

BỘ GIAO THÔNG VẬN TẢI BỘ GIÁO DỤC VÀ ĐÀO TẠO
TRƯỜNG ĐẠI HỌC HÀNG HẢI VIỆT NAM



NGUYỄN VĂN QUẢNG

**NGHIÊN CỨU THUẬT TOÁN XÁC ĐỊNH NGUY CƠ
ĐÂM VÀ TÀU THUYỀN THEO THỜI GIAN THỰC
TRÊN VÙNG BIỂN VIỆT NAM**

LUẬN ÁN TIẾN SĨ KỸ THUẬT

HẢI PHÒNG - 2024

BỘ GIAO THÔNG VẬN TẢI BỘ GIÁO DỤC VÀ ĐÀO TẠO
TRƯỜNG ĐẠI HỌC HÀNG HẢI VIỆT NAM

NGUYỄN VĂN QUẢNG

NGHIÊN CỨU THUẬT TOÁN XÁC ĐỊNH NGUY CƠ
ĐÂM VÀ TÀU THUYỀN THEO THỜI GIAN THỰC
TRÊN VÙNG BIỂN VIỆT NAM

LUẬN ÁN TIẾN SĨ KỸ THUẬT

NGÀNH: KHOA HỌC HÀNG HẢI;

MÃ SỐ: 9840106

CHUYÊN NGÀNH: KHOA HỌC HÀNG HẢI

Người hướng dẫn khoa học : 1. PGS.TS. Trần Văn Lượng

2. TS. Lương Tú Nam

HẢI PHÒNG - 2024

LỜI CAM ĐOAN

Tên tôi là Nguyễn Văn Quảng, tác giả của luận án tiến sĩ “Nghiên cứu thuật toán xác định nguy cơ đâm va tàu thuyền theo thời gian thực trên vùng biển Việt Nam”. Bằng danh dự của mình, tôi xin cam đoan đây là công trình nghiên cứu của riêng tôi, không có phần nội dung nào được sao chép một cách bất hợp pháp từ công trình nghiên cứu của tác giả khác.

Kết quả nghiên cứu, nguồn số liệu trích dẫn, tài liệu tham khảo và kế thừa nêu trong luận án đều được chỉ rõ về nguồn gốc, xuất xứ và đảm bảo tính trung thực./.

Hải Phòng, ngày tháng 8 năm 2024

Nghiên cứu sinh

Nguyễn Văn Quảng

LỜI CẢM ƠN

Nghiên cứu sinh xin chân thành cảm ơn Trường Đại học Hàng hải Việt Nam đã chấp thuận và tạo điều kiện để nghiên cứu sinh thực hiện Luận án này.

Nghiên cứu sinh xin chân thành cảm ơn Khoa Hàng hải, Viện Đào tạo Sau đại học và Phòng Tổ chức - Hành chính, Trường Đại học Hàng hải Việt Nam cùng các thầy giáo, cô giáo, các đồng nghiệp đã hỗ trợ, giúp đỡ nghiên cứu sinh trong suốt quá trình làm Luận án.

Nghiên cứu sinh xin trân trọng bày tỏ lòng tri ân sâu sắc đến thầy giáo PGS.TS. Trần Văn Lượng, Giảng viên cao cấp, Viện trưởng Viện Đào tạo quốc tế, Trường Đại học Hàng hải Việt Nam và thầy giáo TS. Lương Tú Nam, Giảng viên, Phó Trưởng bộ môn Quản lý Hàng hải, Khoa Hàng hải, Trường Đại học Hàng hải Việt Nam đã tận tâm, trách nhiệm hướng dẫn trong suốt quá trình học tập, nghiên cứu và thực hiện Luận án tiến sĩ.

Nghiên cứu sinh xin chân thành cảm ơn các thầy là thành viên trong các Hội đồng: bảo vệ tổng quan, bảo vệ các chuyên đề, hội thảo khoa học cấp Trường, Hội đồng đánh giá Luận án tiến sĩ cấp cơ sở và Hội đồng đánh giá Luận án tiến sĩ cấp Trường... đã đọc, đóng góp ý kiến quý báu và hỗ trợ nghiên cứu sinh tiếp cận kiến thức khoa học, làm rõ các vấn đề có liên quan, qua đó có hướng nghiên cứu trọng tâm để hoàn thành nội dung Luận án.

Cuối cùng, nghiên cứu sinh xin bày tỏ lòng biết ơn đến gia đình, bạn bè, đồng nghiệp đã luôn động viên, khuyến khích, giúp đỡ để nghiên cứu sinh hoàn thành Luận án này.

Hải Phòng, ngày tháng 8 năm 2024

Nghiên cứu sinh

Nguyễn Văn Quảng

MỤC LỤC

LỜI CAM ĐOAN.....	i
LỜI CẢM ƠN.....	ii
MỤC LỤC.....	iii
DANH MỤC CÁC CHỮ VIẾT TẮT VÀ KÝ HIỆU.....	vi
DANH MỤC CÁC BẢNG.....	viii
DANH MỤC CÁC HÌNH.....	x
MỞ ĐẦU.....	1
CHƯƠNG 1. TỔNG QUAN NGHIÊN CỨU.....	8
1.1. Tổng quan về đặc điểm, tình hình vùng biển Việt Nam hiện nay.....	8
1.1.1. Vị trí địa lý.....	8
1.1.2. Hệ thống cảng biển của Việt Nam.....	8
1.1.3. Hệ thống các tuyến luồng hàng hải của Việt Nam.....	12
1.1.4. Hàng hóa và tàu thuyền ra vào cảng biển của Việt Nam.....	12
1.1.5. Các vụ tai nạn hàng hải xảy ra trên các vùng biển của Việt Nam.....	17
1.2. Khu vực luồng Hải Phòng.....	20
1.2.1. Đặc điểm khu vực luồng Hải Phòng.....	20
1.2.2. Hệ thống luồng hàng hải Hải Phòng.....	21
1.2.3. Một số khu vực tiềm ẩn nguy cơ đâm va trên khu vực luồng Hải Phòng.....	22
1.3. Khu vực luồng Sài Gòn - Vũng Tàu.....	24
1.3.1. Đặc điểm khu vực luồng Sài Gòn - Vũng Tàu.....	24
1.3.2. Hệ thống luồng Sài Gòn - Vũng Tàu.....	25
1.3.3. Một số khu vực tiềm ẩn nguy cơ đâm va trên khu vực luồng Sài Gòn - Vũng Tàu.....	26
1.4. Tình hình nghiên cứu trong và ngoài nước liên quan tới luận án.....	30

1.4.1. Tình hình nghiên cứu trên thế giới	30
1.4.2. Tình hình nghiên cứu trong nước	33
1.4.3. Nhận xét.....	35
1.5. Kết luận chương 1	36
CHƯƠNG 2. NGHIÊN CỨU XÂY DỰNG THUẬT TOÁN XÁC ĐỊNH VÙNG AN TOÀN CỦA TÀU	37
2.1. Vùng an toàn của tàu	37
2.1.1. Khái niệm về vùng an toàn của tàu	37
2.1.2. Một số phương pháp xác định vùng an toàn của tàu.....	43
2.2. Lý thuyết về hàm ảnh hưởng.....	44
2.3. Xây dựng vùng an toàn mới của tàu dựa trên hàm ảnh hưởng	48
2.4. Xác định kích thước vùng an toàn HSD.....	55
2.4.1. Phương pháp xác định kích thước vùng an toàn HSD	55
2.4.2. Kết quả khảo sát trên khu vực luồng Hải Phòng và Sài Gòn - Vũng Tàu	60
2.4.3. Kích thước của vùng an toàn HSD.....	68
2.5. Khả năng ứng dụng vùng an toàn HSD trong cảnh báo nguy cơ đâm va	75
2.6. Kết luận chương 2	78
CHƯƠNG 3. XÂY DỰNG THUẬT TOÁN XÁC ĐỊNH NGUY CƠ ĐÂM VA TÀU THUYỀN DỰA TRÊN VÙNG AN TOÀN HSD	80
3.1. Thuật toán xác định nguy cơ đâm va tàu thuyền dựa trên vùng an toàn HSD..	80
3.2. Đánh giá thuật toán xác định nguy cơ đâm va tàu thuyền dự trên vùng an toàn của tàu (HSD).....	82
3.2.1. Đánh giá nguy cơ đâm va dựa vào CPA	82
3.2.2. Phương pháp mô phỏng số.....	85
3.3. Áp dụng HSD trong đánh giá nguy cơ đâm va	90

3.3.1. Địa điểm, đối tượng, phương pháp thực hiện.....	90
3.3.2. Kết quả đánh giá nguy cơ đâm va giữa các tàu.....	92
3.4. Kết luận chương 3	100
CHƯƠNG 4. XÂY DỰNG BẢN ĐỒ ĐIỂM NÓNG GIAO THÔNG, MÔ PHỎNG TRÊN VÙNG BIỂN VIỆT NAM.....	101
4.1. Thu thập và xử lý dữ liệu từ hệ thống tự động nhận dạng	101
4.1.1. Hệ thống tự động nhận dạng AIS.....	101
4.1.2. Xử lý dữ liệu AIS	103
4.2. Phân cụm tàu	106
4.2.1. Phương pháp phân cụm dựa trên mật độ (Density-Based Clustering).....	106
4.2.2. Phân cụm tàu bằng DBSCAN	110
4.3. Xây dựng bản đồ điểm nóng giao thông, mô phỏng trên vùng biển Việt Nam	113
4.3.1. Các bước xây dựng bản đồ điểm nóng giao thông hàng hải sử dụng HSD .	113
4.3.2. Mô phỏng bản đồ điểm nóng trên vùng biển Việt Nam.....	115
4.4. Kết luận chương 4	127
KẾT LUẬN VÀ PHƯƠNG HƯỚNG PHÁT TRIỂN NGHIÊN CỨU	128
1. Kết luận	128
2. Phương hướng phát triển nghiên cứu	129
DANH MỤC CÁC CÔNG TRÌNH KHOA HỌC ĐÃ CÔNG BỐ KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU CỦA ĐỀ TÀI LUẬN ÁN.....	131
TÀI LIỆU THAM KHẢO.....	132
PHỤ LỤC 1. PHIẾU KHẢO SÁT KHU VỰC LUỒNG HẢI PHÒNG.....	145
PHỤ LỤC 2. PHIẾU KHẢO SÁT KHU VỰC LUỒNG SÀI GÒN - VŨNG TÀU	146

DANH MỤC CÁC CHỮ VIẾT TẮT VÀ KÝ HIỆU

<i>Chữ viết tắt</i>	<i>Giải thích</i>
AIS	Automatic Identification System <i>Hệ thống tự động nhận dạng</i>
ARPA	Automatic Radar Plotting Aids <i>Tự động đồ giải tránh va Radar</i>
BCR	Bow Crossing Range <i>Khoảng cách cắt mũi</i>
TBCR	Time Bow Crossing Range <i>Thời gian cắt mũi</i>
CD	Collision Diameter <i>Đường kính đâm va</i>
COLREGS	International Regulations for Preventing Collisions at Sea <i>Quy tắc phòng ngừa đâm va tàu thuyền trên biển</i>
CPA	Closest Point of Approach <i>Điểm tiếp cận gần nhất</i>
DCPA	Distance to Closest Point of Approach <i>Khoảng cách đến điểm tiếp cận gần nhất</i>
TCPA	Time to Closest Point of Approach <i>Thời gian đến điểm tiếp cận gần nhất</i>
CRI	Collision Risk Index <i>Chỉ số rủi ro đâm va</i>
DCR	Dynamic Collision Risk <i>Nguy cơ đâm va động</i>
DGPS	Differential Global Positioning System <i>Hệ thống vi phân GPS</i>
DBSCAN	Density - Based Spatial Clustering of Applications with Noise <i>Phương pháp phân cụm dữ liệu dựa trên mật độ</i>

ECDIS	Electronic Chart Display and Information System <i>Hệ thống thông tin và hiển thị Hải đồ điện tử</i>
GMDSS	Global Maritime Distress and Safety System <i>Hệ thống an toàn và cứu nạn hàng hải toàn cầu</i>
GPS	Global Positioning System <i>Hệ thống định vị toàn cầu</i>
HSD	Heat Ship Domain <i>Vùng an toàn mới của tàu</i>
KDE	Kernel Density Estimation <i>Ước tính mật độ hạt nhân</i>
MDTC	Minimum Distance to Collision <i>Khoảng cách nhỏ nhất đến đâm va</i>
MMSI	Maritime Mobile Service Identity <i>Số nhận dạng dịch vụ di động hàng hải</i>
LOA	Length Over All <i>Chiều dài toàn bộ</i>
OS	Ower Ship <i>Tàu chủ</i>
TS	Target Ship <i>Tàu mục tiêu</i>
RADAR	Radio Detection And Ranging <i>Phát hiện và đo khoảng cách bằng sóng vô tuyến</i>
VTS	Vessel Traffic Service <i>Hệ thống giám sát và điều phối giao thông hàng hải</i>

DANH MỤC CÁC BẢNG

<i>Số bảng</i>	<i>Tên bảng</i>	<i>Trang</i>
1.1	Số lượng hàng hóa thông qua các cảng biển của Việt Nam	14
1.2	Các vụ tai nạn hàng hải xảy ra trên vùng biển của Việt Nam	18
2.1	Một số hàm hạt nhân đối xứng phổ biến	46
2.2	Kết quả khảo sát khoảng cách an toàn tại khu vực phía Đông (E) kênh Hà Nam đối với tàu LOA $\leq 115\text{m}$	62
2.3	Kết quả khảo sát khoảng cách an toàn tại khu vực phía Đông (E) kênh Hà Nam đối với tàu có $115\text{m} < \text{LOA} \leq 145\text{m}$	63
2.4	Kết quả khảo sát khoảng cách an toàn tại khu vực phía Đông (E) kênh Hà Nam đối với tàu có $145\text{m} < \text{LOA} \leq 175\text{m}$	63
2.5	Kết quả khảo sát khoảng cách an toàn tại khu vực phía Đông (E) kênh Hà Nam đối với tàu có LOA $> 175\text{m}$	63
2.6	Kết quả khảo sát khoảng cách an toàn tại khu vực phía Tây (W) kênh Hà Nam đối với tàu có LOA $\leq 115\text{m}$	64
2.7	Kết quả khảo sát khoảng cách an toàn tại khu vực đầu phía Tây (W) kênh Hà Nam đối với tàu có $115\text{m} < \text{LOA} \leq 145\text{m}$	64
2.8	Kết quả khảo sát khoảng cách an toàn tại khu vực phía Tây (W) kênh Hà Nam đối với tàu có $145\text{m} < \text{LOA} \leq 175\text{m}$	64
2.9	Kết quả khảo sát khoảng cách an toàn tại khu vực phía Tây (W) kênh Hà Nam đối với tàu có LOA $> 175\text{m}$	65
2.10	Kết quả khảo sát đối với tàu có LOA $\leq 115\text{m}$ tại khu vực gần phao GR	65
2.11	Kết quả khảo sát đối với tàu có $115\text{m} < \text{LOA} \leq 145\text{m}$ tại khu vực gần phao GR	65
2.12	Kết quả khảo sát đối với tàu có $145\text{m} < \text{LOA} \leq 175\text{m}$ tại khu vực gần phao GR	66

2.13	Kết quả khảo sát đối với tàu có LOA > 175m tại khu vực gần phao GR	66
2.14	Kết quả khảo sát đối với tàu có LOA ≤ 115m tại khu vực Ngã ba Nhà bè (phao 58) có tọa độ A7	66
2.15	Kết quả khảo sát đối với tàu có 115m < LOA ≤ 145m tại khu vực Ngã ba Nhà bè (phao 58) có tọa độ A7	67
2.16	Kết quả khảo sát đối với tàu có 145m < LOA ≤ 175m tại khu vực Ngã ba Nhà bè (phao 58) có tọa độ A7	67
2.17	Kết quả khảo sát đối với tàu có LOA > 175m tại khu vực Ngã ba Nhà bè (phao 58) có tọa độ A7	67
2.18	Giá trị h của các loại tàu trên luồng Hải Phòng	68
2.19	Giá trị h của các loại tàu trên luồng Sài Gòn - Vũng Tàu	69
2.20	Tính năng của HSD so với các vùng an toàn trước đây	75
2.21	Thông số các tàu trên hệ thống luồng	76
2.22	Thông số các tàu tại khu vực đầu luồng	77
3.1	Thông số 2 tàu khi hành trình	86
3.2	Thông số đánh giá nguy cơ đâm va giữa hai tàu	89
3.3	Thông số thời điểm ban đầu của hai tàu	92
3.4	Thông số di chuyển của hai tàu	94
3.5	Thông số mô phỏng đánh giá nguy cơ đâm va giữa hai tàu	96
3.6	Thông số di chuyển của 3 tàu	98
4.1	Thang đánh giá mức độ an toàn giao thông theo ES	120

DANH MỤC CÁC HÌNH

<i>Số hình</i>	<i>Tên hình</i>	<i>Trang</i>
1.1	Các nhóm cảng biển thuộc hệ thống cảng biển Việt Nam	11
1.2	Tổng lượng hàng hóa thông qua cảng biển của Việt Nam	15
1.3	Lượng hàng container thông qua cảng biển của Việt Nam	15
1.4	Số lượt tàu ra vào các cảng biển của Việt Nam	16
1.5	Số vụ tai nạn, mức độ và số người chết trong các vụ tai nạn hàng hải xảy ra trên vùng biển Việt Nam trong 05 năm gần đây	19
1.6	Một số cảng thuộc hệ thống cảng biển Hải Phòng	21
1.7	Hệ thống luồng hàng hải Hải Phòng	21
1.8	Hai đầu kênh Hà Nam	22
1.9	Khu vực ngã 3 kênh Cái Tráp và đầu phía Tây (W) kênh Hà Nam	23
1.10	Khu vực phía Đông (E) kênh Hà Nam	23
1.11	Khu vực ngã 3 cửa sông Ruột Lợn	24
1.12	Khu vực luồng Sài Gòn - Vũng Tàu	25
1.13	Khúc cua An Thạnh (Tiêu 31)	27
1.14	Khúc cua Coude Lest và Houlde Lest	27
1.15	Khúc cua Đá Hàn	28
1.16	Khúc cua Mũi Ô Rơ	28
1.17	Ngã ba Nhà Bè	29
1.18	Khúc cua Mũi Đền Đỏ	29
1.19	Khúc cua Hải Lý 3	30
2.1	Vùng an toàn của tàu chủ không bị xâm phạm bởi tàu mục tiêu	37
2.2	Vùng an toàn tàu của Fujii và Tanaka (1971)	38
2.3	Vùng an toàn tàu của Goodwin (trái) và Davis (phải)	39

2.4	Vùng an toàn tàu của Coldwell (1983)	39
2.5	Các tiêu chí sử dụng vùng an toàn của tàu	42
2.6	Ví dụ về hàm hạt nhân	45
2.7	Hình dạng của một số hàm hạt nhân đối xứng phổ biến	46
2.8	Ví dụ về ảnh hưởng của tham số làm mịn	47
2.9	Mô hình phân tử lưu lượng tàu	49
2.10	Tốc độ và hướng chuyển động tương đối của tàu chủ với tàu mục tiêu	50
2.11	Chuyển động tương đối của OS và TS	51
2.12	Mô hình trường nguy cơ đâm va	52
2.13	Vùng an toàn mới của tàu được xây dựng bằng hàm hạt nhân - Heat Ship Domain (HSD)	54
2.14	Kích thước vùng an toàn HSD với giá trị h khác nhau	56
2.15	Ý kiến về khoảng cách an toàn với tàu chủ tại khu vực khảo sát	57
2.16	Khu vực khảo sát trên tuyến luồng Hải Phòng (2 đầu kênh Hà Nam)	58
2.17	Khu vực khảo sát trên luồng Sài Gòn - Vũng Tàu (gần phao GR)	58
2.18	Khu vực khảo sát trên luồng Sài Gòn - Vũng Tàu (Ngã ba Nhà Bè)	59
2.19	Số lượng khảo sát theo chức danh	62
2.20	HSD của các tàu đang hành trình với vận tốc 10kn trên khu vực luồng Hải Phòng với chiều dài: (a) 100m (b) 130m (c) 160m (d) 200m	69
2.21	HSD của các tàu đang hành trình với vận tốc 10kn trên khu vực luồng Sài Gòn - Vũng Tàu với chiều dài: (a) 100m (b) 130m (c) 160m (d) 200m	70
2.22	Chồng lấn HSD giữa 2 tàu	71
2.23	Vị trí tương quan giữa hai tàu thuyền	71
2.24	Khu vực xây dựng vùng an toàn của tàu	72

2.25	HSD đã được điều chỉnh	73
2.26	HSD của các tàu trên luồng Hải Phòng với vận tốc 10kn sau khi điều chỉnh	73
2.27	HSD của các tàu trên luồng Sài Gòn - Vũng Tàu với vận tốc 10kn sau khi điều chỉnh	74
2.28	Vùng an toàn của các tàu di chuyển trong hệ thống luồng giao thông	77
2.29	Vùng an toàn của các tàu di chuyển trong khu vực đầu luồng	78
3.1	Lưu đồ thuật toán xác định nguy cơ đâm va bằng vùng an toàn HSD	81
3.2	HSD chồng lấn lên nhau trong trường hợp đối hướng và cắt hướng	81
3.3	Phương pháp tính DCPA và TCPA	84
3.4	Vị trí ban đầu của hai tàu	85
3.5	Vết di chuyển của 2 tàu theo AIS	86
3.6	HSD của 2 tàu khi hành trình từ thời điểm t_1 đến t_{13}	88
3.7	Quang cảnh phòng mô phỏng lái tàu	90
3.8	Tàu A (tàu Bulk carrier 3)	91
3.9	Tàu B (tàu River-sea ship 1)	91
3.10	Tàu C (tàu Ro-Ro passenger ferry)	92
3.11	Vị trí ban đầu của 2 tàu trên hải đồ	93
3.12	Mô phỏng vết di chuyển của 2 tàu khi hành trình	93
3.13	Mô phỏng di chuyển HSD của 2 tàu khi hành trình	96
3.14	Vị trí của 3 tàu trên hải đồ	97
3.15	Mô phỏng vết di chuyển của 3 tàu khi hành trình	97
3.16	Mô phỏng di chuyển HSD của 3 tàu khi hành trình	99
4.1	Cấu hình bộ chuyển đổi dữ liệu AIS	103

4.2	Ba loại điểm và cụm	108
4.3	Áp dụng DBSCAN vào phân cụm tàu	111
4.4	Sơ đồ thuật toán xây dựng bản đồ điểm nóng giao thông hàng hải bằng HSD	114
4.5	Khu vực luồng Hải Phòng	116
4.6	Các cụm tàu và nhiễu sau khi áp dụng DBSCAN	116
4.7	Bản đồ điểm nóng giao thông khu vực luồng Hải Phòng (10h00 26/8/2022)	117
4.8	Bản đồ điểm nóng giao thông khu vực luồng Hải Phòng (16h00 26/8/2022)	117
4.9	Bản đồ quỹ đạo tàu khu vực luồng Hải Phòng	119
4.10	Bản đồ mức độ áp lực tại khu vực luồng Hải Phòng	121
4.11	Bản đồ điểm nóng giao thông khu vực luồng Hải Phòng (09h00 27/8/2022)	122
4.12	Bản đồ điểm nóng giao thông khu vực luồng Hải Phòng (21h00 27/8/2022)	122
4.13	Các điểm nóng giao thông trong khu vực luồng Hải Phòng	123
4.14	Khu vực luồng Sài Gòn - Vũng Tàu	124
4.15	Bản đồ điểm nóng giao thông khu vực luồng Sài Gòn - Vũng Tàu (07h20 20/5/2022)	125
4.16	Bản đồ điểm nóng giao thông khu vực luồng Sài Gòn - Vũng Tàu (15h05 ngày 21/5/2022)	125
4.17	Bản đồ điểm nóng giao thông khu vực luồng Sài Gòn - Vũng Tàu (19h08 ngày 22/5/2022)	126
4.18	Các điểm nóng giao thông trong khu vực luồng Sài Gòn - Vũng Tàu	126

MỞ ĐẦU

1. Tính cấp thiết của Luận án

Trong các hệ thống giao thông nói chung và hệ thống giao thông hàng hải nói riêng, tai nạn luôn để lại những hậu quả rất nặng nề về nhiều phương diện. Đối với tai nạn hàng hải có thể gây nên mất mát về người, tổn thất về tài sản, làm hư hỏng kết cấu hạ tầng hoặc gây ô nhiễm môi trường ... Chính vì vậy, việc phòng ngừa tai nạn, cảnh báo sớm nguy cơ va chạm giao thông luôn là đề tài được các nhà chức trách, nhà nghiên cứu quan tâm, tìm hiểu và đề xuất nhiều phương án khác nhau. Tuy nhiên, đến nay, tai nạn hàng hải vẫn thường xuyên xảy ra ở khắp các vùng biển trên thế giới nói chung và các vùng biển của Việt Nam nói riêng, hầu hết các vụ tai nạn đều cho thấy lỗi của con người vẫn là nguyên nhân chính, bên cạnh đó là sự hỗ trợ không đầy đủ, thích đáng của các trang thiết bị máy móc.

Trong những năm gần đây, trước sự phát triển mạnh mẽ của kinh tế thế giới và áp lực vận chuyển hàng hóa bằng đường biển tăng cao (hơn 90% khối lượng hàng hóa trên thế giới được vận chuyển bằng đường biển), đưa vận tải hàng hải tạo thành huyết mạch của thương mại toàn cầu với sự xuất hiện của các loại tàu khác nhau về kích cỡ và chủng loại, mới hơn, lớn hơn. Mật độ giao thông trên biển và tại các cảng biển ngày càng trở lên đông đúc, thấy rõ sự thay đổi và ngày càng trở nên phức tạp hơn. Điều này khiến việc quản lý giao thông hàng hải ngày càng trở nên khó khăn hơn. Để duy trì an toàn giao thông hàng hải trong điều kiện mật độ và lưu lượng tàu thuyền lớn và phức tạp đòi hỏi mỗi phương tiện tham gia giao thông, mỗi thuyền viên đều có các phương án sớm để nhận biết và cảnh báo được sự hiện diện của nguy cơ gây tai nạn.

Các nhà chức trách phải có các phương thức kiểm soát lưu lượng tàu thuyền để tối ưu hóa luồng giao thông, bảo vệ môi trường và đảm bảo an toàn. Việc giám sát các khu vực biển rộng lớn thông thường đòi hỏi phải phân tích khối lượng lớn dữ liệu cảm biến động, đa chiều và không đồng nhất, nhằm cải thiện hiệu quả và an toàn giao thông của tàu và bảo vệ môi trường. Thông thường, các sỹ quan quản lý giao thông hàng hải phải tìm kiếm và dự đoán các tình huống tàu có nguy cơ va chạm cao

từ một số lượng lớn tàu thuyền trong khu vực biển rộng lớn. Việc phát hiện sớm các tình huống rủi ro như vậy nhằm có thêm thời gian cho việc thực hiện hành động thích hợp trước khi các vấn đề tiềm ẩn có thể xảy ra. Tuy nhiên, các sỹ quan quản lý giao thông hàng hải có thể bị choáng ngợp bởi luồng dữ liệu trực tuyến, các phương pháp phân tích dữ liệu thủ công truyền thống hoặc bởi các yếu tố khác, chẳng hạn như áp lực thời gian, căng thẳng, sự mâu thuẫn hoặc không chắc chắn của thông tin. Chính vì vậy, cần có một hệ thống giám sát thông minh đánh giá được nguy cơ va chạm giữa các tàu và đưa ra các cảnh báo, điều này có thể giảm tải áp lực cho sỹ quan quản lý giao thông trong khi giám sát giao thông hàng hải, cho phép đưa ra các hành động phòng ngừa đâm va một cách nhanh chóng và chính xác.

Hiện nay, định biên an toàn tối thiểu trên tàu cho mỗi tàu không nhiều, tuy có nhiều các thiết bị hỗ trợ cho nghiệp vụ hàng hải như: ECDIS, RADAR, ARPA, GMDSS, GPS, AIS ... đã được áp dụng trong quá trình hàng hải và đánh giá phòng ngừa đâm va nhưng các vụ đâm va gần đây cho thấy lỗi của con người vẫn là yếu tố chính của các vụ tai nạn. Để giảm số vụ tai nạn và tăng cường an toàn hàng hải, có một hệ thống hỗ trợ điều động cho sỹ quan hàng hải hay quản lý giao thông hàng hải là rất cần thiết. Phân tích, đánh giá rủi ro đâm va nhằm hỗ trợ thuyền viên đưa ra hành động nhanh chóng, trực quan là vấn đề chính trong hệ thống hỗ trợ này.

Việc điều tiết an toàn cho tàu, đặc biệt là trong các tuyến đường thủy hẹp, được các nhà nghiên cứu cũng như các cơ quan quản lý hàng hải quan tâm hàng đầu. Nhiều nhà nghiên cứu cũng như các chuyên gia, sỹ quan giàu kinh nghiệm đã tiến hành nghiên cứu về đánh giá rủi ro đối với giao thông hàng hải và đề xuất các biện pháp nhằm kiểm soát, giảm thiểu rủi ro đâm va giữa các tàu thuyền. Các phương pháp đánh giá nguy cơ đâm va hiện nay chủ yếu đánh giá nguy cơ đâm va giữa 2 tàu thuyền. Tàu thuyền ở những luồng hẹp với mật độ đông đúc dễ bị va chạm hơn so với các vùng biển rộng do mật độ giao thông rất lớn. Khi có từ 3 tàu thuyền trở lên, việc tính toán và điều động tránh va trở nên khó khăn hơn rất nhiều. Hơn nữa, việc đánh giá nguy cơ đâm va chưa thể hiện được mức độ nguy hiểm dưới dạng chỉ số một cách cụ thể. Nếu có một chỉ số biểu hiện nguy cơ xảy ra đâm

va được tính toán theo thời gian thực thì các sỹ quan quản lý giao thông có thể triển khai các hoạt động điều tiết nhằm đảm bảo an toàn cho các phương tiện, các tuyến luồng giao thông. Mặc dù ở hầu hết các tuyến luồng này, người ta đã biết xác suất tai nạn tổng thể, nhưng sự phân bố theo không gian của chúng thường không có sẵn dưới dạng bản đồ chi tiết. Cùng với đó, nếu vị trí có khả năng cao xảy ra đâm va giữa các tàu thuyền được tính toán và thể hiện trực quan trên hải đồ sẽ rất thuận tiện cho các sỹ quan quản lý giao thông theo dõi, từ đó đưa ra các cảnh báo sớm cho phương tiện trên toàn bộ tuyến luồng.

Xuất phát từ thực tiễn nêu trên, nghiên cứu sinh đề xuất nghiên cứu thực hiện đề tài: *Nghiên cứu thuật toán xác định nguy cơ đâm va tàu thuyền theo thời gian thực trên vùng biển Việt Nam.*

2. Mục đích nghiên cứu

Mục đích nghiên cứu của đề tài là đề xuất vùng an toàn mới của tàu, hình dáng và kích thước của vùng an toàn này có thể linh hoạt thay đổi dựa vào các thông số như tốc độ, kích thước tàu và khu vực tàu hành trình theo thời gian thực. Trên cơ sở vùng an toàn mới đề xuất, nghiên cứu xây dựng thuật toán xác định nguy cơ đâm va tàu thuyền trên vùng biển Việt Nam, nguy va chạm được thể hiện trực quan theo từng cấp độ. Xây dựng bản đồ điểm nóng giao thông giúp nhận biết những nơi thường xuyên tập trung đông tàu thuyền, nhằm cảnh báo sớm cho thuyền viên và nhà quản lý, điều hành giao thông hàng hải về nguy cơ đâm va để kịp thời đưa ra hành động đảm bảo an toàn cho tàu trên vùng biển Việt Nam.

3. Đối tượng và phạm vi nghiên cứu

3.1. Đối tượng nghiên cứu

Thực hiện nghiên cứu, đánh giá tình hình vùng biển, cảng biển của Việt Nam như vai trò của cảng biển Việt Nam, định hướng phát triển trong tương lai, địa hình, mật độ tàu thuyền, lưu lượng hàng hóa ra vào, các vụ tai nạn hàng hải xảy ra ... trên vùng biển Việt Nam từ đó chỉ ra các khu vực có địa hình phức tạp, có mật độ tàu thuyền lớn, tiềm ẩn nhiều nguy mất an toàn giao thông hàng hải.

Nghiên cứu các mô hình vùng an toàn của tàu đã được xây dựng trong nước và trên thế giới trước đây như: phương pháp, tiêu chí xây dựng, thông số đầu vào, hình dạng, kích thước ... đánh giá ưu, nhược điểm để đề xuất mô hình vùng an toàn mới phù hợp với mục đích nghiên cứu. Ý kiến của các chuyên gia, các nhà hàng hải và dữ liệu AIS thu được trên vùng biển Việt Nam đã được nghiên cứu, phân tích để xây dựng mô hình vùng an toàn mới, thay đổi theo thời gian thực, áp dụng phù hợp cho các tàu hoạt động trên vùng biển Việt Nam.

3.2. Phạm vi nghiên cứu

Đề tài tập trung nghiên cứu thực trạng vùng biển, cảng biển của Việt Nam như vị trí địa lý, hệ thống cảng biển, hệ thống luồng hàng hải, số lượng hàng hóa và lưu lượng tàu thuyền ra vào, số vụ tai nạn hàng hải đã xảy ra trong thời gian 5 năm từ năm 2019 đến hết năm 2023. Cụ thể và mô phỏng tại một số vùng biển có lưu lượng tàu thuyền ra vào nhiều, địa hình phức tạp như khu vực luồng Hải Phòng và khu vực luồng Sài Gòn - Vũng Tàu.

Mô hình vùng an toàn, các phương pháp, thuật toán xác định nguy cơ đâm va tàu thuyền tại các vùng biển trên thế giới và Việt Nam từ trước đến nay cũng được tập trung nghiên cứu để đưa ra kết quả tối ưu, phù hợp với mục đích nghiên cứu của đề tài.

4. Phương pháp nghiên cứu

Luận án đã sử dụng các phương pháp nghiên cứu:

- Phương pháp nghiên cứu lý thuyết: Đề tài đã sử dụng phương pháp nghiên cứu lý thuyết để phân tích, đánh giá các nghiên cứu trong nước và thế giới có liên quan đến đề tài, từ đó đề xuất hướng nghiên cứu của đề tài. Phương pháp này cũng được thực hiện nhằm nghiên cứu cơ sở lý thuyết về các hàm toán học, về vùng an toàn của tàu, các phương pháp xác định vùng an toàn của tàu và các phương pháp đánh giá, xác định nguy cơ đâm va tàu thuyền.

- Phương pháp chuyên gia (kết hợp giữa phương pháp thống kê, phương pháp phân tích và tổng kết kinh nghiệm): Phương pháp này được áp dụng trong quá trình khảo sát, sử dụng kinh nghiệm, kiến thức của các chuyên gia - là các hoa tiêu

hàng hải, sỹ quan hàng hải, nhà quản lý hàng hải ... để xác định khoảng cách an toàn của tàu khi hành trình trên vùng biển Việt Nam phục vụ cho việc xác định kích thước vùng an toàn của tàu. Ngoài ra, phương pháp chuyên gia còn được kết hợp với phương pháp thống kê để tổng hợp dữ liệu khảo sát từ các chuyên gia và phương pháp phân tích nhằm đánh giá số liệu trước khi sử dụng.

- Phương pháp toán học: Trên cơ sở dữ liệu thu thập được, phương pháp toán học được sử dụng để đề xuất, xây dựng và phát triển thuật xác định vùng an toàn của tàu, thuật toán xác định nguy cơ đâm va tàu thuyền, các thuật toán trong quá trình thu thập, xử lý dữ liệu. Phương pháp này cũng được sử dụng để tính toán các trọng số phù hợp với tình hình thực tế, phân cụm tàu, phục vụ việc xây dựng bản đồ điểm nóng giao thông hàng hải.

- Phương pháp bình phương nhỏ nhất: Phương pháp này là phương pháp tối ưu để lựa chọn đường khớp nhất đối với một dải dữ liệu ứng với cực trị của tổng các sai số thống kê từ kết quả khảo sát chuyên gia.

- Phương pháp mô phỏng: Để kiểm chứng, làm rõ kết quả nghiên cứu, Luận án đã sử dụng phương pháp mô phỏng, sử dụng công cụ máy tính, mô phỏng trên Matlab và dựa vào đó để xây dựng vùng an toàn của tàu, đánh giá nguy cơ đâm va, xây dựng bản đồ điểm nóng giao thông. Ngoài ra, phương pháp này được sử dụng tại phòng mô phỏng lái tàu của Trường Đại học Hàng hải Việt Nam để đánh giá khả năng áp dụng của mô hình vùng an toàn trong đánh giá nguy cơ đâm va.

5. Ý nghĩa khoa học và thực tiễn của đề tài

5.1. Ý nghĩa khoa học

Đề tài đã tổng hợp, phân tích và đánh giá số liệu một cách tổng quan về các vùng biển của Việt Nam, các nghiên cứu trong nước và trên thế giới có liên quan đến phạm vi nghiên cứu của đề tài. Xây dựng cơ sở khoa học về vùng an toàn xung quanh tàu, đề xuất xây dựng một vùng an toàn mới phù hợp với mục đích nghiên cứu, khoa học và tin cậy trên vùng biển Việt Nam.

Tổng hợp, đánh giá các thuật toán xác định nguy cơ đâm va trước đây, xây dựng thuật toán xác định nguy cơ đâm va tàu thuyền trên vùng biển Việt Nam.

Thuật toán xác định nguy cơ đâm va cho phép đánh giá được nguy cơ va chạm giữa các tàu trực quan, nhanh chóng, theo cấp độ và định lượng cụ thể theo thời gian thực.

Kết quả nghiên cứu có giá trị tham khảo cho các nhà hoạch định chính sách, các cơ quan quản lý nhà nước chuyên ngành hàng hải, lực lượng tìm kiếm cứu nạn hàng hải. Ngoài ra, nghiên cứu cũng có giá trị tham khảo đối với học viên, sinh viên ngành kỹ thuật các chuyên ngành có liên quan.

5.2. Ý nghĩa thực tiễn

Kết quả nghiên cứu có tính ứng dụng cao, giúp sỹ quan hàng hải và người quản lý giao thông hàng hải sớm nhận biết nguy cơ đâm va, liên tục theo thời gian thực, từ đó có hành động phù hợp hoặc thông báo sớm góp phần giảm thiểu nguy cơ tai nạn hàng hải, bảo vệ tính mạng con người, tài sản và môi trường biển. Nghiên cứu có thể tạo tiền đề để phát triển các hệ thống quản lý giao thông hàng hải thông minh, nâng cao năng lực cạnh tranh của ngành hàng hải Việt Nam, thúc đẩy phát triển kinh tế biển.

Ngoài ra, kết quả nghiên cứu có thể cung cấp công cụ để xác định các điểm nóng giao thông trên vùng biển Việt Nam, hỗ trợ các nhà chức trách, nhà hoạch định chính sách, các cơ quan quản lý nhà nước chuyên ngành hàng hải, lực lượng tìm kiếm cứu nạn hàng hải có cách nhìn tổng quan về các cảng biển tại Việt Nam, những nơi thường xuyên tập trung đông đúc tàu thuyền và xây dựng các phương án về hạ tầng để đảm bảo an toàn hàng hải trên vùng biển Việt Nam trong tương lai.

6. Những đóng góp mới của Luận án

Luận án đã xây dựng được thuật toán xác định vùng an toàn của tàu theo thời gian thực. Hình dạng và kích thước vùng an toàn của mỗi loại tàu đã được xác định và thay đổi phụ thuộc vào chiều dài, tốc độ tàu và tham số khu vực. Mô hình vùng an toàn này có thể áp dụng tại nhiều vùng biển khác nhau và đã được cụ thể trên vùng biển Việt Nam.

Xây dựng bản đồ điểm nóng giao thông trên vùng biển Việt Nam, kết quả giúp thuyền viên, các nhà quản lý giao thông hàng hải có đánh giá trực quan, nhanh chóng, độ tin cậy cao nhằm phục vụ cho an toàn giao thông hàng hải.

7. Kết cấu của Luận án

Luận án được trình bày gồm các phần như sau:

Mở đầu

1. Tính cấp thiết của Luận án
2. Mục đích nghiên cứu
3. Đối tượng và phạm vi nghiên cứu
4. Phương pháp nghiên cứu
5. Ý nghĩa khoa học và thực tiễn của Luận án
6. Những đóng góp mới của Luận án
7. Kết cấu của Luận án

Nội dung: Gồm 4 chương

- Chương 1. Tổng quan nghiên cứu
- Chương 2. Nghiên cứu thuật toán xác định vùng an toàn của tàu
- Chương 3. Nghiên cứu thuật toán xác định nguy cơ đâm va tàu thuyền dựa

trên vùng an toàn của tàu

- Chương 4. Xây dựng bản đồ điểm nóng giao thông, mô phỏng trên vùng biển Việt Nam

Kết luận và phương hướng nghiên cứu

Danh mục các công trình khoa học đã được công bố kết quả của Luận án

Tài liệu tham khảo

Phụ lục

CHƯƠNG 1

TỔNG QUAN NGHIÊN CỨU

1.1. Tổng quan về đặc điểm, tình hình vùng biển Việt Nam hiện nay

1.1.1. Vị trí địa lý

Các vùng biển của Việt Nam được ví như mặt tiền, sân trước, cửa ngõ của quốc gia, có địa hình khúc khuỷu, nhiều eo, vũng, vịnh ven bờ kéo dài từ Móng Cái của Quảng Ninh đến Hà Tiên của Kiên Giang. Nằm ở cửa ngõ khu vực Đông Nam Á, đất liền của Việt Nam tiếp giáp với 4 nước, phía đông giáp biển. Biển Đông là một trong những khu vực có tầm quan trọng chiến lược đối với các nước thuộc khu vực Châu Á - Thái Bình Dương nói riêng cũng như có tầm ảnh hưởng đến cả Châu Mỹ và nhiều quốc gia trên thế giới, nơi đây nằm trên tuyến đường giao thông biển huyết mạch nối liền Thái Bình Dương và Ấn Độ Dương, Châu Âu và Châu Á, Trung Đông - Châu Á. Đây được coi là tuyến đường vận tải quốc tế nhộn nhịp thứ hai của thế giới, số lượng tàu thuyền qua lại khu vực này ngày một nhiều, luôn được thế giới xem là một yếu tố đặc lợi.

Với vị trí địa lý như vậy, cùng với việc có nhiều cửa ngõ giao thương, gần các tuyến hàng hải quốc tế, các vùng biển của Việt Nam đóng vai trò quan trọng đối với giao thương trên thế giới, là đầu mối tiếp nhận, vận chuyển hàng hóa xuất nhập khẩu và lưu thông tới mọi miền đất nước và trên thế giới. Vươn ra biển, làm giàu từ biển là định hướng đúng đắn phù hợp trong điều kiện hiện nay của Việt Nam.

1.1.2. Hệ thống cảng biển của Việt Nam

Việt Nam hiện có tổng cộng 298 bến cảng lớn nhỏ [3], theo quy hoạch được chia thành 5 nhóm cảng biển [29]:

“Hệ thống cảng biển Việt Nam gồm 05 nhóm:

- Nhóm cảng biển số 01 gồm 05 cảng biển: cảng biển Hải Phòng, cảng biển Quảng Ninh, cảng biển Thái Bình, cảng biển Nam Định và cảng biển Ninh Bình.

- Nhóm cảng biển số 2 gồm 6 cảng biển: cảng biển Thanh Hóa, cảng biển Nghệ An, cảng biển Hà Tĩnh, cảng biển Quảng Bình, cảng biển Quảng Trị, cảng biển Thừa Thiên Huế.

- Nhóm cảng biển số 3 gồm 8 cảng biển: cảng biển Đà Nẵng (gồm khu vực huyện đảo Hoàng Sa), cảng biển Quảng Nam, cảng biển Quảng Ngãi, cảng biển Bình Định, cảng biển Phú Yên, cảng biển Khánh Hòa (gồm khu vực huyện đảo Trường Sa), cảng biển Ninh Thuận và cảng biển Bình Thuận.

- Nhóm cảng biển số 4 gồm 5 cảng biển: cảng biển Thành phố Hồ Chí Minh, cảng biển Đồng Nai, cảng biển Bà Rịa - Vũng Tàu, cảng biển Bình Dương và cảng biển Long An.

- Nhóm cảng biển số 5 gồm 12 cảng biển: cảng biển Cần Thơ, cảng biển Đồng Tháp, cảng biển Tiền Giang, cảng biển Vĩnh Long, cảng biển Bến Tre, cảng biển An Giang, cảng biển Hậu Giang, cảng biển Sóc Trăng, cảng biển Trà Vinh, cảng biển Cà Mau, cảng biển Bạc Liêu và cảng biển Kiên Giang.”[29].

Với vị trí, vai trò đặc biệt quan trọng, Việt Nam đã tận dụng ưu thế để đầu tư, xây dựng và phát triển hệ thống cảng biển một cách đồng bộ, có định hướng, nhằm đảm bảo mục tiêu đưa “nước ta cơ bản trở thành nước đang phát triển có công nghiệp hiện đại, thu nhập trung bình cao vào năm 2030 và đến năm 2045 trở thành quốc gia mạnh về biển, là nước phát triển, có thu nhập cao” [29]. Tại Quyết định số 1579/QĐ-TTg ngày 22/9/2021 của Thủ tướng Chính phủ phê duyệt Quy hoạch tổng thể phát triển hệ thống cảng biển Việt Nam thời kỳ 2021-2030, tầm nhìn đến năm 2050 đã xác định:

Về quan điểm:

“- Cảng biển là bộ phận quan trọng của kết cấu hạ tầng hàng hải, kết cấu hạ tầng kinh tế - xã hội, được xác định là một trong ba khâu đột phá chiến lược, cần ưu tiên đầu tư bảo đảm hài hòa giữa phát triển kinh tế - xã hội với quốc phòng - an ninh và an sinh xã hội, thích ứng với biến đổi khí hậu; góp phần giữ vững độc lập, chủ quyền biển đảo, tăng cường hợp tác quốc tế về biển, duy trì môi trường hòa bình, ổn định và phát triển bền vững.

- Phát triển kết cấu hạ tầng hàng hải đồng bộ, hiện đại, bảo đảm an toàn, an ninh hàng hải, kết nối hiệu quả các phương thức vận tải; phát huy lợi thế là phương thức chủ đạo vận tải hàng hóa khối lượng lớn, đóng vai trò quan trọng trong vận tải hàng hóa quốc tế, góp phần giảm chi phí logistics.

- Phát huy lợi thế về địa lý, gắn kết với không gian phát triển kinh tế, đô thị; tập trung phát triển các cửa ngõ quốc tế có khả năng tiếp nhận các tàu biển có trọng tải lớn đi các tuyến biển xa; tận dụng điều kiện tự nhiên, phát triển hài hòa, hợp lý giữa các cảng biển và không gian phát triển đô thị; giữa cảng biển với kết cấu hạ tầng cảng cạn, bến phao và khu neo chuyển tải.”.

Về mục tiêu:

“a) Mục tiêu đến năm 2030

Phát triển hệ thống cảng biển đồng bộ, hiện đại, dịch vụ chất lượng cao, đáp ứng nhu cầu phát triển kinh tế - xã hội, đảm bảo quốc phòng an ninh, an toàn hàng hải và bảo vệ môi trường, nâng cao năng lực cạnh tranh của nền kinh tế góp phần đưa nước ta cơ bản trở thành nước đang phát triển có công nghiệp hiện đại, thu nhập trung bình cao vào năm 2030 với một số chỉ tiêu cụ thể như sau:

- Về năng lực: đáp ứng nhu cầu xuất nhập khẩu hàng hóa, giao thương giữa các vùng miền trong cả nước và hàng trung chuyển, quá cảnh cho các nước trong khu vực cũng như nhu cầu vận tải hành khách nội địa và quốc tế. Hệ thống cảng biển đáp ứng thông qua lượng hàng hóa từ 1.140 đến 1.423 triệu tấn (trong đó hàng container từ 38 đến 47 triệu TEU); hành khách từ 10,1 đến 10,3 triệu lượt khách.

- Về kết cấu hạ tầng: ưu tiên phát triển các khu bến cảng cửa ngõ quốc tế Lạch Huyện (Hải Phòng), Cái Mép (Bà Rịa - Vũng Tàu) ...”[29].

“b) Tầm nhìn đến năm 2050

- Phát triển hệ thống cảng biển đồng bộ, hiện đại ngang tầm với khu vực và thế giới, đáp ứng các tiêu chí cảng xanh; đáp ứng đầy đủ, hiệu quả nhu cầu phát triển kinh tế - xã hội đất nước, là trụ cột chính có vai trò động lực, dẫn dắt, phát triển thành công kinh tế hàng hải theo Nghị quyết số 30-NQ/TW ngày 22/10/2018 của Hội nghị lần thứ tám Ban Chấp hành Trung ương Đảng khóa XII về chiến lược

bền vững kinh tế biển Việt Nam đến năm 2030, tầm nhìn đến năm 2045, góp phần đưa đất nước ta trở thành quốc gia biển mạnh và nước phát triển, thu nhập cao.

- Năng lực hệ thống cảng biển đáp ứng nhu cầu thông qua hàng hóa với tốc độ tăng trưởng bình quân khoảng từ 4,0 đến 4,5%; hành khách tăng trưởng bình quân khoảng từ 1,2 đến 1,3% /năm.”[29].



Hình 1.1. Các nhóm cảng biển thuộc hệ thống cảng biển Việt Nam

1.1.3. Hệ thống các tuyến luồng hàng hải của Việt Nam

Hiện nay, luồng hàng hải của Việt Nam có 56 tuyến luồng được chia làm 2 tuyến luồng chính là luồng hàng hải công cộng (có 45 tuyến) và luồng hàng hải chuyên dụng (với 11 tuyến). Trong đó, luồng hàng hải Định An - Sông Hậu (Cần Thơ và An Giang) có chiều dài lớn nhất là 182,26 km, luồng có chiều dài ngắn nhất là luồng An Thới (Kiên Giang) với chiều dài 0,69 km [6]. Hệ thống luồng hải là tuyến đường lưu thông tàu thuyền quan trọng kết nối giữa các bến cảng. Để đáp ứng được nhu cầu gia tăng kích cỡ tàu vào các bến cảng trên vùng biển Việt Nam, hiện nay, các tuyến luồng hàng hải đã được duy tu, nạo vét thường xuyên, bố trí, sắp xếp lại các phao báo hiệu, nâng cấp cầu, bến cảng để nâng cao năng lực tiếp nhận. Đồng thời tận dụng chế độ thủy triều để lập kế hoạch cho các tàu, thuyền có môn nước sâu vào, rời cảng.

1.1.4. Hàng hóa và tàu thuyền ra vào cảng biển của Việt Nam

Về số lượng hàng hóa thông qua các cảng biển của Việt Nam

Năm 2019: Số lượng hàng hóa thông qua cảng biển của Việt Nam đạt 664,6 triệu tấn, tăng 11% so với năm 2018. Trong đó, khối lượng hàng hóa container thông qua cảng biển trong năm 2019 là 19,6 triệu Teus, tăng 8% so với cùng kỳ của năm 2018 đây là mức tăng trưởng cao. Các cảng biển có khối lượng hàng hóa thông qua cảng lớn nhất cả nước là: cảng biển Thành phố Hồ Chí Minh, Vũng Tàu, Hải Phòng, Quảng Ninh đạt từ 81,79 triệu tấn đến 170,63 triệu tấn [5].

Năm 2020: Tuy diễn biến của dịch bệnh Covid-19 kéo dài và phức tạp nhưng sản lượng hàng hóa thông qua các cảng biển của Việt Nam vẫn ở mức cao, khoảng 693 triệu tấn, tăng 4% so với năm 2019. Trong đó, khối lượng hàng container qua các cảng biển đạt 22,5 triệu Teus, tăng 13% so với năm 2019. Trong đó, cảng biển Thành phố Hồ Chí Minh dẫn đầu với 163 triệu tấn, hàng container đạt 7,6 triệu Teus, xếp sau là cảng biển Vũng Tàu với gần 113 triệu tấn, hàng container đạt 7,5 triệu Teus, tiếp theo là Quảng Ninh với gần 110 triệu tấn, hàng container đạt 46 nghìn Teus, cảng Hải Phòng với trên 84 triệu tấn, hàng container đạt 5,2 triệu Teus. Một số cảng biển ở khu vực miền Trung số

lượng hàng hóa ra vào vẫn ở mức thấp như Quảng Bình (gần 4 triệu tấn), Quảng Trị (gần 1,3 triệu tấn) [8].

Năm 2021: Số lượng hàng hóa thông qua cảng biển của Việt Nam đạt 706,3 triệu tấn, tăng 2% so với năm 2020. Trong đó, khối lượng hàng hóa container thông qua cảng biển trong năm 2021 là 24 triệu Teus, tăng 7% so với cùng kỳ của năm 2020 đây là mức tăng trưởng tương đối cao. Các cảng biển có khối lượng hàng hóa thông qua cảng lớn nhất cả nước là: Thành phố Hồ Chí Minh đạt 163 triệu tấn; khu vực cảng biển Vũng Tàu đạt 113,6 triệu tấn, hàng container đạt 5,2 triệu Teus; khu vực Quảng Ninh đạt 104 triệu tấn, hàng container đạt 5,2 triệu Teus và khu vực Hải Phòng đạt 91 triệu tấn, hàng container đạt 5,8 triệu Teus. Nhiều khu vực cảng biển có khối lượng hàng container tuy tăng về sản lượng nhưng vẫn ở mức thấp như: khu vực Thừa Thiên Huế đạt 4.2 triệu tấn, khu vực Quảng Nam đạt 2,5 triệu tấn, hàng container đạt 159 nghìn Teus ... [10].

Năm 2022: Số lượng hàng hóa thông qua cảng biển của Việt Nam đạt 733 triệu tấn, tăng 3% so với năm 2021. Trong đó, khối lượng hàng hóa container thông qua cảng biển trong năm 2022 khoảng 25 triệu Teus, tăng 3% so với cùng kỳ của năm 2021. Thành phố Hồ Chí Minh vẫn thuộc nhóm dẫn đầu với gần 163 triệu tấn, hàng container đạt trên 8 triệu Teus; khu vực cảng biển Vũng Tàu đạt gần 109 triệu tấn, hàng container đạt trên 8,5 triệu Teus, tiếp đó là khu vực Quảng Ninh với trên 133 triệu tấn, hàng container đạt 18,5 nghìn Teus; Khu vực cảng biển Hải Phòng vẫn duy trì lưu lượng hàng hóa cao với gần 96 triệu tấn, hàng container đạt gần 6,4 triệu Teus. Một số cảng biển ở khu vực miền Trung số lượng hàng hóa ra vào vẫn ở mức thấp như Quảng Bình (khoảng 2,8 triệu tấn), Quảng Trị (gần 1,9 triệu tấn) [12].

Trong bảng xếp hạng 100 cảng container có lưu lượng hàng hóa qua cảng lớn nhất thế giới năm 2022 theo công bố của Tạp chí Lloyd's List (Anh), Việt Nam có 3 cảng lọt trong top này gồm: Lạch Huyện (Hải Phòng) giữ vị trí thứ 38, Cát Lái (Thành phố Hồ Chí Minh) xếp thứ 22 và Cái Mép (Bà Rịa - Vũng Tàu) ở vị trí thứ 32 [130]. Cái Mép (Bà Rịa - Vũng Tàu) là cảng biển có độ nhảy thứ hạng lớn nhất trong top 50 cảng lưu thông hàng hóa lớn nhất thế giới năm 2022.

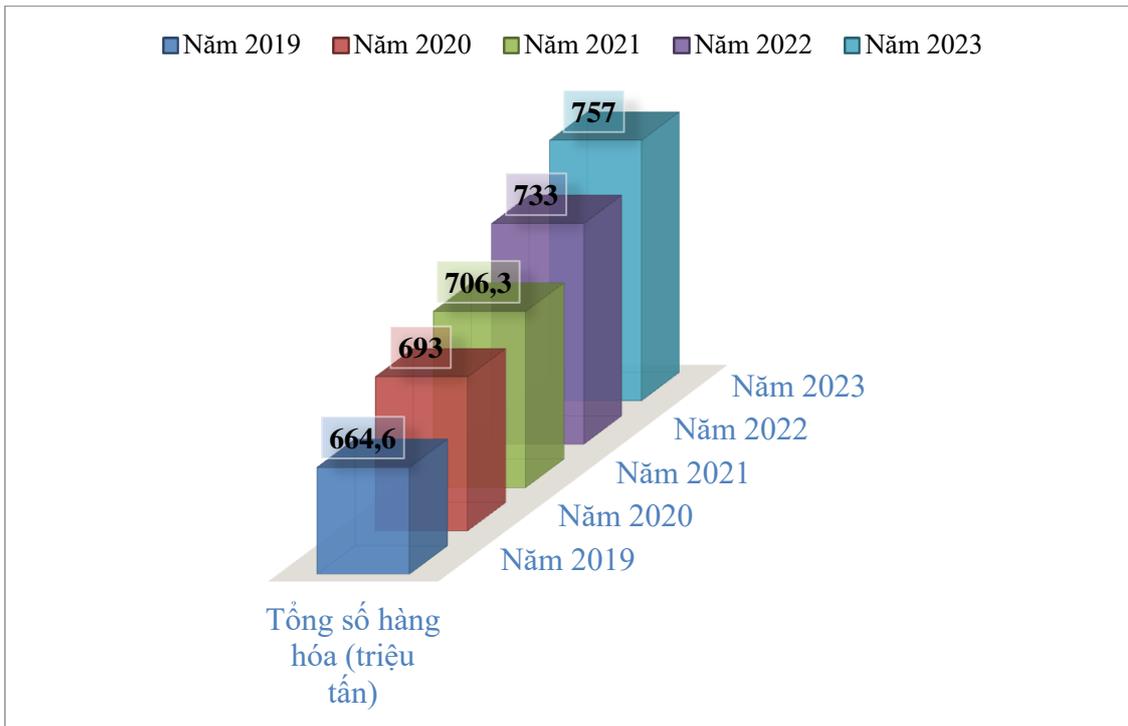
Cùng với đó, nhiều tuyến tàu container kết nối trực tiếp từ Hải Phòng đi các nước Châu Á và Mỹ đã được hình thành.

Năm 2023: Số lượng hàng hóa thông qua cảng biển của Việt Nam đạt 762 triệu tấn, tăng 5% so với năm 2022. Trong đó, khối lượng hàng hóa container thông qua cảng biển trong năm 2023 khoảng gần 25 triệu Teus, bằng so với năm 2022. Thành phố Hồ Chí Minh dẫn đầu với gần 163 triệu tấn, hàng container đạt 7,648 triệu Teus, sau đó là Cảng biển Vũng Tàu với gần 113 triệu tấn, hàng container đạt 7,468 triệu Teus, tiếp đó là Quảng Ninh với gần 110 triệu tấn, hàng container đạt 46 nghìn Teus, Cảng Hải Phòng với gần 84 triệu tấn, hàng container đạt 5,161 triệu Teus. Một số cảng biển ở khu vực miền Trung số lượng hàng hóa ra vào vẫn ở mức thấp như Quảng Bình (gần 4 triệu tấn), Quảng Trị (gần 1,3 triệu tấn) [13].

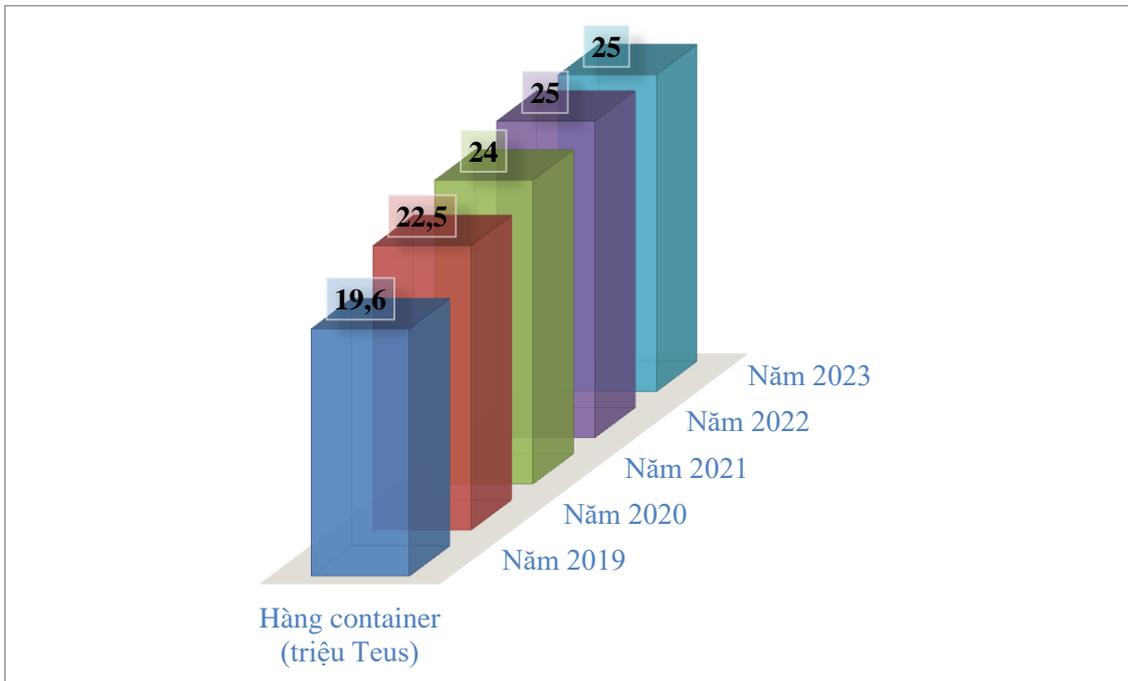
Bảng 1.1. Số lượng hàng hóa thông qua các cảng biển của Việt Nam

	Năm 2019	Năm 2020	Năm 2021	Năm 2022	Năm 2023
Tổng số hàng hóa (triệu tấn)	664,6	693	706,3	733	757
Hàng container (triệu Teus)	19,6	22,5	24	25	25

Thống kê tại Bảng 1.1 cho thấy, trong 05 năm từ năm 2019 đến năm 2023, số lượng hàng hóa lưu thông qua các cảng biển của Việt Nam không ngừng tăng lên theo từng năm từ 664,6 triệu tấn vào năm 2019 lên đến 757 triệu tấn vào năm 2023 (Hình 1.2), trong đó hàng container tăng từ 19,6 triệu Teus lên đến 25 triệu Teus (Hình 1.3). Với vị trí địa lý thuận lợi, cùng với sự phát triển của kinh tế thế giới, lưu lượng hàng lưu thông qua các cảng biển của Việt Nam sẽ còn tăng lên trong những năm tới. Nhu cầu về vận chuyển hàng hóa bằng đường biển cũng là rất lớn cùng với đó mật độ tàu thuyền ra vào các cảng biển cũng sẽ tăng lên. Điều này tạo ra áp lực không nhỏ cho các cảng biển, hệ thống luồng hàng hải, tạo ra nhiều điểm nóng giao thông hàng hải, nhiều khu vực tiềm ẩn nguy cơ va chạm giữa các tàu thuyền khi hành trên vùng biển Việt Nam.



Hình 1.2. Tổng lượng hàng hóa thông qua cảng biển của Việt Nam



Hình 1.3. Lượng hàng container thông qua cảng biển của Việt Nam

Về số lượt tàu thuyền thông qua các cảng biển của Việt Nam

Năm 2019: Lượt tàu ra vào các cảng biển của Việt Nam khoảng 121.980 lượt, trong đó: Lượt tàu mang cờ quốc tịch nước ngoài thông qua đạt 57.756 lượt;

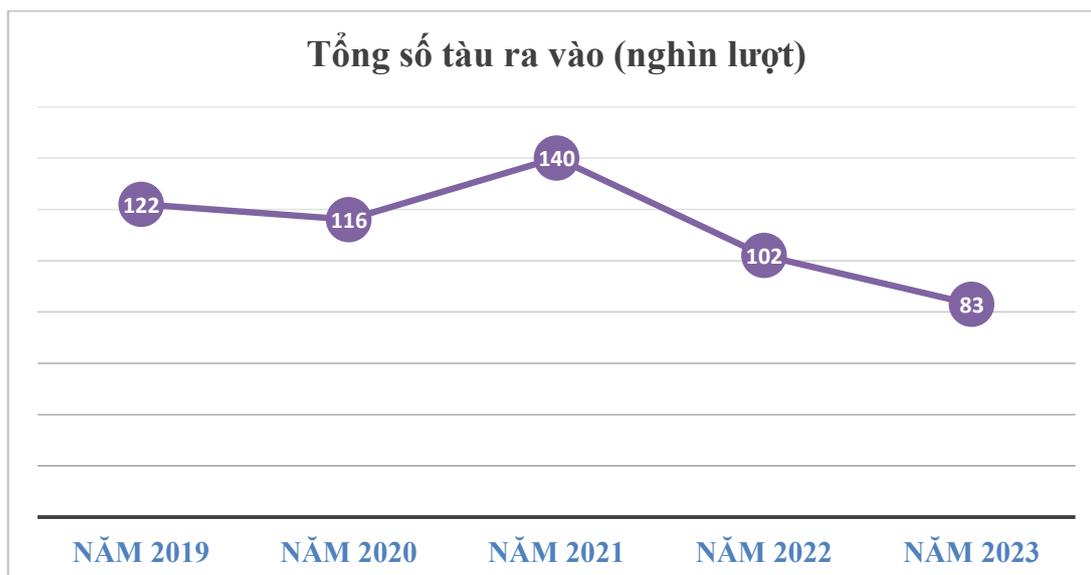
Lượt tàu mang cờ quốc tịch Việt Nam thông qua đạt 64.224 lượt; Lượt thông qua bằng phương tiện thủy nội địa đạt 325.000 lượt [5].

Năm 2020: Lượt tàu ra vào các cảng biển của Việt Nam khoảng 115.528 lượt, trong đó: Lượt tàu mang cờ quốc tịch nước ngoài thông qua đạt 53.131 lượt ; Lượt tàu mang cờ quốc tịch Việt Nam thông qua đạt 62.397 lượt ; Lượt thông qua bằng phương tiện thủy nội địa đạt 372.715 lượt [8].

Năm 2021: Lượt tàu ra vào các cảng biển của Việt Nam khoảng 139.704 lượt (tăng 21% so với năm 2020), trong đó: Lượt tàu mang cờ quốc tịch nước ngoài thông qua đạt 78.475 lượt; Lượt tàu mang cờ quốc tịch Việt Nam thông qua đạt 61.229 lượt; Lượt thông qua bằng phương tiện thủy nội địa đạt 338.000 lượt [10].

Năm 2022: Lượt tàu ra vào các cảng biển của Việt Nam khoảng 101,620 lượt (giảm so với năm 2021), trong đó: Lượt tàu mang cờ quốc tịch nước ngoài thông qua đạt 43.791 lượt; Lượt tàu mang cờ quốc tịch Việt Nam thông qua đạt 57.828 lượt; Lượt thông qua bằng phương tiện thủy nội địa đạt 345.620 lượt [12].

Năm 2023: Lượt tàu ra vào các cảng biển của Việt Nam khoảng 98,6 lượt (giảm so với năm 2022), trong đó: Lượt tàu mang cờ quốc tịch nước ngoài thông qua đạt 45.292 lượt; Lượt tàu mang cờ quốc tịch Việt Nam thông qua đạt 53.364 lượt; Lượt thông qua bằng phương tiện thủy nội địa đạt 353,18 nghìn lượt [13].



Hình 1.4. Số lượt tàu ra vào các cảng biển của Việt Nam

Trong khi số lượng hàng hóa trong 05 năm gần đây không ngừng tăng lên theo từng năm thì số lượt tàu thuyền ra vào các cảng biển của Việt Nam có sự thay đổi (Hình 1.4), giảm từ 122 lượt xuống 116 nghìn lượt vào năm 2020 sau đó tăng mạnh lên đến 140 nghìn lượt vào năm 2021 và giảm dần đến 83 nghìn lượt vào năm 2023. Số lượng tàu thuyền ra vào có sự biến động tăng giảm theo từng năm, tuy nhiên, có thể thấy số lượng hàng hóa tăng lên trong khi đó số lượng tàu thuyền ra vào giảm đi cho thấy kích cỡ và trọng tải các tàu ngày càng tăng lên. Điều này cũng gây ảnh hưởng rất lớn đến không gian hoạt động của tàu khi hành trình, mật độ tàu thuyền và kích cỡ tăng lên, trong khi kích cỡ luồng chưa kịp thời đáp ứng sẽ gây nguy cơ va chạm giữa các tàu.

Qua phân tích, lưu lượng hàng hóa tại khu vực cảng biển của miền Trung thường không nhiều, số cảng khai thác vận tải hàng container còn khá ít. Các cảng biển này thường hoạt động nhỏ lẻ, mang tính chất trung chuyển, tập trung hàng hóa để đưa đến cảng Hải Phòng hoặc Thành phố Hồ Chí Minh, Vũng Tàu. Vì vậy, lưu lượng hàng hóa cũng như mật độ tàu thuyền ở khu vực miền Trung chưa nhiều. Ngược lại, lưu lượng hàng hóa ra vào các cảng ở khu vực phía Bắc, đặc biệt là khu vực cảng Hải Phòng và ở khu vực phía Nam, nổi lên là khu vực cảng Thành phố Hồ Chí Minh và cảng biển Vũng Tàu luôn ở mức cao, năm sau tăng hơn năm trước. Cùng với đó, mật độ tàu thuyền, kích cỡ, tải trọng cũng không ngừng tăng lên theo từng năm và cũng tập trung rất lớn tại khu vực luồng Hải Phòng và luồng Sài Gòn - Vũng Tàu. Trong khi việc đầu tư xây dựng, mở rộng, nâng cấp các tuyến luồng chưa thể đáp ứng ngay với mật độ lưu thông như vậy, bên cạnh đó, địa hình tại các tuyến luồng rất phức tạp, chính vì vậy, tại các khu vực luồng Hải Phòng và Sài Gòn - Vũng Tàu luôn tồn tại các khu vực đông đúc tàu thuyền, tiềm ẩn nhiều nguy cơ đâm va. Đây là 2 hệ thống luồng giúp luân chuyển hàng hóa ra vào tại các cảng biển khu vực Hải Phòng (luồng Hải Phòng) và khu vực cảng biển Thành phố Hồ Chí Minh, cảng biển Vũng Tàu (luồng Sài Gòn - Vũng Tàu).

1.1.5. Các vụ tai nạn hàng hải xảy ra trên các vùng biển của Việt Nam

Theo quy định của Công ước Solas 74 (Chương V) thì mỗi quốc gia là thành viên của Công ước phải thực hiện cung cấp các biện pháp hỗ trợ hàng hải nếu việc

kiểm soát lưu lượng giao thông và mức độ rủi ro của khu vực hàng hải yêu cầu là cần thiết và có thể thực hiện được một cách độc lập hoặc phối hợp giữa các nước thành viên khác [60]. Hiện nay, trên các tuyến luồng hàng hải của Việt Nam hầu hết đã có nhiều thiết bị cảnh báo an toàn hàng hải như radar, AIS, VTS, hệ thống phao tiêu ... nhằm hỗ trợ giảm thiểu nguy cơ va chạm cho tàu thuyền khi ra vào cảng đã phần nào đáp ứng quy định của Công ước Solas 1974. Tuy nhiên, các yếu tố về ngoại cảnh, đặc điểm khí tượng, dòng chảy, thủy triều ... chưa được đánh giá đầy đủ bằng các trang thiết bị máy móc mà chủ yếu dựa vào đánh giá, kinh nghiệm của những nhà hàng hải, thuyền viên thường xuyên ra vào luồng. Việc đánh giá các khu vực tiềm ẩn nhiều nguy cơ đâm va và xác định khu vực nguy hiểm xung quanh tàu để cảnh báo sự nguy hiểm cho tàu thuyền còn hạn chế, việc đề xuất cải tạo hệ thống luồng nhằm tạo điều kiện thuận lợi cho tàu thuyền đi qua còn chưa có cơ sở phân tích, đánh giá và minh chứng đầy đủ.

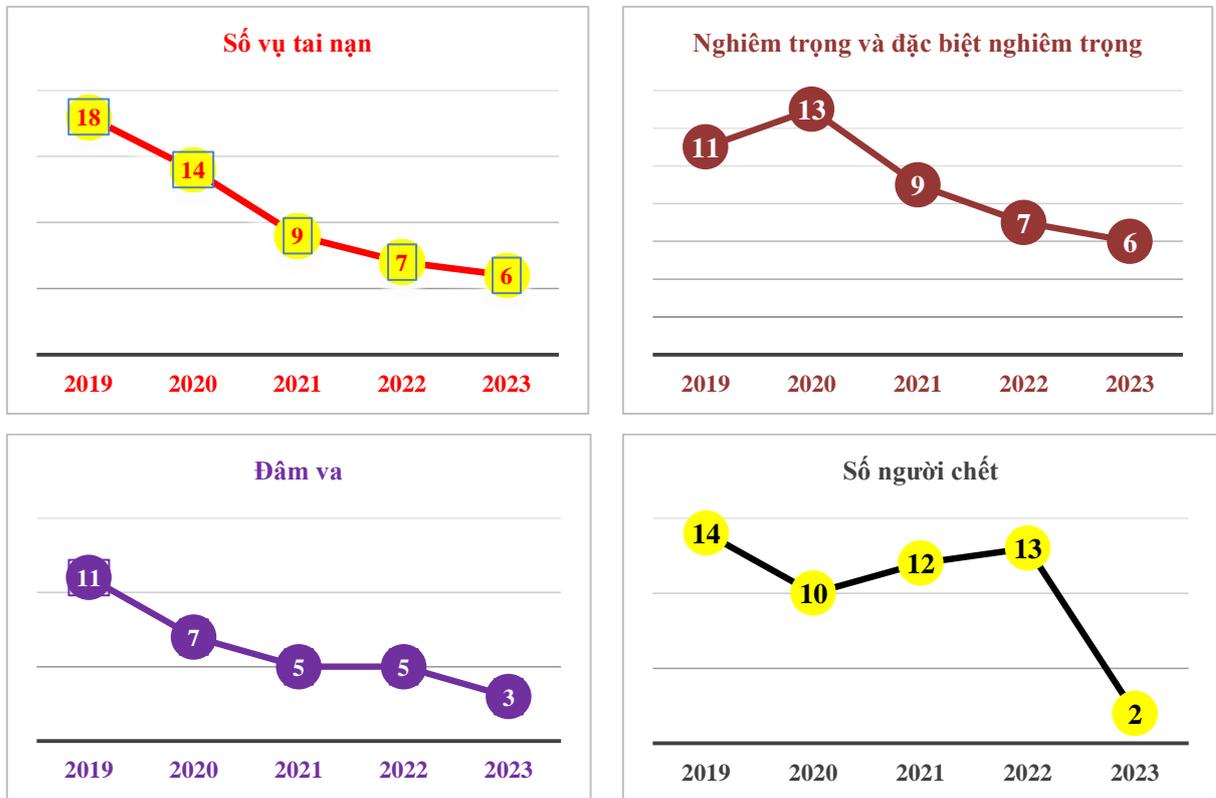
Vì vậy, mặc dù đã có nhiều biện pháp hỗ trợ, cảnh báo, nhiều giải pháp được đưa ra nhưng hằng năm các vụ tai nạn hàng hải vẫn xảy ra, các vụ tai nạn do đâm va [4, 7, 9, 11, 14].

Bảng 1.2. Các vụ tai nạn hàng hải xảy ra trên vùng biển của Việt Nam

Năm	Số vụ	Mức độ		Loại tai nạn		Thiệt hại		Ghi chú
		Đặc biệt nghiêm trọng	Nghiêm trọng	Đâm va	Mắc cạn, chìm, cháy nổ ...	Người chết, mất tích	Tài sản	
2019	18	8	3	11	7	14	Có	
2020	14	9	4	7	7	10	Có	
2021	9	8	1	5	2	12	Có	
2022	7	7	0	5	2	13	Có	
2023	6	2	4	3	3	2	Có	

Từ kết quả tổng hợp cho thấy, số vụ tai nạn hàng hải, mức độ nghiêm trọng và đặc biệt nghiêm trọng, số người chết có xu hướng giảm (Hình 1.5). Tuy nhiên, số vụ tai nạn nghiêm trọng và đặc biệt nghiêm trọng vẫn ở mức cao, chiếm 93% trong tổng số vụ tai nạn vào năm 2020, 100% trong tổng số các vụ tai nạn trong các năm từ 2021 đến 2023. Đặc biệt, năm 2022 có 7 vụ tai nạn, trong đó cả 7 vụ tai nạn

này đều ở mức đặc biệt nghiêm trọng (Bảng 1.2). Số người chết trong các vụ tai nạn hàng hải có sự biến động tăng, giảm theo từng năm nhưng vẫn ở mức cao (từ 10 đến 14 người chết mỗi năm) và giảm mạnh vào năm 2023. Các vụ tai nạn xảy ra dưới nhiều hình thức khác nhau như đâm va, mắc cạn, cháy nổ, ... nhưng chủ yếu tai nạn xảy ra là do đâm va, chiếm trên 50% tổng số vụ.



Hình 1.5. Số vụ tai nạn, mức độ và số người chết trong các vụ tai nạn hàng hải xảy ra trên vùng biển Việt Nam trong 05 năm gần đây

Theo nhận định, nguyên nhân chủ yếu của các vụ tai nạn hàng hải là do sĩ quan, thuyền viên đã không thực hiện hoặc thực hiện không đầy đủ các quy định pháp luật về an toàn hàng hải, quy trình trực canh buồng lái.

Việc chủ quan, thiếu mẫn cán, chưa đủ kinh nghiệm, thâm niên đi biển cần thiết nên nhiều sĩ quan, thuyền viên rất lúng túng khi gặp tình huống khó khăn, phức tạp và đã không có những biện pháp xử lý thích đáng.

Ngoài ra, một số tàu thuộc các công ty vận tải biển không được đầu tư thích hợp cho công tác duy tu bảo dưỡng theo quy định nên thường xảy ra các sự cố kỹ thuật. Đây cũng là nguyên nhân trực tiếp dẫn đến các tai nạn, sự cố hàng hải.

Bên cạnh đó là mật độ tàu thuyền ra vào các cảng biển Việt Nam ngày một gia tăng, một số cảng đã đón nhiều tàu tải trọng lớn. Cùng đó, ý thức chấp hành pháp luật về giao thông hàng hải còn yếu. Một số tàu còn thiếu các trang thiết bị thông tin liên lạc, hoạt động đan xen của phương tiện thủy nội địa, tàu cá trong khu vực ven biển gia tăng cũng là những nguy cơ tiềm ẩn gây ra tai nạn hàng hải.

Mặt khác, trên tàu hiện nay chưa trang bị thiết bị có thể đưa ra cảnh báo nguy cơ đâm va trực quan, nhanh chóng và chính xác theo dạng định lượng, theo thời gian thực. Vì vậy, thuyền viên lúng túng khi có sự xuất hiện của nhiều tàu, đưa ra các biện pháp tránh va không kịp thời dẫn đến không hiệu quả; các nhà quản lý giao thông chưa đưa ra thông báo sớm về khu vực tập trung đông tàu thuyền, tiềm ẩn nguy cơ.

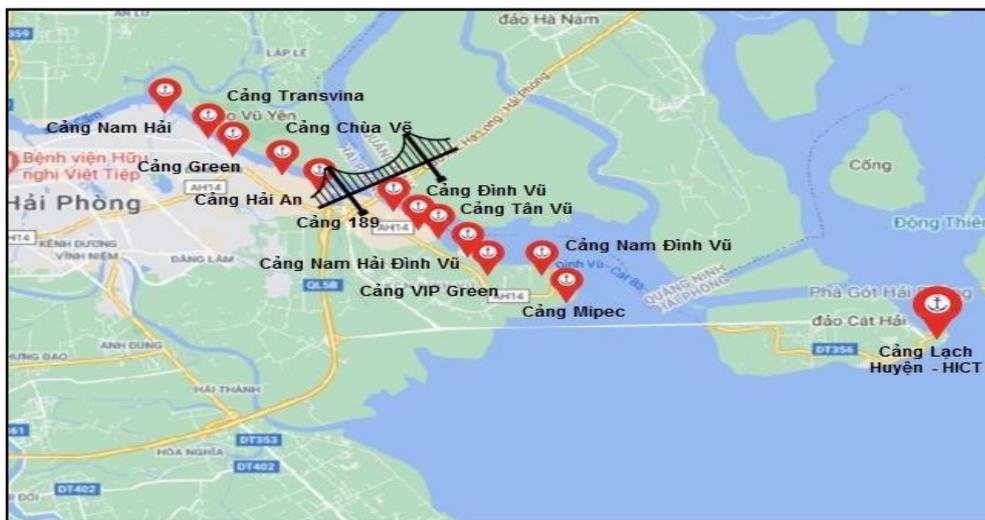
1.2. Khu vực luồng Hải Phòng

1.2.1. Đặc điểm khu vực luồng Hải Phòng

Có diện tích khoảng 4.000 km², vùng biển Hải Phòng hiện nay là một trong những vùng biển quan trọng, điểm sáng trong sự phát triển kinh tế của đất nước. Với số lượng hàng hóa thông qua và số lượt tàu thuyền ra vào thuộc hàng cao nhất tại miền Bắc, trong nhóm đầu của cả nước, càng khẳng định đây là đầu mối giao thông quan trọng của Vùng kinh tế trọng điểm Bắc Bộ, đóng góp vô cùng lớn vào sự luân chuyển hàng hóa từ mọi nơi trên thế giới. Được hình thành từ năm 1874, trải qua nhiều năm xây dựng và trưởng thành, đến nay, cảng Hải Phòng đã có hệ thống thiết bị hiện đại và cơ sở hạ tầng đầy đủ, an toàn, phù hợp với phương thức vận tải, thương mại quốc tế. Hiện nay, cảng biển Hải Phòng được phê duyệt gồm có 50 bến cảng [3].

Phân chia theo vùng lãnh thổ, cảng biển Hải Phòng thuộc “Nhóm cảng biển số 1, gồm 05 cảng biển: Cảng biển Hải Phòng, cảng biển Quảng Ninh, cảng biển Thái bình, cảng Biển Nam Định và cảng biển Ninh Bình” [29].

Phân chia theo chức năng nhiệm vụ, quy mô đối với các loại cảng của Việt Nam thì Hải Phòng được phân loại là “Cảng biển đặc biệt (gồm 02 cảng biển): Cảng biển Hải Phòng và cảng biển Bà Rịa - Vũng Tàu” [29].



Hình 1.6. Một số cảng thuộc hệ thống cảng biển Hải Phòng

1.2.2. Hệ thống luồng hàng hải Hải Phòng

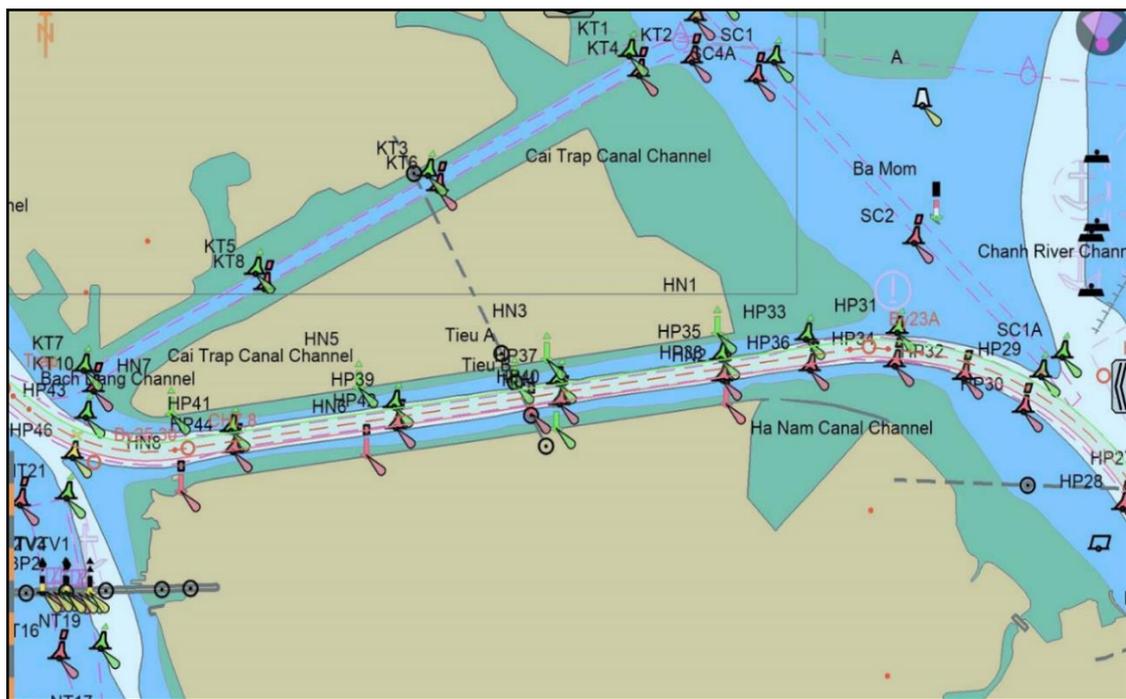
Khu vực luồng hàng hải Hải Phòng gồm 4 đoạn chính, bắt đầu từ đoạn Lạch Huyện (từ phao số 0 đến cặp phao số 29 và 30) đến đoạn kênh Hà Nam (từ cặp phao số 29 và 30 đến cặp phao số 43 và 46) đến đoạn Bạch Đằng (từ cặp phao số 43 và 46 đến cửa kênh Đình Vũ) và đoạn Sông Cấm (từ cửa Kênh Đình Vũ đến Bến phà Bính). Đoạn luồng từ phao số 0 đến vùng quay tàu Cảng Container quốc tế Hải Phòng có độ rộng đáy luồng hàng hải rộng nhất là 160m và đạt độ sâu lớn nhất là 12.5m. Độ rộng đáy luồng trung bình khoảng 80m, độ sâu thấp nhất là 5.5m. Vùng quay tàu trước Cảng container Quốc tế Hải Phòng là nơi có đường kính lớn nhất đạt 660m [33].



Hình 1.7. Hệ thống luồng hàng hải Hải Phòng

1.2.3. Một số khu vực tiềm ẩn nguy cơ đâm va trên khu vực luồng Hải Phòng

Trong những năm gần đây, sự tăng trưởng về lượng hàng hóa và lượng tàu qua cảng, đặc biệt là những tàu có trọng tải lớn đã gây ra áp lực rất lớn cho giao thông trên các tuyến luồng của Hải Phòng. Với vai trò quan trọng trong vận tải hàng hóa, nhưng thực tế hiện nay, cảng Hải Phòng nằm sâu trong thành phố, dọc theo sông Bạch Đằng, sông Cấm, nhiều đoạn quanh co, độ rộng luồng hẹp, độ sâu hạn chế, dòng chảy phức tạp đã tạo ra một số khu vực nguy hiểm. Một số khu vực tàu thuyền chỉ có thể đi một chiều, có nhiều đoạn luồng việc tránh hoặc vượt nhau gặp nhiều khó khăn, trong khi mật độ tàu thuyền qua lại đổ vào cảng ngày càng đông. Nổi bật một số khu vực tiềm ẩn nhiều nguy cơ đâm va như: Khu vực 2 đầu kênh Hà Nam, khu vực đối diện đèn Aryo và khu vực gần thượng lưu cảng Cấm lân cận khu vực ngã ba cửa sông Ruột Lợn ...



Hình 1.8. Hai đầu kênh Hà Nam

Từ khi tuyến luồng Lạch Huyện - kênh Hà Nam được đưa vào sử dụng, khu vực ngã 3 kênh Cái Tráp và khu vực phía W kênh Hà Nam tiềm ẩn nhiều nguy cơ va chạm cho tàu thuyền khi qua lại. Đoạn kênh Hà Nam là luồng 1 chiều, dài khoảng 5,6 hải lý, độ rộng luồng là 80m, độ sâu đạt 7.0m.

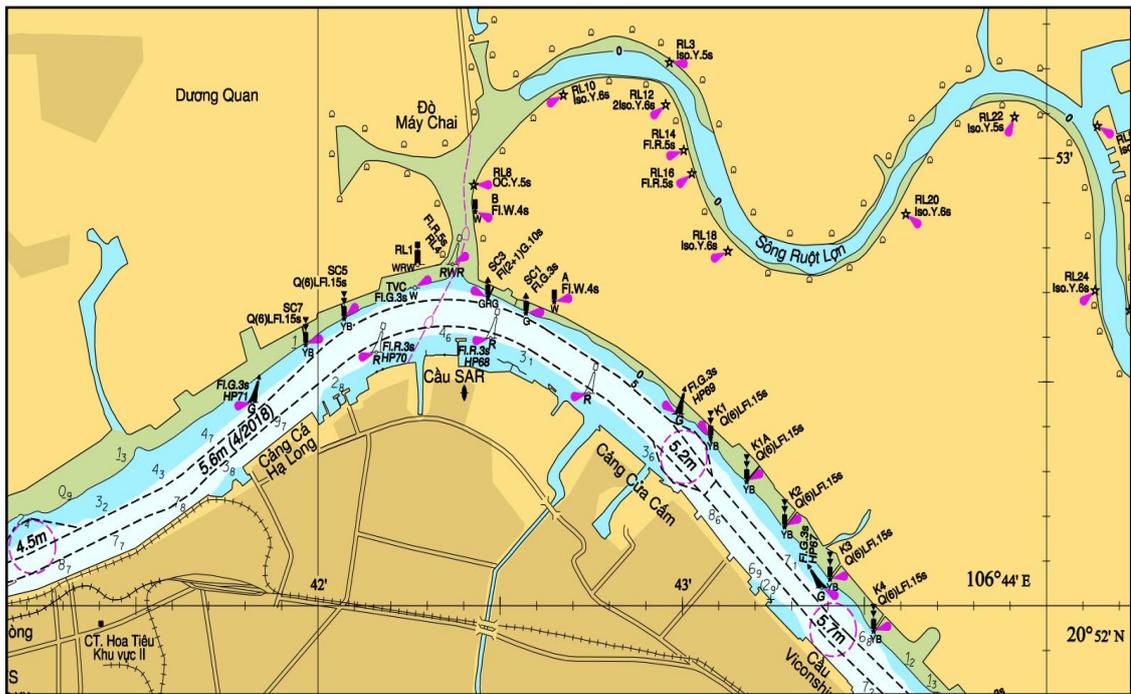


Hình 1.9. Khu vực ngã 3 kênh Cái Tráp và đầu phía Tây (W) kênh Hà Nam

Khu vực ngã 3 kênh Cái Tráp và đầu phía W kênh Hà Nam là khu vực tiềm ẩn nhiều nguy cơ va chạm, đây là nơi giao cắt của nhiều đoạn luồng, các tàu từ phía biển đi vào cảng hoặc ngược lại theo luồng Nam Triệu, cắt qua đầu kênh Hà Nam. Các phương tiện thủy nội địa đi từ phía Quảng Ninh về phía cảng hoặc ngược lại theo kênh Cái Tráp cắt ngang qua luồng tàu biển và các tàu ra vào cảng qua kênh Hà Nam.



Hình 1.10. Khu vực phía Đông (E) kênh Hà Nam



Hình 1.11. Khu vực ngã 3 cửa sông Ruột Lợn

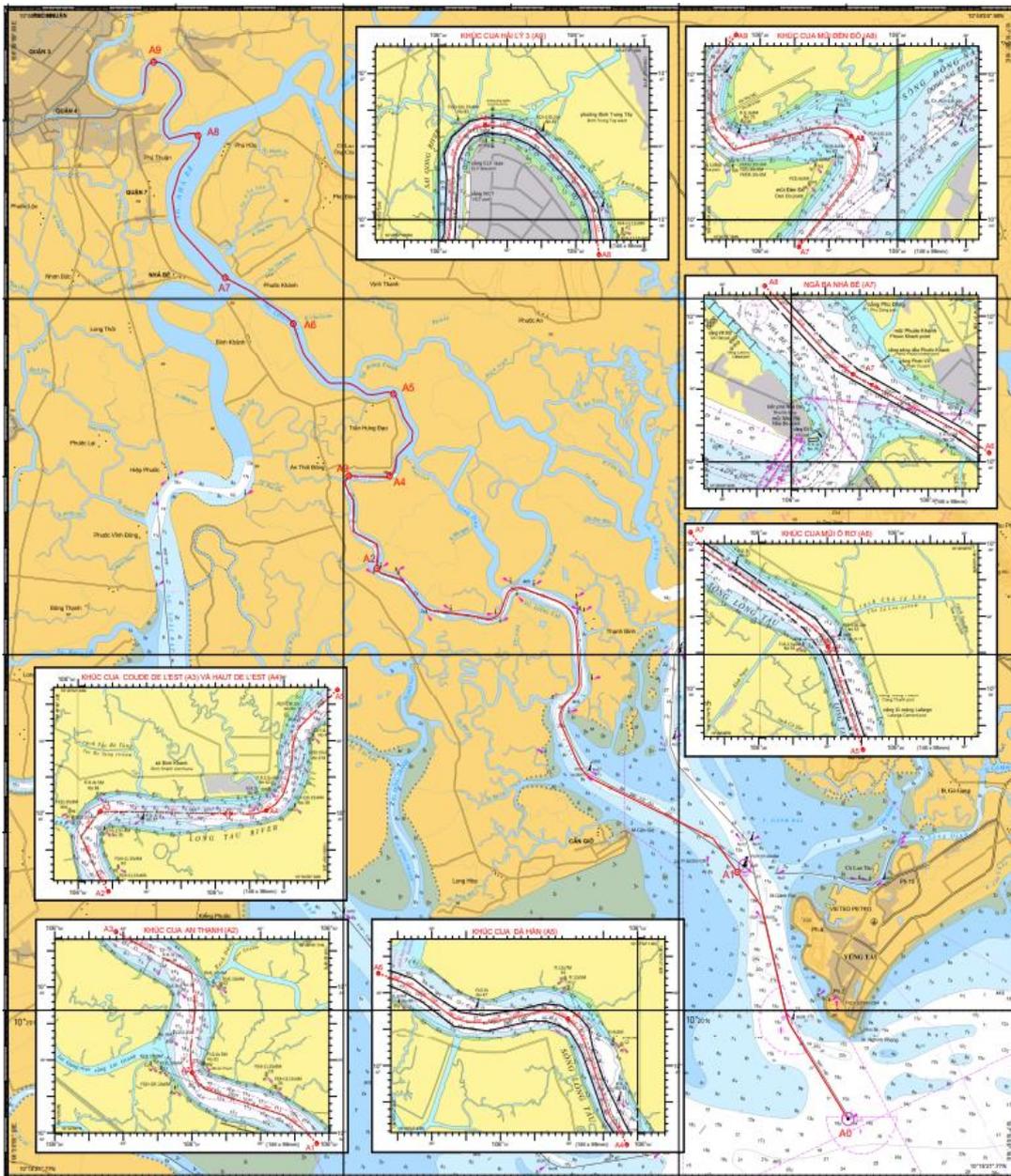
1.3. Khu vực luồng Sài Gòn - Vũng Tàu

1.3.1. Đặc điểm khu vực luồng Sài Gòn - Vũng Tàu

Với vị trí địa lý đặc biệt, cảng biển Thành phố Hồ Chí Minh và cảng biển Vũng Tàu có vị trí quan trọng trong khai thác vận tải thủy và cảng biển. Luồng Sài Gòn - Vũng Tàu là tuyến luồng huyết mạch để trong việc phát triển kinh tế khu vực phía Nam của Việt Nam với cửa biển Vũng Tàu là cửa ngõ. Là nơi neo đậu của phần lớn tàu thuyền ra vào khu vực phía Nam. Các cảng biển trên tuyến luồng được xây dựng ngay gần các khu công nghiệp, kho bãi, nên khả năng kết nối mạng đường bộ, đường thủy cả nước rất thuận tiện. Hiện nay, cảng biển Thành phố Hồ Chí Minh được phê duyệt gồm có 40 bến cảng và cảng biển Bà Rịa - Vũng Tàu được phê duyệt gồm có 48 bến cảng [3].

Phân chia theo vùng lãnh thổ, cảng biển Thành phố Hồ Chí Minh và Bà Rịa - Vũng Tàu thuộc “Nhóm cảng biển số 4, gồm 05 cảng biển: Cảng biển Thành phố Hồ Chí Minh, cảng biển Đồng Nai, cảng biển Bà Rịa - Vũng Tàu, cảng biển Bình Dương và cảng biển Long An” [29].

Phân chia theo chức năng nhiệm vụ, quy mô đối với các loại cảng của Việt Nam thì Bà Rịa - Vũng Tàu được phân loại là “Cảng biển đặc biệt (gồm 02 cảng biển): Cảng biển Hải Phòng và cảng biển Bà Rịa - Vũng Tàu” [29].



Hình 1.12. Khu vực luồng Sài Gòn - Vũng Tàu

1.3.2. Hệ thống luồng Sài Gòn - Vũng Tàu

Luồng Sài Gòn - Vũng tàu có chiều dài khoảng 83 km từ cảng Sài Gòn đến Bãi Trước Vũng Tàu, đi qua 3 dòng sông chính: sông Sài Gòn, sông Đồng Nai, sông Lòng Tàu và Vịnh Gành Rái hay cửa Cần Giờ.

Luồng Sài Gòn - Vũng Tàu gồm 6 đoạn chính và 2 vũng quay tàu, bắt đầu từ đoạn Vịnh Gành Rái: (1) Đoạn từ phao số 8, 9 của luồng hàng hải Vũng Tàu - Thị Vải đến cặp phao số 1, 4 với chiều dài 4,6 km; (2) Đoạn từ cặp phao số 1, 4 đến phao số 22 với chiều dài 24,5 km; (3) Đoạn từ phao số 22 đến đăng tiêu số 35 với chiều dài khoảng 11,5 km; (4) Đoạn từ đăng tiêu số 35 đến phao số 40 với chiều dài 2,3 km; (5) Đoạn từ phao số 40 đến phao số 73 với chiều dài khoảng 26,4 km; (6) Đoạn từ phao số 73 đến ngã ba Rạch Bến Nghé với chiều dài khoảng 13,4 km. Hai Vũng quay tàu: Vũng quay tàu VQ1: trong phạm vi thiết kế vũng quay tàu VQ1 (khu nước trước Bến cảng Sài Gòn tại khu vực hạ lưu rạch Bến Nghé) 1/2 đường tròn có đường kính 340 m, tồn tại dải điểm độ sâu phía bờ bên phải, kéo dài hết phạm vi vũng quay tàu, lấn vào trong vũng quay tàu xa nhất khoảng 48m, độ sâu đạt 2,7 m; Vũng quay tàu VQ2: trong phạm vi thiết kế vũng quay tàu VQ2 (khu nước đối diện Kênh Tẻ) 1/2 đường tròn có đường kính 480 m, tồn tại dải điểm độ sâu phía bên bờ phải, kéo dài hết phạm vi vũng quay tàu, lấn vào trong vũng quay tàu xa nhất khoảng 60 m, độ sâu đạt 5,7 m [34].

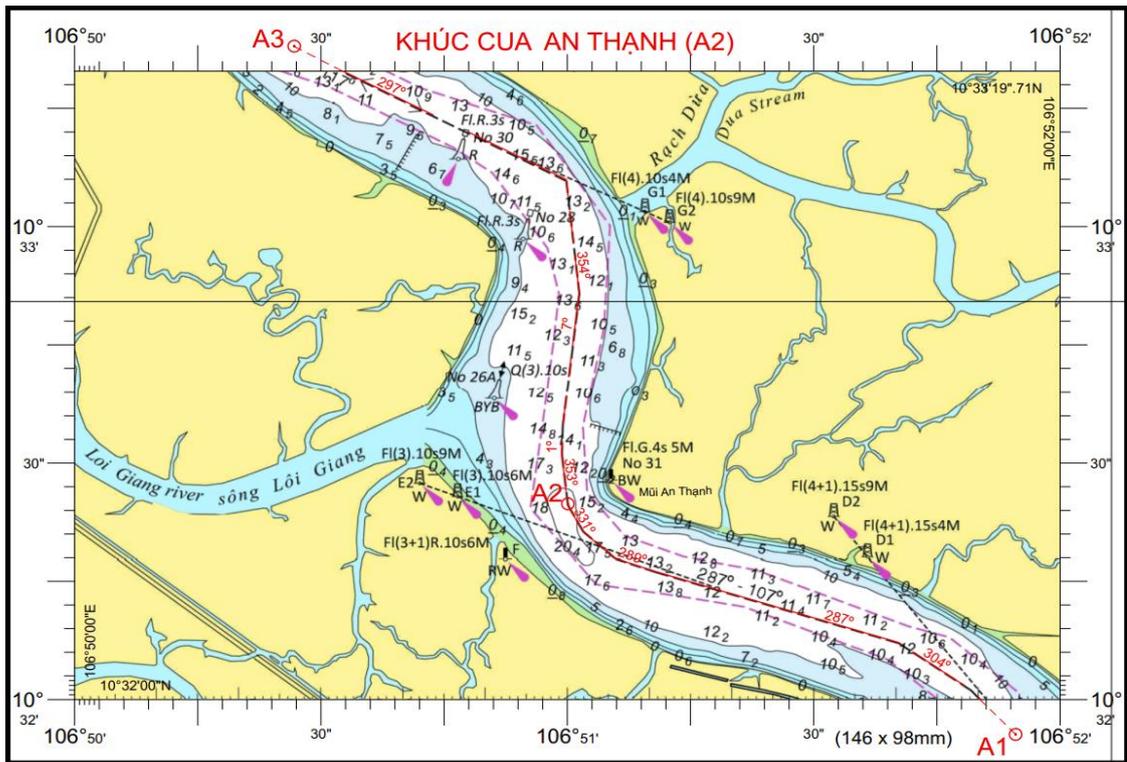
1.3.3. Một số khu vực tiềm ẩn nguy cơ đâm va trên khu vực luồng Sài Gòn - Vũng Tàu

Toàn tuyến luồng Sài Gòn - Vũng Tàu bắt đầu từ phao số 0 đến Cảng Bến Nghé (phía trước Trạm Kiểm soát Biên phòng Khánh Hội, có chiều dài trên 80 km, với địa hình quanh co, tạo ra nhiều khu vực, điểm có mật độ phương tiện giao thông hàng hải đông đúc, giao giữa luồng hàng hải và luồng đường thủy nội địa tạo ra nguy cơ mất an toàn giao thông hàng hải.

Khu vực phao số 0 (Vịnh Gành Rái) xuất hiện nhiều nguy cơ va chạm do các tàu đang đi trong luồng và các tàu ra vào các khu vực neo tại đây (khu neo B, G, F).

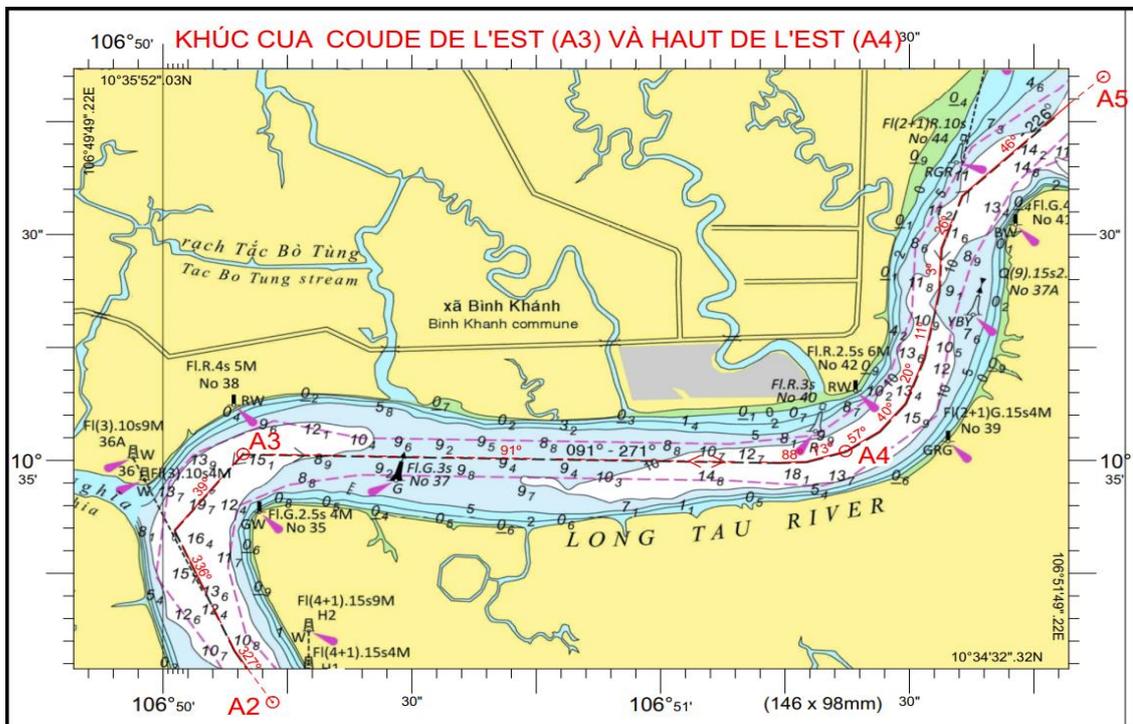
Khu vực gần phao GR, khu vực này là giao lộ của 3 tuyến luồng, mật độ tàu thuyền ra vào tại khu vực này rất đông.

Khu vực khúc cua An Thạnh (Tiêu 31)



Hình 1.13. Khúc cua An Thạnh (Tiêu 31)

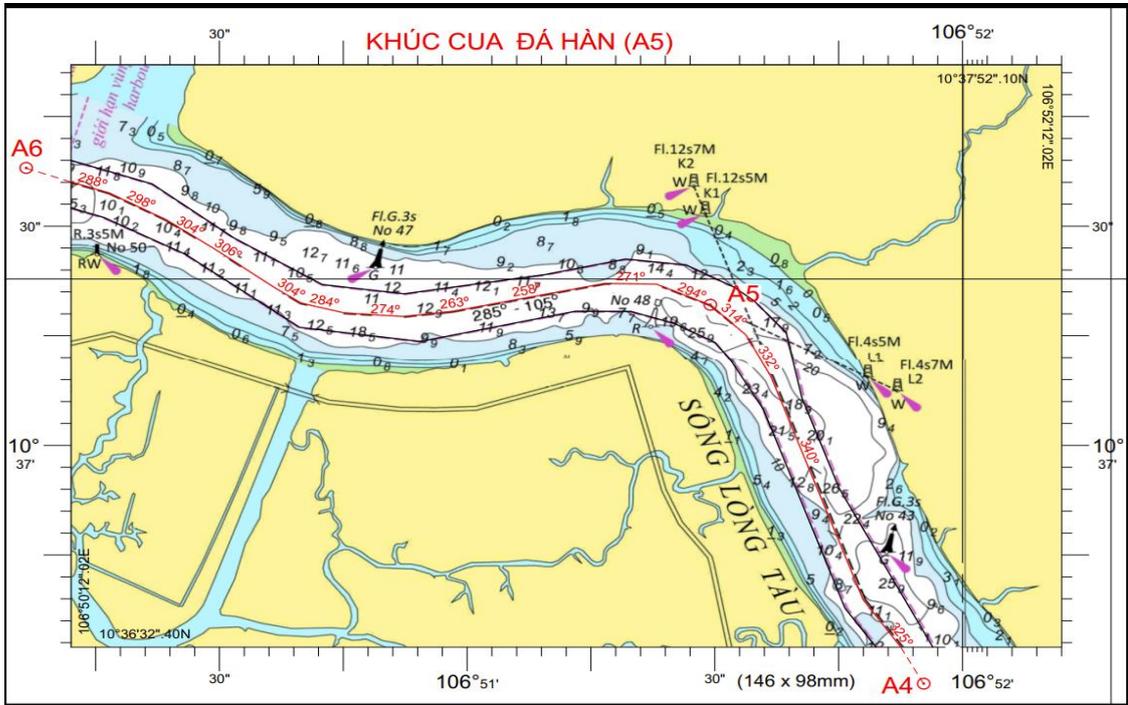
Khu vực khúc cua Coude Lest (Tiêu 38), tại đây có một số điểm có độ sâu nhỏ hơn độ sâu toàn tuyến, góc cua hẹp, tàu có chiều dài toàn tàu trên 200m qua đây sẽ rất nguy hiểm nếu có phương tiện thủy đi ngược chiều.



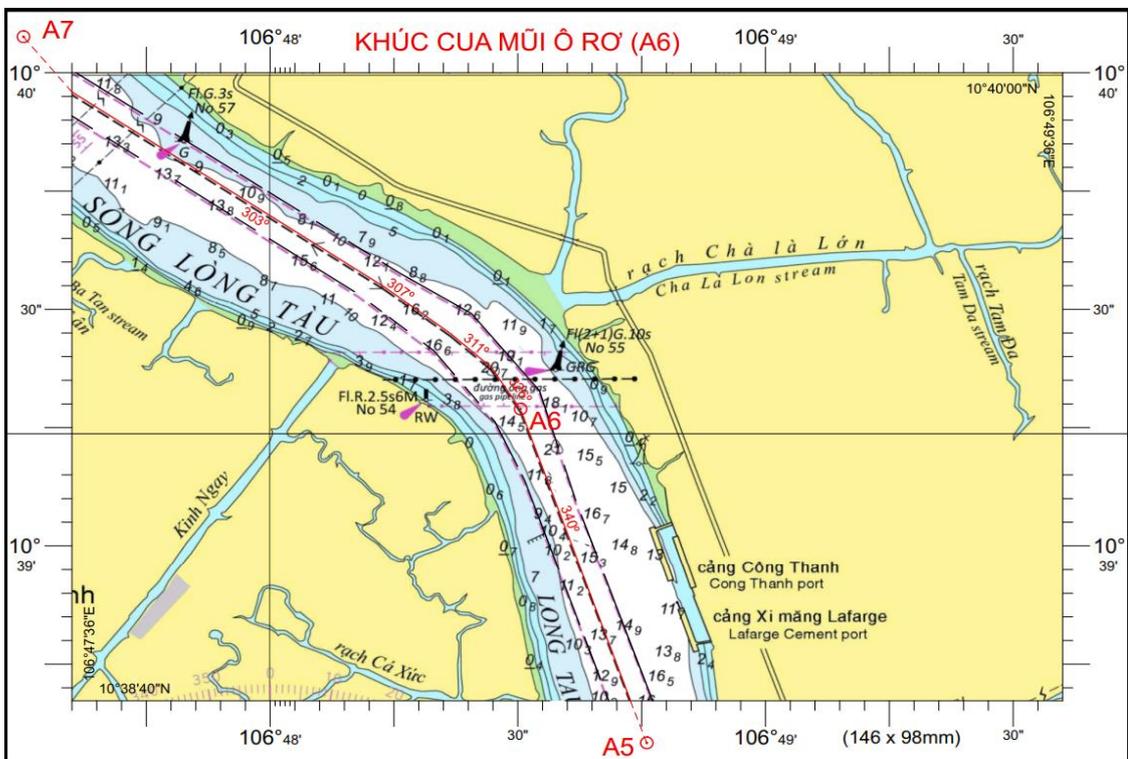
Hình 1.14. Khúc cua Coude Lest và Houlede Lest

Khu vực khúc của Houlede Lest (phao 40), tại đây có một số điểm có độ sâu nhỏ hơn độ sâu toàn tuyến, góc của hẹp.

Khu vực khúc của Đá Hàn (phao 48) và Khu vực Mũi Ô Rơ (phao 55)

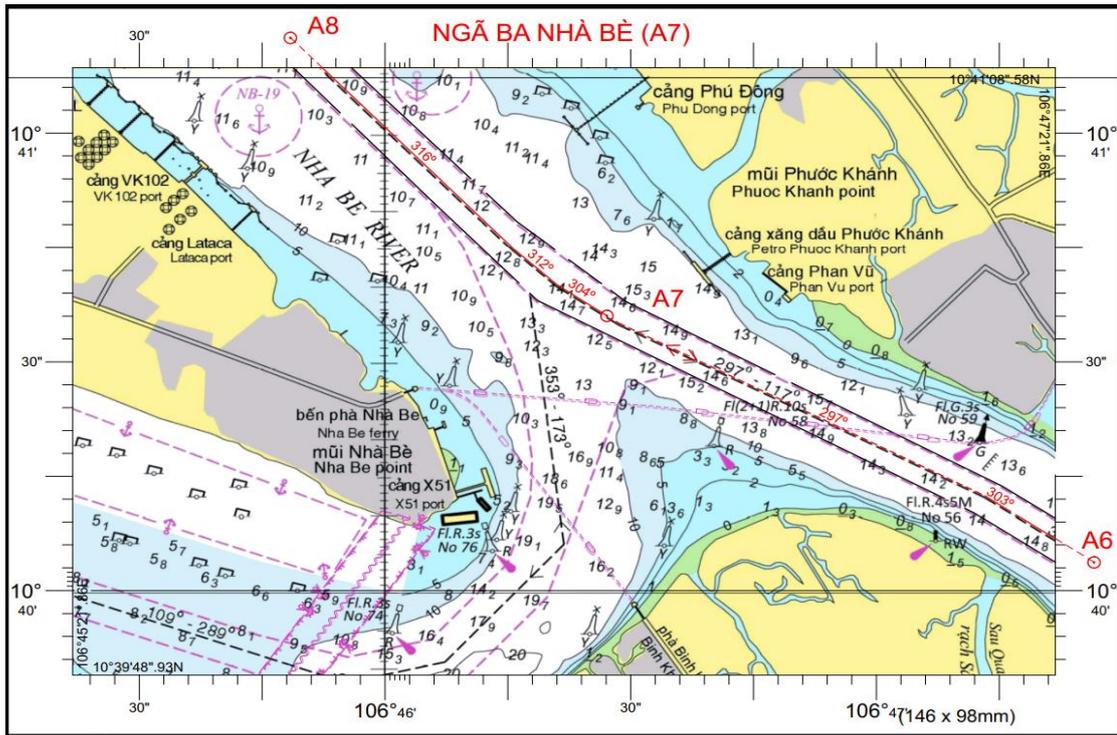


Hình 1.15. Khúc của Đá Hàn



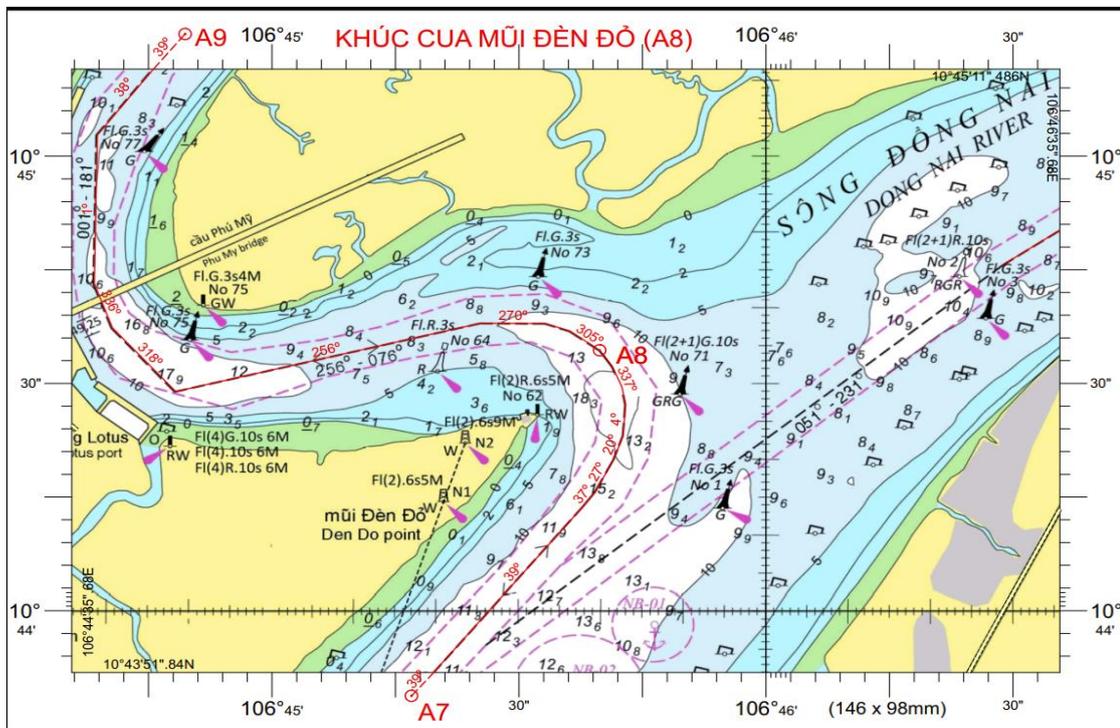
Hình 1.16. Khúc của Mũi Ô Rơ

Khu vực Ngã ba Nhà Bè (phao 58), khu vực này có mật độ giao thông tương đối cao, phương tiện hành trình tương đối phức tạp, luôn tiềm ẩn nguy cơ đâm va.

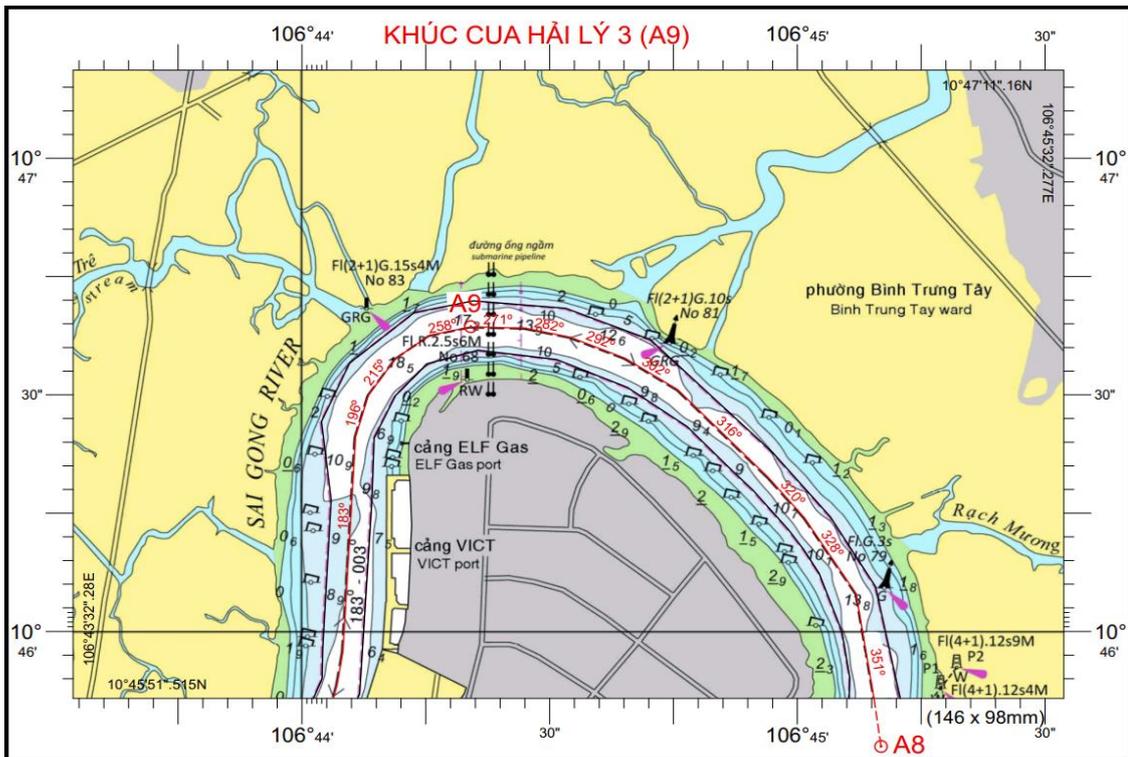


Hình 1.17. Ngã ba Nhà Bè

Khu vực khúc của Mũi Đèn Đỏ và Khu vực khúc của Hải lý 3.



Hình 1.18. Khúc của Mũi Đèn Đỏ



Hình 1.19. Khúc của Hải Lý 3

1.4. Tình hình nghiên cứu trong và ngoài nước liên quan tới luận án

1.4.1. Tình hình nghiên cứu trên thế giới

Trong những nghiên cứu về đảm bảo an toàn hàng hải, việc xác định sớm sự tồn tại nguy cơ đâm va để có hành động tránh va hợp lý là một vấn đề quan trọng cần giải quyết. Tại khoản a Điều 7 Công ước quốc tế về phòng ngừa đâm va và tàu thuyền trên biển (COLREGs) quy định rằng: “a. Mọi tàu thuyền phải sử dụng tất cả các thiết bị sẵn có thích hợp với hoàn cảnh và điều kiện hiện tại để xác định có nguy cơ va chạm hay không. Nếu chưa khẳng định được điều đó thì phải xem như nguy cơ va chạm sẽ có thể xảy ra.”[59]. Để làm được việc này, các nhà nghiên cứu trước đây đã sớm đề xuất các phương pháp để đánh giá, xác định nguy cơ đâm va đối với tàu thuyền. Hiện nay, các phương pháp đánh giá nguy cơ đâm va được chia làm 3 loại: Đánh giá nguy cơ đâm va ở cấp độ vi mô; Đánh giá nguy cơ đâm va ở cấp độ vĩ mô; Đánh giá nguy cơ đâm va theo vùng.

Các phương pháp đánh giá nguy cơ đâm va ở cấp độ vi mô được tính toán giữa hai tàu, tàu chủ (OS) và tàu mục tiêu (TS) nhằm mục đích tự động tránh đâm va cho tàu phải nhường đường. Hầu hết các nghiên cứu về nguy cơ đâm va đều

được thực hiện từ góc độ vi mô. Đầu tiên, vào năm 1997, Kearon đã sử dụng các trọng số khác nhau được gán cho các chỉ số DCPA và TCPA để xem xét nguy cơ đâm va [64]. Năm 2002, Lisowski đã đưa ra khoảng cách an toàn và thời gian an toàn khi sử dụng DCPA và TCPA [72], đồng thời sử dụng công thức Euler để tính toán nguy cơ đâm va. Nguy cơ đâm va động đã được Mou và cộng sự phát triển bởi các bội số cơ bản của TCPA và DCPA, được tính toán từ dữ liệu AIS năm 2010 [81]. Nhiều nhà nghiên cứu đã bổ sung nhiều thông số đầu vào, xem xét đến góc mạn [84] và tỷ lệ vận tốc (Zhang và cộng sự, 2015; Ozturk và Cicek, 2019) [82, 116]. Lý thuyết mờ cũng được các nhà nghiên cứu sử dụng phổ biến để suy ra nguy cơ đâm va (Ahn và cộng sự, 2012; Bukhari và cộng sự, 2013; Zhang và cộng sự, 2017) [37, 40, 120]. Với sự phát triển của Machine Learning và Deep Learning, Gang cùng các đồng nghiệp, năm 2016 và Zheng năm 2020 đã ứng dụng phương pháp Support Vector Machine để phân loại nguy cơ giữa các tàu [51, 125]. Zhang và cộng sự năm 2020 đã trình bày một cách tiếp cận mới dựa trên mạng Neuron chập (CNN) và nhận dạng hình ảnh để diễn giải và phân loại nguy cơ đâm va tàu - tàu trong các tình huống đâm va [121]. Ở góc độ vi mô, nguy cơ đâm va thường được tính toán giữa OS và TS để OS thực hiện hành động tránh va. Tuy nhiên, vùng biển hạn chế luôn có nhiều tàu và khả năng đâm va giữa nhiều hơn hai tàu sẽ xảy ra thường xuyên nên phương pháp đánh giá nguy cơ đâm va cho OS và TS cần được nghiên cứu tổng thể và toàn diện hơn.

Các phương pháp đánh giá nguy cơ đâm va cấp độ vĩ mô thường được dùng để đánh giá an toàn dựa trên xác suất đối với các vùng nước được xác định từ dữ liệu giao thông và lịch sử tai nạn trên các hệ thống luồng giao thông hàng hải. Năm 1971, Fujii và Shiobara đã lần đầu tiên đề xuất phương pháp đánh giá xác suất đâm va, sử dụng dữ liệu thống kê tai nạn để thu được xác suất [49]. Năm 2008, Yip đã nghiên cứu nguy cơ đâm va tại vùng nước cảng bằng cách điều tra các vụ tai nạn đã xảy ra ở Cảng Hồng Kông từ năm 2001 đến năm 2005 [112]. Kujala cùng các cộng sự đã dùng số liệu thống kê tai nạn chi tiết trong 10 năm tại Vịnh Phần Lan vào năm 2009, từ đó xây dựng mô hình đánh giá nguy cơ đâm va tại hai vị trí trong khu vực này [67]. Mạng Bayes cũng là một mô hình được áp dụng để phân tích nguy cơ

đâm va và các yếu tố tai nạn trong các nghiên cứu của Jiang và cộng sự (2020), Fan và cộng sự (2020) [47, 62]. Vào năm 2021, Zhang đã đưa ra đặc điểm đa dạng khác nhau của tai nạn hàng hải trên phạm vi toàn cầu ở các khu vực khác nhau dựa trên mô hình mô tả không gian [122]. Các phương pháp đánh giá nguy cơ đâm va ở góc độ vĩ mô thường dùng để phân tích các vụ tai nạn trong quá khứ và làm tài liệu tham khảo cho công tác quản lý giao thông hàng hải tại vùng biển nghiên cứu, tuy nhiên khó được áp dụng trong giám sát hàng hải theo thời gian thực.

Trong những năm gần đây, để tăng độ trực quan cũng như khả năng nhận thức nhanh về nguy cơ đâm va giữa nhiều tàu, các nghiên cứu đánh giá nguy cơ đâm va theo vùng, khu vực đang có xu hướng gia tăng. Nguy cơ đâm va theo khu vực được hình thành từ những nguy cơ đâm va giữa các tàu ở cấp độ vi mô tích hợp thêm một số yếu tố cụ thể để chỉ ra nguy cơ đâm va theo thời gian thực đối với các vùng nước xác định. Vào năm 2015, Wen đã thực hiện nghiên cứu và đã giới thiệu mô hình đánh giá hiện trạng tình hình, mức độ đông đúc và độ phức tạp của giao thông hàng hải để hỗ trợ các sỹ quan hàng hải và sỹ quan điều phối giao thông [104]. Năm 2017, phương pháp phân cụm (clustering) DBSCAN và các yếu tố của DCPA, TCPA đã được Zhen đã sử dụng để xác định các tàu có nguy cơ cao từ góc độ vĩ mô trong các khu vực có nhiều tàu [123]. Liu và cộng sự (2019, 2020) đã dùng lý thuyết trò chơi và động lực phân tử để xác định nguy cơ đâm va cho một khu vực sau khi xác định nguy cơ từ góc độ vi mô dựa trên phân cụm các cặp tàu [74, 75]. Chen và cộng sự (2021) đã xác định nguy cơ đâm va giữa nhiều tàu bằng phương pháp Velocity Obstacles trên cơ sở phân cụm để thu được nguy cơ đâm va theo khu vực. Chỉ số nguy cơ đâm va tàu khu vực thường bao gồm các chỉ báo nguy cơ đâm va tàu ở cấp độ vi mô, nhưng các yếu tố ngoại cảnh tác động chưa được quan tâm. Bản đồ rủi ro giao thông tại vùng nước cảng được phát triển với Luong và cộng sự nghiên cứu, đề xuất vào năm 2021 dựa trên sự giao thoa của các vùng an toàn của tàu [78]. Các khu vực có nguy cơ đâm va cao được thể hiện trên hải đồ với chỉ số nguy hiểm cụ thể. Tuy nhiên, mô hình này chưa lọc được các tàu an toàn, dẫn đến việc xuất hiện nhiều điểm nóng ảo, dằn trải dọc theo khu vực khảo sát.

1.4.2. Tình hình nghiên cứu trong nước

Trước đây, đã có nhiều nghiên cứu nhằm đánh giá và xác định nguy cơ đâm va tàu thuyền khi hành trình và đề xuất các giải pháp khác nhau nhằm nâng cao an toàn hàng hải cho tàu khi hành trình trên các vùng biển của Việt Nam như:

Nghiên cứu của Nghiên cứu sinh Lưu Việt Hùng tại Luận án tiến sĩ về “Nghiên cứu giải pháp nâng cao an toàn hàng hải vùng biển Việt Nam” năm 2019. Đề tài đã nghiên cứu, đánh giá tổng quan về thực trạng an toàn hàng hải trên vùng biển Việt Nam như các đặc điểm về địa hình, các hoạt động về hàng hải, các vụ tai nạn hàng hải và nguyên nhân; nhận định hướng phát triển vận tải biển Việt Nam. Nghiên cứu đã đề xuất các giải pháp nâng cao an toàn hàng hải trên vùng biển Việt Nam như: Biên soạn Sổ tay Đảm bảo an toàn hàng hải vùng biển Việt Nam với ngôn ngữ bằng Tiếng Việt và Tiếng Anh; Xây dựng tuyến phân luồng hàng hải trên các vùng biển Việt Nam, thí điểm trên khu vực Lý Sơn và Quảng Ngãi [17].

Nghiên cứu của Nghiên cứu sinh Lê Văn Thức tại Luận án tiến sĩ về “Xây dựng mô hình đánh giá rủi ro tai nạn đâm va tại cảng biển Vũng Tàu” năm 2022. Đề tài đã tổng hợp, phân tích, đánh giá điều kiện hàng hải và nguyên nhân tai nạn hàng hải tại cảng biển Vũng Tàu; Phân tích các mô hình đánh giá rủi ro tai nạn đâm va trên thế giới và đánh giá sự phù hợp tại cảng biển Vũng Tàu. Nghiên cứu đã sử dụng giữa yếu tố con người như kinh nghiệm, trình độ chuyên môn để khảo sát, kết hợp với mô phỏng để cho ra kết quả mô hình đánh giá rủi ro đâm va tại vùng biển Vũng Tàu. Tuy nhiên việc áp dụng tại các vùng biển khác của Việt Nam thì chưa được đề cập tới, hoặc có một hệ số khu vực nào đó có thể điều chỉnh mô hình phù hợp nhằm cảnh báo nguy cơ đâm va [32].

Nghiên cứu của nhóm tác giả Cố Tấn Anh Vũ cùng các đồng nghiệp trên Tạp chí Khoa học Công nghệ Hàng hải số 75 về “Đánh giá nguy cơ đâm va tàu biển sử dụng kết hợp thuật toán phân cụm và lý thuyết hàm tin cậy” năm 2023. Nhóm tác giả đã đề xuất một phương pháp đánh giá rủi ro và chạm tàu bằng cách kết hợp phương pháp phân cụm tàu có nguy cơ xảy ra đâm va kết hợp phân loại khả năng va chạm bằng lý thuyết hàm tin cậy. Cụ thể, nghiên cứu đã phân tích, đánh giá phương pháp phân nhóm HCAAP và DBSCAN để phân nhóm các cụm tàu có nguy

cơ đâm va, chỉ ra một số vấn đề tồn tại như độ tin cậy dữ liệu khảo sát và chỉ số phân cụm tàu, từ đó nghiên cứu đã đề xuất kết hợp sử dụng lý thuyết hàm tin cậy để nâng cao độ tin cậy cho các phương pháp phân cụm đã đánh giá và thực hiện mô phỏng để minh chứng kết quả đạt được. Kết quả nghiên cứu đã nâng cao độ chính xác, phân loại và nhận biết các tình huống xảy ra đâm va cho những tàu có khả năng cao xảy ra nguy cơ va chạm. Tuy nhiên, nghiên cứu chưa đề cập đến việc tính toán khu vực an toàn đối với mỗi tàu trong cụm, nguy cơ đâm va chưa được thể hiện dưới dạng cấp độ hay chỉ số cụ thể. Ngoài ra, dữ liệu nhóm tác giả sử dụng là vị trí lấy từ trạm VTS của Hải Phòng để mô phỏng, đánh giá rủi ro đâm va, không phải dữ liệu liên tục, theo thời gian thực [36].

Bài báo của Tiến sĩ Đinh Gia Huy trên Kỷ yếu Hội thảo cấp Trường 2022 của Trường Đại học Giao thông vận tải Thành phố Hồ Chí Minh về “Xác định Vùng nguy hiểm xung quanh tàu dựa trên khả năng quay trở của tàu”. Nghiên cứu đã tổng hợp đánh giá các phương pháp xác định vùng nguy hiểm xung quanh tàu và đề xuất mô hình mới về vùng nguy hiểm xung quanh tàu, vùng nguy hiểm này được xây dựng bằng sự kết hợp của phương pháp thông kê và phương pháp giải tích, mô hình áp dụng trong tình huống đối hướng giữa hai tàu, có xem xét đến khả năng quay trở của tàu mục tiêu và có khả năng áp dụng được trên nhiều vùng biển khác nhau. Tuy nhiên, việc áp dụng mô hình vùng nguy hiểm để xác định nguy cơ đâm va còn tồn tại một số bất cập, chưa tối ưu khi hành trình trong các khu vực luồng chật, hẹp, địa hình phức tạp và tại các khu vực tập trung đông tàu thuyền. Vì vậy, trên cơ sở các phương pháp như thống kê, giải tích, khi đề xuất xây dựng một vùng an toàn của tàu, việc khảo sát, lấy ý kiến chuyên gia tại các khu vực nghiên cứu là cần thiết, từ đó xác định kích thước của vùng an toàn của tàu thông qua một tham số khu vực cụ thể. Tham số này có thể điều chỉnh, linh hoạt đối với mỗi khu vực nhằm nâng cao hiệu quả khi cảnh báo nguy cơ đâm va [18].

Nghiên cứu của Tiến sĩ Trịnh Xuân Tùng trên Tạp chí Khoa học Công nghệ Hàng hải số 73 về “Đề xuất giải pháp dẫn tàu an toàn qua những khu vực tiềm ẩn nhiều nguy cơ tai nạn trên tuyến luồng hàng hải Hải Phòng” năm 2023. Nghiên cứu đã tiến hành phân tích và đánh giá tổng quan về đặc điểm, vị trí và vai trò của

luồng hàng hải Hải Phòng. Tác giả cũng đã nêu ra một số vụ tai nạn hàng hải xảy ra trên tuyến luồng, từ đó đề xuất các khuyến cáo về phương pháp dẫn tàu an toàn qua các khu vực tiềm ẩn nguy cơ tai nạn trên tuyến luồng Hải Phòng. Các đề xuất của tác giả là các khuyến cáo, hướng dẫn, chưa cụ thể bằng một phương án hay đề xuất hệ thống cảnh báo nguy cơ đâm va nhằm duy trì an toàn cho tàu khi hành trình trên vùng biển Hải Phòng [35].

Nghiên cứu của Tiến sĩ Nguyễn Mạnh Cường và các đồng nghiệp trên Tạp chí Khoa học Công nghệ Hàng hải số 64 về “Phương pháp đánh giá khả năng va chạm tàu thuyền dựa trên hệ thống tự động nhận dạng tàu thủy” năm 2020. Tác giả đã đánh giá các phương pháp xác định nguy cơ đâm va tàu thuyền cơ bản trước đây và chỉ ra một số điểm không phù hợp với điều kiện hàng hải hiện tại. Từ đó, nghiên cứu đã xây dựng chỉ số đánh giá khả năng va chạm dựa trên việc thu thập dữ liệu từ AIS, chủ yếu từ hai thông số DCPA và TCPA, khoảng cách giữa hai tàu. Tuy nhiên, chỉ số cảnh báo nguy cơ đâm va mới chỉ dừng lại ở một mức độ nhất định, yếu tố về điều kiện ngoại cảnh, kích cỡ tàu thuyền hay tốc độ di chuyển của tàu chưa được quan tâm. Chương trình mô phỏng chưa thể hiện từng cấp độ nguy hiểm, chưa cụ thể thực hiện áp dụng tại một khu vực nhất định [15].

1.4.3. Nhận xét

Các nghiên cứu trên thế giới trước đây có thể xác định đầy đủ nguy cơ đâm va tàu ở một mức độ, một khu vực nào đó và phương pháp xác định nguy cơ đâm va tàu khu vực hiện tại có một số hạn chế. Đặc biệt, tác động của các tàu mục tiêu tới tàu chủ không được tính đến khi tính toán nguy cơ đâm va. Trong một cụm, các tàu nằm trong phạm vi nhất định tính từ tàu chủ sẽ có tác động nhất định đến hành động tránh đâm va mà tàu chủ thực hiện. Việc áp dụng các mô hình cổ điển thường chỉ áp dụng được đối với 2 tàu, ít có tính toán nào có liên quan đến kích cỡ, tình hình ngoại cảnh nơi tàu hành trình. Các mô hình mới, hiện đại hiện nay, đã có sự tính toán đến yếu tố ngoại cảnh, tuy nhiên, việc quan tâm đến kích cỡ đối với mỗi tàu là chưa nhiều, mô hình chủ yếu áp dụng tại các vùng biển rộng tập trung đông tàu thuyền, dữ liệu thu thập chủ yếu là dữ liệu lưu trữ chưa tức thời. Vì vậy, các phương pháp xác định nguy cơ đâm va trên thế giới không phù hợp khi áp dụng

trên các vùng biển của Việt Nam, nơi có địa hình phức tạp, mật độ đông đúc, các yếu tố ngoại cảnh thay đổi khó lường.

Hầu hết các nghiên cứu trước đây về nâng cao an toàn hàng hải trên vùng biển Việt Nam đều đã phân tích đặc điểm, đánh giá được ưu, nhược điểm các khu vực cảng biển Việt Nam, chỉ ra một số khu vực có mật độ giao thông đông đúc, tiềm ẩn nguy cơ mất an toàn và đã đề xuất được một số giải pháp. Tuy nhiên, việc đề xuất các giải pháp còn mang tính vĩ mô, khó thực hiện ... chưa có nghiên cứu nào sử dụng ý kiến của các chuyên gia để xây dựng vùng nguy hiểm xung quanh tàu tại các điểm nóng giao thông trên khu vực luồng Hải Phòng, luồng Sài Gòn - Vũng Tàu.

1.5. Kết luận chương 1

Trong chương 1, đề tài đã phân tích tổng quan về vùng biển Việt Nam như: vị trí địa lý, hệ thống cảng biển, hệ thống luồng, lưu lượng hàng hóa, lưu lượng tàu thuyền ra vào các cảng biển của Việt Nam từ đó xác định tầm quan trọng của vùng biển Việt Nam trong quá trình phát triển kinh tế đất nước, đã được Đảng và Nhà nước xác định trong các văn kiện quan trọng, đây cũng là cửa ngõ quan trọng trong quá trình vận chuyển hàng hóa giữa các lục địa trên thế giới. Bên cạnh đó, nghiên cứu cũng đã đánh giá mức độ tai nạn hàng hải trên vùng biển Việt Nam trong những năm gần đây và chỉ ra một số khu vực có mật độ tàu thuyền và lưu lượng hàng hóa lớn (luồng Hải Phòng và luồng Sài Gòn - Vũng Tàu) và các điểm có nguy cơ đâm va cao.

Tổng quan nghiên cứu đã phân tích đánh giá các nghiên cứu trên thế giới về các mô hình đánh giá nguy cơ đâm va tại các vùng biển khác nhau trên thế giới trước đây. Các giải pháp để duy trì an toàn giao thông hàng hải trên các vùng biển của Việt Nam tại các nghiên cứu trong nước trước đây cũng đã được phân tích, đánh giá. Trên cơ sở đó, nghiên cứu, đề xuất giải pháp đảm bảo an toàn giao thông hàng hải qua thuật toán, mô hình trực quan, đánh giá nhanh chóng nguy cơ đâm va, áp dụng đối với vùng biển Việt Nam trong các chương tiếp theo.

CHƯƠNG 2

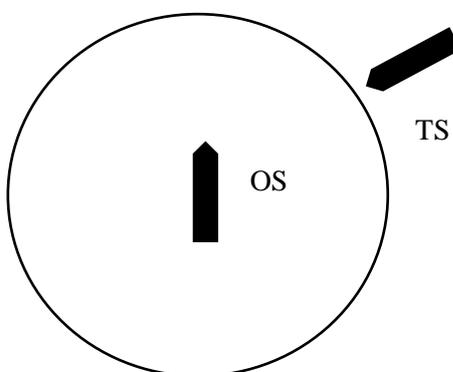
NGHIÊN CỨU XÂY DỰNG THUẬT TOÁN XÁC ĐỊNH VÙNG AN TOÀN CỦA TÀU

2.1. Vùng an toàn của tàu

2.1.1. Khái niệm về vùng an toàn của tàu

Việc dẫn tàu an toàn qua các chướng ngại vật di động là một trong nhiều thách thức mà người đi biển phải đối mặt, đặc biệt là về mặt xác định các hành động cần thiết để phòng ngừa va chạm giữa các tàu có thể xảy ra. Đâm va có thể hiểu là việc hai tàu hoặc nhiều tàu cùng chiếm giữ một điểm hoặc một khu vực trên mặt biển cùng một lúc. Khi đã xảy ra đâm va, có rất nhiều nguyên nhân sẽ được các bên liên quan điều tra, đánh giá, xác định, tuy nhiên, các vụ tai nạn đâm va thường để lại hậu quả vô cùng lớn. Do đó, để giữ an toàn giữa các tàu, việc đánh giá khu vực an toàn xung quanh tàu có tầm quan trọng đặc biệt đối với mỗi tàu nói riêng và ngành hàng hải nói chung.

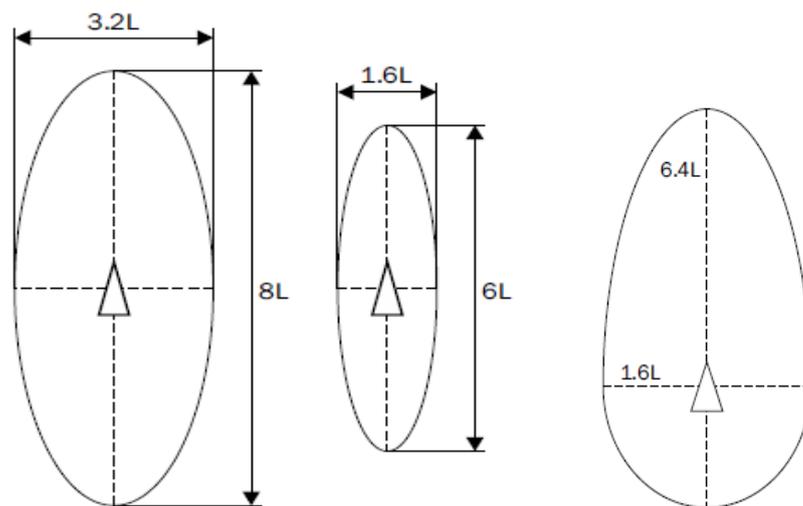
Khi các tàu tiếp cận nhau phải đảm bảo khoảng cách tối thiểu đối với các tàu khác để vượt qua nhau một cách an toàn. Điều này dẫn đến sự xuất hiện của khái niệm vùng an toàn của tàu. Các nghiên cứu trước đây cũng đã đưa ra nhiều khái niệm, cách hiểu khác nhau và các đề xuất về vùng an toàn quanh tàu. Vùng an toàn của tàu (Ship Domain) là không gian xung quanh một con tàu không được xâm phạm bởi các tàu khác. Nếu các tàu khác không xâm phạm hay tiến vào khu vực này thì có thể được coi là an toàn (Hình 2.1).



Hình 2.1. Vùng an toàn của tàu chủ không bị xâm phạm bởi tàu mục tiêu

Vùng an toàn của tàu có nhiều hình dạng và kích thước khác nhau tùy thuộc theo mỗi phương pháp xác định. Có thể coi con tàu là tâm và khu vực giới hạn xung quanh là một vòng tròn có bán kính nhất định, hoặc có thể khu vực nguy hiểm được xác định theo hình dáng con tàu thành một hình elip, hình thoi, hình vuông ... Kích thước của mỗi vùng giới hạn có thể thay đổi tùy theo kích cỡ con tàu, mật độ tàu thuyền tại mỗi thời điểm hoặc kích thước khu vực tàu hành trình ...

Vùng an toàn của tàu lần đầu tiên được đề xuất vào năm 1971 bởi Fujii và Tanaka (1971) để giải quyết vấn đề dẫn tàu an toàn của tàu trong vùng biển ngoài khơi Nhật Bản [49]. Tại nghiên cứu này, tác giả đã đưa ra khái niệm vùng an toàn của tàu là khu vực giới hạn xung quanh tàu mà các tàu khác tránh đi vào, nó có hình dạng là một hình elip, bán kính lớn $8L$ và bán kính nhỏ $3,2L$ (L là chiều dài toàn tàu - LOA) trong điều kiện hàng hải bình thường (Hình 2.2)

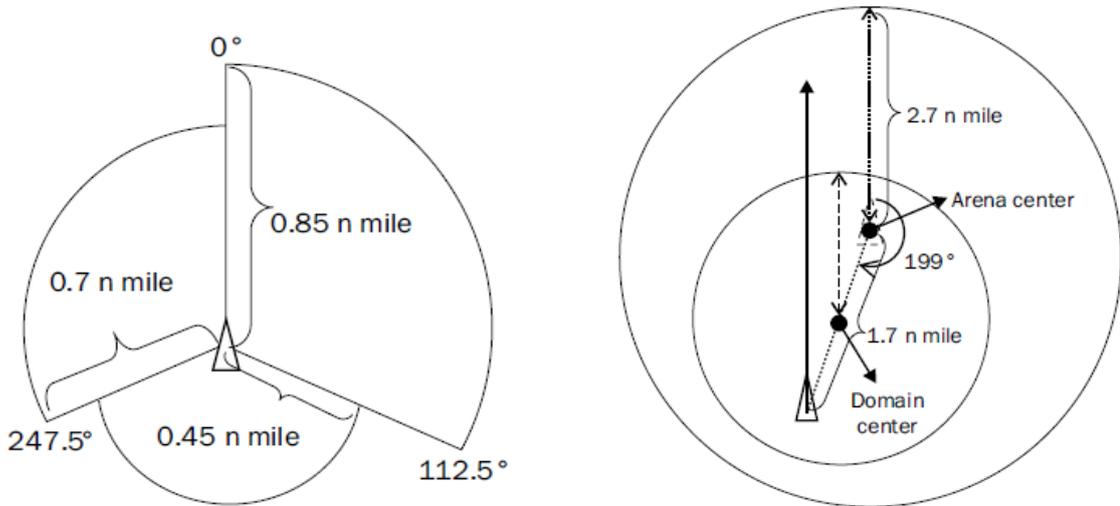


Hình 2.2. Vùng an toàn tàu của Fujii và Tanaka (1971)

Bốn năm sau, vào năm 1975, Goodwin đã phát triển một mô hình vùng an toàn khác để nghiên cứu tình hình giao thông hàng hải dựa trên dữ liệu được tạo bởi một mô phỏng radar từ các thí nghiệm đâm va [52]. Ông đã nghiên cứu các tình huống giao thông ở khu vực Biển Bắc và kết luận rằng vùng an toàn của tàu là khu vực kín bao quanh một con tàu mà người điều khiển có thể hành hải một cách an toàn và hiệu quả. Vùng an toàn tàu được chia thành các rặng quạt có bán kính khác nhau. Nó được chia thành các khu vực khác nhau bao quanh tàu: mạn trái, mạn phải và phái sau lái với bán kính lần lượt là: mạn trái là vòng tròn có bán kính

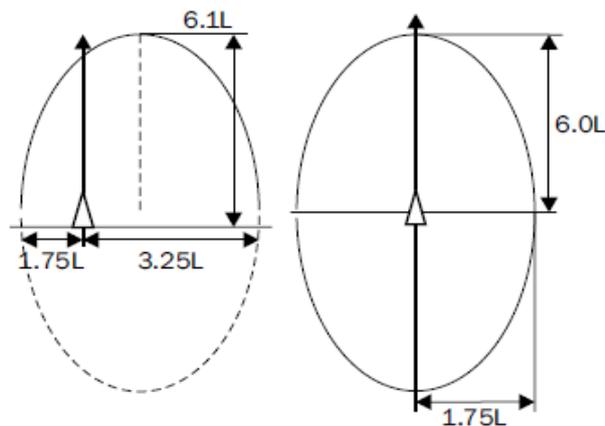
0.7NM, mạn phải là vòng tròn có bán kính 0.85NM và phía sau lái là vòng tròn có bán kính là 0.45NM. Tuy nhiên, tại nghiên cứu này, tác động của kích thước tàu cũng đã được tính đến nhưng nó không được đưa vào để xác định kích thước của vùng an toàn của tàu (Hình 2.3).

Năm 1980, Davis cho rằng mô hình Goodwin đề xuất năm 1975 có nhiều khiếm khuyết như ranh giới không liên tục, ông đã đề xuất vùng an toàn mới dưới dạng một vòng tròn bằng cách làm mịn các cạnh (Hình 2.3).



Hình 2.3. Vùng an toàn tàu của Goodwin (trái) và Davis (phải)

Năm 1983, Coldwell đã đưa ra khái niệm vùng an toàn của tàu là khu vực mà người hàng hải mong muốn các tàu khác tránh xa [44]. Nó có hình elip, kích thước được xác định khác nhau trong các tình huống khác nhau như cắt hướng, đối hướng (Hình 2.4). Tuy nhiên, bán kính của vùng an toàn tàu của Coldwell lớn hơn so với của Fujii năm 1971.



Hình 2.4. Vùng an toàn tàu của Coldwell (1983)

Fujii và Tanaka (1971), Goodwin (1975), Coldwell (1983) đều sử dụng các quan sát radar ở các khu vực khác nhau nên có một số khác biệt về kích thước hình học và đơn vị đo khoảng cách của các vùng an toàn [44, 49, 52]. Hệ thống AIS ra đời có thể khắc phục những thiếu sót của các phương pháp thống kê, chủ yếu là do số lượng lớn các lần quan sát. Năm 2013, Hansen đã phân tích hình dạng và kích thước của vùng an toàn dựa trên một lượng lớn dữ liệu AIS [54]. Gucma và Marcjan (2012) đã xây dựng vùng an toàn dựa trên sự phân bố khoảng cách xung quanh tàu theo 8 hướng (mỗi hướng cách nhau 45°) [53]. Việc xây dựng hình dạng vùng an toàn bằng cách liên kết các khoảng cách được vẽ trên mỗi hướng. Nghiên cứu này kết luận rằng loại tàu không ảnh hưởng đến hình dạng của vùng an toàn. Khi sử dụng dữ liệu AIS ở vùng biển Thụy Điển, năm 2019, Horteborn đã kết luận rằng vùng an toàn của tàu có hình elip với bán kính trục lớn và nhỏ lần lượt là 0,9 và 0,45 nm và khuyến nghị rằng LOA nên được sử dụng làm yếu tố quyết định vùng an toàn tàu tĩnh ở vùng nước rộng và vùng an toàn động ở vùng biển bị hạn chế [57]. Trong các mô hình trên, vùng an toàn tàu đều là tĩnh, nghĩa là hình dáng không thay đổi khi tốc độ tàu thay đổi. Mặc dù cũng dựa trên dữ liệu thực nghiệm được xử lý thống kê, vùng an toàn của Wang và Chin năm 2016 mang lại nhiều tham số và độ phức tạp hơn các mô hình cũ có liên quan [103]. Nó được xây dựng dưới dạng mô hình toán học bằng cách tính đến kích thước tàu và tốc độ tàu cũng như yếu tố con người. Tuy nhiên, hình dạng đa giác dạng tự do thu được thực sự khá gần với vùng an toàn hình elip được đề xuất bởi các mô hình trước đây (Szlapczynski và Szlapczynska, 2017) [90]. Một hình dạng khác của vùng an toàn - hình lục giác được phát triển bởi Smierzchalski vào năm 2000 cho tàu mục tiêu trên cơ sở kích thước và tốc độ của tàu cũng như các thông số động tương đối [96]. Vùng an toàn này thu được phụ thuộc vào giá trị thực tế của khoảng cách an toàn do sĩ quan hàng hải giả định. Các đỉnh của vùng an toàn hình lục giác không đều được xác định là bội số của một đơn vị khoảng cách an toàn.

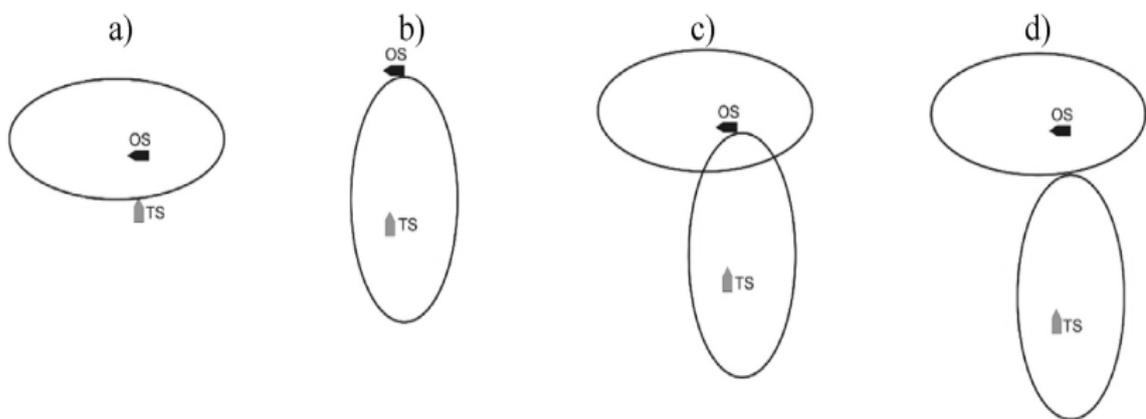
Trong các mô hình trên, các vùng an toàn được coi là tuyệt đối và tập hợp các tham số của vùng an toàn chưa được mở rộng. Năm 1993, Zhao và cộng sự [126] đã đưa ra ý tưởng về ranh giới mờ cho vùng an toàn dựa trên mô hình của

Goodwin vào năm 1975 [52] sử dụng lý thuyết mờ. Lý thuyết mờ khi áp dụng cho vùng an toàn của tàu như sau: “nếu đường chuyển động tương đối của mục tiêu nằm ngoài ranh giới mờ thì mục tiêu đó an toàn, không cần thực hiện hành động nào; nếu đường chuyển động tương đối nằm ngay trong ranh giới mờ thì chắc chắn không an toàn nhưng cũng không chắc chắn nguy hiểm thì không cần thực hiện hành động nào; nếu đường chuyển động tương đối nằm trong ranh giới mờ thì nguy hiểm, phải có biện pháp để giữ mục tiêu nằm ngoài ranh giới mờ”. Không giống như các vùng an toàn tuyệt đối, vùng an toàn mờ có thể khác nhau giữa các mức độ an toàn khác nhau. Mô hình vùng an toàn do Zhu và cộng sự đề xuất năm 2001 dựa trên mạng nơ ron đã được tạo ra tính đến tác động của tầm nhìn và tính năng điều động của tàu cũng như phản ứng nhanh chóng với nhiều tình huống khác nhau [129]. Pietrzykowski và Uriasz (2004) phát triển vùng an toàn mờ tàu được định nghĩa là khu vực mờ xung quanh con tàu mà người hàng hải phải tránh xa các tàu và vật thể khác [86]. Hình dạng và kích thước của vùng an toàn phụ thuộc vào mức độ an toàn hàng hải được áp dụng, mức độ này có thể khác nhau đối với các thiết bị hàng hải khác nhau. Vùng an toàn mờ đã được áp dụng ở cả luồng hẹp (Pietrzykowski, 2008) và vùng nước rộng (Pietrzykowski và Urias, 2009) [85, 87]. Vùng an toàn mờ đã phát triển được coi là tiêu chí để đánh giá tình hình hàng hải hiện tại. Kijima và Furukawa (2001, 2003) đã giới thiệu một vùng an toàn tàu mới là sự kết hợp của hai hình elip [68, 69]. Dựa trên công thức của Kijima và Furukawa (2003) và Wang et al. (2010) đã thay đổi các ranh giới rõ nét thành các ranh giới mờ, dẫn đến vùng an toàn (QSD) và tiếp tục là vùng an toàn động (DQSD) (Wang, 2013) [100, 101]. Hình dạng của chúng được mô hình hóa bằng các tham số. Vùng an toàn của tàu bao gồm 2 phần “Blocking Area” và “Action Area” được Dinh và cộng sự xây dựng dựa trên đặc tính quay trở của tàu và ý kiến của các sỹ quan hàng hải vào năm 2016 [45]. Tuy nhiên, kích thước của vùng an toàn này tương đối lớn, chỉ áp dụng được tại khu vực biển rộng. Vùng an toàn này cũng chưa tính được nguy cơ đâm va giữa các tàu một cách cụ thể.

Các phương pháp phân tích rủi ro đâm va giữa các tàu dựa trên vùng an toàn này là rất quan trọng. Các phương pháp xem xét mối quan hệ thời gian và không

gian giữa các tàu và các tình huống xâm phạm hoặc chồng lấn giữa các vùng an toàn của các tàu thu được thường được sử dụng làm tiêu chí phát hiện nguy cơ đâm va với dữ liệu giao thông, chẳng hạn như dữ liệu AIS. Tương tự, khoảng cách tối thiểu tới vị trí đâm va (Minimum Distance to Collision - MDTC) được đề xuất để đánh giá rủi ro đâm va trong các tình huống khác nhau. Nếu khoảng cách giữa hai tàu nhỏ hơn MDTC, khả năng xảy ra đâm va là gần như không thể tránh khỏi trong thời gian ngắn. Tuy nhiên, các phương pháp dựa trên vùng an toàn với hình dạng khác nhau và MDTC cho thấy khả năng đánh giá quá cao/thấp hơn kết quả do cài đặt tham số tiêu chí khác nhau và cũng nguy cơ đâm va cũng chưa được định lượng cụ thể.

Nhìn chung, các định nghĩa trên gần giống nhau nhưng được nhiều tác giả diễn giải theo nhiều cách dẫn đến các tiêu chí an toàn áp dụng trong nghiên cứu của họ cũng khác nhau. Trên thực tế, việc sử dụng các vùng an toàn tàu trong tình huống khác nhau có thể được kết hợp với một trong bốn tiêu chí sau, như được trình bày trong Hình 2.5.



Hình 2.5. Các tiêu chí sử dụng vùng an toàn của tàu

- Vùng an toàn của tàu chủ (OS) không được xâm phạm bởi tàu mục tiêu (TS),
- Vùng an toàn của tàu mục tiêu (TS) không được xâm phạm bởi tàu chủ (OS),
- Cả hai tàu không được xâm phạm vùng an toàn của tàu kia,
- Vùng an toàn của cả hai tàu không được chồng lên nhau.

2.1.2. Một số phương pháp xác định vùng an toàn của tàu

Xác định vùng an toàn của tàu được chia thành các phương pháp chính: được phát triển bằng phân tích lý thuyết, dựa trên kiến thức của chuyên gia và được xác định theo kinh nghiệm, phương pháp phân tích, tính toán và phương pháp mô phỏng.

Phương pháp lý thuyết: Phương pháp này thường có tính tương đối, chỉ phản ánh một hoặc một số mặt nào đó của vùng an toàn. Hình dạng, kích thước là sự tái hiện một khu vực có tính trực quan, đã được khái quát hóa theo quy luật. Phương pháp này chưa được kiểm chứng trên thực tế bằng các số liệu cụ thể được cung cấp từ máy móc, thiết bị, chưa sử dụng đến kinh nghiệm của các chuyên gia, sỹ quan hàng hải, hoa tiêu ... Bên cạnh đó, các yếu tố tác động bên ngoài như thời tiết, điều kiện dòng chảy, mật độ tàu thuyền cũng chưa được phân tích, tính toán.

Phương pháp chuyên gia: sử dụng kiến thức, kinh nghiệm của các chuyên gia, sỹ quan hàng hải, hoa tiêu - những người có sự am hiểu nhất định để xác định.

Phương pháp mô phỏng: ứng dụng công cụ máy tính nhằm tính toán và mô phỏng bài toán nhằm đánh giá kết quả và phương pháp đề xuất.

Phương pháp tính toán, phân tích: phân tích số liệu để tính toán các trọng số cho phù hợp với thực tế.

Phương pháp chủ yếu trước đây là phương pháp tổng hợp, tính toán và phân tích dữ liệu từ các trang thiết bị, máy móc, dữ liệu thu được đã qua thời gian lưu trữ.

Phương pháp phân tích trong việc xác định vùng nguy hiểm xung quanh tàu là quá trình thu nhập dữ liệu từ những thiết bị có sẵn, dễ dàng cho kết quả sau đó mô hình hóa và phân tích dữ liệu để đưa ra những hiểu biết có thể được biểu thị dưới dạng số lượng, giá trị hay biểu đồ ...

Đôi khi có những vùng an toàn sử dụng kết hợp các phương pháp khác nhau. Các mô hình vùng an toàn của tàu được xác định theo kinh nghiệm thường đơn giản hơn, vì dữ liệu thực nghiệm khiến việc tách biệt tác động của nhiều

tham số trở nên khó khăn. Do tính đơn giản này, các ứng dụng của các mô hình này bị giới hạn trong việc chỉ được sử dụng để xác định năng lực của các tuyến đường thủy địa phương, nhưng thường không đủ chi tiết để tránh va giữa tàu và tàu. Đối với các mô hình dựa trên kiến thức chuyên gia và dựa trên phân tích, phạm vi ứng dụng của chúng rộng hơn nhiều và mở rộng từ tránh va đến phát hiện các tình huống cận nguy và phân tích rủi ro hàng hải. Vì những mục đích này đòi hỏi khắt khe hơn nhiều, nên các vùng an toàn được tham số hóa nhiều để bao hàm nhiều yếu tố góp phần gây ra nguy cơ đâm va.

Đối với việc xác định nguy cơ đâm va, xác định vùng an toàn xung quanh tàu thì việc phân tích đánh giá dữ liệu từ các trang thiết bị hàng hải như Radar hoặc AIS đã được sử dụng rất nhiều.

2.2. Lý thuyết về hàm ảnh hưởng

Lý thuyết trường (Field Theory) lần đầu tiên được đề xuất vào năm 1837 để mô tả các tương tác không tiếp xúc giữa các hạt. Với sự phát triển của lý thuyết trường, người ta trừu tượng hóa nó thành một khái niệm toán học, dùng để mô tả quy luật phân phối của một đại lượng vật lý hay hàm toán học nào đó trong không gian, được chia thành trường vector và trường vô hướng. Trường là một đại lượng vật lý được gán cho mọi điểm trong không gian. Nếu một đại lượng vật lý là đại lượng vô hướng thì trường được gọi là trường vô hướng và mỗi điểm trong trường tương ứng với một giá trị nhất định của đại lượng này. Phương pháp dựa trên lý thuyết trường được sử dụng rộng rãi trong nghiên cứu an toàn phương tiện, tuy nhiên trong hàng hải lại là tương đối ít. Hầu hết các phương pháp xác định rủi ro đâm va hiện có đều bắt đầu từ quan điểm hình học, sử dụng khoảng cách và các chỉ số khác để đo lường rủi ro đâm va. Do đó, nghiên cứu áp dụng lý thuyết trường trong vật lý để đo lường, tính toán mức độ rủi ro đâm va của tàu trong các tình huống gặp phải theo sự tương tác giữa các trường là một hướng nghiên cứu mới.

Ước tính mật độ hạt nhân (Kernel Density Estimation - KDE) là một phương pháp để ước tính mật độ xác suất của một biến ngẫu nhiên không được biết trước, dựa trên một tập hợp các quan sát. Phương pháp này là một kỹ thuật ước tính mật độ phi tham số, cho phép tạo ra một đường cong mịn với các điểm

dữ liệu. Đây cũng là một kỹ thuật để ước tính hàm mật độ xác suất cần phải có cho phép người dùng phân tích tốt hơn phân bố xác suất được nghiên cứu. KDE dựa trên ý tưởng rằng ảnh hưởng của mỗi điểm dữ liệu có thể được mô hình hóa chính thức bằng cách sử dụng một hàm toán học, được gọi là hạt nhân. Hàm hạt nhân có thể được coi là một hàm mô tả ảnh hưởng của một điểm dữ liệu trong vùng lân cận của nó. Ước tính về mật độ tổng thể của không gian dữ liệu có thể được tính bằng tổng các ảnh hưởng của tất cả các điểm dữ liệu.

Đặt chuỗi $\{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ là một mẫu độc lập và được phân phối giống hệt nhau của n quan sát được lấy từ tập X với hàm phân phối xác suất $f(x)$ chưa biết. Ước lượng hạt nhân $f(t)$ của hàm $f(x)$ ban đầu gán cho mỗi điểm dữ liệu mẫu thứ i (x_i) một hàm $K(x_i, t)$ được gọi là hàm hạt nhân [109], như sau:

$$f(t) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n K(x_i, t) \quad (2.1)$$

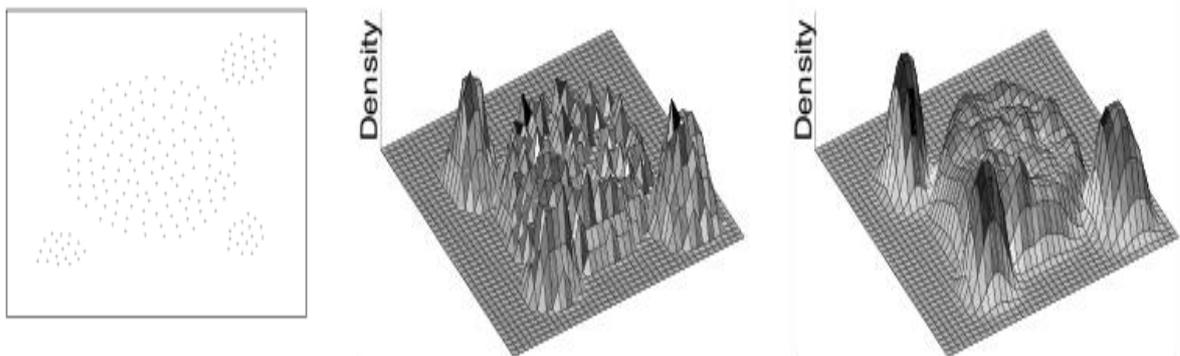
Trong đó:

$f(t)$ là hàm ước lượng hạt nhân

$K(x_i, t)$ là hàm hạt nhân của x_i

x_i là phần tử thứ i mẫu độc lập

n là số lần quan sát nhằm xác định x_i



Hình 2.6. Ví dụ về hàm hạt nhân

Nói cách khác, hàm hạt nhân biến vị trí điểm của x_i thành một khoảng có tâm (đối xứng hoặc không) xung quanh x_i (Hình 2.6). Trong hầu hết các ứng dụng

thực tế phổ biến, ước tính hạt nhân sử dụng hàm hạt nhân đối xứng. Thuộc tính đối xứng cho phép viết hàm hạt nhân ở dạng được sử dụng thường xuyên nhất:

$$K_{sym}(x, t) = \frac{1}{h} K\left(\frac{x-t}{h}\right) \quad (2.2)$$

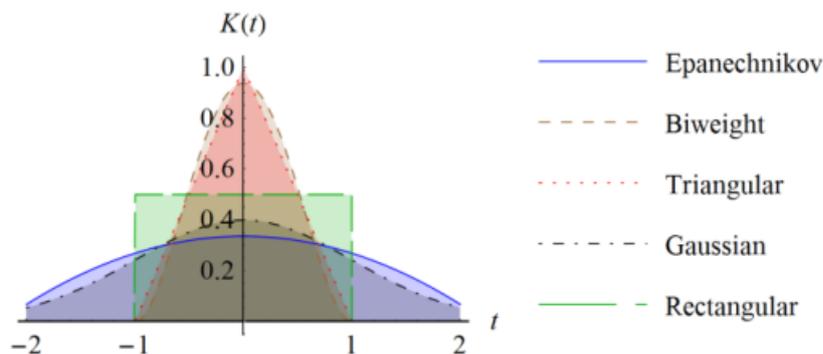
Trong đó: h là tham số làm mịn chi phối mức độ làm mịn được áp dụng.

Một số hàm hạt nhân đối xứng hay được áp dụng trong nghiên cứu được mô tả ở Bảng 2.1 và Hình 2.7.

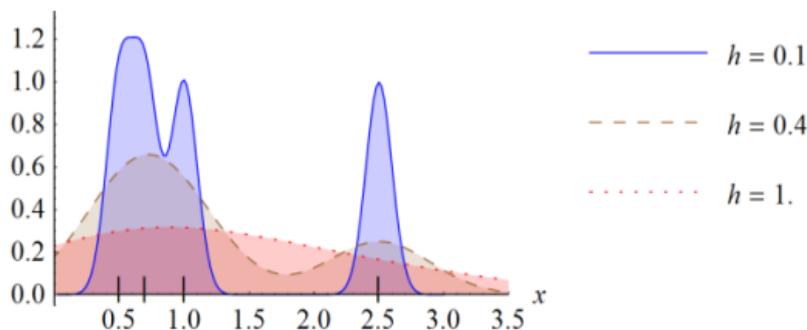
Bảng 2.1. Một số hàm hạt nhân đối xứng phổ biến

Hàm hạt nhân	Định nghĩa
Epanechnikov	$K(t) = \begin{cases} \frac{3}{4\sqrt{5}} \left(1 - \frac{1}{5}t\right)^2 & \text{nếu } t < \sqrt{5} \\ 0, & \text{nếu } t \geq \sqrt{5} \end{cases}$
Biweight	$K(t) = \begin{cases} \frac{15}{16} (1 - t^2)^2 & \text{nếu } t < 1 \\ 0, & \text{nếu } t \geq 1 \end{cases}$
Triangular	$K(t) = \begin{cases} 1 - t & \text{nếu } t < 1 \\ 0, & \text{nếu } t \geq 1 \end{cases}$
Gaussian	$K(t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-t^2/2}$
Rectangular	$K(t) = \begin{cases} \frac{1}{2} & \text{nếu } t < 1 \\ 0 & \text{nếu } t \geq 1 \end{cases}$

Đối với các hàm nhân đối xứng, Hình 2.8 cho thấy ảnh hưởng của tham số làm mịn h rất quan trọng. Giá trị h quá nhỏ có thể khiến công cụ ước tính hiển thị các chi tiết không đáng kể trong khi giá trị h quá lớn gây ra hiện tượng làm mịn quá mức.



Hình 2.7. Hình dạng của một số hàm hạt nhân đối xứng phổ biến



Hình 2.8. Ví dụ về ảnh hưởng của tham số làm mịn

Hàm hạt nhân hai biến được sử dụng thường xuyên nhất là đối xứng:

$$f(x, y) = \frac{1}{nh_x h_y} \sum_{i=1}^n K\left(\frac{x_i - x}{h_x}, \frac{y_i - y}{h_y}\right) \quad (2.3)$$

Trong đó:

$\{x_i, y_i\}$, $i = 1, 2, \dots, n$, là tọa độ điểm mẫu thứ i ;

h_x và h_y là tham số làm mịn theo hướng trục x và y .

Hàm ước tính hạt nhân dựa trên khoảng cách Euclide giữa một điểm tùy ý $\{x, y\}$ và điểm mẫu $\{x_i, y_i\}$, $i = 1, 2, \dots, n$ được tính như sau:

$$f(x, y) = \frac{1}{nh_x h_y} \sum_{i=1}^n K\left(\sqrt{\left(\frac{x_i - x}{h_x}\right)^2 + \left(\frac{y_i - y}{h_y}\right)^2}\right) \quad (2.4)$$

Hàm mật độ hạt nhân đã được một số nhà nghiên cứu trước đây áp dụng để xây dựng vùng an toàn của tàu. Một số vùng an toàn của tàu được xây dựng có tính đến các yếu tố như chiều dài và vận tốc tàu. Kích thước của vùng an toàn được xác định bằng các so sánh với các vùng an toàn trước đây ở hai khu vực vùng biển có mật độ tàu thuyền cao và vùng biển rộng ngoài đại dương. Khi vào một khu vực cụ thể, kích thước này có thể không chính xác do độ phức tạp của những khu vực này khác nhau. Đồng thời, vùng an toàn này tính toán chỉ số nguy cơ đâm va khi một tàu thuyền xâm nhập vào vùng an toàn của tàu kia, khi đó khoảng cách đã tương đối gần. Năm 2023, Buradak và các đồng nghiệp đã sử dụng hàm mật độ hạt nhân trên dữ liệu AIS tại khu vực luồng hàng hải để đánh

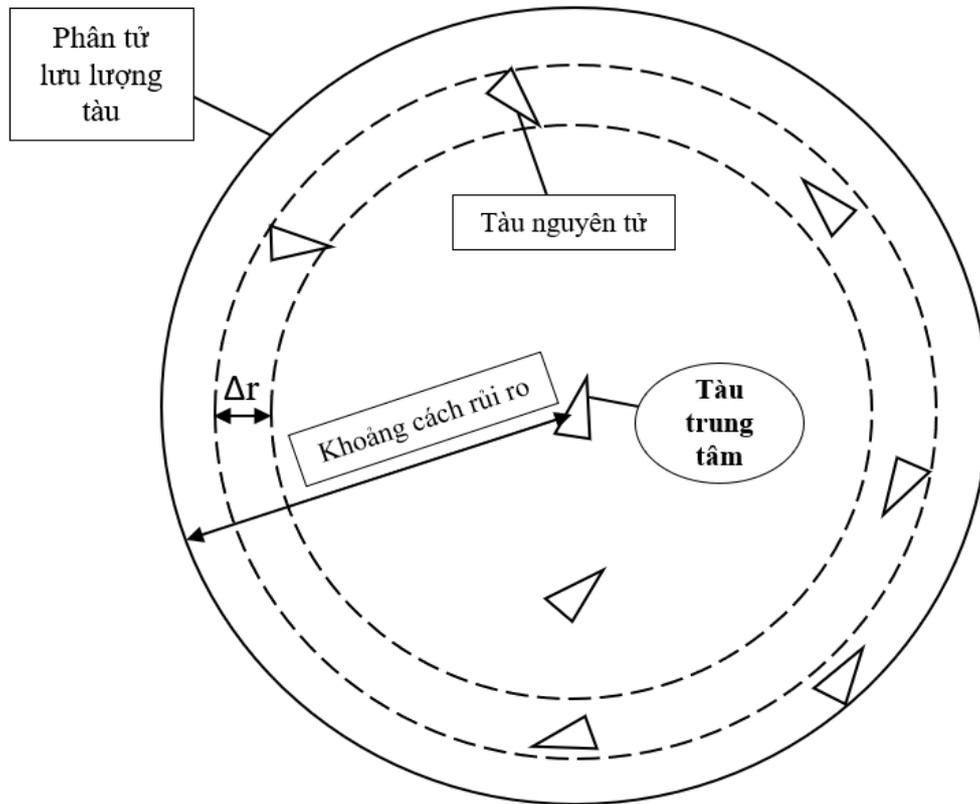
giá mật độ xung quanh tàu chủ, từ đó tìm ra đường bao của vùng an toàn cho từng loại tàu [70]. Tuy nhiên, vùng an toàn này tương đối giống với các vùng an toàn tĩnh của Hansen vào năm 2013 [54] hay Horteborn vào năm 2019 [57], có hình dạng cố định khi tàu thay đổi tốc độ.

Trong nghiên cứu này, hàm Gaussian được áp dụng cho hàm ước tính mật độ hạt nhân để thiết lập một vùng an toàn mới của tàu do nó có thể mô tả mọi rủi ro bên trong vùng an toàn này theo một cách chính xác, đáp ứng yêu cầu càng gần tàu thì ảnh hưởng càng lớn. Kỹ thuật ước tính mật độ phi tham số, cho phép tạo ra một đường cong mịn với các điểm dữ liệu. Hơn nữa, hàm Gaussian có dạng đối xứng, hình dạng phù hợp để mô tả chuyển động của tàu, kết hợp với việc xác định tham số độ mịn có thể điều chỉnh được kích thước vùng an toàn của tàu tại những khu vực khác nhau.

2.3. Xây dựng vùng an toàn mới của tàu dựa trên hàm ảnh hưởng

Giả sử toàn bộ lưu lượng tàu được coi là một phân tử (molecule), cụ thể là phân tử lưu lượng tàu (ship traffic molecule), trong đó các tàu trong lưu lượng tàu được giả định là các nguyên tử (atom) (Hình 2.9). Để lập mô hình vùng an toàn thể hiện mật độ xung quanh một nguyên tử tàu cần phải biểu thị mật độ ở các khoảng cách khác nhau tính từ hạt trung tâm. Khoảng cách được coi là một tham số quan trọng cần thiết cho vùng an toàn. Càng có nhiều tàu xung quanh ở khoảng cách liền kề thì mật độ xung quanh tàu trung tâm sẽ càng lớn. Khoảng cách là yếu tố quan trọng nhất trong việc xác định mật độ xung quanh một nguyên tử nhất định, bởi vì vùng an toàn mới được xây dựng với sự phân bố của các hạt dựa trên khoảng cách và nó đánh giá trạng thái phân bố xung quanh một hạt. Đối với hệ thống giao thông hàng hải, khoảng cách cũng là một thông số quan trọng. Nó có thể ảnh hưởng đến mật độ tàu, và là thước đo cơ bản lưu lượng tàu để mô tả tình hình giao thông. Nói chung, khoảng cách càng nhỏ, mật độ tàu càng lớn và lưu lượng tàu càng đông đúc. Vì vậy, ta phải xác định được mật độ của các nguyên tử xung quanh tàu ở các khoảng cách rủi ro khác nhau. Do giao thông hàng hải được hình thành trên mặt nước nên hệ thống phân tử lưu lượng tàu nên được coi là một hệ thống các nguyên tử tàu được sắp xếp trong

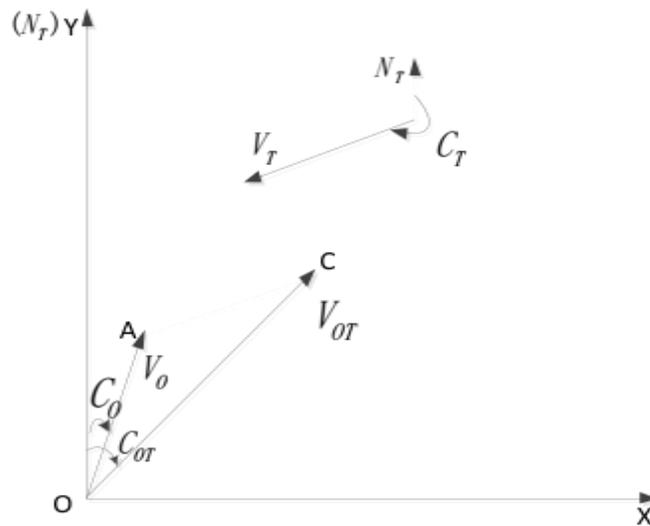
không gian hai chiều. Quá trình tính toán liên quan cần được quy đổi về diện tích hình tròn. Theo lý thuyết trường, khi tốc độ tương đối không đổi, nguy cơ đâm va của mọi điểm trong khoảng Δr đối với tàu chủ là như nhau vì khoảng cách bằng nhau.



Hình 2.9. Mô hình phân tử lưu lượng tàu

Tuy nhiên, theo phương pháp truyền thống, sỹ quan hàng hải thường đánh giá nguy cơ đâm va giữa tàu chủ (OS) và tàu mục tiêu (TS) ở chế độ chuyển động tương đối.

Gọi V_o và C_o biểu thị tốc độ và hướng của tàu chủ, V_T và C_T biểu thị tốc độ và hướng của tàu mục tiêu. Ngoài ra, V_R (TO) là tốc độ tương đối của tàu mục tiêu đối với tàu chủ và V_R (OT) là tốc độ tương đối của tàu chủ với tàu mục tiêu. Khi tốc độ và hướng đi của tàu chủ và tàu mục tiêu đã biết và không đổi, thì tốc độ tương đối (V_x) và hướng đi tương đối (C_{OT}) là bất biến bất kể vị trí của tàu [80], như thể hiện trong Hình 2.10.



Hình 2.10. Tốc độ và hướng chuyển động tương đối của tàu chủ với tàu mục tiêu

Theo Hình 2.10, tàu chủ nằm ở gốc của hệ trục tọa độ vuông góc. Hướng trục Y là hướng bắc và hướng trục X là hướng đông [80]. Ta có:

$$V_x = V_O \times \sin C_O + V_T \times \sin(C_T + \pi) \quad (2.5)$$

$$V_y = V_O \times \cos C_O + V_T \times \cos(C_T + \pi) \quad (2.6)$$

$$V_{OT} = \sqrt{V_x^2 + V_y^2} \quad (2.7)$$

$$C_{OT} = \begin{cases} \operatorname{tg}^{-1}\left(\frac{V_x}{V_y}\right) & (V_x \geq 0, V_y > 0) \\ 90 & (V_x > 0, V_y = 0) \\ 180 + \operatorname{tg}^{-1}\left(\frac{V_x}{V_y}\right) & (V_y < 0) \\ 270 & (V_x < 0, V_y = 0) \\ 360 + \operatorname{tg}^{-1}\left(\frac{V_x}{V_y}\right) & (V_x < 0, V_y > 0) \\ 0 & (V_x = 0, V_y = 0) \end{cases} \quad (2.8)$$

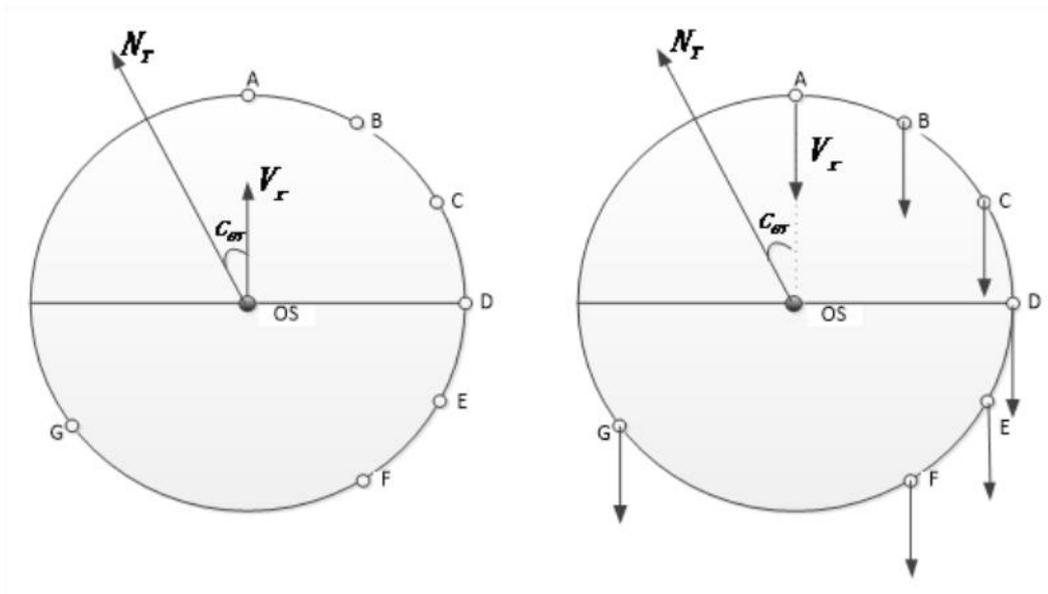
Trong đó:

V_O và C_O lần lượt là tốc độ và hướng của tàu chủ

V_T và C_T lần lượt là tốc độ và hướng của tàu mục tiêu

V_{OT} và C_{OT} lần lượt là tốc độ tương đối và hướng đi tương đối của tàu chủ đối với tàu mục tiêu

V_x và V_y lần lượt là tốc độ tương đối của tàu chủ đối với tàu mục tiêu trên trục x và trục y

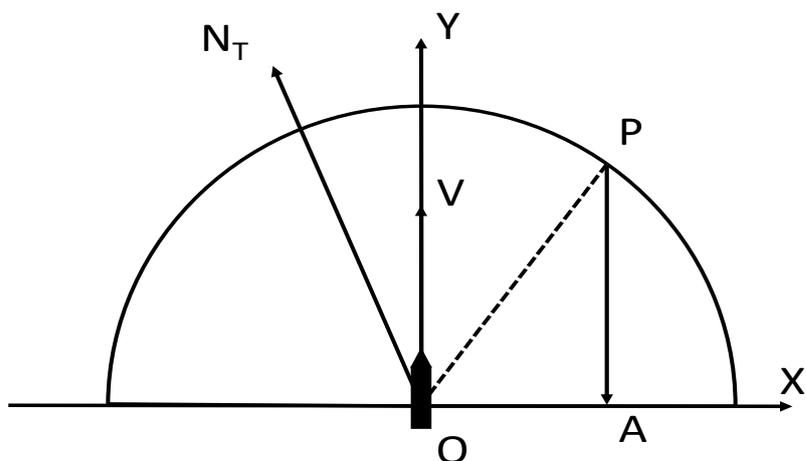


Hình 2.11. Chuyển động tương đối của OS và TS

Như Hình 2.11, OS biểu thị tàu chủ. N_T biểu thị hướng bắc thật. Nếu hướng và tốc độ của tàu mục tiêu không đổi, tàu mục tiêu sẽ di chuyển theo đường tròn có tâm là OS và bán kính R; các điểm A, B, C, D, E, F và G đại diện cho các vị trí của tàu mục tiêu trong quá trình di chuyển: điểm A nằm ngay trước tàu chủ, điểm B và C nằm bên phải hướng chuyển động của tàu chủ, điểm D là ở mạn phải, các điểm còn lại (E, F và G) ở phía sau tàu chủ. Rõ ràng là các điểm phía sau không đặt tàu chủ vào nguy cơ đâm va; do đó, nguy cơ đâm va của các điểm E, F và G bằng 0 đối với tàu mục tiêu. Nguy cơ đâm va cao nhất đối với tàu mục tiêu ở các khu vực ngay phía trước và các khu vực lân cận.

Nguy cơ đâm va được thể hiện dưới dạng một điểm trong không gian trường, liên quan đến tốc độ và khoảng cách tương đối giữa tàu chủ và một điểm. Một mặt, tốc độ tương đối của tàu mục tiêu càng cao thì nguy cơ va chạm càng cao. Mặt khác, khoảng cách của tàu mục tiêu càng lớn thì nguy cơ va chạm càng thấp. Trong

ngiên cứu này, hàm ước tính mật độ hạt nhân được sử dụng để xác định nguy cơ đâm va động xung quanh một con tàu (Dynamic Collision Risk - DCR).



Hình 2.12. Mô hình trường nguy cơ đâm va

Hệ tọa độ của trường nguy cơ đâm va được thể hiện trong Hình 2.12. Điểm gốc nằm ở tâm của tàu chủ và vectơ vận tốc của tàu chủ so với tàu mục tiêu tạo thành trục Y đi qua điểm gốc. Trục X vuông góc với trục Y và đi qua gốc tọa độ. Do đó, điểm gốc đại diện cho tàu chủ và đường chuyển động của con tàu mục tiêu so với tàu chủ song song với trục Y.

Giả sử rằng một mục tiêu được đặt tại một điểm P có tọa độ (x_p, y_p) trong trường, điểm A là hình chiếu của P trên trục X. Đường PA là đường chuyển động tương đối của mục tiêu tại P so với tàu chủ. Điểm chiếu A là CPA từ mục tiêu đến tàu chủ và khoảng cách từ gốc tọa độ O đến điểm A (d_{OA}) DCPA từ tàu chủ đến mục tiêu. Khoảng cách từ điểm P đến điểm A (d_{PA}) là khoảng cách từ mục tiêu đến CPA, là sản phẩm của thời gian cần thiết đến CPA (TCPA) và tốc độ của tàu V.

$$d_{OA} = DCPA_p = |x_p| \quad (2.9)$$

$$d_{PA} = TCPA_p \times V = |y_p| \quad (2.10)$$

Trong đó:

d_{OA} là khoảng cách gần nhất từ tàu đến điểm A theo hướng chuyển động (CPA).

d_{PA} là khoảng cách từ điểm P đến CPA.

x_p, y_p là tọa độ của điểm P theo hệ tọa độ OXY

V là tốc độ của tàu.

Đại lượng không thứ nguyên của d_{OA} và d_{PA} là:

$$d'_{OA} = |x_p|/L \quad (2.11)$$

$$d'_{PA} = |y_p|/L \quad (2.12)$$

Trong đó:

L là chiều dài tàu.

d'_{OA} và d'_{PA} là đại lượng không thứ nguyên của d_{OA} và d_{PA}

Thay d'_{OA} và d'_{PA} vào công thức 2.4 ta có nguy cơ đâm va động xung quanh tàu chủ được xác định như sau:

$$DCR(P) = f(x, y) = \frac{1}{nh_x h_y} \sum_{i=1}^n K \left(\sqrt{\left(\frac{d'_{OA}}{h_x}\right)^2 + \left(\frac{d'_{PA}}{h_y}\right)^2} \right) \quad (2.13)$$

Trong đó:

$DCR(P)$ là nguy cơ đâm va động xung quanh tàu chủ, giá trị được gán cho mọi điểm P trong không gian trường.

Độ mịn cho 2 trục X và Y bằng nhau nên $h_x = h_y$, do đó:

$$DCR(P) = \frac{1}{nh^2} \sum_{i=1}^n K \left(\sqrt{\frac{d'^2_{OA} + d'^2_{PA}}{h^2}} \right) \quad (2.14)$$

Thay công thức 2.11 và 2.12 vào công thức 2.14 ta được:

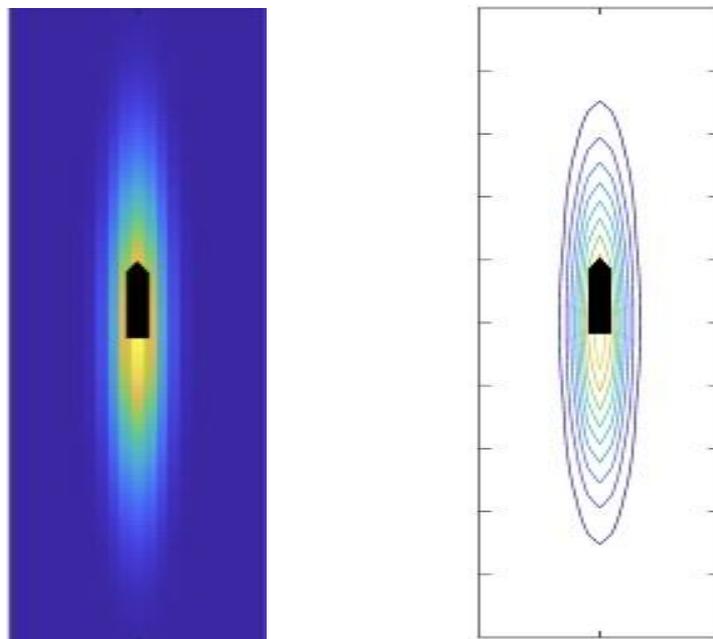
$$DCR(P) = \frac{1}{nh^2} \sum_{i=1}^n K \left(\sqrt{\frac{x_p^2 + y_p^2}{L^2 h^2}} \right) \quad (2.15)$$

Áp dụng hàm Gaussian cho hàm ước tính hạt nhân K ta có:

$$DCR(P) = \frac{1}{nh^2} \sum_{i=1}^n \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{x_p^2 + y_p^2}{2L^2 h^2}} \quad (2.16)$$

Mỗi mục tiêu P có một phạm vi tác dụng khác nhau từ tàu chủ. DCR được sử dụng làm giá trị để phản ánh phân bố nguy cơ đâm va động của tàu chủ tới một mục tiêu bất kỳ trong môi trường xung quanh. Khoảng cách giữa tàu chủ và mục tiêu càng lớn thì ảnh hưởng này càng nhỏ. Các mục tiêu có cùng giá trị DCR nhưng khoảng cách từ tàu chủ đến các mục tiêu này có thể khác nhau tùy theo vị trí tương quan.

Sau khi tính toán tất cả nguy cơ đâm va động DCR trong phân tử lưu lượng tàu, vùng an toàn của tàu được tạo ra bằng cách nối tất cả các điểm có cùng giá trị DCR tạo thành một vùng an toàn dựa trên bản đồ nhiệt đối xứng, có dạng hình elip xung quanh tàu chủ, gọi là Heat Ship Domain (HSD) - Vùng an toàn mới của tàu dựa trên hàm ảnh hưởng - Vùng an toàn HSD (Hình 2.13)



Hình 2.13. Vùng an toàn mới của tàu được xây dựng bằng hàm hạt nhân - Heat Ship Domain (HSD)

2.4. Xác định kích thước vùng an toàn HSD

2.4.1. Phương pháp xác định kích thước vùng an toàn HSD

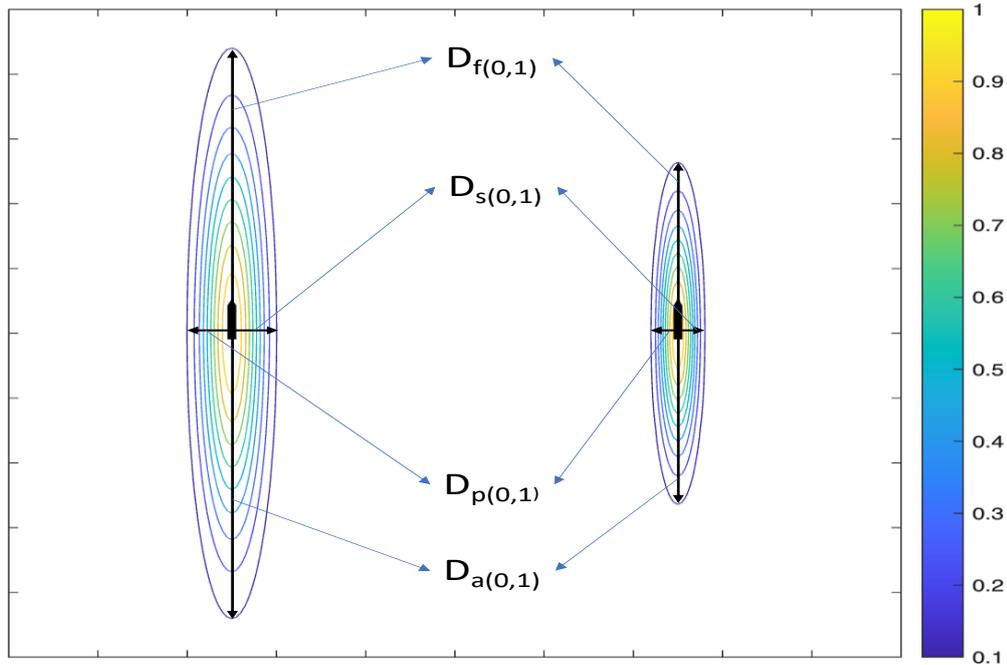
HSD thể hiện mức độ nguy hiểm xung quanh tàu bằng DCR có giá trị biến thiên từ 0 (chưa nguy hiểm) đến 1 (đâm va). Các điểm xung quanh tàu có cùng giá trị DCR được nối với nhau tạo thành các đường elip đẳng trị. Tỷ lệ chiều dài của nửa elip phía trước mũi tàu có thể được điều chỉnh bởi tham số độ mịn h . Độ mịn h cũng có thể coi là một tham số đại diện cho một khu vực. Vì mỗi một vùng biển sẽ có đặc tính về địa hình, điều kiện khí tượng thủy văn đặc trưng. Điều này dẫn đến các tàu không thể áp dụng chung một vùng an toàn cho tất cả các vùng biển để đánh giá nguy cơ đâm va. Vì vậy, việc xác định tham số độ mịn h tại từng khu vực rất quan trọng. Cùng một tàu chủ với chiều dài và vận tốc nhất định, độ lớn của vùng an toàn HSD sẽ khác nhau khi độ mịn h khác nhau. Đường bao của HSD sẽ tương ứng với đường elip đẳng trị có giá trị 0,1. Với mỗi giá trị của h sẽ cho một bộ kích thước của HSD tương ứng với giá trị 0,1 của DCR: $D_{f(0,1)}$, $D_{a(0,1)}$, $D_{p(0,1)}$, $D_{s(0,1)}$ (Hình 2.14). Có thể nói rằng $D_{f(0,1)}$, $D_{a(0,1)}$, $D_{p(0,1)}$, $D_{s(0,1)}$ chính là những hàm số với biến h .

$$\begin{cases} D_{f(0,1)} = f_1(h) \\ D_{a(0,1)} = f_2(h) \\ D_{p(0,1)} = f_3(h) \\ D_{s(0,1)} = f_4(h) \end{cases} \quad (2.17)$$

Trong đó:

$D_{f(0,1)}$, $D_{a(0,1)}$, $D_{p(0,1)}$, $D_{s(0,1)}$ lần lượt là bán kính của HSD về phía mũi, lái, mạn trái, mạn phải của elip đẳng trị 0,1 của DCR

$f_1(h)$, $f_2(h)$, $f_3(h)$, $f_4(h)$ lần lượt là các hàm số với biến h về phía mũi, lái, mạn trái, mạn phải.



Hình 2.14. Kích thước vùng an toàn HSD với giá trị h khác nhau

Để xác định được độ mịn h, phương pháp Bình phương nhỏ nhất (Least Square Method) sẽ được áp dụng. Đây là phương pháp tối ưu hóa để lựa chọn một đường khớp nhất cho một dải dữ liệu ứng với cực trị của tổng các sai số thống kê (error) giữa đường khớp và dữ liệu.

Theo định nghĩa của phương pháp Bình phương nhỏ nhất, giả sử giá trị của hàm f có thể thay đổi theo tham số p_j với $j = 1, 2, \dots, m$.

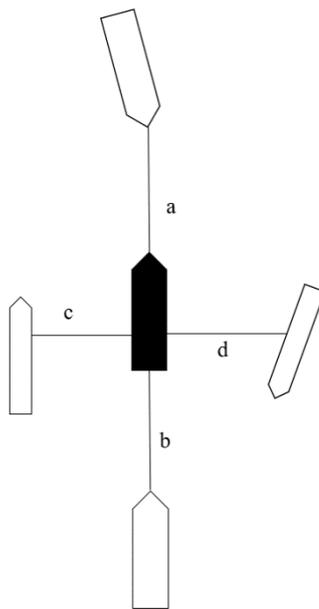
$$f(x) = f(p_j, x) \quad (2.18)$$

Mục tiêu của phương pháp là tìm giá trị của các tham số p_j sao cho biểu thức sau đạt cực tiểu:

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^n (y_i - f(x_i))^2 \quad (2.19)$$

Như vậy, giá trị h tối ưu cho HSD sẽ được xác định tương ứng với $\min \chi^2$. Để làm được việc này, trước hết phải tìm được bộ các giá trị khoảng cách an toàn để so sánh với kích thước của vùng an toàn HSD tương ứng với đường elip đẳng trị có giá trị 0,1.

Để có được bộ giá trị này, phương pháp khảo sát lấy ý kiến chuyên gia đã được thực hiện. Loại công cụ khảo sát cụ thể là bảng câu hỏi, ưu điểm của bảng câu hỏi là cung cấp việc thu thập dữ liệu với chi phí thấp, dữ liệu thu về có độ tin cậy cao, trả lời đúng trọng tâm câu hỏi, có thể tạo điều kiện tiếp cận với những người tham gia có khoảng cách về mặt địa lý. Phiếu khảo sát liên quan đến khoảng cách tối thiểu mà một tàu mong muốn được duy trì với tàu khác theo 4 hướng: hướng trước mũi (000°) có khoảng cách là a (mét); hướng sau lái (180°) có khoảng cách là b; hướng mạn trái (270°) có khoảng cách là c (mét) và hướng mạn phải (090°) có khoảng cách là d (mét) như Hình 2.15. Chiều dài toàn bộ tàu sẽ được tham khảo theo chiều dài tàu, quy định về Hạng hoa tiêu hàng hải, mức 1 (tàu có chiều dài dưới 115m), mức 2 (tàu có chiều dài từ 116m đến 145m), mức 3 (tàu có chiều dài từ 146m đến 175m) và mức 4 (tàu có chiều dài trên 175m) [1].



Hình 2.15. Ý kiến về khoảng cách an toàn với tàu chủ tại khu vực khảo sát

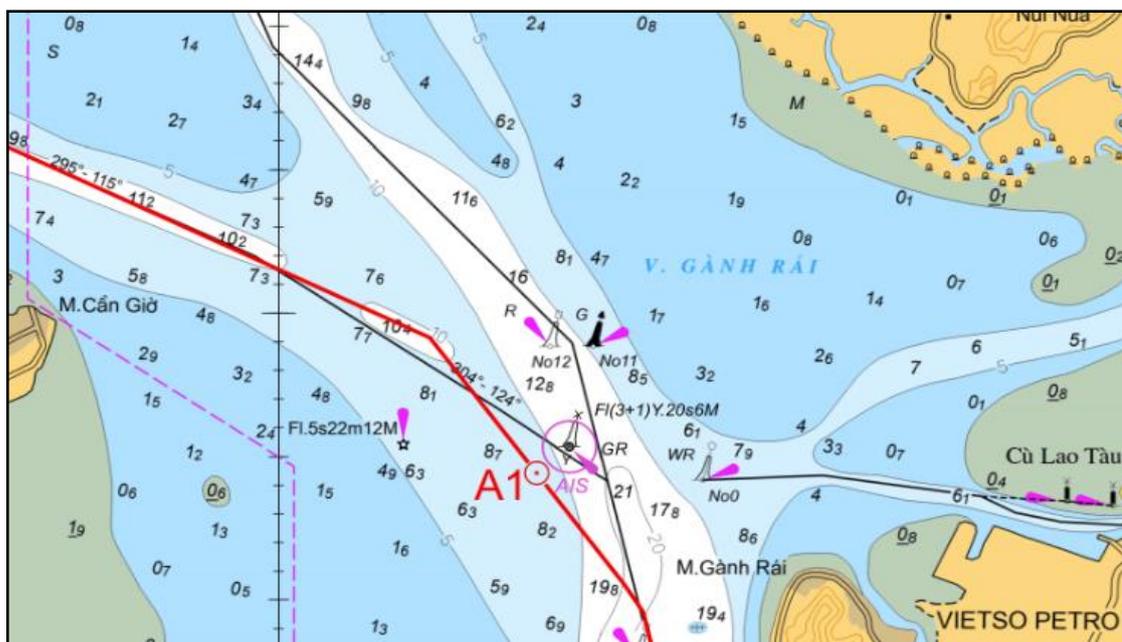
Trong đó: a là khoảng cách trước mũi (mét); b là khoảng cách sau lái (mét); c là khoảng cách mạn trái (mét); d là khoảng cách mạn phải (mét).

Khu vực được khảo sát trên khu vực luồng Hải Phòng là khu vực 2 đầu kênh Hà Nam, đầu phía Đông, gần cặp phao HP29, HP30 và đầu phía Tây, gần cặp phao HP43, HP46 (Hình 2.16).

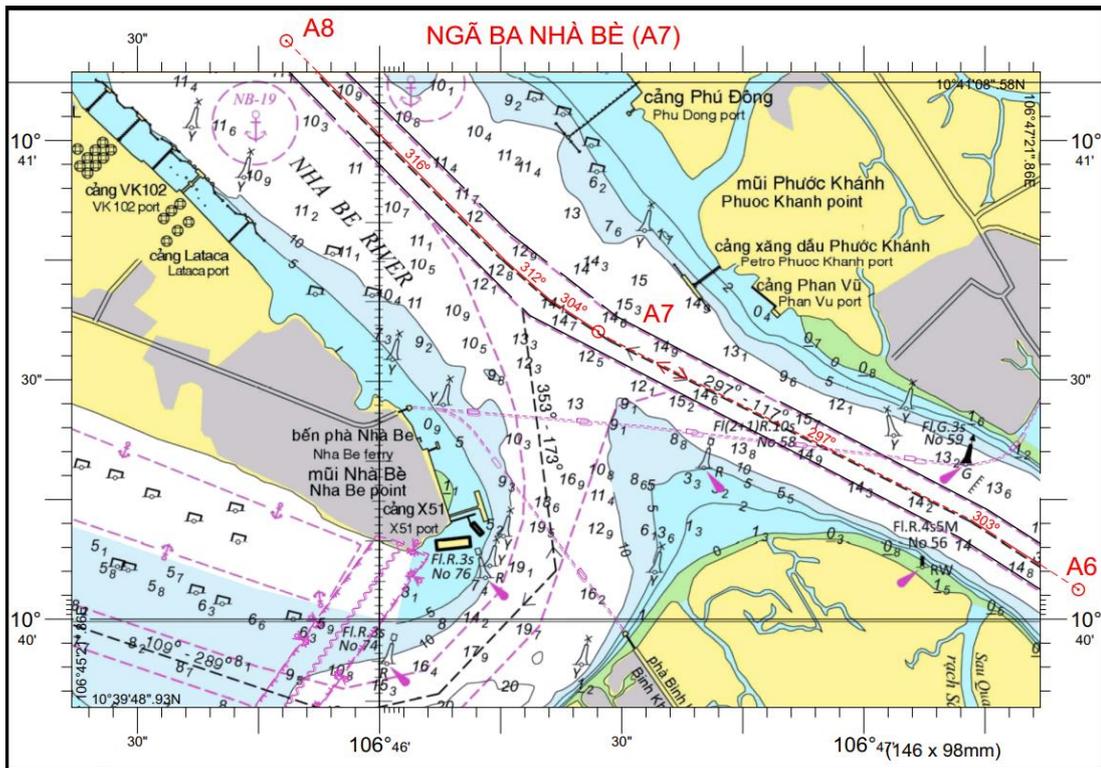


Hình 2.16. Khu vực khảo sát trên luồng Hải Phòng (2 đầu kênh Hà Nam)

Trên khu vực luồng Sài Gòn - Vũng Tàu, ý kiến chuyên gia sẽ được khảo sát tại 2 khu vực là gần phao GR, có tọa độ A1 (Hình 2.17) và khu vực Ngã ba Nhà Bè, gần phao 58 (Hình 2.18).



Hình 2.17. Khu vực khảo sát trên luồng Sài Gòn - Vũng Tàu (gần phao GR)



Hình 2.18. Khu vực khảo sát trên luồng Sài Gòn Vũng Tàu (Ngã ba Nhà Bè)

Cùng với lợi thế phát triển kinh tế, số lượng hàng hóa, lượt tàu thuyền ra vào tiếp tục được dự đoán tăng lên trong những năm tiếp theo, điều này đã và đang gây ra những áp lực giao thông lên hệ thống luồng hàng hải của Hải Phòng và Sài Gòn - Vũng Tàu. Cùng với sự phức tạp về địa hình đã tạo ra một số khu vực tiềm ẩn nhiều nguy cơ đâm va như khu vực 2 đầu kênh Hà Nam, khu vực đối diện đèn Aryo và khu vực gần thượng lưu cảng Cẩm lân cận khu vực ngã ba cửa sông Ruột Lợn... trên luồng Hải Phòng. Trên tuyến luồng Sài Gòn Vũng Tàu cũng xuất hiện nhiều khu vực có nguy cơ đâm va như: khu vực gần phao số 0, nơi có các tàu di chuyển ra vào luồng, ra vào các khu neo đậu; khu vực gần phao GR, là giao lộ của 3 tuyến luồng; khu vực Ngã ba Nhà Bè, Khúc cua Đá Hàn,... đều có mật độ tàu thuyền đông, di chuyển phức tạp. Vì vậy, việc khảo sát chỉ lấy ở 2 đầu kênh Hà Nam (trên luồng Hải Phòng) và khu vực gần phao GR, Ngã ba Nhà Bè (trên luồng Sài Gòn - Vũng Tàu) sẽ đảm bảo tính chính xác, phù hợp cho việc xác định kích thước của vùng an toàn HSD của tàu tại 2 tuyến luồng đông đúc này.

Sau khi có được các bộ giá trị khoảng cách an toàn từ các chuyên gia, ta có:

$$\begin{cases} \Delta d_f(h) = (D_{f(0,1)}(h) - a)^2 \\ \Delta d_a(h) = (D_{a(0,1)}(h) - b)^2 \\ \Delta d_s(h) = (D_{s(0,1)}(h) - c)^2 \\ \Delta d_p(h) = (D_{p(0,1)}(h) - d)^2 \end{cases} \quad (2.20)$$

Trong đó:

- $D_{f(0,1)}$, $D_{a(0,1)}$, $D_{p(0,1)}$, $D_{s(0,1)}$ lần lượt là bán kính của HSD về phía mũi, lái, trái, phải của elip đẳng trị 0,1 của DCR.

- $\Delta df(h)$, $\Delta da(h)$, $\Delta ds(h)$, $\Delta dp(h)$ lần lượt là bình phương chênh lệch khoảng cách về phía mũi, lái, mạn phải, trái so với giá trị khảo sát.

- a, b, c, d lần lượt là khoảng cách khảo sát an toàn về mũi, lái, mạn trái, phải.

Hàm mục tiêu sẽ có dạng:

$$\Delta d(h) = \sum_{i=1}^4 \Delta d_i(h) \quad (2.21)$$

Trong đó: $\Delta d(h)$ là tổng bình phương chênh lệch khoảng cách so với giá trị khảo sát.

Giá trị h tương ứng sẽ được xác định bằng công thức 2.21, từ đó, ta sẽ có kích thước của HSD tương ứng với giá trị 0,1 của DCR cho từng khu vực khác nhau.

2.4.2. Kết quả khảo sát trên khu vực luồng Hải Phòng và Sài Gòn - Vũng Tàu

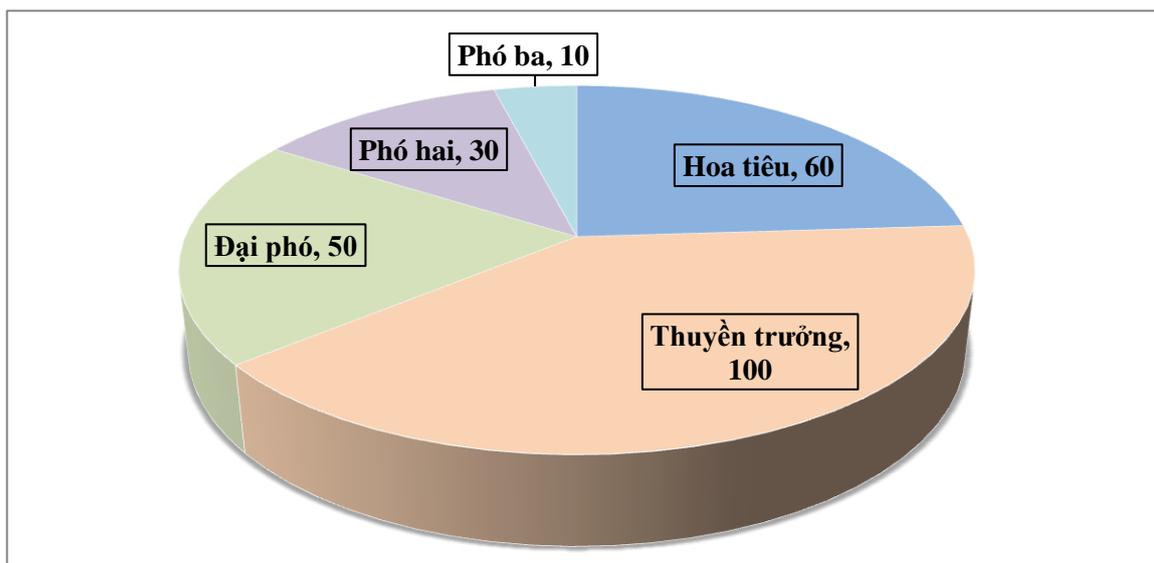
Trên cơ sở kết quả phân tích, đánh giá tại Chương 1 về vị trí địa lý, hệ thống các tuyến luồng, lượng hàng hóa, mật độ tàu thuyền ra vào các cảng biển của Việt Nam, có thể thấy, trên toàn bộ các tuyến luồng của Việt Nam hiện nay, luồng Hải Phòng và luồng Sài Gòn - Vũng Tàu có địa hình phức tạp, nhiều đoạn quanh co, một số đoạn có độ rộng luồng hẹp, dòng chảy phức tạp. Hai tuyến luồng trên xuất hiện các điểm giao nhau tập trung đông tàu thuyền, có những đoạn tàu thuyền chỉ có thể đi một chiều, nhiều đoạn luồng việc tránh, vượt nhau giữa các tàu gặp nhiều khó khăn. Trong 05 năm gần đây, lượng hàng hóa, tàu thuyền ra vào cảng thông qua 2 tuyến luồng này luôn ở mức cao, tăng dần theo từng năm, dẫn đến áp lực rất lớn cho tàu thuyền khi hành trình và các nhà quản lý giao thông hàng hải tại đây.

Mặt khác, tại các tuyến luồng khác trên vùng biển Việt Nam như khu vực miền Trung, lưu lượng hàng hóa không nhiều, quy mô hoạt động không lớn, một số tuyến luồng thường thực hiện nhiệm vụ trung gian để vận chuyển hàng hóa đến các cảng biển lớn như Hải Phòng và Sài Gòn - Vũng Tàu.

Do mật độ tàu thuyền lớn, địa hình phức tạp, mặc dù đã được cải tạo, nâng cấp nhưng luồng Hải Phòng và Sài Gòn - Vũng Tàu vẫn có nhiều điểm tập trung đông tàu thuyền, tiềm ẩn nguy cơ đâm. Chính vì vậy, trên 02 tuyến luồng này sẽ có nhiều tình huống xảy ra giữa các tàu, thuận tiện cho việc tính toán xác định vùng an toàn xung quanh tàu.

Các chuyên gia được lấy ý kiến khảo sát là Hoa tiêu hàng hải, các sỹ quan hàng hải trên tàu đi qua luồng, đây là lực lượng có năng lực chuyên môn về hàng hải, được đào tạo bài bản, chuyên sâu để dẫn tàu ra vào khu vực luồng Hải Phòng, Sài Gòn - Vũng Tàu. Họ là những người có sự am hiểu chuyên sâu về hệ thống luồng, kích cỡ luồng, độ sâu, dòng chảy, thủy triều ... theo từng ngày, từng giờ. Ngoài ra, thuyền trưởng, sỹ quan hàng hải của các tàu thường xuyên ra vào luồng cũng được lấy ý kiến khảo sát. Mỗi một chuyên gia đều được phát một phiếu khảo sát, tại đây, thông tin của người khảo sát được cung cấp như họ và tên, chức danh và đơn vị công tác. Khi hành trình qua đây, với đặc điểm luồng, dòng chảy, thủy triều, ... đối với mỗi tàu có chiều dài toàn tàu và tốc độ khác nhau, bằng kinh nghiệm của mình, chuyên gia sẽ ghi chép khoảng cách an toàn về phía trước mũi, sau lái, mạn trái và mạn phải của tàu.

Số lượng chuyên gia được lấy ý kiến khảo sát khoảng 250, trong đó: Hoa tiêu hàng hải là 60 người (gồm có các hoa tiêu ngoại hạng, hạng 1, hạng 2 và hạng 3); Sỹ quan hàng hải khoảng 190 người (Hình 2.19).



Hình 2.19. Số lượng khảo sát theo chức danh

Mỗi chuyên gia sẽ trả lời phiếu khảo sát để tìm ra giá trị a, b, c, d. Như vậy mỗi chuyên gia sẽ đưa ra một bộ khoảng cách an toàn theo 4 hướng chính quanh tàu theo kinh nghiệm của mình với từng loại tàu. Theo số lượng ý kiến chuyên gia thu được, sẽ có khoảng 250 kết quả cho mỗi loại tàu tại mỗi khu vực.

2.4.2.1. Kết quả khảo sát trên khu vực luồng Hải Phòng

Kết quả khảo sát thu được cho các loại tàu trên khu vực luồng Hải Phòng tại đầu phía Đông (E) kênh Hà Nam được thống kê trong từ Bảng 2.2 đến Bảng 2.5 với giá trị vận tốc 10kn. Kết quả khảo sát tại đầu phía Tây (W) kênh Hà Nam được thống kê trong từ Bảng 2.6 đến Bảng 2.9 với giá trị vận tốc 10kn. Trong mỗi bảng, kết quả được chia ra làm 3 loại: nhỏ nhất, lớn nhất và lựa chọn thường xuyên.

Bảng 2.2. Kết quả khảo sát khoảng cách an toàn tại khu vực phía Đông (E) kênh Hà Nam đối với tàu $LOA \leq 115m$

LOA $\leq 115m$	Nhỏ nhất	Lớn nhất	Lựa chọn thường xuyên
a. Khoảng cách trước mũi (mét)	350	900	500 - 600
b. Khoảng cách sau lái (mét)	350	900	450-500
c. Khoảng cách mạn trái (mét)	25	50	30 - 35
d. Khoảng cách mạn phải (mét)	25	50	30 - 35

Bảng 2.3. Kết quả khảo sát khoảng cách an toàn tại khu vực phía Đông (E) kênh Hà Nam đối với tàu có $115m < LOA \leq 145m$

$115m < LOA \leq 145m$	Nhỏ nhất	Lớn nhất	Lựa chọn thường xuyên
a. Khoảng cách trước mũi (mét)	400	900	600 - 700
b. Khoảng cách sau lái (mét)	400	900	450-500
c. Khoảng cách mạn trái (mét)	25	50	30 - 35
d. Khoảng cách mạn phải (mét)	25	50	30 - 35

Bảng 2.4. Kết quả khảo sát khoảng cách an toàn tại khu vực phía Đông (E) kênh Hà Nam đối với tàu có $145m < LOA \leq 175m$

$145m < LOA \leq 175m$	Nhỏ nhất	Lớn nhất	Lựa chọn thường xuyên
a. Khoảng cách trước mũi (mét)	450	1300	650 - 750
b. Khoảng cách sau lái (mét)	450	1300	450-500
c. Khoảng cách mạn trái (mét)	30	50	30 - 35
d. Khoảng cách mạn phải (mét)	30	50	30 - 35

Bảng 2.5. Kết quả khảo sát khoảng cách an toàn tại khu vực phía Đông (E) kênh Hà Nam đối với tàu có $LOA > 175m$

$LOA > 175m$	Nhỏ nhất	Lớn nhất	Lựa chọn thường xuyên
a. Khoảng cách trước mũi (mét)	600	1600	650 - 800
b. Khoảng cách sau lái (mét)	600	1600	600-800
c. Khoảng cách mạn trái (mét)	30	50	30 - 35
d. Khoảng cách mạn phải (mét)	30	50	30 - 35

Bảng 2.6. Kết quả khảo sát khoảng cách an toàn tại khu vực phía Tây (W) kênh Hà Nam đối với tàu có $LOA \leq 115m$

LOA $\leq 115m$	Nhỏ nhất	Lớn nhất	Lựa chọn thường xuyên
a. Khoảng cách trước mũi (mét)	370	900	550 - 600
b. Khoảng cách sau lái (mét)	370	900	450-500
c. Khoảng cách mạn trái (mét)	25	50	30 - 35
d. Khoảng cách mạn phải (mét)	25	50	30 - 35

Bảng 2.7. Kết quả khảo sát khoảng cách an toàn tại khu vực đầu phía Tây (W) kênh Hà Nam đối với tàu có $115m < LOA \leq 145m$

115m < LOA $\leq 145m$	Nhỏ nhất	Lớn nhất	Lựa chọn thường xuyên
a. Khoảng cách trước mũi (mét)	400	1000	600 - 700
b. Khoảng cách sau lái (mét)	400	900	450-500
c. Khoảng cách mạn trái (mét)	25	50	30 - 35
d. Khoảng cách mạn phải (mét)	25	50	30 - 35

Bảng 2.8. Kết quả khảo sát khoảng cách an toàn tại khu vực phía Tây (W) kênh Hà Nam đối với tàu có $145m < LOA \leq 175m$

145m < LOA $\leq 175m$	Nhỏ nhất	Lớn nhất	Lựa chọn thường xuyên
a. Khoảng cách trước mũi (mét)	450	1400	650 - 750
b. Khoảng cách sau lái (mét)	450	1400	450-500
c. Khoảng cách mạn trái (mét)	30	50	30 - 35
d. Khoảng cách mạn phải (mét)	30	50	30 - 35

Bảng 2.9. Kết quả khảo sát khoảng cách an toàn tại khu vực phía Tây (W) kênh Hà Nam đối với tàu có LOA > 175m

LOA > 175m	Nhỏ nhất	Lớn nhất	Lựa chọn thường xuyên
a. Khoảng cách trước mũi (mét)	600	1550	650 - 800
b. Khoảng cách sau lái (mét)	600	1300	600-800
c. Khoảng cách mạn trái (mét)	30	50	30 - 35
d. Khoảng cách mạn phải (mét)	30	50	30 - 35

2.4.2.2. Kết quả khảo sát trên khu vực luồng Sài Gòn - Vũng Tàu

Kết quả khảo sát thu được cho các loại tàu trên khu vực luồng Sài Gòn - Vũng Tàu tại khu vực gần phao GR được thống kê trong từ Bảng 2.10 đến Bảng 2.13 với giá trị vận tốc 10kn. Kết quả khảo sát tại khu vực Ngã ba Nhà bè được thống kê trong từ Bảng 2.14 đến Bảng 2.17 với giá trị vận tốc 10kn.

Bảng 2.10. Kết quả khảo sát đối với tàu có LOA ≤ 115m tại khu vực gần phao GR

LOA ≤ 115m	Nhỏ nhất	Lớn nhất	Lựa chọn thường xuyên
a. Khoảng cách trước mũi (mét)	400	1480	800 - 1200
b. Khoảng cách sau lái (mét)	400	1480	800 - 1200
c. Khoảng cách mạn trái (mét)	58	185	80 - 120
d. Khoảng cách mạn phải (mét)	58	185	80 - 120

Bảng 2.11. Kết quả khảo sát đối với tàu có 115m < LOA ≤ 145m tại khu vực gần phao GR

115m < LOA ≤ 145m	Nhỏ nhất	Lớn nhất	Lựa chọn thường xuyên
a. Khoảng cách trước mũi (mét)	500	1480	850 - 1200
b. Khoảng cách sau lái (mét)	500	1480	850 - 1200
c. Khoảng cách mạn trái (mét)	70	185	90 - 140
d. Khoảng cách mạn phải (mét)	70	185	90 - 140

Bảng 2.12. Kết quả khảo sát đối với tàu có $145\text{m} < \text{LOA} \leq 175\text{m}$ tại khu vực gần phao GR

$145\text{m} < \text{LOA} \leq 175\text{m}$	Nhỏ nhất	Lớn nhất	Lựa chọn thường xuyên
a. Khoảng cách trước mũi (mét)	600	1800	900 - 1600
b. Khoảng cách sau lái (mét)	600	1800	900 - 1600
c. Khoảng cách mạn trái (mét)	80	185	100 - 150
d. Khoảng cách mạn phải (mét)	80	185	100 - 150

Bảng 2.13. Kết quả khảo sát đối với tàu có $\text{LOA} > 175\text{m}$ tại khu vực gần phao GR

$\text{LOA} > 175\text{m}$	Nhỏ nhất	Lớn nhất	Lựa chọn thường xuyên
a. Khoảng cách trước mũi (mét)	700	2780	1000 - 2200
b. Khoảng cách sau lái (mét)	700	2780	1000 - 2200
c. Khoảng cách mạn trái (mét)	90	270	120 - 180
d. Khoảng cách mạn phải (mét)	90	270	120 - 180

Bảng 2.14. Kết quả khảo sát đối với tàu có $\text{LOA} \leq 115\text{m}$ tại khu vực Ngã ba Nhà bè (phao 58) có tọa độ A7

$\text{LOA} \leq 115\text{m}$	Nhỏ nhất	Lớn nhất	Lựa chọn thường xuyên
a. Khoảng cách trước mũi (mét)	400	1480	800 - 1200
b. Khoảng cách sau lái (mét)	400	1480	800 - 1200
c. Khoảng cách mạn trái (mét)	58	185	80 - 120
d. Khoảng cách mạn phải (mét)	58	185	80 - 120

Bảng 2.15. Kết quả khảo sát đối với tàu có $115\text{m} < \text{LOA} \leq 145\text{m}$ tại khu vực Ngã ba Nhà bè (phao 58) có tọa độ A7

$115\text{m} < \text{LOA} \leq 145\text{m}$	Nhỏ nhất	Lớn nhất	Lựa chọn thường xuyên
a. Khoảng cách trước mũi (mét)	500	1600	1000 - 1200
b. Khoảng cách sau lái (mét)	500	1600	1000 - 1200
c. Khoảng cách mạn trái (mét)	70	185	90 - 140
d. Khoảng cách mạn phải (mét)	70	185	90 - 140

Bảng 2.16. Kết quả khảo sát đối với tàu có $145\text{m} < \text{LOA} \leq 175\text{m}$ tại khu vực Ngã ba Nhà bè (phao 58) có tọa độ A7

$145\text{m} < \text{LOA} \leq 175\text{m}$	Nhỏ nhất	Lớn nhất	Lựa chọn thường xuyên
a. Khoảng cách trước mũi (mét)	610	2200	1000 - 1400
b. Khoảng cách sau lái (mét)	610	2200	1000 - 1400
c. Khoảng cách mạn trái (mét)	80	185	100 - 150
d. Khoảng cách mạn phải (mét)	80	185	100 - 150

Bảng 2.17. Kết quả khảo sát đối với tàu có $\text{LOA} > 175\text{m}$ tại khu vực Ngã ba Nhà bè (phao 58) có tọa độ A7

$\text{LOA} > 175\text{m}$	Nhỏ nhất	Lớn nhất	Lựa chọn thường xuyên
a. Khoảng cách trước mũi (mét)	700	2200	1000 - 1400
b. Khoảng cách sau lái (mét)	700	2200	1000 - 1400
c. Khoảng cách mạn trái (mét)	90	270	120 - 180
d. Khoảng cách mạn phải (mét)	90	270	120 - 180

Kết quả khảo sát trên 2 tuyến luồng cho thấy, đối với mỗi tàu có chiều dài khác nhau, tốc độ khác nhau đều cho ra kết quả khác nhau. Tuy nhiên, khoảng cách an toàn về phía mũi và phía sau lái và khoảng cách an toàn giữa 2 bên mạn trái và phải tương đối đồng đều nhau.

Tại các khu vực khảo sát, đối với cùng một loại tàu có chiều dài giống nhau, nhưng khoảng cách an toàn về các hướng trên khu vực luồng Hải Phòng khảo sát nhỏ hơn so với khu vực luồng Sài Gòn - Vũng Tàu. Tàu có chiều dài dưới 115m, tại luồng Hải Phòng các chuyên gia đánh giá khoảng cách nhỏ nhất về phía mũi, lái khoảng 350m, luồng Sài Gòn - Vũng Tàu là 400m, tương đối gần nhau, tuy nhiên khoảng cách lớn nhất về phía mũi, lái giữa 2 khu vực lại rất chênh lệch, tại luồng Hải Phòng là 900m, luồng Sài Gòn - Vũng Tàu là 1.480m. Khoảng cách trung bình giữa về phía hai bên mạn của các tàu trên tuyến luồng Hải Phòng thường là 20-30m, tuy nhiên tại tuyến luồng Sài Gòn - Vũng Tàu trung bình từ 80-180m.

2.4.3. Kích thước của vùng an toàn HSD

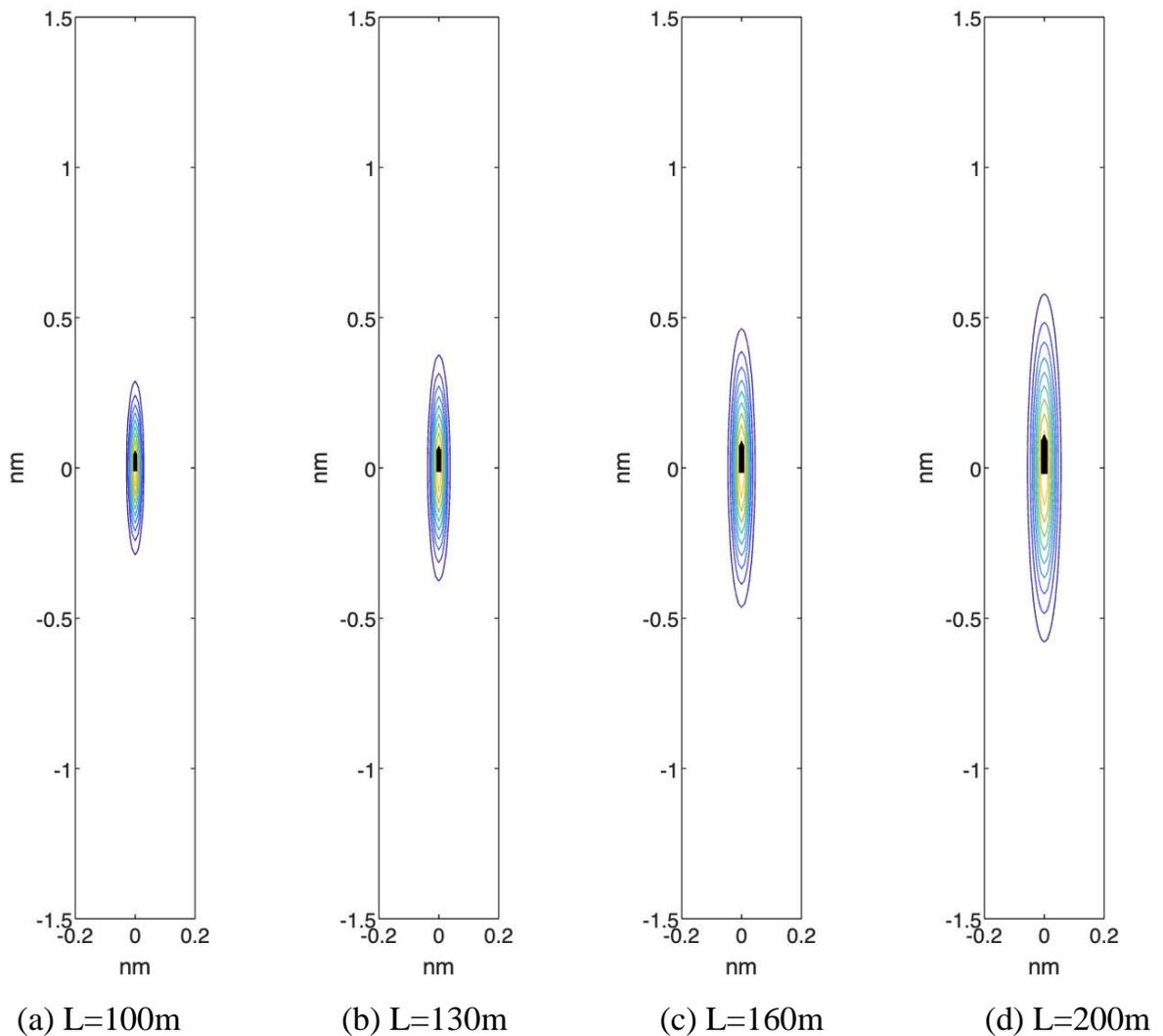
HSD được sử dụng để đánh giá nguy cơ đâm va với tàu chủ chia theo từng mức độ nguy hiểm DCR. Áp dụng phương pháp Bình phương nhỏ nhất với kích thước của HSD tương ứng với đường elip đẳng trị có giá trị 0,1, giá trị tối ưu h của mỗi loại tàu trên mỗi khu vực sẽ khác nhau.

Trên khu vực luồng Hải Phòng sẽ được xác định khi so sánh với giá trị lớn nhất về khoảng cách an toàn theo khảo sát của chuyên gia. Áp dụng công thức 2.20 và công thức 2.21, bảng kết quả giá trị h tại khu vực luồng Hải Phòng thu được như Bảng 2.18.

Bảng 2.18. Giá trị h của các loại tàu trên luồng Hải Phòng

Loại tàu	$\leq 115\text{m}$	116m - 145m	146m - 175m	$\geq 176\text{m}$
h	0.22	0.21	0.2	0.2

Với các giá trị h thu được, kích thước HSD của các loại tàu trên luồng Hải Phòng được mô tả như Hình 2.20.



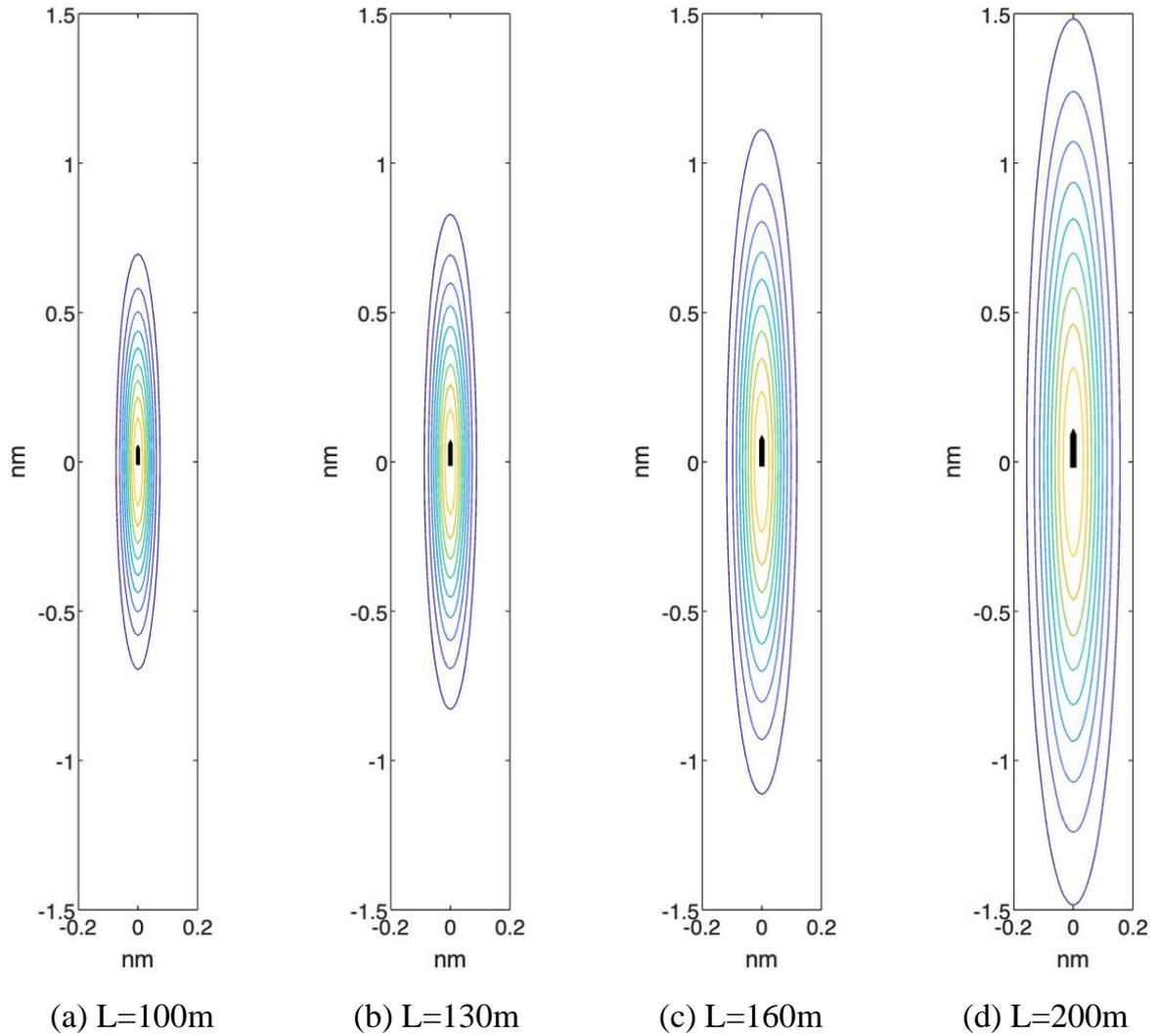
Hình 2.20. HSD của các tàu đang hành trình với vận tốc 10kn trên khu vực luồng Hải Phòng với chiều dài: (a) 100m (b) 130m (c) 160m (d) 200m

Trên khu vực luồng Sài Gòn - Vũng Tàu sẽ được xác định khi so sánh với giá trị lớn nhất về khoảng cách an toàn theo khảo sát của chuyên gia. Áp dụng công thức 2.20 và công thức 2.21, bảng kết quả giá trị h tại khu vực luồng Sài Gòn - Vũng Tàu như Bảng 2.19.

Bảng 2.19. Giá trị h của các loại tàu trên luồng Sài Gòn - Vũng Tàu

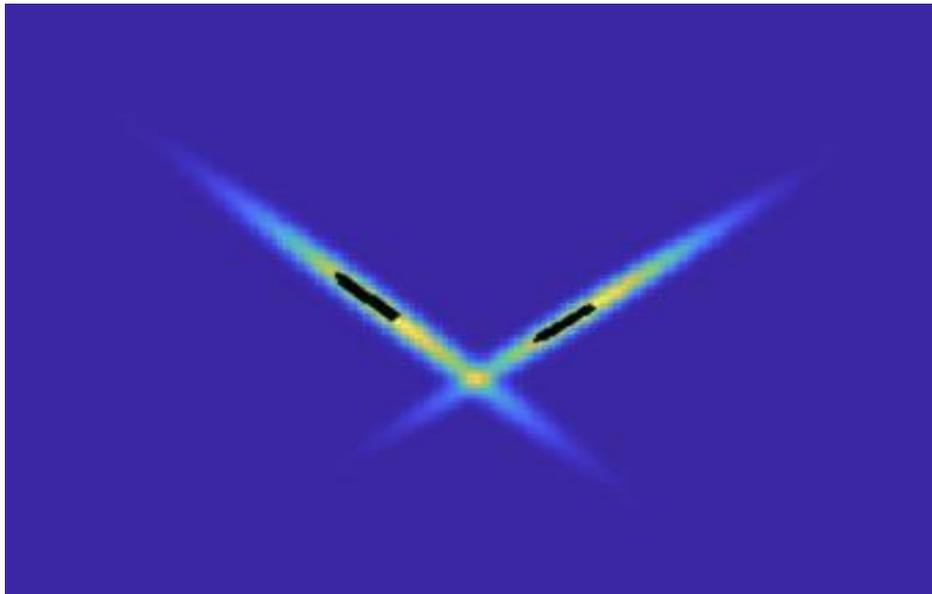
Loại tàu	$\leq 115\text{m}$	116m - 145m	146m - 175m	$\geq 176\text{m}$
h	0.6	0.55	0.6	0.64

Với các giá trị h thu được, kích thước HSD của các loại tàu trên luồng Sài Gòn - Vũng Tàu được mô tả như Hình 2.21.



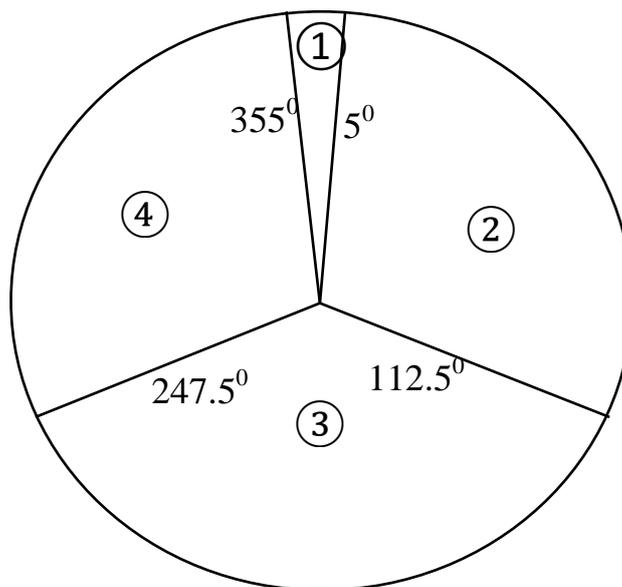
Hình 2.21. HSD của các tàu đang hành trình với vận tốc 10kn trên khu vực luồng Sài Gòn - Vũng Tàu với chiều dài: (a) 100m (b) 130m (c) 160m (d) 200m

Kích thước của vùng an toàn HSD đã được xác định thông qua giá trị khu vực h. Tuy nhiên, hình dạng của HSD có dạng hình elip nên khi nghiên cứu, xác định khu vực giao thoa giữa các vùng an toàn HSD sẽ dễ gây nhầm lẫn, có cảnh nguy cơ đâm va mặc dù các tàu đã đi qua nhau như Hình 2.22 (phần vùng an toàn HSD phía mũi của tàu này giao thoa với phần vùng an toàn HSD sau lái của tàu kia).



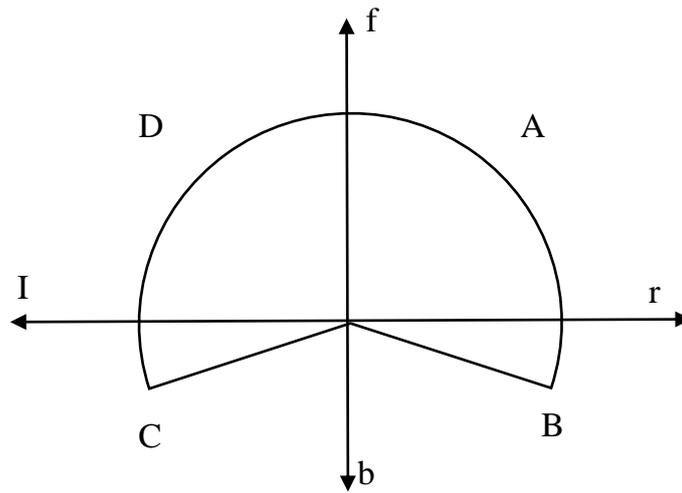
Hình 2.22. Chồng lấn HSD giữa 2 tàu

Vị trí tương quan giữa hai tàu thuyền được chia ra làm 3 tình huống: đối hướng (1), cắt hướng (2) và (4), vượt (3) như Hình 2.23.



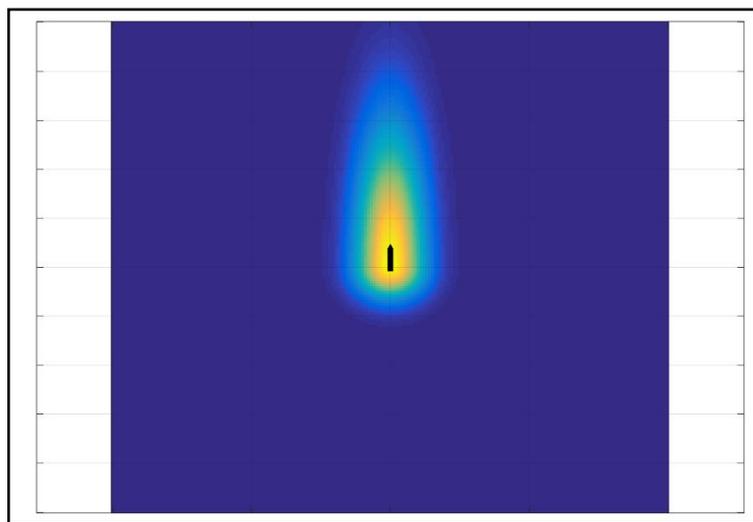
Hình 2.23. Vị trí tương quan giữa hai tàu thuyền

Tuy nhiên, trong khu vực luồng, lối ra vào luồng hay ngã ba sông, tình huống vượt nhau ít khi xảy ra hơn. Giả sử khi xảy ra tình huống vượt nhau, tàu thuyền vượt là tàu thuyền phải thực hiện hành động tránh va. Do đó, khi xây dựng vùng an toàn của tàu tại khu vực này được xây dựng sẽ chủ yếu tập trung vào phía trước mũi tàu (Hình 2.24).



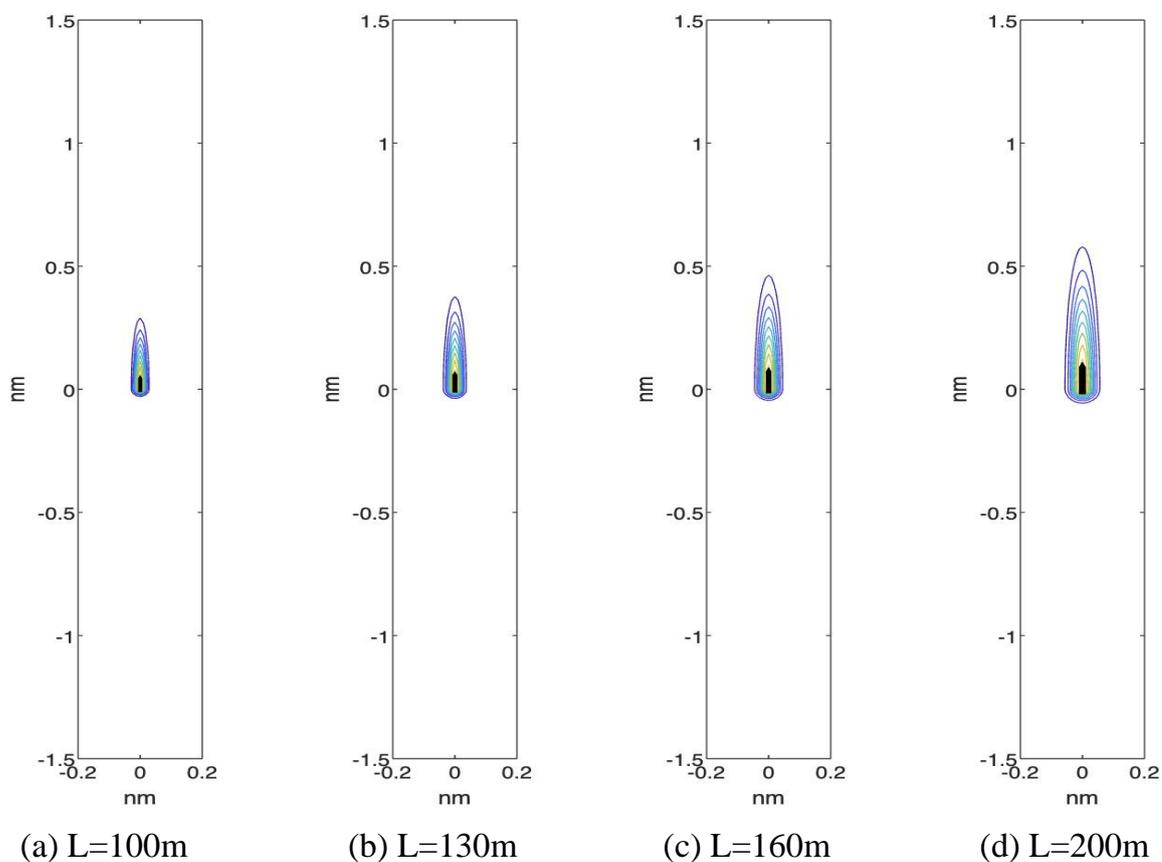
Hình 2.24. Khu vực xây dựng vùng an toàn của tàu

Có thể thấy rằng, các điểm có cùng khoảng cách đến tàu chủ sẽ có cùng mức độ nguy cơ đâm va. Điều này sẽ không phản ánh đúng thực tế khi có một điểm trước mũi tàu và một điểm ở phía sau lái tàu. Không gian phía trước của tàu bị ảnh hưởng bởi chuyển động về phía trước nên khu vực phía mũi tàu có nhiều ảnh hưởng đến nguy cơ đâm va. Như đã nói ở trên, khu vực phía trước mũi tàu (cùng với hướng chuyển động của tàu) sẽ nguy hiểm hơn so với khu vực phía sau (nơi tàu đã đi qua). Mặc khác, mục đích của nghiên cứu này là sử dụng sự giao thoa giữa các vùng an toàn của tàu để xác định nguy cơ đâm va. Vì vậy, hình dáng của HSD sẽ được điều chỉnh để mô tả chính xác hơn mức độ nguy hiểm xung quanh tàu. Giả sử chia tàu chủ làm 2 phần tính từ tâm tàu (Hình 2.25). Vùng an toàn phía trước mũi tàu sẽ có dạng hình elip, thể hiện mức độ nguy hiểm khi tàu tiến về phía trước. Vùng an toàn phía sau lái của tàu sẽ có dạng cung tròn có tác dụng để xác định nguy cơ đâm va khi xảy ra tình huống vượt nhau. Trong trường hợp vượt nhau giữa hai tàu hoặc khi một tàu đi qua phía lái của tàu khác, khoảng cách an toàn giữa các tàu chỉ cần được thể hiện bằng phần mũi của HSD của tàu ở phía sau. Do đó, chiều dài của HSD ở phía sau lái được rút gọn bằng chiều dài của HSD ở mạn trái và phải.

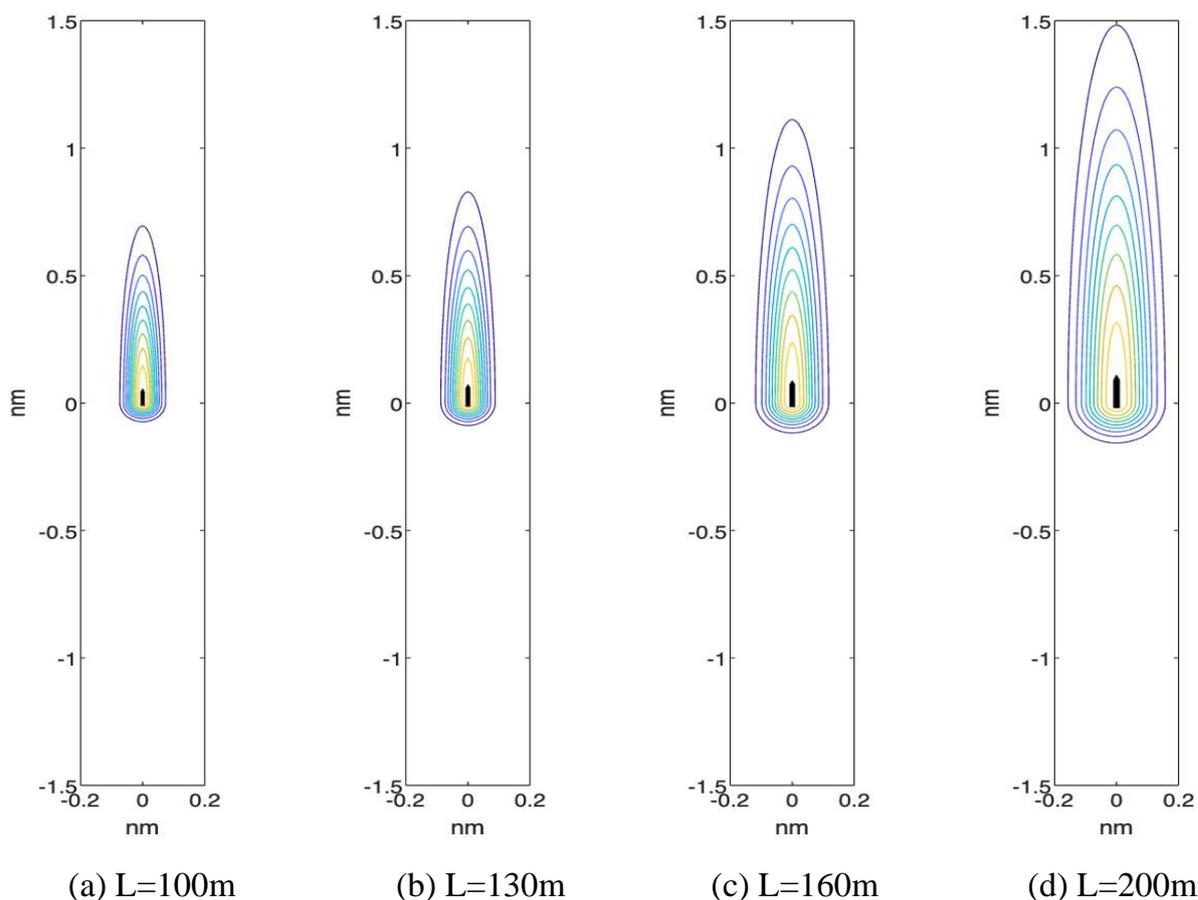


Hình 2.25. HSD đã được điều chỉnh

Nguyên cơ đâm va động được tính toán trong nghiên cứu này phụ thuộc vào chiều dài tàu và vận tốc của tàu khi hành trình, do đó với mỗi con tàu với chiều dài tàu khác nhau sẽ có kích thước vùng an toàn của riêng tàu đó. Cùng với đó, khi tàu hành trình, vận tốc của tàu thay đổi cũng sẽ dẫn đến vùng an toàn thay đổi theo khu vực, kích cỡ và theo thời gian thực. Điều này được thể hiện trong Hình 2.26 và Hình 2.27.



Hình 2.26. HSD của các tàu trên luồng Hải Phòng với vận tốc 10kn sau khi điều chỉnh



Hình 2.27. HSD của các tàu trên luồng Sài Gòn - Vũng Tàu với vận tốc 10kn sau khi điều chỉnh

Với các giá trị h thu được, có thể thấy rằng với các đường elip đẳng trị tương ứng với $DCR = 0.1$ có các bán kính phía trước và 2 bên trái, phải tương đương với giá trị khảo sát từ các chuyên gia. Do tại khu vực Sài Gòn - Vũng Tàu, các giá trị khoảng cách an toàn lớn hơn tại khu vực Hải Phòng dẫn đến kích thước HSD của các loại tàu cũng lớn hơn HSD tại khu vực Hải Phòng. Điều này rất phù hợp cho việc đánh giá nguy cơ đâm va trong khu vực luồng Hải Phòng và luồng Sài Gòn - Vũng Tàu. Khi các tàu di chuyển chậm hơn, kích thước của HSD sẽ nhỏ lại, khoảng cách để tránh va cũng nhỏ đi.

Mỗi mô hình vùng an toàn được nghiên cứu, đề xuất trước đây đều có cách xác định riêng, các tiêu chí, đối tượng, thông số đầu vào dùng để xác định vùng an toàn cũng không giống nhau như kích thước tàu, vận tốc, chỉ số nguy hiểm, khu vực đâm va So với các mô hình vùng an toàn trước đây ưu điểm của HSD được mô tả cụ thể trong Bảng 2.20.

Bảng 2.20. Tính năng của HSD so với các vùng an toàn trước đây

	Kích thước tàu	Vận tốc tàu	Thay đổi theo vị trí địa lý	Ý kiến chuyên gia	Chỉ số nguy hiểm	Xác định khu vực đâm va
Fujii (1971)	✓					
Pietrzykowski (2008, 2009)	✓		✓	✓	✓	
QSD (2010)	✓				✓	
DQSD (2013)	✓	✓			✓	
Wang (2016)	✓	✓		✓		
Dinh (2016)	✓	✓		✓		
Im (2019)	✓	✓	✓		✓	✓
Burak (2021)	✓		✓			
HSD	✓	✓	✓	✓	✓	✓

2.5. Khả năng ứng dụng vùng an toàn HSD trong cảnh báo nguy cơ đâm va

Mô hình vùng an toàn của tàu mới, được gọi là Heat Ship Domain (HSD) đã được xây dựng dựa trên lý thuyết về trường, hàm ước tính mật độ hạt nhân và hàm Gaussian. Phương pháp dựa trên lý thuyết trường được sử dụng rộng rãi trong nghiên cứu an toàn phương tiện, tuy nhiên trong hàng hải phương pháp này lại ít được nghiên cứu. Hầu hết các phương pháp xác định rủi ro đâm va hiện có đều bắt đầu từ quan điểm hình học, sử dụng khoảng cách và các chỉ số khác để đo lường rủi ro đâm va. Do đó, nghiên cứu áp dụng lý thuyết trường trong vật lý để đo lường, tính toán mức độ rủi ro đâm va của tàu trong các tình huống gặp phải theo sự tương tác giữa các trường là một hướng nghiên cứu mới.

Hàm ước tính mật độ hạt nhân được sử dụng để xác định nguy cơ đâm va động xung quanh một con tàu (Dynamic Collision Risk - DCR), với các giá trị thay đổi như vị trí, tốc độ và kích thước con tàu.

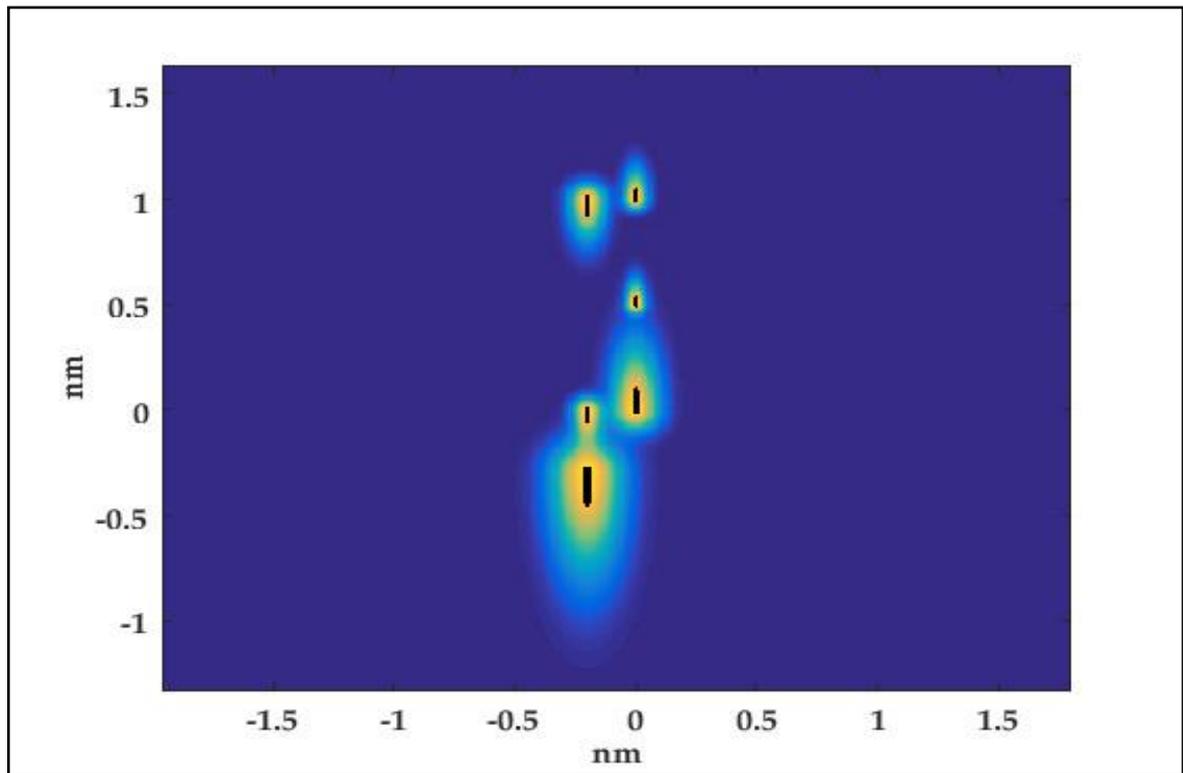
Vùng an toàn tàu mới của tàu (HSD) có thể đánh giá nguy cơ đâm va theo các cấp độ khác nhau, kích thước của HSD có thể thay đổi theo vận tốc. Một tham số khác cũng có ảnh hưởng đến kích thước của HSD, đó chính là tham số khu vực h , đây cũng có thể coi là tham số khu vực. Để xác định tham số h , phương pháp khảo sát chuyên gia đã được thực hiện để thu các bộ giá trị khoảng cách an toàn trên các hướng theo từng loại tàu. Sau đó, phương pháp Bình phương nhỏ nhất được áp dụng để tìm ra giá trị tham số khu vực tối ưu cho từng loại tàu trên khu vực luồng Hải Phòng và luồng Sài Gòn - Vũng Tàu. Với giá trị h thu được, HSD của mỗi loại tàu đã được xác định cho mỗi khu vực khác nhau mà các nghiên cứu trước đây chưa thực hiện xác định.

Giá trị tham số khu vực h được thực hiện khảo sát và xác định cụ thể tại khu vực luồng Hải Phòng và Sài Gòn - Vũng Tàu, là 02 tuyến luồng có lưu lượng tàu thuyền hoạt động nhộn nhịp nhất Việt Nam hiện nay. Bằng phương pháp xác định DCR tại nghiên cứu này, khi thu được thông số chiều dài và tốc độ tàu từ AIS, ý kiến của các chuyên gia chúng ta sẽ xác định được giá trị DCR cho mỗi khu vực trên vùng biển Việt Nam.

Khi các tàu hành trình trên hệ thống luồng giao thông, các tàu sẽ di chuyển theo hướng đi được định trước. Tuy nhiên, việc giữ khoảng cách an toàn giữa các tàu là rất quan trọng. Trên hình mô tả các vùng an toàn với thông số như Bảng 2.21 hành trình trên một hệ thống luồng giả định. Các tàu sẽ duy trì vận tốc để vùng an toàn của mình không xâm phạm vào vùng an toàn của tàu khác, đặc biệt không để các tàu khác nằm trong vùng an toàn của tàu mình (Hình 2.28).

Bảng 2.21. Thông số các tàu trên hệ thống luồng

Tàu	Vị trí (nm)	Chiều dài (m)	Vận tốc (kn)	Hướng (°)
A	(0, 0)	200	10	0
B	(0, 0.5)	80	9	0
C	(0, 1)	100	9	0
D	(-0.2, 1)	150	8	180
E	(-0.2, 0)	120	8	180
F	(-0.2, -0.3)	300	10	180

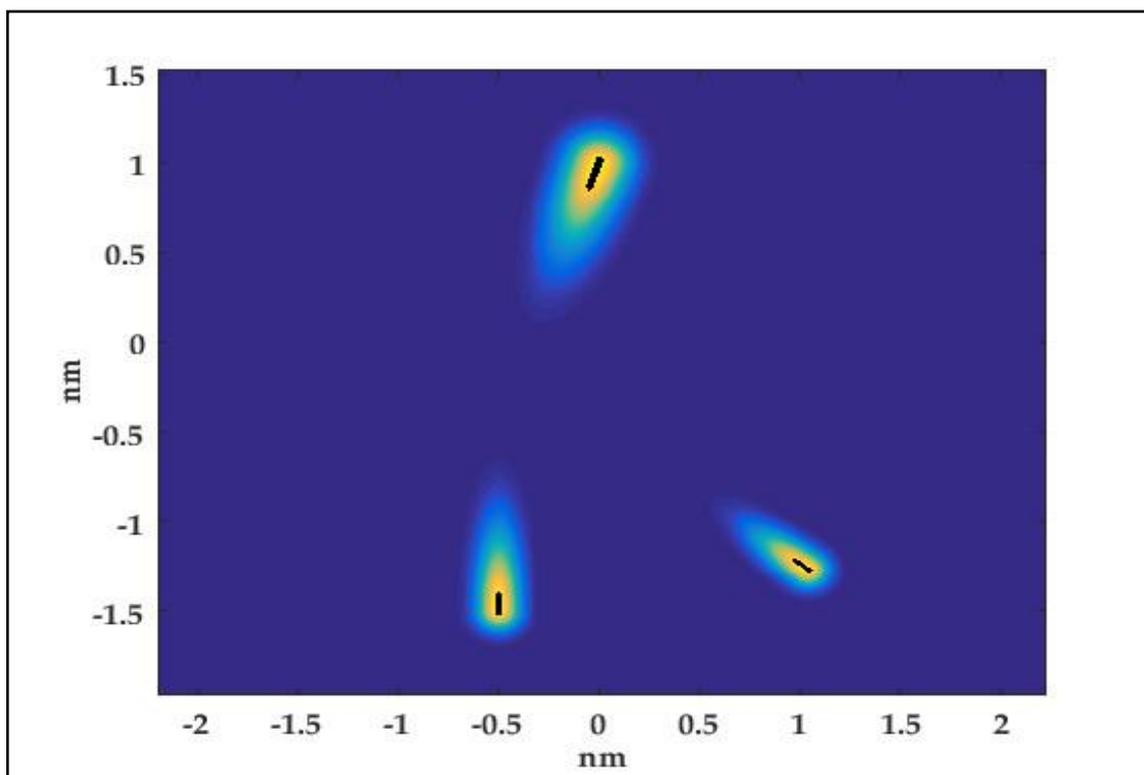


Hình 2.28. Vùng an toàn của các tàu di chuyển trong hệ thống luồng giao thông

Khác với các tàu hành trình trên hệ thống luồng, các tàu hành trình tại khu vực ngã 3 hay đầu luồng sẽ có xu hướng tập trung tại một khu vực phao số 0 (Bảng 2.22), điều này dẫn đến nguy cơ đâm va xảy ra cao hơn. Bằng việc áp dụng vùng an toàn tại khu vực này, các tàu sẽ điều động sao cho phần mũi vùng an toàn của tàu mình không chạm vào mũi các vùng an toàn của tàu khác. Việc quan sát trực quan sẽ giúp sỹ quan hàng hải có quyết định điều động nhanh và hợp lý trong thời gian ngắn hơn (Hình 2.29).

Bảng 2.22. Thông số các tàu tại khu vực đầu luồng

Tàu	Vị trí (nm)	Chiều dài (m)	Vận tốc (kn)	Hướng (°)
G	(-0.5,-1.5)	200	13.5	0
H	(1.04, -1.27)	185	10.5	309
I	(0, 1)	300	10	199



Hình 2.29. Vùng an toàn của các tàu di chuyển trong khu vực đầu luồng

2.6. Kết luận chương 2

Chương 2 nghiên cứu đã thực hiện được các kết quả sau:

Nghiên cứu các khái niệm, hình dạng và kích thước của vùng an toàn của tàu, phân tích các tiêu chí xác định và mô hình vùng an toàn của tàu do các nhà nghiên cứu trước đây đã xây dựng, chỉ ra ưu, nhược điểm và đề xuất mô hình vùng an toàn của tàu mới, được gọi là Heat Ship Domain (HSD), xây dựng dựa trên lý thuyết về trường và hàm ước tính hạt nhân Gaussian. Mô hình vùng an toàn HSD đã được đánh giá và đề xuất phù hợp với điều kiện thực tế của các tuyến luồng hàng hải trên vùng biển Việt Nam.

HSD có thể đánh giá nguy cơ đâm va theo mức độ, kích thước có thể thay đổi theo vận tốc và tham số khu vực h. Giá trị tham số khu vực h tối ưu cho từng loại tàu trên khu vực luồng Hải Phòng và luồng Sài Gòn - Vũng Tàu được xác định bằng phương pháp khảo sát chuyên gia kết hợp với phương pháp Bình phương nhỏ nhất.

Với giá trị h thu được, hình dáng và kích thước HSD của mỗi loại tàu đã được xác định. Đây là cơ sở để xây dựng thuật toán xác định nguy cơ đâm va tàu thuyền dựa trên HSD của tàu, được trình bày tại Chương 3. Khả năng ứng dụng của vùng an toàn HSD đã được thực hiện mô phỏng trên máy tính bằng Matlab trong 2 tình huống khi tàu di chuyển trong hệ thống luồng giao thông và khi tàu di chuyển tại các khu vực đầu luồng, ngã 3 sông. Thuật toán áp dụng theo thời gian thực, áp dụng với mọi loại tàu, đưa ra kết quả nhanh chóng và chính xác cả về mặt định lượng dựa trên chỉ số DCR cũng như về mặt trực quan, từ đó đưa ra cảnh báo đối với người điều khiển phương tiện phục vụ quản lý an toàn giao thông hàng hải.

CHƯƠNG 3

XÂY DỰNG THUẬT TOÁN XÁC ĐỊNH NGUY CƠ ĐÂM VÀ TÀU THUYỀN DỰA TRÊN VÙNG AN TOÀN HSD

3.1. Thuật toán xác định nguy cơ đâm va tàu thuyền dựa trên vùng an toàn HSD

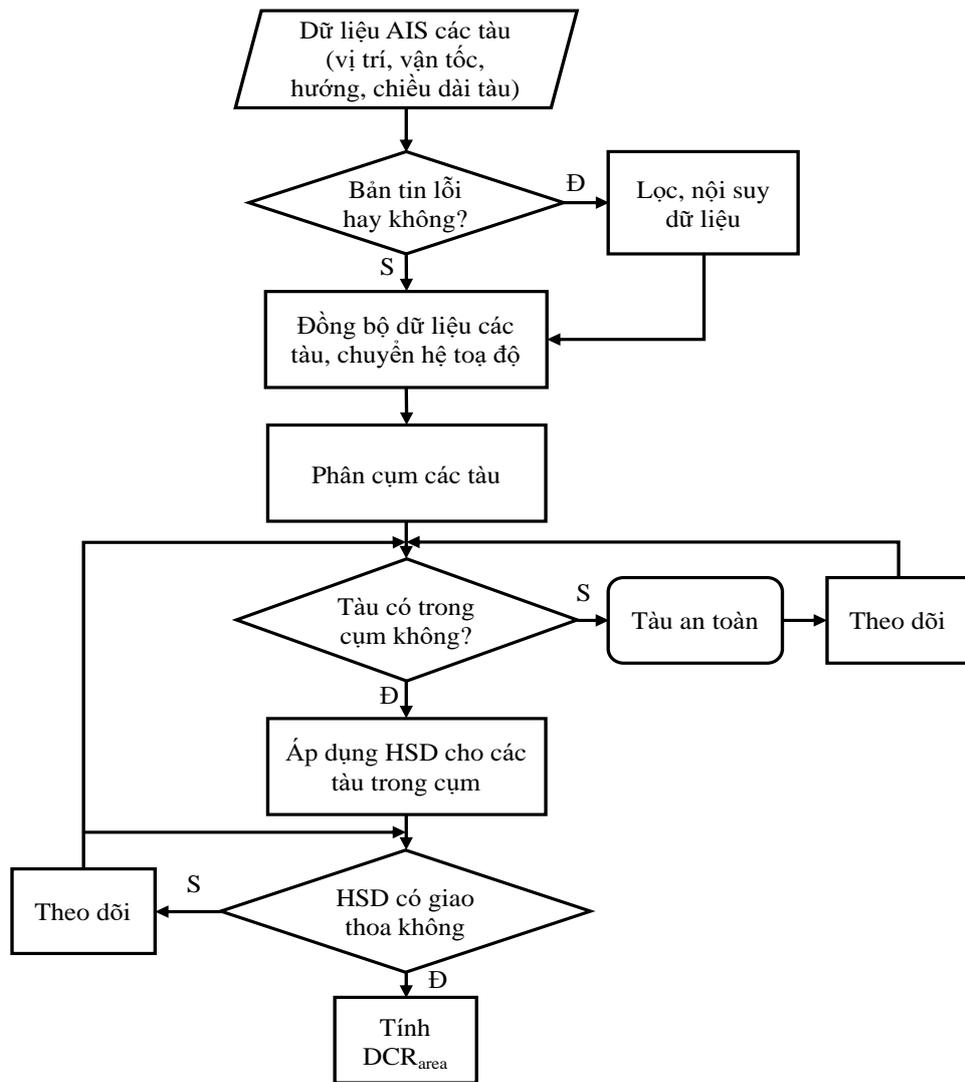
Việc áp dụng các vùng an toàn của tàu trong tình huống tránh va có thể được kết hợp với một trong bốn tiêu chí (như đã trình bày tại Chương 2): (1) Vùng an toàn của tàu chủ không được xâm phạm bởi tàu mục tiêu, (2) Vùng an toàn của tàu mục tiêu không được xâm phạm bởi tàu chủ, (3) Cả hai tàu không được xâm phạm vùng an toàn của tàu kia, (4) Vùng an toàn của cả hai tàu không được chồng lên nhau.

Tiêu chí thứ tư là tiêu chí đánh giá an toàn dựa trên mức độ chồng lấn của các vùng an toàn. Theo tiêu chí này, thuật toán sẽ sử dụng để đánh giá mức độ chồng lấn giữa các vùng an toàn của tàu, tính toán các chỉ số nguy cơ đâm va cụ thể. Với mỗi tàu khi hoạt động tại bất kỳ đâu nó đều duy trì cho mình một vùng an toàn nhất định xung quanh. Tại chương 2, hàm ước tính mật độ hạt nhân được sử dụng để xác định nguy cơ đâm va động xung quanh một con tàu (DCR), với các giá trị thay đổi như vị trí, tốc độ và kích thước con tàu, chỉ số nguy cơ đâm va thay đổi. DCR càng lớn nguy cơ đâm va càng cao. Khi có sự chồng lấn vùng an toàn giữa các tàu, nguy cơ đâm va động sẽ được tính như sau:

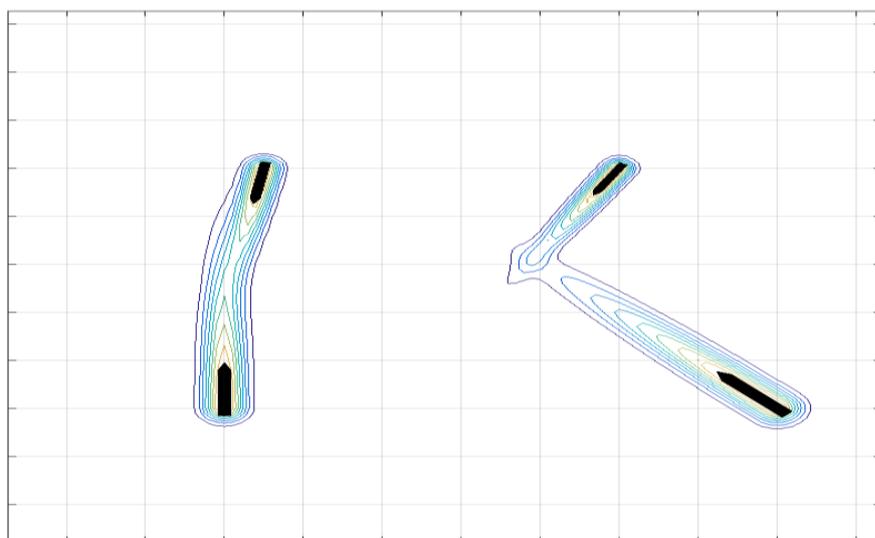
$$DCR_{area} = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n DCR_k \quad (3.1)$$

Trong đó:

- DCR_{area} là nguy cơ đâm va động giữa các tàu khi có sự chồng lấn HSD
- DCR_k là trường nguy cơ đâm va động của tàu thứ k
- n là số tàu có vùng an toàn HSD chồng lấn lên nhau



Hình 3.1. Lưu đồ thuật toán xác định nguy cơ đâm và bằng vùng an toàn HSD



Hình 3.2. HSD chồng lấn lên nhau trong trường hợp đối hướng và cắt hướng

Khi DCR_{area} bằng 0, điều này có nghĩa là chưa có sự chồng lấn giữa các HSD. Các tàu có thể tự do hàng hải, tuy nhiên sỹ quan bắt đầu chú ý nhiều hơn đến nhóm tàu đã xuất hiện HSD. Mức độ nguy hiểm hay nguy cơ đâm va tăng dần khi các HSD có sự giao thoa giữa các vòng, khi các vòng gần tàu giao thoa thì mức độ nguy hiểm càng lớn, có nghĩa là giá trị chồng lấn của DCR_{area} càng lớn. Lúc này, các sỹ quan cần lưu ý và thực hiện các hành động cần thiết càng sớm càng tốt bằng cách đánh giá mức độ nguy cơ đâm va của các tàu khác cũng như DCR_{area} tại các khu vực chồng lấn của các HSD để duy trì khoảng cách an toàn.

3.2. Đánh giá thuật toán xác định nguy cơ đâm va tàu thuyền dự trên vùng an toàn của tàu (HSD)

Để kiểm chứng độ chính xác của thuật toán xác định nguy cơ đâm va tàu thuyền dựa trên vùng an toàn của tàu (HSD) và chỉ số nguy cơ đâm va động DCR_{area} , phương pháp mô phỏng số dựa trên dữ liệu AIS thực tế sẽ được thực hiện. Kết quả của thuật toán sẽ được so sánh với phương pháp đánh giá nguy cơ đâm va truyền thống dựa vào chỉ số CPA và DCPA được các nhà khoa học sử dụng rất phổ biến hiện nay.

3.2.1. Đánh giá nguy cơ đâm va dựa vào CPA

Radar là thiết bị sử dụng sóng vô tuyến để phát hiện và định vị mục tiêu. Ngày nay, Radar là thiết bị trợ giúp rất nhiều cho sỹ quan hàng hải với nhiều ứng dụng hữu ích và hiện đại, sử dụng được với mọi điều kiện thời tiết. Với vai trò quan trọng, Radar được quy định bắt buộc phải trang bị trên tàu [60]. Ngoài những ứng dụng như đo khoảng cách, phương vị, xác định trí tàu ... thì nhiệm vụ cảnh giới, tránh va bằng Radar đã và đang giúp ích rất nhiều cho sỹ quan hàng hải, đặc biệt trong tầm nhìn xa bị hạn chế.

CPA và TCPA là hai chỉ số rất quan trọng trong việc đánh giá nguy cơ đâm va của Radar, là hai yếu tố quyết định mục tiêu là an toàn hay nguy hiểm, mục tiêu là nguy hiểm (tồn tại nguy cơ đâm va).

Khoảng cận điểm DCPA (Distant to Closest Point of Approach) là khoảng cách tiếp cận gần nhất giữa tàu chủ và tàu mục tiêu, thông thường hay dùng thuật ngữ CPA.

Thời gian đến cận điểm TCPA (Time to Closest Point of Approach) là thời gian tiếp cận gần nhất giữa tàu chủ và tàu mục tiêu.

Khi $TCPA > 0$; $CPA < \min CPA$, có nguy cơ đâm va, theo kinh nghiệm của người đi biển, đối với các tàu cỡ trung bình thì thường giá trị $\min CPA = 2$ hải lý còn các tàu có kích cỡ lớn, tốc độ cao, giá trị $\min CPA$ có thể bằng 3 hải lý hoặc 4 hải lý

Khi $CPA = 0$ hoặc $\cong 0$ còn $TCPA > 0$ đó là mục tiêu nguy hiểm nhất.

Trong quá trình điều động tránh va, DCPA và TCPA thường được coi là chỉ số hiệu quả nhất để xác định giá trị của nguy cơ đâm va. Như thể hiện trong Hình 3.3, DCPA và TCPA có thể thu được bằng tính toán hình học về khả năng tránh va của tàu.

Giả sử tàu chủ có vị trí, hướng và vận tốc là $S_0(x_0, y_0)$, φ_0 và V_0 ; tàu mục tiêu có vị trí, hướng và vận tốc là $S_T(x_T, y_T)$, φ_T và V_T [118]. Khi đó:

$$D_R = \sqrt{(x_T - x_0)^2 + (y_T - y_0)^2} \quad (3.2)$$

$$V_R = V_0 \times \sqrt{1 + \left(\frac{V_T}{V_0}\right)^2 - 2\frac{V_T}{V_0} \cos(\varphi_T - \varphi_0)} \quad (3.3)$$

$$\varphi_R = \cos^{-1}\left(\frac{V_0 - V_T \cos(\varphi_T - \varphi_0)}{V_R}\right) \quad (3.4)$$

$$DCPA = D_R \times \sin(\varphi_R - \alpha_T - \pi) \quad (3.5)$$

$$TCPA = D_R \times \sin(\varphi_R - \alpha_T - \pi) / V_R \quad (3.6)$$

Trong đó:

D_R là khoảng cách tương đối giữa tàu chủ và tàu mục tiêu.

V_R là tốc độ tương đối giữa tàu chủ và tàu mục tiêu.

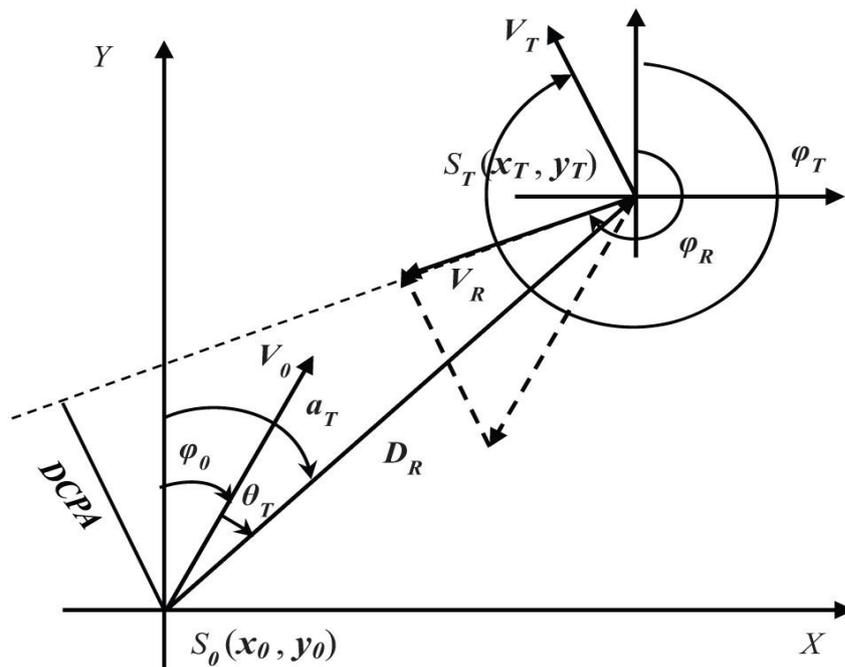
φ_R là hướng tương đối giữa tàu chủ và tàu mục tiêu.

α_T là phương vị của tàu chủ tới tàu mục tiêu.

Khi $DCPA = 0$ có nghĩa là nếu hai tàu giữ nguyên vận tốc và hướng như hiện tại thì sau một khoảng thời gian nhất định tại một điểm sẽ xảy ra đâm va.

Khi $DCPA > 0$ cho biết rằng sẽ có một khoảng cách nhất định giữa hai tàu cho đến khi hai tàu gặp nhau, tuy nhiên vẫn có thể tồn tại nguy cơ đâm va. Nếu TCPA lấy giá trị lớn hơn, mức độ nguy cơ đâm va không thể chỉ do DCPA gây ra. Nếu $DCPA = 0$ hoặc nhỏ hơn một giá trị nhất định, giá trị TCPA càng nhỏ thì mức độ nguy hiểm va chạm càng lớn và ngược lại.

Vì vậy, trong thực tế tránh va chạm, nếu DCPA nhỏ hơn khoảng cách an toàn và TCPA nhỏ hơn, có thể có nguy cơ đâm va.



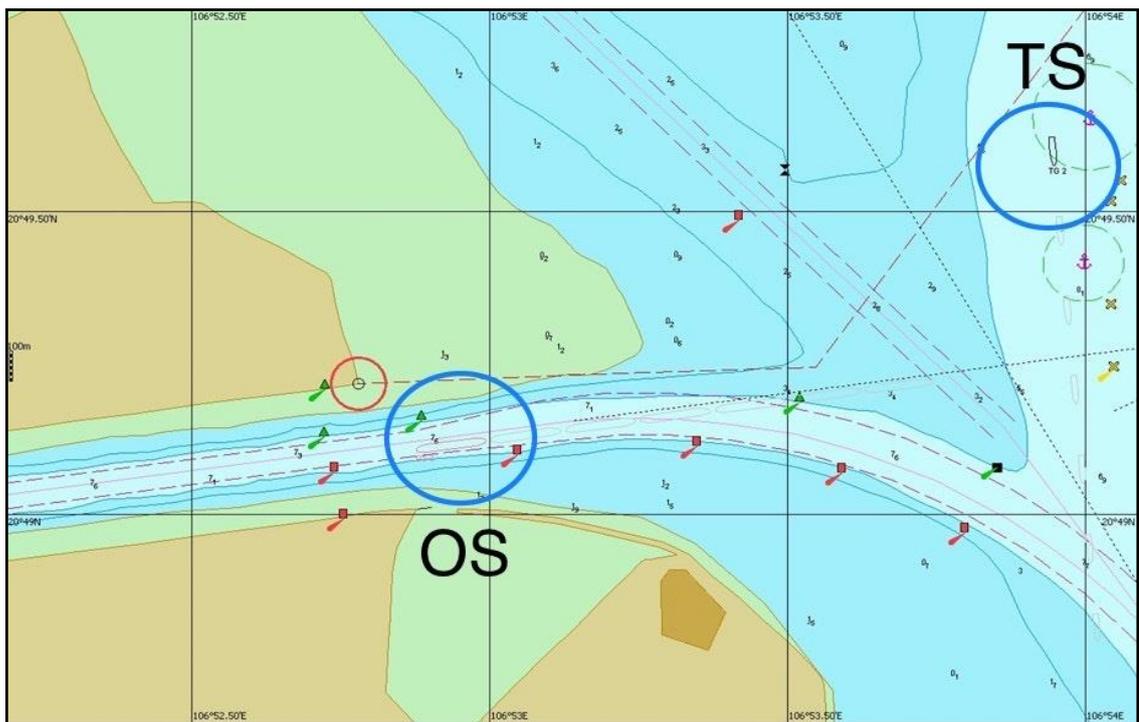
Hình 3.3. Phương pháp tính DCPA và TCPA

Theo phương pháp truyền thống, DCPA và TCPA là những yếu tố chính và trực tiếp nhất để đánh giá nguy cơ đâm va có tồn tại hay không. Mặt khác, DCPA và D_R là những yếu tố thiết thực nhất trong thực tế. Tuy nhiên, tại khu vực có mật

độ tàu thuyền đông, để có được mức độ nguy cơ đâm va, chỉ xem xét DCPA và TCPA trong nhiều trường hợp là chưa đủ.

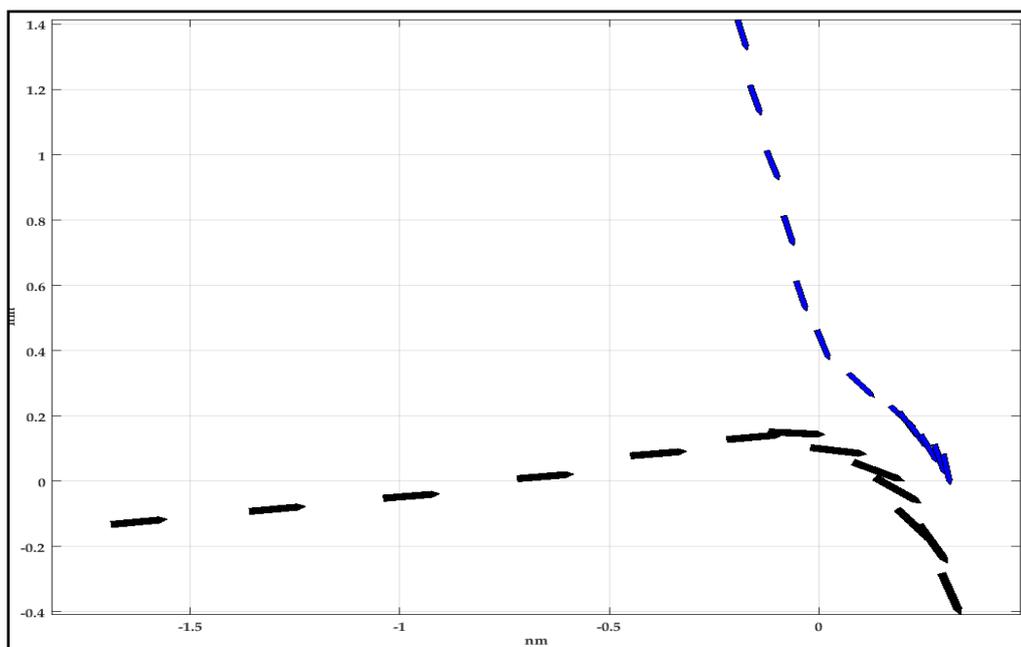
3.2.2. Phương pháp mô phỏng số

Dữ liệu AIS tại khu vực kênh Hà Nam (trên khu vực Hải Phòng) được sử dụng để thực hiện mô phỏng số đánh giá thuật toán xác định nguy cơ đâm va tàu thuyền dựa trên vùng an toàn của tàu. Từ dữ liệu AIS, kinh độ và vĩ độ, tốc độ, hướng đi và các thông số về chiều dài, chiều rộng tàu vào thời điểm đó được lọc từ dữ liệu AIS. Mô phỏng lấy dữ liệu AIS của 2 tàu trong trường hợp cắt hướng: 1 tàu đi ra từ kênh gặp một tàu khác đang tới (Hình 3.4). Sau đó, dữ liệu kinh độ và vĩ độ được chuyển đổi thành tọa độ OXY, để quan sát vị trí của các con tàu và vẽ trên máy tính. Sự thay đổi trong DCR của các tàu sẽ được tính toán và đánh giá nguy cơ đâm va theo chuyển động, so sánh với phương pháp nêu trên để chỉ ra tính ưu việt của thuật toán mới.



Hình 3.4. Vị trí ban đầu của hai tàu

Vết di chuyển và thông số về vận tốc, hướng và vị trí của 2 tàu theo hệ tọa độ OXY được mô tả như Hình 3.5 và Bảng 3.1.

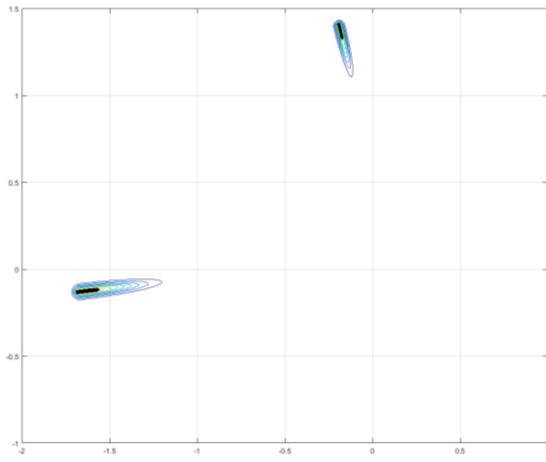


Hình 3.5. Vết di chuyển của 2 tàu theo AIS

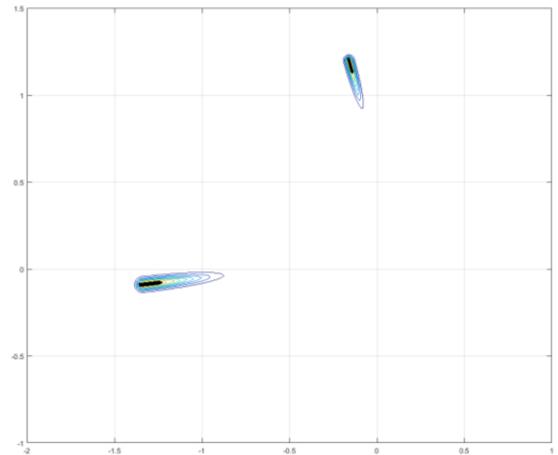
Bảng 3.1. Thông số 2 tàu khi hành trình

Thời điểm	Vị trí (nm)	Vận tốc (kn)	Hướng (°)	Vị trí	Vận tốc (kn)	Hướng (°)
t ₁	(-1.67, -0.13)	9.5	83.2	(-0.19, 1.4)	8.6	166.4
t ₂	(-1.34, -0.09)	9.4	83.5	(-0.16, 1.2)	8.2	164.4
t ₃	(-1.02, -0.05)	9.2	84.1	(-0.12, 1.0)	8.4	162.3
t ₄	(-0.7, 0.01)	9.4	84.0	(-0.08, 0.8)	8.2	165.5
t ₅	(-0.43, 0.08)	8.5	84.0	(-0.05, 0.6)	7.8	165.3
t ₆	(-0.2, 0.13)	8.3	83.5	(0, 0.45)	8.0	162.4
t ₇	(-0.1, 0.15)	7.8	93.5	(0.08, 0.32)	7.5	141.3
t ₈	(0, 0.1)	7.5	98.5	(0.18, 0.22)	7.0	140.2
t ₉	(0.1, 0.05)	7.8	115.2	(0.2, 0.2)	7.0	150.4
t ₁₀	(0.15, 0)	8.1	125.1	(0.22, 0.17)	7.2	150.5
t ₁₁	(0.2, -0.1)	8.0	140.4	(0.25, 0.13)	7.5	155.2
t ₁₂	(0.25, -0.15)	8.2	150.7	(0.28, 0.1)	7.6	165.3
t ₁₃	(-0.3, -0.3)	8.2	160.7	(0.3, 0.07)	8.0	170.1

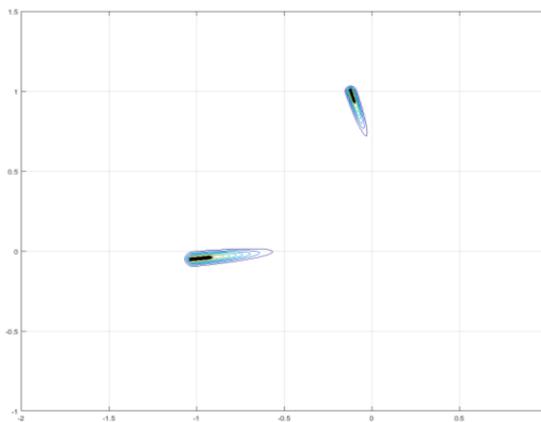
Áp dụng mô hình HSD cho hai tàu trong trường hợp này, ta có kết quả tại các thời điểm như Hình 3.6. Đồng thời các thông số về khoảng cách giữa 2 tàu, DCPA, TCPA và DCR_{area} được mô tả như Bảng 3.2.



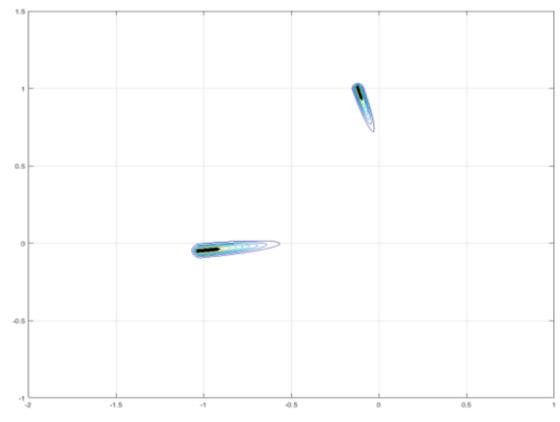
(t_1)



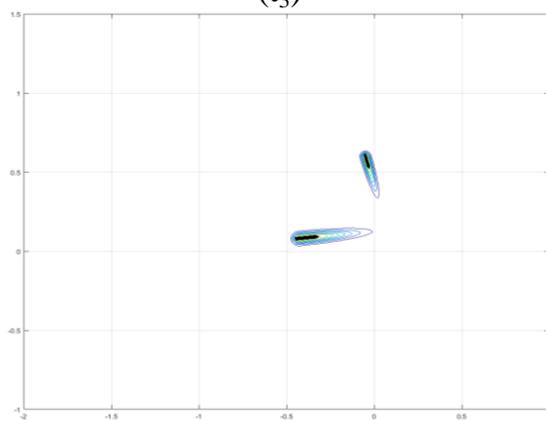
(t_2)



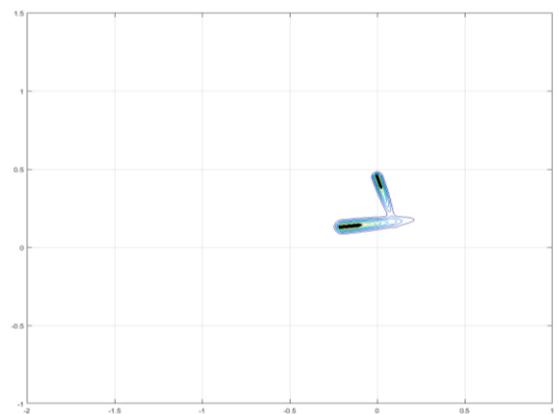
(t_3)



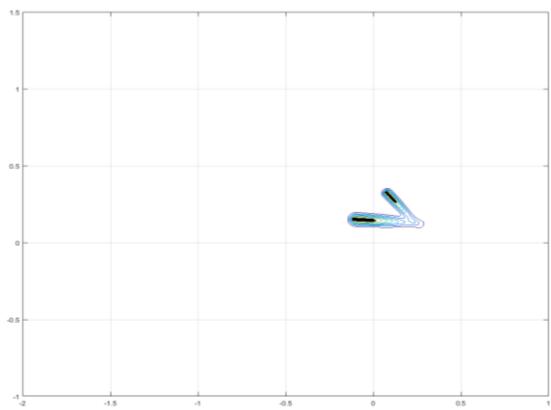
(t_4)



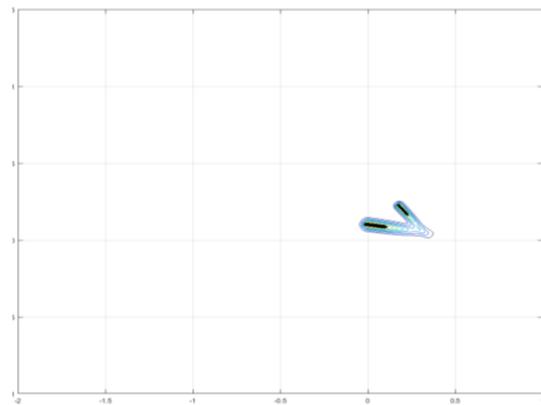
(t_5)



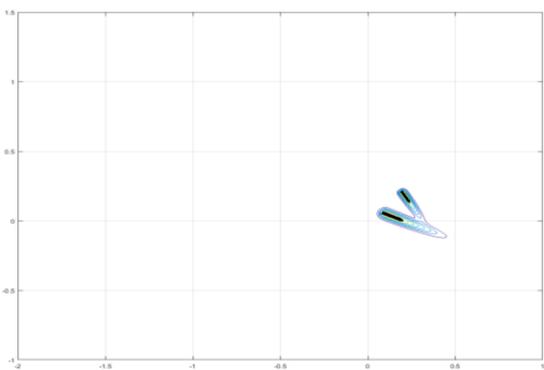
(t_6)



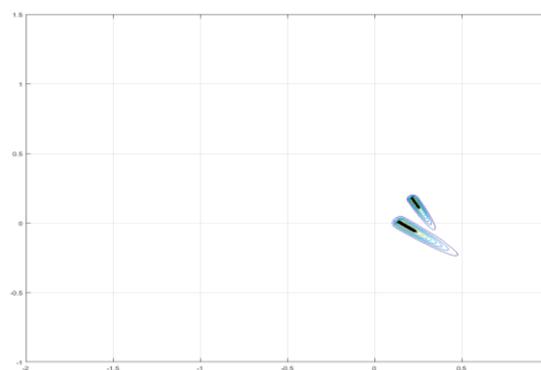
(t_7)



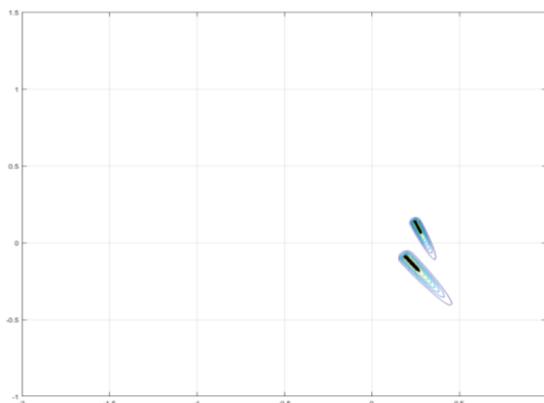
(t_8)



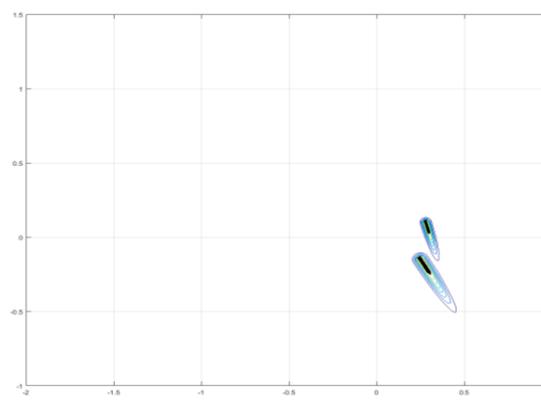
(t_9)



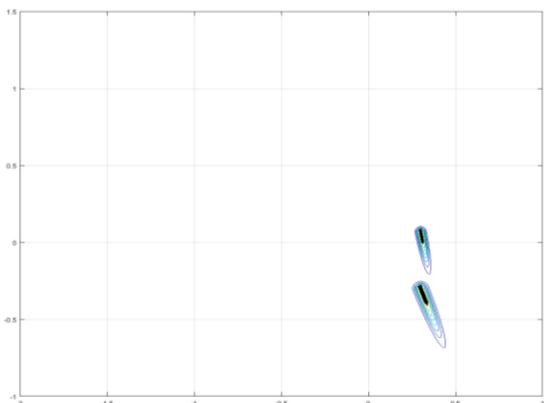
(t_{10})



(t_{11})



(t_{12})



(t_{13})

Hình 3.6. HSD của 2 tàu khi hành trình từ thời điểm t_1 đến t_{13}

Có thể thấy rằng, khi 2 vùng an toàn (HSD) của 2 tàu chưa chạm nhau, mặc dù CPA đánh giá nguy cơ đâm va tồn tại, có thể thấy rằng khoảng cách để 2 tàu đến được vị trí tiềm ẩn nguy cơ đâm va vẫn còn tương đối xa. Hơn nữa, tại khu vực ngã ba đầu luồng, hạn chế về không gian và môn nước chưa cho phép 2 tàu được đổi hướng. Khi có sự chồng lấn của 2 HSD, lúc này nguy cơ đâm va đã rõ ràng hơn, vì vậy 2 tàu đã có những hành động tránh va như đổi hướng và đổi tốc độ hợp lý. Khi đó, HSD của 2 tàu đã tách rời nhau, 2 tàu lại tiếp tục hành trình.

Tại một số thời điểm, khoảng cách giữa hai tàu nhỏ hơn đường kính đâm va, tuy nhiên vẫn không xảy ra đâm va. Do 2 tàu đang có xu hướng tách ra xa nhau. Vì vậy, đường kính đâm va chỉ có giá trị tham khảo.

Bảng 3.2. Thông số đánh giá nguy cơ đâm va giữa hai tàu

Thời điểm	D	DCPA	TCPA	DCR _{area}
t ₁	2.1287	0,27	26,98	0
t ₂	1,7483	0,21	22,24	0
t ₃	1,3829	0,16	15,58	0
t ₄	1,0042	0,06	10,65	0
t ₅	0,644	0,07	8,287	0
t ₆	0,3774	0,16	7,625	0.187
t ₇	0,2476	0,18	14,4	0.446
t ₈	0,2163	0,18	18,77	0.351
t ₉	0,1803	N/A	N/A	0.232
t ₁₀	0,1838	N/A	N/A	0
t ₁₁	0,2354	N/A	N/A	0
t ₁₂	0,2518	N/A	N/A	0
t ₁₃	0,3700	N/A	N/A	0

Khi các tàu hành trình tại khu vực ngã 3 hay đầu luồng sẽ không có đủ không gian để thực hiện các biện pháp tránh va như vùng biển rộng. Mặc dù phương pháp truyền thống bằng CPA có thể đánh giá có nguy cơ đâm va, tuy nhiên việc điều động để giảm nguy cơ đâm va tương đối khó khăn. Bằng việc áp dụng HSD tại khu vực này, các tàu sẽ điều động sao cho vùng an toàn của tàu mình không chạm vào vùng an toàn của tàu khác. Việc quan sát trực quan sẽ giúp sỹ quan hàng hải có quyết định điều động nhanh và hợp lý trong thời gian ngắn hơn.

3.3. Áp dụng HSD trong đánh giá nguy cơ đâm va

3.3.1. Địa điểm, đối tượng, phương pháp thực hiện

Để kiểm nghiệm khả năng và mức độ áp dụng của HSD trong đánh giá nguy cơ đâm va, nghiên cứu đã thực hiện đánh giá đối với các tàu trên khu vực luồng Hải Phòng tại Phòng Mô phỏng lái tàu của Trường Đại học Hàng hải Việt Nam. Nằm trong dự án nâng cao năng lực nghiên cứu, ứng dụng an toàn hàng hải, phòng mô phỏng hệ thống lái tàu của hãng Transas được lắp đặt và đưa vào sử dụng từ năm 2014 với nhiều trang thiết bị hiện đại, tiên tiến, hình ảnh có độ chân thực cao. Phòng được lắp đặt đầy đủ các trang thiết bị như trên buồng lái của tàu biển như: máy lái, radar, hải đồ điện tử, GPS, VHF DSC, la bàn ... Toàn bộ quá trình khai thác, vận hành tàu, các tuyến luồng đều đảm bảo như trong thực tế, điều này giúp cho việc học tập, thực hành của học viên giống như đang đang khai thác, vận hành trên tàu thật.

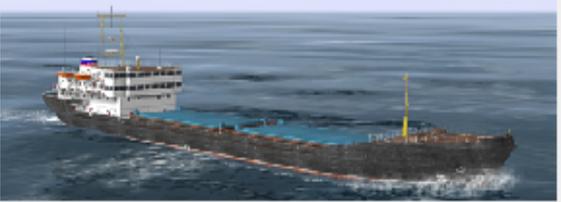


Hình 3.7. Quang cảnh phòng mô phỏng lái tàu

Tàu được lựa chọn trong quá trình thực nghiệm gồm 3 tàu, Tàu A là tàu Bulk carrier 3, có chiều dài 20 m, tốc độ tối đa 15.2 knt; Tàu B là tàu River-sea ship 1, có chiều dài 95 m, tốc độ tối đa 11,1 knt và Tàu C là tàu Ro-Ro passenger ferry (buồng lái phía trước mũi), có chiều dài 125 m, tốc độ tối đa 24 knt. Thông số chi tiết về các tàu được mô tả trong các Hình 3.8, Hình 3.9 và Hình 3.10.

View		General information	
		Vessel type	Bulk carrier 3 (Dis.26343t) bl.
Type of engine	Slow Speed Diesel (1 x 10710 kW)	Displacement	26343.0 t
Type of propeller	FPP	Max speed	15.2 knt
Thruster bow	Yes	Dimensions	
Thruster stern	None	Length	200.0 m
		Breadth	23.8 m
		Bow draft	6.6 m
		Stern draft	6.7 m
		Height of eye	22 m

Hình 3.8. Tàu A (tàu Bulk carrier 3)

View		General information	
		Vessel type	River-sea ship 1 (Dis.3510t)
Type of engine	Slow Speed Diesel (2 x 640 kW)	Displacement	3510.0 t
Type of propeller	FPP	Max speed	11.1 knt
Thruster bow	Yes	Dimensions	
Thruster stern	None	Length	95.0 m
		Breadth	13.2 m
		Bow draft	3.7 m
		Stern draft	3.7 m
		Height of eye	11 m

Hình 3.9. Tàu B (tàu River-sea ship 1)

View		General information	
		Vessel type	Ro-Ro passenger ferry (Dis. 71)
Type of engine	Medium Speed Diesel (2 x 10800 kW)	Displacement	7100.0 t
Type of propeller	CPP	Max speed	24.0 knt
Thruster bow	Yes	Dimensions	
Thruster stern	None	Length	125.0 m
		Breadth	19.5 m
		Bow draft	5.3 m
		Stern draft	5.3 m
		Height of eye	18 m

Hình 3.10. Tàu C (tàu Ro-Ro passenger ferry)

Khả năng hỗ trợ cảnh báo nguy cơ đâm va của HSD tại khu vực chật hẹp, ngã ba sông sẽ được kiểm nghiệm bằng mô phỏng trong tình huống 2 tàu và 3 tàu. Các tàu được điều khiển theo lệnh của các sỹ quan hàng hải có kinh nghiệm.

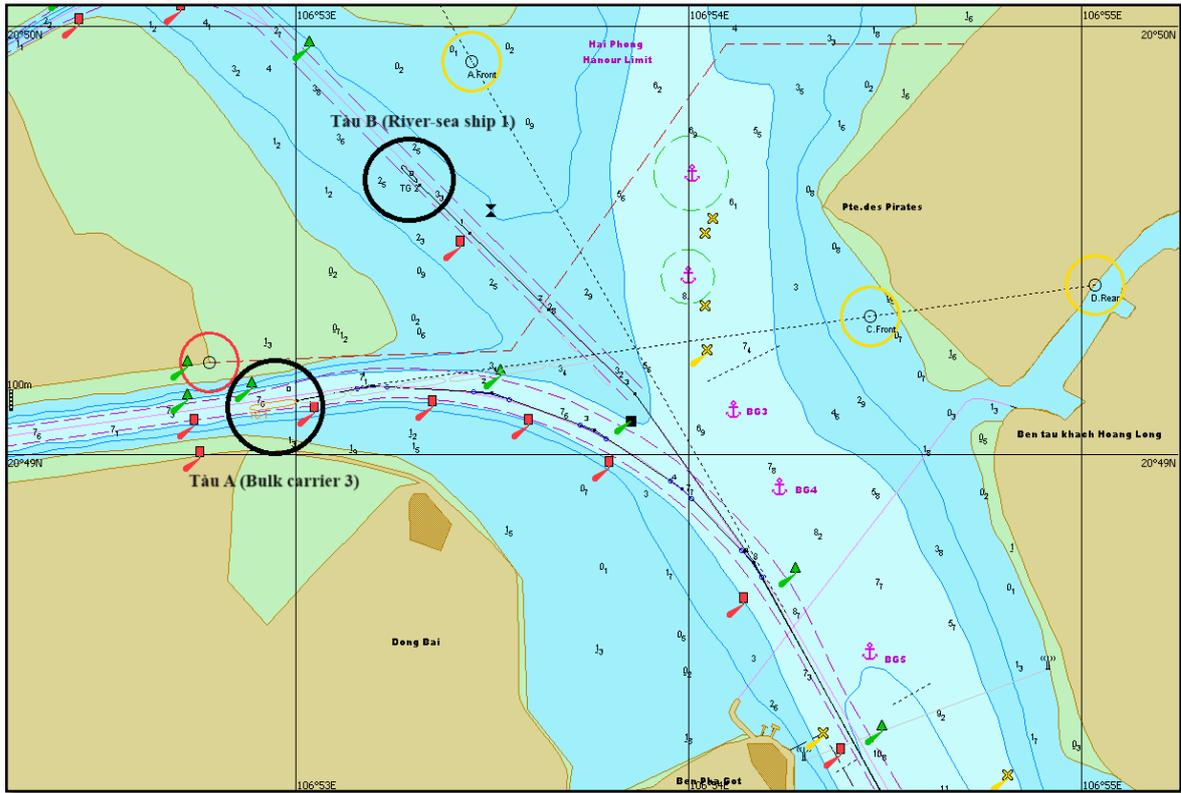
3.3.2. Kết quả đánh giá nguy cơ đâm va giữa các tàu

3.3.2.1. Đánh giá nguy cơ đâm va giữa 2 tàu

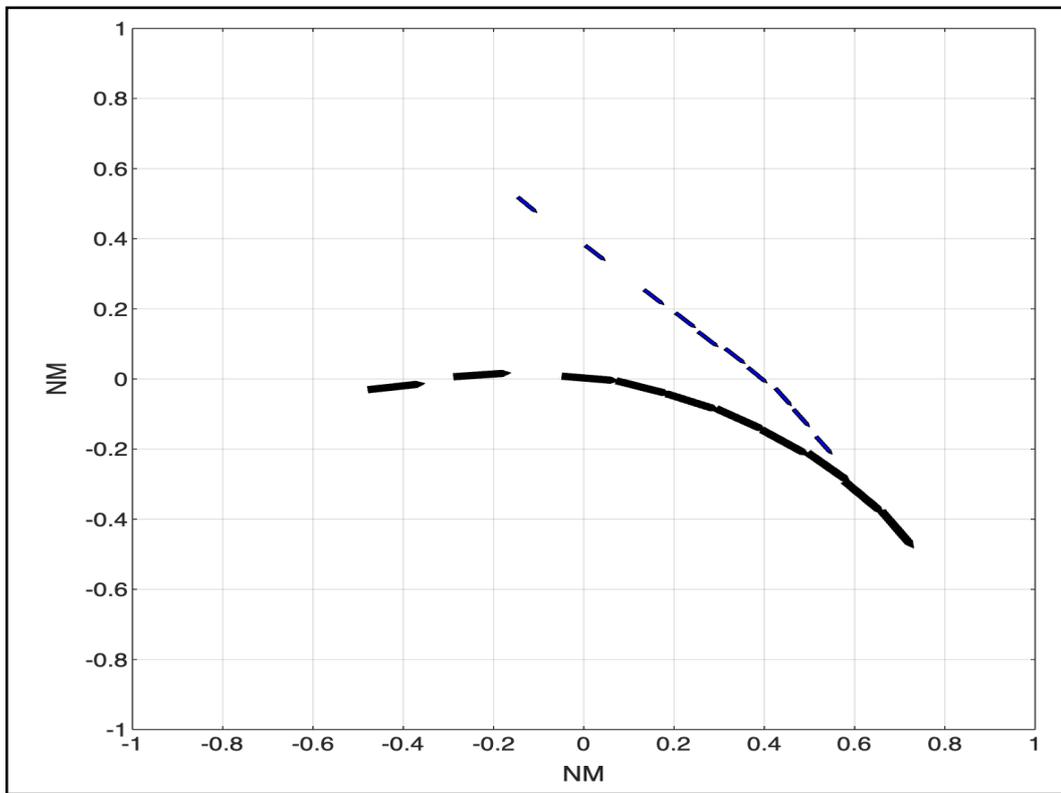
Để đánh giá nguy cơ đâm va giữa 2 tàu, nghiên cứu tiến hành thực hiện mô phỏng tại khu vực phía Đông kênh Hà Nam, Tàu A là tàu Bulk carrier 3 (Hình 3.8) đi theo hướng từ phía Tây kênh Hà Nam để hành trình nhập luồng Lạch Huyện. Tàu B là tàu River-sea ship 1 (Hình 3.9) hành trình từ phía luồng Quảng Ninh nhập luồng Lạch Huyện. Tại thời điểm bắt đầu mô phỏng, thông số của 2 tàu được mô tả trong Bảng 3.3 và Hình 3.11. Vết di chuyển được chuyển sang hệ tọa độ Decarts và thông số của 2 tàu khi hành trình được mô tả trong Bảng 3.4 và Hình 3.12.

Bảng 3.3. Thông số thời điểm ban đầu của hai tàu

Tàu A (tàu Bulk carrier 3)			Tàu B (tàu River-sea ship 1)		
Vị trí	Vận tốc (kn)	Hướng (°)	Vị trí	Vận tốc (kn)	Hướng (°)
20°49.116N 106°52.941E	7,2	082	20°49.655N 106°53.288E	6,6	136



Hình 3.11. Vị trí ban đầu của 2 tàu trên hải đồ

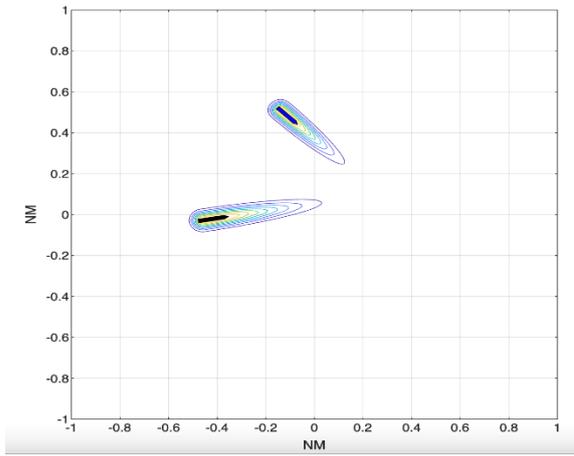


Hình 3.12. Mô phỏng vết di chuyển của 2 tàu khi hành trình

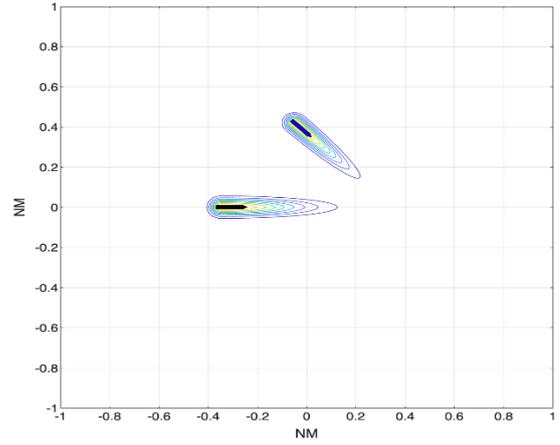
Bảng 3.4. Thông số di chuyển của hai tàu

Thời điểm	Tàu A (Bulk carrier 3)			Tàu B (River-sea ship 1)			Khoảng cách giữa 2 tàu
	Vị trí (nm)	Vận tốc (kn)	Hướng (°)	Vị trí (nm)	Vận tốc (kn)	Hướng (°)	
t ₁ 13h00	-0.46; -0.028	8,2	080	-0.14; 0.511	7,0	135	0.6NM
t ₂ 13h02	-0.35; 0.001	8,6	090	-0.05; 0.421	7,2	136	0.52NM
t ₃ 13h03	-0.25; 0.005	8,5	092	0.04; 0.328	7,0	134	0.44NM
t ₄ 13h05	-0.11; 0	8,8	094	0.13; 0.24	6,6	135	0.36NM
t ₅ 13h07	0.06; -0.010	9,7	098	0.21; 0.167	5,5	138	0.23NM
t ₆ 13h08	0.23; -0.038	10	110	0.25; 0.122	4,0	135	0.16NM
t ₇ 13h09	0.44; -0.149	10	123	0.29; 0.072	4,0	130	0.33NM
t ₈ 13h10	0.57; -0.243	9,2	132	0.36; 0.018	5,5	128	0.34NM

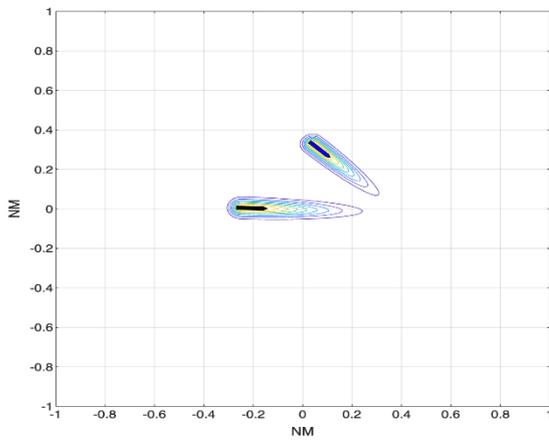
Khi 2 tàu hành trình, nghiên cứu sử dụng một máy tính để áp dụng HSD cho hai tàu sử dụng thông số tại các thời điểm thu được từ hệ thống mô phỏng (Hình 3.13). Có thể thấy đây là tình huống cắt hướng giữa hai tàu. Từ thời điểm t₁ đến t₃ quan sát được phần mũi của HSD tàu chủ và tàu mục tiêu có khoảng cách tương ứng là 0,45nm và 0,4nm. Tại các thời điểm này chưa có sự giao thoa giữa HSD nên hai tàu vẫn tiếp tục hành trình theo hướng và vận tốc ban đầu. Tuy nhiên tại thời điểm t₄, sự giao thoa giữa 2 HSD đã xuất hiện với chỉ số của khu vực giao thoa là 0,2. nguy cơ đâm va bắt đầu xuất hiện. Lúc này, sỹ quan điều khiển tàu mục tiêu bắt đầu cho giảm tốc độ và HSD nhỏ lại. Tại thời điểm t₅ và t₆, do tàu mục tiêu tiếp tục giảm tốc độ nên HSD nhỏ hơn. Khi đó phần giao thoa giữa 2 HSD chuyển dần ra phía đuôi tàu chủ, chỉ số vùng giao thoa cũng giảm xuống 0,1 trước khi 2 HSD tách ra tại thời điểm t₇.



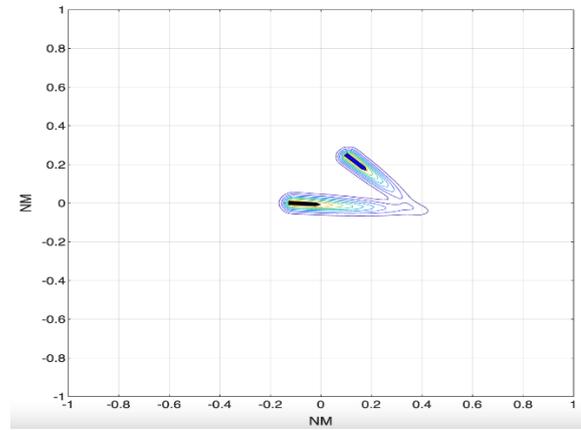
(t₁)



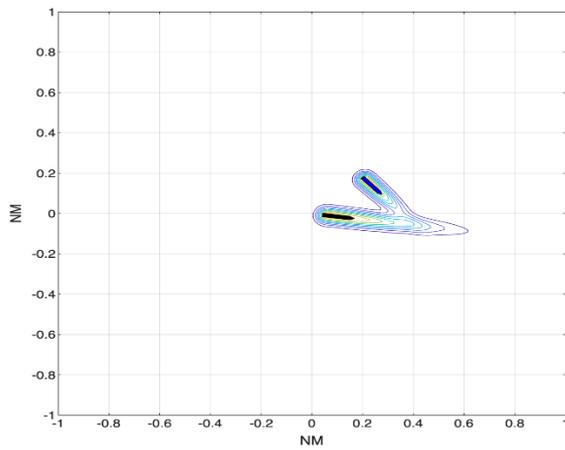
(t₂)



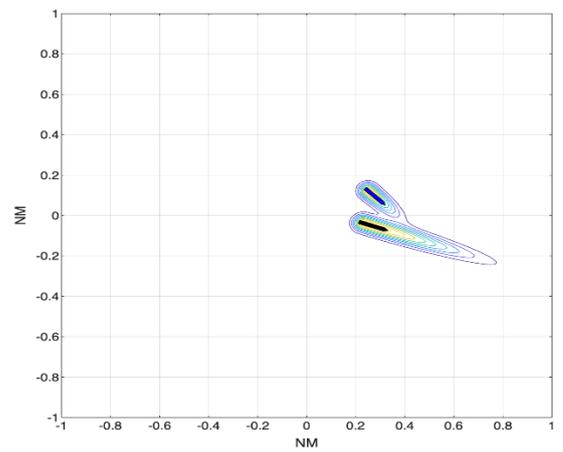
(t₃)



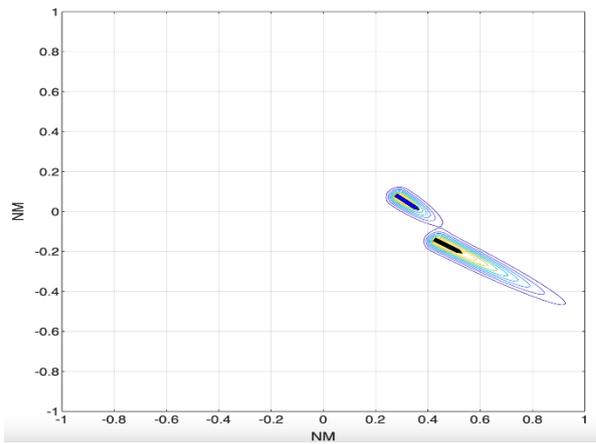
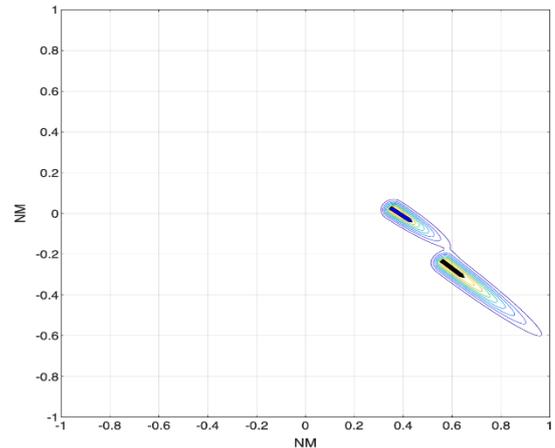
(t₄)



(t₅)



(t₆)

(t₇)(t₈)

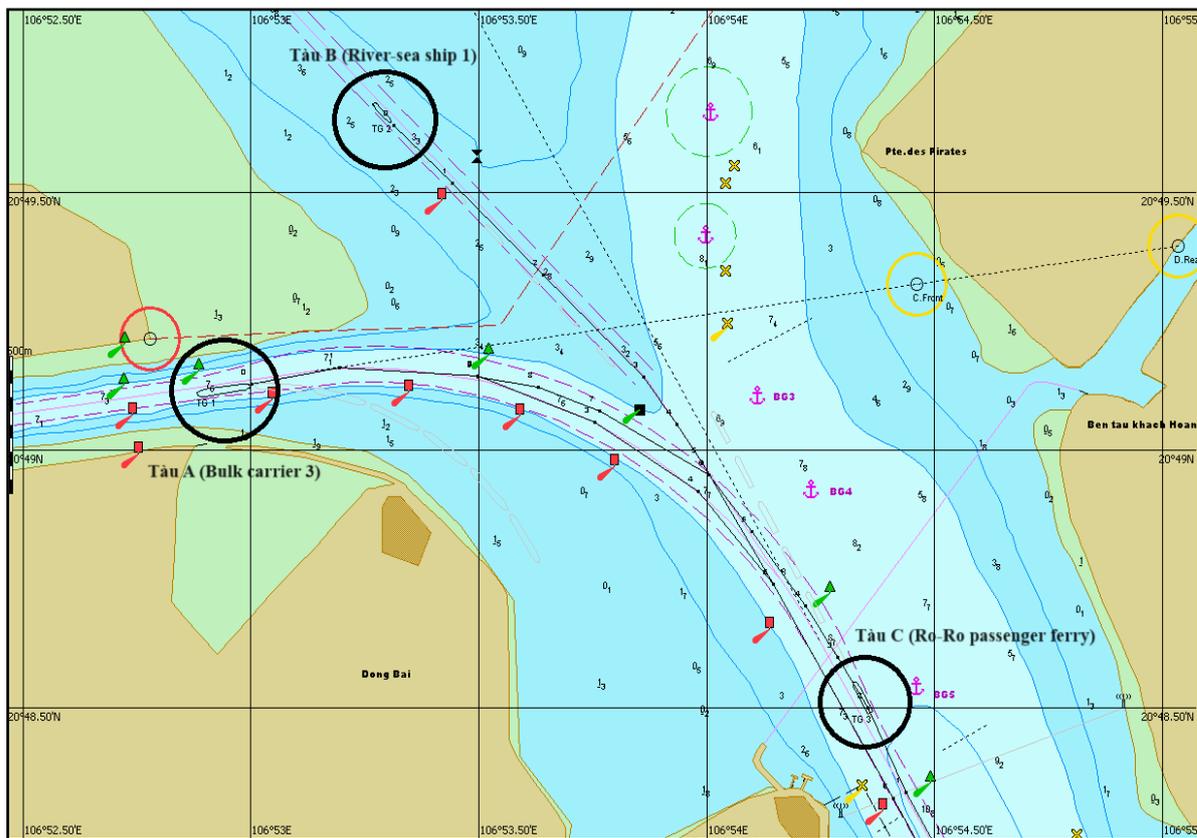
Hình 3.13. Mô phỏng di chuyển HSD của 2 tàu khi hành trình

3.3.2.2. Đánh giá nguy cơ đâm va giữa 3 tàu

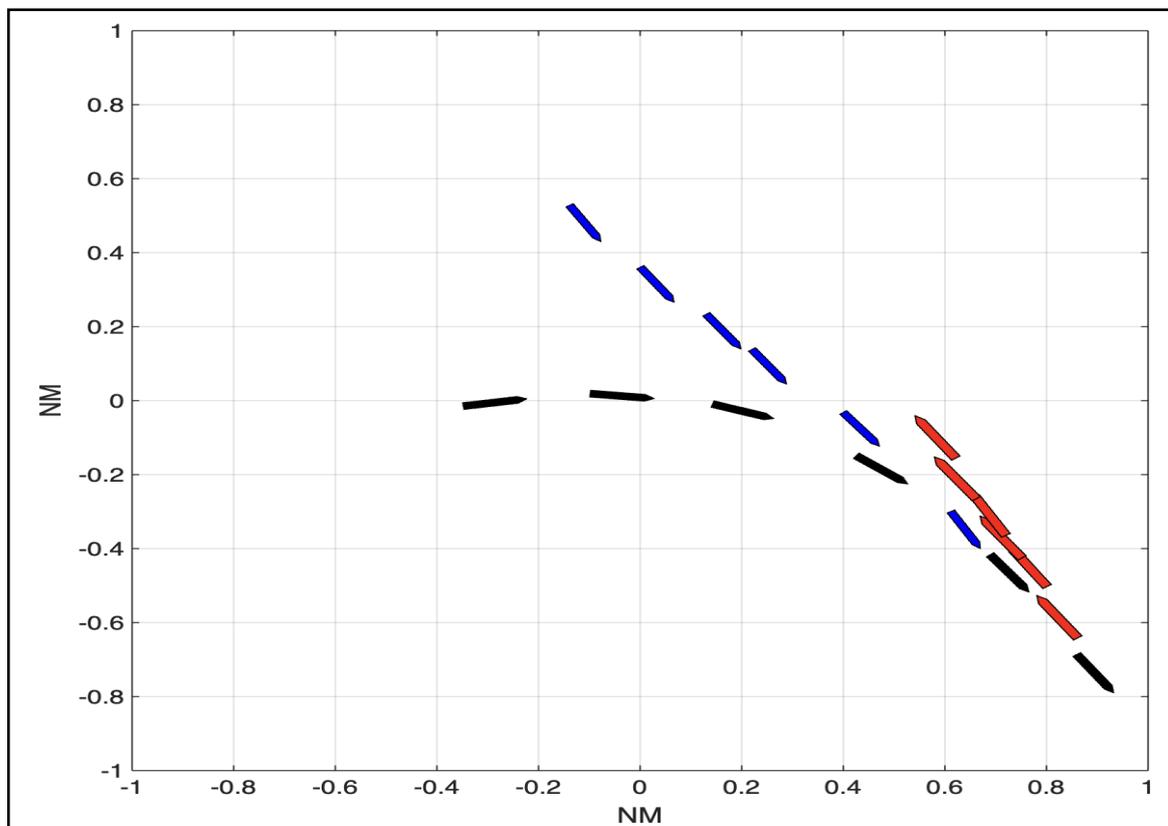
Mô phỏng giữa 3 tàu tiếp tục được nghiên cứu để đánh giá hiệu quả của HSD khi hỗ trợ cảnh báo nguy cơ đâm va giữa 3 tàu, tiến hành thực hiện mô phỏng tại khu vực phía Đông kênh Hà Nam, Tàu A là tàu Bulk carrier 3 (Hình 3.8) đi theo hướng từ phía Tây kênh Hà Nam để hành trình nhập luồng Lạch Huyện, Tàu B là tàu River-sea ship 1 (Hình 3.9) hành trình từ phía luồng Quảng Ninh nhập luồng Lạch Huyện, Tàu C là tàu Ro-Ro passenger ferry (Hình 3.10) hành trình từ luồng Lạch Huyện nhập kênh Hà Nam. Tại thời điểm bắt đầu mô phỏng, thông số của 3 tàu được mô tả trong Bảng 3.5 và Hình 3.14. Vết di chuyển được chuyển sang hệ tọa độ Decarts và thông số của 2 tàu khi hành trình được mô tả trong Bảng 3.6 và Hình 3.15.

Bảng 3.5. Thông số mô phỏng đánh giá nguy cơ đâm va giữa hai tàu

Tàu A (Bulk carrier 3)			Tàu B (River-sea ship 1)			Tàu C (Ro-Ro passenger ferry)		
Vị trí	Vận tốc (kn)	Hướng (°)	Vị trí	Vận tốc (kn)	Hướng (°)	Vị trí	Vận tốc (kn)	Hướng (°)
20°49.116N 106°52.941E	7,2	082	20°49.655N 106°53.288E	6,6	136	20°48.520N 106°54.341E	6,0	331



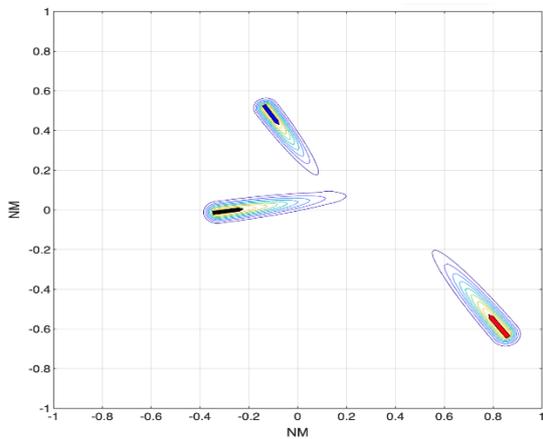
Hình 3.14. Vị trí của 3 tàu trên hải đồ



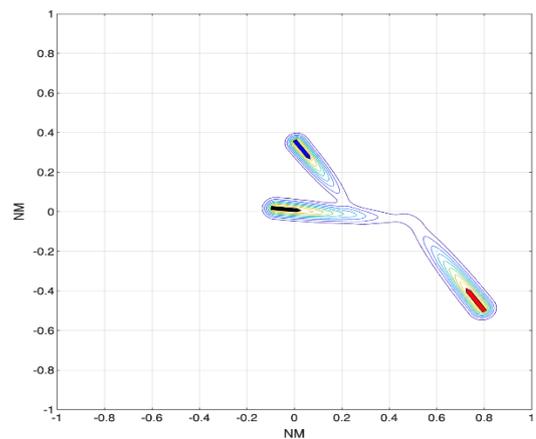
Hình 3.15. Mô phỏng vết di chuyển của 3 tàu khi hành trình

Bảng 3.6. Thông số di chuyển của 3 tàu

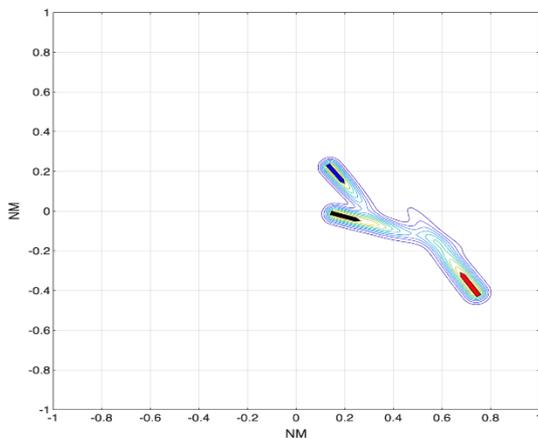
Thời điểm	Tàu A (Bulk carrier 3)			Tàu B (River-sea ship 1)			Tàu C (Ro-Ro passenger ferry)		
	Vị trí (nm)	Vận tốc (kn)	Hướng (°)	Vị trí (nm)	Vận tốc (kn)	Hướng (°)	Vị trí (nm)	Vận tốc (kn)	Hướng (°)
t_1 14h00	-0,33; -0,22	9,2	081	-0,13; 0,514	7,5	148	0.85; -0.625	8,0	325
t_2 14h02	-0,08; 0,017	9	096	0,01; 0,347	7	145	0.79; -0.486	8,1	326
t_3 14h04	0,16; -0,015	8,8	108	0,14; 0,22	6,5	144	0.74; -0.409	7,9	327
t_4 14h06	0,44; -0,016	9,0	127	0,23; 0,125	6	144	0.71; -0.347	5,5	330
t_5 14h08	0,7; -0,431	8	143	0,41; -0,045	5,5	142	0.65; -0.249	5,0	324
t_6 14h10	0,87; -0,701	8	145	0,62; -0,314	5,0	150	0.61; -0.139	4,0	325



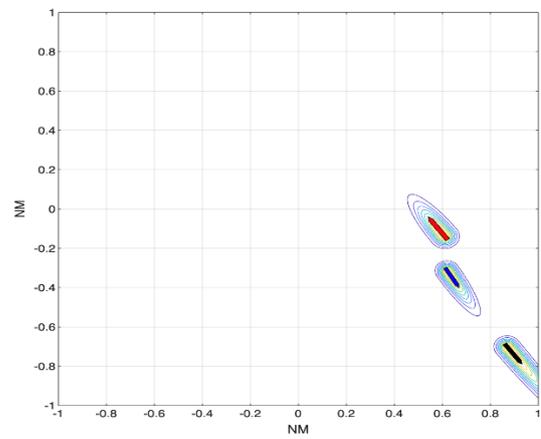
(t_1)



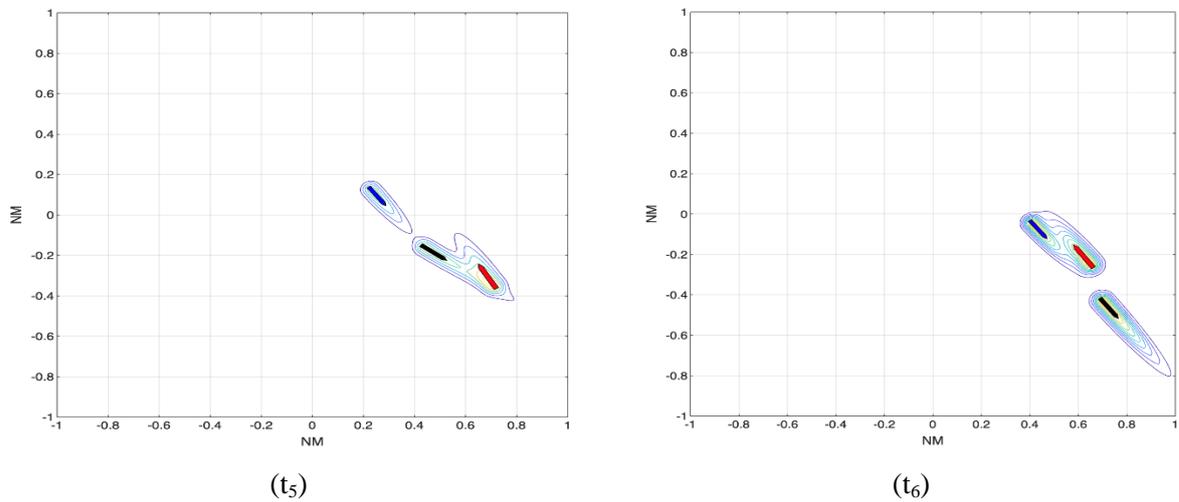
(t_2)



(t_3)



(t_4)



Hình 3.16. Mô phỏng di chuyển HSD của 3 tàu khi hành trình

Khi 3 tàu hành trình, nghiên cứu sử dụng một máy tính để áp dụng HSD cho hai tàu sử dụng thông số tại các thời điểm thu được từ hệ thống mô phỏng (Hình 3.16). Tại thời điểm t_1 , khi chưa có sự giao thoa giữa các HSD, phần mũi của các HSD có chiều dài khoảng 0,5nm. Đến thời điểm t_2 , bắt đầu quan sát được có vùng giao thoa 1 giữa mạn trái của tàu A và phần mũi của tàu B có giá trị 0,2 và vùng giao thoa 2 giữa phần mũi của tàu A và tàu C cũng có giá trị 0,2. Như vậy có thể thấy rằng, khi khu vực giao thoa giữa các HSD có giá trị 0,2 thì nguy cơ đâm va bắt đầu hình thành. Tại thời điểm t_3 , khi 3 tàu tiếp tục tiến đến gần nhau, giá trị của vùng giao thoa 1 và 2 tăng lên tương ứng là 0,5 và 0,4. Các sỹ quan điều khiển các tàu bắt đầu có hành động tránh va: tàu A tiếp tục chuyển hướng sang phải trong khi tàu B và tàu C giảm tốc độ. Tại thời điểm t_4 , HSD của tàu B nhỏ lại và tách ra trong khi HSD của tàu A và tàu C vẫn có sự giao thoa. Giá trị lớn nhất tại khu vực giao thoa là 0,6. Hai tàu A và tàu C chuyển hướng sang phải cho đến khi HSD của 2 tàu tách ra cho đến khi HSD của tàu B và TS2 giao thoa với nhau tại thời điểm t_5 2 tàu B và tàu C tiếp tục điều động để không còn sự giao thoa ở thời điểm t_6 .

Qua quá trình thực nghiệm có thể thấy rằng, khi chưa có sự chònh lán giữa các HSD điều này có nghĩa là DCR_{area} bằng 0, các tàu có thể tự do hàng hải, tuy nhiên sỹ quan bắt đầu chú ý nhiều hơn đến nhóm tàu đã xuất hiện HSD. Khi $0 < DCR_{area} < 0.2$, đường bao ngoài cùng của HSD các tàu, có màu nhạt đã bắt đầu giao thoa, nguy cơ đâm va bắt đầu xuất hiện. Lúc này, các sỹ quan cần lưu ý và thực

hiện các hành động cần thiết càng sớm càng tốt bằng cách đánh giá mức độ nguy cơ đâm va của các tàu khác cũng như DCR_{area} tại các khu vực chòng lún của các HSD để duy trì khoảng cách an toàn. Khi $0.2 \leq DCR_{area} \leq 0.5$, các tàu cần có hành động triệt để hơn vì nguy cơ đâm va đã rõ ràng. Sĩ quan nên thực hiện các biện pháp tránh va hiệu quả. Khi $DCR_{area} > 0.5$, nghĩa là các HSD đã giao thoa nhiều hơn. Đây có thể coi là tình huống khẩn cấp, nguy cơ đâm va rất cấp bách. Các sĩ quan được yêu cầu thực hiện hành động một cách nhanh chóng nhất để tránh va sao cho giá trị DCR_{area} giảm dần hoặc để các vùng chòng lún không xuất hiện. Nếu không, đâm va sẽ xảy ra.

3.4. Kết luận chương 3

Trên cơ sở vùng an toàn HSD được đề xuất tại Chương 2, Chương này nghiên cứu xây dựng thuật toán xác định nguy cơ đâm va tại các điểm nóng giao thông tại khu vực luồng Hải Phòng và luồng Sài Gòn - Vũng Tàu. Thuật toán đã được so sánh với phương pháp đánh giá nguy cơ đâm va truyền thống dựa vào chỉ số CPA và DCPA được các nhà khoa học sử dụng rất phổ biến và phương pháp mô phỏng số.

Việc sử dụng vùng an toàn HSD để xác định nguy cơ đâm va đã thực hiện đánh giá, kiểm nghiệm. Khả năng và mức độ áp dụng của HSD trong đánh giá nguy cơ đâm va đối với các tàu trên khu vực luồng Hải Phòng tại Phòng Mô phỏng lái tàu của Trường Đại học Hàng hải Việt Nam đạt kết quả khả quan, có khả năng hỗ trợ sĩ quan hàng hải, sĩ quan điều phối giao thông trong đánh giá nguy cơ đâm va. Đối với tình huống xuất hiện 2 tàu hoặc 3 tàu, tại mỗi thời điểm khác nhau, tốc độ khác nhau, mỗi tàu đã xuất hiện một HSD riêng, trên cơ sở các vùng an toàn HSD của tàu, sĩ quan hàng hải đã có quan sát trực quan về mức độ nguy hiểm, chủ động đưa ra các phương án điều động tàu để duy trì các HSD không bị chòng lún lên nhau, trên cơ sở đó, an toàn hàng hải đã được duy trì trong suốt quá trình hàng hải.

CHƯƠNG 4

XÂY DỰNG BẢN ĐỒ ĐIỂM NÓNG GIAO THÔNG, MÔ PHỎNG TRÊN VÙNG BIỂN VIỆT NAM

4.1. Thu thập và xử lý dữ liệu từ hệ thống tự động nhận dạng

4.1.1. Hệ thống tự động nhận dạng AIS

Hệ thống tự động nhận dạng (Automatic Identification System - AIS) là hệ thống thông tin liên lạc trợ giúp hàng hải, hoạt động trên dải tần số VHF (từ 156.025MHz đến 162.025MHz), phục vụ trao đổi thông tin lẫn nhau giữa các phương tiện di động hàng hải và cố định trên bờ khi chúng nằm trong tầm hoạt động. AIS được quy định bắt buộc trang bị trên các tàu biển, phương tiện hoạt động trên biển kể từ năm 2002 tại Điều 19 Chương V của SOLAS 74 [60]. Các tàu được trang bị AIS có thể chủ động chia sẻ thông tin của tàu mình với các tàu khác, đài thông tin duyên hải hoạt động trong khu vực lân cận, các trạm VTS và cơ quan quản lý hàng hải.

Việc trao đổi các thông tin giữa các tàu hoặc trao đổi thông tin với trạm bờ, giúp phương tiện tránh va chạm khi hàng hải, giúp theo dõi, quản lý quá trình lưu thông hàng hải, phục vụ an toàn hàng hải, an ninh, tìm kiếm cứu nạn và bảo vệ môi trường biển. Dữ liệu truyền qua lại giữa AIS gần như tức thời, nhận biết ngay được sự thay đổi trạng thái của tàu mục tiêu như hướng và tốc độ. Mặc khác, vì sử dụng trên tần số VHF nên AIS có khả năng phát hiện mục tiêu ngay cả khi bị che khuất, không bị mất, lẫn mục tiêu khi nhiễu màn hình hoặc khi tàu quay trở nhanh.

Dữ liệu trao đổi giữa các trạm AIS được chia làm 2 loại:

- Thông số tĩnh: là các thông số được vào máy ngay khi lắp đặt trên tàu, trong quá trình sử dụng hầu như không phải điều chỉnh thông số này như: tên tàu, hô hiệu, số MMSI, số IMO, chiều dài tàu, chiều rộng tàu và loại tàu.

- Thông số động: là thông số hiển thị theo các thiết bị ngoại vi được kết nối với AIS hoặc do người sử dụng tự nhập tùy theo trạng thái hoạt động của tàu như: vị trí, tốc độ, hướng mũi tàu ... Các dữ liệu thay đổi khác như: món nước, cảng đích, ...

Chuyển đổi tín hiệu AIS sang máy tính và các thiết bị di động

Bộ chuyển đổi dữ liệu AIS sang giao thức Ethernet được thiết kế gồm đầu vào là các cổng giao tiếp nối tiếp theo giao thức RS232/RS485/RS422 phù hợp với hầu hết các thiết bị buồng lái và đầu ra là cổng giao tiếp theo giao thức Ethernet truyền dữ liệu đồng thời theo công nghệ Wifi và mạng LAN.

Giao tiếp truyền thông nối tiếp: Là một phương pháp truyền thông qua giữa hai hoặc nhiều thiết bị thông qua một dây dẫn đơn hoặc một cặp dây điện để truyền tải dữ liệu bit theo thứ tự một cách tuần tự. Có 3 loại giao tiếp truyền thông nối tiếp phổ biến hiện nay là RS-232, RS-485 và RS-422. Ưu điểm của giao tiếp này là đơn giản, dễ triển khai, chi phí thấp. Tuy nhiên, tốc độ truyền thông thấp, khoảng cách không xa. Trong ứng dụng đòi hỏi tốc độ cao, và khoảng cách xa, người dùng thường ưu tiên sử dụng giao thức truyền thông khác như Ethernet và Wifi.

Giao thức truyền thông Ethernet: Là giao thức được sử dụng rộng rãi và phổ biến trong mạng máy tính để kết nối các thiết bị và truyền tải dữ liệu. Nó trở thành tiêu chuẩn chính cho việc kết nối và truyền tải dữ liệu giữa các thiết bị trong môi trường mạng, cả mạng viễn thông, mạng máy tính thông thường và mạng truyền thông công nghiệp.

Với hai giao thức truyền thông này, người dùng hoàn toàn có thể tạo một mạng đơn giản giữa AIS - thiết bị chuyển đổi - máy tính, thiết bị di động không dây bằng các thiết bị mạng thông thường để đưa dữ liệu từ AIS sang các khu vực xa hơn trong buồng lái của tàu. Trong bộ chuyển đổi được tích hợp bộ điều khiển TCP/IP, bộ nhớ, bộ thu phát Ethernet 10/100M, cổng nối tiếp tốc độ cao và được xây dựng trên nền một máy chủ sử dụng hệ điều hành nhúng ECOS. Đây là hệ điều hành nhúng chuyên biệt cho các ứng dụng phải xử lý chuyển đổi các giao tiếp nối tiếp thành giao tiếp Ethernet, được tối ưu hóa ứng dụng trong điều khiển công nghiệp và điều khiển từ xa, kiểm soát tốc độ dữ liệu và tích hợp tất cả chức năng bảo mật, chống nhiễu, có khả năng tùy biến cấu hình cao.



Hình 4.1. Cấu hình bộ chuyên đổi dữ liệu AIS

4.1.2. Xử lý dữ liệu AIS

AIS là hệ thống nhận dạng tự động sử dụng bộ tiếp sóng trên tàu và được sử dụng rộng rãi trong quản lý giao thông hàng hải. Các tàu có thể trao đổi cả thông tin tĩnh và động với các tàu khác ở gần, đồng thời thông tin có thể được hiển thị trên màn hình máy tính hoặc hệ thống thông tin và hiển thị hải đồ điện tử (ECDIS) trong thời gian thực bằng cách kết hợp với dữ liệu radar để hỗ trợ đánh giá nguy cơ đâm va.

Dữ liệu AIS được lưu trữ dưới dạng tọa độ vĩ độ và kinh độ dựa trên hệ tọa độ Descartes. Tuy nhiên, không thể tính toán trực tiếp nguy cơ đâm va tàu, cần phải được chuyển đổi thành tọa độ Mercator. Gọi (φ, λ) biểu thị kinh độ và vĩ độ của một điểm được đánh dấu thời gian trên quỹ đạo của tàu. Tọa độ Descartes tương ứng (x, y) có thể thu được thông qua phép chiếu Mercator [127,128] như sau:

$$r_0 = \frac{a}{\sqrt{1 - e^2 \sin^2 \varphi_0}} \cos \varphi_0 \quad (4.1)$$

$$q = \ln \tan\left(\frac{\pi}{4} + \frac{\varphi}{2}\right) + \frac{e}{2} \ln\left(\frac{1 - e \sin \varphi}{1 + e \sin \varphi}\right) \quad (4.2)$$

$$x = \lambda * r_0 \quad (4.3)$$

$$y = q * r_0 \quad (4.4)$$

Trong đó:

φ_0 là vĩ độ tiêu chuẩn.

a là bán trục lớn của Trái Đất.

e là độ lệch tâm của Trái Đất.

r_0 là bán kính cong cung vĩ tuyến φ_0 .

q là vĩ độ tiến.

Dữ liệu AIS gồm dữ liệu tĩnh và dữ liệu động, được sử dụng rộng rãi trong quản lý an toàn hàng hải. Để đánh giá nguy cơ đâm va, các đặc điểm động học của tàu được trích xuất từ dữ liệu AIS để thể hiện chuyển động của tàu. Tuy nhiên, dữ liệu AIS có thể có lỗi trong quá trình thu và phát. Hơn nữa, dữ liệu AIS có thể không được truyền cùng lúc, được gửi ngẫu nhiên vào các thời điểm khác nhau dẫn đến luồng dữ liệu AIS không đồng bộ. Vì vậy, cần phải lọc để loại bỏ các nhiễu có thể xảy ra và nội suy dữ liệu AIS. Trong nghiên cứu này, việc làm sạch và tiền xử lý dữ liệu AIS được thực hiện, nhiệm vụ chính của bước này là làm cho dữ liệu AIS trở nên đáng tin cậy để phân tích giao thông hàng hải.

Quá trình xử lý trước dữ liệu bao gồm loại bỏ nhiễu dữ liệu AIS và nội suy dữ liệu AIS. Năm 2011, Qu và cộng sự đã đề xuất phương pháp loại bỏ nhiễu dữ liệu AIS, dựa trên định luật vật lý cơ bản về chuyển động của tàu [89]. Theo định luật chuyển động của Newton, tốc độ trung bình có thể được tính bằng tỷ số giữa quãng đường và thời gian di chuyển. Do đó, các vị trí được ghi lại và khả năng tăng/giảm tốc độ của tàu có thể được sử dụng để kiểm tra xem các giá trị tốc độ được ghi lại có nằm trong phạm vi hợp lý hay không. Tương ứng, dữ liệu vị trí có

thể được xóa bằng cách sử dụng dữ liệu tốc độ được cập nhật dựa trên nguyên tắc tương tự. Quá trình tiền xử lý dữ liệu được minh họa chi tiết như sau:

Bước 1: Kiểm tra tính hợp lý của dữ liệu tốc độ.

Tốc độ trung bình theo thời gian của một tàu i tại một khoảng thời gian cụ thể $[T_j, T_{j+1}]$ được tính như sau:

$$\overline{V_{i,T_{j+1}}} = \frac{\sqrt{(x_{i,T_{j+1}} - x_{i,T_j})^2 + (y_{i,T_{j+1}} - y_{i,T_j})^2}}{T_{j+1} - T_j} \quad (4.5)$$

Trong đó:

x_{i,T_j} là kinh độ của tàu i tại thời điểm T_j .

y_{i,T_j} là vĩ độ của tàu i tại thời điểm T_j .

Theo định luật chuyển động của Newton, tốc độ trung bình theo thời gian phải thỏa mãn các điều kiện như sau:

$$SOG_{i,T_j} - d_i(T_{j+1} - T_j) \leq \overline{V_{i,T_{j+1}}} \leq SOG_{i,T_j} + a_i(T_{j+1} - T_j) \quad (4.6)$$

Trong đó:

SOG_{i,T_j} là tốc độ tuyệt đối của tàu i tại thời điểm T_j .

d_i và a_i lần lượt là độ giảm và độ tăng lớn nhất của tốc độ tàu i .

Bước 2: Cập nhật dữ liệu tốc độ bất hợp lý.

SOG của tàu i tại thời điểm T_j được cập nhật theo công thức:

$$SOG'_{i,T_j} = \begin{cases} \overline{V_{i,T_{j+1}}} & \text{if vận tốc nằm ngoài khoảng giá trị hợp lý} \\ SOG_{i,T_j} & \text{nếu vận tốc nằm trong khoảng giá trị hợp lý} \end{cases} \quad (4.7)$$

Bước 3: Kiểm tra tính hợp lý của dữ liệu vị trí.

Dựa vào quy trình tương tự, vị trí tàu có thể được tính lại như sau:

$$x'_{i,T_j} = x_{i,T_j} + SOG'_x \times (T_{j+1} - T_j) \quad (4.8)$$

$$y'_{i,T_j} = y_{i,T_j} + SOG'_y \times (T_{j+1} - T_j) \quad (4.9)$$

Trong đó:

x'_{i,T_j} là kinh độ ước tính của tàu i tại thời điểm T_j .

y'_{i,T_j} là vĩ độ ước tính của tàu i tại thời điểm T_j .

Tọa độ ước tính phải thỏa mãn phương trình sau:

$$\sqrt{(x_{i,T_{j+1}} - x_{i,T_j})^2 + (y_{i,T_{j+1}} - y_{i,T_j})^2} \leq \frac{1}{2} a_i (T_{j+1} - T_j)^2 \quad (4.10)$$

Bước 4: Cập nhật dữ liệu vị trí.

Để có được ảnh chụp nhanh về trạng thái tàu, dữ liệu AIS có thể được nội suy theo khoảng thời gian xác định trước. Trong nghiên cứu này, phương pháp nội suy tuyến tính được sử dụng để nội suy dữ liệu và khoảng thời gian được xác định trước được đặt thành 30 giây (Zhang và cộng sự năm 2014) [116].

$$\Delta t = T_{j+1} - T_j \quad (4.11)$$

$$x = x_{i,T_j} + (t - T_j) / \Delta t (x_{i,T_{j+1}} - x_{i,T_j}) \quad (4.12)$$

$$y = y_{i,T_j} + (t - T_j) / \Delta t (y_{i,T_{j+1}} - y_{i,T_j}) \quad (4.13)$$

4.2. Phân cụm tàu

4.2.1. Phương pháp phân cụm dựa trên mật độ (Density-Based Clustering)

Khi biểu diễn các điểm dữ liệu trong không gian chúng ta sẽ thấy rằng thông thường các vùng không gian có mật độ cao sẽ xen kẽ bởi các vùng không gian có mật độ thấp. Nếu như phải dựa vào mật độ để phân chia thì khả năng rất cao những tâm cụm sẽ tập trung vào những vùng không gian có mật độ cao trong khi biên sẽ rơi vào những vùng không gian có mật độ thấp. Trong lớp các mô hình phân cụm của học không giám sát tồn tại một kỹ thuật phân cụm dựa trên mật độ (Density-Based Clustering), kỹ thuật này đề cập đến các phương pháp học không giám sát nhằm xác định các cụm phân biệt trong phân phối của dữ liệu, dựa trên ý tưởng

rằng một cụm trong không gian dữ liệu là một vùng có mật độ điểm cao được ngăn cách với các cụm khác bằng các vùng liền kề có mật độ điểm thấp.

DBSCAN (Density-Based Spatial Clustering of Applications with Noise) là thuật toán phân cụm dữ liệu được đề xuất vào năm 1996 bởi Ester [46]. Đây là một thuật toán phân cụm dựa trên mật độ, có thể nhóm các đối tượng không gian có mật độ phân bố dày đặc cao thành các cụm khác nhau và loại bỏ bất kỳ đối tượng nhiễu nào khác ở xa. DBSCAN là một thuật toán cơ sở để phân nhóm dựa trên mật độ. Nó có thể phát hiện ra các cụm có hình dạng và kích thước khác nhau từ một lượng lớn dữ liệu chứa nhiễu.

4.2.1.1. Các định nghĩa trong DBSCAN

Định nghĩa 1: Vùng lân cận Eps (Eps-neighborhood) của một điểm dữ liệu (P) được định nghĩa là tập hợp tất cả các điểm dữ liệu nằm trong phạm vi bán kính Eps (kí hiệu ϵ) xung quanh điểm. Kí hiệu tập hợp những điểm này là:

$$N_{eps}(P) = \{Q \in D: d(p, Q) \leq \epsilon\} \quad (4.14)$$

Trong đó D là tập hợp tất cả các điểm dữ liệu của tập huấn luyện.

Định nghĩa 2: Khả năng tiếp cận trực tiếp mật độ (directly density-reachable) đề cập tới việc một điểm có thể tiếp cận trực tiếp tới một điểm dữ liệu khác. Cụ thể là một điểm Q được coi là có thể tiếp cận trực tiếp bởi điểm (P) tương ứng với tham số Eps và minPts nếu như nó thỏa mãn hai điều kiện:

- Q nằm trong vùng lân cận Eps của P : $Q \in N_{eps}(P)$
- Số lượng các điểm dữ liệu nằm trong vùng lân cận Eps tối thiểu là minPts:

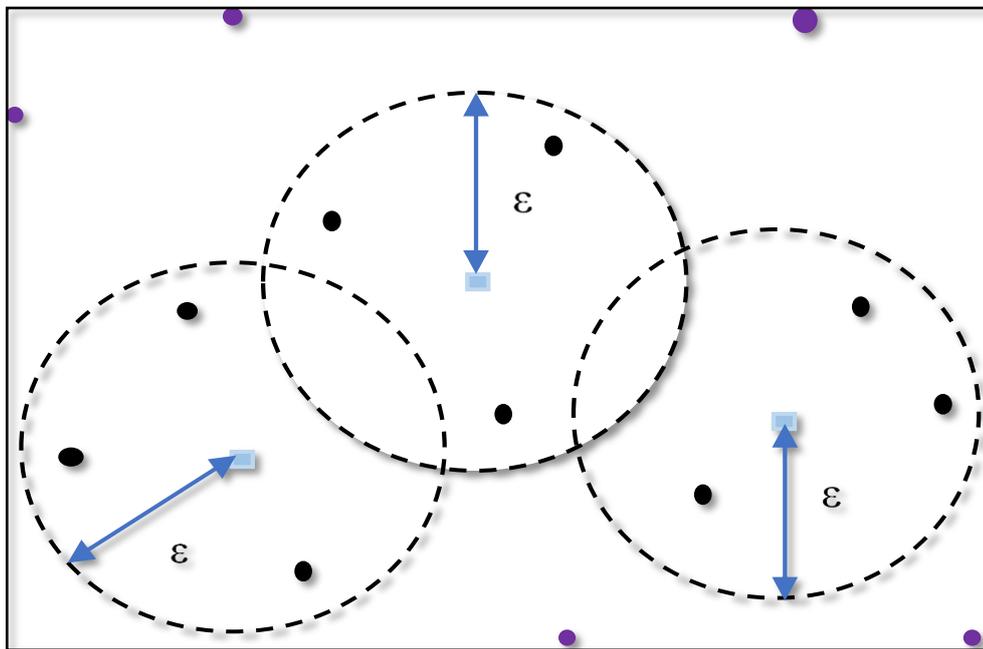
$$|N_{eps}(P)| \geq minPts$$

Như vậy một điểm dữ liệu có thể tiếp cận được trực tiếp tới một điểm khác không chỉ dựa vào khoảng cách giữa chúng mà còn phụ thuộc vào mật độ các điểm dữ liệu trong vùng lân cận Eps phải tối thiểu bằng minPts. Khi đó vùng lân cận được coi là có mật độ cao và sẽ được phân vào các cụm. Trái lại thì vùng lân cận sẽ có mật độ thấp. Trong trường hợp mật độ thấp thì điểm dữ liệu ở trung tâm

được coi là không kết nối trực tiếp tới những điểm khác trong vùng lân cận và những điểm này có thể rơi vào biên của cụm hoặc là một điểm dữ liệu nhiễu không thuộc về cụm nào.

4.2.1.2. Phân loại dạng điểm trong DBSCAN

Căn cứ vào vị trí của các điểm dữ liệu so với cụm chúng ta có thể chia chúng thành ba loại: Đối với các điểm nằm sâu bên trong cụm chúng ta xem chúng là điểm lõi. Các điểm biên nằm ở phần ngoài cùng của cụm và điểm nhiễu không thuộc bất kì một cụm nào. Bên dưới là hình vẽ mô phỏng thể hiện ba loại điểm tương ứng nêu trên.



Hình 4.2. Ba loại điểm và cụm

Điểm lõi là chấm vuông màu xanh, điểm biên là chấm tròn màu đen và điểm nhiễu là chấm tròn màu tím trong thuật toán DBSCAN. Các hình tròn đường viền nét đứt bán kính thể hiện vùng lân cận Eps tương ứng với các điểm lõi nhằm xác định nhãn cho từng điểm. $\text{minPts}=3$ là số lượng tối thiểu để một điểm lõi rơi vào vùng có mật độ cao nếu xung quanh chúng có số lượng điểm tối thiểu là 3.

Trong thuật toán DBSCAN sử dụng hai tham số chính đó là:

- minPts: Là một ngưỡng số điểm dữ liệu tối thiểu được nhóm lại với nhau nhằm xác định một vùng lân cận Eps có mật độ cao. Số lượng minPts không bao gồm điểm ở tâm.

- Eps (kí hiệu ϵ): Một giá trị khoảng cách được sử dụng để xác định vùng lân cận Eps của bất kỳ điểm dữ liệu nào.

Hai tham số trên sẽ được sử dụng để xác định vùng lân cận ϵ và khả năng tiếp cận giữa các điểm dữ liệu lẫn nhau. Từ đó giúp kết nối chuỗi dữ liệu vào chung một cụm.

Hai tham số trên giúp xác định ba loại điểm:

- Điểm lõi (core): Đây là một điểm có ít nhất minPts điểm trong vùng lân cận Eps của chính nó.

- Điểm biên (border): Đây là một điểm có ít nhất một điểm lõi nằm ở vùng lân cận Eps nhưng mật độ không đủ minPts điểm.

- Điểm nhiễu (noise): Đây là điểm không phải là điểm lõi hay điểm biên.

Đối với một cặp điểm (P, Q) bất kì sẽ có ba khả năng:

- Cả P và Q đều có khả năng kết nối mật độ được với nhau. Khi đó P, Q đều thuộc về chung một cụm.

- P có khả năng kết nối mật độ được với Q nhưng Q không kết nối mật độ được với P. Khi đó P sẽ là điểm lõi của cụm còn Q là một điểm biên.

- P và Q đều không kết nối mật độ được với nhau. Trường hợp này P và Q sẽ rơi vào những cụm khác nhau hoặc một trong hai điểm là điểm nhiễu.

4.2.1.3. Các bước trong thuật toán DBSCAN

Thuật toán sẽ thực hiện lan truyền để mở rộng dần phạm vi của cụm cho tới khi chạm tới những điểm biên thì thuật toán sẽ chuyển sang một cụm mới và lặp lại tiếp quá trình trên. Quy trình của thuật toán:

Bước 1: Thuật toán lựa chọn một điểm dữ liệu bất kì. Sau đó tiến hành xác định các điểm lõi và điểm biên thông qua vùng lân cận ϵ bằng cách lan truyền theo liên kết chuỗi các điểm thuộc cùng một cụm.

Bước 2: Cụm hoàn toàn được xác định khi không thể mở rộng được thêm. Khi đó lặp lại đệ quy toàn bộ quá trình với điểm khởi tạo trong số các điểm dữ liệu còn lại để xác định một cụm mới.

Xác định tham số là một bước quan trọng và ảnh hưởng trực tiếp tới kết quả của các thuật toán. Đối với thuật DBSCAN cũng không ngoại lệ, cần phải xác định chính xác tham số cho thuật toán DBSCAN một cách phù hợp với từng bộ dữ liệu cụ thể, tùy theo đặc điểm và tính chất của phân phối của bộ dữ liệu. Hai tham số cần lựa chọn trong DBSCAN đó chính là minPts và ϵ :

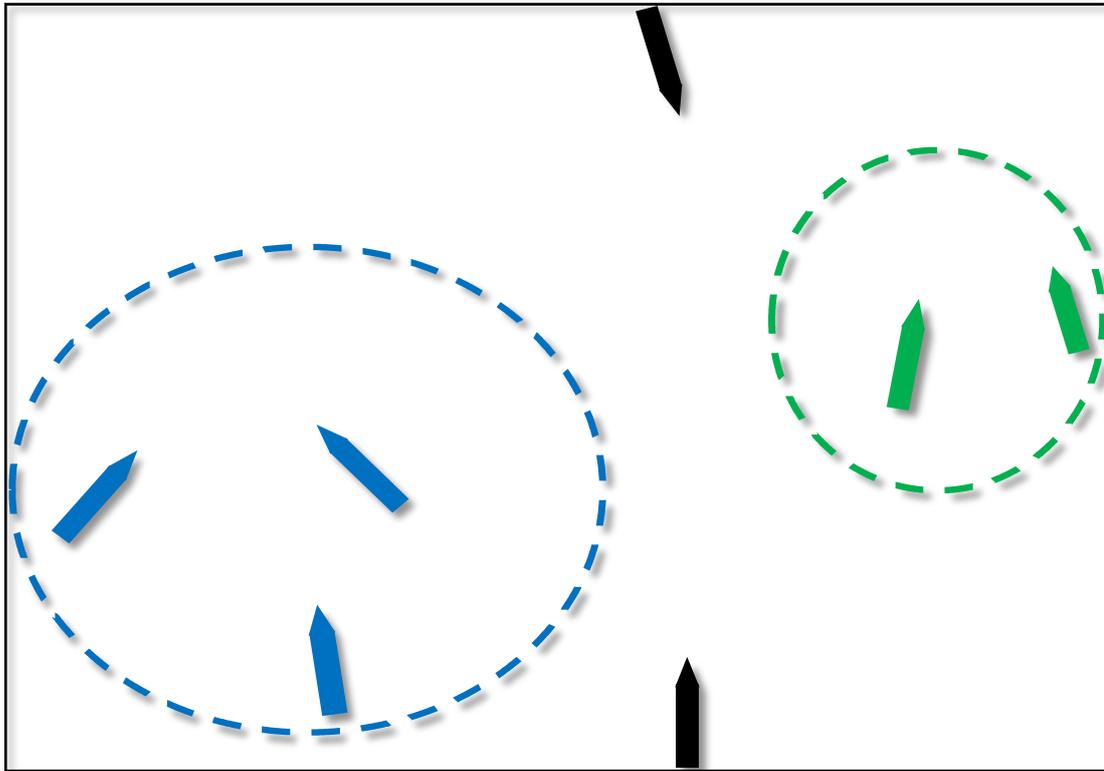
minPts : Theo quy tắc chung, minPts tối thiểu có thể được tính theo số chiều D trong tập dữ liệu đó là $\text{minPts} > D + 1$. Một giá trị $\text{minPts} = 1$ không có ý nghĩa, vì khi đó mọi điểm bản thân nó đều là một cụm. Thông thường, minPts phải được chọn ít nhất là 3. Tuy nhiên, các giá trị lớn hơn thường tốt hơn cho các tập dữ liệu có nhiễu và kết quả phân cụm thường hợp lý hơn. Trong trường hợp dữ liệu có nhiễu hoặc có nhiều quan sát lặp lại thì cần lựa chọn giá trị lớn hơn nữa tương ứng với những bộ dữ liệu lớn.

ϵ (ϵ): Nếu được chọn quá nhỏ, một phần lớn dữ liệu sẽ không được phân cụm và được xem là nhiễu; trong khi đối với giá trị quá cao, các cụm sẽ hợp nhất và phần lớn các điểm sẽ nằm trong cùng một cụm. Nói chung, các giá trị nhỏ của ϵ được ưu tiên hơn và theo quy tắc chung, chỉ một phần nhỏ các điểm nên nằm trong vùng lân cận ϵ .

4.2.2. Phân cụm tàu bằng DBSCAN

Điều kiện tiên quyết để phát sinh nguy cơ đâm va giữa các tàu là khoảng cách đủ gần giữa các tàu. Để tự động phát hiện tình huống có nguy cơ đâm va trong số lượng lớn tàu ở trong một vùng biển, phương pháp DBSCAN được áp dụng trong nghiên cứu này.

Có thể thấy rằng DBSCAN đáp ứng yêu cầu phát hiện các tàu có nguy cơ đâm va và lọc ra các tàu an toàn hơn, bởi vì vị trí của tàu là dữ liệu không gian và các tàu có nguy cơ đâm va có thể được hiểu là các cụm đối tượng đủ gần nhau về khoảng cách không gian. Hơn nữa, nhiễu tạo ra sau quá trình xử lý DBSCAN là các tàu ở xa các cụm tàu khác (Hình 4.3).



Hình 4.3. Áp dụng DBSCAN vào phân cụm tàu

Trước khi áp dụng DBSCAN, có hai tham số cần được chỉ định là ϵ và MinPts . ϵ là bán kính nối các tàu thành một cụm chạm trán. Trong lĩnh vực hàng hải, khoảng cách giữa các tàu thường được tính từ dữ liệu AIS sử dụng phương pháp Mercator, chính xác và phù hợp hơn khoảng cách Euclide. Hơn nữa, độ phức tạp của việc áp dụng phương pháp Mercator cũng tương tự như việc tính toán Euclide. Đơn vị khoảng cách của phương pháp Mercator là hải lý, có thể áp dụng trực tiếp vào quá trình phân cụm.

Giả sử có hai tàu, $S_0 (\varphi_0, \lambda_0, V_0, C_0)$ và $S_t (\varphi_t, \lambda_t, V_t, C_t)$. Khoảng cách và phương vị tính từ S_0 đến S_t được tính như sau [117]:

$$\Delta\varphi = \varphi_t - \varphi_0 \quad (4.15)$$

$$\Delta\lambda = \lambda_t - \lambda_0 \quad (4.16)$$

$$MP = 7915.7 \log \left[\tan\left(\frac{\pi}{4} + \frac{\varphi}{2}\right) \left(\frac{1 - e \sin\varphi}{1 + e \sin\varphi}\right)^{e/2} \right] \quad (4.17)$$

$$\Delta MP = MP_t - MP_0 \quad (4.18)$$

$$\text{Phương vị} = \text{atan}\left(\frac{\Delta MP}{\Delta\lambda}\right) \quad (4.19)$$

$$\text{Khoảng cách} = \frac{\Delta\varphi}{\cos(\text{Phương vị})} \quad (4.20)$$

Trong đó:

MP là vĩ độ tiến.

(φ_0, λ_0) là tọa độ của tàu chủ.

(φ_t, λ_t) là tọa độ của tàu mục tiêu.

V_0, C_0 lần lượt là tốc độ và hướng của tàu chủ.

V_t, C_t lần lượt là tốc độ và hướng của tàu mục tiêu.

minPts trong nghiên cứu này là số lượng tàu tối thiểu có thể được nhóm thành một cụm. Các tình huống có nguy cơ đâm va phải hình thành với ít nhất 2 tàu, vì vậy minPts = 1. Sau khi áp dụng quy trình phân cụm cho các tàu trong vùng biển xác định có thể trích xuất các cụm tàu có ít nhất một tàu xung quanh (với bán kính được xác định). Các tàu đơn lẻ sẽ bị bỏ qua vì chúng không có các tàu khác ở xung quanh và sẽ ở trong tình trạng an toàn xét theo quan điểm nguy cơ đâm va.

ε là một tham số ban đầu quan trọng vì nó kết nối tàu với một cụm; giá trị của Eps là khoảng cách nhất định xác định các tàu có gặp nhau không trong phạm vi hàng hải. Khoảng cách cụ thể mà các tàu gặp nhau thay đổi tùy theo tình hình giữa các tàu, khả năng điều động của tàu, tình trạng vùng biển, điều kiện khí tượng, v.v. (Szlupczynski, 2010) [97]. Năm 2015, Zhang cùng các nhà nghiên cứu khác

đặt bán kính là 1500 m (0,8 hải lý) để hỗ trợ tránh va giữa nhiều tàu [117]. Van Iperen (2012) định nghĩa khoảng cách của hai con tàu dự kiến sẽ vượt qua nhau trong phạm vi 3 hải lý trong vòng 20 phút, dựa trên tốc độ và hướng đi của các tàu [99]. Khoảng cách gặp nhau nêu trên được xác định trên cơ sở các tàu đang ở trong tình thế nguy hiểm và phải thực hiện các hành động tránh va. Trong ứng dụng thực tế, ϵ phải được xác định theo quy tắc vùng nước hạn chế phải có giá trị ϵ nhỏ hơn, trong khi giá trị lớn phải được đưa ra cho vùng nước ngoài đại dương. Trong nghiên cứu này, ϵ được xác định dựa trên ý kiến của các chuyên gia hàng hải.

Phương pháp DBSCAN sẽ nhóm các tàu ở gần nhau lại thành các cụm, mỗi cụm có ít nhất từ 2 tàu trở lên. Các tàu được đánh giá là nhiễu sẽ được lọc ra và có thể coi là an toàn tại thời điểm phân cụm. Tuy nhiên, các tàu này vẫn tiếp tục được theo dõi. Trong trường hợp các tàu nhiễu tiến gần tới một tàu nhiễu khác hoặc đến gần một cụm tàu, nó có thể được nhóm lại với nhau. Trong một cụm, nếu một tàu có xu hướng đi xa các tàu khác trong cụm, nó sẽ trở thành nhiễu trong trường hợp khoảng cách từ tàu đó đến các tàu còn lại lớn hơn ϵ .

4.3. Xây dựng bản đồ điểm nóng giao thông, mô phỏng trên vùng biển Việt Nam

4.3.1. Các bước xây dựng bản đồ điểm nóng giao thông hàng hải sử dụng HSD

Các nghiên cứu trước đây có thể xác định đầy đủ nguy cơ đâm va tàu khu vực ở một mức độ nào đó và phương pháp xác định nguy cơ đâm va tàu khu vực hiện tại có một số hạn chế. Đặc biệt, tác động của các tàu khác tới tàu chủ không được tính đến khi tính toán nguy cơ đâm va. Trong một cụm, các tàu nằm trong phạm vi nhất định tính từ tàu chủ sẽ có tác động nhất định đến hành động tránh đâm va mà tàu chủ thực hiện. Để giải quyết các vấn đề này, nghiên cứu đề xuất một phương pháp mới sử dụng vùng an toàn của tàu (HSD) để xác định nguy cơ đâm va giữa các tàu, từ đó tìm các điểm nóng giao thông và thể hiện chúng trên bản đồ, gồm 3 bước chính:

Bước 1: Xử lý dữ liệu AIS.

Dữ liệu động và tĩnh của tàu được trích xuất từ dữ liệu hệ thống nhận dạng tự động (AIS) của tàu. Các bản tin lỗi được lọc ra, tính toán lại vị trí bằng phương

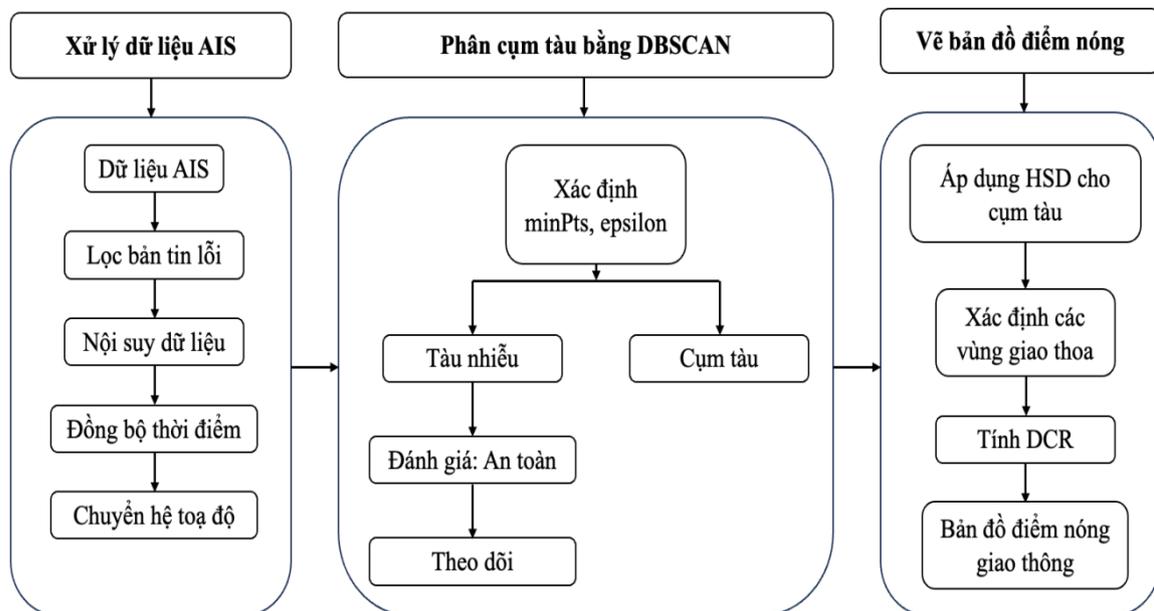
pháp nội suy. Sau đó, các dữ liệu này được quy về cùng một thời điểm và chuyển qua hệ trục tọa độ Descarts.

Bước 2: Phân cụm tàu bằng DBSCAN

Tại bước này, việc phân cụm các tàu gần nhau và lọc ra các tàu ở xa các tàu khác được thực hiện bằng phương pháp DBSCAN. Trong bước này, cần xác định các thông số điều kiện như: khoảng cách để các tàu nằm trong một cụm và số tàu tối thiểu trong cụm. Các tàu không nằm trong cụm sẽ được đánh giá là an toàn và tiếp tục theo dõi cho đến khi tiến gần đến các tàu khác. Các tàu có khoảng cách nhỏ hơn khoảng cách điều kiện sẽ được phân thành các cụm để đánh giá nguy cơ đâm va.

Bước 3: Vẽ bản đồ điểm nóng.

Các tàu trong cụm tàu được xác định ở Bước 2 sẽ được áp dụng vùng an toàn HSD. Trong trường hợp HSD của các tàu giao thoa với nhau, vùng giao thoa của các HSD này sẽ có giá trị DCR tăng lên và được thể hiện dưới dạng bản đồ nhiệt. Các khu vực thường xuyên có giá trị DCR cao sẽ được coi là điểm nóng giao thông.



Hình 4.4. Sơ đồ thuật toán xây dựng bản đồ điểm nóng giao thông hàng hải bằng HSD

Các phương pháp đánh giá nguy cơ đâm va tại một khu vực nhất định hiện nay chủ yếu được tính toán từ góc độ vi mô, vĩ mô và theo vùng. Để xây dựng bản đồ điểm nóng giao thông theo thời gian thực, việc kết hợp được cả ba phương pháp

này là rất quan trọng và cấp thiết. Vì vậy, nghiên cứu đã đề xuất mô hình đánh giá nguy cơ đâm va áp dụng vùng an toàn của tàu (HSD), xác định nguy cơ đâm va giữa các tàu trong một cụm nhỏ (vi mô). Các cụm này được phân loại bằng phương pháp DBSCAN. Sau đó, chỉ số nguy cơ đâm va của các cụm này sẽ được thể hiện trên toàn bộ vùng biển khảo sát để tạo nên bản đồ điểm nóng giao thông.

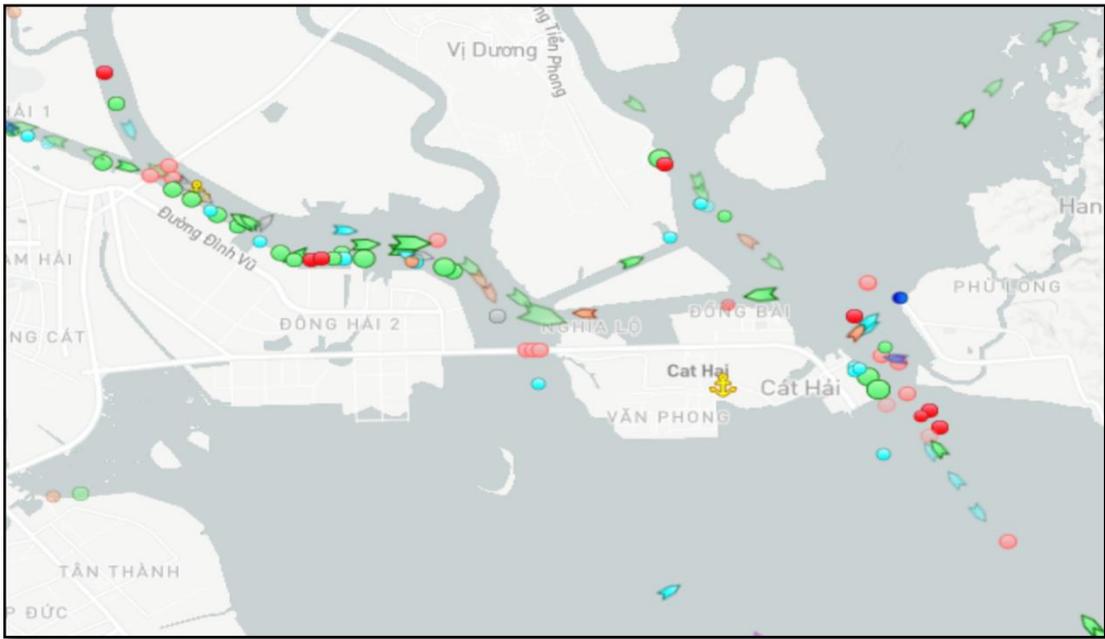
4.3.2. Mô phỏng bản đồ điểm nóng trên vùng biển Việt Nam

Bản đồ điểm nóng giao thông tại luồng Hải Phòng và luồng Sài Gòn - Vũng Tàu sẽ được xây dựng để kiểm chứng tính hiệu quả của mô hình đề xuất. Như phân tích tại Chương 1, đây là hai khu vực có địa hình phức tạp, lưu lượng hàng hóa, mật độ tàu thuyền ra vào lớn nhất tại Việt Nam. Vì vậy, khi thực hiện mô phỏng tại 2 khu vực này sẽ xuất hiện nhiều tình huống có nguy cơ đâm va giữa các tàu, dẫn đến các điểm nóng giao thông sẽ có điều kiện được hình thành rõ rệt hơn.

4.3.2.1. Mô phỏng trên khu vực luồng Hải Phòng

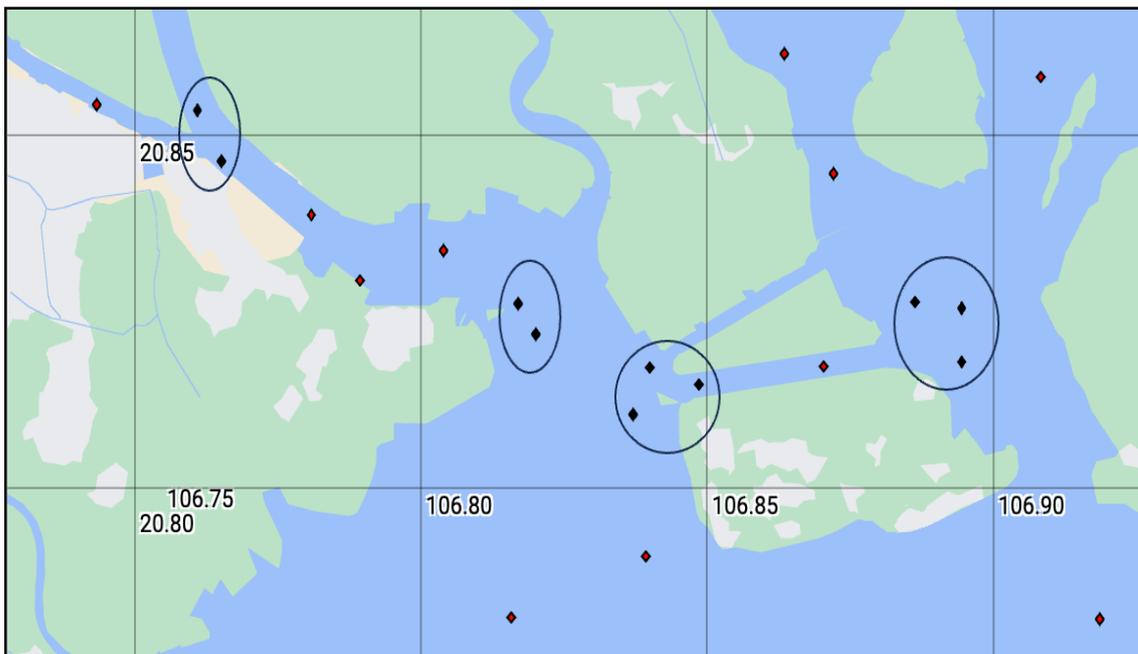
Dữ liệu AIS thực của các tàu tại khu vực vùng biển Hải Phòng đã được thu thập, xử lý, lọc bỏ nhiễu, chuyển hệ tọa độ để áp dụng cho việc xây dựng bản đồ điểm nóng giao thông.

Đây là khu vực biển nhộn nhịp nhất ở miền bắc Việt Nam, nơi có lượng phương tiện qua lại tương đối lớn. Vùng nước có mật độ tàu qua lại cao sẽ tạo điều kiện cho việc hình thành nguy cơ đâm va giữa các tàu. Về mặt địa lý, vùng nước nghiên cứu nằm trong khoảng từ 20°46'28.31" N đến 20°52'12.57" N, 106°43'36.11" E và 106°55'37.91" E. Dữ liệu AIS được ghi ngày 26 tháng 8 năm 2022. Để minh họa và xác thực mô hình đề xuất, dữ liệu AIS nguồn đã được giải mã. Ngoài ra, các thông tin về vị trí, tốc độ, hướng đi, kích thước tàu, thời gian và MMSI cũng được trích xuất. Dữ liệu AIS đã được xử lý bằng cách xóa các bản tin lỗi. Để ngăn chặn sự rời rạc theo thời gian của dữ liệu AIS, dữ liệu AIS trích xuất được xử lý bằng phép nội suy để thu được thông tin chính xác vào cùng thời điểm (như các bước đã trình bày ở mục 4.1.2).

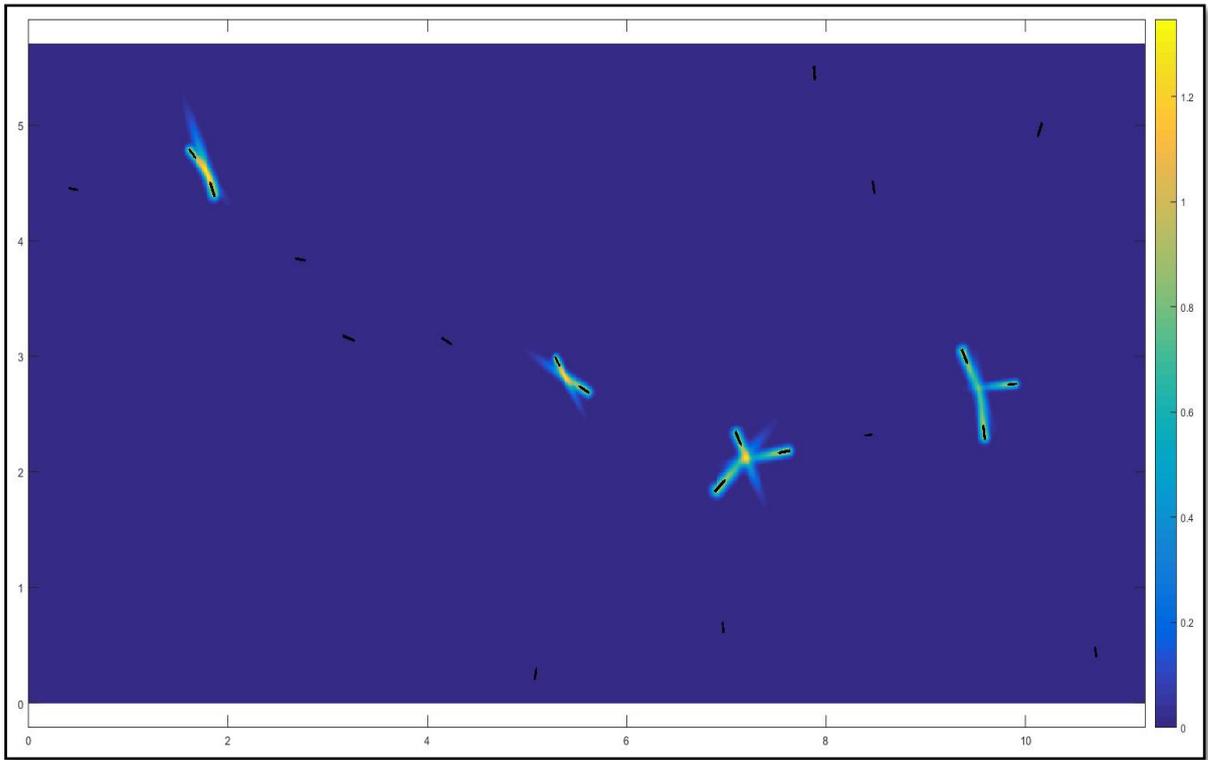


Hình 4.5. Khu vực luồng Hải Phòng

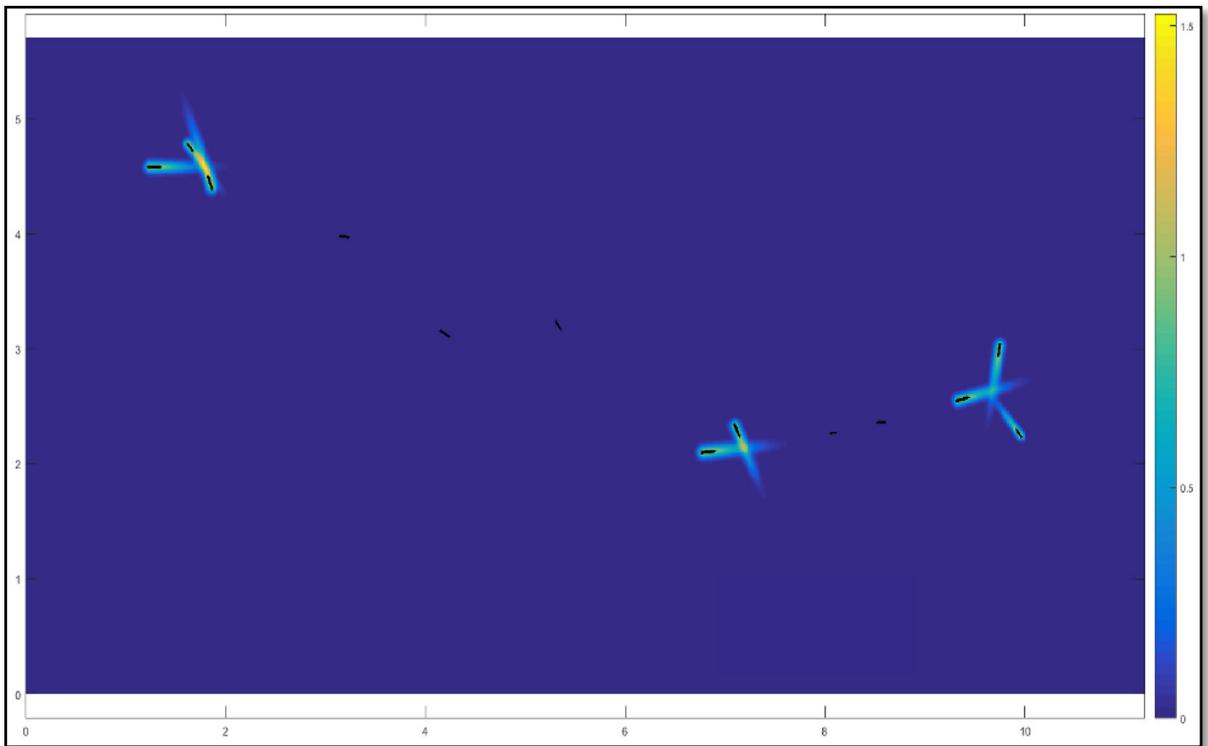
Sau khi thu thập và xử lý dữ liệu AIS, phương pháp DBSCAN được áp dụng để phân cụm các tàu có khoảng cách nhỏ hơn Eps, mỗi cụm có ít nhất từ 2 tàu trở lên. Những tàu không nằm trong cụm được coi là an toàn (Hình 4.6). Khi được phân cụm, thuật toán xác định vùng an toàn của tàu sẽ xác định mỗi tàu trong cụm có một HSD riêng theo kích cỡ tàu, vận tốc của tàu và thay đổi theo thời gian thực.



Hình 4.6. Các cụm tàu và nhiễu sau khi áp dụng DBSCAN



Hình 4.7. Bản đồ điểm nóng giao thông khu vực luồng Hải Phòng (10h00 26/8/2022)

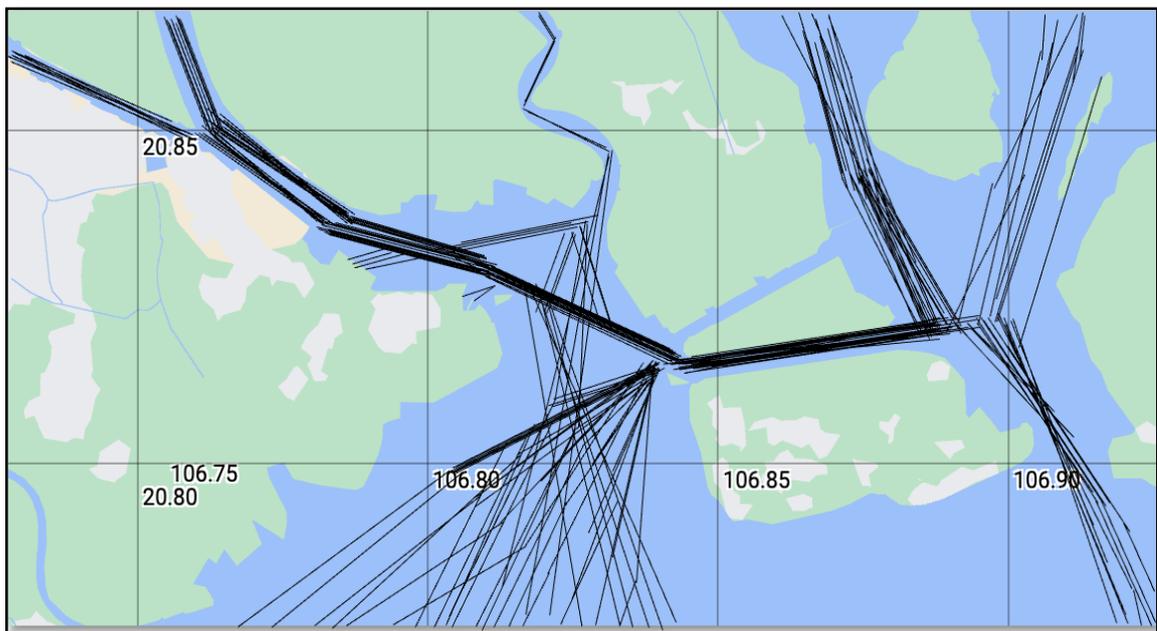


Hình 4.8. Bản đồ điểm nóng giao thông khu vực luồng Hải Phòng (16h00 26/8/2022)

Đầu tiên, mô hình đề xuất được sử dụng để thiết lập bản đồ điểm nóng giao thông động dựa trên các thời điểm khác nhau bằng cách áp dụng HSD cho các tàu trong các cụm. Những tàu nhiều không nằm trong cụm sẽ không cần tính toán HSD, tuy nhiên vẫn được theo dõi liên tục cho đến khi tàu này vào được một cụm mới. Điểm nóng giao thông được ghi lại là những khu vực có HSD của các tàu giao thoa với nhau, tạo nên một bản đồ nhiệt. Mô phỏng tính toán thời điểm là 10h00 và 16h00 ngày 26 tháng 8 năm 2022. Trên các bản đồ điểm nóng giao thông, màu càng đỏ thì nguy cơ đâm va càng lớn. Hai bản đồ này được hiển thị trong Hình 4.7 và Hình 4.8. Quan sát thấy vùng nước có nguy cơ đâm va tương đối cao (cao hơn 1) phân bố tại các khu vực ra vào luồng, ngã ba. Tuy nhiên, khi nhận thấy khu vực giao thoa của các HSD có giá trị từ 1.2 - 1.5, các tàu đã có các hành động cần thiết để không để xảy ra đâm va.

Để chứng minh tính hợp lệ của bản đồ, bản đồ quỹ đạo tàu của vùng nước nghiên cứu được vẽ để so sánh như Hình 4.9. Bản đồ quỹ đạo tàu được vẽ bằng dữ liệu AIS từ 09h ngày 26/8/2022 đến 09h ngày 27/8/2022. Bản đồ quỹ đạo tàu 24 giờ này có thể chỉ ra trạng thái của các luồng giao thông trong vùng nước được nghiên cứu này, chẳng hạn như hướng của các luồng giao thông và giao điểm của các luồng giao thông. Bằng cách quan sát bản đồ quỹ đạo tàu này, có thể suy ra vùng nước có nguy cơ đâm va cao hơn, chẳng hạn như vùng nước có quỹ đạo dày đặc hơn hoặc vùng nước giao nhau bởi hai hoặc nhiều luồng giao thông. Vùng nước có quỹ đạo dày đặc hơn cho thấy lưu lượng giao thông trong vùng nước này tương đối lớn, tình hình giao thông hàng hải có thể trở nên phức tạp, dẫn đến tăng nguy cơ đâm va. Vùng nước giao nhau có từ hai luồng giao thông trở lên càng có thể có nguy cơ cao hơn do mọi khả năng đâm va đều có thể xảy ra trong khu vực này. Vì vậy, bản đồ quỹ đạo tàu này được sử dụng để so sánh với bản đồ điểm nóng giao thông được đề xuất. Từ bản đồ quỹ đạo tàu có thể thấy có hai luồng giao thông chính trong vùng nước này. Với lưu lượng giao thông đông đúc như vậy, nguy cơ đâm va ở vùng nước này chắc chắn sẽ cao hơn, giống như chỉ số thể hiện trên bản đồ điểm nóng giao thông được đề xuất. Do đó, có thể chứng minh rằng khu vực có nguy cơ đâm va cao hơn được

thể hiện trên Hình 4.8 rất phù hợp với thực tế giao thông được chỉ ra bởi bản đồ quỹ đạo tàu. Cần lưu ý rằng lưu lượng tàu trong bản đồ quỹ đạo tàu chỉ có thể biểu thị đại khái nguy cơ đâm va. Từ bản đồ quỹ đạo, chúng ta chỉ có thể quan sát được các vị trí tàu tập trung chứ không thể thu được giá trị nguy cơ đâm va chính xác của các vị trí đó. Nói cách khác, bất kỳ điểm nào trong phần nút giao thông của bản đồ quỹ đạo tàu đều có vẻ giống nhau, không thể phân biệt được giá trị nguy cơ đâm va của các điểm này, thậm chí là phân bố theo địa lý. Vì vậy, việc thiết lập một mô hình có thể xác định chính xác giá trị nguy cơ đâm va là cần thiết. Cụ thể, nếu áp dụng mô hình đề xuất thì có thể thu được giá trị nguy cơ đâm va chính xác xung quanh khu vực nút giao thông. Ví dụ, tính toán theo mô hình đề xuất, vị trí nguy hiểm nhất xung quanh khu vực nút giao thông lúc 10h00 là khoảng $0^{\circ}50'47.94''$ N, $106^{\circ}46'2.72''$ E và lúc 16h00 là khoảng $20^{\circ}48'50.69''$ N, $106^{\circ}50'28.45''$ E, trong đó giá trị nguy cơ đâm va là 1.4. Ngoài ra, sự phân bố địa lý có thể thu được bằng bản đồ điểm nóng giao thông đề xuất. Bản đồ quỹ đạo tàu khó có thể tìm ra vị trí này và giá trị nguy cơ đâm va cũng như lập bản đồ phân bố địa lý.



Hình 4.9. Bản đồ quỹ đạo tàu khu vực luồng Hải Phòng

Để có thể chứng minh tính hiệu quả của bản đồ đề xuất, bản đồ cùng khu vực được tạo ra bởi mô hình ES (Environmental Stress Model - Mô hình áp lực môi

trường) được sử dụng để so sánh. Mô hình ES do K. Inoue và cộng sự đề xuất vào năm 2002 tính toán những khó khăn trong việc điều động tàu bị tác động bởi môi trường xung quanh (điều kiện địa hình; điều kiện hàng hải; yếu tố ngoại cảnh) qua đó tổng hợp, đánh giá và tính toán giá trị áp lực mà người điều khiển phải chịu đựng khi dẫn tàu đi qua vùng nước đó để chỉ ra hạn chế về địa hình, tình huống giao thông,... và đưa ra giải pháp giảm thiểu áp lực đến mức độ chấp nhận được, bảo đảm an toàn [65].

Theo mô hình ES, an toàn giao thông của một vùng nước được đánh giá thông qua áp lực hay sự căng thẳng (stress) mà người điều khiển tàu phải chịu đựng khi dẫn tàu đi qua vùng nước đó. Áp lực, sự căng thẳng này bao gồm: áp lực do yếu tố địa hình gây nên và áp lực do yếu tố giao thông của các tàu khác gây nên.

Giá trị ES được biểu thị bằng tổng của Đánh giá chủ quan (Subjective Judgement - SJ) đối với hoạt động điều động của tàu và tình hình giao thông. Giá trị ES có thể được biểu thị từ 0 đến 1000 và được phân thành hai loại:

ESS: Đại lượng đặc trưng cho áp lực/ sự căng thẳng gây nên bởi mật độ, tính chất giao thông của tàu thuyền khác trong khu vực hành hải.

ESL: Đại lượng đặc trưng cho áp lực/ sự căng thẳng gây nên bởi yếu tố luồng hàng hải, địa hình khu vực hành hải.

Bảng 4.1. Thang đánh giá mức độ an toàn giao thông theo ES

SJ : Đánh giá của người hành hải	ES Value	Xếp hạng trọng tâm	Kiểu chấp nhận
0 Cực kỳ an toàn	0	Có thể bỏ qua được	Có thể chấp nhận được
1 Khá an toàn			
2 Hơi an toàn			
3 Không an toàn lần nguy hiểm	500	Trong tầm kiểm soát	Không thể chấp nhận được
4 Hơi nguy hiểm	750		
5 Khá nguy hiểm	900	Tập trung cao	
6 Cực kỳ nguy hiểm	1000	Thảm họa	

Trong nghiên cứu này, vùng biển khảo sát được đánh giá bằng ESS. Giá trị ESS được tính như sau [65]:

$$S_{J_s} = \alpha(R / L_m) + \beta \quad (4.21)$$

$$\alpha = 0.0019 \times L_m \quad (4.22)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \beta = -0.65 \cdot \ln(L_m) \\ -2.07 \text{ (cắt hướng từ mạn phải)} \\ -2.35 \text{ (cắt hướng từ mạn trái)} \\ -2.07 \text{ (đối hướng)} \\ -0.85 \text{ (vượt)} \end{array} \right. \quad (4.23)$$

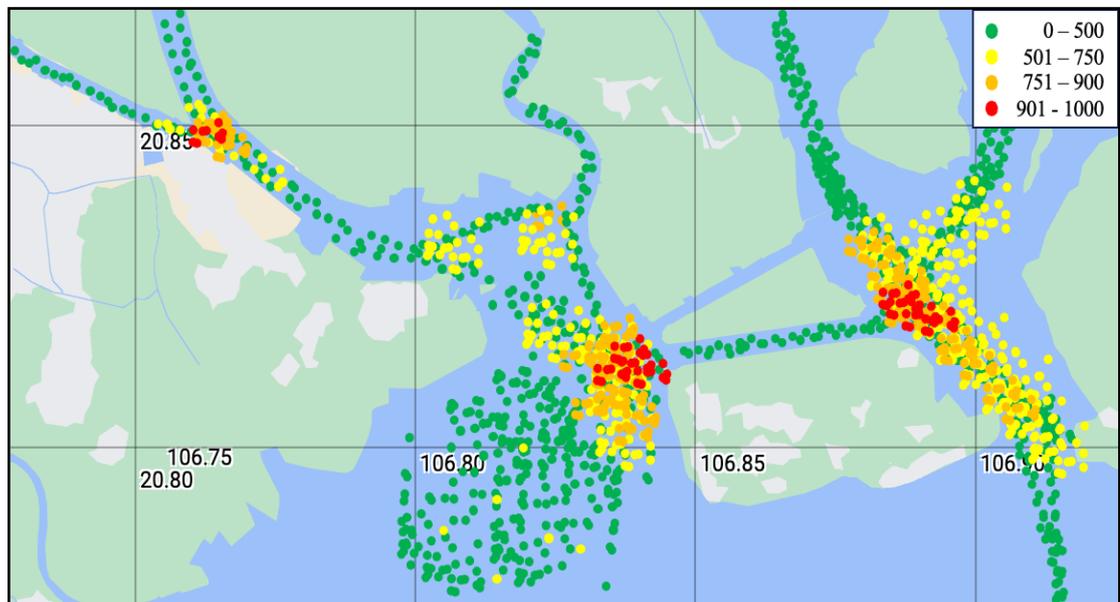
Trong đó:

α là hệ số được xác định bởi kích thước tàu chủ

β là hệ số được xác định bởi phương vị của tàu mục tiêu so với tàu chủ

R là khoảng cách giữa tàu chủ và tàu mục tiêu

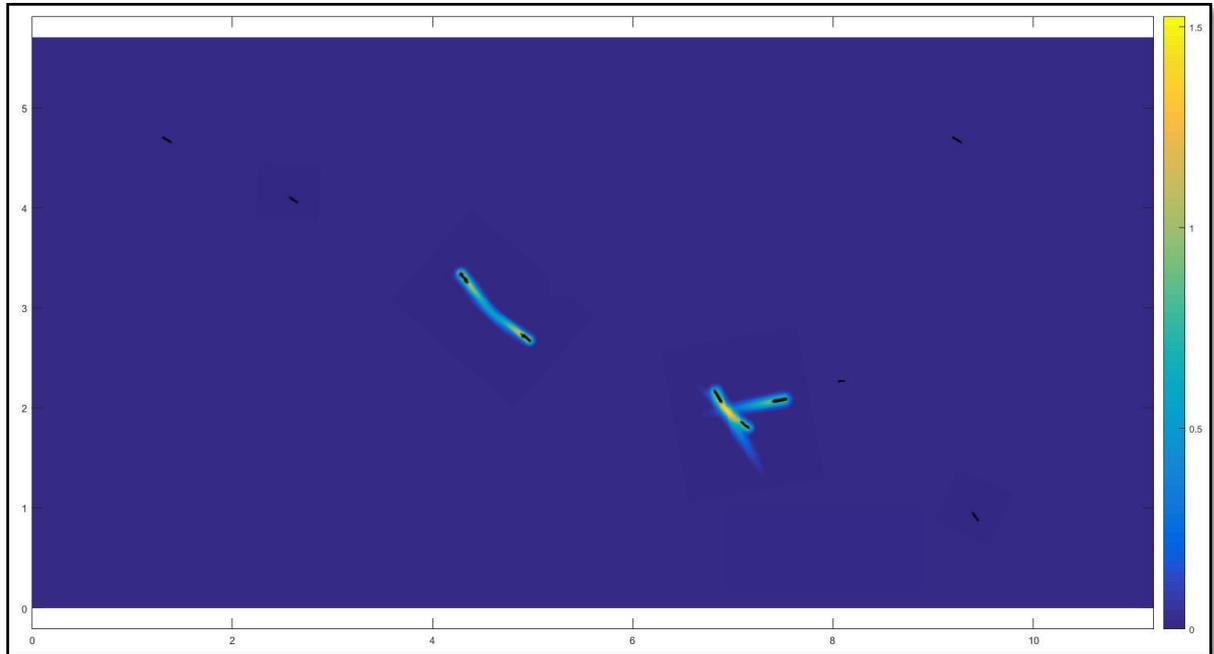
L_m là chiều dài tàu trung bình của tàu chủ và tàu mục tiêu



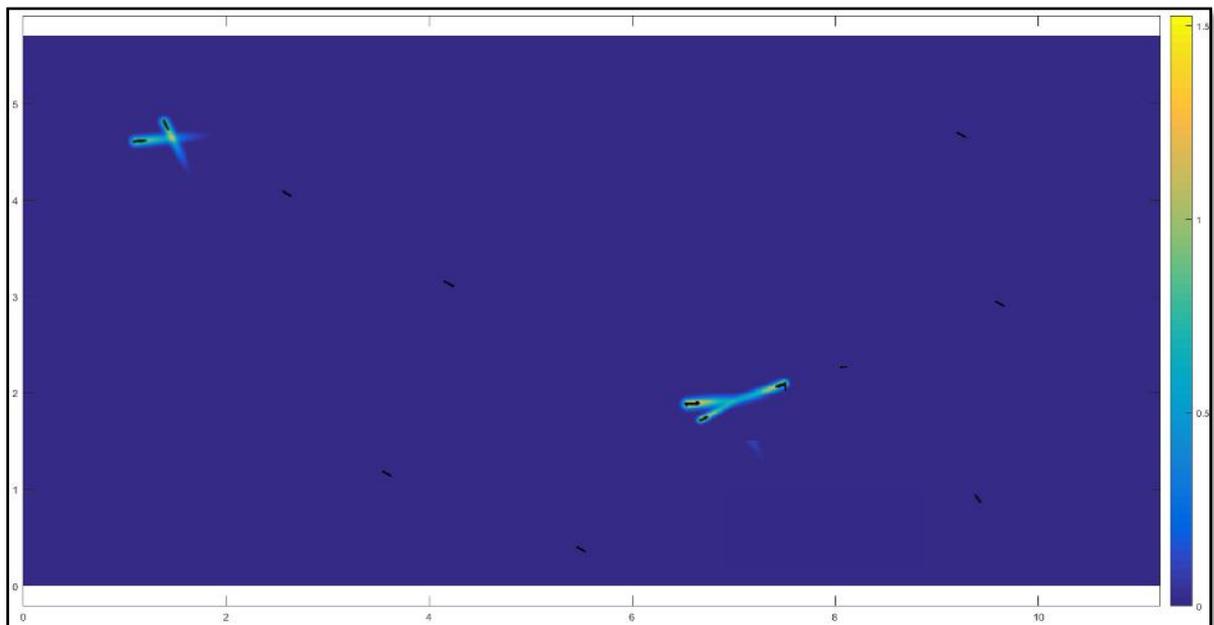
Hình 4.10. Bản đồ mức độ áp lực tại khu vực luồng Hải Phòng

Hình 4.10 hiển thị mức độ áp lực gây nên bởi mật độ, tính chất giao thông của tàu thuyền khác trong khu vực được khảo sát trong 24h từ 09h ngày 26/8/2022 đến

09h ngày 27/8/2022 dựa trên màu sắc. Có thể thấy rằng, áp lực cho sỹ quan hàng hải tại các khu vực cửa luồng, ngã ba có giá trị cao hơn, thể hiện rằng tại những khu vực đó, nguy cơ xảy ra tai nạn cũng cao hơn. Các khu vực này có vị trí tương đương với các điểm nóng được thể hiện bằng bản đồ điểm nóng giao thông được đề xuất.



Hình 4.11. Bản đồ điểm nóng giao thông khu vực luồng Hải Phòng
(09h00 27/8/2022)



Hình 4.12. Bản đồ điểm nóng giao thông khu vực luồng Hải Phòng
(21h00 27/8/2022)

Bằng phương pháp tương tự, bản đồ điểm nóng giao thông tại khu vực luồng Hải Phòng được xây dựng cho thời điểm 09h00 và 21h00 ngày 27/8/2022 và (Hình 4.11 và Hình 4.12). Tại những thời điểm này, giá trị DCR của những khu vực điểm nóng cũng trong khoảng từ 1 - 1.5.

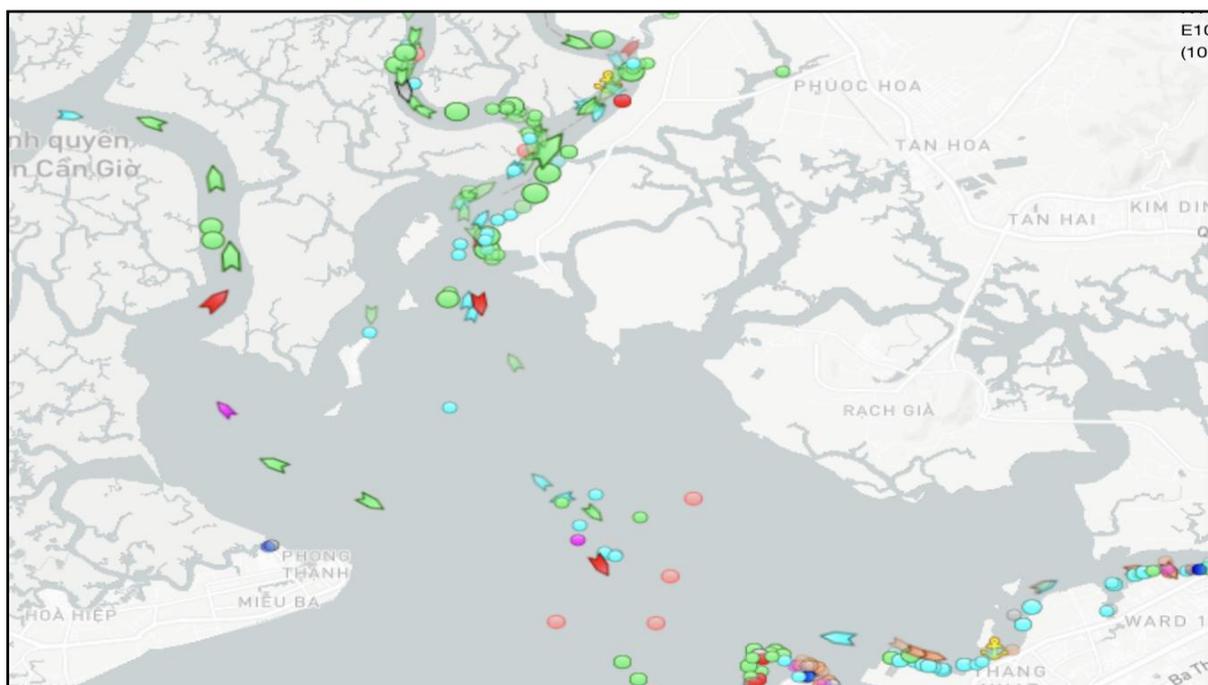


Hình 4.13. Các điểm nóng giao thông trong khu vực luồng Hải Phòng

Khi quan sát giá trị DCR tại khu vực luồng Hải Phòng trong thời gian từ 05 ngày từ 26/8/2022-31/8/2022, những khu vực thường xuyên có giá trị DCR cao chủ yếu vẫn là những nơi ngã ba đầu luồng, nơi có mật độ tàu cao (Hình 4.13).

4.3.2.2. Mô phỏng trên khu vực luồng Sài Gòn - Vũng Tàu

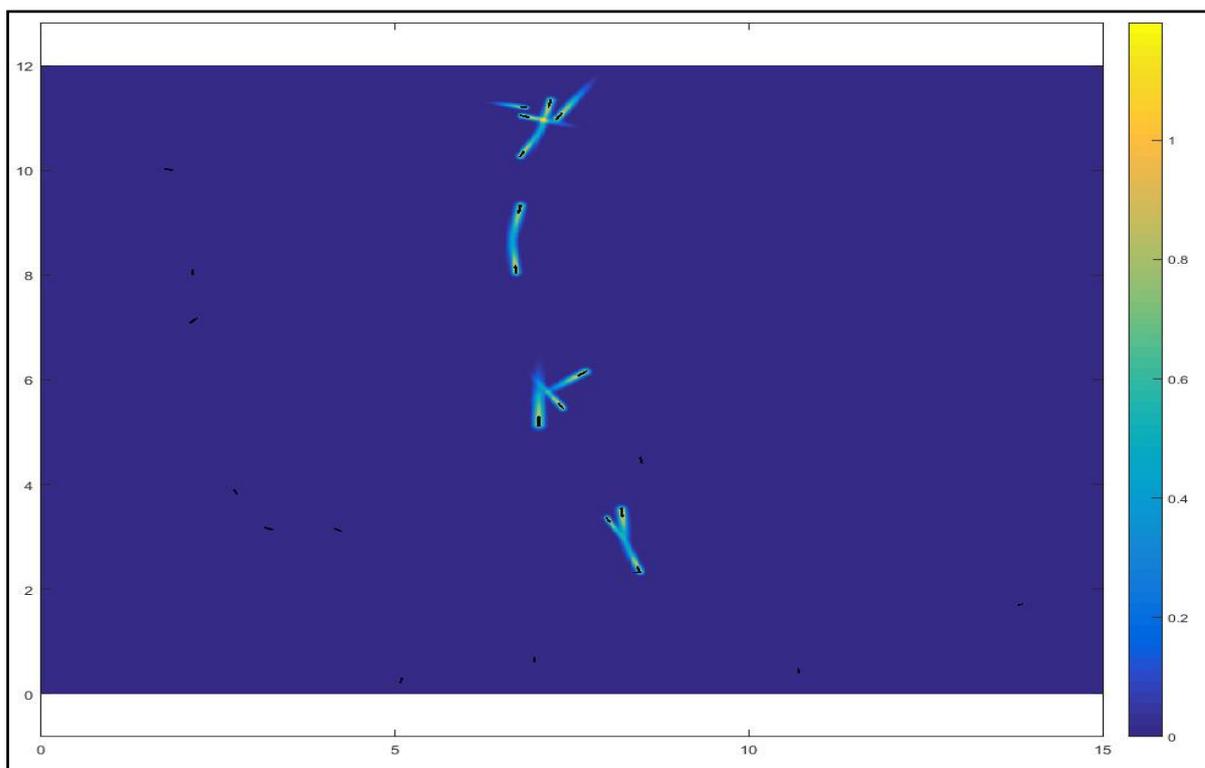
Để củng cố tính hiệu quả của mô hình được đề xuất, bản đồ điểm nóng tại khu vực luồng Sài Gòn - Vũng Tàu cũng được xây dựng. Khu vực nghiên cứu nằm trong khoảng từ 10°21'59.75" N đến 10°34'2.91" N, 106°54'16.86" E và 107°9'15.41" E (Hình 4.14)



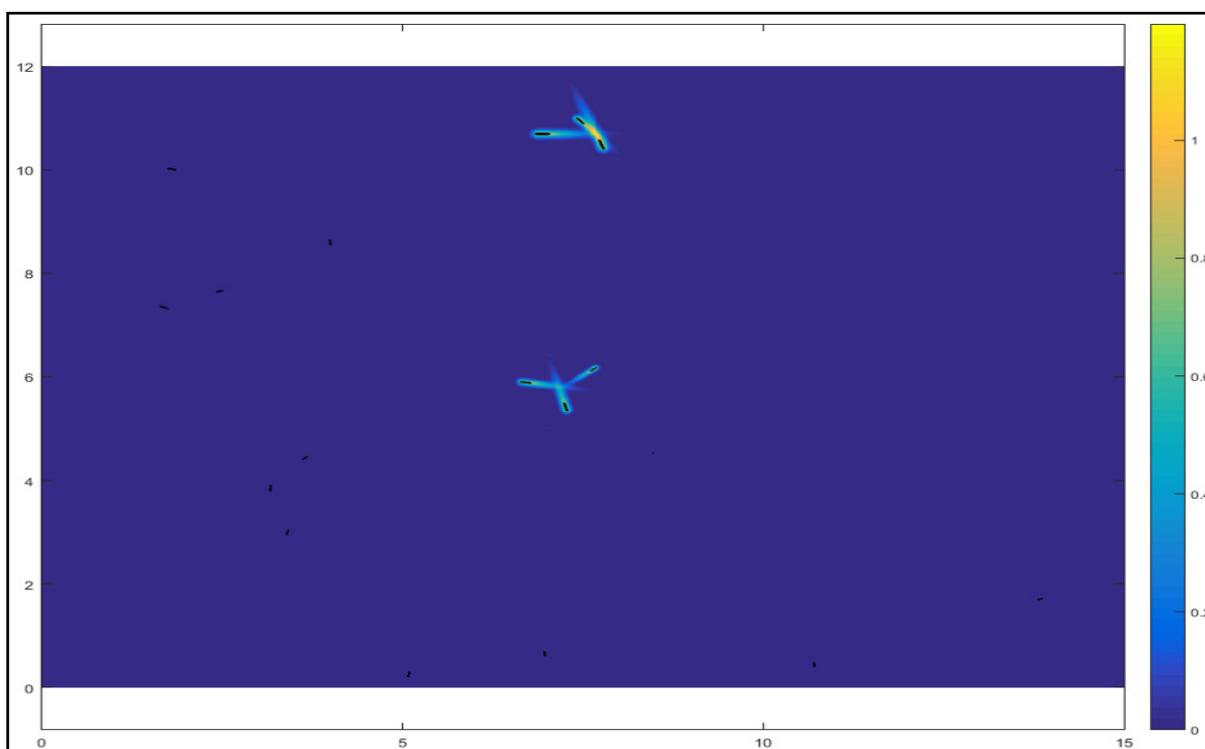
Hình 4.14. Khu vực luồng Sài Gòn - Vũng Tàu

Các bước tiến hành để xây dựng bản đồ điểm nóng giao thông tại khu vực luồng Sài Gòn - Vũng Tàu được tiến hành tương tự như khu vực Hải Phòng. Tuy nhiên tại bước 2, phân cụm các tàu bằng DBSCAN, thông số Eps mô tả khoảng cách để phân các tàu theo cụm cũng được khảo sát để lấy ý kiến chuyên gia.

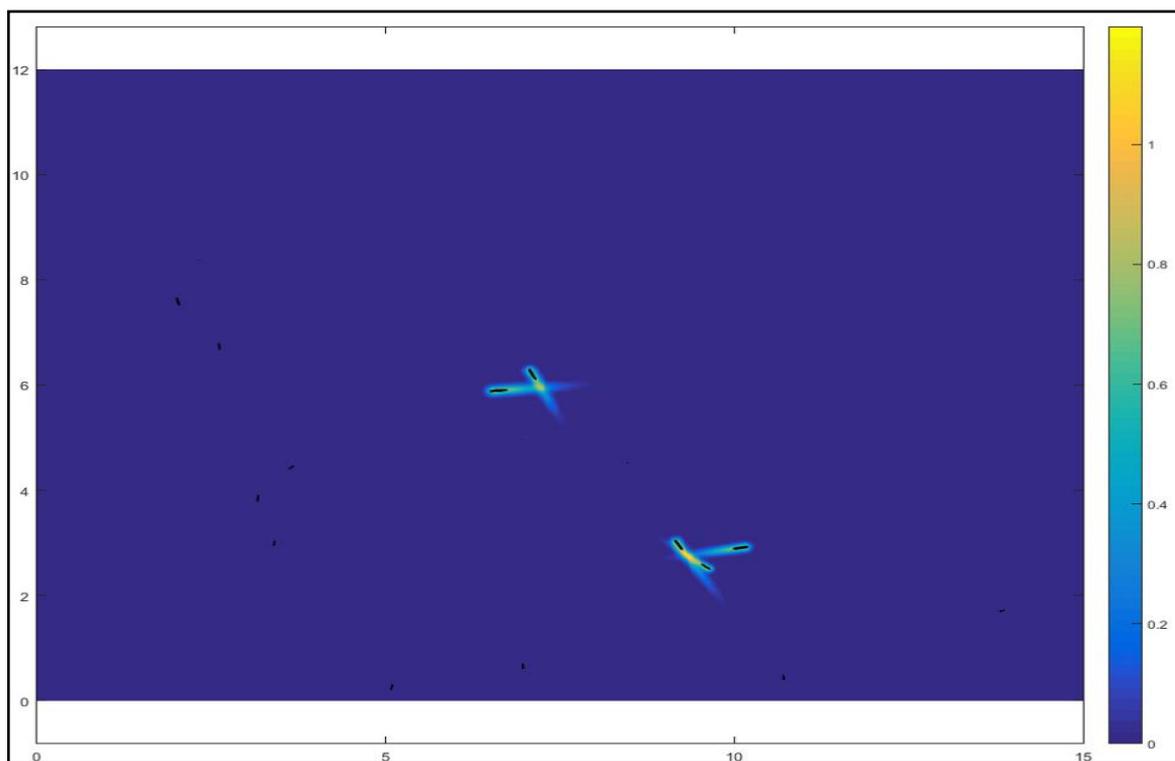
Dữ liệu AIS được ghi ngày 20 và 21 tháng 5 năm 2022. Sử dụng dữ liệu AIS tại khu vực luồng Sài Gòn - Vũng Tàu thu được bản đồ điểm nóng giao thông tại khu vực lúc 07h20 ngày 20/5/2022 (Hình 4.15), 15h05 ngày 21/05/2022 (Hình 4.16), 19h08 ngày 22/5/2022 (Hình 4.17).



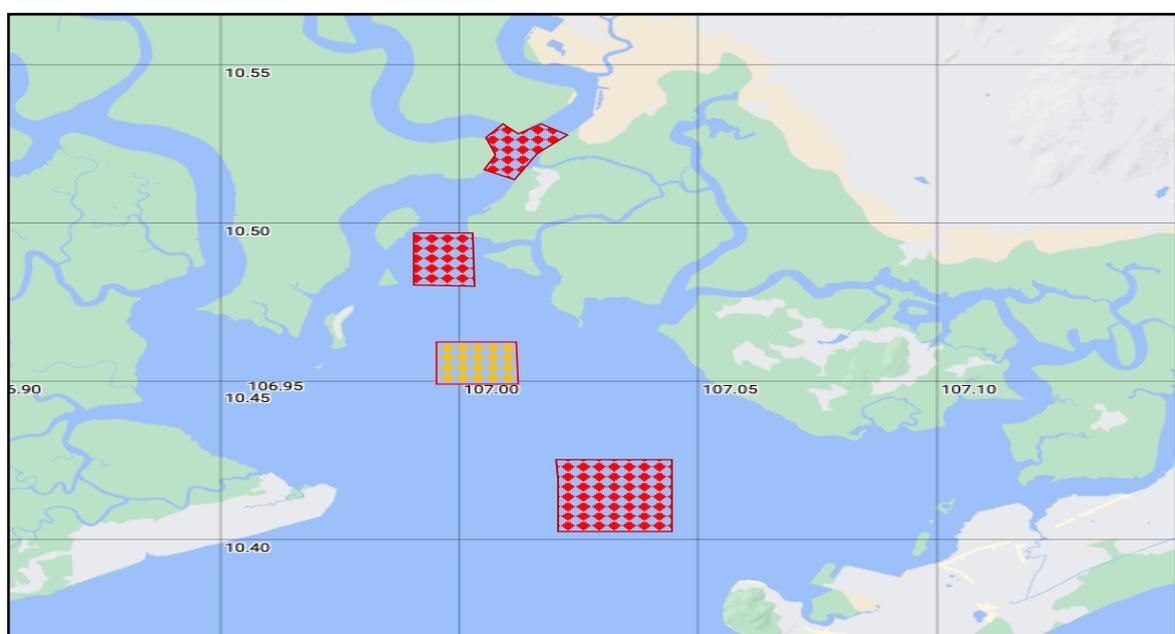
Hình 4.15. Bản đồ điểm nóng giao thông khu vực luồng Sài Gòn - Vũng Tàu
(07h20 20/5/2022)



Hình 4.16. Bản đồ điểm nóng giao thông khu vực luồng Sài Gòn - Vũng Tàu
(15h05 ngày 21/5/2022)



Hình 4.17. Bản đồ điểm nóng giao thông khu vực luồng Sài Gòn - Vũng Tàu
(19h08 ngày 22/5/2022)



Hình 4.18. Các điểm nóng giao thông trong khu vực luồng Sài Gòn - Vũng Tàu

Tương tự như khu vực luồng Hải Phòng, khi quan sát giá trị DCR trong khoảng thời gian từ 20 - 25/5/2022 tại khu vực luồng Sài Gòn - Vũng Tàu, các điểm nóng giao thông cũng hay xuất hiện ở khu vực ngã ba, đầu luồng với chỉ số

nguy cơ đâm va vào khoảng 1.2 - 1.4. Tuy nhiên tại khu vực 10.45°N, 107°E, đây không phải là khu vực ngã ba nhưng cũng thường xuyên xảy ra các tình huống có nguy cơ đâm va tương đối cao (Hình 4.18).

Các tình huống phát sinh nguy cơ đâm va cao chủ yếu từ 2-3 tàu, chưa thấy xuất hiện các tình huống với 4 tàu trong khu vực và thời điểm khảo sát. Điều này có thể giải thích do trong khu vực này, các tàu vẫn hành hải theo sự chỉ dẫn của các trạm VTS và tuân thủ các quy tắc tránh va nên không có các trường hợp 4 tàu cùng đồng thời có khả năng đâm va với nhau.

4.4. Kết luận chương 4

Nghiên cứu đã áp dụng vùng an toàn HSD, thuật toán để xác định các khu vực có nguy cơ đâm va cao, xác định nguy cơ đâm va giữa các tàu trong một cụm nhỏ (vi mô), từ đó xây dựng bản đồ điểm nóng giao thông.

Bản đồ điểm nóng giao thông được xây dựng dựa trên các bước: Xử lý dữ liệu AIS: các thông số về vị trí, tốc độ, hướng tàu và chiều dài tàu được đưa vào để xây dựng vùng an toàn của tàu mới, được gọi là Heat Ship Domain (HSD). Cùng với đó, các bản tin lỗi cũng được nội suy tính toán lại và đưa về cùng một thời điểm. Phân cụm các tàu bằng phương pháp DBSCAN, HSD sẽ được áp dụng cho các tàu nằm trong cụm. Từ đó, các khu vực giao thoa giữa HSD của các tàu sẽ chính là những điểm nóng giao thông được thể hiện bằng chỉ số nguy cơ đâm va. Chỉ số nguy cơ đâm va của các cụm tàu sẽ được thể hiện trên toàn khu vực dưới dạng bản đồ nhiệt. Đây chính là bản đồ điểm nóng giao thông động với các điểm nóng là những khu vực có nguy cơ đâm va cao.

Mô hình bản đồ điểm nóng giao thông động dựa trên HSD của tàu đã được triển khai và đạt được kết quả khả quan trong khu vực luồng Hải Phòng và luồng Sài Gòn - Vũng Tàu. Tại khu vực này, có thể thấy rằng các điểm nóng thường xảy ra ở các khu vực đầu luồng, ngã ba. Thuật toán áp dụng theo thời gian thực, áp dụng với mọi loại tàu, đưa ra kết quả nhanh chóng và chính xác cả về mặt định lượng dựa trên chỉ số DCR cũng như về mặt trực quan, từ đó đưa ra cảnh báo đối với người điều khiển phương tiện phục vụ quản lý an toàn giao thông hàng hải.

KẾT LUẬN VÀ PHƯƠNG HƯỚNG PHÁT TRIỂN NGHIÊN CỨU

1. Kết luận

Luận án được chia thành 4 chương chính, mỗi chương đều đã được mục đích nghiên cứu đề ra, kết quả cụ thể:

Trên cơ sở đánh giá tổng thể và khoa học thực trạng của vùng biển Việt Nam, đặc biệt là về mật độ hàng hóa và tàu thuyền trong các năm đây, Luận án đã đánh giá và chỉ ra các điểm, khu vực có nguy cơ đâm va cao. Bên cạnh đó, nghiên cứu cũng đã tổng hợp các nghiên cứu trong nước và trên thế giới để đề xuất, phát triển nghiên cứu mới của Luận án.

Đề xuất mô hình vùng an toàn mới của tàu, được gọi là Heat Ship Domain (HSD), được xây dựng dựa trên lý thuyết về trường và hàm ước tính hạt nhân Gaussian. Mô hình vùng an toàn HSD này có thể mô tả mọi rủi ro bên trong vùng an toàn này theo một cách chính xác. Kích thước của vùng an toàn mới này sẽ thay đổi theo từng loại tàu, tốc độ tại mỗi vùng biển khác nhau. Tham số ảnh hưởng đến kích thước của HSD, đó chính là tham số khu vực h . Để xác định tham số h , phương pháp khảo sát chuyên gia đã được thực hiện để thu các bộ giá trị khoảng cách an toàn trên các hướng theo từng loại tàu, tốc độ, kết hợp phương pháp bình phương nhỏ nhất để tìm ra giá trị tham số khu vực tối ưu cho từng loại tàu trên vùng biển Việt Nam. Với giá trị h thu được, mô hình vùng an toàn HSD đã được xác định làm cơ sở phát triển thuật toán nhằm đánh giá nguy cơ đâm va theo mức độ, phát hiện điểm nóng giao thông tại các khu vực có nhiều tàu qua lại như các ngã ba sông hay đầu luồng. Vùng an toàn HSD được xây dựng dựa trên dữ liệu thu được từ AIS nên mô hình HSD sẽ được cập nhật liên tục theo thời gian thực.

Việc nghiên cứu xây dựng một thuật toán xác định nguy cơ đâm va và tàu thuyền dựa trên vùng an toàn mới của tàu đã được triển khai và đạt được kết quả khả quan. Kết quả nghiên cứu này cho phép triển khai ứng dụng HSD trong đánh giá nguy cơ đâm va giữa các tàu thuyền trên biển nhằm phát hiện một cách tự động nguy cơ đâm va dựa trên chỉ số DCR, từ đó đưa ra cảnh báo đối với người

điều khiển phương tiện và phục vụ quản lý an toàn giao thông hàng hải theo cấp độ và liên tục theo thời gian thực.

Luận án đã áp dụng kết hợp các phương pháp xác định nguy cơ đâm va chủ yếu được tính toán từ góc độ vi mô, vĩ mô và theo vùng để xây dựng bản đồ điểm nóng giao thông theo thời gian thực. Bản đồ điểm nóng được xây dựng dựa trên 3 bước cơ bản: Thu thập và xử lý dữ liệu AIS để phục vụ việc xây dựng vùng an toàn (HSD) cho mỗi tàu; Xác định nguy cơ đâm va giữa các tàu trong một cụm nhỏ (vi mô). Các cụm này được phân loại bằng phương pháp DBSCAN. HSD được áp dụng cho các tàu nằm trong cụm; Vẽ bản đồ điểm nóng giao thông, khu vực giao thoa giữa HSD của các tàu chính là những điểm nóng giao thông được thể hiện bằng chỉ số nguy cơ đâm va. Chỉ số nguy cơ đâm va của các cụm này sẽ được thể hiện trên toàn bộ vùng biển khảo sát để tạo nên bản đồ điểm nóng giao thông.

Mô hình bản đồ điểm nóng giao thông động dựa trên HSD của tàu đã được triển khai và đạt được kết quả khả quan trên vùng biển Việt Nam, cụ thể là tại một số vùng biển tập trung đông đúc tàu thuyền là Hải Phòng, Thành phố Hồ Chí Minh và Vũng tàu. Thuật toán áp dụng theo thời gian thực, áp dụng với mọi loại tàu, đưa ra kết quả nhanh chóng và chính xác cả về mặt định lượng dựa trên chỉ số DCR cũng như về mặt trực quan, từ đó giúp cảnh báo sớm đối với người điều khiển phương tiện phục vụ quản lý an toàn giao thông hàng hải.

2. Phương hướng phát triển nghiên cứu

Nghiên cứu đã đề xuất mô hình vùng an toàn HSD, hình dạng, kích thước của mô hình phụ thuộc tham số khu vực (h) và tốc độ, kích cỡ tàu có được từ hệ thống AIS. Tuy nhiên, do điều kiện thời gian cũng như sự hỗ trợ của các chuyên gia có hạn, nên việc thực hiện khảo sát để tính toán kích thước vùng an toàn HSD đề xuất tập trung tại các vùng biển Hải Phòng, Thành phố Hồ Chí Minh và Vũng Tàu. Nghiên cứu sẽ thực hiện tính toán để xác định cụ thể hình dạng và kích mô hình tại các vùng biển khác của Việt Nam khi có điều kiện.

Khi tham gia giao thông trên các tuyến luồng, một số tàu, phương tiện không trang bị AIS hoặc có trang bị nhưng không bật làm cho việc thu thập dữ liệu để xây

dựng vùng an toàn HSD, xác định nguy cơ đâm gập khó khăn. Mặc dù với các phương tiện không sử dụng AIS, hệ thống VTS vẫn có thể phân nào giám sát được hoạt động của tàu thuyền dựa trên các máy camera giám sát, thông báo tàu đến ... Tuy nhiên, để tạo điều kiện thuận lợi cho việc xác định nguy cơ đâm va, đảm bảo an toàn giao thông hàng hải, đề nghị cấp có thẩm quyền có quy định cụ thể, bắt buộc về việc lắp đặt và luôn sẵn sàng đối với hệ thống AIS khi tàu hoặc phương tiện hành trình trên các tuyến luồng hàng hải.

Để tối ưu hóa mô hình vùng an toàn HSD đã xây dựng, trong tương lai nghiên cứu sẽ thực hiện đánh giá các yếu tố khác có ảnh hưởng đến kích thước của vùng an toàn HSD như khả năng quay trở cũng như tính năng điều động của tàu.

Luận án đã xây dựng mô hình vùng an toàn HSD của tàu từ đó xây dựng thuật toán xác định nguy cơ đâm va, thuật toán đã sử dụng công cụ Matlab để thực hiện mô phỏng trong quá trình nghiên cứu, đánh giá thuật toán. Thuật toán cũng đã khảo sát lấy ý kiến chuyên gia nhằm kiểm chứng các chỉ số nguy cơ khi thực hiện mô phỏng. Trong tương lai, nghiên cứu sẽ thực hiện các bước tiếp theo nhằm tích hợp thuật toán trên các thiết bị hỗ trợ như Hải đồ điện tử, điện thoại, máy tính bảng ... để có kết quả trực quan trong quá trình xác định nguy cơ đâm va. Đề nghị Cục Hàng hải Việt Nam, Bộ Giao thông vận tải cho phép ứng dụng, phát triển thuật toán để đưa vào sử dụng tại trung tâm VTS, đưa ra cảnh báo sớm cho tàu thuyền, duy trì an toàn giao thông hàng hải. Trên cơ sở các điểm nóng thường xuyên xảy ra, nghiên cứu xây dựng cơ sở hạ tầng phù hợp để tạo điều kiện thuận lợi, an toàn cho tàu thuyền nhằm phát triển kinh tế biển trong tương lai.

DANH MỤC CÁC CÔNG TRÌNH KHOA HỌC ĐÃ CÔNG BỐ KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU CỦA ĐỀ TÀI LUẬN ÁN

I. Công trình công bố quốc tế

1. Van Quang Nguyen, Tu Nam Luong, Van Luong Tran. (2024). *A study on a novel Collision Risk Prediction Map for maritime traffic surveillance based on ship domain*. The International Journal of Electrical and Computer Engineering Systems, ID number IJECES-2024-3263 (SCOPUS) - Volume 15, Number 6, 2024, page 499-513.

II. Công trình công bố trong nước

1. Nguyễn Văn Quảng, Trần Văn Lượng, Lương Tú Nam. (2024). *Nghiên cứu ứng dụng vùng an toàn của tàu xây dựng bản đồ điểm nóng giao thông hàng hải theo thời gian thực trên vùng biển Việt Nam*, Tạp chí Khoa học Công nghệ Hàng hải, số 76 - 01/2024, ISSN 1859-316X.

2. Nguyễn Văn Quảng, Trần Văn Lượng, Lương Tú Nam. (2023). *Nghiên cứu phát triển thuật toán xác định nguy cơ đâm va tàu thuyền mới theo thời gian thực trên vùng biển Hải Phòng*. Tạp chí Giao thông vận tải, số tháng 12/2023, ISSN 2354-0818.

3. Nguyễn Văn Quảng, Trần Văn Lượng, Lương Tú Nam. (2023). *Cơ sở lý thuyết xác định vùng an toàn điều động tàu trên vùng biển Việt Nam*. Tạp chí Giao thông vận tải, số tháng 10/2023, ISSN 2354-0818.

4. Nguyễn Văn Quảng, Nguyễn Văn Mạnh (2023). *Nghiên cứu xác định vùng nguy hiểm xung quanh tàu sử dụng phương pháp chuyên gia tại các điểm nóng giao thông trên khu vực luồng Hải Phòng*. Tạp chí Giao thông vận tải, số tháng 7/2023, ISSN 2354-0818.

5. Trần Văn Lượng, Nguyễn Hải Nam, Nguyễn Văn Quảng. (2023). *Đánh giá nghiên cứu giải pháp thực hiện bộ chuyển đổi tín hiệu từ hệ thống nhận dạng tự động qua máy tính và các thiết bị di động đã cài đặt phần mềm hiển thị dữ liệu hải đồ điện tử*. Tạp chí Khoa học Công nghệ Hàng hải, số 76 - 11/2023, ISSN 1859-316X.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

Tài liệu tham khảo Tiếng Việt

- [1]. Bộ Giao thông vận tải (2016). *Quy định về đào tạo, cấp, thu hồi Giấy chứng nhận khả năng chuyên môn hoa tiêu hàng hải và Giấy chứng nhận vùng hoạt động hoa tiêu hàng hải*. Thông tư số 27/2016/TT-BGTVT, ngày 12/10/2016, Hà Nội.
- [2]. Bộ Giao thông vận tải (2018). *Quy định về vùng hoa tiêu hàng hải bắt buộc của Việt Nam*. Thông tư số 43/2018/TT-BGTVT, ngày 01/8/2018, Hà Nội.
- [3]. Bộ Giao thông vận tải (2024). *Công bố Danh mục bến cảng thuộc các cảng biển Việt Nam*. Quyết định số 323/QĐ-BGTVT, ngày 29/3/2024, Hà Nội.
- [4]. Cục Hàng hải Việt Nam (2019). *Về việc báo cáo tổng kết tai nạn hàng hải năm 2019*. Báo cáo số 4852/CHHVN-ATANHH, ngày 25/12/2019.
- [5]. Cục Hàng hải Việt Nam (2020). *Về việc báo cáo số liệu thống kê tháng 01 năm 2020*. Báo cáo số 304/CHHVN-VTĐVHH ngày 20/01/2020.
- [6]. Cục Hàng hải Việt Nam (2020). *Về việc công bố danh bạ luồng hàng hải năm 2020*. Quyết định số 194/QĐ-CHHVN, ngày 10/02/2020, Hà Nội.
- [7]. Cục Hàng hải Việt Nam (2020). *Về việc báo cáo tổng kết tai nạn hàng hải năm 2020*. Báo cáo số 25/CHHVN-ATANHH, ngày 05/01/2021.
- [8]. Cục Hàng hải Việt Nam (2021). *Về việc báo cáo số liệu thống kê tháng 01 năm 2021*. Báo cáo số 308/CHHVN-VTĐVHH, ngày 18/01/2021.
- [9]. Cục Hàng hải Việt Nam (2021). *Về việc báo cáo tổng kết tai nạn hàng hải năm 2021*. Báo cáo số 5363/CHHVN-ATANHH, ngày 28/12/2021.
- [10]. Cục Hàng hải Việt Nam (2022). *Về việc báo cáo số liệu thống kê tháng 01 năm 2022*. Báo cáo số 175/CHHVN-VTĐVHH, ngày 19/01/2022.
- [11]. Cục Hàng hải Việt Nam (2022). *Về việc báo cáo tổng kết tai nạn hàng hải năm 2022*. Báo cáo số 57/CHHVN-ATANHH, ngày 09/01/2023.
- [12]. Cục Hàng hải Việt Nam (2023). *Về việc báo cáo số liệu thống kê tháng 01 năm 2023*. Báo cáo số 132/CHHVN-VTĐVHH, ngày 13/01/2023.
- [13]. Cục Hàng hải Việt Nam (2024). *Về việc báo cáo số liệu thống kê tháng 01 năm 2024*. Báo cáo số 195/CHHVN-VTĐVHH, ngày 16/01/2024.

- [14]. Cục Hàng hải Việt Nam (2023). *Về việc báo cáo tổng kết tai nạn hàng hải năm 2023*. Báo cáo số 304/CHHVN-ATANHH, ngày 23/01/2024.
- [15]. Nguyễn Mạnh Cường, Trương Thanh Bình (2020). *Phương pháp đánh giá khả năng va chạm tàu thuyền dựa trên hệ thống tự động nhận dạng tàu thủy*. Tạp chí Khoa học Công nghệ Hàng hải, số 64, tr 31-35.
- [16]. Nguyễn Ngọc Huệ, Nguyễn Văn Tô, Đinh Văn Thắng (2011). *Một số giải pháp tăng cường đảm bảo an toàn giao thông hàng hải trong giai đoạn tới*. Tạp chí Khoa học Công nghệ Hàng hải, số 26, tr.39-43.
- [17]. Lưu Việt Hùng (2019). *Nghiên cứu giải pháp nâng cao an toàn hàng hải vùng biển Việt Nam*. Luận án tiến sĩ, Trường Đại học Hàng hải Việt Nam.
- [18]. Đinh Gia Huy, Trần Anh Khoa. *Xác định vùng nguy hiểm xung quanh tàu dựa trên khả năng quay trở của tàu*. Hội thảo khoa học cấp Trường năm 2022, số 75, tr 245-250, Thành phố Hồ Chí Minh.
- [19]. Lương Tú Nam, Mai Xuân Hương (2021). *Nghiên cứu về sử dụng phương trình ảnh hưởng để đánh giá hệ số đâm va giữa các tàu*. Tạp chí Khoa học Công nghệ Hàng hải, số 66, tr.10-15.
- [20]. Lương Tú Nam (2022). *Nghiên cứu xây dựng hệ số rủi ro giao thông để xác định điểm nóng giao thông trong khu vực có mật độ tàu cao*. Tạp chí Giao thông vận tải, số tháng 7, tr.152-155.
- [21]. Vũ Đức Lập (2013). *Thông tin hàng hải*. Nhà xuất bản Giao thông vận tải, Hà Nội.
- [22]. Trần Văn Lượng, Nguyễn Hải Nam, Nguyễn Văn Quảng (2023). *Đánh giá nghiên cứu giải pháp thực hiện bộ chuyển đổi tín hiệu từ hệ thống nhận dạng tự động qua máy tính và các thiết bị di động đã cài đặt phần mềm hiển thị dữ liệu hải đồ điện tử*. Tạp chí Khoa học Công nghệ Hàng hải, số 76, tr.5-9.
- [23]. Nguyễn Văn Quảng, Nguyễn Văn Mạnh (2023). *Nghiên cứu xác định vùng nguy hiểm xung quanh tàu sử dụng phương pháp chuyên gia tại các điểm nóng giao thông trên khu vực luồng Hải Phòng*. Tạp chí Giao thông vận tải, số 731, tr.57-60.

- [24]. Nguyễn Văn Quảng, Trần Văn Lượng, Lương Tú Nam (2023). *Cơ sở lý thuyết xác định vùng an toàn điều động tàu trên vùng biển Việt Nam*. Tạp chí Giao thông vận tải, số 734, tr.106-109.
- [25]. Nguyễn Văn Quảng, Trần Văn Lượng, Lương Tú Nam (2023). *Nghiên cứu phát triển thuật toán xác định nguy cơ đâm va tàu thuyền mới theo thời gian thực trên vùng biển Hải Phòng*. Tạp chí Giao thông vận tải, số 736, tr.104-107.
- [26]. Nguyễn Văn Quảng, Trần Văn Lượng, Lương Tú Nam. (2023). *Nghiên cứu ứng dụng vùng an toàn của tàu xây dựng bản đồ điểm nóng giao thông hàng hải theo thời gian thực trên vùng biển Việt Nam*, Tạp chí Khoa học Công nghệ Hàng hải, số 77, tr.5-9.
- [27]. Quốc hội nước Cộng hòa Xã hội chủ nghĩa Việt Nam (2015). *Bộ Luật Hàng hải Việt Nam*. Luật số 95/2015/QH13, Hà Nội.
- [28]. Nguyễn Việt Thành, Phạm Văn Tân (2011). *Nguyên nhân tai nạn đâm va của tàu biển, một số biện pháp phòng ngừa*. Tạp chí Khoa học Công nghệ Hàng hải, số 25, tr.49-53.
- [29]. Thủ tướng Chính phủ (2021). *Phê duyệt Quy hoạch tổng thể phát triển hệ thống cảng biển Việt Nam thời kỳ 2021-2030, tầm nhìn đến năm 2050*. Quyết định số 1579/QĐ-TTg, ngày 22/9/2021, Hà Nội.
- [30]. Nguyễn Thanh Thủy (2010). *Thực trạng và tiềm năng của hệ thống cảng Việt Nam*. Tạp chí Khoa học Công nghệ Hàng hải, số 22, tr.92-96.
- [31]. Lê Văn Thúc, Nguyễn Văn Thư (2017). *Đề xuất phương pháp nghiên cứu, xây dựng mô hình đánh giá an toàn giao thông thủy tại Vịnh Gành Rái - Vũng Tàu*. Tạp chí Khoa học Công nghệ Hàng hải, số 51, tr.116-121.
- [32]. Lê Văn Thúc (2022). *Xây dựng mô hình đánh giá rủi ro tai nạn đâm va tại cảng biển Vũng Tàu*. Luận án tiến sĩ, Trường Đại học Giao thông vận tải Thành phố Hồ Chí Minh.
- [33]. Tổng Công ty Bảo đảm an toàn hàng hải Miền Bắc (2023). *Thông báo hàng hải về thông số kỹ thuật của luồng hàng hải Hải Phòng*. Thông báo số 49/2023/TBHH-TCTBĐATHHMB, ngày 28/02/2023.

- [34]. Tổng Công ty Bảo đảm an toàn hàng hải Miền Nam (2023). *Thông báo hàng hải về thông số kỹ thuật của luồng hàng hải Sài Gòn - Vũng Tàu*. Thông báo số 88/2023/TBHH-TCTBĐATHHMN, ngày 27/4/2023.
- [35]. Trịnh Xuân Tùng (2023). *Đề xuất giải pháp dẫn tàu an toàn qua những khu vực tiềm ẩn nhiều nguy cơ tai nạn trên tuyến luồng hàng hải Hải Phòng*. Tạp chí Khoa học Công nghệ Hàng hải, số 73, tr 63-71.
- [36]. Cố Tấn Anh Vũ, Phạm Nguyên Đăng Khoa, Nguyễn Thanh Sơn, Vũ Đăng Thái, Phạm Kỳ Quang (2023). *Đánh giá nguy cơ đâm va tàu biển sử dụng kết hợp thuật toán phân cụm và lý thuyết hàm tin cậy*. Tạp chí Khoa học Công nghệ Hàng hải, số 75, tr 76-81.

Tài liệu tham khảo Tiếng Anh

- [37]. Ahn J. H, Rhee K.P. and You, Y. J (2012). *A study on the collision avoidance of a ship using neural networks and fuzzy logic*. Applied Ocean Research, 37, pp.162-173.
- [38]. Altan Y.C, Otay. E.N (2018). *Spatial mapping of encounter probability in congested waterways using AIS*. Ocean Engineering, Vol. 164, pp. 263-271.
- [39]. Axel Hörteborn, Jonas W. Ringsberg, Martin Svanberg and Henrik Holm (2018). *A Revisit of the Definition of the Ship Domain based on AIS Analysis*. The Journal of Navigation, 2018.
- [40]. Bukhari A. C, Tusseyeva, I. and Kim, Y. G (2013). *An intelligent real-time multi-vessel collision risk assessment system from VTS viewpoint based on fuzzy inference system*. Expert Systems with Applications, 40(4), pp.1220-1230.
- [41]. Brcko T, Androjna. A, Srse J, Boc R (2021). *Vessel Multi-Parametric Collision Avoidance Decision Model: Fuzzy Approach*. Journal of Maritime Science and Engineering, Vol. 9 (1).
- [42]. Chen P, Huang Y, Mou J, P.H.A.J.M. van Gelder (2018). *Ship collision candidate detection method: a velocity obstacle approach*. Ocean Engineering, Vol. 170, , pp. 186-198.

- [43]. Chen P, Huang Y, Papadimitriou E, Mou E, Mou J, P.H.A.J.M. van Gelder. (2020). *An improved time discretized non-linear velocity obstacle method for multi-ship encounter detection*. Ocean Engineering, Vol. 196.
- [44]. Coldwell T.G (1983). *Marine traffic behaviour in restricted waters*. J. Navig. 36, 431-444.
- [45]. Dinh G, Im N (2016). *The combination of analytical and statistical method to define polygonal ship domain and reflect human experiences in estimating dangerous area*. J. e-Navig. Marit. Econ. 4, 97-108.
- [46]. Ester M, Kriegel H.P, Sander J, Xu X., et al. (1996). *A density-based algorithm for discovering clusters in large spatial databases with noise*. In: Kdd, vol. 96, pp.226-231.
- [47]. Fan S, Zhang J, Blanco-Davis E, Yang Z and Yan X (2020). *Maritime accident prevention strategy formulation from a human factor perspective using Bayesian networks and TOPSIS*. Ocean Engineering, 210, 107544.
- [48]. Fiskin R, Atik O, Kisi H, Nasibov E,- Johansen. T.A (2021). *Fuzzy domain and meta-heuristic algorithm-based collision avoidance control for ships: experimental validation in virtual and real environment*. Ocean Engineering, Vol. 220.
- [49]. Fuji J, Tanaka K (1971). *Traffic capacity*. J. Navig. 24, 543-552.
- [50]. Fujii Y, Shiobara R (1971). *The analysis of traffic accidents*. J. Navig. 24, pp.534-543.
- [51]. Gang L, Wang Y, Sun, Y, Zhou, L and Zhang M (2016). *Estimation of vessel collision risk index based on support vector machine*. Advances in Mechanical Engineering, 8(11), 1687814016671250.
- [52]. Goodwin E.M (1975). *A statistical study of ship domains*. J. Navig. 28, 328-344.

- [53]. Gucma L, Marcjan, K (2012). *Examination of ships passing distances distribution in 75 the coastal waters in order to build a ship probabilistic domain*. Sci. J. Marit. Univ. 76 Szczecin 32, 34–40.
- [54]. Hansen M.G, Jensen T.K., Lehn-Schiøler, T, Melchild, K., Rasmussen, F.M., Ennemark F (2013). *Empirical ship domain based on AIS data*. Journal of Navigation, Vol. 66, pp. 931-940.
- [55]. Hasegawa K, Kouzuki A, Muramatsu T, Komine H, Watabe Y (1989). *Ship auto-navigation fuzzy expert system (SAFES)*. Journal of the Society of Naval Architecture of Japan, 166.
- [56]. Hinneburg A, Keim D (1998). *An efficient approach to clustering in large multimedia databases with noise*. Proceedings of The Fourth International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining.
- [57]. Horteborn A, Ringsberg J, Svanberg, M.H.H (2019). *A revisit of the definition of the ship domain based on ais analysis*. J. Navig. 72, 777-794.
- [58]. Huang L, Chen P, Chen R.R. Negenborn, P.H.A.J.M. van Gelder. (2020). *Ship collision avoidance methods: State-of-the-art*. Safety Science. Vol. 121, pp. 451-473.
- [59]. International Maritime Organization (1972), *Convention on the International Regulations for Preventing Collisions at Sea (COLREGs)*, 1972.
- [60]. International Maritime Organization (1974), *International Convention for the Safety of Life at Sea (SOLAS)*, 1974.
- [61]. James MK (1986). *Modelling the decision process in computer simulation of ship navigation*. Journal of Navigation, 39(01), pp.32-48.
- [62]. Jiang M, Lu J, Yang Z and Li J (2020). *Risk analysis of maritime accidents along the main route of the maritime silk road: A Bayesian network approach*. Maritime Policy & Management, 47(6), pp.815-832.
- [63]. Johan Øen Strand, (2018). *Ship Domain in Restricted Waters - A study assessing Norwegian navigators perception of safe passing distance to a targeted ship in*

restricted waters. University of South-Eastern Norway, Faculty of Technology, Natural Sciences and Maritime Sciences, Norway, Master Thesis.

- [64]. Kearon J (1977). *Computer programs for collision avoidance and traffic keeping*, *Conference on mathematical aspects on marine traffic*, London: Academic Press.
- [65]. Kinzo Inoue, Young Soo Park, Hideo Usui, Wataru Sera, Kenji Masuda. (2002). *ES Model - Safety Management of Vessel Traffic in Ports and Waterways*, *Pianc 2002*, 30th International Navigation Congress Sydney - September 2002.
- [66]. Kim S.G, Kim Y.G (2009). *An autonomous navigation system for unmanned underwater vehicle*, Inzartsev AV (ed.) *Underwater vehicle*, pp.279-294.
- [67]. Kujala P, Hänninen M, Arola T and Ylitalo J (2009). *Analysis of the marine traffic safety in the gulf of Finland*. *Reliability Engineering & System Safety*, 94(8), pp.1349-1357.
- [68]. Kijima K, Furukawa Y (2001). *Design of automatic collision avoidance system using fuzzy inference*. In: *Proceedings of IFAC Conference on Control Applications in Marine Systems*, Glasgow, United Kingdom.
- [69]. Kijima K, Furukawa Y (2003). *Automatic collision avoidance system using the concept of blocking area*. In: *Proceedings of IFAC Conference on Manoeuvring and Control of Marine Craft*, Girona, Spain.
- [70]. Kundakçı B, Nas S, Gucma. L (2023). *Prediction of ship domain on coastal waters by using AIS data*. *Ocean Engineering*, Vol. 273.
- [71]. Kuwahara S, Nishimura H, Nakagawa K, Yoshinaga M, Iseki S, Yoshida R, Hakoyama T, Kutsuna K, Nakamura J (2021). *Research and Development of Collision Risk Decision Method for Safe Navigation and Its Verification*. *ClassNK Technical Journal*, Vol. 1, pp. 13-40.

- [72]. Lisowski J (2002). *Game control of moving objects*. IFAC Proceedings Volumes, 35(1), pp.373-378.
- [73]. Liu Y, Xiao Y (2014). *Model and application of risk degree for vessel-bridge collision based on theory of ship collision avoidance*, Int. J. Sci.: Basic Appl. Res. 14, pp.574-585.
- [74]. Liu Z, Wu Z and Zheng Z (2019). *A novel framework for regional collision risk identification based on AIS data*. Applied Ocean Research, 89, pp.261-272.
- [75]. Liu Z, Wu Z and Zheng Z (2020). *A molecular dynamics approach for modeling the geographical distribution of ship collision risk*. Ocean Engineering, 217, 107991.
- [76]. Longhui Gang , Yonghui Wang , Yao Sun, Liping Zhou and Mingheng Zhang, 2016. *Estimation of vessel collision risk index based on support vector machine*. Advances in Mechanical Engineering 2016, Vol. 8(11) 1-10.
- [77]. Lopez-Santander, A, Lawry J, (2017). *An ordinal model of risk based on Mariner's judgement*, J. Navig. 70 (2), pp.309-324.
- [78]. Luong T.N, Im N (2019). *Potential risk ship domain as a danger criterion for real-time ship collision risk evaluation*. Ocean Engineering, Vol. 194.
- [79]. ManhCuong Nguyen, Shufang Zhang, Xiaoye Wang (2018). *A Novel Method for Risk Assessment and Simulation of Collision Avoidance for Vessels based on AIS*. Algorithms 2018.
- [80]. Ma W, Wang H, Wang S, (2022). *Critical Collision Risk Index Based on the Field Theory*. Journal of Maritime Science and Engineering, Vol. 10.
- [81]. Mou J. M, Van der Tak, C. and Ligteringen H (2010). *Study on collision avoidance in busy waterways by using AIS data*. Ocean Engineering, 37(5-6), pp.483-490.
- [82]. Ozturk U and Cicek K (2019). *Individual collision risk assessment in ship navigation: A systematic literature review*. Ocean Engineering, 180, pp.130-143.

- [83]. Pedersen P.T (1995). *Collision and grounding mechanics*. Proc. WEMT 95, pp.125-157.
- [84]. Perera L.P, Carvalho J.P, Soares C.G (2010). *Fuzzy logic-based decision-making system for collision avoidance of ocean navigation under critical collision conditions*, Journal of marine science and technology, Vol. 16, pp. 84-99.
- [85]. Pietrzykowski Z (2008). *Ship's fuzzy domain a criterion for navigational safety in narrow fairways*. J. Navig. 61, 499-514.
- [86]. Pietrzykowski, Z., Uriasz, J (2004). *The ship domain in a deep-sea area*. In: Proceedings of the 3rd International Conference on Computer and IT Applications in the Maritime Industries, Siguenza, Spain.
- [87]. Pietrzykowski Z, Uriasz J (2009). *The ship domain a criterion of navigational safety assessment in an open sea area*. J. Navig. 62, 93-108.
- [88]. Qiao Z, Zhang Y, Wang S (2021). *A collision risk identification method for autonomous ships based on field theory*. IEEE Access 9, 30539-30550.
- [89]. Qu X, Meng Q, Suyi L (2011). *Ship collision risk assessment for the Singapore Strait*. Accident Analysis & Prevention, Vol. 43, pp. 2030-2036.
- [90]. Rafal Szlapczynski, Joanna Szlapczynska (2017). *Review of ship safety domains: Models and applications*. Ocean Engineering, , 277-289.
- [91]. Ren Y, Mou J, Yan Q, & Zhang F (2011). *Study on Assessing Dynamic Risk of Ship Collision*. In ICTIS 2011: Multimodal Approach to Sustained Transportation System Development: Information, Technology, Implementation, pp.2751-2757.
- [92]. Shelmerdine R.L (2015). *Teasing out the detail: how our understanding of marine AIS data can better inform industries, developments, and planning*. Marine Policy, Vol. 54, pp. 17-25.
- [93]. Silveira P.A.M, Teixeira A.P, Soares C.G (2013). *Use of AIS data to characterise marine traffic patterns and ship collision risk off the coast of Portugal*. Journal of Navigation, Vol. 66, pp. 879-898.

- [94]. Silveira P, Teixeira A.P, Soares C.G (2022). *A method to extract the quaternion ship domain parameters from AIS Data*. Ocean Engineering, Vol. 257.
- [95]. Simsir U, Amasyali M.F, Bal M, Çelebi U.B, Ertugrul S (2014). *Decision support system for collision avoidance of vessels*, Appl. Soft Comp. 25, pp.369-378.
- [96]. Smierzchalski, R., 2000. *Ships' domains as a collision risk at sea in the evolutionary trajectory planning*. In: Proceedings of RISK 2000 Computer Simulation in Risk Analysis and Hazard Mitigation, Southampton, United Kingdom.
- [97]. Szlapczynski R (2010). *Evolutionary sets of cooperating trajectories in multi-ship encounter situations-use cases*. Int. J. Mar. Navig. Saf. Sea Transp. 4 (2), pp.191-194.
- [98]. Szlapczynski R, Krata, P., Szlapczynska, J (2018). *Ship domain applied to determining distances for collision avoidance manoeuvres in give-way situations*. Ocean Engineering, Vol. 165, pp. 43-54.
- [99]. Van Iperen, E (2012). *Detection of hazardous encounters at the north sea from ais data*. In: The International Workshop on Next Generation of Nautical Traffic Model, Shanghai.
- [100]. Wang N, Meng X, Xu Q, Wang Z (2010). *An intelligent spatial collision risk based on the quaternion ship domain*. J. Navig. 63, 733-749.
- [101]. Wang N (2013). *A novel analytical framework for dynamic quaternion ship domains*. J. Navig. 66, 265-281
- [102]. Wang S, Zhang Y, Zheng Y (2021). *Multi-ship encounter situation adaptive understanding by individual navigation intention inference*, Ocean Engineering, Vol. 237.
- [103]. Wang Y, Chin H (2016). *An empirically-calibrated ship domain as a safety criterion for navigation in confined waters*. J. Navig. 69, 257-276

- [104]. Wen Y, Huang Y, Zhou C, Yang J, Xiao C and Wu X (2015). *Modelling of marine traffic flow complexity*. Ocean Engineering, 104, pp.500-510.
- [105]. Weng J, Yang D, Chai T, Fu S (2019). *Investigation of occurrence likelihood of human errors in shipping operations*. Ocean Engineering, Vol. 182, pp. 28-37.
- [106]. Wielgosz M (2016). *Declarative ship domains in restricted areas*. Scientific Journals of the Maritime University of Szczecin, Vol. 46(118), pp. 217-222.
- [107]. Wielgosz M (2017). *Ship domain in open sea areas and restricted waters: an analysis of influence of the available maneuvering area*. International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation, Vol. 11, pp. 99-104.
- [108]. Winkler M, Perlman Y, Westreich S (2019). *Reporting near-miss safety events: impacts and decision-making analysis*. Safety Science, Vol. 117, pp. 365-374.
- [109]. Węglarczyk S, (2018). *Kernel density estimation and its application*. ITM Web of Conferences, Vol. 23.
- [110]. Wu B., Yip T.L., Yan X, Soares C.G (2019). *Fuzzy logic-based approach for ship bridge collision alert system*. Ocean Engineering, Vol. 187.
- [111]. Xin X, Liu K, Loughney S, Wang J., Li H., Yang Z (2023). *Graph-based ship traffic partitioning for intelligent maritime surveillance in complex port waters*. Expert Systems with Applications, Vol. 231.
- [112]. Yip T. L (2008). *Port traffic risks-A study of accidents in Hong Kong waters*. Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review, 44(5), pp.921-931.
- [113]. Yoo S.L (2018). *Near-miss density map for safe navigation of ships*. Ocean Engineering, Vol. 163, pp. 15-21.
- [114]. Yuan Xiaoli, Zhang Di, Zhang Jinfen, Zhang Mingyang, Guedes C (2021). *A novel real-time collision risk awareness method based on velocity obstacle considering uncertainties in ship dynamics*. Ocean Engineering. Vol.220.

- [115]. Zhang J, Zhang D, Yan X, Haugen S and Soares C. G (2015). *A distributed anti-collision decision support formulation in multi-ship encounter situations under COLREGs*. Ocean Engineering, 105, pp.336-348.
- [116]. Zhang L, Wang H, Meng Q (2014). *Big data-based estimation for ship safety distance distribution in port waters*. Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, Vol. 2479, pp. 16-24.
- [117]. Zhang L, Wang H, Meng Q (2015). *Big data based estimation for ship safety distance distribution in port waters*. Transp. Res. Rec.: J. Transp. Res. Board 2479, pp.16-24.
- [118]. Zhang L, Meng Q (2019). *Probabilistic ship domain with applications to ship collision risk assessment*. Ocean Engineering, Vol. 186.
- [119]. Zhang W, Goerlandt F, Kujala P, Wang Y (2016). *An advanced method for detecting possible near miss ship collisions from AIS data*. Ocean Engineering, Vol. 124, pp. 141-156.
- [120]. Zhang W, Kopca C, Tang J, Ma D. and Wang Y (2017). *A systematic approach for collision risk analysis based on AIS data*. The Journal of Navigation, 70(5), pp.1117.
- [121]. Zhang W, Feng X, Goerlandt F and Liu Q (2020). *Towards a convolutional neural network model for classifying regional ship collision risk levels for waterway risk analysis*. Reliability Engineering & System Safety, 204, 107127.
- [122]. Zhang Y, Sun X, Chen J and Cheng C (2021). *Spatial patterns and characteristics of global maritime accidents*. Reliability Engineering & System Safety, 206, 107310.
- [123]. Zhen R, Riveiro M and Jin Y (2017). *A novel analytic framework of real-time multi-vessel collision risk assessment for maritime traffic surveillance*. Ocean Engineering, 145, pp.492-501.
- [125]. Zheng K, Chen Y, Jiang Y and Qiao S (2020). *A SVMbased ship collision risk assessment algorithm*. Ocean Engineering, 202, 107062.

- [126]. Zhao J, Wu Z, Wang F (1993). *Comments on ship domains*. J. Navig. 46, 422-436
- [127]. Zhao Liangbin, Guoyou (2018). *A method for simplifying ship trajectory based on improved Douglas - Peucker algorithm*. Ocean Engineering. Vol.66, pp.37-46.
- [128]. Zhou C, Ding L, Skibniewski M.J., Luo H., Jiang S (2017). *Characterizing time series of near-miss accidents in metro construction via complex network theory*. Safety Science, Vol. 98, pp. 145-158.
- [129]. Zhu X, Xu H, Lin J (2001). *Domain and its model based on neural networks*. J. Navig. 54, 97-103.

Tài liệu tham khảo từ Internet

- [130]. Báo điện tử chính phủ (2022), *3 cảng biển Việt Nam lọt top 100 cảng container lưu thông hàng hóa lớn nhất thế giới*. [Trực tuyến]. Địa chỉ: <https://baochinhphu.vn/3-cang-bien-viet-nam-lot-top-100-cang-container-luu-thong-hang-hoa-lon-nhat-the-gioi-102221111193221424.htm> [Truy cập ngày 18/12/2023].

PHỤ LỤC 1

PHIẾU KHẢO SÁT KHU VỰC LUỒNG HẢI PHÒNG

Để phục vụ cho công trình nghiên cứu khoa học với mục đích tăng cường đảm bảo an toàn giao thông hàng hải trên tuyến luồng Hải Phòng, xin ông vui lòng cung cấp thông tin, cho ý kiến về một số nội dung dưới đây.

Chúng tôi xin bảo đảm thông tin cá nhân trong Phiếu khảo sát được hoàn toàn bảo mật.

I. Phần thông tin cá nhân

Họ và tên:.....

Chức danh, chức vụ:

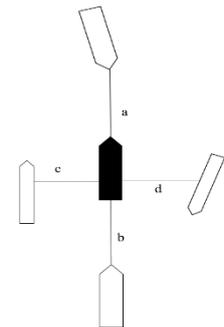
Đơn vị công tác:.....

II. Khảo sát khoảng cách an toàn khi tàu ra hoặc vào tại 2 đầu kênh Hà Nam trên khu vực luồng Hải Phòng

Khu vực phía E kênh Hà Nam (cặp phao HP29, HP30)	Chiều dài tàu			
	Dưới 115m	116-145m	146-175m	Trên 175m
a. Khoảng cách trước mũi (mét)				
b. Khoảng cách sau lái (mét)				
c. Khoảng cách mạn trái (mét)				
d. Khoảng cách mạn phải (mét)				
Tốc độ tối đa để đảm bảo an toàn (Hải lý/giờ)				

Khu vực phía W kênh Hà Nam (cặp phao HP43, HP46)	Chiều dài tàu			
	Dưới 115m	116-145m	146-175m	Trên 175m
a. Khoảng cách trước mũi (mét)				
b. Khoảng cách sau lái (mét)				
c. Khoảng cách mạn trái (mét)				
d. Khoảng cách mạn phải (mét)				
Tốc độ tối đa để đảm bảo an toàn (Hải lý/giờ)				

Ghi chú:



PHỤ LỤC 2

PHIẾU KHẢO SÁT KHU VỰC LUỒNG SÀI GÒN - VŨNG TÀU

Để phục vụ cho công trình nghiên cứu khoa học với mục đích tăng cường đảm bảo an toàn giao thông hàng hải trên tuyến luồng Sài Gòn - Vũng Tàu, xin ông vui lòng cung cấp thông tin, cho ý kiến về một số nội dung dưới đây.

Chúng tôi xin bảo đảm thông tin cá nhân trong Phiếu khảo sát được hoàn toàn bảo mật.

I. Phần thông tin cá nhân

Họ và tên:.....

Chức danh, chức vụ:

Đơn vị công tác:.....

II. Khảo sát khoảng cách an toàn khi tàu hành trình tại một số khu vực trên tuyến luồng Sài Gòn - Vũng Tàu

Khu vực gần phao GR, có tọa độ A1	Chiều dài tàu			
	Dưới 115m	116-145m	146-175m	Trên 175m
a. Khoảng cách trước mũi (mét)				
b. Khoảng cách sau lái (mét)				
c. Khoảng cách mạn trái (mét)				
d. Khoảng cách mạn phải (mét)				
Tốc độ tối đa để đảm bảo an toàn (Hải lý/giờ)				

Khu vực Ngã ba Nhà bè (Phao 58), có tọa độ A7	Chiều dài tàu			
	Dưới 115m	116-145m	146-175m	Trên 175m
a. Khoảng cách trước mũi (mét)				
b. Khoảng cách sau lái (mét)				
c. Khoảng cách mạn trái (mét)				
d. Khoảng cách mạn phải (mét)				
Tốc độ tối đa để đảm bảo an toàn (Hải lý/giờ)				

Ghi chú:

