

NGHIÊN CỨU THUẬT TOÁN ĐÁNH GIÁ XÁC SUẤT NGUY CƠ ĐÂM VÀ
VÀ ĐỀ XUẤT PHƯƠNG ÁN TRÁNH VA GIỮA TÀU VÀ PHAOA STUDY ON ALGORITHM FOR ASSESSING COLLISION RISK
PROBABILITY AND PROPOSING COLLISION AVOIDANCE METHODS
BETWEEN SHIP AND BUOY

LƯƠNG TÚ NAM, NGUYỄN XUÂN LONG*, NGUYỄN ANH TUẤN

Khoa Hàng hải, Trường Đại học Hàng hải Việt Nam

*Email liên hệ: nguyensexuanlong@vimaru.edu.vn

Tóm tắt

Đảm bảo an toàn hàng hải trong vùng ven biển và vùng nước hạn chế đòi hỏi phải có phương pháp đánh giá nguy cơ đâm va hiệu quả giữa tàu và các báo hiệu hàng hải cố định. Nghiên cứu này áp dụng kết hợp các phương pháp trường thế tiềm năng và trường thế tiềm năng nhân tạo để đánh giá rủi ro đâm va giữa tàu và phao. Mô hình nghiên cứu xem tàu như một thực thể động chịu tác động bởi lực hấp dẫn hướng về tuyến hành trình và lực đẩy lùi từ các phao, đồng thời điều chỉnh lộ trình theo thời gian thực để tránh va chạm. Các tham số quan trọng như tốc độ tàu, khoảng cách đến phao được tích hợp vào mô hình nhằm nâng cao độ chính xác. Kết quả mô phỏng cho thấy phương pháp đề xuất có hiệu quả trong việc dự đoán nguy cơ đâm va và đề xuất tuyến đường an toàn. Nghiên cứu này góp phần vào sự phát triển của hệ thống hàng hải thông minh và tàu không người lái, giúp giảm thiểu nguy cơ đâm va giữa tàu và phao trong các tuyến hàng hải đông đúc.

Từ khóa: Nguy cơ đâm va, Trường thế tiềm năng, Trường thế tiềm năng nhân tạo, đánh giá rủi ro, an toàn hàng hải.

Abstract

Ensuring maritime safety in coastal and restricted waters requires effective collision risk assessment between vessels and fixed navigational aids such as buoys. This study applies the combined Potential Field Method and Artificial Potential Field approach to evaluate the risk of ship-buoy collisions. The research models vessels as dynamic agents influenced by attractive forces toward the intended route and repulsive forces from buoys, applying real-time adjustments to avoid collisions. Key parameters such as ship speed, distance to buoys is incorporated into the

model to enhance accuracy. Simulation results demonstrate the effectiveness of the proposed method in predicting potential collisions and suggesting safe maneuvering strategies. This research contributes to the development of intelligent navigation systems and autonomous ship, reducing the risk of ship-buoy collisions in congested waterways.

Keywords: Collision risk, Potential Field Method, Artificial Potential Field, risk assessment, maritime safety.

1. Mở đầu

Việc nghiên cứu ứng dụng cho tàu tự hành không người lái đã trở nên phổ biến trong những năm gần đây. So với các hệ thống có người lái truyền thống, tàu tự hành mang lại nhiều lợi thế đáng kể trong hoạt động cứu hộ hàng hải và thám hiểm đại dương. Tuy nhiên, cần nhận thức rằng các chướng ngại vật là không thể tránh khỏi trên tuyến đường di chuyển của tàu. Khi nhiệm vụ của tàu không người lái ngày càng trở nên phức tạp, nhu cầu về khả năng tránh chướng ngại vật hiệu quả ngày càng gia tăng. Do đó, nghiên cứu về điều khiển tránh chướng ngại vật cho tàu tự hành là rất cần thiết nhằm đảm bảo khả năng chuyển hướng an toàn của chúng.

Trong những năm gần đây, vấn đề này đã thu hút sự quan tâm của nhiều nhà nghiên cứu [1-6]. Các phương tiện mặt nước không người lái đóng vai trò quan trọng trong các ứng dụng hàng hải, đòi hỏi các chiến lược dẫn đường và điều khiển tiên tiến để đảm bảo khả năng di chuyển hiệu quả và an toàn. Nhằm giải quyết thách thức của việc theo dõi mục tiêu trong điều kiện có chướng ngại vật, luật dẫn hướng tỉ lệ có độ chệch kết hợp với ràng buộc góc nhìn, giúp tàu duy trì định hướng chính xác về phía mục tiêu vào thời điểm cuối cùng [7]. Một hệ thống điều khiển phân cấp được giới thiệu nhằm nâng cao khả năng cơ động và tránh va chạm của tàu [8]. Tại Việt Nam, các nghiên cứu hiện nay tập trung chủ yếu về phương pháp điều

khiến theo dõi quỹ đạo và kiểm soát hướng di chuyển của tàu tự hành trên mặt nước [9, 10].

Phương pháp trường thế tiềm năng (Potential Field Method - PFM) là một trong những kỹ thuật phổ biến được sử dụng để điều động và tránh va chạm trong môi trường hàng hải [11, 12]. Trong khi đó, phương pháp trường thế nhân tạo (Artificial Potential Field - APF) sử dụng các hàm thế phi tuyến để mô tả trường lực quanh chướng ngại vật, giúp cải thiện khả năng tránh va và chuyển hướng an toàn hơn [13, 14]. Cả PFM và APF đều được sử dụng trong nhiều ứng dụng hàng hải hiện đại, đặc biệt là:

- Điều động tàu tự hành tránh va chạm trong môi trường có mật độ chướng ngại vật cao;
- Ứng dụng trong việc điều động trên biển.

Nhìn chung, PFM và APF đều đóng vai trò quan trọng, giúp nâng cao hiệu suất và đảm bảo an toàn cho tàu trong môi trường hàng hải phức tạp.

Trong nghiên cứu này, thuật toán cho tàu tránh va tự động với chướng ngại vật tĩnh bao gồm nhiều phương án được đề xuất. Trước tiên, phương pháp APF được áp dụng để xây dựng trường xác suất rủi ro quang chướng ngại vật tại Mục 2. Sau đó kết hợp trường lực nhân tạo để tính toán quỹ đạo tránh chướng ngại vật trong thời gian thực, giúp khắc phục hiệu quả các thách thức do chướng ngại vật gây ra tại Mục 3. Mục 4 cung cấp một mô phỏng được thực hiện để chứng minh tính hiệu quả của phương pháp đề xuất. Cuối cùng Mục 5 đưa ra kết luận của bài báo.

2. Xây dựng trường xác suất rủi ro quanh chướng ngại vật tĩnh trên biển

Trong một tập hợp điểm thuộc không gian 2D, mỗi điểm sẽ có một tác động tới các điểm lân cận xung quanh. Mức độ ảnh hưởng này có thể được mô tả thông qua một hàm toán học. Hàm này sẽ xác định mức độ ảnh hưởng của điểm đó đối với các điểm khác trong không gian.

Tương tự trong môi trường hàng hải, các chướng ngại vật tĩnh như phao báo hiệu đóng vai trò quan trọng trong việc định hướng và đảm bảo an toàn hàng hải. Khi một tàu di chuyển trong vùng nước có các chướng ngại vật này, nguy cơ va chạm sẽ tăng lên nếu không có biện pháp điều động thích hợp. Để mô tả tác động của các chướng ngại vật tĩnh đối với tàu, có thể sử dụng phương pháp trường thế nhân tạo (Artificial Potential Field - APF). Mỗi chướng ngại vật tĩnh được xem như một nguồn tạo ra trường thế đẩy, có cường độ giảm dần theo khoảng cách. Khi tàu tiến lại gần chướng ngại vật, giá trị trường thế tăng lên, phản ánh mức độ rủi ro gia tăng. Tàu có xu hướng tránh những

vùng có trường thế cao để đảm bảo an toàn. Hàm thế đẩy thường được biểu diễn dưới dạng hàm mũ hoặc hàm nghịch đảo của khoảng cách, giúp mô tả mức độ tác động của chướng ngại vật lên quỹ đạo di chuyển của tàu. Bằng cách sử dụng APF để mô hình hóa tác động của chướng ngại vật, có thể thiết lập các thuật toán điều động giúp tàu tránh va chạm một cách tự động, tối ưu hóa hành trình trong môi trường biển phức tạp.

Trường thế năng nhân tạo của chướng ngại vật tĩnh trên tàu được mô tả bằng công thức sau:

$$f_{obs} = e^{-\beta_{obs}[(x-x_{obs})^2+(y-y_{obs})^2]} \quad (1)$$

Trong đó:

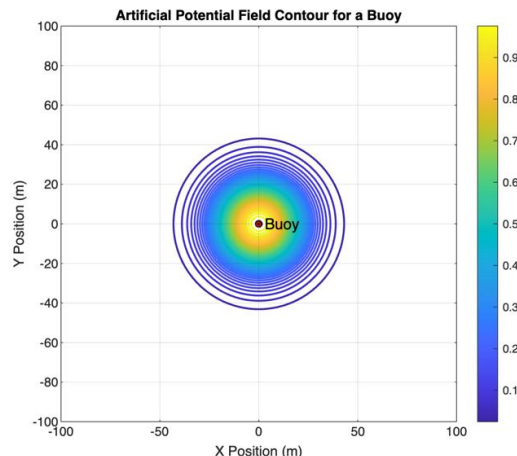
f_{obs} : Giá trị trường thế năng của chướng ngại vật;

(x,y) : Vị trí hiện tại của tàu;

(x_{obs}, y_{obs}) : Vị trí chướng ngại vật;

β_{obs} : Hệ số điều chỉnh tốc độ suy giảm của trường thế của chướng ngại vật;

Giá trị β_{obs} càng lớn thì f_{obs} sẽ biến mất càng nhanh. Khi vị trí tàu trùng với vị trí của chướng ngại vật, thế năng sẽ đạt giá trị cực đại là 1. Khoảng cách giữa tàu và chướng ngại vật điểm càng lớn thì tác động của chướng ngại vật càng nhỏ. Tác động này tiến tới 0 ở những nơi xa chướng ngại vật.



Hình 1. Trường thế năng của phao

Hình 1 mô tả trường thế năng của một phao có kích thước 3m. Khi tàu ở xa phao (>50m), giá trị trường thế năng rất nhỏ, gần bằng 0. Tàu có thể di chuyển mà không gặp nguy cơ va chạm với phao, giá trị rủi ro thấp. Khi tàu tiếp cận phao (30m - 50m), trường thế năng bắt đầu tăng nhẹ (<0,2), nhưng rủi ro va chạm vẫn rất thấp. Tàu có thể tiếp tục hành trình mà không cần thay đổi lộ trình, trừ khi có yếu tố tác động khác (gió, dòng chảy, tàu khác). Giai đoạn này thích hợp để đưa ra cảnh báo nhẹ về khoảng cách an toàn. Khi tàu

đến gần phao (10m - 30m), trường thế tăng đáng kể (0,2 - 0,5), phản ánh mức độ nguy hiểm gia tăng. Tàu có thể gặp khó khăn trong việc tránh phao nếu không có sự điều chỉnh kịp thời, cần điều động để tránh đi thẳng vào chướng ngại vật. Khi tàu đến rất gần phao (3m - 10m), trường thế năng đạt mức cao (0,5 - 0,9), cảnh báo nguy cơ va chạm đáng kể. Nếu tàu tiếp tục đi theo hướng này mà không điều chỉnh, khả năng va chạm là rất lớn. Hệ thống cảnh báo nên phát tín hiệu mạnh để buộc tàu phải điều chỉnh hướng ngay lập tức. Khi khoảng cách từ tàu đến chướng ngại vật nhỏ hơn 3m, trường thế đạt mức cực đại, phản ánh rủi ro va chạm chắc chắn.

Như vậy, khi tàu càng tiến gần phao, giá trị f_{obs} càng cao, rủi ro va chạm càng lớn. Việc đánh giá rủi ro dựa trên giá trị f_{obs} có thể giúp sỹ quan hàng hải hoặc hệ thống tránh va tự động đưa ra quyết định sớm để đảm bảo an toàn hàng hải.

3. Xây dựng phương pháp tự động tránh chướng ngại vật tĩnh cho tàu

Khi tàu cần di chuyển từ vị trí ban đầu đến một điểm bất kỳ, nó có thể sẽ phải tránh va với các chướng ngại vật tĩnh (ví dụ: Báo hiệu hàng hải,...). Trong nghiên cứu này, phương pháp trường thế tiềm năng (PFM - Potential Field Method) được sử dụng để điều khiển tàu một cách tự động bằng cách giả định rằng:

- Mục tiêu (Goal) đóng vai trò như một điểm hút tạo ra lực hấp dẫn kéo tàu về phía nó.

- Chướng ngại vật (Obstacle) tạo ra một lực đẩy, khiến tàu tránh xa khỏi nó.

Bằng cách kết hợp hai lực này, có thể lập hành trình cho tàu tránh được chướng ngại vật mà vẫn tiến về phía mục tiêu.

3.1. Xây dựng phương pháp tự động tránh chướng ngại vật cho tàu bằng PFM

Hệ thống hoạt động dựa trên sự cân bằng giữa lực hấp dẫn và lực đẩy. Lực hấp dẫn được tạo ra từ mục tiêu mong muốn, tức là điểm đến hoặc lộ trình của tàu. Lực này có tác dụng kéo tàu về hướng mục tiêu. Lực đẩy xuất phát từ các chướng ngại vật như phao, bờ biển hoặc tàu khác. Lực này có tác dụng đẩy tàu ra xa khỏi vùng nguy hiểm.

Tổng hợp 2 loại lực này sẽ giúp tàu tìm được một lộ trình tối ưu để tiến tới đích mà không va chạm với chướng ngại vật.

(a) Lực hấp dẫn hướng về mục tiêu

Lực hấp dẫn (F_{att}) giúp tàu tiến về đích được xác định theo công thức:

$$F_{att} = k_{att} \frac{q_{goal}-q}{\|q_{goal}-q\|} \quad (2)$$

Trong đó:

k_{att} : Hệ số lực hấp dẫn, kiểm soát mức độ mạnh yếu của lực này;

q : Vị trí hiện tại của tàu;

q_{goal} : Vị trí mục tiêu;

$\|q_{goal}-q\|$: Khoảng cách từ tàu đến mục tiêu.

Lực này luôn hướng về mục tiêu, đảm bảo tàu không bị lệch khỏi quỹ đạo cần thiết.

(b) Lực đẩy tránh chướng ngại vật

Khi tàu ở gần chướng ngại vật (phao), một lực đẩy (F_{rep}) sẽ xuất hiện để đẩy tàu ra xa khỏi nguy cơ va chạm. Lực này có công thức:

$$F_{rep} = k_{rep} \left(\frac{1}{d_{buoy}} - \frac{1}{d_0} \right) \left(\frac{1}{d_{buoy}^2} \right) \frac{q-q_{buoy}}{d_{buoy}} \quad (3)$$

Trong đó:

k_{rep} : Hệ số lực đẩy, quy định mức độ ảnh hưởng của chướng ngại vật;

d_{buoy} : Khoảng cách từ tàu đến phao;

d_0 : Khoảng cách an toàn tối thiểu. Nếu tàu cách phao xa hơn d_0 , lực đẩy bằng 0;

q_{buoy} : Vị trí của phao;

$(q-q_{buoy})/d_{buoy}$: Véc tơ đơn vị chỉ hướng từ phao đến tàu.

Lực đẩy có đặc điểm:

Khi tàu ở xa phao, lực đẩy không có tác dụng.

Khi tàu đến gần phao, lực đẩy tăng nhanh để đẩy tàu tránh xa.

(c) Tổng hợp lực và cập nhật vị trí

Lực tổng hợp tác động lên tàu:

$$F_{total} = F_{att} + F_{rep} \quad (4)$$

Dựa trên lực tổng hợp này, tàu di chuyển một bước nhỏ theo hướng của F_{total} :

$$q_{new} = q + \frac{n \times F_{total}}{\|F_{total}\|} \quad (5)$$

n : Bước tiến của tàu trong mỗi lần cập nhật.

$\|F_{total}\|$: Chuẩn hóa để đảm bảo tàu luôn di chuyển với một vận tốc ổn định.

Tàu tiếp tục cập nhật vị trí theo công thức trên cho đến khi đến gần mục tiêu (khoảng cách nhỏ hơn 10m) hoặc khi đạt giới hạn bước tính toán.

Trong phương pháp này, khoảng cách an toàn d_0 và các hệ số k_{att} , k_{rep} là các yếu tố quan trọng quyết

định hiệu quả tránh va. Vì vậy, lựa chọn khoảng cách an toàn hợp lý để đảm bảo hiệu suất di chuyển cũng như điều chỉnh hệ số để tàu không bị mắc kẹt phụ thuộc vào điều kiện thực tế (kích thước tàu, tốc độ, khoảng cách đến mục tiêu).

- Khi khoảng cách nhỏ thì quãng đường đi sẽ ngắn nhất, ít tốn nhiên liệu, tuy nhiên lực hấp dẫn có thể không đủ mạnh để kéo tàu ra khỏi vùng ảnh hưởng của lực đẩy, dẫn đến tàu dễ bị mắc kẹt.

- Khi khoảng cách an toàn trung bình sẽ đảm bảo tránh chướng ngại vật mà không làm tăng quãng đường quá mức. Để làm được việc này cần tinh chỉnh hệ số lực để đảm bảo không bị lệch hướng quá xa.

- Khi khoảng cách an toàn lớn, việc tránh va với chướng ngại vật được đảm bảo an toàn cao nhất. Điều này sẽ dẫn đến tốn nhiên liệu và thời gian hơn do phải di chuyển quãng đường dài hơn.

3.2. Mô phỏng đánh giá PFM cho tàu tự động tránh chướng ngại vật

Một con tàu dài 100m di chuyển từ vị trí ban đầu đến mục tiêu, nhưng trên đường đi, nó phải tránh một phao nằm trên tuyến đường thẳng giữa hai điểm. Mục tiêu là đảm bảo tàu có thể đi qua phao với một khoảng cách an toàn tối thiểu (10m, 30m, 50m), sau đó tiếp tục di chuyển đến mục tiêu cuối cùng.

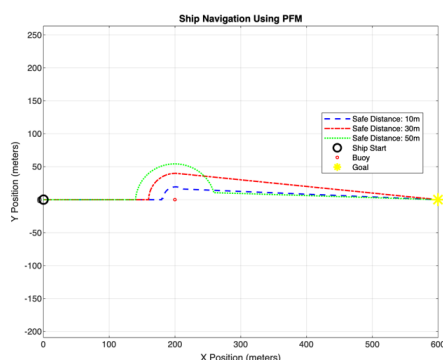
Các thông số thử nghiệm:

Tàu xuất phát từ: (0,0);

Mục tiêu ở vị trí: (800,0);

Phao chướng ngại vật đặt tại: (300,0).

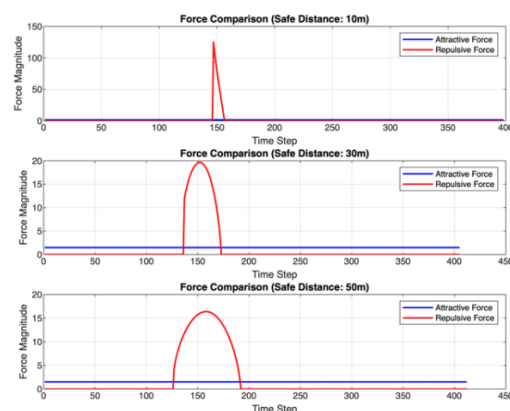
Điểm bắt đầu tránh va khác nhau cho từng khoảng cách an toàn. Phương pháp PFM được áp dụng để quỹ đạo đảm bảo tàu đi qua phao với khoảng cách an toàn và tiếp tục hành trình sau khi vượt qua phao đảm bảo quay lại quỹ đạo hướng đến mục tiêu. Kết quả mô phỏng cho tàu tránh phao theo các khoảng cách an toàn khác nhau được mô tả ở Hình 2.



Hình 2. Tàu tránh phao theo các khoảng cách an toàn khác nhau

Tàu bắt đầu chuyển hướng tại các vị trí khác nhau, tùy thuộc vào khoảng cách an toàn đã chọn. Trường hợp tránh va 10m có quỹ đạo hẹp nhất, tàu rẽ lái gấp gần phao rồi nhanh chóng quay lại hướng mục tiêu. Quỹ đạo tránh va 10m này có rủi ro cao hơn do tàu phải điều chỉnh hướng gấp khi tiếp cận phao, dễ gây mất ổn định. Trường hợp tránh va 30m có quỹ đạo rộng hơn, tàu bắt đầu chuyển hướng sớm hơn và có đường cong mượt hơn khi đi qua phao. Quỹ đạo tránh va 30m có sự cân bằng tốt nhất, giúp tàu chuyển hướng êm ái mà vẫn giữ được khoảng cách an toàn hợp lý. Trường hợp tránh va 50m có quỹ đạo rộng nhất, tàu chuyển hướng từ xa, tạo một vòng tránh rất lớn trước khi quay lại hướng mục tiêu. Quỹ đạo tránh va 50m tiêu tốn nhiều quãng đường hơn, làm tăng tổng hành trình nhưng đảm bảo tránh xa vùng nguy hiểm.

Tổng quãng đường di chuyển tăng dần theo khoảng cách tránh va, với 50m có quãng đường dài nhất và 10m ngắn nhất. Sau khi vượt qua phao, tàu quay lại hướng đi về mục tiêu theo một đường cong hợp lý, không bị lệch quá xa.



Hình 3. Các lực trong quá trình tàu hành trình theo các khoảng cách an toàn khác nhau

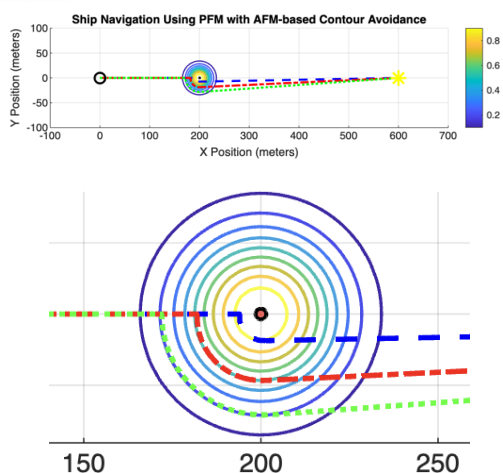
Hình 3 so sánh các lực trong quá trình tàu hành trình theo các phương án tránh phao dựa trên khoảng cách an toàn. Kết quả cho thấy, lực hút (F_{att}) trong cả 3 trường hợp đều tương tự nhau, giữ tàu hướng về mục tiêu, nhưng giảm dần khi tàu đến gần đích. Lực đẩy (F_{rep}) xuất hiện khi tàu tiến vào vùng tránh va, với cường độ cao nhất khi tàu ở gần phao. Trong trường hợp tránh va 10m có lực đẩy lớn nhất do tàu cần điều chỉnh hướng mạnh hơn để duy trì khoảng cách tối thiểu, trường hợp tránh va 30m có lực đẩy thấp hơn vì tàu có thể rẽ lái từ xa mà không cần điều chỉnh gấp và trường hợp tránh va 50m có lực đẩy nhỏ nhất, vì tàu đã thay đổi hướng từ rất sớm, giảm nguy cơ tiếp cận phao quá gần. Thời gian xuất hiện lực đẩy khác nhau,

với khoảng tránh va xa hơn thì lực đẩy xuất hiện sớm hơn và biến mất chậm hơn. Tổng lực tác động (F_{total}) trong trường hợp tránh va 10m có biên độ dao động lớn hơn do lực đẩy mạnh. Lực hút và lực đẩy cân bằng nhau trong suốt hành trình, đảm bảo tàu không bị đẩy quá xa khỏi tuyến đường dự kiến. Hiệu quả tránh va tốt nhất đạt được khi có sự điều chỉnh hợp lý giữa khoảng cách tránh va và mức độ lực đẩy. Tóm lại, phương án tránh va 30m có sự cân bằng tốt nhất giữa lực hút và lực đẩy, giúp tàu điều động chuyển hướng mượt mà nhất.

4. Mô phỏng đánh giá

Việc kết hợp 2 phương pháp PFM và APF sẽ giúp tối ưu hóa quá trình điều động tàu để tránh phao một cách an toàn và hiệu quả. Trong mô hình này, APF được sử dụng để xây dựng một trường thế năng xung quanh phao, mô phỏng tác động cản trở của chướng ngại vật tĩnh. Trường thế này giảm dần từ tâm phao ra bên ngoài, tạo thành các đường contour thể hiện mức độ ảnh hưởng khác nhau. Các đường contour có giá trị cao gần phao hơn, biểu thị khu vực có rủi ro va chạm cao, trong khi giá trị thấp hơn ở xa, cho thấy mức độ ảnh hưởng giảm dần.

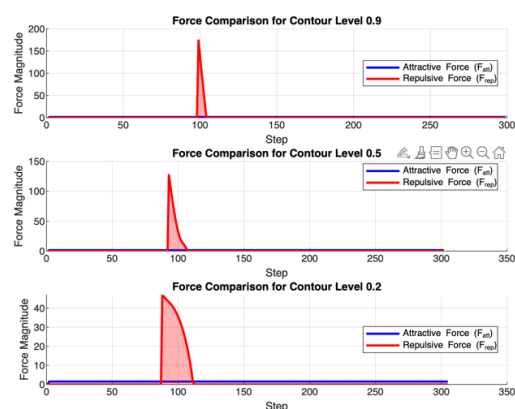
Khi tàu di chuyển về phía mục tiêu, PFM được sử dụng để tính toán lực tổng hợp tác động lên tàu, gồm lực hấp dẫn hướng về mục tiêu và lực đẩy từ phao dựa trên APF. Thay vì tránh phao theo một khoảng cách cố định, tàu sẽ chuyển hướng theo các đường contour xác định trước của APF (ví dụ: 0,9, 0,5 hoặc 0,2) (như Hình 4). Khi tàu tiếp cận vùng có ảnh hưởng của phao, lực đẩy từ APF sẽ dần tăng lên, buộc tàu phải thay đổi hướng di chuyển để giữ nguyên trên đường contour mong muốn, từ đó duy trì khoảng cách an toàn phù hợp.



Hình 4. Tàu tránh phao theo các đường contour có giá trị khác nhau

Sự kết hợp này giúp tạo ra một lộ trình tránh phao chủ động hơn, hạn chế các thay đổi góc lái đột ngột và tránh những quỹ đạo không tối ưu. Nếu chỉ sử dụng PFM với một lực đẩy đơn giản, tàu có thể gặp tình trạng thay đổi hướng mạnh khi vào gần phao, gây mất ổn định. Nhờ sự kết hợp của cả 2 phương pháp, tàu có thể tự động điều chỉnh quỹ đạo hợp lý, vừa đảm bảo tránh chướng ngại vật, vừa tối ưu hóa thời gian hành trình và nhiên liệu tiêu thụ.

Hình 5 so sánh các lực trong quá trình tàu hành trình theo các phương án tránh phao dựa trên các đường contour. Kết quả thu được từ 3 biểu đồ cho thấy lực hút (đường màu xanh) luôn hướng về mục tiêu và có cường độ tương đối ổn định, trong khi lực đẩy (đường màu đỏ) biến thiên mạnh khi tàu đến gần phao. Vùng màu đỏ tô đậm trên biểu đồ nhấn mạnh khoảng thời gian lực đẩy chi phối, cho thấy ảnh hưởng của phao lên hướng đi của tàu.



Hình 5. Các lực trong quá trình tàu hành trình theo các đường contour có giá trị khác nhau

Trong 3 phương án tránh phao theo các đường contour 0,9, 0,5 và 0,2, lực tác động lên tàu có sự khác biệt rõ rệt, ảnh hưởng đến quỹ đạo di chuyển, mức độ an toàn và hiệu suất vận hành. Khi tàu di chuyển theo contour 0,9, lực đẩy từ phao là lớn nhất, khiến tàu tránh phao từ rất xa. Điều này đảm bảo mức độ an toàn cao nhất, gần như loại bỏ hoàn toàn nguy cơ va chạm. Tuy nhiên, do hành trình bị kéo dài đáng kể, lực hấp dẫn hướng đến mục tiêu giảm đi, dẫn đến tiêu hao nhiên liệu lớn hơn và thời gian di chuyển lâu hơn.

Ở mức contour 0,5, lực đẩy từ phao vẫn đủ mạnh để tàu tránh một khoảng cách an toàn, nhưng không quá xa như contour 0,9. Lực hấp dẫn và lực đẩy từ phao đạt trạng thái cân bằng hợp lý, giúp tàu duy trì một quỹ đạo di chuyển tối ưu giữa an toàn và hiệu

suất. Hành trình của tàu ngắn hơn so với contour 0,9, tiết kiệm nhiên liệu hơn, nhưng vẫn tồn tại rủi ro va chạm nhỏ nếu tàu chịu tác động từ sóng gió hoặc có sai lệch trong điều khiển.

Cuối cùng, khi tàu tránh theo contour 0,2, lực đẩy từ phao là nhỏ nhất, khiến tàu di chuyển rất gần với phao. Khi đó, lực hấp dẫn về mục tiêu chiếm ưu thế, giúp rút ngắn hành trình đáng kể, tiết kiệm nhiên liệu tối đa. Tuy nhiên, do khoảng cách giữa tàu và phao rất ngắn, nguy cơ va chạm tăng cao, đặc biệt khi tàu chịu ảnh hưởng của dòng chảy, sóng gió hoặc có sai lệch nhỏ trong chuyển hướng. Phương án này phù hợp trong điều kiện biển lặng và khi cần tối ưu hóa thời gian hành trình, nhưng không đảm bảo an toàn tuyệt đối.

Tóm lại, việc lựa chọn contour tránh phao phù hợp cần cân nhắc giữa mức độ an toàn và hiệu suất hành trình. Nếu ưu tiên an toàn, contour 0,9 là lựa chọn tối ưu nhưng tốn thời gian và nhiên liệu. Nếu cần cân bằng giữa an toàn và hiệu suất, contour 0,5 là phương án hợp lý. Trong trường hợp muốn tối ưu hóa nhiên liệu và thời gian, contour 0,2 có thể được sử dụng nhưng đi kèm với rủi ro cao hơn.

5. Kết luận

Trong nghiên cứu này, nhóm tác giả đã nghiên cứu xây dựng phương pháp đánh giá rủi ro giữa tàu và phao, từ đó xây dựng thuật toán để tàu có nhiều phương án tránh phao một cách tự động. Phương pháp PFM và APF được kết hợp đã cho thấy tính hiệu quả trong đánh giá rủi ro khi tàu hành trình trong khu vực có các chướng ngại vật. PFM sử dụng lực hấp dẫn hướng đến mục tiêu và lực đẩy từ chướng ngại vật để định hướng tàu, trong khi APF cho phép điều chỉnh lực theo hướng mong muốn để tránh va chạm mượt mà hơn. Tùy vào loại tàu (tàu hàng, tàu cá, tàu chở khách,...), các hệ số như cường độ lực đẩy và phạm vi tác động có thể được điều chỉnh để phù hợp với khả năng điều động của tàu. Tàu nhỏ có thể tránh va theo đường contour hẹp hơn, trong khi tàu lớn cần khoảng tránh xa hơn để đảm bảo an toàn và giảm rủi ro mất kiểm soát khi đổi hướng. Kết quả của nghiên cứu có thể sử dụng để hỗ trợ ra quyết định cho sỹ quan hàng hải hoặc trong các hệ thống tránh va cho tàu không người lái.

Lời cảm ơn

Nghiên cứu này được tài trợ bởi Trường Đại học Hàng hải Việt Nam trong đề tài mã số: **DT24-25.05**.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Gonzalez-Garcia, A.; Collado-Gonzalez, I.; Cuan-Urquiza, R.; Sotelo, C.; Sotelo, D.; Castañeda, H. (2022), *Path-following and lidar-based obstacle avoidance via NMPC for an autonomous surface vehicle*. *Ocean Engineering*, Vol.266, 112900.
- [2] Guo, B.; Guo, N.; Cen, Z. (2022), *Obstacle avoidance with dynamic avoidance risk region for mobile robots in dynamic environments*. *IEEE Robotics and Automation Letters*, Vol.7, pp.5850-5857.
- [3] Wu, H.; Zhang, H.; Feng, Y. (2022), *MPC-based obstacle avoidance path tracking control for distributed drive electric vehicles*. *World Electric Vehicle Journal*, Vol.13, 221.
- [4] Wei, J.; Zhang, J.; Li, H.; Xia, J.; Liu, Z. (2025), *Guidance method with collision avoidance using guiding vector field for multiple unmanned surface vehicles*. *Drones*, Vol.9, 105.
- [5] Li, Y.; Hou, P.; Cheng, C.; Wang, B. (2025), *Research on collision avoidance methods for unmanned surface vehicles based on boundary potential field*. *Journal of Marine Science and Engineering*, Vol.13, 88.
- [6] Yuan, X.; Tong, C.; He, G.; Wang, H. (2023), *Unmanned vessel collision avoidance algorithm by dynamic window approach based on COLREGs considering the effects of the wind and wave*. *Journal of Marine Science and Engineering*, Vol.11, 1831.
- [7] Du, B.; Xie, W.; Zhang, W.; Chen, H. (2024), *A target tracking guidance for unmanned surface vehicles in the presence of obstacles*. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, Vol.25, pp.4102-4115.
- [8] Ahiska, K.; Leblebicioglu, M.K. (2024), *A hierarchical control scheme for trajectory tracking USVs in environments with disturbances and dynamic obstacles*. *IEEE Transactions on Intelligent Vehicles*, pp. 1-10.
- [9] Xuan-Dung Nguyen, Trung-Kien Vo, Dinh-Hoang Van, & Manh-Tuan Ha. (2022), *Design and Implementation of an Autonomous USV in Bathymetric Surveys*. *International Journal of Intelligent Systems and Applications in Engineering*, Vol.10(4), pp.570-573.

- [10] Nguyen Dinh Thach, Dinh Anh Tuan, Nguyen Van Hung (2023), *Design of the unmanned surface vehicle simulation system using unity 3D software. International Journal of Advances in Electrical Engineering* 2023, Vol.4, Issue 2, Part A, pp.43-48.
- [11] Khatib, O. (1986), *Real-time obstacle avoidance for manipulators and mobile robots. The International Journal of Robotics Research*, Vol.5(1), pp.90-98.
- [12] Wang, W., & Kim, J. H. (2020), *Obstacle avoidance path planning for unmanned surface vehicles using improved artificial potential field method. Ocean Engineering*, Vol.218, 108190.
- [13] Ge, S. S., & Cui, Y. J. (2002), *Dynamic motion planning for mobile robots using potential field method. Autonomous Robots*, Vol.13(3), pp.207-222.
- [14] Du, J., Li, B., & Liang, X. (2021), *An artificial force-based method for unmanned surface vehicle collision avoidance. Journal of Marine Science and Technology*, Vol.26(2), pp.150-162.

Ngày nhận bài:	25/03/2025
Ngày nhận bản sửa:	09/04/2025
Ngày duyệt đăng:	09/04/2025