

**BỘ GIÁO DỤC VÀ ĐÀO TẠO
TRƯỜNG ĐẠI HỌC SƯ PHẠM KỸ THUẬT TP.HCM**

-----0000-----

**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**

NGÀNH: KỸ THUẬT CƠ KHÍ - 9520103

TÓM TẮT LUẬN ÁN TIẾN SĨ

TP. HỒ CHÍ MINH – THÁNG 08/2021

MỞ ĐẦU

1. Đặt vấn đề

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. 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].



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

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*”.

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 cũng như 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 quãng 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:

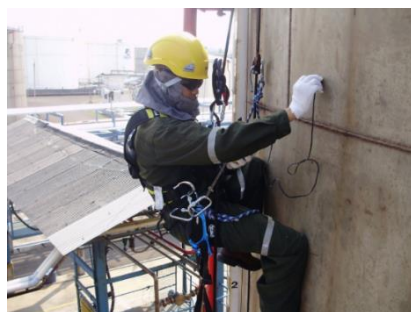
- Mở đầu
- Chương 1: Nghiên cứu tổng quan
- Chương 2: Quy trình thực nghiệm đo kiểm tra độ mòn bồn chứa
- Chương 3: Mô hình toán quãng đường di chuyển ngắn nhất
- Chương 4: Nghiên cứu xây dựng bài toán ghép ảnh mòn
- Chương 5: Nghiên cứu thực nghiệm đo kiểm và xây dựng bản đồ mòn
- Kết luận và kiến nghị.

CHƯƠNG 1

NGHIÊN CỨU TỔNG QUAN

1.1 Thực trạng đo kiểm mòn bồn chứa ở Việt Nam

- Sử dụng kỹ thuật siêu âm PA đo kiểm thủ công.
- Sử dụng hệ thống giàn giáo, dây cáp treo khi thực hiện kiểm tra,...
- Tiềm ẩn nhiều nguy cơ về an toàn lao động.
- Thời gian kiểm tra dài
- Kết quả kiểm tra phụ thuộc vào trình độ kỹ thuật viên siêu âm



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 chất lượng bồn thủ công ở Việt Nam [2]

- Do công việc đánh giá được thực 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.
- 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. Do đó, không đủ dữ liệu để xây dựng được bản đồ mòn bồn chứa.

1.2 Các tồn tại và định hướng nghiên cứu

1.2.1 Các tồn tại

- 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: 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, chưa thực nghiệm so sánh trên mô hình thực tế 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.

- 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]. Chưa tìm thấy các công bố về xử lý ảnh nói chung, ghép ảnh để xây dựng bản đồ mòn cho bồn chứa xăng dầu.

2.2.2 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 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 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.

CHƯƠNG 2

QUY TRÌNH THỰC NGHIỆM ĐO KIỂM TRA ĐỘ MÒN BỒN CHỨA

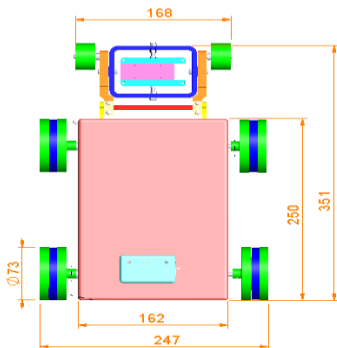
2.1 Nghiên cứu thiết kế và chế tạo robot mang đầu dò siêu âm PA

2.1.1 Yêu cầu kỹ thuật của robot

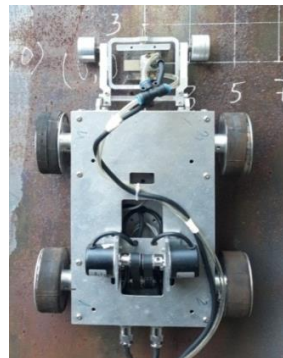
Để có thể mang đầu dò siêu âm thực hiện việc đo kiểm, đánh giá độ mòn, vật liệu chế tạo bồn chứa là thép, thiết bị tự hành (robot) cần đạt được các yêu cầu sau [27]:

- 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 Chế tạo và thử nghiệm



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

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.

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.



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

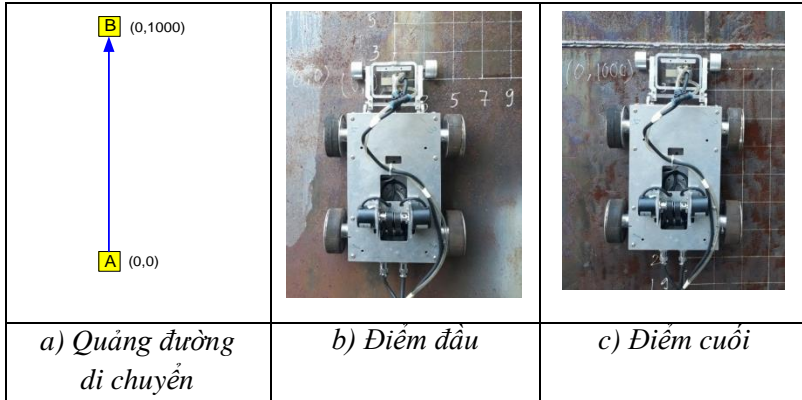
b) Robot di chuyển trên bồn chứa

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

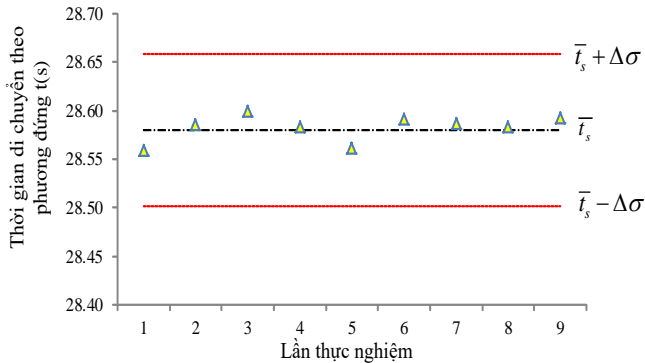
2.1.4 Kiểm nghiệm độ tin cậy robot

4.1.4.1 Robot di chuyển theo phương thẳng đứng

– 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).



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



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

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 $[28.50, 28.66]$.

2.1.4.2 Robot di chuyển theo phương ngang

– 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).

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].

2.1.4.3 Robot di chuyển theo phương xiên

– 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).

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].

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

(Được phê duyệt bởi NDT level III)

2.3.1 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.

2.2.2 Tiêu chuẩn áp dụng

2.2.3 Trình độ kỹ thuật viên

2.2.4 Thiết bị kiểm tra siêu âm tổ hợp pha

2.2.5 Đầu dò và ghi nhận dữ liệu

2.2.6 Chất tiếp âm

2.2.7 Khôi chuẩn

2.2.8 Độ nhạy quét

2.2.9 Chuẩn bị bề mặt bồn chứa xăng dầu

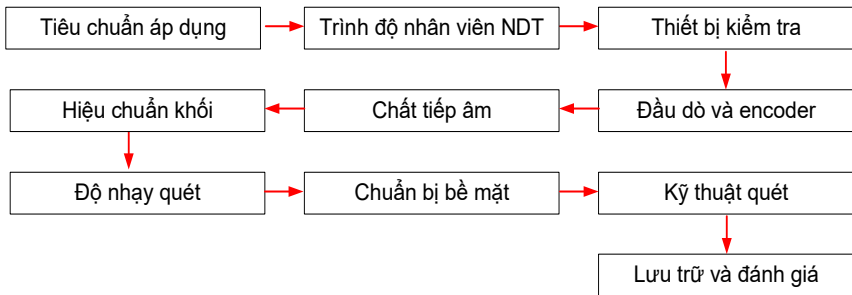
2.3.10 Kỹ thuật quét

2.3.11 Báo cáo/đánh giá kết quả thu thập

2.3.12 Tài liệu lưu trữ

Thông tin trong báo cáo PAUT nên có các thông tin sau: Số bản vẽ, 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 4.19.

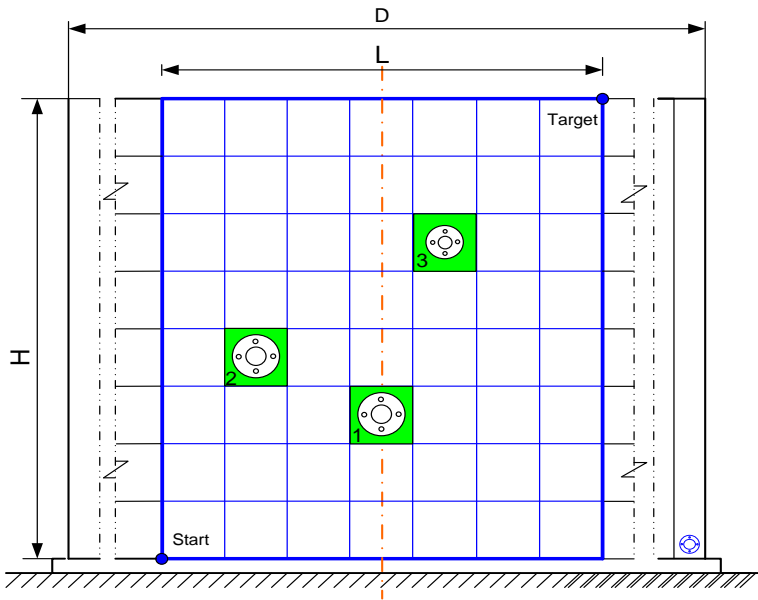


Hình 2.27: Các bước thực hiện theo quy trình đo kiểm đã được phê chuẩn

CHƯƠNG 3: MÔ HÌNH TOÁN QUẢNG ĐƯỜNG DI CHUYỂN NGẮN NHẤT

3.1 Bài toán tối ưu toàn cục trên bồn chứa

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 5.1.



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

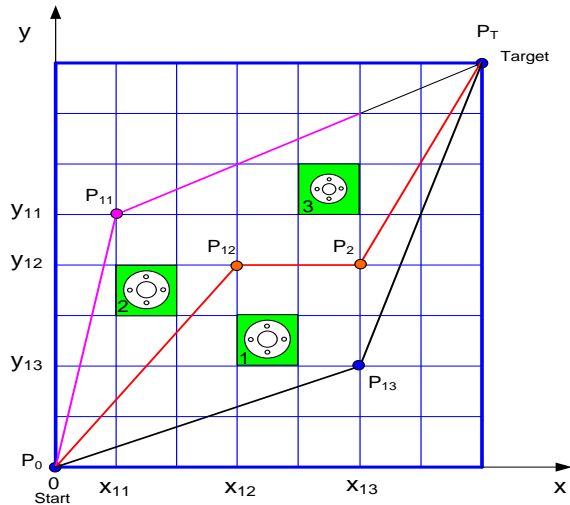
Hàm mục tiêu của bài toán: $y = f(x) \rightarrow \min$

Khi robot di chuyển từ điểm 0 (P0) đến điểm mục tiêu T (PT) 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 P0 – P11 – PT

Trường hợp 2: Robot di chuyển từ P₀ – P₁₂ – P₂ – P_T

Trường hợp 3: Robot di chuyển từ P₀ – P₁₃ – 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:

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

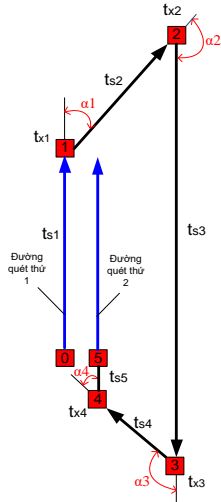
Vậy, Hàm mục tiêu của bài toán sẽ là: $y = f(x) = S \rightarrow \min$

3.2 Giới thiệu các phương án di chuyển

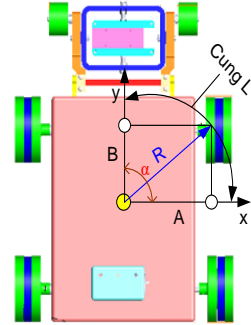
3.3 Bài toán tìm thời gian di chuyển

Bài toán đường dẫn có thời gian ngắn nhất tổng quát có thể được mô tả:

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



a) Một chu kỳ quét



b) Robot quay 1 góc α

Hình 5.6: Thời gian cho 1 chu kỳ quét

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:

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

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

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

Góc xoay α_i là bội số của góc quay cơ bản (α_{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: α_{cb} : góc xoay cơ bản ; a : hằng số, $a \in \mathbb{N}$

- Thời gian xoay t_x của robot tại một góc α_i bất kỳ (mà không di chuyển) sẽ là:

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

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

3.4 Thuật toán tối ưu bầy đàn PSO

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

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

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

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

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

$$(3) \quad a = 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7; \alpha_{cb} = 45^0$$

3.4.1 Giải thuật PSO

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 X, vận tốc 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 $Pbest_i^k = X_i^k$, "i" và $Gbest^k = X_b^k$

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

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

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

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

- 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

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

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

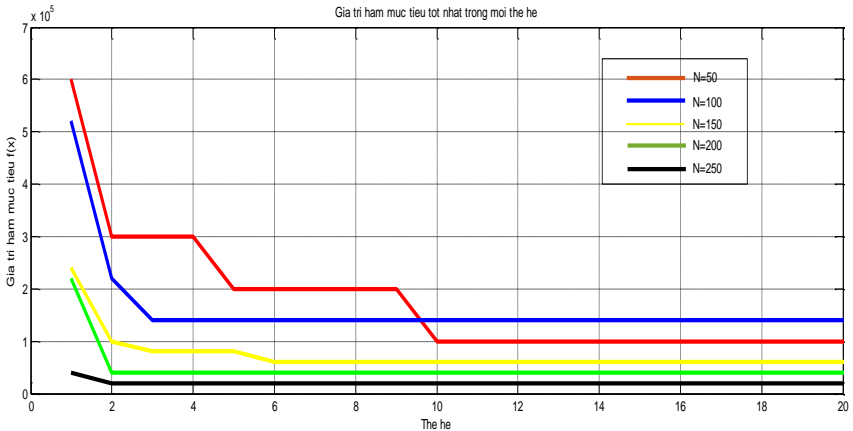
Nếu $F_{b_1}^{k+1} < F_b^k$ thì $Gbest^{k+1} = Pbest_{b_1}^{k+1}$ và $b = b_1$ ngược lại
 $Gbest^{k+1} = Gbest^k$

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

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

3.4.2 Mô phỏng thuật toán PSO

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]

Kết quả mô phỏng cho thấy đường dẫn không được mịn (trơn tru) là do ảnh hưởng của hệ số a , đường dẫn ngắn nhất sẽ có nhiều giá trị khác nhau và

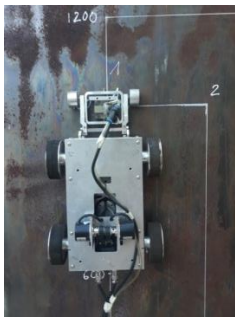
được trình bày ở hình 3.10, 3.11, 3.12.

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_1 , c_2 , 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.

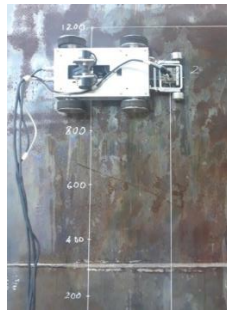
3.4.6 Thử nghiệm robot theo phương án di chuyển tìm được

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



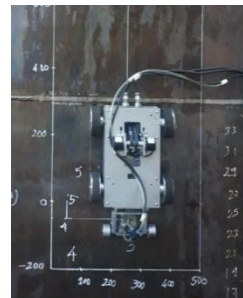
a) Robot di chuyển từ

0-1



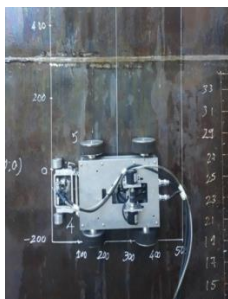
b) Robot di chuyển từ

1-2

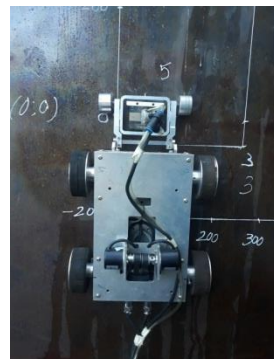


c) Robot di chuyển từ

2-3



d) Robot di chuyển từ



e) Robot di chuyển từ

Hình 3.12: 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 (s)
STT	Lặp		
1	1	115.94	116.54
	2	115.94	117.96
	3	115.94	118.98
2	1	115.94	117.98
	2	115.94	117.98
	3	115.94	118.94
3	1	115.94	116.84
	2	115.94	118.77
	3	115.94	118.00
Trung bình		115.94	118.00 ÷ 1.86

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 %.

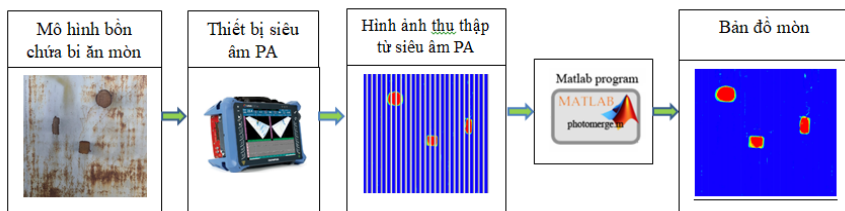
Như vậy, qua thực nghiệm kiểm nghiệm độ tin cậy khi robot di chuyển theo phương án của thuật toán PSO đã được đề xuất cho một chu kỳ trên mô hình thí nghiệm cho thấy độ lệch vị trí, thời gian di chuyển là thấp.

CHƯƠNG 4

NGHIÊN CỨU XÂY DỰNG BÀI TOÁN GHEP ẢNH MÒN

6.1 Nghiên cứu xây dựng bản đồ mòn

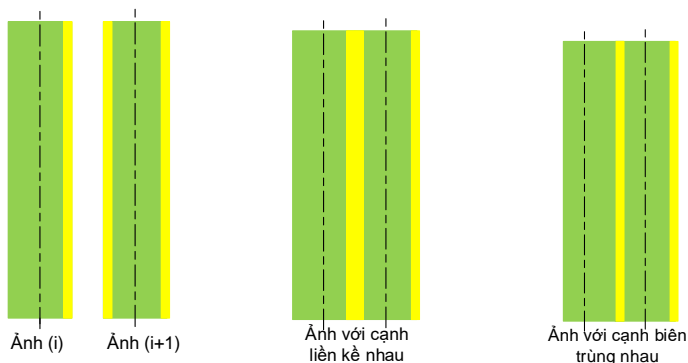
Quá trình tạo dựng bản đồ mòn được mô tả ở hình 6.1.



Hình 4.1: Mô tả hệ thống tạo dựng bản đồ mòn

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.
- 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) .



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.

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

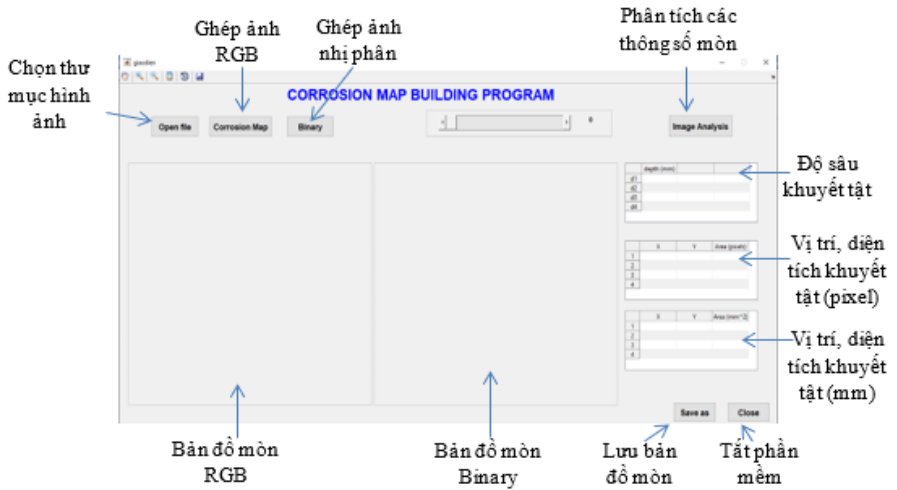
- *Chọn thư mục (open files)*: cho phép lựa chọn ổ đĩa (kể cả external drive), chọn thư mục có chứa ảnh cần thực hiện xử lý ghép ảnh.
- *Thực hiện ghép ảnh (Corrosion map)*: thực hiện ghép các ảnh trong thư mục vừa chọn nhằm xây dựng bản đồ mòn ảnh màu RGB và bản đồ mòn ảnh nhị phân Binary.
- *Thang 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 ²)	Area (mm ²)	Depth max. (mm)
1							
2							
...							

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).

- Đề xuất giao diện phần mềm (Code Matlab ở phụ lục 4)



Hình 6.9: 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 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].

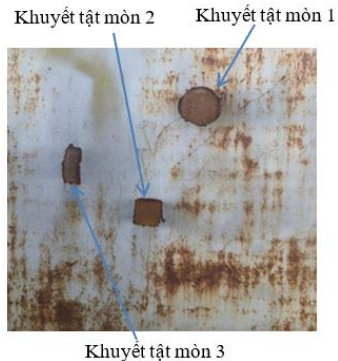
5.1.2 Chế tạo mô hình bồn chứa



Hình 5.2: Mô hình bồn chứa hoàn thiện

5.2. Thực nghiệm đo kiểm độ mòn

5.2.1 Chuẩn bị mô hình bồn chứa



Hình 5.11: Khuyết tật mòn trên mô hình bồn chứa

5.2.3 Hiệu chuẩn thiết bị

a) Hiệu chuẩn thiết bị siêu âm OmniScan MX2

b) Hiệu chuẩn robot mang đầu dò siêu âm

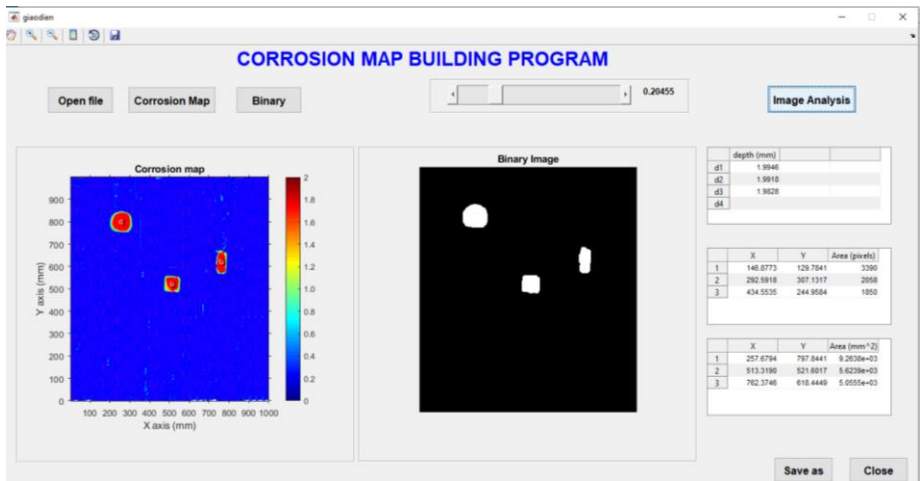
5.2.4 Phương án quét trên mô hình bồn chứa

5.2.5 Thực nghiệm đo mòn

5.3 Thực nghiệm xây dựng bản đồ mòn

5.3.1 Xây dựng bản đồ mòn

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

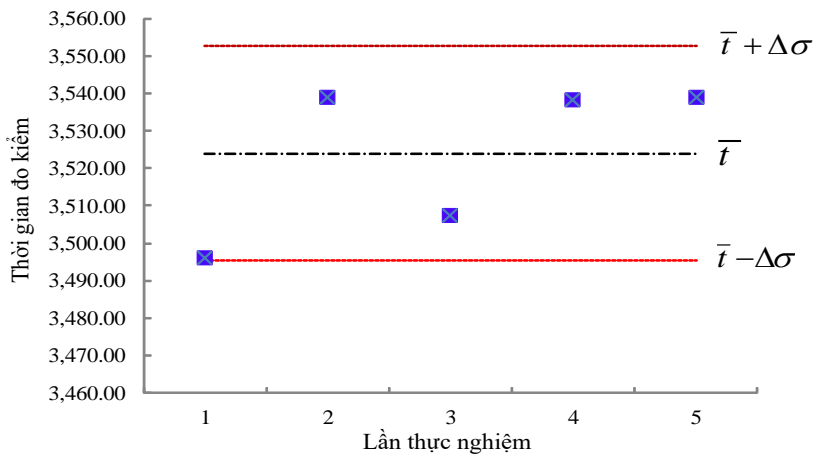
5.3.2 Kết quả và thảo luận

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 σ .

Bảng 5.1: Thời gian trung bình qua 5 lần quét

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
Trung bình	3523.94 ± 25.56

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 ± 25.56 (s).



Hình 5.20: Thời gian quét qua 5 lần thực nghiệm

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

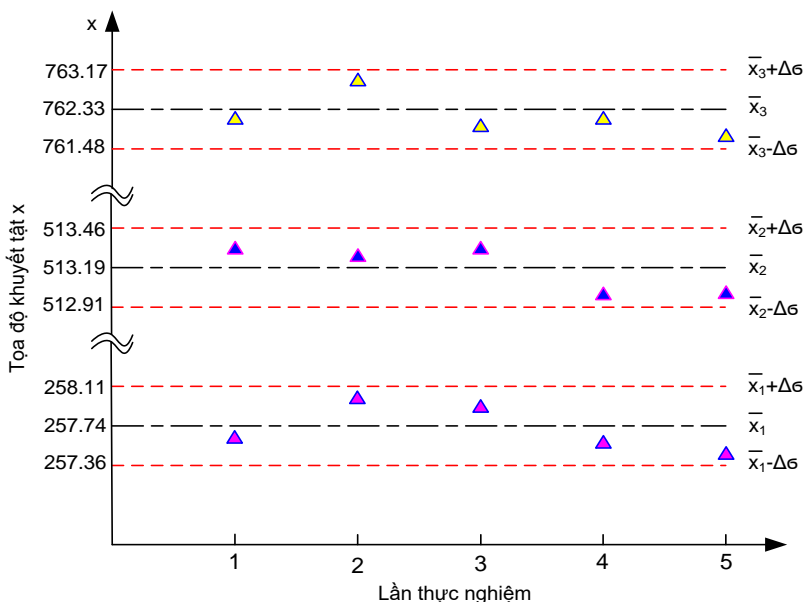
3	257.9322	798.0811	513.3190	521.6017	762.1562	618.4593
4	257.6075	797.7989	513.0116	521.6026	762.2638	618.0526
5	257.4830	798.2314	513.0116	521.6026	761.7478	619.6228
Trung bình	257.737 ± 0.19	797.8947 ± 0.25	513.1857 ± 0.14	521.5823 ± 0.04	762.3247 ± 0.43	618.3505 ± 0.96

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 ²)		
		d ₁	d ₂	d ₃	s ₁	s ₂	s ₃
1	(x ₁ , y ₁)	1.9946	1.9918	1.9828	9263.8	5623.9	5055.5
2	(x ₂ , y ₂)	1.8603	1.9927	1.8875	9323.9	5640.3	4880.6
3	(x ₃ , y ₃)	1.8975	1.9782	1.9057	9206.4	5623.9	5101.9
4	(x ₄ , y ₄)	1.8939	1.9782	1.9039	9064.3	5522.8	4965.3
5	(x ₅ , y ₅)	1.8150	1.8667	1.8803	9176.4	5522.8	5096.5
Trung bình		1.8923 ± 0.06	1.9615 ± 0.05	1.9120 ± 0.04	9207.0 ± 87.40	5586.7 ± 52.55	5020.0 ± 85.14

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 σ . Kết quả đo được phân tích ở các độ thi sai lệch chuẩn từ hình 5.21 đến 5.24.

- Vị trí tọa độ khuyết tật mòn 1(x₁, y₁); 2(x₂, y₂), 3(x₃, y₃):



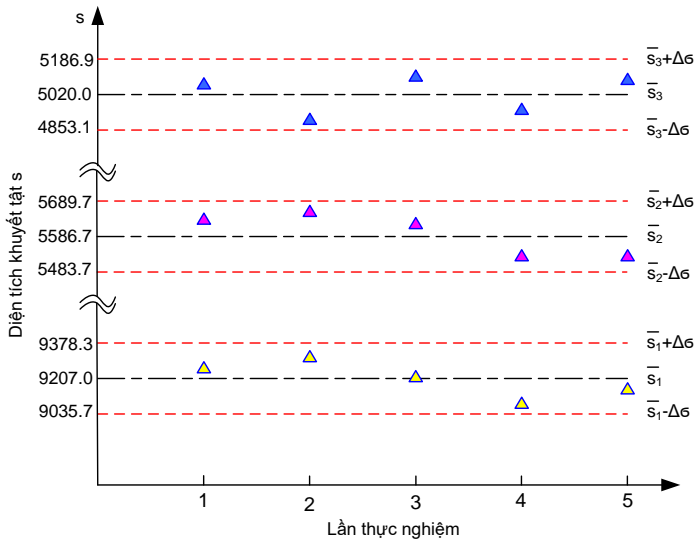
Hình 5.21: Vị trí tọa độ x_1, x_2, x_3 qua 5 lần thực nghiệm

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, 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).

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

Trên hình 5.23 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, 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].

- 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, 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.

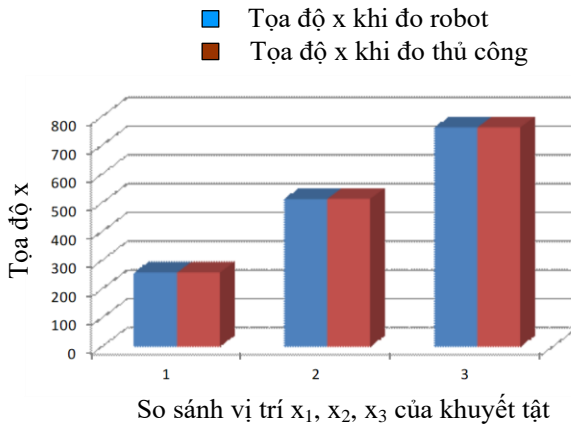
5.3.3 So sánh kết quả với thực nghiệm đo độ mòn bằng tay

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.

Bảng 5.4: So sánh kết quả đo

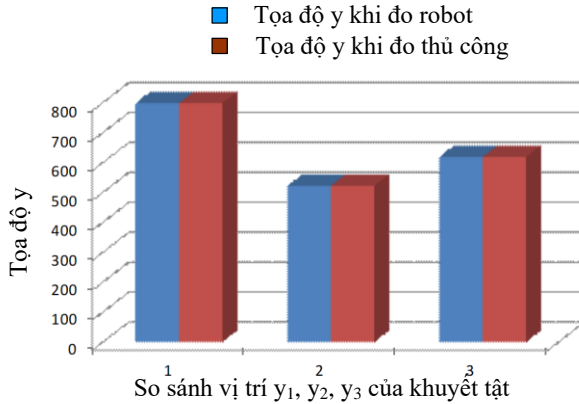
Defect	Kết quả đo trung bình bằng robot				Kết quả đo trực tiếp bằng tay		
	\bar{x} (mm)	\bar{y} (mm)	\bar{s} (mm ²)	\bar{d} (mm)	x (mm)	y (mm)	d (mm)
1	257.74	797.89	9207.0	1.89	257.62	797.85	1.85
2	513.19	521.58	5586.7	1.96	513.55	521.87	1.95
3	762.32	618.35	5020.0	1.91	762.22	617.80	1.91

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 5.27, 5.28 và 5.29.



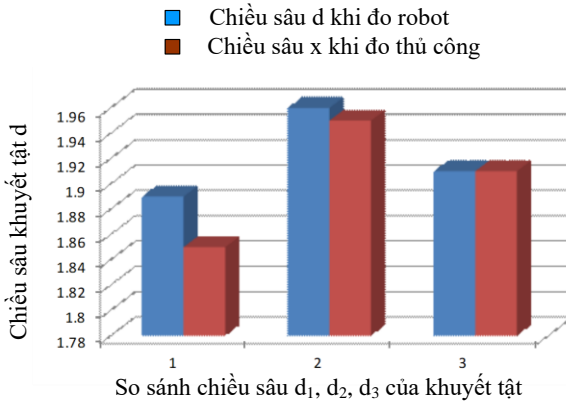
Hình 5.27: So sánh tọa độ x của khuyết tật khi đo bằng robot và thủ công

Dựa vào bảng 5.4 và hình 5.27 ta thấy, giá trị tọa độ 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 5.28: So sánh tọa độ y của khuyết tật khi đo bằng robot và thủ công

Dựa vào bảng 5.4 và hình 5.29 ta thấy, giá trị tọa độ y khi đo bằng robot và thủ công có giá trị ngang bằng nhau.



Hình 5.29: So sánh độ sâu d của khuyết tật khi đo bằng robot và thủ công

Dựa vào bảng 5.4 và hình 5.29 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.

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 m³ trở lên bằng phương pháp kiểm tra siêu âm tổ hợp pha (Phased Array Ultrasonic Testing). 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.

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 m³, 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.

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 Thiệu 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 Thiệu 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.

**MINISTRY OF EDUCATION AND TRAINING
HCM CITY UNIVERSITY OF TECHNOLOGY AND EDUCATION**

-----0000-----

TO THANH TUAN

**RESEARCH ON MEASUREMENT AND EVALUATION
SOLUTION OF CORROSION FOR FUEL TANKS USING
ROBOTS CARRYING ULTRASONIC PROBES**

**PHD THESIS SUMMARY
MAJOR: MECHANICAL ENGINEERING
MAJOR CODE: 9520103**

Ho Chi Minh City, August 2021

INTRODUCTION

1. Question

The inspection and evaluation of the tank quality allow decisions to license a new one, to continue using it, or to request a temporary suspension of operation and repair. The equipment used and operated manually requires the installation of a scaffolding system, depending on weather conditions, so the testing time is a long, the reliability of the results depends on the skill of the technician. In addition, due to manual inspection, the productivity is low, the test results do not provide the overall corrosion map of the tank, and there is a potential risk of occupational safety when the technician performs the test. Since then, the need to shorten the time, ensure safety, improve productivity and increase the reliability of tank corrosion test results by testing procedures with the support of self-propelled testing equipment (robotics) has been of research interest [1].

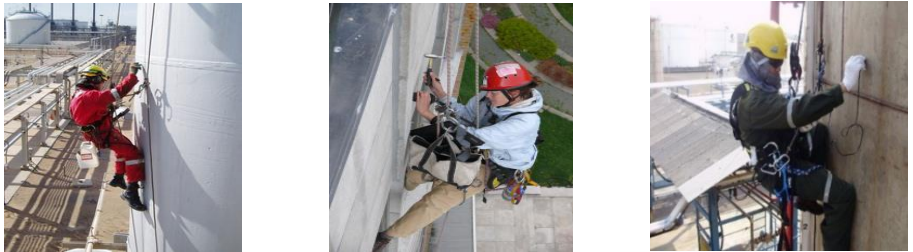


Figure 1: Manual corrosion test [2]

The study of test plans and manufacture of self-propelled equipment carrying measuring heads allows testing and assessment of tank corrosion to be able to master the technology and manufacture in the condition that domestic technology is an urgent and meaningful issue. Subject: *"Research on measurement and evaluation solution of corrosion for fuel tanks using robots carrying ultrasonic probes"*.

2. The scientific and practical significance of the thesis

2.1 The scientific significance

- Building a mathematical model that allows determining the shortest distance moved based on the characteristics of the PA ultrasonic testing method as well as the characteristics of the robot carrying the PA ultrasonic probe.

- Proposing a test plan to test the application of a robot carrying a PA ultrasonic transducer to test the corrosion of fuel tanks based on the shortest move distance trajectory found.

- Proposing the image merging algorithm to create a corrosion map suitable for the PA ultrasonic process to measure the corrosion of fuel tanks using a robot carrying a PA ultrasonic probe.

2.2 The practical significance

- Application of a robot carrying an ultrasonic probe to test the corrosion of the tank will shorten the inspection time, free up labor and bring high economic and productivity efficiency to the market. Ultrasonic detector contributes to improve inspection quality for fuel tanks.

- The research results of the topic contribute to automation in checking and evaluating the corrosion of fuel tanks, having high value in practical application.

- To build a map of the corrosion of fuel tanks, allowing monitoring and proactive planning of operations, maintenance and maintenance of tanks.

3. The structure of the thesis: The structure of the thesis includes as the following:

- Introduction
- Chapter 1: Overview of research
- Chapter 2: Experimental procedure to measure and test corrosion for fuel tank
- Chapter 3: Mathematical model of shortest move distance
- Chapter 4: Building the problem of corrosion image merging
- Chapter 5: Experimental research for measurement and build to corrosion map

- Conclusions and recommendations.

CHAPTER 1

OVERVIEW RESEARCH

1.1 Actual situation of tank corrosion testing in Vietnam

- Using PA ultrasonic technique for manual measurement.
- Using scaffolding system, cable when performing inspection,...
- There are many potential safety risks.
- Inspection long time.
- Testing results depend on ultrasound technician qualifications.



a) Quality inspection of manual tanks in Vietnam

b) Technicians test the quality of tanks with manual equipment

Figure 1.8: Manual inspection of fuel tanks in Vietnam [2]

- The evaluation is done later, so it depends greatly on the quality of the input image. When detecting errors such as images that do not reach resolution, are not adjacent to each other, etc., it is very difficult to organize the ultrasound.
- Identify corrosion areas by sensory methods and conduct corrosion assessment tests only in that area. Therefore, there is not enough data to construct a tank corrosion map.

1.2 Existences and research directions

1.2.1 Existences

- Equipment: the current corrosion assessment testing mainly uses conventional ultrasonic or PA ultrasonic methods;
- Robot: has been used in the ultrasonic inspection process, but mainly to test welding defects and corrosion for pipes. Tank corrosion measurement robot is still mainly testing and assessing corrosion in a defined area, does not pay much attention testing plan, indirect image fusion and is very expensive due to copyright technology.
 - Technicians: must be trained by foreign experts.
 - Test plan: there is no mention of specific measurement plan for each type of robot.
 - Shortest move distance: Some studies have applied PSO, GA algorithms [23, 24, 25, 26] to determine the optimal move plan to find the shortest move distance or avoid objects. However, it is mainly a simulation, not experimentally compared on actual models and to evaluate the level of tank corrosion. In Vietnam, there is currently no published application of the test plan with the shortest move distance.
 - Corrosion Mapping: mainly image compositing directly on ultrasound equipment system or indirect image compositing on PC using proprietary software [11, 12]. No publications have been found on image processing in general, and image compositing to build corrosion maps for fuel tanks.

2.2.2 Research directions

Currently, the PA ultrasound method has been strongly applied in Vietnam. Due to the expensive equipment, the inspection personnel need rigorous training and most importantly, the measurement procedures, test plans as well as experience in image decoding and corrosion mapping require transfer technology or purchase a license. Therefore, in the current situation of manual corrosion assessment and testing, there is low productivity and accuracy, time consuming and many potential safety hazards for the inspectors who need to deploy measurement work with advanced technical

technology, reliability, high productivity and safety. Especially in recent times, the strong development of Vietnam's economy has led to an explosion of petroleum storage - port projects, or in other words, the number of large-capacity petroleum storage tanks has increased dramatically. Ask for inspection, assessment, maintenance, and scheduled maintenance after manufacturing as well as after a period of use. From the above comments, the research direction in the thesis is proposed as follows:

- Studying fuel tanks and corrosion defects that often appear on fuel tanks. Researching the corrosion testing methods, especially PA ultrasonic corrosion testing;

- Researching the method of tank fragmentation using laser distance measuring device and laser level balancing device for scanning areas on the tank, locating robot and ultrasonic measuring PA probe by camera observation, the robot problem avoids global obstacles (obstacles are pipes waiting for flanges) to go to the starting points to perform the next scan lines.

- Research and design a robot that can carry PA ultrasonic transducers for tank corrosion testing;

- Researching a mathematical model to help determine the shortest move distance on the basis of the PSO swarm optimization algorithm to propose a test solution (measurement plan) to evaluate the corrosion of fuel tanks;

- Research on how to collect data from the PA ultrasound method to be able to combine the data to form a corrosion map;

- Research, build algorithm for image merging, corrosion mapping from C-Scan data collected by PA ultrasound method.

- Experimenting with the application of a robot carrying an ultrasonic transducer to check the corrosion on a tank model on the basis of theoretical results; Compare with traditional testing techniques to determine the accuracy and reliability of the proposed measurement.

CHAPTER 2

EXPERIMENTAL PROCEDURE TO MEASURE AND TEST CORROSION FOR FUEL TANK

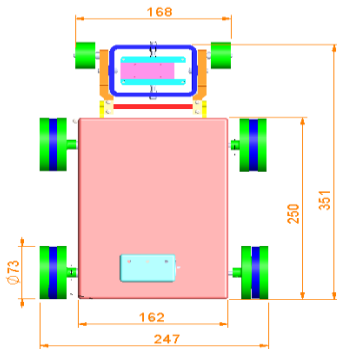
2.1 Researching design and manufacture a robot carrying an PA ultrasonic probe

2.1.1 Technical requirements of the robot

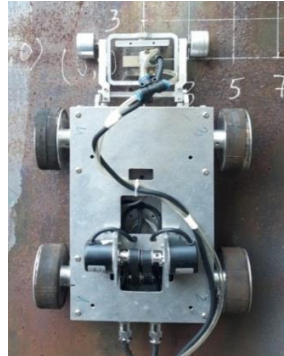
To be able to carry an ultrasonic probe to measure and evaluate corrosion, the tank construction material is steel, and the self-propelled equipment (robot) needs to meet the following requirements [27]:

- Robot moves by 4 magnetic wheels, has the ability to move on the XY plane, has the ability to move forward/backward, turn right/left by manual control or pre-programmed;
- The robot attaches to the wall of the tank with a permanent magnet, can carry the robot load and its accessories about 20 kg;
- The speed of the robot can reach 100 mm/s, stable operation at 25 - 50 mm/s (speed when performing PA ultrasonic testing);
- The robot has the ability to move flexibly on the surface of the tank wall and easily overcome welding seams or protrusions and concaves.

2.1.2 Fabrication and testing



a) Robot design model



b) Completed robot

Figure 2.1: Robot carrying ultrasonic PA probe [27]

2.1.3 Base, solution to locate the ultrasonic PA probe

Using the standard ruler and ultrasonic sensor to determine the coordinates of the robot position, thereby evaluating the reliability of the robot in two directions: vertical and horizontal. The standard ruler is placed in the x, y directions as shown in Figure 2.2.

Use 4 ultrasonic sensors SRF05, 2 in front, 2 behind to measure the distance of x, y coordinate values and adjust the speed of the wheels so that the robot moves at the same speed, maintaining the moving position move to reach the desired position.



a) Positioning the standard ruler by Laser



b) Install the standard ruler

Figure 2.4: Positioning and installing the standard ruler in the two directions x, y



a) Setting robot parameters



b) Robot moves on tank

Figure 2.5: Positioning the robot by ultrasonic sensor SRF05

2.1.4 Robot reliability test

4.1.4.1 Robot moves vertically

Let the robot move vertically from bottom to top with a move distance $s = 1000$ mm (moving from point A to point B).

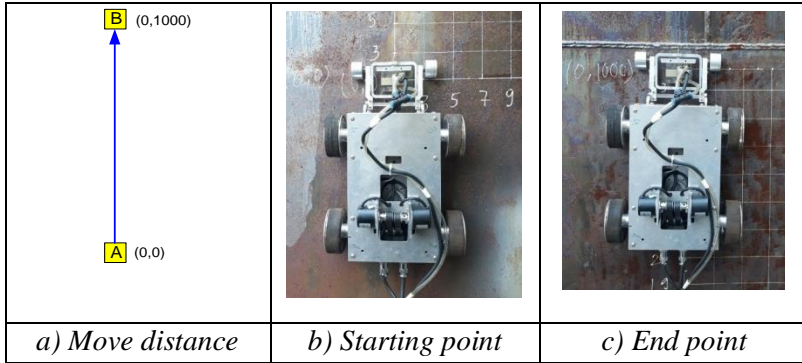


Figure 2.6: Diagram of vertical robot movement

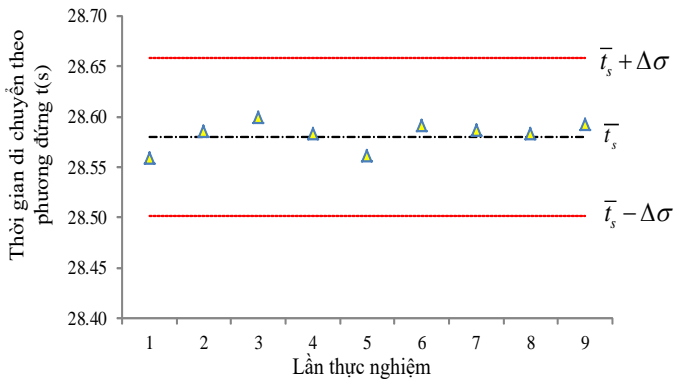


Figure 2.7: Vertical scanning time through 9 experiments

Figure 2.7 shows that the vertical move time through 9 experiments is within 95% of the allowable confidence interval of vertical move time $\bar{t}_s \pm 1.96\sigma$, specifically is t_s in the range [28.50, 28.66].

2.1.4.2 Robot moves horizontally

- Let the robot move horizontally from bottom to top with a move distance $s = 1000$ mm (moving from point A to point B).

Figure 2.9 shows that the horizontal move time through 9 experiments is within the 95% limit, and the allowable confidence interval of the horizontal move time is $\bar{t}_s \pm 1.96\sigma$, specifically is t_s in the range [28.50, 28.66].

2.1.4.3 Robot đi chuyển theo phương xiên

– Let the robot move in an oblique direction from left to right with a move distance $s = 502.49$ mm (moving from point A to point B).

– Figure 2.11 shows that the move time in the oblique direction through 9 experiments is within the 95% limit, and the allowable confidence interval of the horizontal move time is $\bar{t}_s \pm 1.96\sigma$, specifically is t_s in the range [25.73, 26.39].

2.3 Proposing inspection procedure of corrosion by ultrasonic PA (Approved by NDT level III)

2.3.1 Purpose and scope of application

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.

This procedure provides general conditions for specific guidance when performing phase-coupled ultrasonic testing using the Olympus Omniscan MX2 corrosion test instrument for fuel tank bodies, applications on a tank model manufactured according to API 650:2016 [28]. This procedure describes the phase-coupled ultrasonic corrosion test (PAUT) that should be followed and applied to perform a residual shell tank thickness testing. PAUT is using robotic inspection technique carrying PA probe.

- 2.2.2 Applicable criteria**
- 2.2.3 Technician qualification**
- 2.2.4 PA ultrasonic testing equipment**
- 2.2.5 Probe and record data**
- 2.2.6 Couplan**
- 2.2.7 Standard block**
- 2.2.8 Scan sensitivity**
- 2.2.9 Prepare the surface of the fuel tank**
- 2.3.10 Scanning technique**
- 2.3.11 Report/assess the results collected**
- 2.3.12 Document**

The information in the PAUT report should include the following: Number of drawings, number of scan lines, number of items, scanned position on the plate, nominal thickness, remaining thickness, size of corrosion area (length and width)...

All documentation of NDT process performance qualifications should be kept as quality management records.

The sequence of steps performed according to the approved test procedure is shown in Figure 4.19.

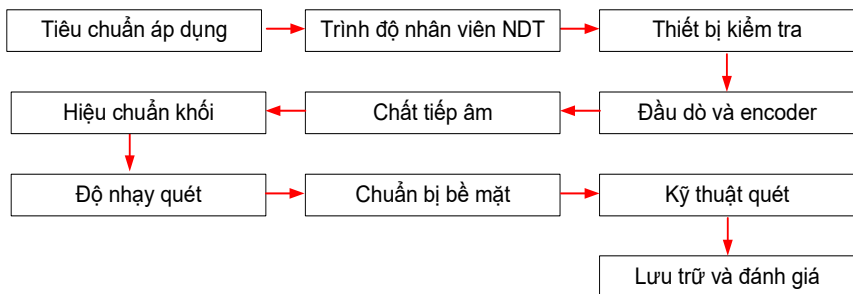


Figure 2.27: Steps to be taken according to the approved test procedure

CHAPTER 3: MATHEMATICAL MODEL OF SHORTEST DISTANCE

3.1 Global optimization problem on the tank

The optimization problem is to find the shortest move distance or the smallest move time that the robot moves from the starting point (Start) to the end point (Target) so that the robot avoids 03 obstacles (Flanges on the tank wall contain) corresponding to the non-scanned areas shown in green in figure 5.1.

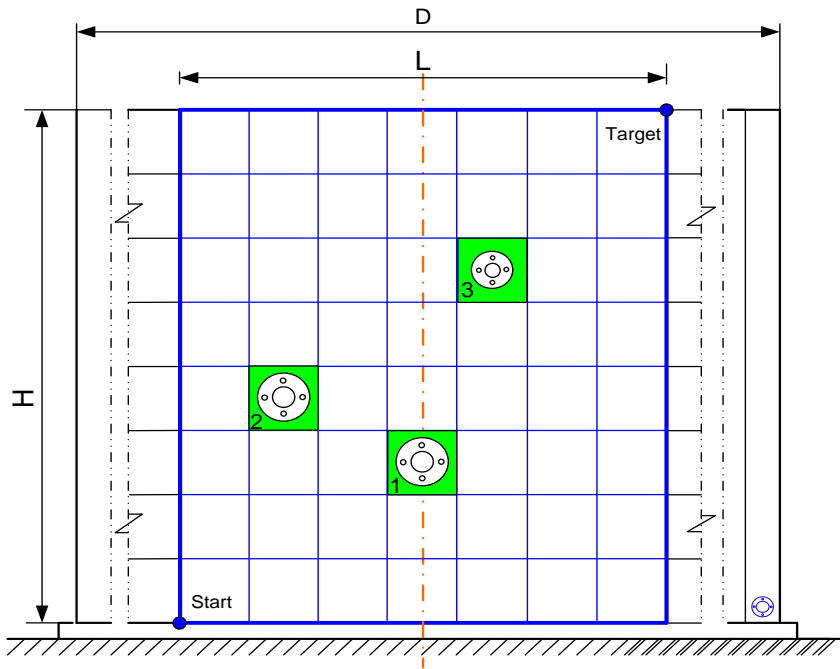


Figure 3.1: Description of the global optimization problem on the tank

The objective function of the problem: $y = f(x) \rightarrow \min$

When the robot moves from point 0 (P0) to the target point T (PT) and avoids obstacles 1, 2, 3, and because this problem is known obstacles, the determination of short move distance shortest path, smoothness path and safe path have 3 cases:

Case 1: Robot moves from P0 – P11 – PT

Case 2: Robot moves from P0 – P12 – P2 – PT

Case 3: Robot moves from P0 – P13 – PT

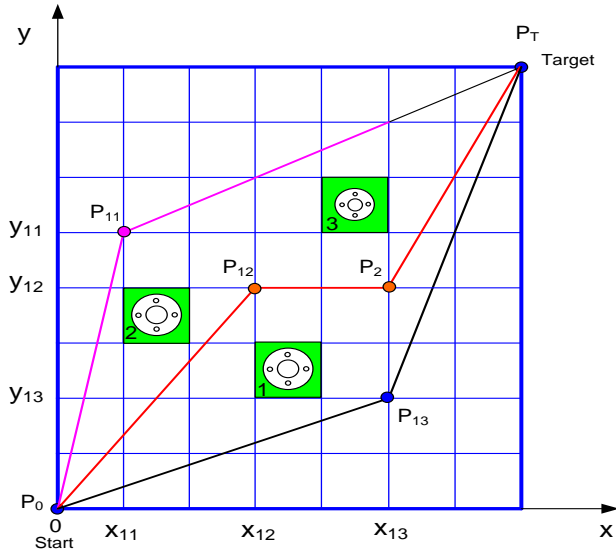


Figure 3.2: The robot option moves to avoid obstacles

We call the coordinates of the points of two adjacent points $P_i(x_i, y_i)$ and $P_{i+1}(x_{i+1}, y_{i+1})$, the S_i distance of these two adjacent points is calculated by the following formula:

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

So the total length of the robot's distance to move will be:

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

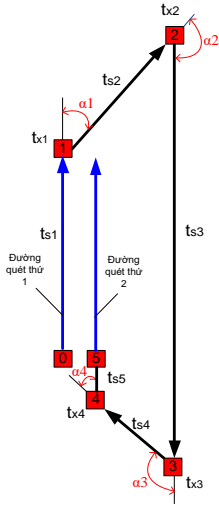
So, the objective function of the problem will be: $y = f(x) = S \rightarrow \min$

3.2 Introducing the plan to move

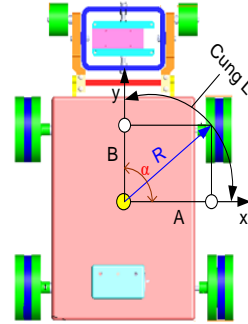
3.3 The problem of finding move time

The general shortest path problem can be described:

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



a) One scan cycle



b) Robot rotates an angle α

Figure 5.6: Time for 1 scan cycle

Calling the coordinates of the points of two adjacent points $p_i(x_i, y_i)$ and $p_{i+1}(x_{i+1}, y_{i+1})$, the distance s_i of these two adjacent points is calculated by the following formula:

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

So the total length of the robot's distance to move in 1 scanning cycle will be:

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

The rotation angle α_i is a multiple of the basic rotation angle (α_{cb}) of the robot (valid according to the design characteristics of the robot), that is:

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

Where: α_{cb} : basic rotation angle; a: constant, $a \in \mathbb{N}$

- The rotation time t_x of the robot at any angle α_i (without moving) will be:

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

The total move time of the robot for one move cycle is calculated by the formula:

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

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

3.4 PSO algorithm

The objective function $y = f(X)$ that the robot moves for 1 cycle is defined as:

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

Thus, the problem model for the robot to move with the shortest time is determined as follows:

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

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

$$(3) \quad a = 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7; \alpha_{cb} = 45^0$$

3.4.1 PSO algorithm

The steps of PSO [24], [41, 44] are as follows:

- Step 1: Set the initial variable values: w_{\min} , w_{\max} , c_1 and c_2 of PSO algorithm.

- Step 2: Initialize a population of node points for position X, velocity V.

- Step 3: Set the number of iterations $k = 1$

- Step 4: Calculate the suitable particles $F_i^k = f(X_i^k)$, "i and find the particle with the best index b.

- Step 5: Select $Pbest_i^k = X_i^k$, "i và $Gbest^k = X_b^k$

- Step 6: Determine $w = w_{\max} - k' (w_{\max} - w_{\min}) / Maxite$

- Step 7: Update the velocity and position of the particles

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

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

- Step 8: Evaluating fitness $F_i^{k+1} = f(\mathbf{X}_i^{k+1})$, " i and finding the index of the best particle b_1
- Step 9: Update P_{best} of the population " i
 - If $F_i^{k+1} < F_i^k$ then $Pbest_i^{k+1} = X_i^{k+1}$ else $Pbest_i^{k+1} = Pbest_i^k$
- Step 10: Cập nhật $Gbest$ trong quần thể
 - If $F_{b_1}^{k+1} < F_b^k$ then $Gbest^{k+1} = Pbest_{b_1}^{k+1}$ and $b = b_1$ else $Gbest^{k+1} = Gbest^k$
- Step 11: If $k < Maxite$ then $k = k + 1$ and go to step 6 else go to step 12.
- Step 12 : Print optimum solution as $Gbest^k$

3.4.2 Mô phỏng thuật toán PSO

Based on the results in Table 3.2, it shows that the best objective function values have the values $N = 250$, $f(x) = 2.0080e+04$; Convergence curves for different populations are shown in Figure 3.9.

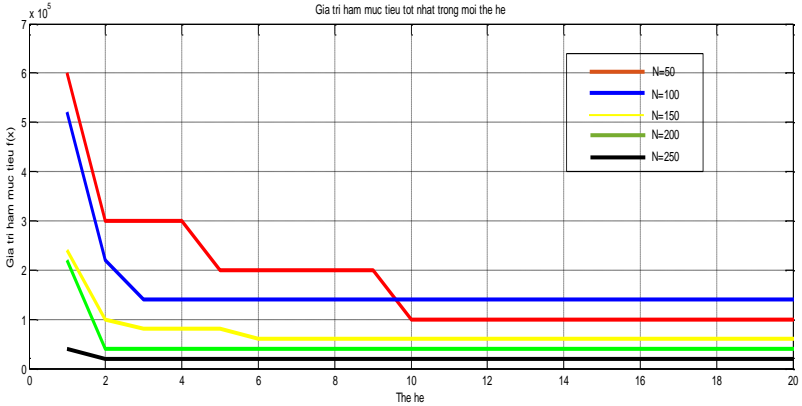


Figure 3.9: Average convergence curve [45]

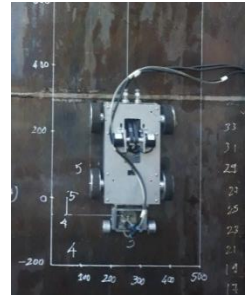
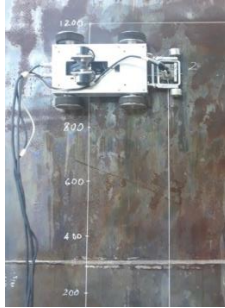
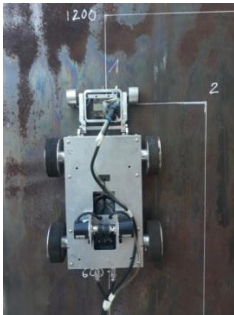
The simulation results show that the path is not smooth (smooth) due to the influence of the coefficient a , the shortest path will have many different values and are presented in Figures 3.10, 3.11, 3.12.

3.4.5 Proposing scanning options based on PSO results

Based on the simulation results of the PSO optimization algorithm, with the determined parameters w , c_1 , c_2 , population size N , coefficient $a = 1$, 2, the objective function gives the most optimal results. The proposed optimal scanning plan is presented in Figure 3.11.

3.4.6 Testing the robot according to the movement plan found

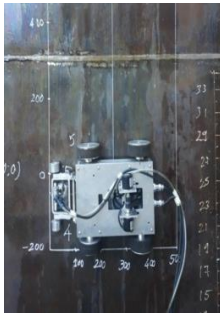
For the test to have good reliability, the experimental work was conducted 3 times with the number of iterations of 3.



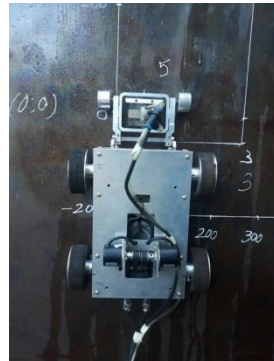
a) Robot moves from 0-1

b) Robot moves from 1-2

c) Robot moves from 2-3



d) Robot moves from 3-4



e) Robot moves from 4-5

Figure 3.12: Robot moves according to the PSO algorithm [45]

Table 3.3: Results of testing the robot running on the actual model.

Experiment		f(x) simulation	Actual move time (s)
No.	times		
1	1	115.94	116.54
	2	115.94	117.96
	3	115.94	118.98
2	1	115.94	117.98
	2	115.94	117.98
	3	115.94	118.94
3	1	115.94	116.84
	2	115.94	118.77
	3	115.94	118.00
Average		115.94	118.00 ÷ 1.86

Based on the data table (table 3.3), we can see that the deviation of the average move time through 3 iterations compared with the simulation time by the PSO algorithm is 0.217 %.

Thus, experimentally testing the reliability when the robot moves according to the proposed PSO algorithm for one cycle on the experimental model shows that the position deviation, the moving time is low.

CHAPTER 4
RESEARCH ON BUILDING THE PROBLEM OF CORROSION
IMAGE MERGING

6.1 Research on building corrosion map

The process of creating a corrosion map is shown in Figure 6.1.

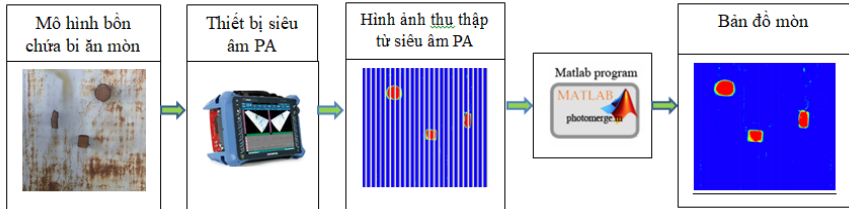


Figure 4.1: Description of the corrosion map generation system

The corrosion map built on the basis of matching and merging the corrosion images of adjacent scan lines will have two forms:

- Without overlapping adjacent image: the following images are contiguously contiguous, that is, at the junction position and see 2 similar adjacent images.
- Overlapping adjacent image: the following image is superimposed on the previous image, that is, in the position of joining the left adjacent of the $(i + 1)$ image, it will overlap the right adjacent of the (i) the image.

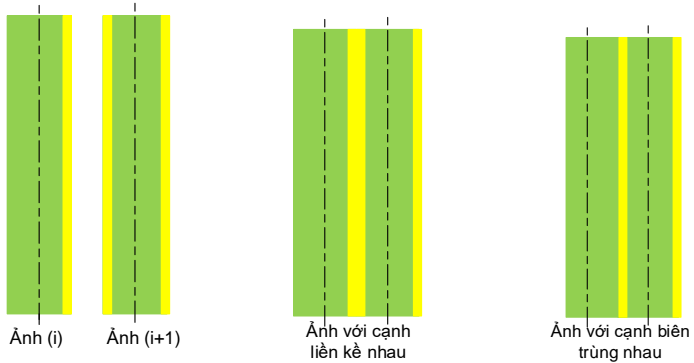


Figure 4.7: Merging image without and with overlapping adjacent [47]

With the above analyzed studies, the image merging algorithm is

presented as follows [51, 52]:

- Step 1: Initialize the input image matrix from the image data collected during the ultrasound on the tank model.
- Step 2: Select the first image in the image matrix.
- Step 3: Choose $i = 1$ to $n - 1$
- Step 4: Select the $i+1^{\text{th}}$ image in the image range for matching
- Step 5: Match the i^{th} left edge of the image with the $i+1^{\text{th}}$ right edge, each of which coincides within 5mm.
- Step 6: If they match, then combine the images i and $i+1$, if they don't match, then re-match the edge of the image with another image.
- Step 7: If $i < n$, save and export the Binary image.
- Step 8: Export the result of RGB image merging.
- Step 9: Analyze corrosion map parameters: location, depth and area of corrosion and finish the image merging process.

Some main functions of the image stitching program to be built are proposed as follows [59, 60, 61]:

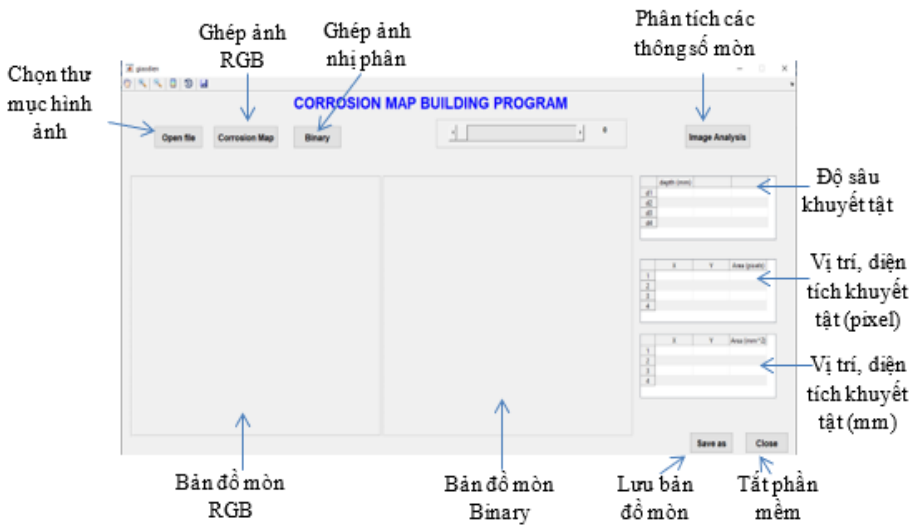
- *Select folder (open files)*: allows you to select the drive (including external drive), select the folder containing the images to be processed.
- *Perform image fusion (Corrosion map)*: perform the merging of images in the selected folder to build RGB color image trail map and Binary binary image merging map.
- *Color scale*: used to compare the color with the remaining thickness of the material or the depth of the corrosion defect.
- *Perform image analysis*: perform corrosion map analysis with values such as position, depth and defect area. The parameters of the image analysis are described in Table 4.1.

Table 4.1: Parameters of defect location, area, and depth of defect

Defect	x1	y1	x2	y2	Area (Pixel ²)	Area (mm ²)	Depth max. (mm)
1							
2							
...							

The image merging software interface must have all the parameters for image merging such as: a function button on the drive containing the collected images, a function button for merging images, analyzing images and parameters of coordinates x, y of the corrosion indicator positions, the area of the corroded areas and the maximum depth of corrosion defects. Functions, display area of RGB, Binary corrosion map and corrosion parameters according to the interface of the software are described as figure 4.9 (Code Matlab in Appendix 3).

- Proposed software interface (Code Matlab in Appendix 4)



Hình 6.9: giao diện phần mềm ghép ảnh

CHAPTER 5

EXPERIMENTAL RESEARCH FOR MEASUREMENT AND BUILD TO CORROSION MAP

5.1 Design and fabricate tank model

5.1.1 Design tank model

To serve the research and testing process of the robot movement, the work that tests the corrosion assessment by ultrasonic PA requires only a small part of the structure of the tank made according to API 650 standard [28].

5.1.2 Fabricate tank model



Figure 5.2: Finished tank model

5.2. Experimental corrosion test

5.2.1 Prepare tank model

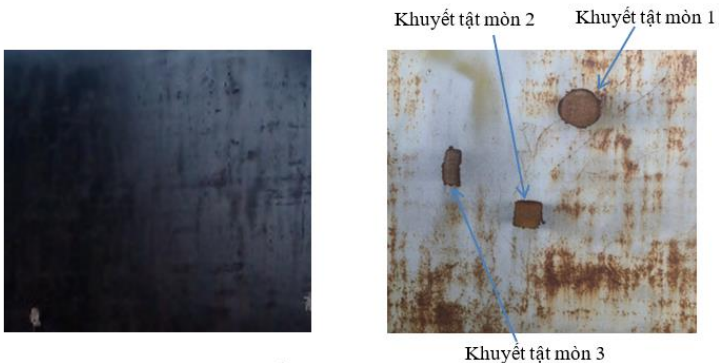


Figure 5.11: Corrosion defects on tank model

5.2.3 Instrument Calibration

a) Calibration of the OmniScan MX2 ultrasonic

b) Calibration of robot carrying ultrasonic probe

5.2.4 Scanning plan on tank model

5.2.5 Corrosion test

5.3 Experimental of the corrosion map

5.3.1 Building corrosion map

Using the software and performing a 6-step sequence of image merging with 30 C-Scan corrosion images collected from the 1st scan to create a corrosion map, the software resulted in a composite image of a color corrosion map RGB and a binary corrosion map and analysis of corrosion defect parameters.

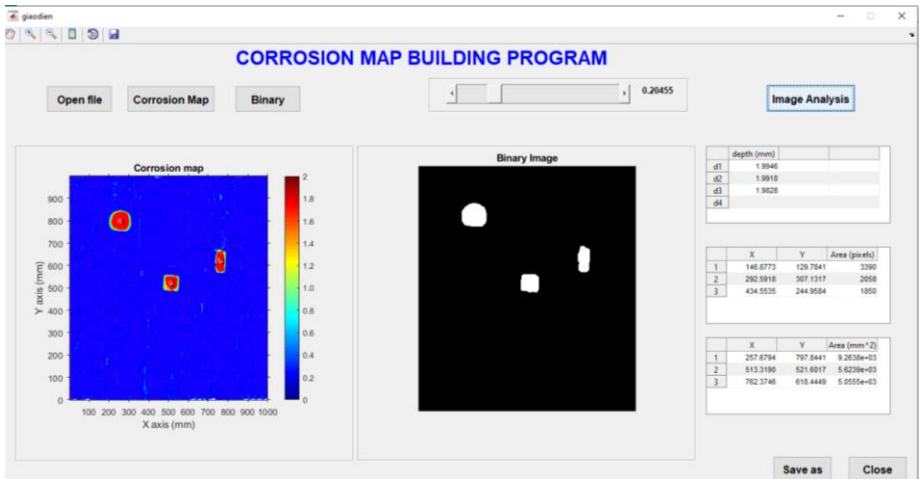


Figure 5.19: Corrosion map

5.3.2 Results and discussion

Through 5 times of experiment for the robot to test and evaluate the corrosion on the tank model, compare the experimental scanning time on the tank model with the simulation time according to the PSO algorithm. Table 5.1 shows the move time of the robot for each experiment along with the mean value and 95% confidence interval of the measurement, 95% confidence

interval $\Delta\sigma$ defined as 1.96 times standard deviation σ .

Table 5.1: Average time for 5 scans

Number of experiments	Move time for each scan(s)
1	3496.24
2	3538.86
3	3507.35
4	3538.37
5	3538.90
Average	3523.94 ± 25.56

Based on Table 5.1, we can see that the average move time for 5 times of experiment has a standard deviation of ± 25.56 (s).

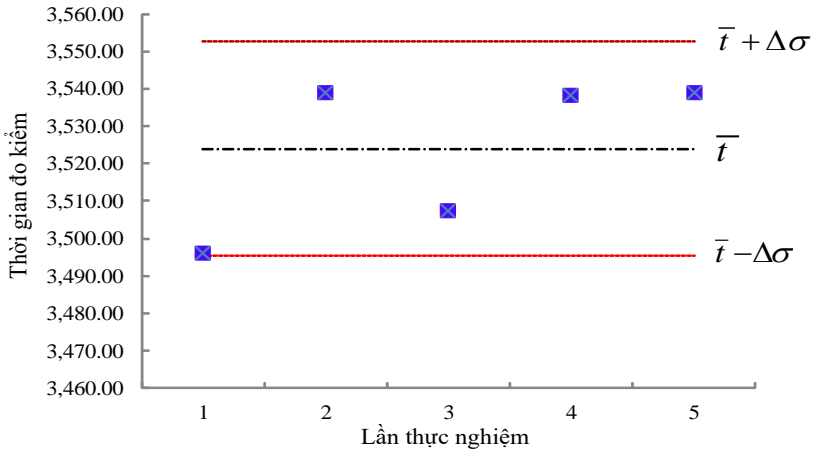


Figure 5.20: Scanning time over 5 experiments

Table 5.2: Location of corrosion points

No. of Scans	Location (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
Average	257.737 ± 0.19	797.8947 ± 0.25	513.1857 ± 0.14	521.5823 ± 0.04	762.3247 ± 0.43	618.3505 ± 0.96

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

No. of Scans	Location	Depth (mm)			Area (mm ²)		
		d ₁	d ₂	d ₃	s ₁	s ₂	s ₃
1	(x ₁ , y ₁)	1.9946	1.9918	1.9828	9263.8	5623.9	5055.5
2	(x ₂ , y ₂)	1.8603	1.9927	1.8875	9323.9	5640.3	4880.6
3	(x ₃ , y ₃)	1.8975	1.9782	1.9057	9206.4	5623.9	5101.9
4	(x ₄ , y ₄)	1.8939	1.9782	1.9039	9064.3	5522.8	4965.3
5	(x ₅ , y ₅)	1.8150	1.8667	1.8803	9176.4	5522.8	5096.5
Average		1.8923 ± 0.06	1.9615 ± 0.05	1.9120 ± 0.04	9207.0 ± 87.40	5586.7 ± 52.55	5020.0 ± 85.14

Based on tables 5.2 and 5.3 are the results of analysis of corrosion map values showing values such as position error, depth, area of corrosion defect corresponding to each experiment along with the average value and 95% confidence interval of the measurement, 95% confidence interval $\Delta\sigma$ defined as 1.96 times the standard deviation σ . Measurement results are analyzed at standard deviations from Figure 5.21 to 5.24.

- Coordinate position of corrosion defect 1(x₁, y₁); 2(x₂, y₂), 3(x₃, y₃):

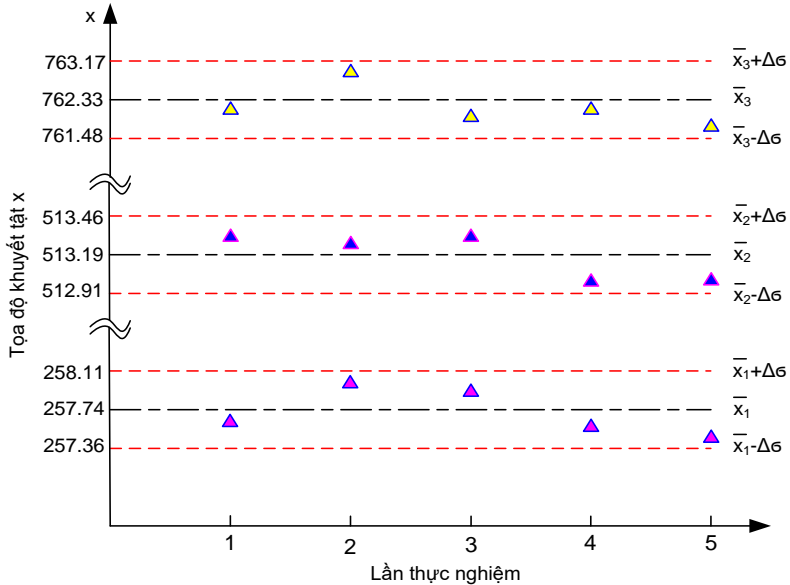


Figure 5.21: Location of coordinates x_1 , x_2 , x_3 for 5 times of experiment.

The figure 65.201 shows that the coordinates of defects x_1 , x_2 , x_3 for 5 times of experiment are within 95% of the allowed confidence interval of coordinate x_1 which is $\bar{x}_1 \pm 1.96\sigma$, coordinate x_2 is $\bar{x}_2 \pm 1.96\sigma$, the coordinate x_3 is $\bar{x}_3 \pm 1.96\sigma$, namely x_1 is in the range (257.36, 258.11), x_2 is in the range (512.91, 513.46) and x_3 is in the range (761.48, 763.17). Thus, with the experimental results obtained values of position index x_1 , x_2 , x_3 analyzed from the image merging software, these values have high reliability and can be applied to the tank actual fuel tank manufacturing enterprises and it is necessary to further calculate the actual conditions affecting the actual tank from the outside environment.

- Depth of corrosion defects d_1 , d_2 , d_3 :

Figure 5.23 shows that the depth of corrosion defects d_1 , d_2 , d_3 through 5 times of experiment are all within the limit of 95%, the allowable confidence interval of the defect depth d_1 is $\bar{d}_1 \pm 1.96\sigma$, the defect depth d_2 is $\bar{d}_2 \pm 1.96\sigma$, the defect depth d_3 là $\bar{d}_3 \pm 1.96\sigma$, especially d_1 is in the

range [2.010, 1.775], d_2 is in the range [2.060, 1.864] and d_3 is in the range [1,990, 1.834].

- Diện tích khuyết tật s_1, s_2, s_3 :

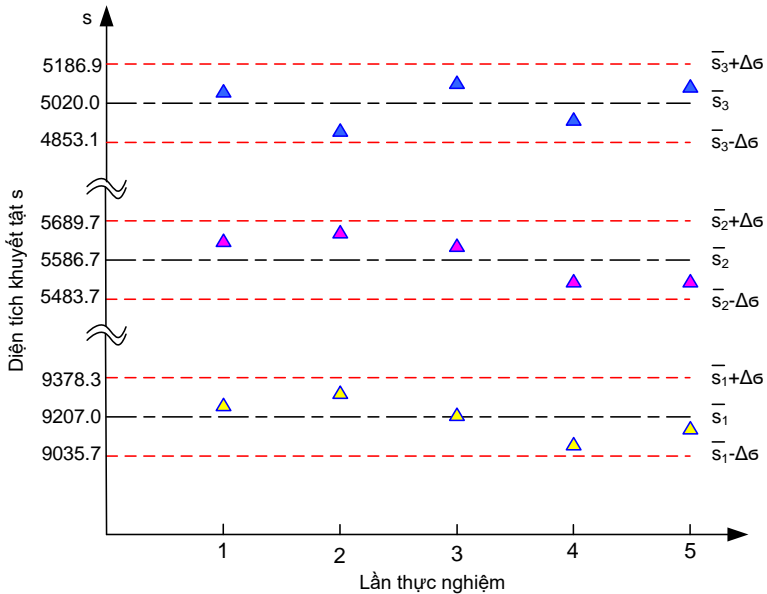


Figure 5.24: Area of defects s_1, s_1, s_1 for 5 times of experiment

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.

The figure 5.24 shows that the corrosion defect area s_1, s_2, s_3 through 5 times of experiment are all within the 95% limit of the allowable

confidence interval of the defect depth d_1 which is $\bar{s}_1 \pm 1.96\sigma$, the defect depth. defect s_2 is $\bar{s}_2 \pm 1.96\sigma$, defect depth s_3 is $\bar{s}_3 \pm 1.96\sigma$ namely s_1 is in the range [9378.3, 9035.7], s_2 is in the range [5689.7, 5483.7] and s_3 is in the range [9378.3, 9035.7] range [5186.9, 4853.1]. Thus, with the experimental results obtained the values of the depth index s_1, s_2, s_3 analyzed from the image merging software, showing that these values have high reliability and can be applied to the tank actual fuel tank manufacturing enterprises and it is necessary to further calculate the actual conditions affecting the actual tank from the outside environment.

5.3.3 Compare the results with the manual corrosion test

The manual testing process is performed by test technicians of Vietnam Inspection Solution Company (VISCO NDT). The process of ultrasonic PA corrosion measurement is similar to that of a robot, but the difference is that the PA ultrasonic probe, which is held by hand, scans vertically and moves directly on the tank model. The process of measuring and collecting corrosion images is as shown in Figure 5.25.

Table 5.4: Comparison of measurement results

Defect	Average measurement results by robot				Result of direct measurement by hand		
	\bar{x} (mm)	\bar{y} (mm)	\bar{s} (mm ²)	\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

Based on table 5.4 comparing the results of manual and robot measurements, it is possible to describe and compare the parameters through the graphs in Figures 5.27, 5.28 and 5.29.

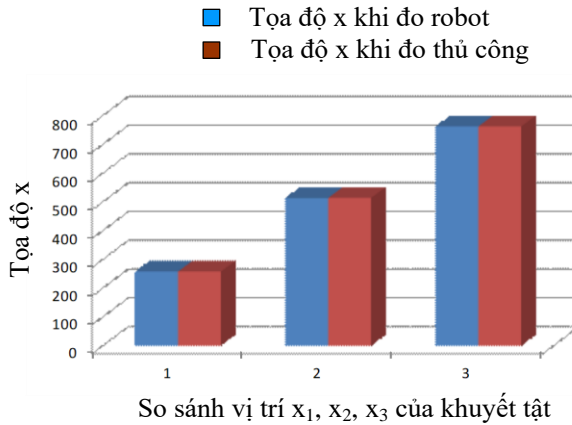


Figure 5.27: Comparison of x-coordinates of defects when measured by robot and manually

Based on table 5.4 and figure 5.27, we can see that the x coordinate values when measured by robot and manually have equal values. The above results prove that the C-Scan image acquisition test robot has high accuracy and the image merging software also analyzes the values of corrosion parameters in accordance with the test technology on manual measuring equipment.

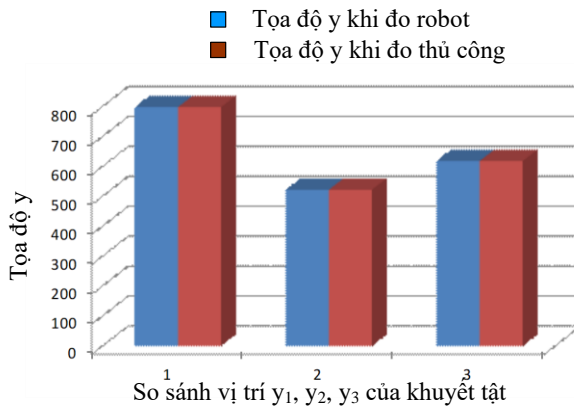


Figure 5.28: Comparison of y-coordinates of defects when measured by robot and manually

Based on table 5.4 and figure 5.29, we can see that the y coordinate values when measured by robot and manually have equal values. The above results prove that the C-Scan image acquisition test robot has high accuracy and the image merging software also analyzes the values of corrosion parameters in accordance with the test technology on manual measuring equipment.

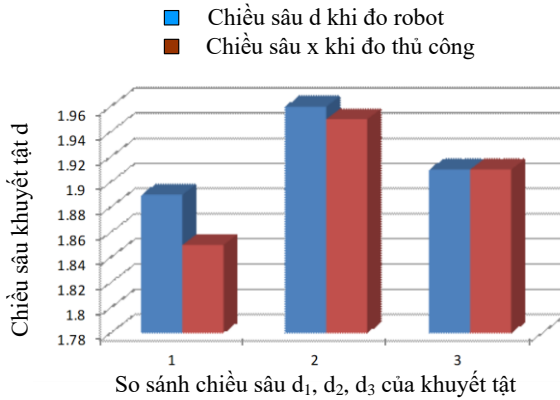


Figure 5.29: Comparison of depth d of defects when measured by robot and manually

Based on table 5.4 and figure 5.29, we can see that the value of corrosion defect depth d when measured by robot and manually has the same value or has a very small deviation from 0.01 to 0.04 mm. The above results prove that the C-Scan image test by robot has high accuracy and the image compositing software also analyzes the values of corrosion parameters in accordance with the test technology on manual measuring equipment.

CONCLUSIONS AND RECOMMENDATIONS

1. Conclusions

The thesis presents the results of research on solutions to measure the corrosion of fuel tanks with a capacity from 10,000 m³ and over by the phased Array Ultrasonic Testing. The main contributions of the thesis are summarized as follows:

- Proposing an experimental procedure for measuring corrosion using phase Array ultrasonic testing (PAUT) technique using a robot carrying a certified PA probe to measure the corrosion of fuel tanks. The latest corrosion measurement method now uses C-Scan color images for corrosion mapping.

- Building a mathematical model to determine the shortest move distance on the basis of the PSO algorithm, in accordance with the technical requirements of the self made PA probe carrying robot. Through simulation Matlab determined the test plan of the robot in accordance with the experimental PA ultrasonic testing method on a fuel petrol tank model.

- Determining and analyzing C-Scan corrosion edge parameters and edge merging technique of adjacent corrosion images in order to serve the construction of corrosion image matching problem on the basis of image processing applied software Matlab software.

- Determine the corrosion parameters: area, depth, location based on the corrosion mapping program with the proposed image compositing algorithm, simulated, analyzed and calculated on Matlab software.

2. Recommendations

In the scope of the thesis, the author has not exploited the full potential, so it should be researched and developed as follows:

- Continue to conduct research and test on tanks with a real size of over 10,000 m³, in conjunction with testing enterprises to implement different measurement plans in order to fully evaluate the capabilities of the project.

- Continue to develop image merging software, create an overall corrosion map with a larger size.

LIST OF PUBLICATIONS RESEARCH

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. **To Thanh Tuan,** Dang Thien Ngon, Nguyen Duy Anh, “The study of proposal structure and control robot with ultrasonic probe for testing storage oil tank”, National conference on machines and mechanisms 2015 (NCOMM 2015) Ho Chi Minh, VN, pp. 220-231, 2015.
5. **To Thanh Tuan,** Dang Thien Ngon, Le Chi Cuong “A study on building corrosion map basing on the corrosion images collected by phase array ultrasonic testing technique ”, ISSN 2615-9910, Vietnam Mechanical Magazine, No. 12 /2020, pp.113-122, 2020.