

**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

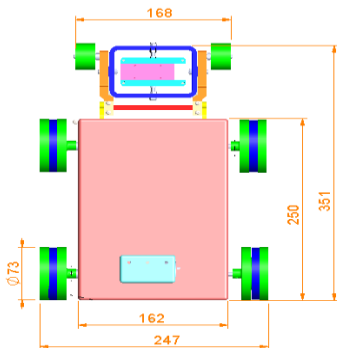
#### 2.1 Nghiên cứu thiết kế và chế tạo robot mang đầu dò siêu âm PA

##### 2.1.1 Yêu cầu kỹ thuật của robot

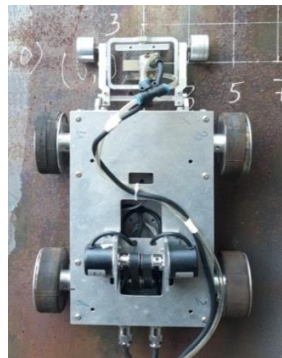
Để có thể mang đầu dò siêu âm thực hiện việc đo kiểm, đánh giá độ mòn, vật liệu chế tạo bồn chứa là thép, thiết bị tự hành (robot) cần đạt được các yêu cầu sau [27]:

- 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

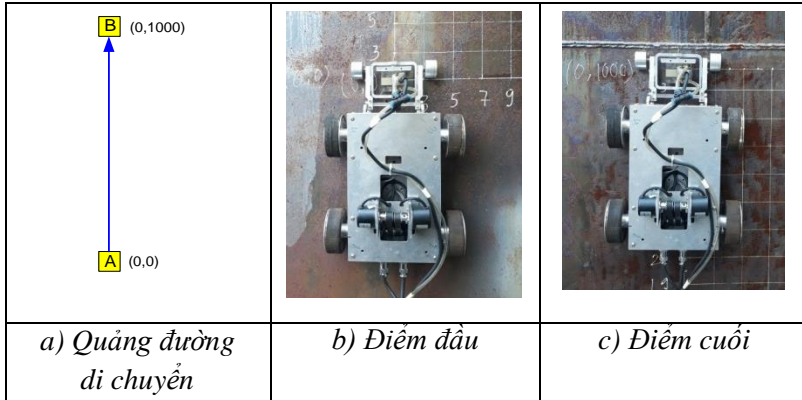
**Hình 2.5:** Định vị robot bằng cảm biến siêu âm SRF05



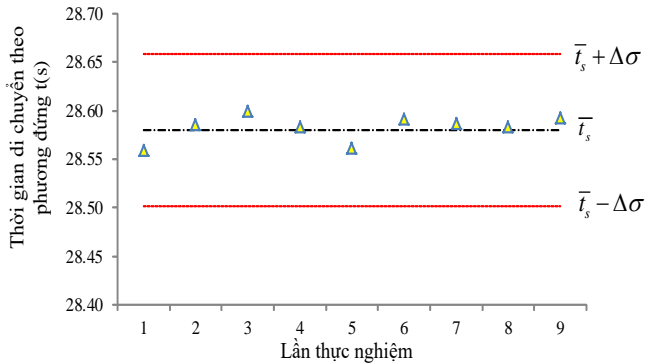
## 2.1.4 Kiểm nghiệm độ tin cậy robot

### 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

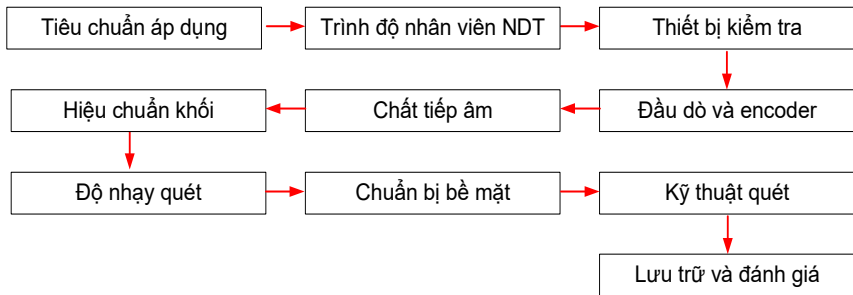
### 2.3.10 Kỹ thuật quét

### 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.

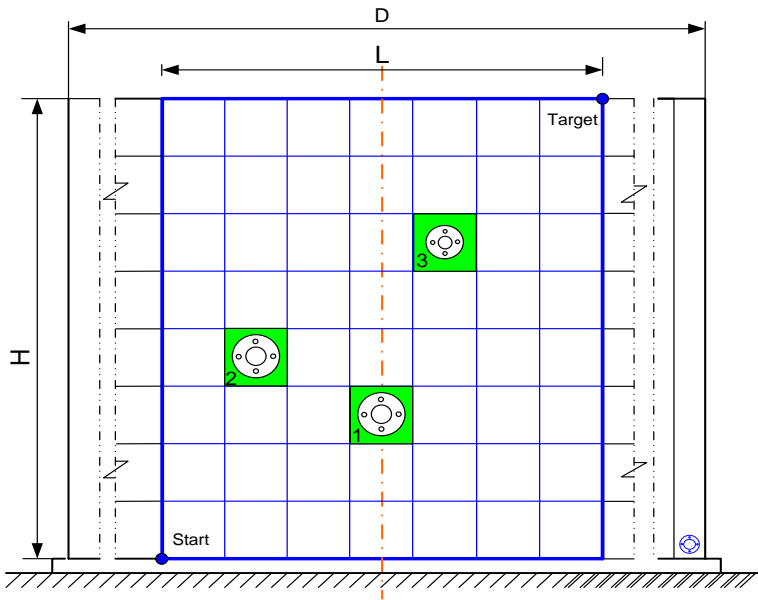


**Hình 2.27:** Các bước thực hiện theo quy trình đo kiểm đã được phê chuẩn

# CHƯƠNG 3: MÔ HÌNH TOÁN QUẢNG ĐƯỜNG ĐI CHUYỂN NGẮN NHẤT

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

Bài toán tối ưu tìm quãng đường đi chuyển ngắn nhất hoặc thời gian đi 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

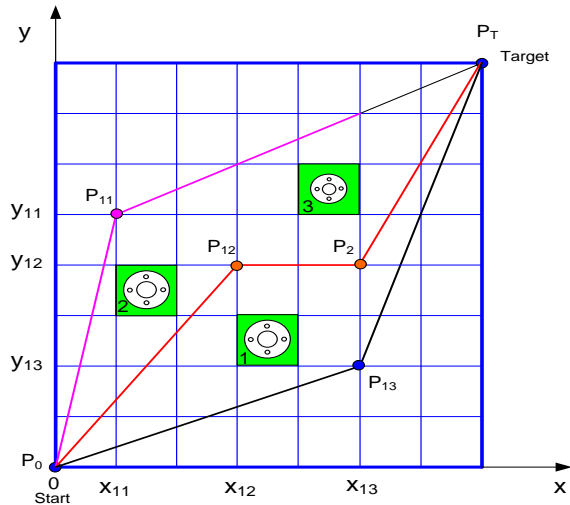
Hàm mục tiêu của bài toán:  $y = f(x) \rightarrow \min$

Khi robot đi 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 đi chuyển ngắn nhất (shortest path), bằng phẳng (smoothness path) và an toàn (safety path) có 3 trường hợp xảy ra:

Trường hợp 1: Robot đi chuyển từ P0 – P11 – PT

Trường hợp 2: Robot di chuyển từ P<sub>0</sub> – P<sub>12</sub> – P<sub>2</sub> – P<sub>T</sub>

Trường hợp 3: Robot di chuyển từ P<sub>0</sub> – P<sub>13</sub> – P<sub>T</sub>



**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:

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

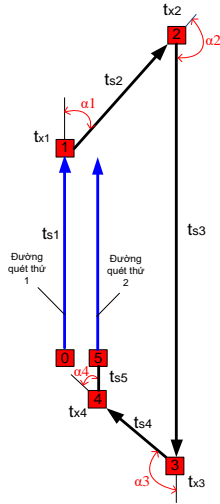
Vậy, Hàm mục tiêu của bài toán sẽ là:  $y = f(x) = S \rightarrow \min$

### 3.2 Giới thiệu các phương án di chuyển

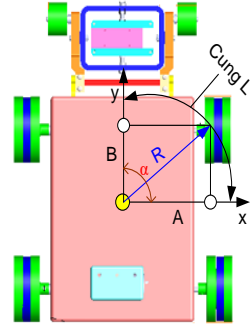
### 3.3 Bài toán tìm thời gian di chuyển

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  $\alpha$

**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  $\alpha_i$  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,  $a \in \mathbb{N}$

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

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

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

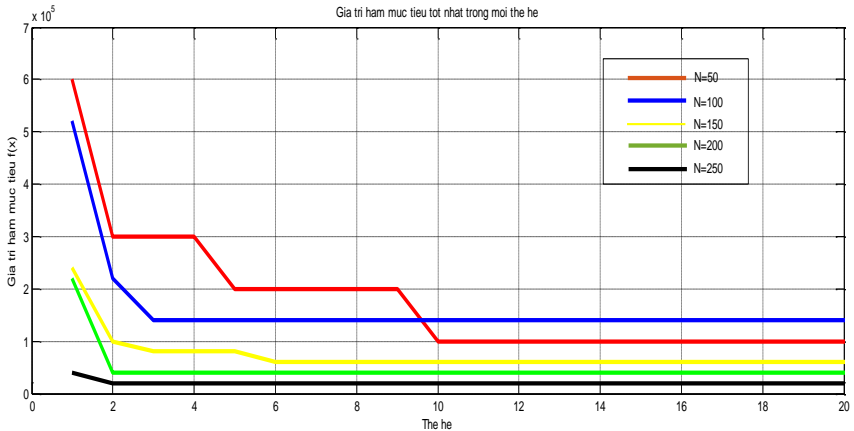
Nếu  $F_{b_1}^{k+1} < F_b^k$  thì  $Gbest^{k+1} = Pbest_{b_1}^{k+1}$  và  $b = b_1$  ngược lại  
 $Gbest^{k+1} = Gbest^k$

- 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



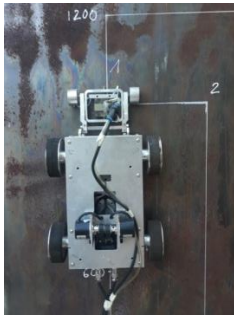
được trình bày ở hình 3.10, 3.11, 3.12.

### 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.

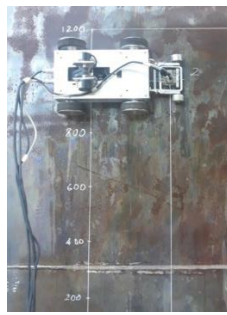
### 3.4.6 Thử nghiệm robot theo phương án di chuyển tìm được

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



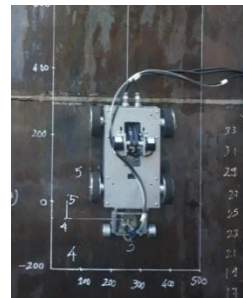
a) Robot di chuyển từ

0-1



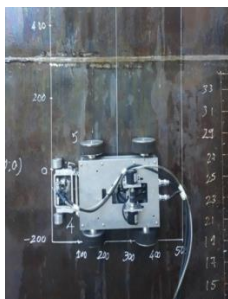
b) Robot di chuyển từ

1-2

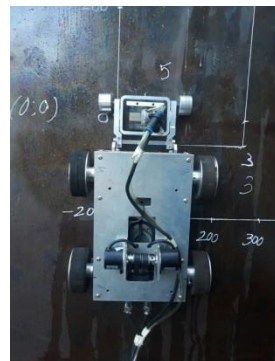


c) Robot di chuyển từ

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
<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 %.

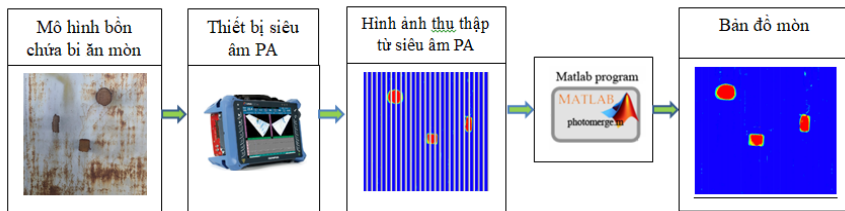
Như vậy, qua thực nghiệm kiểm nghiệm độ tin cậy khi robot di chuyển theo phương án của thuật toán PSO đã được đề xuất cho một chu kỳ trên mô hình thí nghiệm cho thấy độ lệch vị trí, thời gian di chuyển là thấp.

## CHƯƠNG 4

### NGHIÊN CỨU XÂY DỰNG BÀI TOÁN GHEP ẢNH MÒN

#### 6.1 Nghiên cứu xây dựng bản đồ mòn

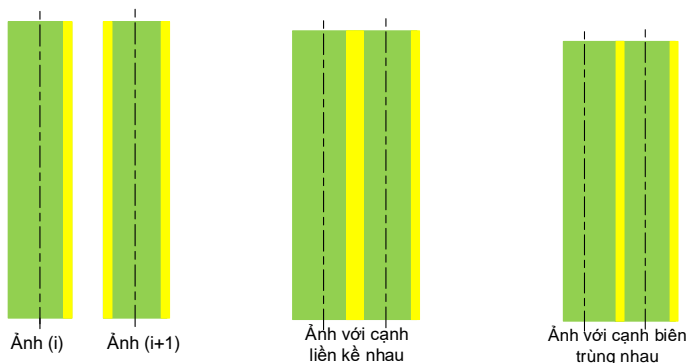
Quá trình tạo dựng bản đồ mòn được mô tả ở hình 6.1.



**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]:

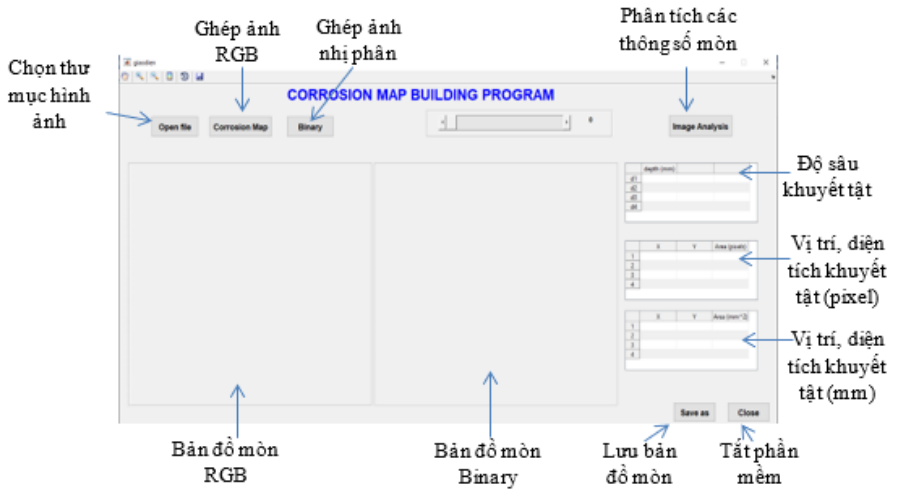
- *Chọn thư mục (open files)*: cho phép lựa chọn ổ đĩa (kể cả external drive), chọn thư mục có chứa ảnh cần thực hiện xử lý ghép ảnh.
- *Thực hiện ghép ảnh (Corrosion map)*: thực hiện ghép các ảnh trong thư mục vừa chọn nhằm xây dựng bản đồ mòn ảnh màu RGB và bản đồ mòn ảnh nhị phân Binary.
- *Thang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

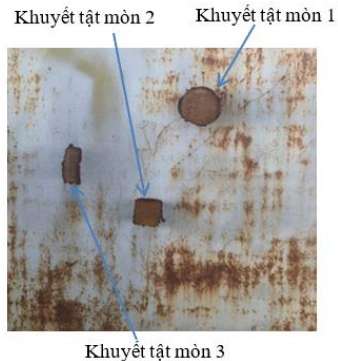
#### 5.1.2 Chế tạo mô hình bồn chứa



**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

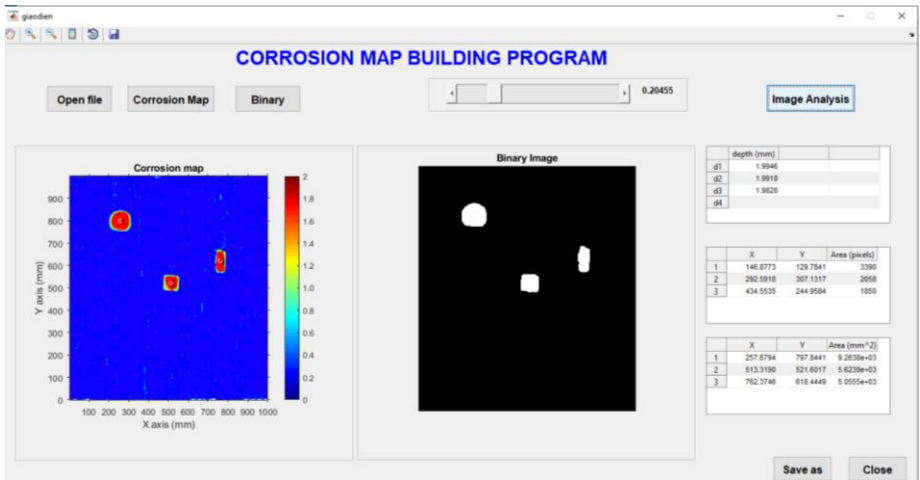
### 5.2.4 Phương án quét trên mô hình bồn chứa

### 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

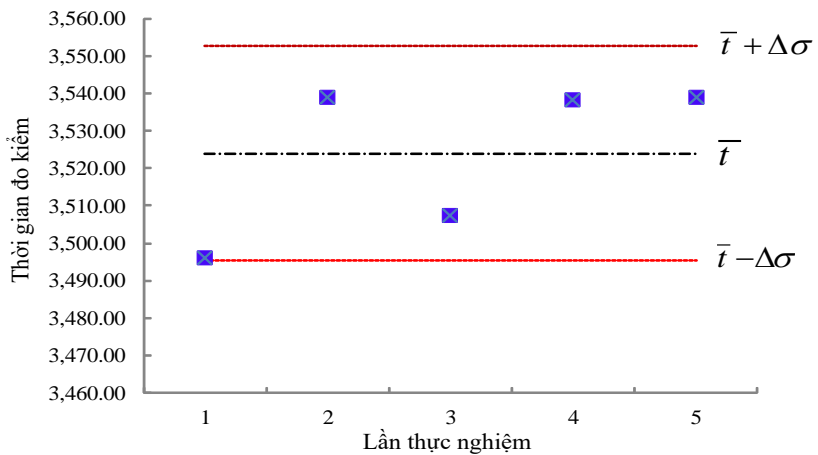
### 5.3.2 Kết quả và thảo luận

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  $\sigma$ .

**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
<b>Trung bình</b>	<b>3523.94 ± 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

**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



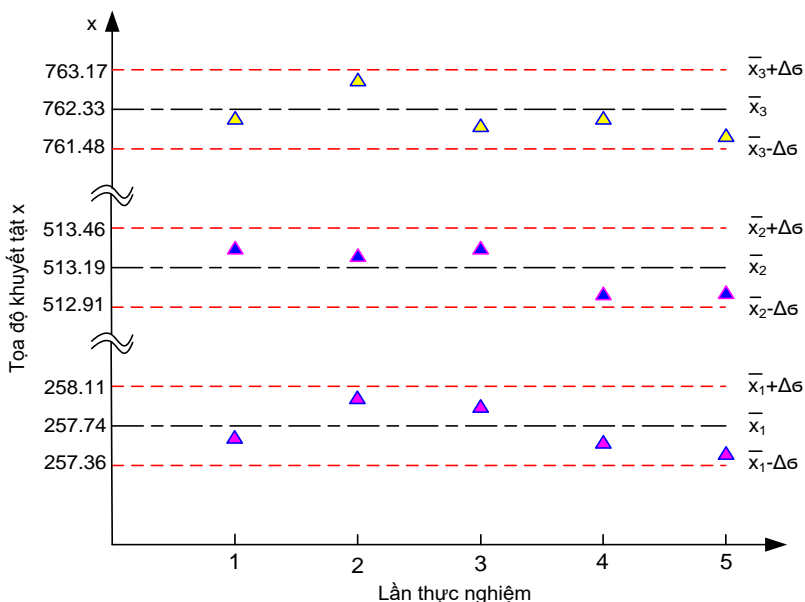
3	257.9322	798.0811	513.3190	521.6017	762.1562	618.4593
4	257.6075	797.7989	513.0116	521.6026	762.2638	618.0526
5	257.4830	798.2314	513.0116	521.6026	761.7478	619.6228
<b>Trung bình</b>	<b>257.737</b> <b>± 0.19</b>	<b>797.8947</b> <b>± 0.25</b>	<b>513.1857</b> <b>± 0.14</b>	<b>521.5823</b> <b>± 0.04</b>	<b>762.3247</b> <b>± 0.43</b>	<b>618.3505</b> <b>± 0.96</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> )		
		d <sub>1</sub>	d <sub>2</sub>	d <sub>3</sub>	s <sub>1</sub>	s <sub>2</sub>	s <sub>3</sub>
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>± 0.06</b>	<b>1.9615</b> <b>± 0.05</b>	<b>1.9120</b> <b>± 0.04</b>	<b>9207.0</b> <b>± 87.40</b>	<b>5586.7</b> <b>± 52.55</b>	<b>5020.0</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 độ thi sai lệch chuẩn từ hình 5.21 đến 5.24.

- Vị trí tọa độ 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>):



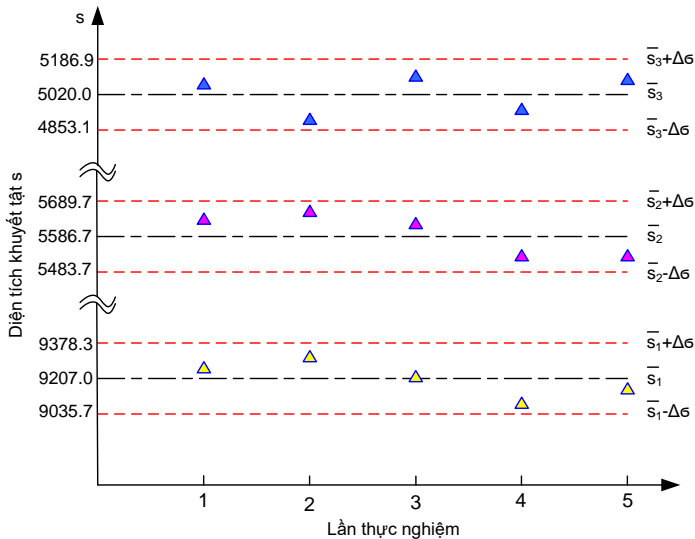
**Hình 5.21:** Vị trí tọa độ  $x_1, x_2, x_3$  qua 5 lần thực nghiệm

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, 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.

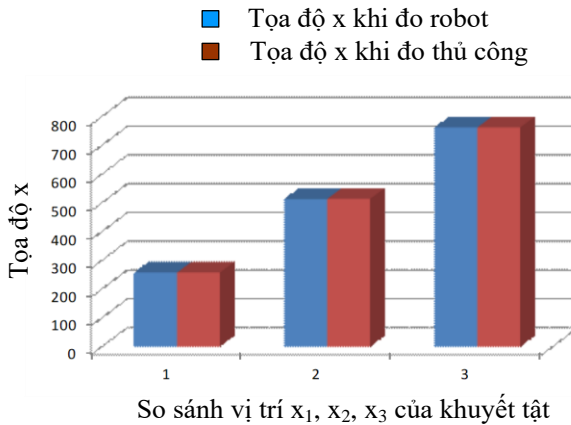
### 5.3.3 So sánh kết quả với thực nghiệm đo độ mòn bằng tay

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

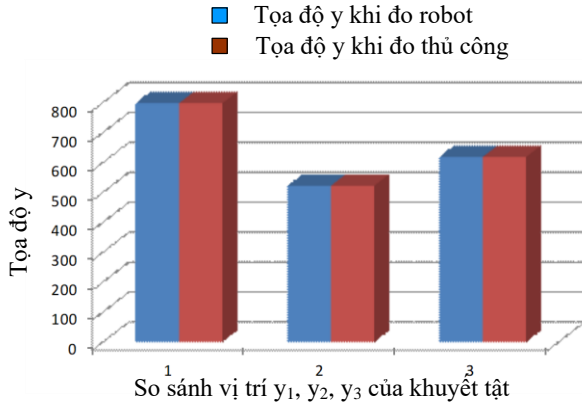
Defect	Kết quả đo trung bình bằng robot				Kết quả đo trực tiếp bằng tay		
	$\bar{x}$ (mm)	$\bar{y}$ (mm)	$\bar{s}$ (mm <sup>2</sup> )	$\bar{d}$ (mm)	x (mm)	y (mm)	d (mm)
1	257.74	797.89	9207.0	1.89	257.62	797.85	1.85
2	513.19	521.58	5586.7	1.96	513.55	521.87	1.95
3	762.32	618.35	5020.0	1.91	762.22	617.80	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 5.27, 5.28 và 5.29.



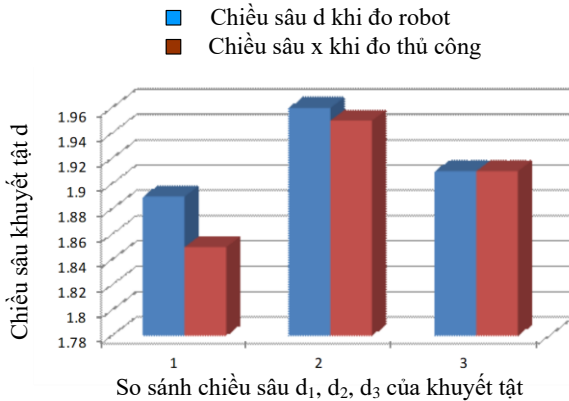
**Hình 5.27:** So sánh tọa độ x của khuyết tật khi đo bằng robot và thủ công

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 m<sup>3</sup> 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 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.

## 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.