

NGHIÊN CỨU MÔ HÌNH DỰA TRÊN TÁC TỬ CHO PHÂN TÍCH RỦI RO GIAO THÔNG HÀNG HẢI TÀU BIỂN

STUDY BASED ON AN AGENT-BASED MODEL FOR MARITIME TRANSPORTATION RISK ANALYSIS

¹Phạm Tuấn Anh, ²Đặng Xuân Kiên

¹Tổng Công ty Bảo đảm an toàn hàng hải miền Nam

²Trường Đại học Giao thông vận tải Thành phố Hồ Chí Minh

Tóm tắt: Việc đánh giá xác suất xảy ra va chạm hàng hải có ý nghĩa rất quan trọng đối với việc phân tích rủi ro vận tải bằng đường biển cũng như cải thiện đảm bảo an toàn hàng hải. Thực tế, xác suất sự cố va chạm hàng hải tàu biển được đo lường bằng quan sát truyền thống hoặc bằng các thí nghiệm hiện trường là gần như không thể. Hành vi điều hướng của từng con tàu được mô tả như một tác tử và các va chạm giữa chúng được phát hiện bởi một thuật toán thông minh. Trong bài báo này đề xuất một mô hình dựa trên các tác tử sử dụng hệ thống thông tin địa lý để đánh giá xác suất xảy ra va chạm hàng hải tàu biển. Mô hình được đề xuất có tiềm năng cung cấp hỗ trợ quyết định cho việc hướng dẫn quy hoạch giao thông hàng hải tàu biển trong tương lai.

Từ khóa: An toàn hàng hải, xác suất va chạm, lập kế hoạch định tuyến, hệ thống thông tin địa lý.

Mã phân loại: 12

Abstract: Evaluating ship collision probability is significant for maritime transportation risk analysis as well as improving maritime safety. In practice, ship collision probability estimate by using traditional observation or field experiments is nearly impossible. Individual ship's navigation behavior is modeled as an agent, and their encounters are detected by a based intelligent algorithm. In this paper, we recommend a based on an agent-based model using a geographic information system for evaluating ship collision probability. The proposed model has the potential provided decision support for guiding maritime transportation vessel planning in the future.

Keywords: Maritime safety, collision probability, routing planning, geographic information system.

Classification code: 12

1. Giới thiệu

Vận tải hàng hải là phương thức vận tải chính cho thương mại trong nước và quốc tế, với ưu điểm là khối lượng hàng hóa lớn, chi phí thấp và ít ô nhiễm. Vận tải hàng hải rất cần thiết đối với nền kinh tế thế giới vì khoảng 90% thương mại trên thế giới được vận chuyển bằng đường biển [1]. Toàn cầu hóa dẫn đến sự phát triển nhanh chóng của vận tải hàng hải, cả về quy mô lẫn số lượng tàu. Tuy nhiên các vấn đề liên quan đến giao thông hàng hải vẫn chưa nhận được sự quan tâm sâu sắc, thích đáng từ các tổ chức chính trị.

Giao thông đường biển gây ra nhiều rủi ro và các vấn đề an toàn khác nhau về thiệt hại người, môi trường và kinh tế [4]. Sau sự ra đời hàng loạt của các tàu tốc độ cao, tàu trọng tải lớn, môi trường giao thông biển ngày càng trở nên phức tạp ở trong nước cũng như các nước trên thế giới. Do đó, mật độ giao thông hàng hải và các tình huống va chạm tàu biển tăng

nhanh, làm cho các tình huống giao thông hàng hải khó quản lý hơn. Vì vậy, trong quá trình phân tích rủi ro, điều quan trọng là phải có được một ước tính hợp lý về khả năng có thể xảy ra va chạm tàu với nhau cũng như phân tích rủi ro hệ thống luồng giao thông hàng hải với việc nâng cao đảm bảo an toàn hàng hải [4], [5]. Hiện nay, tình huống va chạm của tàu (như đâm trực diện, vượt ngang,...) có khả năng dẫn đến tai nạn va chạm tàu, và những tiêu chí đánh giá ước tính khả năng xảy ra tai nạn va chạm tàu [6].

Hệ thống luồng giao thông hàng hải là một hệ thống với sự tương tác giữa tàu, người và môi trường. Nhìn chung, có hai phương pháp được đề xuất để mô tả hệ thống luồng giao thông hàng hải, đó là phương pháp phân tích (hoặc toán học) và phương pháp mô phỏng. Tuy nhiên, hệ thống luồng giao thông hàng hải là một hệ thống phức hợp quy mô lớn điển hình với các thực thể tàu tự hành, và hành

vi của các tàu riêng lẻ nên rất khó để mô tả bằng các phương trình toán học.

So với phương pháp phân tích, phương pháp mô phỏng cho thấy ưu điểm rõ ràng trong việc cung cấp đầy đủ thông tin chi tiết về giao thông, thể hiện thực tế hành vi và môi trường giao thông của tàu biển. Phương pháp mô phỏng kết hợp thông tin chi tiết của lưu lượng tàu và cấp tàu riêng lẻ, có tính đến các quy định và thông lệ phổ biến trong các tình huống vận tải biển thực tế. Hơn nữa, phương pháp mô phỏng để đánh giá xác suất va chạm hàng hải tàu biển và được xem là một phần không thể thiếu trong phân tích rủi ro giao thông hàng hải. Trong những năm gần đây, phương pháp mô phỏng đã được chứng minh thành công như một phương pháp hiệu quả để nghiên cứu hệ thống luồng giao thông hàng hải [4]. Có hai mô hình khác nhau đã được áp dụng rộng rãi để mô tả hệ thống luồng giao thông hàng hải phức tạp: mô hình sự kiện rời rạc (DEM-Discrete-event model) và mô hình dựa trên tác tử (ABM-Agent-based model). Mô hình DEM cho thấy quá trình tổng thể, từ các sự kiện rời rạc, là một chuỗi các bước hoặc một lưu đồ. Tuy nhiên, ngay cả khi ta có thể mô hình hóa DEM theo nhiều cách khác nhau, nó vẫn có một nhược điểm rõ ràng là việc khai thác một cách khó khăn các hành vi thích ứng và tương tác của các tác tử. Do đó, mô hình DEM không tiềm năng để đánh giá xác suất của các tình huống va chạm tàu biển trong giao thông hàng hải, vì các tình huống va chạm đâm đầu và vượt tàu cần có sự tương tác giữa tàu với tàu.

Không giống như mô hình DEM, mô hình ABM, còn được gọi là hệ thống đa tác tử (MAS-Multi-agent system), là một mô hình hiệu quả được sử dụng để mô hình hóa các tác động và tương tác riêng lẻ của những tác tử trong một hệ thống thích ứng phức tạp, tập trung vào tác động của chúng đối với toàn bộ hệ thống. Tuy nhiên, trong thực tế, một số hạn chế được chỉ ra của quy trình khi sử dụng mô hình ABM để đánh giá xác suất va chạm giữa các tàu. Đầu tiên, phải ước tính mối quan hệ vị trí tương đối giữa các tàu và xác định các tình huống gặp phải của chúng, đặc biệt là tại các điểm giao cắt của những luồng giao thông khác nhau. Hiện tại, các phương pháp truyền

thống chủ yếu dựa trên dự đoán thời gian va chạm, và các đường bao không gian thực tế của tàu được tính đến trong mô phỏng miền thời gian của vị trí tàu [4], [5].

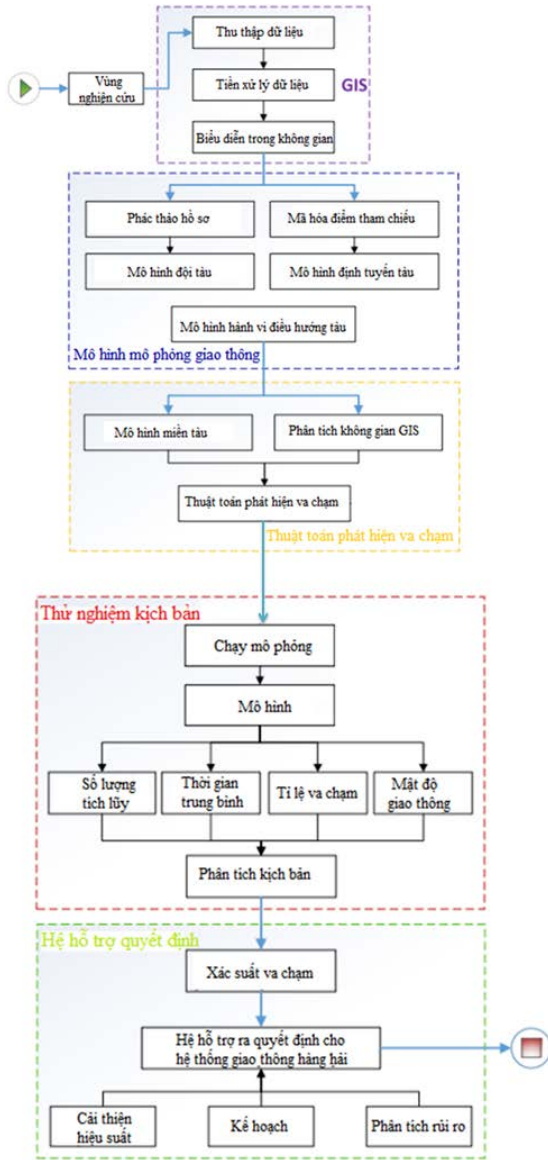
Hướng tới giải quyết những hạn chế trên, bài báo đề xuất một mô hình hệ thống luồng giao thông hàng hải để đánh giá xác suất va chạm của tàu. Hành vi điều hướng tàu được thể hiện dưới dạng các tác tử và những tương tác của tác nhân (tức là tàu - tàu đối đầu, tăng tốc và băng qua) đã được mô hình hóa bằng cách sử dụng mô hình ABM. Đóng góp chính của nghiên cứu này ở hai khía cạnh: Thứ nhất, đề xuất một thuật toán phát hiện dựa trên lý thuyết phân tích không gian địa lý GIS và mô hình miền tàu. Thứ hai, đề xuất mô hình ABM để đánh giá tỷ lệ va chạm của tàu và mật độ giao thông trong khu vực.

Phần còn lại của bài báo được phân bố như sau, trong mục 2, bài báo đề xuất mô hình mô phỏng giao thông, bao gồm mô hình mô tả lưu lượng và thuật toán thông minh dựa trên GIS. Mục 3, xây dựng mô hình và thảo luận về các kết quả chính. Phần kết luận nêu một số tiềm năng và ứng dụng của mô hình đã đề xuất và các hướng nghiên cứu trong tương lai.

2. Xây dựng mô hình mô phỏng giao thông dựa trên tác tử

2.1. Thiết lập các tác tử liên quan đến dữ liệu đầu vào và đề xuất mô hình

Mục tiêu chính là nghiên cứu các vấn đề liên quan đến tỷ lệ va chạm của tàu và mật độ giao thông trong khu vực nhằm đảm bảo an toàn hàng hải thông qua phân tích các kịch bản, chẳng hạn như tăng số lượng tàu đến. Đầu tiên, thu thập dữ liệu của khu vực nghiên cứu và xây dựng mô hình hệ thống luồng giao thông hàng hải, bao gồm mô hình đội tàu, mô hình định tuyến tàu và mô hình hành vi điều hướng của tàu. Sau đó, dựa trên mô hình miền tàu và lý thuyết phân tích không gian địa lý GIS, phát triển một thuật toán và sử dụng để phát hiện tiềm ẩn tình huống va chạm của tàu cũng như tính toán mật độ giao thông trong khu vực. Tổng thể và sơ đồ của mô hình được đề xuất trong nghiên cứu này được trình bày trong hình 1.



Hình 1. Sơ đồ mô hình tổng quát.
 Nguồn. Nhóm tác giả.

Mô hình đề xuất được thể hiện trong sơ đồ hình 2 bên dưới, các tác tử được thiết lập bao gồm:

1) Mô hình đội tàu: Là khởi tạo một quần thể tàu với sự phân bố của các thuộc tính chính của tàu, bao gồm chiều dài, loại tàu, tốc độ,... Nói chung, có ba nguồn để thu thập dữ liệu lịch sử của luồng giao thông hàng hải: Thiết bị hệ thống nhận dạng tự động (AIS), dữ liệu thống kê từ thu thập thực địa và dữ liệu radar.

2) Mô hình điều hướng: Sau khi tàu được sinh ra, mô hình định tuyến tàu được sử dụng để chỉ định các tuyến đường kết nối những điểm tham gia hành trình và điểm cuối. Mô hình định tuyến tàu được xây dựng dựa trên biểu đồ phân bố quỹ đạo tàu thu thập từ dữ

liệu AIS. Đầu tiên, dữ liệu lịch sử AIS của các tàu được thu thập và tiền xử lý. Cụ thể, thực hiện một số công cụ tiền xử lý để làm sạch dữ liệu với các dữ liệu AIS thô, chẳng hạn như loại bỏ các tàu đứng yên, xóa chuỗi dữ liệu theo thời gian tại các điểm gián đoạn lớn [7], [8]. Sau bước tiền xử lý dữ liệu, dữ liệu AIS dùng để phân tích.

Tiếp đến, dữ liệu AIS được làm sạch sẽ sắp xếp theo "Số MMSI" và "thời gian" để xây dựng lại chuỗi thời gian cho từng tàu riêng lẻ [4]. Bằng cách này, tại khu vực nghiên cứu, quỹ đạo của nhiều tàu có thể được chồng lên nhau trong hải đồ để xác định các tuyến giao thông chính. Hơn nữa, quỹ đạo của con tàu thường hiển thị một nhóm địa lý nhất định, vì con tàu riêng lẻ đi theo một đường tương tự đến đích của nó [4], [7]. Ngoài ra, thuật toán phân cụm được đưa ra để nhóm các quỹ đạo tàu từ AIS và trực quan hóa từ dữ liệu AIS.

2.2. Phân tích mô hình mô phỏng giao thông dựa trên các điều kiện giả định

Về góc độ vĩ mô hay là tổng quát, hành vi điều hướng của tàu được xem là một chuỗi các quá trình, chẳng hạn như ra/vào khu vực phòng ngừa, ra/vào làn giao thông, ra/vào bãi neo đậu, v.v... Qua đó, mô hình đưa ra khái niệm cơ bản về sự kiện giao thông để chỉ ra cung đường của con tàu từ một điểm khởi hành nhất định đến một điểm tới cụ thể dọc theo một tuyến đường xác định trước [4]. Cụ thể, hành vi lưu thông tàu đề cập đến các chuyển động nhất quán (chuyển động liên tục, chuyển động quay đầu, chuyển động thay đổi, ...) với các đặc tính khác nhau (loại, trọng tải, chiều dài, chiều rộng, tốc độ,...) và tuyến hàng hải. Những chuyển động này của tàu thể hiện một chuỗi các sự kiện liên tục, phù hợp với đặc điểm điển hình của mô hình ABM và được sử dụng để xây dựng mô hình mô phỏng giao thông hàng hải (hình 1).

1) Giả định 1 (mô hình): Để mô phỏng hệ thống luồng giao thông hàng hải bằng mô hình ABM, đưa ra các giả định như sau:

- Điều hướng con tàu theo một tuyến đường xác định trước với các điểm tham chiếu và chuyển hướng song song bị cấm;

- Động lực của tàu về bán kính quay vòng bị bỏ qua, tức là tàu quay ngay lập tức khi đến một điểm tham chiếu;

- Bỏ qua thay đổi tốc độ trong hàng hải, nghĩa là, tốc độ tàu được giả định là tương đối đều trong quá trình chuyển hướng của mỗi tuyến giao thông chính, ngoại trừ điều kiện giảm tốc độ để tránh va chạm.

2) Giả định 2 (điều hướng): Điều hướng mù phù hợp với khái niệm xác suất có điều kiện, tức là tàu không thực hiện bất kỳ loại hành động tránh va chạm nào trong mô hình, ngoại trừ việc giảm tốc độ.

- Theo quy định quốc tế về ngăn ngừa va chạm trên biển của Tổ chức Hàng hải Quốc tế (IMO), bất kỳ tàu nào sử dụng hệ thống phân luồng giao thông sẽ đi trên làn đường thích hợp theo hướng chung của luồng giao thông cho làn đường đó [2];

- Các điều kiện khí tượng có thể làm gián đoạn các hoạt động giao thông tàu biển không được xem xét trong mô hình.

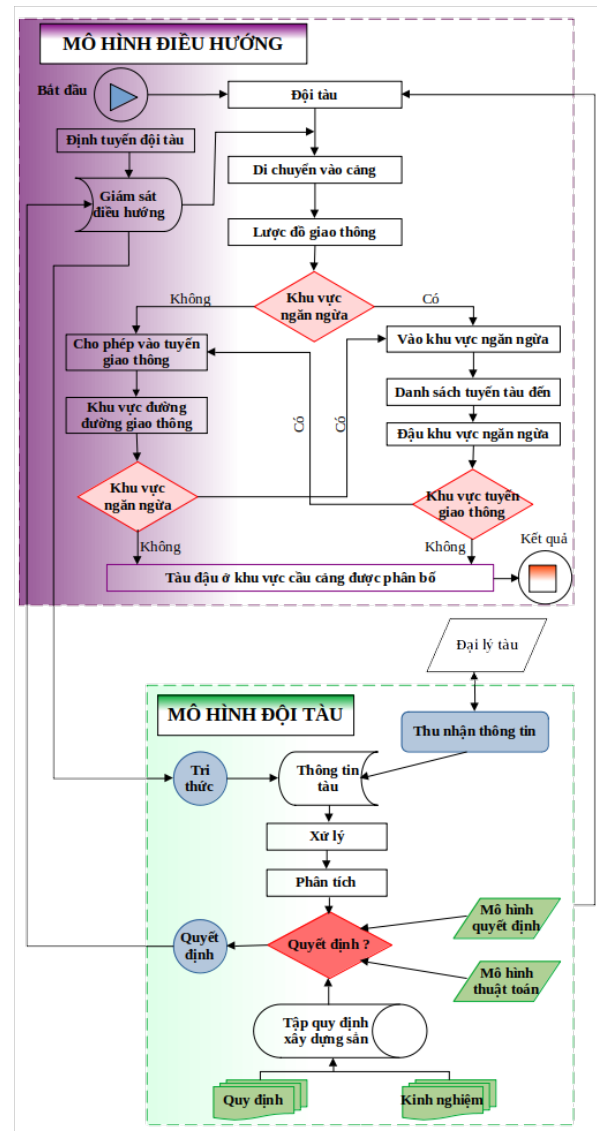
3. Mô hình hành vi điều hướng tàu dựa trên tác tử

Điều hướng là một hành vi phức tạp của từng con tàu. Trong nghiên cứu này, mô hình hành vi điều hướng của tàu bao gồm hai mô hình phụ: Mô hình điều hướng tự do và mô hình tác tử của tàu. Kiến trúc mô hình hành vi và điều hướng tàu dựa trên tác tử được thể hiện trong hình 2.

Từ góc độ vĩ mô, hành vi điều hướng của tàu trong hệ thống định tuyến bao gồm một loạt các sự kiện, chẳng hạn như: Đi vào/đi ra khỏi luồng giao thông, đi theo luồng giao thông hoặc tuyến đường khuyến nghị,... Chúng ta có thể thấy rằng tàu được tạo ra phải điều hướng trong các sơ đồ phân luồng giao thông theo quy định của IMO [3]. Sau khi tàu đi vào phân luồng giao thông, trước tiên cần đánh giá xem tàu biển có nằm trong khu vực làn đường giao thông hay không. Tương tự, việc đánh giá cũng cần được thực hiện liên tục khi nó vẫn đang điều hướng trong khu vực cho đến khi nó ra khỏi hệ thống phân luồng giao thông. Từ góc độ vi mô, hành vi điều hướng của tàu đề cập đến các sự kiện nhất quán, bao gồm nhận thức, giao tiếp, ra quyết định,... Với mô hình dựa trên tác tử có thể phát hiện các

điều hướng và trạng thái của các tác tử khác, cũng như đưa ra quyết định và thực hiện các biện pháp phù hợp trong hành vi phức tạp.

Do đó, một tàu cụ thể được trừu tượng hóa để trở thành một tác tử trong mô hình của nghiên cứu.



Hình 2. Kiến trúc điều hướng tàu dựa trên tác tử (trái) và mô hình hành vi (phải).

Nguồn. Nhóm tác giả.

Các thành phần được mô tả như sau:

1) Nhận thức về môi trường: Tác tử cảm nhận thông tin về môi trường hàng hải, bao gồm đèn hiệu, cầu, làn đường, độ sâu mực nước,... từ hải đồ điện tử (ENC) cũng như thông tin chi tiết của các tàu khác qua cơ sở dữ liệu.

2) Cơ chế giao tiếp: Con tàu sẽ gặp rủi ro va chạm với tác tử, vì vậy các tàu đang điều hướng trong hệ thống phân luồng giao thông cần liên lạc với nhau để thực hiện các biện pháp giảm thiểu rủi ro.

3) Xử lý và phân tích thông tin: Khi nhận thức và sự kiện truyền thông hoàn thành, thông tin thu thập được cần được xử lý và phân tích.

4) Cơ sở tri thức: Các quy tắc tránh va chạm trong các quy định về điều hướng giao thông và tập quy định điều hướng tàu thực tế được lưu trữ vào cơ sở tri thức.

5) Cơ chế ra quyết định: Dựa trên cơ sở phân tích thông tin và tri thức, tác tử có thể đưa ra quyết định. Có thể nói, quá trình ra quyết định đạt được bằng cách sử dụng một số mô hình và thuật toán quyết định.

6) Quyết định: Tác tử sẽ thực hiện các hành động theo quyết định như một phản ứng, chẳng hạn như điều chỉnh tốc độ hoặc hướng đi để tránh va chạm,...

3. Xử lý dữ liệu và phân tích thuật toán

3.1. Dữ liệu nhập, xuất của mô hình

Dữ liệu nhập của mô hình, bao gồm lưu lượng tàu, kích thước, tốc độ,... Những dữ liệu này biểu thị các đặc điểm của hệ thống giao thông hàng hải, và phân phối xác suất của chúng có thể thu được từ phân tích thống kê dữ liệu lịch sử.

Dữ liệu xuất của mô hình là kết quả thống kê về các tình huống gặp phải của tàu khi chạy mô phỏng. Các kết quả đầu ra của mô hình này có thể được sử dụng làm tiêu chí quan trọng để đánh giá sơ đồ quy hoạch trong tương lai, chẳng hạn như quy hoạch tuyến tàu. Bao gồm:

1) Tổng số lần va chạm, vượt ngang và vượt đuôi;

2) Số lượng tàu trong vùng và làn giao thông được tích lũy;

3) Thời gian trung bình dành cho mỗi tàu trong vùng và làn giao thông;

4) Mật độ giao thông khu vực: Số lượng tàu hiện tại trên một đơn vị diện tích lưu thông trong vùng quy hoạch tuyến của tàu;

5) Tỷ lệ va chạm (R): Tỷ lệ giữa $\sum N$ tổng số tình huống va chạm xảy ra trong khu vực

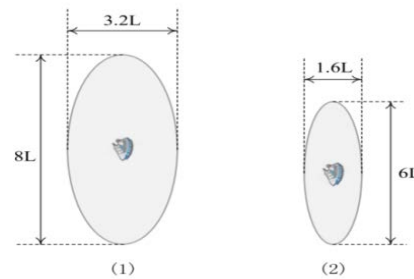
với một khoảng thời gian nhất định, trong đó $\sum S$ là tổng số tàu có nguy cơ va chạm trong khoảng thời gian xác định [6], tức là:

$$R = \frac{\sum N}{\sum S} \quad (1)$$

Do đó, nghiên cứu về tỷ lệ va chạm đối với một hệ thống giao thông hàng hải cụ thể cung cấp cơ sở phù hợp hơn cho việc đánh giá hoạt động của nó.

3.2. Thuật toán phát hiện va chạm theo mô hình miền tàu

1) Mô hình miền tàu: Để tránh va chạm, cần duy trì một khoảng cách nhất định giữa các tàu, tạo thành vùng an ninh xung quanh mỗi tàu.



Hình 3. Mô hình miền tàu.

Nguồn. Nhóm tác giả.

Mô hình miền tàu được chỉ định là một hình bầu dục có tâm trên một tàu như thể hiện trong hình 3. Miền của tàu (chiều dài = "L"):

- Trong điều kiện đi biển bình thường, miền của tàu là hình bầu dục với trục chính 8L và trục phụ là 3.2L;

- Trong bến cảng hoặc trong kênh hẹp, trục chính và trục phụ của miền tàu giảm xuống tương ứng là 6L và 1,6L.

3.3. Thuật toán thông minh phát hiện bất gặp tàu

Trong các quy trình tính toán, dữ liệu không gian địa lý và dữ liệu thuộc tính của chúng là các dữ liệu cơ bản. Cụ thể, mối quan hệ chịu lực và không gian giữa các tàu khác nhau được tính toán đầu tiên dựa trên cơ chế giao tiếp và nhận thức của tác tử. Với phương pháp phân tích không gian GIS được sử dụng để tính toán hành trình của mỗi tàu, góc chạm và tốc độ tương đối giữa các tàu khác nhau của mỗi miền tàu trong sơ đồ phân luồng giao thông dựa trên mô hình miền tàu. Căn cứ trên kết quả phân tích không gian của các vị trí tương đối của tàu, các tác tử sẽ thực hiện phán

đoán. Như vậy, việc đưa ra quyết định được xây dựng dựa trên mô hình và thuật toán thích hợp để xác định số lượng quyết định, trong đó các thuật toán dựa trên trí tuệ nhân tạo (AI) là phù hợp nhất cho mô hình đề xuất.

3.4. Phương pháp xác minh mô hình

Có một số cách xác minh mô hình để kiểm tra xem nó có hoạt động như dự kiến. Đầu tiên, bài báo có thể xác nhận từng mô hình con riêng lẻ, vì các đầu vào của mô hình (loại tàu, kích thước, tốc độ,...) được thống kê theo phân phối xác suất hoặc một quy trình cụ thể ngay cả khi có sự khác biệt với dữ liệu thực tế do ngẫu nhiên. Các hoạt động mô phỏng trực quan có thể giúp xác nhận tính hợp lý về cấu trúc và hành vi của hệ thống giao thông hàng hải tổng thể cũng như các kết quả đầu ra của mô hình được đề xuất.

4. Kết luận

Xác suất va chạm tức thời được nghiên cứu bằng phương pháp mô hình dựa trên tác tử và trên cơ sở mô hình miền tàu được thiết lập. Nghiên cứu này cung cấp tài liệu tham khảo cho các vụ va chạm tàu và phòng ngừa tai nạn giao thông khác cũng như giám sát. Ở một mức độ nhất định, phương pháp tính toán có thể phản ánh nguy cơ va chạm. Điều đó có nghĩa là các khu vực mật độ giao thông tàu biển càng lớn thì nguy cơ va chạm càng lớn và xác suất va chạm của hai tàu càng lớn □

Tài liệu tham khảo

- [1] IMO (2012), *IMO's Contribution to Sustainable Maritime Development*, International Maritime Organization;
- [2] IMO (2002), *COLREG: Convention on the International Regulations for Preventing Collisions at Sea, 1972*: International Maritime Organization;
- [3] IMO. A.572(14) General Provisions on Ships' Routeing;
- [4] F. Goerlandt and P. Kujala (2011), *Traffic simulation based ship collision probability modeling*, Rel. Eng. Syst. Safety, vol. 96, no. 1, pp. 91–107, Jan. 2011;
- [5] F. Goerlandt and J. Montewka (2015), *Maritime transportation risk analysis: Review and analysis in light of some foundational issues*, Rel. Eng. Syst. Safety, vol. 138, pp. 115–134, Jun. 2015;
- [6] E. M. Goodwin (1978), "Marine encounter rates," *J. Navigat.*, vol. 31, no. 3, pp. 357–369, 1978;
- [7] K. G. Aarsæther and T. Moan (2009), *Estimating navigation patterns from AIS*, *J. Navigat.*, vol. 62, no. 4, pp. 587–607, 2009;
- [8] F. Xiao, H. Ligteringen, C. van Gulijk, and B. Ale (2015), *Comparison study on AIS data of ship traffic behavior*, *Ocean Eng.*, vol. 95, pp. 84–93, Feb. 2015.

Ngày nhận bài: 04/06/2021

Ngày chuyển phản biện: 08/06/2021

Ngày hoàn thành sửa bài: 29/06/2021

Ngày chấp nhận đăng: 06/07/2021