

THIẾT KẾ CHẾ TẠO SCARA PARALLEL ROBOT PHÂN LOẠI SẢN PHẨM DỰA TRÊN XỬ LÝ ẢNH

Đường Khánh Sơn, Nguyễn Quốc Anh, Lê Vĩ Khang,
Nguyễn Duy Khoa và Nguyễn Hải Âu

Trường Đại học Kỹ thuật - Công nghệ Cần Thơ
Email: dkson@ctu.edu.vn

Thông tin chung:

Ngày nhận bài: 14.01.2024

Ngày nhận bài sửa: 19.02.2024

Ngày duyệt đăng: 20.02.2024

Từ khóa:

Phân loại sản phẩm, Robot song song, xử lý ảnh.

TÓM TẮT

Bài báo trình bày phương pháp thiết kế và xây dựng mô hình “Scara parallel robot phân loại sản phẩm dựa trên công nghệ xử lý ảnh”, mục tiêu tạo ra một hệ thống tự động phân loại sản phẩm dựa trên màu sắc và hình dáng một cách chính xác và hiệu quả. Scara parallel robot, với cấu trúc đặc biệt gồm hai cánh tay song song giúp nó thực hiện các chuyển động phức tạp trên mặt phẳng ngang với độ linh hoạt và chính xác cao. Các thuật toán xử lý ảnh được sử dụng để xác định chính xác tọa độ tâm sản phẩm và các thông số liên quan từ đó xuất tín hiệu điều khiển Robot để tự động di chuyển và gắp sản phẩm, đặt chúng vào vị trí thích hợp. Kết quả thử nghiệm cho thấy mô hình hoạt động với độ chính xác 96%, mang lại sự cải thiện đáng kể về hiệu suất và hiệu quả trong quá trình sản xuất.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Trong thời đại của Cách mạng Công nghiệp 4.0, việc sử dụng tự động hoá và Robot để tăng năng suất sản xuất đã trở thành một xu hướng tất yếu. Ở những nước phát triển, các công ty đã áp dụng hệ thống dây chuyền sản xuất tự động sử dụng Robot để thay thế con người trong việc thực hiện các công việc từ đơn giản đến phức tạp, đảm bảo tốc độ và độ chính xác tối ưu, từ đó tạo ra sản phẩm chất lượng cao. Đặc biệt trong các dây chuyền phân loại và lắp ráp sản phẩm việc áp dụng các loại Robot với cấu hình gọn nhẹ và linh hoạt giúp giảm giá thành và tăng năng suất.

Theo Frank L. Lewis (2004) Scara parallel robot là một loại robot song song đặc biệt, được thiết kế với hai cánh tay hoạt động song song thay vì xoay theo nhau như robot Scara

truyền thống. Mặc dù có cấu trúc động học phức tạp, khó thiết kế và điều khiển, nhưng nó cung cấp tốc độ và độ chính xác cao, đặc biệt là trong quá trình lặp lại công việc. Robot Scara cũng có khả năng mang tải trọng lớn và linh hoạt cho phép tích hợp vào nhiều môi trường công nghiệp khác nhau. Với các ưu điểm nổi bật này, đề tài tập trung nghiên cứu “Thiết kế và chế tạo Scara parallel robot phân loại sản phẩm dựa trên xử lý ảnh” mục tiêu là thay thế sức lao động con người, giảm chi phí sản xuất và tăng năng suất.

Mô hình Scara parallel robot của sinh viên Đào (2021) chế tạo có khả năng chịu tải cao và dễ dàng ứng dụng được trong nhiều lĩnh vực khác nhau. Tuy nhiên vùng làm việc thực tế của Robot còn nhỏ, thiết kế đơn giản, chưa ổn định, chưa thực nghiệm trên mô hình thực tế.

Mô hình Scara parallel robot của Thịnh (2020) đã thành công trong việc thiết kế mô hình nhỏ gọn và chắc chắn, tuy nhiên chưa có khâu chấp hành cuối để gắp vật. Nhìn chung mỗi mô hình chỉ đi sâu vào một tính năng nhất định và chưa ứng dụng được vào thực tế. Vì vậy bài báo này tập trung chế tạo mô hình Scara parallel robot có chức năng phân loại sản phẩm dựa trên tín hiệu xử lý ảnh từ bộ điều khiển thông qua dữ liệu hình ảnh sản phẩm thu nhận từ camera, tất cả quá trình điều khiển được giám sát và vận hành thông qua giao diện người dùng trên máy tính.

2. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

2.1. Phân tích động học Robot

2.1.1. Phương trình động học thuận

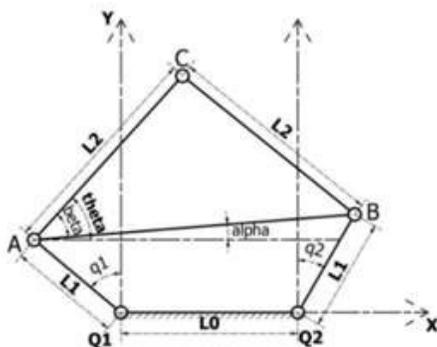
Bài toán động học thuận được xây dựng theo S.Yanli và cộng sự (2018) nhằm đưa ra vị trí của điểm C khi đã biết các thông số khớp của Q1 và Q2 (Hình 1).

Đặt tâm hệ tọa độ OXY trùng với Q1, ta có 2 khâu L1 là 2 khâu trong của robot. Trong đó:

Góc q_1 và q_2 là góc hợp bởi trục Y, lệch khỏi trục Y tức khâu L1 đang lệch khỏi vị trí cân bằng.

Góc α là góc lệch giữa vị trí A và B, góc β là góc hợp bởi khâu 2A và cạnh AB trong tam giác ABC.

Với L_0 là khoảng cách giữa 2 trục động cơ, L_1 là chiều dài 2 khâu trong robot, và L_2 là chiều dài 2 khâu ngoài robot.



Hình 1. Động học thuận

Nguồn: Công bố của tác giả, (2023).

$$L_0=160 \text{ (mm)}$$

$$L_1=150 \text{ (mm)}$$

$$L_2=250 \text{ (mm)}$$

Tìm tọa độ của điểm A:

$$X_A = -L_1 * \sin q_1 \quad (1)$$

$$Y_A = L_1 * \cos q_1 \quad (2)$$

Tìm tọa độ của điểm B:

$$X_B = L_1 * \sin q_2 + L_0 \quad (3)$$

$$Y_B = L_1 * \cos q_2 \quad (4)$$

Chiều dài của đoạn AB:

$$AB = \sqrt{(Y_B - Y_A)^2 + (X_B - X_A)^2} \quad (5)$$

Góc α :

$$\alpha = \text{atan2}((Y_B - Y_A), (X_B - X_A)) \quad (6)$$

Góc β

$$\cos \beta = \frac{AB}{2 * L_2} \quad (7)$$

$$\sin \beta = \sqrt{1^2 - (\cos \beta)^2} \quad (8)$$

$$\beta = \text{atan2}\left(\sqrt{1^2 - \left(\frac{AB}{2 * L_2}\right)^2}, \frac{AB}{2 * L_2}\right) \quad (9)$$

Vị trí tọa độ điểm C cần tìm, do để mở rộng phạm vi hoạt động của robot nên có hai trường hợp xảy ra để tính tọa độ điểm C:

Khi vùng hoạt động khi Y_c là dương thì công thức là:

$$X_c = X_A + L_2 * \cos(\alpha + \beta) \quad (10)$$

$$Y_c = Y_A + L_2 * \sin(\alpha + \beta) \quad (11)$$

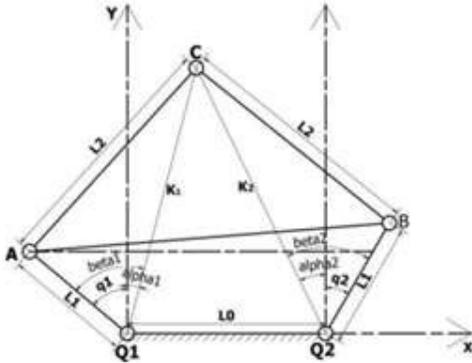
Và trường hợp khi Y_c là âm thì công thức là:

$$X_c = X_A + L_2 * \cos(\alpha - \beta) \quad (12)$$

$$Y_c = Y_A + L_2 * \sin(\alpha - \beta) \quad (13)$$

2.1.2. Phương trình động học nghịch

Ngược lại với bài toán động học thuận, bài toán động học nghịch là bài toán mô tả vị trí các biến của thông số khớp khi biết tọa độ vật. Các kí hiệu và thông số đặt của bài toán động học nghịch tương tự bài toán động học thuận.



Hình 2. Động học nghịch

Nguồn: Công bố của tác giả, (2023).

Gọi đường chéo từ điểm C đến Q1 và Q2 lần lượt là K1 và K2. Hai đường chéo tạo thành 2 cạnh huyền của 2 tam giác CxQ1C và CxQ2C biểu thị mối liên hệ mật thiết giữa điểm C đến Q1 và Q2.

Chiều dài đường chéo.

$$K_1 = \sqrt{C_x^2 + C_y^2} \quad (14)$$

Góc α_1 :

$$\alpha_1 = 90 - (\text{atan2}(C_y, C_x)) \quad (15)$$

Áp dụng định lý Cosin trong tam giác Q1CB

$$\cos \beta_1 = \frac{\sqrt{(L_1^2 + K_1^2 - (L_2^2))}}{(2 * L_2 * K_1)} \quad (16)$$

$$\sin \beta_1 = \sqrt{1^2 - \left(\frac{(L_1^2 + K_1^2 - (L_2^2))}{(2 * L_2 * K_1)}\right)^2} \quad (17)$$

$$\beta_1 = \text{atan2}(\sin \beta_1, \cos \beta_1) \quad (18)$$

Góc lệch của Q1

Nếu C_y lớn hơn 0 thì công thức là:

$$q_1 = \beta_1 - \alpha_1 \quad (19)$$

Khi C_y nhỏ hơn 0 thì công thức là:

$$K_2 = \sqrt{(L_0 - C_x)^2 + (C_y)^2} \quad (20)$$

Góc α_2 :

$$\alpha_2 = \text{atan2}((L_0 - C_x), C_x) \quad (21)$$

Áp dụng định lý Cosin trong tam giác Q1CB:

$$\cos \beta_2 = \frac{\sqrt{(L_1^2 + K_2^2 - (L_2^2))}}{(2 * L_1 * K_2)} \quad (22)$$

$$\sin \beta_2 = \sqrt{1^2 - \left(\frac{(L_1^2 + K_2^2 - (L_2^2))}{(2 * L_1 * K_2)}\right)^2} \quad (23)$$

Nếu C_y lớn hơn 0 thì công thức là:

$$q_2 = \beta_2 - \alpha_2 \quad (24)$$

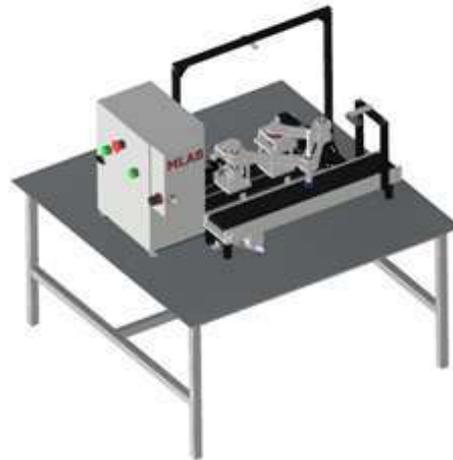
Khi C_y nhỏ hơn 0 thì công thức là:

$$q_2 = 360 - (\beta_2 - \alpha_2) \quad (25)$$

$$\beta_2 = \text{atan2}(\sin \beta_2, \cos \beta_2) \quad (26)$$

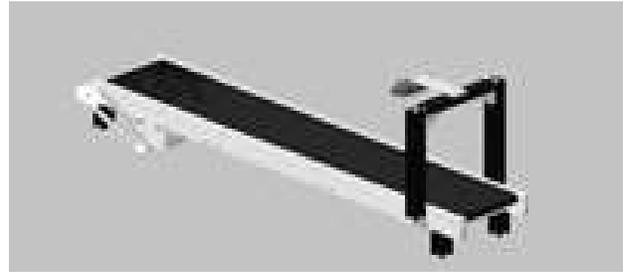
2.2. Thiết kế và chế tạo mô hình

Mô hình Scara parallel robot dựa trên công nghệ xử lý ảnh được xây dựng như hình 3 và 4 với các thành phần chính bao gồm: 1 Scara parallel robot, 1 tủ điện điều khiển, 1 máy tính xử lý dữ liệu, 1 camera, 1 băng tải.



Hình 3. Mô hình Scara parallel robot phân loại sản phẩm

Nguồn: Công bố của tác giả, (2023).

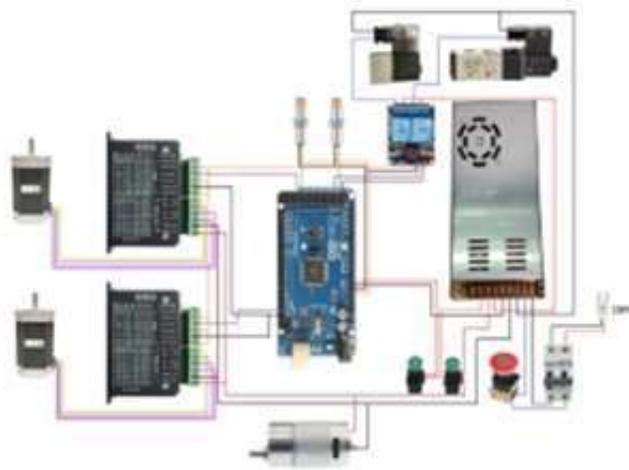
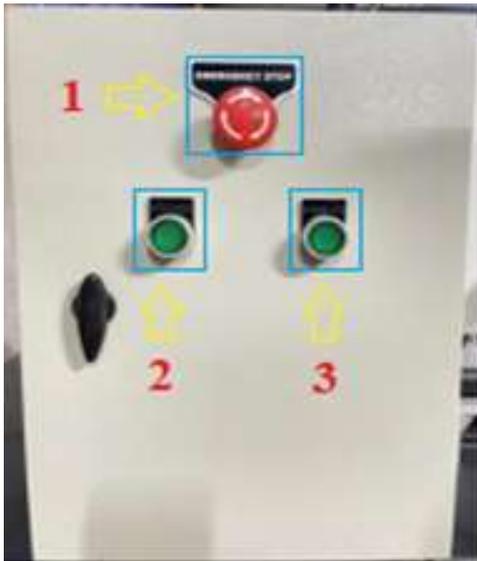


Hình 4. Cụm tay máy và băng tải

Nguồn: Công bố của tác giả, (2023).

Hệ thống điện điều khiển Robot được thiết kế và lắp đặt trong tủ điện để bảo vệ các linh kiện điện tử khỏi các tác nhân bên

ngoài như nước, bụi,... cũng như tăng tính an toàn và thẩm mỹ cho hệ thống như trên Hình 5.



Hình 5. Tủ điện và sơ đồ mạch điện

Nguồn: Công bố của tác giả, (2023).

Nguyên lý hoạt động:

Khối nguồn có chức năng cung cấp nguồn điện cho hoạt động của toàn bộ hệ thống, vi điều khiển có nhiệm vụ nhận dữ liệu từ máy

tính sau đó tiến hành điều khiển các động cơ và các relay để robot hoạt động theo yêu cầu. Để khâu chấp hành cuối có thể gắp được vật thì đề tài sử dụng 1 xy lanh và giác hút chân không được đấu nối như Hình 6.



Hình 6. Sơ đồ khí nén dầu hút chân không

Nguồn: Công bố của tác giả, (2023).

Hệ thống khí nén gồm các linh kiện chính là: van điều áp, van điện từ khí nén 2/2, van điện từ khí nén 5/2, van hút chân không, xi lanh khí nén và giác hút.

Nguyên lý hoạt động tổng quan của hệ thống: Camera thu nhận dữ liệu hình ảnh của vật di chuyển trên băng tải, sau đó truyền thông tin đến phần mềm trên máy tính để phân tích hình dạng, màu sắc của vật và xác định tọa độ của nó. Sau cùng, dữ liệu về số lượng được cập nhật lên Google Sheet, và thông tin tọa độ của vật được chuyển xuống khối điều khiển để điều chỉnh cánh tay robot, đặt vật vào vị trí mong muốn.

Hệ thống có 3 chế độ hoạt động chính:

- Chế độ tự động có kiểu phân loại: phân loại màu sắc và phân loại hình dạng. Người dùng sẽ tùy chọn chương trình robot sẽ tự

động thực hiện các lệnh theo chương trình đã được thiết lập sẵn.

- Chế độ thủ công: Người dùng có thể điều khiển trực tiếp các cơ cấu chấp hành bằng các phím trên giao diện điều khiển. Khi người dùng điều khiển chọn chế độ Manual hệ thống sẽ ưu tiên chế độ Manual và tạm dừng chế độ Auto.

- Chế độ bán tự động: Trong chế độ này, người dùng nhập thông tin về tọa độ gấp và thả vật trực tiếp vào các vị trí tương ứng trên giao diện. Sau đó, robot tự động thực hiện quá trình gấp và thả vật theo các tọa độ đã được đặt trước.

3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

3.1 Kết quả

Hình 7 trình bày robot, tủ điện và tủ khí nén sau khi lắp ráp hoàn chỉnh.



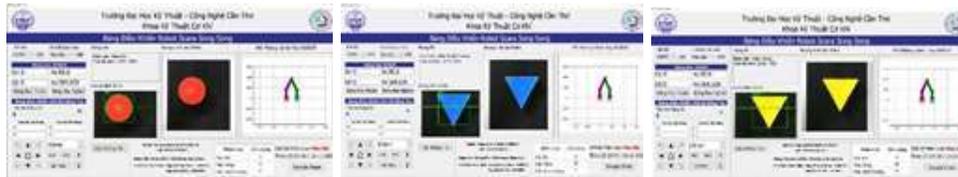
Hình 7. Robot, tủ điện và tủ khí nén sau khi lắp ráp hoàn chỉnh

Nguồn: Công bố của tác giả, (2023).

Phân loại theo màu sắc

Để hệ thống phân loại được màu sắc, hình ảnh thu nhận từ camera sẽ được chuyển đổi từ ảnh RGB về không gian màu HSV, sau đó nhóm tác giả tạo các mask dựa trên khoảng màu để tách vật thể theo màu sắc được xác định ngưỡng trong không gian màu HSV, giải thuật đơn giản này giúp xác định chính xác

màu của vật thể, từ đó gửi dữ liệu cho mạch điều khiển cánh tay Robot. Tiến hành chạy thực nghiệm để phân loại sản phẩm theo màu sắc để lấy các thông tin về màu sắc, tọa độ của vật để hiển thị thông tin lên giao diện cũng như cập nhật số lượng gửi lên google sheet. Kết quả nhận dạng loại sản phẩm theo màu sắc được trình bày ở Hình 8.



Hình 8. Kết quả nhận diện màu sắc trên giao diện điều khiển

Nguồn: Công bố của tác giả, (2023).

Sau 90 lần thử nghiệm cho các phiê ngẫu nhiên trên băng tải, robot phân loại theo màu sắc cho ra kết quả tương đối cao, hệ thống

hoạt động ổn định, robot nhận dạng đúng màu sắc và thả sản phẩm vào đúng vị trí quy định. Kết quả thực nghiệm được trình trong Bảng 1.

Bảng 1. Kết quả thực nghiệm robot phân loại sản phẩm theo màu sắc

Sản phẩm	Màu đỏ	Màu xanh dương	Màu vàng
Kết quả	29/30	29/30	27/30
Độ chính xác	97%	97%	90%

Nguồn: Công bố của tác giả, (2023).

Phân loại theo hình dạng:

Để nhận dạng được hình dáng sản phẩm nhóm tác giả sử dụng giải thuật tìm đường viền vật thể trong thư viện openCV, sau khi phát hiện đường viền thì tiến hành xác định

hình dạng dựa vào số lượng đỉnh của đường viền (tam giác: 3, hình vuông: 4, hình tròn: nhiều hơn 4).

Kết quả phân loại sản phẩm theo hình dạng được trình bày như ở Hình 9.



Hình 9. Kết quả nhận diện hình dáng trên giao diện điều khiển

Nguồn: Công bố của tác giả, (2023).

Tiến hành chạy thử nghiệm mô hình, với 90 lần cấp phôi ngẫu nhiên, mô hình hoạt động cho kết quả tương đối tốt, khá ổn định. Tuy nhiên, vẫn còn nhiều lần bị lỗi bỏ qua

sản phẩm hay robot không nhận dạng được đúng loại sản phẩm do nhiễu ánh sáng. Kết quả sau 90 lần thực nghiệm được trình bày trong Bảng 2.

Bảng 2. Kết quả thực nghiệm robot phân loại sản phẩm theo hình dạng

Sản phẩm	Hình tròn	Hình vuông	Hình tam giác
Kết quả	29/30	28/30	28/30
Độ chính xác	97 %	93 %	93 %

Nguồn: Tác giả đề xuất, (2023).

3.2. Thảo luận

Mô hình được chế tạo hoàn chỉnh và thực nghiệm với tỉ lệ chính xác trung bình đạt 96% đối với nhận dạng và phân loại theo màu sắc. Thực nghiệm với phân loại hình dáng trung bình đạt 94%. Kết quả đạt yêu cầu đề ra, tuy nhiên còn lỗi robot bỏ qua sản phẩm là do ảnh hưởng của ánh sáng môi trường và tốc độ cấp phôi bằng tay chưa phù hợp. Vấn đề này nhóm tác giả sẽ áp dụng các phương pháp xử lý ảnh tốt hơn để cải thiện độ chính xác nhận dạng ở những nghiên cứu tiếp theo. Bên cạnh đó giao diện giám sát và điều khiển được nhóm lập trình giúp người sử dụng dễ dàng điều khiển và tra cứu lịch sử vận hành.

4. KẾT LUẬN

Nghiên cứu thiết kế chế tạo Scara parallel robot phân loại sản phẩm dựa trên xử lý ảnh đã xây dựng đầy đủ bao gồm Scara parallel robot có khâu chấp hành cuối để gắp sản phẩm, kết hợp thêm băng tải vận chuyển sản phẩm cho thấy hệ thống hoàn thiện và cải tiến nổi bật hơn mô hình Scara parallel robot của Thịnh (2020)

và các nghiên cứu tương tự trước đó. Hệ thống đảm bảo độ ổn định tương đối cao trong việc nhận dạng hình dáng và màu sắc. Thiết kế linh hoạt và quá trình lắp đặt đơn giản với máy tính để xử lý ảnh và thực hiện nhiệm vụ phân loại sản phẩm. Bên cạnh đó hệ thống có tính năng Manual và bán tự động giúp cho người dùng linh hoạt khi cần thực hiện các tác vụ rời rạc không theo lập trình sẵn, hoặc khi cần test kiểm hoạt động của hệ thống. Nghiên cứu này không chỉ là sự kết hợp chặt chẽ giữa động học robot, thiết kế cơ khí, lập trình nhúng, xử lý ảnh và thiết kế giao diện điều khiển trên máy tính, mà còn mang lại những kết quả thiết thực và ý nghĩa đối với lĩnh vực học tập và nghiên cứu khoa học. Kết quả nghiên cứu đã được chuyển giao ứng dụng cho các cơ sở sản xuất vừa và nhỏ giúp tăng năng suất sản xuất, giảm chi phí nhân công.

Tài liệu tham khảo

Đào, N. T. A. (2021), “Thiết kế, thi công và điều khiển mô hình FIVE – BAR PARALLEL ROBOT linh hoạt sử dụng trong nhiều nghiên cứu khác nhau”, luận văn đại học cơ điện tử, Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật Thành Phố Hồ Chí Minh.

Frank L. Lewis .(2004), “Robot manipulator control theory and practice”, Springer.

S.Yanli, L.Yanli, et al. (2018). “Forward and Inverse Kinematics for a Novel Double Scara Robot,” in 2nd International Symposium on Resource Exploration and

Environmental Science.

Thịnh, L.G.T. (2020), “Thiết kế chế tạo Scara parallel robot”, tiểu luận đại học, Trường Đại học Kỹ thuật - Công nghệ Cần Thơ.

DESIGN AND CONSTRUCTION OF A SCARA PARALLEL ROBOT FOR PRODUCT CLASSIFICATION BASED ON IMAGE PROCESSING TECHNOLOGY

ABSTRACT

This paper presents a method for designing and constructing a model of a "Scara parallel robot for product classification based on image processing technology", aiming to create an automated system for product sorting based on color and shape accurately and efficiently. The Scara parallel robot, with its unique structure consisting of two parallel arms, enables it to perform complex movements on a horizontal plane with high flexibility and accuracy. Image processing algorithms are employed to accurately determine the coordinates of the product center and relevant parameters, thereby generating control signals for the Robot to move and grasp the products, placing them in the appropriate positions. Experimental results show that the model operates with 96% accuracy, bringing significant improvements in efficiency and effectiveness to the production process.

Keywords: Five bar, Scara parallel robot, image processing.