

ĐIỀU KHIỂN BÙ NHIỄU CHO CÁNH TAY MÁY ĐÔI SỬ DỤNG MẠNG NƠ-RON NHÂN TẠO

DISTURBANCES REJECTION CONTROL FOR DUAL ARMS ROBOT
USING ARTIFICIAL NEURAL NETWORK

Nguyễn Ngọc Linh^{1,*},
Phạm Ngọc Thành¹, Hoàng Duy¹

DOI: <https://doi.org/10.57001/huih5804.29>

TÓM TẮT

Bài báo trình bày phương pháp điều khiển bù nhiễu cho hệ cánh tay máy đôi sử dụng mạng nơ-ron. Bằng cách cập nhật tham số của mạng sao cho tối thiểu hóa sự ảnh hưởng của nhiễu đầu vào, quỹ đạo các trạng thái của hệ sẽ được đảm bảo bám theo tín hiệu đặt cho dù hệ có chịu tác động của nhiễu hay không. Các kết quả thuật toán được mô phỏng trên Matlab Simulink qua đó sự hiệu quả của phương pháp được kiểm chứng đồng thời công việc so sánh với bộ điều khiển trượt cũng được thực hiện nhằm cho thấy ưu thế của mạng nơ-ron.

Từ khóa: Điều khiển bù nhiễu, điều khiển thích nghi, mạng nơ-ron, cánh tay máy đôi, robot song song.

ABSTRACT

This paper presents a disturbances rejection control method for dual arms robots using artificial neural networks. By updating the network parameters to minimize input disturbances, the system's state trajectory is guaranteed to follow the reference signal regardless of whether disturbances are present. The Matlab/Simulink software simulation results show the proposed method's effectiveness and advantages over sliding mode controllers.

Keywords: Disturbances rejection control, adaptive control, neural network, dual arms robot, parallel robot.

¹Trường Quốc tế, Đại học Quốc gia Hà Nội

*Email: nnguyen@vnu.edu.vn

Ngày nhận bài: 01/8/2022

Ngày nhận bài sửa sau phản biện: 29/8/2022

Ngày chấp nhận đăng: 27/10/2022

1. GIỚI THIỆU

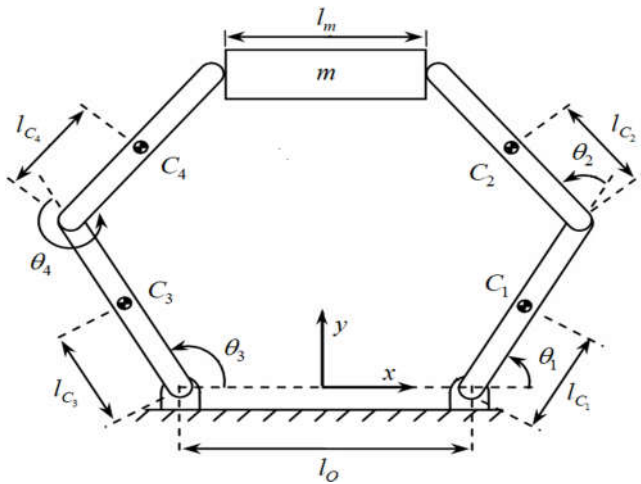
Robot dạng cánh tay máy đôi được sử dụng rộng rãi trong công nghiệp, các hệ thống có thể hoạt động độc lập hoặc phối hợp với con người theo dạng dây chuyền hoàn thành nhiều nhiệm vụ khác nhau trong quá trình sản xuất [1-3]. Chính vì vậy, vấn đề điều khiển các cấu hình cánh tay robot một cách chính xác và linh hoạt sẽ ảnh hưởng trực tiếp tới sự hiệu quả vận hành của toàn dây chuyền. Đối với cánh tay máy đôi có mô hình toán học dạng phi tuyến, bộ điều khiển cuốn chiếu (backstepping) cũng như bộ điều khiển trượt [4] đã được

sử dụng khá hiệu quả để đưa các góc quay robot bám theo giá trị đặt đồng thời loại bỏ được phần nào sự ảnh hưởng của nhiễu. Bộ điều khiển trượt với mặt trượt động [5] ngoài giữ được ưu điểm của bộ điều khiển cuốn chiếu (backstepping) cũng như bộ điều khiển trượt thì nó còn hạn chế sự bùng nổ toán hạng gây ra khi thực hiện tính toán. Tuy nhiên, với việc có sự xuất hiện của hàm dấu trong biểu thức xác định tín hiệu điều khiển, việc xảy ra hiện tượng rung (chattering) là không thể tránh khỏi với cả bộ điều khiển trượt và bộ điều khiển mặt động. Một cách tiếp cận khác là sử dụng hệ logic mờ một cách trực tiếp [6] hoặc kết hợp với bộ điều khiển cuốn chiếu [7] hay bộ điều khiển trượt [8] nhằm nâng cao tính thích nghi của bộ điều khiển. Theo đó, khi có sự tham gia của hệ mờ, bộ điều khiển có khả năng tự điều chỉnh các tham số để phù hợp với sự ảnh hưởng từ các tác động bên ngoài lên đối tượng.

Hiện nay, mạng nơ-ron nhân tạo đang được ứng dụng rất nhiều trong kỹ thuật điều khiển [9] [10] và mang lại những kết quả tích cực. Với khả năng xấp xỉ hàm số, sự tham gia của mạng nơ-ron trong các bộ điều khiển sẽ giúp hệ thống không chỉ đáp ứng tốt với nhiễu đầu vào mà còn hạn chế được sự thay đổi của các thành phần bất định trong hệ thống cũng như giữ nguyên chất lượng điều khiển dù cho mô hình có sai lệch. Tận dụng ưu điểm trên, trong bài báo này bộ điều khiển bù nhiễu sẽ được đề xuất với thành phần quan trọng nhất chính là mạng nơ-ron. Bằng cách cập nhật các tham số của mạng để tối thiểu hóa sự ảnh hưởng của nhiễu, phương pháp đề xuất hướng tới việc cung cấp cho bộ điều khiển khả năng duy trì quỹ đạo dù cho nhiễu tác động mạnh vào hệ thống, điều còn hạn chế trong các bộ điều khiển trượt thông thường. Đồng thời, sự hiệu quả của thuật toán cũng được kiểm chứng qua các kết quả mô phỏng và được đánh giá thông qua sự so sánh với bộ điều khiển trượt được đề cập trong [4].

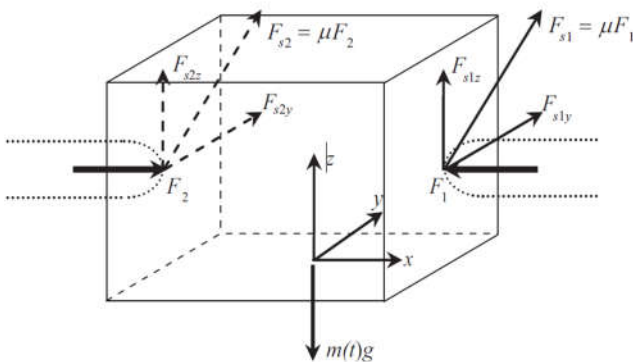
2. MÔ HÌNH ĐỘNG LỰC HỌC CỦA CÁNH TAY MÁY ĐÔI [5,8]

Hệ robot song song hai cánh tay có thể được mô tả như hình 1. Trong đó hai cánh tay được gắn cố định với sàn, mỗi cánh tay gồm hai khớp có thể quay linh hoạt 360 độ.



Hình 1. Mô hình Robot song song hai cánh tay
 Các kí hiệu đại lượng của hệ:

- b_1, b_2, b_3, b_4 : lần lượt là hệ số ma sát các trục 1,2,3,4 của hệ;
- $\theta_1, \theta_2, \theta_3, \theta_4$: lần lượt là góc quay của bốn khớp;
- m_1, m_2, m_3, m_4 : lần lượt là khối lượng của bốn trục;
- l_1, l_2, l_3, l_4 : lần lượt là chiều dài của bốn trục;
- I_1, I_2, I_3, I_4 : lần lượt là momen quán tính của có bốn trục;
- $l_{C_1}, l_{C_2}, l_{C_3}, l_{C_4}$: lần lượt là khoảng cách từ trọng tâm đến tâm quay của bốn trục;
- x_m, y_m : tọa độ khối tâm của vật.



Hình 2. Mô hình lực tác động lên vật

Theo định luật II Newton: khi hai cánh tay tác động lên vật, các lực tác động lên vật sẽ được xác định theo hình 2 như sau:

$$\begin{cases} m(t)\ddot{x}_m(t) = F_2 - F_1 \\ m(t)\ddot{y}_m(t) = 2F_{s1y} = 2F_{s2y} \\ m(t)g = 2F_{s2z} = 2F_{s1z} \end{cases} \quad (1)$$

với $m(t)$ là khối lượng vật mà robot phải gấp lực, ma sát tác động lên vật được xác định bởi:

$$\begin{cases} F_{s1y}^2 + \left(\frac{m(t)g}{2}\right)^2 < (\mu F_1)^2 \\ F_{s2y}^2 + \left(\frac{m(t)g}{2}\right)^2 < (\mu F_2)^2 \end{cases} \quad (2)$$

Khi hướng của lực F_1 và F_2 được xác định phải luôn hướng về tải thì tải được giữ trên hai tay một cách hiệu quả do đó các lực này phải dương. Như vậy từ phương trình về lực ma sát trên và điều kiện để cho lực F_1 và F_2 dương, lực F_1 và F_2 có thể được tính như sau:

- $\ddot{x}_m \geq 0$

$$\begin{cases} F_1 = \frac{1}{\mu} \sqrt{\left(\frac{m\ddot{y}_m(t)}{2}\right)^2 + \left(\frac{m(t)g}{2}\right)^2} \\ F_2 = \frac{1}{\mu} \sqrt{\left(\frac{m\ddot{y}_m(t)}{2}\right)^2 + \left(\frac{m(t)g}{2}\right)^2} + m\ddot{x}_m \end{cases} \quad (3)$$

- $\ddot{x}_m < 0$

$$\begin{cases} F_1 = \frac{1}{\mu} \sqrt{\left(\frac{m\ddot{y}_m(t)}{2}\right)^2 + \left(\frac{mg}{2}\right)^2} - m\ddot{x}_m \\ F_2 = \frac{1}{\mu} \sqrt{\left(\frac{m\ddot{y}_m(t)}{2}\right)^2 + \left(\frac{mg}{2}\right)^2} \end{cases} \quad (4)$$

Để xây dựng mô hình động lực học cho hệ tay máy đôi, ta sử dụng phương pháp Euler-Lagrange thông qua động năng và thế năng tại khối tâm của 4 khâu chuyển động. Theo [8], phương trình động lực học cho từng khớp thể hiện mối quan hệ giữa tín hiệu điều khiển đầu vào và các trạng thái của hệ thống thu được như sau:

- Với khớp thứ nhất:

$$\begin{aligned} & \ddot{\theta}_1(A_1 + A_2 + 2A_3 \cos(\theta_2)) + \ddot{\theta}_2(A_2 + A_3 \cos(\theta_2)) \\ & - A_3(\dot{\theta}_2^2 + 2\dot{\theta}_1\dot{\theta}_2) \sin \theta_2 \\ & = \tau_1 - F_1[l_1 \sin \theta_1 + l_2 \sin(\theta_1 + \theta_2)] \\ & - F_{s1y}[l_1 \cos \theta_1 + l_2 \cos(\theta_1 + \theta_2)] - d_1 \dot{\theta}_1 \end{aligned} \quad (5)$$

- Với khớp thứ hai:

$$\begin{aligned} & \ddot{\theta}_2 A_2 + \ddot{\theta}_1(A_2 + A_3 \cos(\theta_2)) - A_3 \dot{\theta}_1 \dot{\theta}_2 \sin(\theta_2) \\ & = \tau_2 - F_2 l_2 \sin(\theta_1 + \theta_2) - F_{s1y} l_2 \cos(\theta_1 + \theta_2) - d_2 \dot{\theta}_2 \end{aligned} \quad (6)$$

- Với khớp thứ ba:

$$\begin{aligned} & \ddot{\theta}_3(A_4 + A_5 + 2A_6 \cos(\theta_4)) + \ddot{\theta}_4(A_5 + A_6 \cos(\theta_4)) \\ & - A_6(\dot{\theta}_4^2 + 2\dot{\theta}_3\dot{\theta}_4) \sin \theta_4 \\ & = \tau_3 + F_2[l_3 \sin(\theta_3) + l_4 \sin(\theta_3 + \theta_4)] \\ & - F_{s2y}[l_3 \cos(\theta_3) + l_4 \cos(\theta_3 + \theta_4)] - d_3 \dot{\theta}_3 \end{aligned} \quad (7)$$

- Với khớp thứ tư:

$$\begin{aligned} & \ddot{\theta}_4 A_5 + \ddot{\theta}_3(A_5 + A_6 \cos(\theta_4)) - A_6 \dot{\theta}_3 \dot{\theta}_4 \sin(\theta_4) \\ & = \tau_4 - F_2 l_4 \sin(\theta_3 + \theta_4) - F_{s3y} l_4 \cos(\theta_3 + \theta_4) - d_4 \dot{\theta}_4 \end{aligned} \quad (8)$$

Ở đây:

$$\begin{aligned} A_1 &= m_1 l_{C_1}^2 + m_2 l_1^2 + I_1, & A_2 &= m_2 l_{C_2}^2 + I_2, & A_3 &= m_2 l_1 l_{C_2} \\ A_4 &= m_3 l_{C_3}^2 + m_4 l_3^2 + I_3, & A_5 &= m_4 l_{C_4}^2 + I_4, & A_6 &= m_4 l_3 l_{C_4} \end{aligned}$$

Và $\tau_1, \tau_2, \tau_3, \tau_4$ tương ứng là các momen lực tác động vào từng khớp robot.

Mô hình của hệ robot song song hai cánh tay có thể được viết dưới dạng ma trận [8] như sau:

$$M(q)\ddot{q} + C(q, \dot{q})\dot{q} + D\dot{q} = \tau + J^T F + \tau_d \quad (9)$$

Trong đó:

- $M(q)$ là ma trận quán tính.
- $C(q, \dot{q})$ là ma trận Coriolis và thành phần hướng tâm.
- D là ma trận ma sát.
- τ là mô-men lực tác động vào hệ.
- J là ma trận Jacobi.
- τ_d là vecto đại diện cho nhiễu bên ngoài tác động vào hệ thống.

$$q = \begin{bmatrix} \theta_1 \\ \theta_2 \\ \theta_3 \\ \theta_4 \end{bmatrix}, \tau = \begin{bmatrix} \tau_1 \\ \tau_2 \\ \tau_3 \\ \tau_4 \end{bmatrix}, F = \begin{bmatrix} F_1 \\ F_{s1y} \\ F_2 \\ F_{s2y} \end{bmatrix}$$

$$M(q) = \begin{bmatrix} A_1 + A_2 + 2A_3 \cos \theta_2 & A_2 + A_3 \cos \theta_2 & 0 & 0 \\ A_2 + A_3 \cos \theta_2 & A_2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & A_4 + A_5 + 2A_6 \cos \theta_4 & A_5 + A_6 \cos \theta_4 \\ 0 & 0 & A_5 + A_6 \cos \theta_4 & A_5 \end{bmatrix}$$

$$C(q, \dot{q}) = \begin{bmatrix} 0 & -A_3(\dot{\theta}_2 + \dot{\theta}_1) \sin \theta_2 & 0 & 0 \\ A_3 \dot{\theta}_1 \sin \theta_2 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -A_6(\dot{\theta}_4 + \dot{\theta}_3) \sin \theta_4 \\ 0 & 0 & A_6 \dot{\theta}_3 \sin \theta_4 & 0 \end{bmatrix}$$

$$J = [J_1 \quad J_2]^T$$

$$J_1 = \begin{bmatrix} -l_1 \sin \theta_1 - l_2 \sin(\theta_1 + \theta_2) & -l_1 \cos \theta_1 - l_2 \cos(\theta_1 + \theta_2) \\ -l_2 \sin(\theta_1 + \theta_2) & -l_2 \cos(\theta_1 + \theta_2) \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$$J_2 = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ l_3 \sin \theta_3 + l_4 \sin(\theta_3 + \theta_4) & -l_3 \cos \theta_3 - l_4 \cos(\theta_3 + \theta_4) \\ l_4 \sin(\theta_3 + \theta_4) & -l_4 \cos(\theta_3 + \theta_4) \end{bmatrix}$$

3. ĐIỀU KHIỂN BÙ NHIỄU CHO CÁNH TAY MÁY ĐÔI SỬ DỤNG MẠNG NƠ-RON NHÂN TẠO

Từ mô hình (9) của đối tượng, ta có:

$$\ddot{q} = M^{-1}[\tau + J^T F + \tau_d - C\dot{q} - D\dot{q}] \quad (10)$$

Để điều khiển các trạng thái của hệ thống bám theo giá trị đặt q_r , ta định nghĩa sai lệch điều khiển là $e = q_r - q$ và biểu thức (10) có thể biểu diễn lại dưới dạng sai lệch điều khiển như sau:

$$\ddot{e} = \ddot{q}_r - \ddot{q} = K_1 \dot{e} + K_2 e - M^{-1}\tau + F \quad (11)$$

Trong đó K_1 và K_2 là hai ma trận hệ số có kích thước 4×4 được lựa chọn tùy ý, F đại diện cho toàn bộ thành phần bất định của hệ thống bao gồm cả nhiễu đầu vào, F được xác định bằng:

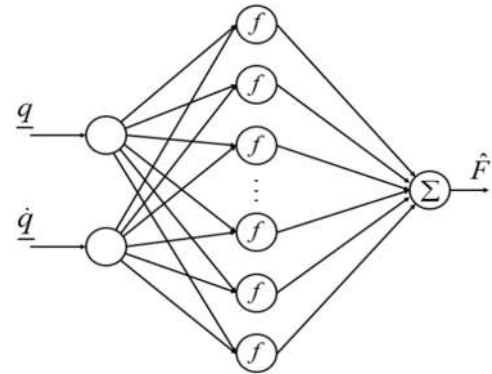
$$F = -M^{-1}[J^T F + \tau_d - C\dot{q} - D\dot{q}] + \ddot{q}_r - K_1 \dot{e} - K_2 e \quad (12)$$

Trong trường hợp F là xác định, ta hoàn toàn có thể thiết kế bộ điều khiển theo công thức

$$\tau = M \cdot F \quad (13)$$

Khi đó mô hình sai lệch của hệ trở thành

$$\ddot{e} - K_2 \dot{e} - K_1 e = 0 \quad (14)$$



Hình 3. Cấu trúc mạng nơ-ron được sử dụng

Và nếu K_1 và K_2 được chọn sao cho đa thức đặc tính $H(s) = s^2 - K_2 s - K_1 = 0$ là Hurwitz ta sẽ có sai lệch điều khiển e hội tụ về không từ đó các trạng thái của hệ thống bám theo giá trị đặt ban đầu. Tuy nhiên trong thực tế, việc xác định một cách chính xác thành phần F là không dễ dàng. Chính vì lý do này, bài báo đề xuất phương pháp sử dụng mạng nơ-ron để xấp xỉ F , từ đó thu được tín hiệu điều khiển đặt vào hệ thống.

Mạng nơ-ron được thiết kế 3 thành phần chính như hình 3 bao gồm một lớp đầu vào, một lớp ẩn và lớp đầu ra. Đầu vào của mạng nơ-ron sẽ là các biến trạng thái của hệ thống q cùng đạo hàm \dot{q} của chúng, đầu ra mạng nơ-ron sẽ là thành phần xấp xỉ \hat{F} . Đặt $\hat{W} \in \mathbb{R}^{2 \times n}$ là ma trận trọng số của mạng và $h \in \mathbb{R}^{1 \times n}$ là vecto đầu ra của lớp ẩn với hàm truyền được định nghĩa bằng:

$$h_i = \frac{\exp\left(-\frac{\|q - c_{1i}\|^2 + \|\dot{q} - c_{2i}\|^2}{b_i^2}\right)}{\sum_{j=1}^n \exp\left(-\frac{\|q - c_{1j}\|^2 + \|\dot{q} - c_{2j}\|^2}{b_j^2}\right)} \quad (15)$$

Với n là số nơ-ron của mạng, đầu ra \hat{F} sẽ được xác định bằng công thức:

$$\hat{F} = \hat{W}^T h \quad (16)$$

Giả sử $F^* = W^*{}^T h$ là giá trị ước lượng tối ưu khi sử dụng mạng nơ-ron RBF để xấp xỉ F , từ (11) với tín hiệu điều khiển $\tau = M \cdot \hat{F}$ ta có:

$$\ddot{e} = K_1 \dot{e} + K_2 e + \hat{W}^T h + \omega \quad (17)$$

Với $\omega = F - F^*$ là sai lệch xấp xỉ tối ưu và $\tilde{W} = W^* - \hat{W}$ sai lệch bộ trọng số hiện tại với bộ trọng số tối ưu.

Đặt $\xi = [e \quad \dot{e}]^T$, $A = \begin{bmatrix} \Theta_4 & I_4 \\ K_1 & K_2 \end{bmatrix}$ và $B = \begin{bmatrix} \Theta_4 \\ I_4 \end{bmatrix}$ với Θ_4 và I_4 lần lượt là ma trận không và ma trận đơn vị kích thước 4×4 , biểu thức (17) có thể viết lại thành:

$$\dot{\xi} = A\xi + B(\tilde{W}^T h + \omega) \tag{18}$$

Vì K_1 và K_2 được chọn sao cho đa thức đặc tính $H(s)$ là Hurwitz ta suy ra được ma trận A cũng là ma trận Hurwitz, từ đó với ma trận Q đối xứng xác định dương phương trình Lyapunov sau luôn tồn tại nghiệm P :

$$A^T P + PA = -Q \tag{19}$$

Chọn hàm Lyapunov có dạng:

$$V = \frac{1}{2} \xi^T P \xi + \frac{1}{2} \text{tr}(\tilde{W}^T \Gamma^{-1} \tilde{W}) \tag{20}$$

Với $\text{tr}(\cdot)$ là hàm lấy tổng đường chéo và Γ là ma trận hằng số xác định dương. Đạo hàm của hàm Lyapunov thu được:

$$\begin{aligned} \dot{V} &= \xi^T (A^T P + PA) \xi + \xi^T P B (\tilde{W}^T h + \omega) + \text{tr}(\tilde{W}^T \Gamma^{-1} \dot{\tilde{W}}) \\ &= -\xi^T Q \xi + \text{tr}(\tilde{W}^T (h \xi^T P B + \Gamma^{-1} \dot{\tilde{W}})) + \xi^T P B \omega \end{aligned} \tag{21}$$

Luật thích nghi cho mạng nơron được thiết kế thỏa mãn:

$$\dot{\tilde{W}} = \Gamma h \xi^T P B \tag{22}$$

Hay:

$$\hat{W} = -\Gamma h \xi^T P B \tag{23}$$

Sẽ khiến biểu thức đạo hàm của hàm Lyapunov trở thành

$$\dot{V} = -\xi^T Q \xi + \xi^T P B \omega \leq -|\xi|^2 \lambda_{\min} |P B \omega|_{\min} \tag{24}$$

Với λ_{\min} là trị riêng nhỏ nhất của Q . Khi $\xi \notin \Delta = \{|\xi| \leq \frac{|P B \omega|}{\lambda_{\min}}\}$ thì $\dot{V} < 0$, tức là ξ sẽ tiến về miền Δ chứa gốc 0 theo tiêu chuẩn Lyapunov từ đó có thể nói hệ ổn định ISS. Như vậy bằng cách thiết kế mạng nơron như trên, với luật thích nghi được cho bởi công thức (23), sự ổn định của hệ đã được chứng minh.

4. KẾT QUẢ MÔ PHỎNG

Để kiểm tra sự hiệu quả của bộ điều khiển, phần mô phỏng kiểm chứng sẽ được thực hiện trên Matlab Simulink với các thông số về đối tượng và bộ điều khiển như sau với hàm $\text{eye}(n)$ cho kết quả đầu ra mà ma trận đơn vị kích thước $n \times n$:

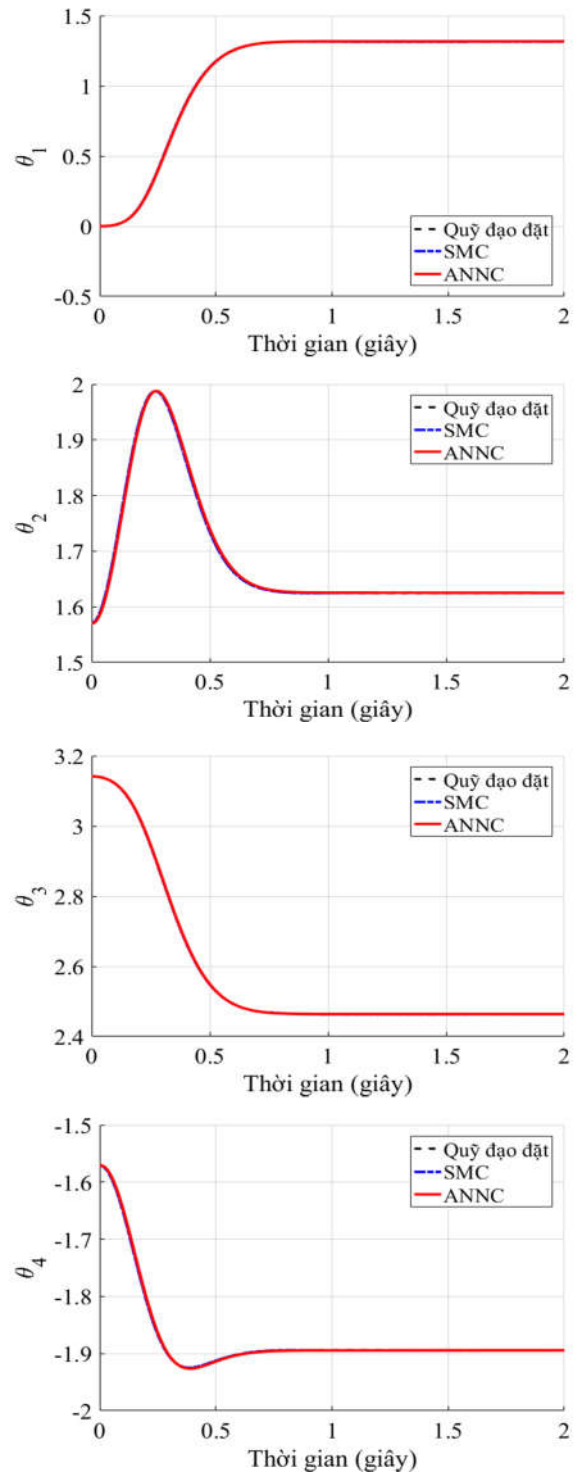
Bảng 1. Thông số mô phỏng của đối tượng và bộ điều khiển

$l_1 = l_2 = l_3 = l_4$	1,2[m]	$l_{c1} = l_{c2} = l_{c3} = l_{c4}$	0,48[m]
$m_1 = m_2 = m_3 = m_4$	1,5[kg]	$l_1 = l_2 = l_3 = l_4$	0,18[N.m]
l_0	1,2[m]	m	2[kg]
K_1	-25eye(4)	n	41
K_2	-10eye(4)	Γ	5000eye(n)
Q	2000eye(8)		

Kết quả mô phỏng sẽ được thể hiện qua hai trường hợp đồng thời bộ điều khiển thích nghi bù nhiễu sử dụng mạng nơron (ANNC) để xuất sẽ được so sánh với bộ điều khiển trượt (SMC) được thiết kế trong [4].

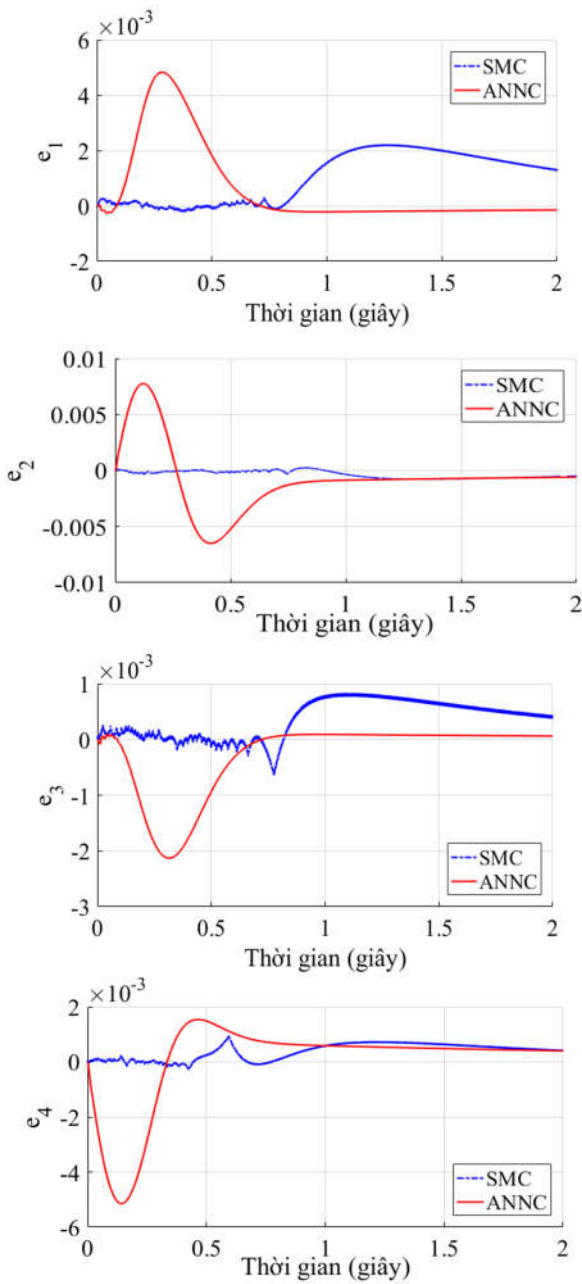
Trường hợp 1. Khi hệ thống không chịu ảnh hưởng lớn từ nhiễu đầu vào

- Đáp ứng trạng thái thu được



Hình 4. Đáp ứng trạng thái hệ thống khi hệ không chịu ảnh hưởng lớn từ nhiễu

• Sai lệch điều khiển:

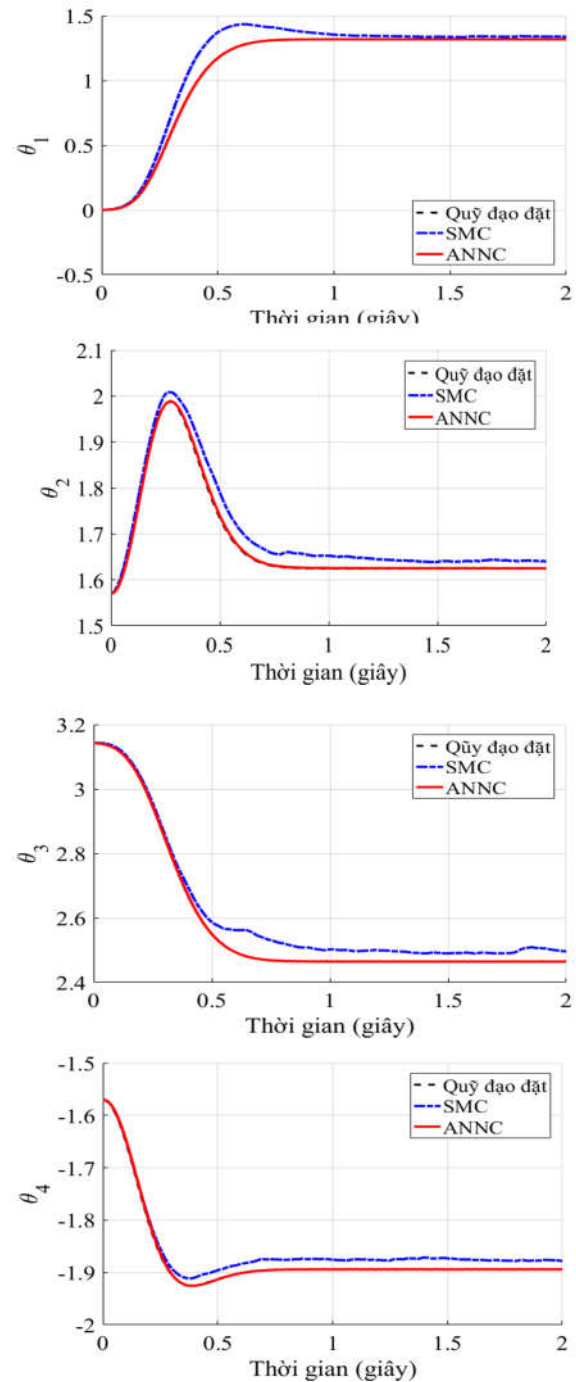


Hình 5. Sai lệch điều khiển khi hệ không chịu ảnh hưởng lớn từ nhiễu

Có thể thấy rằng cả bộ điều khiển bù nhiễu sử dụng mạng nơ-ron lẫn bộ điều khiển trượt đều có khả năng đưa các trạng thái hệ thống bám theo giá trị đặt với sai lệch bé. Do các trọng số của mạng yêu cầu thời gian để cập nhật nên trong vòng 1 giây đầu tiên, sai lệch mà bộ điều khiển sử dụng mạng nơ-ron có phần lớn hơn so với bộ điều khiển trượt. Tuy nhiên, sau khi các trọng số này đã được xác định, chất lượng bám mà bộ điều khiển đề xuất mang lại tốt hơn so với bộ điều khiển trượt đặt biệt ở khớp thứ nhất và khớp thứ ba.

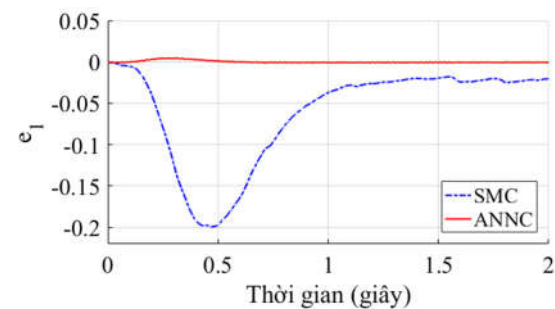
Trường hợp 2. Khi hệ thống chịu ảnh hưởng lớn từ nhiễu đầu vào

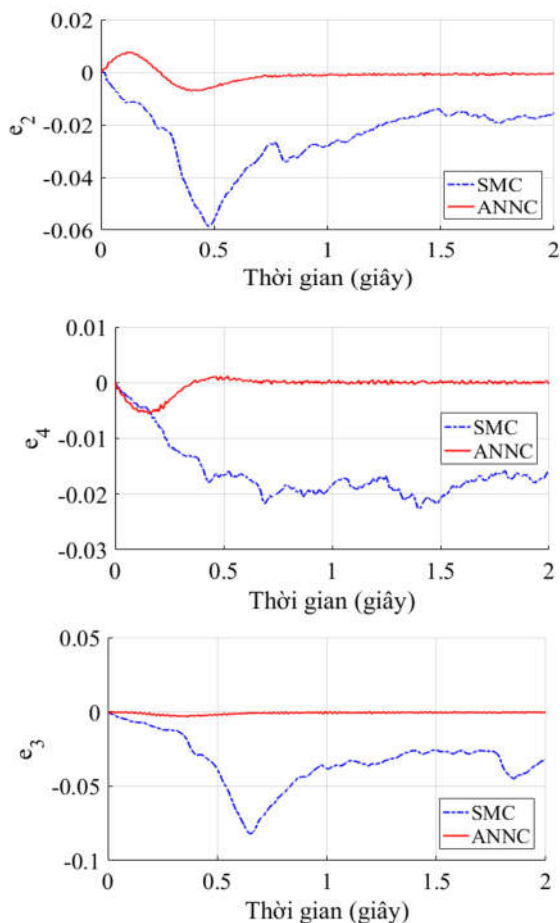
• Đáp ứng trạng thái thu được



Hình 6. Đáp ứng trạng thái hệ thống khi hệ chịu ảnh hưởng lớn từ nhiễu

• Sai lệch điều khiển





Hình 7. Sai lệch điều khiển khi hệ chịu ảnh hưởng lớn từ nhiễu

Trong trường hợp hệ chịu ảnh hưởng lớn bởi nhiễu, bộ điều khiển sử dụng mạng nơ-ron cho kết quả tốt hơn hẳn khi vẫn điều khiển được góc quay của các khớp bám theo quỹ đạo đặt trong khi với bộ điều khiển trượt, sai số điều khiển là tương đối nhiều. Điều này chứng tỏ với sự hỗ trợ của mạng nơ-ron, bộ điều khiển có khả năng loại bỏ phần lớn sự ảnh hưởng của nhiễu cũng như đảm bảo được chất lượng điều khiển theo yêu cầu.

5. KẾT LUẬN VÀ HƯỚNG PHÁT TRIỂN

Bài báo đã trình bày một phương pháp điều khiển bù nhiễu sử dụng mạng nơ-ron cho hệ thống hai cánh tay robot. Các kết quả mô phỏng cho thấy sự hiệu quả của mạng nơ-ron khi được sử dụng như một công cụ để tối thiểu hóa sự ảnh hưởng của nhiễu lên hệ thống. Kết quả so sánh với bộ điều khiển trượt cũng thể hiện tính vượt trội của phương pháp đề xuất trong nhiệm vụ hạn chế những tác động bên ngoài lên hệ thống và với công thức xác định bộ điều khiển không sử dụng đến hàm dấu, bộ điều khiển sử dụng mạng nơ-ron cũng đã loại bỏ được hiện tượng chattering tồn tại trong bộ điều khiển trượt. Để nâng cao hơn nữa khả năng xử lý của bộ điều khiển trong nhiều tình huống vận hành khác nhau, mạng nơ-ron cũng sẽ là công cụ thích hợp để xây dựng các thuật toán điều khiển dự báo cũng như điều khiển tối ưu mà vẫn giữ được khả năng đáp ứng tốt với những ảnh hưởng của nhiễu.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1]. Makris S., Tsarouchi P., Surdilovic D., Krüger J., 2014. *Intuitive dual arm robot programming for assembly operations*. CIRP Annals - Manufacturing Technology, vol. 63, no. 1, pp. 13-16.

[2]. Tsarouchi P., Makris S., Chryssolouris G., 2016. *On a Human and Dual-arm Robot Task Planning Method*. Procedia CIRP, vol. 57, pp. 551-555.

[3]. Makris S., Tsarouchi P., Matthaiakis A. S., Athanasatos A., Chatzigeorgiou X., Stefanos M., Giavridis M., Aivaliotis S., 2017. *Dual arm robot in cooperation with humans for flexible assembly*. CIRP Annals - Manufacturing Technology, vol. 66, no. 1, pp. 13-16.

[4]. Yagiz N., Hacıoglu Y., Arslan Y. Z., 2010. *Load transportation by dual arm robot using sliding mode control*. Journal of Mechanical Science and Technology, vol. 24, pp. 1177-1184.

[5]. Nguyen T. H., Tuan P. A., Khoa N. C., Uoc N. Q., Tuyen D. P., 2019. *Trajectory Tracking Control Design for Dual-Arm Robots Using Dynamic Surface Controller*. 2019 First International Symposium on Instrumentation, Control, Artificial Intelligence, and Robotics (ICA-SYMP).

[6]. Yiming J., Zhi L., Ci C., Yun Z., 2015. *Adaptive robust fuzzy control for dual arm robot with unknown input deadzone nonlinearity*. Nonlinear Dynamics, vol. 81, pp. 1301-1314.

[7]. Keqiang B., Minzhou L., Manlu L., Guanwu J., 2015. *Fuzzy Backstepping Control for Dual-Arm Cooperative Robot Grasp*. 2015 IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics (ROBIO).

[8]. Hacıoglu Y., Arslan Y. Z., Yagiz N., 2011. *MIMO fuzzy sliding mode controlled dual arm robot in load transportation*. Journal of the Franklin Institute, vol. 384, no. 8, pp. 1886-1902.

[9]. Tuan L. A., Joo Y. H., Tien L. Q., Duong P. X., 2017. *Adaptive Neural Network Second - order Sliding Mode Control of Dual Arm Robots*. International Journal of Control, Automation and Systems, vol. 15, pp. 2883-2891.

[10]. Jinkun L., 2013. *Radial Basis Function (RBF) Neural Network Control for Mechanical Systems*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg.

AUTHORS INFORMATION

Nguyen Ngoc Linh, Pham Ngoc Thanh, Hoang Duy
International School, Vietnam National University, Hanoi