

THIẾT KẾ BỘ ĐIỀU KHIỂN TRƯỢT VỊ TRÍ/LỰC CÁNH TAY ROBOT TƯƠNG TÁC VỚI MÔI TRƯỜNG LÀM VIỆC

DESIGN OF SLIDING POSITION/FORCE CONTROLLER FOR ROBOT MANIPULATOR UNDER WORKING ENVIRONMENT

Phan Đình Hiếu^{1,*}, Đào Minh Tuấn²,
Lê Ngọc Duy¹, Lê Văn Nghĩa¹

TÓM TẮT

Bài báo trình bày phương pháp thiết kế bộ điều khiển trượt lực/ vị trí cho cánh tay robot làm việc dưới sự ràng buộc của môi trường làm việc. So với phương pháp PID truyền thống bộ điều khiển trượt có ưu điểm luôn ổn định, bền vững đảm bảo vị trí và lực tương tác của điểm tác động cuối luôn bám theo giá trị đặt trước kể cả khi tham số động lực học cánh tay robot thay đổi. Sự ổn định của bộ điều khiển lực và vị trí được chứng minh bằng hàm Lyapunov. Kết quả mô phỏng lực vị trí cánh tay robot A465 của CRS robotics bằng phần mềm Matlab Simulink đảm bảo độ chính xác và tin cậy của vị trí, lực của điểm tác động cuối cánh tay robot khi tương tác với môi trường làm việc.

Từ khóa: Bộ điều khiển trượt lực/vị trí; môi trường làm việc; tham số thay đổi; cánh tay robot.

ABSTRACT

This paper presents a method of sliding position/force controller design for robot manipulators under working environment constraint. Compare to the traditional PID controller, the sliding mode controller has advantages such as high stability, robustness and ensure the end - effector robot interaction high tracking the reference value regardless of the parameter uncertainty. The stability of the position/force controller is proved by Lyapunov theory. The simulation results of A465 CRS robotics using Matlab Simulink software guarantee the accuracy and reliability of the position/force end - effector robot manipulators.

Keyword: Sliding position/force controller; working environment; parameter uncertainty; robot manipulators.

¹Khoa Cơ khí, Trường Đại học Công nghiệp Hà Nội

²Khoa Điện - Điện tử, Trường Đại học Sư phạm kỹ thuật Hưng Yên

*Email: phandinhhieuctd@gmail.com

Ngày nhận bài: 10/01/2019

Ngày nhận bài sửa sau phản biện: 04/5/2019

Ngày chấp nhận đăng: 20/12/2019

1. GIỚI THIỆU

Trong các trường hợp cánh tay robot làm việc dưới sự ràng buộc của môi trường, sẽ tồn tại lực tương tác giữa điểm tác động cuối của cánh tay robot với bề mặt môi trường. Lực tương tác này gồm lực do cánh tay robot tác động lên bề mặt môi trường và phản lực của bề mặt môi trường tác động ngược lên điểm tác động cuối cánh tay

robot. Như vậy, cả quỹ đạo vị trí và lực tương tác phải đồng thời được điều khiển. Có rất nhiều công trình nghiên cứu đã được công bố trong lĩnh vực điều khiển này. Phương pháp điều khiển lai giữa lực và vị trí đầu tiên được đề xuất trong [1]. Trong nghiên cứu này, bộ điều khiển được tách riêng thành hai bộ điều khiển con là bộ điều khiển lực và vị trí thông qua một ma trận chọn. Trong [2] đã đưa ra một phương pháp điều khiển lai vị trí/lực cho cánh tay robot ba bậc tự do. Nghiên cứu này được thực hiện trong cả trường hợp chuyển động trong không gian tự do và chuyển động trong sự ràng buộc của môi trường làm việc. Một bộ điều khiển lai vị trí/lực sử dụng các động học trực tiếp để tìm ra vị trí hiện tại của điểm tác động cuối được giới thiệu trong nghiên cứu [3]. Thuật toán điều khiển trong nghiên cứu này sử dụng ma trận Jacobi chuyển vị để tính toán sai lệch vị trí của cánh tay robot. Một bộ điều khiển lai vị trí/lực được công bố trong [4]. Trong nghiên cứu này, tín hiệu phản hồi lực tương tác giữa điểm tác động cuối của cánh tay robot với môi trường làm việc không được lấy từ cảm biến lực mà được phản hồi từ bộ quan sát lực. Trên cơ sở thiết kế một bộ quan sát vận tốc và lực, một bộ điều khiển vị trí và lực cho cánh tay robot được đề xuất trong [5] với không sử dụng bất kỳ cảm biến lực hoặc cảm biến vận tốc nào. Tất cả các nghiên cứu nêu trên đều thực hiện điều khiển trong trường hợp mô hình động lực học cánh tay robot được xác định rõ ràng bằng các phương trình toán học cụ thể. Tuy nhiên, trong một số trường hợp, một số cánh tay robot không có những mô hình rõ ràng hoặc trong mô hình có các tham số động lực học không được xác định hoặc các tham số động lực học biến đổi, ví dụ như khối lượng của tải trọng, tham số động lực học cánh tay robot thay đổi. Để giải quyết vấn đề này có nhiều phương pháp điều khiển được sử dụng, một trong những phương pháp mang lại hiệu quả cao đó chính là bộ điều khiển trượt. Phương pháp này đã được nhiều nhà khoa học quan tâm vì tính bền vững và tính ổn định ngay cả khi có tác động nhiễu và cũng như sự thay đổi thông số mô hình. Điều khiển trượt đã được ứng dụng rất nhiều trong điều khiển robot tay máy [6, 7]. Tuy nhiên các bài báo chỉ thực hiện điều khiển vận tốc và vị trí cánh tay robot mà chưa thực hiện điều khiển lực tương tác với môi trường làm việc. Bài báo này, bộ điều khiển trượt

được thiết kế để điều khiển cả vị trí và lực tác động của cánh tay robot với môi trường. Ngoài ra, tính ổn định của bộ điều khiển cho cánh tay robot cũng được chứng minh trong bài báo.

2. THIẾT KẾ BỘ ĐIỀU KHIỂN

2.1. Động lực học cánh tay robot

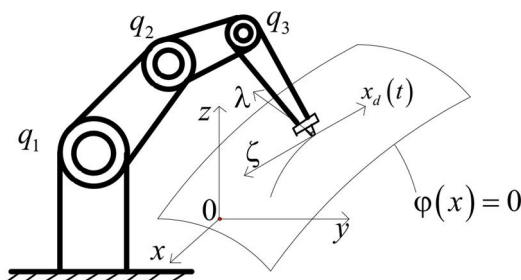
Xét phương trình động lực học cánh tay robot n bậc tự do [8] như sau:

$$H(q)\ddot{q} + C(q, \dot{q})\dot{q} + D\dot{q} + g(q) = \tau + J_\phi^T(q)\lambda \tag{1}$$

Trong đó, $q \in \mathbb{R}^n$ là véc tơ góc quay xét trong không gian khớp, $\dot{q} \in \mathbb{R}^n$ là véc tơ vận tốc góc, $\ddot{q} \in \mathbb{R}^n$ là véc tơ gia tốc góc khớp, $H(q) \in \mathbb{R}^{n \times n}$ là ma trận thành phần quán tính, $C(q, \dot{q}) \in \mathbb{R}^n$ là véc tơ thành phần hướng tâm và coriolis, $D \in \mathbb{R}^{n \times n}$ là ma trận đường chéo xác định dương và là đại lượng biểu thị cho hệ số ma sát nhớt, $g(q) \in \mathbb{R}^n$ là véc tơ của lực trọng trường, $\tau \in \mathbb{R}^n$ là véc tơ của mô men đầu vào đặt tại các khớp, $\lambda \in \mathbb{R}^n$ là véc tơ nhân tử Lagrange (là đại lượng vật lý biểu thị cho lực tác động của điểm tác động cuối cánh tay robot lên môi trường). Giả sử đưa ra một cặp giá trị, bao gồm quỹ đạo đặt (mong muốn) của vị trí $q_d(t)$ trong không gian khớp và quỹ đạo đặt của lực $\lambda_d(t)$ trên bề mặt của môi trường; $J_\phi(q) \in \mathbb{R}^{n \times n}$ là ký hiệu gradient của ràng buộc holonomic và được mô tả bằng phương trình sau:

$$\phi(q) = 0 \tag{2}$$

Điểm tác động cuối cánh tay robot tương tác với môi trường làm việc được mô tả trong hình 1.



Hình 1. Cánh tay robot ba bậc tự do

Hình 1 mô tả điểm tác động cuối cánh tay robot chuyển động theo một quỹ đạo trên một bề mặt được mô tả bởi một hàm vô hướng $\phi(x) = 0$. Với $x = [x, y, z]^T$ là tọa độ điểm tác động cuối xét trong hệ tọa độ Decac. Khi đó, lực tương tác giữa điểm tác động cuối với bề mặt sinh ra theo phương vuông góc với bề mặt $\phi(x) = 0$ tại điểm x . Khi điểm tác động cuối chuyển động trượt trên bề mặt, tại điểm tác động $x(t)$ xuất hiện một lực ma sát có phương trùng với véc tơ vận tốc \dot{x} cùng chiều với $-\dot{x}$ và có độ lớn $\rho(|\dot{x}|)|\dot{x}|$. Lực tác động của điểm tác động cuối cánh tay robot lên môi trường λ có hướng vuông góc với bề mặt

$\phi(x) = 0$. Ma trận phản đối xứng $\dot{H}(q) - 2C(q, \dot{q})$ thỏa mãn $x^T (\dot{H}(q) - 2C(q, \dot{q})) x = 0$

Vế trái của phương trình (1) có thể được viết lại như sau:

$$H(q)\ddot{q} + C(q, \dot{q})\dot{q} + D\dot{q} + g(q) = Y(q, \dot{q}, \ddot{q})p \tag{3}$$

Trong đó, $Y(q, \dot{q}, \ddot{q})$ là ma trận hồi quy, hoàn toàn không phụ thuộc vào các tham số động lực học của các khớp của cánh tay robot như khối lượng và các thành phần quán tính. $p = [p_1, p_2, p_3, \dots, p_l]$ là véc tơ mà có các thành phần là các hàm của các tham số không được biết hoặc không chắc chắn hoặc có thể thay đổi trong quá trình làm việc của mô hình động lực học cánh tay robot. Véc tơ tham số p này phụ thuộc vào kết cấu cơ khí, bao gồm chiều dài, khối lượng các thanh nối và phụ thuộc vào các mô men quán tính sinh ra khi cánh tay robot làm việc. Như vậy, véc tơ tham số này sẽ có sự thay đổi khi cánh tay robot làm việc tại các vị trí khác nhau. Một yếu tố ảnh hưởng đến sự thay đổi của véc tơ tham số p là sự thay đổi của tải trọng mà cánh tay robot mang theo. Phương trình (1) có được viết lại như sau:

$$Y(q, \dot{q}, \ddot{q})p = \tau + J_\phi^T(q)\lambda \tag{4}$$

2.2. Thiết kế bộ điều khiển trượt

Giả sử đưa ra một cặp giá trị, bao gồm quỹ đạo đặt (mong muốn) của vị trí $q_d(t)$ trong không gian khớp và quỹ đạo đặt của lực $\lambda_d(t)$ trên bề mặt của môi trường đưa ra. Mục tiêu là thiết kế bộ điều khiển trượt vị trí/ lực để tạo ra mô men τ đặt vào các khớp của cánh tay robot đủ để đưa quỹ đạo các khớp bám tiệm cận với quỹ đạo đặt $q_d(t)$ đồng thời điểm tác động cuối cánh tay robot tác động vào bề mặt môi trường một lực bám tiệm cận với lực mong muốn $\lambda_d(t)$ khi $t \rightarrow \infty$. Gọi q_r là giá trị tham chiếu danh định của véc tơ vận tốc \dot{q} được định nghĩa như sau:

$$\dot{q}_r = Q(q)(\dot{q}_r - L\dot{e}) + \eta J_\phi^T(q)\Delta F \tag{5}$$

Trong đó, L là ma trận đường chéo xác định dương, η là hằng số dương. Véc tơ q_r được phân tích trong hai không gian trực giao với nhau dựa trên hai ma trận chiếu là $Q(q)$ và $P(q)$. Như vậy, $Q(q)$ sẽ là ma trận chiếu mà chiếu các véc tơ trong không gian khớp lên mặt phẳng mà tiếp tuyến với bề mặt $\phi(q) = 0$ tại điểm q và được xác định như sau:

$$Q(q) = I - P(q) \tag{6}$$

Với phép chiếu lên bề mặt $\phi(q) = 0$ ta có:

$$J_\phi(q)\dot{q} = 0; Q(q)\dot{q} = \dot{q}; Q(q)J_\phi^T(q) = 0; J_\phi^T(q)J_\phi(q) = P(q)$$

Các sai lệch vị trí, vận tốc và lực được xác định:

$$e = q - q_d; \dot{e} = \dot{x}_2 - \dot{q}_d; \Delta \lambda = \Delta F = \lambda - \lambda_d$$

Nếu ta gọi sai lệch giữa đáp ứng của vận tốc \dot{q} và giá trị tham chiếu danh định của vận tốc \dot{q}_r là $s = \dot{q} - \dot{q}_r$, ta có:

$$s = s_t + s_n = Q(q)(e + Le) - \eta J_\phi^T(q)\Delta F$$

Trong đó, $s_t = Q(q)(e + Le)$, $s_n = -\eta J_\phi^T(q)\Delta F$ thể hiện phương tiếp tuyến và phương vuông góc với bề mặt môi trường tại điểm tác động cuối cánh tay robot. Để thiết kế

bộ điều khiển trượt vị trí/lực cánh tay robot thì vận tốc các khớp \dot{q} và gia tốc các khớp \ddot{q} lần lượt được thay thế bằng giá trị danh định vận tốc và gia tốc góc \dot{q}_r, \ddot{q}_r . Phương trình (3) được viết lại dưới dạng sau:

$$H(q)\ddot{q}_r + C(q, \dot{q})\dot{q}_r + D\dot{q} + g(q) = Y(q, \dot{q}, \ddot{q}_r, \dot{q}_r)\mathbf{p} \quad (7)$$

Để có thể thiết kế bộ điều khiển trượt thì các ma trận $H(q), C(q, \dot{q})$ và ma trận $Y(q, \dot{q}, \ddot{q}_r, \dot{q}_r)$ là những ma trận bị chặn. Hàm Lyapunov của hệ thống được chọn như sau:

$$V(t) = \frac{1}{2}(s^T H(q)s + \eta \Delta F^2) \quad (8)$$

Ta có:

$$\begin{aligned} \dot{V}(t) &= s^T \dot{H}(q)s + \frac{1}{2} s^T \dot{H}(q)s + \eta \Delta F \dot{\Delta F} \\ &= s^T \dot{H}(q)s + s^T C(q, \dot{q})s + \eta \Delta F \dot{\Delta F} \\ &= s^T \dot{H}(q)(\ddot{q} - \ddot{q}_r) + s^T C(q, \dot{q})(\dot{q} - \dot{q}_r) + \eta \Delta F \dot{\Delta F} \\ &= s^T (\boldsymbol{\tau} + J_\varphi^T(q)\lambda - D\dot{q} - g(q) - H(q)\ddot{q}_r - C(q, \dot{q})\dot{q}_r) + \eta \Delta F \dot{\Delta F} \\ &= s^T (\boldsymbol{\tau} + J_\varphi^T(q)\lambda - Y(q, \dot{q}, \ddot{q}_r, \dot{q}_r)\mathbf{p}) + \eta \Delta F \dot{\Delta F} \quad (9) \end{aligned}$$

Bộ điều khiển trượt lực/vị trí được thiết kế theo luật như sau:

$$\boldsymbol{\tau} = Y(q, \dot{q}, \ddot{q}_r, \dot{q}_r)\mathbf{p}_0 - \mathbf{k} \text{sgn}(s) - J_\varphi^T(q)(\lambda_d + \mu \Delta F) \quad (10)$$

Thế phương trình (10) vào phương trình (9) ta có:

$$\begin{aligned} \dot{V}(t) &= s^T (Y(q, \dot{q}, \ddot{q}_r, \dot{q}_r)\tilde{\mathbf{p}} - \mathbf{k} \text{sgn}(s) + J_\varphi^T(q)(\Delta\lambda + \mu \Delta F)) + \eta \Delta F \dot{\Delta F} \\ &= s^T (Y(q, \dot{q}, \ddot{q}_r, \dot{q}_r)\tilde{\mathbf{p}} - \mathbf{k} \text{sgn}(s)) + s^T J_\varphi^T(q)(\Delta\lambda + \mu \Delta F) + \eta \Delta F \dot{\Delta F} \quad (11) \end{aligned}$$

Trong đó: $\Delta\lambda = \dot{\Delta F} = \lambda - \lambda_d$; $\tilde{\mathbf{p}} = \mathbf{p}_0 - \mathbf{p}$; \mathbf{p}_0 là tham số ban đầu hệ thống khi chưa biến đổi.

Mặt khác ta có:

$$\begin{aligned} s^T J_\varphi^T(q) &= (J_\varphi(q)s)^T = (J_\varphi(q)(s_t + s_n))^T = (J_\varphi(q)s_n)^T \\ &= (-J_\varphi(q)\eta J_\varphi^T(q)\Delta F)^T = -\eta \Delta F \end{aligned}$$

Vì vậy từ phương trình (11)

$$\begin{aligned} \dot{V}(t) &= s^T Y(q, \dot{q}, \ddot{q}_r, \dot{q}_r)\tilde{\mathbf{p}} - s^T \mathbf{k} \text{sgn}(s) - \eta \Delta F (\Delta\lambda + \mu \Delta F) + \eta \Delta F \dot{\Delta F} \\ &= s^T (Y(q, \dot{q}, \ddot{q}_r, \dot{q}_r)\tilde{\mathbf{p}} - \mathbf{k} \text{sgn}(s)) - \eta \mu \Delta F^2 \end{aligned}$$

Ta có $\tilde{\mathbf{p}} = [\tilde{p}_i], i = 1, 2, 3 \dots 20$; do các tham số biến đổi có giới hạn nên $|\tilde{p}_i| < |\bar{p}_i|$ vì vậy ma trận \mathbf{k} của bộ điều khiển được xác định:

$$\mathbf{k}_i = \sum_{j=0}^{20} Y_{ij}(q, \dot{q}, \ddot{q}_r, \dot{q}_r) \bar{p}_j \quad (i=1, 2, 3) \quad (12)$$

Suy ra:

$$\begin{aligned} \dot{V}(t) &= \sum_{i=0}^3 \sum_{j=0}^{20} s_i Y_{ij} \tilde{p}_j - \sum_{i=0}^3 \sum_{j=0}^{20} |s_i| Y_{ij} \bar{p}_i - \eta \mu \Delta F^2 < -\eta \mu \Delta F^2 \end{aligned}$$

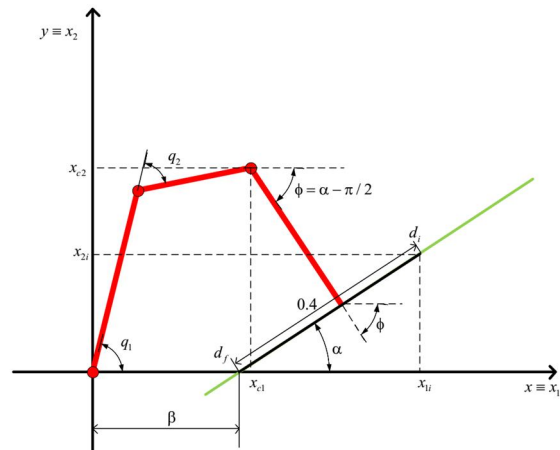
Ta có các tham số $\eta > 0; \mu > 0$ vì vậy $\dot{V}(t) < \eta \mu \Delta F^2 < 0$ mà $V(t) > 0$ vì vậy hệ thống ổn định. Vậy bộ điều khiển trượt được xác định theo phương trình (10) và ma trận tham số bộ điều khiển xác định theo phương trình (12).

3. MÔ PHỎNG HỆ THỐNG

Để kiểm chứng thuật toán điều khiển trượt vị trí/lực, nhóm tác giả thực hiện điều khiển cánh tay robot R465 CRS Robotics chuyển động trong ràng buộc với môi trường có phương trình và các tham số được phân tích trong [9]. Trong quá trình mô phỏng bộ điều khiển thực hiện điều khiển điểm tác động cuối di chuyển trên đoạn thẳng dài $d_1 = 0,4\text{m}$. Mặt phẳng nghiêng được mô tả bởi phương trình:

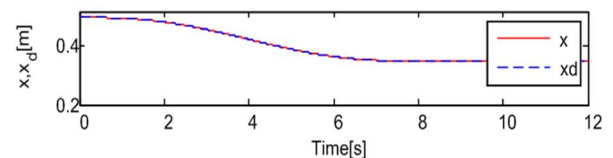
$$\varphi(x) = \cos(\alpha)y - \sin(\alpha)(x - \beta) = 0 \quad (13)$$

Trong đó $\alpha = 68^\circ$ là góc nghiêng của mặt phẳng, $\beta = 0,35\text{m}$ là khoảng cách giữa mặt phẳng và trục thẳng đứng. Quỹ đạo mong muốn được thiết kế theo đa thức nội suy bậc 5. Robot di chuyển và đi vào mặt phẳng nghiêng phải đảm bảo sao cho điểm tác động cuối cánh tay robot có hướng vuông góc với mặt phẳng nghiêng vì vậy góc nghiêng điểm tác động cuối với phương trục nằm ngang $\phi_d = \alpha - 90^\circ = -22^\circ$ phải luôn được đảm bảo trong suốt quá trình hoạt động.

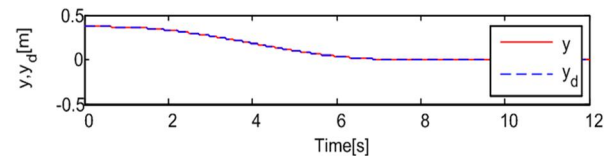


Hình 2. Cánh tay robot tương tác môi trường làm việc

Để đánh giá được khả năng đáp ứng của bộ điều khiển với sự thay đổi các tham số động lực học và tải trọng của cánh tay robot, tại thời điểm $(t = 4\text{s})$, ta thực hiện tăng và giảm các tham số này với sự thay đổi được cộng thêm 10%. Kết quả mô phỏng được thể hiện trên các hình 3, 4.



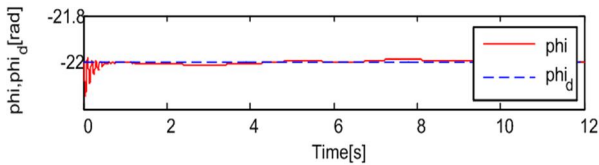
Hình 3. Tọa độ điểm tác động cuối theo trục x



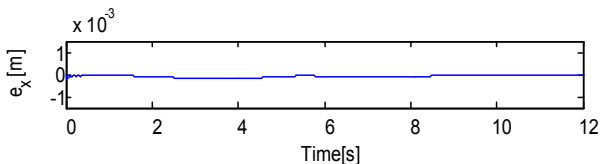
Hình 4. Tọa độ điểm tác động cuối theo trục y

Kết quả mô phỏng trên các hình 3, 4 cho thấy các giá trị thực về vị trí tại điểm tác động cuối tọa độ x,y luôn bám theo giá trị đặt. Trong khi đó hình 5, 9 chỉ ra góc nghiêng

ϕ và lực tương tác tại thời điểm ban đầu dao động nhưng sau khoảng thời gian 0,5s các giá trị này đã bám sát với giá trị đặt.

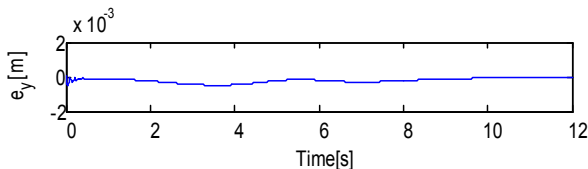


Hình 5. Tọa độ theo góc ϕ

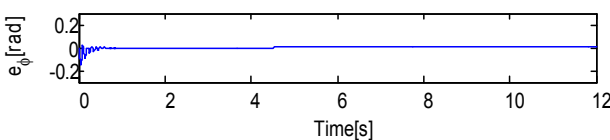


Hình 6. Sai lệch vị trí trục x

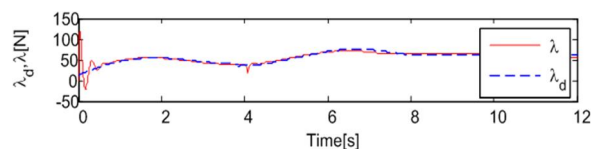
Các hình 6, 7, 8, 10 cho thấy sai lệch về vị trí điểm tác động cuối và lực tương tác với môi trường là rất bé. Bên cạnh đó, tại thời điểm ($t = 4s$) khi thay đổi tham số của robot thì các kết quả mô phỏng chỉ ra sự sai lệch giữa giá trị thực và giá trị đặt là không đáng kể. Như vậy, bộ điều khiển trượt đã điều khiển đảm bảo chất lượng tốt các thông số về lực và vị trí ngay cả khi tham số hệ thống thay đổi.



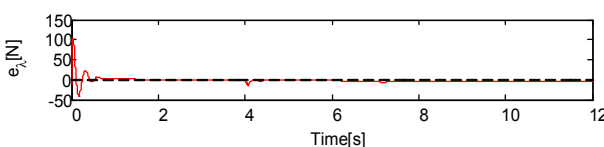
Hình 7. Sai lệch vị trí trục y



Hình 8. Sai lệch theo góc ϕ



Hình 9. Lực tương tác với môi trường



Hình 10. Sai lệch lực tương tác

4. KẾT LUẬN

Bài báo đã trình bày kết quả xây dựng một thuật toán điều khiển trượt vị trí/lực để điều khiển vị trí và lực cho cánh tay robot chuyển động trong sự ràng buộc của môi trường. Bên cạnh đó tính ổn định của hệ thống đã được chứng minh bằng phương trình Lyapunov. Qua kết quả mô phỏng kiểm chứng cho thấy, thuật toán rất hiệu quả trong

việc điều khiển song song cả lực và vị trí cho cánh tay robot trong điều kiện làm việc mà có sự thay đổi của các tham số động lực học hoặc tải trọng. Trong nghiên cứu tiếp theo, thuật toán điều khiển này có thể được kết hợp với các bộ quan sát lực và vận tốc để điều khiển vị trí và lực cho cánh tay robot mà không cần đến sự đo lường của lực và vận tốc.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. R. Colbaugh, H. Seraji, and K. Glass, 1993. *Direct adaptive impedance control of robot manipulators*. Journal of Field Robotics, No. 10, 217-248.
- [2]. B. Siciliano and L. Villani, 1996. *Adaptive compliant control of robot manipulators*. Control Engineering Practice, No. 4, 705-712.
- [3]. B. Siciliano and L. Villani, 2012. *Robot force control*. Springer Science & Business Media, No. 540.
- [4]. L. L. Whitcomb, S. Arimoto, T. Naniwa, and F. Ozaki, 1997. *Adaptive modelbased hybrid control of geometrically constrained robot arms*. IEEE Transactions on Robotics and Automation, No. 13, 105-116.
- [5]. S. X. Tian and S. Z. Wang, 2011. *Hybrid Position/Force Control for a RRR 3-DoF Manipulator*. Applied Mechanics and Materials, No. 12, 589- 592.
- [6]. Kim, N., C.W. Lee and P.H. Chang, 1998. *Sliding mode control with perturbation estimation: Application to Motion Control of Parallel Manipulators*. Control Engineering Practice, No. 6, 1321-1330.
- [7]. Curk, B. and K. Jezemik, 2001. *Sliding mode control with perturbation estimation: Application on DD Robot Mechanism*. Robotica, No. 4, 641-648.
- [8]. D. M. Tuan, L. N. Truc, T. D. Thuan, 2016. *Hybrid force/position control for robot manipulators using observer*. Chuyên san kỹ thuật điều khiển và tự động hóa số 17.
- [9]. Đ. M. Tuấn, T. Đ. Thuận, 2017. *Thiết kế bộ quan sát lực/vận tốc cho điều khiển chuyển động và lực cánh tay robot*. Tạp chí Nghiên cứu KH&CN quân sự số 52.

AUTHORS INFORMATION

Phan Dinh Hieu¹, Dao Minh Tuan², Le Ngoc Duy¹, Le Van Nghia¹

¹Faculty of Mechanical Engineering, Hanoi University of Industry

²Faculty of Electrical and Electronics Engineering, Hung Yen University of Technology and Education