

## KHOA HỌC - CÔNG NGHỆ

# 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 A STUDY ON APPLYING SHIP DOMAIN TO ESTABLISH REAL-TIME MARITIME TRAFFIC HOT SPOT MAP IN THE SEA OF VIETNAM

NGUYỄN VĂN QUẢNG<sup>1\*</sup>, TRẦN VĂN LƯỢNG<sup>2</sup>, LƯƠNG TÚ NAM<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Phòng Tổ chức - Hành chính, Trường Đại học Hàng hải Việt Nam

<sup>2</sup>Viện Đào tạo quốc tế, Trường Đại học Hàng hải Việt Nam

<sup>3</sup>Khoa Hàng hải, Trường Đại học Hàng hải Việt Nam

\*Email liên hệ: nguyenvanquang@vimaru.edu.vn

### Tóm tắt

Hiện nay, để giúp cho các sỹ quan trực ca và sỹ quan quản lý giao thông có cái nhìn nhanh chóng về tình hình giao thông hàng hải, bản đồ phân bố những nơi có khả năng xảy ra đâm va cao là một hướng tiếp cận mới, nhiều triển vọng. Trong nghiên cứu này, nhóm tác giả sẽ ứng dụng mô hình vùng an toàn của tàu để xác định các khu vực có nguy cơ đâm va cao, từ đó xây dựng bản đồ điểm nóng giao thông. Bản đồ điểm nóng được xây dựng gồm 3 bước: Thu thập và xử lý dữ liệu AIS thu được trên các vùng biển của Việt Nam; ứng dụng phương pháp phân cụm DBSCAN để nhóm các tàu ở gần nhau thành các cụm có ít nhất từ 2 tàu trở lên; vùng an toàn của tàu sẽ được áp dụng cho các tàu trong cùng một cụm để xác định nơi có khả năng xảy ra đâm va. Điểm nóng giao thông được ghi lại là những khu vực có vùng an toàn của các tàu giao thoa với nhau, tạo nên một bản đồ nhiệt trên vùng biển Việt Nam. Tính hiệu quả của mô hình được thực nghiệm tại khu vực Hải Phòng, cho kết quả trực quan, các điểm nóng được thể hiện dưới dạng màu sắc kết hợp với giá trị cụ thể, có thể nhận biết, đánh giá một cách nhanh chóng.

**Từ khóa:** Vùng an toàn, giao thông hàng hải, điểm nóng giao thông, nguy cơ đâm va, bản đồ điểm nóng.

### Abstract

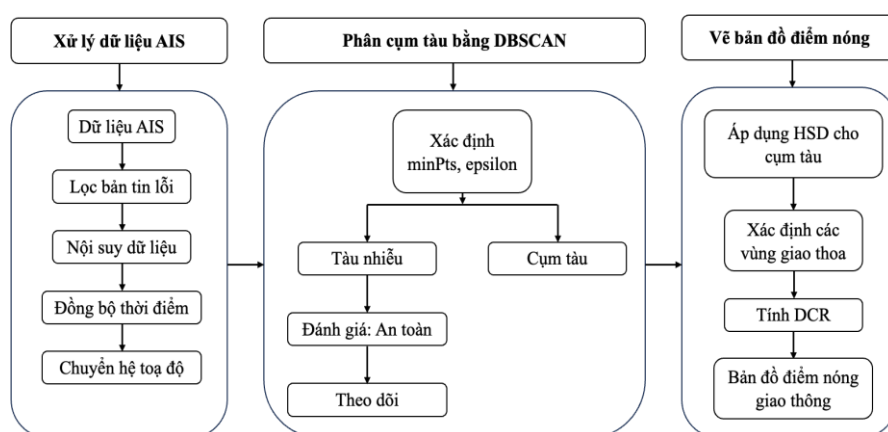
Recently, in order to help officers on watch and vessel traffic service officers have a quick view of the maritime traffic situation, a map of the distribution of places with a high likelihood of collisions is a new and promising approach. In this

study, the authors will apply a ship domain model to identify areas with high collision risk, thereby building a traffic hot spot map. The hot spot map is built in 3 steps: Collecting and processing AIS data in Vietnam's seas; Apply the DBSCAN clustering method to group ships that are close together into clusters with at least 2 ships or more; Ship domains will be applied to ships in the same cluster to determine where collisions are likely to occur. Recorded traffic hotspots are areas where ship domain overlaps with each other, creating a heat map in Vietnam waters. The effectiveness of the model was tested in the Hai Phong area, giving intuitive results, hot spots are shown as colors combined with specific values, which can be quickly identified and evaluated.

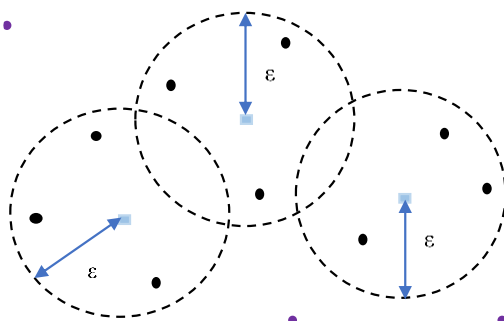
**Keywords:** Ship domain, maritime traffic, traffic hot spot, collision risk, hot spot map.

## 1. Mở đầu

Đánh giá nguy cơ đâm va thường chia làm 3 phương pháp: Đánh giá nguy cơ đâm va ở cấp độ vĩ mô, chủ yếu đánh giá nguy cơ giữa 2 tàu, các thông số được sử dụng là DCPA và TCPA [1,2,3]. Đánh giá nguy cơ đâm va ở cấp độ vi mô, phương pháp này thường 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 [4, 5, 6]. Đánh giá nguy cơ đâm va theo vùng, phương pháp này sẽ tăng độ trực quan cũng như khả năng nhận thức nhanh về nguy cơ đâm va giữa nhiều tàu. Nguy cơ đâm va theo khu vực được hình thành từ sự kết hợp nguy cơ đâm va giữa các tàu ở cấp độ vĩ 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 [7, 8, 9]. Các nghiên cứu trước đây có thể xác



Hình 1. Sơ đồ thuật toán xây dựng bản đồ điểm nóng giao thông hàng hải bằng HSD



Hình 2. Ba loại điểm và cụm

định đầy đủ nguy cơ đâm va ở một mức độ nào đó, tuy nhiên các phương pháp vẫn tồn tại một số hạn chế, tác động của các tàu khác tới tàu chủ không được tính đến khi tính toán nguy cơ đâm va.

Ngày nay, mật độ tàu thuyền tăng cao cả về số lượng và kích cỡ, điều kiện ngoại cảnh ngày càng phức tạp. Việc nhận thức nhanh về nguy cơ đâm va, đánh giá một cách trực quan, có hành động hoặc thông báo sớm để đảm bảo an toàn hàng hải ngày càng cấp thiết. Nghiên cứu này ứng dụng thuật toán xác định nguy cơ đâm va tàu thuyền dựa trên vùng an toàn tàu để xây dựng bản đồ điểm nóng giao thông, mô phỏng tại khu vực luồng Hải Phòng, áp dụng với nhiều loại tàu theo thời gian thực, đưa ra kết quả nhanh, chính xác và trực quan, từ đó đưa ra cảnh báo sớm với người điều khiển phương tiện phục vụ quản lý an toàn giao thông hàng hải.

## 2. Tổng quan xây dựng bản đồ điểm nóng giao thông hàng hải sử dụng vùng an toàn của tàu

Bản đồ điểm nóng giao thông sử dụng vùng an toàn mới của tàu HSD [10], gồm 3 bước chính: (1) - Xử lý dữ liệu AIS; (2) - Phân cụm tàu bằng DBSCAN, (3) - Vẽ bản đồ điểm nóng (Hình 1).

## 3. Xây dựng bản đồ điểm nóng giao thông bằng vùng an toàn mới của tàu (HSD)

### 3.1. Xử lý dữ liệu AIS

Dữ liệu thu được từ AIS được lưu trữ dưới dạng tọa độ Descartes nên khi tính toán nguy cơ đâm va tàu cần phải chuyển đổi thành tọa độ Mercator. Gọi  $(\varphi, \lambda)$  là vĩ độ và kinh 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 [12, 13] như sau:

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

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

$$x = \lambda * r_0 \quad (3)$$

$$y = q * r_0 \quad (4)$$

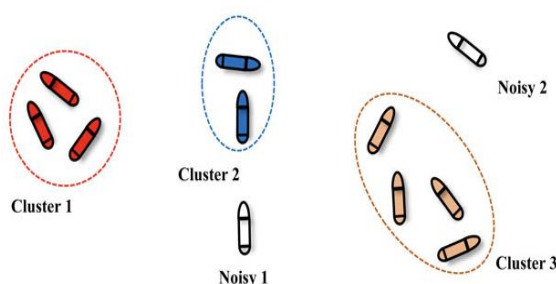
Trong đó:

- $\varphi_0$ : Là vĩ độ tiêu chuẩn;
- $a$ : Là bán lớn của Trái Đất;
- $e$ : Là độ lệch tâm của Trái Đất;
- $r_0$ : Là bán kính cong cung vĩ tuyến  $\varphi_0$ ;
- $q$ : Là vĩ độ tiến.

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. Nhiệm vụ chính của bước này là làm cho dữ liệu AIS trở nên đáng tin cậy để phân tích giao thông hàng hải.

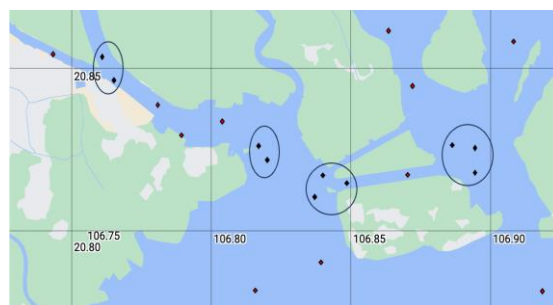
### 3.2. Phương pháp phân cụm dựa trên mật độ

Thuật toán phân cụm dữ liệu - Density - Based Spatial Clustering of Applications with Noise (DBSCAN) là thuật toán do Martin Ester và các cộng sự đề xuất vào năm 1996 [11], 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. Có thể nhóm các đối tượng không gian có mật độ phân bố cao thành các cụm khác nhau và loại bỏ các đối tượng nhiễu ở xa.

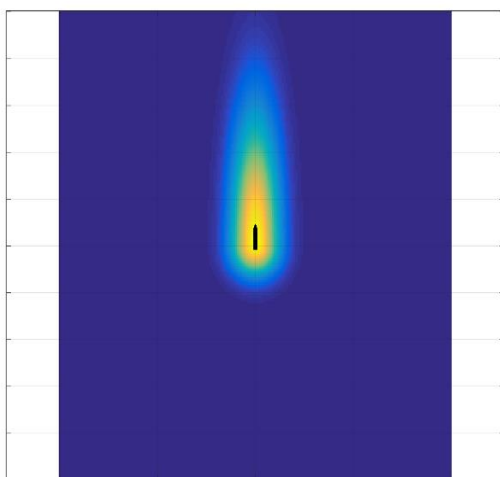


Hình 3. Áp dụng DBSCAN vào phân cụm tàu

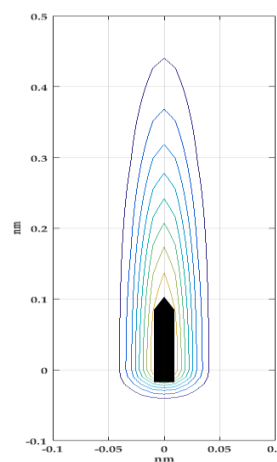
Thuật toán DBSCAN sử dụng hai tham số chính đó là: Epsilon ( $\epsilon$ ) là một giá trị khoảng cách để xác định vùng lân cận  $\epsilon$  của bất kỳ điểm dữ liệu nào và minPts - là một ngưỡng số điểm dữ liệu tối thiểu được nhóm lại với nhau nhằm xác định một vùng lân cận  $\epsilon$  có mật độ cao, số lượng minPts không bao gồm điểm ở tâm. Hai tham số này được sử dụng để xác định vùng lân cận  $\epsilon$  và khả năng tiếp cận giữa các điểm dữ liệu lẫn nhau, từ đó giúp kết nối chuỗi dữ liệu vào chung một cụm. Thuật toán lựa chọn một điểm dữ liệu bất kỳ, sau đó xác định các điểm lõi và điểm biên thông qua vùng lân cận  $\epsilon$  bằng cách lan truyền theo liên kết chuỗi các điểm thuộc cùng một cụm. Cụm hoàn toàn được xác định khi không thể mở rộng được thêm, khi đó lặp lại toàn bộ quá trình với điểm khởi tạo trong số các điểm dữ liệu còn lại để xác định một cụm mới. Thuật toán giúp xác định ba loại điểm: Điểm lõi - core point (màu xanh), điểm biên - border point (màu đen) và điểm nhiễu - noise point (màu tím) (Hình 2).



Hình 4. Các cụm tàu và nhiễu sau khi áp dụng thuật toán DBSCAN



Hình 5. Hình dáng và kích thước của vùng an toàn tàu (HSD) xuất hiện khi bắt đầu phân cụm



### 3.3. Phân cụm tàu bằng DBSCAN

Điều kiện tiên quyết để phát sinh nguy cơ đâm va giữa các tàu là khoảng cách đủ gần. Phương pháp DBSCAN được áp dụng để tự động phát hiện tình huống có nguy cơ đâm va giữa nhiều tàu ở trong một vùng biển, đáp ứng yêu cầu phát hiện các tàu có nguy cơ đâm va và lọc ra các tàu an toàn hơn. Nhiều tạo ra sau quá trình xử lý DBSCAN là các tàu ở xa các cụm tàu khác (Hình 3). 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 nhiều 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. Trường hợp các tàu nhiều tiến gần một tàu nhiều 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 nhiều trong trường hợp khoảng cách từ tàu đó đến các tàu còn lại lớn hơn  $\varepsilon$ .

Trước khi áp dụng DBSCAN, hai tham số cần được chỉ định là  $\varepsilon$  và MinPts, với  $\varepsilon$  là bán kính phân các tàu thành một cụm.

Trong đó:

- *minPts*: Là số lượng tàu tối thiểu có thể được nhóm thành một cụm. Các tình huống có nguy cơ đâm va phải hình thành từ 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 chưa tồn tại nguy cơ đâm va.

-  $\varepsilon$ : Là một tham số ban đầu quan trọng vì nó kết nối các tàu thành một cụm; giá trị của  $\varepsilon$  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,... Trong thực tế,  $\varepsilon$  phải được xác định theo quy tắc: Vùng nước hạn chế  $\varepsilon$  phải có giá trị nhỏ hơn, ngược lại,  $\varepsilon$  tại vùng nước ngoài đại dương có giá trị lớn hơn. Nghiên cứu này,  $\varepsilon$  được xác định dựa trên ý kiến của các chuyên gia hàng hải.

### 3.4. Xây dựng bản đồ điểm nóng giao thông trên khu vực luồng Hải Phòng

Bản đồ điểm nóng giao thông tại khu vực Hải Phòng sẽ được xây dựng để kiểm chứng tính hiệu quả của thuật toán xác định nguy cơ đâm va. Hải Phòng là

khu vực biển nhộn nhịp nhất ở miền bắc Việt Nam, có mật độ tàu thuyền ra vào lớn, vì vậy các tình huống có nguy cơ đâm va giữa các tàu xảy ra nhiều hơn, dẫn đến các điểm nóng giao thông sẽ có điều kiện được hình thành rõ rệt hơn.

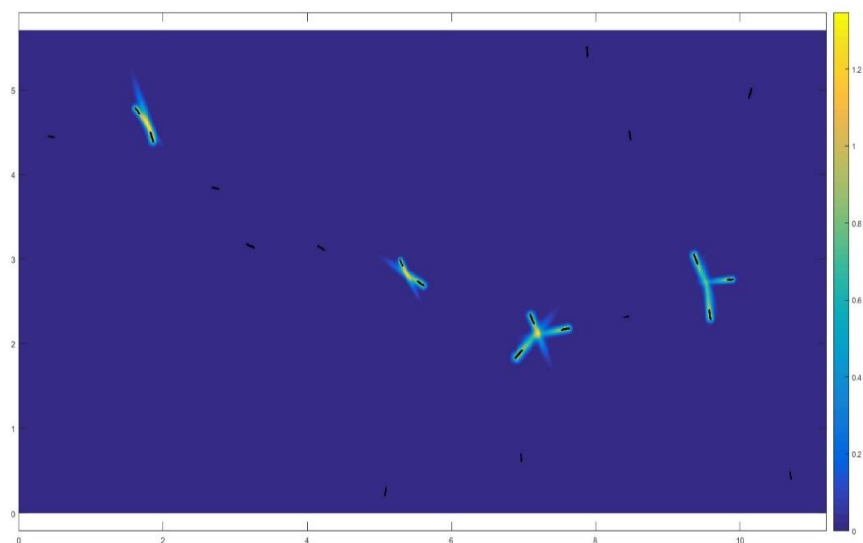
Dữ liệu AIS ghi ngày 26/8/2022 (vị trí, tốc độ, hướng đi, kích thước tàu, thời gian,...) sẽ được giải mã và xử lý. Để ngăn chặn sự rời rạc theo thời gian, dữ liệu AIS thu được sẽ được xử lý bằng phép nội suy để có thông tin chính xác vào cùng thời điểm.

Phương pháp DBSCAN được áp dụng để phân cụm các tàu có khoảng cách nhỏ hơn  $\varepsilon$  (với  $\varepsilon = 1$  hải lý), mỗi cụm có ít nhất từ 2 tàu trở lên, những tàu không nằm trong cụm được coi là an toàn (Hình 4).

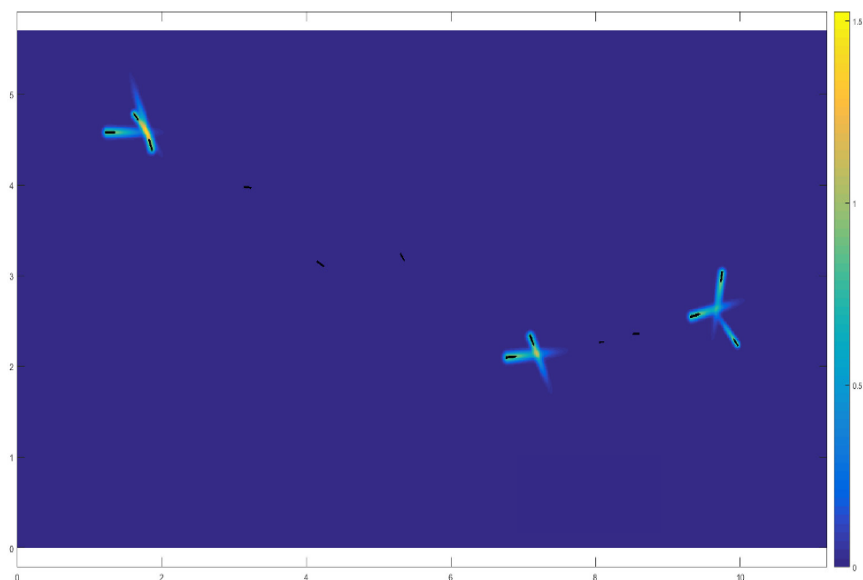
Ban đầu, mô hình đề xuất được sử dụng để thiết lập bản đồ điểm nóng giao thông động dựa trên các thời điểm khác nhau bằng cách áp dụng HSD cho các tàu trong các cụm. Các tàu khi được nhóm thành từng cụm sẽ được tính toán xác định vùng an toàn xung quanh tàu HSD cho riêng mình (Hình 5) [10], từ đó tính toán sự chồng lấn để xác định các điểm nóng giao thông.

Những tàu nhiều không nằm trong cụm sẽ không được tính toán HSD, tuy nhiên vẫn phải theo dõi liên tục cho đến khi tàu này vào 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 (Hình 6) và 16h00 (Hình 7) ngày 26/8/2022. Trên các bản đồ điểm nóng giao thông, màu càng đỏ thì nguy cơ đâm va càng lớn. 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 đánh giá tính hiệu quả của bản đồ đề xuất, bản đồ cùng khu vực được tạo ra bởi mô hình khác là mô hình áp lực môi trường (Environmental Stress Model - ES) sẽ được sử dụng để so sánh. Mô hình ES do Kinzo Inoue và cộng sự (2002) đề xuất bằng các tính toán những khó khăn trong việc điều động tàu bị tác động bởi môi trường xung quanh như điều kiện địa hình, điều kiện hàng hải, yếu tố ngoại cảnh [11]. 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.



Hình 6. Bản đồ điểm nóng giao thông khu vực luồng Hải Phòng (10h00 ngày 26/8/2022)



Hình 7. Bản đồ điểm nóng giao thông khu vực luồng Hải Phòng (10h00 ngày 26/8/2022)

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.

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

$$SJ_s = \alpha(R/L_m) + \beta \quad (5)$$

$$\alpha = 0.0019 \times L_m \quad (6)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \beta = -0.65 \cdot \ln(L_m) \\ -2.07 \text{ (cắt hướng từ mạn phải)} \\ -2.35 \text{ (cắt hướng từ mạn trái)} \\ -2.07 \text{ (đối hướng)} \\ -0.85 \text{ (vượt)} \end{array} \right. \quad (7)$$

Trong đó:

$\alpha$  : Là hệ số được xác định bởi kích thước tàu chủ;

$\beta$  : Là hệ số được xác định bởi phương vị của tàu mục tiêu so với tàu chủ;

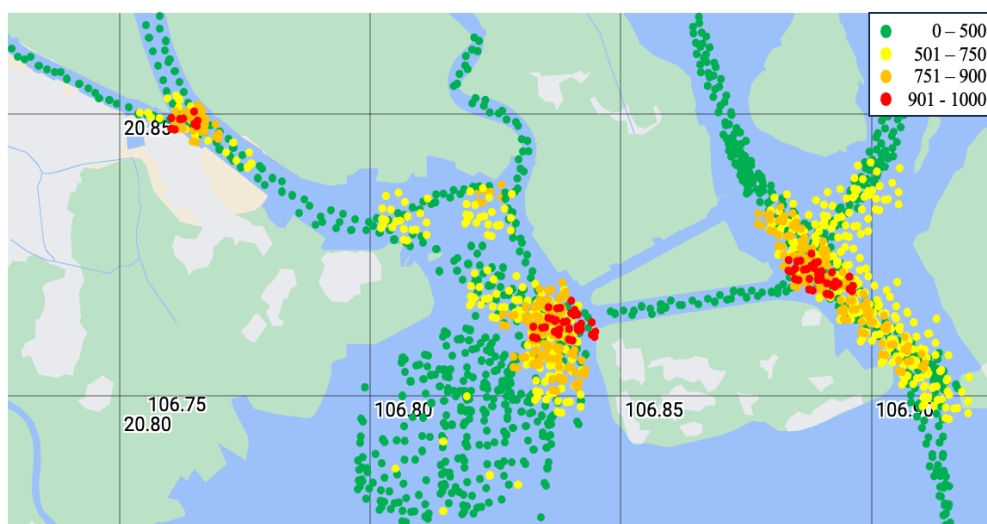


$R$  : Là khoảng cách giữa tàu chủ và tàu mục tiêu;  
 $L_m$  : Là chiều dài tàu trung bình của tàu chủ và tàu mục tiêu.

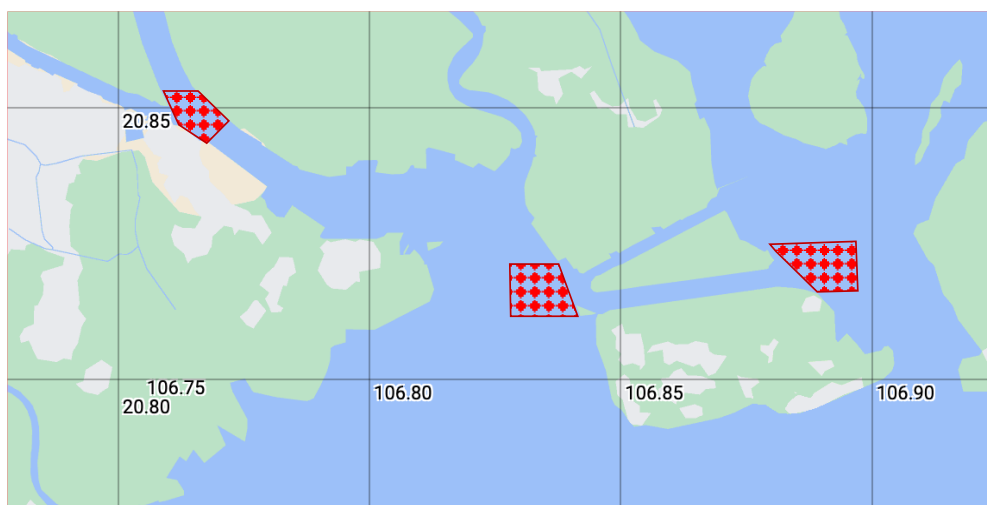
Hình 8 hiển thị mức độ áp lực gây nên bởi mật độ, tính chất giao thông của tàu thuyền khác trong khu vực Hải Phòng trong 24h từ 09h ngày 26/8/2022 đến 09h ngày 27/8/2022 dựa trên màu sắc. Có thể thấy rằng, áp lực cho sỹ quan hàng hải tại các khu vực cửa luồng, ngã ba có giá trị cao hơn, nguy cơ xảy ra 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. Khi quan sát giá trị DCR tại khu vực luồng Hải Phòng trong thời gian từ ngày 26/8/2022 đến ngày 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 9).

#### 4. Kết luận

Bài báo này, nhóm tác giả đã nghiên cứu xây dựng bản đồ điểm nóng giao thông dựa trên thuật toán xác định nguy cơ đâm va tàu thuyền dựa theo thời gian thực. Dữ liệu từ AIS tại khu vực Hải Phòng đã được thu thập và xử lý đưa về cùng một thời điểm. Phương pháp DBSCAN được áp dụng để phân cụm các tàu, HSD sẽ được áp dụng cho các tàu nằm trong cụm. Từ đó, các 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 tàu 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



Hình 8. Bản đồ mức độ áp lực tại khu vực luồng Hải Phòng



Hình 9. Các điểm nóng giao thông trong khu vực luồng Hải Phòng

trong khu vực luồng Hải Phòng, áp dụng phương pháp này tại các vùng biển khác sẽ xác định được bản đồ điểm nóng tương ứng. Thuật toán áp dụng theo thời gian thực, áp dụng với nhiều 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 đưa ra cảnh báo sớm đối với tàu thuyền hoặc giúp quản lý giao thông hàng hải an toàn.

### **TÀI LIỆU THAM KHẢO**

- [1] Kearon J. (1977), *Computer programs for collision avoidance and traffic keeping*, Conference on mathematical aspects on marine traffic, London: Academic Press.
- [2] Lisowski, J. (2002), *Game control of moving objects*. IFAC Proceedings Vol.35(1), pp.373-378.
- [3] Mou, J. M., Van der Tak, C. and Ligteringen, H. (2010), *Study on collision avoidance in busy waterways by using AIS data*. Ocean Engineering, Vol.37(5-6), pp.483-490.
- [4] Fujii, Y. and Shiobara, R. (1971), *The analysis of traffic accidents*. The Journal of Navigation, Vol.24(4), pp.534-543.
- [5] Yip, T. L. (2008), *Port traffic risks-A study of accidents in Hong Kong waters*. Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review, Vol.44(5), pp.921-931.
- [6] 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, Vol.94(8), pp.1349-1357.
- [7] Wen, Y., Huang, Y., Zhou, C., Yang, J., Xiao, C. and Wu, X. (2015), *Modelling of marine traffic flow complexity*. Ocean Engineering, Vol.104, pp.500-510.
- [8] 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, Vol.145, pp.492-501.
- [9] Liu, Z., Wu, Z. and Zheng, Z. (2019), *A novel framework for regional collision risk identification based on AIS data*. Applied Ocean Research, Vol.89, pp.261-272.
- [10] 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 (tháng 12/2023), tr.104-107.
- [11] 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.
- [12] Xiaoli Yuan, Di Zhang, Jinfen Zhang, Mingyang Zhang, C. Guedes. (2021), *A novel real-time collision risk awareness method based on velocity obstacle considering uncertainties in ship dynamics*. Ocean Engineering, Vol.220.
- [13] Liangbin Zhao, Guoyou. (2018), *A method for simplifying ship trajectory based on improved Douglas - Peucker algorithm*. Ocean Engineering, Vol.66, pp.37-46.

|                    |            |
|--------------------|------------|
| Ngày nhận bài:     | 15/12/2023 |
| Ngày nhận bản sửa: | 22/12/2023 |
| Ngày duyệt đăng:   | 27/12/2023 |