

ỨNG DỤNG MẠNG BAYES ĐÁNH GIÁ NGUYÊN NHÂN ĐÂM VA
CỦA PHƯƠNG TIỆN THỦY TRONG QUÁ TRÌNH HÀNH HẢI
APPLYING BAYESIAN NETWORK FOR ASSESSING THE CAUSATION
PROBABILITY OF VESSELS ON NAVIGATION CHANNEL

TRẦN ĐỨC PHÚ

Khoa Công trình, Trường Đại học Hàng hải Việt Nam

Email liên hệ: phutd.ctt@vimaru.edu.vn

Tóm tắt

Đâm va là nguyên nhân chính gây ra các vụ tai nạn của phương tiện thủy trong quá trình hành thủy. Nghiên cứu này đề xuất một cách thức tiếp cận phân tích nguyên nhân đâm va của phương tiện thủy sử dụng mạng Bayes (Bayesian network, BN). Mô hình cung cấp một giải pháp hiệu quả để phòng ngừa các tai nạn đâm va bằng cách tính toán xác suất đâm va và phân tích sâu hơn các nguyên nhân tai nạn đâm va dựa trên các mối quan hệ của chúng trong các mạng Bayes. Đây là cơ sở để cho các cơ quan quản lý, công ty và các thuyền viên đề xuất các giải pháp quản lý, nâng cao an toàn và giảm thiểu các vụ tai nạn đâm va trong quá trình hoạt động.

Từ khóa: Phương tiện thủy, va chạm, đâm va, mạng Bayes, an toàn đường thủy, an toàn hàng hải.

Abstract

Collision is the main cause of maritime accidents. This paper presents an approach to analyze the causes of collision by applying the Bayesian network (BN). The model accurately provides measures to prevent collision accidents by calculating the probability of collision and further analyzing the causes of collision accidents based on their relationships in BNs. This is the fundament to establish proper safety management measures for authorities, companies, or crews to lower the occurrence of collision accidents.

Keywords: Vessel, collision, Bayesian network (BN), waterway safety, maritime safety.

1. Giới thiệu chung

Trong những năm gần đây, giao thông đường thủy ngày càng phát triển, kéo theo tình trạng mất an toàn cũng như số vụ tai nạn có chiều hướng gia tăng. Thống kê của Cục Hàng hải Việt Nam từ năm 2010 đến hết năm 2017 cho thấy đã có trên 200 vụ tai nạn xảy ra, trong số đó, tai nạn do đâm va luôn chiếm

một tỉ lệ lớn nhất, trên 50%, trong các vụ tai nạn hàng hải và cho thấy, đây chính là rủi ro lớn nhất xảy ra trong hoạt động hàng hải [1], [2]. Trong các nghiên cứu trước, tác giả đã đề xuất phương pháp xác định xác suất xảy ra đâm va trên một tuyến luồng hàng hải [3] và xác suất đâm va tại khu vực giao cắt giữa các tuyến luồng [4]. Đây là những nghiên cứu giúp nhà quản lý luồng có cơ sở xác định các vị trí có mức độ an toàn thấp để thực hiện các biện pháp an toàn cần thiết. Tuy nhiên, tai nạn đâm va của phương tiện thủy vẫn xảy ra và cần thiết phải có những giải pháp để xác định các thành tố và mức độ ảnh hưởng của chúng đến tai nạn, ví dụ như yếu tố con người (thực hiện sai nhiệm vụ, mệt mỏi, không tuân thủ quy tắc cảnh giới, thiết kế tuyến chạy tàu chưa hợp lý,...), yếu tố trang thiết bị tàu thủy (máy móc xảy ra sự cố, trang thiết bị hàng hải bị hư hỏng...) và yếu tố môi trường (tầm nhìn, mật độ giao thông, gió, và dòng chảy,...). Trên cơ sở đánh giá được mức độ ảnh hưởng của các yếu tố đó đến tai nạn đâm va, ta có thể đề ra các giải pháp để giảm thiểu đâm va và mức độ thiệt hại.

Theo [5], các nghiên cứu trước đây về phân tích nguyên nhân tai nạn của phương tiện thủy sử dụng các cách tiếp cận khác nhau như Hệ thống phân tích và phân loại yếu tố con người (Human Factors Analysis and Classification System, HFACS), Phân tích cây sai phạm (Fault Tree Analysis, FTA), mạng Bayes (Bayesian network, BN) và mô hình lai,... Trong đó, HFACS đã được sử dụng rộng rãi và chuyên sâu để phân tích và điều tra các yếu tố con người liên quan đến các vụ tai nạn hàng hải; Phương pháp phân tích tai nạn lai tích hợp HFACS với các quy trình khác, ví dụ: Quy trình mạng phân tích (Analysis Network Process, ANP), Quy trình phân cấp phân tích mờ (Fuzzy Analysis Hierarchy Process),... để đánh giá các trường hợp tiềm ẩn trong các tai nạn hàng hải. FTA là một cách tiếp cận có hệ thống để đánh giá sự an toàn và độ tin cậy của hệ thống một cách định tính và định lượng, có phạm vi sử dụng rất rộng trong nhiều lĩnh vực, như cơ chế

của khói bụi đô thị, tai nạn đường sắt tốc độ cao, tai nạn cháy nổ, hệ thống khoan ngoài khơi, kho chứa đáy biển,...

Tuy nhiên, các phương pháp trên không phù hợp để phân tích hệ thống lớn và phức tạp, đặc biệt nếu hệ thống có lỗi phát sinh, lỗi có chung nguyên nhân hoặc các biến cố chính loại trừ lẫn nhau. Trên thực tế thường khó tồn tại một giả thiết mà các sự kiện là độc lập nhau, đồng thời, các hậu quả của hệ thống cần phải được xem xét trong các điều kiện môi trường và khai thác.

Mạng Bayes (BN) đã được áp dụng trong phân tích các vụ tai nạn trong một vài thập kỷ qua, trong đó BN là một mô hình đồ họa thể hiện các mối quan hệ nhân quả và mã hóa các mối quan hệ xác suất giữa các biến. BN được sử dụng không chỉ để dự đoán xác suất của các biến chưa biết mà còn cập nhật xác suất của các biến đã biết của một biến cho trước (bằng chứng) thông qua quá trình lan truyền xác suất. Nhờ đó, BN là một công cụ hữu ích cho phân tích tai nạn hàng hải.

2. Cơ sở lý thuyết

Hầu như không thể xây dựng một phân tích rủi ro đầy đủ, có tính đến tất cả các khía cạnh liên quan. Tuy nhiên, mô hình phải xét đến một tập hợp con càng lớn càng tốt trong các cơ chế lỗi tiềm ẩn. Phần này mô tả phương pháp phân tích rủi ro truyền thống để tính toán xác suất của các nguyên nhân, xem xét những hạn chế của các phương pháp truyền thống và đề xuất áp dụng Mạng Bayes.

2.1. Phương pháp truyền thống

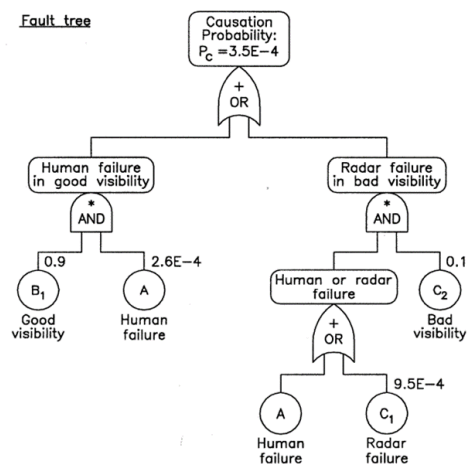
Phương pháp tiếp cận truyền thống để tính P_C (ví dụ: phân tích nguyên nhân dẫn đến sự không hành động của con người hoặc những hư hỏng bên ngoài) là sử dụng phân tích cây sai phạm (FTA) hoặc phân tích cây sự kiện (ETA), thể hiện trong Hình 1. Từ cây sai phạm này, có thể xác định được xác suất nguyên nhân đâm va P_C như sau:

$$P_C = X_A + (1 - X_A)X_{C1}X_{C2} \quad (1)$$

Trong đó, X_A là xác suất sai phạm do con người (human failure), X_{C1} là xác suất sai phạm do radar (radar failure) phụ thuộc vào kích thước, tuổi thọ, quốc tịch của phương tiện thủy, ..., X_{C2} là hệ số tầm nhìn hạn chế theo năm.

Khi xem xét FTA ở trên, có một câu hỏi đặt ra là liệu mô hình có thực sự nắm bắt bất kỳ cơ chế sai phạm quan trọng nào có liên quan đến tình huống quan trọng được xem xét hay không. Các yếu tố liên

quan đến các bất thường trong quá trình điều khiển không được đưa vào phân tích, mặc dù đây là những yếu tố quan trọng đối với các lỗi liên quan đến con người. Hơn nữa, người ta thấy rằng lỗi của con người đóng góp 75% ($2,6 \cdot 10^{-4}$) vào xác suất gây tai nạn. Vai trò rõ nét của yếu tố sai lầm của con người là phù hợp với các quan sát. Tuy nhiên, “Buồn ngủ” (“Asleep”) là yếu tố đóng góp chủ yếu ($2,0 \cdot 10^{-4}$) và nó chiếm 60% xác suất nhân quả. Mặc dù nguyên nhân chủ đạo có thể được quy cho lỗi của con người nhưng điều này dường như không chính xác vì khi điều động tàu trong các vùng nước hạn chế phương tiện thủy thường duy trì trạng thái cảnh giác cao. Một vấn đề quan trọng của mô hình cây sai phạm là mô hình nhân tố con người không thể hiện được các nhiệm vụ liên quan phải được xem xét trong tình huống quan trọng được xét đến.

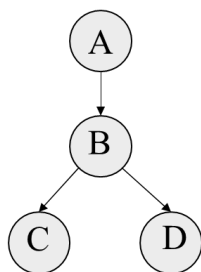


Hình 1. Xác định xác suất đâm va với chướng ngại vật có định P_C sử dụng FTA [6]

2.2. Mạng Bayes

Hầu hết các vấn đề phân tích rủi ro thực tế được đặc trưng bởi một tập hợp lớn các đại lượng và giải pháp thay thế không chắc chắn có liên quan với nhau. Trong phân tích rủi ro thông thường, các phương pháp khác nhau như phân tích cây sai phạm (FTA) và phân tích cây sự kiện (ETA) đã được phát triển để giải quyết các vấn đề này. FTA tìm kiếm nguyên nhân của một sự kiện nhất định và ETA tìm kiếm hậu quả của một sự kiện nhất định. Hai kỹ thuật phân tích này là các phương pháp bổ sung và khi được áp dụng chính xác, mô hình được xây dựng có thể xác định xác suất của toàn bộ cấu trúc mô hình. Cả FTA và ETA, áp dụng riêng rẽ và kết hợp, đã được sử dụng thành công trong quá khứ để đánh giá rủi ro của các hoạt động nguy hiểm khác nhau. Tuy nhiên, cả FTA và ETA đều có nhược điểm của chúng. Thứ

nhất, rất khó tích hợp các phụ thuộc có điều kiện và các sự kiện loại trừ lẫn nhau trong phân tích cây sai phạm (ví dụ cho sự phụ thuộc có điều kiện là sự phụ thuộc của tầm nhìn vào thời tiết; ví dụ cho các sự kiện loại trừ lẫn nhau là thời tiết tốt và bão). Nếu các phụ thuộc có điều kiện và các sự kiện loại trừ lẫn nhau được đưa vào FTA thì việc thực hiện và phân tích phải được thực hiện với sự cẩn trọng tối đa. Thứ hai, kích thước của cây sự kiện tăng theo cấp số nhân theo số lượng biến. Thứ ba, nếu phân tích thể hiện cơ chế sai sót chính, mô hình tổng thể, được kết hợp giữa cây sai phạm và cây sự kiện, nói chung trở nên lớn đến mức hầu như không thể cho bên thứ ba (và đôi khi ngay cả đối với bên thứ nhất) xác thực mô hình.



Hình 2. Cấu trúc mạng Bayes

Trong bài báo này, tác giả đề xuất sử dụng mạng Bayes làm công cụ mô hình hóa và phân tích rủi ro. Mạng Bayes là một biểu diễn đồ họa của các đại lượng và quyết định không chắc chắn thể hiện rõ ràng sự phụ thuộc xác suất giữa tập hợp các biến và luồng thông tin trong mô hình. Mạng Bayes là cách biểu diễn đồ thị của sự phụ thuộc thống kê trên một tập hợp các biến ngẫu nhiên, trong đó các nút (node) đại diện cho các biến, còn các cạnh (edge) đại diện cho các phụ thuộc có điều kiện. Phân phối xác suất đồng thời (joint probability distribution) của các biến được xác định bởi cấu trúc đồ thị của mạng. Mô tả đồ thị của mạng Bayes dẫn tới các mô hình dễ giải thích, và tới các thuật toán toán học và suy luận hiệu quả.

Một mạng Bayes là một đồ thị có hướng phi chu trình mà trong đó:

Các nút biểu diễn các biến;

Các cạnh biểu diễn các quan hệ phụ thuộc thống kê giữa các biến và phân phối xác suất địa phương cho mỗi giá trị nếu cho trước giá trị của các cha của nó.

Nếu có một cạnh từ nút X tới nút Y, thì biến Y phụ thuộc trực tiếp vào biến X, và X được gọi là cha của Y, ví dụ: trong Hình 2, nút A được gọi là cha của nút B. Nếu với mỗi biến X_i , $i \in \{1, \dots, N\}$, tập hợp

các biến cha được ký hiệu bởi $prts(X_i)$ thì phân phối có điều kiện phụ thuộc của các biến là tích của các phân phối địa phương:

$$\Pr(X_1, \dots, X_n) = \prod_{i=1}^n \Pr(X_i | prts(X_i)) \quad (2)$$

Nếu X_i không có nút cha, ta nói rằng phân phối xác suất cục bộ của nó là không có điều kiện, ngược lại thì gọi là có điều kiện. Nếu biến được biểu diễn bởi một nút được quan sát, thì ta nói rằng nút đó là một chứng cứ (evidence node).

Ưu điểm của mạng Bayes là sơ đồ nhỏ gọn và trực quan, nhấn mạnh mối quan hệ giữa các biến và nó biểu diễn một mô tả xác suất đầy đủ của vấn đề. Ví dụ, thật dễ dàng để chuyển đổi bất kỳ cây sự kiện hoặc cây sai phạm thành mạng Bayes. Tuy nhiên, ngược lại, có thể không phải lúc nào cũng dễ dàng chuyển đổi mạng Bayes thành cây sai phạm và cây sự kiện kết hợp, mặc dù về mặt lý thuyết là có thể.

Việc tập trung vào mối quan hệ nhân quả giữa các biến có hiệu quả nhất khiến mạng Bayes trở thành mô hình hợp lý và thực tế của miền sự cố, rất hữu ích khi chúng ta cố gắng hiểu về miền sự cố. Ngoài ra, kiến thức về mối quan hệ nhân quả cho phép chúng ta đưa ra dự đoán với sự có mặt của các can thiệp. Cuối cùng, nhưng không kém phần quan trọng, việc xây dựng mô hình thông qua mối quan hệ nhân quả giúp cho việc xác nhận và chuyển giao mô hình cho các bên thứ ba dễ dàng hơn nhiều.

3. Ứng dụng mạng Bayes vào phân tích, đánh giá nguyên nhân tai nạn đâm va

Để hỗ trợ công tác tính toán các đại lượng bất định sử dụng cấu trúc BN và tính xác suất ưu tiên, như phân tích dữ liệu, xác định nguyên nhân, dự đoán và chuẩn đoán máy móc, nghiên cứu này sử dụng bộ công cụ GeNIe 2.1, được phát triển bởi Decision Systems Laboratory, University of Pittsburgh. Mô hình BN giới thiệu trong nghiên cứu này được xây dựng trên cơ sở tham chiếu với mô hình FTA và BN của Yubo và cộng sự [5] về phân tích nguyên nhân một tai nạn đâm va trên sông Dương Tử, Trung Quốc nhằm nêu bật lên tính hiệu quả khi áp dụng mô hình BN trong đánh giá và xác định nguyên nhân gây tai nạn đâm va của phương tiện thủy.

Trong mô hình BN này, các dữ liệu phân tích được tính toán và tổng hợp thành Bảng 1 dựa trên số liệu thống kê các vụ tai nạn trong giai đoạn từ năm 2011 đến 2016 của Yichang Maritime Bureau [5]. Trên cơ sở dữ liệu này, 33 biến dữ liệu được định ra

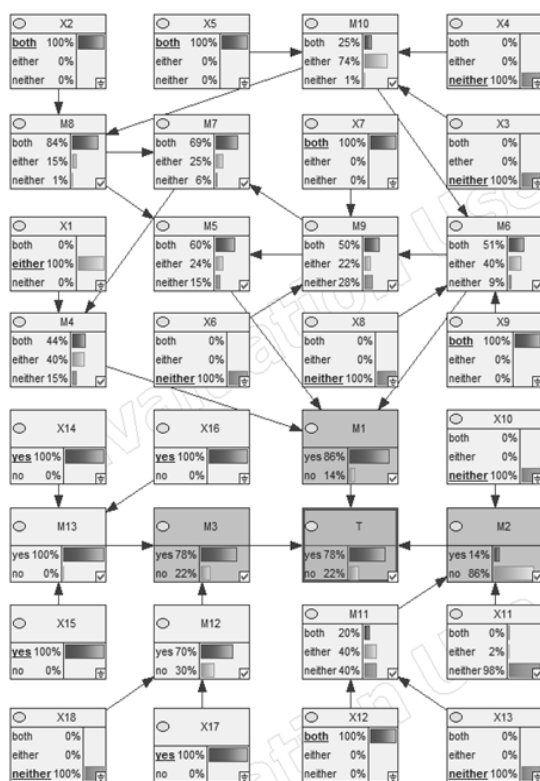
trong Bảng 1, bao gồm 3 khía cạnh chính liên quan đến tai nạn đâm va là yếu tố con người (ví dụ: thao tác không đúng cách, mệt mỏi, không tuân thủ tốc độ an toàn...), yếu tố thiết bị tàu thủy (hư hỏng thiết bị truyền động, hư hỏng thiết bị liên lạc...) và yếu tố môi trường (gió, dòng chảy, tầm nhìn).

Các nguyên nhân gây tai nạn được phân tích chi tiết và phân loại để từ đó tìm thấy chứng cứ liên quan đến mỗi nguyên nhân được thiết lập trên từng nút gốc, từ đó mạng Bayes cho phép xác định được xác suất xảy ra đâm va là 78% trong Hình 3, với độ chính xác có thể chấp nhận được.

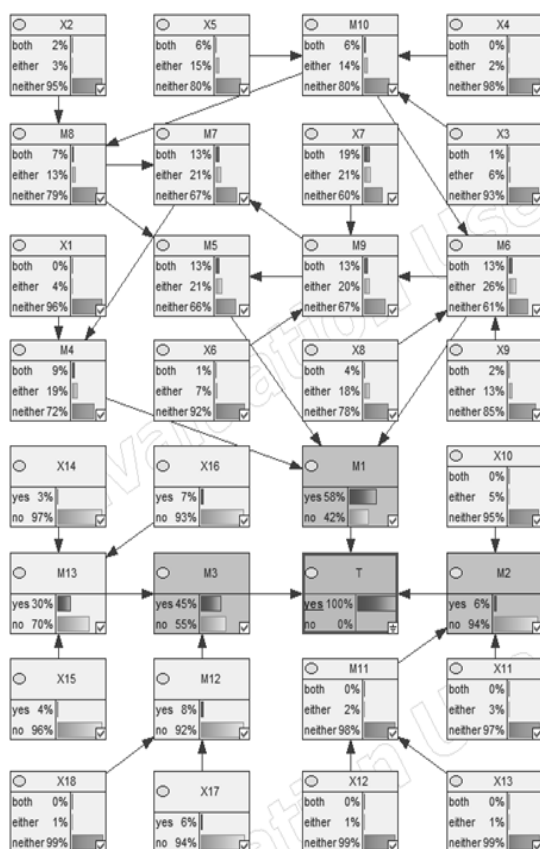
Bảng 1. Các biến số ảnh hưởng và chạm và xác suất của chúng

TT	Ký hiệu	Tên biến	Mạng Bayes					
			Xác suất trước		Xác suất sau		Giá trị tăng (%)	
			Cả hai	Một tàu	Cả hai	Một tàu	Cả hai	Một tàu
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)
1	X1	Thao tác không đúng cách của hoa tiêu	0,0001	0,0213	0,00041	0,04188	310%	97%
2	X2	Làm không đúng nhiệm vụ	0,0085	0,0191	0,01714	0,02813	102%	47%
3	X3	Mệt mỏi	0,0043	0,0383	0,00736	0,05807	71%	52%
4	X4	Say xin	0,0001	0,0128	0,00019	0,01549	90%	21%
5	X5	Sử dụng không đúng thiết bị báo hiệu	0,0191	0,0766	0,05511	0,1454	189%	90%
6	X6	Thiết kế tuyến chạy tàu không phù hợp	0,0043	0,0553	0,00953	0,07366	122%	33%
7	X7	Không nghe theo thuyền viên giỏi	0,1043	0,1979	0,19062	0,21042	83%	6%
8	X8	Không tuân thủ các quy tắc địa phương	0,0213	0,1447	0,03901	0,18266	83%	26%
9	X9	Không tuân thủ tốc độ an toàn	0,0085	0,0894	0,01823	0,13115	114%	47%
10	X10	Hỏng máy chính	0,0001	0,0191	0,00024	0,04548	140%	138%
11	X11	Hỏng thiết bị truyền động	0,0001	0,0191	0,00022	0,02702	120%	41%
12	X12	Hỏng thiết bị liên lạc	0,0001	0,0085	0,00015	0,00993	50%	17%
13	X13	Hỏng thiết bị cảnh báo đâm va	0,0001	0,0085	0,00013	0,01132	30%	33%
14	X14	Yếu tố gió	0,015	-	0,02889	-	93%	-
15	X15	Yếu tố dòng chảy	0,019	-	0,0366	-	93%	-
16	X16	Yếu tố tầm nhìn	0,036	-	0,06933	-	93%	-
17	X17	Tắc nghẽn tuyến chạy tàu	0,03	-	0,05618	-	87%	-
18	X18	Hỏng thiết bị hỗ trợ điều khiển	0,0001	0,0085	0,00019	0,01273	90%	50%
19	M1	Yếu tố con người	0,058	-	0,57916	-	899%	-
20	M2	Yếu tố thiết bị tàu	0,0121	-	0,0596	-	393%	-
21	M3	Yếu tố môi trường	0,1186	-	0,44505	-	275%	-
22	M4	Thao tác không đúng cách	0,0109	0,0323	0,09488	0,18779	770%	481%
23	M5	Hành động tránh va thiếu sự phối hợp	0,0191	0,0414	0,13037	0,2081	583%	403%
24	M6	Không tuân theo quy tắc	0,0233	0,0998	0,13116	0,25546	463%	156%
25	M7	Thao tác không đúng của thuyền viên	0,0178	0,0516	0,12729	0,20566	615%	299%
26	M8	Thông tin không đầy đủ	0,0134	0,0501	0,07395	0,1313	452%	162%
27	M9	Không đánh giá đúng tình hình	0,0202	0,0689	0,13325	0,19656	560%	185%
28	M10	Canh phòng không đúng cách	0,015	0,0565	0,06106	0,14084	307%	149%
29	M11	Hư hỏng thiết bị hỗ trợ	0,0015	0,0097	0,00307	0,01752	105%	81%
30	M12	Yếu tố môi trường tự nhiên	0,034	-	0,077	-	126%	-
31	M13	Yếu tố môi trường chạy tàu	0,1554	-	0,30095	-	94%	-
32	T	Tai nạn đâm va	0,077	-	1	-		

Nguồn: Yichang Maritime Bureau [5]



Hình 3. Xây dựng cấu trúc BN cho phân tích đâm va



Hình 4. Trường hợp có xảy ra đâm va ($T = \text{yes}, 100\%$)

Để phân tích sâu hơn các nguyên nhân gây ra tai nạn đâm va, phân tích độ nhạy được thực hiện. Khi phân tích độ nhạy để xác định nguyên nhân nào là yếu tố chính gây ra đâm va, ta đặt trạng thái đâm va cho biến T (Tai nạn đâm va) là “yes” = 100%, như Hình 4. Nghĩa là, tai nạn đâm va đã xảy ra. Cập nhật lại mô hình BN, có thể thấy xác suất nguyên nhân gây đâm va của từng thành tố đã được tính toán. Chi tiết thể hiện trong Bảng 1. Có thể thấy, ở cột số 8 của Bảng 1, top 5 nút gốc dẫn đến tai nạn đâm va là X1 (sự thao tác không đúng cách của hoa tiêu), X5 (Sử dụng không đúng thiết bị báo hiệu), X10 (Hồng máy chính), X6 (Thiết kế tuyến chạy tàu không phù hợp) và X11 (Hồng thiết bị truyền động).

4. Kết luận

Bài báo đã đề xuất ứng dụng mạng Bayes - một công cụ hữu hiệu để đánh giá và xác định nguyên nhân gây ra tai nạn đâm va của phương tiện thủy trong quá trình vận hành trên luồng. Trên cơ sở kết quả của nghiên cứu này, các cơ quan quản lý đường thủy nội địa, quản lý hàng hải và các doanh nghiệp vận tải thủy có thể ứng dụng phương pháp này để đánh giá các nguy cơ đâm va của phương tiện thủy và thực hiện các biện pháp bảo đảm an toàn giao thông và tăng cường an toàn hàng hải.

Lời cảm ơn

Nghiên cứu này là sản phẩm của đề tài nghiên cứu khoa học cấp Trường năm học 2019-2020, tên đề tài: “Ứng dụng mạng Bayes đánh giá và xác định nguyên nhân đâm va của phương tiện thủy trong quá trình hàng hải”, được hỗ trợ kinh phí bởi Trường Đại học Hàng hải Việt Nam.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] T. Đ. Phú, "Đề xuất một số biện pháp bảo vệ trụ cầu tránh va chạm với phương tiện thủy", *Tạp chí KHCN Hàng hải*, vol. 51, pp.75-80, 2017.
- [2] Vinamarine, "Báo cáo thống kê tai nạn hàng hải năm 2011," in "Số 3040 /CHHVN-AT&ANHH," 2012.
- [3] T. Đ. Phú, "Phân tích đánh giá xác suất xảy ra đâm va dọc tuyến luồng," *Tạp chí giao thông vận tải*, vol. tháng 4 năm 2019, 2019.
- [4] T. Đ. Phú, "Phương pháp xác định xác suất xảy ra đâm va tại khu vực giao cắt giữa các tuyến luồng", *Tạp chí KHCN Hàng hải*, vol. tháng 4 năm 2019, 2019.
- [5] Y. Z. Yubo Jia , Feixiang Wang ,Pengfei Lyu,

"Causes Analysis of Ship Collision Accidents using Bayesian Network," in *Proceedings of the Twenty-eighth International Ocean and Polar Engineering Conference*, 2018.

- [6] P. Friis-Hansen, "IWRAP MK II Working Document - Basic Modelling Principles For Prediction Of Collision And Grounding Frequencies," T. U. o. Denmark, Ed., ed, 2007.

Ngày nhận bài:	10/3/2020
Ngày nhận bản sửa:	20/4/2020
Ngày duyệt đăng:	23/4/2020