

NGHIÊN CỨU TỐI ƯU HÓA DI CHUYỂN ROBOT SỬ DỤNG THUẬT TOÁN ISSA

RESEARCH ON OPTIMIZING ROBOT MOVEMENT USING ISSA ALGORITHM

Phạm Đức Hùng¹, Đặng Văn Lượng¹,
Phạm Ngọc Thắng¹, Phan Đình Hiếu^{2,*}, Phan Anh Tuấn³

DOI: <https://doi.org/10.57001/huih5804.2025.377>

TÓM TẮT

Bài báo này trình bày một phương pháp cải tiến thuật toán bầy chim sẻ (ISSA) dành cho bài toán lập kế hoạch lộ trình robot, dựa trên sự kết hợp giữa thuật toán bầy chim sẻ chuẩn (SSA), Kỹ thuật lập bản đồ hỗn loạn dạng lều TCMM (Tent Chaotic Mapping Model) là một phương pháp sử dụng ánh xạ hỗn loạn dựa trên hàm lều (tent map) để tạo ra các chuỗi số ngẫu nhiên hoặc giả ngẫu nhiên, thường được ứng dụng trong các thuật toán tối ưu hóa, mã hóa, hoặc mô phỏng và thuật toán biến thể T-differential một cơ chế cập nhật vị trí trong ISSA, nơi các bước di chuyển của cá thể được điều chỉnh bằng cách kết hợp sự chênh lệch giữa các vị trí với chuỗi hỗn loạn từ hàm lều (tent map). Điểm nổi bật của ISSA là khả năng khắc phục hạn chế của SSA tiêu chuẩn, vốn dễ bị mắc kẹt ở các điểm tối ưu cục bộ, thông qua việc tăng cường sự đa dạng của quần thể ban đầu và cải thiện khả năng tìm kiếm toàn cục. Phương pháp TCMM đảm bảo sự phân bố đồng đều của các cá thể chim sẻ trong giai đoạn khởi tạo, trong khi thuật toán T-differential tăng cường tương tác giữa các cá thể yếu và nhóm tốt nhất, giúp tập thể thoát khỏi các điểm tối ưu cục bộ hiệu quả. Ngoài ra, kỹ thuật nội suy spline khối cải tiến được áp dụng để làm mượt đường đi, nâng cao chất lượng lộ trình. Để kiểm chứng hiệu quả, phương pháp ISSA đã được so sánh với bốn thuật toán hiện đại khác thông qua mô phỏng. Kết quả cho thấy, ISSA vượt trội về mức độ tối ưu và độ tin cậy của lộ trình. Thành công này mở ra nhiều triển vọng trong việc ứng dụng ISSA vào các bài toán lập kế hoạch lộ trình robot và các vấn đề tối ưu hóa tổ hợp khác.

Từ khóa: Lập bản đồ hỗn loạn dạng lều, thuật toán bầy chim sẻ, nội suy spline khối, lập kế hoạch lộ trình robot.

ABSTRACT

This paper presents an improved method of the sparrow swarm algorithm (ISSA) for the robot path planning problem, based on the combination of the standard sparrow swarm algorithm (SSA), the TCMM (Tent Chaotic Mapping Model) technique, which is a method that uses chaotic mapping based on the tent map to generate random or pseudo-random sequences, often applied in optimization, encryption, or simulation algorithms, and the T-differential variant algorithm, a position update mechanism in ISSA, where the individual's movements are adjusted by combining the difference between positions with the chaotic sequence from the tent map. The highlight of ISSA is the ability to overcome the limitation of the standard SSA, which is easily stuck in local optima, through increasing the diversity of the initial population and improving the global search ability. The TCMM method ensures the uniform distribution of sparrow individuals in the initialization phase, while the T-differential algorithm enhances the interaction between weak individuals and the best group, helping the group to escape from local optima effectively. In addition, the improved cubic spline interpolation technique is applied to smooth the path, improving the quality of the path. To verify the effectiveness, the ISSA method was compared with four other state-of-the-art algorithms through simulation. The results show that ISSA is superior in the optimality and reliability of the path. This success opens up many prospects in applying ISSA to robot path planning problems and other combinatorial optimization problems.

Keywords: Tent-shaped chaos mapping, sparrow swarm algorithm, cubic spline interpolation, robot path planning.

¹Khoa Điện - Điện tử, Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật Hưng Yên

²Trường Cơ khí - Ô tô, Trường Đại học Công nghiệp Hà Nội

³Viện Tự động hóa, Viện Khoa học Công nghệ Quân Sự

*Email: phandinhieu@hauai.edu.vn

Ngày nhận bài: 29/7/2025

Ngày nhận bài sửa sau phản biện: 16/9/2025

Ngày chấp nhận đăng: 28/11/2025

1. GIỚI THIỆU

Trong bối cảnh cách mạng công nghiệp 4.0, tối ưu hóa di chuyển robot di động đã trở thành một nhiệm vụ quan trọng nhằm đáp ứng yêu cầu về hiệu suất, độ chính xác và tiết kiệm năng lượng trong các môi trường phức tạp [1, 2]. Tuy nhiên, việc thiết kế một phương pháp lập kế hoạch đường đi và điều khiển chuyển động hiệu quả, đặc biệt trong không gian có nhiều ràng buộc và chướng ngại vật, vẫn là một thách thức lớn. Cụ thể, khả năng xử lý các môi trường động và bài toán tối ưu hóa tổ hợp NP-hard là yếu tố then chốt trong việc giải quyết thách thức này [3-6].

Nói đến tối ưu hóa di chuyển robot, các phương pháp metaheuristic, đặc biệt là thuật toán Cải tiến Tìm kiếm Xã hội (Improved Social Spider Algorithm - ISSA), đã nổi bật nhờ khả năng cân bằng giữa khai thác và thăm dò, giúp tìm kiếm giải pháp tối ưu trong không gian đa chiều [7, 8]. ISSA mô phỏng hành vi xã hội của loài nhện, tận dụng sự phối hợp và tương tác giữa các cá thể để đạt được mục tiêu chung. Tuy nhiên, các phương pháp metaheuristic hiện tại thường gặp hai thách thức: (1) dễ bị mắc kẹt ở các điểm tối ưu cục bộ do sự khởi tạo quần thể không đồng đều, và (2) khả năng thích ứng với các môi trường động còn hạn chế, dẫn đến hiệu suất không ổn định trong các kịch bản thực tế.

Đối với thách thức đầu tiên, kỹ thuật lập bản đồ hỗn loạn dạng lều (Tent Chaotic Mapping Method - TCMM) được áp dụng để tăng cường sự đa dạng của quần thể ban đầu, đảm bảo sự phân bố đồng đều trong không gian tìm kiếm [9, 10]. TCMM sử dụng tính chất hỗn loạn của hàm lều để tạo ra các giá trị ngẫu nhiên, giúp cải thiện chất lượng giải pháp khởi tạo [11]. Đối với thách thức thứ hai, thuật toán biến thể T-differential được tích hợp để nâng cao khả năng tìm kiếm toàn cục, cho phép ISSA thoát khỏi các điểm tối ưu cục bộ một cách hiệu quả [12, 13]. Thêm vào đó, kỹ thuật nội suy spline khối cải tiến được sử dụng để làm mượt đường đi, đảm bảo quỹ đạo di chuyển của robot không chỉ tối ưu mà còn khả thi trong thực tế.

Dựa trên các cân nhắc trên, chúng tôi đề xuất một phương pháp tối ưu hóa di chuyển robot dựa trên thuật toán ISSA cải tiến, trong đó TCMM và thuật toán T-differential được sử dụng để xây dựng một quần thể khởi tạo đa dạng và tăng cường khả năng tìm kiếm toàn cục. Kỹ thuật nội suy spline khối được tích hợp để đảm bảo các đường đi mượt mà và không va chạm. Phương pháp này được thiết kế để tự động điều chỉnh các tham số và thích ứng với cả môi trường tĩnh và động, từ đó nâng cao hiệu quả và độ tin cậy của lộ trình robot.

2. PHƯƠNG PHÁP LẬP KẾ HOẠCH ĐƯỜNG ĐI TOÀN CẦU (ISSA)

2.1. Khởi tạo các ánh xạ hỗn loạn T

Ánh xạ hỗn loạn Tent, một mô hình toán học của các hệ thống động lực học phi tuyến tạo ra hành vi hỗn loạn, sinh ra các quan hệ ánh xạ thường được sử dụng để tạo các chuỗi có vẻ ngẫu nhiên nhưng thực chất mang tính xác định và cực kỳ phức tạp. Đặc tính ngẫu nhiên vượt trội cùng với các đặc điểm xác định của nó, kết hợp với mô hình cấu trúc đơn giản và dễ thực hiện, mang lại điều kiện thuận lợi để khởi tạo ngẫu nhiên vị trí của quần thể và giải quyết vấn đề về chất lượng giải pháp ban đầu kém.

Biểu thức ánh xạ hỗn loạn Tent được cải tiến, sử dụng trong bài báo này, được trình bày như sau:

$$z_{k+1} = \begin{cases} 2 * \left[+0,1 * \text{rand}(0,1) \right]^{z_k}, & 0 \leq z_k < 0,535 \\ 2 - 2 * \left[+0,1 * \text{rand}(0,1) \right]^{z_k}, & 0,535 \leq z_k \leq 1 \end{cases} \quad (1)$$

Biểu đồ tần suất phân bố được thể hiện trong suốt 5000 chu kỳ lặp, quần thể ban đầu được phân bố đồng đều trong không gian tìm kiếm, điều này hỗ trợ nâng cao hiệu quả tối ưu hóa của thuật toán và độ chính xác của giải pháp.

2.2. Cơ chế kết hợp sự chênh lệch vị trí với chuỗi hỗn loạn từ bản đồ lều (biến phân vi phân T)

Để khắc phục những hạn chế của chiến lược cập nhật vị trí của các cá thể tham gia trong thuật toán chim sẻ truyền thống, chẳng hạn như: số lượng phần tử tham chiếu quá ít, thiếu sự tương tác thông tin với quần thể,..., trong bài báo này, chúng tôi sử dụng biến thể vi phân T kết hợp với phân phối chuẩn để tạo ra các cá thể mới. Phương pháp này đưa vào sự biến thiên giữa các cá thể chim sẻ tối ưu và các cá thể chim sẻ lân cận, từ đó các cá thể mới được tạo ra sẽ cạnh tranh với các cá thể ban đầu để tiến hóa. Việc quyết định có thay thế các cá thể ban đầu hay không sẽ dựa trên giá trị thích nghi của chúng. Quá trình biến thể vi phân có thể được biểu diễn bằng phương trình sau:

$$X_{i+1} = X_i + \lambda_1 * \text{trnd}(1, \text{dim}) + \lambda_2 * \text{randn}(1, \text{dim}) \quad (2)$$

Nơi mà X_i biểu thị vị trí của cá thể thứ i trong đàn chim sẻ, λ_1 và λ_2 là các tham số để điều chỉnh bước biến thiên, $\text{trnd}(1, \text{dim})$ được hiểu là tạo ra các số ngẫu nhiên từ phân phối t của Student với t bậc tự do, còn $\text{randn}(1, \text{dim})$ được hiểu là tạo ra các số ngẫu nhiên từ phân phối chuẩn tắc.

Biện pháp này tăng cường hơn nữa việc trao đổi thông tin giữa chim sẻ kém nhất và nhóm phát hiện, đồng thời

chim sẽ kém nhất sử dụng thông tin này như một phản hồi để nâng cao khả năng tìm kiếm của chính nó, từ đó cải thiện khả năng tìm kiếm toàn cục của toàn bộ quần thể và giúp tránh việc cập nhật rơi vào trạng thái trì trệ quá sớm. Đồng thời, vị trí của chim sẽ kém nhất nhanh chóng tiến gần đến khu vực của chim sẽ tối ưu, điều này nâng cao hiệu suất hội tụ và độ chính xác tối ưu hóa của thuật toán. Ngoài ra, nó còn đóng vai trò khuyến khích đối với vị trí của chim sẽ tối ưu, giúp tránh hiệu quả việc bị mắc kẹt trong giải pháp tối ưu cục bộ và tăng cơ hội thoát ra khỏi giải pháp đó.

Mô hình hóa bản đồ Môi trường bản đồ được chia thành các ô, mỗi ô được gán giá trị 0 hoặc 1 thông qua quá trình khởi tạo ngẫu nhiên trong khu vực và xử lý phân đoạn ngưỡng.

Trong đó, trạng thái 1 biểu thị vị trí của chướng ngại vật, còn trạng thái 0 biểu thị các nút đường tiềm ẩn. Để tăng cường khả năng hình dung, các trạng thái 0 và 1 được biểu diễn bằng màu trắng và đen tương ứng.

Các mô hình toán học để lập kế hoạch lộ trình

Sau khi xác định mô hình bản đồ, bài toán lập kế hoạch đường đi cho robot có thể được diễn đạt như sau:

$$\min_x J = \mu_d \sum_{i=1}^{N-1} (J_{Li} + J_{Si}) + \mu_{pr} \sum_{i=1}^{N-1} pr_i \quad (3)$$

Ở đây, $J_{Li} = \|P_i - P_{i+1}\|$ thể hiện khoảng cách Euclidean giữa nút hiện tại và nút láng giềng tiếp theo. $J_{Si} = \|P_i - P_N\|$ Biểu thị khoảng cách Euclid từ nút hiện tại đến nút mục tiêu. pr_i Thể hiện sự lựa chọn ưu tiên của các nút lân cận tiềm năng, thay đổi theo các vị trí hạt khác nhau cũng như các chu kỳ lặp. μ_d và μ_{pr} là các trọng số của từng yếu tố sau khi được chuẩn hóa.

Với vị trí hạt hiện tại đã được xác định, tức là vectơ quyết định đã cho trước, có hai yếu tố chính cần xem xét để lựa chọn các nút có khả năng kết nối:

(1) Sự cân bằng giữa khoảng cách gần và xa so với mục tiêu.

(2) Độ ưu tiên hoặc trọng số của nút.

Hướng truy vết được quyết định bởi hàm mục tiêu nêu trên, mở rộng theo mọi hướng từ điểm xuất phát, và nút có điểm tổng hợp thấp nhất sẽ được chọn làm nút tiếp theo, vì điều này thường cho thấy nó vừa gần với nút hiện tại vừa thuận lợi để tiến gần đến điểm kết thúc. Cơ chế lọc này được lặp lại theo chu kỳ trước khi chạm tới điểm đích nhằm sàng lọc tập hợp các nút thuộc đường đi ngắn nhất dưới vectơ quyết định hiện tại. Trong quá trình tìm kiếm, chi phí đường đi thu được sẽ được tối thiểu hóa, bởi mỗi nút trên đường đi là nút có chi phí nhỏ nhất.

Đáng chú ý là trong quá trình tìm kiếm theo hướng hội tụ về mục tiêu, thuật toán thực hiện việc sàng lọc sơ bộ tập hợp các nút đáp ứng các ràng buộc theo hướng tìm kiếm, đồng thời loại bỏ những nút đã truy cập trạng thái trong quá trình duyệt; trong giai đoạn lựa chọn thứ hai, những nút có tuyến đường không thể đi qua và các đường thẳng nối với nút hiện tại cắt qua chướng ngại vật sẽ bị loại, còn các nút còn lại được đưa vào danh sách trắng; ở giai đoạn lựa chọn thứ ba, chỉ những nút có chi phí nhỏ nhất trong số các nút lân cận cuối cùng mới được sàng lọc.

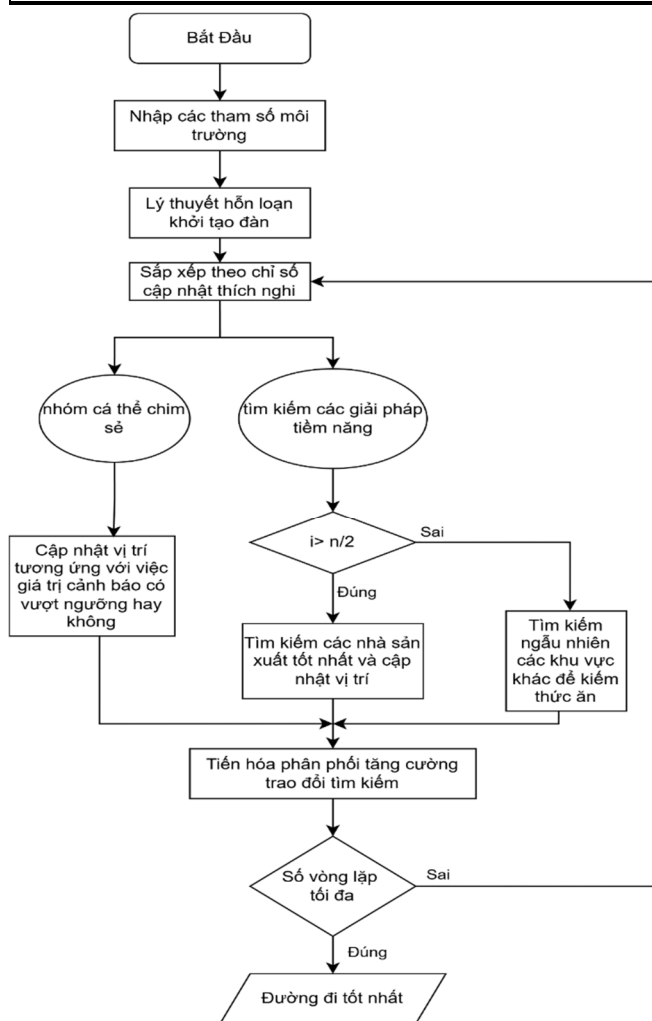
2.3. Các bước quy trình thực hiện thuật toán

Các bước thuật toán và sơ đồ luồng cho bài toán lập kế hoạch đường đi của robot dựa trên thuật toán chim sẽ cải tiến được trình bày lần lượt trong Thuật toán 1 và hình 1.

Bảng 1. Thuật toán tối ưu hóa vị trí dựa trên ISSA

1. Ký hiệu:
• Dữ liệu môi trường • Vị trí đàn chim sẽ • Giá trị thích nghi của đàn chim sẽ • Cấu trúc tham số thuật toán
2. Đầu Vào: Dữ liệu, Tham số, Vị trí (X), Giá trị thích nghi (Y)
3. Khởi Tạo: Khởi tạo hỗn loạn (X,Y)
4. Vòng Lặp: $1 \leq j \leq$ số lượng đàn thì thực hiện
5. Với mỗi vòng Lặp: Một cá thể chim sẽ cụ thể thuộc nhóm nhà sản xuất trong Tập hợp các cá thể chim sẽ thuộc nhóm nhà sản xuất thì thực hiện
6. Nếu giá trị cảnh báo gây động (Một cá thể chim sẽ cụ thể thuộc nhóm nhà sản xuất) thì thực hiện
7. Vị trí của các cá thể chim sẽ thuộc nhóm nhà sản xuất thì áp dụng chiến lược khám phá
8. Ngược lại thì vị trí của các cá thể chim sẽ thuộc nhóm nhà sản xuất thì áp dụng chiến lược tìm kiếm ngẫu nhiên
9. Kết thúc điều kiện
10. Kết thúc vòng lặp
11. Sắp xếp và lọc (tập hợp các giá trị thích nghi) để tìm ra giá trị thích nghi tốt nhất ,giá trị thích nghi toàn cục tốt nhất.
12. Vòng lặp: Với mỗi cá thể chim sẽ thuộc nhóm tham gia trong tập hợp các cá thể thuộc nhóm tham gia thì thực hiện
13. Nếu tìm thấy trạng thái đối (với mỗi cá thể chim sẽ thuộc nhóm tham gia) thì thực hiện
14. Với vị trí của các cá thể chim sẽ thuộc nhóm tham gia thì tìm kiếm nơi khác để khám phá các khu vực mới.
15. Ngược lại thì di chuyển đến gần vị trí có thức ăn cạnh tranh với các cá thể trong nhóm để cải thiện vị trí.
16. Kết thúc điều kiện
17. Kết thúc vòng lặp

18. Sắp xếp và lọc (tập hợp các giá trị thích nghi) để tìm ra giá trị thích nghi tốt nhất, giá trị thích nghi toàn cục tốt nhất.
19. Vòng lặp : với mỗi cá thể thuộc nhóm thực hiện cảnh báo trong nhóm cảnh báo viên (nhóm cảnh báo bảo vệ) thì thực hiện
20. Nếu tìm thấy trạng thái nguy hiểm từ một cá thể bất kì thuộc cảnh báo viên thì thực hiện
21. Di chuyển cá thể chim sẽ đến một vị trí an toàn trong không gian tìm kiếm
22. Ngược lại nếu không có nguy hiểm sẽ di chuyển chim sẽ đến vị trí ngẫu nhiên
23. Kết thúc điều kiện
24. Kết thúc vòng lặp
25. Tạo ra cá thể mới bằng cách phân phối xác suất và phân phối chuẩn để tăng cường giao tiếp giữa các cá thể, đặc biệt giữa cá thể kém nhất và cá thể tốt nhất, so sánh các cá thể mới và cũ dựa trên thích nghi để quyết định thay thế và cập nhật vào giá trị thích nghi tốt nhất, giá trị thích nghi toàn cục tốt nhất.
26. Kết thúc vòng lặp chính
27. Tạo ra đường đi tối ưu dựa trên dữ liệu môi trường và giải pháp tốt nhất do thuật toán ISSA tìm được.



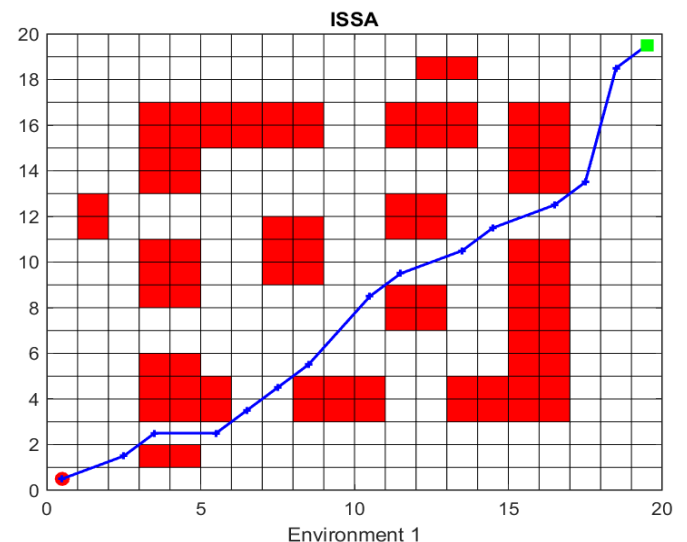
Hình 1. Lưu đồ thuật toán ISSA

Phiên bản cải tiến (ISSA - Improved Sparrow Search Algorithm), chúng ta cần tập trung vào việc điều chỉnh các tham số chính để cải thiện hiệu suất, chẳng hạn như tăng khả năng khám phá không gian tìm kiếm, cân bằng giữa khai thác (exploitation) và thám hiểm (exploration), đồng thời tránh bị mắc kẹt trong các cực trị cục bộ.

2.4. Các cải tiến chính trong ISSA

- **Tăng tính thám hiểm (Exploration):** Điều chỉnh tham số `soft_value` để kiểm soát xác suất chuyển đổi giữa các giai đoạn tìm kiếm rộng và tìm kiếm cục bộ.
- **Cân bằng số lượng cá thể:** Tăng tỷ lệ *Người khám phá* (recover_Percent) để khám phá không gian tốt hơn, đồng thời giảm tỷ lệ *Hướng đạo sinh* (scout_Percent) để tập trung vào khai thác.
- **Tăng số lần lặp tối đa:** Tăng `max_gen` để đảm bảo thuật toán có đủ thời gian hội tụ.
- **Động lực học tham số:** Sử dụng các tham số động (thay đổi theo số thế hệ) để cải thiện khả năng thích nghi của thuật toán, ví dụ như giảm dần `soft_value` hoặc điều chỉnh tỷ lệ cá thể theo thời gian.
- **Tối ưu hóa bước cập nhật vị trí:** Điều chỉnh công thức cập nhật vị trí của *discoverers* và *followers* để tăng tính ngẫu nhiên hoặc cải thiện hướng di chuyển.

2.5. Lợi ích của ISSA



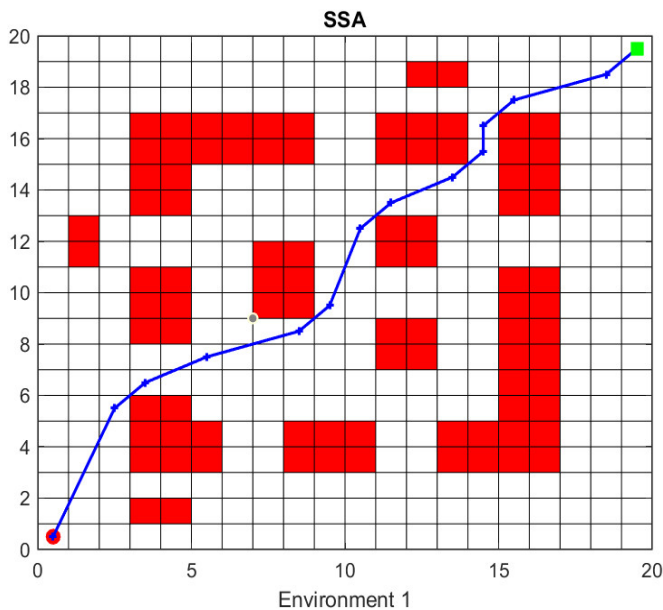
Hình 2. Kết quả mô phỏng thuật toán ISSA

- **Cân bằng tốt hơn giữa thám hiểm và khai thác:** Các tham số động và tỷ lệ cá thể được điều chỉnh giúp thuật toán khám phá không gian rộng hơn ở giai đoạn đầu và tập trung khai thác ở giai đoạn sau.
- **Giảm nguy cơ mắc kẹt trong cực trị cục bộ:** Nhiều ngẫu nhiên và số lượng cá thể lớn hơn giúp thuật toán thoát khỏi các điểm tối ưu cục bộ.

• **Hội tụ nhanh hơn:** Tăng số thế hệ và cải tiến công thức cập nhật vị trí giúp thuật toán tìm ra giải pháp tốt hơn trong thời gian hợp lý. Hình 2 là kết quả mô phỏng trên Matlab của thuật toán.

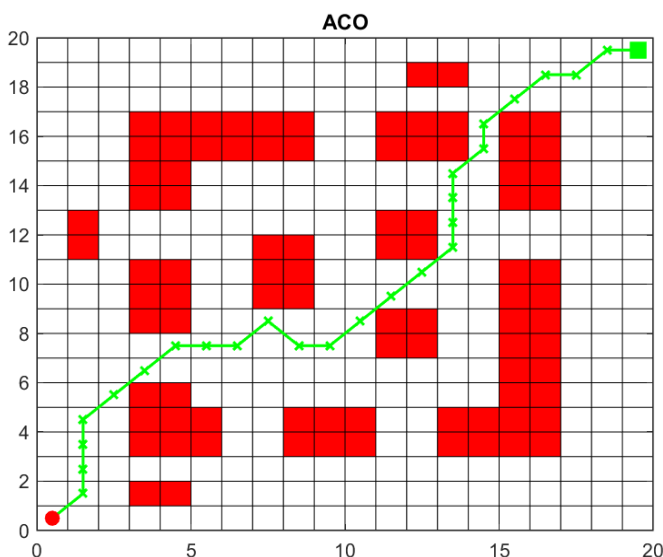
Giá trị độ dài nhỏ nhất của lộ trình tốt nhất được tìm thấy trong tất cả các vòng lặp của thuật toán ISSA đạt 28,7265.

So sánh với các thuật toán SSA, ACO, ACO+GA



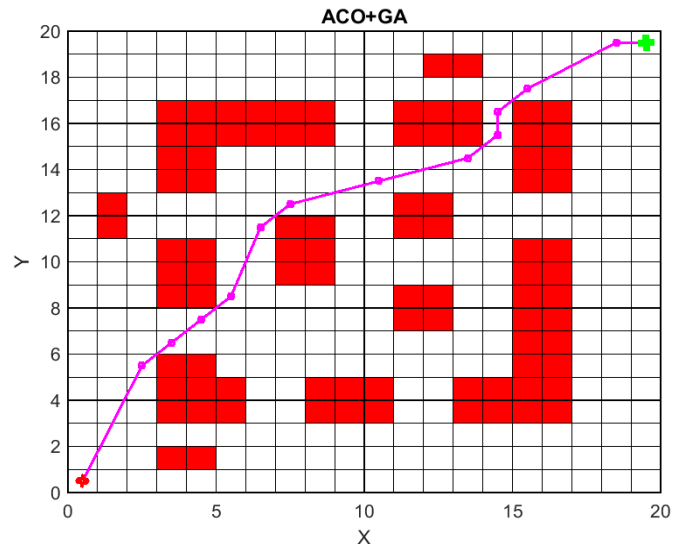
Hình 3. Kết quả mô phỏng thuật toán SSA

Giá trị độ dài nhỏ nhất của lộ trình tốt nhất được tìm thấy trong tất cả các vòng lặp của thuật toán SSA đạt 28,8294.



Hình 4. Kết quả mô phỏng thuật toán ACO

Giá trị độ dài nhỏ nhất của lộ trình tốt nhất được tìm thấy trong tất cả các vòng lặp của thuật toán ACO đạt 31,7990.



Hình 5. Kết quả mô phỏng thuật toán ACO +GA

Giá trị độ dài nhỏ nhất của lộ trình tốt nhất được tìm thấy trong tất cả các vòng lặp của thuật toán ACO+GA đạt 28,8585.

Qua những hình ảnh từ mô phỏng và kết quả có thể thấy, ISSA cho ra quãng đường tối ưu nhất.

3. KẾT LUẬN

Kết quả mô phỏng thuật toán ISSA đã chứng minh tính khả thi và độ bền vững khi ứng dụng vào bài toán lập kế hoạch đường đi cho robot trong các môi trường phức tạp. Nhờ tích hợp kỹ thuật lập bản đồ hỗn loạn dạng lều (TCMM), thuật toán biến thể T-differential và cơ chế nội suy spline bậc ba cải tiến, ISSA tạo ra các quỹ đạo di chuyển tối ưu với độ chính xác cao và khả năng tránh chướng ngại vật hiệu quả. Từ đó, nghiên cứu cho thấy hiệu suất vượt trội về độ dài đường đi, độ mượt của quỹ đạo và khả năng hội tụ so với các thuật toán hiện đại như ACO, ACO+GA và SSA tiêu chuẩn.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Fan X J, Guo Y J, Liu H., "Improved artificial potential field method applied for AUV path planning," *Mathematical Problems in Engineering*, (1): 1-21, 2020.
- [2]. Zhang L, Zhang Y, Li Y., "Mobile robot path planning based on improved localized particle swarm optimization," *IEEE Sensors Journal*, 21(5):6962-6972, 2020.
- [3]. Xin J, Zhong J, Yang F, et al., "An improved genetic algorithm for path-planning of unmanned surface vehicle," *Sensors*, 19(11): 2640, 2019.
- [4]. Yi-Fei Pu, Patrick Siarry, Wu-Yang Zhu, Jian Wang, Ni Zhang, "Fractional-Order Ant Colony Algorithm: A Fractional Long Term Memory

Based Cooperative Learning Approach," *Swarm and Evolutionary Computation*, 69: 101014, 2022.

[5]. G.J. Zhang, E.H. Zhang, "An improved sparrow search based intelligent navigation algorithm for local path planning of mobile robot," *Journal of Ambient Intelligence and Humanized computing*, 14 (10) : 14111-14123, 2023.

[6]. J. Xue, B. Shen, "A novel swarm intelligence optimization approach: Sparrow search algorithm," *Systems Science and Control Engineering*, 8(1):22-34, 2020.

[7]. Liu L S, Liang J R, Guo K Q, et al., "Dynamic path planning of mobile robot based on improved sparrow search algorithm," *Biomimetics*, 8 (2): 182, 2019.

[8]. Zhao X D, Fang Y M, Liu L, et al., "A covariance-based Moth-flame optimization algorithm with Cauchy mutation for solving numerical optimization problems," *Applied Soft Computing*, 119:108538, 2022.

[9]. Jun Yao, Yandon Nie, Zihao Zhao, Xiaoming Xue, Kai Zhang, Chuanjin Yao, Liming Zhang, Jian Wang, Yongfei Yang, "Self-adaptive Multifactorial Evolutionary Algorithm for Multitasking Production Optimization," *Journal of Petroleum Science and Engineering*, 205:108900, 2021.

[10]. Zhao X D, Fang Y M, Liu L, et al., "A covariance-based Moth-flame optimization algorithm with Cauchy mutation for solving numerical optimization problems," *Applied Soft Computing*, 119:108538, 2022.

[11]. X. J. Fan, Y. J. Guo, H. Liu, "Improved artificial potential field method applied for AUV path planning," *Mathematical Problems in Engineering*, vol. 2020, 1-21, 2020.

[12]. L. Zhang, Y. Zhang, Y. Li, "Mobile robot path planning based on improved localized particle swarm optimization," *IEEE Sensors Journal*, 21, 5, 6962-6972, 2020.

[13]. J. Xin, J. Zhong, F. Yang, et al., "An improved genetic algorithm for path-planning of unmanned surface vehicle," *Sensors*, 19, 11, p. 2640, 2019.

AUTHORS INFORMATION

**Pham Duc Hung¹, Dang Van Luong¹, Pham Ngoc Thang¹,
Phan Dinh Hieu², Phan Anh Tuan³**

¹Faculty of Electrical and Electronics, Hung Yen University of Technology and Education (UTEHY), Vietnam

²School of Mechanical and Automotive Engineering, Hanoi University of Industry (HaUI), Vietnam

³Institute of Technical Automation, Academy of Military Science and Technology (AMST), Vietnam