

HỆ THỐNG PHÂN LOẠI VÀ ĐÓNG GÓI CÀ CHUA TỰ ĐỘNG DỰA TRÊN XỬ LÝ HÌNH ẢNH HSV VÀ TÍCH HỢP ĐIỀU KHIỂN PLC-RASPBERRY PI

AUTOMATED TOMATO SORTING AND PACKAGING SYSTEM BASED ON HSV IMAGE PROCESSING AND INTEGRATED PLC-RASPBERRY PI CONTROL

Dương Ngọc Hùng

Trường Đại học Tiền Giang

Received: 27/3/2026; accepted: 14/4/2026; published: 07/05/2026

Tóm tắt: Trong lĩnh vực chế biến nông sản, quá trình phân loại và đóng gói vẫn đang tiêu tốn đáng kể nguồn nhân lực và chi phí vận hành. Những hạn chế về năng suất, độ đồng đều chất lượng và khả năng truy xuất dữ liệu đang đặt ra yêu cầu cấp thiết về các giải pháp tự động hóa thông minh. Nghiên cứu này đề xuất hệ thống phân loại và đóng gói cà chua tự động dựa trên sự tích hợp giữa công nghệ thị giác máy tính và điều khiển công nghiệp. Kết quả phân loại được sử dụng để điều khiển động cơ servo và hệ thống khí nén thực hiện phân loại và đóng gói tự động. Nghiên cứu cho thấy mô hình đề xuất có tính khả thi cao, chi phí đầu tư thấp và phù hợp với các cơ sở sản xuất nông sản quy mô vừa và nhỏ.

Từ khóa: thị giác máy tính, xử lý ảnh, HSV, Raspberry Pi, PLC, phân loại nông sản, tự động hóa

Abstract: In the agricultural processing sector, sorting and packaging processes still consume significant human resources and operating costs. Limitations in productivity, quality uniformity, and data traceability are creating an urgent need for intelligent automation solutions. This study proposes an automated tomato sorting and packaging system based on the integration of computer vision technology and industrial control. The sorting results are used to control servo motors and pneumatic systems to perform automatic sorting and packaging. The study shows that the proposed model is highly feasible, has low investment costs, and is suitable for small and medium-sized agricultural production facilities.

Keywords: computer vision, image processing, HSV, Raspberry Pi, PLC, agricultural sorting, automation

1. Giới thiệu

Sự phát triển của nông nghiệp thông minh đang đặt ra yêu cầu ngày càng cao đối với các hệ thống tự động hóa trong khâu sau thu hoạch nhằm nâng cao chất lượng sản phẩm, giảm chi phí lao động và tăng khả năng cạnh tranh của nông sản trên thị trường. Trong chuỗi chế biến nông sản, công đoạn phân loại đóng vai trò quan trọng vì quyết định tính đồng đều của sản phẩm, hiệu quả đóng gói và giá trị thương mại trước khi đưa ra thị trường. Đối với cà chua, việc đánh giá độ chín thường được thực hiện dựa trên đặc trưng màu sắc của vỏ quả. Tuy nhiên, tại nhiều cơ sở sản xuất và chế biến hiện nay, quá trình này vẫn chủ yếu được thực hiện bằng phương pháp thủ công, dẫn đến năng suất thấp, kết quả đánh giá mang tính chủ quan và khó đảm bảo tính nhất quán giữa các lô sản phẩm.

Những năm gần đây, nhiều nghiên cứu đã ứng dụng công nghệ thị giác máy tính trong phân loại nông sản nhờ khả năng nhận dạng nhanh và không tiếp xúc [1]. Các phương pháp sử dụng cảm biến màu hoặc xử lý ảnh dựa trên không gian màu RGB đã cho thấy hiệu quả nhất định, tuy nhiên độ chính xác thường bị ảnh hưởng bởi điều kiện chiếu sáng và sự thay đổi môi trường làm việc [1]. Bên cạnh đó, phần lớn các nghiên cứu tập trung vào thuật toán

nhận dạng mà chưa chú trọng đến việc tích hợp với hệ thống điều khiển công nghiệp để hình thành một dây chuyền phân loại và đóng gói hoàn chỉnh có khả năng vận hành theo thời gian thực.

Nghiên cứu này đề xuất hệ thống phân loại và đóng gói cà chua tự động dựa trên sự kết hợp giữa xử lý ảnh bằng Raspberry Pi và điều khiển công nghiệp bằng PLC Mitsubishi [2], [3]. Thuật toán nhận dạng sử dụng không gian màu HSV nhằm xác định mức độ chín của cà chua và giảm ảnh hưởng của điều kiện chiếu sáng [1]. Raspberry Pi đảm nhiệm thu nhận, xử lý hình ảnh, trong khi PLC điều khiển băng tải, cơ cấu phân loại và đóng gói theo thời gian thực [2], [3]. Kết quả nghiên cứu góp phần đánh giá tính khả thi của mô hình tích hợp này và tạo cơ sở cho việc ứng dụng thị giác máy tính trong tự động hóa phân loại nông sản tại Việt Nam.

2. Nội dung nghiên cứu

2.1. Kiến trúc tổng thể của hệ thống

Hệ thống được thiết kế theo kiến trúc điều khiển phân cấp gồm hai tầng chức năng: tầng nhận thức và tầng điều khiển. Tầng nhận thức sử dụng Raspberry Pi kết hợp camera để thu nhận hình ảnh, xử lý dữ liệu và phân tích màu sắc quả cà chua trong không gian màu HSV nhằm xác định mức độ chín và đưa ra quyết định phân loại [1], [2]. Tầng điều khiển sử

dụng PLC Mitsubishi FX1S-30MT để tiếp nhận kết quả phân loại và điều khiển các cơ cấu chấp hành như băng tải, động cơ servo, cảm biến quang và hệ thống khí nén, bảo đảm quá trình phân loại và đóng gói diễn ra chính xác theo thời gian thực [3]. Việc phân tách chức năng giữa Raspberry Pi và PLC giúp tối ưu hiệu suất xử lý, nâng cao tính mô đun, khả năng mở rộng và độ tin cậy của hệ thống, phù hợp với các ứng dụng phân loại nông sản thông minh [1], [2], [3].

2.2. Phương pháp xử lý ảnh dựa trên không gian màu HSV

Trong các hệ thống phân loại nông sản dựa trên thị giác máy tính, độ chính xác của quá trình nhận dạng phụ thuộc đáng kể vào khả năng tách biệt đặc trưng màu sắc của đối tượng khỏi các tác động của môi trường [1]. Đối với bài toán phân loại cà chua theo độ chín, màu sắc bề mặt là đặc trưng quan trọng nhất phản ánh trạng thái sinh trưởng của sản phẩm. Tuy nhiên, sự thay đổi của điều kiện chiếu sáng, bóng đổ và phản xạ ánh sáng có thể làm suy giảm độ chính xác của các phương pháp nhận dạng sử dụng trực tiếp không gian màu RGB [1].

Để nâng cao tính ổn định của hệ thống, nghiên cứu lựa chọn không gian màu HSV (Hue, Saturation, Value) làm cơ sở cho quá trình phân tích ảnh [1]. Khác với mô hình RGB, HSV tách biệt thông tin màu sắc khỏi thông tin cường độ sáng, trong đó thành phần Hue biểu diễn sắc độ màu, Saturation biểu diễn độ bão hòa màu và Value biểu diễn độ sáng. Đặc điểm này cho phép hệ thống nhận diện màu sắc của cà chua một cách ổn định hơn khi điều kiện chiếu sáng thay đổi trong phạm vi nhất định [1].

Quy trình xử lý ảnh được thực hiện theo nhiều giai đoạn liên tiếp nhằm đảm bảo độ chính xác của kết quả nhận dạng [1]. Trước tiên, hình ảnh được thu nhận từ camera và đưa vào bộ xử lý trung tâm Raspberry Pi [2]. Ảnh đầu vào được tiền xử lý bằng bộ lọc Gaussian nhằm giảm nhiễu tần số cao và làm mượt biên đối tượng [1]. Sau đó, ảnh được chuyển đổi từ không gian màu RGB sang HSV để phục vụ quá trình phân tích màu sắc [1].

Tiếp theo, phương pháp phân ngưỡng màu được áp dụng để tách vùng màu đỏ đặc trưng của cà chua chín ra khỏi nền ảnh. Kết quả phân đoạn được xử lý bằng các phép toán hình thái học như phép co (erosion) và phép giãn (dilation) nhằm loại bỏ các điểm nhiễu nhỏ, đồng thời tăng tính liên tục của vùng đối tượng [1]. Trên cơ sở ảnh đã được phân đoạn, hệ thống tiến hành tính toán diện tích và tỷ lệ phân bố của vùng màu đỏ trên bề mặt quả cà chua.

Các thông số này được sử dụng làm tiêu chí đánh giá mức độ chín và đưa ra quyết định phân loại.

Việc áp dụng không gian màu HSV kết hợp với các kỹ thuật tiền xử lý và xử lý hình thái học đã giúp nâng cao khả năng nhận dạng của hệ thống, giảm ảnh hưởng của biến thiên ánh sáng và cải thiện độ ổn định của quá trình phân loại trong điều kiện vận hành thực tế [1]. Phương pháp này đồng thời có ưu điểm về tốc độ tính toán, phù hợp với yêu cầu xử lý thời gian thực trên nền tảng Raspberry Pi [1], [2].

2.3. Chiến lược điều khiển và đồng bộ hóa hệ thống

Trong các hệ thống phân loại nông sản tự động, độ chính xác của quá trình phân loại không chỉ phụ thuộc vào khả năng nhận dạng của thuật toán xử lý ảnh mà còn phụ thuộc vào mức độ đồng bộ giữa khâu nhận dạng và khâu chấp hành. Do đó, nghiên cứu xây dựng chiến lược điều khiển theo mô hình phân cấp, trong đó Raspberry Pi đảm nhiệm chức năng xử lý thông tin và PLC thực hiện điều khiển các cơ cấu chấp hành theo thời gian thực [2], [3].

Sau khi hoàn thành quá trình nhận dạng và xác định trạng thái của sản phẩm, Raspberry Pi truyền kết quả phân loại đến PLC thông qua các tín hiệu số [2], [3]. Trên cơ sở dữ liệu nhận được, PLC thực hiện điều khiển toàn bộ quá trình vận hành của hệ thống, bao gồm quản lý tốc độ băng tải, giám sát tín hiệu từ các cảm biến quang, điều khiển động cơ servo thực hiện phân hướng sản phẩm và điều khiển hệ thống khí nén phục vụ quá trình đóng gói [3].

Một trong những thách thức quan trọng của hệ thống là bảo đảm sự đồng bộ về thời gian giữa quá trình xử lý ảnh và quá trình tác động cơ học. Trong thực tế, sản phẩm liên tục di chuyển trên băng tải, do đó bất kỳ sai lệch nào về thời gian xử lý hoặc thời điểm kích hoạt cơ cấu chấp hành đều có thể dẫn đến hiện tượng phân loại sai vị trí. Để giải quyết vấn đề này, nghiên cứu sử dụng cảm biến quang làm mốc định vị sản phẩm trên băng tải. Thông tin vị trí từ cảm biến được PLC sử dụng để xác định chính xác thời điểm kích hoạt động cơ servo hoặc xi lanh khí nén tương ứng với kết quả nhận dạng đã được lưu trữ trước đó [3].

Chiến lược điều khiển này cho phép tách biệt các tác vụ tính toán phức tạp khỏi các tác vụ điều khiển thời gian thực, từ đó nâng cao độ ổn định và khả năng đáp ứng của hệ thống [3]. Đồng thời, việc sử dụng PLC làm bộ điều khiển trung tâm giúp giảm ảnh hưởng của độ trễ xử lý ảnh, bảo đảm các cơ cấu chấp hành hoạt động chính xác ngay cả khi hệ thống làm việc liên tục trong thời gian dài [3]. Đây là cơ sở quan trọng để triển khai các hệ thống phân loại nông

sản tự động có yêu cầu cao về độ tin cậy và tính ổn định trong môi trường sản xuất thực tế.

2.4. Thiết kế thực nghiệm

Để đánh giá khả năng vận hành của hệ thống, một mô hình thực nghiệm quy mô phòng thí nghiệm đã được xây dựng nhằm mô phỏng các công đoạn thu nhận hình ảnh, nhận dạng, phân loại và đóng gói cà chua tự động. Hệ thống sử dụng Raspberry Pi 5 kết hợp camera USB để thu nhận và xử lý ảnh theo thời gian thực [1], [2], trong khi PLC Mitsubishi FX1S-30MT đảm nhiệm điều khiển băng tải, cảm biến quang, động cơ servo MG996R và hệ thống khí nén [3]. Cơ cấu phân loại sử dụng xi lanh khí nén tác động kép kết hợp van điện từ 5/2, cùng nguồn chiếu sáng LED ổn định nhằm bảo đảm chất lượng hình ảnh [1], [3].

Thực nghiệm được tiến hành với các mẫu cà chua có mức độ chín khác nhau để đánh giá khả năng nhận dạng và phân loại của hệ thống. Các chỉ tiêu đánh giá bao gồm độ chính xác nhận dạng màu sắc, độ ổn định truyền dữ liệu giữa Raspberry Pi và PLC, và khả năng đồng bộ giữa kết quả nhận dạng với quá trình phân loại thực tế [1]–[3]. Thiết kế này cho phép đánh giá hiệu quả vận hành và độ tin cậy của hệ thống trong điều kiện gần với môi trường sản xuất thực tế [4].

3. Kết quả

Mô hình phân loại và đóng gói cà chua tự động đã được chế tạo và vận hành thử nghiệm trong điều kiện phòng thí nghiệm nhằm đánh giá khả năng tích hợp giữa hệ thống xử lý ảnh và hệ thống điều khiển công nghiệp. Kết quả thực nghiệm cho thấy toàn bộ các khối chức năng của hệ thống hoạt động ổn định và đáp ứng được yêu cầu thiết kế ban đầu.

Ở khâu nhận dạng hình ảnh, thuật toán xử lý ảnh dựa trên không gian màu HSV cho phép xác định hiệu quả vùng màu đỏ đặc trưng của cà chua chín. Việc tách biệt thành phần màu sắc khỏi thành phần độ sáng giúp hệ thống duy trì khả năng nhận dạng ổn định trong điều kiện chiếu sáng được kiểm soát. Quá trình xử lý ảnh được thực hiện liên tục trên nền tảng Raspberry Pi, đáp ứng yêu cầu làm việc theo thời gian thực của hệ thống băng tải.

Kết quả truyền dữ liệu giữa Raspberry Pi và PLC cho thấy tín hiệu phân loại được trao đổi ổn định, không xuất hiện hiện tượng mất kết nối hoặc sai lệch trạng thái điều khiển trong quá trình vận hành. Các cơ cấu chấp hành bao gồm động cơ servo, băng tải và hệ thống khí nén phản hồi chính xác theo kết quả nhận dạng, bảo đảm sản phẩm được chuyển hướng và đóng gói đúng vị trí đã thiết lập.

Quá trình thử nghiệm cũng cho thấy cơ chế đồng bộ hóa giữa nhận dạng hình ảnh và điều khiển chấp hành hoạt động hiệu quả. Việc sử dụng cảm biến quang để xác định vị trí sản phẩm trên băng tải giúp giảm sai số tác động cơ khí và bảo đảm thao tác phân loại được thực hiện đúng thời điểm. Điều này góp phần nâng cao độ tin cậy của toàn bộ hệ thống khi vận hành liên tục.

Nhìn chung, các kết quả thu được đã chứng minh tính khả thi của mô hình tích hợp Raspberry Pi và PLC trong bài toán phân loại nông sản tự động. Hệ thống không chỉ đáp ứng yêu cầu về khả năng nhận dạng và điều khiển theo thời gian thực mà còn cho thấy tiềm năng ứng dụng trong các dây chuyền phân loại và đóng gói nông sản quy mô nhỏ và vừa.

4. Kết luận

Nghiên cứu đã xây dựng thành công hệ thống phân loại và đóng gói cà chua tự động dựa trên sự tích hợp giữa Raspberry Pi và PLC Mitsubishi. Thuật toán nhận dạng sử dụng không gian màu HSV cho phép xác định độ chín của cà chua theo đặc trưng màu sắc, trong khi PLC đảm nhiệm điều khiển và đồng bộ hóa quá trình phân loại theo thời gian thực.

Kết quả thực nghiệm cho thấy hệ thống hoạt động ổn định, đáp ứng hiệu quả yêu cầu nhận dạng và điều khiển, đồng thời bảo đảm tính mở rộng và chi phí triển khai hợp lý. Việc ứng dụng không gian màu HSV góp phần nâng cao độ tin cậy của quá trình nhận dạng trong điều kiện chiếu sáng được kiểm soát.

Nghiên cứu khẳng định tính khả thi của việc kết hợp thị giác máy tính với điều khiển công nghiệp trong tự động hóa phân loại nông sản. Trong tương lai, hệ thống có thể được phát triển bằng cách tích hợp các thuật toán học sâu và nền tảng giám sát thông minh nhằm nâng cao khả năng đánh giá chất lượng nông sản và đáp ứng yêu cầu của các dây chuyền sản xuất hiện đại.

Tài liệu tham khảo

- [1]. Nguyễn Trần Minh Nguyệt, Phạm Quang Huy (2024), Xử lý ảnh với Raspberry Pi và Arduino, NXB Thanh niên, Thành phố Hồ Chí Minh.
- [2]. Lê Doãn Trinh, Phạm Quang Huy (2024), Hướng dẫn sử dụng Raspberry Pi, NXB Thanh niên, Thành phố Hồ Chí Minh.
- [3]. Nguyễn Hoàng Phương, Trần Quốc Cường, Nguyễn Hoàng Vũ, Nguyễn Huỳnh Thi, Dương Ngọc Hùng (2022), PLC Lý thuyết và Ứng dụng, NXB Xây dựng, Thành phố Hồ Chí Minh, 2022.
- [4]. Trịnh Chất, Lê Văn Uyển (2006), Tính toán thiết kế hệ dẫn động cơ khí, tập 1 và tập 2, NXB Giáo dục, Hà Nội.