

Điều khiển robot Scara trên cơ sở mạng nơ ron và điều khiển trượt

Ngô Trí Nam Cường*

Viện Kỹ thuật điện và Tự động hóa.

*Email: ncuong792000@gmail.com

Nhận bài: 10/7/2023; Hoàn thiện: 28/8/2023; Chấp nhận đăng: 10/10/2023; Xuất bản: 25/10/2023.

DOI: <https://doi.org/10.54939/1859-1043.j.mst.90.2023.65-70>

TÓM TẮT

Bài báo trình bày một phương pháp tổng hợp bộ điều khiển trượt bám quỹ đạo thích nghi cho robot Scara có tham số bất định trên cơ sở nhận dạng mô hình robot và điều khiển trượt. Phương trình động học của robot được nhận dạng bằng điều khiển thích nghi và mạng nơ ron và sử dụng kết quả nhận dạng để tổng hợp luật điều khiển trượt bám quỹ đạo robot Scara. Luật điều khiển thu được của bài báo có chất lượng bám tốt.

Từ khoá: Robot Scara; điều khiển thích nghi; Điều khiển trượt; Mạng nơ ron RBF.

1. MỞ ĐẦU

Robot SCARA được ứng dụng rộng rãi trong công nghiệp, công nghiệp nhựa, ngành công nghiệp ô tô, ngành công nghiệp điện tử và nhiều lĩnh vực khác. Yêu cầu của robot SCARA cần có độ chính xác cao, do vậy, phải có thuật toán điều khiển chính xác. Trong những năm gần đây, thuật toán điều khiển có chất lượng cao để điều khiển robot SCARA đã và đang được các nhà khoa học trong lĩnh vực tự động hóa quan tâm nghiên cứu. Điều khiển mờ [1], điều khiển chế độ trượt [2], điều khiển bền vững kết hợp logic mờ [3], điều khiển trên cơ sở mạng nơ-ron [4]. Kumar [5] đã sử dụng mạng RBF để giảm thiểu hiện tượng rung trong điều khiển chế độ trượt; Wang Hong [6] đề xuất điều khiển thích nghi bằng mạng RBF bù trừ các thành phần bất định; Li Min [7] điều khiển thích nghi bù lực ma sát dựa trên mạng nơ-ron mờ RBF; Li Xin [8], Qiu Zhi-cheng [9] đề xuất điều khiển thích nghi bù sai số mô hình và nhiễu trên cơ sở mạng nơ ron RBF; Điều khiển kết hợp giữa PID và mạng nơ ron perceptron [10]. Điều khiển bám quỹ đạo robot SCARA trên cơ sở học máy với các thuật toán học Regression và K-Nearest Neighbors [11]. Các công trình nói trên đã cho nhiều kết quả để nâng cao chất lượng điều khiển robot SCARA. Trong bài báo này trình bày một phương pháp tổng hợp bộ điều khiển trên cơ sở nhận dạng động học của robot SCARA bằng mạng nơ ron RBF và tổng hợp bộ điều khiển bám quỹ đạo sử dụng điều khiển trượt. Các kết quả nghiên cứu được mô phỏng kiểm chứng trên phần mềm Matlab-Simulink nhằm khẳng định tính hiệu quả của thuật toán điều khiển do bài báo đề xuất.

2. TỔNG HỢP HỆ THỐNG ĐIỀU KHIỂN ROBOT SCARA

2.1. Động lực học điều khiển robot Scara

Cấu trúc của robot Scara [12] được thể hiện trên hình 1.

Phương trình động lực học của robot Scara [12]:

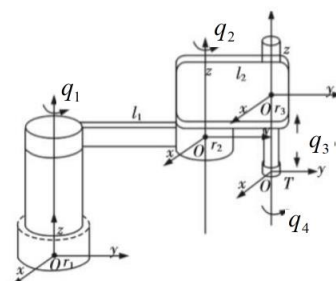
$$D(q)\ddot{q} + C(q, \dot{q})\dot{q} + G(q) = \tau, \quad (1)$$

trong đó: $q = [q_1, q_2, q_3, q_4]^T$ là véc tơ biến khớp;

$D(q) \in R^{4 \times 4}$ là ma trận quán tính;

$C(q, \dot{q}) \in R^{4 \times 4}$ là ma trận thành phần lực ly tâm và Coriolis; $G(p) \in R^{4 \times 1}$ là véc tơ thành phần lực trọng trường,

$\tau = [\tau_1, \tau_2, \tau_3, \tau_4]^T$ là véc tơ momen đầu vào; Các phần tử



Hình 1. Sơ đồ cấu trúc robot Scara.

của $D(q), C(q, \dot{q}), G(p)$:

$$D_{11} = \frac{1}{3}m_1l_1^2 + (\frac{1}{3}l_2^2 + l_1^2 + l_1l_2 \cos q_2)m_2 + (l_2^2 + l_1^2 + 2l_1l_2 \cos q_2)(m_3 + m_4) + \frac{1}{2}m_4r^2,$$

$$D_{12} = \frac{1}{3}m_2l_2^2 + \frac{1}{2}m_2l_1l_2 \cos q_2 + m_3l_1l_2 \cos q_2 + m_4l_2^2 + m_4l_1l_2 \cos q_2 + \frac{1}{2}m_4r^2,$$

$$D_{13} = 0, D_{14} = -\frac{1}{2}m_4r^2,$$

$$D_{21} = \frac{1}{3}m_2l_2^2 + \frac{1}{2}m_2l_1l_2 \cos q_2 + m_3l_1l_2 \cos q_2 + m_3l_2 + m_3l_1l_2 \cos q_2 + m_4l_2^2 + m_4l_1l_2 \cos q_2 + \frac{1}{2}m_4r^2,$$

$$D_{22} = \frac{1}{3}m_2l_2 + m_3l_2^2 + m_4l_2^2 + \frac{1}{3}m_4r^2, D_{23} = 0, D_{24} = -\frac{1}{2}m_4r^2;$$

$$D_{31} = 0, D_{32} = 0, D_{33} = m_3 + m_4, D_{34} = 0, D_{41} = \frac{1}{2}m_4r^2, D_{42} = \frac{1}{2}m_4r^2, D_{43} = 0, D_{44} = \frac{1}{2}m_4r^2;$$

$$C_{11} = -2(\frac{1}{2}m_2 + m_3 + m_4)l_1l_2 \sin q_2 \times \dot{q}_2, C_{12} = -(\frac{1}{2}m_2 + m_3 + m_4)l_1l_2, C_{13} = 0, C_{14} = 0;$$

$$C_{21} = \left(\frac{1}{2}m_2 + m_3 + m_4\right)l_1l_2 \sin q_2; G_1 = 0, G_2 = 0, G_3 = -(m_3 + m_4)g, G_4 = 0.$$

với, m_1, m_2, m_3, m_4 là khối lượng của các đoạn liên kết giữa các trục của robot, $g = 9,8$ gia tốc trọng trường.

Ma trận $D(q)$ có tính chất khả nghịch, phương trình (1) được viết lại dưới dạng:

$$\ddot{q} + D(q)^{-1}C(q, \dot{q})\dot{q} + D(q)^{-1}G(q) = D(q)^{-1}\tau, \quad (2)$$

Ta đặt: $x_1 = q_1, x_2 = \dot{x}_1 = \dot{q}_1; x_3 = q_2, x_4 = \dot{x}_3 = \dot{q}_2; x_5 = q_3, x_6 = \dot{x}_5 = \dot{q}_3; x_7 = q_4, x_8 = \dot{x}_7 = \dot{q}_4,$

$\mathbf{x} = [x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6, x_7, x_8]^T, \mathbf{u} = [u_1, u_2, u_3, u_4]^T = [\tau_1, \tau_2, \tau_3, \tau_4]^T$, ta viết lại phương trình (2) thành:

$$\dot{\mathbf{x}} = \bar{\mathbf{f}}(\mathbf{x}) + \mathbf{b}(\mathbf{x})\mathbf{u}, \quad (3)$$

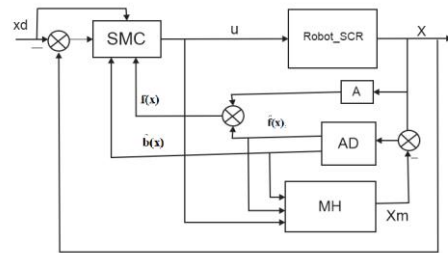
trong đó:

$$\bar{\mathbf{f}}(\mathbf{x}) = [x_1, \bar{f}_2(\mathbf{x}), x_2, \bar{f}_4(\mathbf{x}), x_3, \bar{f}_6(\mathbf{x}), x_7, \bar{f}_8(\mathbf{x})]^T, \quad (4)$$

$$\mathbf{b}(\mathbf{x}) = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ b_{21}(\mathbf{x}) & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & b_{42}(\mathbf{x}) & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & b_{63}(\mathbf{x}) & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & b_{84}(\mathbf{x}) \end{bmatrix}. \quad (5)$$

Trong bài báo này tổng hợp bộ điều khiển cho robot có phương trình (3) với các tham số không biết trước hay nói cách khác $\bar{\mathbf{f}}(\mathbf{x}), \mathbf{b}(\mathbf{x})$ bất định. Để tổng hợp bộ điều khiển cho (3) ta cần xác định $\bar{\mathbf{f}}(\mathbf{x}), \mathbf{b}(\mathbf{x})$ và tổng hợp bộ điều khiển trượt từ kết quả nhận dạng. Hệ thống điều khiển robot Scara do bài báo đề xuất được thể hiện ở hình 2.

Trong đó: SMC là bộ điều khiển trượt, AD là khối nhận dạng, MH là mô hình nhận dạng, A là ma trận kích thước $n \times n$.



Hình 2. Sơ đồ rút gọn hệ thống điều khiển robot Scara.

Sau đây, bài báo lần lượt trình bày phương pháp tổng hợp bộ điều khiển cho robot Scara.

2.2. Tổng hợp luật nhận dạng mô hình robot Scara

Phương trình (3) được viết lại dưới dạng:

$$\dot{\mathbf{x}} = \mathbf{Ax} + \mathbf{b}(\mathbf{x})\mathbf{u} + \bar{\mathbf{f}}(\mathbf{x}) - \mathbf{Ax}, \quad (6)$$

Trong đó, chọn \mathbf{A} là ma trận cố định và là ma trận Hurwitz.

Ta đặt:
$$\mathbf{f}(\mathbf{x}) = \bar{\mathbf{f}}(\mathbf{x}) - \mathbf{Ax}, \quad (7)$$

Nếu bằng cách nào đó ta xác định được $\mathbf{f}(\mathbf{x})$ ở (7) thì hoàn toàn xác định được $\bar{\mathbf{f}}(\mathbf{x})$ ở (4) và (3):

$$\bar{\mathbf{f}}(\mathbf{x}) = \mathbf{f}(\mathbf{x}) + \mathbf{Ax}. \quad (8)$$

Từ (7) ta viết lại (6):
$$\dot{\mathbf{x}} = \mathbf{Ax} + \mathbf{b}(\mathbf{x})\mathbf{u} + \mathbf{f}(\mathbf{x}). \quad (9)$$

Mô hình nhận dạng $\mathbf{f}(\mathbf{x}), \mathbf{b}(\mathbf{x})$ có dạng:
$$\dot{\mathbf{x}}_m = \mathbf{Ax}_m + \hat{\mathbf{b}}(\mathbf{x})\mathbf{u} + \hat{\mathbf{f}}(\mathbf{x}). \quad (10)$$

Trong đó, \mathbf{x}_m là véc tơ nhận dạng của mô hình, $\hat{\mathbf{b}}(\mathbf{x}), \hat{\mathbf{f}}(\mathbf{x})$ là đánh giá của $\mathbf{b}(\mathbf{x}), \mathbf{f}(\mathbf{x})$.

Biến đổi (9) và (10) ta được:
$$\dot{\mathbf{e}} = \mathbf{Ae} + \tilde{\mathbf{b}}(\mathbf{x})\mathbf{u} + \tilde{\mathbf{f}}(\mathbf{x}) \quad (11)$$

Trong đó:

$$\mathbf{e} = \mathbf{x} - \mathbf{x}_m \quad (12) \quad \tilde{\mathbf{f}}(\mathbf{x}) = \mathbf{f}(\mathbf{x}) - \hat{\mathbf{f}}(\mathbf{x}) \quad (13)$$

$$\tilde{\mathbf{b}}(\mathbf{x}) = \mathbf{b}(\mathbf{x}) - \hat{\mathbf{b}}(\mathbf{x}) \quad (14)$$

quá trình nhận dạng sẽ hội tụ khi $\tilde{\mathbf{f}}(\mathbf{x}) \rightarrow 0, \tilde{\mathbf{b}}(\mathbf{x}) \rightarrow 0$ và khi đó $\hat{\mathbf{f}}(\mathbf{x}) \rightarrow \mathbf{f}(\mathbf{x}), \hat{\mathbf{b}}(\mathbf{x}) \rightarrow \mathbf{b}(\mathbf{x})$ có nghĩa là (11) ổn định. Tiếp đến $\mathbf{f}(\mathbf{x}), \mathbf{b}(\mathbf{x}), \hat{\mathbf{f}}(\mathbf{x}), \hat{\mathbf{b}}(\mathbf{x})$ được biểu diễn qua mạng nơ ron RBF với hàm cơ sở $\Psi(\mathbf{x})$:

$$\Psi(\mathbf{x}) = \exp(-\|\mathbf{x} - \mathbf{c}\|^2 / 2\sigma^2). \quad (15)$$

Ta biểu diễn $\mathbf{f}(\mathbf{x})$ với trọng số lý tưởng $w_{ij}^* = const$ có các phần tử:

$$f_i(\mathbf{x}) = \sum_{j=1}^l w_{ij}^* \Psi_{ij}(\mathbf{x}) + \varepsilon_i, \quad i = \overline{1-8}, j = \overline{1-l}, \quad (16)$$

ε_i là sai số xấp xỉ, l là số hàm cơ sở, với số hàm cơ sở đủ lớn để $\varepsilon_i < \varepsilon_m$ cho trước.

Biểu diễn $\hat{\mathbf{f}}(\mathbf{x})$ với trọng số hiệu chỉnh \hat{w}_{ij} có các phần tử:

$$\hat{f}_i(\mathbf{x}) = \sum_{j=1}^l \hat{w}_{ij} \Psi_{ij}(\mathbf{x}), \quad i = \overline{1-8}, j = \overline{1-l}, \quad (17)$$

Biểu diễn $\mathbf{b}(\mathbf{x})$ với trọng số lý tưởng $v_{(ij)k}^* = const$ có các phần tử:

$$b_{ij}(\mathbf{x}) = \sum_{k=1}^l v_{(ij)k}^* \Psi_{(ij)k}(\mathbf{x}) + \varepsilon_{(ij)k}, \quad i = \overline{1-8}, j = \overline{1-4}, k = \overline{1-l}, \quad (18)$$

Biểu diễn $\hat{\mathbf{b}}(\mathbf{x})$ với trọng số lý tưởng $\hat{v}_{(ij)k}$ có các phần tử:

$$\hat{b}_{ij}(\mathbf{x}) = \sum_{k=1}^l \hat{v}_{(ij)k} \Psi_{(ij)k}(\mathbf{x}), \quad i = \overline{1-8}, j = \overline{1-4}, k = \overline{1-l}, \quad (19)$$

Các sai lệch giữa trọng số hiệu chỉnh và trọng số lý tưởng:

$$\tilde{w}_{ij} = w_{ij}^* - \hat{w}_{ij}, \quad i = \overline{1-8}, j = \overline{1-l}; \quad (20)$$

$$\tilde{v}_{(ij)k} = v_{(ij)k}^* - \hat{v}_{(ij)k}, \quad i = \overline{1-8}, j = \overline{1-4}, k = \overline{1-l}. \quad (21)$$

Từ (16-21) ta thấy rằng, nếu phương trình (11) ổn định thì $\tilde{\mathbf{f}}(\mathbf{x}) \rightarrow 0, \tilde{\mathbf{b}}(\mathbf{x}) \rightarrow 0$, và ta có thể (11) ổn định ở tài liệu [13] khi $\tilde{w}_{ij}, \tilde{v}_{(ij)k}$ thỏa mãn :

$$\dot{\tilde{w}}_{ij} = -\bar{\mathbf{P}}_i \mathbf{e} \Psi_{ij}(\mathbf{x}), i = \overline{1-8}, j = \overline{1-l}, \quad (22)$$

$$\dot{\tilde{v}}_{(ij)k} = -\mathbf{u} \bar{\mathbf{P}}_i \mathbf{e} \Psi_{(ij)k}(\mathbf{x}), i = \overline{1-8}, j = \overline{1-4}, k = \overline{1-l}, \quad (23)$$

trong đó, $\bar{\mathbf{p}}_i$ là hàng thứ i của ma trận đối xứng xác định dương $\mathbf{P}^{4 \times 4}$.

Từ (22) và (23) chú ý $w_{ij}^* = const, v_{(ij)k}^* = const$ ta có luật cập nhật trọng số:

$$\dot{\hat{w}}_{ij} = -\bar{\mathbf{P}}_i \mathbf{e} \Psi_{ij}(\mathbf{x}), i = \overline{1-8}, j = \overline{1-l}, \quad (24)$$

$$\dot{\hat{v}}_{(ij)k} = -\mathbf{u} \bar{\mathbf{P}}_i \mathbf{e} \Psi_{(ij)k}(\mathbf{x}), i = \overline{1-8}, j = \overline{1-4}, k = \overline{1-l}, \quad (25)$$

Như vậy, từ các biểu thức (24) và (25) ta đã có luật cập nhật trọng số của (17) và (19) điều đó có nghĩa là ta xác định được $\hat{\mathbf{f}}(\mathbf{x}), \hat{\mathbf{b}}(\mathbf{x})$ và khi đó $\mathbf{f}(\mathbf{x}), \mathbf{b}(\mathbf{x})$ được nhận dạng.

Từ (8),(17),(24), và (4) ta xác định được $\bar{\mathbf{f}}(\mathbf{x})$ với các phân tử:

$$\bar{f}_2(\mathbf{x}) \simeq \sum_{j=1}^l \hat{w}_{2j} \Psi_{2j}(\mathbf{x}) + \sum_{i=1}^8 a_{2i} x_i; \quad (26) \quad \bar{f}_4(\mathbf{x}) \simeq \sum_{j=1}^l \hat{w}_{4j} \Psi_{4j}(\mathbf{x}) + \sum_{i=1}^8 a_{4i} x_i; \quad (27)$$

$$\bar{f}_6(\mathbf{x}) \simeq \sum_{j=1}^l \hat{w}_{6j} \Psi_{6j}(\mathbf{x}) + \sum_{i=1}^8 a_{6i} x_i; \quad (28) \quad \bar{f}_8(\mathbf{x}) \simeq \sum_{j=1}^l \hat{w}_{8j} \Psi_{8j}(\mathbf{x}) + \sum_{i=1}^8 a_{8i} x_i. \quad (29)$$

Từ (19), (25) và (5) ta xác định được $\mathbf{b}(\mathbf{x})$ với các phân tử bất định:

$$\hat{b}_{21}(\mathbf{x}) = \sum_{k=1}^l \hat{v}_{(21)k} \Psi_{(21)k}(\mathbf{x}); \quad (30) \quad \hat{b}_{42}(\mathbf{x}) = \sum_{k=1}^l \hat{v}_{(42)k} \Psi_{(42)k}(\mathbf{x}); \quad (31)$$

$$\hat{b}_{63}(\mathbf{x}) = \sum_{k=1}^l \hat{v}_{(63)k} \Psi_{(63)k}(\mathbf{x}); \quad (32) \quad \hat{b}_{84}(\mathbf{x}) = \sum_{k=1}^l \hat{v}_{(84)k} \Psi_{(84)k}(\mathbf{x}). \quad (33)$$

Như vậy, ở mục này bài báo đã xây dựng luật nhận dạng các thành phần bất định của robot Scara, các kết quả nhận dạng được sử dụng để tổng hợp bộ điều khiển trượt sẽ trình bày trong phần tiếp theo sau đây.

2.3. Tổng hợp luật điều khiển trượt robot Scara

Từ các biểu thức nhận dạng (26-33) của $\bar{\mathbf{f}}(\mathbf{x}), \mathbf{b}(\mathbf{x})$ tiến hành tổng hợp bộ điều khiển trượt cho robot Scara. Véc tơ sai lệch giữa véc tơ tín hiệu đặt mong muốn \mathbf{x}_d và véc tơ trạng thái:

$$\tilde{\mathbf{x}} = \mathbf{x} - \mathbf{x}_d \quad (34)$$

$$\text{Ta chọn siêu mặt trượt } \mathbf{s} = [s_1, s_2, s_3, s_4]^T : \quad \mathbf{s} = \mathbf{c} \tilde{\mathbf{x}}, \quad (35)$$

Trong đó, ma trận $\mathbf{c} \in R^{4 \times 4}$ là ma trận tham số và là ma trận ổn định.

Luật điều khiển trượt như sau:

$$\mathbf{u}_{smc} = \mathbf{u}_{eq} + \mathbf{u}_s, \quad (36)$$

$$\text{Với:} \quad \mathbf{u}_{smc} = \begin{cases} \mathbf{u}_{eq} & \text{khi } \mathbf{s} = 0 \\ \mathbf{u}_s & \text{khi } \mathbf{s} \neq 0 \end{cases} \quad (37)$$

Thành phần \mathbf{u}_{eq} được tìm khi $\dot{\mathbf{s}} = 0$ chú ý tới (3) ta có:

$$\dot{\mathbf{s}} = \mathbf{c} \dot{\tilde{\mathbf{x}}} \rightarrow \mathbf{c} [\bar{\mathbf{f}}(\mathbf{x}) + \mathbf{b}(\mathbf{x}) \mathbf{u}_{eq} - \dot{\mathbf{x}}_d] = 0 \quad (38)$$

Từ (38) ta có:
$$u_{eq} = -[\mathbf{cb}(\mathbf{x})]^{-1} [\mathbf{c}\bar{\mathbf{f}}(\mathbf{x}) - \mathbf{c}\dot{\mathbf{x}}_d] \tag{39}$$

Thành phần \mathbf{u}_s được tìm từ điều kiện tồn tại chế độ trượt:

Chọn hàm Lyapunov cho siêu mặt trượt (35): $V = 0,5\mathbf{s}^T\mathbf{s}$, (40)

Đạo hàm hai vế của (40) ta được: $\dot{V} = \mathbf{s}^T\dot{\mathbf{s}}$, (41)

Điều kiện tồn tại chế độ trượt khi $\dot{V} < 0$.

Thay (35) vào (41) ta có: $\dot{V} = \mathbf{s}^T\mathbf{c}\dot{\mathbf{x}} < 0$, $\dot{V} = \mathbf{s}^T\mathbf{c}(\bar{\mathbf{f}}(\mathbf{x}) + \mathbf{b}(\mathbf{x})\mathbf{u}) < 0$, (42)

Tiếp tục thay (36) vào (42) ta được: $\dot{V} = \mathbf{s}^T\mathbf{c}(\bar{\mathbf{f}}(\mathbf{x}) + \mathbf{b}(\mathbf{x})\mathbf{u}_{eq} - \dot{\mathbf{x}}_d + \mathbf{b}(\mathbf{x})\mathbf{u}_s) < 0$ (43)

Thay (39) vào (43) ta có: $\dot{V} = \mathbf{s}^T\mathbf{cb}(\mathbf{x})\mathbf{u}_s < 0$, (44)

Để thỏa mãn (44) ta có:

$$\mathbf{u}_s = -[\mathbf{cb}(\mathbf{x})]^{-1} [\delta_1 \text{sgn}(s_1), \delta_2 \text{sgn}(s_2), \delta_3 \text{sgn}(s_3), \delta_4 \text{sgn}(s_4)]^T, \tag{45}$$

$\delta_i, i = 1-4$ là các hệ số dương nhỏ.

Từ (45) và (39) được đưa tới (36) ta có luật điều khiển của robot Scara. Như vậy, bài báo đã tổng hợp luật điều khiển trượt thích nghi cho robot công nghiệp Scara.

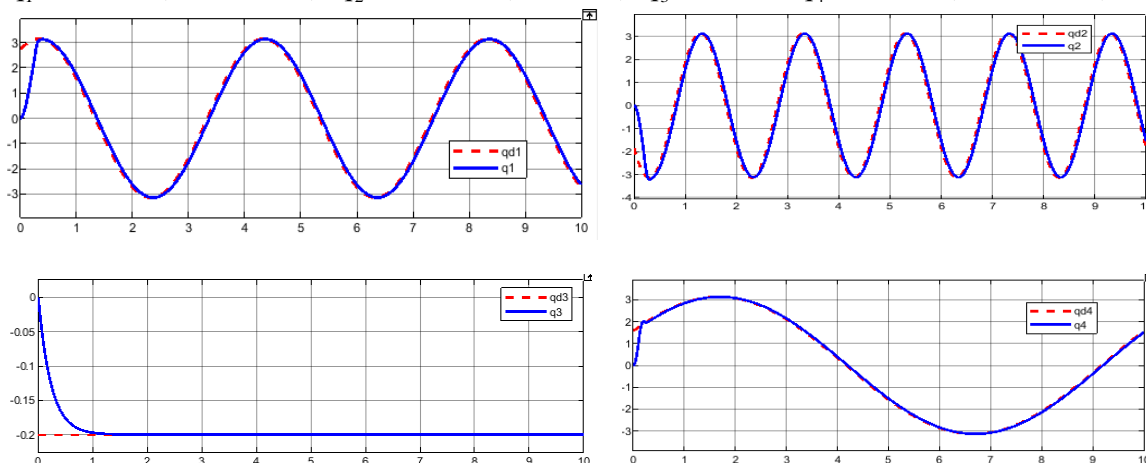
3. MÔ PHỎNG VÀ KIỂM CHỨNG KẾT QUẢ

Tham số mô hình robot Scara chưa biết giả sử có các tham số sau :

$$\begin{aligned} m_1 &= 3,8kg & m_2 &= 3,4kg & m_3 &= 2,5kg \\ m_4 &= 1kg & r &= 0,05m & l_1 &= l_2 = 0,4m \end{aligned}$$

Thực hiện mô phỏng trên phần mềm Matlab- Simulink với bộ điều khiển (36); tín hiệu đầu vào mong muốn $q_1^d, q_2^d, q_3^d, q_4^d$; q_1^d, q_2^d, q_4^d đơn vị rad, q_3^d đơn vị m;

$$q_1^d = 3,14\sin(0.5\pi t + \pi / 3); q_2^d = -3,14\sin(\pi t + \pi / 5); q_3^d = -0,2m; q_4^d = 3,14\sin(0.2\pi t + \pi / 6)$$



Hình 3. Kết quả mô phỏng bám tín hiệu đầu vào $q_1^d, q_2^d, q_3^d, q_4^d$ với bộ điều khiển (35).

Từ hình 3 cho ta thấy, các biến khớp của robot Scara bám chặt tín hiệu đầu vào đặt $q_1^d, q_2^d, q_3^d, q_4^d$. Kết quả mô phỏng đã một lần nữa khẳng định tính hiệu quả luật điều khiển robot Scara của bài báo.

4. KẾT LUẬN

Bài báo đã trình bày một phương pháp tổng hợp bộ điều khiển cho robot Scara có tham số mô hình bất định. Mô hình của robot được nhận dạng trên cơ sở lý thuyết điều khiển thích nghi và mạng nơ ron RBF. Tính ổn định của hệ thống điều khiển được chứng minh dựa trên định lý Lyapunov thứ 2. Kết quả mô phỏng cho thấy hiệu quả của bộ điều khiển, robot bám tốt quỹ đạo chuyển động mong muốn. Các kết quả nghiên cứu được mô phỏng trên phần mềm Matlab- Simulink đã minh chứng tính đúng đắn của phương pháp điều khiển robot Scara do bài báo đề xuất.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. ZHANG Tie, LI Chang-da, QIN Bin-bin, "Adaptive Iterative Learning Trajectory Tracking Control of SCARA Robots", China Mechanical Engineering, (14) pp. 1724-1729, (2018).
- [2]. Hu J F, Cui X F, Li P, "Vibration suppression of flexible parallel manipulator based on sliding mode control with reaching law", Applied Mechanics & Materials, 160, pp. 30-34, (2012).
- [3]. Labiod S, Boucherit M S, Guerra T M, "Adaptive fuzzy control of a class of MIMO nonlinear systems", Fuzzy Sets & Systems, 151 (1), pp. 59-77, (2005).
- [4]. TAO Y, Zheng J, LIN Y. A, "Sliding mode control-based on a RBF neural network for deburring industry robotic systems", International Journal of Advanced Robotic Systems, 13, pp. 1-8, (2016).
- [5]. Kumar N, Borm J H, Panwar V, "Tracking control of redundant robot manipulators using RBF neural network and an adaptive bound on disturbances", International Journal of Precision Engineering & Manufacturing, 13 (8), pp. 1377-1386, (2012).
- [6]. WANG Hong, ZHENG Tianqi, "RBF network adaptive control of six-axis manipulator based on sliding mode compensation", Journal of Northeastern University (Natural Science), pp. 1601-1606, (2017).
- [7]. LI Min, WANG Jia-xu, XIAO Ke, "Digital robust sliding mode control algorithm for robot based on dynamic friction block compensation of fuzzy RBF neural network", China Mechanical Engineering, pp. 2792-2796, (2012).
- [8]. LI Xin, YANG Kai-ming, ZHU Yu, "Adaptive Control of Modeling Error Compensation for Manipulators Based on RBF", Journal of System Simulation, pp. 1474-1484, (2017).
- [9]. QIN Zhi-cheng, XU Yan-fei, "Vibration control of rotating flexible articulated beam based on adaptive RBF fuzzy neural network", Vibration and Shock, pp.89-95, (2016).
- [10]. E. O. Freire, F. G. Rossomando and C. M. Soria, "Self-tuning of a Neuro-Adaptive PID Controller for a SCARA Robot Based on Neural Network", IEEE Latin America Transactions, vol. 16, no. 5, pp. 1364-1374.
- [11]. M. A. Devi, P. D. Jadhav, N. Adhikary, P. S. Hebbar, M. Mohsin and S. K. Shashank, "Trajectory Planning & Computation of Inverse Kinematics of SCARA using Machine Learning", 2021 International Conference on Artificial Intelligence and Smart Systems (ICAIS), Coimbatore, India, pp. 170-176, (2021).
- [12]. Bing Xiel, Yuming Qi2, and Weihua Su, "RBF Network Adaptive Control of SCARA Robot Based on Fuzzy Compensation", 2020 International Conference on Applied Physics and Computing, pp.1-17.
- [13]. Ngô Trí Nam Cường, "Tổng hợp bộ điều khiển thích nghi cho một lớp đối tượng phi tuyến trên cơ sở điều khiển trượt và mạng nơ ron", Tạp chí Khoa học & Kỹ thuật/Học viện kỹ thuật quân sự, Số 188, trang 123-133, (2018).

ABSTRACT

Controlling the Scara robot based on neural network and sliding mode control

The paper presents an adaptive sliding mode control synthesis method for a Scara robot with uncertain parameters based on robot model identification and sliding control. The robot's dynamic equation is identified using adaptive control and neural network techniques, and the identification results are used to synthesize a trajectory-tracking sliding mode control system for the Scara robot. The control law obtained from the article has a good trajectory tracking quality.

Keywords: Scara robot; Adaptive control; Sliding mode control; RBF neural network.