

ĐIỀU KHIỂN ROBOT CHUỖI KHÍ LỰC TÁC ĐỘNG TỪ CƠ CẤU CHẤP HÀNH BỊ TRỄ BIẾN THIÊN KHÔNG XÁC ĐỊNH

TRACKING CONTROL FOR ROBOT MANIPULATOR SUBJECT TO UNKNOWN TIME-VARYING INPUT DELAY

Đinh Thị Thanh Huyền

Khoa Cơ khí, Trường Đại học Giao thông Vận tải

TÓM TẮT

Trễ của tín hiệu đầu vào chính là thời gian trễ từ thời điểm đưa ra tín hiệu điều khiển đến khi thành lực tác động vào hệ thống. Thời gian trễ ảnh hưởng đến chất lượng điều khiển, đôi khi gây mất ổn định cho hệ thống. Bài báo này, trình bày nghiên cứu phương pháp điều khiển bám quỹ đạo cho cánh tay robot khi có xét tới trễ của tín hiệu đầu vào, với giả sử thời gian trễ biến thiên và không biết trước. Để bù trễ cho hệ phi tuyến không xác định này, một tín hiệu bù trễ được định nghĩa, trong đó sử dụng tích phân của tín hiệu điều khiển đo được trong quá khứ. Tín hiệu điều khiển được thiết kế bao gồm tín hiệu bù trễ kết hợp với tín hiệu điều khiển dạng PI, đây là tín hiệu điều khiển liên tục. Chương trình mô phỏng Matlab đã kiểm chứng hiệu quả của phương pháp điều khiển này trên mô hình robot 2 bậc tự do.

Từ khoá: *Trễ của tín hiệu điều khiển; Điều khiển bền vững; Điều khiển phi tuyến.*

ABSTRACT

Input delay is the time interval from control signal to actual control force applied to the system. Input delay affects to the control performance and sometimes results to the system instability. The paper studies on a tracking control method for robot manipulator subject to an input delay, which is unknown and time varying. An auxiliary time-delayed signal is defined using the integral of the measured past control input to compensate for delay. The proposed continuous controller includes the compensate signal and a PI term. The Matlab simulations are performed to show the effectiveness of the proposed method in a 2-degree of freedom robot manipulator.

Keywords: *Input delay; Robust control; Nonlinear control.*

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Thời gian trễ là vấn đề tồn tại phổ biến trong nhiều hệ thống, ví dụ hệ robot chủ-tớ (master-slave), các hệ haptic. Vấn đề truyền thông trong mạng lưới, hay vấn đề liên quan tới đo lường và xử lý tín hiệu đo (ví dụ phản hồi từ kết quả xử lý ảnh) có thể gây ra thời gian trễ và thời gian trễ dẫn tới giảm chất lượng điều khiển, nghiêm trọng hơn có thể dẫn tới mất ổn định hệ thống. Thời gian trễ trong các hệ vật lý thông thường là biến thiên theo thời gian. Ví dụ, thời gian trễ do truyền thông trong mạng không dây thay đổi theo khoảng cách giữa các vị trí thu/phát. Xuất phát từ vấn đề này, nhiều nghiên cứu đã tập trung vào thiết kế các phương pháp điều khiển có bù ảnh hưởng do trễ gây ra.

Các nghiên cứu trong thời gian gần đây tập trung vào phát triển các phương pháp điều khiển với mục tiêu đảm bảo sự ổn định cho hệ thống có trễ, như phương pháp của Smith trong [1], phương pháp của Arstein trong [2], hay phương pháp của Manitius [3]. Thời gian trễ có thể xảy ra với tác động của cơ cấu chấp hành hay thời gian trễ của các tín hiệu biến trạng thái... Tuy nhiên, trong nghiên cứu này tác giả tập trung vào nghiên cứu vấn đề điều khiển cho robot khi xảy ra trễ trong tín hiệu đầu vào, chính là trễ trong tác động của cơ cấu chấp hành, ví dụ vấn đề điều khiển robot tớ (slave robot) trong hệ robot chủ - tớ.

Các nghiên cứu về điều khiển cho hệ có trễ của cơ cấu chấp hành trước đây thường giả thiết thời gian trễ là xác định, ví dụ: Nghiên cứu của tác giả trong [4, 5] hay của Fischer trong [6, 7], Sharma trong [8]. Tuy nhiên, trong thực tế để xác định chính xác khoảng thời gian bị trễ trong tác động của cơ cấu chấp hành là rất khó. Do vậy, đòi hỏi các nghiên cứu về điều khiển cho các hệ có chịu tác động của trễ nhưng không yêu cầu xác định chính xác thời gian trễ.

Gần đây, nghiên cứu của tác giả trong [5] đã đưa ra bộ điều khiển bền vững cho cánh tay robot khi tồn tại bất định trong phương trình động lực học, có tác động của nhiễu ngoài và trễ biến thiên của tín hiệu đầu vào. Nghiên cứu trong bài báo này là sự phát triển của kết quả nghiên cứu trong [5] khi bỏ đi giả thiết rằng thời gian trễ cần xác định trước.

Thông thường khi phương trình động lực học của hệ thống không xác định thì các phương pháp điều khiển cho hệ này sẽ khó khăn hơn so với các hệ tuyến tính hay hệ phi tuyến xác định, do khó có thể dự đoán được phản ứng của hệ trong khoảng thời gian bị trễ từ các biến trạng thái hiện tại của hệ thống, điều này sẽ càng khó hơn đối với các hệ có thời gian trễ biến thiên, không xác định.

Nội dung của bài báo này tập trung vào việc phát triển bộ điều khiển bám quỹ đạo cho robot chuỗi có xét tới bản chất phi tuyến và tính không xác định trong phương trình động lực học robot, đồng thời xét tới cả vấn đề trễ biến thiên của tín hiệu điều khiển và tác động ngoài của nhiễu, nhưng thời gian trễ ở đây là yếu tố không xác định. Khác với nghiên cứu trước trong [5], phương pháp điều khiển ở đây đưa ra tín hiệu bù trễ được xây dựng từ tích phân biến trạng thái hệ thống trong khoảng thời gian trễ ước lượng, do vậy có thể loại bỏ đi yêu cầu về thông tin của thời gian trễ so với phương pháp ở [5]. Chương trình mô phỏng Matlab đã kiểm chứng hiệu quả của phương pháp điều khiển khi áp dụng cho robot 2 bậc tự do.

2. MÔ HÌNH ĐỘNG LỰC HỌC CỦA CÁNH TAY ROBOT

Phương trình động lực học của robot được mô tả dưới dạng phương trình Euler-Lagrange (EL) sau đây:

$$M(q)\ddot{q} + V_m(q, \dot{q})\dot{q} + G(q) + d(t) = u(t - \tau) \quad (1)$$

Trong đó: $M(q) \in R^{n \times n}$ là ma trận quán tính, $V_m(q, \dot{q}) \in R^{n \times n}$ kí hiệu ma trận Coriolis, $G(q) \in R^n$ là vector lực trọng trường, $d(t) \in R^n$ kí hiệu nhiễu tác động bên ngoài hoặc các thành phần động lực học chưa được xét đến khi lập mô hình robot, $u(t) \in R^n$ kí hiệu lực chủ động đặt tại các khớp và $q(t), \dot{q}(t), \ddot{q}(t) \in R^n$ lần lượt là vector vị trí, vận tốc và gia tốc của các khớp robot. Giả sử đo được vị trí $q(t)$ và vận tốc $\dot{q}(t)$. Kí hiệu sau sẽ được sử dụng để biểu diễn tín hiệu có trễ:

$$h_\tau \triangleq \begin{cases} h(t - \tau) & t \geq \tau, \\ 0 & t < \tau, \end{cases}$$

Với thời gian trễ $\tau(t): 0, \infty \rightarrow R$ là đại lượng không xác định và biến thiên. Các ma trận và vector V_m, G, d là các hàm phi tuyến không xác định. Các giả thiết 1 và 2 về tính bị chặn của các ma trận M, V_m, G và nhiễu tác động d trong [5] vẫn được khai thác để thiết kế tín hiệu điều khiển. Tuy nhiên, thực tế các giả thiết này là tính chất hay là thuộc tính của robot chuỗi đã được chứng minh trong tài liệu [9] và được sử dụng phổ biến để thiết kế bộ điều khiển cho robot.

Giả thiết 1: Thời gian trễ $\tau(t)$ biến thiên, tồn tại đạo hàm, không xác định nhưng độ lớn và đạo hàm được giả thiết bị chặn bởi các hằng số xác định T, φ như sau: $0 \leq \tau(t) < T$, và $|\dot{\tau}| < \varphi < 1$, tại mọi thời điểm $t > 0$. Ngoài ra, giả sử xác định được một hằng số ước lượng đủ chính xác $\hat{\tau} \in R$, sao cho sai số ước lượng $\tilde{\tau} \triangleq \tau - \hat{\tau}$, thỏa mãn $|\tilde{\tau}| \leq \Delta_\tau$ với Δ_τ là hằng số dương xác định. Ngoài ra, giả sử hệ (1) không mất ổn định trong khoảng $[0, T]$.

3. MỤC TIÊU ĐIỀU KHIỂN VÀ THIẾT KẾ BỘ ĐIỀU KHIỂN BẮM QUỸ ĐẠO CHO CÁNH TAY ROBOT

Mục tiêu của bài toán điều khiển robot là thiết kế tín hiệu $u(t)$ liên tục để điều khiển các biến khớp $q(t)$ của robot bám theo một quỹ đạo cho trước $q_d(t)$, giả sử quỹ đạo $q_d(t)$ thỏa mãn $q_d(t), \dot{q}_d^{(i)}(t) \in L_\infty$, với $i=1,2,3$. Từ mục tiêu điều khiển, các sai số điều khiển và sai số điều khiển phụ trợ được định nghĩa như sau:

$$e_1 \triangleq q_d - q, \quad e_2 \triangleq \dot{e}_1 + \alpha_1 e_1, \quad r \triangleq \ddot{e}_2 + \alpha_2 e_2 + \alpha_3 M(q)^{-1} e_u. \quad (2)$$

Với $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3 \in R^+$ là các hằng số điều khiển dương. Giả thiết rằng các biến trạng thái vị trí và vận tốc $q(t), \dot{q}(t)$ đo được hoàn toàn, căn cứ vào định nghĩa (2), dễ thấy các sai số điều khiển e_1, e_2 là các tín hiệu đo được, nên có thể sử dụng để thiết kế điều khiển; còn tín hiệu r là tín hiệu không đo lường được, chỉ sử dụng trong quá trình phát triển luật điều khiển. Ngoài ra, trong (2) tín hiệu $e_u(t) \in R^n$ kí hiệu tín hiệu phụ trợ bù trễ, được định nghĩa như sau:

$$e_u \triangleq - \int_{t-\hat{\tau}}^t \dot{u}(\theta) d\theta. \quad (3)$$

Tín hiệu $e_u(t)$ là đại lượng đưa tới tín hiệu điều khiển không có trễ $u(t)$ trong bước phân tích ổn định theo tiêu chuẩn Lyapunov. Khác với đại lượng $e_u(t)$ trong [5], đại lượng $e_u(t)$ trong (3) xây dựng dựa trên tích phân với cận là khoảng thời gian trễ xấp xỉ $\hat{\tau}$ phía trước thời điểm đang xét t ; điều này giúp dễ dàng xác định $e_u(t)$ trong (3) hơn so với đại lượng $e_u(t)$ trong [5], vì xây dựng dựa trên tích phân với cận là hằng số. Điều này cũng loại bỏ được yêu cầu thời gian trễ $\hat{t}(t)$ là đại lượng xác định. Một gợi ý cho sự lựa chọn của thời gian trễ xấp xỉ $\hat{\tau}$ là từ xấp xỉ tốt nhất có thể của giá trị trung bình của $\hat{t}(t)$. Theo luật tích phân Leibniz, dễ nhận thấy đạo hàm theo thời gian của $e_u(t)$ là

$\dot{e}_u = -\dot{u} + \dot{u}_\tau$, như vậy $e_u(t)$ vẫn tác dụng bổ sung tín hiệu điều khiển không có trễ vào bước phân tích ổn định của hệ thống.

$$u \triangleq k(e_2 - e_{20}) + v. \quad (4)$$

Dựa vào bước phân tích ổn định tương tự [5], tín hiệu điều khiển được thiết kế như sau:

$$\dot{v} = k(\alpha_2 e_2 + \alpha_3 M(q)^{-1} e_u), \quad (5)$$

Trong đó, e_{20} là giá trị ban đầu của sai số phụ trợ $e_2(t)$, và $v(t) \in R^n$ là nghiệm của phương trình vi phân sau đây:

Trong đó, $k \in R^+$ là hằng số điều khiển dương. Thành phần của tín hiệu điều khiển $u(t)$ bao gồm thành phần PI của luật điều khiển PID kết hợp với thành phần bù trễ. Dễ nhận thấy đạo hàm theo thời gian của tín hiệu điều khiển $u(t)$ là $\dot{u}(t) = kr$. Tín hiệu điều khiển $u(t)$ trong (4), (5) so với trong [5] có thêm một hằng số điều khiển α_3 cần phải được lựa chọn, do vậy tăng tính phức tạp để chọn được bộ tham số thích hợp.

Phương trình (1) của hệ hờ được viết lại dựa trên phương trình (1)-(2) như sau:

$$M(q)r = M(q)\ddot{q}_d + V_m(q, \dot{q})\dot{q} + G(q) + d - u_\tau + \alpha_3 e_u + \alpha_1 M(q)(e_2 - \alpha_1 e_1) + \alpha_2 M(q)e_2. \quad (6)$$

Lấy đạo hàm theo thời gian hai vế của phương trình (6) thu được phương trình sau:

$$M(q)\dot{r} = -\frac{1}{2}\dot{M}(q)r + N_d + \tilde{N} - \dot{e}_2 - (1 - \dot{\tau})\dot{u}_\tau + \alpha_3(-\dot{u} + \dot{u}_\tau). \quad (7)$$

Tiếp tục thay đạo hàm của luật điều khiển ở (4)-(5), thêm và bớt cùng một lượng $\alpha_3 \dot{u}_\tau$ thu được phương trình của hệ kín như sau:

$$M(q)\dot{r} = -\frac{1}{2}\dot{M}(q)r + N_d + \tilde{N} - \dot{e}_2 - \alpha_3 kr + \alpha_3(\dot{u}_\tau - \dot{u}_\tau) + (\alpha_3 - 1 + \dot{\tau})\dot{u}_\tau. \quad (8)$$

Trong đó, các hàm trung gian $N_d(q_d, \dot{q}_d, \ddot{q}_d, \ddot{q}_d, t) \in R^n$, $\tilde{N}(e_1, e_2, r, t) \in R^n$ được định nghĩa như sau:

$$N_d = \dot{M}(q_d)\ddot{q}_d + M(q_d)\ddot{q}_d + \dot{V}_m(q_d, \dot{q}_d)\dot{q}_d + V_m(q_d, \dot{q}_d)\ddot{q}_d + \dot{G}(q_d) + \dot{d},$$

$$\begin{aligned} \tilde{N} = & -\frac{1}{2}\dot{M}(q)r\dot{M}(q)\ddot{q}_d - \dot{M}(q_d)\ddot{q}_d + M(q)\ddot{q}_d - M(q_d)\ddot{q}_d + \dot{V}_m(q, \dot{q})\dot{q} - \dot{V}_m(q_d, \dot{q}_d)\dot{q}_d \\ & + V_m(q, \dot{q})\ddot{q} + \dot{G}(q) - V_m(q_d, \dot{q}_d)\ddot{q}_d + \alpha_1 \dot{M}(q)(e_2 - \alpha_1 e_1) - \dot{G}(q_d) + \alpha_1 M(q)(\dot{e}_2 - \alpha_1 \dot{e}_1) \\ & + \alpha_2 \dot{M}(q)e_2 + \alpha_2 M(q)\dot{e}_2 + e_2. \end{aligned}$$

Việc phân chia các thừa số vào các cụm N_d và \tilde{N} là theo phương pháp thiết kế của bộ điều khiển RISE, tương tự trong [5]. Dựa vào các giả thiết về tính bị chặn của các ma trận M, V_m, G và nhiễu tác động d trong [5]. Giả thiết 1, các hàm số N_d và \tilde{N} được đánh giá bị chặn như sau [9]- [10]:

$$\|\tilde{N}\| \leq \rho(\|z\|)\|z\|, \quad \|N_d\| \leq \varepsilon_2, \quad (9)$$

Trong đó, $z \triangleq [e_1^T \ e_2^T \ r^T \ e_u^T]^T \in R^{4n}$, $\varepsilon_2 \in R^+$ là hằng số dương xác định, $\rho(\|z\|) \in R^+$ là hàm số xác định dương, khả nghịch, không giảm.

Bước phân tích ổn định theo tiêu chuẩn Lyapunov tương tự so với [5], trong đó đưa ra ba hàm số Lyapunov-Krasovskii xác định dương trung gian $Q_1, Q_2, Q_3 \in R$ được định nghĩa như sau:

$$Q_1 \triangleq \frac{(\omega k)^2}{\alpha_3 \xi_1} \int_{t-\tau}^t \|r(\theta)\|^2 d\theta, \quad Q_2 \triangleq \frac{k(\alpha_3 + \varphi - 1)^2}{\alpha_3(1-\varphi)} \int_{t-\tau}^t \|r(\theta)\|^2 d\theta, \quad (10)$$

$$Q_3 \triangleq \omega_2 \int_{t-(\tau+\Delta_s)}^t \left(\int_s^t \|\dot{u}(\theta)\|^2 d\theta \right) ds, \quad (11)$$

Trong đó, $\omega_1, \omega_2, \xi_1, \xi_2 \in R^+$ là các hằng số dương thay đổi được. Chọn miền $D \subset R^{4n+3}$ là miền bao gồm điểm $y(t) = 0$, trong đó $y(t) \in R^{4n+3}$ là tập hợp các biến sai số được định nghĩa như sau: $y \triangleq [z^T \ \sqrt{Q_1} \ \sqrt{Q_2} \ \sqrt{Q_3}]^T$ Bước phân tích ổn định theo tiêu chuẩn Lyapunov tương tự [5] với hàm ứng viên Lyapunov $V_L(y, t) : D \times [0, \infty) \rightarrow R$ liên tục, xác định dương có dạng như sau:

$$V_L \triangleq \frac{1}{2} e_1^T e_1 + \frac{1}{2} e_2^T e_2 + \frac{1}{2} r^T M(q) r + \frac{\omega_1}{2} e_u^T e_u + Q_1 + Q_2 + Q_3. \quad (12)$$

Các bước phân tích ổn định theo tiêu chuẩn ổn định Lyapunov sẽ được lược bớt trong bài báo này, nhưng kết quả tương tự sẽ thu được, đó là sai số điều khiển e_1, e_2, r, e_u đều bị chặn. Điều này có nghĩa nếu sử dụng bộ điều khiển được thiết kế trong (4) thì có thể đảm bảo sai số bám quỹ đạo của hệ phi tuyến bất định chịu tác động của nhiễu và trễ biến thiên (1) nằm trong khoảng bị chặn, trong đó có thể giảm khoảng bị chặn của sai số điều khiển bằng cách tăng dần các tham số điều khiển. Kết quả ổn định dạng UUB.

4. KẾT QUẢ MÔ PHỎNG

Bộ điều khiển đưa ra được kiểm chứng qua chương trình mô phỏng được xây dựng trên phần mềm Matlab cho robot 2 bậc tự do RR có phương trình động lực học như (1) với:

$$M = \begin{bmatrix} p_1 + 2p_3c_2 & p_1 + p_3c_2 \\ p_1 + p_3c_2 & p_2 \end{bmatrix}, \quad G = \begin{bmatrix} f_{d1}\dot{q}_1 \\ f_{d2}\dot{q}_2 \end{bmatrix}, \quad V_m = \begin{bmatrix} -p_3s_2\dot{q}_2 & -p_3s_2(\dot{q}_1 + \dot{q}_2) \\ p_3s_2\dot{q}_1 & 0 \end{bmatrix},$$

và $d = \begin{bmatrix} 0.2 \sin(0.5t) \\ 0.1 \sin(0.25t) \end{bmatrix}$, với $c_2 \triangleq \cos(q_2)$, $s_2 \triangleq \sin(q_2)$,

Các tham số của hệ thống: $p_1 = 3.473 \text{kgm}^2$, $p_2 = 0.196 \text{kgm}^2$, $p_3 = 0.242 \text{kgm}^2$,

$f_{d1} = 5.3Nm.sec, f_{d2} = 1.1Nm.sec$, điều kiện đầu của hệ là: $q(0) = [0, 0]^T, \dot{q}(0) = [0, 0]^T$.

Quỹ đạo mong muốn có dạng sau:

$$q_{d1}(t) = (30 \sin(1.5t) + 20) \left(1 - e^{-0.01t^3}\right) \text{ deg}$$

$$q_{d2}(t) = -(20 \sin(0.5t) + 10) \left(1 - e^{-0.01t^3}\right) \text{ deg}.$$

Thực hiện liên tục nhiều mô phỏng với các khoảng thời gian trễ khác nhau, cũng như giá trị ước lượng thời gian trễ khác nhau, như thể hiện trong Bảng 1. Điều này, nhằm kiểm chứng hiệu quả của phương pháp điều khiển bền vững được giới thiệu. Các trường hợp 1 và 2 thực hiện mô phỏng với thời gian trễ dạng hàm sin có tần số cao, biên độ nhỏ với các giá trị ước lượng thời gian trễ khác nhau. Trường hợp 3, thực hiện với thời gian trễ biến thiên vẫn theo hàm hình sin, nhưng tần số thấp, biên độ lớn. Trường hợp 4, sử dụng thời gian trễ là ngẫu nhiên trong khoảng từ 0 đến 120ms khác nhau từng thời điểm. Trường hợp 3 và 4 sử dụng cùng một giá trị ước lượng của thời gian trễ.

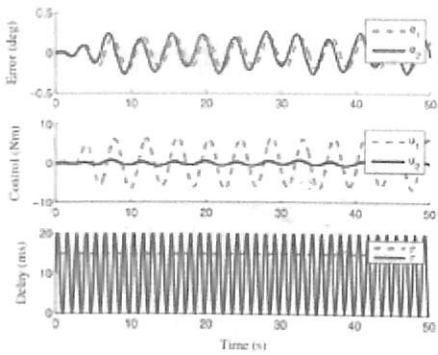
Bảng 1. Sai số bình phương trung bình (RMS) của các khâu robot với các trường hợp khác nhau của trễ:

Trường hợp	Thời gian trễ τ (t) (ms)	Thời gian trễ ước lượng $\hat{\tau}$ (ms)	RMS sai số bám quỹ đạo khâu 1 (deg)	RMS sai số bám quỹ đạo khâu 2 (deg)
1	$10 \sin(5t) + 10$	15	0.1315 ^o	0.1465 ^o
2	$10 \sin(5t) + 10$	100	0.4774 ^o	0.2212 ^o
3	$60 \sin(t) + 60$	75	0.7479 ^o	0.9928 ^o
4	Rand[0,120]	75	0.7476 ^o	1.0068 ^o

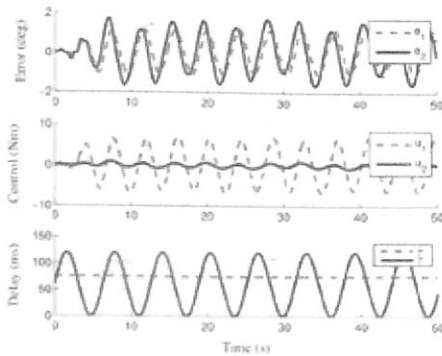
Các tham số điều khiển được lựa chọn cho trường hợp 1 và 2 như sau: $k = \text{diag}([60,6])$, $\alpha_1 = 1, \alpha_3 = 1; \alpha_2 = \text{diag}([50,20.5])$, cho trường hợp 3 và 4: $k = \text{diag}([140,2.75])$, $\alpha_1 = 1, \alpha_3 = 1, \alpha_2 = \text{diag}([23,8])$. Với từng trường hợp mô phỏng, giá trị bình phương trung bình (RMS) của sai số bám quỹ đạo được xác định trong Bảng 1. Bằng việc so sánh giá trị RMS của sai số bám quỹ đạo trong 2 trường hợp 1 và 2, thấy rằng, việc lựa chọn thời gian trễ ước lượng $\hat{\tau}$ gần với giá trị trung bình của thời gian trễ thực $\tau(t)$ thì nhận được kết quả điều khiển tốt hơn, đi liền với sai số bám quỹ đạo nhỏ hơn.

Trường hợp 3 chỉ ra rằng ngay cả với trường hợp thời gian trễ thay đổi trong khoảng lớn thì với giá trị ước lượng thời gian trễ $\hat{\tau}$ là hằng số, kết quả RMS của sai số điều khiển vẫn trong khoảng chấp nhận được. Trường hợp 4, chỉ ra kết quả điều khiển vẫn chấp nhận được ngay cả trong trường hợp thời gian trễ là ngẫu nhiên và biến thiên với tần số rất lớn.

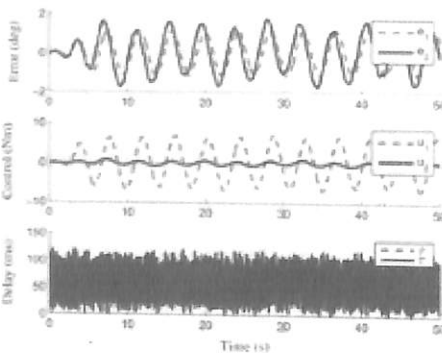
Các hình 1-3 là đồ thị của sai số bám quỹ đạo $e_i(t)$, tín hiệu điều khiển $u(t)$ và đồ thị của thời gian trễ thực $\tau(t)$ so với thời gian trễ ước lượng $\hat{\tau}$, trong các trường hợp 1, 3 và 4 tương ứng.



Hình 1. Sai số bám quỹ đạo, lực điều khiển và thời gian trễ so với giá trị ước lượng của trễ trong mô phỏng 1.



Hình 2. Sai số bám quỹ đạo, lực điều khiển và thời gian trễ so với giá trị ước lượng của trễ trong mô phỏng 3.



Hình 3. Sai số bám quỹ đạo, lực điều khiển và thời gian trễ so với giá trị ước lượng của trễ trong mô phỏng 4.

5. KẾT LUẬN

Phương pháp điều khiển bám quỹ đạo cho cánh tay robot xét tới trễ biến thiên bất định của tín hiệu đầu vào được giới thiệu trong bài

báo. Phương pháp đưa ra xét tới bản chất phi tuyến, không xác định và có tác động của nhiễu ngoài của mô hình động lực học robot chuỗi. Tín hiệu điều khiển là liên tục, bao gồm thành phần PI của luật điều khiển PID kết hợp với thành phần bù trễ. Tín hiệu bù nhiễu được xây dựng dựa trên tích phân của tín hiệu điều khiển trong khoảng thời gian trễ ước lượng trước thời điểm hiện tại. Phương pháp điều khiển này đạt được sai số bám quỹ đạo nằm trong giới hạn nhỏ. Kết quả các mô phỏng trên Matlab được thực hiện với nhiều khoảng thay đổi của thời gian trễ cũng như nhiều giá trị ước lượng của thời gian trễ. Giá trị RMS của sai số bám quỹ đạo nằm trong khoảng chấp nhận được. ❖

Ngày nhận bài: 12/6/2019

Ngày phản biện: 19/6/2019

Tài liệu tham khảo:

- [1]. Smith, O. M., "A controller to overcome deadtime", ISA Journal, vol. 6, pp. 28–33, 1959.
- [2]. Artstein, Z., "Linear systems with delayed controls: a reduction", IEEE Transactions on Automatic Control, vol. 27, no. 4, 869–879, 1982.
- [3]. Manitius, A., và Olbrot, A., "Finite spectrum assignment problem for systems with delays", IEEE Transactions on Automatic Control, vol. 24, no. 4, 541–552, 1979.
- [4]. H. T. Dinh, N. Fischer, R. Kamalapurkar, và W. E. Dixon, "Output Feedback Control for Uncertain Nonlinear Systems with Slowly Varying Input Delay", In proceeding of American Control Conference, Washington DC, USA, pp. 1748-1753, 2013.
- [5]. Đinh Thị Thanh Huyền; "Nghiên cứu điều khiển bám quỹ đạo cho cánh tay robot chịu tác động của trễ biến đổi", Tạp chí Khoa học và Công nghệ, Trường Đại học Công nghiệp Hà Nội, số 52, tháng 6/2019.
- [6]. Fischer, N., Lyapunov-based control of saturated and time-delayed nonlinear systems, Ph.D. dissertation, University of Florida, 2012.
- [7]. Fischer, N., Dani, A., Sharma, N., và Dixon, W. E., "Saturated control of an uncertain Euler-Lagrange system with input delay", In Proc. IEEE conf. decis. control, Orlando, FL, pp. 7587–7592, 2011.
- [8]. N. Sharma, S. Bhasin, Q. Wang, và W. E. Dixon, "Predictor-based control for an uncertain Euler-Lagrange system with input delay", Automatica, vol. 47, no. 11, pp. 2332–2342, 2011.
- [9]. Craig, J. J., "Introduction to Robotics: Mechanics and Control", 3/E, Pearson Education India, 2009.