

XÂY DỰNG HỆ THỐNG TỰ ĐỘNG KIỂM TRA CHẤT LƯỢNG MỐI HÀN BẰNG CÔNG NGHỆ XỬ LÝ ẢNH SỬ DỤNG PHẦN MỀM NI VISION BUILDER

DEVELOP AN AUTOMATED SOLDER JOINT INSPECTION SYSTEM USING IMAGE PROCESSING TECHNIQUE WITH NI VISION BUILDER SOFTWARE

Dương Thị Hiền Vi¹, Nguyễn Trọng Tài², Nguyễn Lê Hòa^{1*}

¹Trường Đại học Bách khoa - Đại học Đà Nẵng, Đà Nẵng, Việt Nam

²Công ty TNHH Premo Việt Nam, Việt Nam

*Tác giả liên hệ / Corresponding author: nlhoa@dut.udn.vn

(Nhận bài / Received: 10/6/2023; Sửa bài / Revised: 11/10/2023; Chấp nhận đăng / Accepted: 24/10/2023)

Tóm tắt - Trong bài báo này nhóm tác giả đề xuất giải pháp để nâng cấp dây chuyền hàn dây cho sản phẩm anten Midrange trên xe ô tô ở nhà máy Premo Việt Nam, trong đó, công đoạn kiểm tra chất lượng mối hàn bằng phương pháp thủ công sẽ được thay thế hoàn toàn bằng phương pháp kiểm tra tự động dựa trên kỹ thuật xử lý ảnh. Trước tiên, việc thiết kế kết cấu cơ khí, lựa chọn thiết bị cho hệ thống được trình bày. Tiếp đó, thuật toán xử lý ảnh để kiểm tra chất lượng mối hàn dùng phần mềm NI Vision Builder sẽ được đề xuất. Bên cạnh đó, một giao diện người dùng trên máy tính thuận tiện cho việc giám sát, thống kê cũng được xây dựng. Hệ thống sau khi phát triển đã được tích hợp vào dây chuyền sản xuất hiện tại. Kết quả vận hành cho thấy hệ thống hoạt động ổn định, chất lượng mối hàn được kiểm tra và phân loại chính xác, thời gian kiểm tra được rút ngắn chỉ còn bằng 1/8 so với trước đây.

Từ khóa - Kiểm tra mối hàn; xử lý ảnh; NI Vision Builder

1. Đặt vấn đề

Tự động hóa quá trình sản xuất đóng vai trò quan trọng trong việc nâng cao năng suất lao động, tạo ra sản phẩm có chất lượng cao, cải thiện điều kiện làm việc của công nhân và đặc biệt nó là yếu tố cơ bản để tối ưu hóa công nghệ thông tin và chuyển đổi số. Hiện nay, với sự phát triển của khoa học công nghệ, sự đòi hỏi của việc phát triển bền vững và sự cạnh tranh gay gắt của thị trường, công nghệ tự động hóa đã được nhiều doanh nghiệp đầu tư đưa vào ứng dụng trong sản xuất, kinh doanh. Tuy nhiên, mức độ tự động hóa vẫn chưa đạt được 100%, trong một số công đoạn của dây chuyền sản xuất, các tác vụ vẫn đang được thực hiện một cách thủ công. Do đó, việc nâng cấp hệ thống để đạt mức độ tự động hóa hoàn toàn là yêu cầu cấp thiết.

Hiện nay, ở nhà máy Premo Việt Nam, một trong những quy trình công nghệ cần được tự động hóa hoàn toàn đó là dây chuyền hàn dây cho sản phẩm anten Midrange trên xe ô tô (Hình 1). Quy trình hàn dây gồm các công đoạn như sau:

- Công đoạn 1: Sản phẩm sau khi được quấn dây sẽ được đưa lên băng tải đầu vào để chuyển đến trạm định vị.
- Công đoạn 2: Cánh tay robot sẽ gắp sản phẩm đến các khay (cavity) được gắn trên mâm xoay.
- Công đoạn 3: Mâm xoay chuyển sản phẩm đến bề nhựa thông để nhúng nhựa thông vào các tai của sản phẩm
- Công đoạn 4: Sản phẩm sau đó được chuyển đến trạm gia nhiệt để gia nhiệt ở nhiệt độ khoảng 130°C.

Abstract - In this paper, we propose a solution to upgrade the soldering line for antenna Midrange products on cars at the Premo Vietnam factory, in which, the manual solder joint quality inspection task will be completely replaced by an automated inspection system incooperating with an image processing technique. First, the mechanical structure design and equipment selection for the system are presented. Next, the image processing algorithm for solder joint quality inspection using NI Vision Builder software was proposed. In addition, a convenient user interface (UI) for monitoring and statistics is developed. The designed system has been integrated into the current product line. The experimental results show that the system operates stably, the solder joint quality is inspected and classified accurately, and the inspection time is shortened to only 1/8 compared to before.

Key words - Solder joint quality inspection; image processing; NI Vision Builder

- Công đoạn 5: Sau khi gia nhiệt, sản phẩm được đưa đến trạm nhúng thiếc
- Công đoạn 6: Kết thúc công đoạn hàn, sản phẩm được đưa lên băng tải đầu ra để di chuyển sản phẩm đến khu vực kiểm tra chất lượng mối hàn
- Công đoạn 7: Kiểm tra chất lượng mối hàn và phân loại sản phẩm (mối hàn đạt chất lượng và mối hàn lỗi)



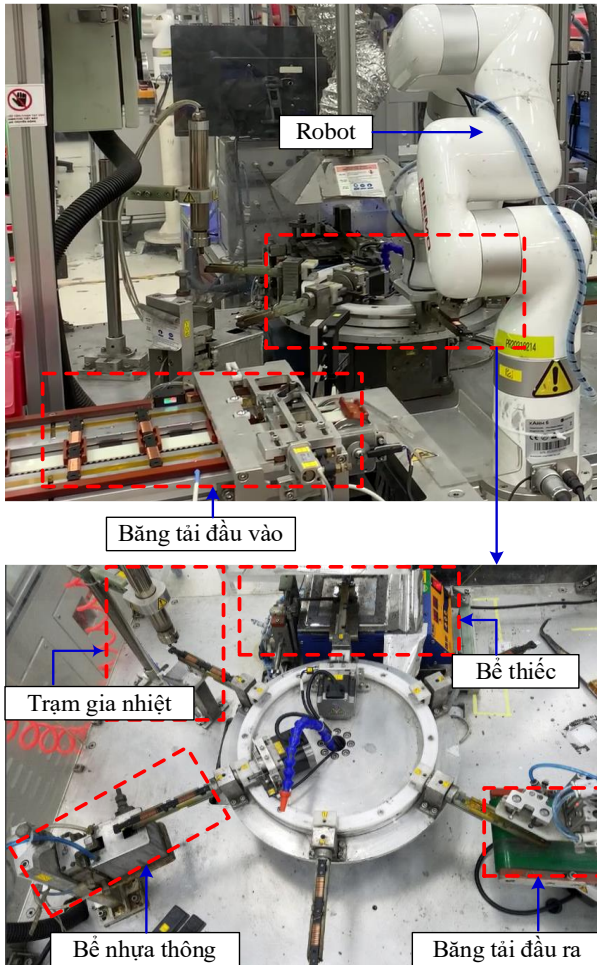
Hình 1. Sản phẩm hàn dây

Toàn bộ thiết bị và các công đoạn của quy trình quy trình hàn dây sản phẩm hiện tại ở nhà máy được mô tả như trong Hình 2. Hiện nay, các công đoạn từ 1-6 được thực hiện tự động hoàn toàn bằng máy móc, riêng công đoạn 7 - ngoại quan mối hàn vẫn đang thực hiện thủ công. Mỗi ngày cần có 02 công nhân luân phiên làm việc cho công đoạn này. Công nhân sẽ phải quan sát mối hàn và đánh giá về chất lượng của mối hàn. Theo quy định của nhà sản xuất, sản phẩm có mối hàn đạt yêu cầu thì phải đảm bảo độ phủ thiếc đạt ít nhất 2,5 vòng dây đồng ở mỗi bên tai (mỗi tai được quấn 3 vòng dây). Hình 3 minh họa sản phẩm có mối hàn đạt yêu cầu và sản phẩm có mối hàn không đạt yêu cầu. Việc kiểm tra chất lượng mối hàn thủ công này đã dẫn đến

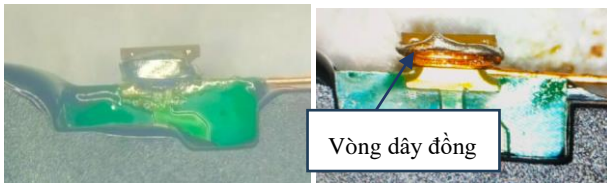
¹ The University of Danang - University of Science and Technology, Danang, Vietnam (Thi Hien Vi Duong, Le Hoa Nguyen)

² Premo Vietnam Co. Ltd, Vietnam (Trong Tai Nguyen)

một số nhược điểm như tốn thêm nguồn nhân lực, tốn thời gian, do ảnh hưởng của yếu tố môi trường nên dẫn đến sai sót và không đồng nhất trong quá trình nhận diện lỗi sản phẩm. Đặc biệt, khi nhu cầu sản xuất tăng lên, có thể xảy ra tình trạng tồn đọng sản phẩm trong quá trình kiểm tra, điều này sẽ ảnh hưởng đến hiệu suất của các công đoạn tiếp theo trong dây chuyền sản xuất.



Hình 2. Cụm thiết bị và các công đoạn của quá trình hàn dây sản phẩm hiện nay tại nhà máy Premo Việt Nam



Hình 3. Sản phẩm có mối hàn đạt yêu cầu (trái) và sản phẩm có mối hàn không đạt yêu cầu (phải)

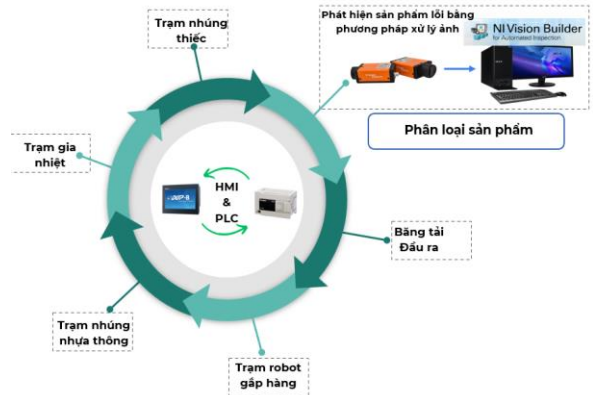
Hiện nay, có rất nhiều phương pháp đã được đề xuất để phát hiện lỗi mối hàn, đối với các mối hàn thép thì phương pháp phổ biến là sử dụng kỹ thuật tia X [1] hoặc kết hợp với các thuật toán và xử lý hình ảnh tiên tiến như mạng nơ ron tích chập (CNN) [2] hay mạng nơ ron nhân tạo (ANN) [3]. Trong ngành công nghiệp điện tử, việc kiểm tra chất lượng mối hàn trên các bo mạch in (PCB) đã trở thành cấp thiết, rất nhiều phương pháp kiểm tra, phân loại mối hàn dựa trên kỹ thuật xử lý ảnh cũng đã được đề xuất [4-6]. Để thu được hình ảnh tốt về mối hàn giúp cho quá trình xử lý, phát hiện lỗi được chính xác hơn thì việc thiết kế hệ thống

chiếu sáng cho quá trình chụp ảnh cũng được nghiên cứu và đề xuất, một số phương pháp chiếu sáng có thể kể đến đó là sử dụng đèn huỳnh quang [7], phương pháp chiếu sáng theo tầng màu [8], hay sử dụng các vòng LED [9]. Bên cạnh đó, với sự hỗ trợ của một số phần mềm chuyên dụng như Labview, NI Vision Builder, việc phát triển các hệ thống tự động kiểm tra lỗi có sự hỗ trợ của máy tính đã trở nên thuận tiện, dễ dàng áp dụng trong thực tiễn [10].

Trong bài báo này, nhóm tác giả đề xuất giải pháp để cải tiến công đoạn kiểm tra chất lượng mối hàn bằng công nghệ xử lý ảnh. Bên cạnh việc thiết kế kết cấu cơ khí, lựa chọn thiết bị để chụp ảnh sản phẩm, chương trình xử lý ảnh phát hiện lỗi mối hàn sẽ được xây dựng trên phần mềm NI Vision Builder.

2. Giải pháp tự động hóa cho quá trình kiểm tra chất lượng mối hàn

Yêu cầu của giải pháp là công đoạn kiểm tra chất lượng mối hàn phải được thực hiện một cách tự động, được tích hợp vào dây chuyền sản xuất hiện có và khắc phục được tất cả các nhược điểm của phương pháp kiểm tra thủ công như đã đề cập ở trên. Quy trình công nghệ cải tiến được mô tả như Hình 4. Trong đó, sản phẩm sau khi được nhúng thiếc sẽ được đưa đến trạm kiểm tra, ở đó sản phẩm sẽ được chụp ảnh (mặt trên và mặt dưới), hình ảnh của sản phẩm sẽ được truyền đến máy tính để xử lý phát hiện lỗi mối hàn. Các sản phẩm có mối hàn không đạt yêu cầu sẽ được đưa vào khay chứa, các sản phẩm đạt chất lượng sẽ được đưa vào băng tải đầu ra để đưa đến các công đoạn tiếp theo của dây chuyền sản xuất.



Hình 4. Quy trình công nghệ hàn dây cải tiến

2.1. Thiết kế phần cứng

Bên cạnh các ràng buộc về kích thước, khả năng tích hợp vào trong dây chuyền sản xuất hiện có, ... thì một trong những yêu cầu quan trọng của hệ thống cải tiến là tổng thời gian của công đoạn kiểm tra chất lượng mối hàn (bao gồm thời gian chụp ảnh mặt trên, mặt dưới sản phẩm, thời gian xử lý ảnh) phải nhỏ hơn hoặc bằng thời gian chờ của công đoạn lâu nhất (đó là công đoạn gia nhiệt, khoảng 9s) cộng với thời gian xoay mâm (khoảng 1s). Điều này nhằm đảm bảo việc bổ sung công đoạn kiểm tra chất lượng mối hàn không làm ảnh hưởng đến quy trình vận hành của hệ thống hiện tại. Trên cơ sở đó, có 2 phương án khả dĩ cho việc thiết kế phần cứng của cơ cấu chụp ảnh như sau:

Phương án 1: Sử dụng 1 camera kết hợp với 1 động cơ. Với phương án thiết kế này, trình tự chụp ảnh sản phẩm được thực hiện như sau: 1- Chụp ảnh mặt trên sản phẩm, 2- động cơ quay đưa camera xuống phía dưới, 3- chụp ảnh mặt dưới

sản phẩm, 4-động cơ quay đưa camera lên phía trên.

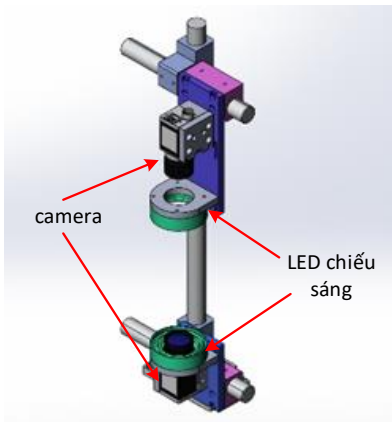
Phương án 2: Sử dụng 2 camera định vị cố định ở phía trên và phía dưới sản phẩm để thực hiện chụp ảnh cùng một lúc.

Sau khi phân tích thì phương án 2 mặc dù có giá thành cao hơn nhưng sẽ đáp ứng được yêu cầu về thời gian chụp ảnh. Do đó, phương án sử dụng 2 camera đồng trục được sử dụng trong bài báo này.

Cơ cấu phần cứng này bao gồm một trục cố định, trên đó có gắn các đế (phía trên và phía dưới) đế cố định camera và các vòng LED. Cơ cấu này được vẽ bằng phần mềm Solidworks như Hình 5. Trong thiết kế này, nhóm tác giả sử dụng 2 camera chuyên dụng trong công nghiệp loại Mars5000S-20gm/gc kết hợp với ống kính LEM1614CBMP8. Bên cạnh đó, để nâng cao chất lượng của hình ảnh chụp, 2 vòng LED loại VT-LT2-HR được lắp đặt trước ống kính của camera. Các sản phẩm trên được cung cấp bởi hãng Vision Datum [11]. Một vài thông số kỹ thuật của camera, ống kính, vòng LED được cho như Bảng 1.

2.2. Thiết kế phần mềm xử lý ảnh phát hiện lỗi mỗi hàn

Hình ảnh sau khi chụp bởi camera (gồm 2 ảnh chụp mặt trên và dưới của mỗi hàn) sẽ được truyền đến máy tính để xử lý. Đây là công đoạn quan trọng thực thi các tác vụ gồm thu thập hình ảnh từ camera, xử lý và phân tích hình ảnh trong thời gian thực, tính toán đặc trưng và ra quyết định về chất lượng mỗi hàn (Pass/Fail).



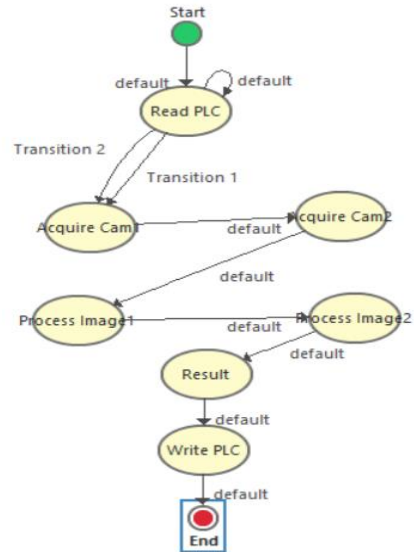
Hình 5. Cơ cấu định vị camera

Bảng 1. Các thông số cơ bản của camera, ống kính, vòng LED

LEM1614CB MP8		Focal Length	16mm
		F/NO	1.4
		Angle of FOV	37,3°/30,3°/23°
		TV Distortion	0,1%
Mars5000S-20gm/gc		Resolution [H*V]	2448 x 2048
		Frame Rate [fps]	20
		Mono/Color	Mono/Color
		Data Bit	12bit
VT-LT2-HR		Input voltage	12 VDC
		Color temperature (white)	6500-8500K
		Lifetime	20,000hrs
		Wavelength range	Red: 620-630nm; Blue: 460-475nm; Green: 520-530nm

Để thực hiện các tác vụ trên, ở đây nhóm tác giả sử dụng phần mềm chuyên dụng NI Vision Builder được phát triển

bởi hãng National Instruments [12]. NI Vision Builder cung cấp quy trình làm việc theo hướng menu để giúp người thiết kế xây dựng hệ thống kiểm tra, nhận dạng bằng hình ảnh. Bằng cách sử dụng các công cụ (tools) được tạo sẵn trong menu, người thiết kế có thể thiết lập cấu hình camera, tùy chỉnh quá trình xử lý ảnh từ hàng trăm thuật toán và các bước kiểm tra, khả năng thiết kế giao diện liên kết với phần cứng tự động hóa cũng như hiển thị kết quả kiểm tra, nhận dạng.



Hình 6. Thuật toán xử lý ảnh

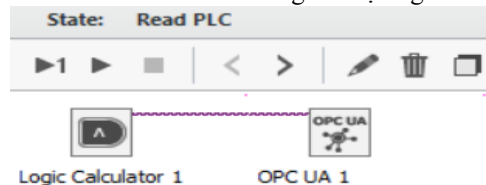
Lưu đồ tổng quát xử lý ảnh được mô tả như Hình 6. Chức năng của từng khối lệnh được mô tả như sau:

- *Read PLC*: Đọc tín hiệu từ PLC để camera thực hiện chụp ảnh;
- *Acquire Cam 1*: Camera 1 chụp ảnh;
- *Acquire Cam 2*: Camera 2 chụp ảnh;
- *Process Image 1*: Xử lý ảnh mặt trên sản phẩm được chụp từ camera 1;
- *Process Image 2*: Xử lý ảnh mặt dưới sản phẩm được chụp từ camera 2;
- *Result*: Tính toán kết quả và hiển thị trên giao diện người dùng;
- *Write PLC*: Trả tín hiệu về kết quả sản phẩm Pass/ Fail cho PLC để PLC điều khiển phân loại hàng được lên băng tải hay đẩy xuống khay hàng lỗi.

Chi tiết của từng tác vụ được lập trình trong NI Vision Builder như sau:

Read PLC:

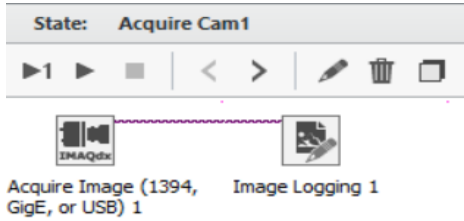
Lệnh này thực hiện việc đọc trạng thái từ PLC (sử dụng chuẩn truyền thông OPC UA để giao tiếp) để khởi tạo chương trình làm việc trong chế độ tự động (Hình 7). Chương trình cũng có thể được khởi tạo ở chế độ thủ công bằng cách nhấn nút “TEST” trên giao diện người dùng.



Hình 7. Câu lệnh đọc trạng thái từ PLC để khởi tạo chương trình

Acquire Cam:

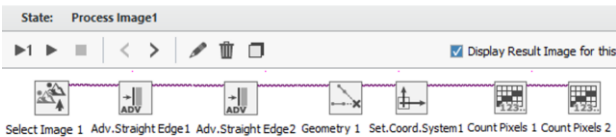
Tác vụ này bao gồm cấu hình việc thu thập hình ảnh từ camera theo chuẩn IEEE 1394 hoặc Gigabit Ethernet hoặc USB và sau đó thực hiện việc lưu ảnh (lệnh Image Logging) (Hình 8). Do ở đây sử dụng 02 camera, nên tác vụ trên sẽ được thực hiện cho từng camera.



Hình 8. Cấu lệnh thiết lập cấu hình camera, chụp ảnh và lưu ảnh

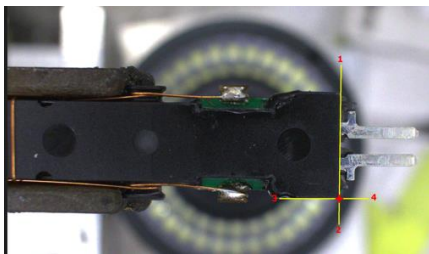
Process Image:

Đây là tác vụ quan trọng nhất của quá trình xử lý để kiểm tra chất lượng mỗi hàn. Trong bài báo này, nhóm tác giả tính toán diện tích màu sắc dây đồng chưa được phủ thiếc (thông qua số lượng điểm ảnh pixel) để đánh giá chất lượng mỗi hàn. Nếu số lượng điểm ảnh màu đồng vượt quá giá trị ngưỡng được thiết lập trước thì chất lượng mỗi hàn được đánh giá là không đạt (fail). Quá trình xử lý này được thực hiện gồm các bước như Hình 9.

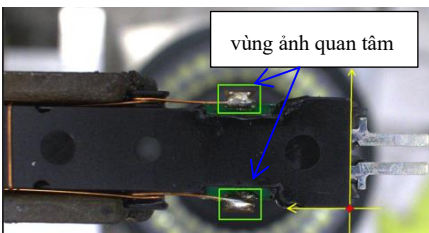


Hình 9. Chuỗi lệnh xử lý ảnh để kiểm tra chất lượng mỗi hàn

Sau khi lựa chọn hình ảnh, các lệnh Adv.Straight Edge 1 và Adv.Straight Edge 2 thực hiện định vị các đoạn thẳng theo phương dọc và phương ngang lên vùng ảnh được quan tâm. Lệnh Geometry sẽ thực hiện xác định giao điểm của 2 đường thẳng ở trên (như Hình 10).



Hình 10. Định vị giao điểm của các đoạn thẳng trên khung hình

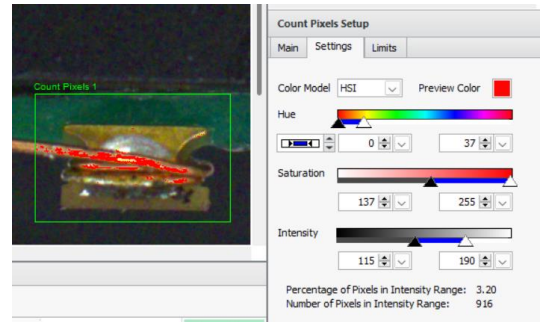


Hình 11. Định vị vùng ảnh quan tâm để kiểm tra chất lượng mỗi hàn

Tiếp theo lệnh Set Coordinate System được sử dụng để xây dựng hệ tọa độ dựa trên vị trí và hướng đã được xác định ở lệnh Geometry. Khi vị trí được xác định này thay đổi từ ảnh này sang ảnh khác, hệ tọa độ sẽ di chuyển. Do vị trí của 6 khay (cavity) trên mâm xoay có sai lệch, nên cần phải tạo

ra 1 hệ tọa độ gốc định vị dựa trên vị trí thực tế của sản phẩm trong khung hình từ đó xác định chính xác vùng ảnh quan tâm như mô tả ở Hình 11 (ở đây là vùng ảnh chứa mỗi hàn).

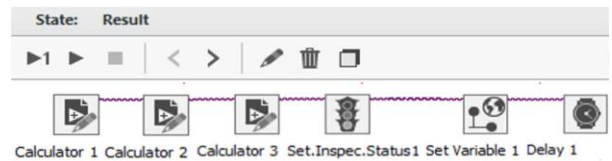
Sau khi xác định được vùng ảnh quan tâm, các lệnh Count Pixel 1 và Count Pixel 2 sẽ thực hiện đếm số lượng điểm ảnh màu đồng xuất hiện trong vùng ảnh. Trong đó, chế độ màu HIS với các thông số Hue (0-37), Saturation (137-255), Intensity (115-190) được thiết lập cho màu đồng của dây quấn, như được mô tả ở Hình 12.



Hình 12. Thiết lập chế độ màu cho vùng ảnh quan tâm

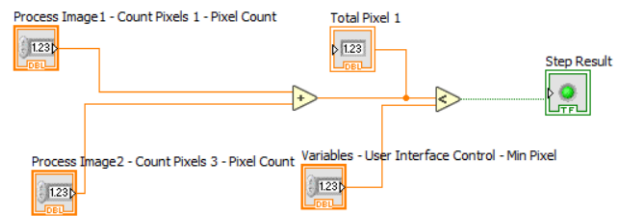
Quá trình xử lý ảnh được thực hiện tương tự với hình ảnh thứ hai của sản phẩm. Trong đó, việc đếm số lượng các điểm ảnh màu đồng trong hình ảnh thứ hai của sản phẩm được thực hiện bởi các lệnh Count Pixel 3 và Count Pixel 4.

Tiếp theo, việc tính toán tổng số lượng điểm ảnh của một mỗi hàn và so sánh với giá trị ngưỡng đặt trước cũng như hiển thị kết quả xử lý được thực hiện như Hình 13.



Hình 13. Chuỗi lệnh tính toán số lượng điểm ảnh màu đồng của mỗi hàn và so sánh với giá trị ngưỡng

Trong đó, lệnh Calculator 1 thực hiện việc tính tổng điểm ảnh màu đồng của 2 mặt trước, sau của một mỗi hàn (Count Pixel 1 và Count Pixel 3) và so sánh với giá trị ngưỡng đặt trước, kết quả trả về trạng thái True/False, như được thể hiện ở Hình 14.



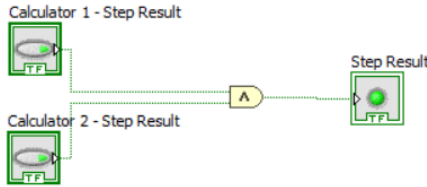
Hình 14. Chi tiết của lệnh Calculator 1

Tương tự, lệnh Calculator 2 thực hiện tính tổng điểm ảnh màu đồng 2 mặt trước, sau của mỗi hàn còn lại (Count Pixel 2 và Count Pixel 4).

Lệnh Calculator 3 sẽ thực hiện phép toán logic AND từ kết quả True/False của Calculator 1 và Calculator 2. Kết quả của Calculator 3 là True (nghĩa là sản phẩm đạt yêu cầu) khi và chỉ khi cả 2 mỗi hàn đều đạt yêu cầu (Calculator 1 và Calculator 2 cũng có giá trị là True), như được mô tả ở Hình 15.

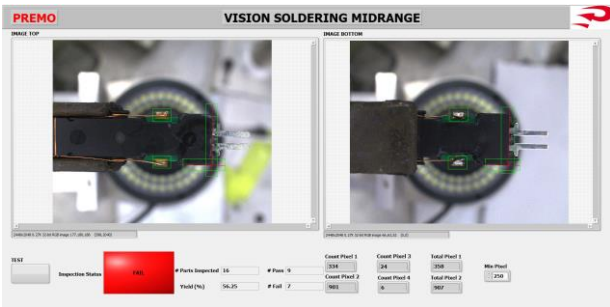
Để xác định giá trị ngưỡng, 600 mẫu thử được lựa chọn

và kiểm tra chất lượng mỗi hàn cẩn thận bằng mắt thường, trong đó 300 mẫu có chất lượng mỗi hàn đạt yêu cầu, 300 mẫu không đạt yêu cầu. 600 mẫu này sau đó được đưa vào xử lý trên phần mềm, kết quả tính toán cho thấy nếu số lượng điểm ảnh màu đồng của mỗi hàn lớn hơn hoặc bằng 250 điểm thì mỗi hàn đó được xác định là không đạt yêu cầu.



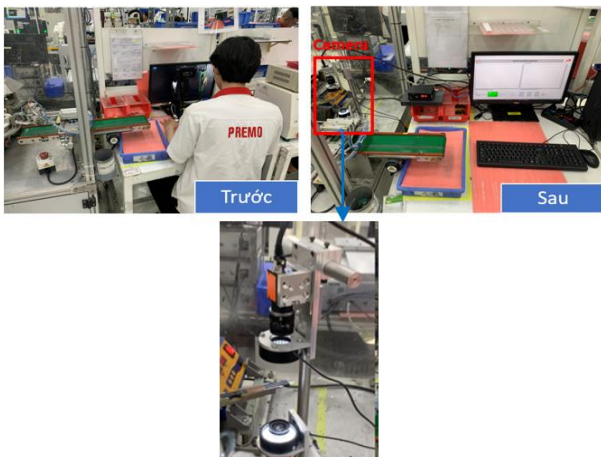
Hình 15. Chi tiết của lệnh Calculator 3

Để thuận tiện cho cho việc giám sát quá trình kiểm tra chất lượng mỗi hàn của sản phẩm cũng như cập nhật, lưu trữ thông tin trong quá trình sản xuất, một giao diện người dùng cũng được thiết kế như được mô tả ở Hình 16. Giao diện người dùng này có các tính năng như hiển thị hình ảnh chụp mặt trên, mặt dưới của mỗi hàn, hiển thị số lượng điểm ảnh màu đồng của từng mỗi hàn, kết quả so sánh và kết luận cuối cùng về chất lượng mỗi hàn (Pass/Fail). Bên cạnh đó, các thông tin về số lượng sản phẩm được kiểm tra, số lượng sản phẩm đạt, số lượng sản phẩm không đạt cũng được tính toán và hiển thị trên giao diện người dùng.



Hình 16. Giao diện phần mềm kiểm tra chất lượng mỗi hàn

3. Kết quả thực nghiệm



Hình 17. Công đoạn kiểm tra chất lượng mỗi hàn trước và sau khi cải tiến

Hệ thống sau khi thiết kế đã được tích hợp vào quy trình sản xuất hiện tại của nhà máy, nâng cấp dây chuyền hàn dây sản phẩm đạt mức độ tự động hóa 100%. Hình ảnh về công đoạn kiểm tra chất lượng mỗi hàn trước và sau khi cải tiến được mô

tả như Hình 17. Trong quá trình chạy thử nghiệm, kết quả kiểm tra chất lượng mỗi hàn tự động đã được so sánh bằng phương pháp kiểm tra thủ công truyền thống bằng mắt, kết quả cho thấy hệ thống tự động đạt độ chính xác 100%. Tổng hợp kết quả kiểm tra trong 4 ca làm việc được mô tả như trong Bảng 2.

Ngoài ra, thời gian để máy tính kiểm tra xong một sản phẩm là 01 giây so với việc kiểm tra thủ công bằng mắt thường là 08 giây. Điều này có ý nghĩa quan trọng trong việc nâng cao năng suất của toàn bộ dây chuyền sản xuất.

Bảng 2. Số lượng sản phẩm được kiểm tra tự động trong 4 ca làm việc

Thời gian	Ngày kiểm tra	Tổng sản phẩm kiểm tra	Số lượng sản phẩm đạt	Số lượng sản phẩm không đạt
Ca 1: 6h-14h	15/5/2023	2500	2221	279
Ca 2: 14h-22h		2500	2198	302
Ca 1: 6h-14h	16/5/3023	2500	2217	283
Ca 2: 14h-22h		2500	2203	297

4. Kết luận

Trong bài báo này, nhóm tác giả đã đề xuất giải pháp tự động hóa khâu kiểm tra chất lượng mỗi hàn trong dây chuyền hàn dây cho sản phẩm anten Midrange trên xe ô tô ở nhà máy Premo Việt Nam. Bài báo đã trình bày việc thiết kế phần cứng, lựa chọn trang thiết bị và việc ứng dụng công nghệ xử lý ảnh để phát hiện các sản phẩm có mỗi hàn lỗi. Giải pháp được đề xuất đã được đưa vào ứng dụng trong thực tế sản xuất. Kết quả thực nghiệm cho thấy hệ thống vận hành tốt góp phần nâng cao chất lượng, giảm nhân lực lao động, rút ngắn thời gian kiểm tra mỗi hàn so với phương pháp thủ công trước đây.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] L. Guilherme, et al., “A portable electrochemical microcell for weld inspection of duplex stainless-steel tanks”, *Corrosion*, Vol. 75, No. 4, pp. 304-348, 2019.
- [2] W. Hou, et al., “Deep features based on a DCNN model for classifying imbalanced weld flaw types”, *Measurement*, vol. 131, pp. 482-489, 2019.
- [3] S. Shevchik, et al., “Supervised deep learning for real-time quality monitoring of laser welding with X-ray radiographic guidance”, *Scientific reports*, Vol. 10, No. 1, pp. 1-12, 2020.
- [4] N.S.S. Mar, et al., “Design and development of automatic visual inspection system for PCB manufacturing”, *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, Vol. 27, pp. 949-962, 2011.
- [5] N.S.S. Mar, et al., “Design of automatic vision-based inspection system for solder joint segmentation”, *Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering*, Vol. 34, No. 2, pp. 145-151, 2009.
- [6] S.L. Bartlett, et al., “Automatic solder joint inspection”, *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, Vol. 10, pp. 31-43, 1988.
- [7] D.W. Capson and S.K. Eng, “A tiered-color illumination approach for machine inspection of solder joints” *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, Vol. 10, pp. 387-393, 1988.
- [8] H.H. Loh, and M.S. Lu, “Printed circuit board inspection using image analysis”, *IEEE Transactions on Industry Applications*, Vol. 35, pp. 426-432, 1999.
- [9] P. Hryniewicz et al., “Technological process supervising using vision systems cooperating with the LabVIEW vision builder”, *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering*, Vol. 95, pp. 012086, 2015.
- [10] N.S. Andres and B-C. Jang, “Development of a machine vision system for automotive part -car seat frame inspection”, *Journal of Passenger Cars: Electronic and Electrical Systems*, Vol. 115, pp. 92-98, 2006.
- [11] Vision Datum, Product Center, [Online]. Available: <https://www.visiondatum.com/en/index.html>, [Accessed June 05, 2023]
- [12] NI Vision Builder “NI Vision Builder for Automated Inspection: Configuration Help”, [Online]. Available: <https://documentation.help/NI-Vision-Builder/>, [Accessed June 05, 2023]