

THIẾT KẾ, THI CÔNG HỆ THỐNG ĐIỀU KHIỂN VÀ GIÁM SÁT ROBOT SONG SONG BA BẬC TỰ DO 3RRR TỪ MÁY TÍNH

DESIGN, ASSEMBLY A SUPERVISION CONTROL SYSTEM OF THE 3RRR PARALLEL ROBOT FROM THE COMPUTER

Nguyễn Đức Phúc¹,
Trương Hoàng Quân¹, Lê Tiến Dũng^{2,*}

DOI: <https://doi.org/10.57001/huih5804.2023.056>

TÓM TẮT

Nội dung bài báo trình bày kết quả nghiên cứu việc thiết kế và thi công hệ thống điều khiển và giám sát robot song song ba bậc tự do 3RRR. Kết quả hệ thống có thể điều khiển robot thực hiện các quỹ đạo mong muốn và thu thập dữ liệu để phân tích độ chính xác, chất lượng bám quỹ đạo của robot. Các tính toán về động học, không gian làm việc, các cấu hình kỳ dị và mô hình động lực học được trình bày chi tiết để làm cơ sở cho việc thiết kế thuật toán điều khiển và xây dựng các chương trình điều khiển. Để kiểm nghiệm các kết quả đạt được, mô hình của robot được xây dựng trên Solidworks sau đó tích hợp vào Matlab-Simulink. Đồng thời một hệ thống thực nghiệm được thực thi với tay máy robot thực kết nối với máy tính để điều khiển, giám sát.

Từ khóa: Robot song song ba bậc tự do; hệ thống giám sát; điều khiển robot; mô phỏng Robot; trung tâm điều khiển.

ABSTRACT

The content of the paper presents the results of research design and control of the construction and monitoring system of the 3RRR parallel robot with three degrees of freedom. The resulting system can control the robot to perform the desired trajectories and collect data to determine the exact quality of the robot trajectory. Calculations about kinematics, workspace, singularities and dynamics models are detailed to serve as the basis for control design and construction of program control. To check the results, the robot's model has built on SolidWorks and then integrated into Matlab-Simulink. At the same time, an experimental system is implemented with the manipulator connecting to the computer for control and monitoring.

Keywords: 3RRR parallel robot; the supervised system; robot control; robot Simulation; the control center.

¹Lớp 18TDH2 - Khoa Điện, Trường Đại học Bách khoa - Đại học Đà Nẵng

²Khoa Điện, Trường Đại học Bách khoa - Đại học Đà Nẵng

*Email: ltdung@dut.udn.vn

Ngày nhận bài: 20/10/2022

Ngày nhận bài sửa sau phản biện: 03/02/2023

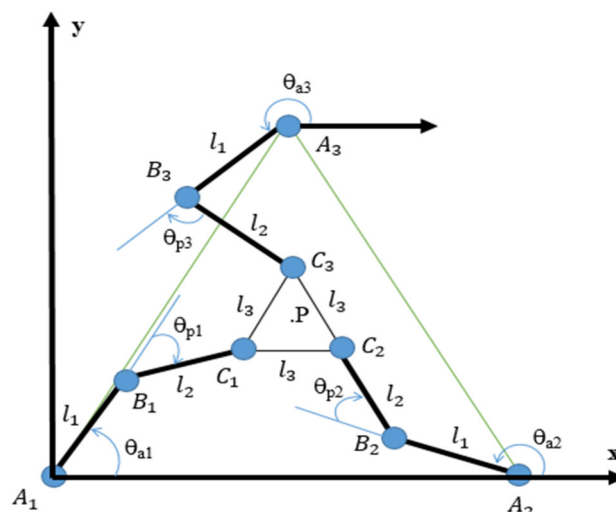
Ngày chấp nhận đăng: 15/3/2023

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Hiện nay, với sự tiến bộ của Khoa học - Kỹ thuật - Công nghệ gần như thuộc mọi lĩnh vực Cơ học - Cơ khí - Điện - Điện tử - Điều khiển tự động - Máy tính - Tin học - Sinh vật

học đều được thể hiện trên sự phát triển của robot. Xuất phát từ nhu cầu, khả năng linh hoạt hóa trong sản xuất và có nhiều ưu điểm vượt trội như độ cứng vững cao, có thể thực hiện được các thao tác phức tạp và hoạt động với độ chính xác lớn, cung cấp khả năng di động cao trong quá trình làm việc, robot song song ngày càng được nghiên cứu sử dụng rộng rãi. Song song với sự phát triển đó thì việc giao tiếp điều khiển giữa con người và robot ngày càng yêu cầu cao hơn. Các thuật toán điều khiển tay máy robot song song ngày càng hoàn thiện, nhưng việc xét các quỹ đạo phức tạp trong không gian làm việc cũng như ra lệnh cho robot song song thực hiện các quỹ đạo trên máy tính và thực hiện giám sát vẫn còn hạn chế. Xét qua các vấn đề trên, bài báo này sẽ đề cập đến một thuật toán điều khiển đồng bộ và dựa vào đó phát triển một giao diện điều khiển giám sát robot song song ba bậc tự do. Thông qua giao diện làm việc, người dùng có thể tương tác bằng cách nhấn chọn các biểu tượng, các nút bấm và đưa ra lệnh cho robot thực hiện các thao tác mong muốn. Đồng thời hệ thống được thực nghiệm với tay máy robot thực để điều khiển và giám sát.

2. MÔ HÌNH ĐỘNG HỌC CỦA ROBOT SONG SONG PHẪNG BA BẬC TỰ DO

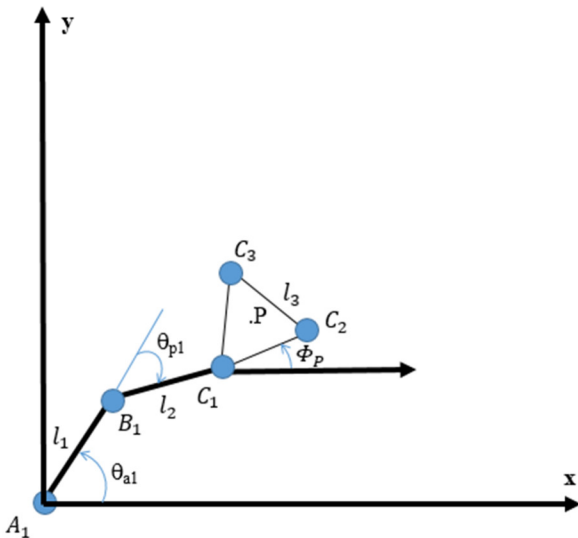


Hình 1. Hình chiếu tay máy robot song song phẳng ba bậc tự do trên mặt phẳng Oxy

Một hệ trục tọa độ x, y được chọn làm hệ trục tọa độ tham chiếu cho cơ cấu robot song song phẳng ba bậc tự do 3RRR. Tay máy robot song song ba bậc tự do có cấu tạo gồm chín khớp xoay, trong đó có ba khớp chủ động $\theta_{ai} = [\theta_{a1}, \theta_{a2}, \theta_{a3}]^T$ được đặt tại ba đỉnh của một tam giác đều $A_1A_2A_3$ cạnh R, ba khớp bị động $\theta_p = [\theta_{p1}, \theta_{p2}, \theta_{p3}]^T$ làm cầu nối giữa hai thanh có độ dài l_1, l_2 và ba khớp nối giữa cơ cấu chấp hành và thanh l_2 . Ba khớp chủ động là nơi đặt ba động cơ có thể điều khiển, chúng đóng vai trò là khớp truyền động chính cho mô hình robot. Trong bài báo này, hai thanh l_1 và l_2 có độ dài bằng nhau. l_1 là thanh liên kết giữa khớp chủ động và khớp bị động, l_2 là thanh liên kết giữa góc bị động và cơ cấu chấp hành cuối. Cơ cấu chấp hành cuối là một tam giác đều $C_1C_2C_3$ có cạnh c được liên kết với thanh l_2 qua một khớp xoay. Tâm P của tam giác chính là điểm thực hiện yêu cầu chuyển động theo vị trí yêu cầu được kí hiệu $Z = [x_p, y_p, \phi_p]^T$ với P(x_p, y_p) là vị trí trên hệ tọa độ Oxy còn ϕ_p là góc nghiêng của cơ cấu chấp hành so với trục Ox.

2.1. Mô hình động học ngược

Từ mô hình tay máy robot song song bằng ba bậc tự do 3-RRR, thực hiện tính toán động học ngược nhằm mục đích từ vị trí của cơ cấu chấp hành có giá trị $Z = [x_p, y_p, \phi_p]^T$ để tính ra các góc chủ động $\theta_{ai} = [\theta_{a1}, \theta_{a2}, \theta_{a3}]^T$ và các góc bị động $\theta_{pi} = [\theta_{p1}, \theta_{p2}, \theta_{p3}]^T$ của các khớp.



Hình 2. Mô hình tính toán động học

Tính toán góc chủ động của tay máy:

$$\theta_{ai} = \alpha_i + \psi_i$$

$$\text{Với } \psi_i = \cos^{-1} \left(\frac{l_1^2 - l_2^2 + (c_{ix} - a_{ix})^2 + (c_{iy} - a_{iy})^2}{2 \cdot l_1 \cdot \sqrt{(c_{ix} - a_{ix})^2 + (c_{iy} - a_{iy})^2}} \right)$$

$$c_{xi} = x_p + l_3 \cdot \cos \theta_i, \quad c_{yi} = y_p + l_3 \cdot \sin \theta_i$$

$$\theta_1 = \Phi_p + \frac{7\pi}{6} \quad \theta_2 = \Phi_p - \frac{\pi}{6} \quad \theta_3 = \Phi_p + \frac{\pi}{2}$$

x, y, Φ_p là các giá trị biết trước của khâu chấp hành cuối.

l_1, l_2 là độ dài của thanh 1 và 2.

l_3 là khoảng cách giữa trọng tâm P và điểm C.

a_{xi}, a_{yi} là tọa độ của các điểm đặt động cơ: $A_1 = (0,0)$,

$$A_2 = (R,0), \quad A_3 = \left(\frac{1}{2}R, \frac{\sqrt{3}}{2}R\right).$$

R là khoảng cách giữa các khớp chủ động.

Tính góc bị động của tay máy:

$$\theta_{pi} = \cos^{-1} \left(\frac{l_1^2 + l_2^2 - (c_{ix} - a_{ix})^2 - (c_{iy} - a_{iy})^2}{2 \cdot l_1 \cdot l_2} \right) - \pi$$

Trong đó:

c_{ix}, c_{iy} : Tọa độ điểm C.

a_{ix}, a_{iy} : Tọa độ của các điểm đặt động cơ

l_1, l_2 : Độ dài của thanh 1 và thanh 2.

2.2. Mô hình động học thuận

Bài toán động học thuận là ngược lại so với bài toán động học ngược. Yêu cầu của bài toán động học thuận là từ các góc chủ động $\theta_{ai} = [\theta_{a1}, \theta_{a2}, \theta_{a3}]^T$ tiến hành tính toán vị trí của cơ cấu chấp hành $Z = [x_p, y_p, \phi_p]^T$ và các góc bị động $\theta_{pi} = [\theta_{p1}, \theta_{p2}, \theta_{p3}]^T$.

Theo mô hình hình học, ta có được tổng vecto $\overline{A_1P}$ theo quy tắc chen điểm.

$$\overline{A_1P} = \overline{A_1B_1} + \overline{B_1C_1} + \overline{C_1P}$$

Khai triển phương trình ta được:

$$\overline{A_1P} = (x_p - x_{A1}, y_p - y_{A1}).$$

$$\overline{A_1B_1} = (x_{B1} - x_{A1}, y_{B1} - y_{A1}) = (l_1 \cdot \cos(\theta_{a1}), l_1 \cdot \sin(\theta_{a1})).$$

$$\overline{B_1C_1} = (x_{C1} - x_{B1}, y_{C1} - y_{B1}) = (l_2 \cdot \cos(\theta_{a1} + \theta_{p1}), l_2 \cdot \sin(\theta_{a1} + \theta_{p1})).$$

$$\overline{C_1P} = (x_p - x_{C1}, y_p - y_{C1}) = (l_3 \cdot \cos(\lambda_1), l_3 \cdot \sin(\lambda_1)).$$

Từ đây ta có thể suy ra mối quan hệ giữa vecto góc chủ động và vecto Z.

$$F_i = (x_p - x_{A1} - l_1 \cdot \cos(\theta_{a1}) - l_3 \cdot \cos(\lambda_1))^2 + (y_p - y_{A1} - l_1 \cdot \sin(\theta_{a1}) - l_3 \cdot \sin(\lambda_1))^2 - l_2^2 = 0$$

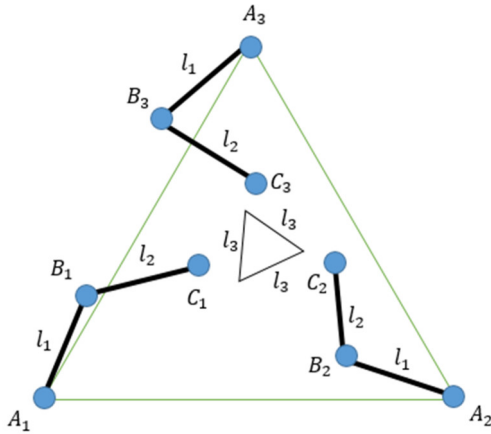
Với $i = 1, 2, 3$.

$$\lambda_1 = \Phi_p + \frac{\pi}{6} \quad \lambda_2 = \Phi_p + \frac{5\pi}{6} \quad \lambda_3 = \Phi_p + \frac{3\pi}{2}$$

Thực hiện giải hệ phương trình phi tuyến trên bằng phương pháp lặp Newton-Raphson để tìm nghiệm $Z = [x_p, y_p, \phi_p]^T$.

3. MÔ HÌNH ĐỘNG LỰC HỌC CỦA ROBOT SONG SONG PHẪNG BA BẬC TỰ DO

Hiện nay có thể sử dụng các phương trình cơ học Newton để tìm ra các phương trình động lực học của robot. Tuy nhiên robot là cơ cấu trong không gian ba chiều, có nhiều bậc tự do và sự phân bố khối lượng không đồng đều vì vậy khó có thể sử dụng phương trình cơ học Newton. Thay vào đó có thể sử dụng nguyên lý Lagrange. Nguyên lý Lagrange dựa vào năng lượng nên dễ dàng sử dụng và tiếp cận hơn.



Hình 3. Mô hình phân tách ảo của tay máy robot song song phẳng ba bậc tự do
 Phương trình Lagrange Euler:

$$\tau = \frac{d}{dt} \frac{\partial L_i}{\partial \dot{\theta}_i} - \frac{\partial L_i}{\partial \theta_i}$$

Để có thể điều khiển được robot, phải có mô hình toán học với các quá trình động lực học của hệ thống. Dựa vào định luật bảo toàn năng lượng và dùng phương pháp phân tách ảo ta có phương trình sau:

$$L_i = \frac{1}{2} (m_1 \cdot l_1^2 + m_2 \cdot l_1^2 + I_1) \cdot \dot{\theta}_{ai}^2 + \frac{1}{2} (m_2 \cdot l_2^2 + I_2) \cdot (\dot{\theta}_{ai} + \dot{\theta}_{pi})^2 + m_2 \cdot l_1 \cdot l_2 \cdot \cos(\theta_{pi}) \cdot (\dot{\theta}_{ai}^2 + \dot{\theta}_{ai} \cdot \dot{\theta}_{pi})$$

Biến đổi phương trình trên ta được phương trình động lực học

$$\tau_0 = M_0(\theta) \cdot \ddot{\theta} + C_0(\theta, \dot{\theta}) \cdot \dot{\theta}$$

Với $M_0(\theta)$ là ma trận quán tính.

$C_0(\theta, \dot{\theta})$ là ma trận Coriolis và lực hướng tâm.

τ_0 là vecto momen của khớp. $\tau_0 = [\tau_{a1} \ \tau_{pi} \ \tau_z]^T$

Ma trận $M_0(\theta)$, $C_0(\theta, \dot{\theta})$ được tính theo công thức:

$$M_0 = \begin{bmatrix} \delta_1 & 0 & 0 & \varepsilon_1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \delta_2 & 0 & 0 & \varepsilon_2 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \delta_3 & 0 & 0 & \varepsilon_3 & 0 & 0 & 0 \\ \eta_1 & 0 & 0 & \beta_1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \eta_2 & 0 & 0 & \beta_2 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \eta_3 & 0 & 0 & \beta_3 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & m_p & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & m_p & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & I_p \end{bmatrix}$$

$$C_0 = \begin{bmatrix} \vartheta_1 & 0 & 0 & \mu_1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \vartheta_2 & 0 & 0 & \mu_2 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \vartheta_3 & 0 & 0 & \mu_3 & 0 & 0 & 0 \\ \rho_1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \rho_2 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \rho_3 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

Với $\delta_i = \alpha_i + \beta_i + 2 \cdot \cos(\theta_{pi}) \cdot \gamma_i$, $\varepsilon_i = \beta_i + \gamma_1 \cdot \cos(\theta_{pi})$, $\eta_i = \beta_i + \cos(\theta_{pi})$,

$$\vartheta_i = -2 \cdot \sin(\theta_{pi}) \cdot \dot{\theta}_{pi} \cdot \gamma_i, \rho_i = \sin(\theta_{pi}) \cdot \gamma_1 \cdot \dot{\theta}_{ai}$$

$$\mu_i = \sin(\theta_{pi}) \cdot \gamma_i \cdot \dot{\theta}_{pi}$$

Bởi vì robot song song phẳng 3RRR được điều khiển bằng cách điều khiển 3 khớp chủ động A_1, A_2, A_3 nên chúng ta cần phát triển mô hình động học trong không gian khớp chủ động với momen đầu vào:

$$\tau_a = [\tau_{a1} \ \tau_{a2} \ \tau_{a3}]^T \in R^{3 \times 1}$$

$$W^T \cdot \tau_0 = \tau_a$$

Trong đó: W là ma trận Jacobian

$$W = \begin{bmatrix} I \\ \frac{\partial \theta_p}{\partial \theta_a} \\ \frac{\partial X_p}{\partial \theta_a} \\ \frac{\partial \theta_a}{\partial \theta_a} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} I \\ J_1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} I \\ J_{oz}^{-1} J_{pz} \\ J_2^{-1} \end{bmatrix}$$

Trong đó:

$I \in R^{3 \times 3}$ là ma trận đơn vị.

Ma trận J_{pz} được tính theo công thức: $J_{pz} = J_p^{-1} \cdot J_z$.

$$J_p = \begin{bmatrix} dz2_1 & 0 & 0 \\ 0 & dz2_2 & 0 \\ 0 & 0 & dz2_3 \end{bmatrix}$$

$$J_z = \begin{bmatrix} az2_1 & bz2_1 & cz2_1 \\ az2_2 & bz2_2 & cz2_2 \\ az2_3 & bz2_3 & cz2_3 \end{bmatrix}$$

Trong đó:

$$\begin{cases} az2_i = l_1 \cdot \cos \theta_{ai} + l_{c2} \cdot \cos(\theta_{ai} + \theta_{pi}) \\ bz2_i = l_1 \cdot \sin \theta_{ai} + l_{c2} \cdot \sin(\theta_{ai} + \theta_{pi}) \\ cz2_i = l_2 l_3 \sin(\psi_i + \phi_p - \theta_{ai} - \theta_{pi}) + l_2 l_3 \sin(\psi_i + \phi_p - \theta_{pi}) \\ dz2_i = -l_{c1} l_{c2} \sin \theta_{pi} \end{cases}$$

Bằng cách nhân cả hai vế của phương trình với W^T , ta được:

$$W^T(M_0(\theta) \cdot \ddot{\theta} + C_0(\theta, \dot{\theta}) \cdot \dot{\theta}) = \tau_a$$

Ngoài ra, chúng ta còn có các mối quan hệ như sau:

$$\dot{\theta} = [I, \frac{\partial \theta_p}{\partial \theta_a}, \frac{\partial X_p}{\partial \theta_a}]^T \cdot \dot{\theta}_a = W \cdot \dot{\theta}_a$$

$$\ddot{\theta} = \dot{W} \cdot \dot{\theta}_a + W \ddot{\theta}_a$$

Từ các phương trình trên ta suy ra được phương trình động lực học cho robot song song phẳng 3RRR như sau:

$$\hat{M}_a \cdot \ddot{\theta}_a + \hat{C}_a \cdot \dot{\theta}_a = \tau_a$$

Trong đó:

- $\hat{M}_a = W^T \cdot M_0 \cdot W \in R^{3 \times 3}$, là ma trận quán tính

- $\hat{C}_a = W^T \cdot M_0 \cdot \dot{W} + W^T \cdot C_0 \cdot W \in R^{3 \times 3}$, là ma trận lực hướng tâm và Coriolis

4. PHƯƠNG PHÁP ĐIỀU KHIỂN BÁM ĐỒNG BỘ CHO TAY MÁY ROBOT SONG SONG BA BẬC TỰ DO

4.1. Điều khiển tính momen cho tay máy robot song song phẳng ba bậc tự do

Trong phần điều khiển robot, ta có mô hình điều khiển robot như sau:

$$\tau_a = M(\theta) \cdot \ddot{\theta} + C(\theta, \dot{\theta}) \cdot \dot{\theta}$$

Trong thực tế sẽ có thêm thành phần ma sát giữa các khớp với nhau, vì vậy, có thể suy ra mô hình tổng quát như sau:

$$\tau_a = M(\theta) \cdot \ddot{\theta} + C(\theta, \dot{\theta}) \cdot \dot{\theta} + F(\theta, \dot{\theta})$$

Chúng ta có thể thấy, mỗi thành phần của là một hàm phụ thuộc vào θ , vị trí các khớp của tay máy robot, với mỗi phần tử của là một hàm phức tạp của θ và $\dot{\theta}$. Vì vậy phương trình trên khá phức tạp và rất khó để điều khiển. Do đó ở đây, sử dụng một bộ điều khiển tính momen để xử lý vấn đề.

$$\tau_a = \alpha \cdot \tau_a' + \beta$$

Với: $\alpha = M(\theta)$

$$\beta = C(\theta, \dot{\theta}) + F(\theta, \dot{\theta})$$

Với quy luật: $\tau_a' = \ddot{\theta}_d + K_d \cdot \dot{e} + K_p \cdot e$

$$\dot{e} = \dot{\theta}_d - \dot{\theta}_a$$

$$e = \theta_d - \theta_a$$

4.2. Điều khiển bám đồng bộ cho tay máy robot song song phẳng ba bậc tự do

Trước hết, định nghĩa lại sai số quỹ đạo như sau:

$$e_a = \theta_a(t) - \theta_{da}(t)$$

Trong thuật toán điều khiển đồng bộ, không chỉ riêng sai số của mỗi trục thành phần phải tiến về không ($e_{ai} \rightarrow 0, i = 1,2,3$) mà các sai số này phải cùng đồng thời bằng nhau trong quá trình điều khiển bám quỹ đạo:

$$e_{a1}(t) = e_{a2}(t) = e_{a3}(t)$$

Sai số đồng bộ được định nghĩa như sau:

$$\epsilon_1 = e_1 - e_2$$

$$\epsilon_2 = e_2 - e_3$$

$$\epsilon_3 = e_3 - e_1$$

Mục tiêu của thuật toán điều khiển là các sai số đồng bộ cùng tiến về 0, điều này có nghĩa là thuật toán điều khiển xem xét sai số của các trục có sự ảnh hưởng qua lại lẫn nhau.

Để thực hiện điều này, ta có định nghĩa một hàm sai số xen kênh ngang như sau:

$$e^* = e + \Gamma \cdot \epsilon$$

Trong đó:

e^* là vector sai số xen kênh ngang.

Γ là ma trận xác định dương có kích thước 3x3 giúp cân bằng trọng số giữa sai số vị trí và sai số đồng bộ.

ϵ là sai số đồng bộ.

Đạo hàm của vector sai số xen kênh ngang, được tính theo công thức:

$$\dot{e}^* = \dot{e} + \Gamma \cdot \dot{\epsilon}$$

Trong đó: $\dot{\epsilon} = [\dot{\epsilon}_1, \dot{\epsilon}_2, \dot{\epsilon}_3]$, với:

$$\dot{\epsilon}_1 = \dot{e}_1 - \dot{e}_2$$

$$\dot{\epsilon}_2 = \dot{e}_2 - \dot{e}_3$$

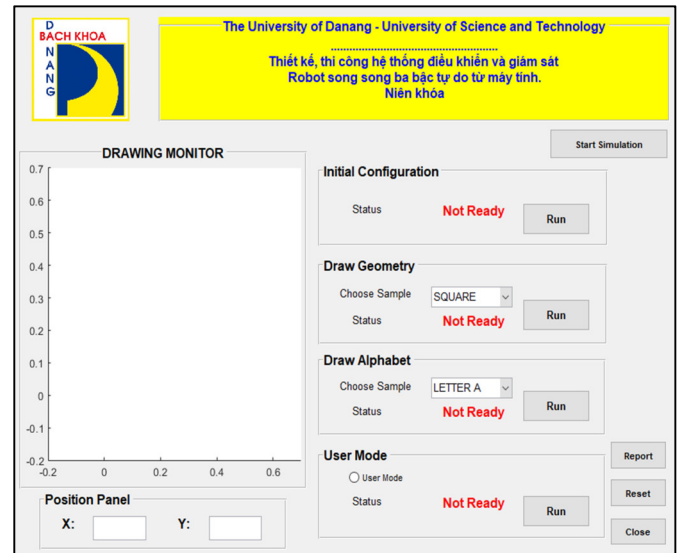
$$\dot{\epsilon}_3 = \dot{e}_3 - \dot{e}_1$$

Thuật toán điều khiển đồng bộ tính mô-men cho tay máy robot song song phẳng 3 bậc tự do được viết như sau:

$$\tau_a = M * (\ddot{\theta}_d + K_1 \cdot \dot{e}^* + K_2 \cdot e^*) + C \cdot \dot{\theta}$$

5. THIẾT KẾ GIAO DIỆN GUI ĐIỀU KHIỂN TAY MÁY ROBOT SONG SONG PHẪNG BA BẬC TỰ DO

Để thuận tiện cho việc điều khiển cũng như giám sát hoạt động của robot, một giao diện điều khiển đã được thiết kế dựa trên phần mềm GUI thuộc matlab- simulink. Dựa theo ý tưởng đặt ra, một số chức năng nhất định đã được lập trình sẵn gồm việc vẽ quỹ đạo hình tròn, hình vuông,... vẽ các chữ cái cho trước. Một chức năng cuối cho phép người dùng tự vẽ quỹ đạo trong không gian làm việc của robot, giúp tạo ra sự đa dạng về dữ liệu đầu vào.



Hình 4. Giao diện điều khiển và giám sát làm việc của robot song song phẳng ba bậc tự do

Giao diện điều khiển và giám sát gồm các chức năng vẽ hình, các chữ cái, tự thiết kế quỹ đạo đầu vào. Ngoài ra còn có chức năng giám sát quỹ đạo nhằm đưa ra sai số giữa quỹ đạo đặt và quỹ đạo thực giúp cho người dùng có thể tùy chỉnh các thông số để giảm sai số đến mức tối thiểu. Việc đưa ra mối quan hệ, sai số giữa các khớp, momen và tốc độ được đặt vào khớp chủ động giúp người dùng dễ dàng kiểm soát và điều khiển robot chính xác hơn.

6. MÔ PHỎNG KIỂM CHỨNG

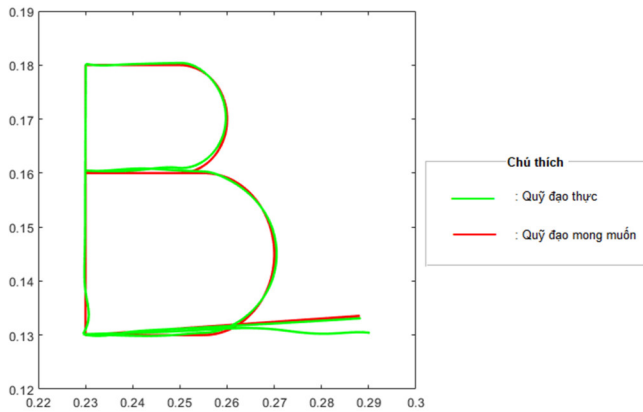
Để mô phỏng thuật toán điều khiển và phẩm mềm giám sát, robot sẽ được vẽ trên phần mềm Solid Work và được chuyển qua phần mềm Matlab Simulink. Giao diện GUI sẽ được liên kết với Matlab Simulink giúp thuận tiện cho việc mô phỏng.

Thông số của robot dùng để mô phỏng như trong bảng 1.

Bảng 1. Thông số của robot dùng để mô phỏng

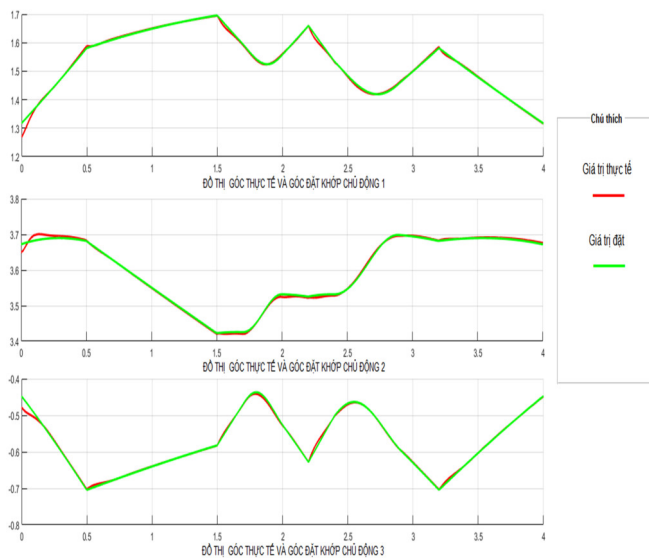
Thanh	Thông số		
	Chiều dài (m)	Khối lượng (kg)	Momen quán tính (kg.m ²)
l_1	0,2	0,502832	0,00199706
l_2	0,2	0,551218	0,00248231
l_3	0,125	1,19851	0,00607418

Kết quả mô phỏng với quỹ đạo là chữ B được thực hiện trên Matlab Simulink như trên hình 5.



Hình 5. Kết quả chạy mô phỏng với quỹ đạo chữ B

Đồ thị sai số của các góc chủ động khi thực hiện quỹ đạo chữ B như trên hình 6.



Hình 6. Đồ thị sai số của các góc chủ động

7. KẾT LUẬN

Bài báo đã trình bày nghiên cứu phân tích mô hình động, động lực học của tay máy robot song song phẳng ba bậc tự do 3-RRR. Mô hình Robot đã xây dựng trên Matlab - Simulink giúp dễ dàng trong việc liên kết và mô phỏng. Thiết kế được giao diện điều khiển và giám sát hoạt động của tay máy robot đồng thời đưa ra kết quả so sánh chính xác.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Le Quang Dan, Hee-Jun Kang, Tien Dung Le, 2016. *Adaptive extended computed torque control of 3 DOF planar parallel manipulators using neural network and error compensator*. International Conference on Intelligent Computing, Springer, Cham.
- [2]. Le Tien Dung, Le Quang Dan, 2017. *Synchronous computed torque control of 3 dof planar parallel robotic manipulators*. The University of Danang - Journal of Science and Technology số 7(116).
- [3]. Doan Quang Vinh, et al., 2018. *A neural network-based synchronized computed torque controller for three degree-of-freedom planar parallel manipulators with uncertainties compensation*. International Journal of Advanced Robotic Systems, 15(2). doi:10.1177/1729881418767307.
- [4]. Kuo Yong-Lin, Shih-Chien Tang, 2021. *Dynamics and control of a 3-DOF planar parallel manipulator using visual servoing resolved acceleration control*. Journal of Low Frequency Noise, Vibration and Active Control 40(1), 458-480.

AUTHORS INFORMATION

Nguyen Duc Phu¹, Trương Hoàng Quan¹, Lê Tiên Dung²

¹Class 18TDH2, Faculty of Electrical Engineering, DaNang University of Science and Technology

²Faculty of Electrical Engineering, DaNang University of Science and Technology