

# ĐỊNH VỊ ROBOT TỰ HÀNH ỨNG DỤNG GIẢI THUẬT TIẾN HÓA VI PHÂN THÍCH NGHI NGÃU NHIÊN

## MOBILE ROBOT LOCALIZATION USING HYBRID RANDOM ADAPTIVE DIFFERENTIAL EVOLUTION ALGORITHM

Tào Ngọc Linh\*, Nguyễn Thành Nhân

Trường Cơ khí, Đại học Bách Khoa Hà Nội

### TÓM TẮT

*Nghiên cứu hướng tới bài toán định vị robot tự hành trong tình huống robot chưa xác định vị trí xuất phát, chỉ với 2D Lidar là tín hiệu duy nhất và bản đồ của khu vực đã biết trước. Để giải quyết bài toán định vị, thuật toán tiến hóa vi phân thích nghi cải tiến (ISADE) được cải tiến và thêm vào cá thể bất kỳ không phụ thuộc hàm mục tiêu vào quần thể thế hệ sau. Bằng cách này, phạm vi tìm kiếm có thể được mở rộng. Bài báo cũng đề xuất việc cải tiến hàm mục tiêu để tối ưu hóa độ chính xác của thuật toán.*

**Từ khóa:** Robot tự hành; Định vị robot tự hành; 2D LiDar; Giải thuật tìm kiếm; Tiến hóa vi phân.

### ABSTRACT

*The research focuses on the localization problem on autonomous robots without starting position information, with only 2D Lidar as the only signal and a map of the known area. To solve the problem, the Improved Adaptive Differential Evolution algorithm (ISADE) is improved by adding random elements which are independent of the objective function into the next generation population. In this way, the search scope can be expanded. The article also proposes a novel objective function to optimize the accuracy of the algorithm.*

**Keywords:** Mobile robot; Mobile robot localization; 2D LiDAR; Search Algorithm; Differential evolution. 

## 1. TỔNG QUAN

Trong lĩnh vực robot tự hành, việc tự định vị là một khả năng cốt lõi để đảm bảo robot có thể điều hướng hiệu quả trong môi trường. Các phương pháp Simultaneous Localization and Mapping (SLAM) [1] và các biến thể của bộ lọc Kalman mở rộng (như Extended Kalman Filter – EKF) [3] đang được nghiên cứu rộng rãi nhưng thường đòi hỏi nhiều thời gian tính toán. Cùng với đó, các kỹ thuật định vị xác suất như Unscented Kalman Filter (UKF) và Grid-based localization [2] cũng được áp dụng trong môi trường robot tự hành.

Nghiên cứu này tập trung vào việc định vị robot trong các tình huống không biết trước vị trí ban đầu của robot. Điều này đặt ra thách thức về việc sử dụng các phương pháp hiệu quả và tiết kiệm thời gian tính toán. Sử dụng giải thuật tiến hóa vi phân cải tiến (ISADE) và phương pháp lựa chọn cá thể theo xác suất là một hướng tiếp cận hứa hẹn để giải quyết vấn đề này.

### 1.1. Giải thuật tiến hóa vi phân (Differential Evolution) – ứng dụng trong định vị robot

Giải thuật tiến hóa vi phân (DE) đã trở thành một công cụ quan trọng trong tính toán dựa trên tiến hóa, đặc biệt trong tối ưu hóa. DE tạo và đánh giá các giải pháp cá thể trong một quần thể, tính toán tương tự như các giải thuật tiến hóa khác. Tuy nhiên, DE sử dụng sự khác biệt giữa các cá thể để tạo ra sự đa dạng và nhiễu trong quần thể, giúp thu thập thông tin về không gian tìm kiếm một cách hiệu quả.

### 1.2. Giải thuật tiến hóa vi phân thích nghi

Biểu diễn các cá thể dưới dạng một véc-tơ  $\vec{X} = [x, y, \theta]^T$ , vị trí ngẫu nhiên của robot. Kết

quả là tìm kiếm véc-tơ tham số  $\vec{X}^*$  để cực tiểu hóa hàm mục tiêu  $f(\vec{X}^*)$ .

$$f : \Omega \subseteq \mathbb{R}^D \mid f(\vec{X}^*) < f(\vec{X}) \forall \vec{X} \in \Omega \quad (1)$$

Trong đó,  $\Omega$  là một tập hữu hạn khác rỗng đóng vai trò là miền tìm kiếm,  $D = 3$ , do đó miền tìm kiếm của bài toán gồm tổ hợp các giá trị  $x, y, \theta$  nằm trong giới hạn về kích thước của bản đồ nơi robot được đặt và cần định vị.

$$\Omega = (x_i, y_i, \theta_i \mid x_{\min} < x_i < x_{\max}, y_{\min} < y_i < y_{\max}, \theta_{\min} < \theta_i < \theta_{\max}) \quad (2)$$

Tiến hành xây dựng thuật toán định vị robot dựa trên giải thuật tiến hóa vi phân có chọn lọc ISADE đã được đề xuất trong [6].

### 1.3. Thay đổi phương pháp lựa chọn cá thể đột biến trong thuật toán tiến hóa vi phân

Phương pháp đề xuất là thêm một xác suất nhất định vào thể hệ tiếp theo để đảm bảo khả năng mở rộng vùng tìm kiếm. Đề xuất giữ 5% các cá thể tốt nhất của mỗi thế hệ tuân theo quy tắc lựa chọn cũ của thuật toán DE.

Mặc dù phương pháp này ảnh hưởng tới xu hướng hội tụ của các cá thể, tuy nhiên, mục tiêu quan trọng hơn là giải quyết vấn đề mắc kẹt trong các biến cục bộ, tạo sự ổn định cho thuật toán hay tối đa tỉ lệ định vị thành công.

Kỹ thuật lựa chọn cá thể được đề xuất như sau:

$$\vec{X}_{i,g+1} = \begin{cases} \vec{U}_{i,g}, & \text{if } \text{rand}[0,1] \leq \text{selection\_coef and } i > NP * 0.05 \\ \vec{U}_{i,g}, & \text{if } \text{rand}[0,1] > \text{selection\_coef and } f(\vec{U}_{i,g}) \leq f(\vec{X}_{i,g}) \quad \forall i \leq NP \\ \vec{X}_{i,g}, & \text{if } \text{rand}[0,1] > \text{selection\_coef and } f(\vec{U}_{i,g}) > f(\vec{X}_{i,g}) \quad \forall i \leq NP \end{cases} \quad (3)$$

Trong đó:

-  $\text{rand}[0,1]$  là một số ngẫu nhiên trong khoảng  $[0,1]$ .

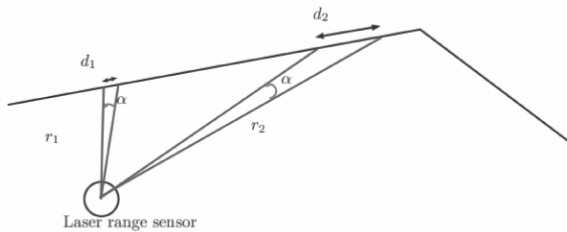
- selection\_coef là xác suất để lựa chọn một cá thể đột biến bất kỳ vào trong thế hệ tiếp theo. Đề xuất đặt mức giá trị là 0.5.

Với các trường hợp  $\text{rand}[0,1] > \text{selection\_coef}$ , quy tắc lựa chọn dựa vào so sánh giá trị hàm mục tiêu vẫn được giữ nguyên để đảm bảo tốc độ và xu hướng hội tụ của quần thể.

## 2. HÀM MỤC TIÊU

Hàm mục tiêu đóng vai trò quan trọng trong việc điều chỉnh tốc độ hội tụ của thuật toán định vị toàn cục.

### 2.1. Ý tưởng cho hàm mục tiêu đa phân giải (multi-resolution)



Hình 2.1. Sự khác nhau về khoảng cách theo góc đo laser

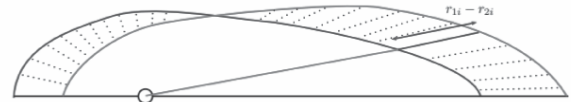
Xét hai cặp tia laser liên kế có cự li khác nhau, khe hở giữa hai giao điểm của một cặp tia liên kế với vật ở cự li xa hơn  $d_2$  sẽ càng lớn hơn khe hở trong trường hợp cự li là  $d_1$  ( $d_2 > d_1$ ). Từ cùng một cặp tia liên kế, tỷ lệ giữa khe hở giữa hai giao điểm và cự li phạm vi là không đổi như phương trình sau:

$$\frac{d_i}{r_i} \approx \alpha = \text{const} \quad (4)$$

Kết quả là ở cự li xa hơn, mật độ của dữ liệu khoảng cách bị giảm. Để giải quyết vấn đề này, phương pháp đề xuất áp dụng các trọng số khác nhau ở các cự li khác nhau của dữ liệu

khoảng cách, đề xuất áp dụng trọng số để cho dữ liệu khoảng cách có phân bố giống nhau.

Tính toán dựa vào diện tích của vùng gạch ngang (thể hiện độ sai số giữa hai dữ liệu) được tính theo công thức sau:



Hình 2.2. Độ sai số diện tích giữa các dữ liệu

$$\begin{aligned} A &\approx \sum_{i=1}^n \alpha |r_{1i}^2 - r_{2i}^2| / 2 \\ &= \frac{\alpha}{2} \sum_{i=1}^n |r_{1i} - r_{2i}| (r_{1i} + r_{2i}) \end{aligned} \quad (5)$$

Trong đó:

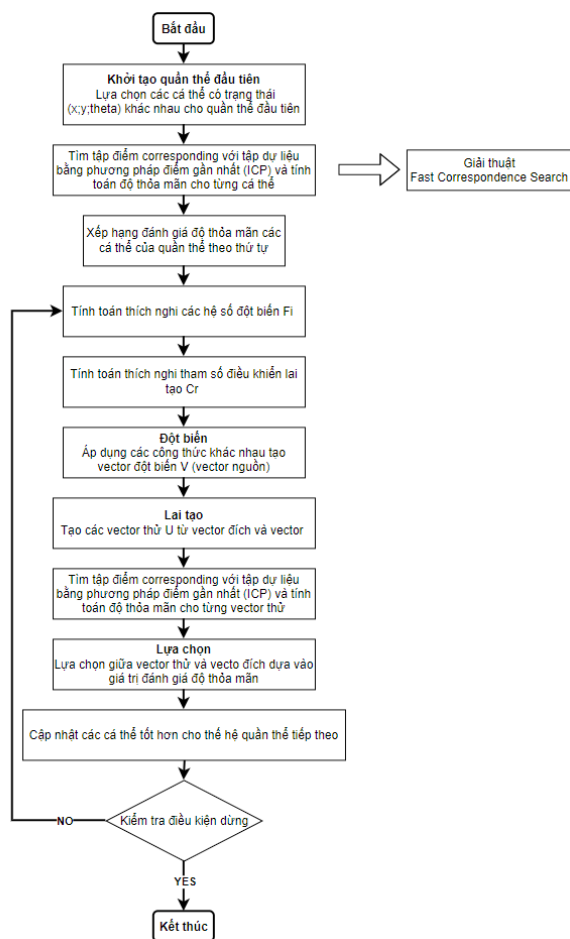
- $\alpha$  là độ phân giải,
- $r_{1i}$  và  $r_{2i}$  là giá trị khoảng cách thứ  $i$ .

Trong phương trình trên, bên cạnh hiệu số giữa hai dữ liệu khoảng cách tương ứng, tổng của hai dữ liệu phạm vi trở thành trọng số bổ sung, làm cho sự đóng góp của dữ liệu laser trở nên đồng đều [5].

### 2.2. Phương pháp tìm kiếm nhanh điểm tham chiếu

Kết quả của việc tìm kiếm các điểm tham chiếu là với mỗi điểm của dữ liệu quét thực tế cần tìm một điểm trong tập dữ liệu tham chiếu có khoảng cách gần nhau nhất. Kết hợp phương pháp trên với phương pháp tìm kiếm nhanh các điểm tham chiếu – Fast Correspondence Search, ý tưởng tóm gọn trong lưu đồ thuật toán như trong hình 2.3.





Hình 2.3. Giải thuật tối ưu tiến hóa vi phân thích nghi trong định vị

## 3. KẾT QUẢ, THÍ NGHIỆM VÀ ĐÁNH GIÁ

Thuật toán được triển khai ở môi trường MRPT với các thư viện có sẵn.



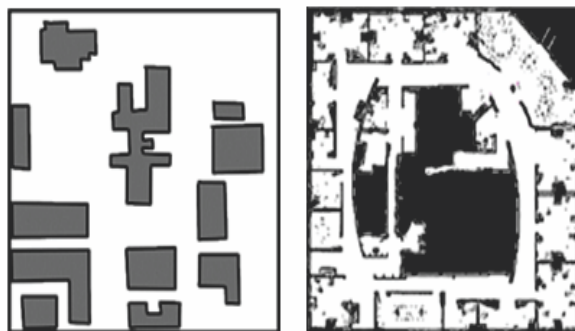
Hình 3.1. Môi trường mô phỏng MRPT

### 3.1. Bố trí thí nghiệm trên thư viện MRPT

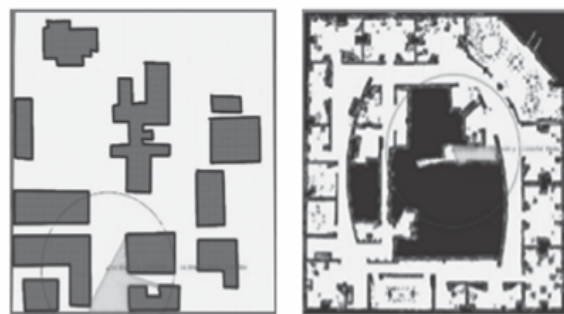
Thí nghiệm được thực hiện hai bản đồ khác nhau. Bản đồ đầu được vẽ bằng tay theo sơ đồ của Học viện Công nghệ Shibaura, bản đồ thứ hai lấy từ thư viện MRPT, đó là map của phòng nghiên cứu Intel. Các bản đồ này mô phỏng lại dữ liệu thu thập được từ Lidar 2D. Để thuận tiện cho việc so sánh, ở các bản đồ, quy định kích thước mỗi chiều là 40m.

Tín hiệu Lidar được mô phỏng với góc nhìn 180 độ, độ phân giải là 0.5 độ, khoảng cách nhiễu ngẫu nhiên là  $\pm 2$  cm.

Kết quả đưa ra là quá trình định vị robot khi không biết trước bất cứ thông tin nào ở các vị trí sau trong từng bản đồ.



Hình 3.2. Sơ đồ học viện Shibaura (trái) và phòng nghiên cứu Intel (phải)



[ 2.57; 1.52; 0.3]

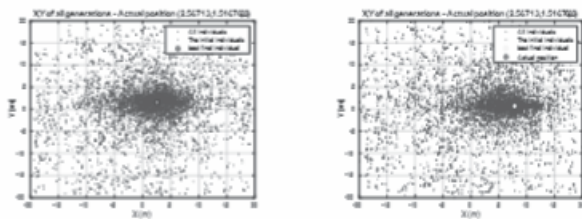
[5.39; -14.2; -0.55]

Hình 3.3. Trường hợp 1A và 1B

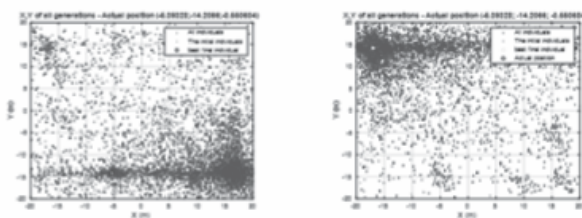
### 3.2. Kết quả và đánh giá thực nghiệm trên thư viện MRPT

Dưới đây là các kết quả của thuật toán ISADE sau khi đã có sự thay đổi về việc lựa chọn các cá thể đột biến. Số lượng cá thể được chọn là 500. Số vòng lặp tối đa được chọn là 100. Kết quả được đưa ra là minh họa tại các trường hợp vị trí điểm đặt khác nhau, mỗi vị trí bao gồm trường hợp định vị thành công và định vị thất bại.

Biểu đồ trên là vị trí của các cá thể trong tất cả các thế hệ của mỗi lần chạy thử, sau đó các cá thể của thế hệ tiếp theo dần hội tụ về điểm cực. Kết quả cho thấy các cá thể có độ lan rộng ra so với vị trí điểm cực và thêm một số vùng hội tụ tại các vị trí khác.



Hình 3.4. Xu hướng hội tụ 1A và 1A'



Hình 3.5. Xu hướng hội tụ 1B và 1B'

Thêm vào đó là việc xuất hiện các cá thể ở một số vị trí được cho là vô lý, các cá thể này có tọa độ nằm tại vị trí trùng với vật cản. Với thuật toán ISADE được cập nhật, có một xác suất nhất định các cá thể này vẫn được lựa chọn để đảm bảo sự đột biến và mở rộng vùng tìm kiếm. Lý do lựa chọn là dựa vào xác suất

để lựa chọn từng giá trị trạng thái. Do đó, việc xuất hiện bất kỳ các cá thể nào có tối thiểu một giá trị về trạng thái đúng hoặc gần đúng với giá trị thực của điểm đặt dẫn đến khả năng xuất hiện các cá thể ở các thế hệ sau giữ giá trị trạng thái đúng hoặc gần đúng đó và các giá trị còn lại cũng được lựa chọn đúng hoặc gần đúng so với giá trị thực của điểm đặt. Điều này dẫn tới việc tìm được một số các cá thể bất kỳ có giá trị hàm mục tiêu giảm mạnh, đồng nghĩa với việc tìm kiếm, phát hiện được tới các vị trí điểm cực mới.

Tại các trường hợp định vị thành công, các cá thể cũng xảy ra hiện tượng lan rộng ra so với điểm hội tụ. Thuật toán vẫn luôn đảm bảo việc tiến tới điểm hội tụ, tuy nhiên vẫn giữ một mức độ nhất định cho khả năng đột biến để tìm kiếm các vùng khả thi khác, tránh việc chỉ tập trung vào một điểm cực duy nhất. Điều này dẫn đến tăng cơ hội tìm kiếm và tỉ lệ thành công. Diễn hình với trường hợp định vị thành công tại vị trí  $x = -5.39328$ ;  $y = -14.2066$ ;  $\theta = -0.550684$  bản đồ Shibaura trường hợp 1B (Hình 3.3).

Các trường hợp định vị sai cũng thể hiện việc thuật toán đã cố gắng mở rộng những vùng tìm kiếm.

### 4. KẾT LUẬN

Bài báo đã đề xuất việc áp dụng giải thuật tìm kiếm cải tiến từ thuật toán ISADE và đề xuất sử dụng hàm mục tiêu phù hợp để giải quyết bài toán định vị đối với robot tự hành chỉ sử dụng cảm biến Lidar 2D.

Các kết quả cho thấy thuật toán cải tiến phù hợp hơn thuật toán ISADE nguyên gốc và cho các kết quả tìm kiếm với độ chính xác cao.

Trong những nghiên cứu tới, tác giả sẽ 

tiếp tục cải tiến hàm mục tiêu thay thế cho hàm mục tiêu cũ để cải thiện kết quả tìm kiếm.

### Cảm ơn tài trợ:

Nghiên cứu này được tài trợ bởi Đại học Bách Khoa Hà Nội trong đề tài mã số T2023-PC-022. ❖

Ngày nhận bài: **22/3/2024**

Ngày phản biện: **15/4/2024**

---

### Tài liệu tham khảo:

- [1]. Bailey, Tim, and Hugh Durrant-Whyte, *Simultaneous localization and mapping (SLAM)*: Part II, IEEE robotics & automation magazine 13.3 (2006): 108-117.
- [2]. Rekleitis, Ioannis M, *A particle filter tutorial for mobile robot localization*, Centre for Intelligent Machines, McGill University 3480 (2004).
- [3]. Dellaert, Frank, et al, *Monte Carlo localization for mobile robots*, Proceedings 1999 IEEE international conference on robotics and automation. Vol. 2. IEEE, 1999.
- [4]. Pomerleau, François, Francis Colas, and Roland Siegwart, *A review of point cloud registration algorithms for mobile robotics*, Foundations and Trends® in Robot-ics 4.1 (2015): 1-104.
- [5]. Marcello, R., Domenico G. Sorrenti, and Fabio M. Marchese, *A robot localization method based on evidence accumulation and multi-resolution*, IEEE/RSJ international conference on intelligent robots and systems. Vol. 1. IEEE, 2002.
- [6]. Bui, Tam, Hieu Pham, and Hiroshi Hasegawa, *Improve self-adaptive control parameters in differential evolution for solving constrained engineering optimization problems*, Journal of Computational Science and Technology 7.1 (2013): 59-74.