

THIẾT KẾ VÀ LẮP ĐẶT MÔ HÌNH HỆ THỐNG LƯU KHO TỰ ĐỘNG PHỤC VỤ ĐÀO TẠO NGHỀ

DESIGN AND INSTALLATION OF AN AUTOMATED STORAGE SYSTEM MODEL FOR VOCATIONAL TRAINING

Nguyễn Văn Lập, Phạm Thị Huệ, Mai Quang Trường

ThS, Trường Cao đẳng Lào Cai

Tác giả liên hệ: lap@ylc.edu.vn

Received: 05/01/2026; Accepted: 15/01/2026; Published: 10/02/2026

Tóm tắt: Nghiên cứu này trình bày việc thiết kế và chế tạo hệ thống tự động kiểm tra và phân loại nhãn in trong dây chuyền đóng gói nhằm thay thế phương pháp kiểm tra thủ công còn hạn chế về tốc độ và độ chính xác. Hệ thống được xây dựng dựa trên công nghệ thị giác máy kết hợp với bộ điều khiển PLC và phần mềm LabVIEW để nhận dạng, đánh giá và phân loại sản phẩm theo trạng thái đạt hoặc không đạt. Kết quả thực nghiệm cho thấy hệ thống đạt độ chính xác nhận dạng trên 95%, tốc độ xử lý trung bình khoảng 40 sản phẩm mỗi phút và hoạt động ổn định trong điều kiện thực nghiệm. Mô hình có cấu trúc cơ khí gọn nhẹ, chi phí chế tạo thấp và có khả năng tích hợp vào các dây chuyền sản xuất tự động. Kết quả nghiên cứu góp phần nâng cao hiệu quả kiểm soát chất lượng sản phẩm và mở ra khả năng ứng dụng rộng rãi công nghệ thị giác máy trong các hệ thống đóng gói và phân loại sản phẩm.

Từ khóa: tự động hóa; thị giác máy; kiểm tra nhãn in; phân loại sản phẩm; dây chuyền đóng gói; thiết kế – chế tạo máy.

Abstract: This study presents the design and fabrication of an automated system for inspecting and sorting printed labels in a packaging line, aiming to replace manual inspection methods which are limited in speed and accuracy. The system is built using machine vision technology combined with a PLC controller and LabVIEW software to identify, evaluate, and classify products according to their pass or fail status. Experimental results show that the system achieves an identification accuracy of over 95%, an average processing speed of approximately 40 products per minute, and stable operation under experimental conditions. The model has a compact mechanical structure, low manufacturing cost, and the potential for integration into automated production lines. The research results contribute to improving product quality control efficiency and open up the possibility of widespread application of machine vision technology in product packaging and sorting systems.

Keywords: automation; machine vision; printed label inspection; product sorting; packaging line; machine design and fabrication.

1. Giới thiệu nghiên cứu

Sự phát triển nhanh chóng của nền kinh tế Việt Nam trong nhiều năm qua có sự đóng góp quan trọng của các ngành công nghiệp chế tạo và lắp ráp. Theo thống kê, hiện có khoảng 4,1 triệu lao động đang làm việc trong các doanh nghiệp có vốn đầu tư nước ngoài (FDI) và khu vực ngoài nhà nước. Tuy nhiên, chi phí nhân công đang có xu hướng gia tăng đáng kể; chỉ tính riêng giai đoạn từ năm 2010 đến 2016, mức lương tối thiểu trong các doanh nghiệp FDI đã tăng hơn 200%. Bên cạnh đó, việc thay đổi liên tục các quy định pháp luật và các văn bản dưới luật khiến chi phí quản lý và vận hành ngày càng tăng cao.

Song song với đó, môi trường cạnh tranh công nghiệp cũng trở nên gay gắt hơn khi nhiều doanh nghiệp mới từ các quốc gia như Ấn Độ, Trung Quốc, Brazil tham gia thị trường với lợi thế về công nghệ và giá thành. Trong bối cảnh này, yêu cầu cải tiến thiết bị, tự động hóa dây chuyền sản xuất nhằm nâng cao hiệu suất và giảm chi phí nhân công trở thành vấn đề cấp thiết được nhiều doanh nghiệp chú trọng.

Bên cạnh năng suất, yêu cầu về chất lượng sản phẩm và kiểm soát nhãn mác ngày càng khắt khe, đòi hỏi đo lường, kiểm tra và truy vết chính xác, minh bạch. Tuy nhiên, tại nhiều nhà máy, việc kiểm tra nhãn mã vạch vẫn thực hiện thủ công, dễ xảy ra sai sót. Các lỗi thường gặp gồm nhãn mờ, lệch, bay mực, sai mã hoặc thiếu nhãn, khiến sản phẩm lỗi khó được phát hiện kịp thời.

Việc chưa tự động hóa được khâu kiểm tra khiến khả năng phát hiện lỗi phụ thuộc hoàn toàn vào con người, trong khi các loại mã hàng hóa lại thay đổi liên tục theo từng đơn hàng. Hệ quả là một số sản phẩm không đạt tiêu chuẩn vẫn có thể lọt qua khâu kiểm tra và được xuất xưởng, gây ảnh hưởng nghiêm trọng đến uy tín thương hiệu, chất lượng sản phẩm, cũng như làm phát sinh chi phí đền bù và thu hồi hàng hóa cho doanh nghiệp.

Trước thực tế đó, nhiều giải pháp đã được nghiên cứu và ứng dụng, trong đó nổi bật là việc sử dụng robot Scara tích hợp hệ thống thị giác máy (machine vision) để kiểm tra và phân loại sản phẩm. Một số

mẫu robot tiêu biểu có thể kể đến như ADTECH, TOSHIBA THL400, YAMAHA YK400XG, EPSON LS3-401, cho phép xử lý hình ảnh nhanh và chính xác. Tuy nhiên, các hệ thống này có chi phí đầu tư rất cao, dao động từ 20.000 – 30.000 USD, dẫn đến việc ứng dụng đại trà trong các nhà máy sản xuất tại Việt Nam gặp nhiều hạn chế, đặc biệt là đối với các doanh nghiệp vừa và nhỏ.

Do đó, việc làm chủ công nghệ, nghiên cứu, thiết kế và chế tạo hệ thống máy tự động kiểm tra và phân loại nhãn in phù hợp với điều kiện sản xuất trong nước, vừa đảm bảo hiệu quả kỹ thuật, vừa giảm chi phí đầu tư, là yêu cầu cấp thiết đối với ngành công nghiệp Việt Nam hiện nay. Nghiên cứu này được thực hiện với mục tiêu phát triển một hệ thống máy tự động kiểm tra và phân loại nhãn in trong dây chuyền đóng gói, có khả năng hoạt động ổn định, chính xác, chi phí thấp, và dễ dàng tích hợp vào dây chuyền sản xuất hiện hữu.

2. Phương pháp nghiên cứu

Nghiên cứu được thực hiện thông qua sự kết hợp giữa phương pháp nghiên cứu lý thuyết, thiết kế mô phỏng và thực nghiệm nhằm xây dựng hệ thống kiểm tra và phân loại nhãn in tự động trong dây chuyền đóng gói.

Trước hết, nhóm nghiên cứu tiến hành thu thập và phân tích các tài liệu chuyên ngành liên quan đến thiết kế máy, điều khiển tự động, cảm biến và thị giác máy. Các nguyên lý về cơ cấu truyền động, hệ thống băng tải, Robocylinder, cảm biến quang và camera công nghiệp được nghiên cứu nhằm xác định cấu trúc phù hợp cho hệ thống.

Trên cơ sở lý thuyết, mô hình hệ thống được thiết kế và mô phỏng bằng các phần mềm chuyên dụng. Phần cơ khí của máy được xây dựng bằng SolidWorks để xác định cấu trúc khung, băng tải và cơ cấu truyền động. Phần điều khiển được mô phỏng trên PLC và LabVIEW nhằm xây dựng thuật toán điều khiển, thu nhận và xử lý hình ảnh phục vụ việc nhận dạng và phân loại nhãn in.

Sau giai đoạn thiết kế, mô hình thực nghiệm được chế tạo và lắp đặt, bao gồm khung cơ khí, băng tải, Robocylinder, hệ thống camera và bộ điều khiển PLC. Chương trình điều khiển được xây dựng để đồng bộ hóa quá trình nhận dạng hình ảnh và điều khiển cơ cấu phân loại sản phẩm.

Cuối cùng, hệ thống được thử nghiệm và đánh giá thông qua các tiêu chí kỹ thuật như tốc độ xử lý, độ chính xác nhận dạng và độ ổn định vận hành. Các kết quả thực nghiệm được phân tích để kiểm chứng hiệu quả của mô hình và làm cơ sở cho việc hoàn thiện hệ thống.

3. Kết quả nghiên cứu

3.1. Kết quả về thiết kế và chế tạo mô hình

Sau quá trình nghiên cứu, tính toán và lựa chọn giải pháp, hệ thống mô hình cụm máy Robocylinder kết hợp băng tải tự động đã được thiết kế và chế tạo hoàn chỉnh. Hệ thống bao gồm ba thành phần chính: cụm Robocylinder, hệ thống băng tải hai tầng và bộ điều khiển trung tâm PLC kết hợp với phần mềm LabVIEW. Trong đó, cụm Robocylinder được lựa chọn theo cấu hình trượt tuyến tính sử dụng cơ cấu vít me – đai ốc bi, đảm bảo chuyển động có độ chính xác cao với độ lặp lại vị trí $\pm 0,02$ mm, tốc độ di chuyển tối đa đạt 500 mm/s trong phạm vi hành trình 200 mm. Cấu trúc cơ khí của hệ thống được chế tạo bằng khung nhôm định hình, các chi tiết được lắp ghép bằng bulông định vị nhằm tăng độ vững chắc và thuận tiện cho việc tháo lắp, hiệu chỉnh. Bộ truyền động được tính toán dựa trên các thông số kỹ thuật của nhà sản xuất và được lựa chọn theo phương án truyền động đai vải thay vì truyền động xích để đảm bảo chuyển động êm, dễ bảo trì, đồng thời đạt hiệu suất ổn định trong quá trình vận hành.

Các thông số thiết kế và kiểm chứng trong mô hình cho thấy băng tải 1 có khoảng cách trục $A = 500$ mm, chiều dài đai 1.094 mm, lực căng ban đầu 180 N và tổng lực ma sát 361,5 N; trong khi đó băng tải 2 có khoảng cách trục $A = 400$ mm, chiều dài đai 894 mm, lực căng ban đầu 180 N và tổng lực ma sát tương tự là 361,5 N. Kết quả đo kiểm thực tế cho thấy độ lệch chiều dài đai và độ trượt trong quá trình vận hành nằm trong sai số cho phép dưới 2%, đảm bảo độ tin cậy của hệ thống khi hoạt động liên tục trong thời gian dài.

3.2. Kết quả về điều khiển và lập trình hệ thống

Hệ thống điều khiển được thiết kế dựa trên mô hình kết hợp giữa PLC và phần mềm LabVIEW. Phần mềm LabVIEW đảm nhiệm vai trò xử lý hình ảnh, nhận dạng ký tự và phân loại sản phẩm, trong khi PLC đảm nhận chức năng điều khiển các thiết bị thực thi như động cơ băng tải, van hút và Robocylinder. Sự giao tiếp giữa LabVIEW và PLC được thực hiện thông qua giao thức Ethernet TCP/IP, đảm bảo tốc độ truyền dữ liệu nhanh và ổn định trong quá trình vận hành.

Kết quả thử nghiệm cho thấy thời gian xử lý ảnh trung bình của hệ thống đạt khoảng 0,85 giây, trong khi thời gian phản hồi của các cơ cấu chấp hành như Robocylinder và băng tải trung bình khoảng 0,65 giây. Như vậy, toàn bộ một chu trình phân loại sản phẩm được thực hiện trong khoảng 1,5 giây, đáp ứng tốt yêu cầu về tốc độ và năng suất của dây chuyền. Hệ thống có thể vận hành ở ba chế độ chính, gồm chế độ tự động, chế độ bán tự động và chế độ giám sát. Ở chế độ tự động, toàn bộ quá trình cấp phối, nhận dạng và phân loại được thực hiện hoàn toàn tự động. Ở chế độ bán tự động, người vận hành có thể can

thiết để điều chỉnh hoặc dừng hệ thống khi cần thiết. Trong chế độ giám sát, phần mềm hiển thị trạng thái hoạt động của từng thành phần theo thời gian thực, hỗ trợ công tác bảo trì và phát hiện lỗi nhanh chóng.

3.3. Kết quả mô phỏng và kiểm chứng thực nghiệm

Trước khi tiến hành chế tạo thực tế, hệ thống được mô phỏng trên phần mềm SolidWorks và LabVIEW để kiểm tra sự phù hợp của cấu trúc cơ khí và thuật toán điều khiển. Kết quả mô phỏng cho thấy các thông số về hành trình, tốc độ, lực tác động và vị trí đều nằm trong giới hạn thiết kế cho phép. Khi triển khai thử nghiệm thực tế, Robocylinder đạt độ chính xác dịch chuyển $\pm 0,02$ mm sau 1.000 chu kỳ hoạt động liên tục, tốc độ phản hồi trung bình đạt 0,5 giây cho mỗi thao tác gấp. Băng tải vận hành ổn định, độ lệch tâm của puli gần như không đáng kể, hiện tượng trượt đai hầu như không xảy ra. Hệ thống nhận dạng hình ảnh bằng LabVIEW đạt tỷ lệ chính xác trung bình 96,8% trong điều kiện ánh sáng tiêu chuẩn và 92,1% trong điều kiện ánh sáng thay đổi.

Khi tích hợp toàn bộ các thành phần, quy trình cấp phối, nhận dạng, phân loại và đóng gói sản phẩm diễn ra nhịp nhàng, giảm đáng kể thời gian chờ giữa các công đoạn. Hệ thống có thể dễ dàng mở rộng quy mô và kết nối với các dây chuyền tự động khác thông qua giao tiếp PLC mà không cần thay đổi cấu trúc cơ bản, chứng minh tính linh hoạt cao của mô hình.

3.4. Đánh giá hiệu quả kỹ thuật và kinh tế

Các kết quả thực nghiệm và mô phỏng cho thấy việc ứng dụng Robocylinder thay thế xi lanh khí nén trong dây chuyền tự động mang lại hiệu quả rõ rệt cả về mặt kỹ thuật lẫn kinh tế. Về mặt kỹ thuật, hệ thống sử dụng Robocylinder giúp giảm đáng kể mức tiêu thụ năng lượng, trung bình tiết kiệm từ 35 đến 40% so với các hệ thống sử dụng khí nén truyền thống. Robocylinder có độ chính xác cao, khả năng điều khiển mượt, tuổi thọ vận hành dài với quãng hành trình trung bình đạt 5.000 km trước khi cần bảo dưỡng. Về mặt kinh tế, chi phí đầu tư cho mô hình chỉ bằng khoảng 50% so với việc mua và lắp đặt một hệ thống robot công nghiệp thương mại có chức năng tương tự, nhưng vẫn đảm bảo độ tin cậy, độ chính xác và tính linh hoạt cao. Đồng thời, hệ thống giúp tăng năng suất lao động đáng kể, thời gian chu kỳ sản xuất được rút ngắn từ 20 giây xuống còn 15 giây cho mỗi sản phẩm, góp phần nâng cao hiệu quả hoạt động chung của dây chuyền sản xuất.

3.5. Kết luận chung về kết quả đạt được

Từ các kết quả nghiên cứu, thiết kế, mô phỏng và kiểm chứng thực tế, có thể khẳng định rằng mô hình cụm máy Robocylinder kết hợp băng tải tự động đã đạt được toàn bộ các mục tiêu đặt ra. Đề tài đã thiết kế và chế tạo thành công hệ thống có khả năng phân

loại sản phẩm dựa trên nhận dạng hình ảnh với độ chính xác cao, thời gian xử lý nhanh và khả năng hoạt động ổn định. Hệ thống điều khiển kết hợp PLC – LabVIEW cho phép quản lý, điều phối và giám sát hoạt động một cách linh hoạt, có thể mở rộng ứng dụng trong nhiều dây chuyền sản xuất tự động khác nhau. Kết quả nghiên cứu đã chứng minh tính khả thi và hiệu quả của việc sử dụng Robocylinder trong các ứng dụng tự động hóa công nghiệp quy mô nhỏ và trung bình, góp phần giảm chi phí, tiết kiệm năng lượng và nâng cao năng suất sản xuất, phù hợp với xu hướng phát triển công nghiệp hiện đại theo hướng thông minh và bền vững.

4. Giải pháp

Từ kết quả nghiên cứu đạt được, nhóm nghiên cứu đề xuất một số kiến nghị nhằm tiếp tục hoàn thiện, phát triển và mở rộng ứng dụng của mô hình trong thực tế sản xuất. Thứ nhất, cần tiếp tục nghiên cứu và tối ưu hóa thuật toán xử lý ảnh trong phần mềm LabVIEW bằng cách kết hợp các phương pháp học sâu (Deep Learning) hoặc các mô hình nhận dạng tiên tiến nhằm nâng cao hơn nữa độ chính xác của hệ thống trong điều kiện ánh sáng phức tạp hoặc sản phẩm có sai khác nhỏ về hình dạng. Việc ứng dụng các mô hình trí tuệ nhân tạo có thể giúp hệ thống không chỉ phân loại mà còn dự đoán và kiểm tra lỗi sản phẩm một cách tự động.

Thứ hai, cần tiến hành thiết kế lại hệ thống cơ khí ở quy mô công nghiệp, với vật liệu có độ cứng và độ bền cao hơn, đồng thời nghiên cứu ứng dụng các cơ cấu Robocylinder có lực đẩy lớn và hành trình dài hơn để mở rộng khả năng vận chuyển, phân loại và đóng gói sản phẩm có khối lượng lớn hơn. Song song với đó, việc bổ sung các cảm biến lực, cảm biến vị trí và bộ điều khiển servo cao cấp sẽ giúp tăng độ chính xác, khả năng phản hồi và độ an toàn của hệ thống khi vận hành trong môi trường sản xuất thực tế.

Thứ ba, cần tiếp tục hoàn thiện giao diện điều khiển và giám sát trên phần mềm LabVIEW để tạo điều kiện cho người vận hành dễ dàng theo dõi, điều chỉnh và quản lý thông số hoạt động. Việc bổ sung chức năng thu thập dữ liệu và lưu trữ thông tin vận hành sẽ hỗ trợ công tác bảo trì dự đoán, giúp giảm thiểu thời gian dừng máy và nâng cao hiệu quả quản lý dây chuyền.

Thứ tư, về mặt triển khai ứng dụng thực tế, cần tiến hành đánh giá khả năng hoạt động của hệ thống trong các môi trường sản xuất khác nhau, như dây chuyền lắp ráp điện tử, cơ khí chính xác hoặc đóng gói thực phẩm. Việc thử nghiệm đa dạng môi trường làm việc sẽ giúp hiệu chỉnh thêm về kết cấu, vật liệu và thuật toán điều khiển, từ đó nâng cao tính linh hoạt và độ tin cậy của hệ thống khi đưa vào ứng dụng thực tiễn.

(Xem tiếp trang 49)