

THIẾT KẾ BỘ ĐIỀU KHIỂN CHO ROBOT SCARA CÔNG NGHIỆP 4-BẬC

Lê Thành Tới*, Trần Anh Kiệt, Đoàn Xuân Nam

Trường Đại học Công Thương Thành phố Hồ Chí Minh

*Email: toilt@huit.edu.vn

Ngày nhận bài: 26/6/2024; Ngày nhận bài sửa: 11/7/2024; Ngày chấp nhận đăng: 19/7/2024

TÓM TẮT

Bài báo này trình bày thiết kế và thi công mạch điều khiển trung tâm cho cánh tay robot công nghiệp. Bộ điều khiển hoàn thiện được áp dụng vận hành thử nghiệm trên mô hình cánh tay robot Scara 4-bậc để đánh giá. Đầu tiên, nguyên lý dịch chuyển theo tọa độ của robot được trình bày dưới dạng phương trình động học thuận và động học nghịch. Mô hình mô phỏng hoạt động của tay robot được thực hiện bởi phần mềm SolidWorks và Matlab. Tiếp đó, thiết kế mạch điều khiển trung tâm trên phần mềm Eagle; chương trình và giao diện điều khiển được thiết kế bằng ngôn ngữ C để điều khiển robot thực hiện các nhiệm vụ. Cuối cùng, chạy thực nghiệm trên mô hình robot thực với các yêu cầu gấp và xếp vật mẫu theo các tọa độ yêu cầu. Kết quả cho thấy mô hình robot hoạt động ổn định, chính xác trong việc gấp và đặt vật tại vị trí với tốc độ cao. Ngoài ra, thiết kế của bộ điều khiển trung tâm cho phép mở rộng tới 6 trục giúp mở rộng phạm vi ứng dụng cho nhiều loại robot khác nhau; với chi phí thực hiện bộ điều khiển thấp hơn nhiều so với bộ điều khiển chính hãng nên rất phù hợp cho đối tượng là giảng viên và sinh viên trong học tập và nghiên cứu về lĩnh vực điều khiển robot.

Từ khóa: Robot Scara, bảng D-H, robot công nghiệp, Simscape Multibody Link.

1. GIỚI THIỆU CHUNG

Robot công nghiệp đang được sử dụng ngày càng nhiều trong nhiều lĩnh vực khác nhau nhằm thay thế con người thực hiện những công việc nhàm chán mang tính lặp đi lặp lại như trong các dây chuyền sản xuất [1-3] (dây chuyền lắp ráp linh kiện, phân loại sản phẩm, xếp hàng hóa, v.v.), làm việc trong môi trường độc hại đến sức khỏe, nguy hiểm đến tính mạng [4] (gỡ bom mìn, xử lý chất hóa học, cứu hộ cứu nạn, thám hiểm, v.v.), công việc yêu cầu độ chính xác cao [5-7] (gia công chính xác, robot sử dụng trong y học, v.v.). Tùy theo mục đích sử dụng, robot có hình dạng và cấu tạo khác nhau. Trong công nghiệp sản xuất, các robot thường có cấu tạo dạng cánh tay nhằm thực hiện các động tác như tay con người. Robot Scara (viết tắt của Selective Compliance Articulated Robot Arm) là một lựa chọn phổ biến sử dụng cho các công việc có tính chất nhỏ, cần tốc độ và độ chính xác cao. Robot Scara được giới thiệu vào năm 1979 bởi giáo sư người Nhật, giáo sư Hiroshi Makino [8]. Chúng được sử dụng phổ biến trong các dây chuyền sản xuất: phân loại sản phẩm, lắp linh kiện, đóng gói sản phẩm, xử lý các linh kiện bán dẫn... Trong giáo dục, robot Scara được sử dụng làm mô hình giảng dạy chính trong lĩnh vực điều khiển robot ở các trường đại học [9, 10]. Để tiếp cận với mô hình robot thực của các hãng sản xuất lớn đòi hỏi chi phí tương đối cao.

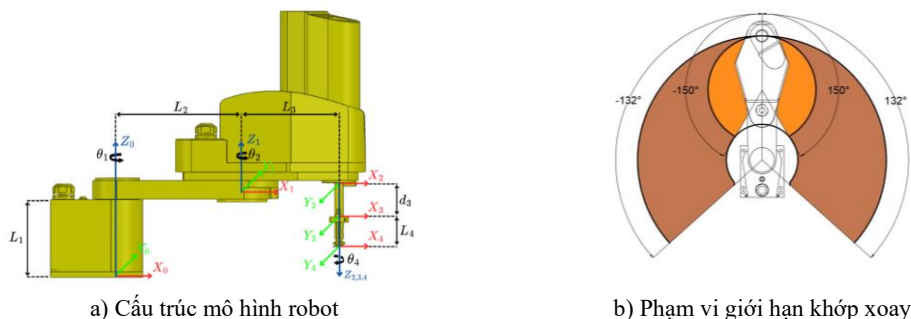
Robot Scara thường có cấu tạo 4-bậc có khả năng di chuyển linh hoạt trong mặt phẳng XY, trong không gian có thể di chuyển lên xuống và xoay 360° quanh trục Z. Mô hình động học cho robot mô tả vật lý dưới dạng toán học của robot. Mô hình động học có thể được chia thành hai phần là mô hình động học thuận và mô hình động học nghịch. Mô hình động học thuận cho robot được xây dựng để tìm ra vị trí của bộ phận tác động cuối ứng với các góc khớp đầu vào. Vì vậy, mô hình động học thuận có thể áp dụng để thiết lập các vị trí cho robot. Để đạt được vị trí tác động cuối mong muốn thì cần phải xác định được thông số các khớp. Vấn đề này được giải quyết thông qua mô hình động học nghịch [11, 12]. Do đó, mô hình động học là cần thiết để cung cấp phạm vi làm việc và kết hợp chức năng của cánh tay robot với ứng dụng của nó [13]. Vị trí của cánh tay robot được mô tả sử dụng phương pháp Denavit–Hartenberg, sử dụng các ma trận chuyển vị để hình thành động học của robot [11-14].

Thông thường, một bộ robot hoàn chỉnh bao gồm cánh tay robot, bộ điều khiển và phần mềm. Bộ điều khiển đóng vai trò rất quan trọng được xem như bộ não thu thập các tín hiệu ngoại vi, xử lý và xuất tín hiệu điều khiển đến các động cơ truyền động cho robot để thực hiện các tác vụ mong muốn. Đây cũng là bộ phận hay xảy ra hư hỏng, phát sinh lỗi dẫn đến ngưng hoạt động của robot. Để kiểm tra và xử lý các vấn đề liên quan cần có sự hỗ trợ từ phía hãng sản xuất, thời gian xử lý lâu và tốn kém chi phí đặc biệt là hãng ở nước ngoài. Mặt khác, mỗi hãng sẽ có phần mềm lập trình robot được thiết kế riêng và thường bắt buộc trả phí để có thể sử dụng. Điều này gây ra những khó khăn nhất định cho đối tượng giảng viên, sinh viên trong nghiên cứu và tìm hiểu về kỹ thuật điều khiển robot.

Trong bài báo này trình bày một thiết kế bộ điều khiển cho robot Scara 4-bậc với mức chi phí thấp nhằm phục vụ công tác giảng dạy về học phần kỹ thuật robot tại trường Đại học Công Thương Tp. HCM. Điều này giúp đơn vị sử dụng chủ động trong công tác sửa chữa, thay thế linh kiện khi có sự cố hoặc hư hỏng trong quá trình dạy và học. Nội dung bài báo được trình bày bao gồm: phần đầu tiên là giới thiệu chung; tiếp đến phần trình bày về mô hình động học của robot, và mô hình mô phỏng động học của robot trên phần mềm Matlab và SolidWorks; thiết kế bộ điều khiển trung tâm, và thi công đầu nối bộ điều khiển cho robot được thể hiện ở mục 3; kiểm chứng hoạt động của mạch thiết kế với các lý thuyết đã trình bày thông qua quá trình chạy thực nghiệm ở mục 4; cuối cùng là phần kết luận.

2. MÔ HÌNH ĐỘNG HỌC CỦA ROBOT

Mô hình cánh tay robot Scara 4-bậc tự do gồm 3 khớp chuyển động quay và 1 khớp chuyển động tịnh tiến, như trong Hình 1a. Phạm vi hoạt động robot được trình bày như trong Hình 1b; hoạt động của khớp 1, 2 và 4 được giới hạn trong phạm vi $\theta_1 = -132^\circ \div 132^\circ$, $\theta_2 = -150^\circ \div 150^\circ$ và $\theta_4 = 0^\circ \div 360^\circ$ ứng với mặt phẳng tọa độ (X_0, Y_0) , (X_1, Y_1) và (X_4, Y_4) gắn với chúng; khớp tịnh tiến 3 có phạm vi dịch chuyển tối đa 110 mm dọc theo trục Z_3 .



Hình 1. Robot Scara 4-bậc

2.1. Phương trình động học thuận

Động học thuận được sử dụng khi cần tìm vị trí và hướng của khâu chấp hành cuối từ các góc khớp cho trước. Mỗi khâu của robot được gắn với 1 hệ trục tọa độ, để robot được gắn với tọa độ gốc (O_0), tăng dần cho các khâu tiếp theo, đến khâu chấp hành cuối được gắn tọa độ (O_4), như trong Hình 1a. Vị trí và hướng của khâu chấp hành cuối được quy đổi về tọa độ góc thông qua phương pháp của Denavit Hartenberg (D-H). Bộ thông số D-H bao gồm θ_i , d_i , a_i , và α_i . Trong đó: θ_i là góc quanh trục Z_{i-1} để $X_{i-1} \equiv X_i$; d_i là khoảng cách giữa hai trục X_{i-1} và X_i ; a_i là khoảng cách giữa hai trục Z_{i-1} và Z_i ; α_i là góc quay xung quanh X_i để cho $Z_{i-1} \equiv Z_i$. Bộ thông số D-H của robot Scara 4 bậc được liệt kê như trong Bảng 1, với các thông số $L_1 = 170 \text{ mm}$, $L_2 = 225 \text{ mm}$, $L_3 = 175 \text{ mm}$, và $L_4 = 60 \text{ mm}$.

Bảng 1. Thông số D-H của robot Scara 4 bậc

Khâu	θ_i	d_i	a_i	α_i	Biến
1	θ_1	L_1	L_2	0	θ_1
2	θ_2	0	L_3	180	θ_2
3	0	d_3	0	0	d_3
4	θ_4	L_4	0	0	θ_4

Ma trận chuyển vị từ hệ tọa độ thứ (i) sang hệ tọa độ thứ $(i - 1)$ được xác định như sau:

$$T_i^{i-1} = \begin{bmatrix} \cos\theta_i & -\sin\theta_i \cos\alpha_i & \sin\theta_i \sin\alpha_i & a_i \cos\theta_i \\ \sin\theta_i & \cos\theta_i \cos\alpha_i & -\cos\theta_i \sin\alpha_i & a_i \sin\theta_i \\ 0 & \sin\alpha_i & \cos\alpha_i & d_i \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (1)$$

Vị trí của khâu chấp hành cuối được chuyển vị về tọa độ gốc theo công thức:

$$T_4^0 = T_1^0 \times T_2^1 \times T_3^2 \times T_4^3 = \begin{bmatrix} R_{11} & R_{12} & R_{13} & P_X \\ R_{21} & R_{22} & R_{23} & P_Y \\ R_{31} & R_{32} & R_{33} & P_Z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (2)$$

trong đó: $R = \begin{bmatrix} R_{11} & R_{12} & R_{13} \\ R_{21} & R_{22} & R_{23} \\ R_{31} & R_{32} & R_{33} \end{bmatrix}$ là ma trận định hướng, $P = \begin{bmatrix} P_X \\ P_Y \\ P_Z \end{bmatrix}$ là ma trận vị trí.

Thay các bộ thông số D-H vào (1), các ma trận chuyển vị được viết lại như sau:

$$T_1^0 = \begin{bmatrix} \cos\theta_1 & -\sin\theta_1 & 0 & L_2 \cos\theta_1 \\ \sin\theta_1 & \cos\theta_1 & 0 & L_2 \sin\theta_1 \\ 0 & 0 & 1 & L_1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (3)$$

$$T_2^1 = \begin{bmatrix} \cos\theta_2 & \sin\theta_2 & 0 & L_3 \cos\theta_2 \\ \sin\theta_2 & -\cos\theta_2 & 0 & L_3 \sin\theta_2 \\ 0 & 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (4)$$

$$T_3^2 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & d_3 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (5)$$

$$T_4^3 = \begin{bmatrix} \cos\theta_4 & -\sin\theta_4 & 0 & 0 \\ \sin\theta_4 & \cos\theta_4 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & L_4 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (6)$$

Thay (3)-(6) vào (2), ma trận T_4^0 được viết lại:

$$T_4^0 = \begin{bmatrix} \cos(\theta_1 + \theta_2 - \theta_4) & \sin(\theta_1 + \theta_2 - \theta_4) & 0 & L_3 \cos(\theta_1 + \theta_2) + L_2 \cos\theta_1 \\ \sin(\theta_1 + \theta_2 - \theta_4) & -\cos(\theta_1 + \theta_2 - \theta_4) & 0 & L_3 \sin(\theta_1 + \theta_2) + L_2 \sin\theta_1 \\ 0 & 0 & -1 & L_1 - d_3 - L_4 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (7)$$

Nếu cho trước các tham số biến khớp, vị trí chấp hành cuối của robot trong hệ tọa độ gốc (X_0, Y_0, Z_0) được xác định như sau:

$$\begin{bmatrix} P_X \\ P_Y \\ P_Z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} L_3 \cos(\theta_1 + \theta_2) + L_2 \cos\theta_1 \\ L_3 \sin(\theta_1 + \theta_2) + L_2 \sin\theta_1 \\ L_1 - d_3 - L_4 \end{bmatrix} \quad (8)$$

2.2. Phương trình động học nghịch

Để điều khiển cơ cấu chấp hành cuối của robot dịch chuyển tới các vị trí mong muốn cần phải xác định giá trị của các biến khớp tương ứng với từng hệ tọa độ của chúng. Bài toán động học nghịch đóng vai trò rất quan trọng trong điều khiển hoạt động của robot, độ phức tạp của bài toán phụ thuộc vào cấu trúc robot. Trong phần này, phương trình động học thuận của cánh tay robot Scara 4 bậc được tính dựa trên phương pháp đại số.

Từ (8), biến d_3 có thể dễ dàng tính như sau:

$$d_3 = L_1 - P_Z - L_4 \quad (9)$$

Lấy bình phương P_X và P_Y , ta có:

$$P_X^2 = L_3^2 \cos^2(\theta_1 + \theta_2) + 2L_2L_3 \cos(\theta_1 + \theta_2) \cos\theta_1 + L_2^2 \cos^2(\theta_1) \quad (10)$$

$$P_Y^2 = L_3^2 \sin^2(\theta_1 + \theta_2) + 2L_2L_3 \sin(\theta_1 + \theta_2) \sin\theta_1 + L_2^2 \sin^2(\theta_1) \quad (11)$$

Suy ra:

$$P_X^2 + P_Y^2 = L_2^2 + L_3^2 + 2L_2L_3 \cos\theta_2 \quad (12)$$

Từ (12), rút ra được:

$$\cos(\theta_2) = \frac{p_X^2 + p_Y^2 - L_2^2 - L_3^2}{2L_2L_3} \quad (13)$$

Nghiệm của (13) được viết lại dưới dạng hàm tan:

$$\theta_2 = \tan^{-1} \left(\frac{\sqrt{1 - \left(\frac{p_X^2 + p_Y^2 - L_2^2 - L_3^2}{2L_2L_3} \right)^2}}{\frac{p_X^2 + p_Y^2 - L_2^2 - L_3^2}{2L_2L_3}} \right) \quad (14)$$

Biến đổi theo công thức lượng giác ở (8) và sắp xếp lại như sau:

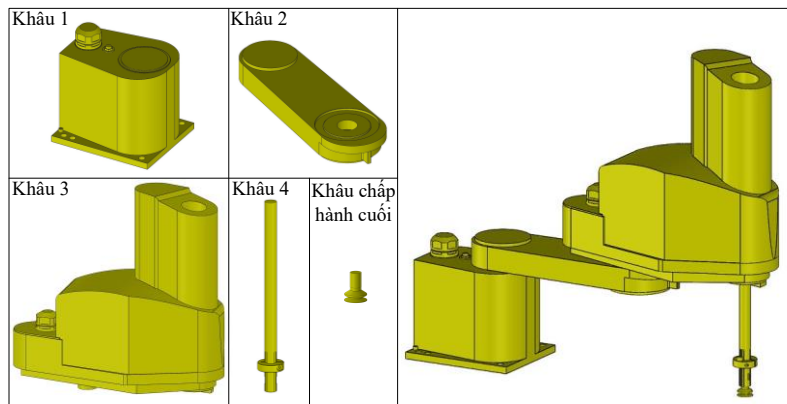
$$\begin{bmatrix} P_X \\ P_Y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} L_2 + L_3 \cos\theta_2 & -L_3 \sin\theta_2 \\ L_3 \sin\theta_2 & L_2 + L_3 \cos\theta_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos\theta_1 \\ \sin\theta_1 \end{bmatrix} \quad (15)$$

Thay (14) vào (15), giải phương trình ta thu được nghiệm θ_1 :

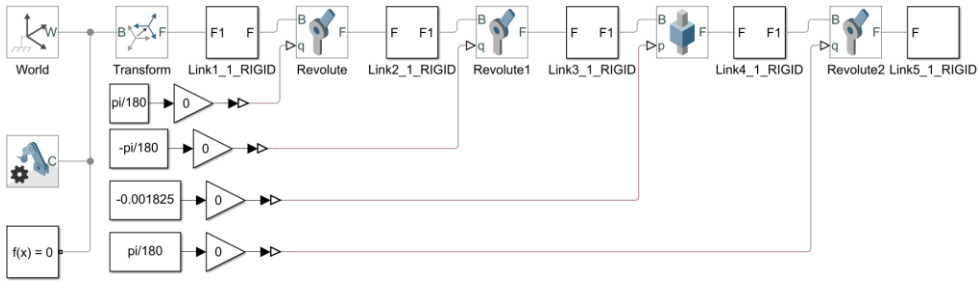
$$\theta_1 = \tan^{-1} \left(\frac{P_Y}{P_X} \right) - \tan^{-1} \left(\frac{\sqrt{1 - \left(\frac{P_X^2 + P_Y^2 + L_2^2 - L_3^2}{2L_2 \sqrt{P_X^2 + P_Y^2}} \right)^2}}{\frac{P_X^2 + P_Y^2 + L_2^2 - L_3^2}{2L_2 \sqrt{P_X^2 + P_Y^2}}} \right) \quad (16)$$

2.3. Mô phỏng động học

Phương trình động học thuận và nghịch được kiểm chứng thông qua mô hình mô phỏng trên phần mềm Matlab. Để quan sát được hoạt động chuyển động của robot một cách trực quan, một mô hình robot Scara 4 bậc được vẽ trên phần mềm SolidWorks như trong Hình 2. Mô hình được xuất ra dưới dạng file có đuôi “.xml”, được nhúng vào Matlab Simulink thông qua công cụ Simscape Multibody Link với câu lệnh “smimport”. Sơ đồ khối mô phỏng cho robot được trình bày như trong Hình 3. Giao diện điều khiển mô phỏng bằng Matlab GUI thể hiện như trong Hình 4.



Hình 2. Mô hình cánh tay robot được vẽ từ phần mềm SolidWorks

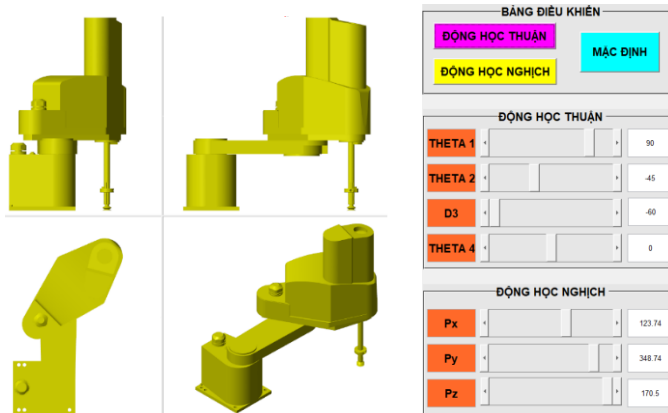


Hình 3. Sơ đồ khối thực hiện mô phỏng trên Matlab Simulink

Mô phỏng động học thuận sử dụng các tham số ngẫu nhiên lần lượt là $\theta_1 = 90$; $\theta_2 = -45$; $d_3 = -60$; và $\theta_4 = 0$. Khi thực hiện chương trình, robot sẽ chuyển động các khớp tới các giá trị tương ứng và cơ cấu chấp hành dừng tại vị trí có tọa độ $P_x = 123,74$; $P_y = 348,74$; $P_z = 170,5$, như trong Hình 4.

Quá trình mô phỏng động học nghịch được thực hiện ngược lại với mô phỏng động học thuận bằng cách nhập các tọa độ $P_x = 123,74$; $P_y = 348,74$; và $P_z = 170,5$. Chương trình tự động tính toán và trả về các giá trị $\theta_1 = 90$; $\theta_2 = -45$; $d_3 = -60$; và $\theta_4 = 0$.

Mô phỏng ở nhiều trường hợp tham số khác nhau cũng cho các kết quả tương tự. Điều này cho thấy tính đúng đắn của phương trình động học của robot đã trình bày. Bên cạnh đó, mô phỏng còn thể hiện được chuyển động của robot trong không gian 3D một cách trực quan.



Hình 4. Mô phỏng động học vị trí cánh tay robot trong Matlab

3. THIẾT KẾ THI CÔNG BỘ ĐIỀU KHIỂN VÀ THI CÔNG MÔ HÌNH THỰC

3.1. Thiết kế bộ điều khiển

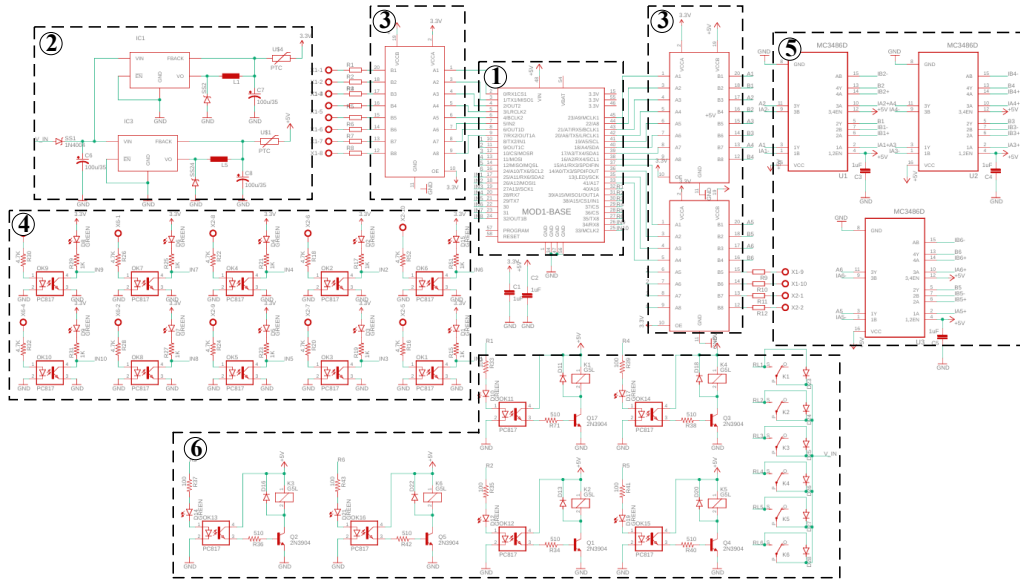
Mạch điều khiển trung tâm được thiết kế trên phần mềm Eagle, sơ đồ nguyên lý được trình bày như trong Hình 5, bao gồm các khối chức năng sau:

□ Vi điều khiển trung tâm: sử dụng chip ARM Cortex-M7 giá thành rẻ nhưng có tốc độ xử lý ấn tượng lên đến 600 MHz, với các thông số chính được liệt kê như sau:

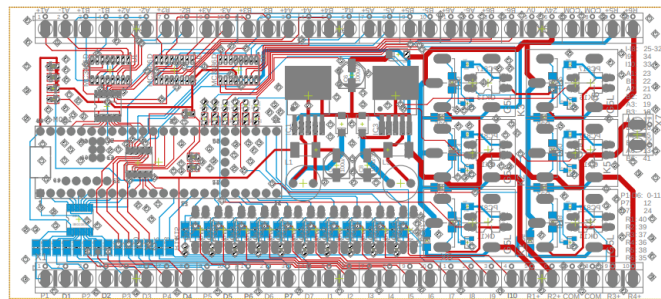
- + 7936K Flash, 1024K RAM, 4K EEPROM
- + 55 chân I/O digital
- + 35 kênh phát xung tốc độ cao
- + 18 kênh ADC
- + 8 cổng giao tiếp serial
- + Khả năng giao tiếp Ethernet 10/100 Mbit với DP83825 PHY

Thiết kế bộ điều khiển cho robot Scara công nghiệp 4-bậc

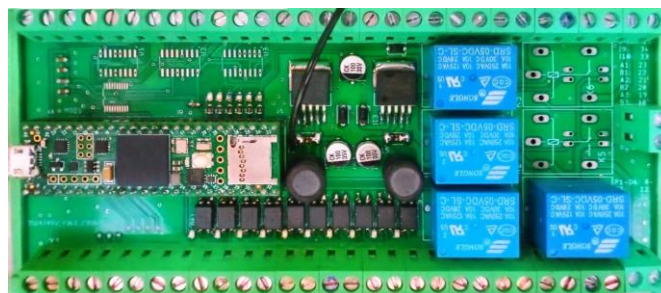
- Nguồn: được thiết kế với điện áp đầu vào 24 V, điện áp ngõ ra 24 V, 5 V, và 3,3 V sử dụng IC ổn áp chuyên dụng LM2576. Mạch được bảo vệ ngắn mạch bởi cầu chì bán dẫn.
- IC chuyển mức logic TXS0108E để chuyển đổi mức logic giữa vi điều khiển với các thiết bị ngoại vi.
- Tất cả tín hiệu đầu vào/ra được cách ly an toàn qua opto.
- Tín hiệu encoder được chuyển đổi qua IC MC3486D.
- Các thiết bị ngoại vi: cuộn hút, thắng từ được điều khiển đóng/cắt qua tiếp điểm Relay trung gian.



Hình 5. Sơ đồ nguyên lý mạch điều khiển trung tâm của robot



a) Bản thiết kế mạch in



b) Sau khi thi công hoàn thiện

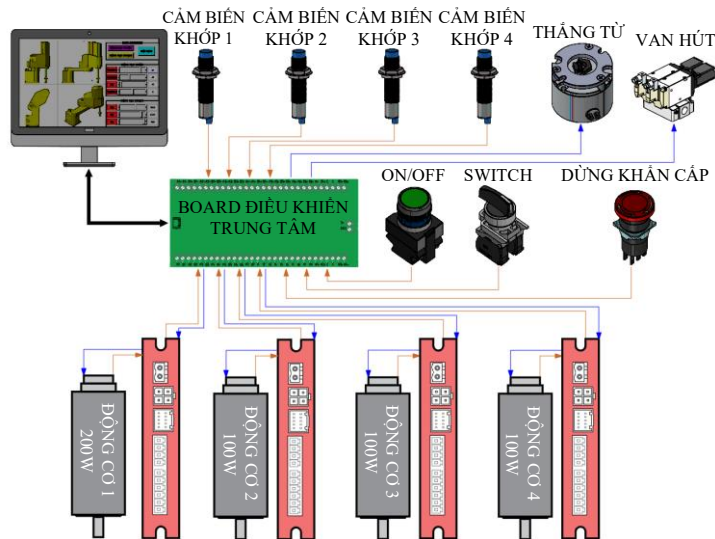
Hình 6. Mạch điều khiển trung tâm cho robot

Bản thiết kế với cách bố trí linh kiện và đi dây được trình bày như trong Hình 6a, mạch sau khi thi công hàn linh kiện được thể hiện ở Hình 6b. Mạch điều khiển thiết kế có những chức năng chính như sau:

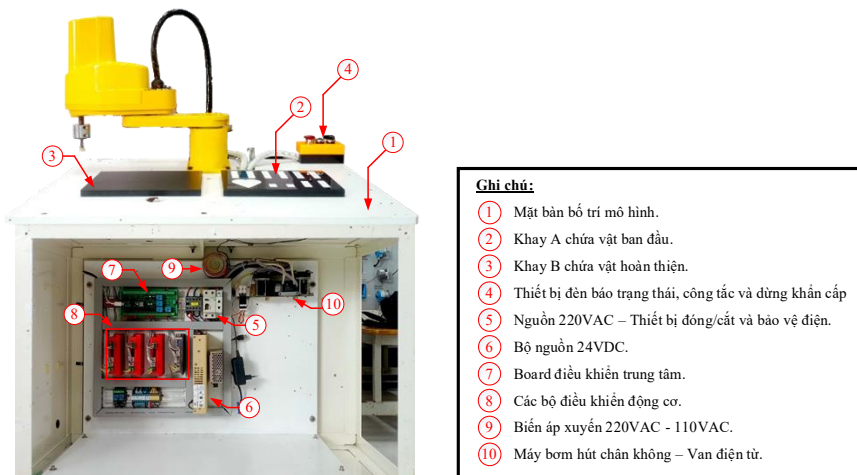
- + Điện áp đầu vào: 24 VDC; điện áp ra cấp cho các thiết bị ngoại vi: 3,3 VDC, 5 VDC, và 24 VDC.
- + 10 ngõ vào cách ly qua opto
- + 6 ngõ ra relay, cách ly qua opto
- + 12 kênh PWM ngõ ra tốc độ cao
- + 6 kênh encoder đầu vào, mỗi kênh gồm tín hiệu 4 tín hiệu A-, A+, B-, và B+

3.2. Lắp đặt và thi công mô hình thực

Trong bài báo này sử dụng mô hình cánh tay robot Scara 4 bậc của hãng Yamaha với các khớp được truyền động bởi động cơ có hồi tiếp tín hiệu encoder. Động cơ được điều khiển bởi 2 tín hiệu xung và chiều. Vị trí ban đầu của mỗi khớp được xác định bởi cảm biến tiệm cận. Khớp tịnh tiến có bộ phận hãm cứng bằng thắng từ 24 VDC. Cơ cấu chấp hành cuối gắn giác hút được điều khiển bởi hệ thống khí nén thông qua 2 van điện từ 24 VDC. Sơ đồ đầu nối thiết bị được thể hiện như trong Hình 7. Mô hình robot Scara sau khi thi công hoàn thiện như trong Hình 8.



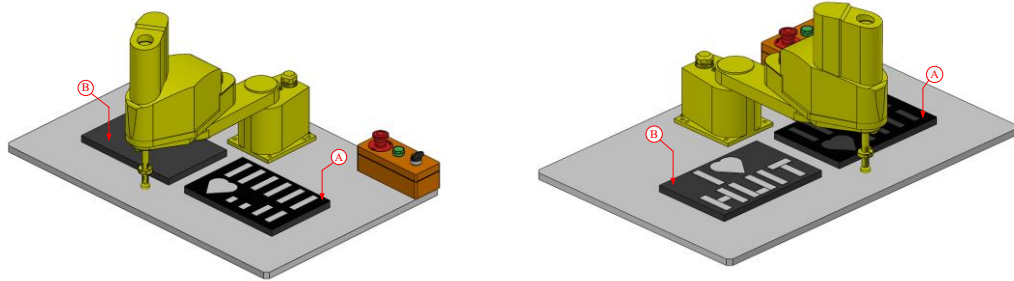
Hình 7. Sơ đồ liên kết các thiết bị ngoại vi với mạch điều khiển



Hình 8. Mô hình thực nghiệm robot Scara hoàn thiện

4. KẾT QUẢ THỰC NGHIỆM

Các vật mẫu được sắp xếp trên khay A, như trong Hình 9a. Nhiệm vụ của robot tiến hành gấp các vật mẫu này di chuyển chúng đến vị trí khay B theo quy tắc xếp thành chữ “I ♥ HUIT”, như trong Hình 9b. Tọa độ của các vật được xác định dựa trên cách bố trí, ví dụ vật mẫu số 1 ở khay A có tọa độ $X = 238,3$, $Y = 294,92$. Để robot tới được vị trí này, thông qua tính toán động học nghịch, robot sẽ thực hiện quay các khớp với $\theta_1 = 34,76$; $\theta_2 = 37,45$, như trong Hình 10. Tương tự, vị trí của các vật mẫu còn lại được liệt kê như trong Bảng 2. Lưu đồ thực hiện nhiệm vụ robot được thể hiện như trong Hình 11.

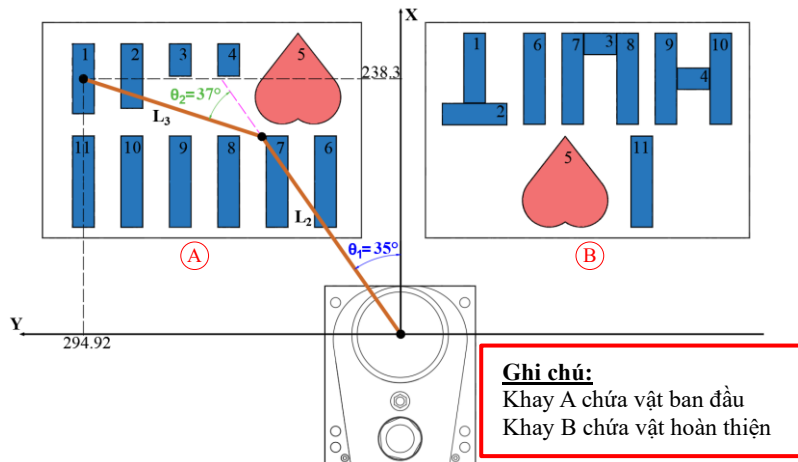


a) Trước khi chạy chương trình

b) Sau khi chạy xong chương trình

Ghi chú: Khay A chứa vật ban đầu; Khay B chứa vật hoàn thiện

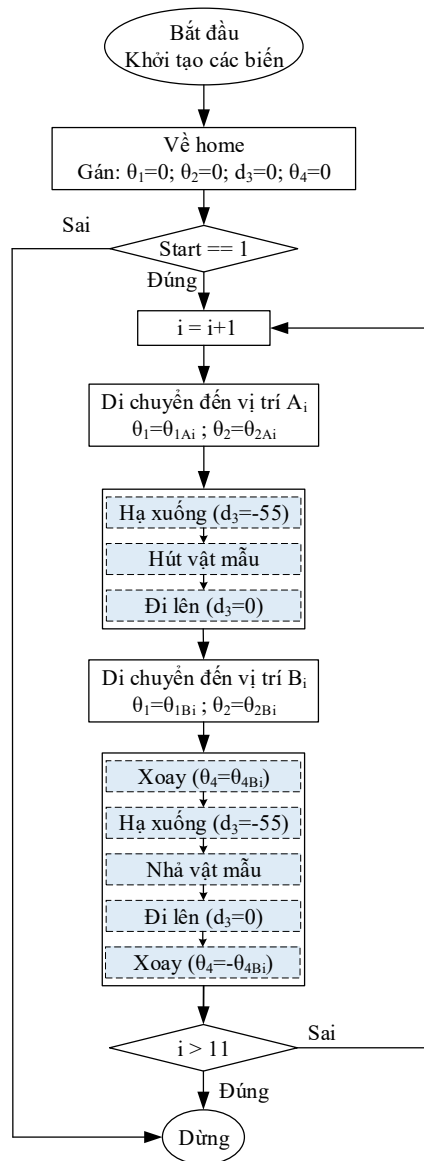
Hình 9. Nhiệm vụ thực hiện của robot



Ghi chú:
Khay A chứa vật ban đầu
Khay B chứa vật hoàn thiện

Hình 10. Vị trí của các vật mẫu

Trong quá trình thực hiện nhiệm vụ sắp xếp các vật mẫu, robot di chuyển với tốc độ nhanh, đi đến đúng các vị trí yêu cầu, cơ cấu hút nhanh và giữ vật chắc chắn trong suốt quá trình di chuyển. Thời gian robot hoàn thiện gấp và di chuyển 11 vật là khoảng 120 giây. Kết quả sau khi robot thực hiện xong chương trình được trình bày như trong Hình 12a, video chạy mô hình được thể hiện ở link bằng mã QR như Hình 12b. Thực nghiệm tương tự cũng được thực hiện nhưng với nhiệm vụ ngược lại, các vật mẫu đang ở vị trí “I ♥ HUIT” ở khay B được sắp xếp trở lại khay A như ban đầu. Kết quả thực hiện cho thấy robot gấp và sắp xếp các vật mẫu vào đúng các vị trí ban đầu.



Ghi chú: Giá trị biến khớp được tra trong Bảng 2

Hình 11. Lưu đồ tổng quát hoạt động của hệ thống



a) Robot hoàn thành nhiệm vụ xếp chữ “I ♥ HUIT”



b) video Link xem robot hoạt động bằng mã QR

Hình 12. Kết quả thực nghiệm của robot

Bảng 2. Các giá trị vị trí và tọa độ góc của các vật

STT	Khay A				Khay B				
	Tọa độ		Động học nghịch		Tọa độ		Động học nghịch		
	X_A	Y_A	θ_{1A}	θ_{2A}	X_B	Y_B	θ_{1B}	θ_{2B}	θ_{4B}
1	238,3	294,92	34,76	37,45	248,3	-68,68	-57,3	100,89	0
2	240,75	249,92	20,13	60,17	205,3	-68,68	-65,15	115,89	90
3	255,75	204,92	8,46	70,61	270,8	-185,43	-64,55	70,36	90
4	255,75	159,92	-3,13	82,9	238,3	-272,03	-70,88	51,02	90
5	228,83	95,47	-20,45	104,54	132,61	-152,93	-97,05	120,76	180
6	142,3	69,92	-24,59	135,44	238,3	-124,28	-67,85	96,58	0
7	142,3	114,92	-10,58	127,37	238,3	-159,88	-71,43	89,2	0
8	142,3	159,92	1,44	116,73	238,3	-210,88	-73,64	75,28	0
9	142,3	204,92	12,32	103,97	238,3	-246,48	-72,9	62,56	0
10	142,3	249,92	22,87	88,94	238,3	-297,48	-66,81	35,6	0
11	142,3	294,92	33,94	70,74	142,3	-224,08	-98,35	97,87	0

Các thực nghiệm được tiến hành ở nhiều lần khác nhau trong thời gian dài cũng cho kết quả tương tự: robot di chuyển nhanh, gấp và thả vật đến đúng các vị trí yêu cầu. Điều này cho thấy mạch điều khiển trung tâm đã đáp ứng được yêu cầu về điều khiển robot, mạch vận hành tốt, đáng tin cậy.

5. KẾT LUẬN

Bài báo này trình bày thiết kế mạch trung tâm điều khiển cho robot Scara 4-bậc trong công nghiệp. Mô hình toán của robot đã được trình bày ở dạng phương trình động học thuận và động học nghịch. Mô phỏng chuyên động robot được thực hiện bởi Matlab Simulink với mô hình robot vẽ trên SolidWorks đã chứng minh được tính đúng đắn của phương trình động học đã đưa ra. Kết quả thực nghiệm trên mô hình robot Scara 4-bậc trong công nghiệp với mạch điều khiển do chính nhóm tác giả thiết kế cũng cho kết quả vận hành tốt: robot di chuyển nhanh, chính xác, vận hành tin cậy. Ngoài ra, mạch điều khiển trung tâm còn có thể sử dụng cho các dòng robot 5-bậc, hoặc 6-bậc khác. Mô hình này đang được khoa CN Điện – Điện tử trường Đại học Công Thương TP. HCM sử dụng làm mô hình giảng dạy cho sinh viên trong học phần kỹ thuật Robot.

Lời cảm ơn: Nghiên cứu này do Trường Đại học Công Thương TP. Hồ Chí Minh bảo trợ và cấp kinh phí theo Hợp đồng số 79/HĐ-DCT ngày 15 tháng 08 năm 2023.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] M. Vukobratović and D. Stokić, “Application of robots in assembly automation,” *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, vol. 4, no. 1–2, pp. 175–180, 1988, doi: [https://doi.org/10.1016/0736-5845\(88\)90074-9](https://doi.org/10.1016/0736-5845(88)90074-9)
- [2] B. M. Tehrani, S. BuHamdan, and A. Alwisy, “Robotics in assembly-based industrialized construction: A narrative review and a look forward,” *International Journal of Intelligent Robotics and Applications*, vol. 7, no. 3, pp. 556–574, 2023, doi: <https://doi.org/10.1007/s41315-022-00257-9>.
- [3] M. Shariateh, A. Akbarzadeh, A. Mousavi, and S. Alimardani, “Design of an economical SCARA robot for industrial applications,” in *Proc. 2014 2nd RSI/ISM Int. Conf. Robotics and Mechatronics (ICRoM)*, Tehran, Iran, Oct. 15–17, 2014, pp. 534–539, doi: <https://doi.org/10.1109/ICRoM.2014.6990957>
- [4] J. Trevelyan, S.-C. Kang, and W. R. Hamel, “Robotics in hazardous applications,” in *Springer Handbook of Robotics*, 2nd ed., B. Siciliano and O. Khatib, Eds. 2016, pp. 1521–1548, doi: https://doi.org/10.1007/978-3-319-32552-1_58
- [5] R. Gihleb, O. Giuntella, L. Stella, and T. Wang, “Industrial robots, workers’ safety, and health,” *Labour Economics*, vol. 78, Art. no. 102205, Oct. 2022, doi: <https://doi.org/10.1016/j.labeco.2022.102205>.

- [6] D. Silvera-Tawil, “Robotics in healthcare: A survey,” *SN Computer Science*, vol. 5, no. 1, Art. no. 189, Jan. 2024, doi: <https://doi.org/10.1007/s42979-023-02551-0>.
- [7] V. Verma, A. Gupta, M. K. Gupta, and P. Chauhan, “Performance estimation of computed torque control for surgical robot application,” *Journal of Mechanical Engineering and Sciences*, vol. 14, no. 3, pp. 7017–7028, 2020, doi: <https://doi.org/10.15282/jmes.14.3.2020.04.0549>.
- [8] W. S. Barbosa, M. M. Gioia, V. G. Natividade, R. F. F. Wanderley, M. R. Chaves, F. C. Gouvea, and F. M. Gonçalves, “Industry 4.0: Examples of the use of the robotic arm for digital manufacturing processes,” *International Journal on Interactive Design and Manufacturing (IJIDeM)*, vol. 14, pp. 1569–1575, 2020, doi: <https://doi.org/10.1007/s12008-020-00714-4>.
- [9] Trường Đại học Quốc tế - International University, “Công ty TNHH ABB Việt Nam tặng trạm robot trị giá 8 tỷ cho Trường ĐH Quốc tế,” <https://hcmiu.edu.vn/cong-ty-tnhh-abb-viet-nam-tang-tram-robot-tri-gia-8-ty-cho-truong-dh-quoc-te/>.
- [10] Yaskawa Electric Vietnam, “Công Ty TNHH Yaskawa Electric Việt Nam tài trợ phòng thí nghiệm công nghệ cao cho Trường Đại học Sư Phạm Kỹ Thuật TP HCM (HCMUTE),” truy cập tại: <https://yaskawavn.com/tin-tuc/cong-ty-tnhh-yaskawa-electric-viet-nam-tai-tro-phong-thi-nghiem-cong-nghe-cao-cho-truong-dai-hoc-su-pham-ky-thuat-tp-hcm-hcmute-237.html>.
- [11] R. R. Serrezuela, A. F. C. Chavarro, M. A. T. Cardozo, A. L. Toquica, and L. F. O. Martinez, “Kinematic modelling of a robotic arm manipulator using MATLAB,” *ARP Journal of Engineering and Applied Sciences*, vol. 12, no. 7, pp. 2037–2045, Apr. 2017.
- [12] D. Mencia, M. Ramos, F. Nuñez, and J. L. Ordoñez-Avila, “Cinematic design and force analysis of a SCARA robot with pneumatic actuators,” in *Proc. 21st LACCEI Int. Multi-Conf. Eng., Educ. Technol. (LACCEI)*, Buenos Aires, Argentina, 2023, paper no. 1279, doi: <https://doi.org/10.18687/LACCEI2023.1.1.127921>.
- [13] J. Fang and W. Li, “Four degrees of freedom SCARA robot kinematics modeling and simulation analysis,” *International Journal of Computer, Consumer and Control*, vol. 2, no. 4, pp. 20–27, 2013.
- [14] H. X. Nguyen, H. C. Nguyen, N. A. Mai, H. T. Nguyen, D. X. Tran, L. B. Dang, H. M. Pham, and L. N. Dinh, “Performance evaluation of an inverse kinematic based control system of a humanoid robot arm using MS Kinect,” in *Proc. 2017 IEEE Int. Conf. Robotics and Biomimetics (ROBIO)*, Macau, China, Dec. 5–8, 2017, pp. 469–474.

ABSTRACT

DESIGN OF A CONTROLLER FOR A 4-DOF INDUSTRIAL SCARA ROBOT

Le Thanh Tới*, Tran Anh Kiet, Doan Xuan Nam
Ho Chi Minh City University of Industry and Trade

*Email: toilt@huit.edu.vn

This paper presents the design and implementation of a controller for a 4-degree-of-freedom (4-DOF) industrial SCARA robot. The proposed controller was implemented and experimentally evaluated on a 4-DOF SCARA robot model. First, the robot’s motion was formulated using forward and inverse kinematics. A simulation model was then developed in SolidWorks and Matlab to verify the kinematic model. Next, the central control circuit was designed in Eagle, while the control software and user interface were developed in the C programming language to perform the required robot operations. Finally, experiments were conducted on the physical robot model to carry out pick-and-place tasks at predefined coordinates. The results show that the robot operates stably, accurately, and at high speed in pick-and-place applications. In addition, the proposed controller can be extended to support up to six axes, thereby broadening its applicability to other robot configurations. Owing to its low implementation cost compared with proprietary commercial controllers, the proposed system is well suited for teaching, learning, and research in robot control.

Keywords: Scara robot, Denavit-Hartenberg parameters, industrial robot, Simscape Multibody Link.