

Nghiên cứu mô phỏng tránh va cho phương tiện tự hành dưới nước sử dụng thuật toán tối ưu đàn kiến

Research on collision avoidance simulation for autonomous underwater vehicles using ant colony optimization algorithm

Nguyễn Đình Thạch

Trường Đại học Hàng hải Việt Nam

Tác giả liên hệ: thachnd.ddt@vamaru.edu.vn

Ngày nhận bài: 9/10/2023 ; Ngày chấp nhận đăng: 8/11/2023

Tóm tắt:

Phương tiện tự hành dưới nước ngày càng đóng vai trò quan trọng trong quá trình khai thác và thăm dò tài nguyên biển. Xây dựng tuyến đường và tránh chướng ngại vật là công nghệ cốt lõi giúp thiết bị này thực hiện quá trình vận hành dưới nước. Các phương pháp tránh va được thực hiện bằng cảm biến âm thanh và hệ thống sonar nhằm phát hiện mục tiêu. Tuy nhiên, với khoảng cách ngắn các thiết bị này đã gặp khó khăn khi phát hiện mục tiêu. Bài báo này đề xuất phương pháp mô phỏng quá trình tự hành của ROV hoặc AUV trong môi trường ảo dựa trên một số thuật toán lập kế hoạch đường đi và tránh chướng ngại vật. Đồng thời, kết hợp dữ liệu sonar và thuật toán tối ưu trong quá trình xây dựng tuyến đường nhằm giải quyết các hạn chế của AUV, ROV và ảnh hưởng của môi trường biển. Cuối cùng, thông qua phần mềm UNITY 3D mô phỏng quá trình vận hành dưới nước của AUV và kiểm tra kết quả thuật toán.

Từ khóa: Va chạm ROV; Tránh va AUV; Bản đồ rủi ro; Phát hiện chướng ngại vật; Thuật toán ACO.

Abstract:

Autonomous Underwater Vehicles (AUVs) are increasingly crucial in exploiting and exploring marine resources. Route building and obstacle avoidance are the core technologies that help this device perform aquatic processes. Collision avoidance methods use acoustic sensors and sonar systems to help detect targets, but these devices have difficulty seeing at short distances. This article proposes a method to simulate the autonomous process of a Remotely Operated Vehicle (ROV) or AUV in a virtual environment based on several path planning and obstacle avoidance algorithms. At the same time, the author used sonar data and optimization algorithms in the route construction process to address the limitations of AUVs and ROVs and the influence of the marine environment. Finally, through Unity 3D software, simulate the underwater operation of the AUV and check the algorithm results.

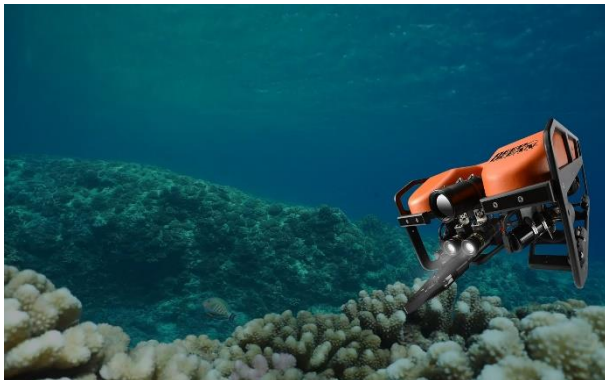
Keywords: Collision of ROVs; Avoid collisions with AUVs; Risk map; Obstacle detection; ACO algorithm.

1. Giới thiệu

Hiện nay, với sự phát triển vượt bậc của khoa học kỹ thuật và công nghệ, con người có xu hướng khám phá các khu vực tài nguyên biển bằng các thiết bị robot. Các phương tiện tự hành dưới nước ngày càng trở nên quan trọng trong việc thăm dò

và khai thác tài nguyên như giám sát chất gây ô nhiễm môi trường, tìm kiếm bom mìn và khám phá thảm thực vật dưới đáy biển [1], [2]. Nhóm tác giả Liu và cộng sự đã sử dụng AUV để theo dõi và kiểm tra đường ống nước, cáp ngầm [3]. Ngoài ra, ROV, AUV được dùng trong các hoạt động cứu hộ cứu nạn tàu ngầm và mục đích quân

sự. Trên thế giới, nhiều nghiên cứu đã đề xuất phương án xây dựng tuyến đường của AUV và một số phương pháp điều khiển tránh va. Khi lập kế hoạch đường đi, phần lớn thời gian AUV, ROV hoạt động trong môi trường có nhiều chướng ngại vật. Trong đó, những chướng ngại vật cố định biết rõ kích thước, khoảng cách được dựng trong bản đồ ảo giúp AUV sử dụng thông tin này để tìm trước đường đi để không va chạm giữa điểm xuất phát và điểm mục tiêu. Tuy nhiên, với vật cản có thể di chuyển hoặc xuất hiện ngẫu nhiên, rất khó hoặc thậm chí không thể biết trước được thông tin về nó trước khi lập kế hoạch đường đi. Để tránh va những chướng ngại vật không xác định như tàu ngầm, rạn san hô và sinh vật đang di chuyển cần có sự điều khiển bởi con người như Hình 1 [4]. Điều khiển tránh va cho AUV, ROV sử dụng các thuật toán điều khiển như Genetic Algorithm (GA), Particle Swarm Optimization (PSO), Ant Colony Optimization (ACO). Tuy nhiên, với sự phức tạp và không dự đoán trước ngày càng tăng của môi trường khiến việc điều khiển và lập kế hoạch chuyển đi càng phải chi tiết và yêu cầu cao. Trong các trường hợp này, AUV gặp trở ngại như không xác định được động năng, động lượng và nhiên liệu trong phạm vi hoạt động của nó [5], [6].



Hình 1. ROV khảo sát rặng san hô.

Các công trình [7], [8] đã xây dựng và mô phỏng, thiết kế mô hình AUV với nhiều tính năng nổi bật. Các thiết bị này có khả năng thu thập hình ảnh âm thanh đa tần số đối với các rặng san hô hay ghép hình ảnh quang học đáy biển với độ phân giải cao. Ngoài ra, các thiết bị có khả năng đo vận tốc của tàu ngầm, nghiên cứu núi lửa dưới đáy biển. Đồng thời, thiết bị có thể thu thập, lập bản đồ giám sát các đặc điểm hệ sinh thái và môi trường nước

nông và nước sâu. Sự phát triển trong tương lai của thiết bị ngầm có tiềm năng liên quan đến khoa học địa chất. Các thiết bị được trang bị công nghệ hiện đại có độ bền tốt, hoạt động với độ sâu tối đa và khả năng phản ứng nhanh trong môi trường khắc nghiệt. Quá trình điều khiển và áp dụng các công nghệ mới vào thiết bị thật rất tốn kém nên phương pháp tối ưu nhất đó là xây dựng và mô phỏng quá trình động lực học của AUV, ROV trên các phần mềm như UNITY 3D, UNREAL và MATLAB. Đây là các phần mềm chuyên dụng trong lĩnh vực mô phỏng hàng hải. Fushen và cộng sự đã mô phỏng và chế tạo phần cứng ROV dựa trên nền tảng UNITY 3D, điều khiển dựa trên bộ điều khiển PID [9].

Tại Việt Nam, các công trình khảo sát và mô phỏng nghiên cứu điều khiển ROV, AUV chưa phổ biến do thiết bị thật có chi phí cao, ngoài ra, một số lĩnh vực đặc thù như quân sự và cứu hộ cứu nạn yêu cầu tính bảo mật. Công trình [10] đã mô phỏng thiết bị ROV trên phần mềm UNITY 3D nhưng chỉ xây dựng mô hình và điều khiển các chức năng cơ bản. Bên cạnh đó, mô hình AUV 6 bậc tự do với mục tiêu khảo sát, sửa chữa công trình ngầm [11]. Hiện nay, các thuật toán điều khiển và nghiên cứu sâu về đối tượng ở Việt Nam còn khá mới và ít được áp dụng. Do đó, tác giả đề xuất xây dựng thuật toán tránh va đối với phương tiện ngầm được mô phỏng thử nghiệm trong phần mềm mô phỏng hàng hải.

Bài báo được sắp xếp theo thứ tự sau: Mục 2 trình bày phương trình động lực học AUV và ước tính rủi ro. Mục 3 trình bày thuật toán điều khiển và các bước xây dựng kịch bản mô phỏng. Mục 4 thực hiện quá trình thử nghiệm hệ thống và đánh giá kết quả và phần cuối cùng là kết luận.

2. Phương trình động học và mô hình đánh giá rủi ro

2.1. Phương trình động lực học AUV

Động lực học dựa trên phương pháp hình học để nghiên cứu chuyển động của phương tiện không xét đến ảnh hưởng của lực và khối lượng. Để mô tả các đặc tính động lực học của AUV, theo tài liệu của tác giả Fossen [12], [13] cần lựa chọn hệ trục

tọa độ của đối tượng và hệ trục Trái Đất. Phương trình động lực học của AUV có dạng tổng quát như sau:

$$M(\dot{v}) + C(v)v + Dv + g(\eta) = Bf \quad (1)$$

Trong đó: M (inertia matrix) là ma trận quán tính, C là ma trận hướng tâm Coriolis, D là ma trận giảm chấn thủy động lực, vector g (restoring forces) là lực phục hồi, f là biến đầu vào của AUV được chuyển thành lực và moment của ma trận B . Vector đầu vào f được cho như sau:

$$f = [T_u \quad T_q \quad T_r]^T \quad (2)$$

Trong đó: T_u là lực đẩy được tạo ra khi quay cánh quạt; T_q là lực điều khiển chuyển động thẳng đứng do bánh lái trái và phải tạo ra; T_r lực điều khiển chuyển động theo phương ngang do bánh lái trên và dưới tạo ra.

Giả sử trọng tâm (x_g, y_g, z_g) và lực nổi của AUV được thể hiện qua hệ phương trình cân bằng trong môi trường nước [14]:

$$\begin{aligned} m \begin{bmatrix} \dot{u} - vr + wq - x_g(q^2 + r^2) \\ + y_g(pq - \dot{r}) + z_g(pr + \dot{q}) \end{bmatrix} &= X_T \\ m \begin{bmatrix} \dot{v} - wp + ur - y_g(r^2 + p^2) \\ + z_g(qr + \dot{p}) + x_g(qp + \dot{r}) \end{bmatrix} &= Y_T \\ m \begin{bmatrix} \dot{w} - uq + vp - z_g(p^2 + q^2) \\ + x_g(rq - \dot{q}) + y_g(rp + \dot{p}) \end{bmatrix} &= Z_T \end{aligned} \quad (3)$$

$$\begin{aligned} I_x \dot{p} + (I_z - I_y)qr - (\dot{r} + pq)I_{xz} + (r^2 - q^2)I_{yz} \\ + (pr - \dot{q})I_{xy} + m[y_g(\dot{w} - uq + vp) \\ - z_g(\dot{v} - wp + ur)] &= K_T \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} I_y \dot{q} + (I_x - I_z)rp - (\dot{p} + qr)I_{xy} + (p^2 - r^2)I_{yz} \\ + (qp - \dot{r})I_{yz} + m[z_g(\dot{u} - vr + wq) \\ - x_g(\dot{w} - uq + vp)] &= M_T \end{aligned} \quad (4)$$

$$\begin{aligned} I_z \dot{r} + (I_y - I_x)pq - (\dot{q} + rp)I_{yz} + (q^2 - p^2)I_{xy} \\ + (rp - \dot{p})I_{xz} + m[x_g(\dot{v} - wp + ur) \\ - y_g(\dot{u} - vr + wq)] &= N_T \end{aligned}$$

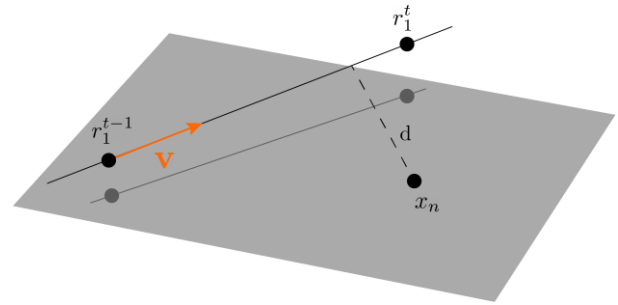
Trong đó: Vận tốc tịnh tiến dọc theo các hướng x, y, z lần lượt được biểu thị lần lượt là u, v và w ; vận tốc quay lần lượt được biểu thị lần lượt là p, q, r . Góc quay của mỗi trục được biểu thị

lần lượt là ϕ, θ, ψ và K, M, N lần lượt biểu thị moment theo hướng x, y, z .

Ngoài ra, một số ngoại lực tác động tác giả tham khảo trong công trình [11], [12]. Tiếp theo, mô hình đánh giá rủi ro dựa trên tốc độ, khoảng cách và thời gian được xây dựng cho đối tượng AUV.

2.2. Mô hình đánh giá rủi ro

Một số mô hình rủi ro được xây dựng và đánh giá đối với các phương tiện như tàu thủy, ô tô, thiết bị bay, ... Mục đích của mô hình là xác định xác suất va chạm với vật thể của đối tượng điều khiển. Các yếu tố như tốc độ, quỹ đạo, thời gian và khoảng cách tối thiểu từ hai vật thể được xem xét và đưa ra cảnh báo. Khoảng cách của vật thể đến AUV có thể xác định thông qua sonar hoặc khoảng cách từ camera đến vật thể đó. Giả sử AUV di chuyển với vận tốc v . Bằng cách xem xét các phương trình trong không gian 3D với các đường thẳng như Hình 2, trong đó, AUV được biểu diễn bằng hai vị trí trong không gian r_{t-1}^1 và r_t^1 .



Hình 2. Khoảng cách và chạm rủi ro.

Vector vận tốc được thể hiện như sau:

$$\begin{bmatrix} x_1 + (x_2 - x_1)t \\ y_1 + (y_2 - y_1)t \\ z_1 + (z_2 - z_1)t \end{bmatrix} \quad (5)$$

Trong đó: $(x_1, y_1, z_1), (x_2, y_2, z_2)$ tương ứng là tọa độ bởi các điểm r_{t-1}^1 và r_t^1 . Thời gian t tương ứng với thời gian cần thiết AUV đạt hình chiếu lên đường thẳng.

$$\begin{aligned} d^2 &= [(x_1 - x_0) + (x_2 - x_1)t]^2 \\ &+ [(y_1 - y_0) + (y_2 - y_1)t]^2 \\ &+ [(z_1 - z_0) + (z_2 - z_1)t]^2 \end{aligned} \quad (6)$$

Từ phương trình (2) suy được thời gian tối thiểu để xảy ra va chạm:

$$t = - \frac{(r_1^{t-1} - x_n) \cdot (r_1^t - r_1^{t-1})}{\|r_1^t - r_1^{t-1}\|^2} \quad (7)$$

Thay phương trình (7) vào phương trình (6) được khoảng cách từ điểm x_n đường thẳng như sau:

$$d = \frac{\|(r_1^t - r_1^{t-1}) \cdot (r_1^{t-1} - x_n)\|}{\|r_1^t - r_1^{t-1}\|^2} \quad (8)$$

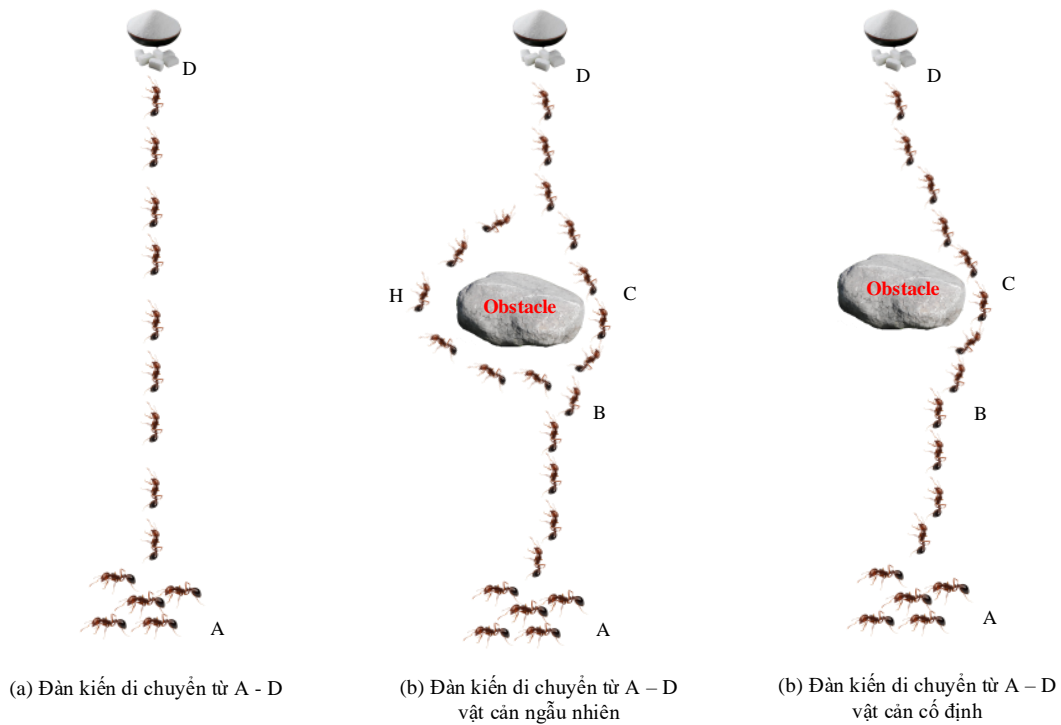
Giá trị của khoảng cách giữa các vật thể đến AUV cũng xét đến trong tính toán rủi ro, vì các điểm ở xa quỹ đạo hướng tới AUV được biết đến, có mức rủi ro thấp hơn so với những điểm ở gần nó. Sau khi xây dựng được mô hình rủi ro, tác giả đề xuất thuật toán điều khiển tránh va

chạm cho thiết bị AUV đến đối tượng khác nhau như có thể di chuyển hoặc vật thể tĩnh.

3. Thuật toán điều khiển và kịch bản mô phỏng

3.1. Xây dựng thuật toán điều khiển

Thuật toán tối ưu hóa điều khiển đã có từ lâu như thuật toán di truyền (Genetic Algorithm), logic mờ (Fuzzy Logic), thuật toán tối ưu hóa đàn kiến (Ant Colony Optimization),...và nhiều thuật toán điều khiển khác để thay đổi hướng đi của robot. Các phương pháp này có khả năng xử lý những tình huống bất ngờ, không chắc chắn từ môi trường. Trong nội dung nghiên cứu, tác giả sử dụng thuật toán tối ưu hóa đàn kiến để điều khiển tránh va cho AUV như Hình 3.



Hình 3. Tuyến đường đi của đàn kiến.

Tuyến đường đàn kiến di chuyển từ điểm A đến D khi không có vật cản theo Hình 3 (a). Trong quá trình di chuyển, đàn kiến bất ngờ gặp hòn đá cản đường và chúng tìm cách đi qua hòn đá như Hình 3 (b). Cuối cùng, hòn đá là vật cản đã cho trước và đàn kiến đã biết nên chúng đã có tuyến đường đi ngắn nhất đến điểm D (bát đường) được thể hiện tại Hình 3 (c). Như vậy, có sự gia tăng độ phức tạp tính toán của mỗi cá thể, sau khi được thiết lập giới

hạn thấp nhất cần thiết để giải thích cho các hành vi mong muốn, có thể giúp thoát khỏi sự tối ưu cục bộ và đối mặt với những thay đổi của môi trường. Do đó, tác giả đề xuất ứng dụng thuật toán vòng lặp của đàn kiến trong điều khiển tránh va AUV.

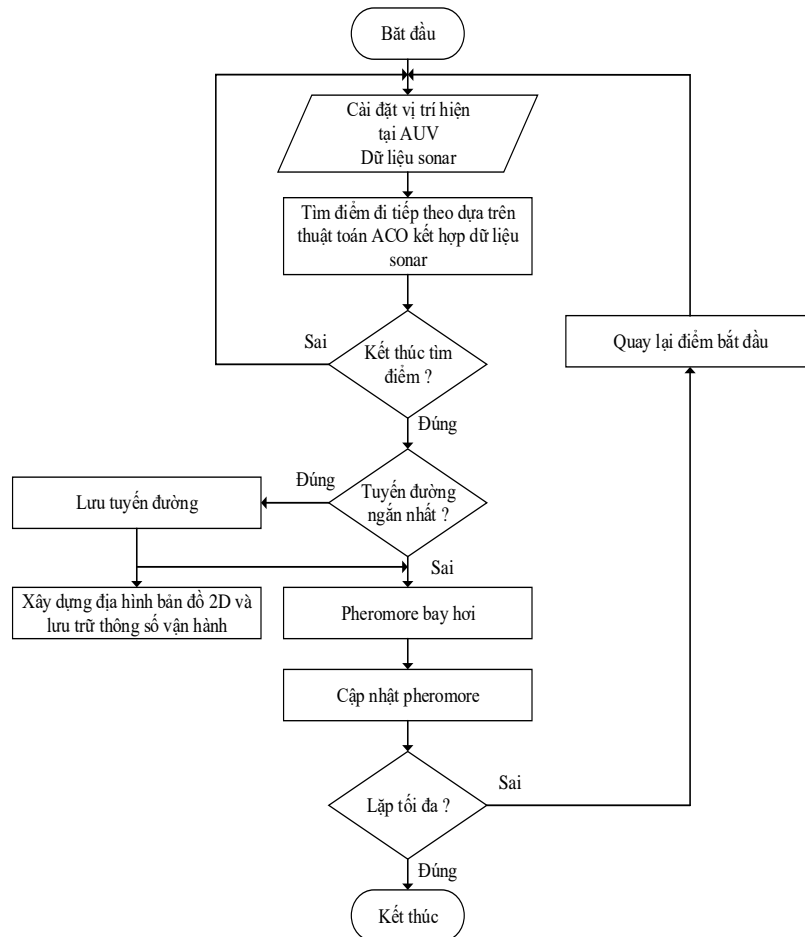
3.2. Thuật toán tối ưu Ant Colony (ACO)

Thuật toán ACO được áp dụng cho nhiều lĩnh vực khoa học và kỹ thuật khác nhau như lập lịch làm

việc, định tuyến phương tiện, tìm kiếm tuyến đường,...Ngày nay, ACO được sử dụng trong xử lý điều hướng phương tiện tự hành dưới nước và lập đường đi hiệu quả.

Dựa vào thuật toán tối ưu hóa đàn kiến, tác giả đã ứng dụng trong tránh va cho thiết bị AUV với bản đồ tĩnh và bản đồ động. Bài kiến di chuyển theo đàn dựa trên chất Pheromone (chất thích tố)

đây là mùi hương tiết ra từ cơ thể như tín hiệu hóa học giữa các cá thể cùng loài. Dựa vào nồng độ này những con kiến đi sau có thể xác định được phương hướng và tuyến đường nhanh nhất. Trên nguyên lý này, khi tìm thấy điểm tắc, hệ thống sẽ phát hiện và ngăn chặn để tránh tình trạng tắc nghẽn trên đường đi của robot tự hành [5], [6], [16], [17]. Thuật toán điều khiển thể hiện như Hình 4.



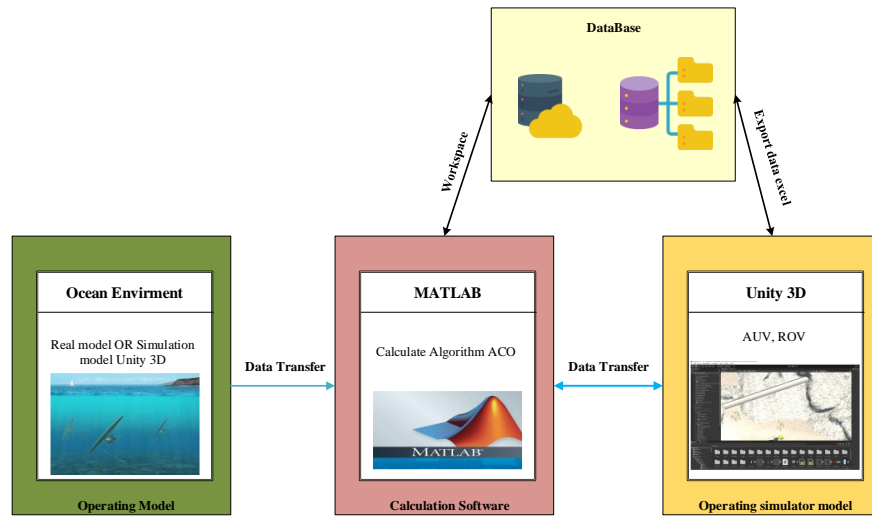
Hình 4. Lưu đồ thuật toán ACO.

Dữ liệu sonar kết hợp với thuật toán ACO hỗ trợ tìm điểm tiếp theo nhanh nhất và chính xác. Đặc biệt, trong khi di chuyển, AUV còn có khả năng xây dựng bản đồ tuyến đường 2D dựa trên phản xạ của sonar kết hợp với quá trình di chuyển của nó. Qua nhiều lần thử nghiệm kết hợp thông số vận hành như lượng nhiên liệu để có thể xây dựng tuyến đường ngắn nhất. Dữ liệu mô phỏng được lưu trữ và có thể đưa vào cơ sở dữ liệu để huấn luyện vận hành trong tương lai. Sau khi xây dựng thuật toán, tác giả đưa ra một số kịch bản thử

thử nghiệm và mô phỏng trong phần mềm UNITY 3D [10], [11], [15].

3.3. Xây dựng kịch bản mô phỏng

Để kiểm nghiệm thuật toán tối ưu hóa, tác giả sử dụng môi trường ảo được xây dựng trên phần mềm UNITY 3D. Các phương tiện tự hành dưới nước AUV, ROV được mô hình hóa theo thiết bị thật với các phương trình động lực học. Xây dựng sơ đồ cấu trúc truyền nhận dữ liệu giữa các phần mềm mô phỏng như sonar, AUV (Hình 5) [22].



Hình 5. Sơ đồ cấu trúc truyền thông giữa các phần mềm mô phỏng.

Xây dựng kịch bản thử nghiệm, tác giả đã giả thiết hai trường hợp như sau: (i) Trường hợp vật cản bất ngờ xuất hiện và không cho trước; (ii) Vật cản là cố định và biết trước khoảng cách, kích thước của chúng. Yêu cầu thuật toán xử lý và xác định tuyến đường tối ưu. Đây là hai trường hợp thử nghiệm điển hình đối với hoạt động vận hành dưới nước của AUV trong trường hợp tránh va [18], [19].

(i) Trường hợp 1: Các vật thể ở đây có thể là cá hoặc một số thiết bị trôi dạt với vận tốc nhỏ lệch vào tuyến đường di chuyển của AUV. Trường hợp này không tránh khỏi trong quá trình vận hành. Bộ điều khiển tránh va AUV được yêu cầu xử lý nhanh và tìm ra tuyến đường phù hợp nhất.

(ii) Trường hợp 2: Với những công trình có bản đồ khảo sát trước, yếu tố vật cản di chuyển ít ảnh

hưởng đến tuyến đường của AUV. Khi đó, người vận hành có thể chạy thuật toán và tìm ra tuyến đường ngắn nhất đến vị trí mục tiêu. Kết hợp dữ liệu gửi về từ sonar sẽ giúp cho AUV di chuyển dễ dàng hơn.

4. Kết quả mô phỏng

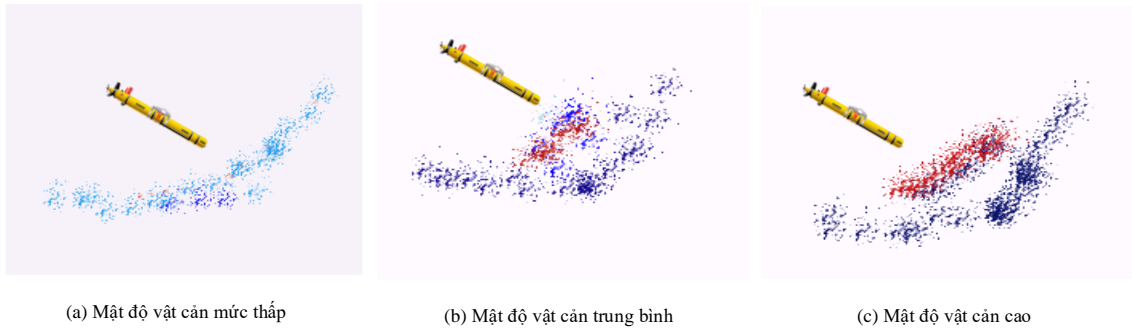
Trước khi mô phỏng hệ thống, dựa trên phương trình động lực học của AUV theo phương trình (1), (2), (3), (4) được chuyển đổi và lập trình dưới dạng ngôn ngữ C#. Các tập lệnh được cài đặt lên đối tượng AUV. Thuật toán ACO được lập trình trong MATLAB dưới dạng M-file. Thông qua truyền thông OPC giữa MATLAB và UNITY 3D, còn Modbus TCP/IP từ sonar và phần mềm mô phỏng AUV [10], [11].



Hình 6. Môi trường mô phỏng AUV.

Sau khi tiến hành chạy mô phỏng theo hai kịch bản đã xây dựng trong mục 3.3 kết hợp mô hình đánh giá rủi ro mục 2.2. Các công thức tính khoảng cách và thời gian tối thiểu khi có va chạm

(7), (8) được áp dụng để tính toán khả năng va chạm của AUV. Kết quả mật độ vật cản được thể hiện như Hình 7.



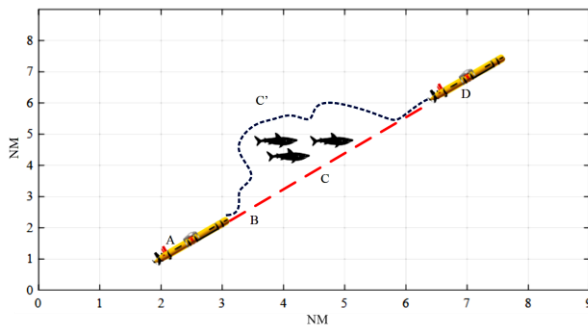
Hình 7. Bản đồ vật cản di chuyển trong tuyến đường AUV.

Như giả thiết, vật cản có thể là cá hoặc các sinh vật biển khác di chuyển có xu hướng tiến gần AUV. Hình 7 (a) thể hiện mức va chạm thấp, tại thời điểm này, ít có vật cản di chuyển lại gần AUV. Trong khi Hình 7 (b) thể hiện mức độ nguy hiểm trung bình của AUV khi di chuyển trên tuyến đường do vật cản đã xuất hiện. Cuối cùng, mức độ va chạm xảy ra rất cao nếu AUV không điều hướng kịp thời bởi khoảng cách đến vật cản và thời gian đến điểm va chạm ngắn thể hiện trên Hình 7 (c) [20].

ACO chạy trên MATLAB với mô hình rủi ro va chạm được thể hiện trong Bảng 1.

Bảng 1. Kết quả mô phỏng.

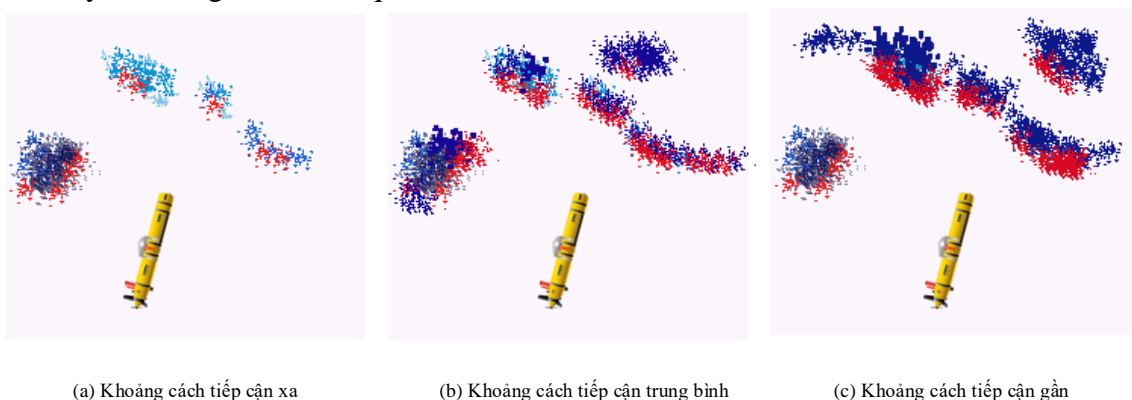
Điểm tính toán	Thông số		
	Khoảng cách (d) km	Vận tốc (v) knots	Thời gian (t) h
A	1,225	3,21	0,418
B	0,823	4,26	0,167
C	0,010	2,68	0,083
D	1,985	4,41	0



Hình 8. Quỹ đạo tránh va chạm AUV.

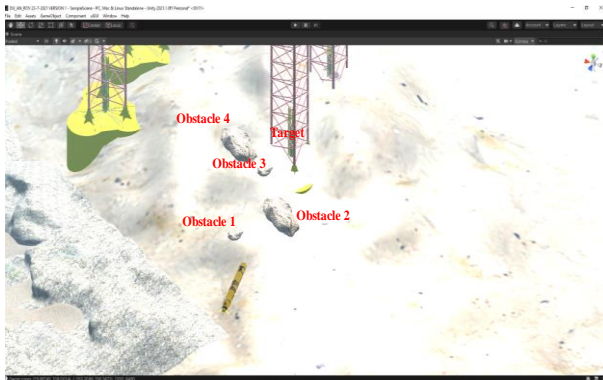
Kết quả tránh va chạm của AUV được thể hiện trong Hình 8 khi phát hiện vật cản trên tuyến đường. Thuật toán tối ưu hóa ACO dò và tính toán hướng đi tối ưu nhất, đưa ra quyết định tới bộ điều khiển AUV. Lúc này, hướng và tốc độ thay đổi để phù hợp với tuyến đường mới. Kết quả thuật toán

Từ Bảng 1 cho thấy tại điểm C nếu AUV không có khả năng tránh va, sẽ dẫn đến xảy ra va chạm với vật cản. Khoảng cách giữa AUV và vật cản khoảng 10 m, trong khi thời gian khoảng 5 phút. Do đó, với điểm C' trên Hình 8, thuật toán ACO tìm kiếm sẽ thỏa mãn và không vi phạm mô hình rủi ro. Các trường hợp còn lại theo công thức (7), (8) sẽ xảy ra va chạm. Trường hợp 2 là kịch bản mô phỏng khi biết trước đường đi và vật cản cố định. Trong phần này, tác giả xét đến quá trình chạy thuật toán để tìm tuyến đường đi hiệu quả nhất đến mục tiêu [21], [22].



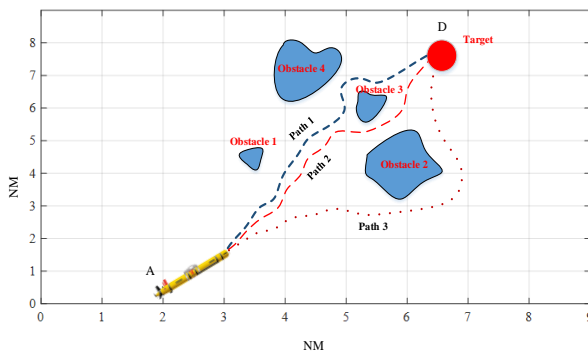
Hình 9. Bản đồ vật cản cố định trong tuyến đường AUV.

Từ dữ liệu phản hồi của sonar truyền về AUV kết hợp phần mềm dựng địa hình dựa theo màu sắc như Hình 9. Dữ liệu cho thấy mức độ địa hình cho trước khá phức tạp, đòi hỏi thuật toán phải tìm được tuyến đường tối ưu nhất thông qua hình dạng, kích thước của bốn vật cản được xác định sẵn. Hình 9 cho thấy khoảng cách gần vật cản thể hiện qua màu sắc, trong đó, màu đỏ cho biết khoảng cách gần, AUV có nguy cơ va chạm như Hình 9 (b). Mức độ càng đậm khoảng 80% như trong Hình 9 (c), nếu AUV không tránh vật cản cố định nguy cơ đâm va sẽ xảy ra. Tiếp theo, trong phần mềm mô phỏng AUV, bốn vật cản cố định thể hiện trong Hình 10 và mục tiêu của AUV là tránh va chạm với những vật cản cố định này để khảo sát nền móng của giàn khoan. Yêu cầu AUV phải xử lý thông tin đầu vào và đưa ra quyết định hướng đi.



Hình 10. Kích bản vật cản cố định.

Sau khi chạy thuật toán tối ưu hóa ACO đã cho kết quả các quãng đường ngắn nhất đến mục tiêu. Kết quả thuật toán sau khi chạy M-file thể hiện trong Hình 11.



Hình 11. Kết quả chạy thuật toán.

Từ kết quả mô phỏng trên, dữ liệu trả về về tuyến đường 2 (Path 2) có khoảng cách ngắn nhất khoảng 3,25 km. Trong khi đó, quãng đường 3

(Path 3) có khoảng cách 5,64 km. Do đó, qua quá trình thử nghiệm thuật toán và mô phỏng AUV, tác giả đánh giá thuật toán đã đáp ứng 87,4 % yêu cầu đặt ra. Tuy nhiên, yếu tố ảnh hưởng môi trường chưa đề cập trong phần nghiên cứu này.

5. Kết luận

Bài báo này đã xây dựng được bộ điều khiển điều hướng phương tiện tự hành dưới nước AUV dựa trên thuật toán tối ưu hóa ACO. Dựa trên mô hình đánh giá rủi ro và kết hợp kết quả mô phỏng đưa ra những gợi ý trong quá trình điều khiển AUV. Bên cạnh đó, thử nghiệm thuật toán và đối tượng điều khiển AUV trong môi trường ảo bằng phần mềm UNITY 3D với các kịch bản khác nhau để đánh giá tính khả thi của hệ thống. Kết quả cho thấy thuật toán điều hướng giúp tránh va chạm cho AUV đã đáp ứng yêu cầu đặt ra. Đây là nghiên cứu bước đầu trong quá trình tiếp cận công nghệ và chế tạo thiết bị trong tương lai.

Tài liệu tham khảo

- [1] P. Ramos, N. Cruz, A. Matos, M. V. Neves, F. L. Pereira, “Monitoring an ocean outfall using an AUV,” in *Proc. MTS/IEEE Oceans 2001. An Ocean Odyssey (IEEE Cat. No.01CH37295)*, 2001, pp. 2009–2014, doi: 10.1109/OCEANS.2001.968154.
- [2] H. A. Ferreira, C. Almeida, Martins, J. M. Almeida, A. Dias, E. Silva, “Environmental modeling with precision navigation using ROAZ autonomous surface vehicle,” in *Proc. IEEE/RSJ Int. Conf. on Intell. Robots and Syst. - IROS12*, 2012, pp.1-7, doi: 10.13140/RG.2.1.1213.0325.
- [3] Y. Liu, J. li, W. Guo, N. Huu, H. Jiajun, M. Gao, “Use of magnetic powder to effectively improve the performance of sequencing batch reactors (SBRs) in municipal wastewater treatment,” *Bioresource Tech.*, vol. 248, pp. 135-139, Jan. 2018, doi: 10.1016/j.biortech.2017.06.069.
- [4] Z. Zeng, K. Sammut, L. Lian, F. He, A. Lammas, Y. Tang, “A comparison of

- optimization techniques for AUV path planning in environments with ocean currents,” *Robot. and Auton. Syst.*, vol. 82, pp. 61-72, Aug. 2016, doi: 10.1016/j.robot.2016.03.011.
- [5] R. Storn, K. Price, “Differential Evolution – A Simple and Efficient Heuristic for global Optimization over Continuous Spaces,” *J. of Glo. Optim.*, vol. 11, pp. 341–359, Dec. 1997, doi: 10.1023/A:1008202821328.
- [6] Z. Yan, Y. Li, A. Jiang, L. Wang, “An obstacle avoidance algorithm for AUV based on obstacle’s detected outline,” in *Proc. 2018 37th Chinese Control Conf. (CCC)*, 2018, pp. 5257–5262, doi: 10.23919/ChiCC.2018.8482654.
- [7] D. Cook, A. Vardy and R. Lewis, “A survey of AUV and robot simulators for multi-vehicle operations,” in *Proc. 2014 IEEE/OES Auton. Underwater Vehicles (AUV)*, 2014, pp. 1-8, doi: 10.1109/AUV.2014.7054411.
- [8] W. Chen, S. Hu and Q. Wei, “Design of ROV Adaptive Sliding Mode Control System for Underwater Vehicle Based on RBF Neural Network,” in *Proc. 2021 33rd Chinese Control and Decis. Conf. (CCDC)*, pp. 2976-2981, 2021, doi: 10.1109/CCDC52312.2021.9602771.
- [9] R. Fushen, Q. Hu, “ROV Sliding Mode Controller Design and Simulation,” *Processes*, vol. 11, no. 8, Aug. 2023, Art. no. 2359, doi: 10.3390/pr11082359.
- [10] N. Đ. Thạch, “Sử dụng bộ điều khiển PLC và phần mềm UNITY 3D trong thiết kế hệ thống mô phỏng phương tiện dưới nước (ROV)”, *TC KHCN HH*, số 68, tr.9-14, 11. 2021.
- [11] N. Đ. Thạch, “Thiết kế và mô phỏng phương tiện tự hành dưới nước sử dụng phần mềm UNITY 3D,” *TC GTVT*, số 734, tr. 117-120, 10. 2023.
- [12] T. I. Fossen, *Guidance and Control of Ocean Vehicles*, Chichester, NY, USA: John Wiley and Sons, 1994.
- [13] T. I. Fossen, *Marine Control Systems: Guidance, Navigation and Control of Ships, Rigs, Underwater Vehicles*, Trondheim, Norway: Marine Cybernetics, 2002.
- [14] S. Vibhute, “Adaptive Dynamic Programming Based Motion Control of Autonomous Underwater Vehicles,” in *Proc. 2018 5th Int. Conf. on Control, Decis. and Inf. Tech. (CoDIT)*, 2018, pp. 966-971, doi: 10.1109/CoDIT.2018.8394934.
- [15] E. W. Weisstein. “Point-Line Distance-3-Dimensional.” *mathworld.wolfram.com*. <https://mathworld.wolfram.com/Point-LineDistance3-Dimensional.html> (accessed Oct. 5, 2023).
- [16] G. -Z. Tan, H. Huan, A. Sloman, “Ant Colony System Algorithm for Real-Time Globally Optimal Path Planning of Mobile Robots,” *Acta Automatica Sinica*, vol. 33, no. 3, pp. 279-285, Mar. 2007, doi: 10.1360/aas-007-0279.
- [17] S. Liu, L. Mao and J. Yu, “Path Planning Based on Ant Colony Algorithm and Distributed Local Navigation for Multi-Robot Systems,” in *Proc. 2006 Int. Conf. on Mechatronics and Autom.*, 2006, pp. 1733-1738, doi: 10.1109/ICMA.2006.257476.
- [18] W. Li, X. Yang, J. Yan and X. Luo, “An obstacle avoiding method of autonomous underwater vehicle based on the reinforcement learning,” in *Proc. 2020 39th Chinese Control Conf. (CCC)*, 2020, pp. 4538-4543, doi: 10.23919/CCC50068.2020.9188579.
- [19] H. Nakagomi *et al.*, “3D Scan matching for mobile robot localization over rough terrain,” *Elect. Eng. in Japan*, vol. 209, no. 3-4, pp. 14-25, 2019, doi: 10.1541/ieej.iss.139.1041.
- [20] C. Shen, Y. Shi and B. Buckham, “Trajectory Tracking Control of an Autonomous Underwater Vehicle Using Lyapunov-Based Model Predictive Control,” *IEEE Trans. on Ind. Electron.*, vol. 65, no. 7, pp. 5796-5805, Jul. 2018, doi: 10.1109/TIE.2017.2779442.
- [21] J. Gao, A. A. Proctor, Y. Shi and C. Bradley, “Hierarchical Model Predictive Image-Based Visual Servoing of Underwater Vehicles With Adaptive Neural Network Dynamic Control,” *IEEE Trans. on Cyber.*, vol. 46, no. 10, pp.

- 2323-2334, Oct. 2016, doi: 10.1109/TCYB.2015.2475376.
- [22] X. Wang, Z. Meng, X. Hou, J. Du, R. Liu and Y. Ren, “Reinforcement Learning Based Obstacle Avoidance for AUV Swarm in Dynamic Ocean Environment,” in *Proc. 2023 IEEE/CIC Int. Conf. on Commun. in China (ICCC Workshops)*, 2023, pp. 1-6, doi: 10.1109/ICCCWorkshops57813.2023.10233813.