

NGHIÊN CỨU GIÁM SÁT VÀ CẢNH BÁO HÀNH VI NGUY HIỂM
CỦA SĨ QUAN ĐIỀU KHIỂN TÀU BIỂN TRONG MÔI TRƯỜNG MÔ PHỎNG
ĐIỀU KIỆN NGOẠI CẢNH BẤT LỢI
RESEARCH ON MONITORING AND WARNING DANGEROUS BEHAVIORS
OF DECK OFFICERS IN SIMULATING COMPLEX EXTERNAL CONDITIONS
NGUYỄN TIẾN ĐẠT¹, NGUYỄN XUÂN PHƯƠNG¹, VŨ ĐĂNG THÁI^{2*}

¹Trường Đại học Giao thông vận tải TP. Hồ Chí Minh

²Khoa Hàng hải, Trường Đại học Hàng hải Việt Nam

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

DOI: <https://doi.org/10.65154/jmst.2025.i84.874>

Tóm tắt

Trong nghiên cứu trước, nhóm tác giả đã đề xuất một phương pháp giám sát và cảnh báo hành vi nguy hiểm của sĩ quan hàng hải dựa vào nhận diện bằng học máy kết hợp với thuật toán KNN. Để nâng cao độ tin cậy và mở rộng khả năng ứng dụng cho mô hình đề xuất, trong bài báo này, nhóm tác giả thực hiện áp dụng mô hình theo dõi và giám sát hành vi của sĩ quan hàng hải trong môi trường mô phỏng dưới các điều kiện ngoại cảnh khác nhau, nhằm theo dõi và đánh giá khả năng nhận diện chính xác của mô hình trong những điều kiện bất thường. Kết quả của nghiên cứu này sẽ minh chứng cho hiệu quả thiết thực của mô hình đề xuất, mở ra khả năng áp dụng tích cực trong thực tiễn.

Từ khóa: Mô hình giám sát, cảnh báo hành vi nguy hiểm, đánh giá độ chính xác, sĩ quan điều khiển tàu biển, môi trường mô phỏng, điều kiện ngoại cảnh bất lợi.

Abstract

In previous research, the authors proposed a method for monitoring and warning of hazardous behaviors in ship deck officers using machine learning combined with the K-Nearest Neighbors (KNN) algorithm. To enhance the reliability and broaden the applicability of the proposed model, this study applies the behavior monitoring system in a simulated maritime environment under various external conditions. The aim is to assess the model's accuracy in recognizing behaviors under abnormal scenarios. The results of this study demonstrate the practical effectiveness of the proposed model, highlighting its potential for real-world implementation in maritime operations.

Keywords: Monitoring model, dangerous behaviors warning, accuracy assessment, deck officers, simulation environment, adverse weather conditions.

1. Đặt vấn đề

Phần lớn tai nạn hàng hải toàn cầu xảy ra bởi ảnh hưởng của yếu tố con người (chiếm xấp xỉ 80%) [6]. Trong đó, người điều khiển tàu đóng vai trò then chốt quyết định đến khả năng khai thác, điều động an toàn của toàn tàu với các vấn đề trọng yếu như khả năng chuyên môn, năng lực điều động dẫn tàu, tránh va, trực ca, thông tin liên lạc và làm việc nhóm trên cabin buồng lái tàu...[6]. Bởi vậy, việc hạn chế tối đa các hành vi lơ là, thiếu tập trung hay mệt mỏi của sĩ quan điều khiển tàu như sĩ quan boong, thuyền trưởng, hoa tiêu, thủy thủ lái,... (trong nghiên cứu này gọi chung là sĩ quan hàng hải) có thể góp phần không nhỏ đến nâng cao an toàn cho khai thác, điều động tàu.

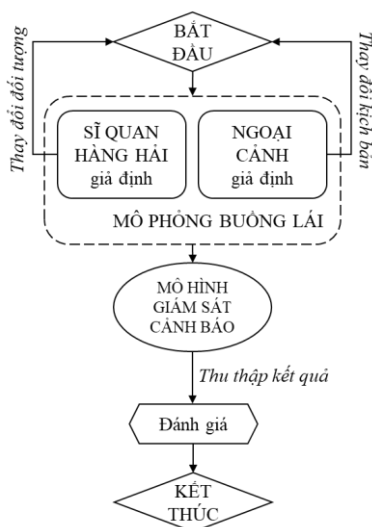
Trong nghiên cứu trước, nhóm tác giả đã sử dụng thuật toán KNN kết hợp với các công cụ theo dõi giám sát trực tiếp và phần mềm học máy để đề xuất một phương pháp cảnh báo những trạng thái của sĩ quan hàng hải duy trì vượt quá thời gian cho phép với các kịch bản dành cho nhóm ứng viên mô phỏng thay đổi hành động ở 3 mức độ khác nhau: Chậm - Nhanh - Theo lệnh [9]. Kết quả cho thấy mô hình đã hoạt động tốt với độ chính xác huấn luyện tối thiểu là 97% và tốc độ thay đổi hành động tối ưu từ 5s trở lên [9].

Trước khi có thể đưa vào thực nghiệm, cần hoàn thiện khả năng nhận diện và đánh giá của mô hình đề xuất, trong nghiên cứu này, nhóm tác giả dự kiến tiến hành áp dụng mô hình trong môi trường mô phỏng với các điều kiện ngoại cảnh khác nhau ngẫu nhiên, hầu hết là các kịch bản bất lợi. Kết quả của nghiên cứu này sẽ giúp nhóm nghiên cứu hoàn thiện mô hình đề xuất và đánh giá được khả năng áp dụng của mô hình trong môi trường thực nghiệm sau này.

2. Lý thuyết xây dựng phương pháp nghiên cứu

2.1. Lý thuyết thực hiện nghiên cứu

Lý thuyết thực hiện nghiên cứu được mô tả như Hình 1.



Hình 1. Lưu đồ lý thuyết thực hiện nghiên cứu

Cụ thể, đầu tiên, một môi trường mô phỏng buồng lái được sử dụng và cài đặt với nhiều trường hợp để thu thập dữ liệu khác nhau gồm các sĩ quan hàng hải giả định - là những đối tượng như đã trình bày ở trên, và áp dụng những trường hợp mô phỏng ngoại cảnh khác nhau xung quanh buồng lái. Sau đó, thông qua các thiết bị giám sát theo dõi của mô hình giám sát cảnh báo đã trình bày ở nghiên cứu trước để thu thập và đánh giá độ tin cậy cũng như hiệu quả hoạt động của mô hình đề xuất.

2.2. Mô hình giám sát cảnh báo được áp dụng

Những năm gần đây, học máy (machine learning) trở thành một công cụ mạnh mẽ trong việc tự động hóa các tác vụ nhận dạng và phân tích hành vi con người, đặc biệt trong các lĩnh vực yêu cầu giám sát liên tục. Học máy cho phép các hệ thống tự học từ dữ liệu để phát hiện các mẫu hành vi phức tạp mà các phương pháp truyền thống khó nhận diện được.

Một trong những thuật toán cơ bản và dễ triển khai trong học máy là KNN (còn gọi là K hàng xóm gần nhất). KNN là một phương pháp phân loại dựa trên khoảng cách trong không gian đặc trưng: Đối với một đầu vào mới, thuật toán sẽ xác định K điểm dữ liệu gần nhất trong tập huấn luyện và gán nhãn cho đầu vào dựa trên đa số nhãn của các điểm này. Ưu điểm chính của KNN là tính đơn giản, không yêu cầu giả định phân phối dữ liệu, và hiệu quả nhờ khả năng xử lý tốt các tập dữ liệu gán nhãn từ hình ảnh hoặc chuỗi

hành vi đã được định nghĩa trước. Trong mô hình đề xuất này, các tập dữ liệu nhãn hành vi được phân loại, huấn luyện và kiểm tra như mô tả trong Bảng 1 - bao gồm 4 trạng thái chính: Đứng - Cúi - Ngồi - Nằm.

Bảng 1. Phân loại hành vi

Đứng	Cúi	Ngồi	Nằm
Lái tàu	Viết	Viết	Một môi
Quan sát	Quan sát	Quan sát	Nghi
Bộ đàm	Bộ đàm	Một môi	
Đi lại	Một môi	Nghi	
Nghi			

Mô hình cảnh báo áp dụng trong nghiên cứu mô phỏng lần này là mô hình đã được huấn luyện, kiểm tra và đạt độ chính xác đến 98%.

2.3. Các nghiên cứu gần đây trong môi trường mô phỏng hành vi người điều khiển

Với mục tiêu tránh trùng lặp trong các nghiên cứu tương tự, nâng cao tính minh bạch của nghiên cứu. Nhóm tác giả tiến hành thống kê và thu thập những tài liệu, công trình nghiên cứu, bài báo/ báo cáo khoa học có liên quan đến vấn đề này, đặc biệt là mô phỏng hành vi của sĩ quan hàng hải. Kết quả như sau:

Mặc dù số lượng công bố riêng lẻ về vấn đề con người hay sử dụng môi trường mô phỏng cabin buồng lái tàu để phục vụ nghiên cứu là khá nhiều, nhưng việc sử dụng song song cả hai mục tiêu này để thu thập dữ liệu nghiên cứu xây dựng mô hình đánh giá còn nhiều hạn chế. Cụ thể, có thể nói một phần tương đồng với nghiên cứu này khi tập trung vào đối tượng sĩ quan/ thủy thủ trên buồng lái mô phỏng để thu thập dữ liệu và đánh giá là có, nhưng phương thức thực hiện và mục tiêu đánh giá hoàn toàn khác nhau, như:

- Brandsæter, A. và Madsen, A. năm 2024 đã trình bày một phương pháp tiếp cận dựa trên mô phỏng để kiểm tra và đánh giá năng lực và hiệu suất của người vận hành trong việc giám sát tàu tự hành, mà đối tượng chủ yếu ở đây là hoa tiêu [2].

- Cũng nghiên cứu chủ yếu về đối tượng hoa tiêu, năm 2019, Yim, J.B. và cộng sự đã phát triển một phương pháp nhận dạng khách quan về hành vi của hoa tiêu trong tình huống va chạm bằng cách thu thập hành động của người tham gia, sử dụng trình mô phỏng điều động tàu trong một tình huống nhất định [10].

- Kandemir, C. và cộng sự năm 2021 đã phân tích độ tin cậy của con người trong vận hành tàu ở môi trường mô phỏng khi yêu cầu các sinh viên của mình phải tạo ra các lỗi khác nhau để quan sát và đánh giá [4].

- Ronca, V. và cộng sự năm 2023 mô tả khách quan

trạng thái tâm lý của thủy thủ, tức là khối lượng công việc tinh thần, căng thẳng và sự chú ý, thông qua phân tích tín hiệu điện não đồ khi nghiên cứu 26 thủy thủ trong buồng lái mô phỏng ở vùng nước đông đúc, tiềm ẩn nhiều rủi ro và chậm [7].

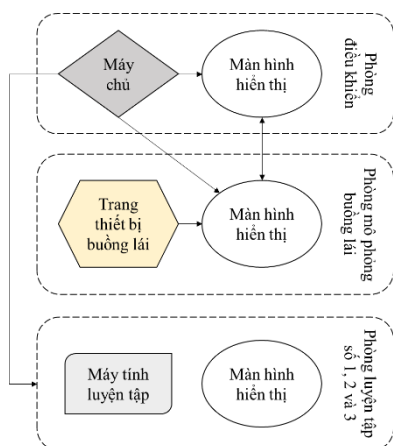
- Năm 2021, Kim, H. và cộng sự đã phát triển mô hình hành vi sĩ quan tàu dựa trên tác nhân, nhằm mục đích nắm bắt các kiểu hành vi của sĩ quan tàu trong trường hợp va chạm tàu [5].

Ngoài ra, ít liên quan hơn, một số nghiên cứu quốc tế cũng sử dụng đối tượng con người và phòng mô phỏng để thực hiện các nghiên cứu của riêng mình nhưng mục tiêu là hoàn toàn khác biệt [1], [8]. Và ở Việt Nam cũng chưa có công trình nghiên cứu nào tương đồng với ý tưởng và phương pháp thực hiện của nhóm tác giả.

Như vậy, nghiên cứu hoàn toàn minh bạch và có giá trị khoa học cũng như thực tiễn cao.

3. Môi trường mô phỏng

Nghiên cứu mô hình trong môi trường mô phỏng và thu thập dữ liệu được thực hiện tại Phòng thực hành mô phỏng buồng lái tòa nhà C1 Trường Đại học Hàng hải Việt Nam, Số 484, Lạch Tray, Ngô Quyền, Hải Phòng. Các thông số kỹ thuật của phòng thực hành mô phỏng buồng lái được mô tả như Hình 2.



Hình 2. Cấu trúc phòng thực hành mô phỏng buồng lái

3.1. Phòng thực hành mô phỏng buồng lái

Để phục vụ thực hiện xây dựng kịch bản và thu thập dữ liệu, nhóm tác giả sử dụng hai khu vực chính:

1. Phòng điều khiển (Instructor Room) - để xây dựng và triển khai kịch bản

Phòng điều khiển là khu vực điều khiển chung của toàn bộ hệ thống mô phỏng buồng lái dưới sự quản lý giám sát của người điều khiển và đảm bảo các yêu cầu của huấn luyện viên, được thể hiện trong Hình 3.



Hình 3. Phòng điều khiển chung của hệ thống mô phỏng buồng lái

Phòng điều khiển có chức năng thực hiện các thao tác điều khiển chung cho hệ thống mô phỏng buồng lái, thiết lập các thông số cho kịch bản mô phỏng, cài đặt hệ thống, tạo sự thuận lợi cho mục tiêu đào tạo huấn luyện học viên sát với thực tế nhất.

Phòng điều khiển gồm các thành phần:

- 01 máy chủ server, ứng dụng phần mềm mô phỏng TRANSAS của Nga trang bị từ năm 2013 để phục vụ các kịch bản mô phỏng;

- 01 máy điều khiển chuyên dụng, để thiết lập các bối cảnh hay bài tập phục vụ huấn luyện như: cập cầu, thả neo, chạy luồng, tránh va trong các tình huống mô phỏng với các vùng chạy tàu khác nhau, các điều kiện thời tiết khác nhau;

- 07 máy tính chạy hệ điều hành Window xuất hình ảnh mô tả khung cảnh trước buồng lái.

2. Phòng mô phỏng buồng lái chính (Main Bridge Simulator) - môi trường mô phỏng buồng lái cho các sĩ quan hàng hải giả định công việc của mình

Phòng mô phỏng buồng lái chính được mô tả trong Hình 4.



Hình 4. Phòng mô phỏng buồng lái chính của hệ thống mô phỏng

Nhằm mục tiêu mô phỏng một buồng lái tàu chân thực nhất, phòng mô phỏng buồng lái chính có cấu trúc gồm:

- 07 màn hình chuyên dụng chạy hình ảnh từ phòng điều khiển mô tả bối cảnh môi trường xung quanh cabin buồng lái tàu và;
- Trang bị đầy đủ trang thiết bị hành hải buồng lái như Radar, ECDIS, GPS, máy lái, điều khiển máy chính và các hệ thống chỉ báo.

Tại phòng mô phỏng này, nhóm nghiên cứu sẽ triển khai lắp đặt các thiết bị giám sát và thu thập dữ liệu. Hình ảnh vị trí đặt camera và cảm biến giám sát tại phòng mô phỏng được thể hiện như Hình 5.



Hình 5. Đặt thiết bị giám sát sĩ quan hàng hải tại phòng mô phỏng

Bảng 2. Sĩ quan hàng hải giả định

Kiểu sĩ quan hàng hải	Số người	Số lượng kịch bản	Thời lượng mỗi kịch bản
Thuyền trưởng	2	5	10mins
Hoa tiêu	2	5	10mins
Sĩ quan (C/O, 2/O, 3/O)	6	5	10mins
Thủy thủ/ Thực tập SQ	5	5	10mins
Sinh viên thực tập SQ	10	5	10mins

3.2. Sĩ quan hàng hải giả định

Như đã đề cập trong phần Lý thuyết, nhằm mang lại hiệu quả đánh giá tối ưu, sĩ quan hàng hải giả định phục vụ cho mục tiêu của nghiên cứu và các thông tin liên quan được mô tả như Bảng 2.

3.3. Kịch bản mô phỏng

IMO Model Course 1.22 khuyến nghị sử dụng môi trường mô phỏng đa điều kiện nhằm kiểm tra năng lực quản lý sử dụng tài nguyên buồng lái, đặc biệt trong các tình huống có yếu tố bất ngờ, áp lực thời gian, lỗi hệ thống và hạn chế cảm nhận [3]. Dưới đây là Bảng hoạch định 5 nhóm kịch bản khắc nghiệt tiêu biểu, được mô phỏng từ hướng dẫn của IMO.

Bảng 3. Xây dựng kịch bản mô phỏng

Kịch bản	Mục tiêu	Cài đặt
Số 1	Tầm nhìn hạn chế và điều động trong khu vực hẹp	Sương mù dày, tầm nhìn dưới 0,3 hải lý. Di chuyển trong luồng hẹp với mật độ tàu cao. Giới hạn tốc độ 8 knots, yêu cầu liên tục hiệu chỉnh hướng.
Số 2	Gió lớn, biển động, mất tín hiệu định vị	Gió cấp 7-8 Beaufort, sóng cao 4-5m, tàu lắc mạnh. Mất tín hiệu GPS và AIS.
Số 3	Bảo động va chạm và tàu cắt ngang	Tàu cá/cano bất ngờ cắt ngang mũi ở khoảng cách ngắn. Bảo động CPA/TCPA phát liên tục. Cần liên lạc VHF nhưng tín hiệu nhiễu.
Số 4	Ca trực đêm kéo dài và mất tập trung	Thời điểm mô phỏng: 02:00-04:00 sáng (giờ dễ buồn ngủ). Tình huống đơn giản nhưng lặp lại, dễ gây mất cảnh giác.
Số 5	Mất điều khiển động lực học	Mất lái hoặc mất máy chính trong khi tàu đang rẽ. Gần vùng nước cạn/cầu cảng hoặc tàu khác.

Bảng 4. Bảng mô tả tiêu chí đánh giá độ chính xác của mô hình nghiên cứu

STT	Tên tiêu chí	Mô tả	Đơn vị/Thang đo	Cách đo
1	Accuracy	Tỉ lệ nhận diện đúng trên toàn bộ hành vi	%(0-100)	So sánh với nhãn chuẩn
2	Precision	Tỉ lệ cảnh báo đúng trong các cảnh báo	%(0-100)	TP/(TP + FP)
3	Recall	Tỉ lệ hành vi nguy hiểm thực tế được phát hiện	%(0-100)	TP/(TP + FN)
4	F1-Score	Trung bình giữa Precision và Recall	Giá trị từ 0 đến 1	2PR/(P + R)
5	False Alarm Rate	Tỉ lệ cảnh báo sai	%	FP / (FP + TP + FN)

Ghi chú: TP - Phát hiện/cảnh báo đúng; FP - Phát hiện/cảnh báo sai; FN - Không phát hiện được.

3.4. Tiêu chí đánh giá độ chính xác

Để đánh giá độ chính xác của mô hình nghiên cứu và thuận tiện trong việc xây dựng mã lệnh tính toán cũng như xuất kết quả nghiên cứu, nhóm nghiên cứu đã xây dựng các tiêu chí định lượng và đặt tên theo chuẩn lệnh học máy tính toán. Các tiêu chí cũng như thông tin về mô tả, đơn vị và phương pháp đo lường được thể hiện trong Bảng 4.

Ngoài ra, để tăng tính toàn diện cho hiệu quả của mô hình nghiên cứu, nhóm tác giả cũng thu thập bổ sung thêm một số kết quả đánh giá định tính từ khảo sát chính những sĩ quan hàng hải giả định sau khi tham gia vào quá trình mô phỏng gồm:

- Tính kịp thời của cảnh báo - Hệ thống phát hiện sớm hơn hoặc trễ hơn người thật?;
- Mức độ tin cậy - Người điều khiển có tin tưởng cảnh báo từ hệ thống không?;
- Mức độ hài lòng - Hệ thống có gây áp lực trong quá trình xử lý tình huống không?.

Các mức độ được áp dụng thang đo đơn giản với câu trả lời Có hoặc Không.

4. Kết quả mô phỏng và đánh giá

4.1. Các kết quả

Thực hiện nghiên cứu mô phỏng, kết quả thu được

như sau:

- Đối với kịch bản 1 (S1) - Các sĩ quan hàng hải giả định thực hiện công việc trong điều kiện tầm nhìn xa bị hạn chế, kết quả tổng hợp mô tả trong Hình 6.

- Đối với kịch bản 2 (S2) - Các sĩ quan hàng hải giả định thực hiện công việc trong điều kiện sóng to gió lớn, bị hạn chế tín hiệu định vị, kết quả tổng hợp mô tả trong Hình 7.

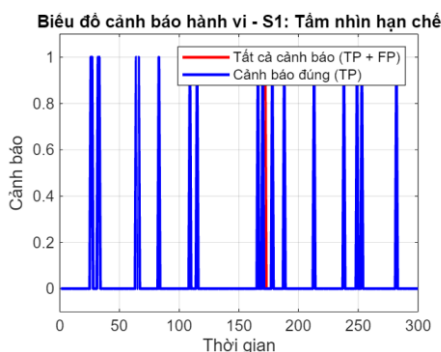
- Đối với kịch bản 3 (S3) - Các sĩ quan hàng hải giả định thực hiện công việc trong điều kiện giao thông hàng hải đông đúc, thường xuyên nhận được báo động va chạm, kết quả tổng hợp của kịch bản này được mô tả trong Hình 8.

- Đối với kịch bản 4 (S4) - Các sĩ quan hàng hải giả định thực hiện công việc trong điều kiện đi ca đêm, kết quả tổng hợp mô tả trong Hình 9.

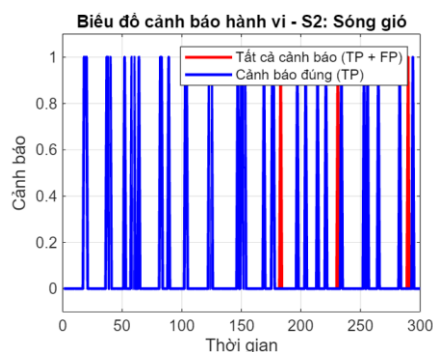
- Đối với kịch bản 5 (S1) - Các sĩ quan hàng hải giả định thực hiện công việc trong điều kiện gần như mất khả năng điều động do mất lái hay chết máy chính, kết quả tổng hợp mô tả trong Hình 10.

Ngoài ra, một biểu đồ kết quả tổng hợp giá trị cảnh báo trung bình của tất cả các kịch bản cũng được nhóm tác giả thu thập và thể hiện trong Hình 11.

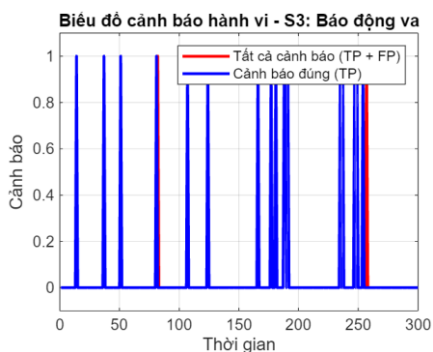
Và tỉ lệ cảnh báo chính xác theo từng nhóm đối tượng sĩ quan hàng hải giả định như đã đề cập trong



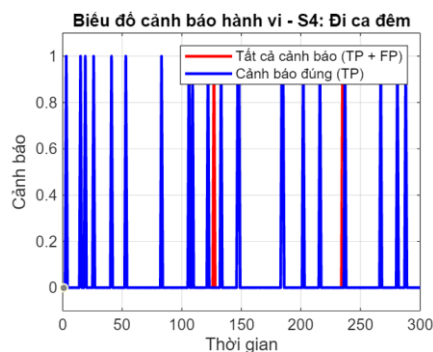
Hình 6. Tổng hợp cảnh báo hành vi với kịch bản 1 - Tầm nhìn xa bị hạn chế



Hình 7. Tổng hợp cảnh báo hành vi với kịch bản 2 - Sóng to, gió lớn

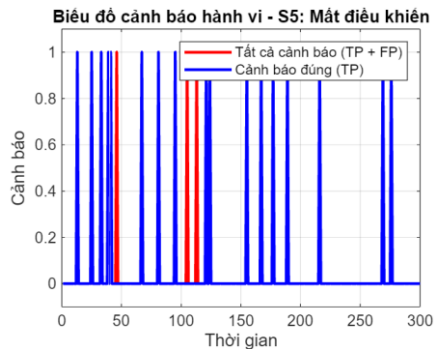


Hình 8. Tổng hợp cảnh báo hành vi với kịch bản 3 - Giao thông phức tạp

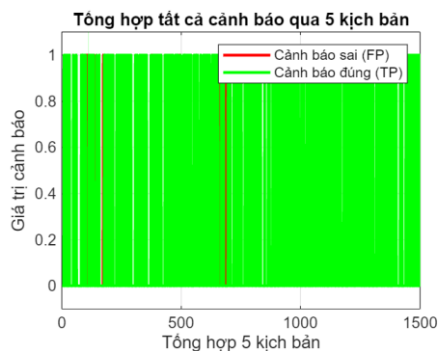


Hình 9. Tổng hợp cảnh báo hành vi với kịch bản 4 - Đi ca đêm

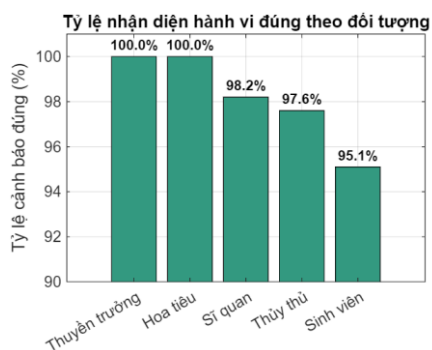
Bảng 2 cũng được mô tả dưới dạng biểu đồ để thuận tiện so sánh trong Hình 12.



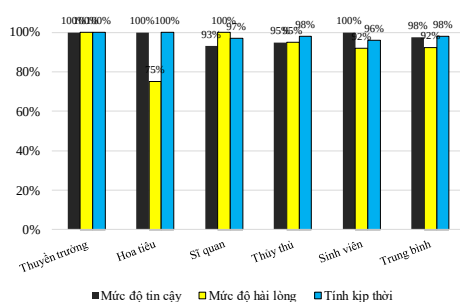
Hình 10. Tổng hợp cảnh báo hành vi với kịch bản 5 - Mất khả năng điều động



Hình 11. Tổng hợp cảnh báo hành vi với toàn bộ kịch bản xây dựng



Hình 12. Tỷ lệ nhận diện chính xác hành vi theo nhóm sĩ quan hàng hải giả định



Hình 13. Kết quả khảo sát 3 tiêu chí với các nhóm sĩ quan hàng hải giả định

Mặt khác, một bảng kết quả khảo sát các nhóm đối tượng sĩ quan hàng hải giả định tham gia vào quá trình mô phỏng nhằm đánh giá 3 tiêu chí: Kịp thời - Tin cậy - Hài lòng như đã trình bày ở Mục 3.4 cũng được nhóm tác giả thực hiện, thu thập và tổng hợp trong Hình 13.

4.2. Đánh giá

Nhìn chung, hầu hết các biểu đồ đều cho thấy hệ thống cảnh báo hành vi trong các kịch bản khác nhau đều hoạt động hiệu quả với phần lớn cảnh báo đều đúng (đường TP trùng với đường tổng TP+FP).

Mật độ cảnh báo tập trung tại một số thời điểm nhất định, phản ánh khả năng nhận diện tốt các hành vi nguy hiểm phát sinh không liên tục. Số lượng cảnh báo sai (FP) rất ít cho thấy độ chính xác cao và hệ thống ít gây nhiễu cho người vận hành. Đây là minh chứng tích cực cho tính ứng dụng của mô hình trong các điều kiện giới hạn khác nhau.

Về mặt cụ thể, những cảnh báo được hệ thống phát hiện và đưa ra cũng thể hiện rõ ràng từng môi trường ngoại cảnh tác động khác nhau ảnh hưởng đến trạng thái hành vi của sĩ quan hàng hải. Chẳng hạn như các kịch bản S2 và S4, các cảnh báo xuất hiện một cách khá đều đặn do tính ảnh hưởng liên tục của điều kiện ngoại cảnh (sóng to gió lớn, hay ca đêm một môi kéo dài), trong khi với S1 và S3 (tầm nhìn xa hạn chế và giao thông xung quanh phức tạp), cảnh báo xuất hiện rải rác không đều nhau và thường dồn dập vào một thời điểm nhất định nào đó, rõ ràng có thể nhận định được đó là những thời điểm cảnh báo và chậm bất ngờ xuất hiện khiến sĩ quan hàng hải gặp vấn đề về tâm lý khi xử lý tình huống. Cuối cùng là kịch bản S5 - mất khả năng điều động, cảnh báo thường xuất hiện vào thời điểm ban đầu do khả năng thích nghi với trường hợp này, cũng vì thế mà cảnh báo giãn dần trong các thời điểm về sau.

Mặt khác, các kết quả đánh giá định lượng độ chính xác và định tính khả năng thích nghi, áp dụng của mô hình nghiên cứu trong các Hình 11, 12 và 13 cũng mang lại những dấu hiệu rất tích cực cho việc triển khai mô hình trong thực nghiệm. Tỷ lệ cảnh báo sai rất thấp so với mật độ chung, chiếm chưa tới 2% số lượng cảnh báo được đưa ra (mô tả trong Hình 11 và Hình 12). Mức độ tin cậy và tính kịp thời của mô hình trong khảo sát định tính đạt 98% và mức độ hài lòng của sĩ quan hàng hải giả định khi tham gia vào quá trình áp dụng mô hình trong mô phỏng đạt 92% (Hình 13).

Những kết quả tích cực trên là minh chứng rõ ràng cho hiệu quả áp dụng, độ tin cậy của mô hình và triển vọng triển khai mô hình trong môi trường thực tế.

5. Kết luận

Kết quả mô phỏng bao gồm cả định tính và định lượng trong nghiên cứu đã chứng minh tính hiệu quả, độ chính xác và độ tin cậy cao của mô hình nhận diện và cảnh báo hành vi nguy hiểm đối với sĩ quan hàng hải. Thông qua 5 kịch bản được xây dựng dựa trên các tình huống ngoại cảnh thực tiễn như tầm nhìn hạn chế, thời tiết xấu, giao thông hỗn loạn, trực ca vào thời gian dễ gây mệt mỏi và áp lực xử lý điều động - tất cả đều được xây dựng phù hợp theo hướng dẫn của IMO Model Course 1.22. Biểu đồ kết quả cho thấy hệ thống có khả năng phân biệt chính xác hành vi nguy hiểm, với tỷ lệ cảnh báo sai rất thấp và phân bố hợp lý theo diễn biến của tình huống. Ngoài ra, phân tích theo vai trò cho thấy hệ thống hoạt động ổn định với các cấp bậc chức danh khác nhau trong tổ chức buồng lái, đặc biệt đạt độ chính xác 100% đối với thuyền trưởng và Hoa tiêu. Những kết quả này cho thấy mô hình đề xuất không chỉ đáp ứng được yêu cầu kỹ thuật trong môi trường mô phỏng mà còn có tiềm năng cao để triển khai trong môi trường thực nghiệm, hỗ trợ tích cực cho công tác giám sát hành vi, nâng cao an toàn hàng hải. Đồng thời, nghiên cứu cũng đã hoàn thành đầy đủ các mục tiêu đặt ra về mặt khoa học và ứng dụng.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Amundsen, T., Noble, A., 2025. *Are you simulator ready? A study of maritime communication competence in the full-mission bridge simulator*. WMU Journal of Maritime Affairs.
<https://doi.org/10.1007/s13437-025-00376-7>.
- [2] Brandsæter, A., Madsen, A. (2024). *A simulator-based approach for testing and assessing human supervised autonomous ship navigation*. Journal of Marine Science and Technology, Vol.29, pp.432-445.
<https://doi.org/10.1007/s00773-024-00998-1>.
- [3] IMO (2015). *Model Course 1.22: Bridge Resource Management*, 2015 edition.
- [4] Kandemir, C., & Celik, M., (2021). *A Human Reliability Assessment of Marine Engineering Students through Engine Room Simulator Technology*. Simulation & Gaming, Vol.52(5), pp.635-649.
<https://doi.org/10.1177/10468781211013851>.
- [5] Kim, H., Yang, Y., Ahn, Y.J., Hong, SK. (2021). *The Development of an Agent-Based Simulation System for Maritime Traffic with Ship Officer's Behavior Model*. Advances in Human Aspects of Transportation, Vol.270, pp.511-519.
https://doi.org/10.1007/978-3-030-80012-3_59.
- [6] Krzysztof Wróbel (2021), *Searching for the origins of the myth: 80% human error impact on maritime safety*. Reliability Engineering & System Safety, Vol.216, 107942.
<https://doi.org/10.1016/j.res.2021.107942>
- [7] Ronca, V., et al., (2023). *Neurophysiological Assessment of An Innovative Maritime Safety System in Terms of Ship Operators' Mental Workload, Stress, and Attention in the Full Mission Bridge Simulator*. Brain Sciences, Vol.13(9), 1319.
<https://doi.org/10.3390/brainsci13091319>.
- [8] Tusher, H.M., Munim, Z.H. & Nazir, S., (2024). *An evaluation of maritime simulators from technical, instructional, and organizational perspectives: a hybrid multi-criteria decision-making approach*. WMU Journal of Maritime Affairs, Vol.23, pp.165-194.
<https://doi.org/10.1007/s13437-023-00318-1>.
- [9] Vũ Đăng Thái, Đặng Đình Chiến, Nguyễn Tiến Đạt (2024). *Nghiên cứu mô hình cảnh báo hành vi lỗi của sĩ quan hàng hải và đánh giá độ chính xác bằng thuật toán KNN*. Tạp chí Khoa học Công nghệ Hàng hải, Số 79 (08/2024), tr.7-12.
- [10] Yim, J.B., Park, D.J., & Youn, I.H. (2019). *Development of Navigator Behavior Models for the Evaluation of Collision Avoidance Behavior in the Collision-Prone Navigation Environment*. Applied Sciences, Vol.9(15), 3114.
<https://doi.org/10.3390/app9153114>.

Ngày nhận bài:	04/08/2025
Ngày nhận bản sửa:	14/08/2025
Ngày duyệt đăng:	14/08/2025