

## ỨNG DỤNG HỆ THỐNG TỰ ĐỘNG NHẬN DẠNG TÀU BIỂN TRONG NGHIÊN CỨU HÀNG HẢI

### APPLYING AUTOMATIC IDENTIFICATION SYSTEMS TO MARITIME RESEARCH

NGUYỄN THANH SƠN

Khoa Hàng hải, Trường Đại học Hàng hải Việt Nam

Email liên hệ: nguyenthanson@vamaru.edu.vn

DOI: <https://doi.org/10.65154/jmst.1010>

#### Tóm tắt

Hệ thống tự động nhận dạng tàu biển (Automatic Identification System - AIS) đã trở thành công cụ quan trọng trong nghiên cứu hàng hải, mở rộng từ mục đích ban đầu là hỗ trợ tránh va sang nhiều ứng dụng đa dạng. Tuy nhiên, chưa có nghiên cứu tổng quan có hệ thống nào đánh giá toàn diện các nghiên cứu trong hàng hải liên quan đến ứng dụng AIS. Nghiên cứu tổng quan này nhằm xác định, đánh giá và tổng hợp bằng chứng về các ứng dụng của dữ liệu AIS trong nghiên cứu hàng hải, bao gồm phương pháp nghiên cứu, lĩnh vực ứng dụng, và kết quả chính. Phương pháp tìm kiếm có hệ thống được thực hiện trên các cơ sở dữ liệu (WoS/SCOPUS, Google Scholar, PubMed, ArXiv, Elsevier, Springer, IEEE) cho các nghiên cứu xuất bản từ 2015-2025. Sàng lọc tiêu đề/tóm tắt và toàn văn được thực hiện độc lập theo tiêu chí đã định trước. Dữ liệu được trích xuất về thiết kế nghiên cứu, ứng dụng AIS, kết quả chính và hạn chế. Kết quả từ 269 bài báo ban đầu, 13 nghiên cứu đáp ứng tiêu chí được đưa vào tổng quan. Các ứng dụng AIS được xác định bao gồm: An toàn hàng hải và tránh va chạm (n=11), giám sát và theo dõi tàu (n=10), phân tích mật độ giao thông (n=7), đánh giá rủi ro (n=5), phát hiện bất thường (n=4), dự đoán quỹ đạo (n=3), và ứng dụng môi trường (n=4). Các phương pháp phân tích chủ yếu bao gồm khai thác dữ liệu, học máy, và mô hình toán học. Dữ liệu AIS đã được ứng dụng rộng rãi trong nghiên cứu hàng hải với nhiều lĩnh vực đa dạng. Tuy nhiên, các thách thức về chất lượng dữ liệu, xử lý thời gian thực, và tích hợp đa nguồn vẫn cần được giải quyết. Nghiên cứu tương lai nên tập trung vào phát triển phương pháp xử lý dữ liệu tiên tiến và mở rộng ứng dụng sang các lĩnh vực mới.

**Từ khóa:** AIS, An toàn hàng hải, Giám sát tàu, Tổng quan có hệ thống, PRISMA.

#### Abstract

Automatic Identification Systems (AIS) have become a crucial tool in maritime research, expanding from their original purpose of supporting collision avoidance to a wide range of diverse applications. However, no systematic overview has comprehensively evaluated the applications of AIS in maritime research. This review aims to identify, assess, and synthesize evidence on the applications of AIS data in maritime research, including research methods, application areas, and key results. A systematic search was conducted across databases (WoS/SCOPUS, Google Scholar, PubMed, ArXiv, Elsevier, Springer, IEEE) for research published between 2015 and 2025. Title/abbreviation and full-text screening were performed independently according to predefined criteria. Data extracted concerned research design, AIS applications, key results, and limitations. From the initial 269 papers, 13 studies meeting the criteria were included in the review. The identified AIS applications included: maritime safety and collision avoidance (n=11), ship monitoring and tracking (n=10), traffic density analysis (n=7), risk assessment (n=5), anomaly detection (n=4), trajectory prediction (n=3), and environmental applications (n=4). The main analytical methods included data mining, machine learning, and mathematical modeling. AIS data has been widely applied in maritime research across diverse fields. However, challenges regarding data quality, real-time processing, and multi-source integration remain to be addressed. Future research should focus on developing advanced data processing methods and expanding applications to new areas.

**Keywords:** AIS, Maritime Safety, Ship Monitoring, Systematic Overview, PRISMA.

## 1. Mở đầu

Vận tải biển là nền tảng của thương mại toàn cầu, đảm nhiệm hơn 80% tổng khối lượng hàng hóa thương mại được vận chuyển. Giống như các phương thức vận tải khác, vận tải biển không phải là một hoạt động biệt lập mà là một phần của hệ thống có ảnh hưởng qua lại với các tác nhân khác và môi trường xung quanh. Hoạt động hàng hải cũng có các tác động tiêu cực đến môi trường đã được ghi nhận rõ ràng, đặc biệt là khí thải, ô nhiễm và tiếng ồn.

Theo công ước SOLAS năm 2002, tất cả các tàu trên 300 GT bắt buộc phải trang bị bộ phát đáp AIS lớp A. Dữ liệu AIS bao gồm:

Dữ liệu động: Vị trí, tốc độ, hướng đi (cập nhật liên tục từ 2-12 giây).

Dữ liệu tĩnh: Tên tàu, số MMSI, loại tàu (ít khi thay đổi).

Dữ liệu bán tĩnh: Điểm đến, thời gian dự kiến đến (ETA) (do con người nhập thủ công).

Mặc dù ban đầu được thiết kế để hỗ trợ radar và hệ thống giám sát và điều phối giao thông hàng hải (VTS), để nhận dạng và định vị tàu thông qua việc trao đổi dữ liệu điện tử với các trạm AIS gần đó, các tàu khác, và vệ tinh. Ban đầu được phát triển như một công cụ hỗ trợ tránh va, AIS truyền thông tin về tên tàu, loại tàu, vị trí, kích thước, hướng đi, điểm đến và tốc độ nhiều lần mỗi phút [1]. Kể từ khi được triển khai rộng rãi vào năm 2004, AIS đã trở thành nguồn dữ liệu quan trọng cho nghiên cứu hàng hải [1].

Sự gia tăng của mạng lưới trạm mặt đất và chòm sao vệ tinh thu AIS đã cung cấp khả năng theo dõi toàn cầu, mở ra nhiều ứng dụng vượt xa mục đích hỗ trợ tránh va ban đầu [2], [5]. Dữ liệu AIS hiện được sử dụng trong nhiều lĩnh vực nghiên cứu hàng hải, từ an toàn hàng hải, quản lý giao thông biển, đánh giá môi trường, đến phân tích thương mại và hiệu suất cảng [4]. Tuy nhiên, việc ứng dụng dữ liệu AIS cũng đối mặt với nhiều thách thức, bao gồm lỗi dữ liệu, khối lượng dữ liệu lớn, và sự không đồng nhất trong chất lượng thông tin [4], [6].

Mặc dù có nhiều nghiên cứu riêng lẻ về ứng dụng AIS, vẫn thiếu một tổng quan có hệ thống đánh giá toàn diện các ứng dụng, phương pháp nghiên cứu, và kết quả trong lĩnh vực này. Một tổng quan như vậy sẽ giúp xác định xu hướng nghiên cứu, khoảng trống kiến thức, và định hướng cho các nghiên cứu tương lai.

Mục tiêu chính của tổng quan có hệ thống này là xác định, đánh giá và tổng hợp bằng chứng về các ứng dụng của dữ liệu AIS trong nghiên cứu hàng hải. Cụ thể, tổng quan này nhằm:

- Xác định các lĩnh vực ứng dụng chính của dữ liệu AIS trong nghiên cứu hàng hải;
- Mô tả các phương pháp nghiên cứu và phân tích được sử dụng với dữ liệu AIS;
- Tổng hợp các kết quả chính và phát hiện từ các nghiên cứu ứng dụng AIS;
- Xác định các hạn chế và thách thức trong việc sử dụng dữ liệu AIS;
- Đề xuất hướng nghiên cứu tương lai trong lĩnh vực này.

## 2. Phương pháp nghiên cứu

Tổng quan có hệ thống này được thực hiện theo hướng dẫn PRISMA 2020 (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses) để đảm bảo tính minh bạch và có thể tái lập.

Bài báo tuân theo cách tiếp cận có cấu trúc để rà soát tài liệu khoa học có liên quan theo các tiêu chí: Nghiên cứu về ứng dụng AIS trong lĩnh vực hàng hải; Bài báo khoa học được xuất bản từ 2015-2025; Nghiên cứu có đầy đủ thông tin về phương pháp và kết quả; Bài báo bằng tiếng Anh hoặc tiếng Việt; Nghiên cứu liên quan đến: an toàn hàng hải, theo dõi tàu, phân tích dữ liệu AIS, quản lý giao thông biển, dự đoán hành vi tàu. Các nghiên cứu bị loại trừ nếu: Chỉ tập trung vào công nghệ AIS mà không có ứng dụng cụ thể trong nghiên cứu hàng hải; Là bài viết ý kiến, bình luận, hoặc tóm tắt hội nghị không có peer-review; Nghiên cứu ngoài lĩnh vực hàng hải; Không có bản toàn văn truy cập được; Là bài báo trùng lặp.

Chiến lược tìm kiếm được phát triển dựa trên các từ khóa chính liên quan đến AIS và ứng dụng hàng hải. Chuỗi tìm kiếm chính bao gồm:

Tiếng Anh: "Automatic Identification System" OR "AIS" AND "maritime" OR "shipping" OR "navigation" OR "vessel" AND "applications" OR "tracking" OR "safety" OR "surveillance"

Tiếng Việt: "hệ thống tự động nhận dạng tàu biển" OR "AIS" AND "ứng dụng hàng hải" OR "theo dõi tàu" OR "an toàn hàng hải" Chiến lược tìm kiếm được điều chỉnh phù hợp với từng cơ sở dữ liệu để tối ưu hóa kết quả tìm kiếm.

Quá trình tìm kiếm trên Google Scholar, PubMed, ArXiv, Scopus và ScienceDirect, WoS, Elsevier, Springer, IEEE với các từ khóa liên quan AIS trong giai đoạn 2015-2026 đã thu được 269 bài báo có liên quan sau khi loại bỏ các kết quả trùng lặp. Sau khi xem xét kỹ lưỡng và áp dụng các tiêu chí loại trừ (như ngôn ngữ, quy trình phân biện), danh sách cuối cùng còn 13 bài báo chính. Dữ liệu được trích xuất từ 13

nghiên cứu được chọn bao gồm: Thông tin chung: Tác giả, năm xuất bản, quốc gia, tạp chí/ hội nghị; Thiết kế nghiên cứu và phương pháp: Loại nghiên cứu, phương pháp phân tích, khu vực địa lý, khoảng thời gian dữ liệu, khối lượng dữ liệu; Ứng dụng AIS: Các lĩnh vực ứng dụng cụ thể được xác định trong nghiên cứu; Kết quả chính: Phát hiện quan trọng, hiệu suất hệ thống, đóng góp khoa học; Hạn chế và hướng tương lai: Hạn chế của nghiên cứu, hạn chế dữ liệu, đề xuất nghiên cứu tương lai; Dữ liệu được trích xuất bằng cách sử dụng công cụ hỗ trợ trí tuệ nhân tạo để đảm bảo tính nhất quán và đầy đủ.

Chất lượng của các nghiên cứu được đánh giá dựa trên các tiêu chí sau: Rõ ràng về mục tiêu nghiên cứu: Mục tiêu nghiên cứu có được nêu rõ ràng không? Phương pháp nghiên cứu: Phương pháp có được mô tả đầy đủ và phù hợp không? Nguồn dữ liệu AIS có được mô tả rõ ràng không? Phương pháp phân tích có phù hợp với mục tiêu nghiên cứu không? Kết quả có được trình bày rõ ràng và hỗ trợ kết luận không? Các hạn chế của nghiên cứu có được thảo luận không?

Tất cả 13 nghiên cứu được đưa vào tổng quan đều đáp ứng các tiêu chí chất lượng cơ bản, với phương pháp nghiên cứu được mô tả rõ ràng và kết quả có thể kiểm chứng.

### 3. Kết quả

#### 3.1. Lựa chọn nghiên cứu

Tìm kiếm ban đầu xác định được 1.158 bài báo từ sáu cơ sở dữ liệu. Sau khi loại bỏ trùng lặp, 269 bài báo duy nhất được sàng lọc tiêu đề và tóm tắt. Trong số này, 250 bài báo bị loại do không đáp ứng tiêu chí bao gồm. Mười chín bài báo còn lại được đánh giá toàn văn, trong đó 6 bài bị loại (4 bài không có toàn văn truy cập được, 2 bài có phương pháp không đầy đủ). Cuối cùng, 13 nghiên cứu đáp ứng tất cả tiêu chí được đưa vào tổng quan có hệ thống này.

#### 3.2. Đặc điểm nghiên cứu

Bảng 1 trình bày phân bố các nghiên cứu theo năm xuất bản. Số lượng nghiên cứu về ứng dụng AIS tương đối ổn định trong giai đoạn 2015-2025, với sự tập trung vào các năm 2016 (23,1%) và các năm gần đây (2023-2025) chiếm 30,8%.

Các nghiên cứu được thực hiện ở nhiều khu vực địa lý khác nhau: Alaska và Bắc Cực (Arctic): 2 nghiên cứu [1], [2]; Hy Lạp và Địa Trung Hải: 1 nghiên cứu [6]; Eo biển Malacca: 2 nghiên cứu [11], [12]; Trung Quốc (sông Dương Tử): 1 nghiên cứu [9]; Cyprus và Đông Địa Trung Hải: 1 nghiên cứu [10]; Indonesia: 1 nghiên

cứ [13]; Ba Lan: 1 nghiên cứu [7]; Không xác định/Tổng quan: 4 nghiên cứu [3], [4], [5], [8].

**Bảng 1. Bảng phân bố nghiên cứu AIS theo năm**

Năm xuất bản	Số lượng nghiên cứu	Tỷ lệ (%)
2015	2	15.4
2016	3	23.1
2017	1	7.7
2019	2	15.4
2022	1	7.7
2023	2	15.4
2025	2	15.4
<b>Tổng</b>	<b>13</b>	<b>100</b>

Phân bố địa lý cho thấy sự quan tâm toàn cầu đến ứng dụng AIS, với các nghiên cứu tập trung vào các vùng biển có mật độ giao thông cao hoặc có tầm quan trọng chiến lược.

Các nghiên cứu được phân loại theo thiết kế và phương pháp như sau: Nghiên cứu thực nghiệm (Empirical studies): 9 nghiên cứu [2], [6], [7], [9], [10], [11], [12], [13], [8]; Tổng quan (Literature review): 2 nghiên cứu [3], [4]; Nghiên cứu ứng dụng/triển khai (Application/Implementation): 2 nghiên cứu [1], [5]

Phương pháp phân tích chính: Khai thác dữ liệu và học máy (Data mining & Machine learning): 5 nghiên cứu [4], [6], [9], [10], [13]; Mô hình toán học (Mathematical modeling): 4 nghiên cứu [11], [12], [13], [2]; Phân tích thống kê (Statistical analysis): 3 nghiên cứu [2], [11], [12]; Hệ thống thông tin địa lý (GIS): 2 nghiên cứu [2], [12]; Xử lý sự kiện phức tạp (Complex event processing): 1 nghiên cứu [6].

Khối lượng dữ liệu AIS được sử dụng trong các nghiên cứu rất đa dạng: Dữ liệu lớn (Big data): 168 triệu bản ghi vị trí [6], 1 tỷ thông điệp AIS [10], 50 GB/tháng [7]; Dữ liệu trung bình: Dữ liệu 5 năm [2], dữ liệu 18 tháng [7]; Dữ liệu nhỏ: Dữ liệu 1 tháng [11], [12], 50 thử nghiệm [13]. Xu hướng chung cho thấy các nghiên cứu gần đây có xu hướng sử dụng khối lượng dữ liệu lớn hơn, phản ánh sự phát triển của công nghệ lưu trữ và xử lý dữ liệu.

#### 3.3. Kết quả tổng hợp

Phân tích 13 nghiên cứu cho thấy dữ liệu AIS được ứng dụng trong bảy lĩnh vực chính:

##### (1) An toàn hàng hải và tránh va

An toàn hàng hải và tránh va là lĩnh vực ứng dụng

**Bảng 2. Các vấn đề ứng dụng AIS**

Lĩnh vực ứng dụng	Số lượng	Tỷ lệ (%)	Tài liệu tham khảo
An toàn hàng hải và hỗ trợ tránh va	11	84.6	[1], [2], [3], [4], [5], [6], [10], [11], [12], [13], [8]
Giám sát và theo dõi tàu	10	76.9	[1], [2], [3], [4], [5], [6], [7], [9], [10], [13]
Phân tích mật độ và quản lý giao thông	7	53.8	[2], [3], [4], [6], [11], [12], [9]
Đánh giá rủi ro	5	38.5	[4], [6], [11], [12], [2]
Phát hiện bất thường	4	30.8	[4], [9], [10]
Dự đoán quỹ đạo và hành vi tàu	3	23.1	[4], [9], [10]
Ứng dụng môi trường	4	30.8	[1], [2], [4], [6]

phổ biến nhất, xuất hiện trong 11/13 nghiên cứu (84,6%). Đây là mục đích ban đầu của hệ thống AIS, và vẫn là ứng dụng cốt lõi. Marine Exchange of Alaska đã sử dụng AIS để ngăn ngừa va chạm và tăng cường an toàn hàng hải kể từ năm 2004 [1]. Wright và cộng sự (2019) chỉ ra rằng AIS cung cấp dữ liệu thời gian thực hỗ trợ tránh va và nhận thức về lĩnh vực hàng hải tổng thể [2].

Các nghiên cứu về tránh va thường sử dụng các chỉ số như điểm tiếp cận gần nhất (Closest Point of Approach - CPA) và Thời gian đến Điểm Tiếp cận Gần nhất (Time to Closest Point of Approach - TCPA). Zaman (2016) phát hiện rằng nếu CPA lớn hơn 2 hải lý, các động tác tránh va có thể được đánh giá là thành công [11]. Anggani và cộng sự (2023) phát triển hệ thống cảnh báo sớm và chạm tàu thời gian thực sử dụng công thức haversine để tính khoảng cách giữa các tàu, đạt tỷ lệ va chạm 4% trong 50 thử nghiệm [13].

*(2) Giám sát và theo dõi tàu thuyền*

Giám sát và theo dõi tàu là lĩnh vực ứng dụng thứ hai phổ biến nhất, xuất hiện trong 10/13 nghiên cứu (76.9%). AIS cung cấp khả năng theo dõi vị trí, chuyển động và nhận dạng tàu trong thời gian thực. Sammartino và cộng sự (2015) nhấn mạnh rằng sự gia tăng của mạng lưới trạm mặt đất và chòm sao vệ tinh thu AIS đã cung cấp dữ liệu theo dõi toàn cầu [5]. Patroumpas và cộng sự (2015) phát triển hệ thống giám sát hàng hải kết hợp theo dõi di động trực tuyến với nhận dạng sự kiện phức tạp, xử lý được 600,000 vị trí mới mỗi phút và nhận dạng sự kiện phức tạp cho 6,425 tàu trong vài giây [6]. Hệ thống này nén quỹ đạo tàu gần 95% trong khi vẫn duy trì độ chính xác xấp xỉ. Stróžyna và cộng sự (2016) phát triển kiến trúc hệ thống SIMMO (System for Intelligent Maritime Monitoring) tích hợp dữ liệu AIS và nguồn Internet mở, xử lý khoảng 5,600 tệp mới mỗi ngày với thời gian tải lên 2-4 giây mỗi tệp [7].

*(3) Phân tích mật độ và quản lý giao thông*

Phân tích mật độ giao thông và quản lý giao thông biển xuất hiện trong 7/13 nghiên cứu (53,8%). Wright và cộng sự (2019) phát triển bản đồ nhiệt (heat maps) AIS để xác định nơi tàu thường di chuyển, ưu tiên khảo sát thủy văn, cập nhật dữ liệu đáy biển lỗi thời, và xác định khu vực không có giao thông biển [2]. Quy trình xử lý của họ giảm thời gian xử lý từ 24 giờ xuống còn vài phút để tạo ra các chuyến đi và bản đồ nhiệt từ dữ liệu AIS 5 năm. Zaman (2016) phân tích mật độ giao thông ở Eo biển Malacca và phát hiện rằng giao thông hàng ngày cao nhất là 285 tàu vào ngày 04 tháng 5 năm 2010, với giao thông theo giờ cao nhất là 35 tàu lúc 09:00 sáng [11]. Tàu chở dầu chiếm tỷ lệ lớn nhất với 45% dân số tàu.

*(4) Đánh giá rủi ro*

Đánh giá rủi ro xuất hiện trong 5/13 nghiên cứu (38.5%). Zaman (2019) phát triển phương pháp đánh giá rủi ro dựa trên phân tích xác suất và hậu quả, sử dụng ma trận rủi ro để xác định mức độ rủi ro [12]. Nghiên cứu phát hiện rằng các cuộc gặp gỡ đối đầu và giao cắt có thể ở mức chấp nhận được, trong khi vượt qua thường rơi vào điều kiện không thể chấp nhận.

Wright và cộng sự (2019) tổng hợp dữ liệu AIS, mô hình tràn dầu và thông tin sử dụng sinh kế để lập kế hoạch, bao gồm các mẫu giao thông tàu, tác động tràn dầu ước tính và dữ liệu sử dụng sinh kế [2]. Patroumpas và cộng sự (2015) phát hiện các tình huống đáng ngờ như xâm nhập vào khu vực bảo tồn biển, lãng vãng và hành trình không an toàn [6].

*(5) Phát hiện bất thường*

Phát hiện bất thường xuất hiện trong 4/13 nghiên cứu (30.8%). Yang và cộng sự tổng hợp các ứng dụng phát hiện bất thường bao gồm giám sát hoạt động đánh cá, phát hiện vận chuyển bất hợp pháp và phát hiện vận chuyển nguy hiểm [4]. Patroumpas và cộng sự

(2015) phát triển hệ thống phát hiện các tình huống đáng ngờ quan tâm đến các cơ quan hàng hải, với các điểm quan trọng được báo cáo gần như ngay lập tức cho các phạm vi cửa sổ nhỏ [6].

Strózyzna và cộng sự (2016) phát triển giao diện đồ họa trực quan cho phép lọc và hiển thị các hành vi đáng ngờ như cờ trong danh sách đen hoặc nhận dạng mơ hồ [7]. Wright và cộng sự (2019) sử dụng dữ liệu AIS thời gian thực để xác định hành vi của người điều khiển tàu và đánh giá xem các tàu có tránh các sự kiện bão lớn hay không [2].

#### (6) Dự đoán quỹ đạo và hành vi tàu

Dự đoán quỹ đạo và hành vi tàu xuất hiện trong 3/13 nghiên cứu (23.1%). Yang và cộng sự tổng hợp các phương pháp bao gồm trích xuất quỹ đạo, phân cụm và dự đoán [4]. Guo và cộng sự (2023) phát triển phương pháp DeepSORVF dựa trên học sâu cho khớp quỹ đạo không đồng bộ và tích hợp dữ liệu hàng hải đa phương thức, đạt MOFA trung bình 96,04% và MOFP 0,196 [9]. Phương pháp này có độ phức tạp thời gian thấp, xử lý một giây dữ liệu trong 0,2562 giây trung bình.

#### (7) Ứng dụng môi trường

Ứng dụng môi trường xuất hiện trong 4/13 nghiên cứu (30.8%). Marine Exchange of Alaska sử dụng AIS để tăng cường các hoạt động hàng hải có tính đến môi trường [1]. Wright và cộng sự (2019) sử dụng Thông điệp Cụ thể Ứng dụng (Application Specific Messages - ASMs) để truyền thông tin môi trường, bao gồm mực nước, dòng chảy, độ mặn, sóng và các thông số khí tượng [2].

Yang và cộng sự tổng hợp các ứng dụng đánh giá môi trường bao gồm phân tích khí thải tàu, phân tích rủi ro tràn dầu, phân tích tác động hệ sinh thái và đánh giá chiến lược vận chuyển xanh [4]. Patroumpas và cộng sự (2015) phát triển hệ thống giám sát để ngăn ngừa thiệt hại không thể khắc phục cho hệ sinh thái biển, chẳng hạn như đóng cửa nghề cá và giám sát hoạt động tàu để bảo vệ các khu vực bảo tồn biển [6].

### 3.4. Phương pháp nghiên cứu và phân tích

Các phương pháp nghiên cứu và phân tích được sử dụng trong các nghiên cứu về ứng dụng AIS rất đa dạng.

#### (1) Khai thác dữ liệu và học máy

Khai thác dữ liệu và học máy là phương pháp phổ biến nhất, được sử dụng trong 5/13 nghiên cứu. Yang và cộng sự tổng hợp các phương pháp bao gồm trích xuất quỹ đạo, phân cụm, dự đoán, và các thuật toán heuristic cho lập kế hoạch tuyến đường [4]. Guo và

cộng sự (2023) sử dụng YOLOX cho phát hiện tàu, phương pháp theo dõi chống che khuất dựa trên kiến thức tiên nghiệm, và thuật toán E-FastDTW kết hợp với thuật toán Hungarian cho khớp quỹ đạo [9]. Patroumpas và cộng sự (2015) sử dụng Event Calculus for Run-Time reasoning (RTEC) cho nhận dạng sự kiện phức tạp, xử lý các lô vị trí trong vòng 500ms cho các phạm vi cửa sổ nhỏ [6].

#### (2) Mô hình toán học

Mô hình toán học được sử dụng trong 4/13 nghiên cứu, chủ yếu cho tính toán CPA/TCPA và đánh giá rủi ro. Zaman (2016) sử dụng mô hình toán học để xác định CPA và TCPA [11]. Anggani và cộng sự (2023) sử dụng công thức haversine để tính khoảng cách và góc giữa hai điểm tọa độ trên bề mặt trái đất [13]. Zaman (2019) phát triển phương pháp tính toán xác suất và hậu quả dựa trên mật độ giao thông và loại gặp gỡ (đổi đầu, giao cắt, vượt qua), với mức độ rủi ro được xác định bằng ma trận rủi ro [12].

#### (3) Phân tích thống kê

Phân tích thống kê được sử dụng trong 3/13 nghiên cứu để phân tích mật độ giao thông và xu hướng. Wright và cộng sự (2019) sử dụng phân tích thống kê để xác định xu hướng và mẫu trong giao thông tàu [2]. Zaman (2016, 2019) sử dụng phân tích thống kê để phân tích mật độ giao thông và xác suất va chạm [11], [12].

#### (4) Hệ thống thông tin địa lý (GIS)

GIS được sử dụng trong 2/13 nghiên cứu để tạo bản đồ nhiệt và phân tích không gian. Wright và cộng sự (2019) phát triển bản đồ nhiệt AIS để xác định nơi tàu thường di chuyển [2]. Zaman (2019) sử dụng GIS để đánh giá an toàn hàng hải cho giao thông biển ở Eo biển Malacca [12].

### 3.5 Kết quả chính và phát hiện

Thứ nhất là các nghiên cứu báo cáo hiệu suất hệ thống ấn tượng: Xử lý thời gian thực: Patroumpas và cộng sự (2015) đạt được xử lý các lô vị trí trong vòng 500ms cho các phạm vi cửa sổ nhỏ và xử lý 600,000 vị trí mới mỗi phút [6]. Độ chính xác cao: Guo và cộng sự (2023) đạt MOFA trung bình 96,04% và MOFP 0,196 [9]. Nén dữ liệu hiệu quả: Patroumpas và cộng sự (2015) nén quỹ đạo tàu gần 95% trong khi vẫn duy trì độ chính xác xấp xỉ [6]. Xử lý nhanh: Guo và cộng sự (2023) xử lý một giây dữ liệu trong 0,2562 giây trung bình [9].

Thứ hai là các phát hiện khoa học quan trọng bao gồm: Hình mẫu tổ chức giao thông: Zaman (2016) phát hiện rằng giao thông hàng ngày cao nhất là 285

tàu vào ngày 04 tháng 5 năm 2010, với tàu chở dầu chiếm 45% [11]. Đánh giá rủi ro: Zaman (2019) phát hiện rằng các tàu đi đổi hướng và cắt hướng có thể ở mức chấp nhận được, trong khi hành động vượt qua thường rơi vào điều kiện không thể chấp nhận [12]. Hành vi tránh bão: Wright và cộng sự (2019) chứng minh rằng các tàu thành công tránh các khu vực thời tiết nguy hiểm trong cơn bão Florence tháng 9 năm 2018 [2]. Ứng dụng đa dạng: Yang và cộng sự xác định bảy lĩnh vực ứng dụng AIS: khai thác dữ liệu, an toàn hàng hải, phân tích hành vi tàu, đánh giá môi trường, phân tích thương mại, hiệu suất tàu/cảng, và vận chuyển Bắc Cực [4].

Thứ ba là các nghiên cứu đóng góp nhiều ứng dụng thực tiễn như hệ thống cảnh báo sớm: Anggani và cộng sự (2023) phát triển hệ thống cảnh báo sớm va chạm tàu thời gian thực với chi phí thấp cho tàu nhỏ [13]; Ưu tiên khảo sát: Wright và cộng sự (2019) sử dụng bản đồ nhiệt AIS để ưu tiên khảo sát thủy văn và cập nhật dữ liệu đáy biển đã cũ [2]; Nhận thức lĩnh vực hàng hải: Stróžyna và cộng sự (2016) phát triển kiến trúc SIMMO phù hợp cho nhu cầu nhận thức trong lĩnh vực hàng hải về tính hữu ích và tốc độ [7]; Hỗ trợ ra quyết định: Zaman (2019) cung cấp đầu vào cho các bên liên quan, người quản lý hoạt động hàng hải và thuyền bộ của tàu để cải thiện an toàn hàng hải [12].

Bên cạnh đó, các nghiên cứu cũng đã xác định nhiều hạn chế về dữ liệu AIS: Yang và cộng sự chỉ ra rằng dữ liệu AIS có lỗi và không chính xác, đặc biệt trong thông tin tĩnh và liên quan đến chuyển đi được nhập thủ công, đòi hỏi lọc cẩn thận [4]. Patroumpas và cộng sự (2015) đề cập đến sự không chắc chắn từ định nghĩa sự kiện phức tạp không hoàn hảo, luồng dữ liệu không đầy đủ và sai lệch, và sự suy giảm theo thời gian và độ trễ truyền trong dữ liệu AIS [6]; Nghiên cứu của Nicos Evmides và cộng sự (2022) đề cập đến thách thức về khối lượng và tốc độ sinh dữ liệu cực lớn, trùng lặp thông điệp và bất thường dữ liệu [10].

Các hạn chế phương pháp như Patroumpas và cộng sự (2015) chỉ ra rằng việc phát triển thủ công các định nghĩa Sự kiện Phức tạp (CE) là công phu và dễ xảy ra lỗi [6]. Guo và cộng sự (2023) nhận thấy rằng các hộp giới hạn dự đoán vẫn thể hiện một số sai số dự báo do hiện tượng vật thể bị che khuất, chủ yếu do ước tính không chính xác về đặc điểm chuyển động AIS và thị giác [9]. Stróžyna và cộng sự (2016) lưu ý rằng các kịch bản phân tích là "danh mục đóng" do cách tiếp cận bảo thủ đối với thu thập dữ liệu [7].

Serry (2016) chỉ ra rằng AIS có một số thiếu sót không thể phủ nhận và hạn chế kỹ thuật [3]. Các hạn chế này bao gồm phạm vi truyền VHF hạn chế, sự phụ

thuộc vào GNSS cho định vị, và khả năng can thiệp hoặc tắt thiết bị AIS.

#### 4. Thảo luận

Kết quả chỉ ra sự phát triển mạnh của ứng dụng AIS từ mục đích ban đầu là tránh va sang nhiều lĩnh vực đa dạng. Yang và cộng sự phân loại ứng dụng AIS thành ba giai đoạn: cơ bản (an toàn hàng hải), mở rộng (phân tích hành vi, đánh giá môi trường), và tiên tiến (tối ưu hóa hoạt động, chuỗi cung ứng) [4]. Phân tích này xác nhận xu hướng này, với 84,6% nghiên cứu vẫn tập trung vào an toàn hàng hải, nhưng 76,9% cũng bao gồm giám sát và theo dõi, và 30,8% mở rộng sang ứng dụng môi trường. Sự phát triển này được thúc đẩy bởi ba yếu tố chính: (1) cải thiện khả năng tiếp cận dữ liệu thông qua mạng lưới trạm mặt đất và vệ tinh [2], [5], (2) tiến bộ trong công nghệ xử lý dữ liệu lớn và học máy [4], [9], và (3) nhận thức ngày càng tăng về giá trị của dữ liệu AIS cho nhiều ứng dụng hàng hải [1], [2].

Các nghiên cứu sử dụng nhiều phương pháp phân tích khác nhau, phản ánh sự đa dạng của các câu hỏi nghiên cứu và ứng dụng. Phương pháp khai thác dữ liệu và học máy ngày càng phổ biến, đặc biệt cho phát hiện bất thường và dự đoán quỹ đạo [4], [6], [9]. Guo và cộng sự (2023) chứng minh rằng các phương pháp học sâu có thể đạt độ chính xác cao (MOFA 96.04%) và xử lý thời gian thực (0,2562 giây/giây dữ liệu) [9].

Mô hình toán học truyền thống vẫn quan trọng cho các ứng dụng cụ thể như tính toán CPA/TCPA và đánh giá rủi ro [11], [12], [13]. Sự kết hợp giữa các phương pháp truyền thống và hiện đại, như trong nghiên cứu của Patroumpas và cộng sự (2015) kết hợp xử lý sự kiện phức tạp với theo dõi di động trực tuyến [6], cho thấy tiềm năng của các cách tiếp cận lai.

Chất lượng dữ liệu AIS là mối quan tâm nhất quán trong các nghiên cứu. Yang và cộng sự nhấn mạnh rằng dữ liệu AIS có lỗi và không chính xác, đặc biệt trong thông tin được nhập thủ công [4]. Patroumpas và cộng sự (2015) đề cập đến sự không chắc chắn từ dữ liệu không đầy đủ và sai lệch [6]. Các thách thức này đòi hỏi các phương pháp lọc và xác thực dữ liệu cẩn thận. Tuy nhiên, các nghiên cứu cũng chứng minh rằng các phương pháp xử lý dữ liệu tiên tiến có thể giảm thiểu tác động của các vấn đề chất lượng dữ liệu. Patroumpas và cộng sự (2015) đạt được nén quỹ đạo 95% trong khi vẫn duy trì độ chính xác xấp xỉ [6]. Guo và cộng sự (2023) phát triển phương pháp theo dõi chống che khuất dựa trên kiến thức tiên nghiệm để xử lý dữ liệu không hoàn hảo [9].

Xử lý thời gian thực là yêu cầu quan trọng cho nhiều ứng dụng AIS, đặc biệt là tránh va chạm và cảnh

báo sớm. Các nghiên cứu chứng minh rằng xử lý thời gian thực là khả thi ngay cả với khối lượng dữ liệu lớn. Patroumpas và cộng sự (2015) xử lý 600,000 vị trí mới mỗi phút [6], trong khi Guo và cộng sự (2023) xử lý một giây dữ liệu trong 0,2562 giây [9].

Khả năng mở rộng cũng được chứng minh qua các nghiên cứu xử lý khối lượng dữ liệu lớn. Patroumpas và cộng sự (2015) xử lý 168 triệu bản ghi vị trí từ 6.425 tàu [6], trong khi nghiên cứu của Nicos Evmides và cộng sự (2022) xử lý khoảng 1 tỷ thông điệp AIS [10]. Stróžyna và cộng sự (2016) đề xuất sử dụng các giải pháp dữ liệu lớn như Apache Spark hoặc VoltDB cho các thành phần phân tích [7].

Tích hợp dữ liệu AIS với các nguồn dữ liệu khác mở ra nhiều ứng dụng mới. Wright và cộng sự (2019) tổng hợp dữ liệu AIS, mô hình tràn dầu và thông tin sử dụng sinh kế [2]. Stróžyna và cộng sự (2016) tích hợp dữ liệu AIS và nguồn Internet mở để tạo ra Bức tranh Hàng hải Được Nhận dạng nâng cao [7]. Guo và cộng sự (2023) tích hợp dữ liệu AIS và video cho giám sát giao thông tàu [9]. Tích hợp đa nguồn đôi mắt với thách thức về đồng bộ hóa thời gian, định dạng dữ liệu khác nhau, và độ tin cậy nguồn. Guo và cộng sự (2023) phát triển phương pháp khớp quỹ đạo không đồng bộ để giải quyết vấn đề đồng bộ hóa [9]. Patroumpas và cộng sự (2015) đề xuất kết hợp nhiều nguồn dữ liệu như dự báo thời tiết để cải thiện giám sát [6].

Các nghiên cứu được thực hiện ở nhiều khu vực địa lý khác nhau, từ Bắc Cực [1], [2] đến Eo biển Malacca [11], [12], từ Địa Trung Hải [6], [10] đến sông Dương Tử [9]. Sự đa dạng địa lý này cho thấy tính phổ quát của ứng dụng AIS, nhưng cũng nhấn mạnh nhu cầu điều chỉnh phương pháp cho các điều kiện địa phương cụ thể. Các khu vực có mật độ giao thông cao như Eo biển Malacca đòi hỏi các phương pháp đánh giá rủi ro và quản lý giao thông tiên tiến [11], [12]. Các khu vực xa xôi như Bắc Cực đòi hỏi các giải pháp truyền thông và giám sát đặc biệt [1], [2]. Các vùng nước nội địa như sông Dương Tử đòi hỏi giải pháp che khuất và mật độ giao thông cao [9].

Mặc dù tìm kiếm được thực hiện trên nhiều cơ sở dữ liệu, có thể có các nghiên cứu liên quan không được xác định do hạn chế của chiến lược tìm kiếm hoặc không có trong các cơ sở dữ liệu được tìm kiếm. Tìm kiếm chủ yếu tập trung vào các bài báo bằng tiếng Anh và tiếng Việt, có thể bỏ lỡ các nghiên cứu quan trọng bằng các ngôn ngữ khác. Tiêu chí loại trừ các nghiên cứu không có bản toàn văn truy cập được có thể đã loại bỏ một số nghiên cứu có giá trị. Sáu bài

báo bị loại trong giai đoạn sàng lọc toàn văn, chủ yếu do không có toàn văn, có thể chứa thông tin quan trọng. Do tính chất đa dạng của các nghiên cứu về thiết kế, phương pháp và kết quả, không thể thực hiện phân tích tổng hợp định lượng. Tổng quan này chủ yếu dựa vào tổng hợp định tính, có thể bị ảnh hưởng bởi sự chủ quan của người đánh giá. Tổng quan này chỉ bao gồm các nghiên cứu xuất bản từ 2015-2025. Các nghiên cứu quan trọng trước năm 2015 không được đưa vào, có thể ảnh hưởng đến hiểu biết về sự phát triển lịch sử của ứng dụng AIS.

## 5. Kết luận

Nghiên cứu này cung cấp bức tranh toàn cảnh có hệ thống đã xác định và phân tích 13 nghiên cứu về ứng dụng AIS trong nghiên cứu hàng hải từ năm 2015 đến 2025. Kết quả cho thấy dữ liệu AIS đã được ứng dụng rộng rãi trong bảy lĩnh vực chính: an toàn hàng hải và hỗ trợ tránh va (84.6%), giám sát và theo dõi tàu (76.9%), phân tích mật độ và quản lý giao thông (53.8%), đánh giá rủi ro (38.5%), phát hiện bất thường (30.8%), dự đoán quỹ đạo và hành vi tàu (23.1%), và ứng dụng môi trường (30.8%).

Các phương pháp nghiên cứu đa dạng được sử dụng, từ khai thác dữ liệu và học máy đến mô hình toán học và phân tích thống kê. Các nghiên cứu chứng minh rằng xử lý thời gian thực và khả năng mở rộng là khả thi ngay cả với khối lượng dữ liệu lớn, với hiệu suất ấn tượng như xử lý 600,000 vị trí mỗi phút và độ chính xác 96.04%.

Tuy nhiên, các thách thức về chất lượng dữ liệu, xử lý thời gian thực, và tích hợp đa nguồn vẫn cần được giải quyết. Nghiên cứu tương lai nên tập trung vào cải thiện chất lượng dữ liệu thông qua các phương pháp tự động, mở rộng ứng dụng sang các lĩnh vực mới như tàu tự hành và chuỗi cung ứng thông minh, phát triển các phương pháp phân tích tiên tiến hơn sử dụng học sâu và xử lý dữ liệu lớn, và thúc đẩy nghiên cứu liên ngành.

Với sự phát triển liên tục của công nghệ và phương pháp phân tích, ứng dụng AIS dự kiến sẽ tiếp tục mở rộng và đóng góp quan trọng vào an toàn, hiệu quả và bền vững của vận chuyển hàng hải. Định hướng nghiên cứu trong tương lai về dữ liệu AIS tập trung vào năm trụ cột chiến lược nhằm tối ưu hóa hiệu quả khai thác và quản lý hàng hải. Thứ nhất, về hạ tầng dữ liệu, ưu tiên hàng đầu là nâng cao độ tin cậy thông qua các thuật toán học máy và lập trình logic xác suất để tự động phát hiện, hiệu chỉnh các sai số và dị thường. Thứ hai, việc ứng dụng công nghệ tiên tiến như học sâu để khớp quỹ đạo và kiến trúc dữ liệu lớn sẽ đảm

bảo khả năng xử lý thời gian thực với quy mô dữ liệu khổng lồ. Thứ ba, phạm vi ứng dụng sẽ được mở rộng sang hệ thống tàu tự hành, quản lý cảng thông minh và giám sát an ninh hàng hải. Thứ tư, nghiên cứu liên ngành sẽ đóng vai trò then chốt, tích hợp dữ liệu đa phương thức (AIS, Radar, Video) để đánh giá toàn diện tác động môi trường, kinh tế và chính sách công. Cuối cùng, việc thiết lập các tiêu chuẩn chung về giao thức chia sẻ, kho dữ liệu mở và đạo đức dữ liệu là điều kiện tiên quyết để xây dựng một hệ sinh thái nghiên cứu hàng hải bền vững và thống nhất.

### **TÀI LIỆU THAM KHẢO**

- [1] Page, C.E. (2017), *Maximizing maritime safety and environmental protection with AIS: (Automatic identification system)*, OCEANS 2017 - Anchorage, pp.1-4.
- [2] Wright Darren, Janzen Carol, Bochenek Robert, Austin Jessica, Page Edward (2019), *Marine Observing Applications Using AIS: Automatic Identification System*, Frontiers in Marine Science. DOI: 10.3389/FMARS.2019.00537.
- [3] A. Serry (2016), *The automatic identification system (AIS): a data source for studying maritime traffic*, Maritime Transport VII, Iniciativa Digital Politècnica (IDP) - Maritime Transport Maritime Transport - 7th International Conference on Maritime Transport (Maritime Transport): Barcelona, pp.27-29.  
<https://hdl.handle.net/2117/89047>.
- [4] Dong Yang, Lingxiao Wu, Shuaian Wang, Haiying Jia, Kevin X. Li (2019), *How big data enriches maritime research—a critical review of Automatic Identification System (AIS) data applications*. Transport Reviews, Vol.39 (6), pp.755-773.  
<https://doi.org/10.1080/01441647.2019.1649315>.
- [5] Pier Francesco Sammartino, Michele Francesco Vespe, Dario Francesco Tarchi, Franco Francesco Oliveri, Francesco Francesco Papi, Francesco Francesco Borghese, Giuseppe Francesco Aulicino, and Antonio Francesco Vollero (2024), *AIS signal radiolocation, tracking and verification*, Clean Mobility and Intelligent Transport Systems. DOI: 10.1049/PBTR001E\_CH12.
- [6] Kostas Patroumpas, Alexander Artikis, Nikos Katzouris, Marios Vodas, Yannis Theodoridis, Nikos Pelekis (2015), *Event Recognition for Maritime Surveillance*, Extending Database Technology. Conference: EDBT 2015.
- [7] Milena Stróżyńska, Jacek Małyżko, Krzysztof Węcel, Dominik Filipiak, Witold Abramowicz (2016), *Architecture of maritime awareness system supplied with external information*, Annual of Navigation. DOI: 10.1515/AON-2016-0009.
- [8] Rehardendi, Dimas & Arfianto, Afif Zuhri & Riananda, Dimas & Burjulius, Renol & Lena, Sonty (2025), *Pengiriman Pesan Darurat Berbasis Ais Untuk Jacket Keselamatan Di Kapal Penumpang*. Jurnal 7 Samudra. Vol.10. pp.29-36. DOI: 10.54992/7samudra.v10i1.330.
- [9] W. Guo, Ryan Wen Liu, Jingxiang Qu, Yuxu Lu, Fenghua Zhu, and Yisheng Lv (2023), *Asynchronous Trajectory Matching-Based Multimodal Maritime Data Fusion for Vessel Traffic Surveillance in Inland Waterways*, IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, Vol.24, No.11, p.12779.
- [10] Nicos Evmides, Lambros Odysseos, H. Herodotou (2022), *An Intelligent Framework for Vessel Traffic Monitoring Using AIS Data*, 2022 23rd IEEE International Conference on Mobile Data Management (MDM). DOI: 10.1109/mdm55031.2022.00091
- [11] M. B. Zaman (2016), *Study on Safety of Navigation using Automatic Identification System for Marine Traffic Area Case Study: Malacca Straits*, Int. J. of Maritime Engineering Innovation and Research, Vol. 1(1). pp.26-31. DOI: 10.12962/J25481479.V1I1.1462.
- [12] M. B. Zaman (2019), *Navigation Safety for Marine Traffic in the Malacca Strait using AIS Data*, Asian Journal of Applied Sciences. DOI: 10.24203/AJAS.V7I4.5827.
- [13] R. Anggani et al. (2023), *Ship Collision Realtime Early Warning System Based on Automatic Identification System (AIS) Data*, Indonesian Journal of Engineering Research. DOI: 10.11594/ijer.v3i1.42.

Ngày nhận bài:	11/02/2026
Ngày nhận bản sửa:	12/03/2026
Ngày duyệt đăng:	16/03/2026