

# MÔ HÌNH HÓA VÀ ĐIỀU KHIỂN ROBOT DELTA DỰA TRÊN SIMSCAPE MULTIBODY

Huỳnh Minh Vũ<sup>1</sup>, Nguyễn Khắc Linh<sup>2</sup>, Lê Văn Chơn<sup>2</sup>, Đường Khánh Sơn<sup>1</sup>  
và Phó Hoàng Linh<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Trường Đại học Kỹ thuật - Công nghệ Cần Thơ

Email: hmvu@ctu.edu.vn

<sup>2</sup>Sinh viên Khoa Kỹ thuật Cơ khí, Trường Đại học Kỹ thuật - Công nghệ Cần Thơ

## Thông tin chung:

Ngày nhận bài:

08.4.2024

Ngày nhận bài sửa:

05.6.2024

Ngày duyệt đăng:

10.6.2024

## Từ khóa:

Delta robot, động học, mô hình hóa, simscape multibody

## TÓM TẮT

Nghiên cứu trình bày về việc mô hình hóa và mô phỏng điều khiển robot song song delta ba bậc tự do dựa trên công cụ Simscape Multibody. Bài toán động học ngược cũng được trình bày dựa trên phương pháp hình học, các kết quả được kiểm chứng bằng mô phỏng và thực nghiệm khi khâu chấp hành cuối của robot hoạt động theo quỹ đạo hình tròn. Kết quả mô phỏng cho thấy đáp ứng vị trí các khớp của robot có thời gian xác lập không đáng kể, không xuất hiện dao động và sai số xác lập rất nhỏ (0,04 độ), quỹ đạo thực tế bám tốt so với quỹ đạo đặt. Ngoài ra, quỹ đạo khâu cuối của robot đã thực hiện tốt quỹ đạo hình tròn khi thực nghiệm. Mô hình hoàn toàn có thể triển khai trong học tập và giảng dạy.

## 1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Robot delta ba bậc tự do là loại robot song song có phạm vi sử dụng khá rộng trong các ngành công nghiệp như in 3D, robot gấp thuốc trong các nhà máy sản xuất thuốc, robot delta được sử dụng rộng rãi nhờ vào cơ cấu mạnh mẽ, nhanh và chính xác hơn so với các loại robot công nghiệp khác, chúng có thể nâng và di chuyển vật trong vài giây với độ chính xác rất cao (López, 2006; Thành, 2022). Bài toán mô hình hóa, mô phỏng và điều khiển robot là một việc rất cần thiết trong quá trình nghiên cứu về việc vận hành robot. Siwek và cộng sự (2019) đã trình bày quá trình từng bước mô hình hóa và phân tích chuyển động của nhóm robot di động phân tán bằng cách sử dụng môi trường Simscape Multibody trên phần mềm MATLAB. Bài báo của Sen và cộng sự (2017) trình bày phương pháp mô hình hóa và điều khiển robot SCARA với mô hình robot được xây dựng bằng

Solidworks và xuất sang môi trường MATLAB/SimMechanics để điều khiển. Nghiên cứu của Nawawi (2022) đã sử dụng công cụ Simscape Multibody để mô hình hóa và điều khiển robot di động. Nghiên cứu của Alizadeh và đồng nghiệp (2023) đã sử dụng điều khiển trượt để điều khiển robot theo quỹ đạo. Trong nghiên cứu này, nhóm tác giả đã kết hợp phần mềm thiết kế Solidworks với môi trường mô phỏng Simscape Multibody để thực hiện mô phỏng và điều khiển robot. Các công trình nghiên cứu trên đã thành công trong việc mô hình hóa và điều khiển các loại robot khác nhau. Tuy nhiên, các công bố này chỉ dừng lại ở bài toán mô phỏng, chưa thực nghiệm để kiểm chứng.

Trong bài báo này, tác giả sử dụng phần mềm Autodesk Inventor để thiết kế mô hình 3D cho robot delta. Để giải quyết bài toán mô hình hóa, mô hình đã thiết kế được xuất sang môi trường Simscape Multibody trên phần mềm MATLAB.

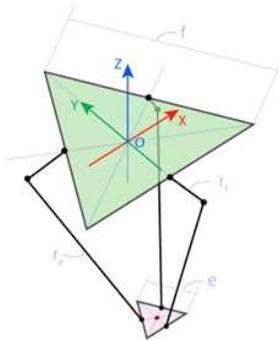
Dựa trên robot đã được mô hình hóa, tác giả tiến hành xây dựng bộ điều khiển và kiểm chứng bài toán động học thông qua thực nghiệm, nhằm bổ sung và khắc phục nhược điểm của các công bố trước đó.

## 2. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

### 2.1. Động học ngược robot delta

Giải bài toán động học ngược là bắt buộc trong bài toán phân tích chuyển động của robot, phương pháp đề xuất để giải quyết bài toán này cho robot dạng song song này là sử dụng phương pháp hình học.

Bài toán động học ngược của robot song song Delta là cần xác định giá trị của ba góc  $\theta_1, \theta_2, \theta_3$  khi đã biết được tọa độ tâm  $E_0(x_0, y_0, z_0)$  của tấm di động với tâm hệ tọa độ góc O (0, 0, 0) là tâm của tấm cố định. Hệ tọa độ của robot được đặt như Hình 1, với  $f$  là cạnh tam giác của tấm cố định,  $e$  là cạnh tam giác của tấm di động,  $r_f$  là chiều dài của khâu trung gian và  $r_e$  là chiều dài của khâu hình bình hành, khi đó tọa độ  $z_0$  đặt tại tâm của bề di động sẽ luôn luôn âm vì vậy vùng hoạt động của robot luôn quay xuống dưới.



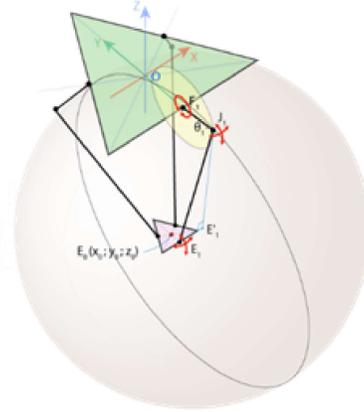
Hình 1. Các thông số cơ bản của robot delta

Nguồn: Do et al., (2021).

Do đặc tính thiết kế của robot nên mỗi khâu trung gian của robot chỉ có thể xoay trong mặt phẳng YZ tạo thành một đường tròn như Hình 2 với tâm tại khớp  $F_1$  và bán kính  $r_f$ .

Mặt khác, khâu hình bình hành  $E_1J_1$  có thể xoay tự do tạo thành hình cầu có tâm tại

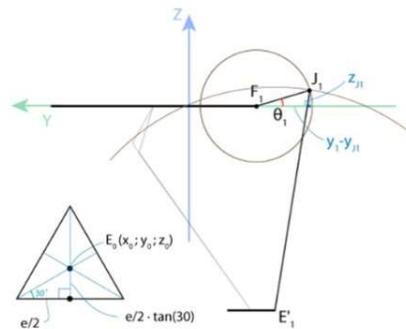
khớp  $E_1$  và có bán kính bằng chiều dài khâu  $r_e$  như trong Hình 2. Khi đó mặt phẳng giao của hình cầu này với mặt phẳng YZ là một đường tròn có tâm tại  $E'_1$  và có bán kính bằng chiều dài đoạn  $E'_1J_1$ , với  $E'_1$  là hình chiếu của  $E_1$  lên mặt phẳng YZ.



Hình 2. Minh họa chuyển động của các khâu

Nguồn: Do et al., (2021)

Song, hai đường tròn tâm  $E'_1$  bán kính  $E'_1J_1$  và đường tròn tâm  $F_1$  bán kính  $r_f$  cắt nhau tại một điểm như Hình 3, điểm đó chính là  $J_1(0, y_{J1}, z_{J1})$ .



Hình 3. Hình chiếu trên mặt phẳng YZ

Nguồn: Do et al., (2021)

Khi có tọa độ của điểm  $J_1$ , dễ dàng xác định:

$$\theta_1 = \arctan\left(\frac{z_{J1}}{y_{F1} - y_{J1}}\right) \quad (1)$$

Sau khi có được kết quả  $\theta_1$ , tiến hành xoay hệ trục tọa độ góc quanh trục Z một góc  $120^\circ$  ngược chiều kim đồng hồ. Khi đó, sẽ có tọa độ tâm mới của tấm cố định và bằng cách tính tương tự như khớp thứ nhất, ta có giá trị của khớp thứ hai được xác định như (2).

$$\theta_2 = \arctan\left(\frac{z_{J2}}{y_{F2} - y_{J2}}\right) \quad (2)$$

Thực hiện phương pháp trên một lần nữa, giá trị của khớp thứ ba được xác định như (3).

$$\theta_3 = \arctan\left(\frac{z_{J3}}{y_{F3} - y_{J3}}\right) \quad (3)$$

## 2.2. Mô hình hóa và điều khiển robot

Để mô hình hóa robot song song delta, tác giả tiến hành thiết kế robot với cấu trúc như Hình 1 dựa trên phần mềm Autodesk Inventor, sử dụng các thông số cơ bản của robot như: khoảng cách từ tâm robot đến trục động cơ là 100 mm, cạnh tam giác của tấm di động  $e = 40$  mm, chiều dài của khâu trung gian  $r_f = 140$  mm và chiều dài của khâu hình bình hành  $r_e = 250$  mm, mô hình robot sau khi thiết kế được thể hiện như Hình 4.

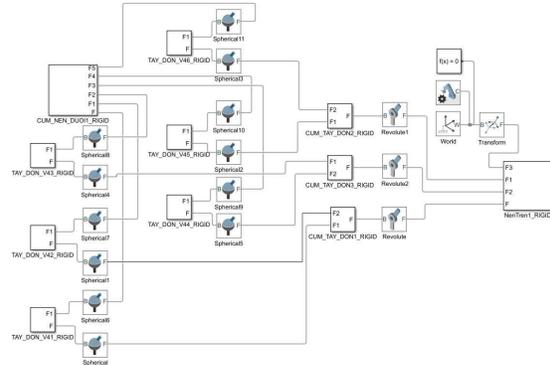


**Hình 4. Robot delta được thiết kế trên Autodesk Inventor**

*Nguồn: Công bố của tác giả, (2024).*

Sau khi có mô hình 3D của robot, tiến hành mô hình hóa robot bằng công cụ Simscape Multibody. Kết quả mô hình hóa robot delta được xây dựng như Hình 5, với

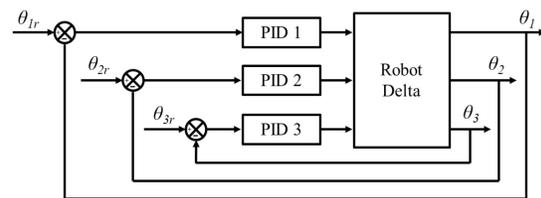
ba khớp “Revolute” chính là ba khớp xoay của robot.



**Hình 5. Mô hình hóa robot delta trong Simscape Multibody**

*Nguồn: Công bố của tác giả, (2024).*

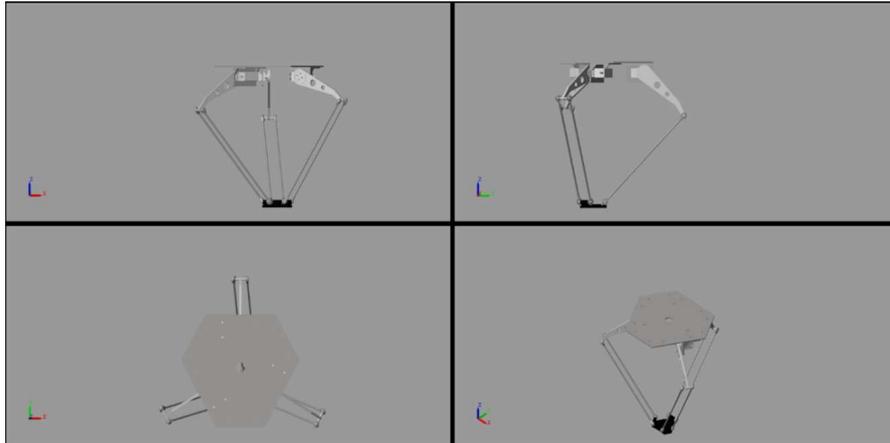
Tiến hành mô phỏng điều khiển robot với bộ điều khiển PID (Proportional Integral Derivative) kinh điển bằng cách đặt ba bộ điều khiển cho ba khớp xoay của robot, với cấu trúc điều khiển như Hình 6. Trong bài báo này, tác giả đã lựa chọn các tham số của bộ điều khiển PID dựa trên phương pháp thử-sai, từ đó xác định các giá trị phù hợp là  $K_P = 2.5$ ,  $K_I = 500$ ,  $K_D = 0.00065$ .



**Hình 6. Cấu trúc điều khiển robot**

*Nguồn: Công bố của tác giả, (2024).*

Khi thực hiện mô phỏng chuyển động của robot, một cửa sổ ảo (Hình 7) thể hiện quá trình di chuyển của robot được sinh ra. Tại đây, có thể quan sát robot tương tự như robot thực tế hoạt động với các hướng nhìn khác nhau.



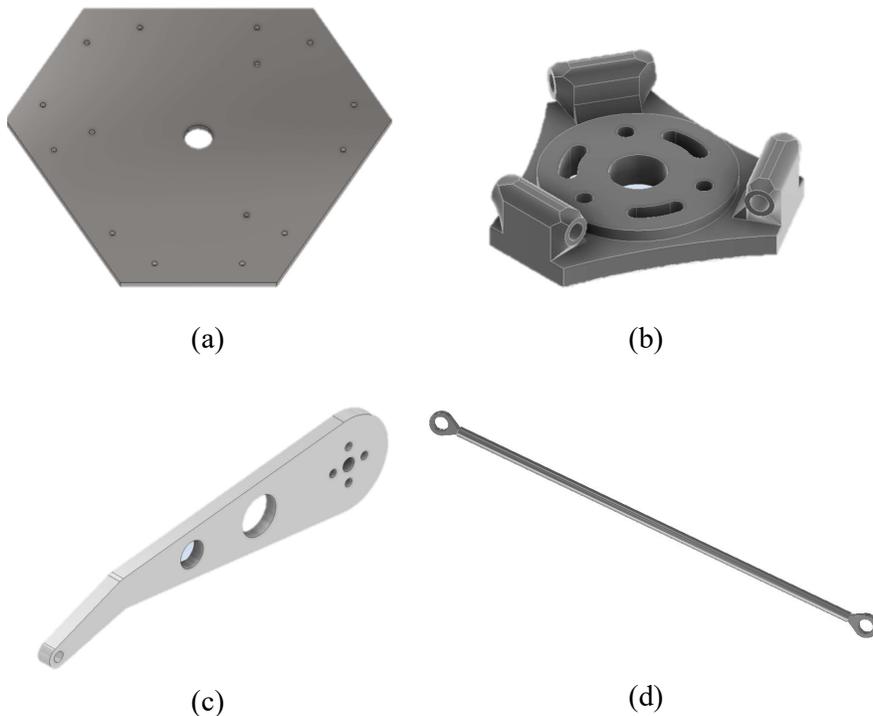
**Hình 7. Cửa sổ quan sát robot hoạt động**

*Nguồn: Công bố của tác giả, (2024).*

### 2.3. Xây dựng phần cứng

Dựa trên thiết kế 3D, tiến hành xây dựng các chi tiết của robot delta gồm các thành phần chính như: tấm cố định (a), tấm di động (b), khâu trung gian (c) và khâu hình bình hành (d),

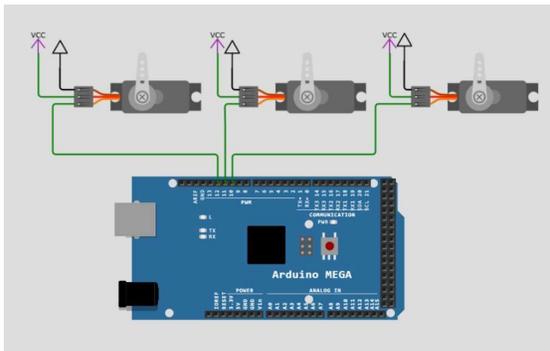
ngoài ra, còn có các chi tiết hỗ trợ khác. Với mục đích là chỉ kiểm chứng hoạt động của robot, không quan tâm đến tải trọng nên vật liệu được chọn để gia công là mica và nhựa in 3D. Các chi tiết của robot được thể hiện như Hình 8.



**Hình 8. Các chi tiết chính của robot delta**

*Nguồn: Công bố của tác giả, (2024).*

Do không có yêu cầu về tải trọng nên động cơ được sử dụng để dẫn động cho các khớp là RC servo, các động cơ sẽ nhận tín hiệu giá trị của các khớp dựa trên board Arduino Mega thông qua cổng USB. Sơ đồ kết nối giữa Arduino với động cơ được thể hiện qua Hình 9.



**Hình 9. Sơ đồ kết nối động cơ**  
 Nguồn: Công bố của tác giả, (2024).

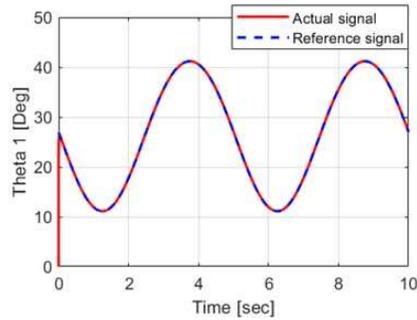
### 3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

#### 3.1. Kết quả mô phỏng

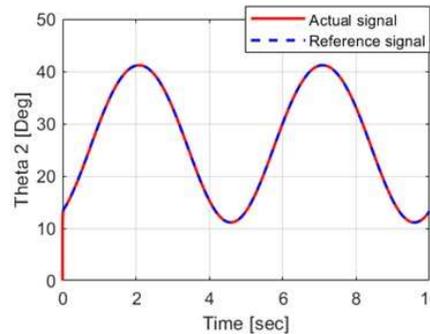
Các bộ điều khiển PID đã được xây dựng và điều khiển các góc khớp của robot delta, với khâu chấp hành cuối của robot di chuyển theo quỹ đạo hình tròn như hệ phương trình (4). Trong đó, khâu cuối của robot hoạt động chủ yếu trong mặt phẳng XY và cao độ  $z = -250$  do robot hướng xuống (ngược chiều dương).

$$\begin{cases} x = 50 \sin\left(\frac{2\pi}{5}t + \frac{\pi}{2}\right) \\ y = 50 \cos\left(\frac{2\pi}{5}t + \frac{\pi}{2}\right) \\ z = -250 \end{cases} \quad (4)$$

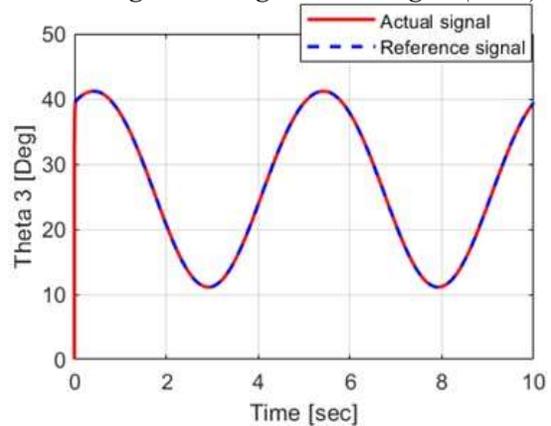
Các kết quả mô phỏng Hình 10, Hình 11 và Hình 12 cho thấy đáp ứng vị trí các khớp của robot có thời gian xác lập không đáng kể, không xuất hiện dao động và không có độ vọt lố.



**Hình 10. Đáp ứng ngõ ra góc khớp thứ nhất**  
 Nguồn: Công bố của tác giả, (2024).



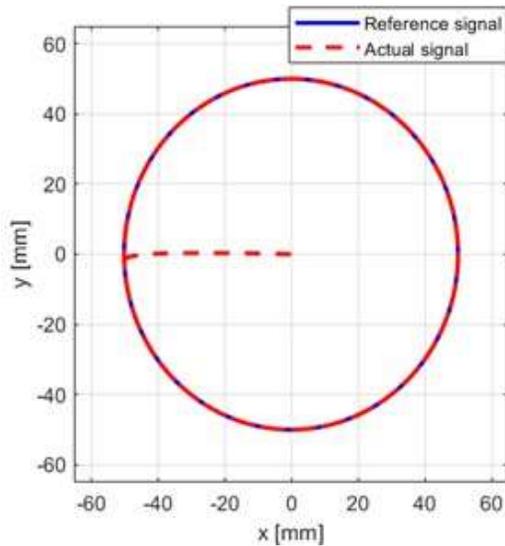
**Hình 11. Đáp ứng ngõ ra góc khớp thứ hai**  
 Nguồn: Công bố của tác giả, (2024).



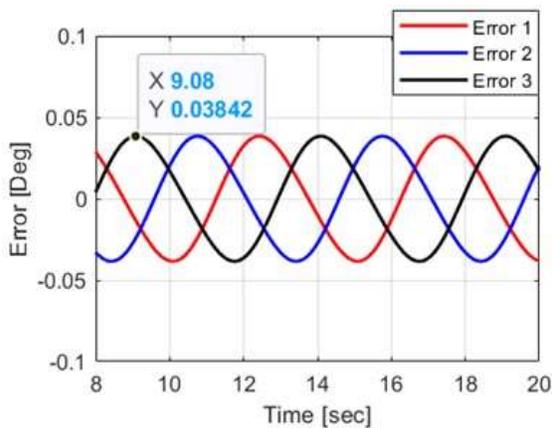
**Hình 12. Đáp ứng ngõ ra góc khớp thứ ba**  
 Nguồn: Công bố của tác giả, (2024).

Hình 13 trình bày kết quả mô phỏng khâu cuối của robot di chuyển theo quỹ đạo hình tròn có bán kính 50 mm. Kết quả cho thấy quỹ đạo của khâu cuối bám tốt so với quỹ đạo mong muốn. Ngoài ra, sai số của các góc khớp so với tín hiệu đặt là rất nhỏ (khoảng

0,04 độ), điều đó được thể hiện qua Hình 14 với các Error 1, Error 2, Error 3 lần lượt là sai số của các khớp 1, 2, 3.



**Hình 13. Đáp ứng ngõ ra của khâu công tác cuối**  
 Nguồn: Công bố của tác giả, (2024).



**Hình 14. Sai số vị trí của các khớp**  
 Nguồn: Công bố của tác giả, (2024).

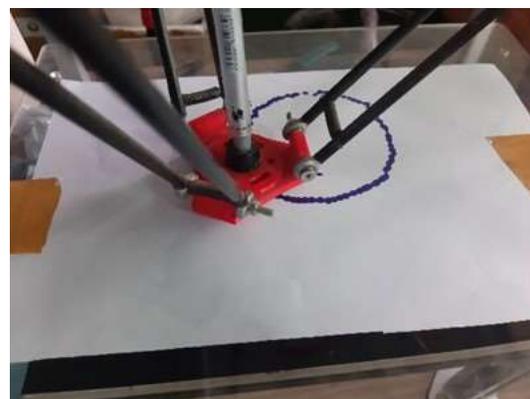
### 3.2. Kết quả thực nghiệm

Mô hình robot delta đã được xây hoàn chỉnh như Hình 15. Kết quả cho thấy mô hình có tính thẩm mỹ cao, thao tác đơn giản và chi phí chế tạo thấp. Hoàn toàn có thể áp dụng trong giảng dạy và học tập.



**Hình 15. Mô hình robot delta thực tế**  
 Nguồn: Công bố của tác giả, (2024).

Hình 16 trình bày kết quả điều khiển khâu chấp hành cuối của robot di chuyển theo quỹ đạo hình tròn, với giá trị góc quay của động cơ RC servo có được từ bài toán mô phỏng (ngõ ra của các góc khớp sẽ được gửi tín hiệu xuống động cơ RC servo thông qua Arduino Mega). Kết quả cho thấy quỹ đạo hình tròn đã được thực hiện. Tuy nhiên, do động cơ RC servo có vi bước lớn nên quá trình di chuyển của robot chưa được mượt, dẫn tới quỹ đạo hình tròn chưa được liên tục như mô phỏng.



**Hình 16. Khâu cuối robot di chuyển theo hình tròn**  
 Nguồn: Công bố của tác giả, (2024).

#### 4. KẾT LUẬN

Trong bài báo này, tác giả đề xuất một phương pháp để mô hình hóa và điều khiển robot song song delta là sử dụng công cụ Simscape Multibody, bên cạnh đó, bộ điều khiển PID cũng được xây dựng để điều khiển ổn định vị trí các khớp của robot. Ngoài ra, phần cứng cũng được xây dựng để kiểm chứng bài toán động học của robot delta. Kết quả mô phỏng và thực nghiệm cho thấy khâu cuối robot đã thực hiện đúng quỹ đạo mong muốn. Hướng nghiên cứu tiếp theo là có thể thay thế các động cơ của robot có vi bước nhỏ để khắc phục hiện tượng rung, giật khi robot hoạt động.

#### Tài liệu tham khảo

Alizadeh, B., Hajipour, A., Tavakoli, H., and Nasrabadi, A. (2023), “Robust trajectory tracking of delta parallel robot using fractional-order sliding mode control”, IEEE Access.

Do, T. V., Nam, N. Q., Vinh, D. D., Viet, N. Q., Dat, P. N., and Van Hung, T. (2021), “Design of Delta Robot Using Image Processing for Product Sorting Process”, In 2021 International Conference on System Science and Engineering (ICSSE), 210-214.

López, M., Castillo, E., García, G., & Bashir, A. (2006), “Delta robot: inverse, direct, and intermediate Jacobians”, Proceedings of the institution of mechanical engineers, Part C: Journal of mechanical engineering science, 220(1), 103-109.

Nawawi, S. W., Biswas, H. A., and Jibrin, M. A. (2022), “Modeling and simulation of autonomous mobile robot system for collision avoidance in VR environment using Simscape-multibody”, ELEKTRIKA-Journal of Electrical Engineering, 21(2), 33-41.

Sen, M. A., Bakırcıoğlu, V., and Kalyoncu, M. (2017), “Modelling and PID Control of Scara Robot”, In Proceedings of the International Conference on Engineering Technologies, 658-662.

Siwek, M., Baranowski, L., Panasiuk, J., and Kaczmarek, W. (2019), Modeling and simulation of movement of dispersed group of mobile robots using Simscape multibody software, In AIP Conference Proceedings, Vol. 2078, No. 1, AIP Publishing.

Thành, L. M., Thắng, N. C., và Ngôn, N. C. (2022), “Chỉnh định bộ điều khiển pid bằng hệ mờ áp dụng cho robot delta ba bậc tự do”, TNU Journal of Science and Technology, 227(02), 44-53.

### MODELING AND CONTROL OF DELTA ROBOT BASED ON SIMSCAPE MULTIBODY

#### ABSTRACT

*This paper presents the modeling and simulation of three degree-of-freedom delta parallel robot control based on the Simscape Multibody tool. The inverse kinematics problem is also presented based on geometric methods and verified by simulation and experiment when the robot's actuator operates in a circular trajectory. The simulation results show the robot's joint position response with negligible settling time, absence of fluctuations, and a small steady-state error of 0.04 degrees, the actual trajectory sticks well to the reference trajectory. In addition, the robot's final trajectory performs well in a circular trajectory in the experiment. The model can be deployed in learning and teaching.*

**Keywords:** Delta robot, kinematics, modeling, Simscape multibody