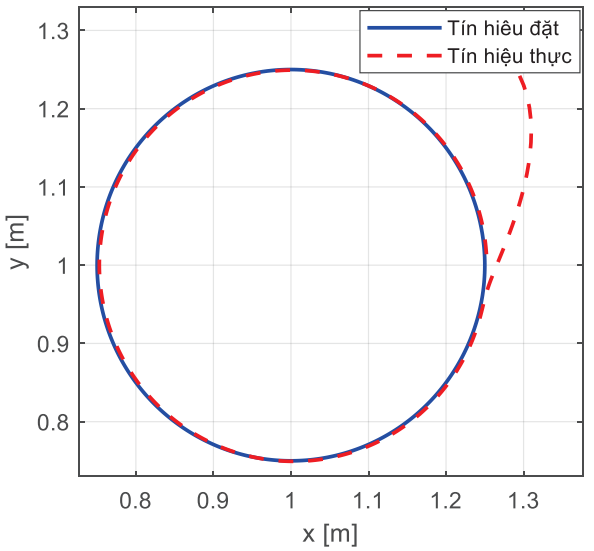
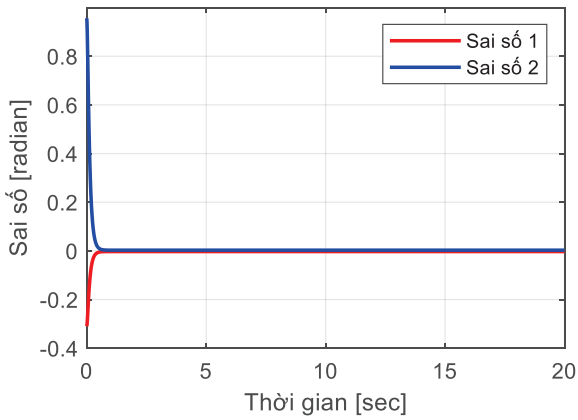


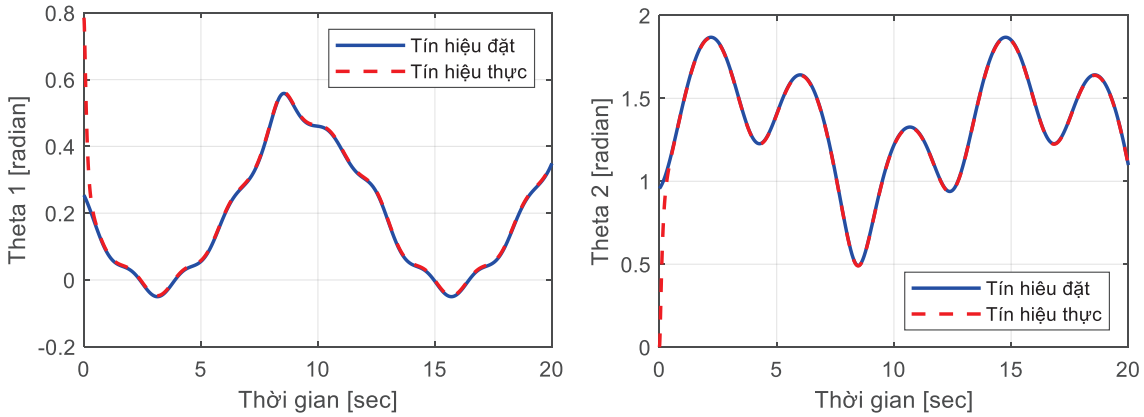
Hình 4: *Đáp ứng quỹ đạo hình tròn của khâu chấp hành cuối*

Hình 4 trình bày kết quả điều khiển của bộ điều khiển trượt backstepping khi robot di chuyển theo quỹ đạo hình tròn. Kết quả cho thấy đáp ứng của các góc khớp không xuất hiện độ vọt lố, không có dao động và sai số xác lập tiến về 0, quỹ đạo của khâu cuối bám tốt so với quỹ đạo đặt hình tròn có bán kính 0,25m. Ngoài ra, sai số của các góc khớp thực tế so với tín hiệu đặt hội tụ về 0, điều đó được thể hiện qua hình 5.



Hình 5: *Sai số vị trí của các khớp khi quỹ đạo hình tròn*

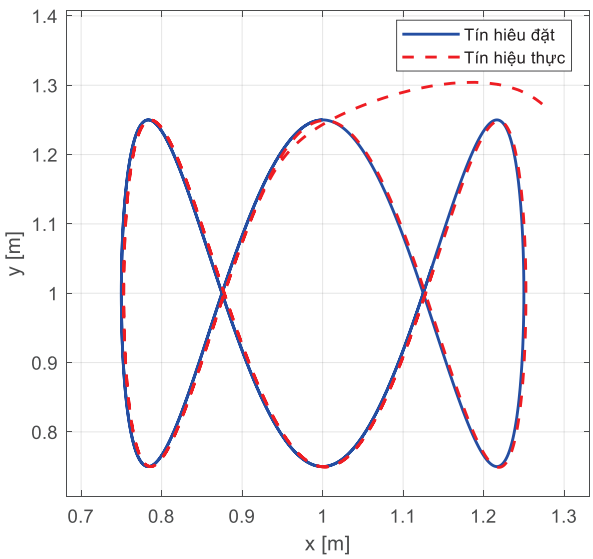
Để kiểm chứng thêm hiệu quả của bộ điều khiển được đề xuất, nhóm tác giả tiến hành mô phỏng điều khiển khi khâu cuối có quỹ đạo hình Lissajous. Kết quả điều khiển được trình bày như hình 6 và hình 7 cho thấy đáp ứng đảm bảo các tiêu chí chất lượng hệ thống như độ vọt lố, thời gian tăng, thời gian xác lập và sai số xác lập. Quỹ đạo khâu chấp hành cuối hội tụ về chất lượng bám cận tối ưu.



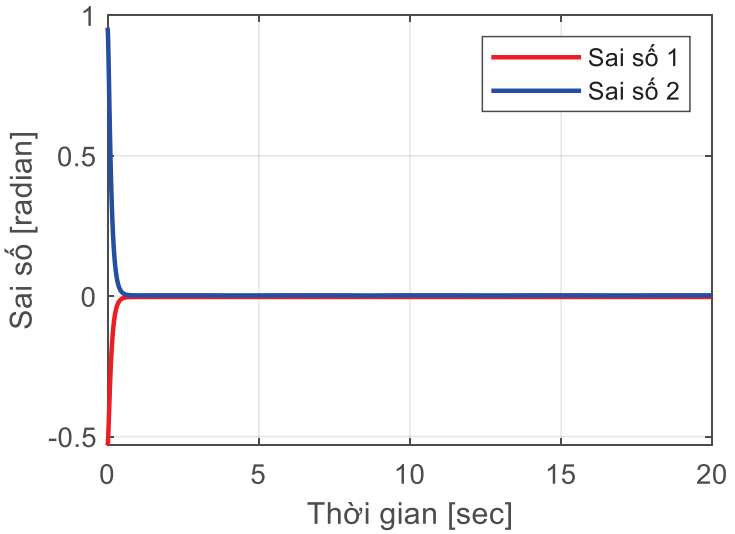
Hình 6: *Đáp ứng ngõ ra vị trí của các khớp khi quỹ đạo hình Lissajous*

Sai số vị trí của các khớp khi quỹ đạo là hình Lissajous được trình bày như hình 8. Kết quả cho thấy sai số có sự biến động hơn so với tín hiệu tham chiếu là hình tròn, tuy nhiên biến động đó không đáng kể và sau đó sai số cũng dần hội tụ về 0.

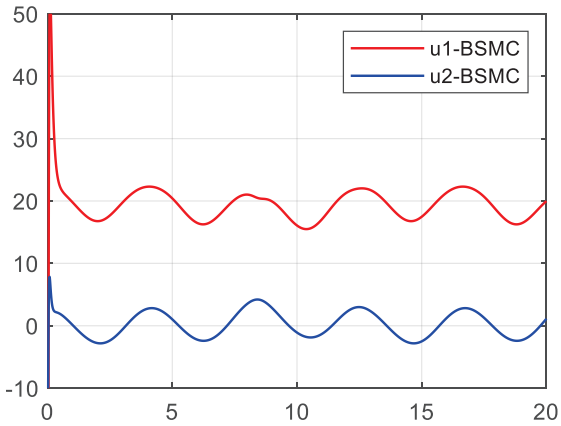
Hiện tượng chattering của tín hiệu điều khiển trong hình 9 được khắc phục so với trường hợp sử dụng bộ điều khiển trượt truyền thống, với tín hiệu điều khiển được thể hiện qua hình 10. Như vậy, bộ điều khiển trượt backstepping đã khắc phục được hiện tượng dao động với tần số cao quanh mặt trượt.



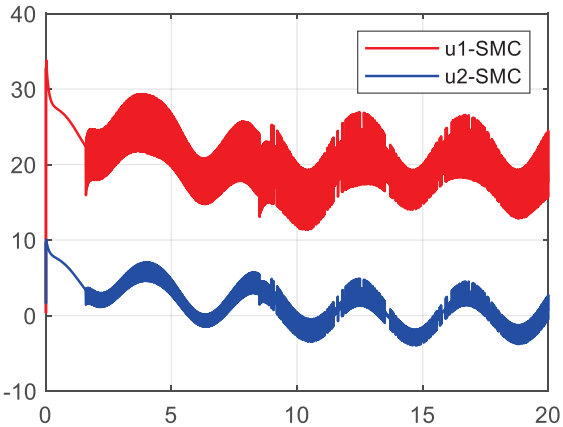
Hình 7: *Đáp ứng quỹ đạo hình Lissajous của khâu chấp hành cuối*



Hình 8: *Sai số vị trí của các khớp khi quỹ đạo hình Lissajous*

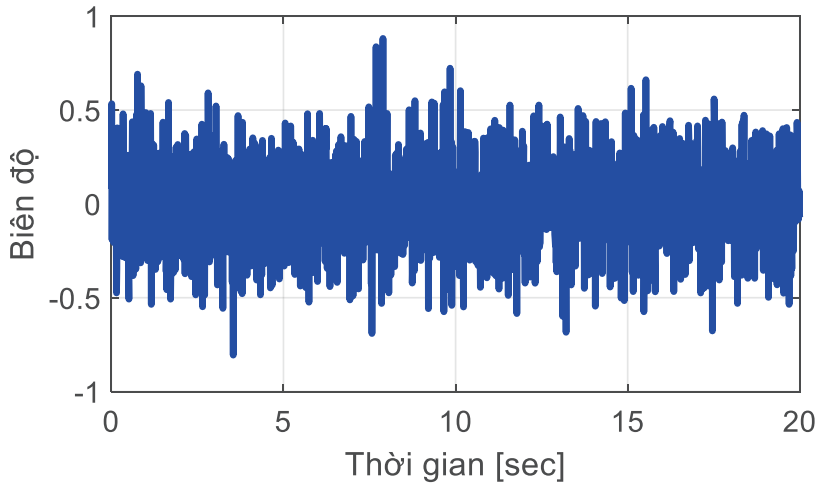


Hình 9: *Tín hiệu điều khiển của bộ điều khiển trượt backstepping*

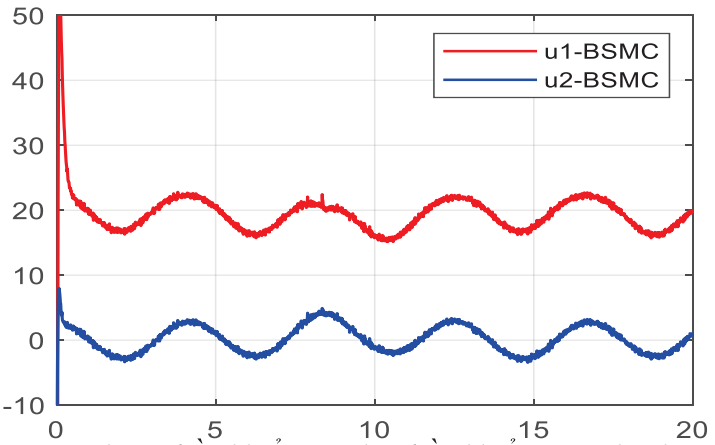


Hình 10: *Tín hiệu điều khiển của bộ điều khiển trượt truyền thống*

Nhằm kiểm tra sự ổn định và bền vững của bộ điều khiển dưới tác động của nhiễu, nhóm tác giả đã giả sử hệ thống chịu tác động bởi nhiễu trắng có biên độ dao động được trình bày như hình 11. Kết quả cũng cho thấy tín hiệu điều khiển có dao động (hình 12), tuy nhiên vị trí khâu chấp hành cuối vẫn bám tốt so với tín hiệu tham chiếu (tương tự như hình 7) và hội tụ về chất lượng bám cận tối ưu theo thời gian.



Hình 11: *Tín hiệu nhiễu trắng*



Hình 12: *Tín hiệu điều khiển của bộ điều khiển trượt backstepping khi có nhiễu tác động*

4. Kết luận

Trong bài báo này, nhóm tác giả đã đề xuất một giải pháp để điều khiển mô hình robot có hai bậc tự do dựa trên phương trình động lực học, sử dụng bộ điều khiển trượt backstepping. Các kết quả mô phỏng dựa trên phần mềm MATLAB/Simulink cho thấy đáp ứng thực tế bám tín hiệu đặt rất tốt với tín hiệu đặt, có các thông số chất lượng hệ thống như: thời gian xác lập là 0.2 giây, không dao động và sai số xác lập bị triệt tiêu. Quỹ đạo khâu cuối của robot bám tốt so với quỹ đạo mong muốn. Bộ điều khiển được đề xuất đã khắc phục được

hiện tượng chattering quanh mặt trượt. Ngoài ra, tính ổn định và bền vững của bộ điều khiển được đề xuất còn được kiểm chứng khi điều khiển vị trí các khớp của mô hình robot hai bậc tự do bám theo tín hiệu đặt trước dưới sự tác động của nhiễu. Hướng nghiên cứu tiếp theo là có thể triển khai bộ điều khiển được đề xuất trên mô hình robot hai bậc tự do thực tế và áp dụng các bộ điều khiển thông minh vào mô hình robot hai bậc tự do.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

Dersarkissian, N., Jia, R., & Feitosa, D. L. (2018). Control of a two-link robotic arm using fuzzy logic. In *2018 IEEE International Conference on Information and Automation (ICIA)* (pp. 481-486). IEEE.

HÜSEYİNOĞLU, M., & Tayfun, A. B. U. T. (2018). Dynamic model and control of 2-dof robotic arm. *European Journal of Technique (EJT)*, *8*(2), 141-150.

Khan, Z. A., Khan, L., Ahmad, S., Mumtaz, S., Jafar, M., & Khan, Q. (2021). RBF neural network based backstepping terminal sliding mode MPPT control technique for PV system. *Plos one, 16*(4), e0249705.

Leśniewski, P., & Bartoszewicz, A. (2021). Reaching Law Based Sliding Mode Control of Sampled Time Systems. *Energies*, *14*(7), 1882.

Liu, J., & Wang, X. (2011). *Advanced sliding mode control for mechanical systems* (pp. 91-92). Springer Berlin Heidelberg.

Mohammed, A. A., & Eltayeb, A. (2018). Dynamics and control of a two-link manipulator using PID and sliding mode control. In *2018 International Conference on Computer, Control, Electrical, and Electronics Engineering (ICCCEEE)* (pp. 1-5). IEEE.

Rahmani, M., Komijani, H., & Rahman, M. H. (2020). New sliding mode control of 2-DOF robot manipulator based on extended grey wolf optimizer. *International Journal of Control, Automation and Systems*, *18*, 1572-1580.

Rojas, J. H. C., Serrezuela, R. R., López, J. A. Q., & Perdomo, K. L. R. (2016). LQR hybrid approach control of a robotic arm two degrees of freedom. *International Journal of Applied Engineering Research*, *11*(17), 9221-9228.

Thang, N. T. (2019). Sliding mode control-based system for the two-link robot arm. *International Journal of Electrical and Computer Engineering (IJECE)*, *9*(4), 2771-2778.

Thien, T. D., Anh, T. H. V., & Ahn, K. K. (2021). Adaptive nonsingular fast terminal sliding mode control of robotic manipulator based neural network approach. *International Journal of Precision Engineering and Manufacturing*, *22*, 417-429.

Tung, P. T., Duc, L. T. Q., & Ngon, N. C. (2022). Ứng dụng điều khiển trượt PI backstepping dựa vào luật tiếp cận số mũ hệ thống bồn kép. *Tạp chí Khoa học và Công nghệ Đại học Thái Nguyên*, 228, 78-85.

Vũ, H. M. (2021). Nghiên cứu mô hình điều khiển robot ba bậc tự do bằng hồi tiếp tuyến tính hóa. *Tạp chí Khoa học - Trường Đại học Quốc tế Hồng Bàng*, *18*, 105-114.

Zakia, U., Moallem, M., & Menon, C. (2019). PID-SMC controller for a 2-DOF planar

robot. In *2019 International Conference on Electrical, Computer and Communication Engineering (ECCE)* (pp. 1-5). IEEE.

Zarma, T., Thomas, S., & Galadima, A. (2018). Methods of Chattering Reduction in Sliding Mode Control: A Case Study of Ball and Plate System. *In IEEE 7th International Conference on Adaptive Science & Technology* (pp. 1-9).

Zhang, S., Yong, E. M., Zhou, Y., & Qian, W. Q. (2020). Dynamic backstepping control for pure-feedback non-linear systems. *IMA Journal of Mathematical Control and Information, 37*(2), 674-697.

STUDY ON BACKSTEPPING SLIDING MODE CONTROL APPLICATION FOR TWO DEGREES OF FREEDOM ROBOT

Huynh Minh Vu

Pho Hoang Linh

Can Tho University of Technology

*Corresponding author: Huynh Minh Vu - Email: hmvu@ctuet.edu.vn

(Received: 21/2/2024, Revised: 20/3/2024, Accepted for publication: 27/3/2024)

ABSTRACT

This study aims to design a backstepping sliding mode control for two degrees of freedom robot based on dynamic equations. The proposed controller is designed with the purpose of controlling the robot's joint angles according to the desired signal, as well as the final trajectory following the desired trajectory, and improving the oscillation phenomenon around the sliding surface, which is the drawback of traditional sliding controllers. Simulation results based on MATLAB/Simulink software show that the settling time of the robot's joint position response is 0.2(s), without any fluctuation or steady-state error, and the oscillation phenomenon around the sliding surface is significantly improved. Besides, the controller was also able to respond well to noise interference on the systems.

Keywords: *Robot manipulator, Denavit-Hartenberg (DH), Backstepping control, Sliding mode control, Simulink/MATLAB*