

SO SÁNH THUẬT TOÁN ĐIỀU KHIỂN PID VÀ ĐIỀU KHIỂN TRƯỢT BẮM QUỸ ĐẠO ROBOT HAI KHÂU QUAY CÓ ẢNH HƯỞNG CỦA NHIỀU

Nguyễn Xuân Biên, Nguyễn Tiến Thịnh
 Trường Đại học Thủy lợi, email: xuanbien.ng@tlu.edu.vn

1. GIỚI THIỆU CHUNG

Robot công nghiệp là những thiết bị linh hoạt, thực hiện các chức năng tương tự thao tác của con người một cách tự động dưới một hệ thống điều khiển theo những chương trình đã được lập trình sẵn. Trong quá trình phát triển robot hai vấn đề chính cần được quan tâm thực hiện đó là tính toán, thiết kế, chế tạo mô hình cơ học và xây dựng thiết kế bộ điều khiển cho robot. Vấn đề tính toán, thiết kế, chế tạo đã được các nhà khoa học nghiên cứu đề cập trong nhiều công trình nghiên cứu và ngày càng được hoàn thiện, tối ưu thông qua các công cụ phần mềm thiết kế, mô phỏng. Vấn đề về điều khiển cũng được đề cập đến trong nhiều công trình nghiên cứu tuy nhiên các bộ điều khiển ngày càng được nghiên cứu sâu hơn giúp robot đảm bảo bám sát quỹ đạo đặt.

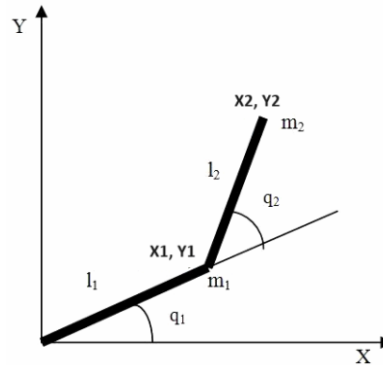
Trong vấn đề điều khiển robot, thuật toán PID được ứng dụng nhiều nhất trong vấn đề điều khiển bám quỹ đạo của robot. Đã có nhiều bài báo viết về thuật toán này dành cho robot hai khâu điển hình như bài báo số [1] nói về điều khiển PD và PID cơ bản, hoặc bài báo số [2] trình bày về điều khiển PID kết hợp điều khiển mờ Fuzzy và bài báo số [3] viết về điều khiển PID kết hợp mạng nơron. Tuy nhiên thuật toán này còn tồn tại một số nhược điểm như độ bám quỹ đạo không cao khi robot làm việc với tốc độ cao hay có sự thay đổi đột ngột của các tác động môi trường hay tải trọng. Mặt khác quá trình áp dụng thuật toán điều khiển PID là tuyến tính trong khi các mô hình tác động của môi trường lên robot là phi tuyến ví dụ như hiệu

ứng ma sát, gió... do đó việc sử dụng bộ điều khiển PID đem lại hiệu suất thấp. Có một số thuật toán điều khiển đa nhiệm có khả năng đáp ứng tốt hơn với cả hệ tuyến tính và phi tuyến, điển hình là bộ điều khiển trượt (SMC). Một số bài viết [4]-[5] đã trình bày về điều khiển trượt SMC cho robot hai khâu và bài số [6] cũng so sánh bộ điều khiển PID với bộ điều khiển trượt SMC, tuy nhiên trong các bài viết này, nhóm tác giả chưa thấy được sự ảnh hưởng của nhiễu đến khả năng làm việc của bộ điều khiển PID và SMC.

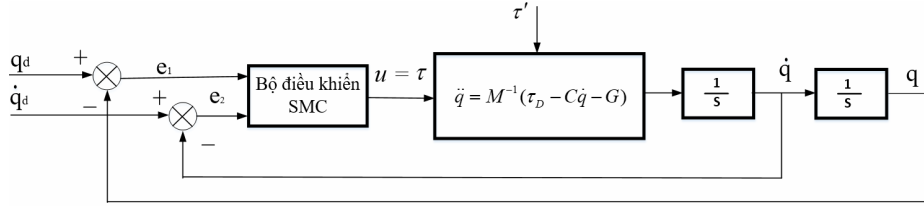
Để làm nổi bật khả năng kháng nhiễu của điều khiển trượt, trong bài báo này nhóm tác giả đã xây dựng, tính toán, mô phỏng đáp ứng của bộ điều khiển PID và SMC cho robot hai khâu quay khi có tác động của nhiễu ngoại. Mô hình nghiên cứu được thực hiện bởi phần mềm Matlab-Simulink.

2. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

2.1. Mô hình toán học robot hai khâu quay



Hình 1. Mô hình robot hai khâu quay



Hình 2. Sơ đồ hệ thống điều khiển trượt cho robot hai khâu quay

Mô hình cánh tay robot hai bậc tự do được (Hình 1) gồm hai liên kết khớp xoay được xây dựng với các tham số trong hệ tọa độ OXY như sau:

- + l_1 : Độ dài khâu 1.
- + l_2 : Độ dài khâu 2.
- + m_1 : Khối lượng khâu 1.
- + m_2 : Khối lượng khâu 2.
- + q_1 : Góc quay của khâu 1.
- + q_2 : Góc quay của khâu 2.

Mô hình động học của robot 2 khâu có dạng:

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

trong đó:

$$M(q) = \begin{bmatrix} (m_1 + m_2)l_1^2 + m_2l_2^2 + 2m_2l_1l_2 \cos(q_2) & m_2l_2^2 + m_2l_1l_2 \cos(q_2) \\ m_2l_2^2 + m_2l_1l_2 \cos(q_2) & m_2l_2^2 \end{bmatrix}$$

$$C(q, \dot{q}) = \begin{bmatrix} -m_2l_1l_2(2\dot{q}_1\dot{q}_2 + \dot{q}_2^2) \sin(q_1) \\ m_2l_1l_2\dot{q}_1^2 \sin(q_2) \end{bmatrix}$$

$$G(q) = \begin{bmatrix} (m_1 + m_2)gl_1 \cos(q_1) + m_2gl_2 \cos(q_1 + q_2) \\ m_2gl_2 \cos(q_1 + q_2) \end{bmatrix}$$

$\tau_D = \tau - \tau'$ với τ là momen điều khiển và τ' momen nhiễu phi tuyến ...

Từ mô hình toán học sẽ đi đến thiết kế bộ điều khiển cho robot. Với bộ điều khiển PID cơ bản, tác giả sẽ không trình bày cấu trúc điều khiển, bài báo này sẽ tập trung vào trình bày cấu trúc của bộ điều khiển trượt SMC.

2.2. Thuật toán điều khiển trượt SMC

Áp dụng phương pháp điều khiển trượt trên cơ sở cấu trúc động lực học robot. Từ mô hình động học của robot (1) chuyển về ta thu được:

$$\Rightarrow \begin{cases} \ddot{q} = M^{-1}(\tau_D - C\dot{q} - G) \\ \dot{q} = \int \ddot{q} \\ q = \int \dot{q} \end{cases} \quad (2)$$

Áp dụng công thức (2), sơ đồ hệ thống điều khiển trượt SMC có dạng như Hình 2.

Sử dụng mặt trượt có dạng:

$$s(e) = k_0e_1 + e_2 \text{ và } \frac{de_1}{dt} = e_2 \quad (3)$$

trong đó:

$e_1 = q_d - q$ là sai lệch vị trí;

$e_2 = \dot{q}_d - \dot{q}$ là sai lệch tốc độ, k_0 là tham số mặt trượt.

Để đảm bảo tính ổn định của hệ thống, sử dụng lý thuyết ổn định Lyapunov [7], hàm Lyapunov có dạng như sau:

$$V(s) = \frac{1}{2}s^2 \quad (4)$$

Từ mô hình điều khiển trên Hình 2, kết hợp phương pháp tính toán bộ điều khiển trượt SMC ta thu được tín hiệu điều khiển có dạng:

$$u = \tau = M(\ddot{q}_d + k_0 \frac{de_1}{dt} + k_1 \text{sgn}(s(e))) + C\dot{q} + G + \tau' \quad (5)$$

Áp dụng công thức (5) để xây dựng bộ điều khiển cho robot, tuy nhiên, khi sử dụng hàm sgn sẽ có hiện tượng răng cưa (chattering) gây rung lắc khi dao động. Để khắc phục hiện tượng này, có thể sử dụng hàm Saturation kết hợp với khâu PI như công thức (6):

$$\text{SatPi}(s) = \begin{cases} \text{sgn}(s(e)) & \text{khi } |s(e)| > \varepsilon \\ \frac{s(e)}{\varepsilon} + k_i \int_{t_0}^t s(t).dt & \text{khi } |s(e)| \leq \varepsilon \end{cases} \quad (6)$$

Sử dụng phần mềm Matlab-Simulink để tiến hành mô phỏng và thu được kết quả.

3. KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU

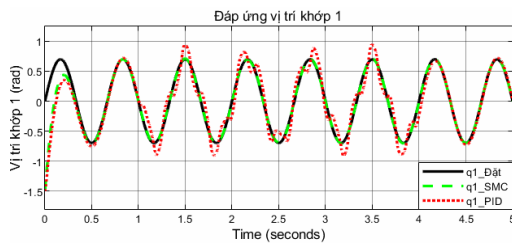
Bài toán kiểm chứng: Điều khiển quỹ đạo chuyển động của robot hai khâu quay bám theo một quỹ đạo cho trước trong khoảng thời gian 5s, kiểm tra đáp ứng chuyển động của các biến khớp theo cả hai phương pháp

điều khiển PID và trượt SMC khi có nhiễu tác động. Quỹ đạo đặt của các biến khớp có dạng như biểu thức (7)

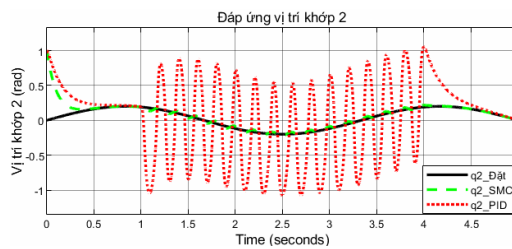
$$\begin{cases} q_{d1} = 0.7 \sin(3\pi t) \\ q_{d2} = 0.2 \sin(0.6\pi t) \end{cases} \quad (7)$$

Sử dụng phần mềm Matlab-Simulink để mô phỏng quỹ đạo chuyển động cho robot 2 khâu quay. Tại thời điểm $1s \Rightarrow 4s$ ta bổ sung một nhiễu phi tuyến có dạng hình sine $\tau' = \begin{cases} 0.5 \sin(5\pi t) \\ 1.5 \sin(10\pi t) \end{cases}$ tác động vào khâu 1 và khâu

2. Kiểm tra đáp ứng của các khớp quay theo hai bộ điều khiển. Kết quả mô phỏng thu được như trong Hình 3 và Hình 4.



Hình 3. Đáp ứng vị trí biến khớp 1



Hình 4. Đáp ứng vị trí biến khớp 2

Từ kết quả ta thấy rằng khi có nhiễu tác động, với bộ điều khiển PID, quỹ đạo chuyển động của các khớp bị ảnh hưởng nhiều dẫn đến dao động mạnh. Với bộ điều khiển trượt SMC, khi có nhiễu tác động, quỹ đạo chuyển động của các khớp vẫn bám sát theo giá trị đặt, sai lệch quỹ đạo nhỏ, điều đó minh chứng cho việc bộ điều khiển trượt SMC giúp cho robot luôn hoạt động chính xác theo quỹ đạo cho trước ngay cả khi có nhiễu tác động.

4. KẾT LUẬN

Việc lựa chọn sử dụng bộ điều khiển dành cho robot là một vấn đề quan trọng cho các doanh nghiệp khi sản xuất robot. Bằng việc so sánh kết quả đáp ứng của hai bộ điều khiển dùng cho robot hai khâu quay khi có nhiễu tác động, bài báo này đã khẳng định khả năng kháng nhiễu phi tuyến mạnh mẽ của bộ điều khiển trượt so với bộ điều khiển PID, qua đó các nhà sản xuất có thể lựa chọn phương pháp điều khiển này dùng cho việc sản xuất các robot đa dụng trong công nghiệp.

5. TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Rasheedat M. Mahamood and Jimoh O. Pedro (2011) Hybrid PD/PID Controller Design for Two-Link Flexible Manipulators. Proceedings of 2011 8th Asian Control Conference (ASCC), Kaohsiung, Taiwan, May 15-18, 2011.
- [2] Hamid Reza Eslami, Abbas Chatraei and Zahedeh Ebrahimi (2023) Implementation of Fuzzy-PID Controller on Two-Link Robot. TuijinJishu/Journal of Propulsion Technology, ISSN: 1001-4055, Vol. 44N°. 6(2023).
- [3] Joel Perez P. , Jose P. Perez, Rogelio Soto , Angel Flores, Francisco Rodriguez, and Jose Luis Meza (2012) Trajectory Tracking Error Using PID Control Law for Two-Link Robot Manipulator via Adaptive Neural Networks. Procedia Technology 3(2012) 139-146.
- [4] Trong-Thang Nguyen (2019) Sliding mode control-based system for the two-link robot arm. International Journal of Electrical and Computer Engineering (IJECE) Vol. 9, N°. 4, August 2019, pp. 2771~2778.
- [5] Sinan İlgen, Akif Durdu, Erdi Gülbahçe and Abdullah Çakan (2018) Sliding Mode Control of a Two-link Robot Manipulator Using Adams & Matlab Software . International Conference on Control Engineering & Information Technology (CEIT), 25-27 October 2018, Istanbul, Turkey.