

NGHIÊN CỨU ĐIỀU KHIỂN VỊ TRÍ CHO ROBOT SCARA SỬ DỤNG BỘ ĐIỀU KHIỂN MỜ

A STUDY OF POSITION CONTROL OF SCARA ROBOT USING FUZZY LOGIC CONTROLLER

Trần Anh Dũng^{1*},
Đinh Anh Tuấn¹, Đào Quang Khanh¹

DOI: <https://doi.org/10.57001/huih5804.2023.137>

TÓM TẮT

Robot Scara là loại robot công nghiệp được sử dụng phổ biến hiện nay. Với mô hình phi tuyến mạnh, Robot Scara là loại đối tượng khó điều khiển chính xác nên đây là nội dung được nghiên cứu nhiều, trong đó có điều khiển sử dụng trí tuệ nhân tạo. Bài báo này nghiên cứu đến vấn đề xây dựng mô phỏng Robot Scara điều khiển hai bậc tự do, điều khiển vị trí các bậc tự do theo giá trị vị trí đặt trước sử dụng bộ điều khiển mờ. Các giải thuật được xây dựng trên phần mềm Matlab & Simulink, trong đó các thông số bộ điều khiển được chỉnh định theo phương pháp thử sai và kinh nghiệm điều khiển. Kết quả trong nghiên cứu này là bộ điều khiển mờ được xây dựng và tổng hợp cho điều khiển Robot Scara đã đáp ứng được yêu cầu chỉ tiêu chất lượng với đối tượng mà bộ điều khiển kinh điển như PID thực hiện không được triệt để. Ngoài ra, kết quả của nghiên cứu này là cơ sở ban đầu để tiến hành chế tạo bộ điều khiển cho Robot Scara, từ đó phát triển những điều khiển mới, hiện đại cho các loại robot khác.

Từ khóa: Robot Scara, mô hình phi tuyến, bậc tự do, điều khiển logic mờ, giá trị vị trí đặt trước.

ABSTRACT

Scara Robot is the most commonly used industrial robot today. With a strong nonlinear model, Robot Scara is a difficult object to precisely control, so this is a much-researched topic, including the control using artificial intelligence. This paper studies the problem of building a simulation of Scara Robot with two degrees of freedom, controlling the position of degrees of freedom according to the preset position value using a fuzzy controller. The algorithms are built on Matlab & Simulink software, in which controller parameters are adjusted according to trial and error method and control experience. The result in this study is that the fuzzy controller built and synthesized for Scara Robot control has met the requirements of the quality criteria with the object that the classical controller such as PID is not fully implemented. In addition, the results of this research are the initial basis for the manufacture of controllers for Scara Robot, thereby developing new and modern controls for other robots.

Keywords: Scara Robot, Nonlinear model, Degrees of freedom, Fuzzy logic control, Preset position value.

¹Trường Đại học Hàng hải Việt Nam

*Email: trananhdung70@gmail.com

Ngày nhận bài: 15/4/2023

Ngày nhận bài sửa sau phản biện: 20/5/2023

Ngày chấp nhận đăng: 25/8/2023

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

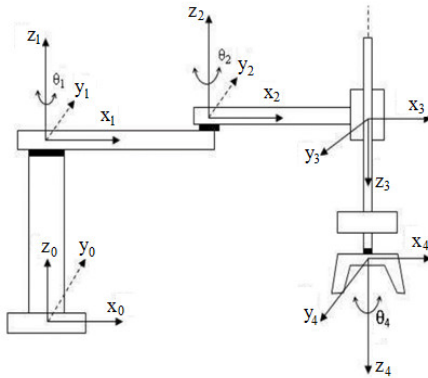
Ngày nay, tự động hóa trong sản xuất công nghiệp đóng vai trò quan trọng trong các nhà máy sản xuất hiện đại, theo xu hướng công nghệ 4.0. Mục tiêu ứng dụng kỹ thuật Robot trong công nghiệp đặc biệt là Robot Scara nhằm nâng cao năng suất gấp đặt trong các dây chuyền sản xuất, đồng thời nâng cao năng suất lao động. Robot Scara (Selective Compliance Assembly Robot Arm) được phát minh lần đầu tiên bởi Giáo sư Hiroshi Makino tại Đại học Yamanashi, Nhật Bản vào năm 1978. Nó được thiết kế ra để đưa vào các ứng dụng từ năm 1981 trong các dây chuyền lắp ráp công nghiệp. Kể từ đó đến nay, vấn đề điều khiển Robot Scara được nhiều tác giả trong nước [4-6] và ngoài nước [7-9], tập trung nghiên cứu để nâng cao chất lượng điều khiển cho Robot Scara, trong đó áp dụng những phương pháp điều khiển hiện đại như FLC, SMC, MRAC,... cho các truyền động khớp của Robot Scara với các cấu hình robot khác nhau như: hai bậc tự do RR, ba bậc tự do RRP, ba bậc tự do RRR, bốn bậc tự do RRRP. Nội dung của bài báo đề cập đến việc nâng cao chất lượng điều khiển và đơn giản hóa bộ điều khiển khi áp dụng thiết kế điều khiển mờ FLC cho Robot Scara có cấu hình hai bậc tự do RR với mục tiêu điều khiển cánh tay Robot bám theo vị trí góc đặt trước của các khâu khớp làm việc của Robot Scara. Để kiểm chứng kết quả nghiên cứu, nhiều phần mềm được sử dụng để mô phỏng chuyển động của Robot Scara. Trong bài báo này, nhóm tác giả sử dụng phần mềm Simulink trong Matlab để mô phỏng và kiểm chứng kết quả khi áp dụng bộ điều khiển mờ FLC cho điều khiển khớp của Robot Scara.

2. MÔ HÌNH TOÁN CỦA ROBOT SCARA

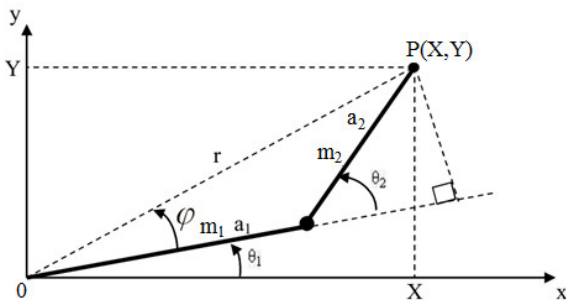
Robot Scara gồm 2 thanh quay và 1 thanh tịnh tiến. Thanh quay thứ nhất được nối vào chân đế qua một khớp quay, 2 thanh quay được nối với nhau qua một khớp quay nữa, các khớp quay được truyền động bởi động cơ servo. Thanh chuyển động tịnh tiến có thể quay quanh trục của nó và chỉ liên quan đến gập, nhả vật nên không xét đến điều khiển vị trí trong bài báo này. Giả thiết rằng thanh chuyển động tịnh tiến được giữ cố định, lúc này Robot Scara có thể được xem tương đương với một tay máy 2 bậc tự do trong mặt phẳng Oxy như trên hình 3.



Hình 1. Robot Scara của hãng ABB



Hình 2. Động học Robot Scara



Hình 3. Robot Scara 2 bậc tự do trong hệ tọa độ Oxy

Trong đó: a_1, a_2 - chiều dài các thanh quay; m_1, m_2 - khối lượng của các thanh quay; θ_1, θ_2 - góc quay của các thanh tại các khớp của Robot Scara; (X, Y) - tọa độ của điểm cuối P của Robot Scara mà cần phải điều khiển vị trí theo tọa độ đặt. Khi đó tọa độ (X, Y) của điểm P được xác định như theo hệ phương trình sau (mô hình động học thuận của tay máy):

$$\begin{cases} X = a_1 \cos \theta_1 + a_2 \cos(\theta_1 + \theta_2) \\ Y = a_1 \sin \theta_1 + a_2 \sin(\theta_1 + \theta_2) \end{cases} \quad (1)$$

Giả thiết rằng khối lượng của các thanh là rất nhỏ so với các động cơ servo truyền động tại các khớp để cho trọng tâm của các thanh tập trung tại các khớp. Mô hình động lực học của tay máy được xác định như sau. Đạo hàm phương trình (1) ta có:

$$\begin{cases} \dot{X} = -a_1 \dot{\theta}_1 \sin \theta_1 - a_2 (\dot{\theta}_1 + \dot{\theta}_2) \sin(\theta_1 + \theta_2) \\ \dot{Y} = a_1 \dot{\theta}_1 \cos \theta_1 + a_2 (\dot{\theta}_1 + \dot{\theta}_2) \cos(\theta_1 + \theta_2) \end{cases} \quad (2)$$

Bình phương vận tốc dài của điểm P(X,Y) thu được:

$$\begin{aligned} v^2 = \dot{X}^2 + \dot{Y}^2 &= a_1^2 \dot{\theta}_1^2 \sin^2 \theta_1 + a_2^2 (\dot{\theta}_1 + \dot{\theta}_2)^2 \sin^2 (\theta_1 + \theta_2) \\ &+ 2a_1 a_2 \dot{\theta}_1 (\dot{\theta}_1 + \dot{\theta}_2) \sin \theta_1 \sin(\theta_1 + \theta_2) + a_1^2 \dot{\theta}_1^2 \cos^2 \theta_1 \\ &+ a_2^2 (\dot{\theta}_1 + \dot{\theta}_2)^2 \cos^2 (\theta_1 + \theta_2) \\ &+ 2a_1 a_2 \dot{\theta}_1 (\dot{\theta}_1 + \dot{\theta}_2) \cos \theta_1 \cos(\theta_1 + \theta_2) \\ &= a_1^2 \dot{\theta}_1^2 + a_2^2 (\dot{\theta}_1 + \dot{\theta}_2)^2 + 2a_1 a_2 \dot{\theta}_1 (\dot{\theta}_1 + \dot{\theta}_2) \cos \theta_2 \end{aligned} \quad (3)$$

Động năng của hệ thống:

$$\begin{aligned} K &= \frac{1}{2} m_1 a_1^2 \dot{\theta}_1^2 + \frac{1}{2} m_2 v^2 \\ &= \frac{1}{2} m_1 a_1^2 \dot{\theta}_1^2 + \frac{1}{2} m_2 \left[a_1^2 \dot{\theta}_1^2 + a_2^2 (\dot{\theta}_1 + \dot{\theta}_2)^2 + 2a_1 a_2 \dot{\theta}_1 (\dot{\theta}_1 + \dot{\theta}_2) \cos \theta_2 \right] \end{aligned} \quad (4)$$

Vì Robot Scara nằm ngang nên thế năng của hệ thống bằng 0, hàm Lagrange của hệ thống như sau:

$$\begin{aligned} L = K &= \frac{1}{2} m_1 a_1^2 \dot{\theta}_1^2 + \frac{1}{2} m_2 a_1^2 \dot{\theta}_1^2 + \frac{1}{2} m_2 a_2^2 (\dot{\theta}_1 + \dot{\theta}_2)^2 \\ &+ m_2 a_1 a_2 \dot{\theta}_1 (\dot{\theta}_1 + \dot{\theta}_2) \cos \theta_2 \end{aligned} \quad (5)$$

Phương trình Lagrange của chuyển động Robot Scara có dạng:

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

trong đó: $q = \begin{bmatrix} \theta_1 \\ \theta_2 \end{bmatrix}$ - vector các góc quay các khớp của

Robot Scara, $\dot{q} = \begin{bmatrix} \dot{\theta}_1 \\ \dot{\theta}_2 \end{bmatrix}$ - vector các tốc độ quay các khớp của

Robot Scara, $\tau = \begin{bmatrix} \tau_1 \\ \tau_2 \end{bmatrix}$ - vector các mô men tạo bởi các động

cơ servo ở các khớp của Robot Scara. Thay (5) vào (6) rồi biến đổi, cuối cùng thu được hệ phương trình sau:

$$\begin{cases} [(m_1 + m_2)a_1^2 + (m_2 a_2^2 + 2m_2 a_1 a_2)] \ddot{\theta}_1 \\ + (m_2 a_2^2 + m_2 a_1 a_2 \cos \theta_2) \ddot{\theta}_2 - m_2 a_1 a_2 \dot{\theta}_2^2 \sin \theta_2 = \tau_1 \\ (m_2 a_2^2 + m_2 a_1 a_2 \cos \theta_2) \ddot{\theta}_1 + m_2 a_2^2 \ddot{\theta}_2 + m_2 a_1 a_2 \dot{\theta}_1^2 \sin \theta_2 = \tau_2 \end{cases} \quad (7)$$

Viết lại hệ (7) dưới dạng ma trận ta có:

$$\begin{cases} M(q) \ddot{q} + V(q, \dot{q}) \dot{q} = \tau \\ \begin{bmatrix} M_{11} & M_{12} \\ M_{21} & M_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \ddot{\theta}_1 \\ \ddot{\theta}_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} V_{11} & V_{12} \\ V_{21} & V_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{\theta}_1 \\ \dot{\theta}_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \tau_1 \\ \tau_2 \end{bmatrix} \end{cases} \quad (8)$$

trong đó có ma trận quán tính:

$$\begin{aligned} M(q) &= \begin{bmatrix} M_{11} & M_{12} \\ M_{21} & M_{22} \end{bmatrix} \\ &= \begin{bmatrix} (m_1 + m_2)a_1^2 + (m_2 a_2^2 + 2m_2 a_1 a_2) & m_2 a_2^2 + m_2 a_1 a_2 \cos \theta_2 \\ m_2 a_2^2 + m_2 a_1 a_2 \cos \theta_2 & m_2 a_2^2 \end{bmatrix} \end{aligned}$$

là ma trận đối xứng và xác định dương;

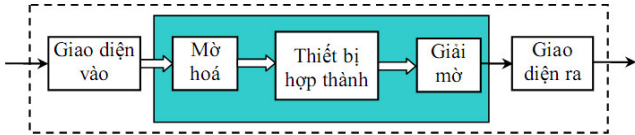
$$V(q, \dot{q}) = \begin{bmatrix} V_{11} & V_{12} \\ V_{21} & V_{22} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & -m_2 a_1 a_2 \dot{\theta}_2 \sin \theta_2 \\ m_2 a_1 a_2 \dot{\theta}_1 \sin \theta_2 & 0 \end{bmatrix}$$

là ma trận Coriolis.

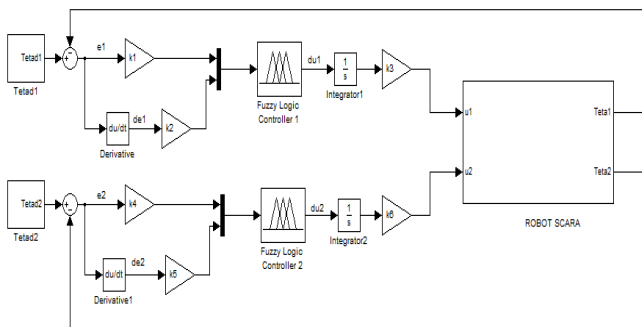
3. THIẾT KẾ BỘ ĐIỀU KHIỂN MỜ VÀ MÔ PHỎNG BẰNG PHẦN MỀM MATLAB & SIMULINK

Mục tiêu điều khiển là đảm bảo cho điểm cuối P(X,Y) của Robot Scara di chuyển đến đúng vị trí đặt, các vị trí đặt này có thể thay đổi trong một chu trình chuyển động tùy thuộc vào nhiệm vụ đặt ra. Ngoài ra, với mỗi vị trí đặt P(X,Y) nào đó, có thể dễ dàng xác định giá trị của 2 góc đặt θ_1, θ_2 của 2 thanh quay theo mô hình động học ngược của hệ thuận (1). Như vậy, bài toán điều khiển vị trí được chuyển thành bài toán điều khiển góc của 2 thanh quay theo giá trị đặt. Để có thể thực hiện bài toán này, trong nghiên cứu này nhóm tác giả đề xuất áp dụng bộ điều khiển mờ.

Trong các thuật toán điều khiển sử dụng trí tuệ nhân tạo thì điều khiển sử dụng logic mờ tích hợp được kinh nghiệm chuyên gia vào bộ điều khiển. Những kinh nghiệm này tích lũy trong quá trình thử nghiệm, vận hành đối tượng điều khiển và được phát biểu bằng các mệnh đề hợp thành. Đồng thời khi xây dựng khâu mờ hóa, kinh nghiệm điều khiển cũng được đưa vào thông qua các hàm thuộc. Một bộ điều khiển mờ kinh điển có cấu trúc bao gồm 4 khâu: khâu mờ hóa, khâu suy diễn mờ, khâu hợp mờ và khâu giải mờ, trong đó hai khâu suy diễn mờ và hợp mờ tạo thành thiết bị hợp thành như hình 4 [1].



Hình 4. Các khối chức năng của bộ điều khiển mờ

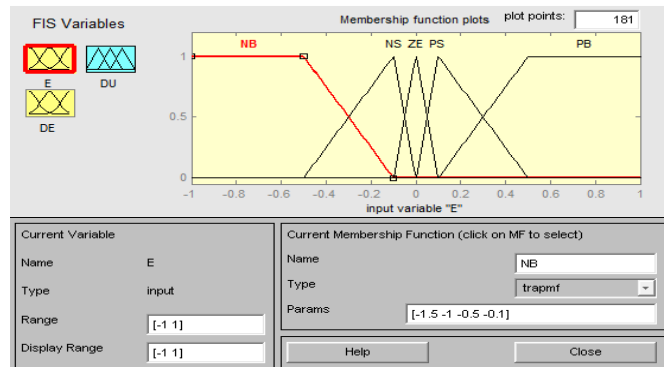


Hình 5. Sơ đồ khối mô phỏng trên Matlab & Simulink

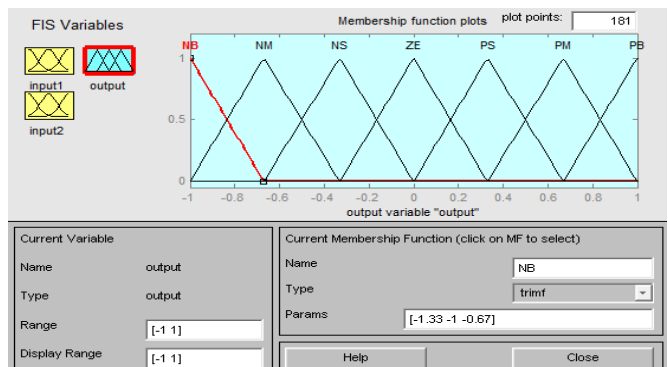
Xuất phát từ mô hình động lực học (7) của Robot Scara, hệ thống điều khiển sẽ được thiết kế với 2 bộ điều khiển mờ riêng biệt cho 2 động cơ servo của 2 khớp quay. Do mô hình Robot Scara không có khâu tích phân lý tưởng nên trong mỗi bộ điều khiển mờ FLC có hai tín hiệu vào là sai lệch e của góc quay và vi phân của sai lệch góc quay là de, tín hiệu ra của bộ điều khiển FLC là vi phân của tín hiệu điều khiển (du), tín hiệu ra này đưa qua khâu tích phân để trở thành tín hiệu điều khiển [2]. Mỗi khâu tỉ lệ, vi phân, tích phân ở đầu vào và đầu

ra bộ điều khiển mờ đều đi kèm với hệ số tương ứng. Sơ đồ cấu trúc của hệ thống điều khiển Robot Scara hai bậc tự do được xây dựng bằng công cụ Fuzzy Logic Toolbox của Matlab & Simulink như thể hiện ở hình 5.

Các khối chính trong sơ đồ cấu trúc như sau: 2 khối Fuzzy Logic Controller là các bộ điều khiển mờ được xây dựng nhờ công cụ của phần mềm Matlab & Simulink, mỗi bộ điều khiển mờ được dùng cho động cơ servo tương ứng, số 1 dùng cho khớp quay thanh a_1 , số 2 dùng cho khớp quay thanh a_2 ; Khối Robot Scara là khối mô phỏng tay máy Scara 2 bậc tự do theo hệ phương trình (7), trong đó động cơ servo được đơn giản hoá thành khâu quán tính bậc 1.



(a)



(b)

Hình 6. Các hàm thuộc xây dựng trên Matlab & Simulink

Phần mềm Matlab & Simulink cung cấp công cụ Fuzzy Logic Toolbox [3] có thể dễ dàng xây dựng bộ điều khiển mờ [3]. Đối với mỗi tín hiệu vào của bộ điều khiển mờ đều được lựa chọn 5 hàm thuộc với các tên gọi: NB (Negative Big), NS (Negative Small), ZE (Zero), PS (Positive Small), PB (Positive Big). Còn đối với tín hiệu ra của bộ điều khiển mờ được lựa chọn 7 hàm thuộc với các tên gọi: NB (Negative Big), NM (Negative Medium), NS (Negative Small), ZE (Zero), PS (Positive Small), PM (Positive Medium), PB (Positive Big). Bài báo này chỉ nghiên cứu mô phỏng hệ thống, chưa thử nghiệm trên mô hình vật lý, nên việc lựa chọn hình dạng và tọa độ của các hàm thuộc được thực hiện bằng cách thử trên đối tượng mô phỏng. Hình ảnh lựa chọn các hàm thuộc cùng dạng và miền giá trị của chúng cho bộ điều khiển mờ được miêu tả trên hình 6, trong đó hình 6a là các hàm thuộc cho tín hiệu vào là sai lệch góc quay, hình 6b là các hàm thuộc cho tín hiệu ra là tín hiệu vi phân của tín hiệu điều khiển.

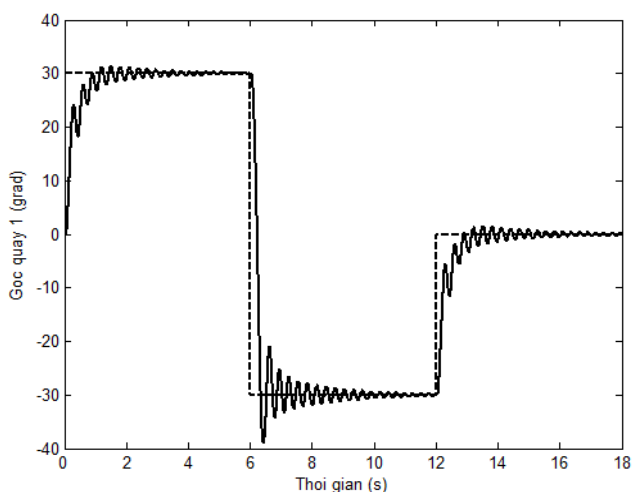
Vì mỗi đầu vào có 5 hàm thuộc, nên thiết bị hợp thành sẽ được xây dựng trên cơ sở $5 \times 5 = 25$ mệnh đề hợp thành minh họa trên bảng 1. Luật hợp thành của bộ điều khiển FLC xây dựng theo luật max-min và khâu giải mờ được xây dựng theo thuật toán điểm trọng tâm.

Bảng 1. Các mệnh đề hợp thành cho bộ điều khiển FLC

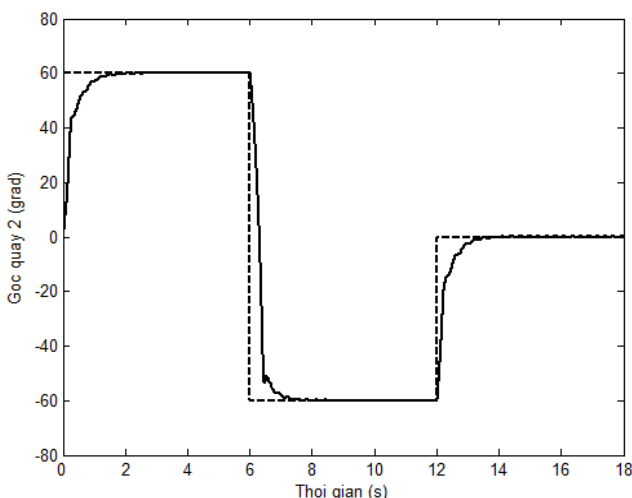
du		e				
		NB	NS	ZE	PS	PB
de	NB	NB	NB	NM	NS	ZE
	NS	NB	NM	NS	ZE	PS
	ZE	NM	NS	ZE	PS	PM
	PS	NS	ZE	PS	PM	PB
	PB	ZE	PS	PM	PB	PB

Chương trình mô phỏng trên Matlab-Simulink hệ điều khiển mờ vị trí Robot Scara với các thông số của tay máy như sau: $a_1 = 0,36m$; $m_1 = 1,06kg$; $a_2 = 0,24m$; $m_2 = 0,41kg$.

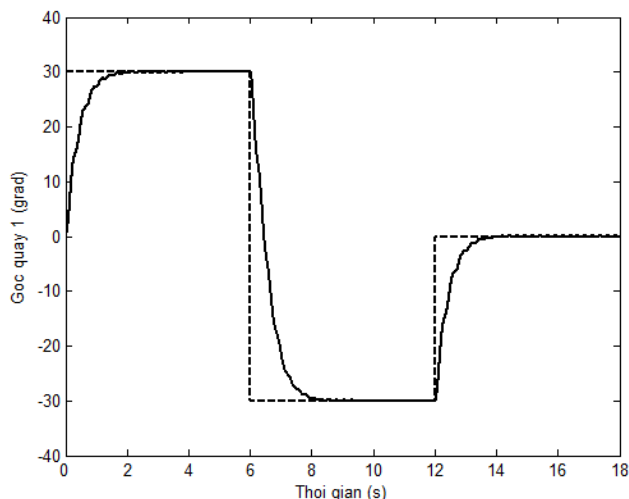
Các kết quả mô phỏng hệ điều khiển mờ Robot Scara có so sánh với hệ điều khiển PID thông thường được thể hiện trên các hình 7 ÷ 10.



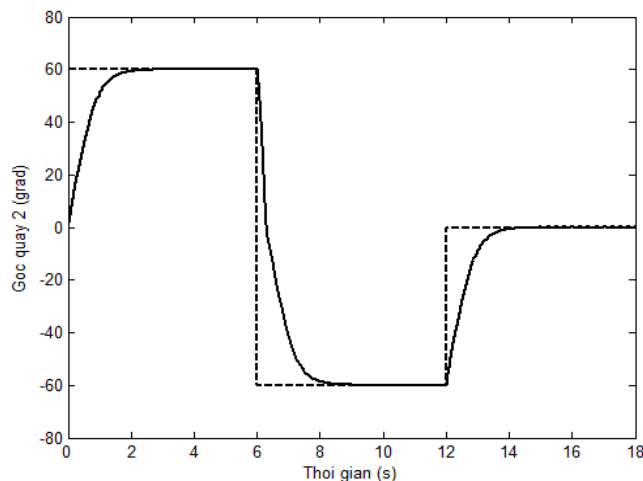
Hình 7. Chuyển động của thanh a_1 với điều khiển PID



Hình 8. Chuyển động của thanh a_2 với điều khiển PID



Hình 9. Chuyển động của thanh a_1 với điều khiển mờ



Hình 10. Chuyển động của thanh a_2 với điều khiển mờ

Chương trình mô phỏng được thực hiện với vị trí đặt (các góc đặt) thay đổi để giả định chu trình làm việc cho tay máy, lúc đầu góc đặt cho các thanh a_1 và a_2 lần lượt là 30° và 60° , sau đó đổi thành -30° và -60° , cuối cùng cả 2 thanh đưa về vị trí ban đầu 0° . Trong các đồ thị trên, đường đứt nét là góc đặt ban đầu, đường nét liền là góc quay các thanh của tay máy với điều khiển PID (hình 7 và 8) và với điều khiển mờ (hình 9 và 10). Từ đồ thị các hình mô tả đặc tính động đáp ứng đầu ra góc quay của khớp thứ 1 và khớp thứ 2 của Robot Scara cho thấy, khi sử dụng bộ điều khiển PID với cùng tính tác động nhanh như điều khiển mờ thì xảy ra dao động tắt dần đối với thanh thứ 1, gây ảnh hưởng xấu đến chất lượng làm việc của Robot (điều này có thể giải thích là do đối tượng điều khiển là phi tuyến mạnh, trong khi bộ điều khiển PID là tuyến tính). Trong khi đó, với việc sử dụng bộ điều khiển mờ hệ thống chấp hành các góc quay của Robot Scara cho ra chất lượng đặc tính động tốt khi phối hợp điều khiển các thanh của tay máy về vị trí đặt ban đầu. Từ đó cho thấy, việc sử dụng bộ điều khiển mờ có cấu trúc đơn giản để điều khiển các khớp của Robot Scara nhưng vẫn đạt chất lượng yêu cầu, đồng thời dễ dàng áp dụng phương pháp điều khiển này trong điều khiển Robot công nghiệp trên thực tiễn.

4. KẾT LUẬN

Điều khiển các khớp chuyển động Robot Scara 2 bậc tự do bằng bộ điều khiển mờ FLC đã được thiết kế, tổng hợp và mô phỏng thành công bằng công cụ Matlab & Simulink. Kết quả mô phỏng điều khiển Robot Scara bằng bộ điều khiển mờ cho thấy tính ưu việt của phương pháp, đáp ứng đầu ra của hệ thống là góc quay các khớp của Robot Scara đã được thể hiện trong các đặc tính hình 9 và 10. Bài báo đã kiểm chứng hoạt động của Robot Scara khi sử dụng phương pháp điều khiển thông minh FLC, là phương pháp điều khiển phổ biến hiện nay và đã được đưa vào ứng dụng trong công nghiệp. Việc nghiên cứu áp dụng các phương pháp điều khiển hiện đại, thông minh trong truyền động điện các khớp của Robot là việc làm rất quan trọng trong quá trình thiết kế Robot công nghiệp. Ngoài ra, mô hình điều khiển này có thể dùng để hướng dẫn sinh viên, học viên nghiên cứu về điều khiển hiện đại và điều khiển Robot.

LỜI CẢM ƠN

Nghiên cứu này được tài trợ bởi Trường Đại học Hàng hải Việt Nam trong đề tài mã số DT22-23.63.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Nguyen Doan Phuoc, Phan Xuan Minh, 2006. *Ly thuyet dieu khien mo*. Science and Technics Publishing House, Hanoi, Vietnam.
- [2]. Huynh Thai Hoang, 2006. *He thong dieu khien thong minh*. Vietnam National University, Ho Chi Minh City Press.
- [3]. Nguyen Phung Quang, 2004. *Matlab & Simulink danh cho ky su dieu khien tu dong*. Science and Technics Publishing House, Hanoi, Vietnam.
- [4]. Le Van Chung, 2014. *Enhanced quality 4 degrees of freedom Scara robot*. TNU Journal of Science and Technology 118(04): 113 - 118
- [5]. Huynh Minh Vu, Tran Thanh Hung, Nguyen Chi Ngon, 2019. *Control of Scara robot using Fuzzy - Neural algorithm*. Journal of Technical Education Science, Ho Chi Minh City University of Technology and Education Vol. 54.
- [6]. Nguyen Hoang Dung, Nguyen Khanh Tran, Dai Tien Trung, Phan Hoai Loan, 2022. *Controlling a two-DOF SCARA robotarm based on a fuzzy-PID algorithm*. Can Tho University Journal of Science, 58, 2A.

[7]. Yunbo He, XiQuan Mai, Kai Zhang, 2019. *Dynamic Modeling, Simulation, and Experimental Verification of a Wafer Handling SCARA Robot With Decoupling Servo Control*. IEEE Access - Digital Object Identifier 10.1109/ACCESS.2019.

[8]. Mohamed T. Eraky, Dmitry V. Zubov, 2018. *Inverse Kinematics Software Design and Trajectory Control Programming of SCARA Manipulator robot*. International Journal of Engineering Research and Technology, Volume 11, Number 11.

[9]. Jorge Lavin, Samuel Chavez-Vázquez, J.F. Gómez-Aguilar, Miguel Angel Ruiz Jaimes, 2020. *Fractional-order passivity-based adaptive controller for a robot manipulator type scara*. World Scientific, Article in Fractals.

AUTHORS INFORMATION

Tran Anh Dzung, Dinh Anh Tuan, Dao Quang Khanh

Vietnam Maritime University, Haiphong, Vietnam