

Điều khiển bám quỹ đạo cho Omini Robot bốn bánh sử dụng thuật toán Dynamic Surface Control

Trajectory Tracking Control for Four Wheeled Omnidirectional Mobile

Robots Using Dynamic Surface Control Algorithm

Ngô Mạnh Tiến¹⁾, Vương Huy Hoàng²⁾, Phan Xuân Minh³⁾, Đặng Thái Giáp⁴⁾, Đinh Đỗ Thủy⁵⁾, Lê Xuân Hải⁶⁾, Hà Thị Kim Duyên⁷⁾

^{1), 2)} Viện Vật Lý, Viện Hàn Lâm KH&CN Việt Nam; ^{3), 4), 5), 6)} Đại học Bách khoa Hà Nội;

⁷⁾ Đại học Công nghiệp Hà Nội

e-mail: ¹⁾nmtien@iop.vast.ac.vn, ³⁾minh.phanxuan@hust.edu.vn, ⁴⁾dangthaigiap@gmail.com,

⁵⁾dinhdothuy@gmail.com, ⁶⁾xhaicuw.edu.vn@gmail.com, ⁷⁾hkduyendt@gmail.com

Tóm tắt

Bài báo trình bày về một ứng dụng thuật toán Dynamic Surface Control (DSC) để tổng hợp bộ điều khiển cho Omni Robot bốn bánh đa hướng dạng holonomic bám quỹ đạo đặt trước. Tính ổn định của hệ thống được chứng minh dựa vào tiêu chuẩn Lyapunov. Các kết quả mô phỏng khẳng định tính đúng đắn của bộ điều khiển được đề xuất, Bộ điều khiển đề xuất cũng được nhúng và chạy thử nghiệm kiểm chứng trên mô hình Omni Robot bốn bánh tự thiết kế chế tạo trong phòng thí nghiệm. Với các kết quả đạt được mở ra khả năng ứng dụng của bộ điều khiển trong thực tế.

Từ khóa: Backstepping, Multiple Sliding Surface Control (MSC), Dynamic Surface Control (DSC), Omni Robot Control, Tracking Control.

Abstract

The paper presents an application of DSC algorithm to design the controller for a four wheel omnidirectional holonomic robot tracking desired trajectories. The stability of the system is proved based on Lyapunov standards. The proposed controller is simulated on kinetic dynamic model of a four wheel omnidirectional holonomic robot in the labor. The simulation results show the truth of the proposed controller and open the ability to use this one in fact.

Keywords: Backstepping, multi sliding surface control, dynamic surface control, Omni Robot Control, Tracking Control.

Ký hiệu

Ký hiệu	Đơn vị	Ý nghĩa
M, C, G, B		Ma trận của mô hình
ω_i	rad/s	Vận tốc góc bánh xe
v_i	m/s	Vận tốc dài bánh xe
θ_i	rad	Góc lệch của bánh xe
P		Vector tọa độ và hướng của robot
x, y	m	Tọa độ của robot
θ	rad	Hướng của robot

x_d, y_d, θ_d		Quỹ đạo đặt cho robot
D	m	Khoảng cách từ bánh đến tâm robot
m	Kg	Khối lượng robot
J	Kg.m ²	Momen quán tính robot
r	M	Bán kính bánh xe
τ_i	N.m	Momen đặt vào bánh xe
v, vn, ω		Vận tốc thẳng, vận tốc theo phương pháp tuyến và vận tốc góc của robot
k, k ₁₁ , k ₁₂ , k ₁₃ , k ₂ , K, M, ε ,		Các hằng số dương
p		
S ₁ , S ₂		Các mặt trượt

Chữ viết tắt

DSC	Dynamic surface control
MSSC	Multiple Sliding Surface

1. Phần mở đầu

Các robot được ứng dụng trong đời sống ngày càng nhiều như robot vận chuyển hàng hóa, robot kiểm tra nguy hiểm, robot xe lăn cho người khuyết tật... các nghiên cứu gần đây đều tập trung vào hướng tăng độ linh hoạt của robot khi hoạt động trong các môi trường, địa hình khác nhau. Các hướng nghiên cứu về cơ khí tập trung vào các cơ cấu, cơ chế thiết bị chấp hành truyền động linh hoạt và thích ứng [8,9]. Các nghiên cứu về lập trình điều khiển tập trung vào hướng điều khiển thích nghi, thông minh, xử lý ảnh vào tăng độ linh hoạt, tốc độ và thông minh cho robot. Omni Robot chuyển động đa hướng là một dạng robot holonomic, tốc độ và linh hoạt trong di chuyển [5,6,9,10].

Đã có nhiều công trình nghiên cứu về việc điều khiển hệ robot di động holonomic. Tuy nhiên, có một số các công trình đã bỏ qua động lực học của robot [3], [4]. Điều này là do các vấn đề thiết kế bộ điều khiển sẽ cực kỳ khó khăn khi sự phức tạp của hệ thống động lực tăng.

Kỹ thuật sử dụng bộ điều khiển trượt sliding mode gặp nhược điểm lớn khi điều khiển bám cho robot đó

là hiện tượng rung (chattering). Backstepping cũng đã được đề xuất như là một trong các phương pháp đại diện cho việc điều khiển robot di động holonomic có xem xét chuyển động học và động lực học [5], [6]. Tuy nhiên, bộ điều khiển backstepping tồn tại sự ảnh hưởng của nhiễu, khi mà độ phức tạp của hệ thống càng cao thì nhiễu càng lớn. D.Swaroop và C. Gerdes đã đề xuất thuật toán điều khiển DSC để giải quyết vấn đề này bằng cách sử dụng một bộ lọc bậc nhất cho từng bộ điều khiển ảo được tổng hợp ở từng bước của quy trình thiết kế backstepping.

Theo đó, chúng tôi đã đề xuất một bộ điều khiển bám quỹ đạo của robot di động holonomic. Bằng cách sử dụng thuật toán DSC để thích ứng vượt qua mọi thành phần nhiễu và sự không chính xác của các tham số. Dựa trên tiêu chuẩn Lyapunov, chúng tôi cũng chứng minh rằng tất cả các tín hiệu trong hệ thống vòng kín ổn định và có thể được điều chỉnh nhỏ tùy ý bằng cách điều chỉnh các thông số thiết kế.

Bài viết này được tổ chức như sau: Phần 2 giới thiệu cơ bản về thuật toán DSC. Phần 3 mô hình hóa Omni Robot bốn bánh kết hợp động lực truyền động, áp dụng thuật toán DSC vào điều khiển robot, phân tích sự ổn định của hệ thống điều khiển được đề xuất cùng với việc trình bày kết quả mô phỏng. phần 4 trình bày về thiết kế, chế tạo Omni Robot bốn bánh và chạy thử nghiệm thuật toán. Cuối cùng, phần 4 trình bày một số kết luận được rút ra từ những nghiên cứu trên.

2. Giới thiệu thuật toán Dynamic Surface Control (DSC)

Thuật toán DSC được phát triển từ thuật toán MSSC và kĩ thuật Backstepping. Áp dụng cho hệ truyền ngược. Ví dụ sau đây sẽ giúp hiểu rõ về các bước thực hiện của thuật toán.

Xét hệ phi tuyến:

$$\begin{aligned} \dot{x}_1 &= x_2 + f(x_1), \\ \dot{x}_2 &= u \end{aligned} \quad (1)$$

Với f và $\partial f / \partial x_1$ là hàm liên tục. Mục tiêu điều khiển $x_1 \rightarrow x_{1d}$

Đầu tiên ta xây dựng mặt trượt thứ nhất: $S_1 = x_1 - x_{1d}$. Đạo hàm S_1 dựa vào (1):

$$\dot{S}_1 = x_2 + f - \dot{x}_{1d}$$

Tiếp theo, xây dựng mặt trượt thứ hai:

$$S_2 = x_2 - x_{2d}$$

Trong đó x_{2d} gọi là đầu vào ảo được thiết kế để lái $S_1 \rightarrow 0$. Đạo hàm S_2 :

$$\dot{S}_2 = u - \dot{x}_{2d}$$

u sẽ được thiết kế để $S_2 \rightarrow 0$, tức là $x_2 \rightarrow x_{2d}$

Để chọn x_{2d} , trước hết ta chọn \bar{x}_{2d} như sau:

$$\bar{x}_{2d} = x_{1d} - f - K_1 S_1 \quad (2)$$

Sau đó x_{2d} được tính qua bộ lọc là khâu quán tính bậc nhất:

$$\tau \dot{x}_{2d} + x_{2d} = \bar{x}_{2d} \quad (3)$$

Hằng số dương K_1 sẽ được xác định sau, u được chọn:

$$u = \dot{x}_{2d} - K_2 S_2 \quad (4)$$

Đặt $\xi = x_{2d} - \bar{x}_{2d}$, lúc này hàm Lyapunov được chọn:

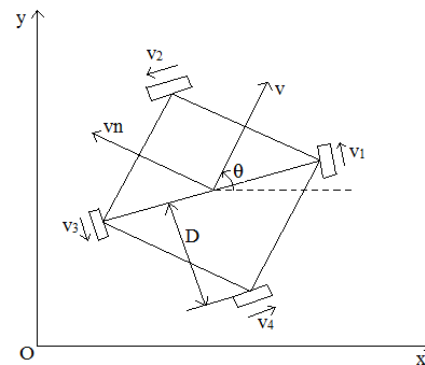
$$V = \frac{S_1^2 + S_2^2 + \xi^2}{2}$$

Việc kiểm tra tính ổn định sẽ không được trình bày ở phần này, nó sẽ được trình bày ở bài toán cụ thể sẽ làm ở phần dưới.

Sự khác biệt của thuật toán DSC với thuật toán MSSC hay Backstepping là bộ lọc ở phương trình (3). Bộ lọc này sẽ giúp hạn chế ảnh hưởng của sai số trong tính toán ở phương trình (2) và (4).

3. Điều khiển bám quỹ đạo Omni Robot sử dụng thuật toán DSC

3.1. Mô hình hóa Omni Robot



H.1 Omni Robot 4 bánh

Ở H1 ta thấy robot Omni có 4 bánh xe đặt lệch nhau 90° , khoảng cách từ bánh đến tâm robot là D , Oxy là trục tọa độ toàn cục, v là vận tốc thẳng của robot, v_n là vận tốc theo phương pháp tuyến của robot và ω là vận tốc góc của robot

$$v_i = \omega_i r \quad (\text{với } i=1,2,3,4)$$

ω_i là vận tốc góc bánh i

$\mathbf{q} = [x \quad y \quad \theta]^T$ là vector tọa độ và hướng của robot trong hệ tọa độ toàn cục

3.1.1. Mô hình động học

Phương trình động học của robot: (1.4)

$$\begin{bmatrix} \dot{x} \\ \dot{y} \\ \dot{\theta} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \theta & -\sin \theta & 0 \\ \sin \theta & \cos \theta & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v \\ v_n \\ \omega \end{bmatrix} \quad (5)$$

$[v \quad v_n \quad \omega]^T$ được tính theo vận tốc các bánh như sau:

$$\begin{bmatrix} v \\ vn \\ \omega \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{k}{2} & -\frac{k}{2} & -\frac{k}{2} & \frac{k}{2} \\ \frac{k}{2} & \frac{k}{2} & -\frac{k}{2} & -\frac{k}{2} \\ \frac{1}{4D} & \frac{1}{4D} & \frac{1}{4D} & \frac{1}{4D} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v_1 \\ v_2 \\ v_3 \\ v_4 \end{bmatrix}$$

với hằng số $k = \cos 45^\circ = \frac{\sqrt{2}}{2}$

3.1.2. Mô hình động lực học

Phương trình động lực học của robot dựa trên công thức Euler-Lagrange:

$$M(\mathbf{q})\ddot{\mathbf{q}} + C(\mathbf{q}, \dot{\mathbf{q}})\dot{\mathbf{q}} + G(\mathbf{q}) + \tau_d = B(\mathbf{q})\tau \quad (6)$$

Trong đó:

$\mathbf{q} = [x \ y \ \theta]^T$ là vector biến khớp đã được chọn ở phần trên.

τ_d là vector nhiễu bất định bị chặn (nhỏ và được bỏ qua trong tính toán)

τ là vector tín hiệu vào (ta chọn ở đây là mô men lực đặt vào mỗi bánh) $\tau = [\tau_1 \ \tau_2 \ \tau_3 \ \tau_4]^T$

$$M(\mathbf{q}) = \begin{bmatrix} m & 0 & 0 \\ 0 & m & 0 \\ 0 & 0 & J \end{bmatrix}$$

$$C(\mathbf{q}, \dot{\mathbf{q}}) = 0 \quad \text{và} \quad G(\mathbf{q}) = 0$$

$$B(\mathbf{q}) = \frac{1}{r} \begin{bmatrix} \cos \theta_1 & \cos \theta_2 & \cos \theta_3 & \cos \theta_4 \\ \sin \theta_1 & \sin \theta_2 & \sin \theta_3 & \sin \theta_4 \\ D & D & D & D \end{bmatrix}$$

$$\theta_1 = \theta + \frac{\pi}{4}, \quad \theta_2 = \theta + \frac{3\pi}{4}, \quad \theta_3 = \theta - \frac{3\pi}{4}, \quad \theta_4 = \theta - \frac{\pi}{4}$$

3.2. Thiết kế bộ điều khiển

Từ phương trình động học (5) ta có:

$$\ddot{x} = \cos \theta \dot{v} - \sin \theta \dot{vn} - \sin \theta \dot{\theta} v - \cos \theta \dot{\theta} vn$$

$$\ddot{y} = \sin \theta \dot{v} + \cos \theta \dot{vn} + \cos \theta \dot{\theta} v - \sin \theta \dot{\theta} vn$$

$$\ddot{\theta} = \dot{\omega}$$

Suy ra:

$$\cos \theta \ddot{x} + \sin \theta \ddot{y} = \dot{v} - \omega vn - \sin \theta \dot{x} + \cos \theta \dot{y} = \dot{vn} - \omega v$$

Từ phương trình động lực học (6) ta cũng tính được

$$\cos \theta \ddot{x} + \sin \theta \ddot{y} = \frac{k}{mr} (\tau_1 - \tau_2 - \tau_3 + \tau_4)$$

$$-\sin \theta \ddot{x} + \cos \theta \ddot{y} = \frac{k}{mr} (\tau_1 + \tau_2 - \tau_3 - \tau_4)$$

$$\ddot{\theta} = \frac{D}{Jr} (\tau_1 + \tau_2 + \tau_3 + \tau_4)$$

Đặt

$$\tau = \tau_1 - \tau_2 - \tau_3 + \tau_4, \quad \tau_n = \tau_1 + \tau_2 - \tau_3 - \tau_4,$$

$$\tau_\omega = \tau_1 + \tau_2 + \tau_3 + \tau_4$$

$$\text{Suy ra:} \quad \begin{bmatrix} \tau_1 \\ \tau_2 \\ \tau_3 \\ \tau_4 \end{bmatrix} = \frac{1}{4} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ -1 & 1 & 1 \\ -1 & -1 & 1 \\ 1 & -1 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \tau \\ \tau_n \\ \tau_\omega \end{bmatrix} \quad (7)$$

Phương trình phía trên sẽ trở thành:

$$\dot{v} - \omega vn = \frac{k}{mr} \tau, \quad \dot{vn} + \omega v = \frac{k}{mr} \tau_n, \quad \dot{\omega} = \frac{D}{Jr} \tau_\omega \quad (8)$$

Ta xác định các biến trạng thái như sau: $x_1 = \mathbf{q}$,

$$x_2 = [v \ vn \ \omega]^T, \quad u = \left[\frac{k}{mr} \tau \quad \frac{k}{mr} \tau_n \quad \frac{D}{Jr} \tau_\omega \right]^T$$

Từ phương trình động học (5) và phương trình (8) ta có:

$$\dot{x}_1 = \begin{bmatrix} \cos \theta & -\sin \theta & 0 \\ \sin \theta & \cos \theta & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} x_2 \quad (9)$$

$$\dot{x}_2 = u + \begin{bmatrix} \omega vn \\ -\omega v \\ 0 \end{bmatrix} \quad (10)$$

Gọi x_d, y_d, θ_d là các giá trị đặt của quỹ đạo robot

3.2.1. Mặt trượt S_1

$$S_1 = \begin{bmatrix} S_{11} \\ S_{12} \\ S_{13} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \theta & \sin \theta & 0 \\ -\sin \theta & \cos \theta & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x - x_d \\ y - y_d \\ \theta - \theta_d \end{bmatrix} \quad (11)$$

Đạo hàm S_1 theo phương trình (11) kết hợp với phương trình (9):

$$\dot{S}_1 = \begin{bmatrix} v - \cos \theta \dot{x}_d - \sin \theta \dot{y}_d + \omega S_{12} \\ vn + \sin \theta \dot{x}_d - \cos \theta \dot{y}_d - \omega S_{11} \\ \omega - \dot{\theta}_d \end{bmatrix}$$

Chọn \bar{x}_2 như sau:

$$\bar{x}_2 = \begin{bmatrix} \bar{v} \\ \bar{vn} \\ \bar{\omega} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \theta \dot{x}_d + \sin \theta \dot{y}_d - k_{11} S_{11} \\ -\sin \theta \dot{x}_d + \cos \theta \dot{y}_d - k_{12} S_{12} \\ \dot{\theta}_d - k_{13} S_{13} \end{bmatrix} \quad (12)$$

Tín hiệu điều khiển ảo x_{2d} được bám theo \bar{x}_2 qua một bộ lọc là khâu quán tính bậc nhất:

$$\tau' \dot{x}_{2d} + x_{2d} = \bar{x}_2, \quad x_{2d}(0) = \bar{x}_2(0)$$

Với hằng số thời gian $\tau' > 0$

3.2.2. Mặt trượt S_2

$$S_2 = \begin{bmatrix} S_{21} \\ S_{22} \\ S_{23} \end{bmatrix} = x_2 - x_{2d} \quad (13)$$

Đạo hàm S_2 ở phương trình (13) và kết hợp với phương trình (8):

$$\dot{S}_2 = \dot{x}_2 - \dot{x}_{2d} = u + \begin{bmatrix} \omega vn \\ -\omega v \\ 0 \end{bmatrix} - \dot{x}_{2d}$$

Chọn tín hiệu điều khiển thực

$$u = \dot{x}_{2d} - \begin{bmatrix} \omega v n \\ -\omega v \\ 0 \end{bmatrix} - k_2 S_2 \quad (14)$$

Từ phương trình (7) và cách đặt u ta có:

$$\begin{bmatrix} \tau_1 \\ \tau_2 \\ \tau_3 \\ \tau_4 \end{bmatrix} = \frac{1}{4} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ -1 & 1 & 1 \\ -1 & -1 & 1 \\ 1 & -1 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \frac{mr}{k} & 0 & 0 \\ 0 & \frac{mr}{k} & 0 \\ 0 & 0 & \frac{Jr}{D} \end{bmatrix} u \quad (15)$$

3.2.3. Phân tích tính ổn định của hệ thống

Đặt $\xi_1 = v_d - \bar{v}$, $\xi_2 = vn_d - \bar{v}n$ và $\xi_3 = \omega_d - \bar{\omega}$

và

$$\dot{\xi}_1 = \dot{v}_d - \dot{\bar{v}} = -\frac{\xi_1}{\tau'} + f_1(S_1, S_2, \xi_1, k_{11})$$

$$\dot{\xi}_2 = \dot{v}n_d - \dot{\bar{v}n} = -\frac{\xi_2}{\tau'} + f_2(S_1, S_2, \xi_2, k_{12})$$

$$\dot{\xi}_3 = \dot{\omega}_d - \dot{\bar{\omega}} = -\frac{\xi_3}{\tau'} + f_3(S_1, S_2, \xi_3, k_{13})$$

Xét hàm Lyapunov:

$$V = \frac{S_{11}^2 + S_{12}^2 + S_{13}^2 + S_{21}^2 + S_{22}^2 + S_{23}^2 + \xi_1^2 + \xi_2^2 + \xi_3^2}{2} \geq 0$$

Suy ra:

$$\dot{V} = S_{11}\dot{S}_{11} + S_{12}\dot{S}_{12} + S_{13}\dot{S}_{13} + S_{21}\dot{S}_{21} + S_{22}\dot{S}_{22} + S_{23}\dot{S}_{23} + \xi_1\dot{\xi}_1 + \xi_2\dot{\xi}_2 + \xi_3\dot{\xi}_3$$

Ta có:

$$\begin{aligned} S_{11}\dot{S}_{11} + S_{12}\dot{S}_{12} + S_{13}\dot{S}_{13} &= S_{11}(v - \bar{v} + \omega S_{12} - k_{11}S_{11}) \\ &+ S_{12}(vn - \bar{v}n - \omega S_{11} - k_{12}S_{12}) + S_{13}(\omega - \bar{\omega} - k_{13}S_{13}) \\ &= S_{11}(S_{21} + \xi_1 - k_{11}S_{11}) + S_{12}(S_{22} + \xi_2 - k_{12}S_{12}) \\ &+ S_{13}(S_{23} + \xi_3 - k_{13}S_{13}) \end{aligned}$$

Sử dụng các bất đẳng thức: $S_{1i}S_{2i} \leq \frac{S_{1i}^2 + S_{2i}^2}{2}$,

$$S_{1i}\xi_i \leq \frac{S_{1i}^2 + \xi_i^2}{2} \text{ và } \xi_i f_i \leq \frac{3\xi_i^2 f_i^2}{4\varepsilon} + \frac{\varepsilon}{3} \text{ (với } i=1,2,3)$$

Suy ra

$$\begin{aligned} \dot{V} &\leq \frac{2S_{11}^2 + 2S_{12}^2 + 2S_{13}^2 + S_{21}^2 + S_{22}^2 + S_{23}^2 + \xi_1^2 + \xi_2^2 + \xi_3^2}{2} \\ &- (k_{11}S_{11}^2 + k_{12}S_{12}^2 + k_{13}S_{13}^2 + k_2S_{21}^2 + k_2S_{22}^2 + k_2S_{23}^2) + \varepsilon \\ &+ \sum_{i=1}^3 \left(-\frac{\xi_i^2}{\tau'} + \frac{3\xi_i^2 f_i^2}{4\varepsilon} \right) \end{aligned}$$

Xét miền

$$B = \{z \in \mathbb{R}^9 \mid S_{11}^2 + S_{12}^2 + S_{13}^2 + S_{21}^2 + S_{22}^2 + S_{23}^2 + \xi_1^2 + \xi_2^2 + \xi_3^2 \leq 2p, p > 0, z = [S_{11}^T \ S_{21}^T \ \xi^T]^T\}$$

(với $\xi^T = [\xi_1 \ \xi_2 \ \xi_3]$) là một miền bị chặn, đóng và lồi. Vì vậy các hàm f_i sẽ tồn tại giá trị lớn nhất trên

miền B, gọi giá trị lớn nhất của cả 3 hàm trên B là M. Chọn $k_{11} = k_{12} = k_{13} = k_2 = 2 + K$ và hằng số thời gian:

$$\frac{1}{\tau'} = 1 + \frac{3M^2}{4\varepsilon} + K$$

Lúc này:

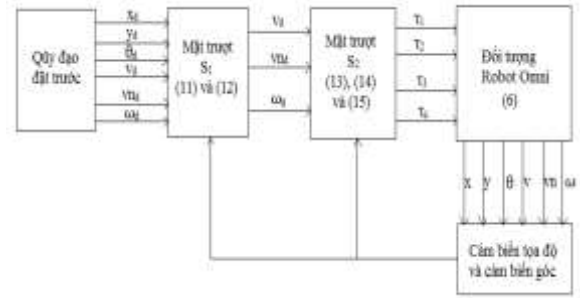
$$\begin{aligned} \dot{V} &\leq \frac{2S_{11}^2 + 2S_{12}^2 + 2S_{13}^2 + S_{21}^2 + S_{22}^2 + S_{23}^2 + \xi_1^2 + \xi_2^2 + \xi_3^2}{2} \\ &- (2 + K)(S_{11}^2 + S_{12}^2 + S_{13}^2 + S_{21}^2 + S_{22}^2 + S_{23}^2) + \varepsilon \\ &+ \sum_{i=1}^3 \left(-\xi_i^2 \left(1 + \frac{3M^2}{4\varepsilon} + K \right) + \frac{3M^2 \xi_i^2 f_i^2}{4\varepsilon M^2} \right) \\ &\leq -2KV + \varepsilon - \sum_{i=1}^3 \left(1 - \frac{f_i^2}{M^2} \right) \frac{3M^2 \xi_i^2}{4\varepsilon} \end{aligned}$$

Cuối cùng ta thu được $\dot{V} \leq -2KV + \varepsilon$ trên B

Ta có thể thấy rằng $\dot{V} < 0$ nếu $V > \varepsilon/2K$, khi $\dot{V} = 0$ thì $V \leq \varepsilon/2K$. Do hằng số ε có thể chọn nhỏ tùy ý muốn nên các sai số của hệ thống luôn có thể được giới hạn ở một mức cho phép nào đó.

3.3. Kết quả mô phỏng

H2 dưới đây là sơ đồ cấu trúc điều khiển



H. 2 Sơ đồ cấu trúc điều khiển

- Khi sử dụng bộ điều khiển PD thông dụng:

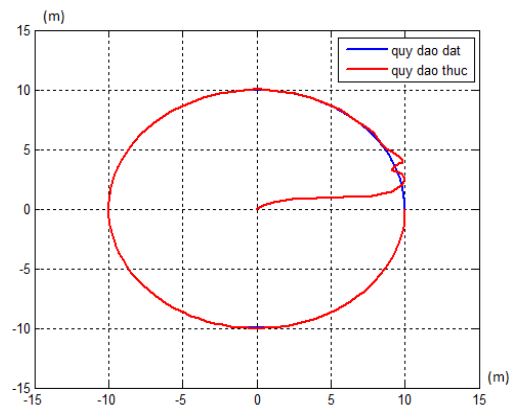
Tọa độ ban đầu của robot: $x(0)=0, y(0)=0, \theta(0)=0$

Các tham số ban đầu: $m=10\text{Kg}, I=5\text{Kg.m}^2, D=0.5\text{m}, r=0.15\text{m}$.

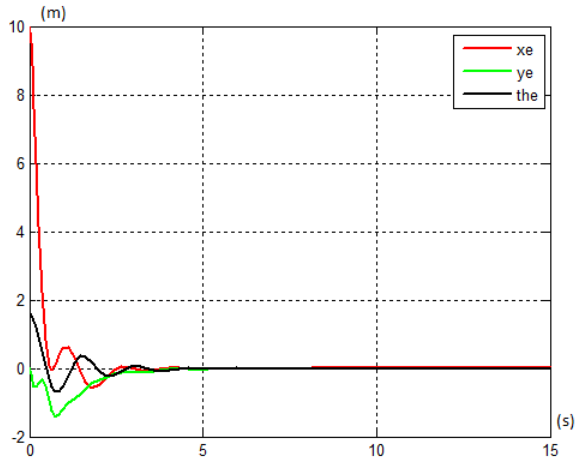
Bộ điều khiển PD: vòng động học: $Kp=1, Td=2$, vòng động lực học: $Kp=10, Td=5$.

Quỹ đạo đặt là đường tròn:

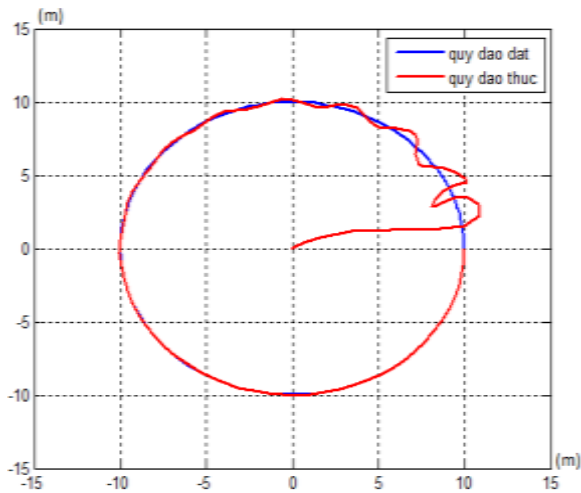
$$x_{1d}(t) = [10\cos(2\pi t/15) \ 10\sin(2\pi t/15) \ \pi/2 + 2\pi t/15]^T$$



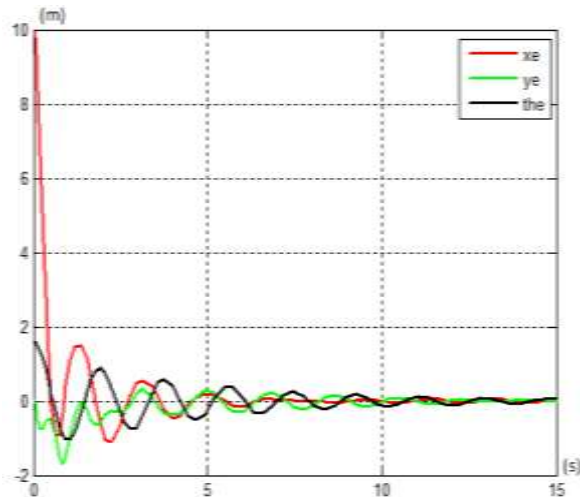
H. 3 Quỹ đạo robot toàn thời gian khi sử dụng bộ điều khiển PD ($m=10\text{Kg}, I=5\text{Kg.m}^2$)



H. 4 Đồ thị sai số quỹ đạo theo thời gian khi sử dụng bộ điều khiển PD ($m= 10Kg, I= 5Kg.m^2$)



H. 5 Quỹ đạo robot toàn thời gian khi sử dụng bộ điều khiển PD ($m= 20Kg, I= 10Kg.m^2$)



H. 6 Đồ thị sai số quỹ đạo theo thời gian khi sử dụng bộ điều khiển PD ($m= 20Kg, I= 10Kg.m^2$)

H3 và H4 thể hiện sự hội tụ của các biến sai lệch bám khi sử dụng bộ điều khiển PD thường. H5 và H6 thể hiện sự hội tụ của các biến sai lệch bám khi sử dụng bộ điều khiển PD thường khi thay đổi tham số của robot là: $m=20kg; I=10kg.m^2$

Nhận xét:

Nhìn vào kết quả trên ta có thể thấy rằng, khi sử dụng bộ điều khiển PD, với sự thay đổi tham số của hệ sẽ dẫn đến chất lượng bám thấp, có dao động và tồn tại sai lệch tĩnh.

Trong khi ở H.5 khi các giá trị tham số của xe Robot thay đổi thành $m=20kg; I=10kg.m^2$; thì như H.6 thể hiện sự dao động của sai lệch bám quỹ đạo khi sử dụng bộ điều khiển PD là rất đáng kể. Thời gian hội tụ là hơn 10s và thể hiện sự dao động của sai lệch bám, cũng như tồn tại sai lệch tĩnh lớn.

- Khi sử dụng bộ điều khiển DSC:

+ Với quỹ đạo đặt là đường tròn:

Tọa độ ban đầu của robot: $x(0)=0, y(0)=0, \theta(0)=0$

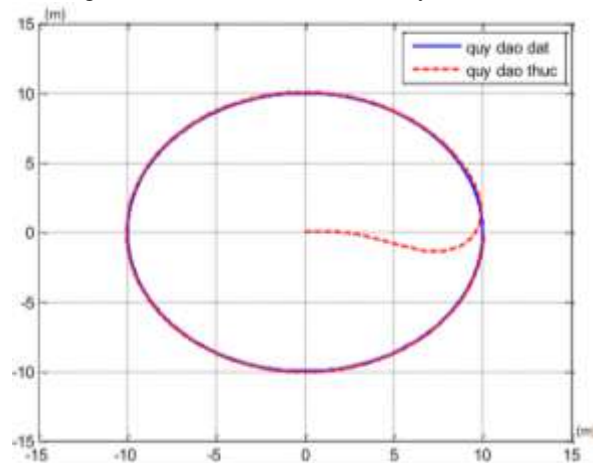
Các tham số của bộ điều khiển được chọn là: $k_{11}=k_{12}=k_{13}=k_{2}=3, \tau'=0.02s$

Các tham số ban đầu: $m= 10Kg, I= 5Kg.m^2, D =0.5m, r= 0.15m$

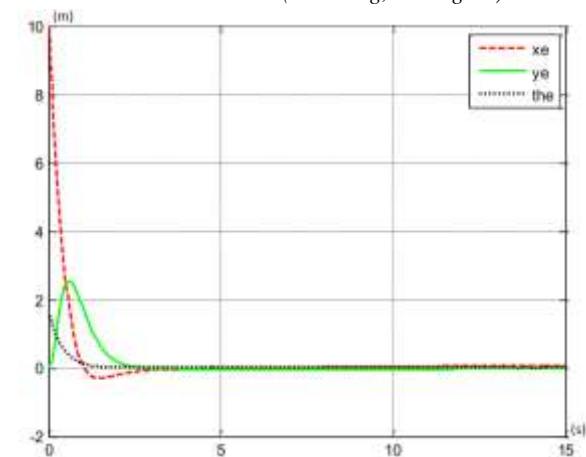
Quỹ đạo đặt là đường tròn:

$$x_d(t) = [10\cos(2\pi t/15) \quad 10\sin(2\pi t/15) \quad \pi/2 + 2\pi t/15]^T$$

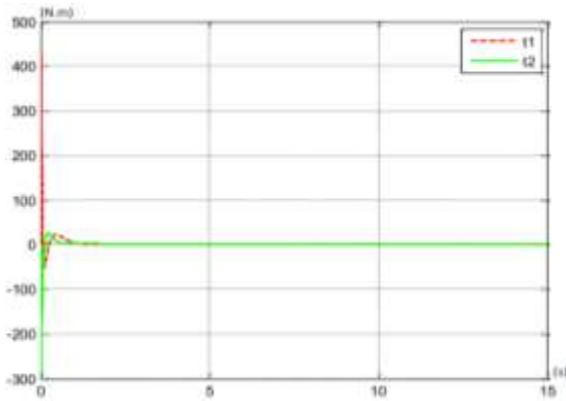
Kết quả mô phỏng bài toán Omni robot bám quỹ đạo sử dụng thuật toán DSC được trình bày trên H7-H11.



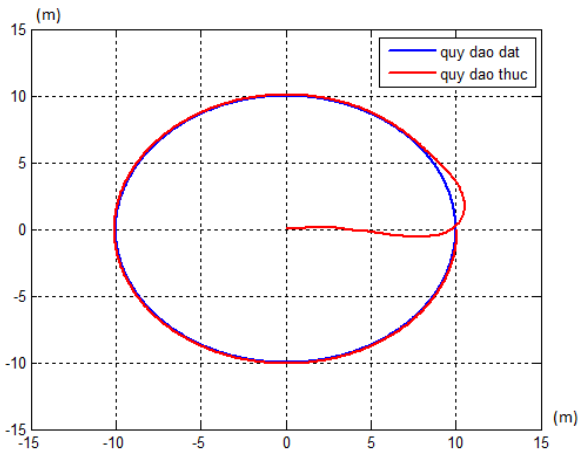
H. 7 Quỹ đạo robot toàn thời gian khi sử dụng bộ điều khiển DSC ($m= 10Kg, I= 5Kg.m^2$)



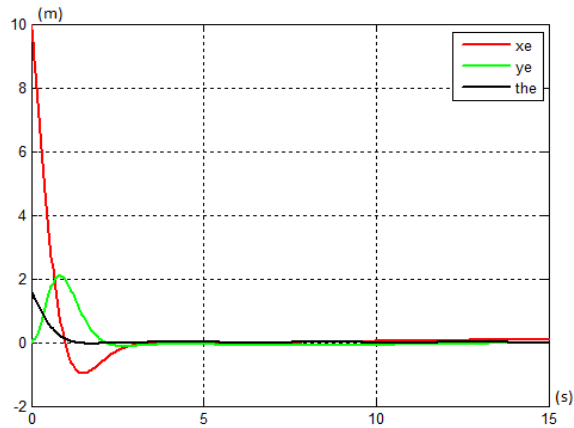
H. 8 Đồ thị sai số quỹ đạo theo thời gian khi sử dụng bộ điều khiển DSC ($m= 10Kg, I= 5Kg.m^2$)



H. 9 Momen đặt vào động cơ 1 và động cơ 2 khi sử dụng bộ điều khiển DSC ($m=10\text{Kg}$, $I=5\text{Kg.m}^2$)



H. 10 Quỹ đạo robot toàn thời gian khi sử dụng bộ điều khiển DSC ($m=20\text{Kg}$, $I=10\text{Kg.m}^2$)



H. 11 Đồ thị sai số quỹ đạo theo thời gian khi sử dụng bộ điều khiển DSC ($m=20\text{Kg}$, $I=10\text{Kg.m}^2$)

Nhận xét:

Nhìn vào kết quả trên H7, H8, H9 ta có thể thấy rằng khi sử dụng bộ điều khiển DSC chất lượng bám thời gian hội tụ của là khoảng 3s, robot bám theo quỹ đạo suốt khoảng thời gian mô phỏng, không tồn tại sai lệch tĩnh.

Hiệu quả của bộ điều khiển DSC đề xuất với sự tồn tại các thành phần bất định, nhiều được thể hiện từ H10, H11. Trong H.7, khi các tham số được đặt bằng giá trị thường xác định $m=10\text{kg}$, $I=5\text{kg.m}^2$. Sai lệch

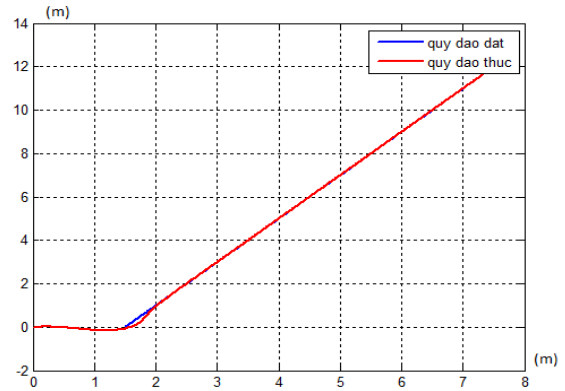
quỹ đạo là nhỏ và không đáng kể. Trong khi ở H.10 khi các giá trị tham số của robot thay đổi thành $m=20\text{kg}$; $I=10\text{kg.m}^2$; thì như H.6 thể hiện sự dao động của sai lệch bám quỹ đạo khi sử dụng bộ điều khiển PD là rất đáng kể, có dao động lớn và sai lệch tĩnh. Trong khi ở trạng thái này nếu sử dụng bộ điều khiển thích nghi DSC (H.10, H11) thì chất lượng là không đổi so với H.7 và H.8.

+ Với quỹ đạo đặt là đường thẳng :

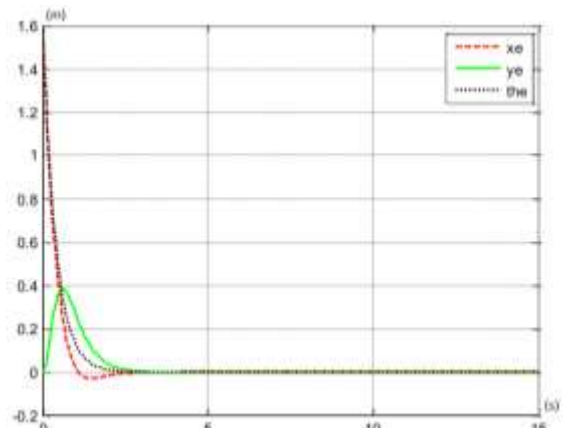
Tọa độ ban đầu của robot: $x(0)=0$, $y(0)=0$, $\theta(0)=0$

Các tham số của bộ điều khiển được chọn là: $k_{11}=k_{12}=k_{13}=k_{21}=k_{22}=k_{23}=3$, $\tau'=0.02\text{s}$

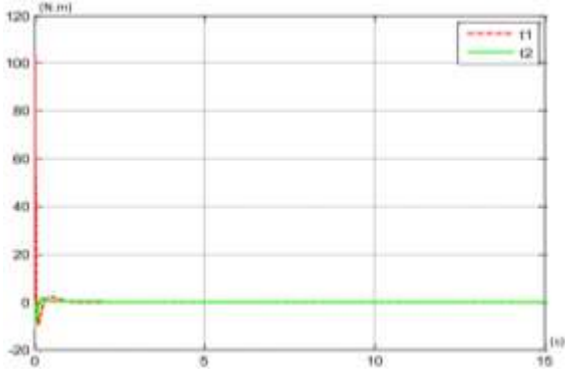
Các tham số ban đầu: $m=10\text{Kg}$, $I=5\text{Kg.m}^2$, $D=0.5\text{m}$, $r=0.15\text{m}$



H. 12 Quỹ đạo robot toàn thời gian khi sử dụng bộ điều khiển DSC, quỹ đạo đường thẳng



H. 13 Đồ thị sai số quỹ đạo theo thời gian khi sử dụng bộ điều khiển DSC, quỹ đạo là đường thẳng.



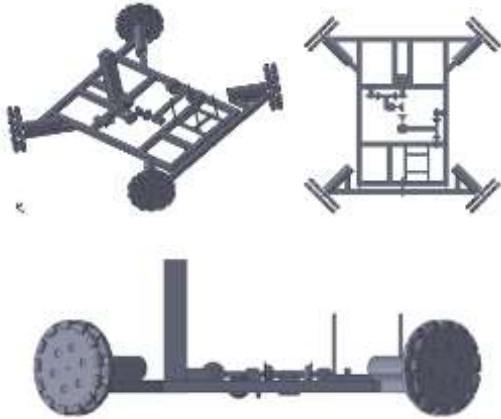
H. 14 Momen đặt vào động cơ 1 và động cơ 2 khi sử dụng bộ điều khiển DSC, quỹ đạo là đường thẳng

Nhận xét:

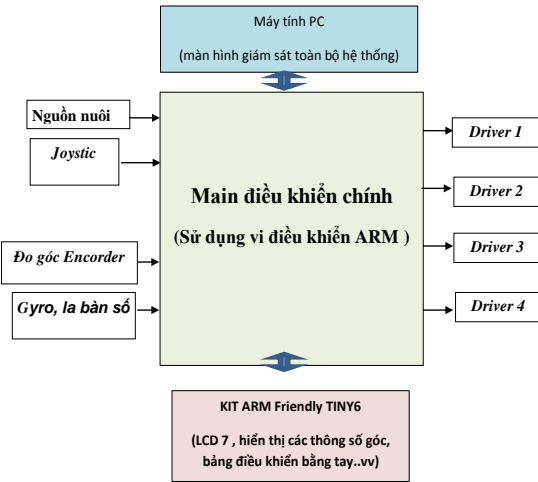
Nhìn vào kết quả trên H12÷ H14 ta có thể thấy rằng khi quỹ đạo đặt là đường thẳng, bộ điều khiển DSC cho kết quả chất lượng bám của hệ thống rất tốt, thời gian hội tụ của là khoảng 3s, robot bám theo quỹ đạo suốt khoảng thời gian mô phỏng, không tồn tại sai lệch tĩnh.

4. Chạy thử nghiệm

Để thử nghiệm thuật toán, nhóm nghiên cứu đã tự thiết kế và chế tạo một Omni Robot bốn bánh.



H. 15 Thiết kế cơ khí của Omni Robot bốn bánh



H. 16 Cấu trúc phần cứng điều khiển của Omni Robot



H. 17 Lưu đồ thuật toán trong ngắt timer0



H. 18 Hình ảnh Omni Robot chế tạo chạy thử nghiệm

- Kết quả chạy thử nghiệm:

Omni robot trong bài báo được thử nghiệm ở môi trường trong phòng thí nghiệm, quỹ đạo được đặt trước. Các trường hợp thử nghiệm bao gồm:

- Omni robot di chuyển bám quỹ đạo thẳng về phía trước 4 mét trong khoảng thời gian 10 giây.
- Omni robot di chuyển bám quỹ đạo thẳng về phía trước 4 mét trong khoảng thời gian 10 giây sau đó quay 90 độ và về vị trí cũ cũng sau 10 giây.

Các kết quả bước đầu cho thấy sự việc áp dụng thuật toán DSC là khả thi trong thực tế và có triển vọng cho nhiều ứng dụng khác.

5. Kết luận

Bài báo đã trình bày hoàn chỉnh việc tổng hợp hệ thống điều khiển bám quỹ đạo cho Omni Robot bao gồm: thiết kế chế tạo phần cứng cơ khí Omni Robot bốn bánh, mô hình hóa Omni Robot bốn bánh thực tế đã chế tạo, xây dựng thuật toán DSC cho robot Omni, mô phỏng và thiết kế chế tạo mạch điện tử điều khiển, lập trình nhúng ARM thuật toán và chạy thử nghiệm thuật toán. Tính ổn định của hệ thống được chứng minh bằng tiêu chuẩn Lyapunov. Các kết quả mô phỏng cũng cho thấy robot đã đạt được mục tiêu bám quỹ đạo, thời gian quá độ ở mức cho phép. Các kết quả chạy thử nghiệm bước đầu cho thấy áp dụng thuật toán DSC để điều khiển robot là hướng đúng đắn, khả thi trong thực tế và có triển vọng cho nhiều ứng dụng khác.

Tài liệu tham khảo

[1] Bongsob Song, J. Karl Hedrick, "Dynamic Surface Control of Uncertain Nonlinear Systems", Springer

[2] Nguyễn Doãn Phước, Phan Xuân Minh, Hán Thành Trung, "Lý thuyết điều khiển phi tuyến", NXB Khoa học kỹ thuật, 2008.

[3] Yuan-Pao Hsu, Ching-Chih Tsai, Zeng-Chung Wang, Yi-Jiang Feng, Hung-Hsing Lin, "Hybrid Navigation of a Four-Wheeled Tour-Guide Robot", Fukuoka International Congress Center, Japan, ICROS-SICE International Joint Conference 2009, August 18-21, 2009.

[4] Ching-Chih Tsai, Li-Bin Jiang, Tai-Yu Wang, Tung-Sheng Wang, "Kinematics Control of an Omnidirectional Mobile Robot", Proceedings of 2005 CACS Automatic Control Conference Tainan, Taiwan, Nov 18-19, 2005.

- [5] J. Wang, J. Chen, S. Ouyang, Y. Yang, "Trajectory tracking control based on adaptive neural dynamics for four-wheel drive omnidirectional mobile robots", Engineering Review, Vol. 34, Issue 3, 235-243, 2014.
- [6] Tai-Yu Wang, Ching-Chih Tsai, Der-An Wang, "Dynamic Control of An Omnidirectional Mobile Platform", Journal of Nan Kai, Vol. 7, No. 1, pp.9-18, 2010.
- [7] Ehsan Hashemi, Maani Ghaffari Jadidi, Omid Bakhshandeh Babarsad, "Trajectory Planning Optimization with Dynamic Modeling of Four Wheeled Omni-Directional Mobile Robots", CIRA, Korea, December 15-18, 2009.
- [8] Ngô Mạnh Tiến, Phan Xuân Minh, Hà Thị Kim Duyên, Phạm Ngọc Minh, "Một số kết quả nghiên cứu mới trong phát triển hệ robot tự hành có gắn camera tự động tìm kiếm và bám mục tiêu di động", Hội Nghị Cơ điện tử toàn quốc lần thứ 6 VCM6, ISBN 978-604-62-0753-5; 12/2012.
- [9] Ngô Mạnh Tiến, Phan Xuân Minh, Lê Trung Kiên, Trần Đức Hiếu, Hà Thị Kim Duyên, Phạm Văn Quyết, Nguyễn Ngọc Anh, Nguyễn Phương Nam, "Omni mobile robot tránh vật cản sử dụng cảm biến camera Kinect", Hội Nghị toàn quốc về điều khiển và tự động hóa VCCA2013; ISBN 978-604-911-517-2; 11/2013.
- [10] Tien-Ngo Manh, Minh-Phan Xuan, Phuoc-Nguyen Doan, Thang-Phan Quoc, "Tracking Control for Mobile robot with Uncertain Parameters Based on Model Reference Adaptive Control", International Conference on Control, Automation and Information Sciences ICCAIS2013; IEEE catalog number: CFP1226S-CPR; ISBN: 978-1-4673-0811-1; 11/2013



Ngô Mạnh Tiến: Tốt nghiệp Đại học Bách Khoa Hà Nội, chuyên ngành Điều khiển tự động từ năm 1996-2001. Bảo vệ Tiến sỹ tại Đại Học Bách Khoa Hà Nội năm 2014. Hiện tại công tác tại phòng Quang điện tử - Viện Vật Lý-Viện Hàn lâm Khoa Học và Công Nghệ Việt Nam.

Hướng nghiên cứu chính: Điều khiển quá trình, điều khiển thông minh và thích nghi, hệ Mờ và mạng Neuron, điều khiển Robot, Robot tự hành, hệ thống quang điện tử nhìn đêm, xử lý ảnh.



Phan Xuân Minh: Nhận bằng kỹ sư (1975) và Tiến sĩ kỹ thuật (1989), chuyên ngành Điều khiển học tại trường Đại Học Kỹ thuật Ilmenau, Đức. Hiện là Giáo sư, công tác và giảng dạy tại Bộ môn Điều khiển tự động, Viện Điện, Trường Đại học Bách Khoa Hà Nội. Hướng nghiên cứu chính: Điều khiển tối ưu và bền vững, điều khiển

cứu chính: Điều khiển tối ưu và bền vững, điều khiển

thích nghi, hệ mờ và mạng Neuron, điều khiển quá trình.



Đặng Thái Giáp: Sinh viên K55, chuyên ngành điều khiển tự động tại Đại học Bách Khoa Hà Nội. Hướng nghiên cứu chính: Điều khiển tối ưu và bền vững, điều khiển thích nghi, hệ mờ và mạng Neuron, điều khiển quá trình



Đinh Đỗ Thủy: Sinh viên K55, chuyên ngành điều khiển tự động tại Đại học Bách Khoa Hà Nội. Hướng nghiên cứu chính: Điều khiển tối ưu và bền vững, điều khiển thích nghi, hệ mờ và mạng Neuron, điều khiển quá trình.



Hà Thị Kim Duyên: Học Đại Học Bách khoa Hà Nội, chuyên ngành điều khiển tự động từ năm 1996-2001, Bảo vệ Thạc sỹ năm 2007. Hiện công tác và giảng dạy tại Khoa Điện tử - trường Đại Học Công Nghiệp Hà Nội. Chuyên môn nghiên cứu chính: Điều khiển quá trình, Các bộ điều khiển khả trình PLC và mạng truyền thông công nghiệp, Bộ điều khiển thông minh và thích nghi, Mờ và mạng Neuron, Xử lý ảnh.



Lê Xuân Hải: Học đại học chuyên ngành tự động hóa tại Đại Học Sư Phạm Kỹ Thuật Hưng Yên. Thạc sỹ năm 2011. Hiện đang là NCS chuyên ngành Kỹ thuật điều khiển & Tự động hóa tại Trường Đại học Bách Khoa Hà Nội.

Hướng nghiên cứu chính: Điều khiển thích nghi phi tuyến, hệ mờ và mạng Neuron, Ứng dụng Vi điều khiển và PLC trong công nghiệp.



Vương Huy Hoàng: Tốt nghiệp kỹ sư chuyên ngành Kỹ thuật điều khiển và Tự động hóa tại Đại học Mỏ - Địa chất Hà Nội. Đang học thạc sĩ tại Đại học Công nghệ (Đại học quốc gia Hà Nội). Các hướng nghiên cứu chính: Các bộ điều

khiển PLC, điều khiển tối ưu, điều khiển quá trình, điều khiển thích nghi.