

LIÊN NGÀNH ĐIỆN - ĐIỆN TỬ - TỰ ĐỘNG HÓA

Phân tích động học ngược cho tay máy robot hàn 6 bậc tự do	5	Dương Văn Toàn Ninh Nguyễn Tấn Tại Nguyễn Văn Cường Nguyễn Trọng Các
Điều khiển bền vững thích nghi trên cơ sở mờ Neron điều khiển cho tay máy robot	13	Nguyễn Phương Ty Vũ Thị Yến Nguyễn Thị Thảo Nguyễn Thị Phương
Điều khiển truyền động động cơ không đồng bộ ba pha theo phương pháp tựa theo vectơ từ thông rôto (foc)	20	Phạm Văn Tuấn Hoàng Thị Phượng Đặng Văn Tuệ

LIÊN NGÀNH CƠ KHÍ - ĐỘNG LỰC

Nghiên cứu đặc tính tốc độ của động cơ diesel hiện đại	28	Vũ Thành Trung Ngô Thị Mỹ Bình
Nghiên cứu ảnh hưởng của tốc độ đến khả năng hồi phục mòn của phụ gia nano TiO_2 trong dầu bôi trơn	34	Nguyễn Đình Cường
Nghiên cứu sự ảnh hưởng của phương pháp lấy mẫu đến chất lượng của phương pháp Monte Carlo	40	Đào Đức Thụ
Nghiên cứu ảnh hưởng của chế độ miết ép đến ứng suất dư của chi tiết máy	45	Nguyễn Văn Hình

NGÀNH TOÁN HỌC

Điều kiện đủ tối ưu cho bài toán điều khiển tối ưu của hệ phương trình g-Navier-Stokes hai chiều	51	Nguyễn Viết Tuấn Lưu Trọng Đại Lê Thị Liễu
--	----	--

NGÀNH KINH TẾ

Giải pháp nâng cao hiệu quả thực thi các công cụ chính sách tiền tệ trong giai đoạn hiện nay	58	Nguyễn Thị Quỳnh Vũ Thị Lý
Nguồn nhân lực Việt Nam - góc nhìn từ thực trạng giáo dục phổ thông	67	Phạm Thị Hồng Hoa Nguyễn Thị Tình

TẠP CHÍ
NGHIÊN CỨU KHOA HỌC
ĐẠI HỌC SAO ĐỎ

TRONG SỐ NÀY
SỐ 1(76) 2022

NGÀNH KINH TẾ

- Tác động của đại dịch COVID-19 đến hoạt động sản xuất kinh doanh và báo cáo tài chính của doanh nghiệp 76 Đinh Thị Kim Thiết
- Các nhân tố ảnh hưởng đến thu nhập của các hộ trồng chè: Nghiên cứu trường hợp tỉnh Thái Nguyên, Việt Nam 84 Trần Thị Quý Chinh
Nguyễn Thị Ngọc Mai

NGÀNH GIÁO DỤC HỌC

- Áp dụng các hoạt động ngoại khóa trong dạy học Tiếng Anh nhằm nâng cao kỹ năng giao tiếp cho sinh viên Trường Đại học Sao Đỏ 92 Vũ Thị Lương
Trịnh Thị Chuyên

LIÊN NGÀNH TRIẾT HỌC - XÃ HỘI HỌC - CHÍNH TRỊ HỌC

- Giảng dạy Triết học Mác - Lênin trong bối cảnh Cách mạng công nghiệp 4.0 100 Nguyễn Thị Nhan
- Tư tưởng Hồ Chí Minh về xây dựng Đảng và sự vận dụng của Đảng bộ thành phố Chí Linh hiện nay 106 Phạm Xuân Đức
- Xây dựng và phát triển con người theo tinh thần Đại hội XIII của Đảng - liên hệ trong giảng dạy học phần Triết học Mác - Lênin tại Trường Đại học Sao Đỏ 113 Đỗ Thị Thùy
Đặng Thị Dung
- Tác động của chính sách an sinh xã hội đến lao động và việc làm trong đại dịch COVID-19 tại Việt Nam 120 Nguyễn Minh Tuấn
Phạm Xuân Đức

TITLE FOR ELECTRICITY - ELECTRONICS - AUTOMATION

Inverse kinematics analysis of six degrees of freedom of a welding robot arm	5	Duong Van Toan Ninh Nguyen Tan Tai Nguyen Van Cuong Nguyen Trong Cac
Adaptive robust control based on fuzzy neural network control robot manipulator	13	Nguyen Phuong Ty Vu Thi Yen Nguyen Thi Thao Nguyen Thi Phuong
The controlling methods for three-phase asynchronous mô tơ models based on foc roto	20	Pham Van Tuan Hoang Thi Phuong Dang Van Tue

TITLE FOR MECHANICAL AND DRIVING POWER ENGINEERING

Research on performance characteristics of modern diesel engine	28	Vu Thanh Trung Ngo Thi My Binh
Research influence of speed on self-repair of TiO ₂ nanoparticles as lubricating	34	Nguyen Dinh Cuong
Study on the effects of sampling method on the quality of Monte Carlo method	40	Dao Duc Thu
Research on the influence of mode oscillating smoothing on the residual stresses of machine parts	45	Nguyen Van Hinh

TITLE FOR MATHEMATICS

Sufficient optimality conditions for the optimal control problem of 2D g-Navier-Stokes equations	51	Nguyen Viet Tuan Luu Trong Dai Le Thi Lieu
--	----	--

TITLE FOR ECONOMICS

Solutions to improve the effectiveness of monetary policy tools in the current period	58	Nguyen Thi Quynh Vu Thi Ly
Vietnam's human resources in terms of achievement in general education	67	Pham Thi Hong Hoa Nguyen Thi Tinh

TITLE FOR ECONOMICS

- | | | |
|---|----|---|
| The impact of the COVID-19 pandemic on enterprises's business activities and presentation of financial statements | 76 | Dinh Thi Kim Thiet |
| Factors Affecting to Tea-growing Household's Income: A Case Study in Thai Nguyen Province | 84 | Tran Thi Quy Chinh
Nguyen Thi Ngoc Mai |

TITLE FOR STUDY OF EDUCATION

- | | | |
|---|----|----------------------------------|
| Applying extracurricular activities in teaching English to improve communication ability for Sao Do University's students | 92 | Vu Thi Luong
Trinh Thi Chuyen |
|---|----|----------------------------------|

TITLE FOR PHILOSOPHY - SOCIOLOGY - POLITICAL SCIENCE

- | | | |
|--|-----|-----------------------------------|
| Teaching Marxist-Leninist Philosophy in the context of Industrial Revolution 4.0 | 100 | Nguyen Thi Nhan |
| Ho Chi Minh's thought on Party building and the application of the Party Committee of Chi Linh City today | 106 | Pham Xuan Duc |
| Teaching the Marxist-Leninist Philosophy module at Sao Do University on human construction and development in the light of the XIII Party Congress | 113 | Do Thi Thuy
Dang Thi Dung |
| Impacts of social security policies on labor and employment during the COVID-19 pandemic in Vietnam | 120 | Nguyen Minh Tuan
Pham Xuan Duc |

Điều khiển bền vững thích nghi trên cơ sở mờ Nơron điều khiển cho tay máy robot

Adaptive robust control based on fuzzy neural network control robot manipulator

Nguyễn Phương Ty¹, Vũ Thị Yến², Nguyễn Thị Thảo¹, Nguyễn Thị Phương¹

Email: tynp2109@gmail.com

¹Trường Đại học Sao Đỏ

²Trường Đại học Công nghiệp Hà Nội

Ngày nhận bài: 11/01/2022

Ngày nhận bài sửa sau phản biện: 29/3/2022

Ngày chấp nhận đăng: 31/3/2022

Tóm tắt

Bài báo này đưa ra bộ điều khiển bền vững thích nghi mờ nơron điều khiển cho tay máy robot để cải thiện độ chính xác của điều khiển bám. Để giải quyết thành phần bất định của hệ thống robot, bộ điều khiển AFRNNs được sử dụng để xấp xỉ thành phần chưa rõ của động học robot. Ngoài ra, bộ điều khiển trượt SMC được xây dựng để tối ưu các tham số vectơ, bù sai lệch xấp xỉ. Tất cả các tham số của bộ điều khiển đưa ra được xác định bằng thuyết ổn định Lyapunov. Vì thế, khả năng ổn định, bền vững và hiệu suất bám yêu cầu của AFRNNs cho tay máy robot được đảm bảo. Hơn thế nữa, mô phỏng hoạt động của bộ điều khiển được thực hiện trên robot hai link để chứng minh tính bền vững và hiệu quả của bộ điều khiển ARFNNs.

Từ khóa: Điều khiển trượt; điều khiển thích nghi bền vững; điều khiển mờ; mạng nơron, tay máy robot.

Abstract

This paper proposed an Adaptive Robust Fuzzy Neural Networks (ARFNNs) control for robot manipulators to improve accuracy of the tracking control. To deal with the unknown knowledge of the system, the ARFNNs are used to approximate the unknown dynamics. In addition, the robust SMC is constructed to optimize parameter vectors, compensate the approximation error. All the parameters of the proposed control system are determined by Lyapunov stability theorem. Therefore, the stability, robustness, and desired tracking performance of ARFNNs for robot manipulator are guaranteed. Moreover, the simulations performed on two-link robot manipulator to prove the robustness and efficiency of the ARFNNs.

Keywords: Sliding mode control; robust adaptive control; fuzzy logic control; neural networks; robot manipulator.

CHỮ VIẾT TẮT

SMC: Sliding Mode Control;

ARFNNs: Adaptive Robust Fuzzy Neural Networks;

RBFNN: Radial Basis Function Neural Network.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Robot công nghiệp là một trong những đối tượng được sử dụng phổ biến và mang lại hiệu quả cao trong sản xuất, sinh hoạt,... đồng thời cũng là đối tượng có tính phi tuyến mạnh, có các tham số bất định lớn và chịu sự tác động của nhiễu. Song song với việc nâng cao độ chính xác trong các khâu lắp ghép cơ khí thì điều khiển cũng là một vấn đề hết sức quan trọng để cải thiện chất lượng làm việc của robot. Do đó, để thiết kế

một bộ điều khiển phù hợp là một thách thức lớn cần được giải quyết. Để giải quyết thách thức đó, đã có nhiều bộ điều khiển được nghiên cứu và đưa ra như bộ điều khiển PID, bộ điều khiển thích nghi, bộ điều khiển trượt...[1-6]. Điều khiển thích nghi là bài toán tổng hợp bộ điều khiển nhằm giữ hệ thống luôn ổn định, dù trong quá trình làm việc xuất hiện nhiễu không mong muốn, có sự thay đổi cấu trúc hoặc tham số không biết trước của đối tượng điều khiển. Khi có sự thay đổi của đối tượng bộ điều khiển sẽ tự chỉnh định cấu trúc và tham số nhằm đảm bảo chất lượng hệ thống không đổi [6]. Điều khiển trượt được biết đến như một phương pháp điều khiển phi tuyến bền vững đơn giản, hiệu quả. Phương pháp điều khiển này ít nhạy với sự biến đổi của các thông số hệ thống, có khả năng kháng nhiễu tốt, đáp ứng động học nhanh. Tuy nhiên, chuyển động bám mặt trượt thường tồn tại hiện tượng quỹ đạo trạng thái của hệ dao động tần số cao quanh mặt

Người phản biện: 1. GS. TSKH. Thân Ngọc Hoàn

2. PGS. TS. Bùi Đăng Thành

trượt. Mặt khác thiết kế điều khiển trượt yêu cầu phải biết trước mô hình toán học của hệ động học cũng như các điều kiện biên khác [4]. Để giải quyết bài toán này, trong những năm gần đây, bộ điều khiển thông minh trên cơ sở logic mờ và mạng nơron để điều khiển vị trí của tay máy robot được quan tâm. Bộ điều khiển mờ là một công cụ hiệu quả trong việc xấp xỉ hệ thống phi tuyến [7-12]. Trong [8] một bộ điều khiển mờ trên cơ sở điều khiển bền vững thích nghi điều khiển cho tay máy robot. Ở đây, logic mờ được sử dụng để xấp xỉ thành phần chưa rõ của động học robot. Bộ điều khiển đã đảm bảo được hiệu quả bám và sai lệch bám theo yêu cầu. Tuy nhiên, luật của bộ điều khiển mờ được xây dựng dựa trên kinh nghiệm của người thiết kế. Vì thế, bằng những kinh nghiệm đó nhiều khi chưa đủ và rất khó để xây dựng được luật điều khiển tối ưu. Để giải quyết vấn đề này, bộ điều khiển nơron được đưa ra [10-12]. Trong [11], một bộ điều khiển bền vững thích nghi trên cơ sở của mạng nơron đã được đưa ra để điều khiển cho tay máy robot. Ở đây, bộ điều khiển đưa ra đã kế thừa những thuận lợi của bộ điều khiển nơron đó là khả năng học online trong quá trình làm việc. Tuy nhiên bộ điều khiển nơron khi áp dụng cho các hệ thống lớn thì khối lượng tính toán nhiều và rất phức tạp. Để giải quyết khó khăn này bài báo đã đưa ra bộ điều khiển bền vững thích nghi mờ nơron trên cơ sở kết hợp những ưu điểm của bộ điều khiển mờ và bộ điều khiển nơron. Do đó, khi áp dụng bộ điều khiển này vào điều khiển robot hiệu quả bám, tốc độ hội tụ đã được cải thiện đáng kể.

2. ĐỘNG LỰC HỌC ROBOT

Xét phương trình động lực học của tay máy n bậc tự do [11]:

$$M(q)\ddot{q} + C(q, \dot{q})\dot{q} + G(q) + \tau_d = \tau \tag{1}$$

Trong đó:

Các biến $q, \dot{q}, \ddot{q} \in R^{n \times 1}$ lần lượt là vị trí, tốc độ, gia tốc góc của các khớp. Vector $\tau \in R^{n \times 1}$ là vector mômen (lực) tác động lên các khớp. Ma trận $M(q) \in R^{n \times n}$ là ma trận quán tính. Ma trận $C(q, \dot{q}) \in R^{n \times n}$ là ma trận ly tâm và Coriolis. Vector $G(q) \in R^{n \times n}$ là một vector mô tả thành phần trọng lượng. Vector $\tau_d \in R^{n \times 1}$ là vector nhiễu. Để thiết kế bộ điều khiển chúng ta đưa ra một số tính chất cho (1) như sau:

Tính chất 1: Ma trận khối lượng suy rộng $M(q)$ là một ma trận đối xứng và xác định dương

$$M(q) \leq m_o I \tag{2}$$

Ở đây:

$$m_o > 0 \text{ và } m_o \in R.$$

Tính chất 2: $\dot{M}(q) - 2C(q, \dot{q})$ là ma trận đối xứng lệch cho vector x bất kỳ:

$$x^T [\dot{M}(q) - 2C(q, \dot{q})] x = 0 \tag{3}$$

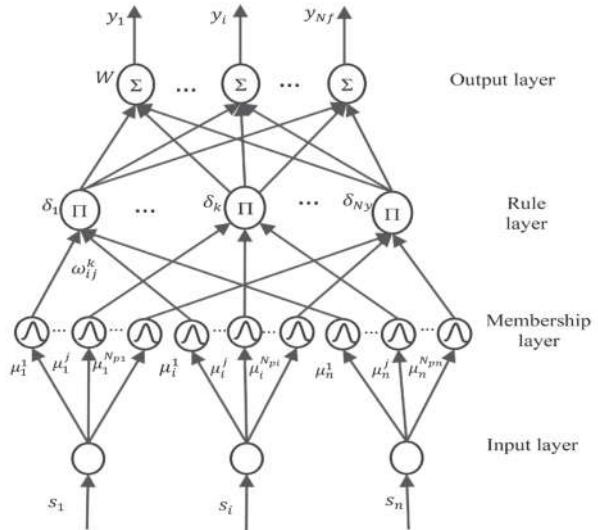
Tính chất 3: $C(q, \dot{q})\dot{q}$ được giới hạn theo:

$$\|C(q, \dot{q})\dot{q}\| \leq C_k \|\dot{q}\|^2 \tag{4}$$

Ở đây:

C_k là hằng số dương.

3. CẤU TRÚC BỘ ĐIỀU KHIỂN FNNS



Hình 1. Cấu trúc bộ điều khiển FNNS

Bộ điều khiển FNNS có cấu trúc như Hình 2 có 4 lớp gồm:

Lớp 1 là lớp đầu vào (Input layer): Gồm các biến ngôn ngữ đầu vào $S_1, S_2, \dots, S_i, \dots, S_n$.

Lớp thứ 2 là lớp hàm liên thuộc (Membership): Mờ hóa tín hiệu đầu vào theo hàm cơ sở Gaussian.

$$\mu_i^j(s_i) = \exp[-(s_i - m_i^j)^2 / (b_i^j)^2] \tag{5}$$

Trong đó:

m_i^j và b_i^j ($i = 1, \dots, n; j = 1, \dots, N_{P_i}$) tương ứng là các tham số của hàm Gaussian của hàm liên thuộc thứ j của biến ngôn ngữ đầu vào thứ i .

$$m = [m_1^1 \dots m_1^{N_{P1}} \ m_2^1 \dots m_2^{N_{P2}} \ \dots \ m_n^1 \dots m_n^{N_{Pn}}]^T \in R^{N_r \times 1}$$

Và

$$b = [b_1^1 \dots b_1^{N_{P1}} \ b_2^1 \dots b_2^{N_{P2}} \ \dots \ b_n^1 \dots b_n^{N_{Pn}}]^T \in R^{N_r \times 1}$$

Ở đây:

$N_r = \sum_{i=1}^n N_{P_i}$ biểu diễn toàn bộ số hàm liên thuộc của biến ngôn ngữ đầu vào thứ i .

Lớp 3 là lớp luật (Rule layer).

$$\delta_k = \prod_{i=1}^n \omega_{ij}^k \mu_i^j(s_i) \tag{6}$$

Trong đó:

δ_k ($k = 1, \dots, N_y$) là đầu ra thứ k của lớp luật;

ω_{ij}^k là trọng số giữa lớp luật và lớp hàm liên thuộc;

N_y là toàn bộ số luật.

Lớp 4 là lớp đầu ra (Output layer): Trong lớp này mỗi một nơron biểu diễn một biến ngôn ngữ đầu ra. Mỗi một nơron $y_f (f = 1, \dots, N_f)$.

Đầu ra của một nơron sẽ được tính như sau:

$$y_f = \sum_1^{N_f} w_k^f \delta_k \quad (7)$$

Công thức (7) có thể được viết lại như sau:

$$y = [y_1 y_2 \dots y_{N_f}]^T = W \delta = y_{FNNs}(s, W, m, b) \quad (8)$$

Với:

$$W = [w_1 w_2 \dots w_{N_f}]^T \quad (9)$$

$$\delta = [\delta_1 \delta_2 \dots \delta_{N_f}]^T \quad (10)$$

Ở đây:

$$w_i = [w_1^i w_2^i \dots w_{N_f}^i]$$

Sau đây, chúng ta sử dụng bộ điều khiển FNNs này giống như một xấp xỉ trong bộ điều khiển đã được thiết kế. Khi đó sẽ tồn tại một hàm FNNs tối ưu với các tham số tối ưu như sau:

$$y(s(t)) = W^{*T} \delta^*(s(t), m^*, b^*) + \Delta(s(t)) \quad (11)$$

Ở đây:

W^*, m^*, b^* là các tham số tối ưu của W, m, b , tương ứng, $\Delta(s(t))$ là vector sai lệch xấp xỉ.

Giả thiết 1: Giới hạn của tham số tối ưu bộ điều khiển FNNs:

$$\|W^*\| \leq \Gamma_w, \|m^*\| \leq \Gamma_m, \|b^*\| \leq \Gamma_b \quad (12)$$

Ở đây:

$\Gamma_w, \Gamma_m, \Gamma_b$ là các giá trị thực dương.

Giả thiết 2: Sai lệch xấp xỉ được giới hạn:

$$\|\Delta^*\| \leq \Gamma_\Delta \quad (13)$$

Ở đây:

Γ_Δ là giá trị thực dương.

Đầu ra của bộ điều khiển FNNs là giá trị xấp xỉ và được tính theo công thức sau:

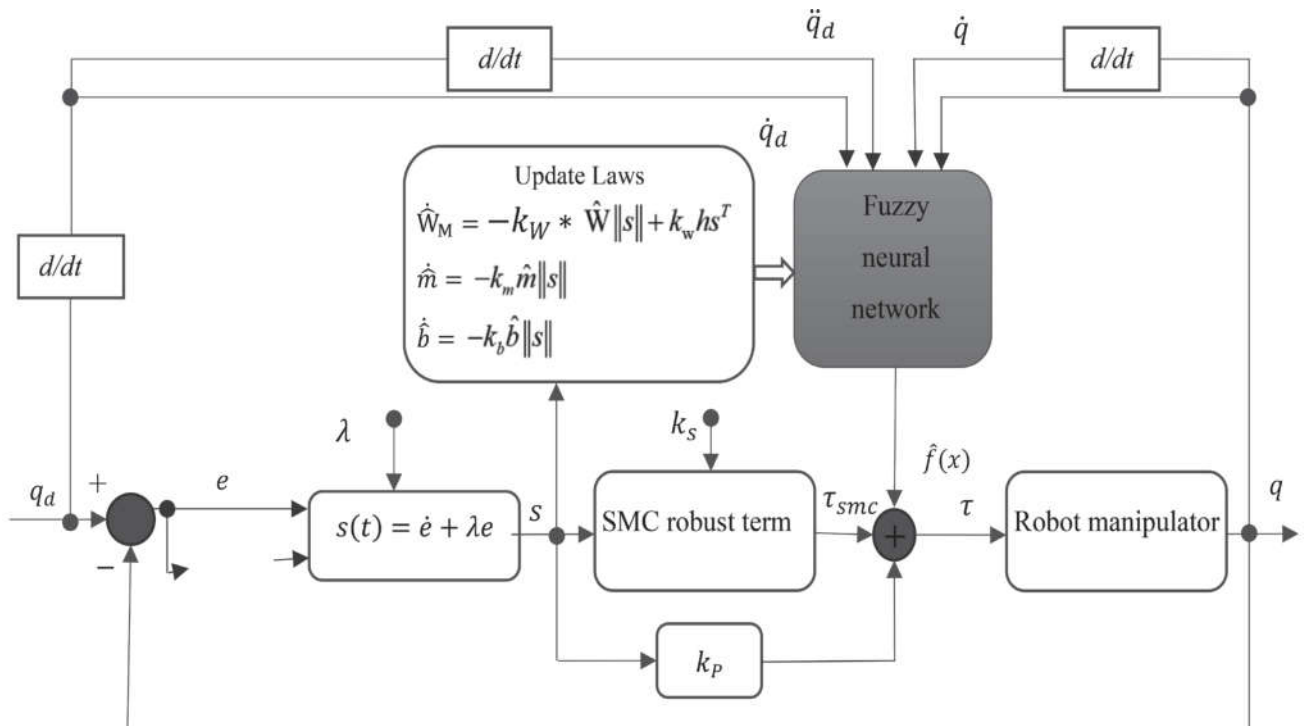
$$\hat{y} = \hat{W}^T \hat{\delta}(s(t), \hat{m}, \hat{b}) \quad (14)$$

Trong đó:

$\hat{y}, \hat{W}, \hat{m}, \hat{b}$ là giá trị xấp xỉ của .

4. THIẾT KẾ BỘ ĐIỀU KHIỂN ARFNNs

Mục đích thiết kế bộ điều khiển để khi robot dưới sự tác động của lực τ thì sai lệch bám giữa vị trí mong muốn của các khớp q_d với vector vị trí thực tế của robot q có thể được hội tụ về 0 khi $t \rightarrow \infty$. Cấu trúc của bộ điều khiển robot được thiết kế như Hình 2:



Hình 2. Cấu trúc hệ thống điều khiển robot công nghiệp

$e(t), \dot{e}(t)$ tương ứng là sai lệch vị trí và sai lệch vận tốc. Luật thích nghi sẽ được xác định như sau:

$$e(t) = q_d - q \quad (15)$$

$$s(t) = \dot{e} + \lambda e \quad (16)$$

Ở đây:

$\lambda = \text{diag}(\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n)$ là ma trận khuếch đại hằng số dương.

Từ công thức (1) có thể viết lại như sau:

$$M(q)(\ddot{q}_d - \ddot{e}) + C(q, \dot{q})(\dot{q}_d - \dot{e}) + G(q) + \tau_d = \tau$$

$$M(q)(\ddot{q}_d + \lambda \dot{e} - \dot{s}) + C(q, \dot{q})(\dot{q}_d + \lambda e - s) + G(q) + \tau_d = \tau$$

$$M\dot{s} + Cs = M(q)(\ddot{q}_d + \lambda \dot{e}) + C(q, \dot{q})(\dot{q}_d + \lambda e) + G(q) - \tau_d - \tau$$

$$M\dot{s} + Cs = f - \tau$$

Ở đây:

$$f = M(q)(\ddot{q}_d + \lambda \dot{e}) + C(q, \dot{q})(\dot{q}_d + \lambda e) + G(q) - \tau_d$$

Từ sơ đồ cấu trúc hệ thống điều khiển robot Hình 3 ta có:

$$\tau = \hat{f} + \tau_{smc} + k_p s$$

Trong đó:

\hat{f} tín hiệu đầu ra của bộ điều khiển ARFNNs;

τ_{smc} là bộ điều khiển trượt (SMC).

Bộ điều khiển trượt được thiết kế như sau:

$$\tau_{smc} = k_s \operatorname{sgn}(s) + \frac{s}{\|s\|} \left(\frac{k_w^2}{4} + \frac{k_m^2}{4} + \frac{k_b^2}{4} \right)$$

Ở đây:

k_s được chọn: $k_s = \Gamma_\Delta$

Thay (19) vào (18) ta thu được:

$$M\dot{s} = \tilde{f} - Cs - k_p s - \tau_{smc} + \Gamma_\Delta$$

Để hệ thống làm việc ổn định việc chọn luật học thích nghi của bộ điều khiển ARFNNs rất quan trọng và trong bài báo này luật học sẽ được chọn như sau:

$$\begin{cases} \dot{\tilde{W}} = -k_w \tilde{W} \|s\| + k_w \delta s^T \\ \dot{\tilde{m}} = -k_m \tilde{m} \|s\| \\ \dot{\tilde{b}} = -k_b \tilde{b} \|s\| \end{cases}$$

5. CHỨNG MINH TÍNH ỔN ĐỊNH CỦA HỆ THỐNG

Xét robot 2 link có phương trình động học như phương trình (1) và bộ điều khiển ARNNs có luật thích nghi như công thức (18). Phân tích tính ổn định của hệ thống theo thuyết Lyapunov.

Xét hàm Lyapunov có phương trình như sau:

$$L(t) = \frac{1}{2} s^T M s + \frac{1}{2} \operatorname{tr}(\tilde{W}^T k_w^{-1} \tilde{W}) + \frac{1}{2} \operatorname{tr}(\tilde{m}^T k_m^{-1} \tilde{m}) + \frac{1}{2} \operatorname{tr}(\tilde{b}^T k_b^{-1} \tilde{b})$$

Đạo hàm bậc nhất $L(t)$ theo thời gian ta thu được phương trình như sau:

$$\dot{L}(t) = \frac{1}{2} s^T \dot{M} s + s^T M \dot{s} - \operatorname{tr}(k_w^{-1} \tilde{W}^T \dot{\tilde{W}}) - \operatorname{tr}(k_m^{-1} \tilde{m}^T \dot{\tilde{m}}) - \operatorname{tr}(k_b^{-1} \tilde{b}^T \dot{\tilde{b}})$$

Thay (21) vào (24) ta có:

$$\dot{L}(t) = \frac{1}{2} s^T (\dot{M} s - 2C) - s^T k_p s - s^T \tau_{smc} + s^T \Gamma_\Delta + \operatorname{tr}(-k_w^{-1} \tilde{W}^T \dot{\tilde{W}} + \delta s^T) - \operatorname{tr}(k_m^{-1} \tilde{m}^T \dot{\tilde{m}}) - \operatorname{tr}(k_b^{-1} \tilde{b}^T \dot{\tilde{b}})$$

Sử dụng tính chất 2 và thay luật thích nghi (22) vào (25) ta có:

$$\dot{L}(t) = -s^T k_p s - s^T \tau_{smc} + s^T \Gamma_\Delta + \|s\| \operatorname{tr}(\tilde{W}^T \dot{\tilde{W}}) + \|s\| \operatorname{tr}(\tilde{m}^T \dot{\tilde{m}}) + \|s\| \operatorname{tr}(\tilde{b}^T \dot{\tilde{b}})$$

Bằng việc sử dụng kết quả:

$$\operatorname{tr}(\tilde{W}^T \dot{\tilde{W}}) \leq k_w \|\tilde{W}\| - \|\tilde{W}\|^2$$

$$\operatorname{tr}(\tilde{m}^T \dot{\tilde{m}}) \leq k_m \|\tilde{m}\| - \|\tilde{m}\|^2 \quad \operatorname{tr}(\tilde{b}^T \dot{\tilde{b}}) \leq k_b \|\tilde{b}\| - \|\tilde{b}\|^2$$

Và công thức (20) ta thu được:

$$\dot{L}(t) < -s^T k_p s - s^T \left[k_s \operatorname{sgn}(s) + \frac{s}{\|s\|} \left(\frac{k_w^2}{4} + \frac{k_m^2}{4} + \frac{k_b^2}{4} \right) \right] + s^T \Gamma_\Delta + \|s\| \left(k_w \|\tilde{W}\| - \|\tilde{W}\|^2 \right) + \|s\| \left(k_m \|\tilde{m}\| - \|\tilde{m}\|^2 \right) + \|s\| \left(k_b \|\tilde{b}\| - \|\tilde{b}\|^2 \right)$$

$$\dot{L}(t) \leq -s^T k_s \operatorname{sgn}(s) - s^T k_p s + s^T \Gamma_\Delta - \|s\| \left(\|\tilde{W}\| - \frac{k_w}{2} \right)^2 - \|s\| \left(\|\tilde{b}\| - \frac{k_b}{2} \right)^2 - \|s\| \left(\|\tilde{d}\| - \frac{k_d}{2} \right)^2$$

$$\dot{L}(t) \leq -s^T k_p s$$

Do đó $\dot{L}(t) \leq 0$.

Từ kết quả cho thấy hệ thống được ổn định không phụ thuộc vào s .

6. KẾT QUẢ MÔ PHỎNG

Trong phần này chúng ta mô phỏng hệ thống điều khiển cho tay máy robot 2 link:

Phương trình động học của robot như sau:

$$M = \begin{bmatrix} M_{11} & M_{12} \\ M_{21} & M_{22} \end{bmatrix}; C = \begin{bmatrix} C_{11} & C_{12} \\ C_{21} & C_{22} \end{bmatrix}; G = \begin{bmatrix} G_1 \\ G_2 \end{bmatrix}$$

Trong đó

$$M_{11} = (m_1 + m_2)l_1^2 + m_2 l_2^2 + 2m_2 l_1 l_2 \cos(q_2)$$

$$M_{12} = M_{21} = m_2 l_2^2 + m_2 l_1 l_2 \cos(q_2)$$

$$M_{22} = m_2 l_2^2$$

$$C_{11} = -m_2 l_1 l_2 \sin(q_2) \dot{q}_2$$

$$C_{12} = -m_2 l_1 l_2 \sin(q_2) (\dot{q}_1 + \dot{q}_2)$$

$$C_{21} = m_2 l_1 l_2 \sin(q_2) \dot{q}_1$$

$$C_{22} = 0$$

$$G_1 = (m_1 + m_2)g l_1 \cos(q_2) + m_2 g l_2 \cos(q_1 + q_2)$$

$$G_2 = m_2 g l_2 \cos(q_1 + q_2)$$

Ở đây:

m_1, m_2 là khối lượng của link1, link 2;

l_1, l_2 là chiều dài của link1, link 2;

$g = 9.8$ (m/s) giá trị của gia tốc trọng trường;
 $q = [q_1, q_2]^T$ vị trí của link1, link2. Chọn giá trị của vị trí mẫu cho link1 và link2.

$$q_d = [q_{1d} \ q_{2d}]^T = [0.5 \sin(\pi t) \ 0.5 \sin(\pi t)]^T$$

Vị trí ban đầu của các link $q_0 = [-0.1 \ 0.1]^T$, gia tốc ban đầu của các link $\dot{q}_0 = [0.0 \ 0.0]^T$

Khối lượng và chiều dài của các link lần lượt là:

$$m_1 = 4.2 \text{ (kg)}, m_2 = 3 \text{ (kg)};$$

$$l_1 = 420 \text{ (mm)}, l_2 = 380 \text{ (mm)}.$$

Nhiều được chọn có dạng như sau:

$$\tau_0 = \begin{bmatrix} 2\sin(t) \\ 2\sin(t) \end{bmatrix}$$

Chọn các tham số của bộ điều khiển khi mô phỏng:

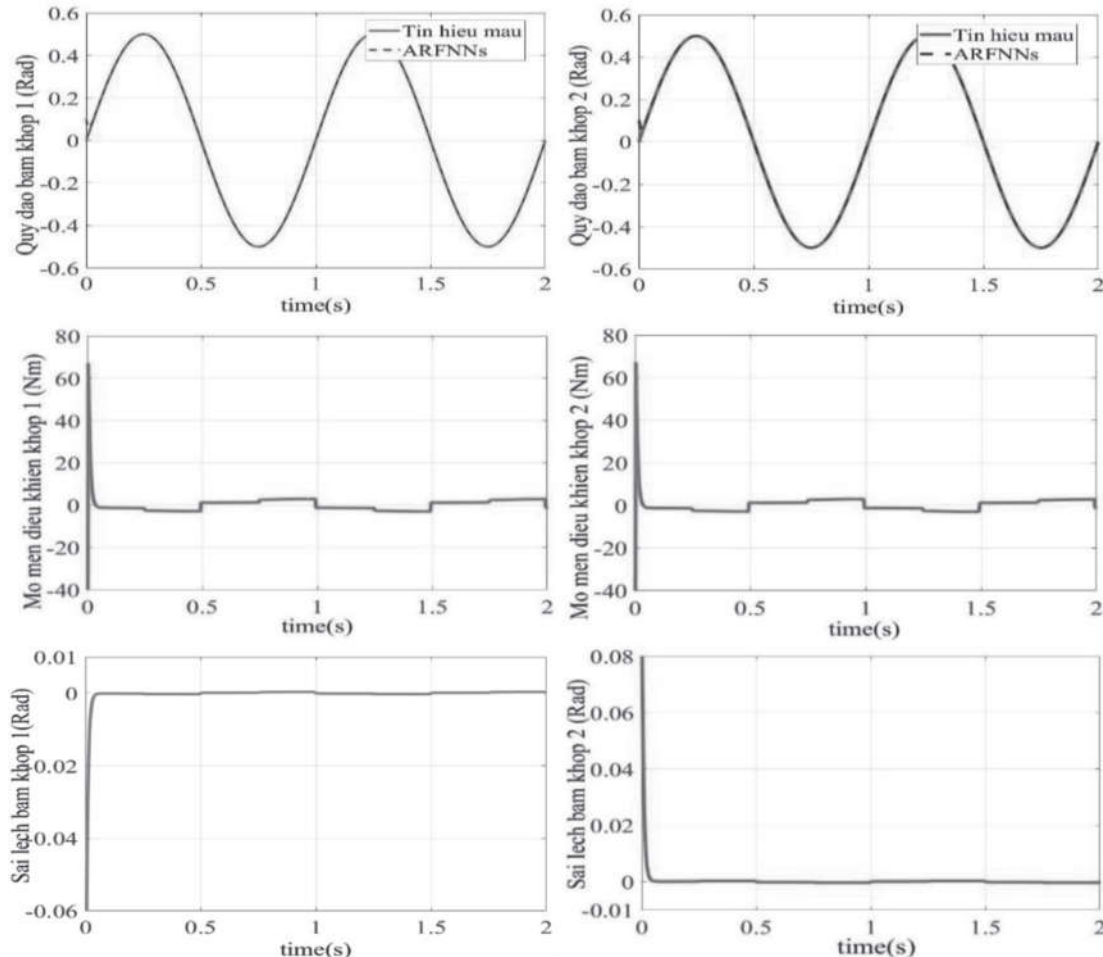
$$\lambda = \text{diag}[5, 5]; k_p = \text{diag}[50, 50];$$

$$k_w = \text{diag}(50); k_m = k_b = \text{diag}(30)$$

Cấu trúc bộ điều khiển ARFNNs với $n = 10$, $N_p = 5$, $N_f = 2$.

Nhận xét:

Từ kết quả mô phỏng hoạt động của hệ thống điều khiển ARFNNs cho robot 2 bậc tự do Hình 4 chúng ta có thể thấy rằng rằng cả 3 bộ điều khiển ARFNNs, RBFNN [10], và PID [13] đều đảm bảo tính ổn định và bền vững trong quá trình làm việc. Tuy nhiên, qua kết quả Hình 4,5 cho thấy mômen điều khiển của bộ điều khiển ARFNNs hội tụ nhanh hơn, sai lệch bám, mômen điều khiển cũng nhỏ hơn, và khả năng ổn định tốt hơn 2 bộ điều khiển còn lại. Điều đó chứng minh rằng chất lượng điều khiển robot bằng việc sử dụng bộ điều khiển ARFNNs ổn định hơn, và khả năng bám được cải thiện.



Hình 3. Vị trí, mômen điều khiển và sai lệch bám của các khớp robot

7. KẾT LUẬN

Trong bài báo này, bộ điều khiển thích nghi bền vững điều khiển cho robot 2 link trên cơ sở sử dụng bộ điều khiển mờ neuron đã đảm bảo được khả năng ổn định và bền vững trong môi trường làm việc khác nhau. Bằng việc sử dụng thuyết ổn định Lyapunov nhóm tác giả đã chứng minh được hệ thống luôn luôn ổn

định trên toàn vùng làm việc. Hơn thế nữa, hiệu quả của bộ điều khiển đã được kiểm chứng qua mô phỏng và được so sánh với bộ điều khiển PID và bộ điều khiển neuron thích nghi (RBFNN). Quan sát kết quả mô phỏng chúng ta thấy rằng khả năng bám, sai lệch bám của bộ điều khiển đưa ra tốt hơn bộ điều khiển PID và bộ điều khiển RBFNN. Từ kết quả mô phỏng chúng

ta có thể tiếp tục nghiên cứu để đưa vào thực nghiệm cũng như được ứng dụng vào thực tế.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Jafarov E M, Parlakçı M N A, I Stefanopoulos Y (2005), *A New Variable Structure PID-Controller Design for Robot Manipulators*, IEEE Trans. on control systems technology, 13(1), pp. 120-130.
- [2]. Jafarov, E. M., Parlakçı, M. N. A., and I Stefanopoulos.Y, (2005), *A New Variable Structure PID-Controller Design for Robot Manipulators*, IEEE Trans. on control systems technology. 13(1), pp. 122-130.
- [3]. Man Z, Palaniswami M (1993), *A variable structure model reference adaptive control for nonlinear robotic manipulators*, Int. J. Adaptive Control and Signal Processing, 7 pp. 539-562.
- [4]. Islam S, Liu X P (2011), *Robust Sliding Mode Control for Robot Manipulators*, IEEE Transactions Industrial Electronics, 58(6), pp. 2444-2453.
- [5]. Li K, Wen R (2017), *Robust Control of a Walking Robot System and Controller Design*, Procedia Engineering, 174 pp. 947-955.
- [6]. Nguyễn Doãn Phước (2009), *Lý thuyết điều khiển nâng cao*. Nhà xuất bản Khoa học và Kỹ thuật.
- [7]. Yoo B K, Ham W H (2000), *Adaptive Control of Robot Manipulator Using Fuzzy Compensator*, IEEE Transactions on Fuzzy systems, 8(2), pp. 186-199.
- [8]. Sun F C, Sun Z Q, Feng G (1999), *An Adaptive Fuzzy Controller Based on Sliding Mode for Robot Manipulators*, IEEE Transactions on systems, man, and cybernetics - part B, 29(5), pp. 661-667.
- [9]. Liu Y J, Wang W, Tong S C (2010), *Robust adaptive tracking control for nonlinear systems based on bounds of fuzzy approximation parameters*, IEEE Transactions on Systems., Man, Cybernetics - part A, System and Humans, 40(1), pp. 170-184.
- [10]. Pham V C, Wang Y N, (2016), *Adaptive trajectory tracking neural network control with robust compensator for robot manipulators*, Neural Computing and Applications, 27, pp. 525-536.
- [11]. Patino H D, Carelli R, Kuchen B R (2002), *Neural Networks for Advanced Control of Robot Manipulators*, IEEE Transactions on Neural Networks, 13(2), pp. 343-354.
- [12]. Kim Y H, Lewis F L (1999), *Neural Network Output Feedback Control of Robot Manipulators*, IEEE Transactions on robotics and automation, 15(2), pp. 301-309.
- [13]. T.C. Kuo, Y.J. Huang (2005), *A Sliding Mode PID controller design for Robot Manipulators*, IEEE international Symposium on Computational Intelligence in Robotics and Automation.

THÔNG TIN TÁC GIẢ



Nguyễn Phương Ty

- Năm 2019: Tốt nghiệp Tiến sĩ ngành Kỹ thuật điện - nhiệt, Trường Đại học Bách khoa miền Nam Liên Bang Nga (mang tên M.I. Platov).
- Tóm tắt công việc hiện tại: Phó Trưởng phòng Quản lý đào tạo; Giảng viên khoa Điện, Trường Đại học Sao Đỏ.
- Lĩnh vực quan tâm: Điều khiển quá trình công nghệ; điều khiển mờ thích nghi, hệ cơ điện; SCADA.
- Điện thoại: 0834760668
- Email: tynp2109@gmail.com



Vũ Thị Yến

- Năm 2019: Tốt nghiệp Tiến sĩ ngành Kỹ thuật và Khoa học điều khiển, Trường Đại học Hồ Nam - Trung Quốc.
- Tóm tắt công việc hiện tại: Giảng viên khoa Điện, Trường Đại học Công nghiệp Hà Nội.
- Lĩnh vực quan tâm: Điều khiển robot công nghiệp, hệ thống điều khiển phi tuyến, điều khiển mờ, điều khiển nơron,...
- Điện thoại: 0986051052
- Email: yenvt@hau.edu.vn



Nguyễn Thị Thảo

- Năm 2011: Tốt nghiệp Thạc sĩ ngành Kỹ thuật đo lường và Điều khiển tự động, Trường Đại học Bách khoa Hà Nội.
- Tóm tắt công việc hiện tại: Giảng viên khoa Điện, Trường Đại học Sao Đỏ.
- Lĩnh vực quan tâm: Tự động hóa.
- Điện thoại: 0967269366 Email: ngthithao172@gmail.com



Nguyễn Thị Phương

- Năm 2011: Tốt nghiệp Thạc sĩ ngành Tự động hóa tại Trường Đại học Hàng hải Việt Nam.
- Tóm tắt công việc hiện tại: Giảng viên khoa Điện, Trường Đại học Sao Đỏ.
- Lĩnh vực quan tâm: Điều khiển, tự động hóa quá trình sản xuất.
- Điện thoại: 0846999402 Email: phuongntdhsd@gmail.com