

THIẾT KẾ, MÔ PHỎNG, CHẾ TẠO VÀ ĐIỀU KHIỂN CÁNH TAY ROBOT 3 BẬC TỰ DO

DESIGN, SIMULATION, FABRICATION AND CONTROL A 3-DOF PLANAR ROBOTIC MANIPULATOR

Trần Đình Hòa, Nguyễn Văn Khiêm, Trần Đức Thiện*
Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật TP.HCM, Việt Nam

Ngày toà soạn nhận bài 20/2/2021, ngày phản biện đánh giá 6/4/2021, ngày chấp nhận đăng 6/5/2021.

TÓM TẮT

Bài báo này hướng đến phương pháp nghiên cứu cách thức chế tạo, mô phỏng và điều khiển một mô hình cánh tay robot 3 bậc di chuyển linh hoạt trong một mặt phẳng. Đầu tiên, quá trình thiết kế mô hình cánh tay robot 3 bậc được thực hiện trên nền tảng Solidworks. Tiếp theo, mô phỏng và tính toán bộ điều khiển PD của cánh tay robot được thực hiện trên Matlab- Simulink với thư viện Simscape Multibody để đánh giá hiệu quả của mô hình và bộ điều khiển. Sau đó, mô hình thực của cánh tay robot được chế tạo cùng với tủ điều khiển. Cuối cùng, mô hình cánh tay robot đã được điều khiển di chuyển bám theo tín hiệu đặt trong mặt phẳng bằng bộ điều khiển PD được nhúng trên vi điều khiển STM32F4 và thu thập dữ liệu về máy tính. Bằng việc áp dụng quy trình trên trong thiết kế robot, nó không chỉ giúp giảm thiểu chi phí và thời gian mà còn nâng cao hiệu quả trong việc thiết kế bộ điều khiển cho robot.

Từ khóa: bộ điều khiển PD; phân tích động học; Simscape Multibody; cánh tay robot nối tiếp 3 bậc tự do trong mặt phẳng; vi điều khiển STM32F4.

ABSTRACT

This paper aims to study how to fabricate, simulate and control a 3-degree of freedom (DOFs) robot arm that moves flexibly in a plane. First, the design process of the 3-DOFs robot arm model is done on the Solidworks platform. Next, the simulation and calculation of the PD controller of the robot arm are implemented on Matlab-Simulink with Simscape Multibody library to evaluate the effectiveness of the model and the control design. Then, the real model of the robot arm is fabricated with the control box. Finally, a real robot arm was controlled to move following the reference in the plane with the PD controller embedded on the STM32F4 microcontroller and collected data about the computer. By applying this procedure in robot design, it helps to not only minimize the cost and time but also improve the efficiency in the controller design for the robot.

Keywords: PD Control; kinematic analysis; Simscape Multibody; 3-DOF planar robotic manipulator; Microcontrollers STM32F4

1. GIỚI THIỆU

Công nghiệp robot thông minh là một tiêu chuẩn quan trọng để đánh giá mức độ tân tiến về công nghệ và cấp độ sản xuất cao nhất của một quốc gia. Một số quốc gia phát triển đã ứng dụng robot như: Kế hoạch robot quốc gia 2.0 đã được Hoa Kỳ thực hiện, nhằm tạo ra hàng loạt robot cộng tác giúp

thiết lập một mối quan hệ cộng sinh giữa robot và con người. Châu Âu kích thích ứng dụng robot vào sản xuất, nông nghiệp, chăm sóc sức khỏe, vận chuyển, an toàn và gia đình. Chiến lược mới về robot đã được Nhật Bản ban hành, nhằm tích robot với công nghệ máy tính, dữ liệu lớn, mạng và trí thông minh nhân tạo. Hàn Quốc tập trung vào chiến lược phát triển robot cứu hộ, robot y tế, robot công

ng nghiệp thông minh và robot sử dụng trong nhà [1].

Tại Việt Nam: Tổng Giám đốc ABB Việt Nam, ông Brian Hull cho biết, sản lượng của ABB (một trong những thương hiệu lớn trong ngành robot thế giới) tại Việt Nam trong 3 năm gần đây đã tăng trưởng 2 con số mỗi năm. Tập đoàn này đã dành 50% sản lượng tại Việt Nam để xuất khẩu, phần còn lại phục vụ tại thị trường nội địa. Ngoài ABB, một số các tên tuổi trong ngành robotic khác cũng xuất hiện tại Việt Nam như Universal Robots (UR), ABB, Yaskawa Kuka... Chẳng hạn, Vinamilk đã chi hàng ngàn tỉ đồng cho tự động hóa. Xu hướng này không chỉ áp dụng cho các doanh nghiệp tư nhân, Tập đoàn Điện lực Việt Nam cũng bắt đầu tìm hiểu các giải pháp kỹ thuật số cho các trạm biến áp và nhà máy điện [2].

Trên thế giới, các giải thuật điều khiển nâng cao như điều khiển PID [3], điều khiển trượt [4], điều khiển cuộn chiều [5],... đã được triển khai để giải quyết vấn đề điều khiển bám cho robot dưới sự tồn tại của các thông số không chắc chắn. Ngoài ra, các bộ điều khiển trở kháng (impedance control) [6], điều khiển kiểm soát lỗi [7,8], điều khiển lực [9] và điều khiển tối ưu [10] đã được phát triển và áp dụng cho cánh tay máy để cải thiện độ tin cậy, tuổi thọ và an toàn khi các cánh tay máy hoạt động cùng nhau hay cùng với con người [11]. Từ những kết quả nghiên cứu trên, ta có thể thấy các vấn đề liên quan tới robot đã và đang thu hút được sự quan tâm của rất nhiều nhà nghiên cứu ở các trường đại học, viện nghiên cứu và các công ty công nghệ ở trên thế giới.

Còn ở Việt Nam, robot công nghiệp đã được quan tâm nghiên cứu nhưng mới chỉ dừng ở việc đưa ra mô hình và đi tìm thuật toán giải bài toán động lực học cho robot phục vụ điều khiển chuyển động, chưa chủ động được quá trình thiết kế và chế tạo robot đáp ứng yêu cầu cụ thể. Robot nói chung và robot công nghiệp thông minh nói riêng đang được sử dụng tại Việt Nam phần lớn được nhập khẩu. Robot được chế tạo tại Việt Nam còn rất ít và hầu hết sử dụng công nghệ cũ

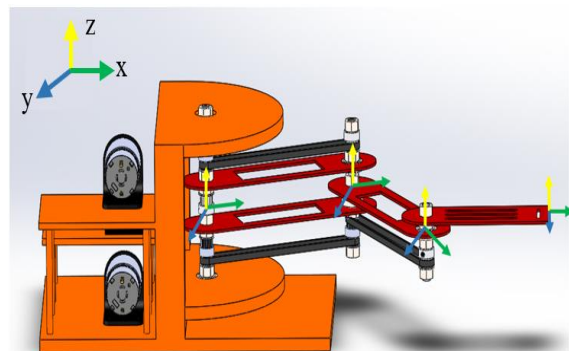
của thế giới, chưa có đủ khả năng làm chủ công nghệ cũng như phát triển công nghệ phù hợp. Có rất ít công ty sản xuất và phân phối sản phẩm trong nước. Nếu có thì hầu hết sản phẩm thuộc phân loại robot công nghiệp truyền thống, hạn chế về tính thông minh, bậc tự do, kỹ năng động lực học nâng cao.

Để hiểu rõ về bản chất của các kết cấu cơ khí, cách thức tạo ra một mô hình robot, cách lập trình và điều khiển một cánh tay robot do mình tự chế tạo ra và xa hơn nữa là làm chủ kỹ thuật chế tạo robot trong tương lai, bài báo này sẽ phân tích quá trình thiết kế cánh tay robot bằng phần mềm Solidworks sau đó mô phỏng cánh tay robot đã thiết kế trên Simscape Multibody và tiến hành thi công phần cứng của robot. Cuối cùng là điều khiển mô hình thực của robot di chuyển trong mặt phẳng bám theo tín hiệu đặt thông qua vi điều khiển STM32F4 bằng bộ điều khiển PD rồi gửi tín hiệu về máy tính.

Cấu trúc của bài báo được tổ chức như sau: phần 2 miêu tả về động học thuận động học nghịch của robot 3 bậc tự do và bộ điều khiển PD. Phần 3 trình bày các bước trong quá trình thiết kế robot. Phần 4 và phần 5 trình bày và thảo luận về các kết quả đạt được lần lượt trong mô phỏng và trong thực nghiệm. Cuối cùng, phần 6 đưa ra kết luận về những vấn đề đạt được và cần phát triển.

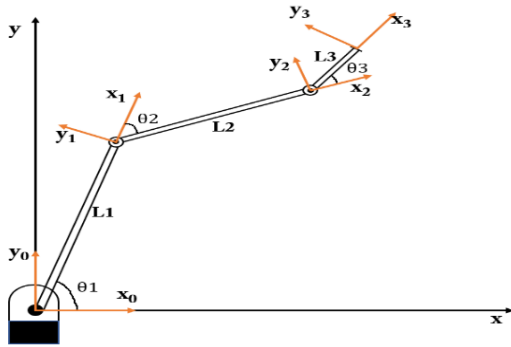
2. MIÊU TẢ ROBOT 3 BẬC TỰ DO

Cánh tay robot 3 bậc tự do di chuyển trên một mặt phẳng thông qua ba khớp xoay, mỗi khớp này được dẫn động bằng dây đai tới các động cơ tương ứng đặt ở đế, cấu trúc này được thể hiện ở Hình 1.



Hình 1. Mô hình Robot

2.1 Động học thuận tay máy



Hình 2. Mô hình gắn trục tay máy 3 bậc tự do

Mô tả động học của cánh tay robot dựa trên quy tắc Denavit - Hartenberg (DH), quy tắc giúp xác định số bậc tự do và số khâu liên kết. Hình 2 là mô hình gắn trục của cánh tay robot có 3 khớp liên kết, hệ trục tọa độ được gắn ở mỗi khớp xoay, trục z có hướng trùng với hướng của trục khớp xoay (có hướng từ trong ra ngoài), trục x có hướng của khâu trước.

Dựa trên mô hình gắn trục tay máy ba bậc tự do, bảng thông số D-H được lập ra như trong Bảng 1.

Bảng 1. Bảng thông số Denavit-Hartenberg (D-H)

i	a_i	α_i	d_i	θ_i
1	L_1	0	0	θ_1
2	L_2	0	0	θ_2
3	L_3	0	0	θ_2

Trong đó, a_i là khoảng cách từ trục z_i đến z_{i-1} dọc theo trục x_i ; α_i là độ xoắn từ trục z_i đến z_{i-1} quanh trục x_i ; d_i là khoảng cách của trục x_{i-1} đến x_i dọc theo trục z_i ; θ_i là góc xoay từ trục x_{i-1} đến x_i quanh trục z_i .

Ma trận tổng quát động học

${}^i T_{i+1} =$

$$\begin{bmatrix} c(\theta_i) & -s(\theta_i)c(\alpha_i) & s(\theta_i)s(\alpha_i) & a_i c(\theta_i) \\ s(\theta_i) & c(\theta_i)c(\alpha_i) & -c(\theta_i)s(\alpha_i) & a_i s(\theta_i) \\ 0 & s(\alpha_i) & c(\alpha_i) & d_i \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (1)$$

Trong đó: $s(\theta_i) = \sin(\theta_i)$; $s(\alpha_i) = \sin(\alpha_i)$; $c(\theta_i) = \cos(\theta_i)$; $c(\alpha_i) = \cos(\alpha_i)$.

Ma trận chuyển đổi từ hệ 0 đến hệ 3 (${}^0 T_3$)

$${}^0 T_3 = {}^0 T_1 {}^1 T_2 {}^2 T_3 \quad (2)$$

Với ${}^0 T_1$, ${}^1 T_2$, ${}^2 T_3$ được tính như sau :

$${}^0 T_1 = \begin{bmatrix} c_1 & -s_1 & 0 & L_1 c_1 \\ s_1 & c_1 & 0 & L_1 s_1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (3)$$

$${}^1 T_2 = \begin{bmatrix} c_2 & -s_2 & 0 & L_2 c_2 \\ s_2 & c_2 & 0 & L_2 s_2 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (4)$$

$${}^2 T_3 = \begin{bmatrix} c_3 & -s_3 & 0 & L_3 c_3 \\ s_3 & c_3 & 0 & L_3 s_3 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (5)$$

Trong đó, $s_i = \sin \theta_i$, và $c_i = \cos \theta_i$ với $(i = 1, 2, 3)$.

Từ phương trình (2) suy ra ${}^0 T_3$:

$${}^0 T_3 = \begin{bmatrix} c_{123} & -s_{123} & 0 & P_x \\ s_{123} & c_{123} & 0 & P_y \\ 0 & 0 & 1 & P_z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (6)$$

Trong đó $s_{12} = \sin(\theta_1 + \theta_2)$; $c_{12} = \cos(\theta_1 + \theta_2)$; $s_{123} = \sin(\theta_1 + \theta_2 + \theta_3)$; $c_{123} = \cos(\theta_1 + \theta_2 + \theta_3)$; P_x, P_y, P_z là vị trí của Robot trong hệ tọa độ Oxyz, giá trị của mỗi biến số này được thể hiện ở phương trình (7), (8) và (9).

$$P_x = L_1 c_1 + L_2 c_{12} + L_3 c_{123} \quad (7)$$

$$P_y = L_1 s_1 + L_2 s_{12} + L_3 s_{123} \quad (8)$$

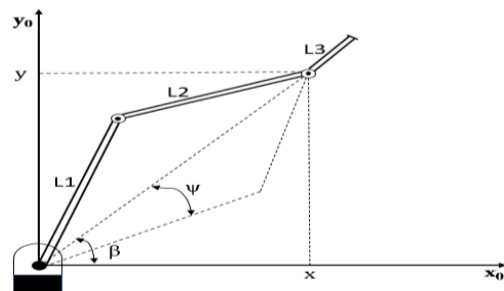
$$P_z = 0 \quad (9)$$

Hướng của Robot được xác định thông qua công thức:

$$\gamma = \theta_1 + \theta_2 + \theta_3 \quad (10)$$

Trong đó γ là hướng của robot. $\theta_1, \theta_2, \theta_3$ lần lượt là góc xoay của từng khớp.

2.2 Động học nghịch tay máy



Hình 3. Mô hình gắn trục tay máy 3 bậc tự do

Từ phương trình tính động học thuận đặt:

$$x = px - L_3 \cos(\gamma) = L_1 \cdot c_1 + L_2 \cdot c_{12} \quad (11)$$

$$y = py - L_3 \cdot \sin(\gamma) = L_1 \cdot s_1 + L_2 \cdot s_{12} \quad (12)$$

$$x^2 + y^2 = L_1^2 + L_2^2 - 2L_1L_2 \cos(\theta_2) \quad (13)$$

Đặt: $a = c_2$

$$a = \frac{x^2 + y^2 - L_2^2 - L_1^2}{2L_1L_2} \quad (14)$$

$$\text{Suy ra: } \theta_2 = \text{atan}(a; \pm\sqrt{1-a^2}) \quad (15)$$

$$\text{Ta có: } \beta = \text{atan2}(y, x) \quad (16)$$

Đặt: $b = \cos(\psi)$

$$b = \frac{x^2 + y^2 + L_1^2 - L_2^2}{2L_1^2 \sqrt{x^2 + y^2}} \quad (17)$$

$$\psi = \text{acos}(b) \quad (18)$$

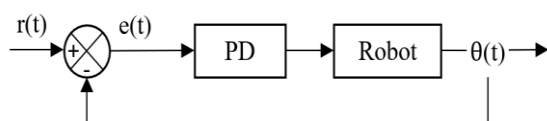
$$\theta_1 = \beta \pm \psi \quad (19)$$

$$\theta_2 = \text{atan}(a; \pm\sqrt{1-a^2}) \quad (20)$$

$$\theta_3 = \gamma - \theta_1 - \theta_2 \quad (21)$$

2.3 Bộ điều khiển PD

Tín hiệu đặt cho vị trí và hướng ở điểm cuối của cánh tay robot sẽ được tạo ra tùy vào ứng dụng cụ thể. Để đảm bảo điểm cuối của cánh tay robot bám theo tín hiệu đặt, bộ điều khiển PD cho robot được thiết kế như Hình 4.



Hình 4. Bộ điều khiển PD

Khâu tỉ lệ, khâu vi phân được cộng lại với nhau để tính toán đầu ra của bộ điều khiển, giá trị này được thể hiện ở công thức (22).

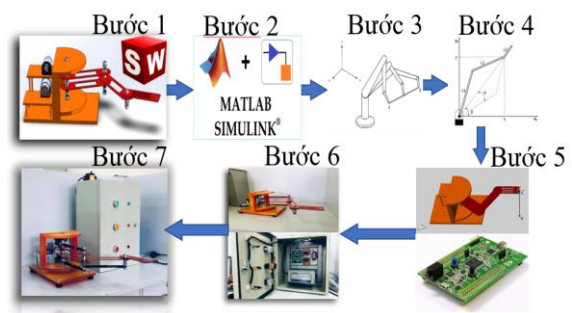
$$\theta(t) = K_P e(t) + K_D \frac{d}{dt} e(t) \quad (22)$$

Trong đó, $r(t) \in R^{3 \times 1}$ là tín hiệu điều khiển ở các khớp của robot, $\theta(t) \in R^{3 \times 1}$ là tín hiệu điều khiển được sử dụng để điều khiển vị trí động cơ DC servo, $e(t) = r(t) - \theta(t) \in R^{3 \times 1}$ là sai số giữa góc đặt mong muốn và ngõ ra.

Lưu ý 1: Với K_P (độ lợi tỉ lệ) giá trị càng lớn thì đáp ứng càng nhanh do đó sai số càng lớn, bù khâu tỉ lệ càng lớn. Một giá trị độ lợi tỉ lệ quá lớn sẽ dẫn đến quá trình mất ổn định và dao động. K_D (độ lợi vi phân) giá trị càng lớn càng giảm độ vọt lố, nhưng lại làm chậm đáp ứng quá độ và có thể dẫn đến mất ổn định do khuếch đại nhiễu tín hiệu trong phép vi phân sai số.

3. QUY TRÌNH THIẾT KẾ MÔ HÌNH VÀ BỘ ĐIỀU KHIỂN

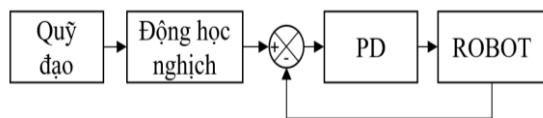
Mô hình cánh tay robot và bộ điều khiển được thiết kế qua các bước sau. **Bước 1:** Thiết kế mô hình trên phần mềm Solidworks; **Bước 2:** Sử dụng Simscape Multibody chuyển đổi mô hình cánh tay robot từ Solidworks sang Matlab-Simulink; **Bước 3:** Tính toán động học thuận-nghịch; **Bước 4:** Lập quỹ đạo cho cánh tay máy; **Bước 5:** Sử dụng Matlab-Simulink lập trình, áp dụng bộ điều khiển PD vào mô phỏng và đánh giá, lập trình cho board STM32F4; **Bước 6:** Thi công, lắp ráp mô hình cánh tay, vẽ sơ đồ nguyên lý và kết nối phần điện cho hệ thống, thi công và lắp ráp tủ điều khiển; **Bước 7:** Tiến hành chạy thực nghiệm và đánh giá mô hình. Tất cả quá trình này được thể hiện chi tiết qua lưu đồ Hình 5.



Hình 5. Lưu đồ thực hiện

4. KẾT QUẢ MÔ PHỎNG TRÊN SIMSCAPE MULTIBODY

Như đã được trình bày ở phần trước, robot được thiết kế bằng phần mềm Solidworks 2017, từ solidworks thông qua nền tảng simscape multibody first generation chuyển đổi về phần mềm Matlab-Simulink 2017b để tiến hành thực hiện mô phỏng theo sơ đồ khối ở Hình 6.



Hình 6. Sơ đồ khối mô phỏng

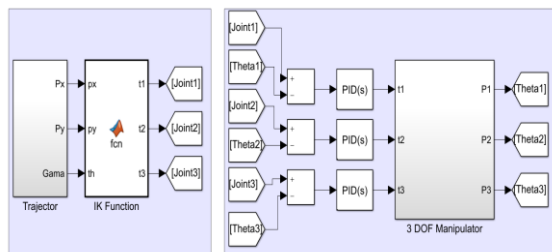
Dựa vào sơ đồ khối, chương trình mô phỏng được lập trình trên Simulink và được thể hiện ở Hình 7. Các thông số kỹ thuật robot được trình bày ở Bảng 2, thông số bộ điều khiển PD đặt vào mỗi khớp xoay có giá trị như ở Bảng 3 và thời gian lấy mẫu của hệ là 0.001s.

Bảng 2. Thông số cánh tay robot

Robot	Kích thước (m)	Khối lượng (kg)
Đế	0.3x0.2x0.15	1.2
Khâu 1	0.16	0.32
Khâu 2	0.16	0.18
Khâu 3	0.128	0.22

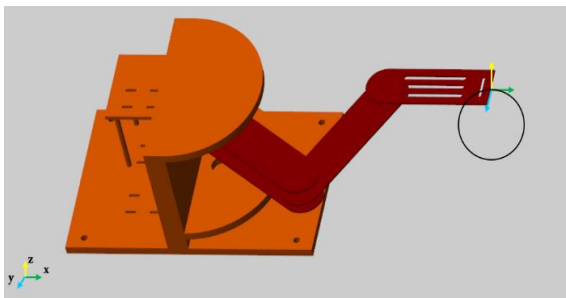
Bảng 3. Thông số bộ điều khiển PD

Khớp	K_p	K_d
1	98	0.25
2	80	0.25
3	85	0.5



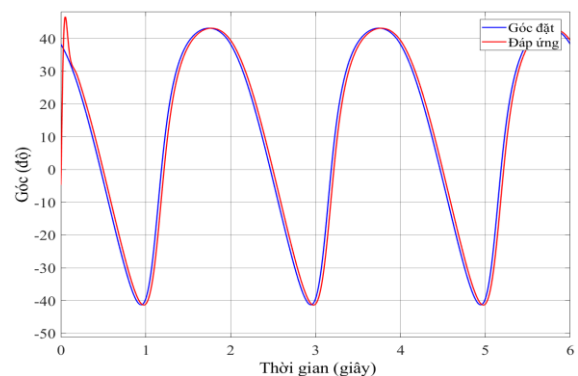
Hình 7. Chương trình mô phỏng

Với quỹ đạo di chuyển của cánh tay robot là một đường tròn trong mặt phẳng oxy với tâm I (0.15; 0.2) bán kính $r = 0.1m$ và góc $\gamma=0^\circ$ được thể hiện ở Hình 5.

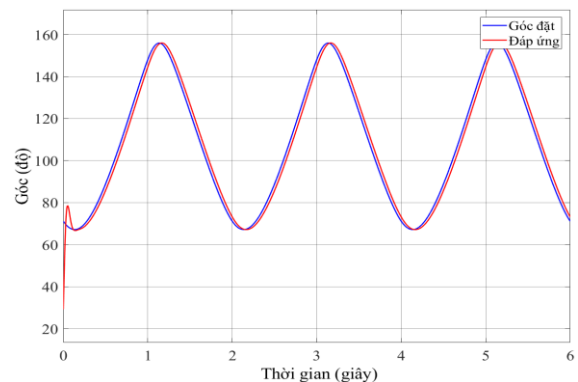


Hình 8. Mô phỏng quỹ đạo cánh tay robot

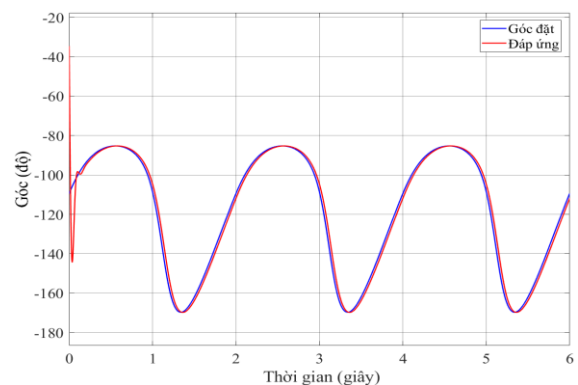
Kết quả mô phỏng trình bày ở Hình 9 và 10 lần lượt là đáp ứng góc quay và sai số đáp ứng của các khớp. Từ quỹ đạo di chuyển theo hình tròn như Hình 8 thông qua động học nghịch sẽ tạo ra các góc đặt là đường màu xanh như ở trong Hình 9. Các góc quay của khác khớp được trình bày bằng các đường màu đỏ trong các Hình 9 sẽ được hồi tiếp về bộ điều khiển PD với thông số đặt như Bảng 3. Kết quả trình bày trong Hình 9 cho thấy các khớp di chuyển và bám sát theo góc đặt.



(a)



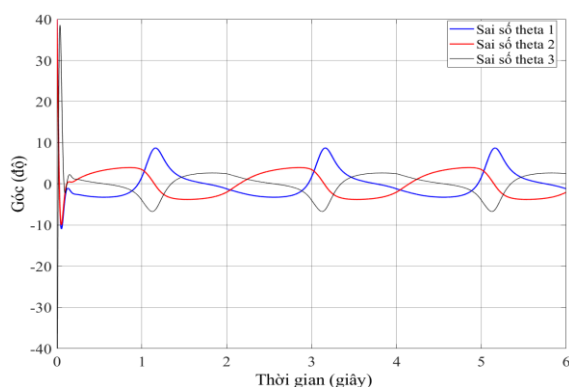
(b)



(c)

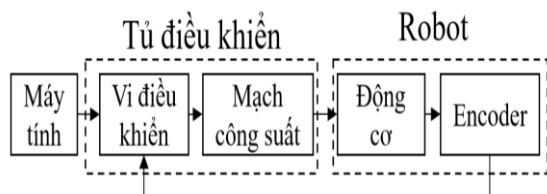
Hình 9. Các đáp ứng ngõ ra ở các khớp của cánh tay máy với (a) khớp 1, (b) khớp 2, (c) khớp 3

Hình 10 thể hiện sự sai số các khớp so với giá trị đặt, trong đó: đường màu xanh dương thể hiện sự sai số của khớp thứ nhất, màu đỏ thể hiện sai số cho khớp thứ 2 và đường màu đen lá cây thể hiện sai số cho khớp thứ 3, thông qua đó ta có thể dễ dàng nhận thấy rằng quỹ đạo di chuyển theo hình tròn có thời gian xác lập nhanh (0.2s) tuy nhiên sai số tối đa khá cao ở cả 3 khớp thứ nhất (9 độ), khớp thứ 3 (7 độ) và ở khớp thứ 2 chỉ là (4 độ).



Hình 10. Sai số của 3 khớp so với giá trị đặt

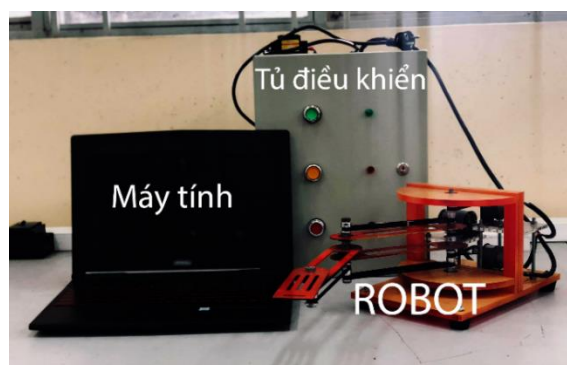
5. KẾT QUẢ THỰC NGHIỆM



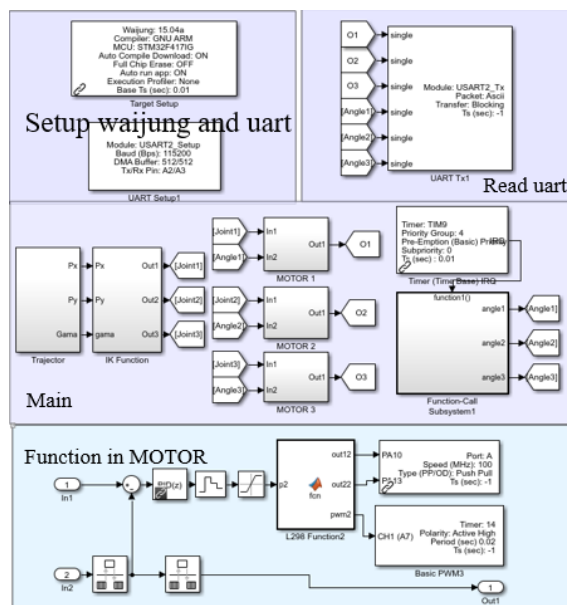
Hình 11. Sơ đồ khối kết nối

Sau khi đã đánh giá hiệu quả của mô hình cánh tay robot và bộ điều khiển PD thông qua bước mô phỏng, cánh tay robot được thi công dựa trên mô hình thiết kế trên Solidworks. Phần đế được chế tạo từ vật liệu mica, cánh tay sử dụng chất liệu sắt có độ dày 2mm. Mô hình dùng 6 puly đơn GT2 20 răng và 3 puly đôi GT2 20 răng để điều khiển các khớp quay. Trong đó có 3 puly đơn 20 răng trục 5mm để gắn vào trục động cơ, 3 puly đơn 20 răng trục 8mm để gắn cố định vào các khớp quay, 3 puly đôi 20 răng trục 8mm để cho băng đai quay lồng không ở các trục. Mô hình dùng dây đai GT2 để truyền lực cho các puly ở các khớp, trong đó có 3 dây đai GT2 200mm để truyền lực từ động cơ để các puly ở trục thứ nhất. 2 dây đai GT2

400mm để truyền lực cho puly ở trục thứ 2 và 1 dây đai GT2 400mm để truyền lực cho puly ở trục cuối. Về phần thiết bị điện mô hình sử dụng 3 Động cơ JGB37-520 DC Geared Motor, 1 board điều khiển STM32F4 discovery, 2 mạch công suất L298N 2A V2 và 3 encoder cảm biến từ trường Hall được tích hợp sẵn vào động cơ. Tất cả thiết bị được kết nối theo sơ đồ khối Hình 11 và kết quả của quá trình chế tạo được thể hiện ở Hình 12.



Hình 12. Mô hình thực tế của đề tài



Hình 13. Chương trình trên Matlab Waijung

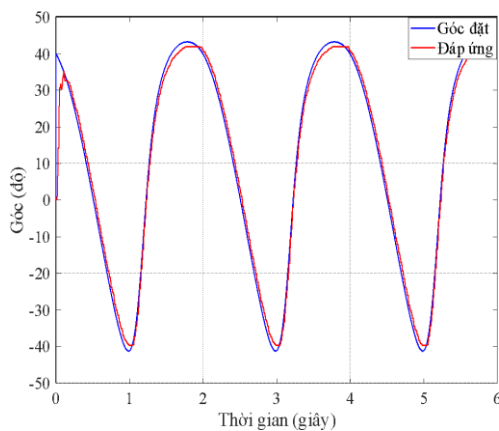
Dựa vào mô hình robot đã thi công, cánh tay robot được lập trình trên nền tảng Waijung 15.04a của phần mềm MATLAB-Simulink 2017b với chương trình như ở Hình 13 trong đó có khối dùng để cài đặt cho Waijung và UART, khối để đọc giá trị UART, chương trình chính và khối để điều khiển motor với bộ điều khiển PD. Bộ thông

số điều khiển PD được thể hiện ở Bảng 4 với thời gian lấy mẫu là 0.001s. Có ba nút nhấn ở tủ điện điều khiển robot. Trong đó: Robot chỉ hoạt động khi nút màu xanh được nhấn, nút màu vàng cho phép robot dừng lại khi đang hoạt động ở một vị trí bất kỳ và chỉ hoạt động lại khi nút nhấn này được tái kích hoạt. Nút màu đỏ đưa robot trở lại vị trí ban đầu.

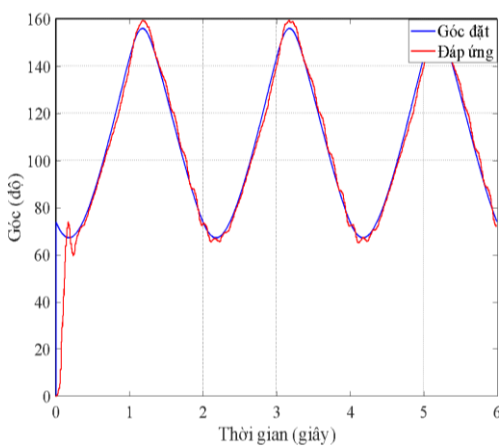
Bảng 4. Bảng thông số bộ điều khiển PD

Động cơ	Kp	Kd
Động cơ 1	4.8	0.12
Động cơ 2	1.8	0.04
Động cơ 3	3	0.15

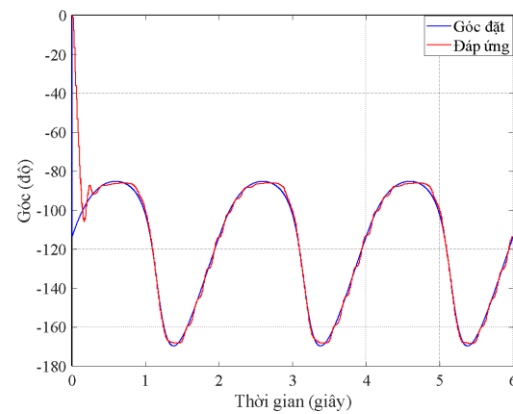
Với quỹ đạo là hình tròn tương tự như phần mô phỏng trên simscape multibody được đề cập ở phần trên. Các Hình 14 a,b,c lần lượt là đồ thị đáp ứng của các khớp xoay 1, 2, 3 với các góc đặt thể hiện bởi đường màu xanh và góc đáp ứng được thể hiện bởi đường màu đỏ.



(a)



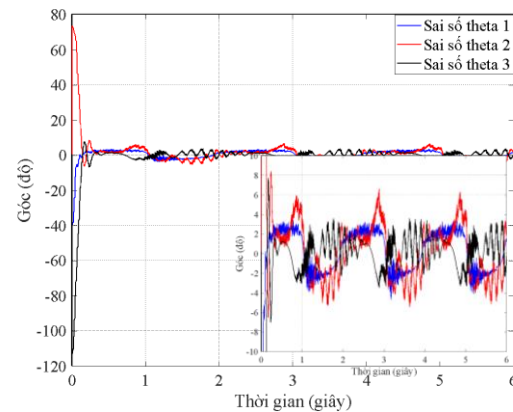
(b)



(c)

Hình 14. Các đáp ứng ngõ ra của cánh tay máy ở (a) khớp 1, (b) khớp 2, (c) khớp 3

Hình 15 thể hiện sự sai số các khớp so với giá trị đặt, trong đó: đường màu xanh dương thể hiện sự sai số của khớp thứ nhất, màu đỏ thể hiện sai số cho khớp thứ 2 và đường màu đen thể hiện sai số cho khớp thứ 3, với quỹ đạo di chuyển theo hình tròn thì vị trí của các khớp quay bám sát theo tín hiệu đặt của quỹ đạo, thời gian xác lập nhanh (nhỏ hơn 1 giây) và sai số của các góc bị bao bởi 6 độ.



Hình 15. Sai số của ba khớp so với giá trị đặt

6. KẾT LUẬN

Bài báo đã thực hiện thành công việc thiết kế mô hình cánh tay máy 3 bậc tự do trên phần mềm Solidworks, tiếp đến là sử dụng công cụ Simscape Multibody để chuyển đổi mô hình từ Solidworks sang Matlab–Simulink, nghiên cứu, lập trình tạo quỹ đạo cho robot rồi mô phỏng cánh tay hoạt động theo quỹ đạo đã tạo. Thành công việc chế tạo và thi công mô hình cánh tay đã thiết kế

từ Solidworks kết hợp với tủ điện. Công cụ Waijung Blockset hỗ trợ việc nạp chương trình từ Matlab-Simulink vào vi xử lý STM32F4 để điều khiển mô hình cánh tay robot với động cơ DC Servo có bộ điều khiển vòng kín phản hồi chính xác vị trí của động cơ, từ đó điều khiển tín hiệu ngõ ra bám sát với giá trị đặt thông qua bộ điều khiển PD. Quy trình thực hiện và một vài hướng dẫn cụ

thể được đính kèm trong link video ở phần phụ lục.

Phần cứng của robot chưa đáp ứng được lực căng của đai. Vì thế hướng phát triển trong tương lai cần thiết kế cơ cấu tự động điều chỉnh lực căng đai, đồng thời phát triển các giải thuật điều khiển khác như Fuzzy PID, điều khiển trượt thích nghi để so sánh với bộ điều khiển PD hiện tại.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Đỗ Trần Thắng, Đinh Văn Phong, Nguyễn Quang Hoàng, Chủ Đức Hoàng, *Robot thông minh trong thời đại công nghiệp 4.0*, tạp chí khoa học công nghệ Việt Nam, 25/09/2020.
- [2] Vân Anh, *Ứng dụng robot trong sản xuất ở Việt Nam: Thị trường rất giàu tiềm năng*, VOV, 861117, pp.1, 2019.
- [3] Craig, J. J. *Introduction to robotics: mechanics and control*, Pearson Prentice Hall Upper Saddle River, 2005.
- [4] Tran, DT., Truong, HVA. & Ahn, K.K. *Adaptive Nonsingular Fast Terminal Sliding mode Control of Robotic Manipulator Based Neural Network Approach*. Int. J. Precis. Eng. Manuf. 22, 417–429 (2021).
- [5] D. T. Tran, D. X. Ba and K. K. Ahn, "Adaptive Backstepping Sliding Mode Control for Equilibrium Position Tracking of an Electrohydraulic Elastic Manipulator," in IEEE Transactions on Industrial Electronics, vol. 67, no. 5, pp. 3860-3869, May 2020.
- [6] Hogan, N., *Impedance Control: An Approach to Manipulation*, American Control Conference, 313, pp.304, 1984.
- [7] ROD J Patton, *Fault-Tolerant Control: The 1997 Situation*, IFAC Proceedings Volumes, Volume 30, Issue 18, pp.1029-1051, 1997.
- [8] H. V. Dao, D. T. Tran and K. K. Ahn, "Active Fault Tolerant Control System Design for Hydraulic Manipulator With Internal Leakage Faults Based on Disturbance Observer and Online Adaptive Identification," in IEEE Access, vol. 9, pp. 23850-23862, 2021.
- [9] Raibert, M. H., and Craig, J. J. "Hybrid Position/Force Control of Manipulators." ASME. J. Dyn. Sys., Meas., Control.; 103(2): 126–133, June 1981.
- [10] R. W. H. Sargent, *Optimal control*, Journal of Computational and Applied Mathematics, Volume 124, Issues 1–2, pp.361-371, 2000.
- [11] Andrea Thomaz, *Computational Human-Robot Interaction*, Foundations and Trends in Robotics, 4 (2–3), pp.104–223, 2016.

PHỤ LỤC

Video hướng dẫn và quy trình thực hiện:

https://www.youtube.com/watch?v=9lxGQ2fCpZU&list=PLQNPCSZxuW_ONccN1XOkHRFTUSMu549sL&index

Tác giả chịu trách nhiệm bài viết:

TS. Trần Đức Thiện

Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật Tp.HCM

Email: thientd@hcmute.edu.vn