều khiển. Trong [8] tập trung vào việc thiết kế một bộ điều khiển đối với mô hình rô bốt di động omni-directional không chắc chắn bằng cách sử dụng mạng nơ-ron hàm cơ sở (RBF). Bài báo đề xuất một bộ điều khiển thích nghi cho mô hình rô bốt di động omni-directional không chắc chắn. Một mạng nơ-ron (RBF) được sử dụng để học các thông số chưa biết của mô hình rô bốt và cung cấp khả năng thích nghi với các thay đổi bất ngờ của môi trường.

Qua các nghiên cứu ta nhận thấy bài toán điều khiển chuyển động cực kỳ quan trọng trong lĩnh vực rô bốt di động, bởi vì hiệu năng của các luật điều khiển ảnh hưởng trực tiếp đến hiệu quả của các ứng dụng rô bốt di động trong sản xuất và đời sống. Do vậy, trong nghiên cứu này, các tác giả trình bày phương pháp điều khiển chuyển động cho rô bốt di động bốn bánh mecanum sử dụng bộ điều khiển backstepping để nâng cao hiệu quả điều khiển cho rô bốt.

2. MÔ HÌNH ĐỘNG HỌC VÀ ĐỘNG LỰC HỌC CỦA HỆ RÔ BỐT DI ĐỘNG BỐN BÁNH MECANUM

2.1. Xây dựng mô hình động học cho hệ Robot di động



Hình 2. Mô hình động học rô bốt di động

Xét mô hình mô hình động học rô bốt di động gắn với các hệ trục tọa độ cố định x_i, y_i và hệ tọa độ x_b, y_b gắn với trọng tâm B của rô bốt như hình 2. Các thông số của hệ gồm:

- x - Khoảng dịch chuyển theo trục x_i trong hệ tọa độ x_i, y_i .
- y - Khoảng dịch chuyển theo trục y_i trong hệ tọa độ x_i, y_i .
- ψ - Góc quay của thân rô bốt trong hệ trục tọa độ x_i, y_i .

u - Vận tốc dịch chuyển theo trục x_b trong hệ tọa độ $x_b y_b$.
 v - Vận tốc dịch chuyển theo trục y_b trong hệ tọa độ $x_b y_b$.
 r - Vận tốc góc của robot trong hệ tọa độ $x_b y_b$.

Áp dụng kết quả bài báo [1], các phương trình động học của hệ rô bốt di động thể hiện mối liên hệ của vận tốc và góc quay trong hệ trục tọa độ gắn với tâm rô bốt (B) và hệ trục tọa độ cố định (I):

$$\begin{bmatrix} \dot{x} \\ \dot{y} \\ \dot{\psi} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} u \cdot \cos(\psi) - v \cdot \sin(\psi) \\ u \cdot \sin(\psi) + v \cdot \cos(\psi) \\ r \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos(\psi) & -\sin(\psi) & 0 \\ \sin(\psi) & \cos(\psi) & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u \\ v \\ r \end{bmatrix} \quad (1)$$

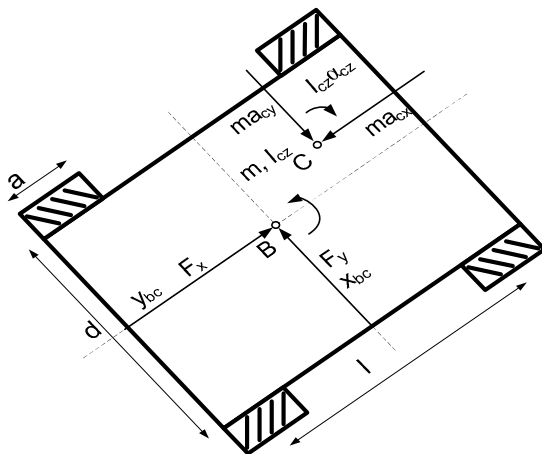
$$\dot{\eta} = J(\psi) \cdot \zeta \quad (2)$$

Trong đó:

$$\eta = \begin{bmatrix} x \\ y \\ \psi \end{bmatrix}; \zeta = \begin{bmatrix} u \\ v \\ r \end{bmatrix}; j(\psi) = \begin{bmatrix} \cos(\psi) & -\sin(\psi) & 0 \\ \sin(\psi) & \cos(\psi) & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (3)$$

2.2. Xây dựng mô hình động lực học hệ rô bốt di động

Xét mô hình mô hình động lực học rô bốt di động gắn với các hệ trục tọa độ như hình 3. Đặt B - là tâm hình học của rô bốt, C là tâm của rô bốt. Các thông số của hệ gồm: m - khối lượng của rô bốt; l, d - chiều dài, chiều rộng rô bốt; I_{cz} - mô men quán tính rô bốt; r, α_{cz} là vận tốc và gia tốc góc rô bốt; a_{cx} , a_{cy} - gia tốc theo trục x, y của rô bốt; a là đường kính của bánh xe. Áp dụng kết quả bài báo [1] xây dựng phương trình động lực học cho rô bốt.



Hình 3. Mô hình động lực học rô bốt di động

Áp dụng Lagrange cho hệ rô bốt ta được:

$$L = KE - PE \quad (4)$$

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial L}{\partial v} \right) - \frac{\partial L}{\partial x} = F$$

Trong đó:

$$KE = \frac{1}{2} m [\dot{x}_C^2 + \dot{y}_C^2] + \frac{1}{2} I_{cz} r^2; PE = 0 \quad (5)$$

$$\dot{x}_C = u - y_{bc} r$$

$$\dot{y}_C = v + x_{bc} r$$

$$\tau_i = \frac{d}{dt} \left(\frac{\partial L}{\partial \dot{q}_i} \right) - \frac{\partial L}{\partial q_i} \quad (6)$$

Như vậy:

$$L = KE - PE = \frac{1}{2} m [\dot{x}_C^2 + \dot{y}_C^2] + \frac{1}{2} I_{cz} r^2$$

$$L = \frac{1}{2} m (u^2 - 2ury_{bc} + v^2 + 2vr x_{bc} + r^2 [x_{bc}^2 + y_{bc}^2]) + \frac{1}{2} I_{cz} r^2 \quad (7)$$

Theo Lagrange ta có:

$$F_x = \frac{d}{dt} \frac{\partial L}{\partial u}$$

$$F_y = \frac{d}{dt} \frac{\partial L}{\partial v} \quad (8)$$

$$M_z = \frac{d}{dt} \frac{\partial L}{\partial r}$$

Thực hiện tính đạo hàm L theo các biến u, v và r sau đó thay vào (8) ta được:

$$F_x = m(\dot{u} - vr - x_{bc} r^2 - y_{bc} \dot{r})$$

$$F_y = m(\dot{v} + ur - y_{bc} r^2 + x_{bc} \dot{r}) \quad (9)$$

$$M_z = I_{cz} \dot{r} + m(x_{bc} [\dot{v} + ur] - y_{bc} [\dot{u} - vr]) + mr(x_{bc}^2 + y_{bc}^2)$$

Ta có thể viết lại (9) và dạng ma trận như sau:

$$\begin{bmatrix} m & 0 & -my_{bc} \\ 0 & m & mx_{bc} \\ -my_{bc} & mx_{bc} & I_{cz} + m(x_{bc}^2 + y_{bc}^2) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{u} \\ \dot{v} \\ \dot{r} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} -mr(v + x_{bc} r) \\ mr(u - y_{bc} r) \\ mr(x_{bc} u + y_{bc} v) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} F_x \\ F_y \\ M_z \end{bmatrix} \quad (10)$$

$$D\dot{\zeta} + n(\zeta) = \tau \quad (11)$$

Trong đó:

$$D = \begin{bmatrix} m & 0 & -my_{bc} \\ 0 & m & mx_{bc} \\ -my_{bc} & mx_{bc} & I_{cz} + m(x_{bc}^2 + y_{bc}^2) \end{bmatrix};$$

$$n(\zeta) = \begin{bmatrix} -mr(v + x_{bc} r) \\ mr(u - y_{bc} r) \\ mr(x_{bc} u + y_{bc} v) \end{bmatrix}; \tau = \begin{bmatrix} F_x \\ F_y \\ M_z \end{bmatrix}$$

3. THIẾT KẾ BỘ ĐIỀU KHIỂN BACKSTEPPING CHO HỆ RÔ BỐT DI ĐỘNG

3.1. Phương trình động học và động lực học mô tả hệ rô bốt di động

$$\begin{cases} \dot{\eta} = J(\eta) \cdot \zeta \\ \dot{\zeta} = D^{-1} [\tau - n(\zeta)] = D^{-1} [-n(\zeta)] + D^{-1} \tau \end{cases} \quad (12)$$

Hệ phương trình (12) được viết lại như sau:

$$\begin{cases} \dot{x}_1 = f_1(x_1) + g_1(x_1) x_2 \\ \dot{x}_2 = f_2(x_1, x_2) + g_2(x_1, x_2) u \end{cases} \quad (13)$$

Trong đó:

$$\begin{aligned} x_1 &= \eta; x_2 = \zeta; u = \tau \\ f_1(x_1) &= 0; g_1(x_1) = J(\eta) \\ f_2(x_1, x_2) &= D^{-1}[-n(\zeta)]; g_2(x_1, x_2) = D^{-1} \end{aligned}$$

$$\eta = \begin{bmatrix} x \\ y \\ \psi \end{bmatrix}; \zeta = \begin{bmatrix} u \\ v \\ r \end{bmatrix}; \begin{cases} x_{1d} = \eta_d \\ \dot{x}_{1d} = \dot{\eta}_d \\ \ddot{x}_{1d} = \ddot{\eta}_d \\ e_1 = x_{1d} - x_1 \end{cases}$$

$J(\eta)$: là ma trận Jacobian;

$$j(\eta) = \begin{bmatrix} \cos(\psi) & -\sin(\psi) & 0 \\ \sin(\psi) & \cos(\psi) & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Ta nhận thấy $f(x, t), g(x, t)$ là các hàm phi tuyến và $g(x, t) \neq 0$. Đặt $e_1 = x_{1d} - x_1$, trong đó x_{1d} là giá trị đặt. Mục tiêu điều khiển là $e_1 \rightarrow 0$ và $\dot{e}_1 \rightarrow 0$.

3.2. Thiết kế bộ điều khiển backstepping

Bước 1:

$$\dot{e}_1 = \dot{x}_{1d} - \dot{x}_1 = \dot{x}_{1d} - g_1(x_1)x_2 \quad (14)$$

Nhận thấy $e_1 \rightarrow 0$, Chọn hàm Lyapunov có dạng:

$$V_1 = \frac{1}{2}e_1^2 \quad (15)$$

Đạo hàm ta được \dot{V}_1

$$\dot{V}_1 = e_1 \dot{e}_1 = e_1(\dot{x}_{1d} - g_1(x_1)x_2) \quad (16)$$

Ta nhận thấy $\dot{V}_1 < 0$ nếu ta chọn $\dot{x}_{1d} - g_1(x_1)x_2 = -k_1 e_1, k_1 > 0$, khi đó $\dot{V}_1 = -k_1 e_1^2$

Bước 2:

Do đã chọn $\dot{x}_{1d} - g_1(x_1)x_2 = -k_1 e_1$ suy ra $g_1(x_1)x_2 = \dot{x}_{1d} + k_1 e_1$, ta chọn tín hiệu vào bộ điều khiển $g_1(x_1)x_{2d} = \dot{x}_{1d} + k_1 e_1$

$$x_{2d} = g_1^{-1}(x_1)(\dot{x}_{1d} + k_1 e_1) \quad (17)$$

Khi $x_2 \rightarrow x_{2d}$ ta được sai lệch giữa tín hiệu đặt và tín hiệu phản hồi: $e_2 = x_{2d} - x_2$

$$\dot{e}_2 = \dot{x}_{2d} - \dot{x}_2 = \dot{x}_{2d} - f_2(x, t) - g_2(x, t)u \quad (18)$$

Chọn hàm Lyapunov có dạng:

$$V_2 = V_1 + \frac{1}{2}e_2^2 = \frac{1}{2}(e_1^2 + e_2^2) \quad (19)$$

Đạo hàm V_2 ta được:

$$\begin{aligned} \dot{V}_2 &= e_1(\dot{x}_{1d} - g_1(x_1)x_2) + e_2 \dot{e}_2 \\ &= -k_1 e_1^2 + e_1 g_1(x_1) e_2 + e_2(\dot{x}_{2d} - f_2(x, t) - g_2(x, t)u) \\ &= -k_1 e_1^2 + e_2 (g_1^T(x_1)e_1 + \dot{x}_{2d} - f_2(x, t) - g_2(x, t)u) \end{aligned} \quad (20)$$

Nhận thấy để $\dot{V}_2 < 0$ ta chọn:

$$g_1^T(x_1)e_1 + \dot{x}_{2d} - f_2(x, t) - g_2(x, t)u = -k_2 e_2, k_2 > 0 \quad (21)$$

Khi đó: $\dot{V}_2 = -k_1 e_1^2 - k_2 e_2^2$

Từ (21) ta chọn bộ điều khiển có dạng:

$$u = g_2^{-1}(x, t)(k_2 e_2 + \dot{x}_{2d} + g_1^T(x_1)e_1 - f_2(x, t)) \quad (22)$$

Từ (22) kết hợp với $\dot{x}_{2d} = g_1^{-1}(x_1)(\ddot{x}_{1d} + k_1 \dot{e}_1)$, ta rút ra luật điều khiển có dạng sau:

$$\begin{aligned} u &= g_2^{-1}(x, t)(k_2 e_2 + g_1^{-1}(x_1)(\ddot{x}_{1d} + k_1 \dot{e}_1) \\ &\quad + g_1^T(x_1)e_1 - f_2(x, t)) \end{aligned} \quad (23)$$

Trong đó:

$$\eta = \begin{bmatrix} x \\ y \\ \psi \end{bmatrix}; \zeta = \begin{bmatrix} u \\ v \\ r \end{bmatrix}; \begin{cases} \eta_d = x_{1d} \\ \dot{\eta}_d = \dot{x}_{1d} \\ \ddot{\eta}_d = \ddot{x}_{1d} \\ e_1 = \eta_d - \eta \end{cases}$$

$x_1 = \eta; x_2 = \zeta; u = \tau$

$f_1(x_1) = 0; g_1(x_1) = J(\eta)$

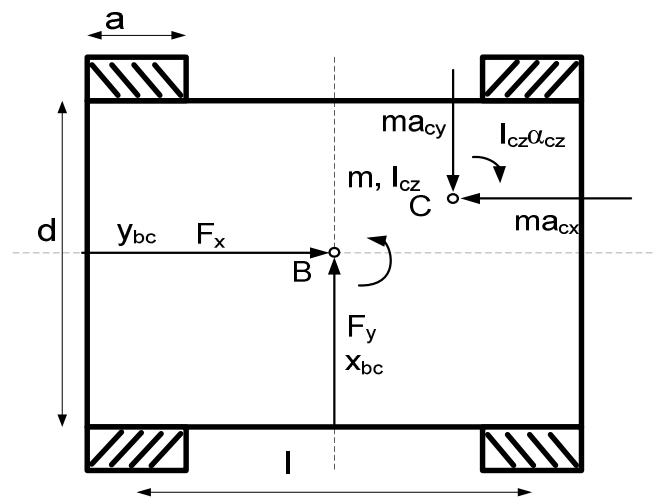
$f_2(x, t) = D^{-1}[-n(\zeta)]; g_2(x, t) = D^{-1}$

$$u = D[k_2 e_2 + \dot{\zeta}_d + J^T(\eta).e_1] + n(\zeta)$$

Thay vào (23) ta được phương trình của luật điều khiển thỏa mãn điều kiện ổn định Lyapunov như sau:

$$u = D[k_2 e_2 + J^{-1}(\eta)(\ddot{\eta}_d + k_1 \dot{e}_1) + J^T(\eta).e_1] + n(\zeta) \quad (24)$$

4. MÔ PHỎNG VÀ ĐÁNH GIÁ KẾT QUẢ BỘ ĐIỀU KHIỂN

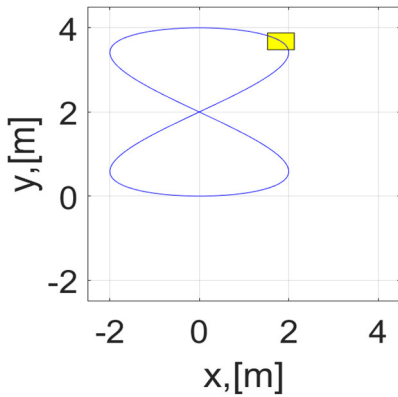


Các tham số của mô hình rô bốt di động được cho như sau: $m = 10\text{kg}, g = 9,81\text{m/s}^2, I_{cz} = 0,1; x_{bc} = 0; y_{bc} = 0; d = 0,4; l = 0,6;$

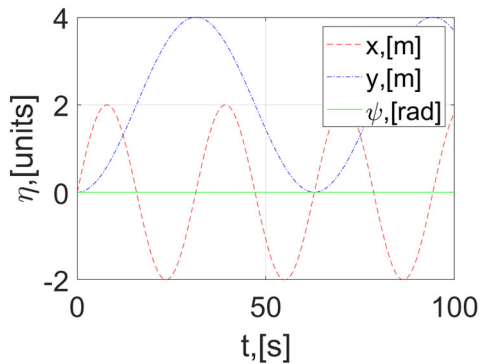
$$k_1 = \begin{bmatrix} 4 & 0 & 0 \\ 0 & 4 & 0 \\ 0 & 0 & 4 \end{bmatrix}; k_2 = \begin{bmatrix} 4 & 0 & 0 \\ 0 & 4 & 0 \\ 0 & 0 & 4 \end{bmatrix}$$

Kết quả đáp ứng theo thời gian quá trình bám vị trí của rô bốt di động.

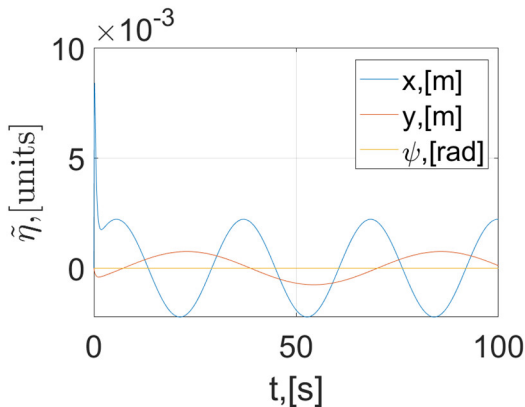
Trường hợp quỹ đạo có dạng đường cong số tám:



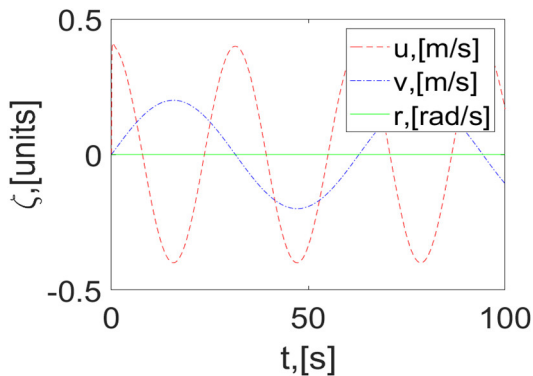
Hình 4. Quỹ đạo của rô bốt



Hình 5. Vị trí x, y và góc quay của rô bốt

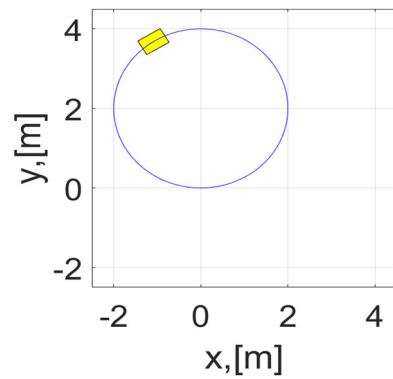


Hình 6. Sai lệch vị trí của rô bốt so với vị trí đặt

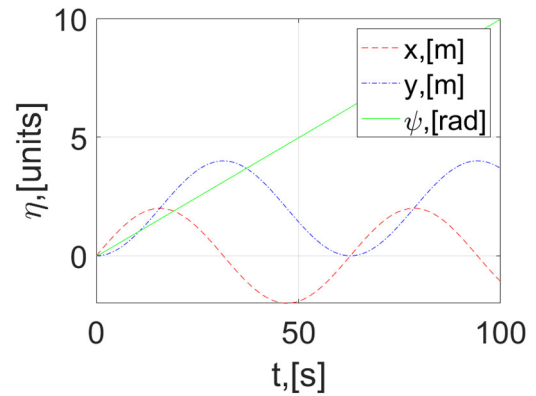


Hình 7. Vận tốc theo trục x, y và vận tốc góc của rô bốt

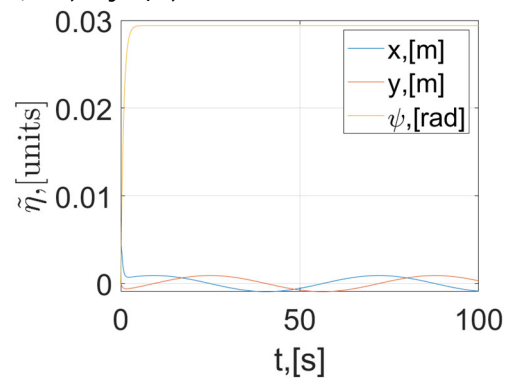
Trường hợp quỹ đạo là dạng cung tròn:



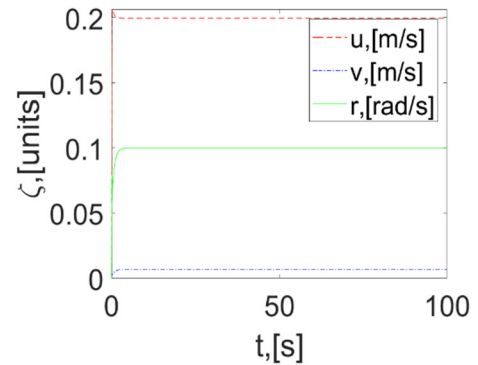
Hình 8. Quỹ đạo của rô bốt



Hình 9. Vị trí x, y và góc quay của rô bốt



Hình 10. Sai lệch vị trí của rô bốt so với vị trí đặt



Hình 11. Vận tốc theo trục x, y và vận tốc góc của rô bốt

Đánh giá sai lệch giữa phương pháp Backstepping và phương pháp PD thông thường với ảnh hưởng của nhiễu đầu vào:

Trong bài báo này ta chọn bộ điều khiển PD sao cho hệ thống có độ vọt lố $POT = e^{\left(\frac{-\xi\pi}{\sqrt{1-\xi^2}}\right)} < 0,2$ và thời gian quá độ

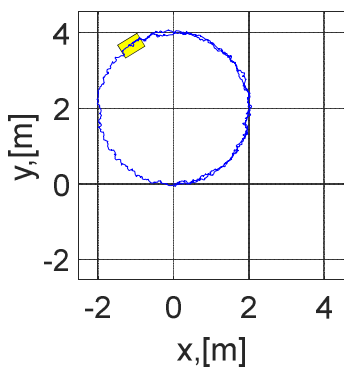
$$t_{qd} = \frac{4}{\xi\omega_n} \leq 2. \text{ Ta chọn } \xi = 0,5 \text{ và } \omega_n = 2.$$

Phương trình động học sai số của hệ có dạng:

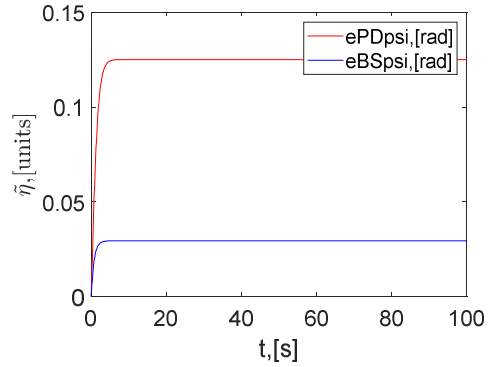
$$s^2 + 2\xi\omega_n s + \omega_n^2 = 0$$

$$\Leftrightarrow s^2 + 4s + 4 = 0$$

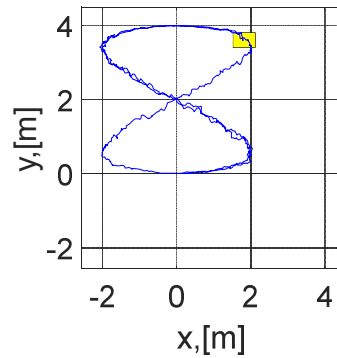
Ta chọn $k_p = \begin{bmatrix} 4 & 0 & 0 \\ 0 & 4 & 0 \\ 0 & 0 & 4 \end{bmatrix}; k_D = \begin{bmatrix} 4 & 0 & 0 \\ 0 & 4 & 0 \\ 0 & 0 & 4 \end{bmatrix}$



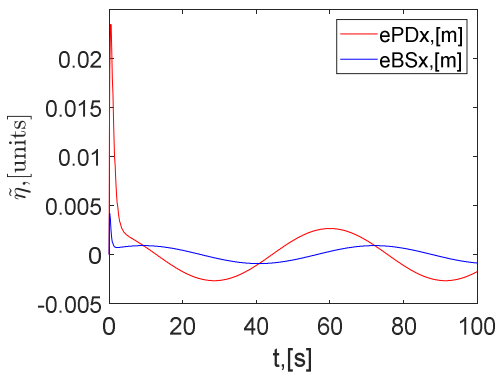
Hình 12. Quỹ đạo của rô bốt



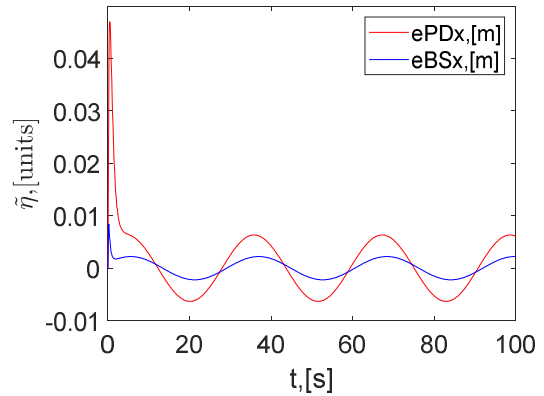
Hình 15. Sai lệch vị trí góc quay của rô bốt giữa hai phương pháp điều khiển
Trường hợp quỹ đạo là dạng đường cong số tám:



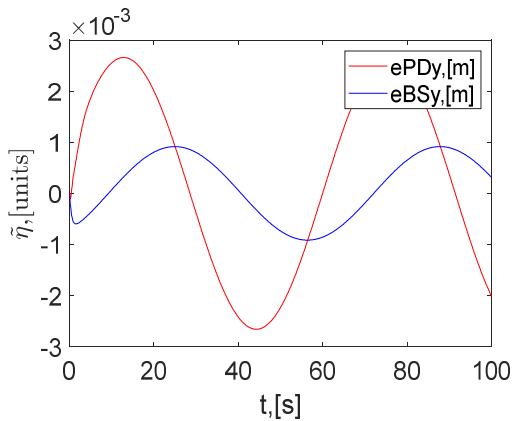
Hình 16. Quỹ đạo của rô bốt dạng đường cong số 8



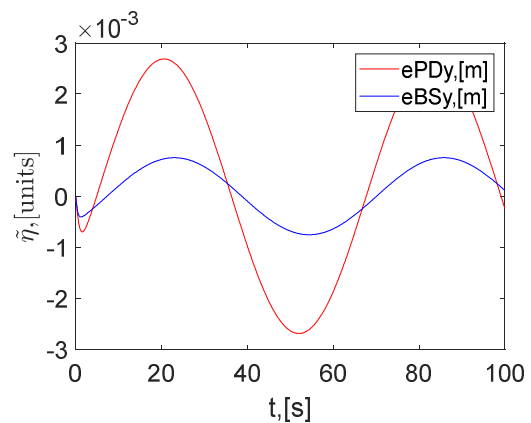
Hình 13. Sai lệch vị trí trục x của rô bốt giữa hai phương pháp điều khiển



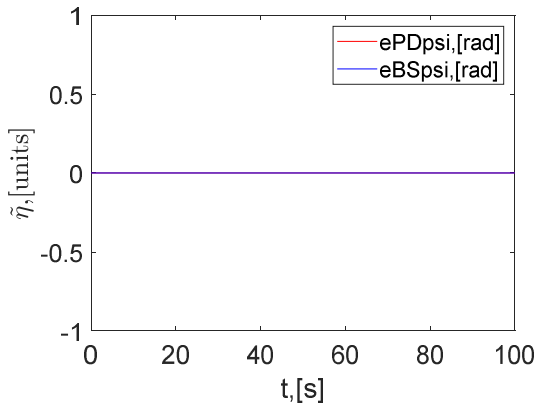
Hình 17. Sai lệch vị trí trục x của rô bốt giữa hai phương pháp điều khiển



Hình 14. Sai lệch vị trí trục y của rô bốt giữa hai phương pháp điều khiển



Hình 18. Sai lệch vị trí trục y của rô bốt giữa hai phương pháp điều khiển



Hình 19. Sai lệch vị trí góc quay của rô bốt giữa hai phương pháp điều khiển

Ta nhận thấy với phương pháp điều khiển Backstepping các sai lệch về vị trí, góc lệch và đáp ứng thời gian tốt hơn so với phương pháp PD truyền thống khi có ảnh hưởng của nhiễu đầu vào.

5. KẾT LUẬN

Qua kết quả mô phỏng so sánh giữa phương pháp điều khiển PD thông thường và phương pháp Backstepping ta nhận thấy hệ thống rô bốt có những ưu điểm như:

Điều khiển chính xác: Phương pháp Backstepping được thiết kế để đạt độ chính xác cao trong việc điều khiển các hệ thống phi tuyến. Nó cũng cho phép điều khiển chính xác hơn các phương pháp truyền thống, chẳng hạn như điều khiển PI hoặc PD.

Ổn định tuyến tính: Bộ điều khiển Backstepping có thể giúp đạt được độ ổn định tuyến tính cho hệ thống điều khiển. Điều này có nghĩa là bất kỳ độ lệch giữa giá trị thực tế và giá trị đặt mục tiêu đều được dẫn đến sự cân bằng và ổn định nhanh chóng.

Khả năng ứng dụng rộng: Bộ điều khiển Backstepping có thể được áp dụng cho nhiều loại hệ thống điều khiển khác nhau, bao gồm các hệ thống không tuyến tính và động cơ điện.

Tính linh hoạt: Phương pháp Backstepping cho phép linh hoạt điều chỉnh các thông số điều khiển, bao gồm hệ số điều khiển và hàm mục tiêu, để đạt được hiệu suất tối ưu của hệ thống. Khi có nhiễu tác động vào đầu vào thì bộ điều khiển cho đáp ứng tương đối tốt tuy nhiên vẫn có hiện tượng rung lắc tùy thuộc vào biên độ của nhiễu, vấn đề này có thể được khắc phục với những phương pháp điều khiển cao hơn.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1]. Hendzel Z., L. Rykalo, 2017. *Modelling of Dynamics of a Wheeled Mobile Robot with Mecanum Wheels with the use of Lagrange Equations of the Second Kind*. International Journal of Applied Mechanics and Engineering, 22(1): p. 81-99.

[2]. Lin L.C., H.Y. Shih, 2013. *Modeling and adaptive control of an omni-mecanum-wheeled robot*. Intelligent Control and Automation, 24, 166-179.

[3]. Alakshendra V., S.S. Chiddarwar, 2016. *A robust adaptive control of mecanum wheel mobile robot: simulation and experimental validation*. in 2016 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS).

[4]. Ovalle L., et al., 2019. *Omnidirectional mobile robot robust tracking: Sliding-mode output-based control approaches*. Control Engineering Practice 85, 50–58.

[5]. Ce H., et al., 2018. *Finite-time switched second-order sliding-mode control of nonholonomic wheeled mobile robot systems*. Complexity, Article ID 1430989, 10 pages.

[6]. Nguyen T., et al., 2019. *A Gaussian wavelet network-based robust adaptive tracking controller for a wheeled mobile robot with unknown wheel slips*. International Journal of Control, 92(11): p. 2681-2692.

[7]. Vu N.T.T., et al., 2021. *Robust adaptive controller for wheel mobile robot with disturbances and wheel slips*. International Journal of Electrical and Computer Engineering (IJECE), 11(1): p. 336-346.

[8]. Kim D.H.T., et al., 2021. *Adaptive control for uncertain model of omni-directional mobile robot based on radial basis function neural network*. International Journal of Control, Automation and Systems 19(4): p. 1715-1727.

AUTHORS INFORMATION

Ha Huy Giap¹, Nguyen Quang Dai²

¹Faculty of Electrical Engineering, University of Economics - Technology for Industries, Hanoi, Vietnam

²Hanoi University of Industry, Vietnam