

**BỘ GIÁO DỤC VÀ ĐÀO TẠO  
TRƯỜNG ĐẠI HỌC SƯ PHẠM KỸ THUẬT  
THÀNH PHỐ HỒ CHÍ MINH**

**---oo0oo---**

**TÔ THANH TUẦN**

**NGHIÊN CỨU GIẢI PHÁP ĐO KIỂM TRA ĐÁNH GIÁ  
ĐỘ MÒN BỀN CHỨA XĂNG DẦU DUNG TÍCH LỚN  
SỬ DỤNG ROBOT MANG ĐẦU DÒ SIÊU ÂM**

**LUẬN ÁN TIẾN SĨ  
NGÀNH: KỸ THUẬT CƠ KHÍ  
MÃ SỐ: 9520103**

**Tp. Hồ Chí Minh, tháng 08/2021**

**BỘ GIÁO DỤC VÀ ĐÀO TẠO  
TRƯỜNG ĐẠI HỌC SƯ PHẠM KỸ THUẬT  
THÀNH PHỐ HỒ CHÍ MINH**

**--- oOo ---**

**TÔ THANH TUÀN**

**NGHIÊN CỨU GIẢI PHÁP ĐO KIỂM TRA ĐÁNH GIÁ  
ĐỘ MÒN BỀN CHỨA XĂNG DẦU DUNG TÍCH LỚN  
SỬ DỤNG ROBOT MANG ĐẦU DÒ SIÊU ÂM**

**NGÀNH: KỸ THUẬT CƠ KHÍ - 9520103**

Hướng dẫn khoa học 1: PGS. TS. Đặng Thiện Ngôn

Hướng dẫn khoa học 2: PGS. TS. Lê Chí Cường

Phản biện 1:

Phản biện 2:

Phản biện 3:

**TP. HCM, tháng 08 năm 2021**

## QUYẾT ĐỊNH

### VỀ VIỆC ĐỔI TÊN LUẬN ÁN VÀ NGƯỜI HƯỚNG DẪN NGHIÊN CỨU SINH KHÓA 2013 HIỆU TRƯỞNG TRƯỜNG ĐẠI HỌC SƯ PHẠM KỸ THUẬT TP. HỒ CHÍ MINH

Căn cứ Quyết định số 118/2000/QĐ-TTg ngày 10 tháng 10 năm 2000 của Thủ tướng Chính phủ về việc thay đổi tổ chức của Đại học Quốc gia TP. Hồ Chí Minh, tách Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật TP. Hồ Chí Minh trực thuộc Bộ Giáo dục và Đào tạo;

Căn cứ Quyết định số 70/2014/QĐ-TTg ngày 10/12/2014 của Thủ tướng Chính phủ về ban hành Điều lệ trường Đại học;

Căn cứ Thông tư số 10/2009/TT-BGDĐT ngày 07/5/2009 của Bộ Giáo dục và Đào tạo về việc Ban hành Quy chế đào tạo trình độ tiến sĩ;

Căn cứ Thông tư số 05/2012/TT-BGDĐT ngày 15/02/2012 của Bộ Giáo dục và Đào tạo về việc sửa đổi, bổ sung một số điều của Quy chế đào tạo trình độ tiến sĩ ban hành kèm theo Thông tư số 10/2009/TT-BGDĐT ngày 07/5/2009 của Bộ trưởng Bộ Giáo dục và Đào tạo;

Xét nhu cầu công tác và khả năng cán bộ;

Xét đề nghị của Trưởng phòng Đào tạo,

### QUYẾT ĐỊNH

**Điều 1:** Đổi tên đề tài luận án tiến sĩ và người hướng dẫn cho:

Nghiên cứu sinh : **Tô Thanh Tuấn**

Ngành : Kỹ thuật cơ khí

Khoá: **2013 - 2016**

Tên luận án mới : **Nghiên cứu giải pháp đo kiểm tra đánh giá độ mòn bền chứa xăng dầu dung tích lớn sử dụng robot mang đầu dò siêu âm**

Người HD thứ nhất (HD chính): **PGS.TS Đặng Thiện Ngôn**

Người HD thứ hai : **TS. Lê Chí Cương**

Thời gian thực hiện : **01/10/2013 đến 01/10/2016**

**Điều 2:** Giao cho Phòng Đào tạo quản lý, thực hiện theo đúng Quy chế đào tạo trình độ tiến sĩ của Bộ Giáo dục & Đào tạo đã ban hành.

**Điều 3:** Trưởng các đơn vị: phòng Đào tạo, khoa quản ngành, phòng KHTC và các Ông (Bà) có tên ở Điều 1 chịu trách nhiệm thi hành quyết định này. Quyết định có hiệu lực kể từ ngày ký.

#### Nơi nhận:

- BGH (để chỉ đạo);
- Như điều 3;
- Lưu: VT, SDH.



# LÝ LỊCH CÁ NHÂN

## I. THÔNG TIN CÁ NHÂN

- Họ và tên: Tô Thanh Tuấn
- Ngày sinh: 04/12/1981 - Nơi sinh: Đồng Nai - Nam/Nữ: Nam
- Địa chỉ: Tổ 8, Ấp Hiền Hòa, Phước Thái, Long Thành, Đồng Nai.
- Điện thoại: 0909302901
- Email: [tothanhtuan81@yahoo.com](mailto:tothanhtuan81@yahoo.com)
- Cơ quan - nơi làm việc: Trường Cao đẳng Công nghệ Quốc tế LILAMA2
- Địa chỉ cơ quan: Km 32, QL51, Long Phước, Long Thành, Đồng Nai.

## II. QUÁ TRÌNH ĐÀO TẠO

- Từ 2000-2005: Sinh viên ngành Thiết kế máy, Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật Tp. HCM.
- Từ 2009-2011: Học viên cao học ngành Kỹ thuật cơ khí, Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật Tp. HCM.
- Từ 2013 - nay: Nghiên cứu sinh ngành Kỹ thuật cơ khí, Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật Tp. HCM.

## III. QUÁ TRÌNH CÔNG TÁC

- Từ 2006 – nay: Trường Cao đẳng Công nghệ Quốc tế LILAMA2.

*Tp. Hồ Chí Minh, ngày 30 tháng 8 năm 2021*

*(Ký tên và ghi rõ họ tên)*

Tô Thanh Tuấn

# LỜI CAM ĐOAN

Tôi cam đoan đây là công trình nghiên cứu của tôi. Các số liệu, kết quả nêu trong luận án là trung thực và chưa từng được ai công bố trong bất kỳ công trình nào khác.

*Tp. Hồ Chí Minh, ngày 30 tháng 8 năm 2021*

*(Ký tên và ghi rõ họ tên)*

Tô Thanh Tuấn

## LỜI CẢM ƠN

Trước tiên, tôi xin gửi lời cảm ơn sâu sắc đến các giảng viên hướng dẫn Thầy PGS.TS. Đặng Thiện Ngôn và PGS.TS. Lê Chí Cương nhờ những định hướng, gợi ý nghiên cứu hết sức quý báu, những chỉ dẫn cụ thể và những ý kiến phản biện của quý Thầy đã giúp tôi hoàn thành luận án. Một lần nữa xin được bày tỏ lòng cảm ơn sâu sắc đến quý Thầy.

Xin gửi lời cảm ơn đến tất cả Thầy/Cô khoa Cơ khí Chế tạo máy trường đại học Sư phạm Kỹ thuật Tp. HCM đã truyền đạt các kiến thức nền tảng quý báu từ các học phần tiền si, nhờ những kiến thức nền tảng này mà tôi mới có thể thực hiện được công việc nghiên cứu. Xin gửi lời cảm ơn đến quý Thầy/Cô trong hội đồng đánh giá chuyên đề của luận án, những ý kiến phản biện và góp ý đã giúp tôi rất nhiều trong việc chỉnh sửa và hoàn chỉnh luận án của mình.

Xin gửi lời cảm ơn đến lãnh đạo trường đại học Sư phạm Kỹ thuật Tp. HCM, Khoa Cơ khí chế tạo máy, nhóm NCTĐ Kỹ thuật Cơ khí và Môi trường (REME LAB) đã hỗ trợ cho nghiên cứu sinh trong việc nghiên cứu và thí nghiệm. Xin cảm ơn Ban Giám Hiệu Trường Cao đẳng Công nghệ Quốc tế LILAMA2, các bạn bè, đồng nghiệp đã động viên, giúp đỡ và chia sẻ kinh nghiệm để tôi có thể thực hiện công việc nghiên cứu một cách thuận lợi nhất.

Xin trân trọng cảm ơn công ty Giải pháp Kiểm định Việt Nam (VISCO NDT) đã hỗ trợ thiết bị NDT và tư vấn kỹ thuật cho công việc nghiên cứu và thực nghiệm.

Cuối cùng xin chân thành cảm ơn gia đình và người thân luôn chia sẻ mọi khó khăn và là chỗ dựa vững chắc về vật chất lẫn tinh thần trong suốt thời gian thực hiện và hoàn thành luận án.

*Tp. Hồ Chí Minh, ngày 25 tháng 08 năm 2021*

*(Ký tên và ghi rõ họ tên)*

Tô Thanh Tuấn

# TÓM TẮT

Hiện nay công nghệ đo kiểm bằng phương pháp siêu âm tổ hợp pha (PAUT) đã và đang được ứng dụng trong việc đo kiểm đánh giá độ mòn bồn chứa xăng dầu có độ tin cậy và hiệu quả cao. Tuy nhiên, công việc đo kiểm độ mòn bồn chứa hiện nay vẫn đang được tiến hành một cách thủ công mất nhiều thời gian, độ chính xác phụ thuộc vào trình độ tay nghề của kỹ thuật viên siêu âm. Ngoài ra, do phải phụ thuộc vào các dụng cụ gá đặt, giàn giáo nên chủ yếu chỉ triển khai đo kiểm tra mòn ở một số khu vực của bồn nên không thể xây dựng được bản đồ mòn tổng thể để có được kết quả đánh giá chính xác về chất lượng của bồn. Để rút ngắn thời gian đo kiểm đánh giá độ mòn và cho phép đánh giá tổng thể về độ mòn của bồn cũng như từng bước tự động hoá công việc đo kiểm, luận án “Nghiên cứu giải pháp đo kiểm tra đánh giá độ mòn bồn chứa xăng dầu dung tích lớn sử dụng robot mang đầu dò siêu âm” đã được thực hiện định hướng các nội dung chính sau:

1. Đề xuất quy trình thực nghiệm đo độ mòn ứng dụng kỹ thuật kiểm tra siêu âm tổ hợp pha (PAUT) sử dụng robot mang đầu dò siêu âm PA được chứng nhận để đo độ mòn bồn chứa xăng dầu dung tích lớn.

2. Đề xuất yêu cầu kỹ thuật cho robot mang đầu dò siêu âm PA thực hiện kiểm tra đánh giá độ mòn bồn chứa xăng dầu dung tích lớn.

3. Xác định quãng đường di chuyển ngắn nhất của robot khi tiến hành mang đầu dò siêu âm PA kiểm tra mòn bồn chứa trên cơ sở thuật toán PSO. Kết quả tính toán được mô phỏng trên phần mềm MATLAB và được kiểm chứng bằng thực nghiệm trên mô hình bồn chứa.

4. Đề xuất giải pháp “quét chồng biên ảnh”, trong đó ảnh thứ (i) có biên ảnh bên phải trùng với biên ảnh bên trái của ảnh thứ (i+1) với độ rộng 5 mm để có thể tìm ảnh, so khớp biên ảnh xác định các ảnh liền kề nhau nhằm phục vụ cho việc ghép ảnh xây dựng tạo lập bản đồ mòn.

5. Trên cơ sở giải pháp “quét chồng biên ảnh” và phương án đường di chuyển ngắn nhất, đề xuất phương án điều khiển robot mang đầu dò siêu âm PA thực hiện kiểm tra mòn để thu thập ảnh mòn C-Scan của bồn chứa kiểm tra. Bên cạnh đó, việc chia lưới bồn chứa thành các khu vực  $1000 \times 1000 \text{ mm}^2$  để triển khai công việc đo

kiểm tra siêu âm mòn có độ chính xác cao nhờ xác định, điều chỉnh chính xác tọa độ của robot cũng như thứ tự các lượt quét, kế hoạch hoá việc đo kiểm tra siêu âm mòn bồn chứa cũng được đề xuất.

6. Xây dựng phần mềm ghép ảnh tạo dựng bản đồ mòn ứng dụng phần mềm MATLAB từ dữ liệu hình ảnh C-Scan thu thập được từ quá trình thực nghiệm đo mòn bằng phương pháp kiểm tra siêu âm PA. Phần mềm cũng cung cấp tính năng phân tích, xác định chính xác các thông số mòn như: vị trí, độ sâu và diện tích của khuyết tật mòn.

Kết quả đo kiểm độ mòn sử dụng robot mang đầu dò siêu âm PA ứng dụng quãng đường ngắn nhất tìm được theo thuật toán PSO được thực nghiệm kiểm tra trên mô hình bồn chứa được chế tạo theo tiêu chuẩn API 650:2016 và phần mềm ghép ảnh mòn đã phát triển đã mang đến các kết quả sau:

- Robot mang đầu dò PA thực hiện tốt việc di chuyển theo phương án quãng đường ngắn nhất tìm được trên cơ sở thuật toán PSO.
- Các ảnh mòn thu thập được có chất lượng gần như tương đồng nhau đạt 95% khoảng tin cậy của phép đo;
- Giải pháp quét chồng biên ảnh giúp phần mềm ghép ảnh hoạt động hiệu quả, nhanh chóng xác định được các ảnh kề liền nhau và xây dựng được bản đồ mòn tổng thể;
- Kết quả phân tích đánh giá độ mòn từ phần mềm phát triển trên cơ sở các kết quả 5 lần thực nghiệm (tương ứng 5 bản đồ mòn) gần như tương đồng nhau. Kết quả này cũng được so sánh cho thấy đồng nhất với kết quả được thực hiện thủ công do công ty Giải pháp Kiểm định Việt Nam (VISCO NDT) thực hiện.



## ABSTRACT

Nowadays, Phased Array Ultrasound Testing (PAUT) has been applied in the measurement and testing the corrosion fuel tank with high reliability and efficiency. However, tank corrosion testing is still measured manually, takes a long time, the accuracy depends on the skill level of the ultrasonic technician. In addition, due to the dependence on the mounting tools, scaffolding, corrosion test is mainly deployed in some areas of the tank, so it is impossible to build a general corrosion map to get exactly results about the quality of the tank. In order to shorten the corrosion measurement and evaluation of time and allow an overall assessment of the corrosion of the tank, the thesis “Research on measurement and evaluation solution of corrosion for fuel tanks using robots carrying ultrasonic probes” was carried out with orientation of the following main contents:

1. The experimental procedure corrosion measurement proposed and applied ultrasonic technique using a robot carrying ultrasonic phased-array probe to measure the corrosion on fuel tank.
2. Proposing the technical requirements for the robot carrying the ultrasonic probe PA to perform the measurement and evaluation the corrosion of the fuel tank.
3. Determining the shortest movement distance of the robot when carrying the ultrasonic probe PA to test corrosion tank based on PSO algorithm. Calculation results were simulated on MATLAB software and verified experimentally on tank model.
4. Proposing the solution of scanning image overlap edge, the image  $i^{th}$  has the right edge of the image to the left of the secondary image  $(i + 1)^{th}$  with the width of 5 mm to compare edge images; Determining adjacent images for image merging to create corrosion map.
5. Basing on the solution of "scanning image overlap edge" and the shortest path planning, proposing the plan to control the robot with the ultrasonic probe PA to perform the corrosion test to collect the C-Scan corrosion image of the fuel tank. In addition, meshing the tank is divided into  $1000 \times 1000 \text{ mm}^2$  areas to deploy high accuracy corrosion ultrasonic testing by accurately identifying and

adjusting the robot's coordinates as well as the order of scan times, and a plan for an ultrasonic tank corrosion test is also proposed.

6. Building image merging software to create corrosion maps applying MATLAB software from C-Scan image data collected from the PA ultrasonic testing method. The software also function analysis and accurate determination of corrosion parameters such as location, depth and area of corrosion defects..

The results of the corrosion test using the robot with the shortest path applied PA ultrasonic probe found according to the PSO algorithm are experimentally tested on a tank model manufactured according to API 650: 2016 and software The corrosion image merging software developed and carried the following results:

- The robot with the PA probe performs well in the shortest path, which is found on the basis of the PSO algorithm.

- The collected corrosion images have almost the same quality and 95% of the confidential interval of the measurement.

- The image overlap edge scanning solution helps the image merging software to operate effectively, quickly identify adjacent images and build an overall corrosion map.

- The results of analysis and evaluation of corrosion from software developed on the basis of 5 experimental results (corresponding to 5 corrosion maps) are almost similar. The result strongly agrees with the manual corrosion test performed by Vietnam Inspection Solutions Company (VISCO NDT) giving very small difference. This shows that the thesis has met the research objectives and the research results can be applied in practical production.

# MỤC LỤC

Trang tựa	TRANG
Quyết định giao đề tài	
Lý lịch cá nhân	i
Lời cam đoan	ii
Lời cảm ơn	iii
Tóm tắt	iv
Mục lục	viii
Danh sách các chữ viết tắt	xii
Danh sách các hình	xiii
Danh sách các bảng	xvii
<b>Mở đầu</b> .....	1
1. Đặt vấn đề.....	1
2. Ý nghĩa khoa học và thực tiễn của đề tài.....	2
3. Kết cấu của luận án.....	3
<b>Chương 1 – Nghiên cứu tổng quan</b> .....	5
1.1 Các phương pháp đo mòn và bản đồ mòn.....	5
1.1.1 Phương pháp siêu âm thông thường.....	5
1.1.2 Phương pháp siêu âm PA.....	6
1.1.3 Phương pháp 3D Scanner.....	7
1.1.4 Xây dựng bản đồ ứng dụng công nghệ PA.....	8
1.2 Thực trạng đo kiểm mòn bồn chứa ở Việt Nam.....	11
1.3 Tổng quan nghiên cứu trong và ngoài nước.....	13
1.3.1 Các nghiên cứu nước ngoài.....	13
1.3.2 Các nghiên cứu trong nước.....	17
1.4 Các tồn tại, định hướng và nội dung nghiên cứu.....	21
1.4.1 Các tồn tại.....	21
1.4.2 Định hướng nghiên cứu và nội dung nghiên cứu.....	22
1.5 Mục tiêu, phạm vi và đối tượng nghiên cứu.....	25

1.5.1	Mục tiêu nghiên cứu.....	25
1.5.2	Phạm vi nghiên cứu.....	25
1.5.3	Đối tượng nghiên cứu.....	25
1.6	Phương pháp nghiên cứu .....	26
1.6.1	Phương pháp thu thập thông tin.....	26
1.6.2	Phương pháp nghiên cứu lý thuyết.....	26
1.6.3	Phương pháp nghiên cứu thực nghiệm .....	26
1.6.4	Phương pháp thu thập dữ liệu .....	27
1.6.4.1	Thu thập dữ liệu theo 1 trục.....	27
1.6.4.2	Thu thập dữ liệu theo 2 trục.....	27
1.6.5	Phân tích hình ảnh độ mòn thu thập .....	28
1.6.5.1	Phạm vi chiều dày C-Scan.....	28
1.6.5.2	Bảng màu C-Scan .....	29
1.6.5.3	Các giá trị của độ mòn .....	30
1.6.5.4	Báo cáo kết quả siêu âm ăn mòn .....	34
<b>Chương 2 – Quy trình thực nghiệm đo kiểm tra độ mòn bồn chứa .....</b>		<b>36</b>
2.1	Đề xuất thông số kỹ thuật thiết kế, chế tạo robot mang đầu dò siêu âm.....	36
2.1.1	Yêu cầu kỹ thuật cần có của robot mang đầu dò siêu âm .....	36
2.1.2	Mô hình thiết kế và chế tạo thử nghiệm robot .....	36
2.1.3	Cơ sở định vị đầu dò siêu âm PA .....	57
2.1.4	Kiểm nghiệm độ tin cậy robot .....	40
2.1.4.1	Robot di chuyển theo phương thẳng đứng .....	40
2.1.4.2	Robot di chuyển theo phương thẳng ngang.....	43
2.1.4.3	Robot di chuyển theo phương thẳng xiên.....	46
2.2.	Lập sơ đồ trải phân mảnh và xác định diện tích quét trên bồn chứa .....	44
2.3.	Định vị robot trên bồn chứa.....	49
2.4	Đề xuất quy trình đo mòn bằng phương pháp siêu âm PA.....	54
2.4.1	Mục tiêu và phạm vi ứng dụng.....	54
2.4.2	Tiêu chuẩn áp dụng.....	55

2.4.3	Trình độ kỹ thuật viên.....	56
2.4.4	Thiết bị kiểm tra siêu âm tổ hợp pha .....	56
2.4.5	Đầu dò và ghi nhận dữ liệu .....	57
2.4.6	Chất tiếp âm .....	58
2.4.7	Khối chuẩn .....	58
2.4.8	Độ nhạy quét (Scanning sensitivity).....	59
2.4.9	Chuẩn bị bề mặt .....	62
2.4.10	Kỹ thuật quét.....	63
2.4.11	Báo cáo/đánh giá kết quả thu thập.....	63
2.4.12	Tài liệu lưu trữ .....	63
<b>Chương 3 – Mô hình toán quãng đường di chuyển ngắn nhất .....</b>		<b>64</b>
3.1	Bài toán tối ưu toàn cục trên bồn chứa .....	64
3.2	Giới thiệu các phương án di chuyển.....	66
3.3	Bài toán tìm thời gian di chuyển .....	67
3.4	Thuật toán tối ưu bầy đàn PSO .....	70
3.4.1	Giới thiệu thuật toán PSO .....	70
3.4.2	Xây dựng hàm mục tiêu .....	72
3.4.3	Giải thuật tối ưu PSO .....	73
3.4.4	Mô phỏng thuật toán PSO bằng Matlab .....	75
3.4.5	Đề xuất phương án quét dựa trên kết quả PSO .....	79
3.4.6	Thử nghiệm robot theo phương án di chuyển PSO tìm được .....	79
<b>Chương 4 – Nghiên cứu xây dựng bài toán ghép ảnh mòn .....</b>		<b>82</b>
4.1	Nghiên cứu xây dựng bài toán ghép ảnh .....	82
4.1.1	Hình ảnh và quá trình xử lý ảnh .....	82
4.1.1.1	Ảnh mòn C-Scan .....	82
4.1.1.2	Ảnh nhị phân .....	83
4.1.1.3	Quá trình xử lý ảnh.....	84
4.1.2	Phân tích, đánh giá dữ liệu hình ảnh thu thập được .....	85
4.1.3	Phương án quét thu thập ảnh mòn .....	85

4.1.4 Phân tích hiện trạng dữ liệu ảnh mòn thu được.....	86
4.2 Xây dựng bản đồ mòn sử dụng phần mềm Matlab .....	88
4.2.1 Giải thuật ghép ảnh.....	88
4.2.2 Đề xuất chức năng phần mềm ghép ảnh .....	93
4.2.3 Đề xuất giao diện phần mềm ghép ảnh.....	94
<b>Chương 5 – Nghiên cứu thực nghiệm đo kiểm và xây dựng bản đồ mòn .....</b>	<b>95</b>
5.1. Thiết kế, chế tạo mô hình bồn chứa .....	95
5.1.1 Thiết kế mô hình bồn chứa.....	95
5.1.2 Chế tạo mô hình bồn chứa.....	95
5.2. Thực nghiệm đo kiểm độ mòn .....	96
5.2.1 Vật liệu và thiết bị thí nghiệm.....	97
5.2.2 Khuyết tật mòn và tạo lưới trên mô hình bồn chứa .....	100
5.2.3 Hiệu chuẩn thiết bị .....	102
5.2.4 Phương án quét trên mô hình bồn chứa .....	103
5.2.5 Thực nghiệm đo mòn .....	104
5.3 Thực nghiệm xây dựng bản đồ mòn .....	105
5.3.1 Xây dựng bản đồ mòn .....	105
5.3.2 Kết quả và bàn luận .....	107
5.4 So sánh kết quả với thực nghiệm đo độ mòn bằng tay .....	114
<b>KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ .....</b>	<b>119</b>
<b>Tài liệu tham khảo.....</b>	<b>121</b>
<b>Danh mục các công trình đã công bố của luận án .....</b>	<b>127</b>
Phụ lục 1: Nghiên cứu thiết kế và chế tạo robot mang đầu dò siêu âm PA.	
Phụ lục 2: Code Matlab thuật toán PSO.	
Phụ lục 3: Code Matlab thuật toán tạo lập bản đồ mòn.	

## DANH SÁCH CÁC CHỮ VIẾT TẮT

<b>Ký hiệu / chữ viết tắt</b>	<b>Giải thích ý nghĩa</b>	<b>Ghi chú</b>
PAUT	Phased Array Ultrasonic Testing	Kiểm tra siêu âm tổ hợp pha
PA	Phased Array	Tổ hợp pha
2D	2 Dimensional	2 chiều
3D	3 Dimensional	3 chiều
ASTM	American Society Testing Material	Hiệp hội kiểm tra vật liệu Mỹ
FCAW	Flux Cored Arc Welding	Hàn hồ quang dây hàn có lõi thuốc
NDT	Non Destructive Testing	Kiểm tra không phá huỷ
ASME	American Society of Mechanical Engineers	Hiệp hội kỹ sư cơ khí Hoa kỳ
API	American Petroleum Institute	Viện dầu khí Hoa Kỳ
EN	European Standard	Tiêu chuẩn Châu Âu
ASNT	American Society for Nondestructive Testing	Hiệp hội kiểm tra không phá huỷ Hoa Kỳ
ISO	International Organization for Standardization	Tổ chức tiêu chuẩn hoá quốc tế
PSO	Particle Swarm Optimization	Tối ưu hoá bầy đàn
IIW	International Institute of Welding	Viện Hàn thế giới

# DANH SÁCH CÁC HÌNH

TÊN HÌNH	TRANG
<b>Hình 1:</b> Kiểm tra mòn thực hiện thủ công	1
<b>Hình 2:</b> Hình ảnh kết quả ăn mòn của siêu âm PA	2
<b>Hình 1.1:</b> Nguyên lý của phương pháp siêu âm kiểm tra khuyết tật vật liệu	5
<b>Hình 1.2:</b> Nguyên lý và dữ liệu thu thập của phương pháp siêu âm PA	6
<b>Hình 1.3:</b> Nguyên lý hoạt động và dữ liệu thu thập của 3D scanner	7
<b>Hình 1.4:</b> Bản đồ mòn điển hình sử dụng kỹ thuật siêu âm PA	8
<b>Hình 1.5:</b> Các loại bản đồ mòn của phương pháp UT 2D, PA, 3D Scanner	9
<b>Hình 1.6:</b> Bản đồ mòn được xây dựng trên thiết bị OmniScan MX2	10
<b>Hình 1.7:</b> Bản đồ mòn được xây dựng trên phần mềm TomoView	11
<b>Hình 1.8:</b> Kiểm tra bồn chứa bằng phương pháp thủ công	11
<b>Hình 1.9:</b> Hệ thống đo kiểm của robot Scorpion	13
<b>Hình 1.10:</b> Kiểm tra đánh giá độ mòn bồn chứa bằng robot RMS2	14
<b>Hình 1.11:</b> Phương án đo và quỹ đạo di chuyển qua mô hình CAD	15
<b>Hình 1.12:</b> Kết quả xử lý ảnh khi ứng dụng TomoView trong thực tế	15
<b>Hình 1.13:</b> Kiểm tra mòn của Mapman Scanner	16
<b>Hình 1.14:</b> Hình ảnh bản đồ mòn thu được của Mapman	16
<b>Hình 1.15:</b> Hệ thống đo kiểm của Mobile Robot vehicle	17
<b>Hình 1.16:</b> Robot leo tường của sinh viên đại học Bách Khoa Đà Nẵng	18
<b>Hình 1.17:</b> Robot leo bám tường của học viện Kỹ Thuật Quân Sự	18
<b>Hình 1.18:</b> Thiết bị siêu âm và bộ quét của hãng Olympus	19
<b>Hình 1.19:</b> Bản đồ ăn mòn của đường ống dầu khí thử nghiệm	20
<b>Hình 1.20:</b> Đường đi của robot sử dụng thuật toán PSO	20
<b>Hình 1.21:</b> Dữ liệu thu thập từ 1 trục	27
<b>Hình 1.22:</b> Dữ liệu thu thập từ 2 trục	28
<b>Hình 1.23:</b> Màu trong kiểm tra siêu âm PA C-Scan ăn mòn	28
<b>Hình 1.24:</b> Tỷ lệ bảng màu và chiều dày	29
<b>Hình 1.25:</b> So sánh màu và thang đo chiều dày	29



<b>Hình 1.26:</b> Xác định chiều dày còn lại nhỏ nhất và lớn nhất	30
<b>Hình 1.27:</b> Xác định chiều dày, dữ liệu mỏng nhất còn lại của vật kiểm	30
<b>Hình 1.28:</b> Bảng các giá trị độ mòn	31
<b>Hình 1.29:</b> Giá trị đọc – $T(A/1)$	31
<b>Hình 1.30:</b> Giá trị ML (%)	32
<b>Hình 1.31:</b> Giá trị $T_{min}$	32
<b>Hình 1.32:</b> Giá trị S ( $T_{min}$ ) và I ( $T_{min}$ )	33
<b>Hình 1.33:</b> Giá trị $T_{minZ}$	33
<b>Hình 1.34:</b> Giá trị S ( $T_{minZ}$ ) và I ( $T_{minZ}$ )	34
<b>Hình 1.36:</b> Báo cáo kết quả siêu âm PA	35
<b>Hình 2.1:</b> Robot mang đầu dò siêu âm PA	37
<b>Hình 2.2:</b> Bố trí thước chuẩn hiệu chỉnh sai số tọa độ vị trí robot.	38
<b>Hình 2.3:</b> Mô tả độ lệch của robot theo hai phương x, y.	38
<b>Hình 2.4:</b> Định vị và lắp đặt thước chuẩn theo hai phương x, y	39
<b>Hình 2.5:</b> Định vị robot bằng cảm biến siêu âm SRF05	39
<b>Hình 2.6:</b> Sơ đồ quãng đường di chuyển của robot theo phương đứng	41
<b>Hình 2.7:</b> Thời gian quét theo phương đứng qua 9 lần thí nghiệm	42
<b>Hình 2.8:</b> Sơ đồ quãng đường di chuyển của robot theo phương ngang	43
<b>Hình 2.9:</b> Thời gian quét theo phương ngang qua 9 lần thí nghiệm	45
<b>Hình 2.10:</b> Sơ đồ quãng đường di chuyển của robot theo phương xiên 1 góc $\alpha$	46
<b>Hình 2.11:</b> Thời gian quét theo phương xiên qua 9 lần thí nghiệm	47
<b>Hình 2.12:</b> Phân mảnh (chia lưới) các diện tích trên bồn chứa	49
<b>Hình 2.13:</b> Sơ đồ trải phân mảnh thân bồn chứa	50
<b>Hình 2.14:</b> Xác định vị trí và định vị diện tích quét trên mô hình bồn chứa	51
<b>Hình 2.15:</b> Xác định vị trí một khu vực (diện tích) quét cụ thể	51
<b>Hình 2.16:</b> Thông số kỹ thuật máy đo khoảng cách Bosch GLM 100C	52
<b>Hình 2.17:</b> Xác định vị trí và định vị diện tích quét trên mô hình bồn chứa	53
<b>Hình 2.18:</b> Thông số kỹ thuật của Camera AIDA HD-100A	53
<b>Hình 2.19:</b> Định vị robot trên bồn chứa bằng Camera	54

<b>Hình 2.20:</b> Hệ thống đo kiểm bằng siêu âm PA sử dụng robot	58
<b>Hình 2.21:</b> Khối chuẩn IIW V1	59
<b>Hình 2.22:</b> Chọn chế độ peak của công đo Gate	60
<b>Hình 2.23:</b> Chọn chế độ Gate tương ứng với chế độ hình ảnh C-Scan	61
<b>Hình 2.24:</b> Thiết lập chế độ cổng gate cho A-scan	61
<b>Hình 2.25:</b> Thiết lập chế độ cổng gate cho chiều dày	62
<b>Hình 2.26:</b> Chuẩn bị bề mặt bồn chứa	62
<b>Hình 2.27:</b> Các bước thực hiện theo quy trình đo kiểm đã được phê chuẩn	63
<b>Hình 3.1:</b> Mô tả bài toán tối ưu toàn cục trên bồn chứa.	64
<b>Hình 3.2:</b> Phương án robot di chuyển tránh vật cản	65
<b>Hình 3.3:</b> Hướng di chuyển của robot	66
<b>Hình 3.4:</b> Các đường quét thu thập ảnh mòn	67
<b>Hình 3.5:</b> Quảng đường di chuyển phụ	67
<b>Hình 3.6:</b> Thời gian cho 1 chu kỳ quét	68
<b>Hình 3.7:</b> Thay đổi điểm tìm kiếm của PSO	71
<b>Hình 3.8:</b> Lưu đồ giải thuật PSO	75
<b>Hình 3.9:</b> Đường đặc tính hội tụ trung bình của thuật toán PSO	77
<b>Hình 3.10:</b> Phương án di chuyển với hệ số $a = 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7$	78
<b>Hình 3.11:</b> Phương án di chuyển với hệ số $a = 1, 2$	78
<b>Hình 3.12:</b> Phương án di chuyển với hệ số $a = 1, 2, 3, 4, 5, 6$	79
<b>Hình 3.13:</b> Robot di chuyển theo phương án của thuật toán PSO	80
<b>Hình 4.1:</b> Mô tả hệ thống tạo dựng bản đồ mòn	82
<b>Hình 4.2:</b> Mô tả quá trình xử lý ảnh	84
<b>Hình 4.3:</b> Ảnh mòn khi đường quét chồng lấp một phần lên nhau	86
<b>Hình 4.4:</b> Ảnh mòn của 2 đường quét không giáp biên với nhau	87
<b>Hình 4.5:</b> Ảnh mòn của đường quét bổ sung	87
<b>Hình 4.6:</b> Tính chất của các ảnh mòn thu thập được khi quét	88
<b>Hình 4.7:</b> Ghép ảnh không chồng biên và chồng biên	89
<b>Hình 4.8:</b> Lưu đồ giải thuật ghép ảnh	91

<b>Hình 4.9:</b> Giao diện phần mềm ghép ảnh	94
<b>Hình 5.1:</b> Thiết kế mô hình bồn chứa	95
<b>Hình 5.2:</b> Mô hình bồn chứa hoàn thiện	96
<b>Hình 5.3:</b> Thiết bị siêu âm OmniScan MX2	97
<b>Hình 5.4:</b> Đầu dò 5L32-A31	97
<b>Hình 5.5:</b> Encoder ENC1-2.5-LM	98
<b>Hình 5.6:</b> Nêm đầu dò	98
<b>Hình 5.7:</b> Chất tiếp âm Sonotech	98
<b>Hình 5.8:</b> Robot mang đầu dò siêu âm	99
<b>Hình 5.9:</b> Cơ cấu mang đầu dò siêu âm	99
<b>Hình 5.10:</b> Cấu hình máy vi tính	100
<b>Hình 5.11:</b> Khuyết tật mòn trên mô hình bồn chứa	101
<b>Hình 5.12:</b> Mô phỏng khuyết tật mòn trên mô hình bồn chứa	102
<b>Hình 5.13:</b> Hiệu chuẩn thiết bị siêu âm	102
<b>Hình 5.14:</b> Vận hành thử nghiệm robot di chuyển theo phương án đo	103
<b>Hình 5.15:</b> Phương án quét diện tích $1000 \times 1000 \text{ mm}^2$	103
<b>Hình 5.16:</b> Hình ảnh siêu âm PA có khuyết tật số 1	104
<b>Hình 5.17:</b> Hình ảnh siêu âm PA có khuyết tật số 2	105
<b>Hình 5.18:</b> Hình ảnh siêu âm PA có khuyết tật số 3	105
<b>Hình 5.19:</b> Bản đồ mòn của một lần quét với diện tích $1000 \times 1000 \text{ mm}^2$	106
<b>Hình 5.20:</b> Thời gian quét qua 5 lần thực nghiệm	108
<b>Hình 5.21:</b> Vị trí tọa độ $x_1, x_2, x_3$ qua 5 lần thực nghiệm	110
<b>Hình 5.22:</b> Vị trí tọa độ $y_1, y_2, y_3$ qua 5 lần thực nghiệm	111
<b>Hình 5.23:</b> Chiều sâu khuyết tật $d_1, d_2, d_3$ qua 5 lần thực nghiệm	112
<b>Hình 5.24:</b> Diện tích khuyết tật $s_1, s_1, s_1$ qua 5 lần thực nghiệm	113
<b>Hình 5.25:</b> Kiểm tra siêu âm PA đo mòn bằng tay	114
<b>Hình 5.26:</b> So sánh tọa độ x của khuyết tật khi đo bằng robot và thủ công	115
<b>Hình 5.27:</b> So sánh tọa độ y của khuyết tật khi đo bằng robot và thủ công	116
<b>Hình 5.28:</b> So sánh độ sâu d của khuyết tật khi đo bằng robot và thủ công	116

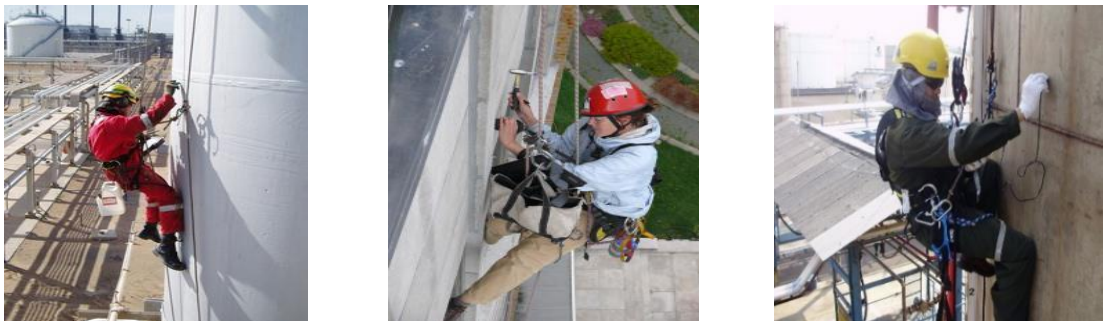
## DANH SÁCH CÁC BẢNG

<b>BẢNG</b>	<b>TRANG</b>
<b>Bảng 2.1:</b> Dữ liệu hoạt động của robot khi di chuyển theo phương đứng	41
<b>Bảng 2.2:</b> Dữ liệu hoạt động của robot khi di chuyển theo phương ngang	44
<b>Bảng 2.3:</b> Dữ liệu hoạt động của robot khi di chuyển theo phương xiên	47
<b>Bảng 3.1:</b> Kết quả trình bày khảo sát giá trị hệ số của thuật toán PSO	76
<b>Bảng 3.2:</b> Kết quả trình bày khảo sát giá trị N của thuật toán PSO.	76
<b>Bảng 3.3:</b> Kết quả thử nghiệm robot chạy trên mô hình thực tế	81
<b>Bảng 4.1:</b> Thông số về vị trí khuyết tật, diện tích, chiều sâu khuyết tật	94
<b>Bảng 5.1:</b> Thời gian trung bình qua 5 lần quét	107
<b>Bảng 5.2:</b> Vị trí các điểm có sự ăn mòn	108
<b>Bảng 5.3:</b> Độ sâu và diện tích mòn tương ứng với vị trí có mòn	109
<b>Bảng 5.4:</b> So sánh kết quả đo	115

# MỞ ĐẦU

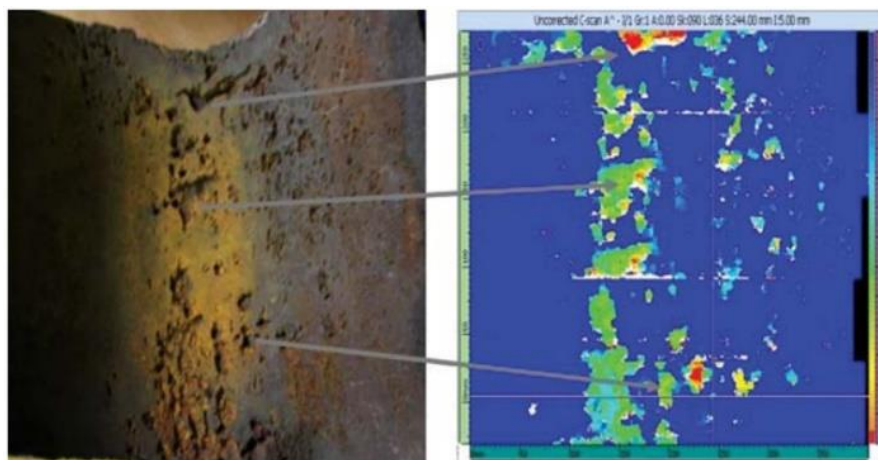
## 1. Đặt vấn đề

Việc đầu tư xây dựng bồn chứa và trạm xuất xăng dầu trong thời gian gần đây phát triển khá sôi động nhằm phục vụ nhu cầu tồn trữ và kinh doanh xăng dầu của các doanh nghiệp trong và ngoài nước. Bên cạnh các dự án xây dựng lắp đặt bồn chứa, dịch vụ kiểm định đánh giá chất lượng bồn chứa chế tạo mới, các bồn chứa cũ và các bồn chứa đang sử dụng cũng phát triển mạnh mẽ. Công việc kiểm định đánh giá chất lượng bồn chứa cho phép đi đến quyết định cấp phép mới, tiếp tục sử dụng hoặc yêu cầu tạm dừng hoạt động đưa vào sửa chữa. Trong lĩnh vực này, các công ty dịch vụ đo kiểm đánh giá chất lượng bồn chứa trong nước có năng lực cạnh tranh kém so với các công ty nước ngoài. Lý do là thiết bị sử dụng và vận hành thủ công đòi hỏi lắp đặt hệ thống giàn giáo, phụ thuộc điều kiện thời tiết nên thời gian kiểm định dài, độ tin cậy của kết quả phụ thuộc vào tay nghề của kỹ thuật viên. Bên cạnh đó, do kiểm tra thủ công nên năng suất thấp, kết quả kiểm tra không cung cấp được bản đồ mòn tổng thể của bồn chứa và tiềm ẩn nguy cơ mất an toàn lao động khi kỹ thuật viên thao tác đo kiểm. Từ đó, nhu cầu rút ngắn thời gian, đảm bảo an toàn, nâng cao năng suất và tăng độ tin cậy kết quả đo kiểm độ mòn bồn chứa bằng các quy trình đo kiểm với sự hỗ trợ của thiết bị kiểm tra tự hành (robot) đã được quan tâm nghiên cứu [1]. Các thiết bị này cho phép mang đầu siêu âm PA kết nối với thiết bị đo kiểm chuyên dụng, ví dụ như hệ siêu âm PA OmniScan, có khả năng cho phép tự hành thực hiện công việc đo kiểm độ mòn theo chu vi và chiều cao thân bồn.



**Hình 1:** Kiểm tra mòn thực hiện thủ công [2]

Ngoài ra, việc ứng dụng các hệ thống như thế cho phép tự động hóa quá trình đo kiểm độ mòn và tạo dựng được bản đồ mòn tổng thể.



**Hình 2:** Hình ảnh kết quả ăn mòn của siêu âm PA [3]

Tuy nhiên, các thiết bị này được sản xuất đi kèm các hệ thống kiểm tra đánh giá độc quyền nên giá thành rất cao, khi sử dụng cần phải có giấy phép hoặc các chứng chỉ đào tạo liên quan. Do vậy, việc nghiên cứu phương án đo kiểm, chế tạo các thiết bị tự hành mang đầu đo cho phép kiểm tra đánh giá độ mòn của bồn chứa để có thể làm chủ công nghệ, chế tạo được trong điều kiện công nghệ trong nước đang là một vấn đề cấp thiết và có nhiều ý nghĩa. Đề tài: **“Nghiên cứu giải pháp đo kiểm tra đánh giá độ mòn bồn chứa xăng dầu dung tích lớn sử dụng robot mang đầu dò siêu âm”** là một nghiên cứu theo định hướng này nhằm giảm bớt chi phí, giảm thời gian kiểm tra, nâng cao độ tin cậy của kết quả kiểm tra cũng như cung cấp một giải pháp an toàn cho người vận hành. Kết quả nghiên cứu của đề tài sẽ cho phép đưa công nghệ này áp dụng rộng rãi ở trong nước và tăng tính cạnh tranh cho các doanh nghiệp dịch vụ đo kiểm trong nước.

## **2. Ý nghĩa khoa học và thực tiễn của đề tài**

### **2.1 Ý nghĩa khoa học**

- Xây dựng được mô hình toán cho phép xác định được quãng đường di chuyển ngắn nhất dựa trên đặc điểm của phương pháp kiểm tra siêu âm PA và đặc điểm của robot mang đầu dò siêu âm PA.

- Đề xuất được phương án đo kiểm ứng dụng robot mang đầu dò siêu âm PA

kiểm tra mòn bồn chứa xăng dầu dung tích lớn dựa trên cơ sở quỹ đạo quảng đường di chuyển ngắn nhất tìm được.

- Đề xuất thuật toán ghép ảnh tạo dựng bản đồ mòn phù hợp với quy trình siêu âm PA đo kiểm độ mòn bồn chứa xăng dầu dung tích lớn sử dụng robot mang đầu dò siêu âm PA.

## **2.2 Ý nghĩa thực tiễn**

- Ứng dụng robot mang đầu dò siêu âm để kiểm tra độ mòn của bồn chứa sẽ rút ngắn thời gian kiểm tra, giải phóng được sức lao động và đem lại hiệu quả cao về kinh tế, năng suất đưa ra thị trường robot mang đầu dò siêu âm góp phần nâng cao chất lượng kiểm tra đối với bồn chứa xăng dầu.

- Kết quả nghiên cứu của đề tài góp phần tự động hóa trong việc kiểm tra, đánh giá độ mòn bồn chứa xăng dầu, có giá trị cao về thực tiễn ứng dụng.

- Giúp xây dựng bản đồ mòn của bồn chứa xăng dầu, cho phép giám sát và chủ động kế hoạch hoạt động, bảo trì bảo dưỡng bồn chứa.

## **3. Kết cấu của luận án**

Kết cấu của luận án gồm các phần:

- Mở đầu

*Giới thiệu nhu cầu từ thực tế, tính cấp thiết và cơ sở lựa chọn đề tài, ý nghĩa khoa học và thực tiễn của đề tài nghiên cứu, kết cấu của luận án.*

- Chương 1: Tổng quan

*Trình bày các nội dung liên quan đến độ mòn, các phương pháp kiểm tra đánh giá độ mòn hiện nay. Bên cạnh đó, các nghiên cứu về xác định quảng đường ngắn nhất, cách thức xây dựng bản đồ cũng được khảo sát và trình bày. Các công trình nghiên cứu trong và ngoài nước có liên quan cũng được phân tích, đánh giá.*

*Nghiên cứu khảo sát thực trạng đo mòn ở Việt Nam, các tồn tại, định hướng nghiên cứu, nội dung nghiên cứu, đối tượng và phạm vi nghiên cứu, các phương pháp nghiên cứu*

- Chương 2: Quy trình thực nghiệm đo kiểm tra độ mòn bồn chứa

*Đề xuất thông số kỹ thuật thiết kế, chế tạo robot mang đầu dò siêu âm, kiểm nghiệm độ tin cậy robot, đồng thời lập sơ đồ trải bồn chứa và xác định diện tích quét trên thân bồn chứa.*

*Nghiên cứu đề xuất quy trình thực nghiệm đo kiểm độ mòn bồn chứa dung tích lớn ứng dụng kỹ thuật siêu âm tổ hợp pha (PAUT).*

- Chương 3: Mô hình toán xác định quãng đường di chuyển ngắn nhất  
*Giới thiệu, xây dựng bài toán tìm quãng đường di chuyển ngắn nhất ứng dụng thuật toán PSO dựa trên đặc điểm của phương pháp kiểm tra siêu âm PA, đặc điểm của robot. Qua đó đề xuất phương án di chuyển của robot khi đo kiểm đánh giá độ mòn bồn chứa dựa trên mô hình toán tìm được.*
- Chương 4: Nghiên cứu xây dựng bài toán ghép ảnh mòn.  
*Trình bày các kết quả phân tích, đánh giá dữ liệu hình ảnh thu được khi thực nghiệm đo mòn. Đề xuất thuật toán ghép ảnh mòn, tạo dựng bản đồ mòn và cho biết các thông số mòn ở các vị trí cụ thể trong môi trường Matlab.*
- Chương 5: Thực nghiệm đo kiểm độ mòn và xây dựng bản đồ mòn.  
*Trình bày các kết quả thiết kế và chế tạo mô hình bồn chứa, thực nghiệm kiểm tra mòn bồn chứa bằng robot mang đầu dò siêu âm PA và hoạt động của phần mềm xây dựng bản đồ mòn.*
- Kết luận và kiến nghị  
*Kết luận chung của luận án và kiến nghị về những nghiên cứu tiếp theo.*
- Danh mục tài liệu tham khảo.
- Phụ lục.
- Danh mục các công trình đã công bố của luận án.



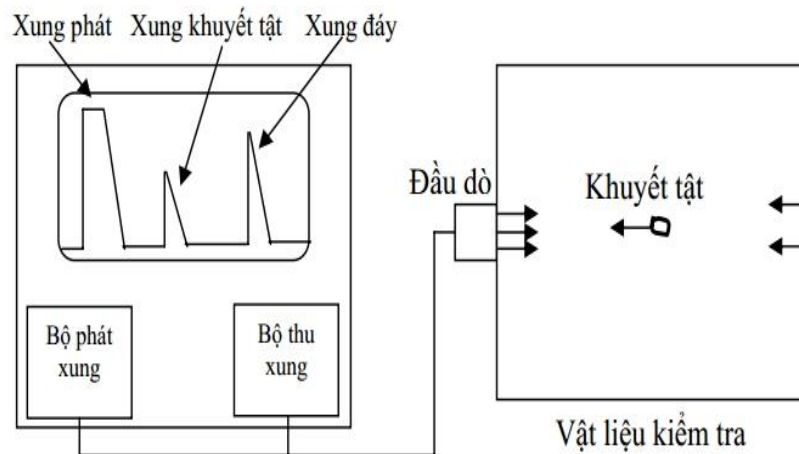
# Chương 1: NGHIÊN CỨU TỔNG QUAN

## 1.1 Các phương pháp đo mòn và bản đồ mòn

### 1.1.1 Phương pháp siêu âm thông thường

Cơ sở lý thuyết của phương pháp này là sử dụng sóng siêu âm có tần số cao được truyền vào vật liệu cần kiểm tra. Hầu hết các phương pháp kiểm tra siêu âm được thực hiện ở vùng có tần số 0.5 đến 20 MHz. Sóng âm được phát ra từ đầu dò, khi đến mặt phân giới giữa hai môi trường thì đa phần sẽ phản xạ trở lại và một phần sẽ khúc xạ (phần khúc xạ rất nhỏ). Mức độ phản xạ phụ thuộc nhiều vào trạng thái vật lý của vật đo [4].

Khi chùm siêu âm gặp chỗ không đồng nhất sẽ xảy ra các hiện tượng phản xạ, hấp thụ và sự biến đổi sóng. Từ sóng âm phản hồi sẽ biết được các khuyết tật trong vật đo. Sóng siêu âm có độ xuyên sâu vào vật liệu lớn hơn hẳn phương pháp kiểm tra chụp ảnh bức xạ [4], cho phép phát hiện được những vết nứt nằm sâu bên trong vật đo. Nguyên lý cơ bản của phương pháp kiểm tra bằng siêu âm được trình bày ở hình 1.1.



**Hình 1.1:** Nguyên lý của phương pháp siêu âm kiểm tra khuyết tật vật liệu [5]

– *Ưu điểm:*

- + Có độ nhạy cao nên phát hiện được các khuyết tật nhỏ;
- + Cho phép kiểm tra các chi tiết dày;
- + Vị trí, kích thước, hình dạng khuyết tật khi phát hiện đạt độ chính xác cao;

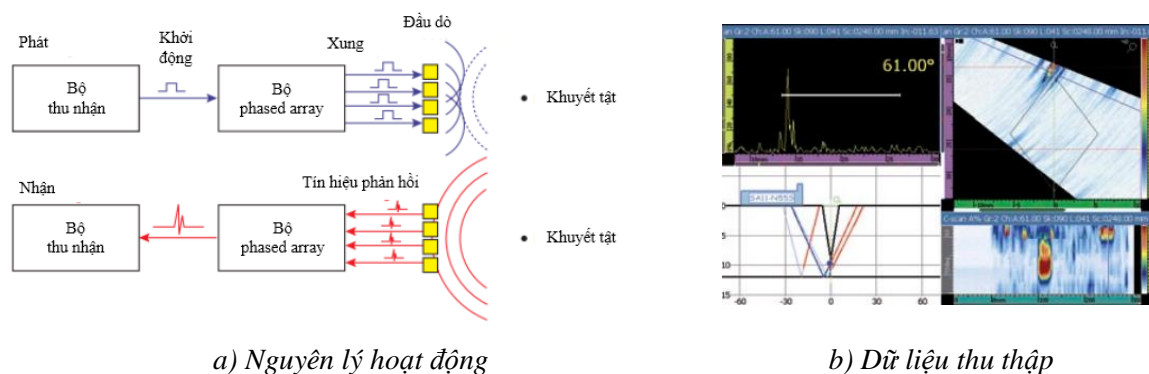
- + Việc kiểm tra chỉ cần tiếp xúc một bên của vật đo.
- + Cho đáp ứng nhanh nên thời gian kiểm tra ngắn và dễ dàng tự động hoá công việc đo kiểm.

- *Khuyết điểm:*

- + Hình dạng của vật thể kiểm tra có thể gây khó khăn cho việc kiểm tra;
- + Khó kiểm tra các vật liệu có cấu tạo bên trong phức tạp;
- + Cần phải sử dụng chất tiếp âm để thúc đẩy sự truyền năng lượng âm vào vật cần kiểm tra;
- + Đầu dò phải tiếp xúc và phù hợp với hình dạng bề mặt vật đo khi kiểm tra;
- + Hướng khuyết tật ảnh hưởng đến khả năng phát hiện chính xác khuyết tật.

### 1.1.2 Phương pháp siêu âm PA

Kiểm tra siêu âm PA (siêu âm tổ hợp pha) là một kỹ thuật mới, tiên tiến của phương pháp kiểm tra không phá hủy (Non-Destructive Testing - NDT) sử dụng sóng siêu âm. Đầu dò siêu âm PA thường bao gồm từ 16 – 256 biến tử nhỏ riêng biệt, cách âm với nhau và mỗi biến tử có thể tạo xung riêng rẽ. Chúng có thể được sắp đặt theo dải thẳng, vòng tròn hoặc có hình dạng phức tạp hơn. Các biến tử này được kích thích bằng xung điện có độ trễ theo chương trình đặt trước. Sóng âm từ các biến tử này sẽ giao thoa với nhau và tạo nên chùm siêu âm có góc phát, điểm hội tụ theo ý muốn. Cũng giống như đầu dò siêu âm thông thường, đầu dò siêu âm PA có thể được thiết kế để có thể sử dụng tiếp xúc trực tiếp (không qua nệm) hoặc ghép nối với nệm để tạo thành các đầu dò với góc nghiêng tùy ý hoặc sử dụng trong môi trường nước. Dải tần số đầu dò siêu âm PA thường từ 2 – 10 MHz [6].



**Hình 1.2:** Nguyên lý và dữ liệu thu thập của phương pháp siêu âm PA

Siêu âm PA được sử dụng để kiểm tra và phát hiện vết nứt của các mối hàn ở một số ngành công nghiệp như hàng không, năng lượng, dầu khí, chế tạo ống, công trình xây dựng và bảo dưỡng đường ống. Ngoài ra còn được sử dụng hiệu quả trong việc xác định chiều dày trong các ứng dụng kiểm tra ăn mòn.

- *Ưu điểm:*

+ Trong phương pháp siêu âm PA nhờ điều khiển được chùm tia, thông thường có dạng quét hình quạt, nên có thể được sử dụng để kiểm tra chi tiết với các góc khác nhau;

+ Việc kiểm tra các chi tiết có hình dạng phức tạp sẽ đơn giản hơn;

+ Kích thước đầu dò nhỏ và khả năng chùm tia quét mà không cần dịch chuyển đầu dò giúp cho việc kiểm tra các chi tiết trong tình trạng khó tiếp cận và không có khoảng không để di chuyển đầu dò dễ dàng.

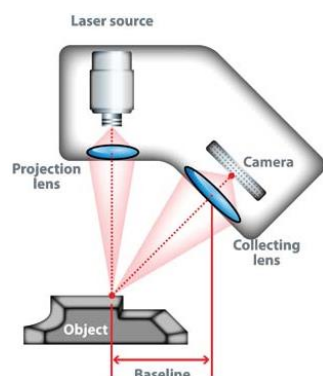
- *Hạn chế:*

+ Các hệ thống PA đòi hỏi chi phí đầu tư thiết bị cao;

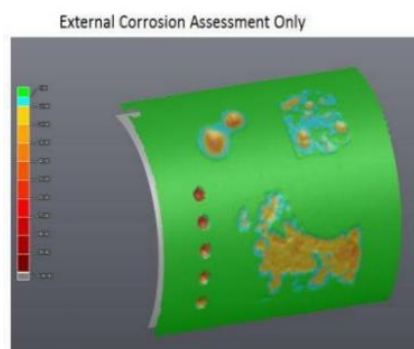
+ Người vận hành phải qua đào tạo chuyên môn.

### 1.1.3 Phương pháp 3D Scanner

Nguyên lý hoạt động của 3D Scanner dựa trên cơ sở số hóa bề mặt quét. Vì vậy, khi sử dụng 3D Scanner cho quá trình đánh giá mức độ ăn mòn bề mặt ngoài được xem là sự thay thế đáng tin cậy cho các máy đo chiều dày. 3D Scanner cung cấp bản đồ số hoá chỉ báo độ dày chi tiết, chính xác cho phép đánh giá mức độ ăn mòn bề mặt vật đo kiểm tra [7].



a) Nguyên lý hoạt động



b) Dữ liệu thu thập

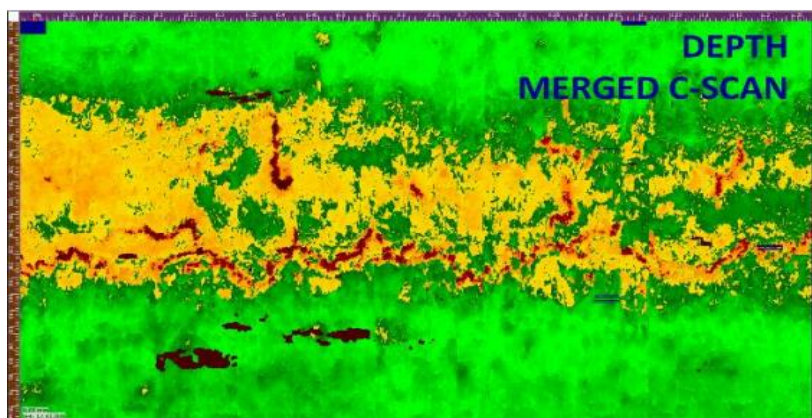
**Hình 1.3:** Nguyên lý hoạt động và dữ liệu thu thập của 3D Scanner [7]

- *Ưu điểm:*
  - + Khả năng di chuyển linh động;
  - + Hệ thống phần mềm và thiết bị khá thân thiện, dễ sử dụng;
  - + Máy và vật đo không cần gá đặt cố định;
  - + Cung cấp thông tin khá chính xác về dữ liệu mòn ngoài của bề mặt.
- *Hạn chế:*
  - + Bề mặt đo kiểm cần được làm sạch, ví dụ như phun cát, để mang lại kết quả đo kiểm chính xác hơn;
  - + Chi phí đầu tư thiết bị cao, kỹ thuật viên phải có trình độ phù hợp;
  - + Chỉ xác định được hình ảnh, độ mòn bên ngoài bồn chứa (so với mặt chuẩn ngoài của bề mặt ngoài);
  - + Việc đánh giá độ mòn bên trong bồn không thể thực hiện.

#### **1.1.4 Xây dựng bản đồ mòn sử dụng công nghệ PA**

Bản đồ mòn (bản đồ ăn mòn) là một ảnh số hoá bề mặt của vật thể đo cung cấp các thông tin về vị trí (toạ độ), chiều dày vật liệu qua màu sắc. Bản đồ mòn có thể được chia ra như sau:

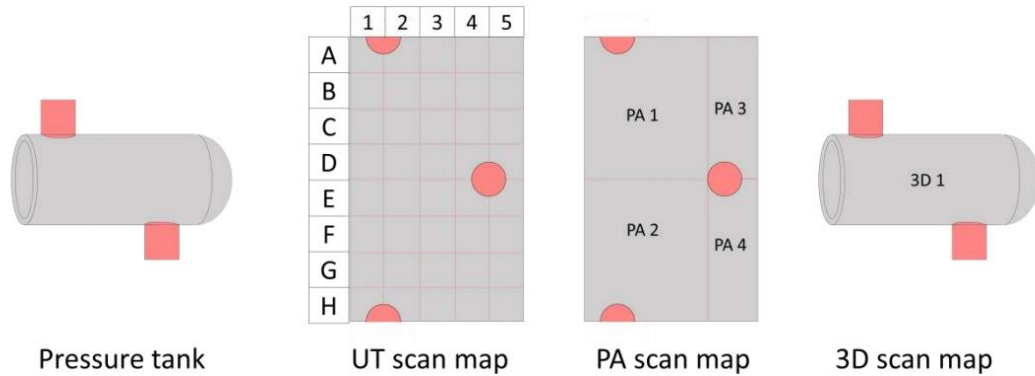
- Bản đồ mòn cục bộ: là bản đồ mòn của một khu vực xác định (vùng). Đây là nơi nghi ngờ xảy ra hiện tượng ăn mòn.
- Bản đồ mòn tổng thể: là bản đồ mòn của toàn bộ vật đo cho phép xác định, đánh giá một cách chi tiết và chính xác độ mòn ở bất kỳ vị trí nào của vật đo.



**Hình 1.4:** Bản đồ mòn điển hình sử dụng kỹ thuật siêu âm PA [7]

Việc xây dựng bản đồ mòn là sử dụng các dữ liệu siêu âm để hình thành nên

các ảnh đồ họa màu về hình dạng bề ngoài của vật liệu vật thể đo [7]. Để xây dựng bản đồ mòn người ta sử dụng các thiết bị như: siêu âm siêu âm 2D, siêu âm PA, 3D Scanner để quét thu thập dữ liệu xây dựng bản đồ mòn.



**Hình 1.5:** Các loại bản đồ mòn của phương pháp UT 2D, PA, 3D Scanner [7]

– Ưu điểm:

- + Siêu âm 2D chỉ xác định được độ dày của vật đo tại một vùng (khu vực) xác định.
- + Siêu âm PA có thể tạo ra một bản đồ mòn tổng thể cung cấp các thông tin về toạ độ, độ dày ở bất kỳ vị trí nào.
- + Phương pháp 3D Scanner cho kết quả một bản đồ mòn bề mặt bên ngoài của vật đo.

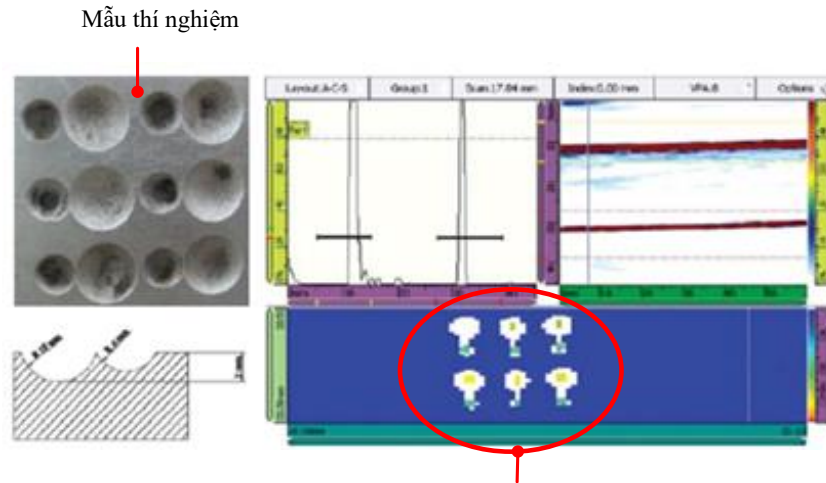
– Nhược điểm:

- + Phương pháp siêu âm 2D không phù hợp để xây dựng bản đồ mòn.
- + Xây dựng bản đồ mòn sử dụng phương pháp siêu âm PA đòi hỏi thiết bị phức tạp, chi phí đầu tư rất cao.
- + Phương pháp 3D Scanner hình thành được bản đồ ăn mòn nhưng chỉ cho phép xác định mức độ ăn mòn của bề mặt vật đo.

Bản đồ ăn mòn xây dựng trên kỹ thuật siêu âm PA là cách biểu đồ hóa độ dày còn lại của vật liệu kim loại được mô tả bằng màu sắc và dữ liệu được lưu trữ trên máy tính. Phương pháp này được sử dụng rộng rãi để đo độ mòn trong lĩnh vực dầu khí như bồn chứa, đường ống, vỏ tàu thủy,...[3].

*a) Xây dựng bản đồ mòn trực tiếp trên thiết bị siêu âm PA*

Cách thức xây dựng bản đồ mòn này phụ thuộc rất lớn vào thiết bị siêu âm PA sử dụng. Phần mềm kèm theo thiết bị siêu âm của một số máy siêu âm hiện đại có chế độ cộng dồn (ghép ảnh) [7, 8] cho phép ghép các hình ảnh kế tiếp nhau để tạo thành bản đồ mòn. Cách thức này thường được sử dụng để xây dựng bản đồ mòn cục bộ giúp đo kiểm những khu vực nghi ngờ có xảy ra hiện tượng mòn [3].

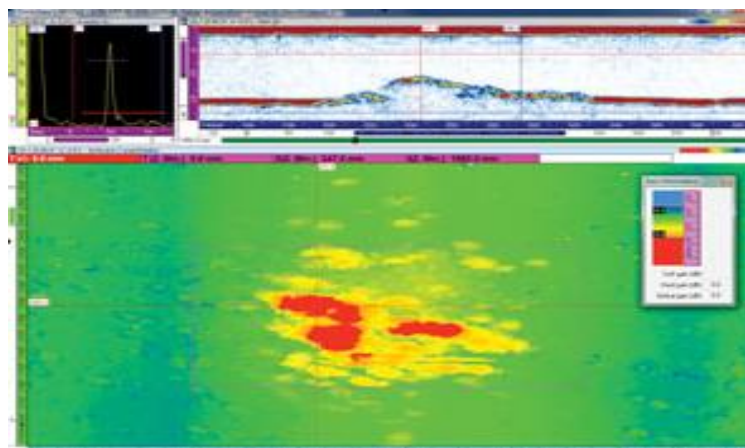


Bản đồ mòn được hình thành trên thiết bị

**Hình 1.6:** Bản đồ mòn được xây dựng trực tiếp trên OmniScan MX2 [3]

*b) Xây dựng bản đồ mòn gián tiếp với phần mềm TomoView*

TomoView là phần mềm được tích hợp trong hệ thống siêu âm PA OmniScan MX2 có chức năng tạo lập bản đồ mòn gián tiếp trên PC. Khi thực hiện quét vật đo sử dụng phương án quét 1 hoặc 2 trục (Clicker, 2 encoder) để thu nhận ảnh mòn dạng C-Scan [9, 10], dữ liệu hình ảnh mòn C-Scan thu thập sẽ được lưu trữ trong một thư mục xác định và được mã hóa (đặt tên) tự động theo thời gian quét. Sau khi đồng bộ với PC, TomoView cho phép ghép các hình ảnh kế tiếp nhau để tạo thành bản đồ mòn. Bản đồ mòn là ảnh đồ họa màu hiển thị vùng ăn mòn bằng các màu sắc khác nhau giúp xác định mức độ ăn mòn vật liệu. Có thể sử dụng con trỏ chuột để xác định vị trí (toạ độ), kích thước, chiều dày vật liệu còn lại của vị trí có mòn.



**Hình 1.7:** Bản đồ mòn được xây dựng trên phần mềm TomoView [9]

## 1.2 Thực trạng đo kiểm mòn bồn chứa ở Việt Nam

Dạng ăn mòn kim loại thường gặp phải trên bồn chứa trong quá trình sử dụng chủ yếu là do các điều kiện vật lý, hóa học gây ra hình thành các khuyết tật trên thân bồn như ăn mòn đều, ăn mòn không đều, ăn mòn điểm, ăn mòn khí quyển,...

Việc kiểm tra đánh giá chất lượng bồn chứa hiện nay chủ yếu sử dụng kỹ thuật siêu âm thủ công nên gặp nhiều khó khăn. Vì kích thước bồn chứa lớn nên cần phải xây dựng hệ thống giàn giáo phụ trợ cũng như sử dụng dây cáp treo khi thực hiện kiểm tra,... tiềm ẩn nhiều nguy cơ về an toàn lao động và đòi hỏi mất nhiều thời gian để dựng giàn giáo.



a) Kiểm tra chất lượng bồn thủ công ở Việt Nam



b) Kỹ thuật viên kiểm tra chất lượng bồn với thiết bị thủ công

**Hình 1.8:** Kiểm tra bồn chứa bằng phương pháp thủ công [2]

Hiện nay, các kỹ thuật viên trong nước thiếu và ít được cập nhật các công

nghệ kỹ thuật mới về siêu âm như siêu âm PA,... Và để đào tạo được các kỹ thuật viên lành nghề như thế đòi hỏi kỹ thuật viên phải có trình độ chuyên môn và khả năng ngoại ngữ cao. Bên cạnh đó còn phải có nguồn kinh phí rất lớn cho công tác đào tạo cũng như đầu tư thiết bị siêu âm PA rất đắt tiền. Do môi trường làm việc có điều kiện khắc nghiệt và nặng nhọc, quy trình kiểm tra khắc khe, áp lực công việc lớn vì thời gian dừng vận hành bồn chứa sẽ ảnh hưởng đến kế hoạch kinh doanh. Do đó, công việc này ít hấp dẫn các kỹ thuật viên tham gia nên số lượng kỹ thuật viên thực hiện công việc kiểm tra đánh giá trực tiếp tại hiện trường rất ít.

Một giải pháp để giải quyết việc thiếu kỹ thuật viên là các công ty thực hiện công việc phân tích đánh giá hình ảnh siêu âm tại phòng thí nghiệm của công ty. Do vậy, cho phép sử dụng công nhân hoặc kỹ thuật viên cấp thấp để thu thập dữ liệu siêu âm (hình ảnh) khi kiểm tra đánh giá mòn. Nghĩa là, các kỹ thuật viên này sẽ thực hiện việc quét dữ liệu mòn trên thân bồn chứa, lưu trữ trong thiết bị nhớ và chuyển về phòng thí nghiệm để xem xét đánh giá. Do công việc đánh giá được hiện sau nên phụ thuộc rất lớn vào chất lượng ảnh đầu vào. Khi phát hiện các sai sót ví dụ như ảnh không đạt độ phân giải, không kề liền nhau,... thì rất khó khăn trong việc tổ chức siêu âm lại.

Trong quá trình kiểm tra mòn bồn chứa hiện nay, các công ty tại Việt Nam chưa quan tâm đến việc xây dựng phương án đo vì: (1) phụ thuộc vào giàn giáo; (2) việc đo được thực hiện một cách thủ công dựa trên sự linh hoạt của đôi tay kỹ thuật viên nên việc di chuyển ở các góc vuông ( $90^\circ$ ) không gặp khó khăn. Từ các lý do trên nên việc tự động hoá quá trình đo là không khả thi. Và trong thực tế, các công ty không đánh giá mòn hết toàn bộ bồn mà tiến hành xác định các khu vực mòn bằng phương pháp cảm quan và chỉ tiến hành đo kiểm đánh giá độ mòn ở khu vực đó. Cụ thể là, khi xác định vùng có nguy cơ bị ăn mòn kỹ thuật viên bắt đầu dựng giàn giáo và sử dụng đầu dò siêu âm 2D di chuyển theo phương thẳng đứng hoặc phương ngang trong khu vực nghi ngờ có mòn. Quá trình này sẽ mất nhiều thời gian và đặc biệt dữ liệu hình ảnh thu thập có độ chính xác không cao (phụ thuộc lớn vào tay nghề của kỹ thuật viên và điều kiện thời tiết của môi trường) gây ảnh hưởng



nghiêm trọng đến kết quả đo. Ngoài ra, phương thức chỉ kiểm tra mòn các khu vực nghi ngờ có mòn sẽ không đủ dữ liệu để xây dựng được bản đồ mòn bồn chứa.

### 1.3 Tình hình nghiên cứu trong và ngoài nước

#### 1.3.1 Các nghiên cứu nước ngoài

Robot Scorpion B-Scan di chuyển trên bề mặt bồn chứa xăng dầu để kiểm tra khuyết tật hàn và xác định mức độ ăn mòn của bồn chứa. Bốn bánh xe được truyền động bởi 4 động cơ độc lập 12 VDC. Robot có chiều dài là 385 mm, chiều rộng 222 mm, chiều cao 102 mm, nặng 4,74 kg và lực hút nam châm vĩnh cửu khoảng 13,6 kg. Robot có thể di chuyển theo phương thẳng đứng hoặc theo phương ngang với vận tốc 25 mm/s [11]. Robot mang đầu dò siêu âm để thu thập dữ liệu dưới dạng A-Scan và B-Scan. Robot được vận hành bởi kỹ thuật viên thông qua thiết bị điều khiển. Phần mềm B-Scan Scorpion được thiết lập để xác định vị trí và loại khuyết tật, dạng dữ liệu B-Scan giúp xác định các khiếm khuyết trong thời gian ngắn nhất, cho phép phân tích nhanh quá trình quét và đánh giá chính xác độ ăn mòn. Khuyết điểm là di chuyển dưới sự điều khiển trực tiếp của con người, chưa có phương án di chuyển cụ thể trên bồn chứa.



a) Robot Scorpion B-Scan [11]

b) Phần mềm lập bản đồ mòn của B-Scan Scorpion [11]

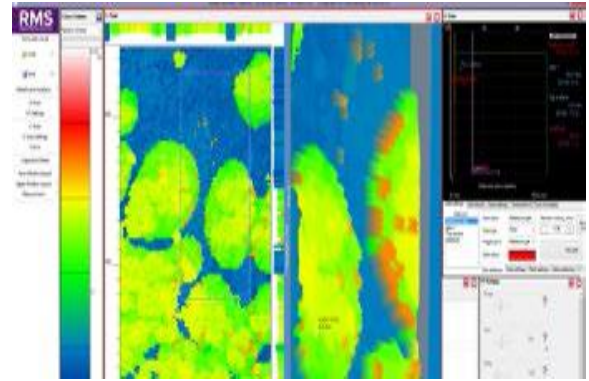
**Hình 1.19:** Hệ thống đo kiểm của robot Scorpion [11]

Robot RMS2 (Rinaldi Mechatronic Systems) là thiết bị kiểm tra độ ăn mòn của bồn sử dụng phương pháp kiểm tra siêu âm PA. Dùng chức năng hiển thị C-Scan để xác định chiều dày và đánh giá độ ăn mòn của bồn chứa, đường ống có đường kính lớn [12]. Hệ thống điều khiển chuyển động và đầu ra bộ mã hóa X/Y

được cung cấp điều khiển trên phần mềm của máy tính, robot di chuyển từ dưới lên theo phương thẳng đứng kết hợp quét ngang của đầu dò, chiều cao quét lên tới 50 m. Cho phép thu thập dữ liệu dạng A-Scan, B-Scan, C-Scan và có thể lập bản đồ mòn.



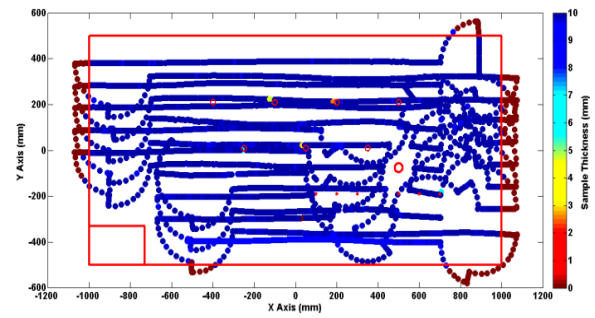
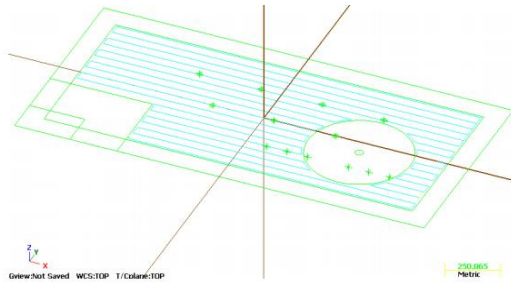
a) Robot RMS2



b) Bản đồ mòn

**Hình 1.10:** Kiểm tra đánh giá độ mòn bồn chứa bằng robot RMS2 [12]

Bài báo “*Path planning & measurement registration for robotic structural asset monitoring*” của S. G. Pierce, C. N. Macleod, G. Dobie, R. Summan (2014) [13] đã trình bày một cách tiếp cận ứng dụng CAD/CAM để lập ra một phương án đo và hình ảnh dữ liệu thu thập được lưu lại trên mô hình CAD. Robot mang đầu dò siêu âm sẽ di chuyển theo quỹ đạo đường thẳng hoặc đường tròn trên một tấm phẳng và có khả năng tránh được các chướng ngại vật trên bề mặt để quét thu thập dữ liệu. Bài báo đề cập về cách thức xây dựng một phương án đo phù hợp tương ứng với một hình dạng vật đo cụ thể. Các khuyết tật, độ mòn được hiện dưới dạng một bản đồ mòn đơn giản chỉ chỉ ra vị trí mòn, độ dày còn lại tại vị trí này. Các thông tin này ở dạng điểm, không phải là một hình ảnh liên tục. Cách tiếp cận của bài báo được thực hiện trên một mô hình thí nghiệm và chưa tìm được thông tin về ứng dụng trong thực tế.

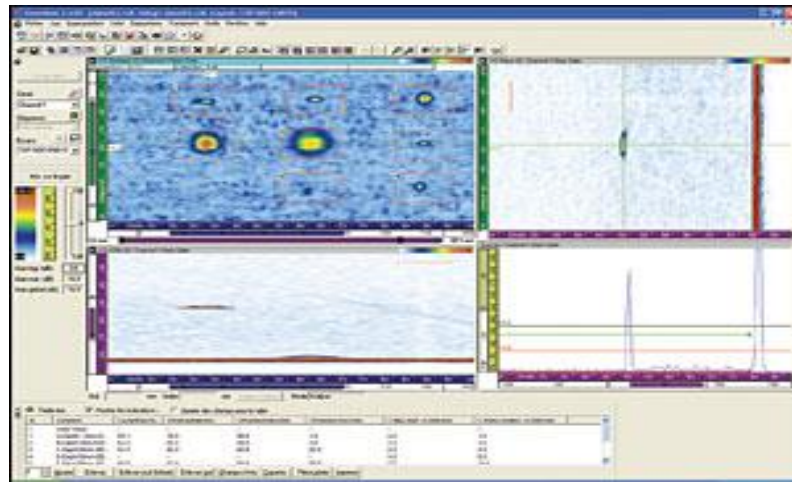


a) Phương án đo được xác định qua mô hình CAD [13]

Hình 2.31: Quỹ đạo di chuyển của robot và vị trí các khuyết tật [13]

**Hình 1.11:** Phương án đo và quỹ đạo di chuyển qua mô hình CAD [13]

Về xây dựng bản đồ mòn thì khi quét thủ công người ta thường sử dụng phần mềm được cung cấp kèm theo thiết bị, chẳng hạn như TomoView™, hoạt động trên nền tảng PC [14]. Đây là một phần mềm được công ty Olympus phát triển và được sử dụng trong các thiết bị siêu âm của công ty, ví dụ như hệ thống siêu âm PA OmniScan MX2. Tomoview cho phép thu nhận hình ảnh dạng C-Scan, ghép ảnh, hiển thị hình ảnh màu theo thời gian thực của tín hiệu, phân tích dữ liệu một cách hiệu quả.

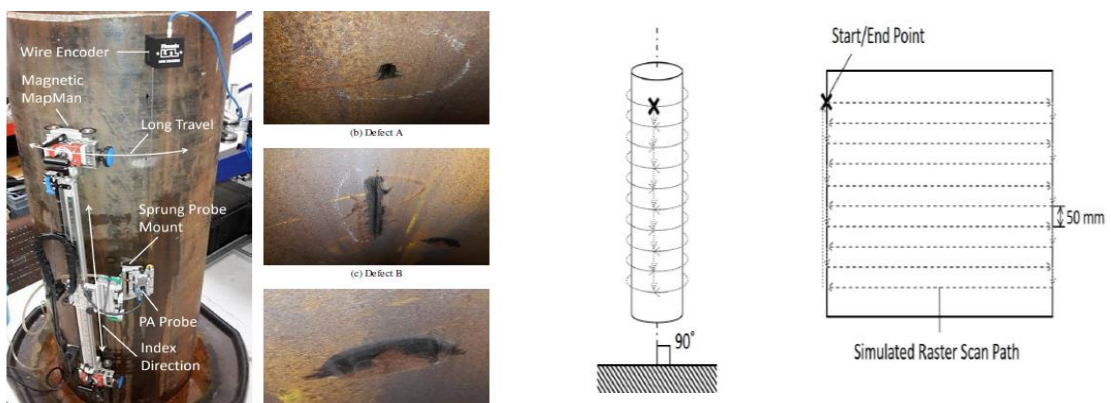


**Hình 1.12:** Kết quả xử lý ảnh khi ứng dụng TomoView trong thực tế [14]

Từ bản đồ mòn có được có thể sử dụng con trỏ chuột để đo kích thước, vị trí khuyết tật, phóng to, thu nhỏ và lưu trữ dữ liệu cũng như thực hiện các báo cáo siêu âm PA [14].

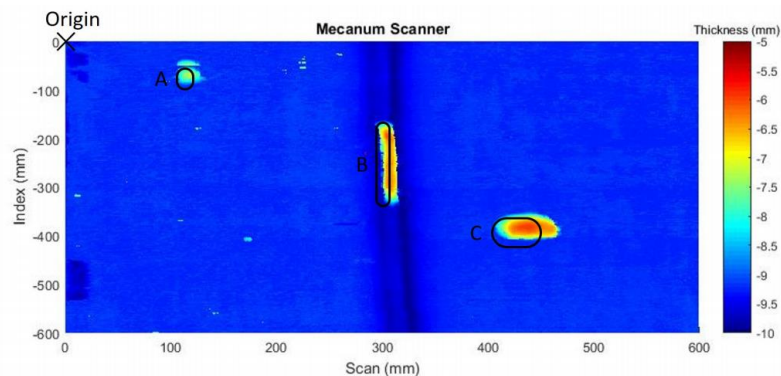
Luận án tiến sĩ “*Robotic Pipe Inspection: System Design, Locomotion and Control*” của William Alexander Blyth (2017) [15] đã giới thiệu phương án đo kiểm

độ mòn bằng siêu âm PA. Mapman Scanner mang đầu dò siêu âm PA được sử dụng để kiểm tra ống có đường kính 24 inch, chiều dày 9 mm đặt nghiêng từ 0 – 90° so với phương thẳng đứng. Robot di chuyển tròn quanh ống và từ trên xuống. Khoảng cách giữa các đường quét là 50 mm tương ứng với kích thước của đầu dò PA HydroFrom (đầu dò có 64 biến tử) sử dụng thiết bị OmniScan (TomoView) của hãng Olympus, phương án quét xoay quanh trục đứng, hình ảnh dạng C-Scan thu được và lập bản đồ mòn bằng cách sử dụng chế độ quét Raster sẵn có trên thiết bị PA. Hiện nay phần mềm vẫn là sản phẩm thương mại, được cung cấp độc quyền từ nhà sản xuất với khả năng ghép ảnh tạo ra bản đồ mòn đi kèm với thiết bị đo siêu âm PA cũng của nhà sản xuất. Cách thức ghép ảnh là ghép cộng dồn vật lý các ảnh thu thập được theo trình tự thời gian, không xem xét nhận diện biên ảnh nên khi có sai sót phải thực hiện quét lại tại khu vực phát hiện sai sót.



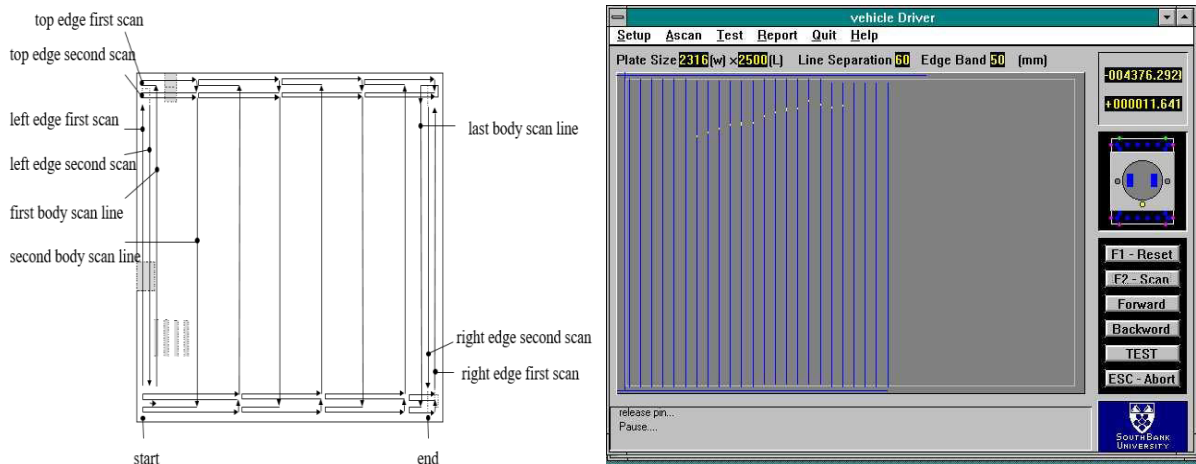
a) Mapman Scanner mang đầu dò siêu âm PA và khuyết tật [15]      b) Phương án đo quét Raster kiểm tra độ mòn cho ống 24 inch [15]

**Hình 1.13:** Kiểm tra mòn của Mapman Scanner.



**Hình 1.14:** Hình ảnh bản đồ mòn thu được của Mapman [15]

Bài báo “*Development of an Automated Mobile Robot Vehicle Inspection System for NDT of Large Steel Plates*”(2017) [16], của M. Rakocevic, X. Wang, S. Chen, A. Khalid, T. Sattar and B. Bridge đã giới thiệu một robot di động sử dụng nam châm vĩnh cửu bám vào bề mặt vật đo. Robot mang 16 đầu dò siêu âm 2D phục vụ kiểm tra khuyết tật bên trong tấm thép phẳng lớn. Robot có thể di chuyển linh hoạt theo phương ngang, phương dọc trên mặt phẳng ngang như sàn tàu, sàn bồn chứa xăng dầu,... Hệ thống sử dụng một phần mềm để thu thập dữ liệu cho phép ghi nhận vị trí của robot khi di chuyển trên bề mặt tấm kim loại, qua đó phân tích và hình thành một bản đồ về các khuyết tật phát hiện được. Thử nghiệm kiểm tra được tiến hành trên tấm thép phẳng có độ dày 50 mm và có khuyết tật bên trong được tạo trước cho thấy đã ghi nhận được vị trí khuyết tật. Tuy nhiên, phần mềm này chưa thể hiện được kích thước, chiều sâu của khuyết tật tại vị trí tương ứng cho nên chỉ được sử dụng để phát hiện khuyết tật ở một vị trí đã được xác định trước và việc đánh giá khuyết tật sẽ sử dụng phương pháp kiểm tra khác.



a) Phương án đo kiểm của Mobile Robot vehicle [16]      b) Phần mềm điều khiển và phương án quét [16]

**Hình 1.15:** Hệ thống đo kiểm của Mobile Robot vehicle [16]

### 1.3.2 Các nghiên cứu trong nước

Robot leo tường của sinh viên đại học Bách Khoa Đà Nẵng dùng hai động cơ điều khiển các bánh xích ở hai bên. Robot được thiết kế nhỏ gọn và dùng cơ cấu hút chân không giúp robot dễ dàng bám dính trên tường.



**Hình 1.16:** Robot leo tường của sinh viên đại học Bách Khoa Đà Nẵng

Học viện Kỹ thuật Quân Sự đã nghiên cứu chế tạo thành công robot leo bám tường với mục đích làm sạch nhà cao tầng, kiểm tra vết nứt ở các công trình xây dựng, do thám trong quân sự. Robot này chỉ dừng lại ở việc nghiên cứu trong học tập, chưa ứng dụng được trong thực tế.



**Hình 1.17:** Robot leo bám tường của học viện Kỹ Thuật Quân Sự

Luận văn thạc sĩ của Trịnh Văn Thuyết trường ĐH SPKT Tp. Hồ Chí Minh (2013) [17] đã tiến hành nghiên cứu xây dựng quy trình kiểm tra mối hàn giáp mối ống sử dụng siêu âm PA tại Việt Nam. Kết quả nghiên cứu đã bước đầu đề xuất và đưa vào ứng dụng một quy trình kiểm tra mối hàn ống giáp mối ống bằng kỹ thuật PA ở các lĩnh vực chế tạo cơ khí, dầu khí, xây dựng, đóng tàu,... tại Việt Nam.

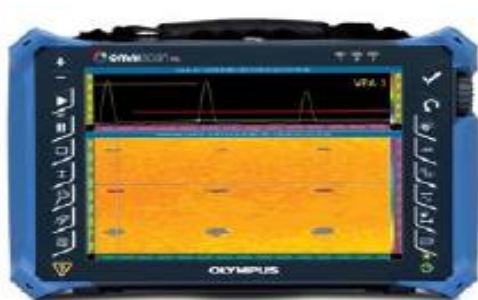
Luận văn thạc sĩ của Lê Duy Tuấn trường ĐH SPKT Tp. Hồ Chí Minh (2013) [18] đã đề xuất thiết kế, chế tạo một thiết bị phát hiện khuyết tật và ăn mòn đường ống nhỏ (< 1 inch) sử dụng kỹ thuật siêu âm PA.

Luận văn thạc sĩ của Trương Đình Sĩ trường ĐH SPKT Tp. Hồ Chí Minh (2014) [19] đã nghiên cứu phát triển thiết bị tự hành mang thiết bị kiểm tra và đánh

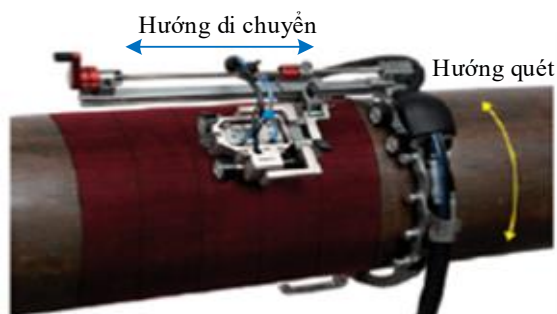
giá chất lượng đường ống ngầm sử dụng kỹ thuật siêu âm.

Luận văn thạc sĩ của Nguyễn Văn Tràng trường ĐH SPKT Tp. Hồ Chí Minh (2013) [20] đã nghiên cứu, thiết kế và chế tạo thử nghiệm thiết bị tự hành kiểm tra đánh giá chất lượng ống nhỏ bằng siêu âm PA.

Việc theo dõi và đánh giá ăn mòn nhằm đưa ra kế hoạch sửa chữa, bảo dưỡng thích hợp cho phép tăng tuổi thọ của trang thiết bị, đường ống, giảm thiểu rủi ro và tăng hiệu quả kinh tế. Trong đó, lập bản đồ ăn mòn cho một phần hoặc toàn bộ thiết bị, đường ống để theo dõi và đánh giá quá trình ăn mòn kim loại theo thời gian, nhằm tối ưu hóa trong quản lý bảo trì, bảo dưỡng thiết bị là một nghiên cứu ứng dụng của Nguyễn Thị Lê Hiền và cộng sự (2016) [3] tại Viện Dầu khí Việt Nam. Nghiên cứu đã sử dụng thiết bị siêu âm PA MX2 với nhiều biến tử, hội tụ và quét chùm tia bằng đầu dò HydroFORM của hãng Olympus. Đánh giá thực tế mức độ ăn mòn của đường ống thép cacbon có đường kính  $\text{Ø}508$  mm, dài 12 cm, dày 10,5 mm, nhiệt độ bề mặt  $26^{\circ}\text{C}$ . Công bố không đề cập đến phương án quét, thực hiện ghép ảnh thủ công trên PC với sự hỗ trợ của phần mềm TomoView [14], chủ yếu là khai thác và đánh giá các tính năng của thiết bị do Olympus cung cấp ứng dụng trong lĩnh vực đường ống dầu khí.

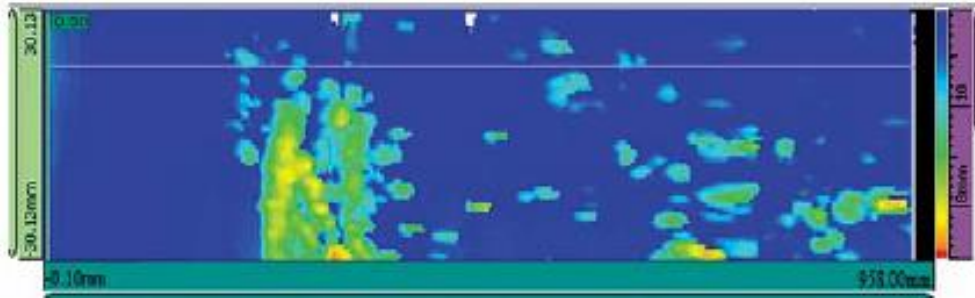


a) Máy siêu âm OmniScan MX2



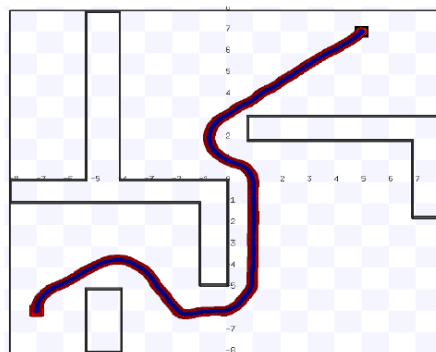
b) Bộ quét và đầu dò HydroForm

**Hình 1.18:** Thiết bị siêu âm và bộ quét của hãng Olympus [3]



**Hình 1.19:** Bản đồ ăn mòn của đường ống dầu khí thử nghiệm [3]

Bài báo “*Hoạch định quỹ đạo cho robot di động dùng thuật toán PSO*” của tác giả Ngô Văn Thuyên và Lâm Văn Vũ, trường Đại học SPKT TPHCM (2013) [21]. Bài báo này trình bày một phương pháp để điều khiển robot di chuyển từ vị trí ban đầu đến đúng mục tiêu đặt ra. Trước hết một bản đồ đã được xây dựng để diễn tả không gian làm việc của robot di động. Sau đó thuật toán  $D^*$  được sử dụng để tìm các tọa độ ngắn nhất từ điểm đầu đến điểm kết thúc và ứng dụng thuật toán PSO để tìm vận tốc góc và vận tốc dài tối ưu cho robot để robot có thể di chuyển theo đường dẫn cho trước. Và cuối cùng, phương pháp trường thế năng đã được sử dụng để tránh vật cản trên đường đi. Kết quả mô phỏng trên phần mềm Player/Stage đã cho thấy tính hiệu quả của thuật toán trong việc điều khiển robot tự hành di chuyển đến mục tiêu. Các kết quả đạt được mới chỉ được đánh giá về phương diện lý thuyết.



**Hình 1.20:** Đường đi của robot sử dụng thuật toán PSO [21]

Bài báo “*Hệ tìm kiếm đa robot trong vùng bị thảm họa sử dụng thuật toán tối ưu bầy đàn*” của tác giả Phạm Duy Hưng, Phạm Minh Triển và Trần Quang Vinh (2011) [22] giới thiệu cách giải quyết bài toán tìm mục tiêu tối ưu cho một hệ gồm nhiều robot di động hoạt động tự quản trị sử dụng thuật toán tối ưu bầy đàn



PSO. Cơ sở lý thuyết và mô phỏng bài toán giả định hệ đa robot tìm kiếm trong một khu vực có nồng độ nhiễm xạ cao (giả lập vùng bị thảm họa hạt nhân) đã được thực hiện. Hệ thống này có tốc độ hội tụ nhanh, tỷ lệ trúng mục tiêu cao và với giả định mật độ phóng xạ phân bố đều giảm dần theo bình phương khoảng cách so với vị trí tâm thì tỷ lệ này luôn đạt 100%.

## **1.4 Các tồn tại, định hướng và nội dung nghiên cứu**

### **1.4.1 Các tồn tại**

Hiện nay, việc đánh giá độ mòn của bồn chứa phụ thuộc rất nhiều vào các yếu tố như trang thiết bị, trình độ kỹ thuật viên, phương án đo kiểm, phần mềm xây dựng bản đồ mòn và những điều kiện đặc biệt khác. Các tồn tại có thể kể đến như:

- Thiết bị: việc kiểm tra đánh giá độ mòn hiện nay chủ yếu sử dụng phương pháp siêu âm thông thường hoặc siêu âm PA;
- Robot: đã được sử dụng vào quá trình kiểm tra siêu âm, nhưng chủ yếu là để kiểm tra khuyết tật hàn, độ mòn cho đường ống. Robot đo độ mòn bồn chứa chủ yếu vẫn là kiểm tra đánh giá độ mòn ở một khu vực xác định, không quan tâm nhiều đến phương án đo kiểm, ghép ảnh gián tiếp và có giá thành rất đắt do công nghệ bản quyền;
- Kỹ thuật viên: phải được đào tạo từ các chuyên gia nước ngoài;
- Phương án đo kiểm: chưa thấy đề cập đến phương án đo cụ thể cho từng loại robot.
- Quảng đường di chuyển ngắn nhất: có nhiều bài báo đề cập về vấn đề này nhưng chỉ dừng lại ở việc nghiên cứu lý thuyết. Một số nghiên cứu đã ứng dụng thuật toán PSO, GA [23, 24, 25, 26] để xác định phương án di chuyển tối ưu để tìm được quảng đường di chuyển ngắn nhất hoặc tránh vật cản nhưng chủ yếu là mô phỏng, thực nghiệm so sánh trên mô hình thực tế chưa nhiều. Và để đánh giá mức độ ăn mòn bồn chứa ở Việt Nam hiện nay vẫn chưa thấy công bố nào áp dụng phương án đo kiểm có quảng đường di chuyển ngắn nhất, chủ yếu vẫn là sử dụng phương pháp thủ công di chuyển đầu dò bằng tay để thu thập hình ảnh mòn;
- Bản đồ mòn: chủ yếu là ghép ảnh trực tiếp trên hệ thống thiết bị siêu âm

hoặc ghép ảnh gián tiếp trên PC sử dụng phần mềm độc quyền [11, 12,]. Do vậy chi phí đầu tư lúc ban đầu rất cao, chỉ chuyên giao công nghệ thông qua các gói dịch vụ. Chưa tìm thấy các công bố về xử lý ảnh nói chung, ghép ảnh để xây dựng bản đồ mòn đường ống dẫn, bồn chứa.

Quá trình kiểm tra siêu âm tại nước ngoài có nhiều bước phát triển với việc ứng dụng robot vào quá trình kiểm tra siêu âm đo độ mòn bồn chứa xăng dầu ngày càng rộng rãi. Nhưng mỗi robot lại hoạt động không giống nhau do có mục đích rất khác nhau và chưa lưu ý nhiều đến phương án đo kiểm để giảm thiểu tối đa thời gian đo kiểm, tăng độ tin cậy cũng như chất lượng ảnh thu thập được. Bên cạnh đó, do robot chỉ hoạt động trong một phạm vi nhỏ nghi ngờ có mòn chỉ thực hiện lập bản đồ mòn cục bộ với một phạm vi nhất định cho nên việc lập được bản đồ ăn mòn tổng thể chưa được quan tâm nhiều.

#### **1.4.2 Định hướng và nội dung nghiên cứu**

##### **1.4.2.1 Định hướng nghiên cứu**

Hiện nay, phương pháp siêu âm PA đã và đang được ứng dụng mạnh mẽ tại Việt Nam. Do thiết bị đắt tiền, nhân viên kiểm tra cần được đào tạo nghiêm ngặt và quan trọng hơn hết là các quy trình đo, phương án đo kiểm cũng như kinh nghiệm giải mã hình ảnh, lập bản đồ mòn đòi hỏi phải được chuyển giao công nghệ hoặc mua bản quyền. Do vậy, trước tình hình đo kiểm đánh giá độ mòn bằng phương pháp thủ công như hiện nay có năng suất và độ chính xác thấp, tiêu tốn nhiều thời gian và nhiều nguy cơ tiềm ẩn về an toàn lao động cho người kiểm tra cần triển khai công việc đo bằng công nghệ kỹ thuật tiên tiến, độ tin cậy, năng suất cao, an toàn. Đặc biệt là trong thời gian gần đây, nền kinh tế Việt Nam phát triển mạnh mẽ đã dẫn đến sự bùng nổ các dự án kho - cảng chứa xăng dầu hay nói khác đi số lượng bồn chứa xăng dầu có dung tích lớn tăng mạnh đòi hỏi kiểm tra đánh giá bảo trì, bảo dưỡng định kỳ sau khi chế tạo cũng như sau một thời gian sử dụng. Từ các nhận xét trên, định hướng nghiên cứu trong luận án được đề xuất như sau:

- Nghiên cứu bồn chứa xăng dầu và các khuyết tật mòn thường xuất hiện trên bồn chứa xăng dầu dung tích lớn; Nghiên cứu các phương pháp đo kiểm độ mòn,

đặc biệt là kiểm tra độ mòn bằng phương pháp siêu âm PA;

- Nghiên cứu phương thức phân mảnh bồn chứa sử dụng thiết bị đo khoảng cách laser và thiết bị cân bằng độ vuông góc (level laser) các diện tích quét trên bồn chứa, định vị robot và đầu đo siêu âm PA bằng camera quan sát, bài toán robot tránh các vật cản toàn cục (vật cản là các ống chờ các mặt bích) để đi đến các điểm bắt đầu thực hiện các đường quét tiếp theo.

- Nghiên cứu thiết kế robot có thể mang đầu dò siêu âm PA phục vụ kiểm tra mòn bồn chứa;

- Nghiên cứu quy trình đo kiểm tra bằng phương pháp siêu âm PA trên bồn chứa xăng dầu sử dụng robot mang đầu đo PA.

- Nghiên cứu mô hình toán giúp xác định quãng đường di chuyển ngắn nhất trên cơ sở thuật toán tối ưu bầy đàn PSO để đề xuất giải pháp đo kiểm (phương án đo) đánh giá độ ăn mòn của một diện tích quét cụ thể đã được phân mảnh bồn chứa xăng dầu;

- Nghiên cứu cách thức thu thập dữ liệu từ phương pháp siêu âm PA để có thể ghép nối các dữ liệu tạo thành bản đồ mòn;

- Nghiên cứu, xây dựng thuật toán ghép ảnh, lập bản đồ mòn từ dữ liệu C-Scan thu thập bằng phương pháp siêu âm PA.

- Thực nghiệm ứng dụng robot mang đầu dò siêu âm để kiểm tra độ mòn trên mô hình bồn chứa trên cơ sở các kết quả lý thuyết; Đối chiếu với kỹ thuật kiểm tra truyền thống nhằm xác định độ chính xác và độ tin cậy của phép đo được đề xuất.

#### 1.4.2.2 Nội dung nghiên cứu

Các nội dung sau đây sẽ được tập trung nghiên cứu:

- **Nội dung 1:** *Nghiên cứu tổng quan về bồn chứa xăng dầu dung tích lớn và kỹ thuật đo độ mòn.*
  - Kỹ thuật đo độ mòn;
  - Các công trình nghiên cứu trong và ngoài nước có liên quan
  - Thực trạng đo kiểm tra độ mòn tại Việt Nam
  - Phương pháp nghiên cứu: thu thập thông tin, lý thuyết, thực nghiệm,...

- **Nội dung 2:** *Nghiên cứu quy trình đo kiểm bồn chứa sử dụng robot mang đầu dò siêu âm PA*
  - Nghiên cứu đề xuất kết cấu và yêu cầu kỹ thuật của robot;
  - Đề xuất phương án thiết kế và chế tạo thử nghiệm robot mang đầu dò siêu âm PA;
  - Kiểm nghiệm độ tin cậy của robot
  - Đề xuất quy trình đo kiểm tra mòn bồn chứa ứng dụng kỹ thuật siêu âm (PAUT) sử dụng robot mang đầu dò siêu âm PA.
- **Nội dung 3:** *Nghiên cứu mô hình toán tìm quãng đường di chuyển ngắn nhất*
  - Nghiên cứu, phân tích các phương án di chuyển phù hợp với điều kiện của robot đã được chế tạo.
  - Xây dựng mô hình bài toán tìm thời gian ngắn nhất cho một chu kỳ quét thu thập hình ảnh mòn.
  - Ứng dụng thuật toán PSO để xác định quãng đường di chuyển cho một chu kỳ quét là ngắn nhất (thời gian ngắn nhất) trong phần mềm Matlab.
  - Phân tích, đề xuất phương án đo kiểm phù hợp.
- **Nội dung 4:** *Nghiên cứu xây dựng thuật toán ghép ảnh, lập bản đồ mòn*
  - Nghiên cứu, xây dựng thuật toán ghép ảnh, lập bản đồ mòn từ dữ liệu C-Scan thu thập được bằng phương pháp siêu âm PA
  - Nghiên cứu xây dựng thuật toán ghép ảnh, lập bản đồ mòn. Phát triển phần mềm xây dựng bản đồ mòn ứng dụng phần mềm Matlab.
- **Nội dung 5:** *Thực nghiệm đo mòn và xây dựng bản đồ mòn*
  - Thiết kế và chế tạo mô hình một phần bồn chứa;
  - Thực nghiệm đo kiểm mòn trên mô hình bồn chứa.
  - Ghép ảnh tạo lập bản đồ mòn bằng phần mềm Matlab với dữ liệu hình ảnh đã thu thập trên mô hình bồn chứa.

## **1.5 Mục tiêu, phạm vi và đối tượng nghiên cứu**

### **1.5.1 Mục tiêu nghiên cứu**

#### **1.5.1.1 Mục tiêu chung**

Nghiên cứu, đề xuất giải pháp xây dựng bản đồ mòn bồn chứa xăng dầu dung tích lớn sử dụng robot mang đầu dò siêu âm PA.

#### **1.5.1.2 Mục tiêu cụ thể**

- Nghiên cứu đề xuất các thông số kỹ thuật của robot mang đầu dò siêu âm PA ứng dụng kỹ thuật siêu âm tổ hợp pha (PAUT) cho kiểm tra đánh giá độ mòn bồn chứa xăng dầu.

- Nghiên cứu xác định các phương án di chuyển của robot sao cho quãng đường di chuyển của robot là ngắn nhất để có được thời gian thu thập hình ảnh mòn cho một diện tích quét cụ thể là nhỏ nhất.

- Nghiên cứu phương án di chuyển phù hợp của robot khi thu thập ảnh mòn sao cho quãng đường di chuyển là ngắn nhất có thể, dễ dàng xác định các ảnh mòn kề liền nhau giúp việc ghép ảnh hình thành bản đồ mòn được dễ dàng. Qua đó xác định giải thuật, phát triển phần mềm xây dựng bản đồ mòn cũng như cho phép đánh giá độ mòn của bồn chứa cùng với các thông số cụ thể.

### **1.5.2 Phạm vi nghiên cứu**

- Bồn chứa xăng dầu trụ đứng có đường kính không quá 30 m, chiều cao không quá 18 m, dung tích lớn từ 10.000 m<sup>3</sup> trở lên, vật liệu chế tạo bồn là thép.

- Robot mang thiết bị siêu âm kiểm tra độ mòn của bồn tự chế tạo.

- Phương án đo kiểm, đánh giá độ mòn chỉ áp dụng cho phần thân của bồn (phần mái và đáy bồn không nằm trong phạm vi nghiên cứu của luận án).

- Chương trình (phần mềm) ghép ảnh để hình thành bản đồ mòn thực hiện trên phần mềm Matlab từ dữ liệu ảnh mòn thu được khi kiểm tra siêu âm bồn chứa.

### **1.5.3 Đối tượng nghiên cứu**

Với các mục tiêu trên, các đối tượng nghiên cứu của đề tài có thể được xác định bao gồm:

- Bồn chứa xăng dầu;

- Khuyết tật mòn trên thân bồn chứa xăng dầu dung tích lớn;
- Ảnh mòn, bản đồ mòn;
- Robot mang đầu dò siêu âm PA, thiết bị siêu âm PA.

## **1.6 Phương pháp nghiên cứu**

### **1.6.1 Phương pháp thu thập thông tin**

Thu thập tài liệu từ các bài báo khoa học, tạp chí, các sách giáo trình, tài liệu chuyên ngành và nguồn từ internet trong, ngoài nước có liên quan đến nội dung nghiên cứu, từ đó tìm hiểu và phân tích.

Khảo sát, tìm hiểu các trang thiết bị, dụng cụ, cơ sở vật chất sẵn có để thực hiện thí nghiệm kiểm chứng.

### **1.6.2 Phương pháp nghiên cứu lý thuyết**

Nghiên cứu lý thuyết bao gồm:

- Nghiên cứu các loại bồn chứa;
- Nghiên cứu các khuyết tật mòn thường gặp trên bồn chứa;
- Nghiên cứu các dạng robot có thể di chuyển trên bề mặt kim loại;
- Nghiên cứu bài toán tối ưu xác định quãng đường di chuyển của robot;
- Nghiên cứu thuật toán tối ưu hóa bầy đàn PSO để xác định phương án đo kiểm;
- Nghiên cứu các phương pháp kiểm tra, đánh giá độ mòn ứng dụng kiểm tra cho bồn chứa xăng dầu dung tích lớn đặc biệt là phương pháp siêu âm;
- Nghiên cứu thông số kỹ thuật và tính năng của máy siêu âm OmniScan;
- Nghiên cứu thuật toán ghép ảnh tạo lập bản đồ mòn trên phần mềm Matlab.

### **1.6.3 Phương pháp nghiên cứu thực nghiệm**

Xây dựng mô hình bồn chứa, chế tạo robot, thực nghiệm đánh giá phương án đo mòn hợp lý, xây dựng thuật toán ghép ảnh giúp tạo lập bản đồ mòn cho phép đánh giá độ mòn tại bất kỳ vị trí nào của thân bồn chứa.

Thực hiện tiến hành thực nghiệm một cách chủ động để có thể kiểm chứng các nghiên cứu lý thuyết:

- Trang thiết bị phục vụ thực nghiệm: mô hình bồn chứa, robot mang đầu dò

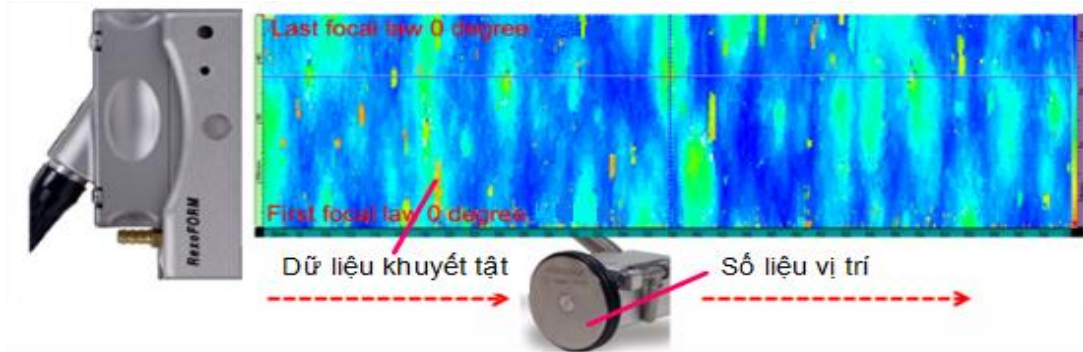
siêu âm PA, phần mềm xây dựng bản đồ mòn chuyên dụng.

- Địa điểm thực hiện: tại phòng thí nghiệm thuộc nhóm Nghiên cứu trọng điểm Kỹ thuật Cơ khí và Môi trường (REME LAB), trường đại học Sư phạm Kỹ thuật Tp. HCM.

#### 1.6.4 Phương pháp thu thập dữ liệu

##### 1.6.4.1 Thu thập dữ liệu theo 1 trục

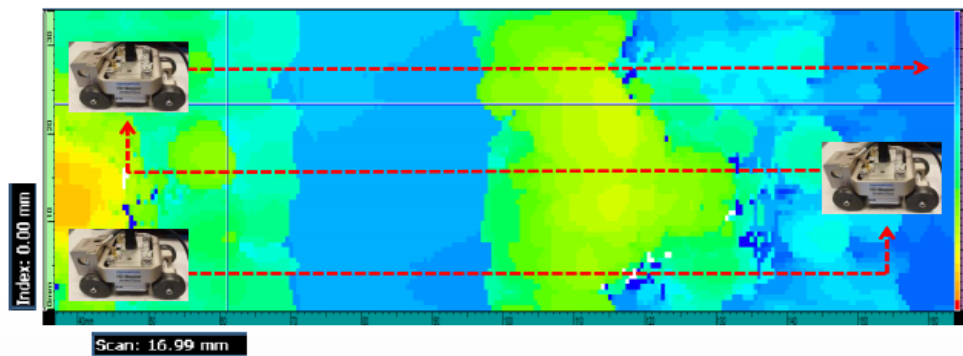
Đây là cách thức thu thập dữ liệu khi thiết bị di chuyển theo 1 trục xác định (OX hoặc OY) [9]. Khi di chuyển theo 1 trục ta sẽ có được dữ liệu vị trí và dữ liệu hình ảnh phục vụ chẩn đoán khuyết tật tương ứng với vị trí. Dữ liệu vị trí được một encoder kết nối với bánh xe cung cấp. Dữ liệu hình ảnh sẽ được tạo ra bằng phương thức C-Scan (đầu dò chỉ dịch chuyển theo một trục).



**Hình 1.21:** Dữ liệu thu thập từ 1 trục [9]

##### 1.6.4.2 Thu thập dữ liệu theo 2 trục

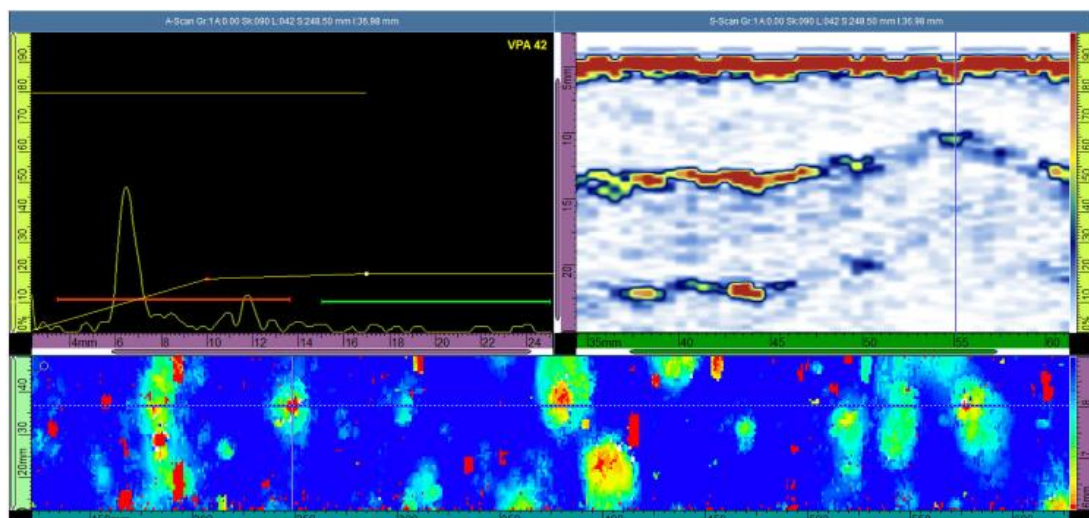
Việc thu thập dữ liệu bằng 2 trục cho phép dữ liệu thu thập được theo hai phương X, Y [10]. Khi di chuyển theo 2 trục thiết bị sẽ cho phép thu thập dữ liệu vị trí và dữ liệu hình ảnh liên tục (không có sự gián đoạn). Hai encoder được gắn trên hai bánh xe riêng biệt nhằm mục đích xác định vị trí phương X và Y. Thiết bị tự động thu thập dữ liệu hình ảnh tương ứng với tọa độ (X, Y) theo phương thức C-Scan.



**Hình 1.22:** Dữ liệu thu thập từ 2 trục [2],[10]

### 1.6.5. Phân tích hình ảnh độ mòn thu thập

Phân tích dữ liệu bản đồ ăn mòn chủ yếu đạt được thông qua thao tác bảng màu trên vị trí C-Scan [8] để có độ tương phản tối đa hiển thị các khu vực ăn mòn và phân tích điểm dữ liệu riêng lẻ trên A-Scan và S-scan để đánh giá sự bất thường, đặc tính ăn mòn và loại bỏ nghi ngờ các giá trị đọc. Việc phân tích cũng bao gồm điều chỉnh vị trí cổng và logic cổng để đọc chiều dày thích hợp (T A/, T B/-A/...) [8]. Màu sắc trong ảnh thể chiều dày ăn mòn trong C-Scan.



**Hình 1.23:** Màu trong kiểm tra siêu âm PA C-Scan ăn mòn [8]

#### 1.6.5.1 Phạm vi chiều dày C-Scan

Dữ liệu thường được thu thập với bảng màu của vị trí C-Scan được chia tỷ lệ trên toàn bộ phạm vi chiều dày và sau đó thay đổi trong chế độ phân tích để phù hợp với điều kiện ăn mòn. Hình 1.24 minh họa chi tiết kiểm tra có chiều dày 20 mm



và việc thu thập ban đầu được thực hiện với bảng màu được chia tỷ lệ trong phạm vi từ 2 – 20 mm.

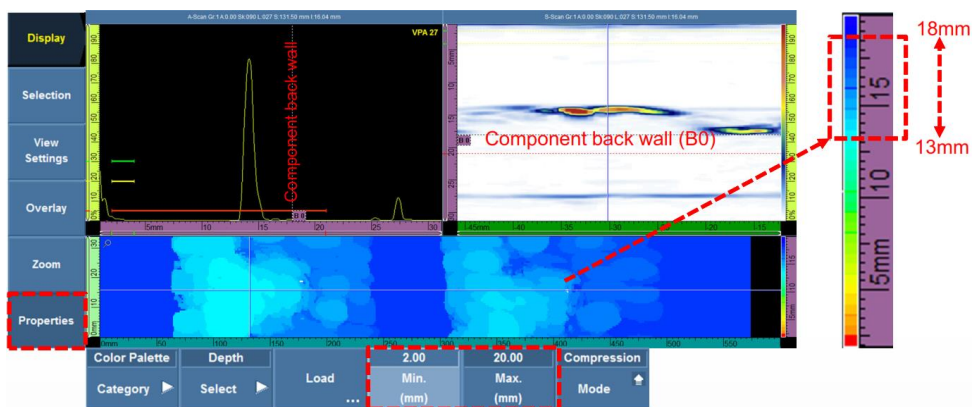


**Hình 1.24:** Tỷ lệ bảng màu và chiều dày [8]

Trong hệ OmniScan MX2 phạm vi chiều dày được nhập trong [Gates] → [Thickness] → [Min và Max]. Giá trị này được thiết lập để giới hạn việc đọc chiều dày cho Tmin và TminZ để phát hiện các bất thường gần bề mặt.

### 1.6.5.2 Bảng màu C-Scan

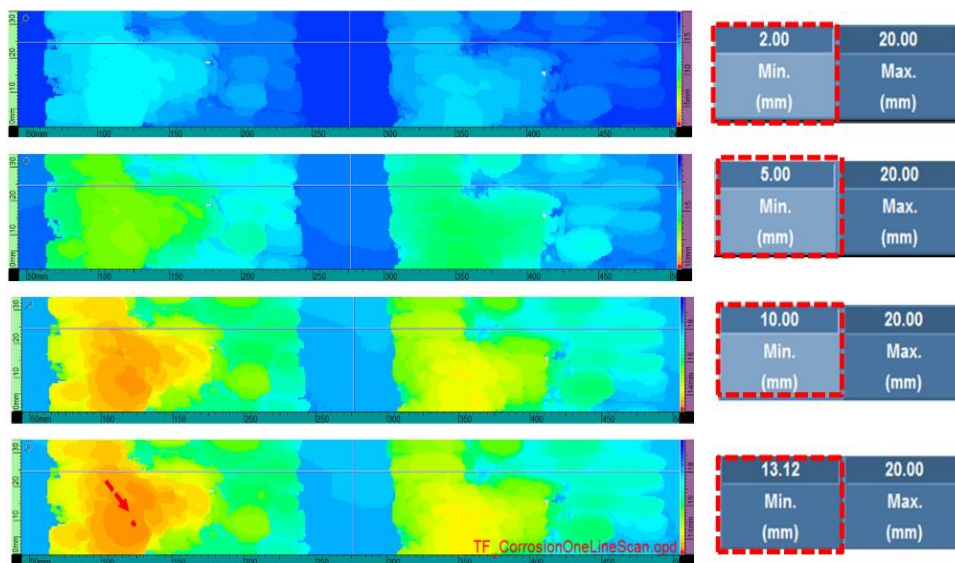
Thang đo độ dày tương tự được nhập trong [Gate] → [Thickness], thường được mặc định có cùng giá trị nhưng có chức năng khác nhau và là cấu hình độc lập. Trước khi thay đổi [Min và Max.], màu của C-Scan chỉ ra phạm vi đọc chiều dày gần đúng được chứa trong vùng màu xanh dương của bảng màu.



**Hình 1.25:** So sánh màu và thang đo chiều dày [8]

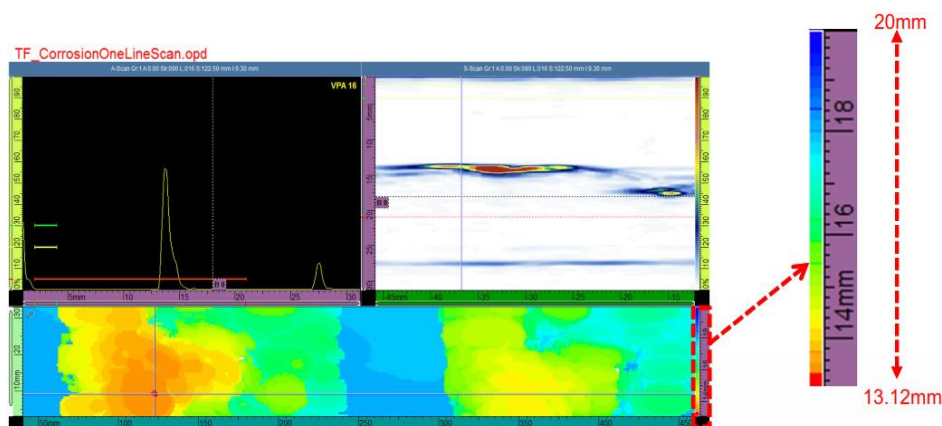
Tăng giá trị [Min và Max] cho đến khi một hoặc nhiều điểm ảnh màu đỏ xuất hiện trong C- Scan. Trong hình 1.25, một điểm ảnh màu đỏ xuất hiện ở chiều dày

13.12 mm. Điểm ảnh màu đỏ xác định giá trị đọc mỏng nhất trong C-Scan và chỉ báo đây là khu vực bị ăn mòn nghiêm trọng nhất.



**Hình 1.26:** Xác định chiều dày còn lại nhỏ nhất và lớn nhất [8]

Định vị các con trỏ dữ liệu trên điểm đỏ để hiển thị khẩu độ đầu dò trong S-Scan và A-Scan riêng lẻ, trực quan hóa A-Scan để đảm bảo được việc đọc là hợp lệ và không phải là kết quả của giao diện ở mức 0 mm can thiệp vào cổng Gate hoặc một số bất thường khác. Sau đó, định vị lại cổng Gate nếu cần thiết để cập nhật C-Scan. Độ ăn mòn thường được báo cáo là điểm dữ liệu mỏng nhất.

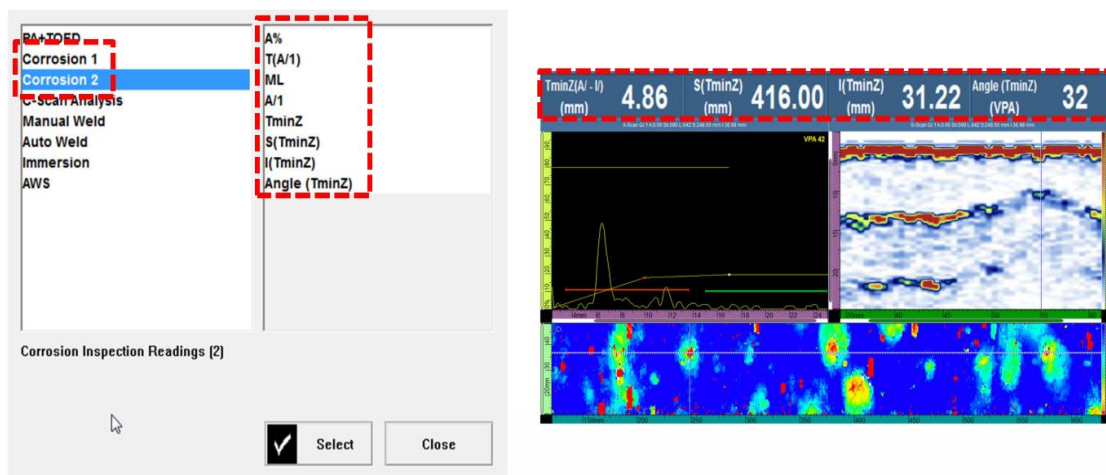


**Hình 1.27:** Xác định chiều dày, dữ liệu mỏng nhất còn lại của vật kiểm [8]

### 1.6.5.3 Các giá trị của độ mòn

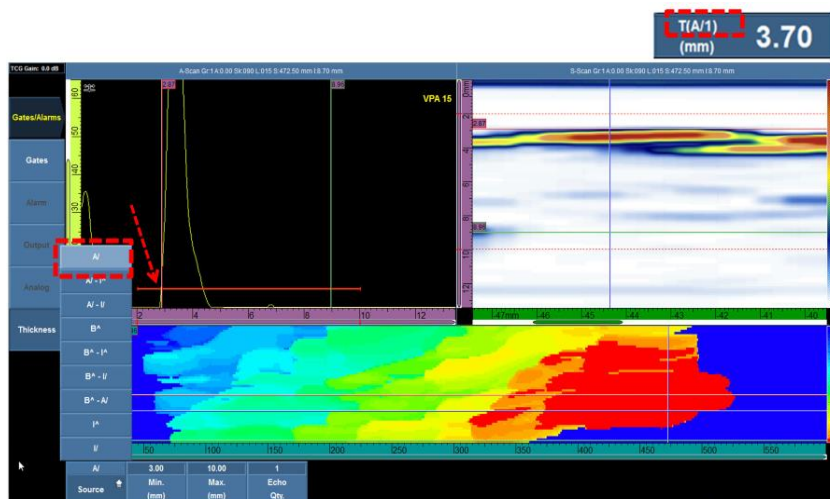
Các giá trị đọc có sẵn trong các danh sách được cấu hình mặc định theo ứng dụng hoặc bằng cách chọn chúng riêng lẻ trong [Measurement] → [Readings] [8].

Có 8 giá trị đọc được hiển thị trong hai nhóm có thể được bật bằng cách chạm vào màn hình trong khu vực người dùng. Các giá trị đọc liên quan đến bản đồ ăn mòn được minh họa dưới đây và sẽ xuất hiện trong bảng chỉ thị và báo cáo.



**Hình 1.28:** Bảng các giá trị độ mòn [8]

Việc đọc T (A/1) [10] sẽ hiển thị chiều dày của chi tiết kiểm tra tại vị trí của con trỏ dữ liệu và việc đọc này phụ thuộc vào nguồn chiều dày được chọn trong [Gates\Alarms] → [Thickness] → [Source].

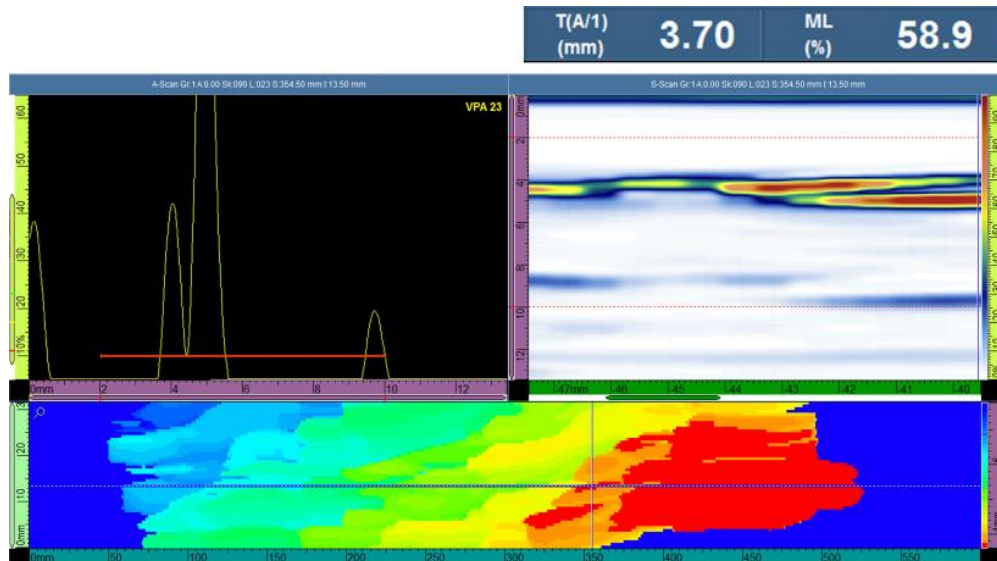


**Hình 1.29:** Giá trị đọc – T(A/1) [8]

- **Giá trị Material Loss (ML)**

Giá trị ML sẽ hiển thị mức độ tổn thất vật liệu ở điểm dữ liệu hiện tại theo phần trăm so với chiều dày được nhập trong [Group\Part] → [Part] → [Thickness].

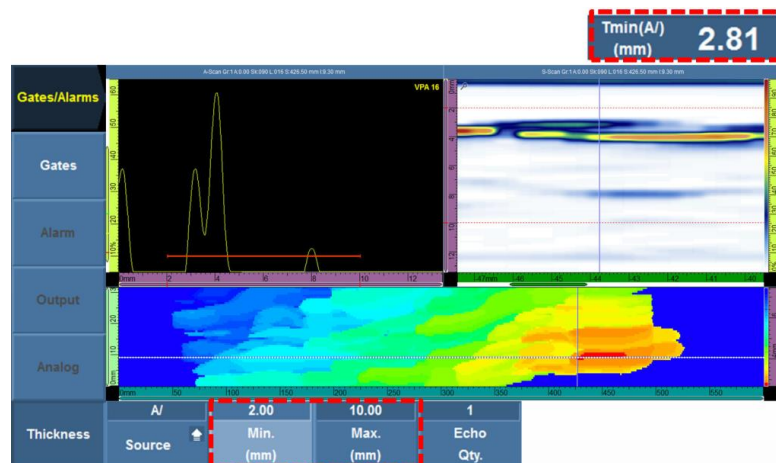
Hình 3.19 cho biết chiều dày (còn lại) ở điểm hiện tại là 3.70 mm, tổn thất (độ mòn) là 58.9% (so với chiều dày 9 mm nguyên bản).



Hình 1.30: Giá trị ML (%) [8]

- Giá trị Tmin

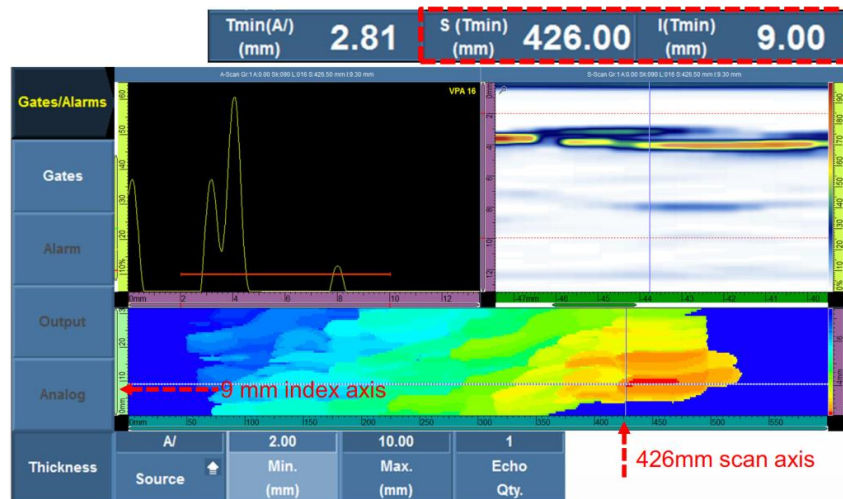
Giá trị Tmin [10] sẽ hiển thị giá trị đọc thấp nhất được phát hiện trong quá trình thu thập và sẽ thiết lập lại khi bắt đầu thu thập mới. Tmin sẽ chỉ hiển thị mức đọc thấp nhất trong phạm vi được xác định trong [Gate] → [Alarms] → [Thickness] → [Source] → [Min và Max].



Hình 1.31: Giá trị Tmin [7]

- **Giá trị S (Tmin) và I (Tmin)**

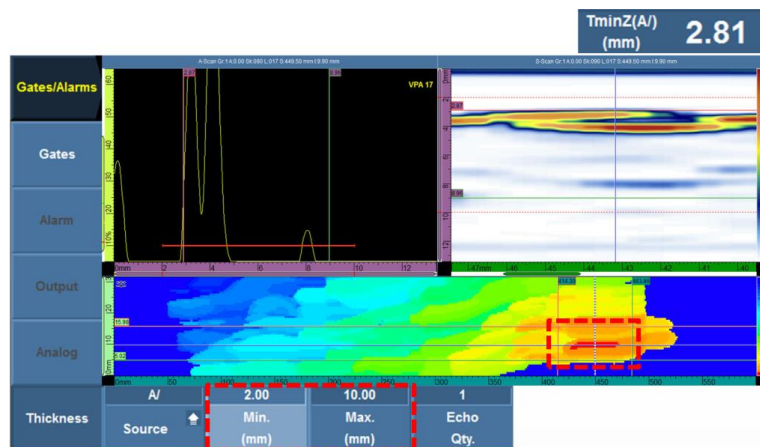
Hình 1.32 minh họa giá trị S (Tmin) = 426 mm hiển thị tại vị trí trên trục quét ngang (màu xanh ngọc trong hình C-Scan) mà từ đó đọc được giá trị Tmin. Giá trị I (Tmin) = 9 mm hiển thị tại vị trí trên trục đứng (màu xanh lá cây trong hình C-Scan) mà từ đó cũng đọc được giá trị Tmin.



**Hình 1.32:** Giá trị S (Tmin) và I (Tmin) [8]

- **Giá trị TminZ**

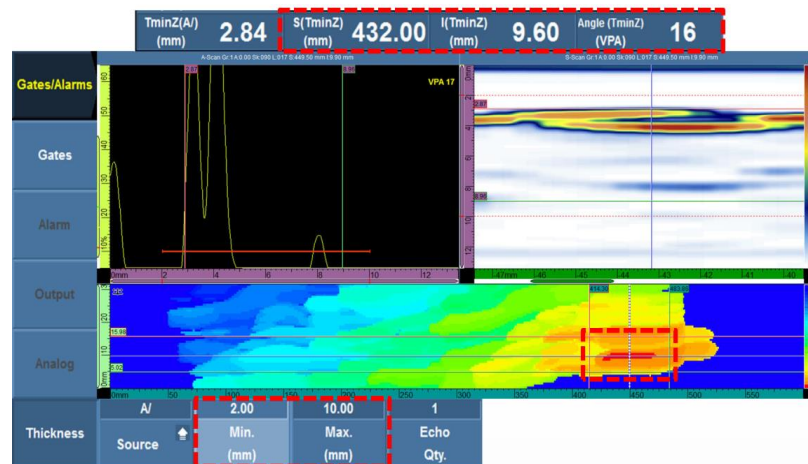
Giá trị TminZ sẽ hiển thị giá trị đọc thấp nhất trong vùng hình chữ nhật trên C-Scan được tạo bởi các con trỏ tham chiếu và đo lường. TminZ phụ thuộc vào chế độ chiều dày được chọn trong [Gate] → [Thickness] → [Source]. Việc xác định giá trị TminZ sẽ chỉ hiển thị mức đọc thấp nhất trong phạm vi được xác định trong [Gate] → [Alarms] → [Thickness] → [Source] → [Min và Max].



**Hình 1.33:** Giá trị TminZ [8]

- **Giá trị S (TminZ) và I (TminZ)**

Giá trị S (TminZ) = 432 mm là vị trí của TminZ được đọc trên trục quét thước ngang màu xanh ngọc trong hình C-Scan. Giá trị I (TminZ) = 9.6 mm là vị trí của việc đọc TminZ trên trục quét trong C-Scan (thước dọc màu xanh lá cây trên C-Scan).



**Hình 1.34:** Giá trị S (TminZ) và I (TminZ) [8]

#### 1.6.5.4 Báo cáo kết quả siêu âm ảnh mìn

Báo cáo được tạo tự động và bao gồm thông tin về thiết bị và phần mềm, các tham số của kiểm tra bao gồm các cài đặt UT, thiết lập mảng pha, hiệu chuẩn, thu nhận và các khuyết tật từ bảng chỉ thị [8].

Báo cáo được lưu ở định dạng HTML [8] và có thể được mở trên thiết bị OmniPC hoặc từ bất kỳ trình duyệt web nào như Internet Explorer.

<b>Report Date</b> 2020 / 06 / 29	<b>Report Version</b> OmniPC - 4.4R3	<b>File Name</b> tuan_line_00_18-08.opd	<b>Inspection Date</b> 2020 / 04 / 24	<b>Inspection Version</b> MXU - 4.4R3	<b>Save Mode</b> Report
<b>OmniScan Type</b> OmniScan MX2	<b>OmniScan Serial #</b> OMNI2-103988	<b>Module Type</b> OMNI-M2-PA1664	<b>Module Serial #</b> QC-009585	<b>Data File Name</b> tuan_line_00_18-##	

### PA 1

#### Setup

<b>A:0.00 Sk:090 L:001</b>					
<b>Beam Delay</b> 0.0 $\mu$ s	<b>Start (Half Path)</b> -3.00 mm	<b>Range (Half Path)</b> 19.43 mm	<b>Max. Acq Rate</b> 193	<b>Type</b> PA	<b>Averaging Factor</b> 1
<b>Scale Type</b>	<b>Scale Factor</b>	<b>Video Filter</b>	<b>Pretrig.</b>	<b>Rectification</b>	<b>Filter</b>
<b>Compression</b> 3		<b>On</b>	<b>0.00 <math>\mu</math>s</b>	<b>FW</b>	<b>Band-pass 5.5 MHz (2.5 - 8.0MHz)</b>
<b>Voltage</b> 40 (Low)	<b>Gain</b> 19.95 dB	<b>Mode</b> PE (Pulse-Echo)	<b>Wave Type</b> Longitudinal	<b>Sound Velocity</b> 5890.0 m/s	<b>Pulse Width</b> 100.00 ns
<b>Scan Offset</b> 0.00 mm	<b>Index Offset</b> 0.00 mm	<b>Probe Skew</b> 90.0°	<b>C-Scan Time Resolution</b> 2.5 ns	<b>Digitizing Frequency</b> 100 MHz	<b>A-Scan Time Resolution</b> 30.0 ns
<b>Gate</b>	<b>Start</b>	<b>Width</b>	<b>Threshold</b>	<b>Synchro.</b>	<b>Peak Selection</b>
I	44.62 mm	15.02 mm	20.00 %	I-edge	First Peak
A	7.01 mm	12.49 mm	10.00 %	I-edge	First Peak
B	0.00 mm	20.00 mm	30.00 %	I-edge	Max Peak
<b>TCG Point Number</b>	<b>Position (Half Path)</b>	<b>Gain</b>			
1	6.00 mm	0.0 dB			
2	14.03 mm	12.0 dB			
3	14.06 mm	13.0 dB			

#### Calculator

<b>Element Qty. Used</b> 6	<b>First Element</b> 1	<b>Last Element</b> 64	<b>Resolution</b> 1.0	<b>Wave Type</b> Longitudinal	<b>Material Velocity</b> 5890.0 m/s
<b>Start Angle</b> 0.00°	<b>Stop Angle</b> N/A	<b>Angle Resolution</b> N/A	<b>Focus Depth</b> 12.00 mm	<b>Law Configuration</b> Linear at 0°	<b>Beam Skew</b> 0.00°

#### Part

<b>Material</b> STEEL, MILD	<b>Geometry</b> Plate	<b>Thickness</b> 12.00 mm
--------------------------------	--------------------------	------------------------------

#### Scan Area

<b>Scan Start</b> 0.00 mm	<b>Scan Length</b> 1000.00 mm	<b>Scan Resolution</b> 1.00 mm
<b>Synchro.</b>	<b>Max. scan speed</b> 193.07 mm/s	
<b>Encoder</b>		
<b>Axis</b> Scan	<b>Encoder</b> 1	<b>Encoder Type</b> Quadrature
		<b>Encoder Resolution</b> 12.00 step/mm
		<b>Polarity</b> Normal

<b>A%<sub>el</sub></b> 150.7 %	<b>T(A<sup>1</sup>-I<sup>1</sup>)</b> 12.13 mm	<b>ML</b> -1.1 %	<b>A<sup>1</sup>-(I<sup>1</sup>)</b> 12.13 mm	<b>TminZ</b> --- mm	<b>S(TminZ)</b> --- mm	<b>I(TminZ)</b> --- mm	<b>Angle (TminZ)</b> --- VPA
-----------------------------------	---	---------------------	--	------------------------	---------------------------	---------------------------	---------------------------------

**Hình 1.35:** Báo cáo kết quả siêu âm PA

## Chương 2

# QUY TRÌNH THỰC NGHIỆM ĐO KIỂM TRA ĐỘ MÒN BỒN CHỨA

### 2.1 Đề xuất thông số kỹ thuật thiết kế, chế tạo robot mang đầu dò siêu âm PA

#### 2.1.1 Yêu cầu kỹ thuật cần có của robot mang đầu dò siêu âm

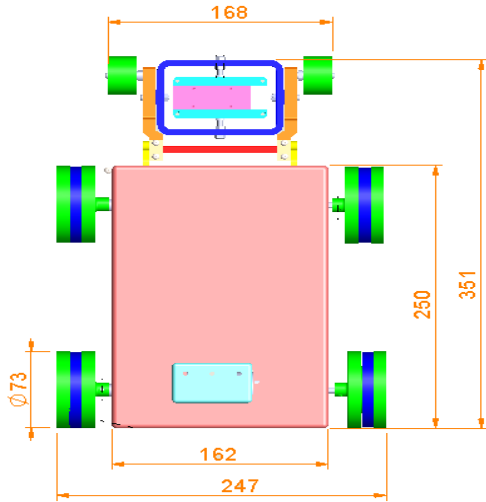
Để có thể mang đầu dò siêu âm thực hiện việc đo kiểm, đánh giá độ mòn bồn chứa dung tích lớn, vật liệu chế tạo bồn chứa là thép, thiết bị tự hành (robot) cần đạt được các yêu cầu sau [27]:

- Robot di chuyển bằng 4 bánh xe nam châm từ, có khả năng di chuyển trên mặt phẳng XY, có khả năng tự hành tiến/lùi, rẽ phải/trái bằng cách điều khiển bằng tay hay lập trình trước;
- Robot bám dính vào thành bồn bằng nam châm vĩnh cửu, mang được tải trọng robot và các phụ kiện kèm theo khoảng 20 kg;
- Tốc độ của robot có thể đạt đến 100 mm/s, hoạt động ổn định ở tốc độ 25 - 50 mm/s (tốc độ khi thực hiện đo kiểm bằng siêu âm PA);
- Robot có khả năng di chuyển linh hoạt trên bề mặt thành bồn và dễ dàng vượt qua đường hàn hoặc các chỗ lồi, lõm.

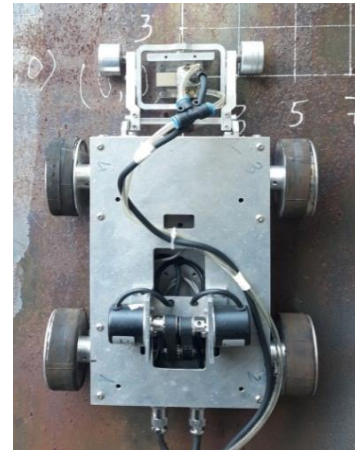
#### 2.1.2 Mô hình thiết kế và chế tạo thử nghiệm robot

Qua khảo sát các robot mang đầu dò siêu âm PA có trên thị trường như robot Scorpion B-Scan [11], Rinaldi Mechatronic Systems [12], mô hình thiết kế robot và chế tạo robot mang đầu dò siêu âm PA được đề xuất như ở hình 2.1.





a) Mô hình thiết kế robot



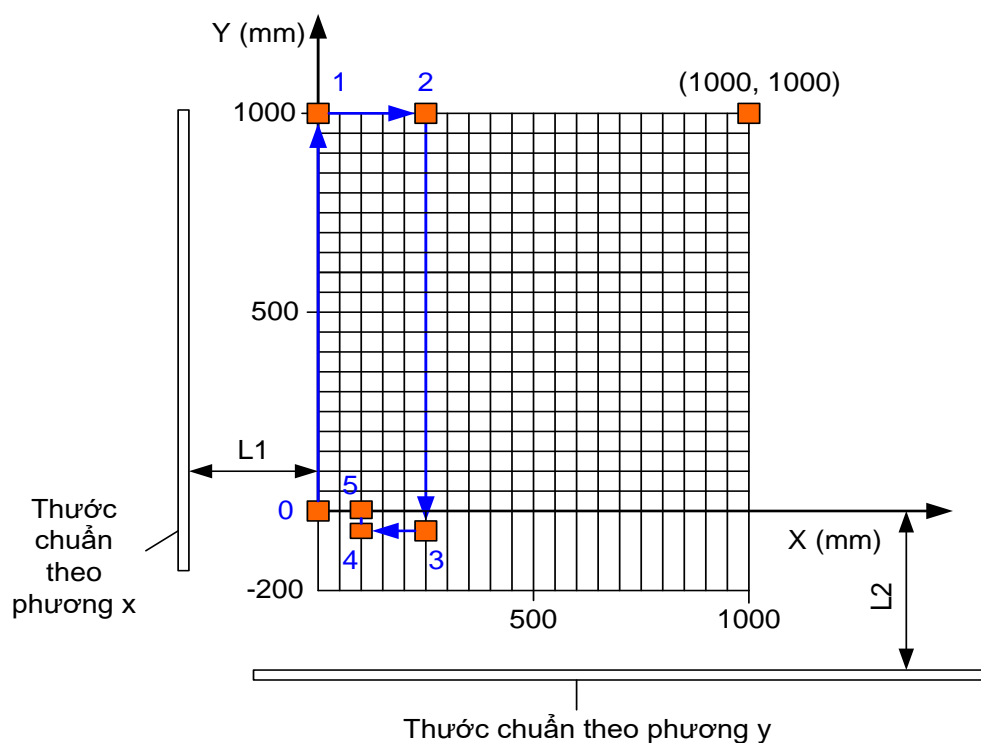
b) Robot đã hoàn thiện

**Hình 2.1:** Robot mang đầu dò siêu âm PA [27]

### 2.1.3 Cơ sở, giải pháp định vị đầu dò siêu âm PA

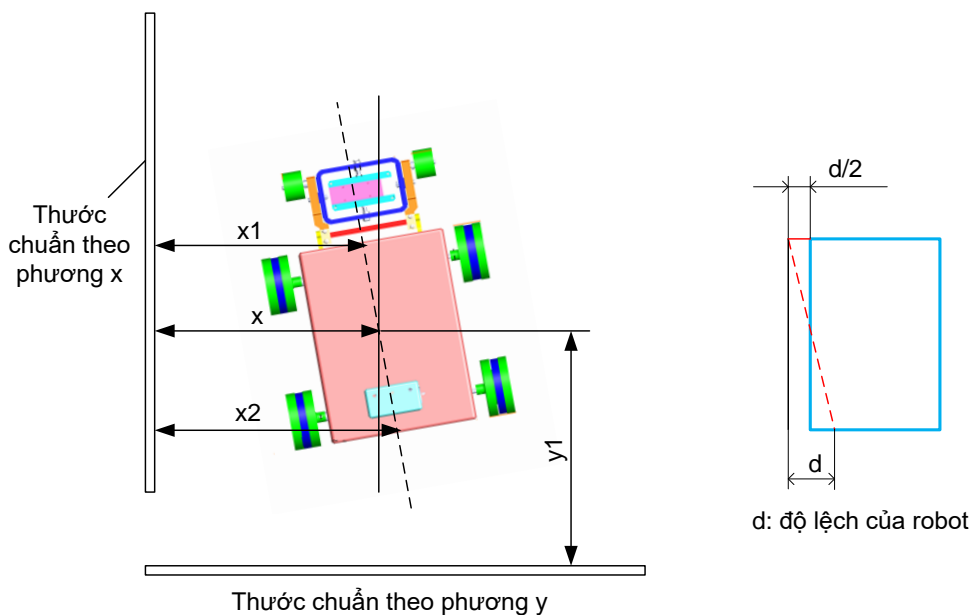
Để định vị vị trí robot và xác định sai số, độ chính xác vị trí của robot có thể sử dụng cảm biến đo khoảng cách: cảm biến siêu âm, laser. Tuy nhiên, với thí nghiệm trên mô hình bồn chứa mới kích thước nhỏ ta có thể sử dụng cảm biến siêu âm UltraSonic HY-SRF05 được sử dụng để nhận biết khoảng cách từ vật thể đến cảm biến nhờ sóng siêu âm, cảm biến có thời gian phản hồi nhanh, độ chính xác cao, phù hợp cho các ứng dụng đo khoảng cách bằng sóng siêu âm.

Sử dụng thước chuẩn và cảm biến siêu âm để xác định tọa độ vị trí robot, qua đó đánh giá độ tin cậy của robot theo hai phương: đứng, ngang. Thước chuẩn được đặt theo phương x, y mô tả như hình 2.2.



**Hình 2.2:** Bố trí thước chuẩn hiệu chỉnh sai số tọa độ vị trí robot

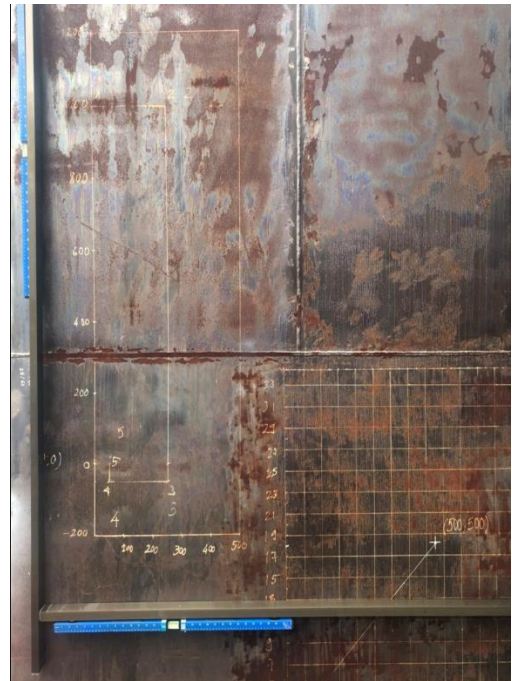
Dùng 4 cảm biến siêu âm SRF05, 2 ở phía trước, 2 phía sau để đo khoảng cách các giá trị tọa độ x,y đồng thời hiệu chỉnh tốc độ các bánh xe làm sao để robot đi đồng tốc, giữ vững vị trí di chuyển để đạt được vị trí mong muốn.



**Hình 2.3:** Mô tả độ lệch của robot theo hai phương x, y



a) Định vị thước chuẩn bằng Laser



b) Lắp đặt thước chuẩn

**Hình 2.4:** Định vị và lắp đặt thước chuẩn theo hai phương x, y



a) Cài đặt các thông số robot



b) Robot di chuyển trên bồn chứa

**Hình 2.5:** Định vị robot bằng cảm biến siêu âm SRF05

Giá trị tọa độ  $x_1$ ,  $x_2$  cảm biến siêu âm sẽ xác định tọa độ robot trong quá trình di chuyển,  $d$  là độ lệch của robot. Trong quá trình di chuyển, robot sẽ bị lệch so với phương thẳng đứng. Lúc đó sẽ xảy ra 2 trường hợp:

- Trường hợp 1:  $x_2 > x_1$  thì robot lệch bên trái, so sánh các giá trị về tọa độ  $x$  ta được  $x_1 < x$  và  $x_2 > x$ , dựa theo hình 4.3: ta có  $x_2 - x_1 = d$

Lúc này giảm dần số xung bánh xe bên phải trên động cơ để điều chỉnh quá trình di chuyển robot. Để robot đạt được trạng thái cân bằng đảm bảo điều kiện tọa độ  $x_2 - x = d/2$ .

- Trường hợp 2:  $x_1 > x_2$  thì robot lệch bên phải, so sánh các giá trị về tọa độ  $x$  ta được  $x_1 > x$  và  $x_2 < x$ , dựa theo hình 4.3: ta có  $x_1 - x_2 = d$

Lúc này giảm dần số xung bánh xe bên trái trên động cơ để điều chỉnh quá trình di chuyển robot. Để robot đạt được trạng thái cân bằng đảm bảo điều kiện tọa độ  $x_1 - x = d/2$ . Như vậy, robot có khả năng tự hiệu chỉnh độ lệch vị trí so với vị trí thiết lập từ ban đầu.

## **2.1.4 Kiểm nghiệm độ tin cậy robot**

### **2.1.4.1 Robot di chuyển theo phương thẳng đứng**

#### **a) Mục đích**

- Đánh giá độ chính xác di chuyển (quỹ đạo di chuyển thẳng) theo phương đứng của robot.

- Xác định được độ lệch giữa điểm đầu và điểm cuối sau khi di chuyển của robot.

#### **b) Tiến trình thí nghiệm**

Để kiểm nghiệm độ tin cậy (độ chính xác) khi robot di chuyển theo phương đứng, các thực nghiệm đã được tiến hành như sau:

- Cho robot di chuyển theo phương thẳng đứng từ dưới lên trên với quãng đường di chuyển  $s = 1000$  mm (di chuyển từ điểm A đến điểm B).

- Tốc độ di chuyển trung bình được thiết lập cho robot là  $v_{tb} = 35$  (mm/s), với thời gian dự kiến là  $t_s = s/v_{tb} = 1000 / 35 = 28.571$  (s)

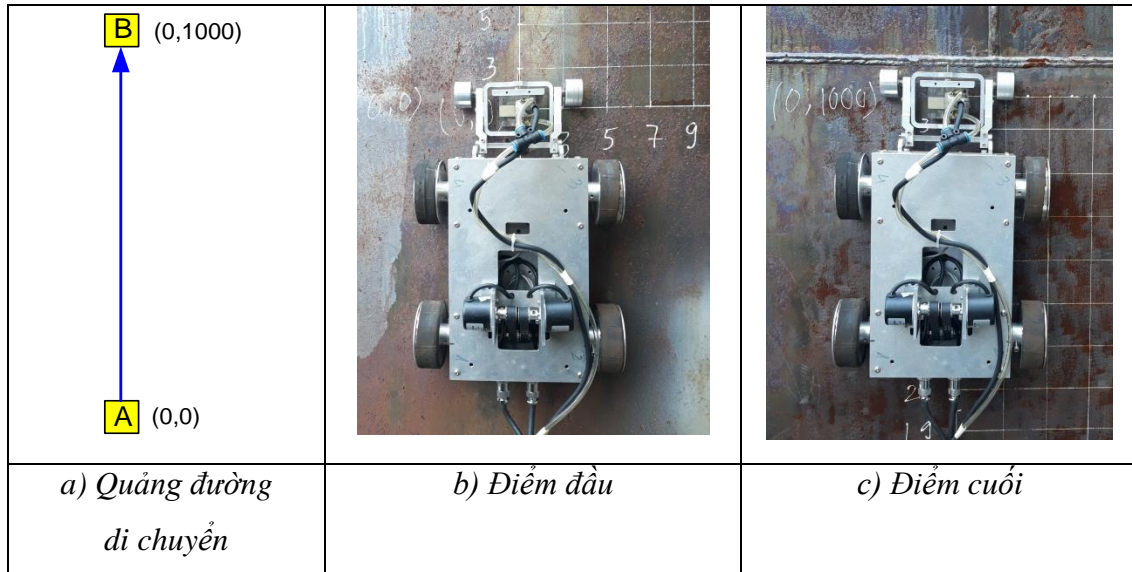
- Thực nghiệm được tiến hành 3 lần với số lần lặp là 3.

### c) Thiết bị thí nghiệm

Các thiết bị sử dụng để tiến hành thí nghiệm bao gồm:

- Robot;
- Mô hình bồn chứa;
- Thiết bị siêu âm tổ hợp pha Olympus MX2.

Sơ đồ quãng đường di chuyển trên mô hình được trình bày ở hình 4.6a.



**Hình 2.6:** Sơ đồ quãng đường di chuyển của robot theo phương đứng

### d) Kết quả thí nghiệm

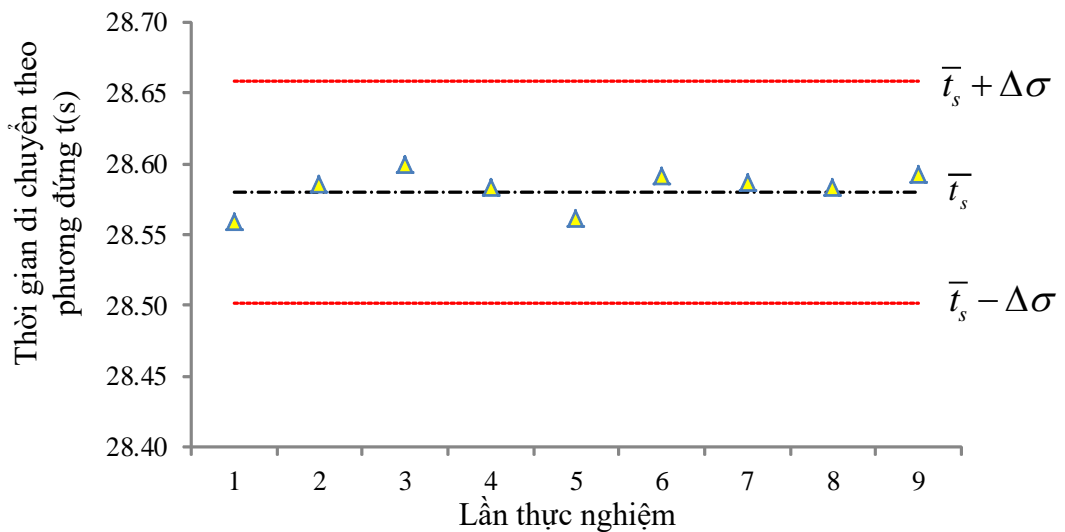
Dữ liệu thực nghiệm khi Robot di chuyển theo phương đứng được trình bày ở bảng 2.1.

**Bảng 2.1:** Dữ liệu hoạt động của robot khi di chuyển theo phương đứng

Thí nghiệm		Tọa độ A (x,y)	Tọa độ B (x,y)	Vận tốc trung bình $v_{tb}$ (mm/s)	Thời gian di chuyển $t_s$ (s)
STT	Lặp				
1	1	(0,0)	(0.20, 999.57)	35	28.56
	2	(0,0)	(0.50, 1000.50)	35	28.59
	3	(0,0)	(0.65, 1000.95)	35	28.60
2	1	(0,0)	(0.25, 1000.42)	35	28.58
	2	(0,0)	(0.45, 999.65)	35	28.56
	3	(0,0)	(0.15, 1000.68)	35	28.59

3	1	(0,0)	(0.60,1000.55)	35	28.59
	2	(0,0)	(0.44,1000.45)	35	28.58
	3	(0,0)	(0.50,1000.75)	35	28.59
<b>Trung bình</b>		<b>(0,0)</b>	<b>(0.42,1000.39)</b>	<b><u>35</u></b>	<b><u>28.58</u></b>

Với kết quả ở bảng 2.1 ta vẽ đồ thị so sánh độ sai lệch chuẩn của thời gian di chuyển của robot qua 3 lần lặp với 95% khoảng tin cậy  $\Delta\sigma$  được xác định bằng 1,96 lần sai lệch chuẩn  $\sigma$ .



**Hình 2.7:** Thời gian quét theo phương đứng qua 9 lần thí nghiệm

Dựa vào bảng dữ liệu bảng 2.1 và hình 2.7 ta có thể đi đến một số nhận xét sau:

- Trên hình 2.7 cho thấy thời gian di chuyển theo phương thẳng đứng qua 9 lần thực nghiệm đều nằm trong giới hạn 95% khoảng tin cậy cho phép của thời gian di chuyển theo phương đứng là  $\bar{t}_s \pm 1.96\sigma$ , cụ thể là  $t_s$  nằm trong khoảng [28.50, 28.66].

- Sai lệch theo phương đứng, hay nói cách khác là chiều dài quãng đường trung bình là 1000.39 mm, trong đó quãng đường ngắn nhất là 999.57 mm có sai lệch so với quãng đường chuẩn là 0.43 mm. Sai lệch theo phương thẳng đứng này khá nhỏ không ảnh hưởng đến việc nhận dạng biên ảnh nên có thể bỏ qua.

- Sai lệch theo phương ngang với tọa độ X có sai lệch với tọa độ chuẩn là 0.42 mm, sai lệch này so với biên ảnh được sử dụng cho việc nhận dạng (5 mm) là nhỏ, không gây ảnh hưởng đến việc nhận dạng thứ tự ảnh.

- Sai lệch về thời gian di chuyển trung bình qua 3 lần lặp so với thời gian tính toán lý thuyết là 0.04%.

Như vậy, qua thực nghiệm kiểm nghiệm độ tin cậy khi robot di chuyển theo phương thẳng đứng trên mô hình thí nghiệm cho thấy độ lệch vị trí, thời gian di chuyển là rất nhỏ, không gây ảnh hưởng đến kết quả thu thập ảnh và nhận dạng biên ảnh.

#### **2.1.4.2 Robot di chuyển theo phương ngang**

##### **a) Mục đích**

- Đánh giá độ chính xác di chuyển (quỹ đạo di chuyển thẳng) theo phương ngang của robot.

- Xác định được độ lệch giữa điểm đầu và điểm cuối sau khi di chuyển của robot.

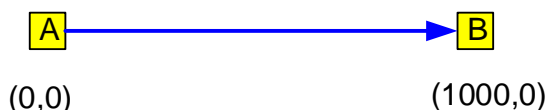
##### **b) Tiến trình thí nghiệm**

Để kiểm nghiệm độ tin cậy (độ chính xác) khi robot di chuyển theo phương ngang, các thực nghiệm đã được tiến hành như sau:

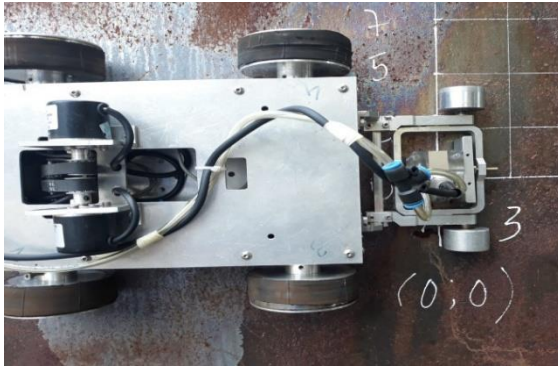
- Cho robot di chuyển theo phương ngang từ dưới lên trên với quãng đường di chuyển  $s = 1000$  mm (di chuyển từ điểm A đến điểm B, hình 2.8).

- Tốc độ di chuyển trung bình được thiết lập cho robot là  $v_{tb} = 35$  (mm/s), với thời gian dự kiến là  $t_s = s/v_{tb} = 1000 / 35 = 28.571$  (s).

- Thực nghiệm được tiến hành 3 lần với số lần lặp là 3.



*a) Quãng đường di chuyển*



b) Điểm đầu



c) Điểm cuối

**Hình 2.8:** Sơ đồ quang đường di chuyển của robot theo phương ngang

**c) Kết quả thí nghiệm**

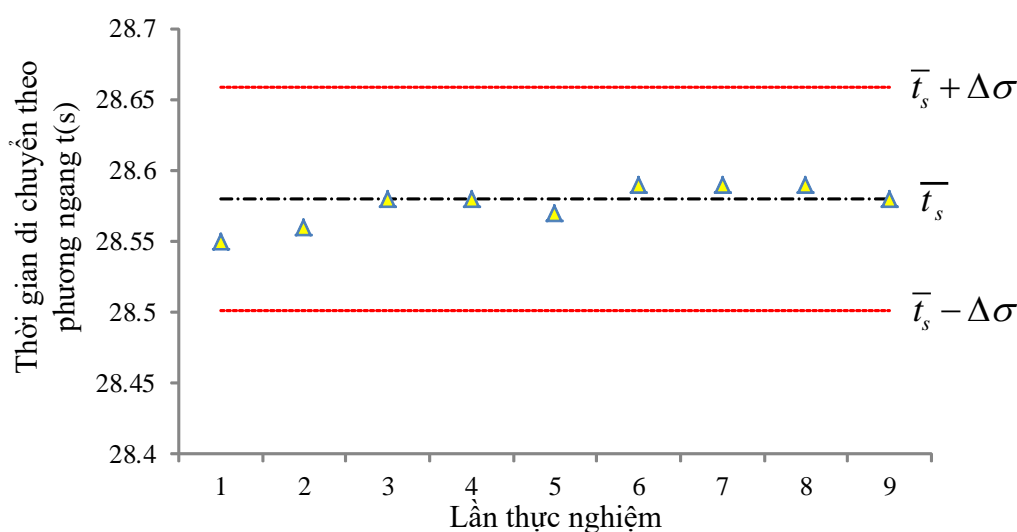
Dữ liệu thực nghiệm khi Robot di chuyển theo phương đứng được trình bày ở bảng 2.2.

**Bảng 2.2:** Dữ liệu hoạt động của robot khi di chuyển theo phương ngang

Thí nghiệm		Tọa độ A (x,y)	Tọa độ B (x,y)	Vận tốc trung bình $v_{tb}$ (mm/s)	Thời gian di chuyển $t_s$ (s)
STT	Lặp				
1	1	(0,0)	(999.55, -0.3)	35	28.550
	2	(0,0)	(999.54, -0.5)	35	28.558
	3	(0,0)	(1000.92, -0.65)	35	28.584
2	1	(0,0)	(1000.44, -0.75)	35	28.584
	2	(0,0)	(999.77, -0.45)	35	28.565
	3	(0,0)	(999.68, -0.55)	35	28.591
3	1	(0,0)	(1000.65, -0.66)	35	28.590
	2	(0,0)	(1000.75, -0.44)	35	28.593
	3	(0,0)	(1000.25, -0.45)	35	28.579
<b>Trung bình</b>		<b>(0,0)</b>	<b>(1000.17, 0.53)</b>	<b><u>35</u></b>	<b><u>28.577</u></b>

Với kết quả ở bảng 2.2 ta vẽ đồ thị so sánh độ sai lệch chuẩn của thời gian di chuyển của robot qua 3 lần lặp với 95% khoảng tin cậy  $\Delta\sigma$  được xác định bằng 1,96 lần sai lệch chuẩn  $\sigma$ .





**Hình 2.9:** Thời gian quét theo phương ngang qua 9 lần thí nghiệm

Dựa vào bảng dữ liệu bảng 4.2 và hình 4.9 ta có thể đi đến một số nhận xét sau:

- Trên hình 2.9 cho thấy thời gian di chuyển theo phương ngang qua 9 lần thực nghiệm đều nằm trong giới hạn 95% khoảng tin cậy cho phép của thời gian di chuyển theo phương ngang là  $\bar{t}_s \pm 1.96\sigma$ , cụ thể là  $t_s$  nằm trong khoảng [28.50, 28.66].

- Sai lệch theo phương ngang, hay nói cách khác là chiều dài quãng đường trung bình là 1000.17 mm, trong đó quãng đường ngắn nhất là 999.54 mm có sai lệch so với quãng đường chuẩn là 0.46 mm. Sai lệch này so với chiều rộng biên ảnh được sử dụng để nhận dạng ảnh là 5 mm là nhỏ, không ảnh hưởng đến việc nhận dạng ảnh nên có thể bỏ qua.

- Sai lệch theo phương đứng với tọa độ X có sai lệch với tọa độ chuẩn là 0.17 mm, sai lệch nhỏ này không ảnh hưởng đến ảnh thu thập vì biên ảnh này không sử dụng cho việc nhận dạng ảnh.

- Sai lệch về thời gian di chuyển trung bình qua 3 lần lặp so với thời gian tính toán lý thuyết là 0.04%.

Như vậy, qua thực nghiệm kiểm nghiệm độ tin cậy khi robot di chuyển theo phương thẳng ngang trên mô hình thí nghiệm cho thấy độ lệch vị trí, thời gian di

chuyển là rất thấp.

### 2.1.4.3 Robot di chuyển theo phương xiên

#### a) Mục đích

Đánh giá độ chính xác di chuyển (quỹ đạo di chuyển thẳng) theo phương xiên của robot. Xác định được độ lệch giữa điểm đầu và điểm cuối sau khi di chuyển của robot.

#### b) Tiến trình thí nghiệm

Để kiểm nghiệm độ tin cậy (độ chính xác) khi robot di chuyển theo phương xiên, các thực nghiệm đã được tiến hành như sau:

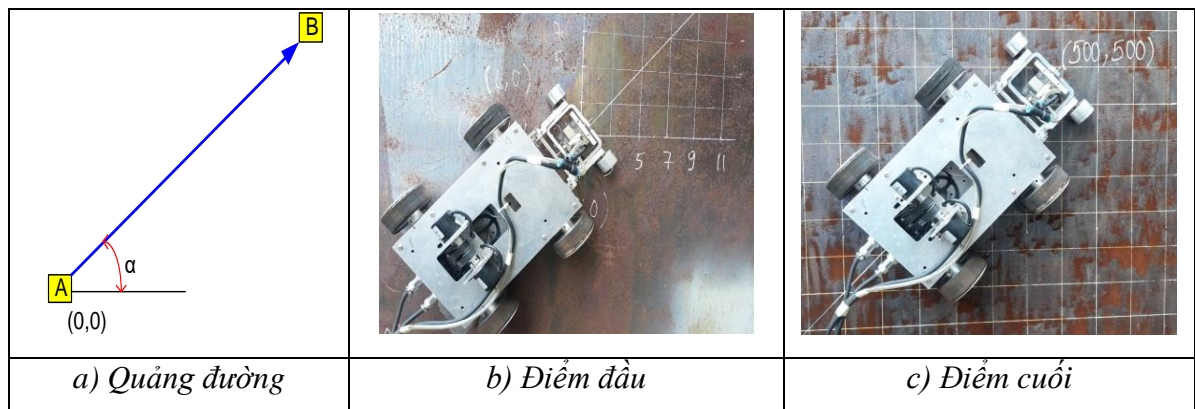
- Cho robot di chuyển theo phương xiên từ trái qua phải với quãng đường di chuyển  $s = 502.49$  mm (di chuyển từ điểm A đến điểm B).

- Tốc độ di chuyển trung bình được thiết lập cho robot là  $v_{tb} = 35$  mm/s, với thời gian dự kiến là  $t_s = s/v_{tb} = 707.11/35 = 20.203$  (s)

- Tại vị trí A, robot quay một góc  $\alpha = 45^0$  với vận tốc  $v_x = 25$  (mm/s),  $R = 180$  mm, với thời gian dự kiến là:

$$t_{x_i} = \frac{2\pi \cdot R \cdot \alpha_i}{v_{x_i} \cdot 360} = \frac{2.3,14.180.45}{25.360} = 5.652 \text{ (s)}$$

- Thực nghiệm được tiến hành 3 lần với số lần lặp là 3.



**Hình 2.10:** Sơ đồ quỹ đạo di chuyển của robot theo phương xiên 1 góc  $\alpha$

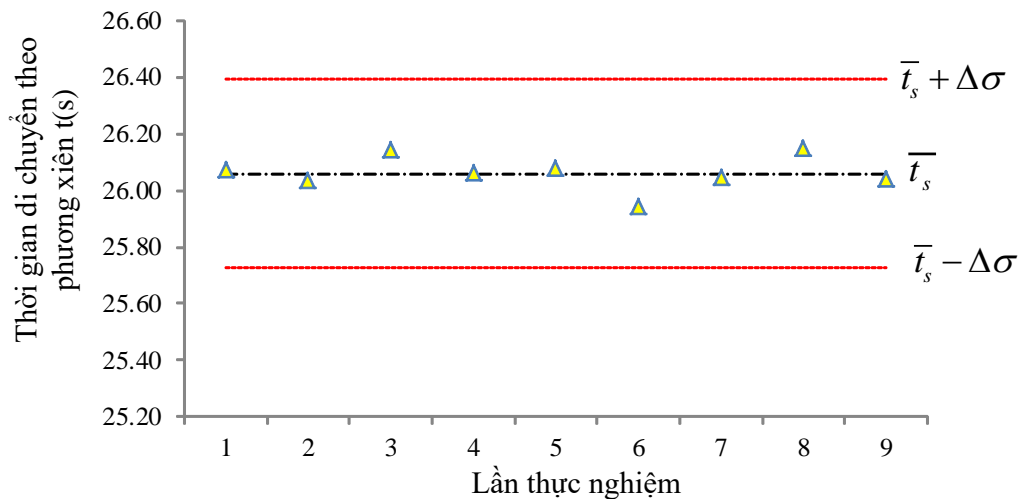
#### d) Kết quả thí nghiệm

Dữ liệu thực nghiệm khi robot di chuyển theo phương xiên được trình bày ở bảng 2.3.

**Bảng 2.3:** Dữ liệu hoạt động của robot khi di chuyển theo phương xiên

Thí nghiệm		Tọa độ A (x,y)	Tọa độ B (x,y)	Vận tốc trung bình $v_{tb}$ (mm/s)	Thời gian di chuyển $t_s$ (s)	Thời gian di chuyển $t_x$ (s)
STT	Lặp					
1	1	(0,0)	(500.3,500.55)	35	20.220	5.855
	2	(0,0)	(500.5,500.54)	35	20.224	5.81
	3	(0,0)	(500.65,500.92)	35	20.235	5.911
2	1	(0,0)	(500.75,500.44)	35	20.227	5.835
	2	(0,0)	(500.45,500.77)	35	20.228	5.852
	3	(0,0)	(500.55, 500.68)	35	20.228	5.715
3	1	(0,0)	(500.66, 500.65)	35	20.230	5.819
	2	(0,0)	(500.44, 500.75)	35	20.227	5.921
	3	(0,0)	(500.45, 500.25)	35	20.217	5.825
<b>Trung bình</b>		<b>(0,0)</b>	<b>(500.528, 500.617)</b>	<b>35</b>	<b>20.226</b>	<b>5.838</b>

Với kết quả ở bảng 2.3 ta vẽ đồ thị so sánh độ sai lệch chuẩn của thời gian di chuyển của robot qua 3 lần lặp với 95% khoảng tin cậy  $\Delta\sigma$  được xác định bằng 1,96 lần sai lệch chuẩn  $\sigma$ .



**Hình 2.11:** Thời gian quét theo phương xiên qua 9 lần thí nghiệm

Dựa vào bảng 2.3 và hình 2.11 ta có thể đi đến một số nhận xét sau:

- Trên hình 2.11 cho thấy thời gian di chuyển theo phương xiên qua 9 lần thực

nghiệm đều nằm trong giới hạn 95% khoảng tin cậy cho phép của thời gian di chuyển theo phương ngang là  $\bar{t}_s \pm 1.96\sigma$ , cụ thể là  $t_s$  nằm trong khoảng [25.73, 26.39].

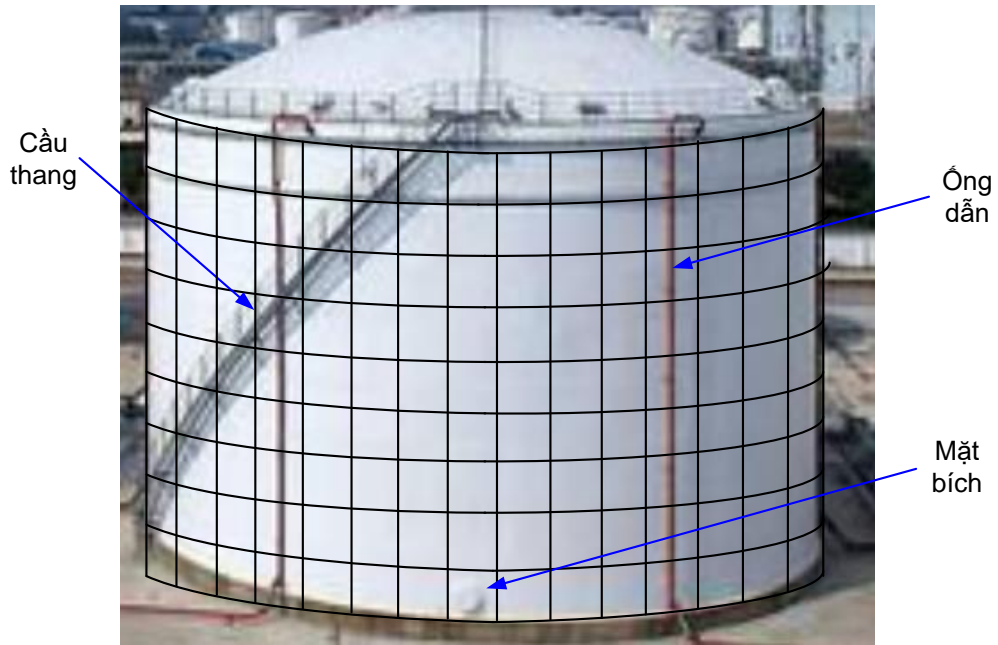
– Sai lệch theo phương ngang với tọa độ X so với tọa độ chuẩn là 0.528 mm, sai lệch theo phương đứng với tọa độ Y so với tọa độ chuẩn là 0.617 mm. Sai lệch này là nhỏ và chuyển động theo phương xiên này được thực hiện khi không thu thập ảnh mòn.

– Sai lệch về thời gian di chuyển trung bình qua 3 lần lặp so với thời gian tính toán lý thuyết là 0.11%

– Sai lệch về thời gian xoay tại các điểm nút có góc xoay là  $\alpha = 45^0$  qua 3 lần lặp so với thời gian tính toán lý thuyết là 3.29%. Thời gian này có ảnh hưởng đến tổng thời gian hoạt động khi thực hiện kiểm tra đánh giá độ mòn nhưng không ảnh hưởng đáng kể chất lượng ảnh mòn thu thập. Do vậy, ta có thể xem sai lệch thời gian này là sai số hệ thống về mặt thời gian chỉ gây ảnh hưởng nhỏ đến tổng thời gian hoạt động của robot.

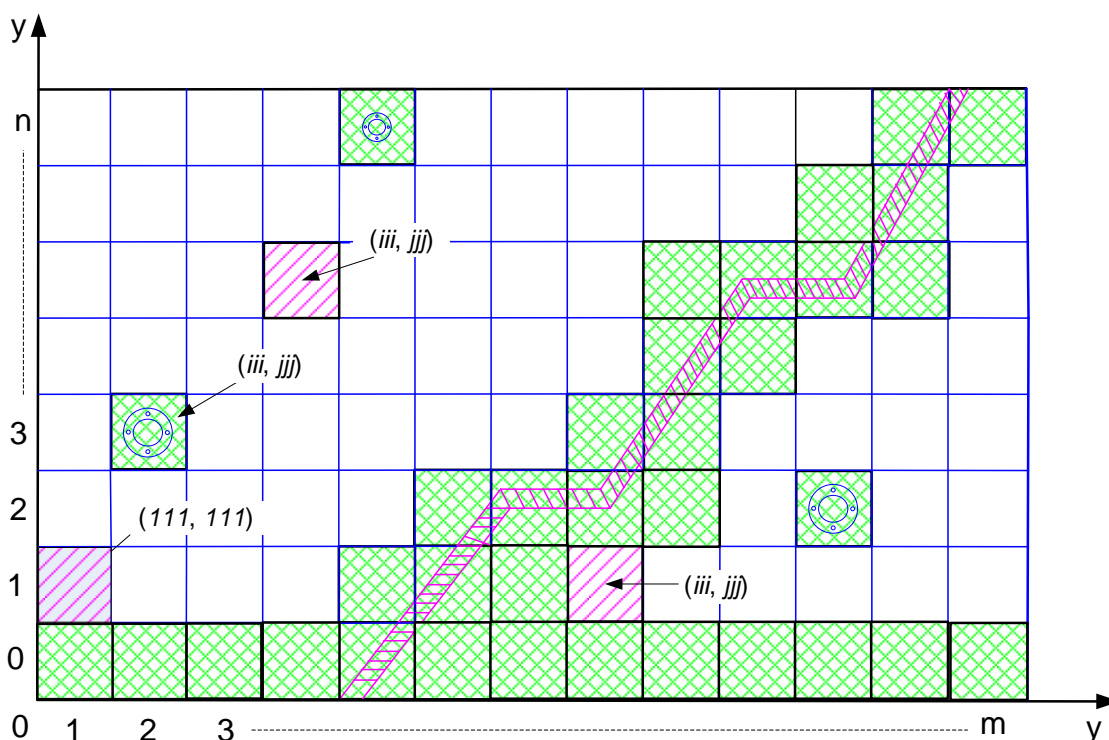
## **2.2. Lập sơ đồ trải phân mảnh và xác định diện tích quét trên bồn chứa**

Khi robot mang đầu dò siêu âm di chuyển trên thân bồn chứa thực hiện quét thu thập dữ liệu để xây dựng bản đồ mòn tổng thể thì các diện tích quét có các vật cản trên thân bồn như: các mặt bích, cầu thang bộ, các tấm hàn đắp có chiều cao lớn,... sẽ gây cản trở hoạt động di chuyển của robot. Vì thế, các khu vực này sẽ không được kiểm tra siêu âm bằng robot mà sẽ được kiểm tra siêu âm bằng tay qua việc phân mảnh (phân lưới). Việc phân mảnh giúp tách các phần diện tích có vật cản để thực hiện kiểm tra siêu âm bằng tay và mã hoá (đánh số hiệu) các khu vực của bồn chứa để giúp ghép các bản đồ mòn thành phần thành bản đồ mòn tổng thể (hình 2.12). Bên cạnh đó, việc mã hoá các khu vực cũng cho phép xác định được các tọa độ thành phần của diện tích khu vực giúp cho việc định vị chính xác vị trí robot đo kiểm khi thực hiện quét thu thập dữ liệu khu vực tương ứng trên thân bồn chứa.



**Hình 2.12:** Phân mảnh (chia lưới) các diện tích trên bồn chứa

Hình 2.13 mô tả việc đánh số hiệu để chia bồn thành các khu vực, mã hoá các khu vực này giúp lập kế hoạch siêu âm sử dụng robot, siêu âm thủ công, xác định tên các khu vực để có căn cứ ghép các bản đồ mìn thành phần để xây dựng bản đồ mìn tổng thể. Các khu vực thành phần của bồn được chỉ định siêu âm sử dụng robot sau khi chia lưới sẽ có diện tích bằng nhau. Các khu vực được siêu âm thủ công (các mặt bích, đường ống dẫn, cầu thang bộ đi lên nắp bồn chứa) cũng cố gắng chia sao cho có diện tích bằng với khu vực siêu âm sử dụng robot nếu có thể được.



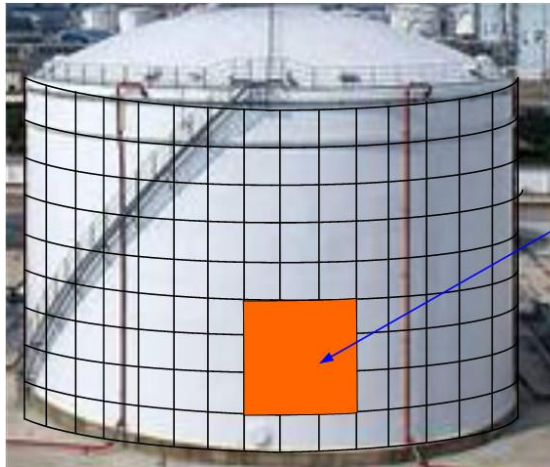
**Hình 2.13:** Sơ đồ trải phân mảnh thân bồn chứa

Theo hình 2.13, để thuận lợi cho việc thực nghiệm và ghép bản đồ mòn tổng thể, trên sơ đồ trải sẽ mã hóa vị trí các diện tích đã phân mảnh, các vị trí mảnh theo trục tọa độ x, y được mã hóa  $S(iii, jjj)$ .

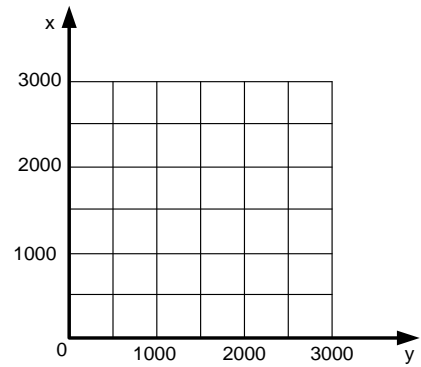
- Các mảnh được mã hóa theo trục x có giá trị  $i = 1 \div m$
- Các mảnh được mã hóa theo trục y có giá trị  $j = 1 \div n$

Các mảnh diện tích có chứa ống chờ các mặt bích, cầu thang, đường ống cũng sẽ được mã hóa mảnh ghép  $S(iii, jjj)$  và được thực hiện quét thủ công.

Công việc thực nghiệm đo kiểm tra độ mòn trên bồn chứa xăng dầu cần chế tạo một phần thân bồn được mô tả như hình 2.14.



Mô hình bồn chứa

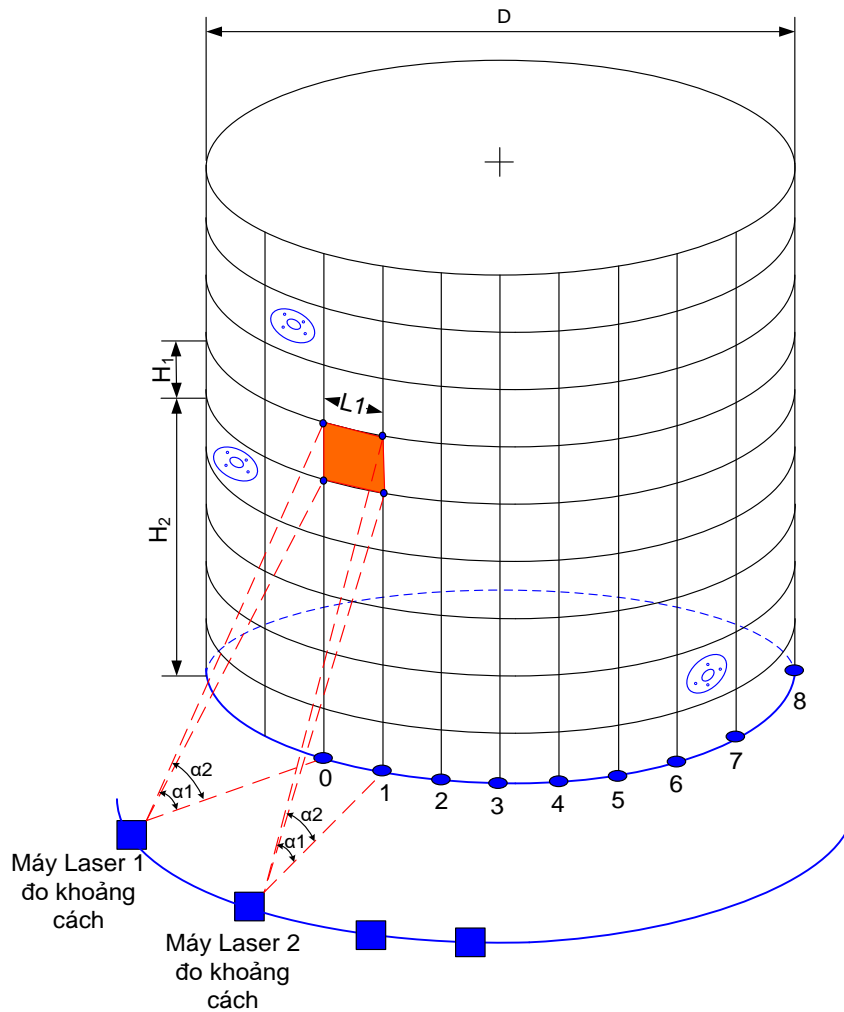


a) Mô tả mô hình một phần bồn chứa

b) Kích thước mô hình bồn chứa

**Hình 2.14:** Xác định mô hình thân bồn chứa dùng để thực nghiệm đo kiểm

Để xác định vị trí và định vị diện tích của khu vực quét trên bồn chứa cần xác định 4 điểm góc vuông. Sử dụng và bố trí nhiều máy đo laser xác định 4 điểm góc vuông để xác định tọa độ của khu vực quét và là các điểm chuẩn để điều khiển và hiệu chỉnh vị trí của robot khi di chuyển. Để xác định khoảng cách khi di chuyển robot được trang bị các cảm biến đo khoảng cách như mô tả ở 2.15.



**Hình 2.15:** Xác định vị trí một khu vực (diện tích) quét cụ thể



<b>Thông số kỹ thuật</b>	
<i>Phạm vi đo 0,05 – 100 m</i>	
<i>Độ chính xác đo lường ± 1,5 mm</i>	
<i>Tia laser 635 nm</i>	
<i>Nguồn cấp điện pin ion lithium gắn trong 3,7V / 1,25Ah</i>	
<i>Trọng lượng, xấp xỉ 0,14 kg</i>	

**Hình 2.16:** Thông số kỹ thuật máy đo khoảng cách Bosch GLM 100C

Từ vị trí đáy bồn chứa ta có thể xác định các điểm tham chiếu 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8,... Các điểm này được sử dụng để tính toán, so sánh và xác định vị trí khu vực (diện tích) các mảnh quét trên bồn chứa. Sử dụng các cảm biến đo khoảng cách GLM100C và/hoặc kết hợp với máy đo tia vuông góc (laser level) để xác định các



giá trị  $L_1$ ,  $H_1$ ,  $H_2$  (hình 2.17). Chia lưới và xác định các vị trí diện tích các mảnh cần quét trên bồn chứa.



a) Máy lấy điểm góc vuông laser

b) Định vị diện tích quét bằng máy đo laser

**Hình 2.17:** Xác định vị trí và định vị diện tích quét trên mô hình bồn chứa

Việc lắp ghép dữ liệu các khu vực của thân bồn chứa đã được phân mảnh nhằm tạo lập bản đồ mòn tổng thể cũng giống như cách lập bản đồ mòn cho 1 khu vực cụ thể và nhờ các số hiệu có được trong quá trình mã hoá bồn. Từ các số hiệu mã hoá chúng ta có thể chỉ định thứ tự ghép các bản đồ mòn của các khu vực để xây dựng bản đồ mòn tổng thể.

### 2.3 Định vị robot trên bồn chứa

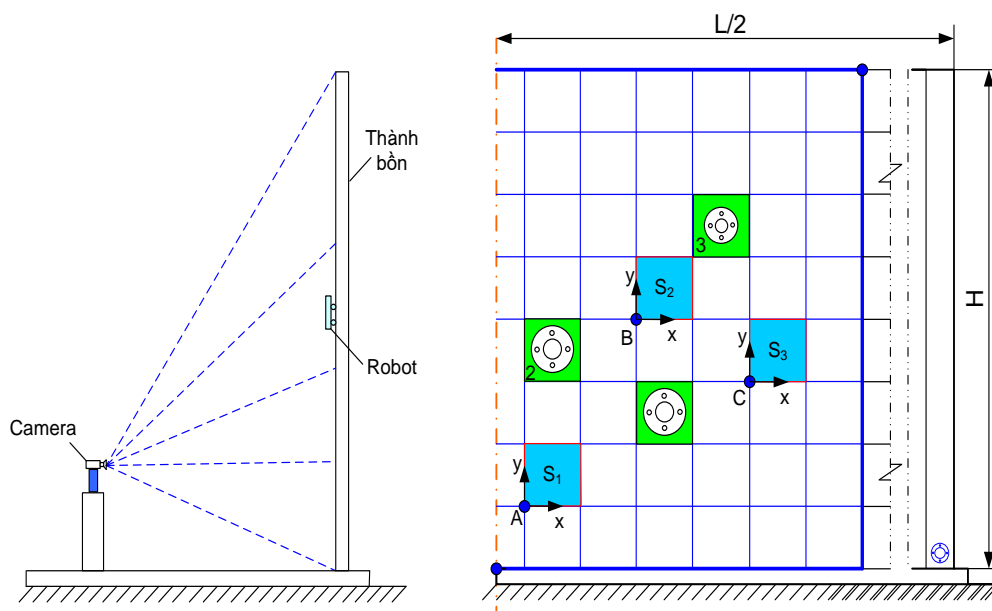
Để robot tự động trình tự quét các mảnh diện tích đã được mã hóa trên bồn chứa sử dụng camera Phase One IXU-RS160 (hình 2.18), trên robot có dán các marker màu (xanh, đỏ) trên thân robot hoặc đầu dò siêu âm PA, và camera có thể phát hiện các marker này ở vị trí A, B, C trên bồn chứa từ đó có thể xác định các vị trí robot.



Thông số kỹ thuật
60.5 MP resolution
Input DC 12 - 30V
Kết nối bằng USB 3.0
Kết nối trực tiếp với GPS

**Hình 2.18:** Thông số kỹ thuật của Camera Phase One IXU-RS160

Robot bắt đầu quét diện tích  $S_1$  từ vị trí A và khi kết thúc quét sẽ trở về vị trí A để di chuyển đến diện tích quét tiếp theo, ví dụ có thể đến vị trí B của diện tích  $S_2$  hoặc vị trí C của diện tích  $S_3$ . Như vậy, thông qua camera có thể phát hiện robot tại các vị trí A, B, C để có thể tiếp tục quét các diện tích khác nhau trên bồn chứa.



a) Camera quan sát robot

b) Sơ đồ trải các vị trí A, B, C

**Hình 2.19:** Định vị robot trên bồn chứa bằng Camera

Ngoài ra, để định vị chính xác robot tại các vị trí A, B, C có thể dùng thuật toán điều khiển viết chương trình định vị tự động vị trí  $x, y$  của robot bằng phần mềm Matlab hoặc C+. Tuy nhiên, luận án này không nghiên cứu sâu vào thuật toán điều khiển robot mà chỉ đưa ra giải pháp để định vị robot cho các mảnh diện tích cần quét.

## 2.4 Đề xuất quy trình đo mòn bằng phương pháp siêu âm PA

### 2.4.1 Mục tiêu và phạm vi ứng dụng

Quy trình này cung cấp các điều kiện chung được hướng dẫn cụ thể khi thực hiện kiểm tra bằng phương pháp siêu âm tổ hợp pha sử dụng thiết bị Olympus Omniscan MX2 kiểm tra độ mòn cho thân bồn chứa xăng dầu dung tích lớn, ứng dụng trên mô hình bồn chứa đã chế tạo theo tiêu chuẩn API 650:2016 [28].

Quy trình này mô tả công tác kiểm tra độ mòn bằng phương pháp siêu âm tổ hợp pha (PAUT) cần được tuân thủ và áp dụng để thực hiện kiểm tra độ dày còn lại của thân bồn chứa xăng dầu. PAUT đang sử dụng kỹ thuật kiểm tra bằng robot mang đầu dò PA.

#### **2.4.2 Tiêu chuẩn áp dụng**

Khi siêu âm kiểm tra độ mòn bồn chứa xăng dầu dung tích lớn ứng dụng kỹ thuật siêu âm tổ hợp pha, các tiêu chuẩn liên quan đến bồn chứa, kỹ thuật siêu âm sau đây đã được nghiên cứu áp dụng:

– ASME Section V, article 4, Edition 2019 : “ASME Boiler & Pressure Vessel Code –Nondestructive Examination” [29].

*Tiêu chuẩn ASME Section V quy định chi tiết kỹ thuật về quy trình đo kiểm của các phương pháp kiểm tra không phá hủy (NDT) trong đó có phương pháp kiểm tra siêu âm PA, cách thức kiểm tra đánh giá các loại khuyết tật bên ngoài và bên trong vật liệu.*

– API 653, Edition 2014: “Tank Inspection, Repair, Alteration, and Reconstruction” [30].

*API 653 được phát triển và xuất bản bởi Viện Dầu khí Hoa Kỳ (API) bao gồm việc kiểm tra, sửa chữa, thay đổi và tái chế các bồn chứa bằng thép trên mặt đất sử dụng trong dầu khí và các ngành công nghiệp hóa chất.*

– ASTM E 2491, Edition 2008 – Standard Guide for Evaluating Performance Characteristics of Phased-Array Ultrasonic Testing Instruments and Systems [31].

*Tiêu chuẩn này mô tả các quy trình để đánh giá một số đặc tính hoạt động của các thiết bị và hệ thống kiểm tra siêu PA. Việc đánh giá các đặc tính này nhằm mục đích sử dụng để so sánh các thiết bị và hệ thống hoặc, kiểm tra định kỳ, để phát hiện những thay đổi lâu dài về các đặc tính của một thiết bị hoặc hệ thống nhất định, đánh giá các dấu hiệu của sự cố sắp xảy ra và nếu vượt quá các giới hạn cho phép sẽ yêu cầu bảo trì sửa chữa.*

– ISO EN 9712 : Qualification and certification on NDT personnel [32]

*Tiêu chuẩn quy định các yêu cầu về nguyên tắc đối với năng lực và chứng chỉ của kỹ thuật viên thực hiện kiểm tra không phá hủy trong công nghiệp (NDT).*

– ASNT SNT-TC-1A, Edition 2016: “Recommended Practice No: SNT-TC-1A”, Personnel qualification and certification in nondestructive testing [33].

*Tiêu chuẩn và chứng nhận nhân sự trong kiểm tra không phá hủy (2016) SNT-TC-1A cung cấp hướng dẫn cho người sử dụng lao động để thiết lập các chương trình chứng nhận nội bộ về trình độ và chứng nhận của nhân viên kiểm tra không phá hủy.*

### **2.4.3 Trình độ kỹ thuật viên**

Kỹ thuật viên thực hiện kiểm tra PAUT phải có đủ trình độ và được chứng nhận như sau:

– Các chương trình đào tạo về siêu âm và được chứng nhận bởi các trung tâm, tổ chức được cấp phép của quốc gia hoặc quốc tế như: chứng nhận trung tâm của ASNT (ACCP) hoặc các chương trình dựa vào tiêu chuẩn ISO 9712 [32] có thể được sử dụng thay thế để hoàn thành các yêu cầu về đào tạo, kinh nghiệm.

– Phương pháp PAUT phải do PAUT cấp II thực hiện. Chỉ nhân viên có chứng chỉ PAUT cấp II trở lên mới được xem xét, đánh giá dữ liệu và các bản báo cáo PAUT.

### **2.4.4 Thiết bị kiểm tra siêu âm tổ hợp pha**

Thiết bị kiểm tra siêu âm tổ hợp pha (OMNI MX2) [34, 35, 36] phải là loại xung dội và được trang bị độ khuếch đại hoặc bộ phận kiểm soát mức độ suy giảm dB đã được hiệu chuẩn với mức tăng là từ 2dB trở xuống (1dB hoặc 0,5dB). OmniScan bao gồm 16 hoặc 32 kênh thu/phát độc lập. Hệ thống có khả năng tạo và hiển thị các hình ảnh quét quét, mà có thể được lưu trữ và hiển thị lại để xem và phân tích lại.

Kỹ thuật viên có thể sử dụng hình ảnh quét quét thời gian thực trong suốt quá trình quét để đảm bảo thu được dữ liệu đúng. Hình ảnh quét quét chứa thông tin về độ sâu phản xạ, biên độ tín hiệu được chiếu cho góc khúc xạ của chùm tia siêu âm.

Hệ thống tổ hợp pha cung cấp một loạt các khả năng phân tích bao gồm hiển thị A-scan và đọc thông số cùng với các con trỏ của phần mềm. Các hình ảnh được tạo ra bởi máy quét quét, hình ảnh xem đầu và cuối có thể được sử dụng để hỗ trợ công tác đánh giá.

Hệ thống tổ hợp pha OmniScan có phần mềm tạo quy tắc trọng tâm on-board cho phép chỉnh sửa trực tiếp các đặc tính của tia siêu âm. Hệ thống tổ hợp pha OmniScan cần sử dụng một thiết bị lưu trữ bên ngoài. Máy tính cầm tay từ xa được kết nối thông qua Ethernet có thể được sử dụng cho mục đích này [37].

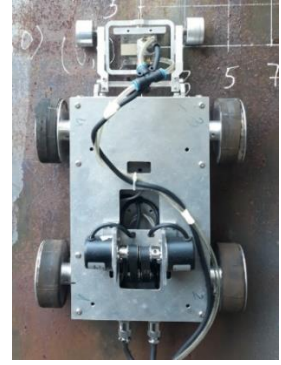
Ngoài việc lưu trữ dữ liệu, máy tính cũng sẽ được kỹ thuật viên phân tích dữ liệu sử dụng để phân tích dữ liệu sau khi thu thập xong dữ liệu. Phần mềm hiển thị dữ liệu giống với phần mềm ở trong hệ thống tổ hợp pha OmniScan MX2 [32, 33, 34] cũng sẽ được sử dụng trên máy tính từ xa để phát lại dữ liệu.

Tham khảo sổ tay hướng dẫn vận hành của nhà sản xuất để hiểu rõ hơn về những đặc điểm vận hành của thiết bị.

Bất cứ công tác điều khiển nào mà ảnh hưởng đến mức độ tuyến tính của thiết bị (chức năng Reject) sẽ ở vị trí tối thiểu hoặc tắt khi hiệu chuẩn thiết bị, hiệu chuẩn và kiểm tra hệ thống.

#### **2.4.5 Đầu dò và ghi nhận dữ liệu**

Đầu dò 5L64-A2 [35, 36] sẽ được sử dụng để phát hiện ra mức độ ăn mòn, đánh dấu khu vực ăn mòn trên thân bồn chứa xăng dầu bằng cách sử dụng máy quét mã hóa bán tự động sử dụng chế độ quét raster trên thiết bị OmniScan MX2 (Robot bao gồm cơ cấu mang đầu dò tổ hợp pha 5L64-A2 có 4 bánh xe từ) [35, 36], tần số của đầu dò là 5 MHz.



a) OmniScan MX2

b) Đầu dò 5L64-A2

c) Robot mang đầu dò siêu âm

**Hình 2.20:** Hệ thống đo kiểm bằng siêu âm PA sử dụng robot

#### 2.4.6 Chất tiếp âm

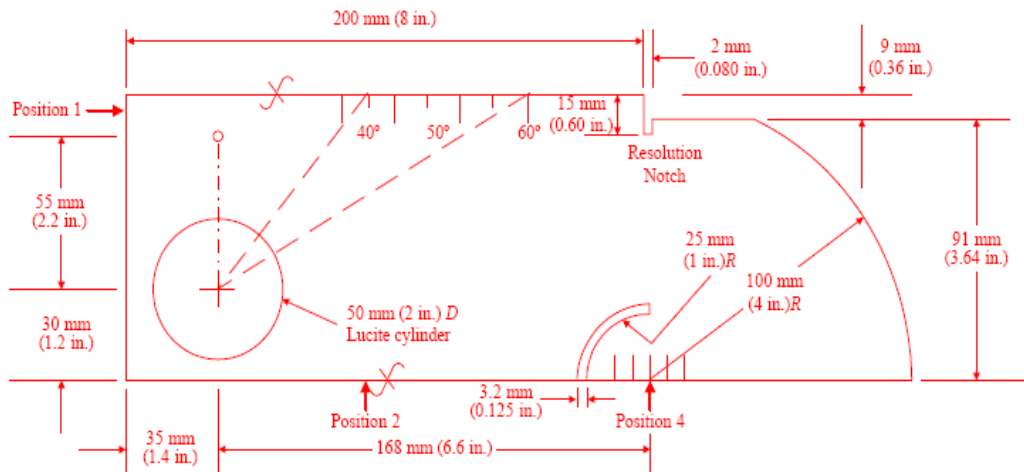
Có thể thực hiện công tác tiếp âm bằng cách sử dụng một chất (dầu, mỡ, cellulose và nước) phù hợp với mục đích. Một chất làm ẩm an toàn với môi trường, như nước sẽ cần phải thúc đẩy quá trình tiếp âm. Tuy nhiên, không được để thừa chất đó trên bề mặt vật chứa thành phần sau khi nước đã bốc hơi. Trong quá trình kiểm tra, có thể sử dụng chất tiếp âm tương tự như trong quá trình hiệu chuẩn.

#### 2.4.7 Khối hiệu chuẩn

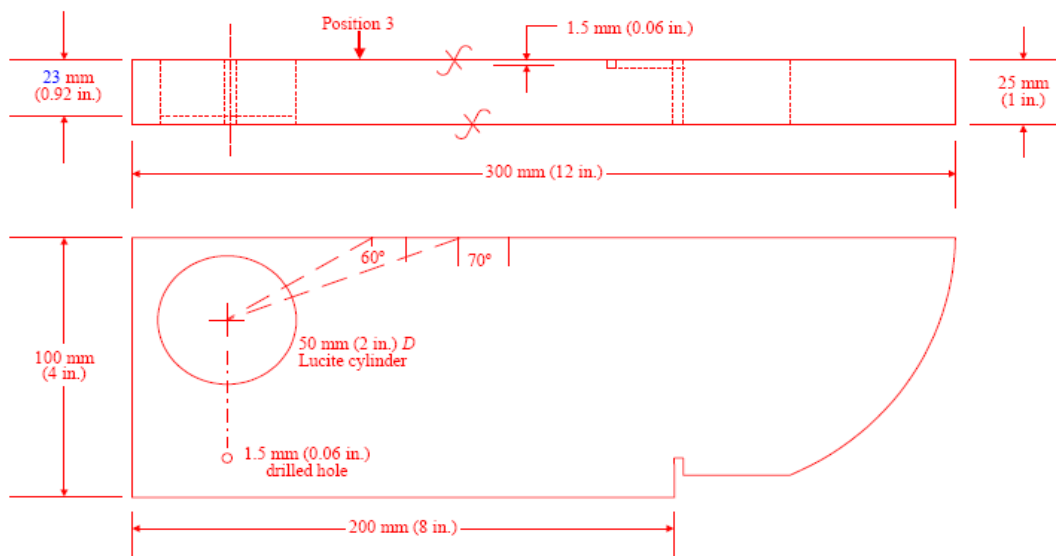
Khối hiệu chuẩn cơ bản IIW - V1 được sử dụng cho công tác xác nhận hiệu suất và hiệu chuẩn chung của thiết bị. Khối này được sử dụng để hiệu chuẩn vận tốc, độ trễ nôm và độ nhạy của luật phát được thực hiện bằng cách sử dụng các khối này.

Cấu hình và các bộ phận xạ của khối tham khảo phẳng sẽ như sau (T-434.2.1 của Điều 4, Mục V, Mã BPV, phiên bản năm 2019) sẽ được sử dụng để tạo đường cong DAC/TCG, cài đặt mức biên độ tham khảo về ngưỡng phát hiện và đánh giá.

Độ chênh lệch về nhiệt độ bề mặt của khối hiệu chuẩn, khối tham khảo, và bộ phận được kiểm tra phải thấp hơn 40°C.



a) Khối chuẩn IIW - V1 (thuận)



b) Khối chuẩn IIW - V1 (nghịch)

**Hình 2.21:** Khối chuẩn IIW - V1

#### 2.4.8 Độ nhạy quét (Scanning sensitivity)

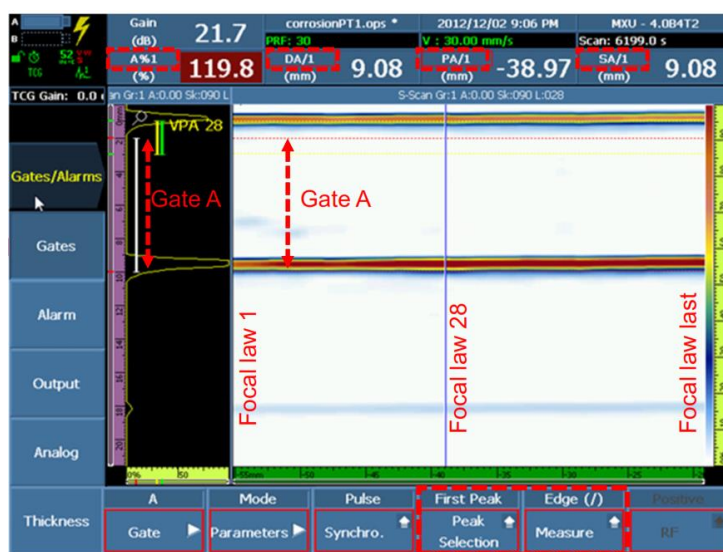
- Độ nhạy tham khảo được hiệu chuẩn trực tiếp trên tấm sơn. Công tác quét được thực hiện ở độ khuếch đại cài đặt 6dB qua tham chiếu sơ cấp.
- Công tác đánh giá ở mức tham chiếu tương tự.

### 2.4.8.1 Cổng đo Gate

- Ấn chọn [Gates/Alarms] → [Gates] → [Gate A] điều chỉnh vị trí Gate A càng gần giao diện bề mặt càng tốt miễn không cần chạm vào nó và đủ rộng để bao phủ xung phản hồi từ thành dưới quay về [38].

- Vị trí của [Gate B (màu xanh)] và [Gate I (màu vàng)] nằm ngoài vùng quan tâm.

- Ấn chọn [Gates] → [Parameter = Mode] → [Peak Selection = First Peak] → [Measure = Edge].

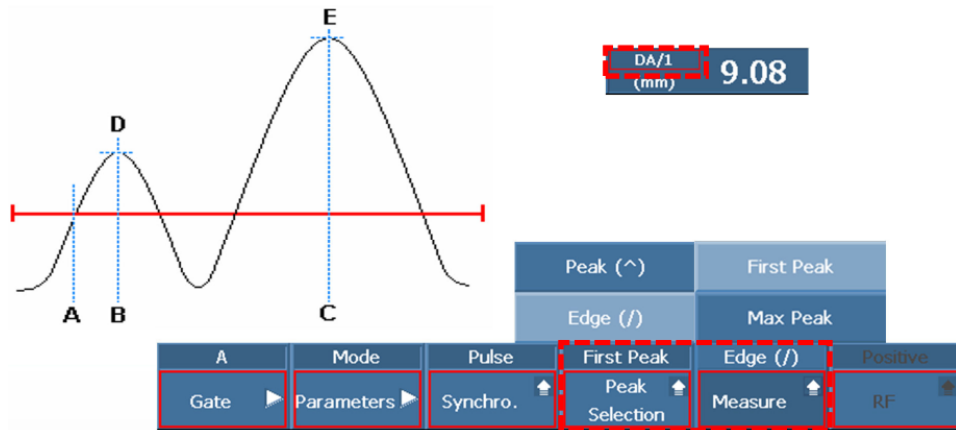


**Hình 2.22:** Chọn chế độ peak của cổng đo Gate [38].

Các chế độ cổng sẽ xác định cách đọc chiều dày và sẽ được hiển thị trong vùng đọc trên màn hình thiết bị, các chế độ có sẵn bao gồm First Peak (Đỉnh đầu tiên) hoặc Max. Peak (Đỉnh cao nhất), và Peak (Đỉnh) hoặc Edge (Cạnh).

Trong hình minh họa bên dưới, D và E được sử dụng cho biên độ C-Scan (A%) và A, B, C được sử dụng cho vị trí C-Scan điển hình của kiểm tra lap bản đồ ăn mòn.

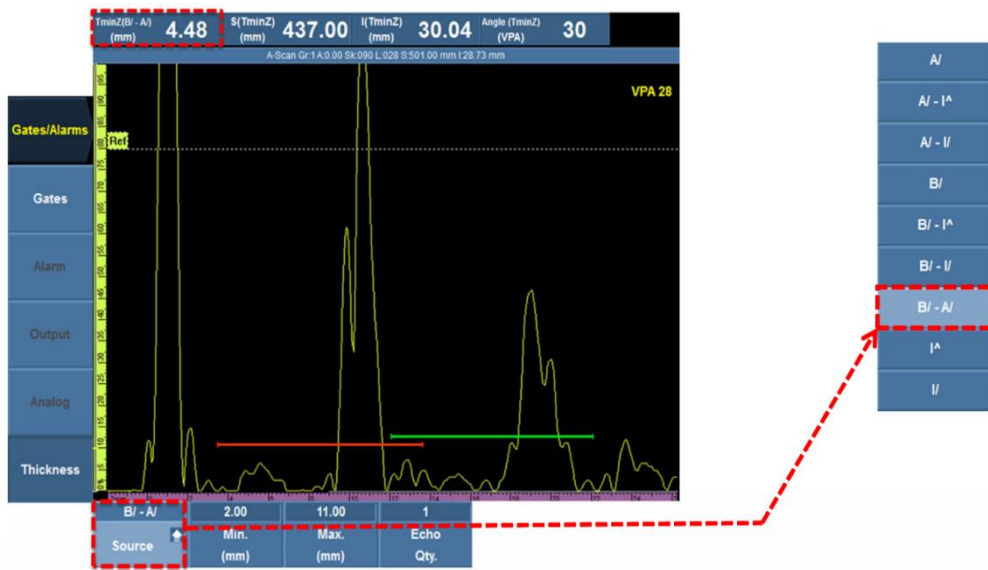




**Hình 2.23:** Chọn chế độ Gate tương ứng với chế độ hình ảnh C-Scan [38].

Sử dụng chức năng [B/ - A/] để đọc chiều dày loại trừ lớp phủ hoặc dị thường của bề mặt bằng cách Gate B (xung phản hồi lần 2) trừ Gate A (Xung phản hồi lần 1).

Các chế độ và vị trí của các cổng Gate thường được định cấu hình lại trong chế độ phân tích và đòi hỏi kiến thức chuyên môn về A-scan để đọc chiều dày.

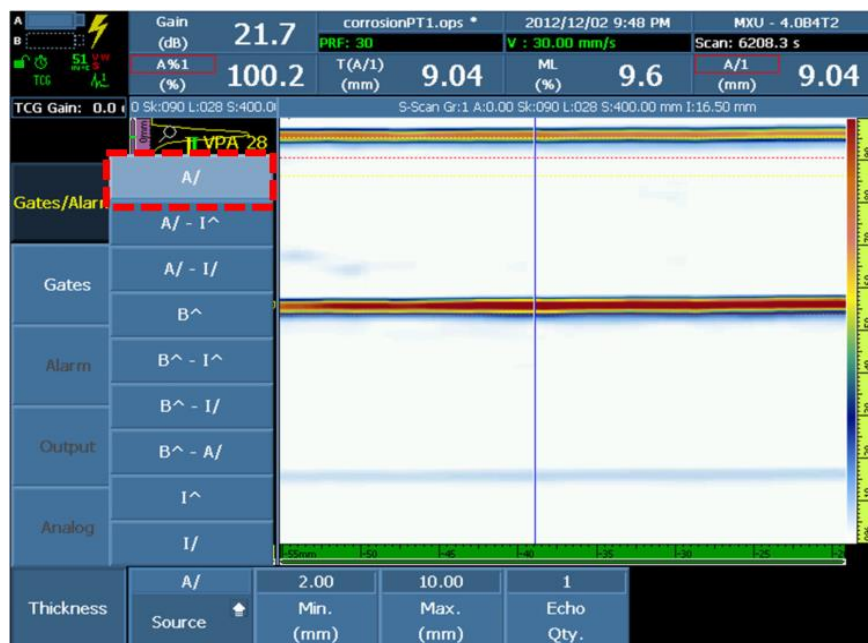


**Hình 2.24:** Thiết lập chế độ cổng gate cho A-scan [38].

#### 2.4.8.2 Thiết lập chiều dày cổng đo

- Ấn chọn [Gates/Alarms] → [Thickness] → [Source = A/].

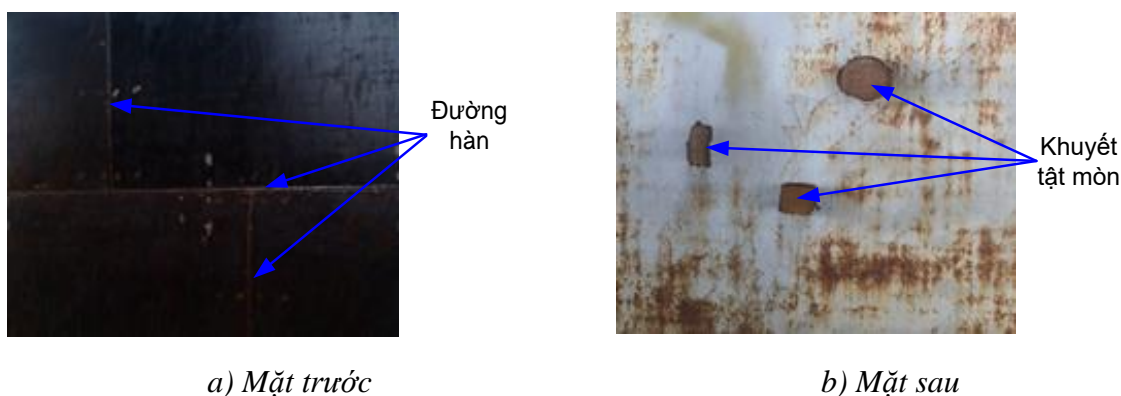
Chọn tối thiểu 1 - 2 mm và độ dày danh nghĩa của vật liệu tối đa là điểm khởi đầu tốt và điều này có thể được điều chỉnh trong khi ở chế độ tạm dừng hoặc phân tích.



**Hình 2.25:** Thiết lập chế độ cổng gate cho chiều dày [38].

### 2.4.9 Chuẩn bị bề mặt

Trước khi thực hiện công việc đo kiểm độ mòn sử dụng robot mang đầu dò siêu âm PA, bề mặt bồn chứa chỉ cần sạch để đảm bảo mảng ghép sẽ liên tục. Nếu trên bề mặt xuất hiện những điểm nhô vượt phạm vi cho phép cần phải được loại bỏ (mài phẳng) nhằm giúp cho robot bám dính tốt hơn và đầu dò gắn trên robot dễ dàng tiếp xúc với bề mặt bồn chứa.



a) Mặt trước

b) Mặt sau

**Hình 2.26:** Chuẩn bị bề mặt bồn chứa

Mặt sau của thân bồn chứa có thể tự tạo 3 khuyết tật với vị trí, độ sâu và diện tích bất kỳ ở mặt sau bồn chứa trong phạm vi diện tích quét  $1000 \times 1000 \text{ mm}^2$  được khảo sát và mô tả như hình 2.26.

#### 2.4.10 Kỹ thuật quét

Robot mang đầu dò siêu âm PA loại 5L64-A2 sử dụng nê<sup>0</sup> phát hiện các hiện tượng ăn mòn của bồn chứa xăng dầu. Diện tích quét được thực hiện theo phương án đo cụ thể (1000 x 1000 mm<sup>2</sup>) được nghiên cứu và trình bày ở chương 5.

#### 2.4.11 Báo cáo/đánh giá kết quả thu thập

- Giải thích khu vực có chứa bộ phận xạ theo hướng dẫn kiểm tra hiện hành;
- Tất cả các dữ liệu đã ghi lại sẽ được xử lý để xác định hình dạng, đặc điểm và vị trí của bộ phận xạ.

- Công tác đánh giá và bố trí cuối cùng dữ liệu được hiển thị là trách nhiệm của người sở hữu/sử dụng bộ phận cần được kiểm tra.

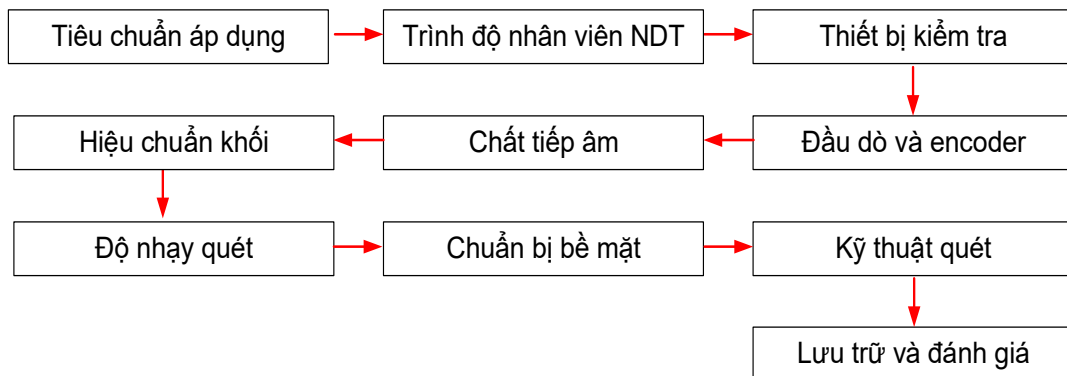
#### 2.4.12 Tài liệu lưu trữ

Thông tin trong báo cáo PAUT nên có các thông tin sau: Số bản vẽ, số đường quét, số hạng mục, vị trí đã quét trên tấm, độ dày danh nghĩa, độ dày còn lại, kích thước khu vực ăn mòn (dài và rộng)...

Kết quả kiểm tra siêu âm phải được báo cáo trong bản báo cáo kiểm tra tổ hợp pha. Tất cả dữ liệu kiểm tra tổ hợp pha A-scan và C-Scan phải được lưu giữ như là bản ghi đã được mã hóa kỹ thuật số.

Tất cả tài liệu về trình độ thực hiện quy trình NDT phải được lưu giữ như là hồ sơ quản lý chất lượng.

Trình tự các bước thực hiện theo quy trình đo kiểm đã được phê chuẩn được trình bày ở hình 2.27.



**Hình 2.27:** Các bước thực hiện theo quy trình đo kiểm đã được phê chuẩn

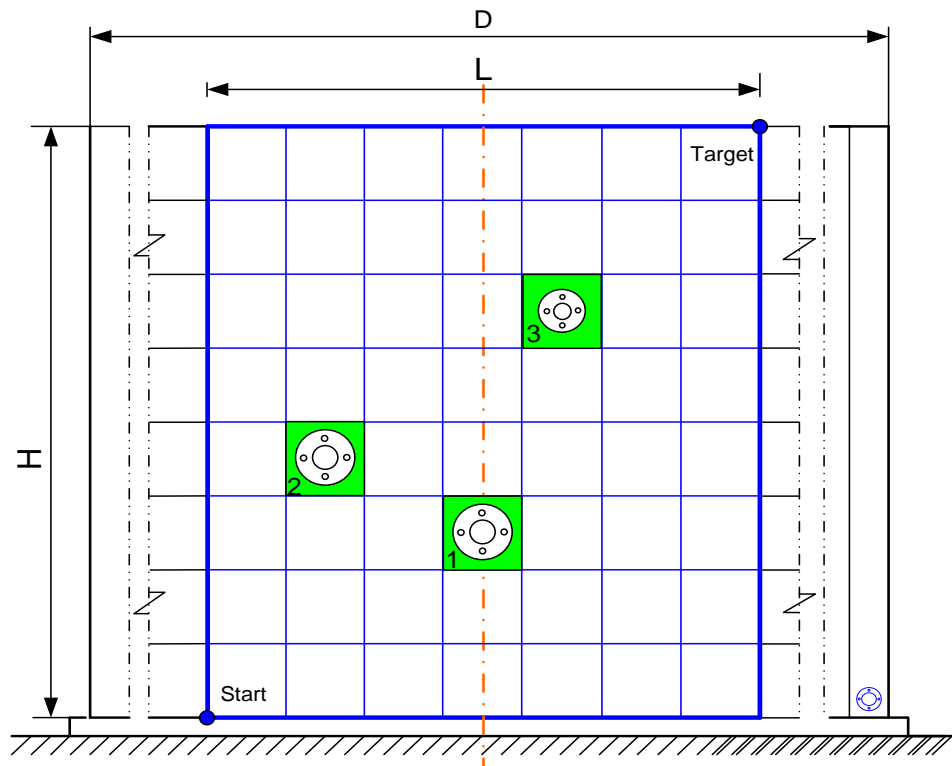
### Chương 3

## MÔ HÌNH TOÁN QUẢNG ĐƯỜNG DI CHUYỂN NGẮN NHẤT

### 3.1 Bài toán tối ưu toàn cục trên bồn chứa

Trên thân bồn chứa được phân mảnh (chia lưới) và xét trên diện tích toàn cục  $L \times H$  có các diện tích bằng nhau và có 3 vật cản. Để robot di chuyển nhanh nhất đến các vị trí cần đo kiểm, đồng thời cần phải tránh va chạm với các vật cản là các ống chờ liên kết với các mặt bích. Vì thế cần phải tìm đường di chuyển tối ưu nhất (ngắn nhất) và tránh được các vật cản.

Bài toán tối ưu tìm quãng đường di chuyển ngắn nhất hoặc thời gian di chuyển nhỏ nhất mà robot đi từ điểm bắt đầu (Start) đến điểm kết thúc (Target) sao cho robot tránh được 03 vật cản (Các mặt bích trên thành bồn chứa) tương ứng với các diện tích không phải quét là màu xanh lá cây trên hình 3.1.

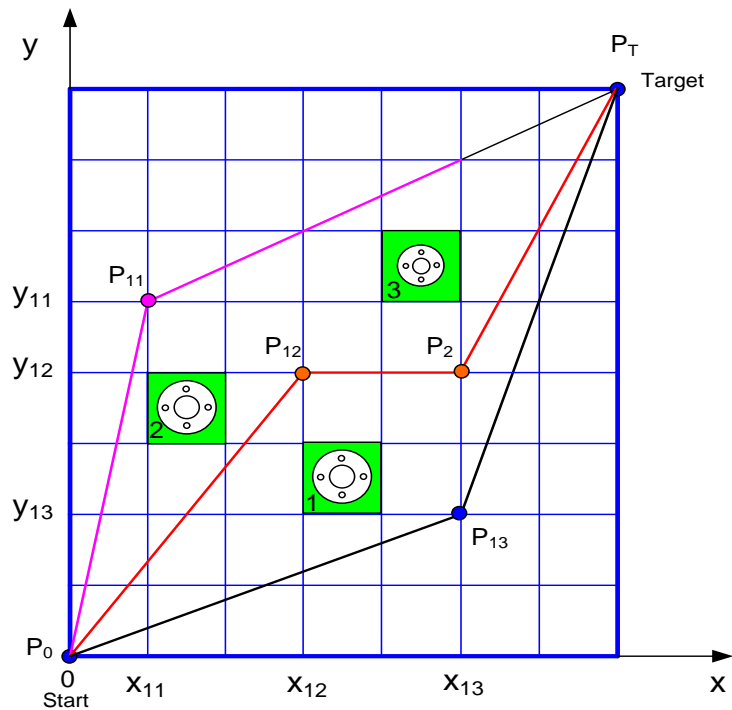


**Hình 3.1:** Mô tả bài toán tối ưu toàn cục trên bồn chứa

Hàm mục tiêu của bài toán:  $y = f(x) \rightarrow \min$

Khi robot di chuyển từ điểm 0 ( $P_0$ ) đến điểm mục tiêu T ( $P_T$ ) và tránh được các vật cản 1, 2, 3 và do bài toán này là các vật cản đã biết cho nên việc xác định quãng đường di chuyển ngắn nhất (shortest path), bằng phẳng (smoothness path) và an toàn (safety path) có 3 trường hợp xảy ra:

- Trường hợp 1: Robot di chuyển từ  $P_0 - P_{11} - P_T$
- Trường hợp 2: Robot di chuyển từ  $P_0 - P_{12} - P_2 - P_T$
- Trường hợp 3: Robot di chuyển từ  $P_0 - P_{13} - P_T$



**Hình 3.2:** Phương án robot di chuyển tránh vật cản

Ta gọi tọa độ của điểm của 2 điểm liền kề nhau là  $P_i(x_i, y_i)$  và  $P_{i+1}(x_{i+1}, y_{i+1})$ , quãng đường  $S_i$  của 2 điểm liền kề này được tính theo công thức như sau:

$$S_{i,i+1} = \sqrt{(x_{i+1} - x_i)^2 + (y_{i+1} - y_i)^2} \quad (3-1)$$

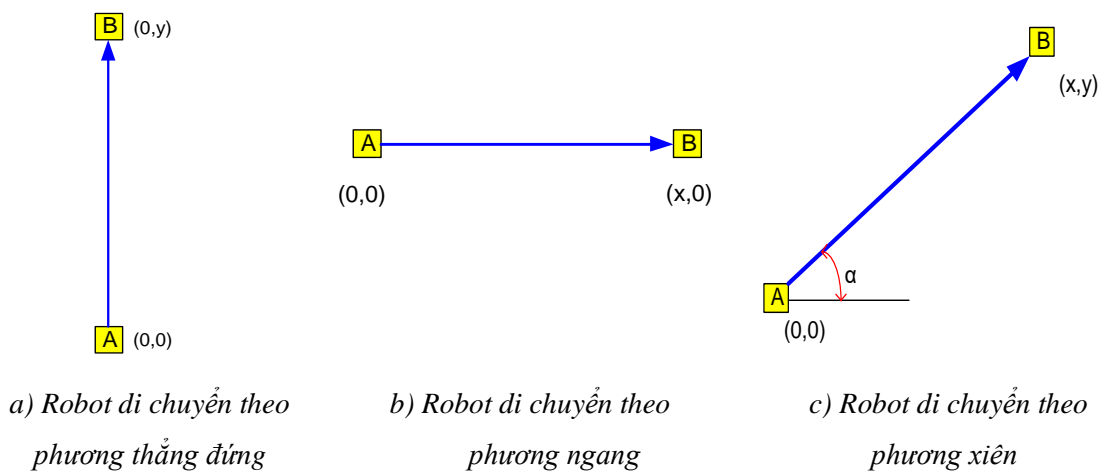
Vậy tổng chiều dài của quãng đường cần di chuyển của robot sẽ là:

$$S = S_1 + \dots + S_n = \sum_{i=1}^n S_{i,i+1} \quad (i = 1, \dots, n = 2) \quad (3-2)$$

Vậy, Hàm mục tiêu của bài toán sẽ là:  $y = f(x) = S \rightarrow \min$

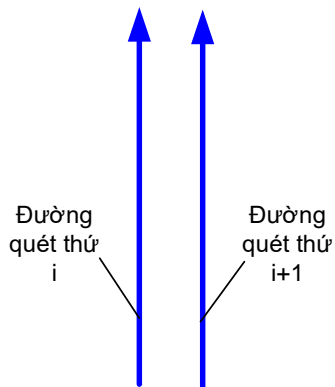
### 3.2 Giới thiệu các phương án di chuyển

Để thu thập hình ảnh mồn cho một diện tích quét cụ thể xác định trước đã được phân mảnh, robot mang đầu quét cần phải di chuyển sao cho đầu quét quét hết diện tích này. Để ảnh mồn thu thập được có thể được ghép lại với nhau hình thành nên bản đồ mồn thì biên ảnh mồn nên có biên dạng thẳng (giúp dễ nhận dạng, dễ thực hiện ghép ảnh tự động). Do vậy, khi quét để thu thập ảnh mồn có biên thẳng robot cần phải di chuyển theo phương thẳng đứng (hình 1a), phương ngang (hình 1b) hoặc xiên (hình 1c).



**Hình 3.3:** Hướng di chuyển của robot

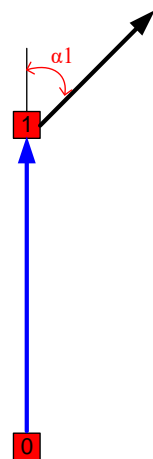
Khi hoàn thành quét thu thập dữ liệu ảnh mồn của đường quét thứ  $i$ , robot sẽ phải di chuyển về vị trí khởi đầu của đường quét  $(i+1)$ . Như vậy, ngoài quãng đường di chuyển quét thu thập ảnh có ý nghĩa thì robot còn phải di chuyển không quét để đưa đầu quét về vị trí bắt đầu của đường quét kế tiếp. Quãng đường di chuyển không thu thập hình ảnh còn gọi là quãng đường di chuyển phụ và robot sẽ có thể di chuyển theo nhiều phương án khác nhau (hình 3.5).



**Hình 3.4:** Các đường quét thu thập ảnh mìn



a) Di chuyển thẳng



b) Di chuyển xiên

**Hình 3.5:** Quảng đường di chuyển phụ

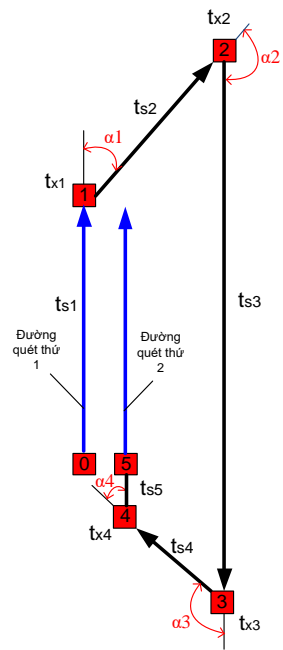
### 3.3 Bài toán tìm thời gian di chuyển

Bài toán đặt ra là cần tìm được quãng đường di chuyển của robot sao cho là ngắn nhất, hay nói khác đi thời gian di chuyển của robot trong quá trình hoạt động quét thu thập ảnh mìn là ngắn nhất. Gọi quá trình hoạt động quét thu thập ảnh mìn cho 1 đường quét, robot di chuyển từ điểm đầu đến điểm cuối và di chuyển về điểm đầu của đường quét kế tiếp, là một chu kỳ quét. Do vậy quá trình hoạt động quét thu thập ảnh mìn cho một diện tích xác định trước sẽ bao gồm nhiều chu kỳ quét. Điều này có nghĩa là quá trình hoạt động quét thu thập ảnh mìn ngắn nhất cũng đồng nghĩa với thời gian cho một chu kỳ quét là ngắn nhất và đây cũng là mục tiêu của bài toán.

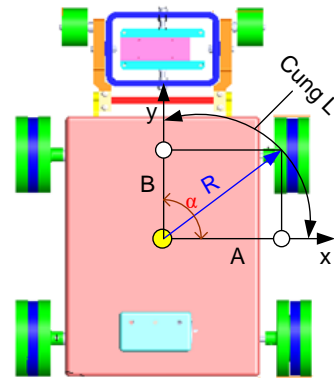
Do vậy, bài toán đường dẫn có thời gian ngắn nhất tổng quát có thể được mô tả:

$$y = f(X) \rightarrow \min$$

Giả sử rằng, trường hợp tổng quát robot di chuyển như ở hình 3.5a, chu kỳ quét bắt đầu khi robot di chuyển từ điểm nút 0 đi qua các điểm nút 1, 2, 3, 4, 5 (chu kỳ thứ nhất) và điểm 5 sẽ là điểm bắt đầu chu kỳ quét thứ hai. Các điểm nút 1, 2, 3, 4 là những điểm chưa biết và có thể thay đổi trong quá trình di chuyển phụ thuộc vào góc xoay  $\alpha$ .



a) Một chu kỳ quét



b) Robot quay 1 góc  $\alpha$

**Hình 3.6:** Thời gian cho 1 chu kỳ quét

- Tọa độ điểm nút 0: (0,0)
- Quãng đường di chuyển từ điểm 0 đến điểm 1:
  - + Chiều dài quãng đường  $s_1$  (mm)
  - + Vận tốc di chuyển  $v_1$  (mm/s)
  - + Thời gian di chuyển  $t_{s1} = s_1 / v$  (s)
- Quãng đường di chuyển từ điểm 1 đến điểm 2:
  - + Chiều dài quãng đường  $s_2$  (mm)
  - + Vận tốc di chuyển  $v_2$  (mm/s)
  - + Thời gian di chuyển  $t_{s2} = s_2 / v_2$  (s)
- Quãng đường di chuyển từ điểm 2 đến điểm 3:
  - + Chiều dài quãng đường  $s_3$  (mm)
  - + Vận tốc di chuyển  $v_3$  (mm/s)
  - + Thời gian di chuyển  $t_{s3} = s_3 / v_3$  (s)
- Quãng đường di chuyển từ điểm 3 đến điểm 4:
  - + Chiều dài quãng đường  $s_4$  (mm)
  - + Vận tốc di chuyển  $v$  (mm/s)



- + Thời gian di chuyển  $t_{s4} = s4 / v4$  (s)
- Quãng đường di chuyển từ điểm 4 đến điểm 5:
  - + Chiều dài quãng đường  $s5$  (mm)
  - + Vận tốc di chuyển  $v5$  (mm/s)
  - + Thời gian di chuyển  $t_{s5} = s5 / v5$  (s)

Ta gọi tọa độ của điểm của 2 điểm liên kế nhau là  $p_i(x_i, y_i)$  và  $p_{i+1}(x_{i+1}, y_{i+1})$ , quãng đường  $s_i$  của 2 điểm liên kế này được tính theo công thức như sau:

$$s_i = \sqrt{(x_{i+1} - x_i)^2 + (y_{i+1} - y_i)^2} \quad (3-3)$$

Vậy tổng chiều dài của quãng đường cần di chuyển của robot trong 1 chu kỳ quét sẽ là:

$$s = s_1 + \dots + s_n = \sum_{i=1}^n s_i \quad (i = 1, \dots, n = 5) \quad (3-4)$$

Trong quá trình di chuyển, ở các điểm nút 1, 2, 3, 4 robot sẽ thực hiện xoay một góc  $\alpha_i$ . Góc xoay  $\alpha_i$  là bội số của góc quay cơ bản ( $\alpha_{cb}$ ) của robot (có giá trị theo đặc điểm thiết kế của robot), nghĩa là:

$$\alpha_i = a \cdot \alpha_{cb} \quad (3-5)$$

Trong đó:

- $\alpha_{cb}$  : góc xoay cơ bản
- $a$  : hằng số,  $a \in \mathbb{N}$

Ta thấy, quãng đường di chuyển của robot bao gồm hai loại chuyển động:

- Chuyển động thẳng
- Chuyển động xoay

Trong đó, chuyển động thẳng của một đoạn đường thẳng có thể được phân tích ra làm 3 giai đoạn:

- Giai đoạn tăng tốc,  $v_t$  (m/s): giai đoạn này robot bắt đầu di chuyển từ điểm đầu
- Giai đoạn ổn tốc,  $v_o$  (m/s): robot đang trên hành trình di chuyển đến điểm cuối
- Giai đoạn giảm tốc,  $v_g$  (m/s): robot đang di chuyển về điểm cuối và chuẩn bị thực hiện quãng đường kế tiếp.

Vận tốc trung bình của robot di chuyển trên một đoạn thẳng được tính theo công thức:

$$v_i = (v_t + v_o + v_g) / 3 \quad (\text{mm/s}) \quad (3-6)$$

Với chuyển động xoay, để tính được thời gian xoay (quay) của robot ta thực hiện như sau:

- Thời gian của robot xoay quanh một điểm được xác định qua bán kính từ tâm robot đến tâm bánh xe phía trước và được tính theo công thức:

$$R^2 = A^2 + B^2 \quad (\text{mm}) \quad (3-7)$$

- Khi robot xoay 1 góc  $\alpha$  mà không di chuyển sẽ tạo nên cung L được tính theo công thức:

$$L = \frac{2\pi \cdot R \cdot \alpha}{360} \quad (\text{mm}) \quad (3-8)$$

- Như vậy, thời gian xoay  $t_x$  của robot tại một góc  $\alpha_i$  bất kỳ (mà không di chuyển) sẽ là:

$$t_{x_i} = \frac{2\pi \cdot R \cdot \alpha_i}{v_{xi} \cdot 360}$$

$$t_{x_i} = \frac{2\pi \cdot R \cdot a \cdot \alpha_{cb}}{v_{xi} \cdot 360} \quad (3-9)$$

Tổng thời gian di chuyển của robot cho một chu kỳ di chuyển được tính theo công thức:

$$t = \sum t_s + \sum t_x \quad (3-10)$$

Trong đó:  $\sum t_s = t_{s1} + t_{s2} + t_{s3} + t_{s4} + t_{s5}$

+ t - tổng thời gian di chuyển của robot

+  $\sum t_s$  - tổng thời gian robot di chuyển qua các điểm liên kế qua quãng đường s

+  $\sum t_x$  - tổng thời gian robot xoay

### 3.4 Thuật toán tối ưu bầy đàn PSO

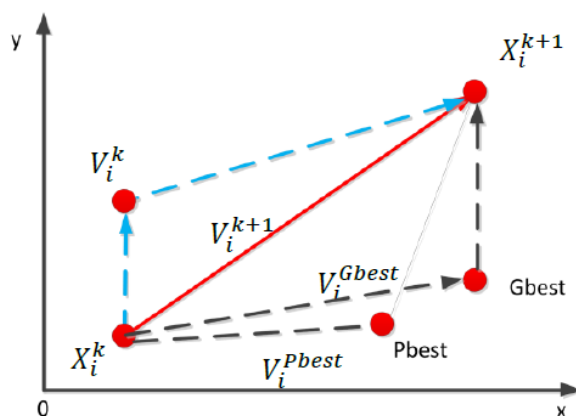
#### 3.4.1 Giới thiệu thuật toán PSO

Thuật toán tối ưu bầy đàn (Particle Swarm Optimazation, PSO) được James Kennedy và kỹ sư Russell C. Eberhart giới thiệu vào năm 1995 tại một hội nghị của IEEE [21]. Thuật toán có nhiều ứng dụng quan trọng trong các lĩnh vực đòi hỏi phải

giải quyết các bài toán tối ưu hóa. Cơ chế của thuật toán tối ưu PSO có thể mô tả một cách đơn giản qua quá trình tìm kiếm thức ăn của một đàn chim. Bầy chim tìm kiếm thức ăn trong một không gian là toàn bộ không gian ba chiều mà đàn chim đang sinh sống. Tại thời điểm bắt đầu tìm kiếm cả đàn bay theo một hướng nào đó, có thể là rất ngẫu nhiên. Tuy nhiên sau một thời gian tìm kiếm một số cá thể trong đàn bắt đầu tìm ra được nơi có chứa thức ăn. Tùy theo số lượng thức ăn vừa tìm kiếm, mà cá thể tìm được thức ăn sẽ gửi tín hiệu lan truyền đến các cá thể khác đang tìm kiếm ở vùng lân cận. Dựa vào thông tin nhận được, mỗi cá thể sẽ điều chỉnh hướng và vận tốc theo hướng về nơi có nhiều thức ăn nhất. Cơ chế truyền tin như vậy thường được xem như là một kiểu của trí tuệ bầy đàn giúp cả đàn chim tìm ra nơi có nhiều thức ăn nhất trên không gian tìm kiếm vô cùng rộng lớn. Như vậy đàn chim đã dùng trí tuệ, kiến thức và kinh nghiệm của cả đàn để nhanh chóng tìm ra nơi chứa thức ăn.

PSO là được khởi tạo bởi một nhóm ngẫu nhiên đó là vị trí các điểm node sau đó tìm kiếm giải pháp tối ưu bằng việc cập nhật các thế hệ, trong mỗi thế hệ mỗi điểm nút là được cập nhật bởi hai giá trị [39]:

- Pbest: là nghiệm tốt nhất đạt được cho đến thời điểm hiện tại
- Gbest: là nghiệm tốt nhất mà node lân cận node này đạt được cho tới thời điểm hiện tại.



**Hình 3.7:** Thay đổi điểm tìm kiếm của PSO [39]

Trong đó:

- k: số lần lặp
- $V_{ij}^k$ : vận tốc của node i tại vòng lặp thứ k
- w: trọng số quán tính.
- $c_1, c_2$ : hệ số gia tốc
- $rand()$ : là một số ngẫu nhiên trong khoảng (kích cỡ cụm, kích cỡ bài toán)
- $X_{i,j}^k$ : vị trí của node i tại vòng lặp thứ k
- $Pbest_{i,j}^k$ : vị trí tốt nhất của node thứ i
- $Gbest_{i,j}^k$ : vị trí tốt nhất của node trong kế hoạch đường dẫn

Hàm vận tốc (chuyển động của mỗi cá thể là tổng hợp của 3 chuyển động)

[40], [41]:

$$V_{i,m} = w \cdot V_{i,m} + c_1 * rand() * (Pbest_{i,m} - x_{i,m}) + c_2 * rand() * (Gbest_{i,m} - x_{i,m})$$

Hàm vị trí:

$$X_{i,m} = X_{i,m} + V_{i,m}$$

Hàm mục tiêu hay hàm thích nghi hay hàm đánh giá  $F(x)$  là hàm mô tả yêu cầu của bài toán cần đạt tới. Hàm này dùng để đánh giá các lời giải của bài toán. Tùy vào bài toán khác nhau, hàm mục tiêu sẽ khác nhau. Bằng cách đánh giá và so sánh giải pháp hiện tại với giải pháp tốt nhất, các cá thể sẽ xác định bước đi tiếp theo. Ba giải pháp (vị trí) tốt nhất là: tốt nhất cá nhân (Pbest), tốt nhất toàn cục (Gbest) và tốt nhất cục bộ (Lbest).

### 3.4.2 Xây dựng hàm mục tiêu

Thuật toán tối ưu bầy đàn PSO áp dụng để tìm tọa độ của 4 điểm trung gian  $[1(x_1, y_1), 2(x_2, y_2), 3(x_3, y_3), 4(x_4, y_4)]$ , sao cho thời gian di chuyển từ tọa độ đầu  $0(x_0, y_0)$  và cuối  $5(x_5, y_5)$  là ít nhất với ràng buộc góc quay đầu của robot là một số nguyên lần  $a$  của  $45^0$  trong 1 đường quét.

Vậy hàm mục tiêu  $y = f(X)$  mà robot di chuyển cho 1 chu kỳ được xác định như sau:

$$f(X) = \sum_{i=1}^5 t_s(i) + \sum_{i=1}^4 t_x(i); X = [x_1, y_1, x_2, y_2, x_3, y_3, x_4, y_4] \quad (3-11)$$

$$f(X) = t_{s1} + t_{s2} + t_{s3} + t_{s4} + t_{s5} + t_{x1} + t_{x2} + t_{x3} + t_{x4}$$

$$f(X) = \frac{s_1}{v_1} + \frac{s_2}{v_2} + \frac{s_3}{v_3} + \frac{s_4}{v_4} + \frac{s_5}{v_5} + \frac{2\pi.R.a.\alpha_{cb}}{v_{x1}.360} + \frac{2\pi.R.a.\alpha_{cb}}{v_{x2}.360} + \frac{2\pi.R.a.\alpha_{cb}}{v_{x3}.360} + \frac{2\pi.R.a.\alpha_{cb}}{v_{x4}.360}$$

Như vậy, mô hình bài toán để robot di chuyển có thời gian ngắn nhất được xác định như sau:

$$(1) \quad y = f(t) = \sum_{i=1}^n t_{si} + \sum_{i=1}^n t_{xi} \rightarrow \text{Min}$$

$$(2) \quad t_{si} = \frac{s_i}{v_i}; \quad t_{xi} = \frac{2\pi.R.a.\alpha_{cb}}{v_{xi}.360}; \quad \alpha_i = a.\alpha_{cb}$$

### 3.4.3 Giải thuật PSO

Kích thước quần thể là  $N$  và mỗi cá thể có  $D$  đặc tính,  $D$  chính là tọa độ của 4 điểm trung gian.

Nghiệm khởi tạo là:  $\mathbf{X} = [\mathbf{X}_1, \dots, \mathbf{X}_i, \dots, \mathbf{X}_N]; i = 1, 2, \dots, N$

Đặc tính của mỗi cá thể:  $\mathbf{X}_i = [X_{i,1}, \dots, X_{i,j}, \dots, X_{i,D}]; j = 1, 2, \dots, D = 8$

Thuật toán PSO thực hiện hành vi tìm kiếm dựa vào vị trí tốt nhất mà nó đã từng đạt được cho tới thời điểm hiện tại ( $P_{best}$ ) và vị trí tốt nhất trong tất cả quá trình tìm kiếm cả quần thể từ trước tới thời điểm hiện tại ( $G_{best}$ ), mà quyết định vị trí tiếp theo của chúng trong không gian tìm kiếm. Ngoài ra, vị trí mới còn phụ thuộc vào hai hệ số gia tốc ( $c_1$  và  $c_2$ ) và hệ số quán tính ( $w$ ). Trong đó,  $c_1$  và  $c_2$  được lựa chọn ngẫu nhiên trong khoảng  $[0, 2]$  và  $w$  được lựa chọn trong khoảng  $[w_{min}, w_{max}]$ .

Vận tốc ban đầu của quần thể được ký hiệu là  $\mathbf{V} = [V_1, V_2, \dots, V_N]$ . Do đó, vận tốc của mỗi cá thể  $X_i$  ( $i = 1, 2, \dots, N$ ) là  $V_i = [V_{i,1}, V_{i,2}, \dots, V_{i,D}]$ . Các bước khác nhau của PSO [24], [41, 44] như sau:

- Bước 1: Thiết lập các giá trị các biến ban đầu  $w_{min}$ ,  $w_{max}$ ,  $c_1$  and  $c_2$  của thuật toán PSO.
- Bước 2: Khởi tạo quần thể số điểm nút cho vị trí  $\mathbf{X}$ , vận tốc  $\mathbf{V}$
- Bước 3: Thiết lập số lần lặp  $k = 1$
- Bước 4: Tính toán các cá thể phù hợp  $F_i^k = f(X_i^k)$ , " $i$ " và tìm kiếm cá thể có chỉ số tốt nhất  $b$ .
- Bước 5: Lựa chọn  $P_{best}_i^k = X_i^k$ , " $i$ " và  $G_{best}^k = X_b^k$

- Bước 6: Xác định  $w = w_{\max} - k' (w_{\max} - w_{\min}) / \text{Maxite}$

- Bước 7: Cập nhật vận tốc và vị trí của các cá thể

$$V_{i,j}^{k+1} = w' V_{i,j}^k + c_1' \text{rand}() (Pbest_{i,j}^k - X_{i,j}^k) + c_2' \text{rand}() (Gbest_j^k - X_{i,j}^k); \quad "j \text{ and } "i$$

$$X_{i,j}^{k+1} = X_{i,j}^k + V_{i,j}^{k+1}; \quad "j \text{ and } "i$$

- Bước 8: Đánh giá  $F_i^{k+1} = f(X_i^{k+1})$ , "i và tìm kiếm cá thể có chỉ số tốt nhất  $b_1$

- Bước 9: Cập nhật  $P_{best}$  của quần thể "i

$$\text{Nếu } F_i^{k+1} < F_i^k \text{ thì } Pbest_i^{k+1} = X_i^{k+1} \text{ ngược lại } Pbest_i^{k+1} = Pbest_i^k$$

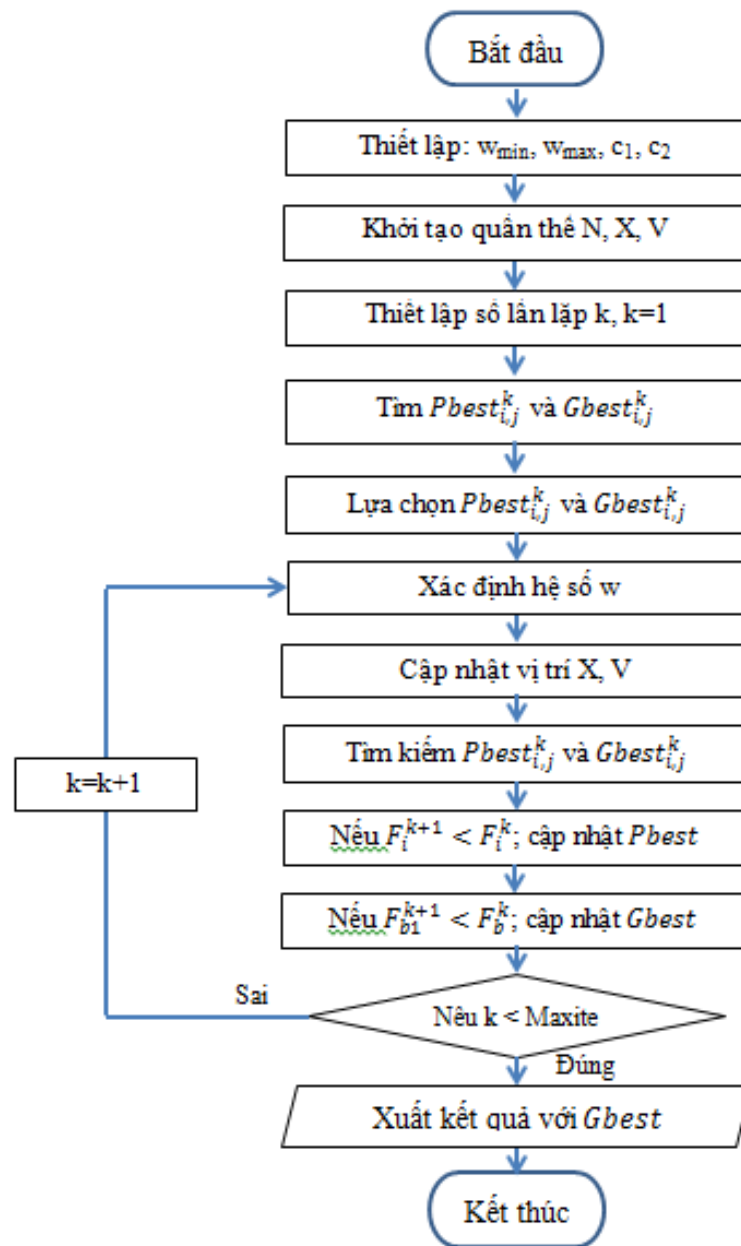
- Bước 10: Cập nhật  $Gbest$  trong quần thể

$$\text{Nếu } F_{b_1}^{k+1} < F_b^k \text{ thì } Gbest^{k+1} = Pbest_{b_1}^{k+1} \text{ và } b = b_1 \text{ ngược lại } Gbest^{k+1} = Gbest^k$$

- Bước 11: Nếu  $k < \text{Maxite}$  thì  $k = k + 1$  và trở lại bước 6 ngược lại tiếp tục 12

- Bước 12 : In giải pháp tối ưu với  $Gbest^k$

Từ các bước của thuật toán PSO đã được xây dựng, lưu đồ giải thuật PSO được tóm tắt và trình bày ở hình 3.8.



**Hình 3.8:** Lưu đồ xác định các điểm trung gian ứng dụng PSO

### 3.4.4 Mô phỏng thuật toán PSO

Để tìm giá trị tối ưu cho hàm mục tiêu cũng chính là thời gian di chuyển ngắn nhất của robot cho một chu kỳ quét, Hàm mục tiêu phụ thuộc vào các thông số như:  $w$ ,  $c_1$ ,  $c_2$ , kích thước quần thể  $N$ . Đối với bài toán tối ưu sử dụng thuật toán PSO, giá trị các tham số tối ưu đã được khảo sát là:  $w = 0.4 - 0.9$ ;  $c_1 = 1 - 2$ ;  $c_2 = 1 - 2$  [42], [43,44]. Bảng 3.1 Trình bày kết quả khảo sát giá trị tham số của thuật toán PSO.

**Bảng 3.1:** Kết quả trình bày khảo sát giá trị hệ số của thuật toán PSO

Trường hợp	w	C1	C2	f(x)
1	0.4	1.5	1.5	159.8846
2	0.5	2	2	159.8183
3	0.6	1.8	1.8	159.8143
4	0.7	2	2	159.8248
5	0.6	2	2	159.8045
6	0.9	1.8	1.5	159.8941
7	0.8	2	2	159.8440
8	0.6	2	1.8	159.8142
9	0.7	1	2	159.8346
10	0.5	1	2	159.8243

Dựa vào bảng 3.1, trường hợp 5 cho giá trị mục tiêu nhỏ nhất, nên các thông số được lựa chọn để mô phỏng hàm mục tiêu sẽ là  $w = 0.6$ ,  $c_1 = 2$ ,  $c_2 = 2$ .

Với đặc điểm vận hành của robot và điều kiện thực tế khi siêu âm PA để có được chất lượng hình ảnh siêu âm tốt nhất, ta chọn vận tốc trung bình của robot là  $v=35$  mm/s, vận tốc xoay của robot là  $v = 20$ mm/s.

Kết quả được mô phỏng với một chu kỳ quét trên diện tích dự kiến thí nghiệm quét là  $1000 \times 1000$ , các giá trị quần thể N được mô phỏng là 50, 100, 150, 200, 250 số lần lặp cho mỗi quần thể là 50 lần. Kết quả được trình bày ở bảng 3.2.

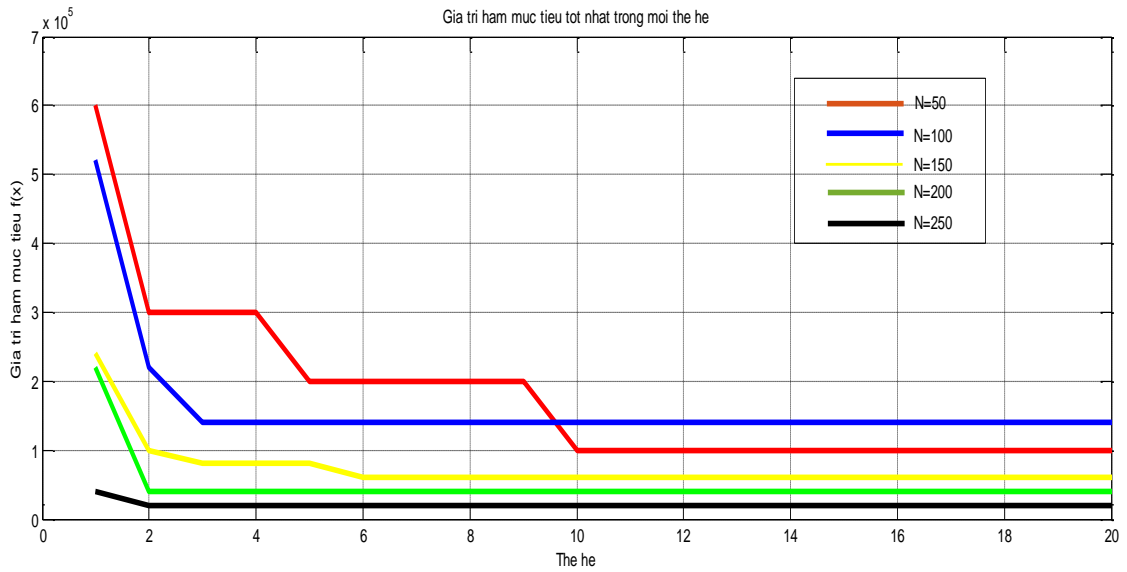
**Bảng 3.2:** Kết quả khảo sát giá trị N

STT	N	Số lần lặp k	f(x) trung bình
1	50	50	1.0007e+05
2	100	50	1.4007e+05
3	150	50	4.0079e+04
4	200	50	6.0076e+04
5	250	50	2.0080e+04

Dựa vào kết quả ở bảng 3.2 cho thấy giá trị hàm mục tiêu tốt nhất có các giá trị  $N = 250$ ,  $f(x) = 2.0080e+04$ ; Đường đặc tính hội tụ khi thực hiện các số lượng quần



thể khác nhau được trình bày ở các hình 3.9.



**Hình 3.9:** Đường đặc tính hội tụ trung bình [45]

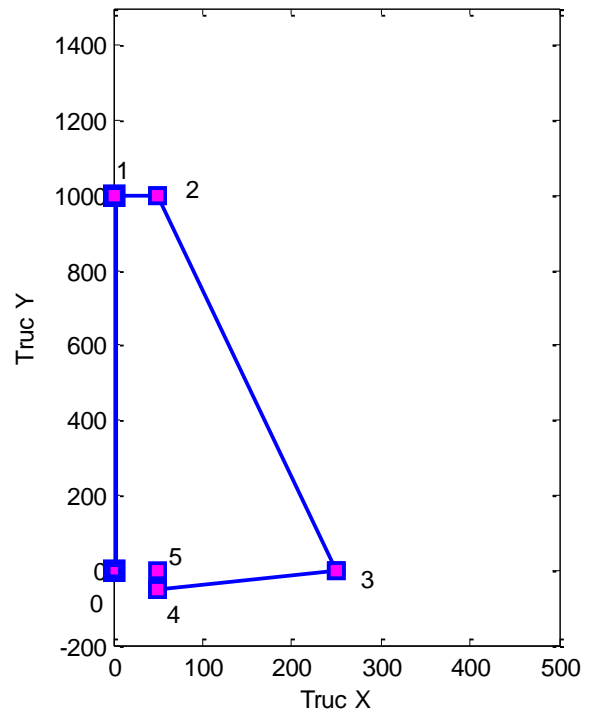
Với các kết quả khảo sát các hệ số  $w$ ,  $c_1$ ,  $c_2$ , kích thước quần thể  $N$ . Kết quả mô phỏng cho thấy đường dẫn không được mịn (trơn tru) là do ảnh hưởng của hệ số  $a$ , nên khi thực hiện khảo sát với các hệ số khác nhau  $a = 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7$  cho thấy rằng, đường dẫn ngắn nhất sẽ có nhiều giá trị khác nhau và được trình bày ở hình 3.10, 3.11, 3.12.

Nếu giảm hệ số  $a = 1, 2$  thì kết quả sẽ là hình 3.12, cũng có thời gian di chuyển ngắn nhất là  $f(x) = 115.9411$  (s); Kết quả này cũng cho thấy rằng quãng đường có độ mịn hơn so với kết quả hình 3.10 và 3.12.

Vì vậy để lựa chọn phương án di chuyển thông qua khảo sát và mô phỏng các hệ số ta chọn phương án di chuyển được trình bày ở hình 3.11.

Vị trí	x	y
0	0	0
1	0	1000
2	50	1000
3	250	0
4	50	-50
5	50	0

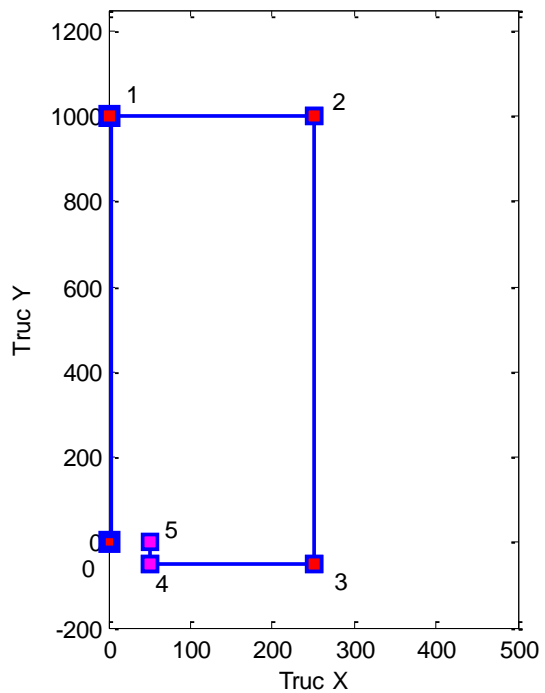
Hệ số	Giá trị
w	0.6
$c_1$	2
$c_2$	2
N	250
$f(x)_{\min}$	159.8045



**Hình 3.10:** Phương án di chuyển với hệ số  $a = 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7$  [45]

Vị trí	x	y
0	0	0
1	0	1000
2	250	1000
3	250	-50
4	50	-50
5	50	0

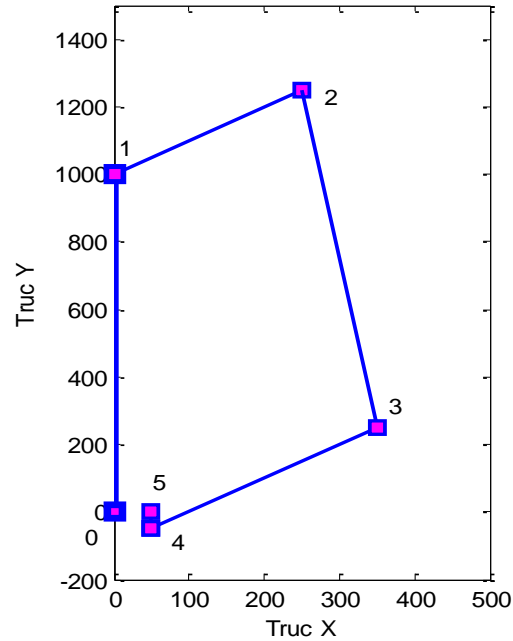
Hệ số	Giá trị
w	0.6
$c_1$	2
$c_2$	2
N	250
$f(x)_{\min}$	115.9411



**Hình 3.11:** Phương án di chuyển với hệ số  $a = 1, 2$  [45]

Vị trí	x	Y
0	0	0
1	0	1000
2	250	1250
3	350	250
4	50	-50
5	50	0

Hệ số	Giá trị
w	0.6
c <sub>1</sub>	2
c <sub>2</sub>	2
N	250
f(x)min	165.7082



**Hình 3.12:** Phương án di chuyển với hệ số a = 1, 2, 3, 4, 5, 6 [45]

### 3.4.5 Đề xuất phương án quét dựa trên kết quả PSO

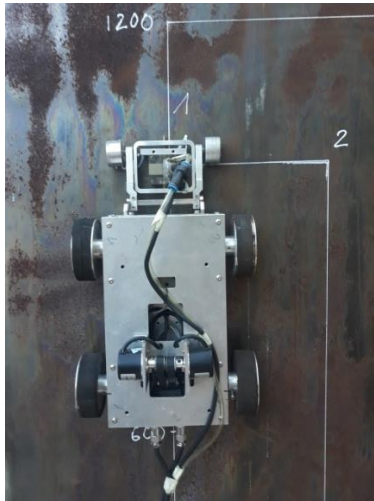
Dựa vào kết quả mô phỏng thuật toán tối ưu PSO, với các thông số đã xác định được là w, c<sub>1</sub>, c<sub>2</sub>, kích thước quần thể N, hệ số a = 1, 2 thì hàm mục tiêu cho kết quả tối ưu nhất. Phương án quét tối ưu được đề xuất trình bày ở hình 3.11.

### 3.4.6 Thử nghiệm robot theo phương án di chuyển tìm được

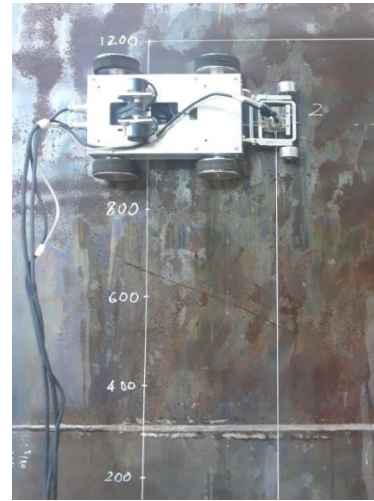
Với phương án di chuyển của robot được đề xuất ở hình 3.11, để xác định khả năng hoạt động và độ tin cậy của robot theo phương án này cần thực nghiệm để xác định hàm mục tiêu theo mô phỏng PSO và so sánh với thời gian di chuyển thực tế trên mô hình bồn chứa.

Trong phần thử nghiệm này chủ yếu là xác định thời gian di chuyển cho một chu kỳ của phương án quét được đề xuất. Ngoài ra về vị trí, vận tốc đã được kiểm nghiệm ở chương 2.

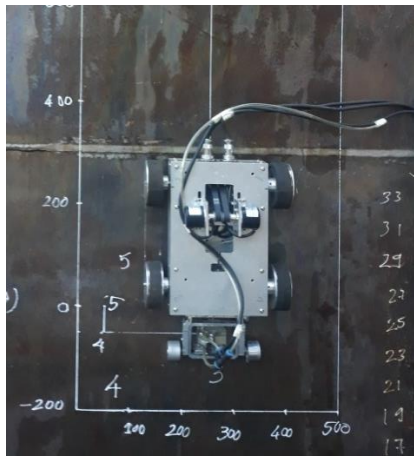
Để thử nghiệm có độ tin cậy tốt, công việc thực nghiệm được tiến hành 3 lần với số lần lặp là 3.



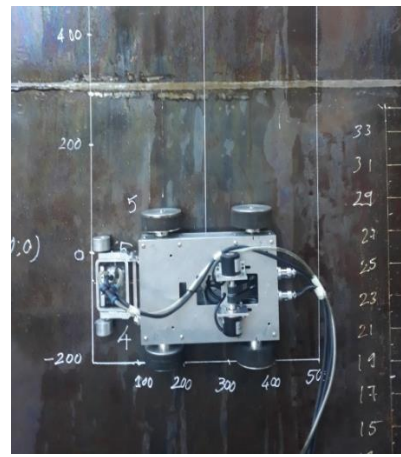
a) Robot di chuyển từ 0-1



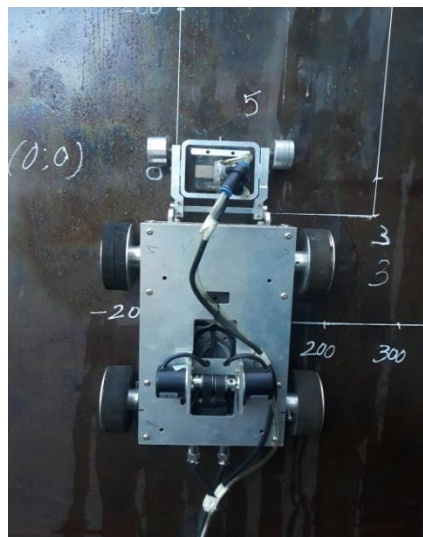
b) Robot di chuyển từ 1-2



d) Robot di chuyển từ 2-3



d) Robot di chuyển từ 3-4



e) Robot di chuyển từ 4-5

**Hình 3.13:** Robot di chuyển theo phương án của thuật toán PSO [45].

**Bảng 3.3:** Kết quả thử nghiệm robot chạy trên mô hình thực tế.

Thí nghiệm		f(x) mô phỏng	Thời gian di chuyển thực tế t (s)
STT	Lặp		
1	1	115.94	116.54
	2		117.96
	3		118.98
2	1		117.98
	2		117.98
	3		118.94
3	1		116.84
	2		118.77
	3		118.00
<b>Trung bình</b>		<b>115.94</b>	<b>118.00 ± 1.86</b>

Dựa vào bảng dữ liệu (bảng 3.3) ta có thể thấy là sai lệch về thời gian di chuyển trung bình qua 3 lần lặp so với thời gian mô phỏng bằng thuật toán PSO là 0.217 %. Kết quả thực nghiệm cho phương án di chuyển được đề xuất có sai lệch về thời gian khoảng 0.217% đã chứng tỏ robot di chuyển có sai lệch nhỏ so với thời gian mô phỏng. Kết quả so sánh này là điều kiện để xác định robot có khả năng hoạt động tốt và làm cơ sở cho việc thực nghiệm trên mô hình bồn chứa nhằm phục vụ thí nghiệm quét một phần diện tích trên mô hình bồn chứa [45].

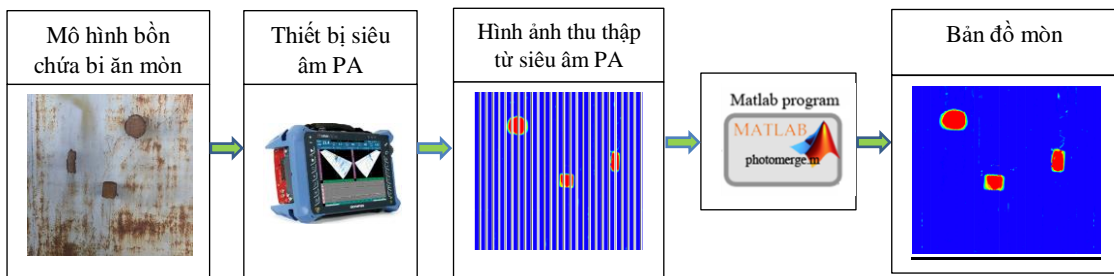
Như vậy, qua thực nghiệm kiểm nghiệm độ tin cậy khi robot di chuyển theo phương án của thuật toán PSO đã được đề xuất cho một chu kỳ trên mô hình thí nghiệm cho thấy độ lệch vị trí, thời gian di chuyển là thấp. Bài toán tìm thời gian di chuyển ngắn nhất phù hợp phương pháp kiểm tra siêu âm PA, với điều kiện làm việc của robot, đã lựa chọn được các hệ số  $w$ ,  $c_1$ ,  $c_2$ , kích thước quần thể  $N$ , hệ số  $a$  để đạt được kết quả tối ưu.

## Chương 4

# NGHIÊN CỨU XÂY DỰNG BÀI TOÁN GHÉP ẢNH MÒN

### 4.1 Nghiên cứu xây dựng bài toán ghép ảnh

Việc xây dựng bản đồ mòn là sử dụng các dữ liệu hình ảnh của phương pháp kiểm tra siêu âm PA để hình thành nên các ảnh đồ hoạ màu về hình dạng bên trong vật thể đo. Quá trình tạo dựng bản đồ mòn được mô tả ở hình 6.1.



**Hình 4.1:** Mô tả hệ thống tạo dựng bản đồ mòn [46]

Bản đồ mòn (bản đồ ăn mòn) là một ảnh số hoá bề mặt của vật thể đo cung cấp các thông tin về vị trí (toạ độ), chiều dày vật liệu qua màu sắc. Có thể xác định và tạo lập bản đồ mòn cho một khu vực ăn mòn hoặc tổng thể toàn bộ vật đo.

Bản đồ mòn phục vụ công việc đánh giá một cách chi tiết và chính xác độ mòn ở bất kỳ vị trí nào của vật đo. Bản đồ mòn tổng thể làm cơ sở lưu trữ, định vị vị trí mòn, theo dõi định kỳ kiểm tra quá trình mòn của vật đo, tiết kiệm chi phí đo kiểm cho lần kiểm tra kế tiếp.

Qua việc đánh giá độ mòn hoặc chiều dày vật liệu còn lại của vật đo, có thể khuyến nghị cho đơn vị sử dụng mức độ ăn mòn thông qua tiêu chuẩn an toàn, tiêu chuẩn sử dụng API 653 [28] để so sánh đánh giá nhằm phục vụ công tác bảo trì bảo dưỡng.

#### 4.1.1 Hình ảnh và quá trình xử lý ảnh

##### 4.1.1.1 Ảnh mòn C-Scan

Ảnh mòn C-Scan thu thập được từ công nghệ kiểm tra siêu âm tổ hợp pha (PAUT) được ghi lại dưới định dạng Bitmap có thể là kiểu Graphics Interchange

Format (GIF), Joint Photographic Experts Group (JPEG), Portable Network Graphics (PNG). Ảnh màn C-Scan có thể được xem là kiểu ảnh được định chỉ số (Indexed Images), nghĩa là được biểu diễn bởi hai ma trận gồm ma trận dữ liệu X và ma trận bản đồ màu:

- Ma trận dữ liệu X thường có kiểu dữ liệu *uint8/unit18/double* với giá trị của một phần tử cho biết màu của điểm ảnh đó là màu nằm ở hàng nào trong ma trận màu.

- Ma trận màu (bản đồ màu) có kích thước  $m \times 3$  với các phần tử có kiểu dữ liệu *double* và miền giá trị thuộc  $[0, 1]$ . Mỗi hàng của ma trận xác định các màu thành phần red, green, blue trong tổng số m màu được sử dụng trong ảnh.

#### 4.1.1.2 Ảnh nhị phân

Trong một ảnh nhị phân, mỗi pixel chỉ có thể chứa một trong hai giá trị nhị phân 0 hoặc 1, hay nói cách khác một ảnh nhị phân được lưu trữ như một mảng logic của 0 và 1. Mức xám là kết quả sự mã hóa tương ứng một cường độ sáng của mỗi điểm ảnh với một giá trị số nhờ vào kết quả của quá trình lượng tử hóa. Mức mã hóa 256 là phổ dụng nhất vì mỗi pixel có thể được mã hóa bởi 8 bit. Ảnh nhị phân đầu ra là hình ảnh logic đen trắng được chuyển đổi từ hình ảnh đầu vào bằng cách sử dụng phương pháp trung bình hoặc phương pháp trọng số khi cần đạt được độ nét cao hơn [T]:

- Phương pháp trung bình: lấy giá trị trung bình theo đóng góp của các màu R, G, B. Nghĩa là 33% màu đỏ (R), 33% màu xanh lá cây (R), 33% màu xanh da trời (B):

$$\text{Thang độ xám} = (R + G + B / 3)$$

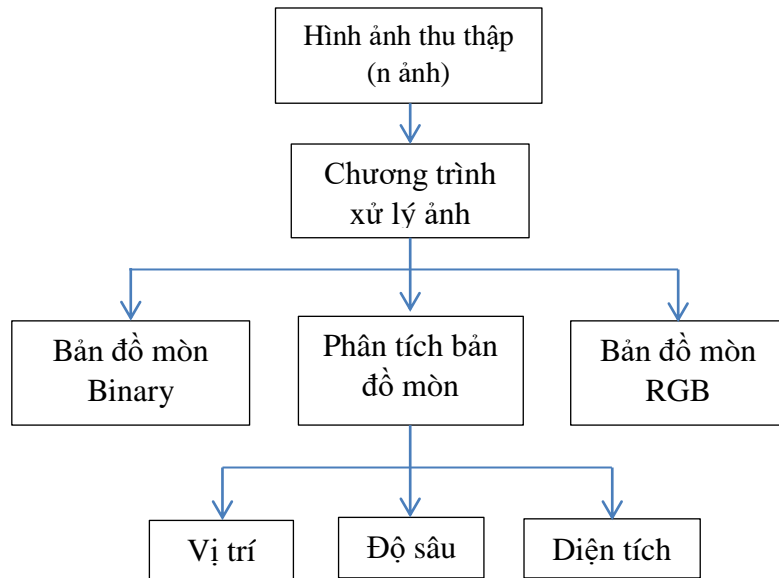
- Phương pháp trọng số: lấy giảm sự đóng góp của màu đỏ ®, tăng sự đóng góp của màu xanh lá cây (G), và đặt sự đóng góp của màu xanh da trời (B) vào giữa hai màu này. Nghĩa là, đỏ (R) đóng góp 30%, xanh lục (G) đóng góp 59%, và xanh da trời (B) đóng góp 11%:

$$\text{Thang độ xám} = ((0,3 * R) + (0,59 * G) + (0,11 * B))$$

### 4.1.1.3 Quá trình xử lý ảnh

Quá trình xử lý ảnh bắt đầu từ việc thu nhận ảnh từ thiết bị quét, camera,... gửi đến máy tính. Tiếp theo là quá trình số hóa (digitalizer) để biến đổi tín hiệu tương tự sang tín hiệu rời rạc (lấy mẫu) và số hóa bằng lượng hóa, trước khi chuyển sang giai đoạn xử lý, phân tích hình ảnh [59].

Quá trình phân tích hình ảnh thực chất bao gồm nhiều công đoạn nhỏ như: Cải thiện và nâng cấp ảnh, phát hiện và tách biên ảnh, phân vùng ảnh và xử lý ảnh nhị phân định hướng mục đích ứng dụng xử lý ảnh [59, 60]. Quá trình xử lý ảnh được mô tả theo hình 4.2.



**Hình 4.2.** Mô tả quá trình xử lý ảnh

Trong hầu hết quá trình xử lý ảnh, chủ yếu chỉ quan tâm đến cấu trúc của ảnh và bỏ qua ảnh hưởng của yếu tố màu sắc. Do đó, bước chuyển từ ảnh màu thành ảnh xám là một công đoạn phổ biến trong các quá trình xử lý ảnh vì nó làm tăng tốc độ xử lý là giảm mức độ phức tạp của các thuật toán trên ảnh. Ta có công thức chuyển các thông số giá trị màu của một pixel thành mức xám tương ứng như sau:

$$G = \alpha.C_R + \beta.C_G + \delta.C_B$$

Trong đó các giá trị  $C_R$ ,  $C_G$  và  $C_B$  lần lượt là các mức độ đóng góp của màu đỏ (R), xanh lục (G) và xanh da trời (B) của pixel màu. Các hệ số  $\alpha$ ,  $\beta$ , và  $\delta$  là các giá trị thay đổi tùy thuộc hệ màu.



#### **4.1.2 Phân tích, đánh giá dữ liệu hình ảnh thu thập được**

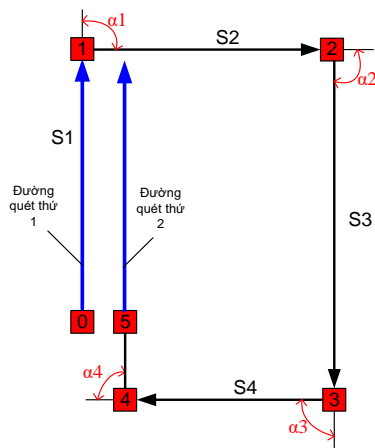
Dựa vào dữ liệu ảnh mìn thu thập được ta có một số nhận xét sau [47]:

- Dữ liệu ảnh có chất lượng tốt, đạt  $640 \times 480$  pixels;
- Chiều dài ảnh mìn phụ thuộc vào chiều dài quét, chiều rộng phụ thuộc vào độ mở đầu dò;
- Thứ tự ảnh thu thập được sắp xếp theo thứ tự, liên kề nhau;
- Mỗi ảnh được đặt 1 tên có chứa số thứ tự;
- Số lượng ảnh mìn thu thập được tùy thuộc vào số đường quét.

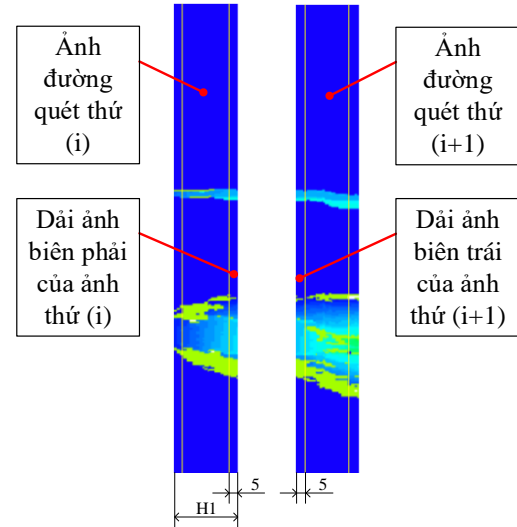
#### **4.1.3 Phương án quét thu thập ảnh mìn**

Dựa vào phương án đo kiểm đã được xác định, để dễ dàng cho công việc ghép ảnh phương án quét khi cho robot mang đầu dò siêu âm thu thập dữ liệu mìn được cải tiến như sau:

- Các đường quét được thiết kế và điều khiển sao cho ảnh mìn có phần ảnh ở biên trùng nhau.
- Ảnh đường quét thứ (i) sẽ có phần biên ảnh bên phải (dải ảnh biên phải) giống với phần ảnh biên bên trái (dải ảnh biên trái) của ảnh đường quét (i+1).
- Dải ảnh biên phải của ảnh thứ (i) và dải ảnh biên trái của ảnh thứ (i+1) được sử dụng để so khớp và ghép ảnh.
- Bề rộng của ảnh sẽ phụ thuộc vào bề rộng của đầu dò sử dụng.
- Chiều cao của ảnh sẽ phụ thuộc vào chiều cao quét được cài đặt trước trên robot.



a) Phương án đo



b) Biên của ảnh mìn

**Hình 4.3:** Tính chất của các ảnh mìn thu thập được khi quét

Với các đặc tính trên của ảnh mìn, các thông số đầu vào để thiết kế phần mềm ghép ảnh được xác định như sau:

Chiều rộng, chiều cao của các ảnh về cơ bản là giống nhau. Chiều rộng của ảnh bằng nhau do phụ thuộc vào độ mở đầu dò, chiều cao có thể ngắn/dài hơn không quá 10 mm (do khi quét ảnh chịu tác động của gió và lực trọng trường khi lên cao).

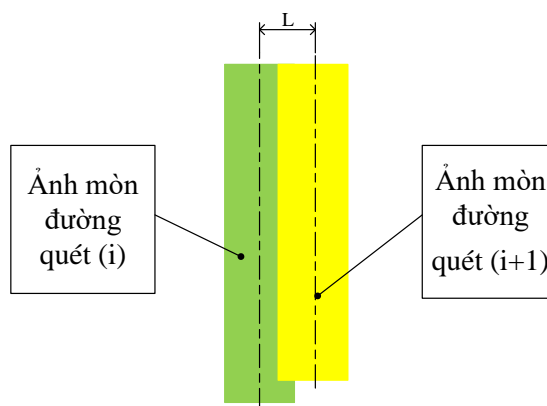
- Ảnh có độ phân giải 640x480 pixels (thiết bị siêu âm OmniScan MX2).
- Chiều rộng ảnh: 25, 40, 45, 53 mm (độ mở đầu dò).
- Chiều cao ảnh: xác định trước dựa vào tính năng của robot và chiều cao của bồn (chiều cao thực tế của robot di chuyển khi quét dữ liệu mìn).
- Bề rộng dải ảnh ở biên trái/phải theo phương dài (đứng) là 5 mm được sử dụng cho nhận dạng.

#### 4.1.4 Phân tích hiện trạng dữ liệu ảnh mìn thu được

Khi robot di chuyển để thực hiện các đường quét do nhiều yếu tố ảnh hưởng như sai số bước truyền động,... Nên khoảng cách giữa các đường quét không đảm bảo được độ chính xác yêu cầu gây ảnh hưởng không nhỏ đến độ chính xác của bản đồ mìn. Các trường hợp gây sai lệch khoảng cách giữa các đường quét có thể là [47]:

- **Ảnh mòn của đường quét (i+1) chồng lấp lên ảnh mòn đường quét (i)**

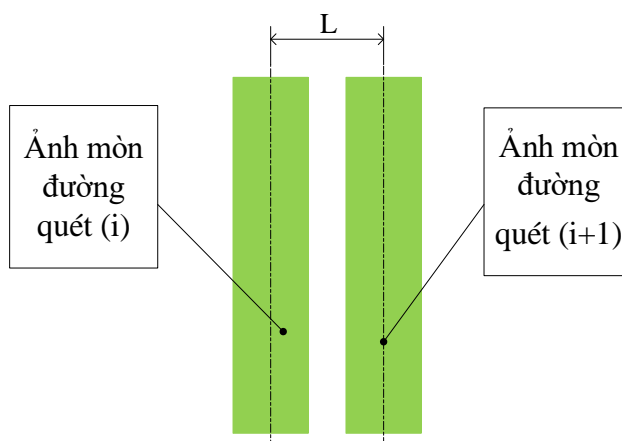
Ở đây, ảnh mòn của đường quét (i+1) sẽ chồng lấp một phần lên ảnh mòn của đường quét (i) [47]. Như vậy khi ghép ảnh để xây dựng bản đồ mòn các kích thước có khuyết tật mòn sẽ bị thu nhỏ (hình 4.4).



**Hình 4.4:** Ảnh mòn khi đường quét chồng lấp một phần lên nhau [47]

- **Ảnh mòn của đường quét (i+1) không giáp biên với ảnh mòn của đường quét (i)**

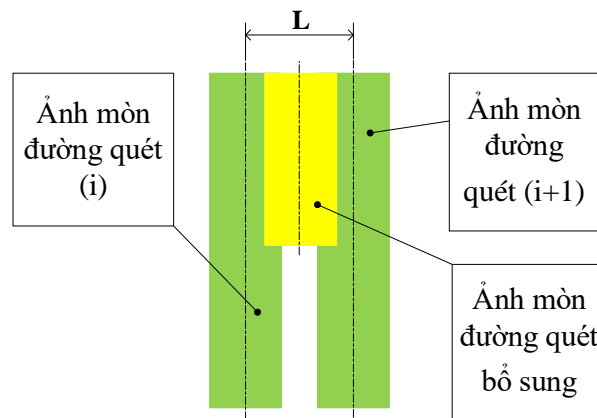
Với trường hợp này, dữ liệu ảnh mòn từ 2 đường quét (i) và (i+1) không liên lạc với nhau. Có nghĩa là đã đánh mất phần một dữ liệu ảnh mòn ở ngoài biên phải ảnh mòn đường quét (i) và bên biên trái ảnh mòn đường quét (i+1). (hình 4.5)



**Hình 4.5:** Ảnh mòn của 2 đường quét không giáp biên với nhau [47]

Khi gặp sự cố này, trong thực tế các kỹ thuật viên thường tiến hành khắc phục bằng cách thực hiện bổ sung một đường quét ảnh mòn giữa 2 đường quét (i) và

(i+1). Tuy nhiên, cách thức này chỉ phù hợp khi xử lý dữ liệu thủ công và đòi hỏi khá nhiều thời gian và công sức (hình 4.6).



**Hình 4.6:** Ảnh mòn của đường quét bổ sung [47]

## 4.2 Xây dựng bản đồ mòn sử dụng phần mềm Matlab

### 4.2.1 Giải thuật ghép ảnh

Thuật toán ghép ảnh được bắt đầu với khung ảnh trống, sử dụng thang độ xám để đọc hình ảnh. Các ảnh được đọc, so khớp dựa vào cạnh biên và ghép lại với nhau tạo thành ảnh ghép cuối cùng gọi là bản đồ ăn mòn.

Để dễ dàng cho việc ghép ảnh thì các ảnh cần có kích thước (dài x rộng) đồng nhất với nhau, khi đó kích thước ảnh đầu vào (input image) được xác định:

$$img[i] = [n[k] \ m[l]]$$

trong đó:

- +  $n[k]$  - Chiều cao của ảnh (pixel)
- +  $m[l]$  - Chiều rộng của ảnh (pixel)

Và ảnh đầu ra (output image) tương ứng sẽ có kích thước:

$$img = \begin{bmatrix} img[1] & \dots & img[n] \\ \dots & \dots & \dots \\ img[n] & \dots & img[n] \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} [n[k] \ m[l] & \dots & [n[k] \ m[l]] \\ \dots & \dots & \dots \\ [n[k] \ m[l] & \dots & [n[k] \ m[l]] \end{bmatrix}$$

$$= \left[ \sum_{i=1}^n n_i[k] \quad \sum_{i=1}^n m_i[l] \right]$$

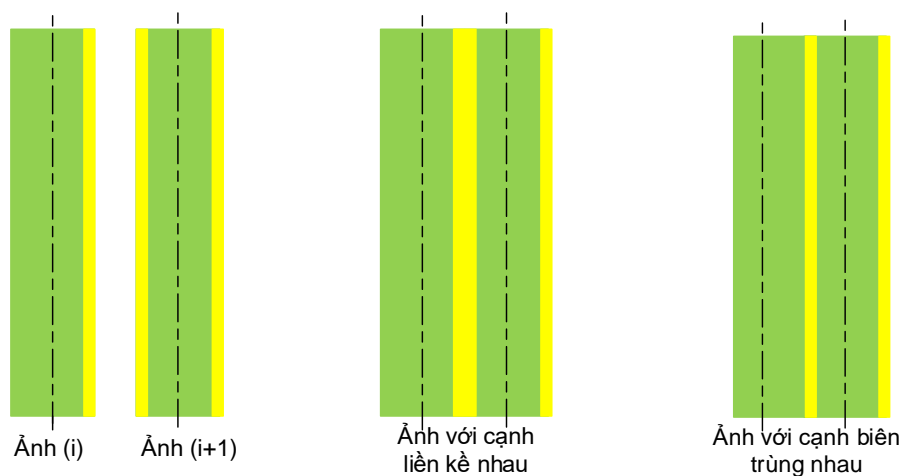
Với các đặc tính trên của ảnh mòn, các thông số đầu vào để thiết kế phần mềm ghép ảnh được xác định như sau [48, 49, 50]:

- Chiều rộng, chiều cao của các ảnh về cơ bản là giống nhau. Chiều rộng của ảnh bằng nhau do phụ thuộc vào độ mở đầu dò, chiều cao có thể ngắn/dài hơn không quá 10 mm (do khi quét ảnh chịu tác động của gió và lực trọng trường khi lên cao);

Bản đồ mòn được xây dựng trên cơ sở so khớp và ghép các ảnh mòn của các đường quét kề liền nhau sẽ có hai dạng:

- Không chồng dải biên: ảnh sau được ghép kề liền nhau nghĩa là ở vị trí ghép nối ta nhìn thấy 2 dải biên giống nhau. Trường hợp này ảnh (bản đồ mòn) sẽ không liên tục nhưng có giá trị để đánh giá việc nhận diện để ghép ảnh có chính xác hay không.

- Chồng dải biên: ảnh sau được ghép chồng dải biên lên ảnh trước, nghĩa là ở vị trí ghép nối dải biên trái của ảnh thứ (i+1) sẽ chồng lên dải biên phải của ảnh thứ (i). Trường hợp này ảnh (bản đồ mòn) sẽ liên tục và là bản đồ mòn tổng thể (được xác định nếu chuyên viên xác định bản đồ mòn không chồng dải biên là đúng).



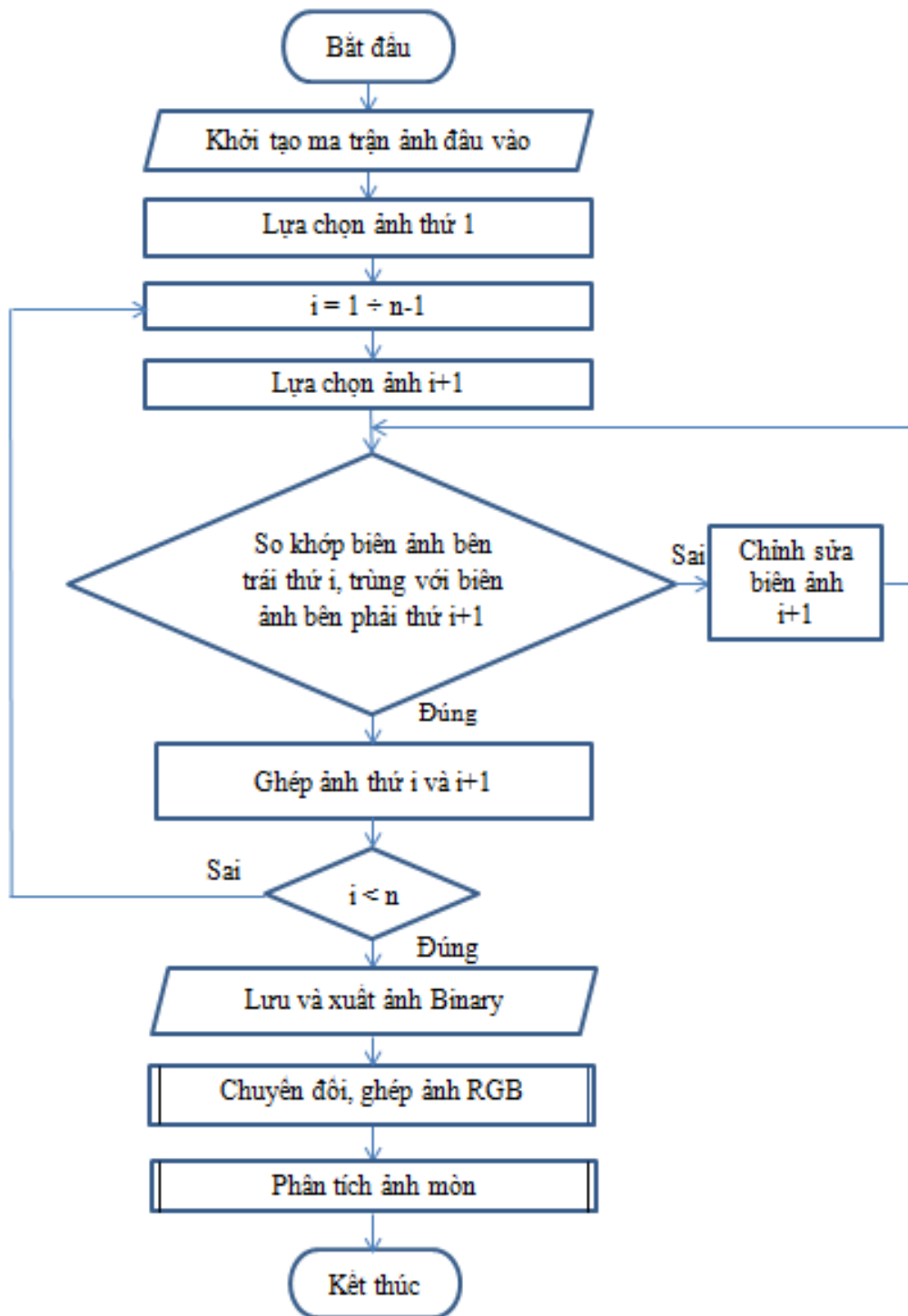
**Hình 4.7:** Ghép ảnh không chồng biên và chồng biên [47]

Với các nghiên cứu được phân tích mở trên, giải thuật ghép ảnh được trình bày như sau [51, 52]:

- Bước 1: Khởi tạo ma trận ảnh đầu vào từ dữ liệu ảnh thu thập được trong quá trình siêu âm trên mô hình bồn chứa.
- Bước 2: Lựa chọn ảnh thứ nhất trong ma trận ảnh.
- Bước 3: Chọn  $i = 1 \div n - 1$

- Bước 4: Lựa chọn ảnh thứ  $i+1$  trong dãy ảnh để phục vụ so khớp
- Bước 5: So khớp biên ảnh bên trái thứ  $i$  với biên ảnh bên phải thứ  $i+1$ , mỗi biên ảnh trùng nhau trong khoảng 5mm.
- Bước 6: Nếu trùng khớp thì ghép ảnh  $i$  và  $i+1$ , nếu không trùng khớp thì thực hiện lại việc so khớp biên ảnh với ảnh khác.
- Bước 7: Nếu  $i < n$  thì lưu và xuất ảnh Binary.
- Bước 8: Xuất kết quả ghép ảnh RGB.
- Bước 9: Phân tích thông số bản đồ mòn: vị trí, độ sâu và diện tích mòn và kết thúc quá trình ghép ảnh.

Với các bước tạo lập bản đồ mòn, lưu đồ giải thuật ghép ảnh được trình bày ở hình 4.8



**Hình 4.8:** Lưu đồ giải thuật ghép ảnh

Thuật toán trên phần mềm Matlab được mô tả như sau:

- Đầu vào (input):*
- k ảnh indexed  $I_k$  được trích xuất từ đầu dò theo phương dọc.
  - $n_p$  số điểm ảnh xếp chồng tại mép.

-  $l_b$  ngưỡng nhị phân ảnh.

*Đầu ra (output):* Ảnh ghép RGB I với thông tin về các vùng quan tâm được trích xuất.

*Thuật toán ứng dụng phần mềm Matlab:*

```
for (i =1:k) do % Thực hiện quá trình ghép ảnh
    Ik-RGB = indexed_to_RGB(Ik) % Biến đổi ảnh indexed Ik sang ảnh RGB
    [mk, nk] = size (Ik-RGB); % Xác định kích thước ảnh RGB Ik
    I_full =merge_function( Ik-RGB, mk, nk, np);
    % Ghép ảnh với số điểm ảnh xếp chồng cho trước
end;

I_binary = RGB_to_binary(I_full, lb);
% Nhị phân ảnh ghép RGB I_full với ngưỡng lb.
I = fill_hole (I_binary); % Phát hiện các vùng ăn mòn trên ảnh
stats = Image_region_props(I, 'Centroid', 'Area');
% Thực hiện phân tích và trích xuất các vùng ăn mòn.
m = number_count(stats); % Đếm số lượng vùng ăn mòn.

for (l=1:m) do
    % Tính toán, trích xuất các thông số độ sâu ăn mòn, diện tích vùng ăn mòn
    coord_show(stats.Centroid(l).coordinates); % Tọa độ vùng ăn mòn
    color_ind(l) = get_color(Ik-RGB(stats.Centroid(l).coordinates));
    % Trích xuất màu sắc vùng ăn mòn trên ảnh gốc.
    depth(l) =color_compare(color_ind(l));
    % So sánh mã màu vùng ăn mòn với mã màu chuẩn
end;

function_show(stats.Centroid.coordinates, stats.Area, depth);
% Hiển thị thông tin về vùng ăn mòn.

- Đoạn mã chương trình Matlab trình bày công việc ghép ảnh xây dựng bản đồ mòn [53-58]:
clc;clear
```



```

[I0, cmap] = imread([num2str(1) '.gif'], 'frames', 'all');
RGB_0 = ind2rgb(I0, cmap);
anhghep = vertcat(RGB_0, zeros(1, 19, 3));
Anh = anhghep;
for i = 2:30
    [I, cmap] = imread([num2str(i) '.gif'], 'frames', 'all');
    % image(I);
    % colormap(cmap);
    RGB = ind2rgb(I, cmap);
    imshow(RGB)
    [m, n, p] = size(I);
    anhghep_moi = horzcat(Anh, RGB);
    Anh = anhghep_moi;
end
imshow(anhghep_moi);
imwrite(anhghep_moi, 'Anhghep.jpg')

```

#### 4.2.2 Đề xuất chức năng phần mềm ghép ảnh

Một số chức năng chính của chương trình ghép ảnh cần xây dựng được đề xuất như sau [59, 60, 61]:

- *Chọn thư mục (open files)*: cho phép lựa chọn ổ đĩa (kể cả external drive), chọn thư mục có chứa ảnh cần thực hiện xử lý ghép ảnh.
- *Thực hiện ghép ảnh (Corrosion map)*: thực hiện ghép các ảnh trong thư mục vừa chọn nhằm xây dựng bản đồ mòn ảnh màu RGB và bản đồ mòn ảnh nhị phân Binary.
- *Thang màu (colour scale)*: dùng để so sánh màu với chiều dày còn lại của vật liệu hoặc chiều sâu khuyết tật bị ăn mòn.
- *Thực hiện phân tích ảnh (Image Analysis)*: thực hiện phân tích bản đồ mòn với các giá trị như: vị trí, độ sâu và diện tích khuyết tật. Thông số của việc phân tích ảnh được mô tả ở bảng 4.1.

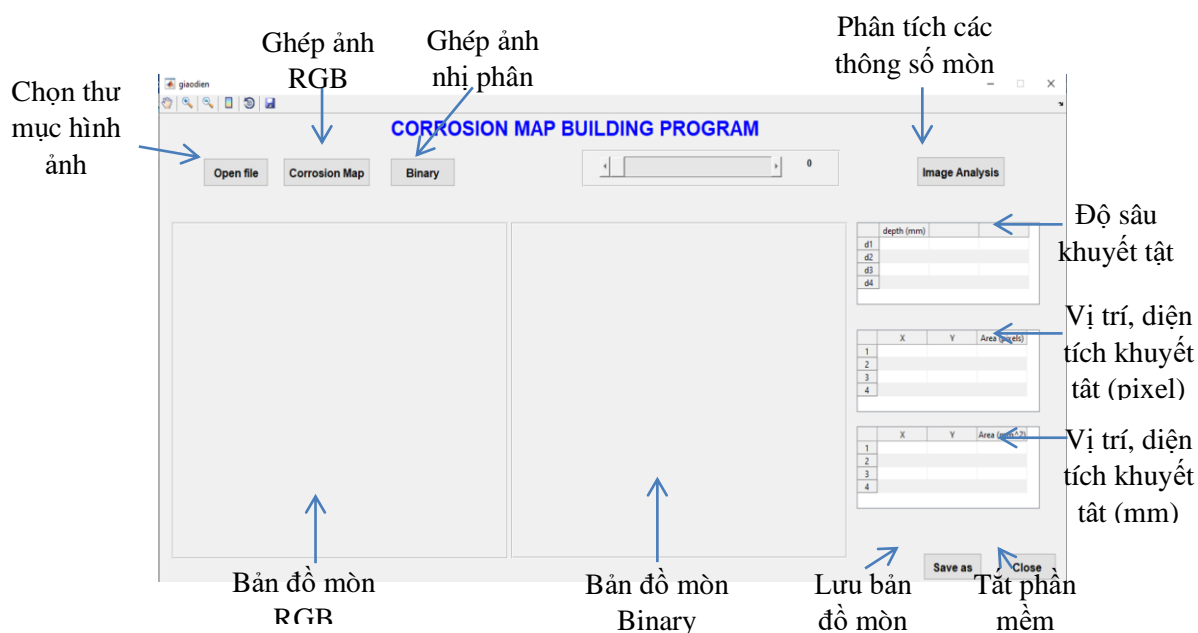
**Bảng 4.1:** Thông số về vị trí khuyết tật, diện tích, chiều sâu khuyết tật

Defect	x1	y1	x2	y2	Area (Pixel <sup>2</sup> )	Area (mm <sup>2</sup> )	Depth max. (mm)
1							
2							
...							

Do số lượng ảnh từ 1000 - 2000 ảnh, tùy thuộc vào kích thước bề rộng ảnh (độ mở của đầu dò) được định nghĩa trước (25, 40, 45, 53), nên có thể chia quá trình thu thập dữ liệu ảnh mòn thành nhiều phiên làm việc (sessions) để có thể giảm số lượng ảnh mòn thu thập được xuống khoảng 500 ảnh chứa trong một thư mục để tăng tốc độ xử lý của phần mềm.

### 4.2.3 Đề xuất giao diện phần mềm ghép ảnh

Giao diện phần mềm ghép ảnh phải có đầy đủ các thông số phục vụ công việc ghép ảnh như: nút chức năng về ổ đĩa chứa các hình ảnh thu thập, nút chức năng ghép ảnh, phân tích ảnh và các thông số về tọa độ x, y của các vị trí chỉ thị mòn, diện tích các vùng bị ăn mòn và độ sâu lớn nhất khuyết tật mòn. Các chức năng, khu vực hiển thị bản đồ mòn RGB, Binary và các thông số mòn theo giao diện của phần mềm được mô tả như hình 4.9 (Code Matlab ở phụ lục 3).



**Hình 4.9:** giao diện phần mềm ghép ảnh

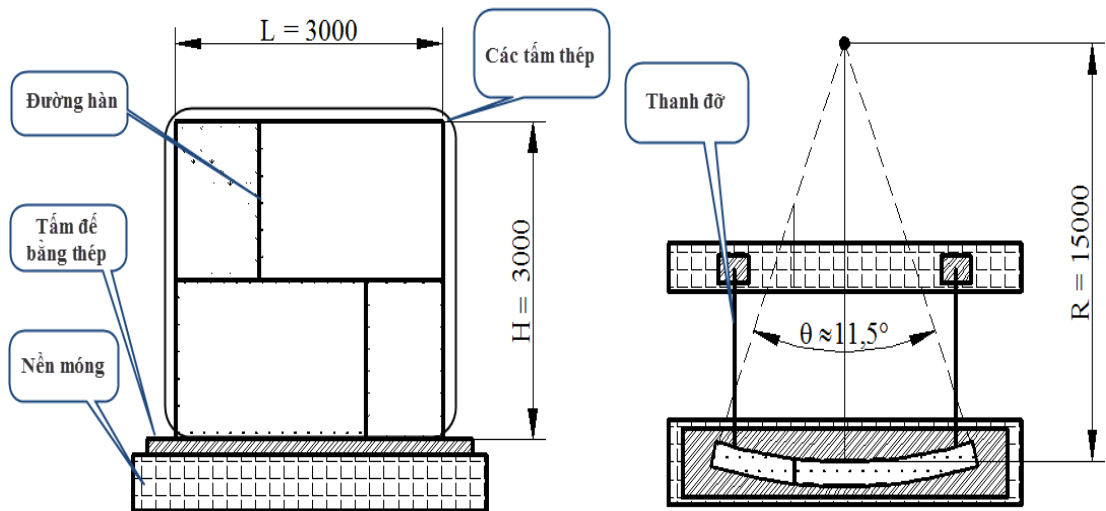
## CHƯƠNG 5

# NGHIÊN CỨU THỰC NGHIỆM ĐO KIỂM VÀ XÂY DỰNG BẢN ĐỒ MÒN

### 5.1. Thiết kế, chế tạo mô hình bồn chứa

#### 5.1.1 Thiết kế mô hình bồn chứa

Để chế tạo toàn bộ bồn chứa xăng dầu với đường kính 30 m và chiều cao khoảng 14 m để phục vụ nghiên cứu thì không khả thi do cần nguồn kinh phí rất lớn. Do vậy, để phục vụ cho quá trình nghiên cứu và thử nghiệm chuyển động của robot, công việc đo kiểm đánh giá độ mòn bằng siêu âm PA chỉ cần một phần nhỏ kết cấu của bồn chứa được chế tạo theo tiêu chuẩn API 650 [28]. Vì vậy, thiết kế một phần nhỏ bồn chứa (mô hình bồn chứa) với kích thước chiều dài 3 m, chiều cao 3 m và góc ở hai đầu mút gần bằng  $11,5^\circ$  đã được đề xuất như ở hình 5.1.



Hình 5.1: Thiết kế mô hình bồn chứa

#### 5.1.2 Chế tạo mô hình bồn chứa

Công việc chế tạo bồn chứa được thực hiện qua các bước sau đây:

- **Bước 1:** Thi công nền móng bồn chứa.

Phần móng là một bộ phận quan trọng của bồn chứa vì vậy phải cứng vững và kiên cố. Nền móng được đào sâu dưới lòng đất và được đổ bê tông cốt thép, bên trong có hàn 1 tấm đế bằng thép dài 3 m để hàn với các tấm thép phần thân bồn.

- **Bước 2:** Thi công phần thân bồn.

Các tấm thép (phần thân bồn) được hàn nối đạt đủ chiều dài và đưa đến vị trí tấm đế của móng để hàn nối vào móng. Tấm thép thứ nhất có kích thước chiều dài 2 m × cao 1,5 m × dày 12 mm, tấm thép thứ hai có chiều dài 1 m × cao 1,5 m × dày 12 mm. Sau khi đặt đúng vị trí và hiệu chỉnh xong, tiến hành hàn nối tấm thép này với tấm đế bằng phương pháp hàn FCAW.

- **Bước 3:** Sơn chống rỉ.

Tiến hành sơn lớp sơn chống rỉ lên bề mặt bồn theo hướng dẫn trong tiêu chuẩn API 650: 2016.

- **Bước 4:** Sơn phủ bề mặt bồn.

Tiến hành làm sạch bề mặt mô hình bồn chưa sơn lớp sơn phủ lên bề mặt các tấm thép (theo chuẩn API 650: 2016) như ở hình 5.2.



**Hình 5.2:** Mô hình bồn chứa hoàn thiện

## 5.2. Thực nghiệm đo kiểm độ mòn

### 5.2.1 Vật liệu và thiết bị thí nghiệm

#### 5.2.1.1 Thiết bị siêu âm OmniScan MX2

Thiết bị siêu âm đa biến tử OmniScan MX2 do công ty Olympus sản xuất với nhiều tính năng mạnh, khả năng lưu trữ lớn và truyền dữ liệu nhanh.

OmniScan MX2 được tích hợp các phần mềm NDT SetupBuilder và OmniPC cho phép thực hiện tất cả các bước chuẩn bị cần thiết cho việc kiểm tra cũng như thực hiện kiểm tra bồn bằng cách điều khiển và hiển thị trực tiếp trên OmniScan MX2 hoặc trên máy tính [34].

Thiết bị siêu âm được lựa chọn là OmniScan MX2 cho phép thực hiện các chức năng kiểm tra thủ công hoặc bán tự động. Có thể sử dụng với rất nhiều đầu dò, nôm, bộ quét và các phụ kiện.



Thông số kỹ thuật	
Kích thước chung (Dài x Cao x Dày)	325×235×130 mm
Khối lượng	3,2 kg
Độ mở đầu dò	32 biến tử
Số lượng biến tử	128 biến tử
Dạng quét	Quạt và tuyến tính
Độ phân giải	800× 600 pixels

Hình 5.3: Thiết bị siêu âm OmniScan MX2 [34]

#### 5.2.1.3 Đầu dò 5L64-A2

Đầu dò PA sử dụng có tần số trong phạm vi từ 2 MHz đến 10 MHz và có từ 10 đến 128 biến tử [35].



Thông số kỹ thuật	
Kích thước chung (Dài x Rộng x Cao)	30 × 28 × 25
Tần số	5 MHz
Loại đầu dò	Tuyến tính
Số lượng biến tử	64
Bước	0,6 mm
Độ mở hoạt động	38,4 mm

Hình 5.4: Đầu dò 5L64-A2 [35]

#### 5.2.1.4 Encoder ENC1-2.5-LM

Bộ mã hóa của PA có khả năng thu thập, xử lý dữ liệu và tìm ra vị trí đầu dò quét dữ liệu.

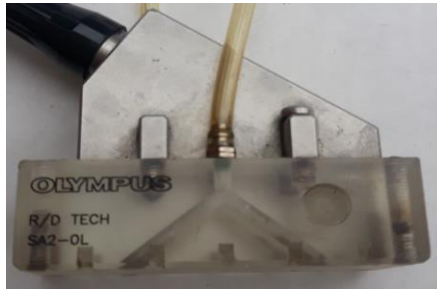


Thông số kỹ thuật	
$A = 27 \text{ mm}$	$D = 24,2 \text{ mm}$
$B = 28,7 \text{ mm}$	$E = 17,5 \text{ mm}$
$C = 22,5 \text{ mm}$	$F = 6 \text{ mm}$
Độ phân giải là 12 bước/mm	

Hình 5.5: Encoder ENC1-2.5-LM [35, 56]

#### 5.2.1.5 Nêm đầu dò SA2-0L

Ngoài bộ chuyển đổi tổ hợp, các đầu dò PA thường được lắp ráp thêm một nêm bằng chất dẻo (rexolite) [35].



Thông số kỹ thuật	
Kích thước chung	$D65 \times R30 \times C20$
Loại đầu dò	A2
Vật liệu	Rexolite
Góc khúc xạ trong vật liệu	$0^\circ$
Loại sóng	Sóng dọc

Hình 5.6: Nêm đầu dò SA2-0L [34]

#### 5.2.1.6 Chất tiếp âm

Chất tiếp âm có vai trò như một cầu nối dẫn âm để giúp sóng siêu âm có thể truyền giữa đầu dò và chi tiết kiểm tra. Chất tiếp âm Sonotech đã được lựa chọn để triển khai thực hiện siêu âm kiểm tra độ mòn mô hình bồn chứa xăng dầu.



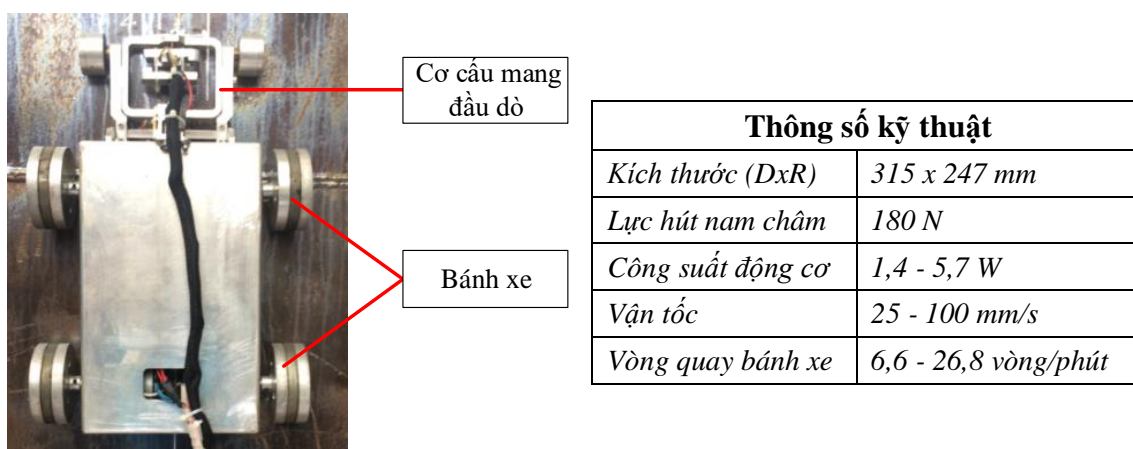
Tính chất kỹ thuật
- Nhiệt độ làm việc: $T = -23 \text{ đến } 99^\circ\text{C}$
- Sử dụng trong môi trường chống ăn mòn

Hình 5.7: Chất tiếp âm Sonotech

### 5.2.1.7 Robot mang đầu dò siêu âm

Robot mang đầu dò siêu âm cùng các phụ kiện có khả năng như sau:

- Bám dính chắc chắn vào bề mặt bồn nhờ nam châm;
- Vượt qua được đường hàn, các gờ nổi;
- Có khả năng điều chỉnh được khe hở giữa nệm đầu dò và bề mặt bồn chứa;
- Luôn giữ nệm đầu dò luôn luôn tiếp xúc với bề mặt bồn;
- Cơ cấu mang đầu siêu âm linh hoạt và luôn bám sát vào bề mặt bồn cũng như giữ được khoảng cách không đổi từ đầu dò siêu âm đến bề mặt bồn.



**Hình 5.8:** Robot mang đầu dò siêu âm [27]

### 5.2.1.8 Cơ cấu mang đầu dò

Các thành phần của cơ cấu mang đầu dò (đầu đo) siêu âm PA [27] được trình bày ở hình 5.11.



**Hình 5.9:** Cơ cấu mang đầu đo [27]

Thông số hoạt động của robot như sau:

- Vận tốc di chuyển robot:  $v = 25 - 100 \text{ mm/s}$

- Số vòng quay của bánh xe:  $n = 6,6 - 26,8$  vòng/phút
- Động cơ di chuyển robot:  $P = 1,4 - 5,7$  W
- Lực hút nam châm:  $F = 180$  N

### 5.2.1.9 Máy vi tính

Dùng để kết nối với thiết siêu âm PA và lưu trữ dữ liệu hình ảnh siêu âm PA, có khả năng chạy được phần mềm Matlab có phiên bản từ năm 2014 trở lên. Cấu hình máy tính như ở hình 5.12.



Thông số kỹ thuật	
Màn hình	LCD HP 19 inch
CPU	Intel Core i5 – 1.60 GHz
Ram	8 GB
Window	10 Home SL
Ổ cứng	SSD 512 GB

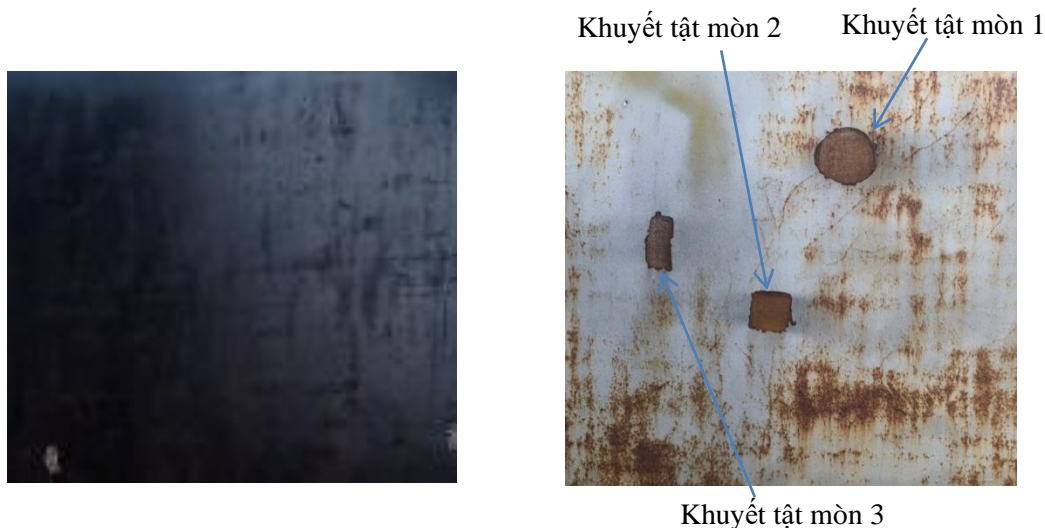
**Hình 5.10:** Cấu hình máy vi tính

### 5.2.2 Khuyết tật mòn và tạo lưới trên mô hình bồn chứa

Chuẩn bị mô hình và kiểm tra toàn bộ bề mặt mô hình bồn chứa xăng, dầu. Nếu trên bề mặt xuất hiện những điểm nhấp nhô cần phải được loại bỏ nhằm giúp cho robot bám dính tốt hơn và đầu dò gắn trên robot dễ dàng tiếp xúc với bề mặt bồn chứa.

Để phục vụ kiểm tra đánh giá khuyết tật mòn trên mô hình bồn chứa, trong quá trình thực nghiệm đo mòn cần tạo dựng 3 khuyết tật với vị trí, độ sâu và diện tích bất kỳ ở mặt sau bồn chứa trong phạm vi diện tích quét  $1000 \times 1000$  mm<sup>2</sup> được khảo sát và mô tả như hình 5.11.





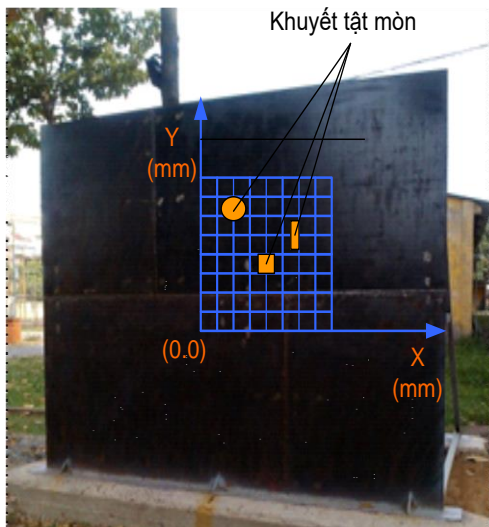
**Hình 5.11:** Khuyết tật mòn trên mô hình bồn chứa

Tạo lưới gồm tạo lưới thô và tinh:

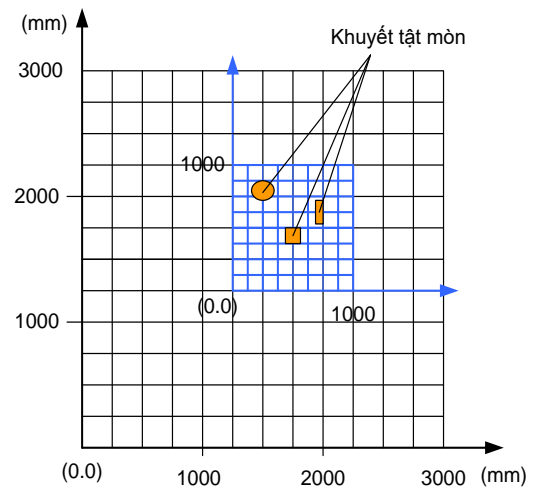
- Tạo lưới thô là để xác định tọa độ điểm bắt đầu của bản đồ ăn mòn. Ngoài ra, nó cũng cho phép xác định tọa độ tạm dừng hoặc khởi động lại (tiếp tục) khi công việc siêu âm bị tạm dừng.

- Tạo lưới tinh là để xác định các tọa độ của phương án đo theo thuật toán PSO đã được xác định cho diện tích cần quét trên mô hình bồn chứa. Qua đó dễ dàng kiểm soát được các chu kỳ quét trong từng lượt quét cụ thể, cũng như kiểm soát tọa độ chi tiết các đường quét liền kề nhau hoặc vị trí, diện tích vùng bị ăn mòn, vùng quét.

Để minh họa việc kiểm tra và đánh giá sự ăn mòn bên trong bồn chứa dựa trên phương pháp đã được đề xuất, một phần của bồn chứa có khuyết tật ăn mòn được mô phỏng chia lưới trên mô hình bồn chứa với tọa độ được mô tả như hình 5.12.



a) Mô hình bồn chứa



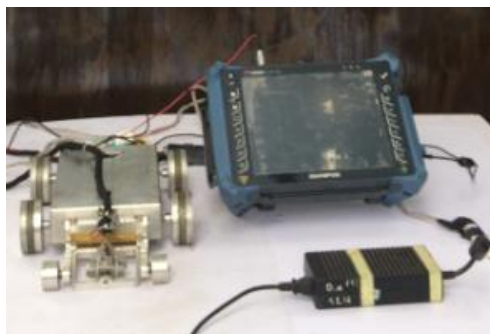
b) Chia lưới trên bồn chứa

**Hình 5.12:** Mô phỏng khuyết tật mòn trên mô hình bồn chứa

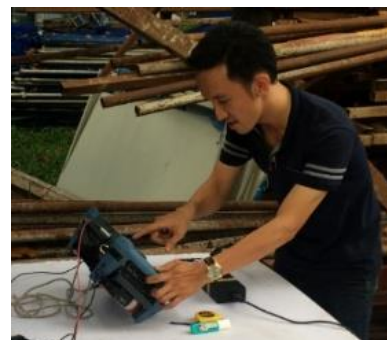
### 5.2.3 Hiệu chuẩn thiết bị

#### a) Hiệu chuẩn thiết bị siêu âm OmniScan MX2

Hiệu chuẩn thiết bị OmniScan MX2 theo tài liệu hiệu chuẩn của Olympus. Hiệu chuẩn thiết bị được thực hiện bởi công ty Quatest 3 (có chứng thư hiệu chuẩn và tem hiệu chuẩn được dán trên thiết bị).



a) Robot và thiết bị OmniScan MX2

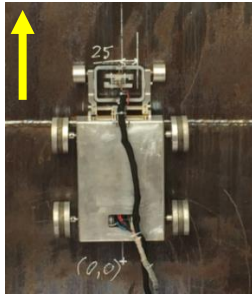


b) Cài đặt thông số

**Hình 5.13:** Hiệu chuẩn thiết bị siêu âm

#### b) Hiệu chuẩn robot mang đầu dò siêu âm

Đặt robot lên thân bồn chứa để kiểm tra sự bám dính của robot. Vận hành robot theo các phương đứng (chuyển động từ dưới lên, từ trên xuống), phương ngang (từ trái qua phải và ngược lại). Kiểm tra độ tiếp xúc của đầu dò siêu âm với bề mặt bồn chứa và cho robot vận hành thử nghiệm [27].



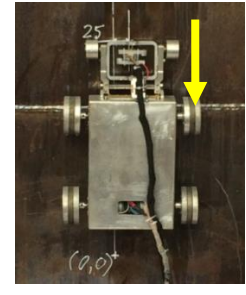
a) Robot di chuyển thẳng



b) Robot quay 1 góc cùng chiều kim đồng hồ



c) Robot quay 1 góc ngược chiều kim đồng hồ

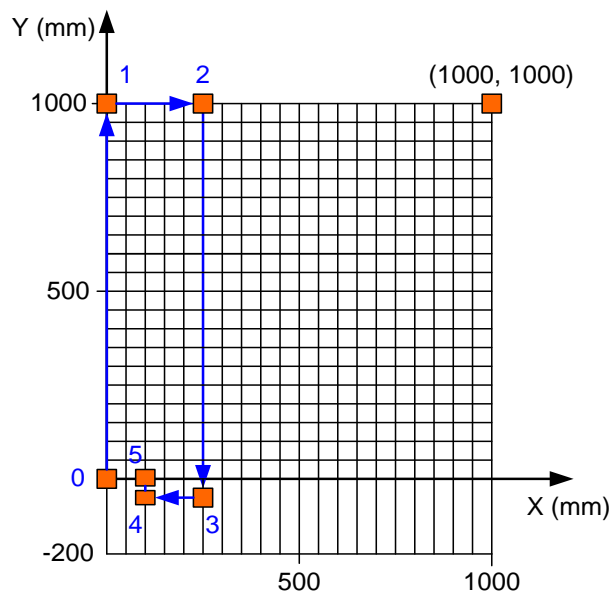


d) Robot di chuyển lùi

**Hình 5.14:** Vận hành thử nghiệm robot di chuyển theo phương án đo

#### 5.2.4 Phương án quét trên mô hình bồn chứa

Robot di chuyển theo phương án đã được xác định theo thuật toán PSO là đường dẫn ngắn nhất được xác định ở chương 3 (hình 3.11), quá trình thiết lập các thông số để quét trên diện tích  $1000 \times 1000 \text{ mm}^2$  được tuân theo quy trình kiểm tra siêu âm PA. Robot mang đầu dò siêu âm sẽ di chuyển trên bề mặt ngoài bồn chứa. Đầu dò siêu âm sẽ thu thập dữ liệu ảnh mòn dựa trên phương án di chuyển của robot, dữ liệu mòn sẽ được thu thập và truyền về máy siêu âm PA. Dữ liệu sẽ được lưu trữ trên máy siêu âm và có thể kết nối với máy tính PC. Quá trình thực nghiệm và thiết lập các thông số để quét trên diện tích  $1000 \times 1000 \text{ mm}^2$  theo thuật toán PSO được mô tả ở hình 5.15.

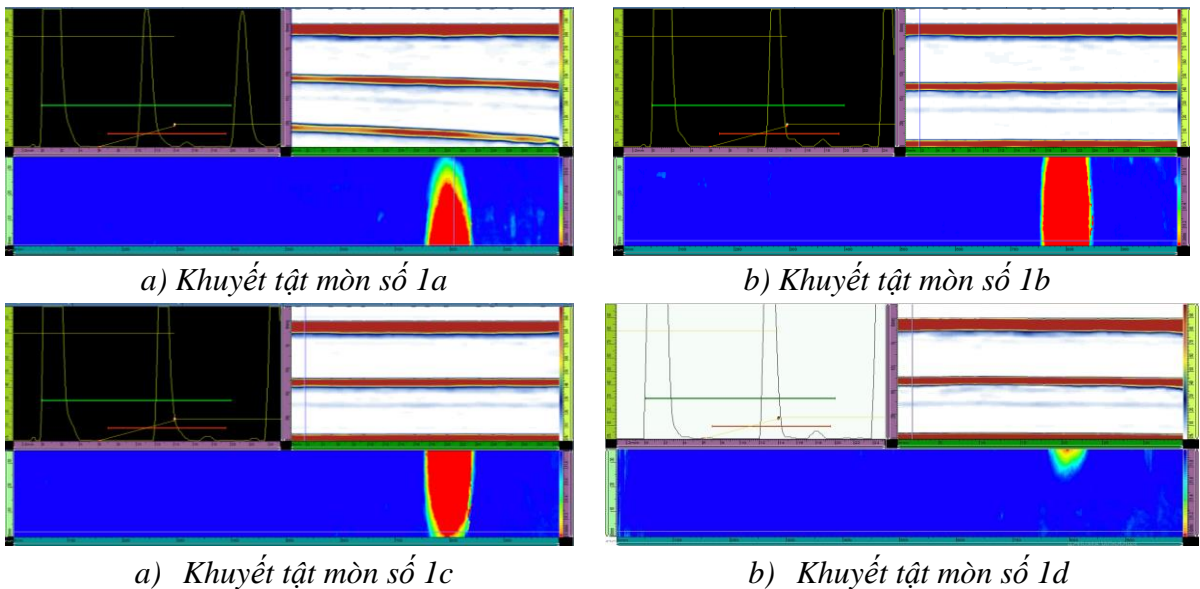


**Hình 5.15:** Phương án quét diện tích  $1000 \times 1000 \text{ mm}^2$

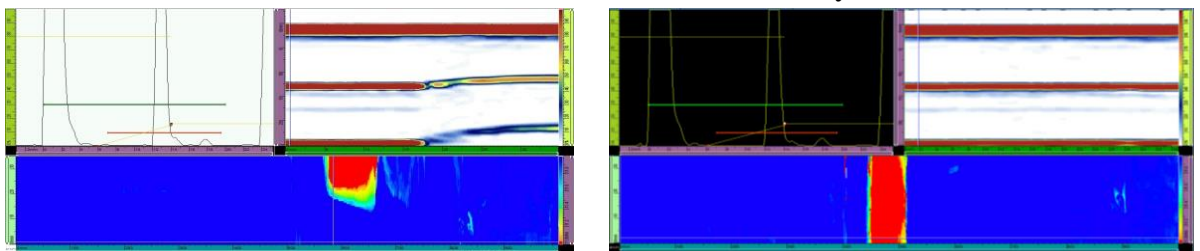
### 5.2.5 Thực nghiệm đo mòn

Robot mang đầu dò siêu âm sẽ di chuyển trên bề mặt bồn chứa, đầu dò siêu âm sẽ thu thập dữ liệu ảnh mòn và được lưu trữ trên máy siêu âm. Sau đó dữ liệu ảnh này sẽ được chuyển đến PC qua kết nối USB/Memory card. Các hình ảnh siêu âm PA này bao gồm các dạng hình ảnh A-Scan, B-Scan và C-Scan, S-Scan, E (End view). Trên thanh tiêu đề của giao diện trên màn hình chính của máy siêu âm OmniScan MX2 có thể lựa chọn một nhóm các hình ảnh hiển thị (Multiple group) như: A-B-C, A-S-C, A-B-End, A-B-S, A-B hoặc có thể chọn một loại hình ảnh hiển thị (single group) trên màn hình. Mặt khác, ta có thể tách các hình ảnh C-Scan ra khỏi các nhóm hình ảnh (A-B-S) Scan khi thực hiện việc trích xuất báo cáo kiểm tra siêu âm PA (report) bằng phần mềm OmniPC và lưu lại file ảnh C-Scan.

Hình ảnh C-Scan dùng để làm dữ liệu phục vụ công việc ghép ảnh tạo lập bản đồ mòn phục vụ công tác kiểm tra đánh giá độ ăn mòn của mô hình bồn chứa. Hình 5.16, 5.17, 5.18 tương ứng là hình ảnh siêu âm tại khuyết tật 1, 2, 3.

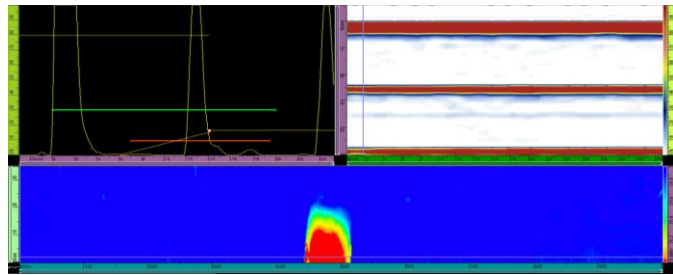


**Hình 5.16:** Hình ảnh siêu âm PA có khuyết tật số 1



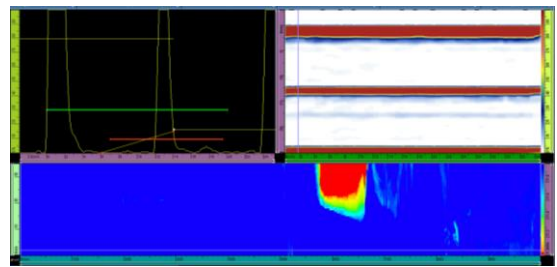
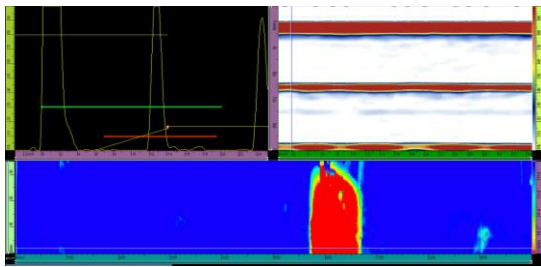
a) Khuyết tật mòn số 2a

b) Khuyết tật mòn số 2b



c) Khuyết tật mòn số 2c

**Hình 5.17:** Hình ảnh siêu âm PA có khuyết tật số 2



a) Khuyết tật mòn số 3a

b) Khuyết tật mòn số 3b

**Hình 5.18:** Hình ảnh siêu âm PA có khuyết tật số 3 [46]

Quá trình thực nghiệm đo ăn mòn được tiến hành trên mô hình bồn chứa điện tích  $1000 \times 1000 \text{ mm}^2$  với 30 đường quét (chính là số lượng ảnh đầu vào cho quá trình thực hiện ghép ảnh).

### 5.3 Thực nghiệm xây dựng bản đồ mòn

#### 5.3.1 Xây dựng bản đồ mòn

Phần mềm ghép ảnh có một số chức năng chính: thứ nhất là chọn thư mục (open file) có chứa ảnh cần thực hiện xử lý ghép ảnh, cho phép lựa chọn ổ đĩa (kể cả external disk). Thứ hai, Chức năng thực hiện ghép ảnh (Corrosion map) ghép các ảnh trong thư mục vừa chọn nhằm xây dựng bản đồ mòn ảnh màu RGB và bản đồ mòn ảnh nhị phân Binary. Bên cạnh đó, xây dựng thang màu (colour scale): dùng để so sánh màu với chiều dày còn lại của vật liệu hoặc chiều sâu khuyết tật bị ăn mòn. Thứ ba, thực hiện phân tích ảnh (Image Analysis) với giá trị các thông số mòn như: vị trí tọa độ (x, y), độ sâu (d) lớn nhất khuyết tật mòn và diện tích (s) vùng ăn mòn.

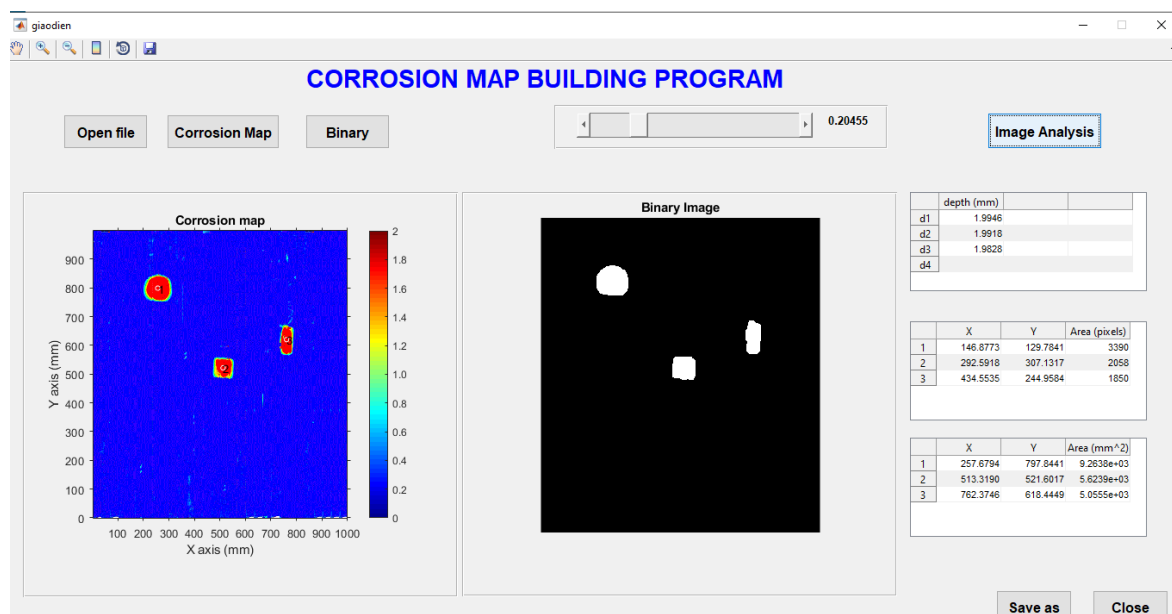
Các bước thực hiện công việc ghép ảnh tạo dựng và đánh giá bản đồ mòn:

- Bước 1: Khởi động phần mềm, tạo giao diện phần mềm.

- Bước 2: chọn open file, chọn thư mục lưu trữ hình ảnh mòn cần ghép
- Bước 3: chọn corrosion map, thực hiện chức năng ghép ảnh màu RGB và đưa ra thang đo.
- Bước 4: chọn Binary, thực hiện chức năng ghép ảnh nhị phân Binary, chương trình có khả năng lọc ảnh và loại bỏ lọc nhiễu.
- Bước 5: chọn Image analysis, chương trình tự động phân tích tính toán các thông số mòn như: vị trí tọa độ mòn (x, y), độ sâu ăn mòn lớn nhất, diện tích vùng ăn mòn.
- Bước 6: Chọn save and close, chương trình tự động lưu bản đồ mòn và đóng phần mềm hoàn tất công việc ghép ảnh.

Dựa vào phần mềm ghép ảnh đã được xây dựng có thể phân tích được vị trí khuyết tật mòn thứ 1( $x_1, y_1$ ), 2( $x_2, y_2$ ), 3( $x_3, y_3$ ), độ sâu khuyết tật tương ứng là  $d_1, d_2, d_3$  và diện tích là  $s_1, s_2, s_3$ .

Ứng dụng phần mềm và thực hiện trình tự 6 bước ghép ảnh với 30 hình ảnh mòn C-Scan thu thập được từ lần quét thứ 1 tạo lập bản đồ mòn, kết quả phần mềm đã ghép ảnh được 01 bản đồ mòn theo dạng màu RGB và một bản đồ mòn nhị phân binary và phân tích các thông số của khuyết tật mòn.



**Hình 5.19:** Bản đồ mòn của một lần quét với diện tích  $1000 \times 1000 \text{ mm}^2$  [46]

### 5.3.2 Kết quả và bàn luận

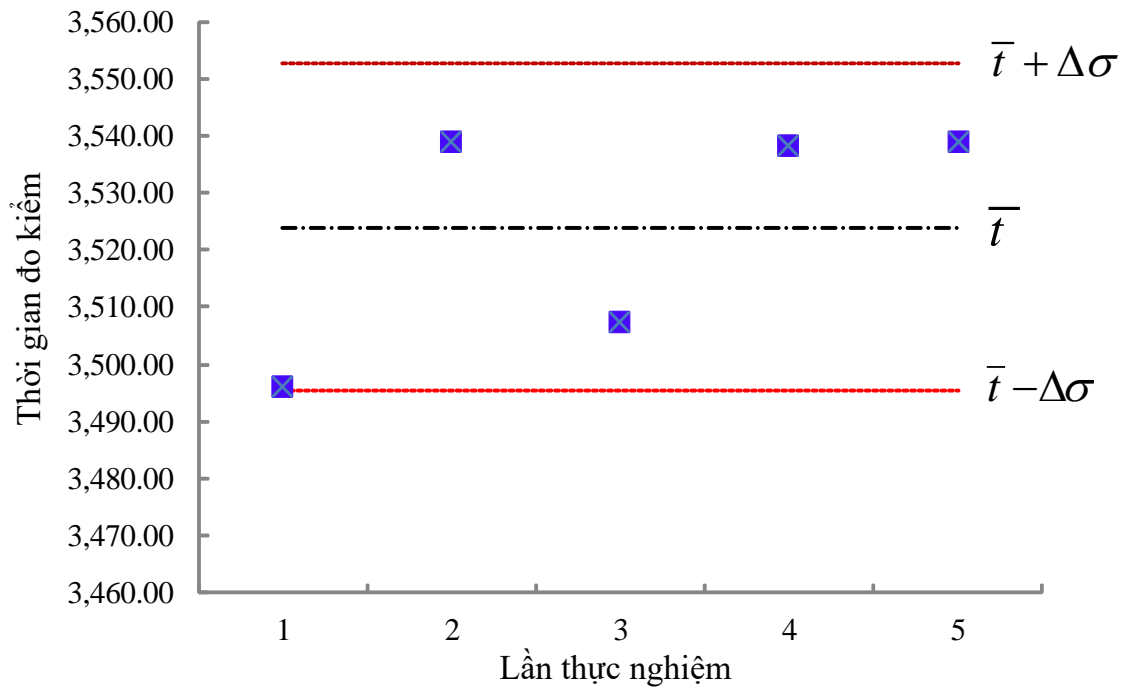
Quá trình thực nghiệm đo kiểm tra độ mòn trên mô hình bồn chứa đã thu thập được hình ảnh mòn C-Scan và phần mềm ghép ảnh trong môi trường Matlab đã xây dựng được bản đồ mòn ảnh màu RGB, Binary với diện tích  $1000 \times 1000 \text{ mm}^2$ , đồng thời phân tích được các thông số mòn: vị trí, độ sâu và diện tích khuyết tật 1, 2, 3 như hình 5.19

Thông qua 5 lần thực nghiệm cho robot kiểm tra đánh giá độ mòn trên mô hình bồn chứa, so sánh thời gian quét thực nghiệm trên mô hình bồn chứa với thời gian mô phỏng theo thuật toán PSO. Bảng 5.1 cho thấy thời gian di chuyển của robot ứng với mỗi lần thực nghiệm cùng với giá trị trung bình và 95% khoảng tin cậy của phép đo, 95% khoảng tin cậy  $\Delta\sigma$  được xác định bằng 1,96 lần sai lệch chuẩn  $\sigma$ .

**Bảng 5.1:** Thời gian trung bình qua 5 lần quét [46]

Số lần thực nghiệm	Thời gian di chuyển cho từng lượt quét (s)
1	3496.24
2	3538.86
3	3507.35
4	3538.37
5	3538.90
<b>Trung bình</b>	<b>3523.94 <math>\pm</math> 25.56</b>

Dựa vào bảng 5.1 ta có thể thấy rằng thời gian di chuyển trung bình qua 5 lần thực nghiệm có độ sai lệch chuẩn là  $\pm 25.56$  (s).



**Hình 5.20:** Thời gian quét qua 5 lần thực nghiệm

Kết quả phân tích các thông số mòn trên bản đồ mòn: qua 5 lần thực nghiệm, kết quả nhận được từ quá trình phân tích các thông số về vị trí tọa độ, độ sâu ăn mòn lớn nhất, diện tích của các khuyết tật mòn của phần mềm được tổng hợp, tính toán sai lệch chuẩn  $\sigma$  được mô tả ở bảng 5.2, 5.3.

**Bảng 5.2:** Vị trí các điểm có sự ăn mòn

Lượt quét	Vị trí (mm)					
	$x_1$	$y_1$	$x_2$	$y_2$	$x_3$	$y_3$
1	257.6794	797.8441	513.3190	521.6017	762.3746	618.4449
2	257.9827	797.5178	513.2675	521.5027	763.0813	617.1730
3	257.9322	798.0811	513.3190	521.6017	762.1562	618.4593
4	257.6075	797.7989	513.0116	521.6026	762.2638	618.0526
5	257.4830	798.2314	513.0116	521.6026	761.7478	619.6228
<b>Trung bình</b>	<b>257.737</b>	<b>797.8947</b>	<b>513.1857</b>	<b>521.5823</b>	<b>762.3247</b>	<b>618.3505</b>
	<b><math>\pm 0.19</math></b>	<b><math>\pm 0.25</math></b>	<b><math>\pm 0.14</math></b>	<b><math>\pm 0.04</math></b>	<b><math>\pm 0.43</math></b>	<b><math>\pm 0.96</math></b>

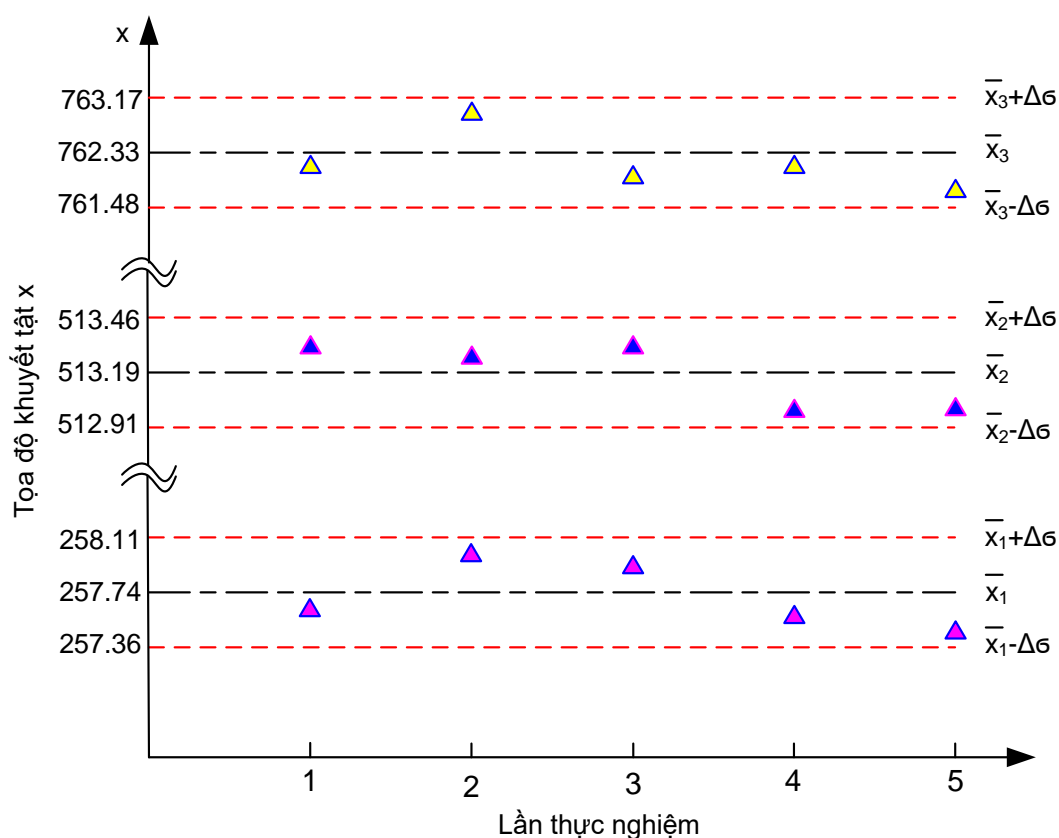


**Bảng 5.3:** Độ sâu và diện tích mòn tương ứng với vị trí có mòn

Lượt quét	Vị trí	Độ sâu (mm)			Diện tích (mm <sup>2</sup> )		
		<b>d<sub>1</sub></b>	<b>d<sub>2</sub></b>	<b>d<sub>3</sub></b>	<b>s<sub>1</sub></b>	<b>s<sub>2</sub></b>	<b>s<sub>3</sub></b>
1	(x <sub>1</sub> , y <sub>1</sub> )	1.9946	1.9918	1.9828	9263.8	5623.9	5055.5
2	(x <sub>2</sub> , y <sub>2</sub> )	1.8603	1.9927	1.8875	9323.9	5640.3	4880.6
3	(x <sub>3</sub> , y <sub>3</sub> )	1.8975	1.9782	1.9057	9206.4	5623.9	5101.9
4	(x <sub>4</sub> , y <sub>4</sub> )	1.8939	1.9782	1.9039	9064.3	5522.8	4965.3
5	(x <sub>5</sub> , y <sub>5</sub> )	1.8150	1.8667	1.8803	9176.4	5522.8	5096.5
<b>Trung bình</b>		<b>1.8923</b>	<b>1.9615</b>	<b>1.9120</b>	<b>9207.0</b>	<b>5586.7</b>	<b>5020.0±</b>
		<b>± 0.06</b>	<b>± 0.05</b>	<b>± 0.04</b>	<b>± 87.40</b>	<b>± 52.55</b>	<b>85.14</b>

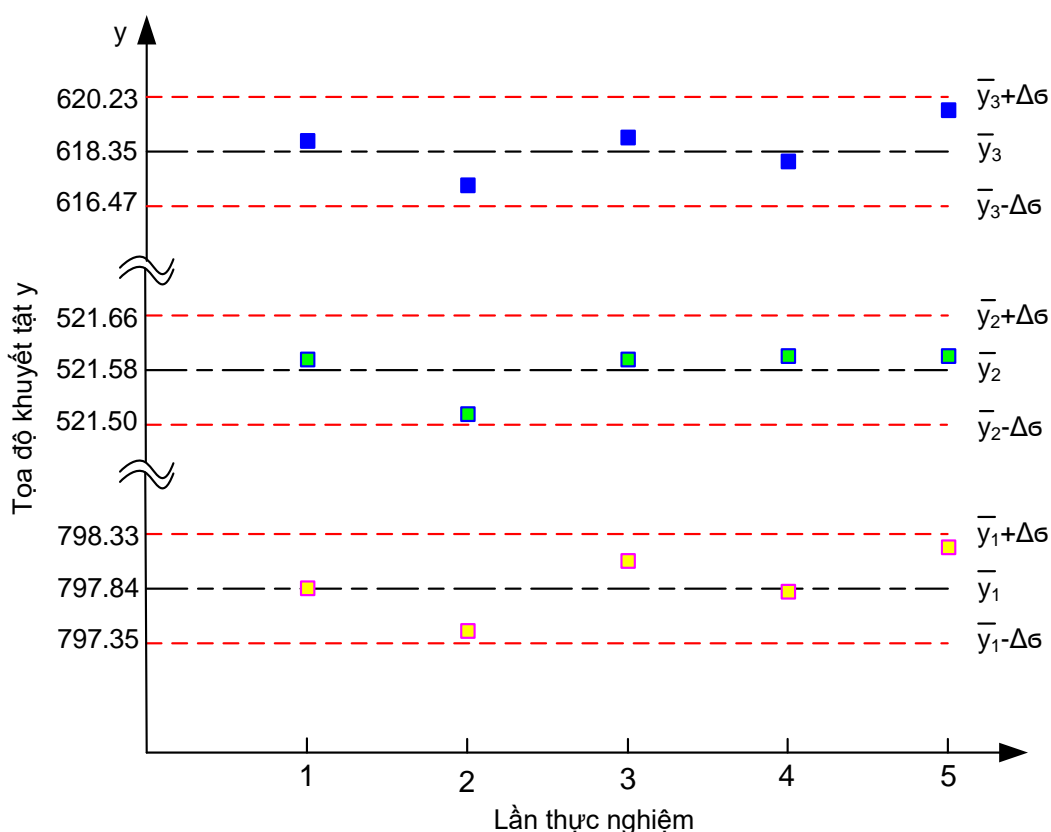
Dựa vào bảng 5.2 và 5.3 là kết quả phân tích các giá trị bản đồ mòn cho thấy các giá trị như sai số vị trí, độ sâu, diện tích của khuyết tật mòn ứng với mỗi lần thực nghiệm cùng với giá trị trung bình và 95% khoảng tin cậy của phép đo, 95% khoảng tin cậy  $\Delta\sigma$  được xác định bằng 1,96 lần sai lệch chuẩn  $\sigma$ . Kết quả đo được phân tích ở các đồ thị sai lệch chuẩn từ hình 5.21 đến 5.24.

- Vị trí tọa độ (x,y) của khuyết tật mòn 1(x<sub>1</sub>, y<sub>1</sub>); 2(x<sub>2</sub>, y<sub>2</sub>), 3(x<sub>3</sub>, y<sub>3</sub>):



**Hình 5.21:** Vị trí tọa độ  $x_1, x_2, x_3$  qua 5 lần thực nghiệm

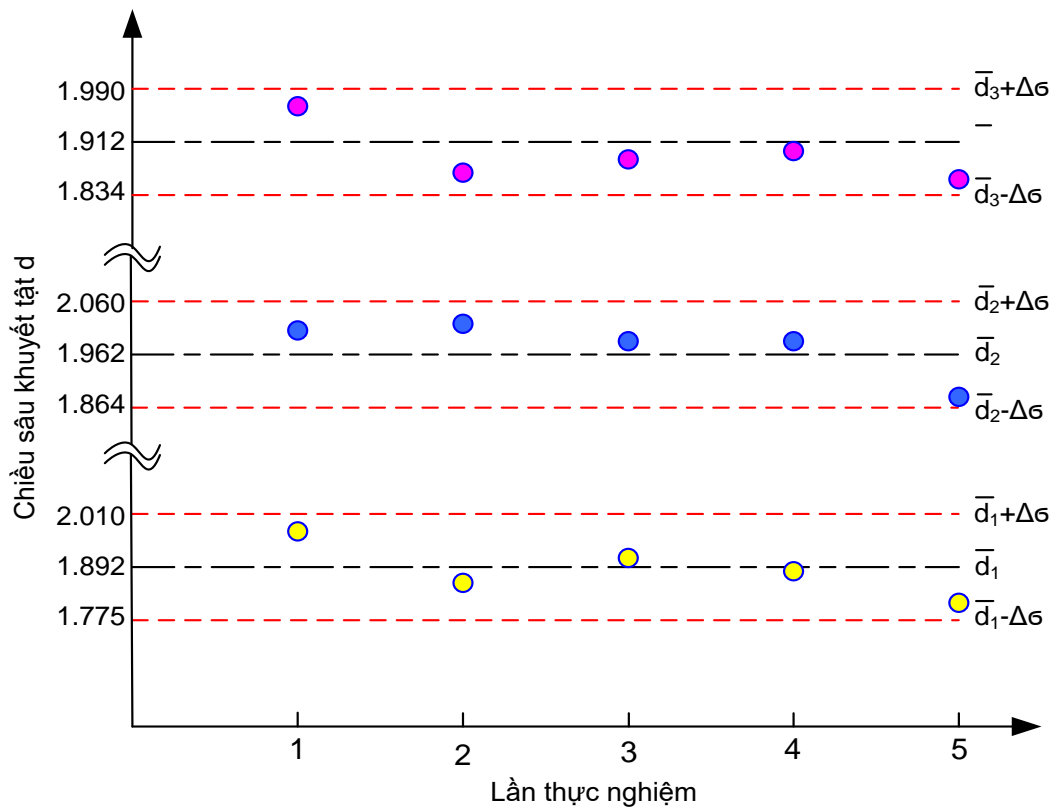
Trên hình 5.21 cho thấy vị trí tọa độ khuyết tật  $x_1, x_2, x_3$  qua 5 lần thực nghiệm đều nằm trong giới hạn 95% khoảng tin cậy cho phép của tọa độ  $x_1$  là  $\bar{x}_1 \pm 1.96\sigma$ , tọa độ  $x_2$  là  $\bar{x}_2 \pm 1.96\sigma$ , tọa độ  $x_3$  là  $\bar{x}_3 \pm 1.96\sigma$ , cụ thể là  $x_1$  nằm trong khoảng (257.36, 258.11),  $x_2$  nằm trong khoảng (512.91, 513.46) và  $x_3$  nằm trong khoảng (761.48, 763.17). Như vậy, với kết quả thực nghiệm thu được các giá trị về chỉ số vị trí  $x_1, x_2, x_3$  đã phân tích từ phần mềm ghép ảnh cho thấy các giá trị này có độ tin cậy cao và có thể ứng dụng vào bồn chứa dung tích lớn thực tế tại các doanh nghiệp sản xuất bồn và cần phải tính toán thêm các điều kiện thực tế tác động từ môi trường bên ngoài đến bồn chứa thật.



**Hình 5.22:** Vị trí tọa độ  $y_1, y_2, y_3$  qua 5 lần thực nghiệm

Trên hình 5.22 cho thấy vị trí tọa độ khuyết tật  $y_1, y_2, y_3$  qua 5 lần thực nghiệm đều nằm trong giới hạn 95% khoảng tin cậy cho phép của tọa độ  $y_1$  là  $\bar{y}_1 \pm 1.96\sigma$ , tọa độ  $y_2$  là  $\bar{y}_2 \pm 1.96\sigma$ , tọa độ  $y_3$  là  $\bar{y}_3 \pm 1.96\sigma$ , cụ thể là  $y_1$  nằm trong khoảng (797.35, 798.33),  $y_2$  nằm trong khoảng (521.50, 521.66) và  $y_3$  nằm trong khoảng (616.47, 620.23). Như vậy, với kết quả thực nghiệm thu được các giá trị về chỉ số vị trí  $y_1, y_2, y_3$  đã phân tích từ phần mềm ghép ảnh cho thấy các giá trị này có độ tin cậy cao và có thể ứng dụng vào bồn chứa dung tích lớn thực tế tại các doanh nghiệp sản xuất bồn và cần phải tính toán thêm các điều kiện thực tế tác động từ môi trường bên ngoài đến bồn chứa thật.

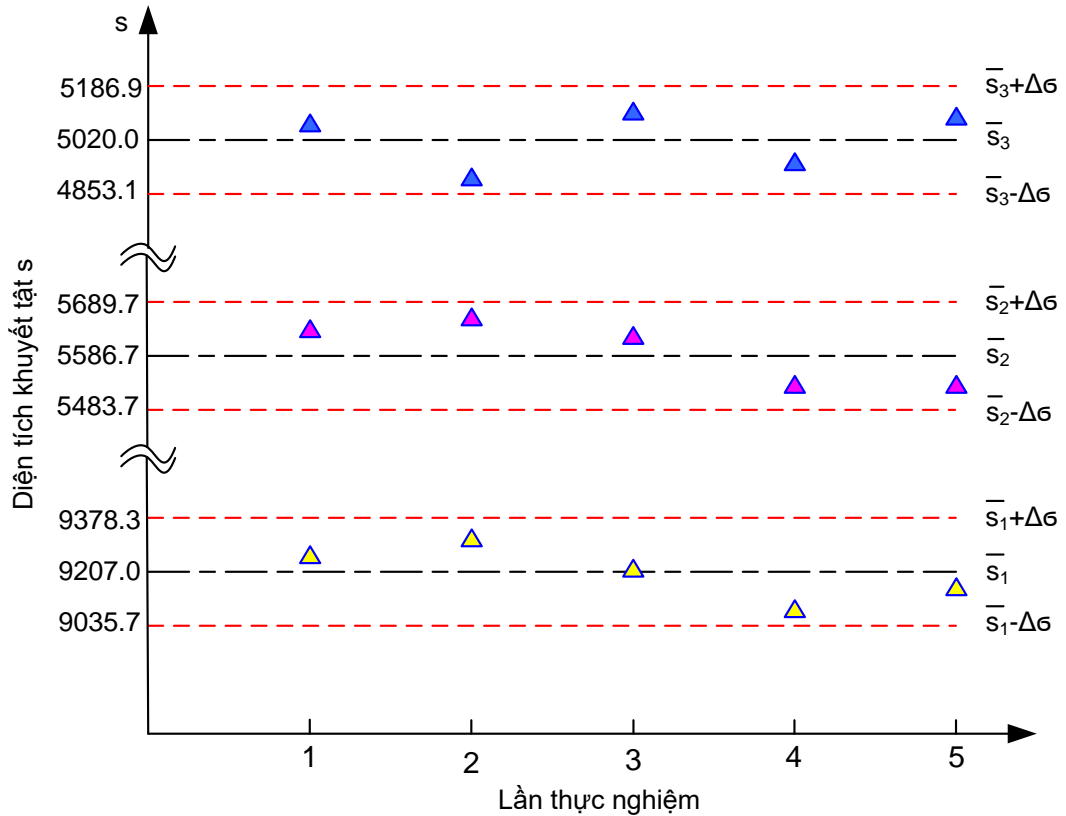
- Độ sâu khuyết tật mòn  $d_1, d_2, d_3$ :



**Hình 5.23:** Chiều sâu khuyết tật  $d_1, d_2, d_3$  qua 5 lần thực nghiệm

Trên hình 5.15 cho thấy độ sâu khuyết tật mòn  $d_1, d_2, d_3$  qua 5 lần thực nghiệm đều nằm trong giới hạn 95% khoảng tin cậy cho phép của độ sâu khuyết tật  $d_1$  là  $\bar{d}_1 \pm 1.96\sigma$ , độ sâu khuyết tật  $d_2$  là  $\bar{d}_2 \pm 1.96\sigma$ , độ sâu khuyết tật  $d_3$  là  $\bar{d}_3 \pm 1.96\sigma$  cụ thể là  $d_1$  nằm trong khoảng [2.010, 1.775],  $d_2$  nằm trong khoảng [2.060, 1.864] và  $d_3$  nằm trong khoảng [1.990, 1.834]. Như vậy, với kết quả thực nghiệm thu được các giá trị về chỉ số độ sâu  $d_1, d_2, d_3$  đã phân tích từ phần mềm ghép ảnh cho thấy các giá trị này có độ tin cậy cao và có thể ứng dụng vào bồn chứa dung tích lớn thực tế tại các doanh nghiệp sản xuất bồn và cần phải tính toán thêm các điều kiện thực tế tác động từ môi trường bên ngoài đến bồn chứa thật.

- Diện tích khuyết tật  $s_1, s_2, s_3$ :

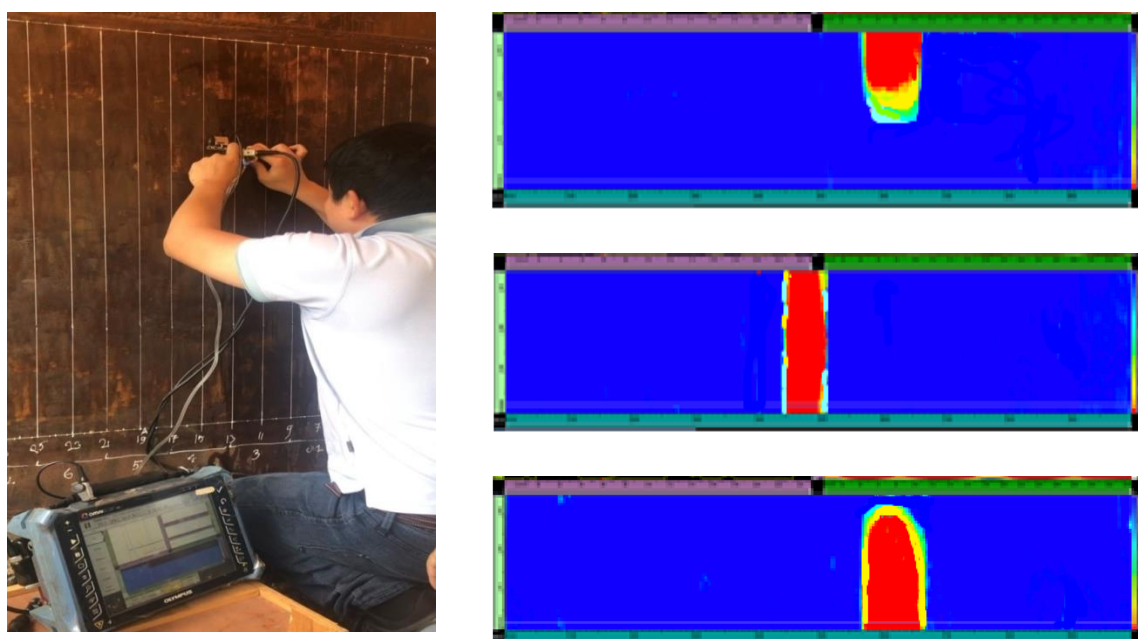


**Hình 5.24:** Diện tích khuyết tật  $s_1, s_1, s_1$  qua 5 lần thực nghiệm

Trên hình 5.24 cho thấy diện tích khuyết tật mòn  $s_1, s_2, s_3$  qua 5 lần thực nghiệm đều nằm trong giới hạn 95% khoảng tin cậy cho phép của độ sâu khuyết tật  $d_1$  là  $\bar{s}_1 \pm 1.96\sigma$ , độ sâu khuyết tật  $s_2$  là  $\bar{s}_2 \pm 1.96\sigma$ , độ sâu khuyết tật  $s_3$  là  $\bar{s}_3 \pm 1.96\sigma$  cụ thể là  $s_1$  nằm trong khoảng [9378.3, 9035.7],  $s_2$  nằm trong khoảng [5689.7, 5483.7] và  $s_3$  nằm trong khoảng [5186.9, 4853.1]. Như vậy, với kết quả thực nghiệm thu được các giá trị về chỉ số độ sâu  $s_1, s_2, s_3$  đã phân tích từ phần mềm ghép ảnh cho thấy các giá trị này có độ tin cậy cao và có thể ứng dụng vào bồn chứa dung tích lớn thực tế tại các doanh nghiệp sản xuất bồn và cần phải tính toán thêm các điều kiện thực tế tác động từ môi trường bên ngoài đến bồn chứa thật.

#### 5.4 So sánh kết quả với thực nghiệm đo độ mòn bằng tay

Để nâng cao độ tin cậy khi sử dụng robot đo mòn và độ ổn định của phần mềm ghép ảnh, phân tích các giá trị thông số mòn, quá trình đo mòn bằng phương pháp siêu âm PA trên mô hình bồn chứa trực tiếp đo bằng tay cũng được so sánh đánh giá. Quy trình đo kiểm bằng tay được thực hiện bởi các kỹ thuật viên đo kiểm của Công ty giải pháp kiểm định Việt Nam (VISCO NDT). Quy trình đo mòn siêu âm PA tương tự như đo bằng robot, tuy nhiên khác nhau ở chỗ đầu dò siêu âm PA được cầm bằng tay thực hiện quét theo phương thẳng đứng và trực tiếp di chuyển di chuyển trên mô hình bồn chứa. Quá trình đo và thu thập hình ảnh mòn như hình 5.25.



a) Đo mòn bằng tay

a) Hình ảnh siêu âm PA thu được

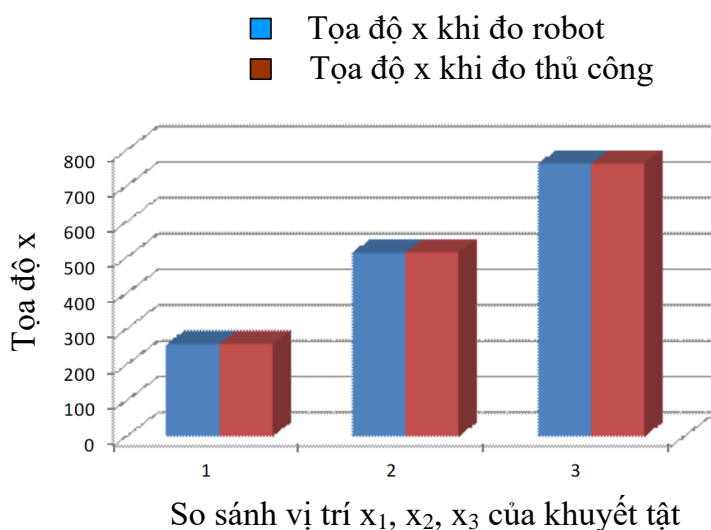
**Hình 5.25:** Kiểm tra siêu âm PA đo mòn bằng tay [46]

Với kết quả đo trực tiếp bằng tay và phân tích các thông số mòn trên máy siêu âm các thông số được so sánh kết quả phân tích bằng phần mềm ghép ảnh và mô tả chi tiết theo bảng 5.4.

**Bảng 5.4:** So sánh kết quả đo

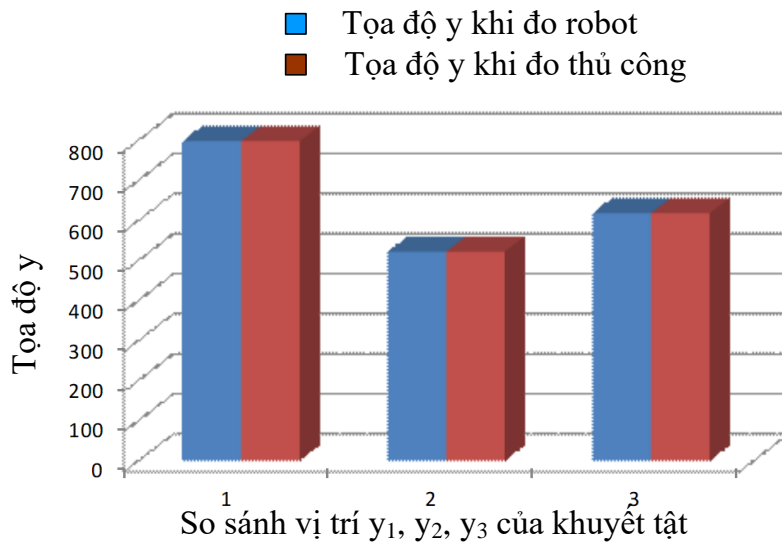
Defect	Kết quả đo trung bình bằng robot				Kết quả đo trực tiếp bằng tay		
	$\bar{x}$ (mm)	$\bar{y}$ (mm)	$\bar{s}$ (mm <sup>2</sup> )	$\bar{d}$ (mm)	x (mm)	y (mm)	d (mm)
1	257.74	797.89	9207.0	1.89	257.62	797.85	1.85
2	513.19	521.58	5586.7	1.96	513.55	521.87	1.95
3	762.32	618.35	5020.0	1.91	762.22	617.80	1.91

Dựa vào bảng 5.4 so sánh kết quả đo bằng robot và thủ công, có thể mô tả so sánh các thông số qua các đồ thị ở hình 5.26, 5.27 và 5.28.



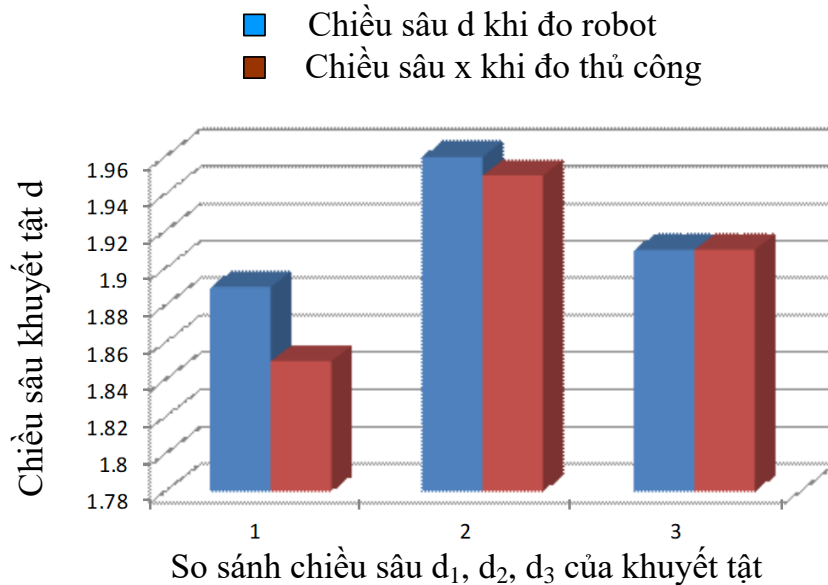
**Hình 5.26:** So sánh tọa độ x của khuyết tật khi đo bằng robot và thủ công

Dựa vào bảng 5.4 và hình 5.26 ta thấy, giá trị tọa độ x khi đo bằng robot và thủ công có giá trị ngang bằng nhau. Kết quả trên chứng minh rằng robot đo kiểm thu thập hình ảnh C-Scan có độ chính xác cao và phần mềm ghép ảnh cũng phân tích được giá trị các thông số mòn phù hợp với công nghệ đo kiểm trên thiết bị đo thủ công.



**Hình 5.27:** So sánh tọa độ y của khuyết tật khi đo bằng robot và thủ công

Dựa vào bảng 5.4 và hình 5.27 ta thấy, giá trị tọa độ y khi đo bằng robot và thủ công có giá trị ngang bằng nhau. Kết quả trên chứng minh rằng robot đo kiểm thu thập hình ảnh C-Scan có độ chính xác cao và phần mềm ghép ảnh cũng phân tích được giá trị các thông số mòn phù hợp với công nghệ đo kiểm trên thiết bị đo thủ công.



**Hình 5.28:** So sánh độ sâu d của khuyết tật khi đo bằng robot và thủ công



Dựa vào bảng 5.4 và hình 5.28 ta thấy, giá trị độ sâu khuyết tật mòn d khi đo bằng robot và thủ công có giá trị ngang bằng nhau hoặc có sai lệch rất nhỏ từ 0.01 – 0.04 mm. Kết quả trên chứng minh rằng robot đo kiểm thu thập hình ảnh C-Scan có độ chính xác cao và phần mềm ghép ảnh cũng phân tích được giá trị các thông số mòn phù hợp với công nghệ đo kiểm trên thiết bị đo thủ công.

Khi thực hiện đo kiểm bằng tay và phân tích các thông số mòn như vị trí tọa độ, chiều sâu khuyết tật mòn trên thiết bị siêu âm PA OmniScan MX2 cho thấy kết quả bằng nhau hoặc sai lệch rất nhỏ. Tuy nhiên, khi phân tích vị trí tọa độ trên thiết bị siêu âm OmniScan MX2 thì mất thời gian trong việc tính toán và cộng dồn tọa độ x, y của các lượt quét trước và sau. Mặt khác, trên thiết bị siêu âm không tính toán được diện tích của khuyết tật mòn cho nên không so sánh được thông số này.

Như vậy dựa vào quá trình thực nghiệm ở trên ta có một số nhận xét như sau:

Qua kết quả 5 lần thực nghiệm trên mô hình bồn chứa lấy giá trị trung bình và so sánh với kết quả đo bằng tay đã được mô tả ở trên là kết quả có độ tin cậy cao. Bên cạnh đó, mô hình bồn chứa đã thiết kế chế tạo là một phần của bồn thật theo tiêu chuẩn API 650:2016 [28], cho nên việc thực nghiệm đo kiểm trên mô hình bồn chứa là tương đồng với bồn được chế tạo thật bên ngoài của các doanh nghiệp. Tuy nhiên, khi thực nghiệm đo kiểm trên bồn thật bên ngoài cần tính toán cụ thể các thông số như: tải trọng gió trên cao, trọng lượng dây dẫn (dài, ngắn), ống dẫn và lưu lượng chất tiếp âm. Như vậy, nếu xem xét và tính toán thêm các điều kiện thực tế bồn chứa xăng dầu dung tích lớn của các doanh nghiệp sản xuất bồn chứa và hiệu chỉnh lại các điều kiện robot đã chế tạo, để thu thập hình ảnh phù hợp với bồn chứa thật sẽ giúp cho quá trình xây dựng bản đồ mòn.

Xây dựng được thuật toán ghép ảnh dựa trên ảnh mòn C-Scan thu được từ phương pháp kiểm tra siêu âm PA và phần mềm ghép ảnh trên nền tảng phần mềm Matlab.

Thiết kế chế tạo mô hình bồn chứa xăng dầu dung tích lớn theo tiêu chuẩn API 650:2016 [28] với kích thước 3x3m, vật liệu thép ASTM A36, chiều dày 12mm phục vụ kiểm chứng thực nghiệm.

Xây dựng được quy trình thực nghiệm kiểm tra mòn sử dụng robot mang đầu dò siêu âm PA với diện tích quét  $1000 \times 1000 \text{ mm}^2$  trên mô hình bồn chứa thu thập hình ảnh A-Scan, B Scan, C-Scan.

Với kết quả phân tích các thông số mòn trên bản đồ mòn khi thực nghiệm ghép ảnh tạo lập bản đồ mòn về vị trí, độ sâu và diện tích mòn đều nằm trong phạm vi 95% khoảng tin cậy  $\Delta\sigma$  được xác định bằng 1,96 lần sai lệch chuẩn  $\sigma$ . Với kết quả thực nghiệm với 5 lần thực nghiệm tương ứng 5 bản đồ mòn gần như tương đồng nhau chứng minh rằng phần mềm đã nhận được lỗi và so khớp 5mm biên ảnh cho thấy phần mềm ghép ảnh chạy ổn định.

Kết quả thực nghiệm xây dựng bản đồ mòn và phân tích các thông số mòn cũng chứng minh rằng các giá trị có độ tin cậy cao, robot mang đầu dò siêu âm PA di chuyển ổn định phù hợp với phương án đo và thời gian ngắn nhất được xác định theo thuật toán tìm kiếm PSO.

## KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ

### 1. Kết luận

Luận án trình bày các kết quả nghiên cứu giải pháp đo mòn bồn chứa xăng dầu trụ đứng có dung tích từ 10,000 m<sup>3</sup> trở lên bằng phương pháp kiểm tra siêu âm tổ hợp pha (Phased Array Ultrasonic Testing). Một phương án đo kiểm tối ưu đã được đề xuất cho phép tạo dựng bản đồ mòn trên mô hình bồn chứa xăng dầu nhằm rút ngắn thời gian kiểm tra, giải phóng được sức lao động và đem lại hiệu quả cao về kinh tế. Những đóng góp chính của luận án được tóm tắt như sau:

- Đề xuất quy trình thực nghiệm đo độ mòn ứng dụng kỹ thuật kiểm tra siêu âm tổ hợp pha (PAUT) sử dụng robot mang đầu dò siêu âm PA được chứng nhận để đo độ mòn bồn chứa xăng dầu dung tích lớn. Phương pháp đo mòn mới nhất hiện nay sử dụng hình ảnh màu C-Scan phục vụ công việc ghép ảnh lập bản đồ ăn mòn. Xây dựng được mô hình toán xác định được quãng đường di chuyển ngắn nhất trên cơ sở thuật toán bầy đàn PSO, phù hợp với yêu cầu kỹ thuật của robot mang đầu dò siêu âm PA tự chế tạo. Thông qua mô phỏng Matlab xác định được phương án đo kiểm của robot phù hợp với phương pháp kiểm tra siêu âm PA thực nghiệm trên mô hình bồn chứa xăng dầu dung tích lớn.

- Xác định, phân tích các thông số biên ảnh mòn C-Scan và kỹ thuật so khớp biên ảnh của các ảnh mòn liền kề nhau nhằm phục vụ công việc xây dựng bài toán ghép ảnh mòn trên cơ sở xử lý ảnh ứng dụng phần mềm Matlab.

- Xác định được các thông số mòn: diện tích, độ sâu, vị trí dựa vào chương ghép ảnh lập bản đồ mòn với thuật toán ghép ảnh đã được đề xuất, được mô phỏng, phân tích tính toán trên phần mềm Matlab.

- Tạo dựng được bản đồ mòn một phần với diện tích 1000×1000 mm<sup>2</sup> trên mô hình bồn chứa.

Tất cả các nghiên cứu, đề xuất trong luận án đều được tác giả kiểm chứng mô phỏng và thử nghiệm robot mang đầu dò siêu âm PA kiểm tra đánh giá độ mòn trên mô hình bồn chứa.

## **2. Kiến nghị**

Trong phạm vi nghiên cứu của luận án tác giả đã chưa khai thác hết tiềm năng, do đó cần được nghiên cứu và phát triển như sau:

- Tiếp tục thực hiện nghiên cứu đo kiểm trên bồn chứa có kích thước thật trên 10,000 m<sup>3</sup>, kết hợp với doanh nghiệp đo kiểm thực hiện các phương án đo khác nhau nhằm đánh giá hết khả năng của đề tài.

- Tiếp tục phát triển phần mềm ghép ảnh, tạo dựng bản đồ mòn tổng thể với kích thước lớn hơn.

## TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Charles Norman Maclecod, Gordon Dobie, Stephen Gareth Pierce, Rahul Summan, Maxim Morozov, Machining Based Coverage Path Planning for Automated Structural Inspection, pp. 1-12, 2016.
- [2] Researching on Measurement Strategies of Fuel Tank Corrosion Using Phased Array Technology. The first International Conference on Material, Machines and Methods for Sustainable Development, 2018, May 18-19, pp. 683-690, 2018.
- [3] ThS. Phan Công Thành, ThS. Đặng Thế Tụng, ThS. Nguyễn Đình Dũng, ThS. Trương Quang Trường, KS. Lê Thị Hồng Giang, PGS.TS. Nguyễn Thị Lê Hiền, Áp dụng công nghệ Phased Array lập bản đồ ăn mòn cho các thiết bị trong ngành công nghiệp dầu khí, Viện dầu khí Việt Nam, Số 5 năm 2015.
- [4] Raman Singh, Baldev raj, U.Kamachi Mudali, Prabhakar Singh, Non – Destructive Evaluation of corrosion and corrosion – assisted cracking, pp. 70-121, 2019.
- [5] Nguyễn Văn Hùng, Nghiên cứu ứng dụng phương pháp siêu âm trong kiểm tra khuyết tật vật liệu kim loại, Tạp chí khoa học ĐHSP TPHCM, Số 36 năm 2012.
- [6] Paritosh Nanekar, Ultrasonic phased array examination of circumferential weld joint in reactor pressure vessel of Boiling Water Reactor, 2013.
- [7] Jonathan TURCOTTE, Philippe RIOUX, Jérôme-Alexandre LAVOIE, Comparison Corrosion Mapping Solutions using Phased Array, Conventional UT and 3D scanners, 19th World Conference on Non-Destructive Testing, pp.1-10, 2016.
- [8] Olympus, OmniScan MX2 training program corrosion analysis and reporting, pp.1-25, 2015.
- [9] Olympus, OmniScan MX2 training program corrosion mapping 1 axis encoder acquisition (one line scan), pp.1-14, 2015.

- [10] Olympus, OmniScan MX2 training program corrosion mapping 2 axis encoder acquisition (raster scan), pp.1-14, 2015.
- [11] Silverwing, Scorpion, Document number BRO-SCO Rev 1.2, Silverwing UK Ltd., pp.1-4, 2018.
- [12] RMS2 high speed, remote access C-scan defect detection and corrosion mapping system, Silverwing UK Ltd., BRO-RMS Revision 2.0.
- [13] S. G. Pierce, C. N. Macleod, G. Dobie, R. Summan, Path planning & measurement registration for robotic structural asset monitoring, 7th European Workshop on Structural Health Monitoring, La Cité, Nantes, France, July 8-11, 2014, pp. 1 – 9, 2014.
- [14] Olympus, TomoView User's Manual, version 2.10, 2012
- [15] William Alexander Blyth, Robotic Pipe Inspection: System Design, Locomotion and Control, 2017.
- [16] M. Rakocevic, X. Wang, S. Chen, A. Khalid, T. Sattar and B. Bridge, Development of an Automated Mobile Robot Vehicle Inspection System for NDT of Large Steel Plates, 2017.
- [17] Trịnh Văn Thuyết, Nghiên cứu xây dựng quy trình kiểm tra mối hàn giáp mối ống sử dụng phương pháp siêu âm tổ hợp pha tại Việt Nam, Luận văn thạc sĩ Trường ĐH SPKT Tp. Hồ Chí Minh, 2013.
- [18] Lê Duy Tuấn, Nghiên cứu thiết kế, chế tạo thiết bị phát hiện khuyết tật và ăn mòn đường ống dẫn sử dụng đầu dò siêu âm tổ hợp pha, Luận văn thạc sĩ Trường ĐH SPKT Tp. Hồ Chí Minh, 2013.
- [19] Trương Đình Sĩ, Nghiên cứu phát triển thiết bị tự hành mang thiết bị kiểm tra và đánh giá chất lượng đường ống ngầm sử dụng kỹ thuật siêu âm, Luận văn thạc sĩ Trường ĐH SPKT Tp. Hồ Chí Minh, 2014.
- [20] Nguyễn Văn Trảng, Nghiên cứu thiết kế và chế tạo thử nghiệm thiết bị tự hành kiểm tra đánh giá chất lượng ống nhỏ bằng siêu âm PA, Luận văn thạc sĩ Trường ĐH SPKT Tp. Hồ Chí Minh, 2013.

- [21] TS. Ngô Văn Thuyên, Lâm Văn Vũ, Hoạch định quỹ đạo cho robot di động dùng thuật toán PSO, trường Đại học SPKT TPHCM, 2013.
- [22] Phạm Duy Hưng, Phạm Minh Triển và Trần Quang Vinh, Hệ tìm kiếm đa robot trong vùng bị thảm họa sử dụng thuật toán tối ưu bầy đàn, Hội nghị toàn quốc về Điều khiển và Tự động hoá – VCCA – 2011.
- [23] Yang Xue, Jian-Qiao Sun, Solving the Path Planning Problem in Mobile Robotics with the Multi-Objective Evolutionary Algorithm, Appl. Sci. 2018, 8, 1425; doi: 10.3390/app8091425, MPDI journal, Switzerland, 2018, 21 pages.
- [24] HaiyanWang, Zhiyu Zhou, A Heuristic Elastic Particle Swarm Optimization Algorithm for Robot Path Planning, MPDI journal, Switzerland, 2019.
- [25] Imen Hassani, Imen Maalej, and Chokri Rekik, Robot Path Planning with Avoiding Obstacles in Known Environment Using Free Segments and Turning Points Algorithm, Mathematical Problems in Engineering Volume 2018, Article ID 2163278, 13 pages.
- [26] Patience I. Adamu, IAENG, Member, Joshua T. Jegede, Hilary I. Okagbue and Pelumi E. Oguntunde, Shortest Path Planning Algorithm – A Particle Swarm Optimization (PSO) Approach, Proceedings of the World Congress on Engineering 2018 Vol I, WCE 2018, July 4-6, 2018, London, U.K.
- [27] Nghiên cứu, đề xuất kết cấu và điều khiển robot mang đầu dò siêu âm kiểm tra bồn chứa xăng dầu. Hội nghị Toàn quốc Máy và Cơ cấu năm 2015, pp. 220-23, 2015.
- [28] American Petroleum Institute, API 650, Welded Tanks for Oil Storage, Twelfth Edition, pp. 132 – 160, March 2016.
- [29] American Society Mechanical Engineer (ASME), Section V, ASME Boiler & Pressure Vessel Code -Nondestructive Examination, article 4, Edition, 2018.
- [30] American Petroleum Institute, API 653, Tank inspection, repair, alteration and reconstruction, Fifth Edition, pp.52-132, November 2014.

- [31] American Society for Testing and Materials (ASTM) E 2491, Standard Guide for Evaluating Performance Characteristics of Phased-Array Ultrasonic Testing Instruments and Systems, Edition 2018.
- [32] International Standard Organization, ISO 9712, Qualification and certification on NDT personnel, 2012.
- [33] The American Society for Nondestructive Testing, Inc, ASNT SNT-TC-1A, Edition 2016: “Recommended Practice No: SNT-TC-1A”, Personnel qualification and certification in nondestructive testing, p.02-11, 2016.
- [34] Olympus, OmniScan MX and MX2 Multitechnology Flaw Detector, User manual, 2017.
- [35] Olympus, Phased Array Probes and Wedges, Phased array inspection, 2016.
- [36] Olympus, Scanner and Accessories, Phased array inspection, 2016.
- [37] Olympus, Phased array corrosion mapping solution, pp.1-4, 2015.
- [38] Olympus, OmniScan MX2 training program corrosion mapping setup 1D Linear Array Probe for Pulse Echo Inspection, pp.1-35, 2015.
- [39] Lê Văn Bé, Bùi Công Danh, Tiết kiệm năng lượng cho mạng cảm biến không dây dựa trên thuật toán tối ưu hóa bầy đàn cải tiến, Tạp chí khoa học công nghệ và thực phẩm, pp.18-25, 2015.
- [40] Yong Zhang, Dun-weiGong, Jian-huaZhang, Robot path planning in uncertain environment using multi-objective particle swarm optimization, Elsevier B.V, <http://dx.doi.org/10.1016/j.neucom.2012.09.019>, Neurocomputing 103 (2013), pp.172–185, 2013.
- [41] Harshal S. Dewang, Prases K. Mohanty, Shubhasri Kundu, A Robust Path Planning For Mobile Robot Using Smart Particle Swarm Optimization, International Conference on Robotics and Smart Manufacturing (RoSMa2018), Published by Elsevier Ltd., Procedia Computer Science 133 (2018), pp.290–297, 2018.
- [42] Maryam Yarmohamadi, H. Haj Seyyed Javadi, Hossein Erfani, Improvement of Robot Path Planning Using Particle Swarm Optimization in Dynamic, 2011



- Environments with Mobile Obstacles and Target, *Advanced Studies in Biology*, Vol. 3, no. 1, 2011, pp.43 – 53, 2011.
- [43] T. A Badmos, P. O Omolaye, J. Mebawondu, H. A. Aliyu, Robot Path Planning Performance Evaluation of a Dynamic Environment, *IOSR Journal of Electronics and Communication Engineering (IOSR-JECE)*, ISSN: 2278-8735. Volume 13, Issue 6, Ver. I (Nov, Dec, 2018), pp. 19-26, 2018.
- [44] Firas A. Raheem, Ummiah I. Hameed, Path Planning Algorithm using D\* Heuristic Method Based on PSO in Dynamic Environment, *American Scientific Research Journal for Engineering, Technology, and Sciences (ASRJETS)*, 2018, Volume 49, No 1, pp 257-271.
- [45] Applying PSO algorithm to determine the scan plan for the PA ultrasonic probe carried robot in testing the corrosion of fuel tanks, *International Journal Advanced Technology Computer Science and Engineering (IJATCSE)*, Volume 9, No.4, July – August 2020, pp. 5243-5249, ISSN 2278-3091, (Q4, H index = 11, SIJ = 0.13, <https://doi.org/10.30534/ijatcse/2020/154942020>).
- [46] Một nghiên cứu về phương thức xây dựng bản đồ mòn dựa trên hình ảnh thu thập được bằng kỹ thuật kiểm tra siêu âm tổ hợp pha”, ISSN 2615-9910, *Tạp Chí Cơ Khí Việt Nam*, số 12 năm 2020, pp.113-122, 2020.
- [47] A new approach to corrosion mapping of fuel tank from collected images using phased array technology. *IEEE International Conference On System Science And Engineering, ICSSE 2019*, pp.714- 718, 2019.
- [48] Matthew Brown and David G. Lowe, Automatic Panoramic Image Stitching using Invariant Features, Departmentn of Computer Science, University of British Columbia, Vancouver, Canada, 14 pages, 2008.
- [49] Zhong Qu, Si-Peng Lin, Fang-Rong Ju, and Ling Liu, The Improved Algorithm of Fast Panorama Stitching for Image Sequence and Reducing the Distortion Errors, *Hindawi Publishing Corporation Mathematical Problems in Engineering* Volume 2015, Article ID 428076, 12 pages, 2015.

- [50] Pranoti Kale, K.R.Singh, A Technical Analysis of Image Stitching Algorithm, (IJCSIT) International Journal of Computer Science and Information Technologies, Vol. 6 (1), ISSN: 0975-9646, pp. 284-288, 2015.
- [51] Meir Johnathan Dahan, Nir Chen, Ariel Shamir, Daniel Cohen-Or, Combining color and depth for enhanced image segmentation and retargeting, Springer, Vis Comput (2012), pp. 1181–1193, 2012.
- [52] Mathwork Matlab R2020a, Image processing toolbox™, User's guide, Chapter 3, Reading and Writing Image Data, pp. 3-1 to 3-23, 2020.
- [53] Moushumi Zaman Bonny<sup>1</sup> and Mohammad Shorif Uddin<sup>2</sup>, A Technique for Panorama-Creation using Multiple Images, (IJACSA) International Journal of Advanced Computer Science and Applications, Vol. 11, No. 2, 2020, pp. 741-746, March 2020.
- [54] Nguyễn Hữu Phát, Nguyễn Mạnh Thế, ứng dụng kỹ thuật ghép ảnh panorama trong mạng cảm biến không dây, Tạp chí Khoa học và Công nghệ 53(5) (2015) 551-567, 2015.
- [55] Vrushali S. Sakharkar, S. R. Gupta, Image Stitching Techniques-An overview, International Journal Of Computer Science And Applications Vol. 6, No.2, Apr 2013 ISSN: 0974-1011 , pp. 324 – 330, 2013.
- [56] Yao Wang and Fanyi Duanmu, MATLAB for image processing, A guide to basic MATLAB functions for image processing with MATLAB exercises, Tandon School of Engineering, New York University, pp.1-8, 2016.
- [57] D. Chaudhuri and A. Agrawal, Split-and-merge Procedure for Image Segmentation using Bimodality Detection Approach, Defence Science Journal, Vol. 60, No. 3, May 2010, pp. 290-301, 2010.
- [58] Hisashi Shimodaira, Automatic Color Image Segmentation Using a Square Elemental Region-Based Seeded Region Growing and Merging Method, Computer Science, Corpus ID: 22693469, pp. 1-14, 2017.
- [59] Triaška, M.Gažo, Merging Images Using Matlab, Institute of Control and Industrial Informatics, Slovak University of Technology, pp. 1-5, 2016.

- [60] Meir Johnathan Dahan, Nir Chen, Ariel Shamir, Daniel Cohen, Combining color and depth for enhanced image segmentation and retargeting, Springer-Verlag 2011, pp. 1181-1193, 2011.
- [61] Nuno Gracias, Mohammad Mahoor, Shahriar Negahdaripour, Arthur Gleason, Fast image blending using watersheds and graph cuts, *Image and Vision Computing* 27 (2009), pp. 597-607, 2009.

# DANH MỤC CÁC CÔNG TRÌNH ĐÃ CÔNG BỐ CỦA LUẬN ÁN

1. **To Thanh Tuan**, Le Chi Cuong, Dang Thien Ngon, “Applying PSO algorithm to determine the scan plan for the PA ultrasonic probe carried robot in testing the corrosion of fuel tanks, International Journal Advanced Technology Computer Science and Engineering (IJATCSE), Volume 9, No.4, July – August 2020, pp. 5243-5249, ISSN 2278-3091, (Q4, H index = 11, SIJ = 0.13, <https://doi.org/10.30534/ijatcse/2020/154942020>).
2. **To Thanh Tuan**, Dang Thien Ngon, “Researching on Measurement Strategies of Fuel Tank Corrosion Using Phased Array Technology”, Applied Mechanics and Materials, vol. 889, Trans Tech Publications, Ltd., Mar. 2019, pp. 499–507, ISSN: 1662-7482 (H index = 29, Doi:10.4028/www.scientific.net/amm.889.499).
3. **To Thanh Tuan**, Dang Thien Ngon, “A new approach to corrosion mapping of fuel tank from collected images using phased array technology”, IEEE International Conference On System Science And Engineering, ICSSE 2019, July 19–21, 2019.
4. **Tô Thanh Tuấn**, Đặng Thiện Ngôn, Nguyễn Duy Anh, “Nghiên cứu đề xuất kế cấu và điều khiển robot mang đầu dò siêu âm kiểm tra bồn chứa xăng dầu”, Hội nghị toàn quốc Máy và Cơ cấu 2015 (NCOMM 2015) Tp. Hồ Chí Minh, pp. 220-231, 2015.
5. **Tô Thanh Tuấn**, Đặng Thiện Ngôn, Lê Chí Cương, “Một nghiên cứu về phương thức xây dựng bản đồ mòn dựa trên hình ảnh thu thập được bằng kỹ thuật kiểm tra siêu âm tổ hợp pha”, ISSN 2615-9910, Tạp Chí Cơ Khí Việt Nam, số 12 năm 2020, pp.113-122, 2020.

## PHỤ LỤC 1

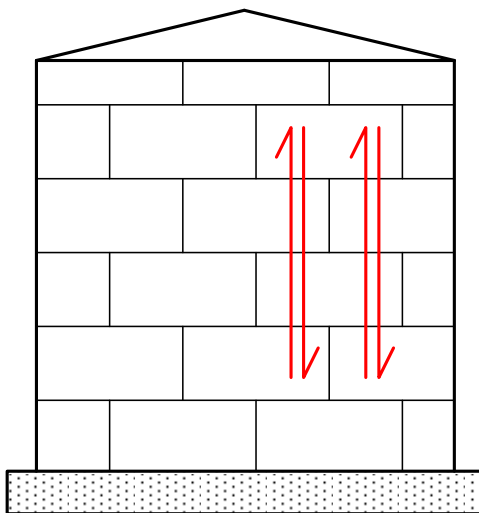
# THIẾT KẾ VÀ CHẾ TẠO ROBOT MANG ĐẦU DÒ SIÊU ÂM

### 1. Phương án thiết kế kết cấu của robot

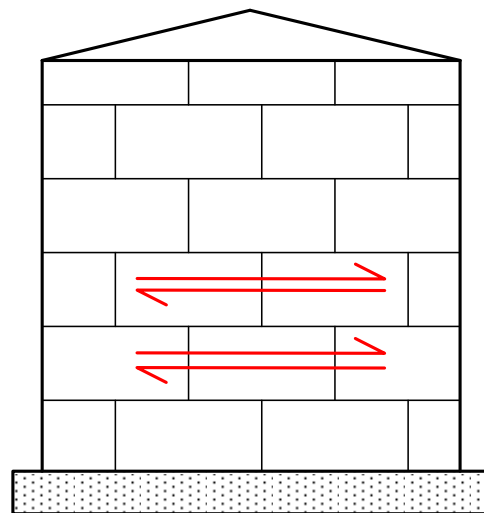
Khi thực hiện công việc đo mòn, robot mang đầu dò siêu âm PA phải di chuyển trên bề mặt bồn chứa. Do kích thước đường kính của bồn chứa lớn nên cung tròn có độ cong không lớn nên có thể có nhiều phương án xây dựng quỹ đạo di chuyển của robot như theo phương thẳng đứng, phương ngang hoặc theo đường xoắn ốc,... Trong thực tế, quỹ đạo theo đường xoắn ốc sẽ bị mất dữ liệu do rất khó khống chế khoảng cách giữa 2 đường quét dưới tác dụng của môi trường (gió, rung động). Do vậy, ta xem xét các phương án chuyển động sau [44]:

- **Phương án 1 – Phương đứng:** robot sẽ di chuyển từ vị trí từ đáy bồn đến vị trí mái bồn để kiểm tra từ dưới lên, rồi dịch chuyển sang phải để kiểm tra từ trên xuống đáy bồn. Quá trình cứ thế tiếp diễn theo chu vi bồn cho đến khi trở lại điểm ban đầu (hình 1a).

- **Phương án 2 - Phương ngang:** robot sẽ di chuyển theo phương ngang để kiểm tra hết một đường chu vi bồn, sau đó robot dịch chuyển lên trên để kiểm tra đường chu vi tiếp theo. Quá trình kiểm tra cứ thế tiếp diễn cho đến hết chiều cao thân bồn (hình 1b).



a) Di chuyển theo phương đứng



b) Di chuyển theo phương ngang

### Hình 1: Các phương án di chuyển của robot

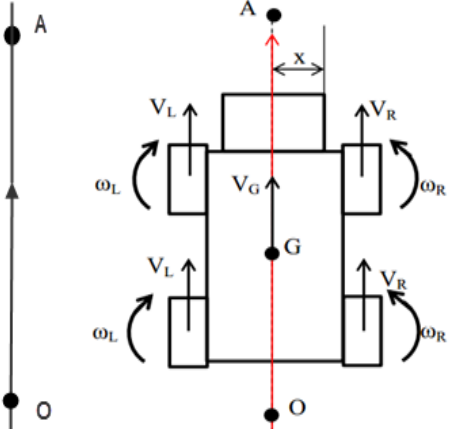
So sánh và lựa chọn phương án phù hợp được trình bày trong bảng 1.

**Bảng 1:** So sánh các phương án di chuyển

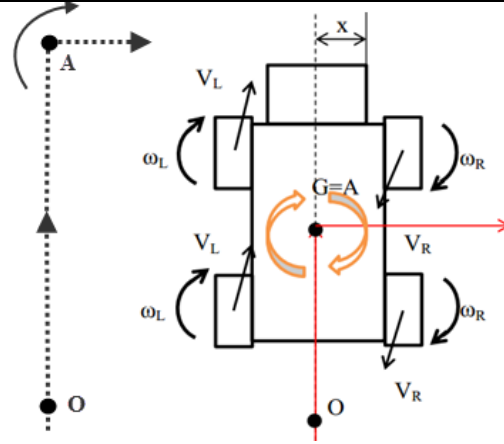
TT	Tiêu chí so sánh	Các phương án	
		Phương án 1 (phương đứng)	Phương án 2 (phương ngang)
1	Thao tác vận hành	Đơn giản	Khó khăn
2	Mức độ ổn định	Cao	Trung bình
3	Kết quả kiểm tra	Chính xác	Trung bình

Từ bảng 1, ta chọn phương án 1 (đo kiểm theo phương đứng) vì có nhiều ưu điểm và thoả mãn các yêu cầu đặt ra. Như vậy, robot sẽ được thiết kế để di chuyển theo phương án đứng là chủ đạo. Hình 2 trình bày một phương án đo kiểm, trong đó robot được điều khiển để mang đầu dò PA di chuyển từ dưới lên trên (chuyển động chính) và từ trái sang phải.

Quỹ đạo chuyển động cụ thể của robot được xác định như sau:

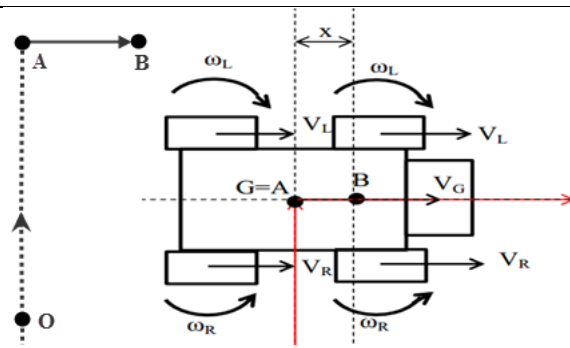
<p>- <b>Chuyển động thẳng theo phương đứng:</b> khi bắt đầu mang đầu dò siêu âm thực hiện đo kiểm, robot chuyển động thẳng đều từ vị trí gần đáy bồn (điểm O) lên vị trí gần mái bồn (điểm A). Bốn bánh xe quay cùng chiều và cùng vận tốc.</p>	 <p><b>Hình 2:</b> Chuyển động thẳng theo phương đứng</p>
---	---

- **Chuyển động xoay sang phải:** khi trọng tâm G của robot đến vị trí điểm A ( $G=A$ ), robot thực hiện chuyển động xoay sang phải quanh tâm G. Hai bánh xe bên phải có cùng vận tốc và quay ngược chiều với hai bánh xe bên trái.



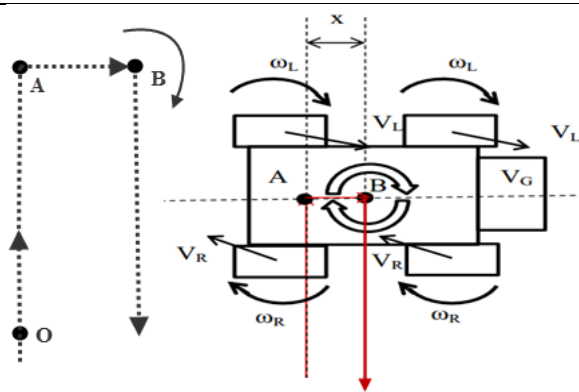
**Hình 3:** Robot chuyển động quay sang phải

- **Chuyển động thẳng theo phương ngang:** sau khi xoay quanh điểm A một góc  $90^0$ , robot chuyển động thẳng đều từ điểm A đến điểm B. Bốn bánh xe quay cùng chiều và cùng vận tốc.



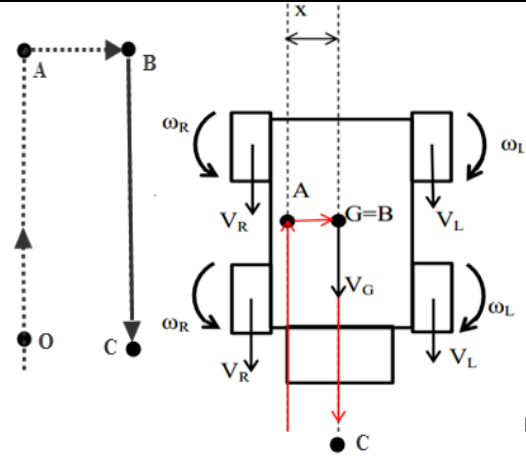
**Hình 4:** Chuyển động thẳng theo phương ngang

- **Chuyển động xoay sang phải:** khi trọng tâm G của robot đến vị trí điểm B ( $G=B$ ), robot thực hiện chuyển động xoay tại chỗ sang phải quanh tâm G (điểm B). Hai bánh xe bên phải có cùng vận tốc và quay ngược chiều hai bánh xe bên trái.



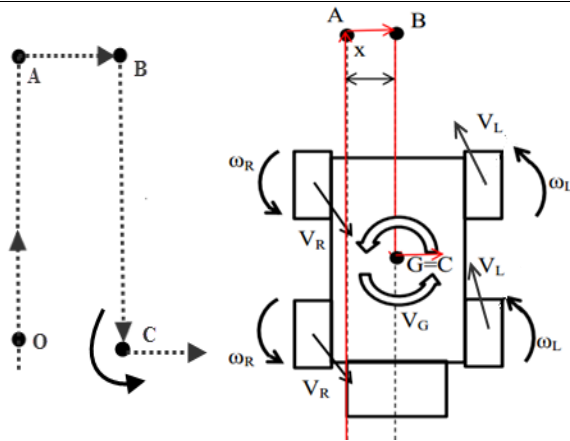
**Hình 5:** Chuyển động xoay sang phải

- **Chuyển động thẳng theo phương đứng:** Sau khi xoay quanh điểm B một góc  $90^\circ$ , robot chuyển động thẳng đều từ vị trí điểm B đến vị trí điểm C. Bốn bánh xe quay cùng chiều cùng vận tốc.



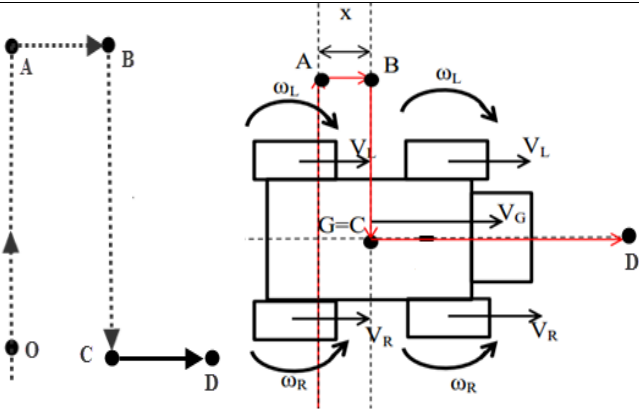
**Hình 6:** Chuyển động thẳng theo phương đứng

- **Chuyển động xoay sang trái:** Khi trọng tâm G của robot đến vị trí điểm C ( $G=C$ ), robot thực hiện chuyển động xoay tại chỗ sang trái quanh tâm G. Hai bánh xe bên trái có cùng vận tốc và quay ngược chiều hai bánh xe bên phải.



**Hình 7:** Chuyển động xoay sang trái

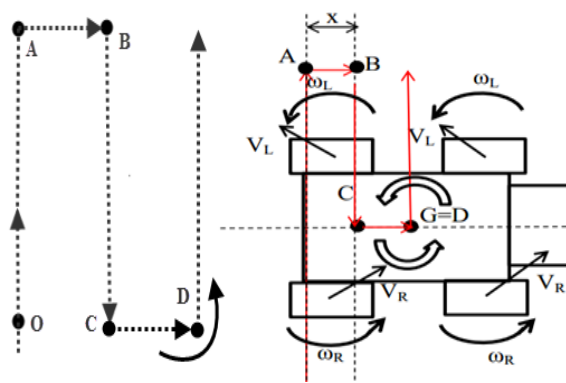
- **Chuyển động thẳng theo phương ngang:** sau khi xoay quanh điểm C một góc  $90^\circ$ , robot chuyển động thẳng đều từ điểm C đến điểm D. Bốn bánh xe quay cùng chiều và có cùng vận tốc.



**Hình 8:** Chuyển động thẳng theo phương ngang

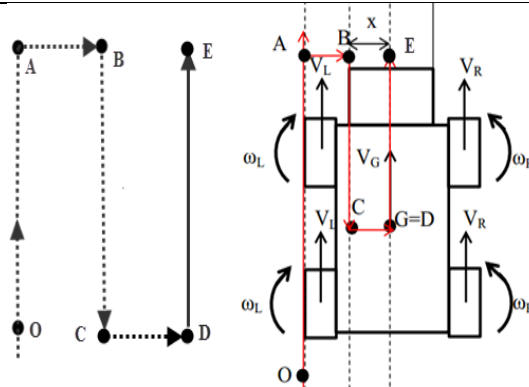


- **Chuyển động xoay sang trái:** khi trọng tâm G của robot đến vị trí điểm D ( $G=D$ ), robot thực hiện chuyển động xoay tại chỗ sang trái quanh tâm G. Hai bánh xe bên trái có cùng vận tốc và quay ngược chiều hai bánh xe bên phải.



**Hình 9:** Chuyển động xoay sang trái

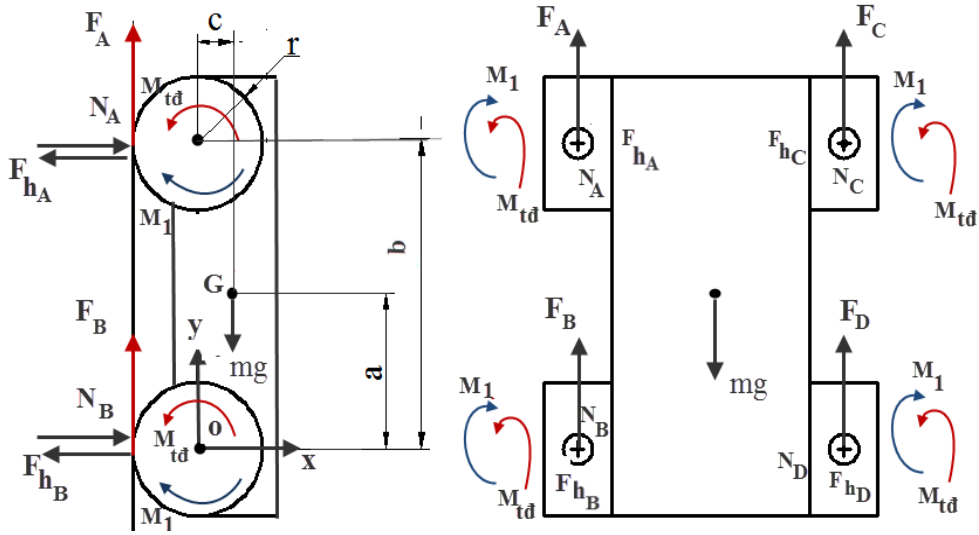
- **Chuyển động thẳng**  
**theo phương đứng:** sau khi xoay quanh điểm D một góc  $90^\circ$ , robot chuyển động thẳng đều từ dưới lên. Bốn bánh xe quay cùng chiều và có cùng vận tốc.



**Hình 10:** Chuyển động thẳng theo phương đứng

### 1.1 Tính toán lực hút nam châm

Lực hút nam châm giúp robot và các thiết bị kèm theo như: đầu dò PA, dây điện, dây dẫn cấp chất tiếp âm, cáp truyền dữ liệu,... có thể thắng được trọng lực để bám dính và di chuyển trên thân bồn. Sơ đồ phân tích lực khi robot bám dính lên thân bồn được trình bày ở hình 11 [38].



**Hình 4.11:** Mô hình phân tích lực của robot

Trong đó:

- $W$  : Trọng lượng của robot
- $F_{hA}, F_{hB}, F_{hC}, F_{hD}$ : Lực hút của nam châm tại điểm A, B, C, D.
  - +  $F_{hA} = F_{hB} = F_{hC} = F_{hD}$ .
  - +  $F_M$  : Tổng lực hút của nam châm.
  - +  $F_M = F_{hA} + F_{hB} + F_{hC} + F_{hD} = 4F_{hA} = 4F_{hB} = 4F_{hC} = 4F_{hD}$ .
- $N_A, N_B, N_C, N_D$ : Phản lực tại các điểm A, B, C, D.
  - +  $N_A = N_B = N_C = N_D$ .
  - +  $N$ : Tổng phản lực liên kết.
  - +  $N = N_A + N_B + N_C + N_D = 4N_A = 4N_B = 4N_C = 4N_D$
- $F_A, F_B, F_C, F_D$ : Lực ma sát tại các điểm A, B, C, D
  - +  $F_A = F_B = F_C = F_D$
  - +  $F_{ms}$  : Tổng lực ma sát
  - +  $F_{ms} = F_A + F_B + F_C + F_D = 4F_A = 4F_B = 4F_C = 4F_D$
- $M_{td}$  : Mômen truyền động của một trục bánh xe
- $M_1$  : Mômen ma sát lăn của 1 bánh xe
- $a$  : Khoảng cách từ trọng tâm robot đến điểm O theo phương Y là 88,5 mm

- $b$  : Khoảng cách giữa tâm hai bánh xe là 177 mm
- $c$  : Khoảng cách từ trọng tâm robot đến điểm O theo phương X là 12,5 mm
- $r$  : Bán kính bánh xe là 36,5 mm

Hệ phương trình cân bằng lực:

$$\left\{ \begin{array}{l} \sum \vec{F}_{kx} = 0 \\ \sum \vec{F}_{ky} = 0 \\ \sum \vec{M}_o(\vec{F}_x) = 0 \end{array} \right. \quad (4-1)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} N - F_M = 0 \\ F_{ms} - W = 0 \\ 4M_{td} - 4M_l + 2 F_{h_A} \cdot b - W \cdot c - 4 F_A \cdot r - 2N_A \cdot b = 0 \end{array} \right.$$

$$\left\{ \begin{array}{l} N = F_M \\ F_{ms} = W \\ 4M_{td} - 4M_l + 2 F_{h_A} \cdot 177 \cdot 10^{-3} - W \cdot 12,5 \cdot 10^{-3} - 4 F_A \cdot 36,5 \cdot 10^{-3} - \\ 2N_A \cdot 177 \cdot 10^{-3} = 0 \end{array} \right. \quad (4-2)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} F_M = N = F_{ms} / \mu \\ F_{ms} = mg \\ M_{td} = \frac{4M_l - 2 F_{h_A} \cdot 177 \cdot 10^{-3} + W \cdot 12,5 \cdot 10^{-3} + 4 F_A \cdot 36,5 \cdot 10^{-3} + 2N_A \cdot 177 \cdot 10^{-3}}{4} \end{array} \right. \quad (4-3)$$

Trong đó:

- $F_{kx}$  là tổng lực tác động theo phương X
- $F_{ky}$  là tổng lực tác động theo phương Y
- $g$  : Gia tốc trọng trường  $9,81 \text{ m/s}^2$
- $m$  : Khối lượng robot, 5 kg
- Hệ số ma sát trượt  $\mu = 0,5$
- Hệ số ma sát lăn  $f = 0,015$
- Thay các giá trị đã có vào phương trình (3.3), ta được kết quả:

$$\begin{cases} F_{ms} = 49,1 \text{ (N)} \\ F_M = N = F_{ms} / \mu = 98 \text{ (N)} \\ M_{td} = 2,067 \text{ (Nm)} \end{cases}$$

Vậy tổng lực hút tính toán để robot có thể bám trên bề mặt bồn chứa là 98 N. Do đó lực hút tính toán của một nam châm tạo ra là:

$$F_{h_A} = F_{h_B} = F_{h_C} = F_{h_D} = \frac{F_M}{4} = \frac{98}{4} = 24,5 \text{ (N)}$$

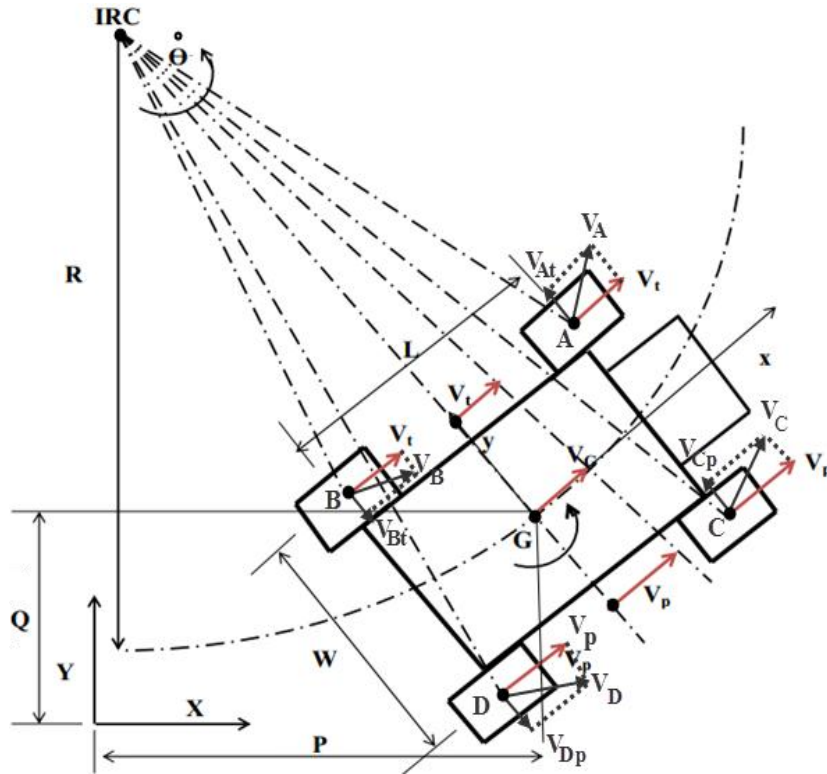
Để robot bám dính trên bề mặt bồn thì lực hút thực tế của nam châm cần lớn hơn hoặc bằng lực hút tính toán ( $F_{\text{thực tế}} \geq F_{\text{tính toán}}$ ).

## 1.2 Phương trình động học của robot

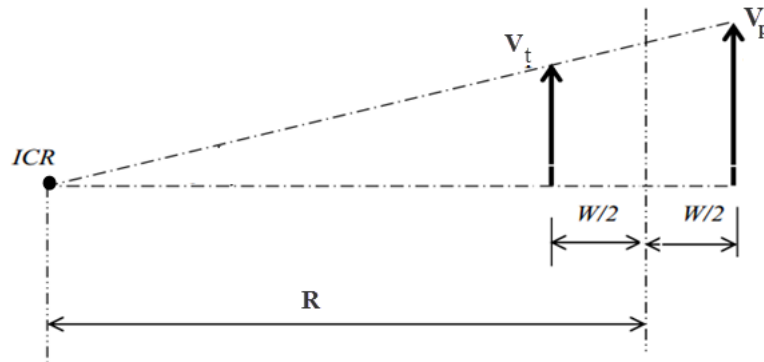
Để khảo sát chuyển động của robot trên quỹ đạo đường đi, ta đặt vào môi trường khảo sát một hệ quy chiếu cố định là (X,Y) và một hệ quy chiếu khác gắn liền theo robot là (x,y). Quỹ đạo đường đi được khảo sát là đường cong có bán kính R, hệ quy chiếu (x, y) được đặt tại tâm khối G của robot [38].

- Trong đó:
  - + Trục x : theo phương dọc thân robot
  - + Trục y : theo phương ngang thân robot
  - + L : là kích thước khoảng cách giữa hai trục bánh xe trước và sau
  - + W : là khoảng cách giữa hai tâm bánh

Gọi ICR (Instantaneous Center of Rotation) là điểm tâm của đường cong quỹ đạo và cũng chính là tâm vận tốc tức thời của robot, bởi vì thời điểm ta xét thì tại điểm này có vận tốc tức thời bằng không.



**Hình 12:** Phân tích động học trên Robot



**Hình 13:** Vận tốc bên trái và bên phải [38]

- Trong đó các thông số:
  - +  $V_G$ : Vận tốc robot tại tâm G
  - +  $V_t$ : Vận tốc 2 bánh xe bên trái
  - +  $V_p$ : Vận tốc 2 bánh xe bên phải
  - +  $r$ : Bán kính bánh xe
  - +  $\omega_t$ : Vận tốc góc bánh xe bên trái

- +  $\omega_p$  : Vận tốc góc bánh xe bên phải
- +  $R$  : Bán kính cong tức thời của quỹ đạo đường đi
- +  $\theta$  : Góc quay của robot hay góc quay của hệ quy chiếu (x,y) so với hệ quy chiếu (X, Y)
- +  $\dot{\theta}$  : Vận tốc góc của robot trong mặt phẳng chuyển động
- +  $R - \frac{w}{2}$  : Bán kính cong quỹ đạo mô tả cho bánh xe bên trái
- +  $R + \frac{w}{2}$  : Bán kính cong quỹ đạo mô tả cho bánh xe bên phải

Ta có:

$$\dot{\theta} = \frac{v_t}{R - \frac{w}{2}} = \frac{v_p}{R + \frac{w}{2}}$$

$$\dot{\theta} = \frac{v_p - v_t}{w} \quad \text{và} \quad R = \frac{w(v_p + v_t)}{2(v_p - v_t)}$$

Vận tốc của robot tại tâm G:

$$\dot{x} = v_G = \dot{\theta} \cdot R = \frac{v_p + v_t}{2}$$

Vậy ta có hệ phương trình:

$$\begin{bmatrix} \dot{x} \\ \dot{y} \\ \dot{\theta} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} r/2 & r/2 \\ 0 & 0 \\ -r/w & -r/w \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \omega_t \\ \omega_p \end{bmatrix}$$

Phương trình động học cho robot:

$$\begin{bmatrix} \dot{X} \\ \dot{Y} \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \theta & -\sin \theta & P \\ \sin \theta & \cos \theta & Q \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \dot{x} \\ \dot{y} \\ \dot{\theta} \end{bmatrix}$$

$$\Leftrightarrow \begin{bmatrix} \dot{X} \\ \dot{Y} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \dot{x} \cdot \cos \theta + P \\ \dot{x} \cdot \sin \theta + Q \end{bmatrix} \quad (\text{do } \dot{y} = 0)$$

$$\Leftrightarrow \begin{bmatrix} \dot{X} \\ \dot{Y} \\ 1 \end{bmatrix} = \frac{r}{2} \begin{bmatrix} \cos \theta & \cos \theta & P \\ \sin \theta & \sin \theta & Q \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \omega_t \\ \omega_p \\ 1 \end{bmatrix}$$

Trường hợp tổng quát, với thời gian thực t, ta có:

$$\begin{bmatrix} \dot{X}(t) \\ \dot{Y}(t) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \dot{x}(t) \cdot \cos(\theta(t)) + P(t) \\ \dot{x}(t) \cdot \sin(\theta(t)) + Q(t) \end{bmatrix}$$

Suy ra:

$$X(t) = \int_0^t (\dot{x}(\sigma) \cdot \cos(\theta(\sigma)) + P(\sigma)) d(\sigma)$$

$$Y(t) = \int_0^t (\dot{y}(\sigma) \cdot \sin(\theta(\sigma)) + Q(\sigma)) d(\sigma)$$

Theo quỹ đạo chuyển động kiểm tra mòn của robot thì sẽ có hai trường hợp:

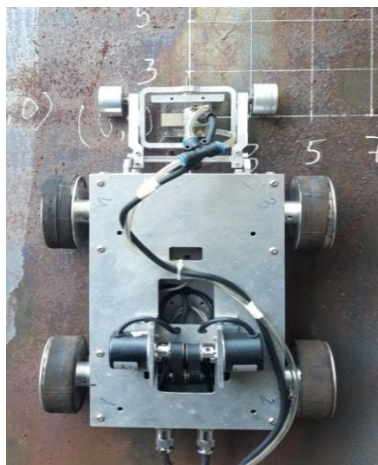
- Với trường hợp hai bánh robot có cùng vận tốc và cùng chiều quay thì:
  - + Robot chuyển động thẳng
  - +  $V_t = V_p = V_G$
  - +  $\dot{\theta} = 0$
- Với trường hợp hai bánh robot có cùng vận tốc và ngược chiều quay thì:
  - + Robot chuyển động xoay tại chỗ
  - +  $V_t = -V_p$
  - +  $V_G = 0$
  - +  $\dot{\theta} = \frac{2}{W} V_p$

## 2. Chế tạo và thử nghiệm

Dựa trên cơ sở phương án đã chọn và các tính toán thiết kế, robot đã được chế tạo và đưa vào thử nghiệm khả năng hoạt động [38].

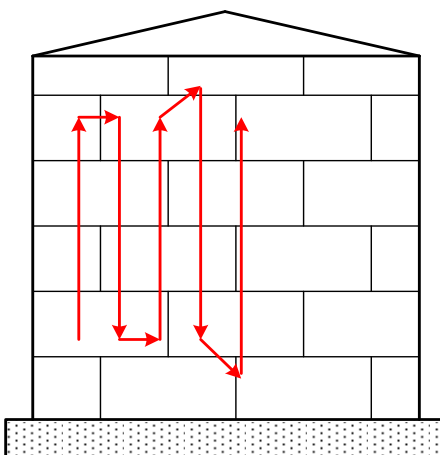
- Robot bám dính lên thành bồn nhờ nam châm vĩnh cửu;
- Robot có thể mang tải (kể cả khối lượng của robot) là 20 kg;
- Vận tốc di chuyển của robot có thể điều chỉnh được là  $V = (25 - 100)$  mm/s;
- Robot có thể di chuyển vòng quanh bồn (theo chu vi bồn), theo phương thẳng đứng, khả năng rẽ trái, rẽ phải và khả năng quay đầu.

Robot mang đầu dò siêu âm cho phép kiểm tra độ mòn của bồn chứa xăng dầu được trình bày ở hình 4.16.



**Hình 14:** Robot mang đầu dò siêu âm PA

Một quỹ đạo chuyển động cho robot đã được đề xuất (hình 4.17) để giúp đánh giá khả năng di chuyển theo phương thẳng đứng, theo phương ngang, xoay trái/phải.

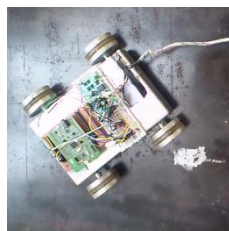


**Hình 15:** Quỹ đạo chuyển động thử nghiệm của robot

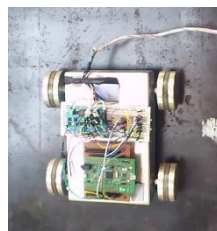
Thử nghiệm hoạt động của robot theo quỹ đạo đề xuất ở hình 4.17 được trình bày ở hình 4.16.



*a) Di chuyển ngang (T)*



*b) Quay đầu*



*c) Di chuyển xuống*



*d) Quay ngang*





e) Di chuyển ngang (P)    f) Quay đầu lên    f) Quay đầu lên    g) Di chuyển lên

**Hình 16:** Thử nghiệm các khả năng di chuyển của robot [38]

Nhận xét:

- Robot bám dính tốt lên thành bồn chứa bằng nam châm vĩnh cửu, khả năng mang tải vượt quá tải trọng thiết kế (kể cả khối lượng của robot) là 20 kg.
- Robot di chuyển linh hoạt và thực hiện được các chuyển động: tiến, lùi, rẽ trái, rẽ phải, xoay đầu với các vận tốc khác nhau.
- Robot di chuyển trên bề mặt bồn chứa theo phương thẳng đứng không bị lệch, tốc độ ổn định.
- Robot dễ dàng vượt qua gờ đường hàn hoặc các chỗ lồi, lõm.
- Robot thực hiện thành công việc di chuyển theo sơ đồ chuyển động đã đề xuất.

### 3. Kiểm nghiệm độ tin cậy robot

#### 3.1 Robot di chuyển theo phương thẳng đứng

##### 3.1.1 Mục đích

- Đánh giá độ chính xác di chuyển (quỹ đạo di chuyển thẳng) theo phương đứng của robot.
- Xác định được độ lệch giữa điểm đầu và điểm cuối sau khi di chuyển của robot.

##### 3.1.2 Tiến trình thí nghiệm

Để kiểm nghiệm độ tin cậy (độ chính xác) khi robot di chuyển theo phương đứng, các thực nghiệm đã được tiến hành như sau:

- Cho robot di chuyển theo phương thẳng đứng từ dưới lên trên với quãng đường di chuyển  $s = 1000 \text{ mm}$  (di chuyển từ điểm A đến điểm B).
- Tốc độ di chuyển trung bình được thiết lập cho robot là  $v_{tb} = 35 \text{ (mm/s)}$ , với thời gian dự kiến là  $t_s = s/v_{tb} = 1000 / 35 = 28.571 \text{ (s)}$

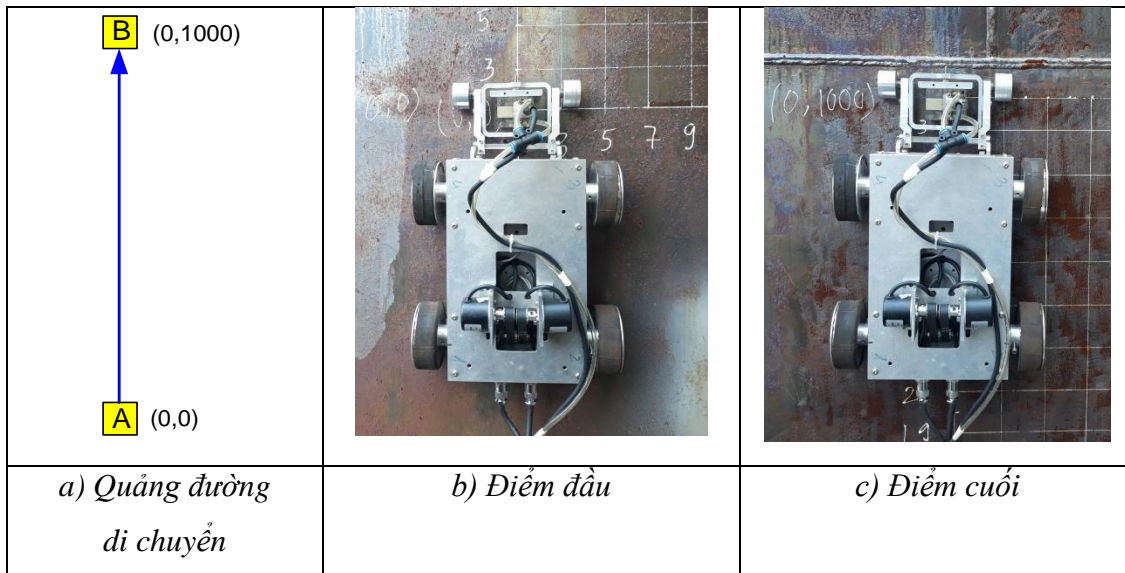
- Thực nghiệm được tiến hành 3 lần với số lần lặp là 3.

### 3.1.3 Thiết bị thí nghiệm

Các thiết bị sử dụng để tiến hành thí nghiệm bao gồm:

- Robot;
- Mô hình bồn chứa;
- Thiết bị siêu âm tổ hợp pha Olympus MX2.

Sơ đồ quãng đường di chuyển trên mô hình được trình bày ở hình 4.19a.



**Hình 17:** Sơ đồ quãng đường di chuyển của robot theo phương đứng

### 3.1.4 Kết quả thí nghiệm

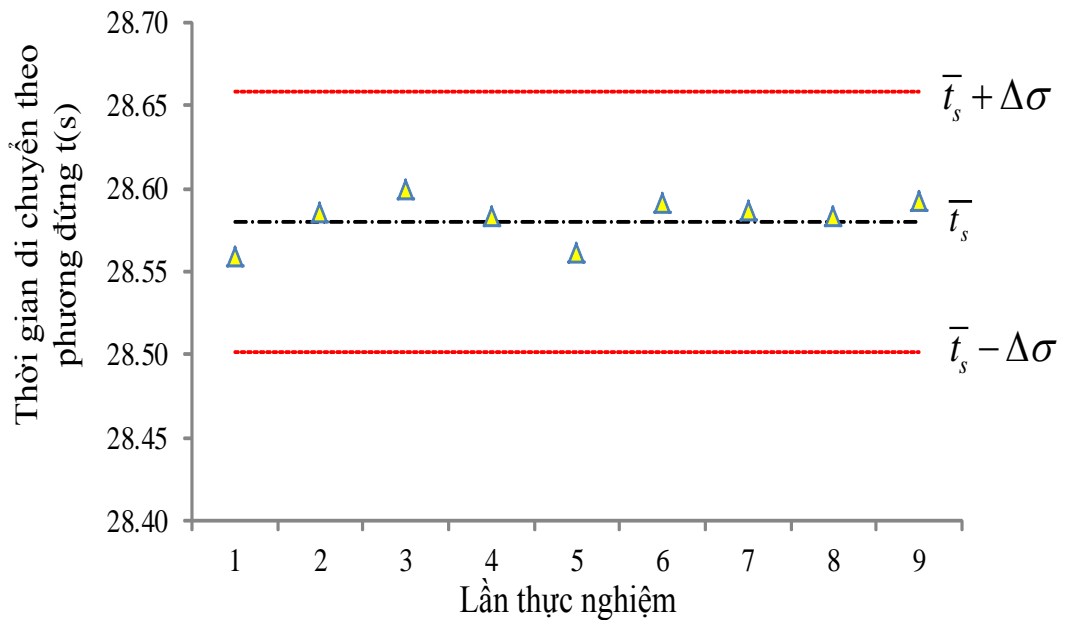
Dữ liệu thực nghiệm khi Robot di chuyển theo phương đứng được trình bày ở bảng 2.

**Bảng 2:** Dữ liệu hoạt động của robot khi di chuyển theo phương đứng

Thí nghiệm		Tọa độ A (x,y)	Tọa độ B (x,y)	Vận tốc trung bình $v_{tb}$ (mm/s)	Thời gian di chuyển $t_s$ (s)
STT	Lặp				
1	1	(0,0)	(0.20, 999.57)	35	28.56
	2	(0,0)	(0.50, 1000.50)	35	28.59
	3	(0,0)	(0.65, 1000.95)	35	28.60
2	1	(0,0)	(0.25, 1000.42)	35	28.58
	2	(0,0)	(0.45, 999.65)	35	28.56

	3	(0,0)	(0.15,1000.68)	35	28.59
3	1	(0,0)	(0.60,1000.55)	35	28.59
	2	(0,0)	(0.44,1000.45)	35	28.58
	3	(0,0)	(0.50,1000.75)	35	28.59
<b>Trung bình</b>		<b>(0,0)</b>	<b>(0.42,1000.39)</b>	<b><u>35</u></b>	<b><u>28.58</u></b>

Với kết quả ở bảng 2 ta vẽ đồ thị so sánh độ sai lệch chuẩn của thời gian di chuyển của robot qua 3 lần lặp với 95% khoảng tin cậy  $\Delta\sigma$  được xác định bằng 1,96 lần sai lệch chuẩn  $\sigma$ .



**Hình 18:** Thời gian quét theo phương đứng qua 9 lần thí nghiệm

Dựa vào bảng dữ liệu bảng 2 và hình 18 ta có thể đi đến một số nhận xét sau:

- Trên hình 18 cho thấy thời gian di chuyển theo phương thẳng đứng qua 9 lần thực nghiệm đều nằm trong giới hạn 95% khoảng tin cậy cho phép của thời gian di chuyển theo phương đứng là  $\bar{t}_s \pm 1.96\sigma$ , cụ thể là  $t_s$  nằm trong khoảng [28.50, 28.66].

- Sai lệch theo phương đứng, hay nói cách khác là chiều dài quãng đường trung bình là 1000.39 mm, trong đó quãng đường ngắn nhất là 999.57 mm có sai lệch so với

quãng đường chuẩn là 0.43 mm. Sai lệch theo phương thẳng đứng này khá nhỏ không ảnh hưởng đến việc nhận dạng biên ảnh nên có thể bỏ qua.

- Sai lệch theo phương ngang với tọa độ X có sai lệch với tọa độ chuẩn là 0.42 mm, sai lệch này so với biên ảnh được sử dụng cho việc nhận dạng (5 mm) là nhỏ, không gây ảnh hưởng đến việc nhận dạng thứ tự ảnh.

- Sai lệch về thời gian di chuyển trung bình qua 3 lần lặp so với thời gian tính toán lý thuyết là 0.04%.

Như vậy, qua thực nghiệm kiểm nghiệm độ tin cậy khi robot di chuyển theo phương thẳng đứng trên mô hình thí nghiệm cho thấy độ lệch vị trí, thời gian di chuyển là rất nhỏ, không gây ảnh hưởng đến kết quả thu thập ảnh và nhận dạng biên ảnh.

### 3.2 Robot di chuyển theo phương ngang

#### 3.2.1 Mục đích

- Đánh giá độ chính xác di chuyển (quỹ đạo di chuyển thẳng) theo phương ngang của robot.

- Xác định được độ lệch giữa điểm đầu và điểm cuối sau khi di chuyển của robot.

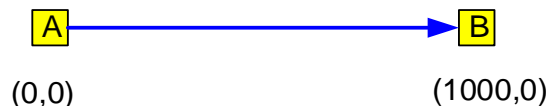
#### 3.2.2 Tiến trình thí nghiệm

Để kiểm nghiệm độ tin cậy (độ chính xác) khi robot di chuyển theo phương ngang, các thực nghiệm đã được tiến hành như sau:

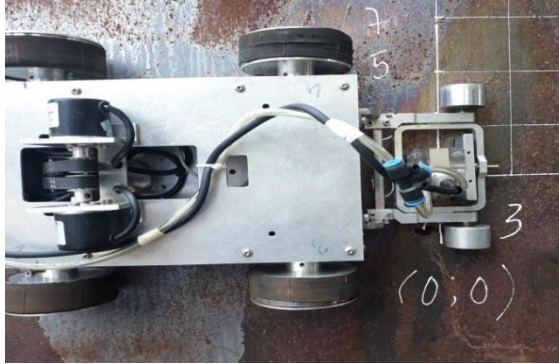
- Cho robot di chuyển theo phương ngang từ dưới lên trên với quãng đường di chuyển  $s = 1000$  mm (di chuyển từ điểm A đến điểm B, hình 19).

- Tốc độ di chuyển trung bình được thiết lập cho robot là  $v_{tb} = 35$  (mm/s), với thời gian dự kiến là  $t_s = s/v_{tb} = 1000 / 35 = 28.571$  (s).

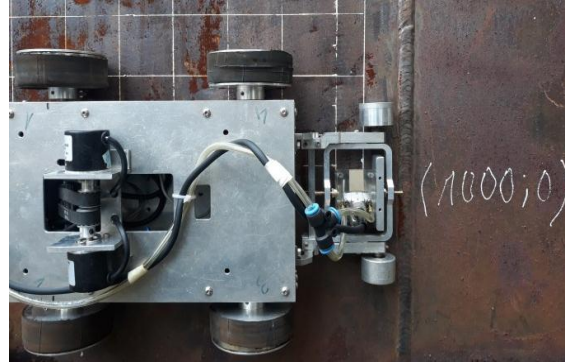
- Thực nghiệm được tiến hành 3 lần với số lần lặp là 3.



a) Quãng đường di chuyển



b) Điểm đầu



c) Điểm cuối

**Hình 19:** Sơ đồ quãng đường di chuyển của robot theo phương ngang

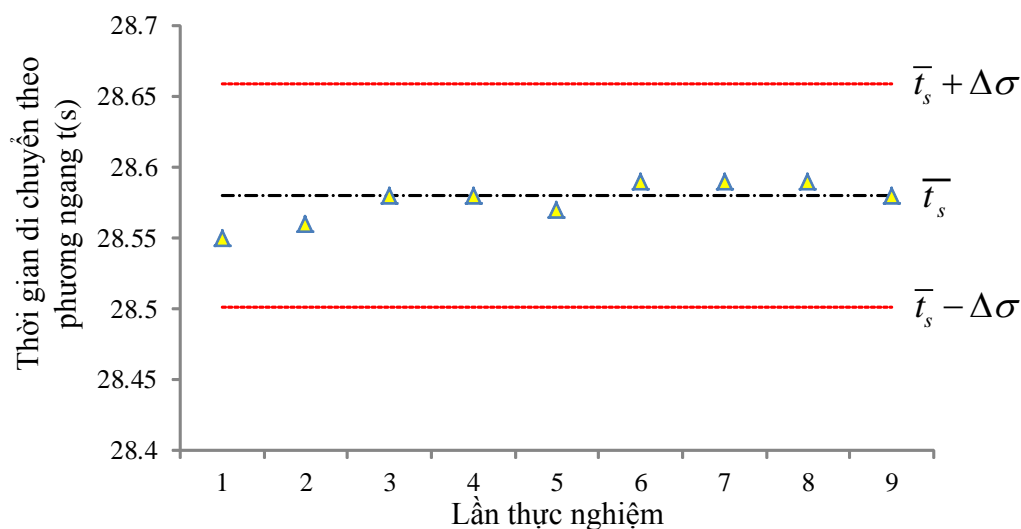
### 3.2.3 Kết quả thí nghiệm

Dữ liệu thực nghiệm khi Robot di chuyển theo phương đứng được trình bày ở bảng 3.

**Bảng 3:** Dữ liệu hoạt động của robot khi di chuyển theo phương ngang

Thí nghiệm		Tọa độ A (x,y)	Tọa độ B (x,y)	Vận tốc trung bình $v_{tb}$ (mm/s)	Thời gian di chuyển $t_s$ (s)
STT	Lặp				
1	1	(0,0)	(999.55, -0.3)	35	28.550
	2	(0,0)	(999.54, -0.5)	35	28.558
	3	(0,0)	(1000.92, -0.65)	35	28.584
2	1	(0,0)	(1000.44, -0.75)	35	28.584
	2	(0,0)	(999.77, -0.45)	35	28.565
	3	(0,0)	(999.68, -0.55)	35	28.591
3	1	(0,0)	(1000.65, -0.66)	35	28.590
	2	(0,0)	(1000.75, -0.44)	35	28.593
	3	(0,0)	(1000.25, -0.45)	35	28.579
<b>Trung bình</b>		<b>(0,0)</b>	<b>(1000.17, 0.53)</b>	<b><u>35</u></b>	<b><u>28.577</u></b>

Với kết quả ở bảng 3 ta vẽ đồ thị so sánh độ sai lệch chuẩn của thời gian di chuyển của robot qua 3 lần lặp với 95% khoảng tin cậy  $\Delta\sigma$  được xác định bằng 1,96 lần sai lệch chuẩn  $\sigma$ .



**Hình 20:** Thời gian quét theo phương ngang qua 9 lần thí nghiệm

Dựa vào bảng dữ liệu bảng 3 và hình 20 ta có thể đi đến một số nhận xét sau:

- Trên hình 20 cho thấy thời gian di chuyển theo phương ngang qua 9 lần thực nghiệm đều nằm trong giới hạn 95% khoảng tin cậy cho phép của thời gian di chuyển theo phương ngang là  $\bar{t}_s \pm 1.96\sigma$ , cụ thể là  $t_s$  nằm trong khoảng [28.50, 28.66].

- Sai lệch theo phương ngang, hay nói cách khác là chiều dài quãng đường trung bình là 1000.17 mm, trong đó quãng đường ngắn nhất là 999.54 mm có sai lệch so với quãng đường chuẩn là 0.46 mm. Sai lệch này so với chiều rộng biên ảnh được sử dụng để nhận dạng ảnh là 5 mm là nhỏ, không ảnh hưởng đến việc nhận dạng ảnh nên có thể bỏ qua.

- Sai lệch theo phương đứng với tọa độ X có sai lệch với tọa độ chuẩn là 0.17 mm, sai lệch nhỏ này không ảnh hưởng đến ảnh thu thập vì biên ảnh này không sử dụng cho việc nhận dạng ảnh.

- Sai lệch về thời gian di chuyển trung bình qua 3 lần lặp so với thời gian tính toán lý thuyết là 0.04%.

Như vậy, qua thực nghiệm kiểm nghiệm độ tin cậy khi robot di chuyển theo phương thẳng ngang trên mô hình thí nghiệm cho thấy độ lệch vị trí, thời gian di chuyển là rất thấp.

### 3.3 Robot di chuyển theo phương xiên

#### 3.3.1 Mục đích

Đánh giá độ chính xác di chuyển (quỹ đạo di chuyển thẳng) theo phương xiên của robot. Xác định được độ lệch giữa điểm đầu và điểm cuối sau khi di chuyển của robot.

#### 3.3.2 Tiến trình thí nghiệm

Để kiểm nghiệm độ tin cậy (độ chính xác) khi robot di chuyển theo phương xiên, các thực nghiệm đã được tiến hành như sau:

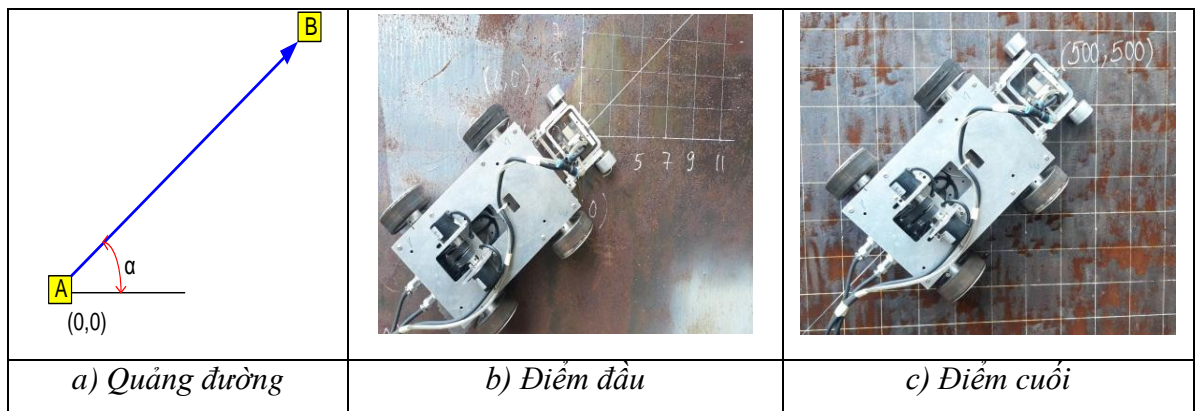
– Cho robot di chuyển theo phương xiên từ trái qua phải với quãng đường di chuyển  $s = 502.49$  mm (di chuyển từ điểm A đến điểm B).

– Tốc độ di chuyển trung bình được thiết lập cho robot là  $v_{tb} = 35$  mm/s, với thời gian dự kiến là  $t_s = s/v_{tb} = 707.11/35 = 20.203$  (s)

– Tại vị trí A, robot quay một góc  $\alpha = 45^\circ$  với vận tốc  $v_x = 25$  (mm/s),  $R = 180$  mm, với thời gian dự kiến là:

$$t_{x_i} = \frac{2\pi \cdot R \cdot \alpha_i}{v_{x_i} \cdot 360} = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 180 \cdot 45}{25 \cdot 360} = 5.652 \text{ (s)}$$

– Thực nghiệm được tiến hành 3 lần với số lần lặp là 3.



**Hình 4.21:** Sơ đồ quỹ đạo di chuyển của robot theo phương xiên 1 góc  $\alpha$

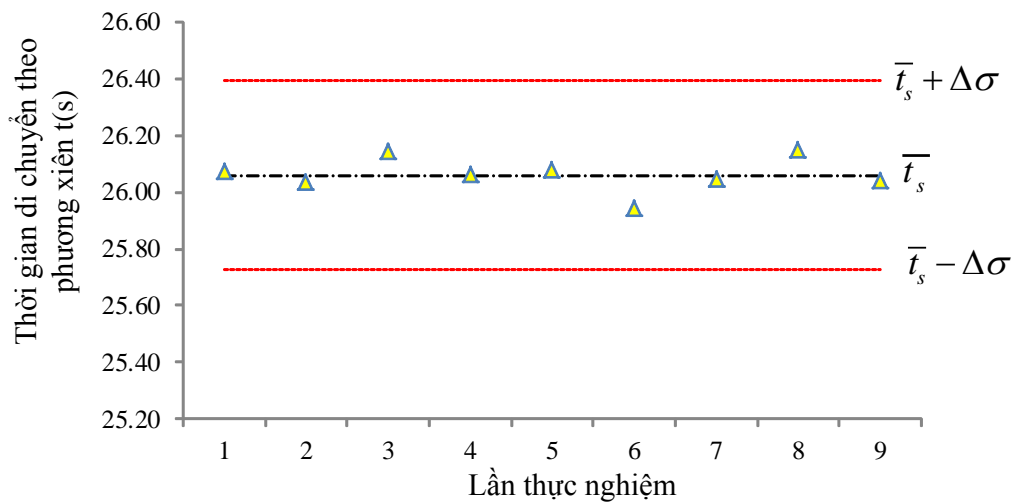
#### 3.3.3 Kết quả thí nghiệm

Dữ liệu thực nghiệm khi robot di chuyển theo phương xiên được trình bày ở bảng 4.

**Bảng 4:** Dữ liệu hoạt động của robot khi di chuyển theo phương xiên

Thí nghiệm		Tọa độ A (x,y)	Tọa độ B (x,y)	Vận tốc trung bình $v_{tb}$ (mm/s)	Thời gian di chuyển $t_s$ (s)	Thời gian di chuyển $t_x$ (s)
STT	Lặp					
1	1	(0,0)	(500.3,500.55)	35	20.220	5.855
	2	(0,0)	(500.5,500.54)	35	20.224	5.81
	3	(0,0)	(500.65,500.92)	35	20.235	5.911
2	1	(0,0)	(500.75,500.44)	35	20.227	5.835
	2	(0,0)	(500.45,500.77)	35	20.228	5.852
	3	(0,0)	(500.55, 500.68)	35	20.228	5.715
3	1	(0,0)	(500.66, 500.65)	35	20.230	5.819
	2	(0,0)	(500.44, 500.75)	35	20.227	5.921
	3	(0,0)	(500.45, 500.25)	35	20.217	5.825
<b>Trung bình</b>		<b>(0,0)</b>	<b>(500.528, 500.617)</b>	<b>35</b>	<b>20.226</b>	<b>5.838</b>

Với kết quả ở bảng 4 ta vẽ đồ thị so sánh độ sai lệch chuẩn của thời gian di chuyển của robot qua 3 lần lặp với 95% khoảng tin cậy  $\Delta\sigma$  được xác định bằng 1,96 lần sai lệch chuẩn  $\sigma$ .



**Hình 22:** Thời gian quét theo phương xiên qua 9 lần thí nghiệm

Dựa vào bảng 4 và hình 22 ta có thể đi đến một số nhận xét sau:



- Trên hình 22 cho thấy thời gian di chuyển theo phương xiên qua 9 lần thực nghiệm đều nằm trong giới hạn 95% khoảng tin cậy cho phép của thời gian di chuyển theo phương ngang là  $\bar{t}_s \pm 1.96\sigma$ , cụ thể là  $t_s$  nằm trong khoảng [25.73, 26.39].

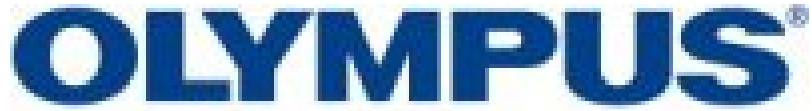
- Sai lệch theo phương ngang với tọa độ X so với tọa độ chuẩn là 0.528 mm, sai lệch theo phương đứng với tọa độ Y so với tọa độ chuẩn là 0.617 mm. Sai lệch này là nhỏ và chuyển động theo phương xiên này được thực hiện khi không thu thập ảnh mòn.

- Sai lệch về thời gian di chuyển trung bình qua 3 lần lặp so với thời gian tính toán lý thuyết là 0.11%

- Sai lệch về thời gian xoay tại các điểm nút có góc xoay là  $\alpha = 45^0$  qua 3 lần lặp so với thời gian tính toán lý thuyết là 3.29%. Thời gian này có ảnh hưởng đến tổng thời gian hoạt động khi thực hiện kiểm tra đánh giá độ mòn nhưng không ảnh hưởng đến chất lượng ảnh mòn thu thập. Do vậy, ta có thể xem sai lệch thời gian này là sai số hệ thống về mặt thời gian chỉ gây ảnh hưởng nhỏ đến tổng thời gian hoạt động của robot.

## **PHỤ LỤC 2:**

**Báo cáo kết quả thực nghiệm siêu âm tổ hợp pha (PAUT)**



## OmniScan Report

Report Date	Report Version	File Name	Inspection Date	Inspection Version	Save Mode
2020 / 06 / 29	OmniPC - 4.4R5	tuan_1line_00_22- 04.opd	2020 / 04 / 24	MXU - 4.4R3	Report
OmniScan Type	OmniScan Serial #	Module Type	Module Serial #	Data File Name	
OmniScan MX2	OMNI2-103988	OMNI-M2-PA1664	QC-009585	tuan_1line_00_22- ##	

## PA 1

## Setup

A:0.00 Sk:090 L:001					
<b>Beam Delay</b>	<b>Start (Half Path)</b>	<b>Range (Half Path)</b>	<b>Max. Acq Rate</b>	<b>Type</b>	<b>Averaging Factor</b>
0.0 $\mu$ s	-3.00 mm	19.43 mm	193	PA	1
<b>Scale Type</b>	<b>Scale Factor</b>	<b>Video Filter</b>	<b>Pretrig.</b>	<b>Rectification</b>	<b>Filter</b>
Compression	3	On	0.00 $\mu$ s	FW	Band-pass 5.3 MHz (2.5 - 8.0MHz)
<b>Voltage</b>	<b>Gain</b>	<b>Mode</b>	<b>Wave Type</b>	<b>Sound Velocity</b>	<b>Pulse Width</b>
40 (Low)	19.96 dB	PE (Pulse-Echo)	Longitudinal	5890.0 m/s	100.00 ns
<b>Scan Offset</b>	<b>Index Offset</b>	<b>Probe Skew</b>	<b>C-Scan Time Resolution</b>	<b>Digitizing Frequency</b>	<b>A-Scan Time Resolution</b>
0.00 mm	0.00 mm	90.0°	2.5 ns	100 MHz	30.0 ns
<hr/>					
<b>Gate</b>	<b>Start</b>	<b>Width</b>	<b>Threshold</b>	<b>Synchro.</b>	<b>Peak Selection</b>
I	44.62 mm	15.02 mm	20.00 %	I-edge	First Peak
A	7.01 mm	12.49 mm	10.00 %	I-edge	First Peak
B	0.00 mm	20.00 mm	30.00 %	I-edge	Max Peak
<hr/>					
<b>TCG Point Number</b>	<b>Position (Half Path)</b>	<b>Gain</b>			
1	6.00 mm	0.0 dB			
2	14.03 mm	12.0 dB			
3	14.06 mm	13.0 dB			

## Calculator

<b>Element Qty. Used</b>	<b>First Element</b>	<b>Last Element</b>	<b>Resolution</b>	<b>Wave Type</b>	<b>Material Velocity</b>
6	1	64	1.0	Longitudinal	5890.0 m/s
<b>Start Angle</b>	<b>Stop Angle</b>	<b>Angle Resolution</b>	<b>Focus Depth</b>	<b>Law Configuration</b>	<b>Beam Skew</b>
0.00°	N/A	N/A	12.00 mm	Linear at 0°	0.00°

## Part

Material	Geometry	Thickness
STEEL, MILD	Plate	12.00 mm

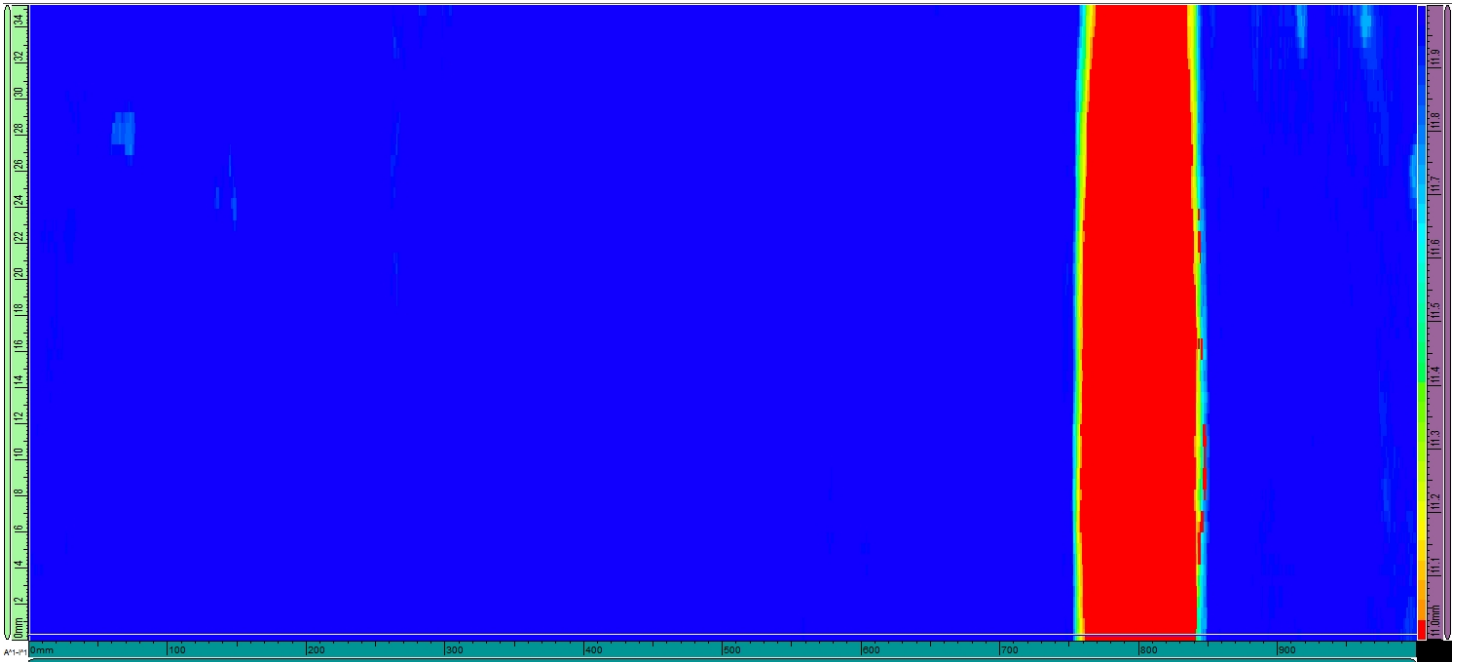
## Scan Area

Scan Start	Scan Length	Scan Resolution
0.00 mm	1000.00 mm	1.00 mm
Synchro.	Max. scan speed	
Encoder	193.07 mm/s	

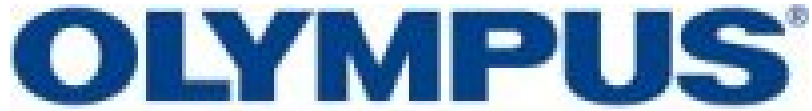
  

Axis	Encoder	Encoder Type	Encoder Resolution	Polarity
Scan	1	Quadrature	12.00 step/mm	Normal

<b>A%I</b>	<b>T(A<sup>-1</sup>-I<sup>-1</sup>)</b>	<b>ML</b>	<b>A<sup>-1</sup> (-I<sup>-1</sup>)</b>	<b>TminZ</b>	<b>S(TminZ)</b>	<b>I(TminZ)</b>	<b>Angle (TminZ)</b>
158.5 %	11.99 mm	0.1 %	11.99 mm	--- mm	--- mm	--- mm	--- VPA



<b>Technician Name</b>	_____
<b>Technician Signature</b>	_____
<b>Contractor</b>	_____
<b>Date</b>	_____



## OmniScan Report

Report Date	Report Version	File Name	Inspection Date	Inspection Version	Save Mode
2020 / 06 / 29	OmniPC - 4.4R5	tuan_1line_00_22- 03.opd	2020 / 04 / 24	MXU - 4.4R3	Report
OmniScan Type	OmniScan Serial #	Module Type	Module Serial #	Data File Name	
OmniScan MX2	OMNI2-103988	OMNI-M2-PA1664	QC-009585	tuan_1line_00_22- ##	

## PA 1

## Setup

A:0.00 Sk:090 L:001					
<b>Beam Delay</b>	<b>Start (Half Path)</b>	<b>Range (Half Path)</b>	<b>Max. Acq Rate</b>	<b>Type</b>	<b>Averaging Factor</b>
0.0 $\mu$ s	-3.00 mm	19.43 mm	193	PA	1
<b>Scale Type</b>	<b>Scale Factor</b>	<b>Video Filter</b>	<b>Pretrig.</b>	<b>Rectification</b>	<b>Filter</b>
Compression	3	On	0.00 $\mu$ s	FW	Band-pass 5.3 MHz (2.5 - 8.0MHz)
<b>Voltage</b>	<b>Gain</b>	<b>Mode</b>	<b>Wave Type</b>	<b>Sound Velocity</b>	<b>Pulse Width</b>
40 (Low)	19.96 dB	PE (Pulse-Echo)	Longitudinal	5890.0 m/s	100.00 ns
<b>Scan Offset</b>	<b>Index Offset</b>	<b>Probe Skew</b>	<b>C-Scan Time Resolution</b>	<b>Digitizing Frequency</b>	<b>A-Scan Time Resolution</b>
0.00 mm	0.00 mm	90.0°	2.5 ns	100 MHz	30.0 ns
<hr/>					
<b>Gate</b>	<b>Start</b>	<b>Width</b>	<b>Threshold</b>	<b>Synchro.</b>	<b>Peak Selection</b>
I	44.62 mm	15.02 mm	20.00 %	I-edge	First Peak
A	7.01 mm	12.49 mm	10.00 %	I-edge	First Peak
B	0.00 mm	20.00 mm	30.00 %	I-edge	Max Peak
<hr/>					
<b>TCG Point Number</b>	<b>Position (Half Path)</b>	<b>Gain</b>			
1	6.00 mm	0.0 dB			
2	14.03 mm	12.0 dB			
3	14.06 mm	13.0 dB			

## Calculator

<b>Element Qty. Used</b>	<b>First Element</b>	<b>Last Element</b>	<b>Resolution</b>	<b>Wave Type</b>	<b>Material Velocity</b>
6	1	64	1.0	Longitudinal	5890.0 m/s
<b>Start Angle</b>	<b>Stop Angle</b>	<b>Angle Resolution</b>	<b>Focus Depth</b>	<b>Law Configuration</b>	<b>Beam Skew</b>
0.00°	N/A	N/A	12.00 mm	Linear at 0°	0.00°



## Part

<b>Material</b>	<b>Geometry</b>	<b>Thickness</b>
STEEL, MILD	Plate	12.00 mm

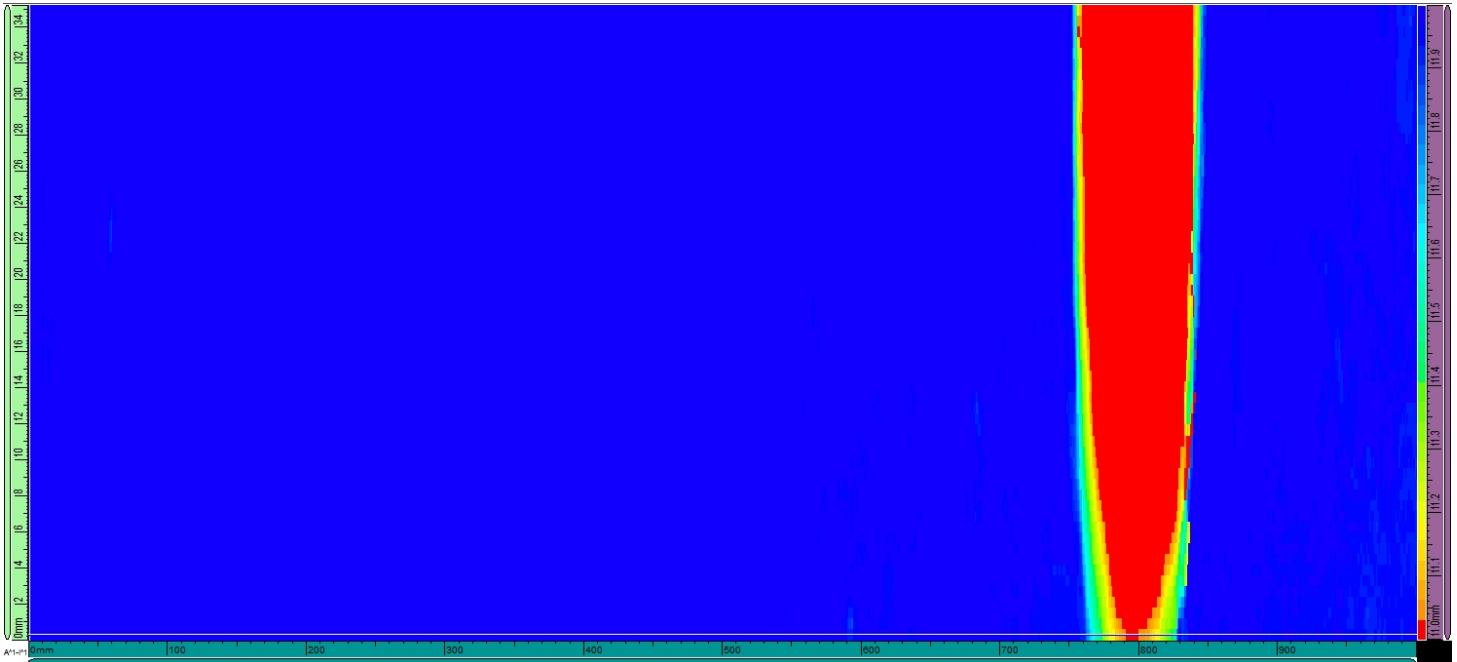
## Scan Area

<b>Scan Start</b>	<b>Scan Length</b>	<b>Scan Resolution</b>
0.00 mm	1000.00 mm	1.00 mm
<b>Synchro.</b>	<b>Max. scan speed</b>	
Encoder	193.07 mm/s	

<b>Axis</b>	<b>Encoder</b>	<b>Encoder Type</b>	<b>Encoder Resolution</b>	<b>Polarity</b>
Scan	1	Quadrature	12.00 step/mm	Normal

<b>A%I</b>	<b>T(A<sup>-1</sup>I<sup>1</sup>)</b>	<b>ML</b>	<b>A<sup>1</sup>(-I<sup>1</sup>)</b>	<b>TminZ</b>	<b>S(TminZ)</b>	<b>I(TminZ)</b>	<b>Angle (TminZ)</b>
204.5 %	12.02 mm	-0.1 %	12.02 mm	--- mm	--- mm	--- mm	--- VPA



<b>Technician Name</b>	_____
<b>Technician Signature</b>	_____
<b>Contractor</b>	_____
<b>Date</b>	_____



## OmniScan Report

Report Date	Report Version	File Name	Inspection Date	Inspection Version	Save Mode
2020 / 06 / 29	OmniPC - 4.4R5	tuan_1line_00_22- 02.opd	2020 / 04 / 24	MXU - 4.4R3	Report
OmniScan Type	OmniScan Serial #	Module Type	Module Serial #	Data File Name	
OmniScan MX2	OMNI2-103988	OMNI-M2-PA1664	QC-009585	tuan_1line_00_22- ##	

## PA 1

## Setup

A:0.00 Sk:090 L:001					
<b>Beam Delay</b>	<b>Start (Half Path)</b>	<b>Range (Half Path)</b>	<b>Max. Acq Rate</b>	<b>Type</b>	<b>Averaging Factor</b>
0.0 $\mu$ s	-3.00 mm	19.43 mm	193	PA	1
<b>Scale Type</b>	<b>Scale Factor</b>	<b>Video Filter</b>	<b>Pretrig.</b>	<b>Rectification</b>	<b>Filter</b>
Compression	3	On	0.00 $\mu$ s	FW	Band-pass 5.3 MHz (2.5 - 8.0MHz)
<b>Voltage</b>	<b>Gain</b>	<b>Mode</b>	<b>Wave Type</b>	<b>Sound Velocity</b>	<b>Pulse Width</b>
40 (Low)	19.96 dB	PE (Pulse-Echo)	Longitudinal	5890.0 m/s	100.00 ns
<b>Scan Offset</b>	<b>Index Offset</b>	<b>Probe Skew</b>	<b>C-Scan Time Resolution</b>	<b>Digitizing Frequency</b>	<b>A-Scan Time Resolution</b>
0.00 mm	0.00 mm	90.0°	2.5 ns	100 MHz	30.0 ns
<b>Gate</b>	<b>Start</b>	<b>Width</b>	<b>Threshold</b>	<b>Synchro.</b>	<b>Peak Selection</b>
I	44.62 mm	15.02 mm	20.00 %	I-edge	First Peak
A	7.01 mm	12.49 mm	10.00 %	I-edge	First Peak
B	0.00 mm	20.00 mm	30.00 %	I-edge	Max Peak
<b>TCG Point Number</b>	<b>Position (Half Path)</b>	<b>Gain</b>			
1	6.00 mm	0.0 dB			
2	14.03 mm	12.0 dB			
3	14.06 mm	13.0 dB			

## Calculator

<b>Element Qty. Used</b>	<b>First Element</b>	<b>Last Element</b>	<b>Resolution</b>	<b>Wave Type</b>	<b>Material Velocity</b>
6	1	64	1.0	Longitudinal	5890.0 m/s
<b>Start Angle</b>	<b>Stop Angle</b>	<b>Angle Resolution</b>	<b>Focus Depth</b>	<b>Law Configuration</b>	<b>Beam Skew</b>
0.00°	N/A	N/A	12.00 mm	Linear at 0°	0.00°

## Part

Material	Geometry	Thickness
STEEL, MILD	Plate	12.00 mm

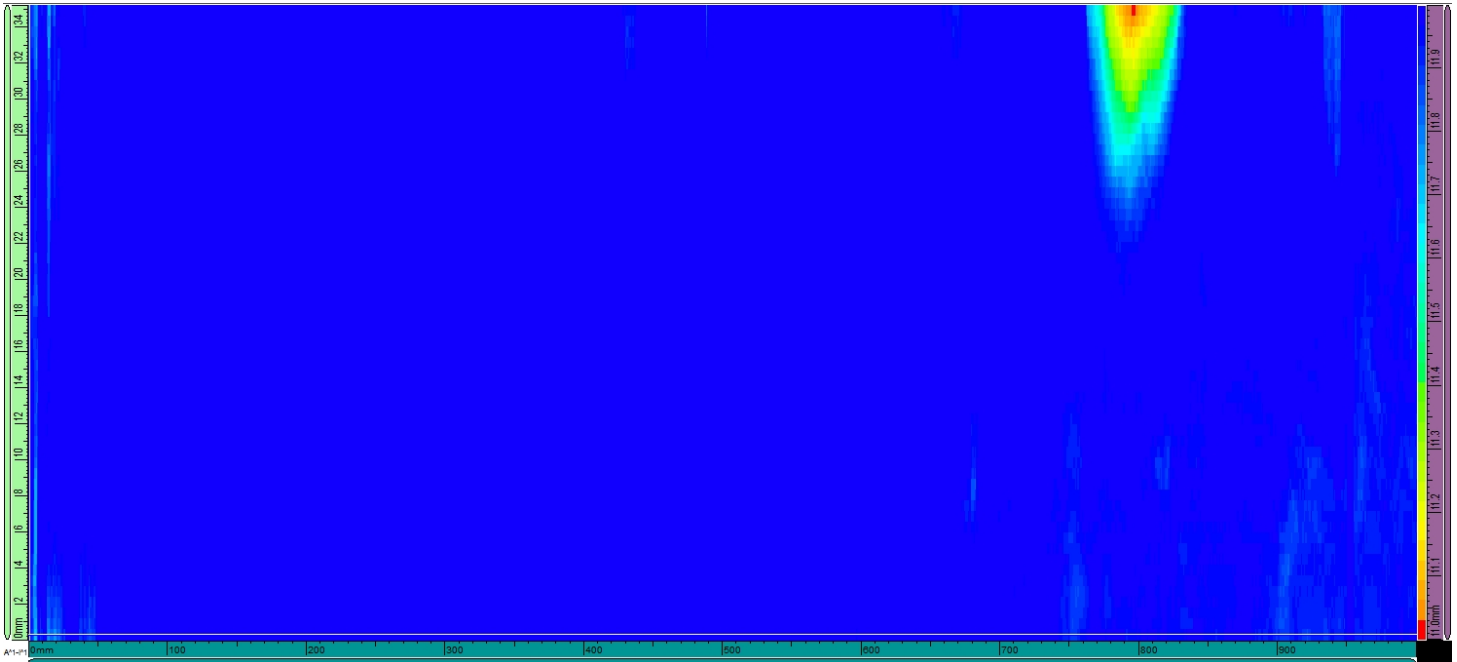
## Scan Area

Scan Start	Scan Length	Scan Resolution
0.00 mm	1000.00 mm	1.00 mm
Synchro.	Max. scan speed	
Encoder	193.07 mm/s	

Axis	Encoder	Encoder Type	Encoder Resolution	Polarity
Scan	1	Quadrature	12.00 step/mm	Normal

<b>A%I</b>	<b>T(A<sup>-1</sup>I<sup>1</sup>)</b>	<b>ML</b>	<b>A<sup>1</sup>(-I<sup>1</sup>)</b>	<b>TminZ</b>	<b>S(TminZ)</b>	<b>I(TminZ)</b>	<b>Angle (TminZ)</b>
237.8 %	12.10 mm	-0.9 %	12.10 mm	--- mm	--- mm	--- mm	--- VPA



<b>Technician Name</b>	_____
<b>Technician Signature</b>	_____
<b>Contractor</b>	_____
<b>Date</b>	_____

### PHỤ LỤC 3: Code Matlab thuật toán PSO

```
tic
clc
clear all
close all
rng default
LB=[250 1000 250 -50 50 -50]; %lower bounds of
variables
UB=[300 1250 250 -50 -50 -50]; %upper bounds of variables
% pso parameters values
m=6; % number of variables
n=250; % population size
wmax=0.9; % inertia weight
wmin=0.1; % inertia weight
c1=2; % acceleration factor
c2=2; % acceleration factor
% pso main program-----
start
maxite=10000; % set maximum number of iteration
maxrun=100; % set maximum number of runs need to be
for run=1:maxrun
run
% pso initialization-----start
for i=1:n
for j=1:m
x0(i,j)=round(LB(j)+rand()*(UB(j)-LB(j)));
end
end
x=x0; % initial population
v=0.1*x0; % initial velocity
for i=1:n
f0(i,1)=ofun(x0(i,:));
end
[fmin0,index0]=min(f0);
pbest=x0; % initial pbest
gbest=x0(index0,:); % initial gbest
% pso initialization-----end
% pso algorithm-----start
ite=1;
tolerance=1;
while ite<=maxite && tolerance>10^-12
w=wmax-(wmax-wmin)*ite/maxite; % update inertial weight
% pso velocity updates
for i=1:n
for j=1:m
v(i,j)=w*v(i,j)+c1*rand()*(pbest(i,j)-x(i,j))...
+c2*rand()*(gbest(1,j)-x(i,j));
end
end
% pso position update
for i=1:n
```

```

for j=1:m
x(i,j)=x(i,j)+v(i,j);
end
end
% handling boundary violations
for i=1:n
for j=1:m
if x(i,j)<LB(j)
x(i,j)=LB(j);
elseif x(i,j)>UB(j)
x(i,j)=UB(j);
end
end
end
% evaluating fitness
for i=1:n
f(i,1)=ofun(x(i,:));
end
% updating pbest and fitness
for i=1:n
if f(i,1)<f0(i,1)
pbest(i,:)=x(i,:);
f0(i,1)=f(i,1);
end
end
[fmin,index]=min(f0); % finding out the best particle
ffmin(ite,run)=fmin; % storing best fitness
ffite(run)=ite; % storing iteration count
% updating gbest and best fitness
if fmin<fmin0
gbest=pbest(index,:);
fmin0=fmin;
end
% calculating tolerance
if ite>1000;
tolerance=abs(ffmin(ite-1000,run)-fmin0);
end
% displaying iterative results
if ite==1
disp(sprintf('Iteration Best particle Objective fun'));
end
disp(sprintf('%8g %8g %8.4f',ite,index,fmin0));
ite=ite+1;
end
% pso algorithm-----end
gbest;
fvalue=10*(gbest(1)-1)^2+20*(gbest(2)-2)^2+30*(gbest(3)-3)^2;
fff(run)=fvalue;
rgbest(run,:)=gbest;
disp(sprintf('-----'));
end
% pso main program-----
-end
disp(sprintf('\n'));

```



```
disp(sprintf('*****
'));
disp(sprintf('Final Results-----'));
[bestfun,bestrun]=min(fff)
best_variables=rgbest(bestrn,:)
disp(sprintf('*****
'));
toc
% PSO convergence characteristic
plot(ffmin(1:ffite(bestrn),bestrun),'-k');
xlabel('Iteration');
ylabel('Fitness function value');
title('PSO convergence characteristic')
#####
###
```

## PHỤ LỤC 4: Code Matlab tạo lập bản đồ mòn

### 1. Code đọc ảnh và so sánh biên ảnh

```
function [X, map, alpha] = docanhgif(varargin)
persistent cached_fmt;
mlock
if nargin > 0
    [varargin{:}] = convertStringsToChars(varargin{:});
end
[source, fmt_s, extraArgs, was_cached_fmt_used] = parse_inputs(cached_fmt,
varargin{:});

was_format_specified = (nargin>=2) && ischar(varargin{2});

% Download remote file. isLegacyUrl is true if the file is on a HTTP/HTTPS
% server
try
    [isLegacyUrl, fileNameObj] = getFileFromURL(source);
catch ME
    errorID = ME.identifier;
    errorID = replace(errorID, 'getFileFromURL', 'imread');
    throwAsCaller(Mexception(errorID, ME.message));
end
% If fileNameObj is an object, extract the filename
if ~ischar(fileNameObj)
    filename = fileNameObj.LocalFileName;
else
    filename = fileNameObj;
end

if isLegacyUrl
    % Clean up the downloaded file.
    C = onCleanup(@() deleteDownload(filename));
end
% Flag to indicate that the user file is on a remote location (for example:
% HTTP, HTTPS, S3, Azure...)
isUrl = isLegacyUrl || ~ischar(fileNameObj);

if isempty(fmt_s)
    % The format was not specified explicitly.

    % Get the absolute path of the file
    fullname = get_full_filename(filename);

    [~,~,ext] = fileparts(fullname);
    if (~isempty(cached_fmt)) && ismember(ext(2:end), cached_fmt.ext)

        % The format of this file is same as the last file opened with
        % imread. Use cached_fmt to read the file
        fmt_s = cached_fmt;
        was_cached_fmt_used = true;
    else
```

```

        % Either cached_fmt is empty or the format of this file (as
        % determined by the extension) is not the same as the cached
        % format. Call get_format_info to determine the correct format
        fmt_s = get_format_info(fullname);
    end
else
    % The format was specified explicitly.
    Try
        % Try to obtain the absolute path of the file from the input
        % filename. This will throw an error if filename does not exist or
        % the user does not have permission to read the file
        fullname = get_full_filename(filename);
    catch
        % If input filename fails, try all possible extensions of this file
        % format to obtain the absolute path
        for p = 1:length(fmt_s.ext)
            try
                fullname = get_full_filename([filename, '.',
fmt_s.ext{p}]);

                % If we reach here, it means generating absolute Path
                % succeeded. Break out of the loop.
                Break;
            catch ME
                % If all possible extensions for the given format failed,
                % throw the last exception
                if p == length(fmt_s.ext)
                    rethrow(ME);
                end
            end
        end
    end
end
end
if fmt_s.alpha && (nargout == 3)
    % Use the alpha channel.
    [X, map, alpha] = call_format_specific_reader();
else
    % Alpha channel is not requested or is not applicable.
    Alpha = [];
    [X, map] = call_format_specific_reader();
end
cached_fmt = fmt_s;
function varargout = call_format_specific_reader()
    try
        [varargout{1:nargout}] = feval(fmt_s.read, fullname,
extraArgs{:});
    catch ME
        if (~was_cached_fmt_used) || was_format_specified
            if isUrl
                msgtext = replace(ME.message, fullname, source);
                newME = Mexception(ME.identifier, msgtext);
            else
                newME = ME;
            end
            % The error was not caused by incorrect format
            throwAsCaller(newME);
        else

```

```

        % The error could have been caused by using cached format,
        % which was not correct for this file
        fmt_s = get_format_info(fullname);
        try
            [varargout{1:nargout}] = feval(fmt_s.read, fullname,
extraArgs{:});
        catch ME
            if isUrl
                msgtext = replace(ME.message, fullname, source);
                newME = MException(ME.identifier, msgtext);
            else
                newME = ME;
            end
            throwAsCaller(newME);
        end
    end
end

end

end

end

end
%-----
function [source, fmt_s, extraArgs, was_cached_fmt_used] =
parse_inputs(cached_fmt, varargin)
extraArgs = {};
fmt_s = struct([]);
% Flag to track if cached format was used
was_cached_fmt_used = false;

% Parse arguments based on their number.
Switch(varargin)
case {0,1}

    % Not allowed.
    Error(message('MATLAB:imagesci:imread:inputParsing'));
case 2
    % Filename only.
    Source = varargin{1};
    if ~ischar(source)
        error(message('MATLAB:imagesci:imread:badImageSourceDatatype'));
    end
otherwise
    % Filename and format or other arguments.
    Source = varargin{1};

    % Check whether second argument is a format.
    If ischar(varargin{2})
        if (~isempty(cached_fmt)) && ismember(varargin{2}, cached_fmt.ext)
            fmt_s = cached_fmt;
            was_cached_fmt_used = true;
        else
            fmt_s = imformats(varargin{2});
        end
    end
end
if ~isempty(fmt_s)
    % The argument matches a format.
    extraArgs = varargin(3:end);
    % Verify that a read function exists

```

```

        if (isempty(fmt_s.read))
error(message('MATLAB:imagesci:imread:readFunctionRegistration', fmt_s.ext{
1 }));
        end
    else
        % The argument begins the format-specific parameters.
        extraArgs = varargin(2:end);
    end
end

end

%-----

function fmt_s = get_format_info(fullname)
[format, fmt_s] = imftype(fullname);
if (isempty(format))
    error(message('MATLAB:imagesci:imread:fileFormat'));
end
% Verify that a read function exists
if (isempty(fmt_s.read))
    error(message('MATLAB:imagesci:imread:readFunctionRegistration',
fmt_s.ext{ 1 }));
end
end
%-----

function filename = get_full_filename(filename)

[fid, errmsg] = fopen(filename, 'r');
if (fid == -1)
    if ~isempty(dir(filename))
        % String 'Too many open files' is from strerror.
        % So, no need for a message catalog.
        If contains(errmsg, 'Too many open files')
            error(message('MATLAB:imagesci:imread:tooManyOpenFiles',
filename));
        else
            error(message('MATLAB:imagesci:imread:fileReadPermission',
filename));
        end
    else
        error(message('MATLAB:imagesci:imread:fileDoesNotExist',
filename));
    end
else
    % File exists. Get full filename.
    Filename = fopen(fid);
    fclose(fid);
end
end
end

```

## 2. Code Giao diện Phần mềm ghép ảnh

```
function varargout = giaodien(varargin)
% GIAODIEN MATLAB code for giaodien.fig
%   GIAODIEN, by itself, creates a new GIAODIEN or raises the existing
%   singleton*.
%
%   H = GIAODIEN returns the handle to a new GIAODIEN or the handle to
%   the existing singleton*.
%
%   GIAODIEN('CALLBACK',hObject,eventData,handles,...) calls the local
%   function named CALLBACK in GIAODIEN.M with the given input
arguments.
%
%   GIAODIEN('Property','Value',...) creates a new GIAODIEN or raises
the
%   existing singleton*. Starting from the left, property value pairs
are
%   applied to the GUI before giaodien_OpeningFcn gets called. An
%   unrecognized property name or invalid value makes property
application
%   stop. All inputs are passed to giaodien_OpeningFcn via varargin.
%
%   *See GUI Options on GUIDE's Tools menu. Choose "GUI allows only one
%   instance to run (singleton)".
%
% See also: GUIDE, GUIDATA, GUIHANDLES
% Edit the above text to modify the response to help giaodien
% Last Modified by GUIDE v2.5 06-Jul-2020 00:41:32
% Begin initialization code - DO NOT EDIT
gui_Singleton = 1;
gui_State = struct('gui_Name',       mfilename, ...
                  'gui_Singleton',  gui_Singleton, ...
                  'gui_OpeningFcn', @giaodien_OpeningFcn, ...
                  'gui_OutputFcn',  @giaodien_OutputFcn, ...
                  'gui_LayoutFcn',  [] , ...
                  'gui_Callback',   []);
if nargin && ischar(varargin{1})
    gui_State.gui_Callback = str2func(varargin{1});
end
if nargin
    [varargout{1:nargout}] = gui_mainfcn(gui_State, varargin{:});
else
    gui_mainfcn(gui_State, varargin{:});
end
% End initialization code - DO NOT EDIT
% --- Executes just before giaodien is made visible.
function giaodien_OpeningFcn(hObject, eventdata, handles, varargin)
% This function has no output args, see OutputFcn.
% hObject    handle to figure
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)
% varargin   command line arguments to giaodien (see VARARGIN)
% Choose default command line output for giaodien
handles.output = hObject;
% Update handles structure
guidata(hObject, handles);
```

```

% UIWAIT makes giaodien wait for user response (see UIRESUME)
% uiwait(handles.figure1);
% --- Outputs from this function are returned to the command line.
function varargout = giaodien_OutputFcn(hObject, eventdata, handles)
% varargout cell array for returning output args (see VARARGOUT);
% hObject handle to figure
% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles structure with handles and user data (see GUIDATA)
% Get default command line output from handles structure
varargout{1} = handles.output;
% --- Executes on button press in pushbutton1.
function pushbutton1_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject handle to pushbutton1 (see GCBO)
% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles structure with handles and user data (see GUIDATA)
close
% --- Executes on button press in pushbutton2.
function pushbutton2_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject handle to pushbutton2 (see GCBO)
% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles structure with handles and user data (see GUIDATA)
% global host_image ;
duongdan = uigetdir;
cd(duongdan);
[I0, cmap] = imread([num2str(1) '.gif'],'frames','all');
RGB_0 = ind2rgb(I0,cmap);
anhghep = vertcat(RGB_0,zeros(1,19,3));
Anh = anhghep;
axes(handles.axes1)
cla(handles.axes1,'reset')
for i =2:30
[I, cmap] = imread([num2str(i) '.gif'],'frames','all');
% image(I);
% colormap(cmap);
RGB = ind2rgb(I,cmap);
imshow(RGB);
% [m,n,p] = size(I);
pause(0.01)
anhghep_moi = horzcat(Anh,RGB);
Anh= anhghep_moi;
% clf
cla(handles.axes1,'reset')
end
imshow(anhghep_moi);
imwrite(anhghep_moi,'Anhghep.jpg')
axes(handles.axes2)
imshow(rgb2gray(anhghep_moi));
% imwrite(anhghep_moi,'Anhghep.jpg')
% filename = uigetfile({'*.gif;*.png'},'Chon Anh Goc');
% host_image = imread(filename);
% host_image = rgb2gray(host_image);

```