

Xây dựng chương trình tính toán xác định vị trí tàu bằng phương pháp quan trắc đồng thời độ cao và phương vị mặt trời

■ **TS. NGUYỄN THÁI DƯƠNG**

Trường Đại học Hàng hải Việt Nam

TÓM TẮT: Quan trắc thiên thể xác định vị trí tàu là một phương pháp truyền thống, có ưu điểm là tin cậy, độc lập và chi phí thấp. Từ khi hệ thống định vị vệ tinh toàn cầu ra đời, với nhiều ưu thế vượt trội về độ chính xác và tính liên tục nên đã trở thành phương pháp xác định vị trí tàu chính khi hàng hải xa bờ. Xác định vị trí tàu bằng quan trắc thiên thể thiên văn vẫn là phương pháp dự phòng trong các trường hợp sự cố bất thường. Hiện nay, vào ban ngày chỉ có thể áp dụng phương pháp thiên văn xác định vị trí tàu bằng quan trắc không đồng thời độ cao mặt trời. Phương pháp truyền thống này cần có thời gian chờ đợi phương vị mặt trời thay đổi đủ lớn để giảm sai số hình học nên phụ thuộc nhiều vào sai số dự đoán và ảnh hưởng của điều kiện ngoại cảnh. Mặt khác, yêu cầu cơ bản của phương pháp dự phòng là phải có vị trí tàu nhanh chóng khi hàng hải xa bờ, không có vị trí xác định bằng hệ thống vệ tinh định vị toàn cầu. Nhằm giải quyết các hạn chế nêu trên, bài báo nghiên cứu để xuất phương pháp thiên văn mới, xác định vị trí tàu bằng quan trắc đồng thời độ cao và phương vị mặt trời. Trên cơ sở lý thuyết của phương pháp mới, tác giả đề xuất thuật toán và xây dựng chương trình tính toán xác định vị trí tàu có độ tin cậy và tính ứng dụng cao.

TỪ KHÓA: Vị trí dự đoán, vị trí dự tính, quan trắc đồng thời, độ cao và phương vị, phương pháp thiên văn xác định vị trí tàu mới.

ABSTRACT: Observing to determine the ship's position is a traditional method, with the advantages of reliability, independence and low cost. Since global positioning system with many outstanding advantages in accuracy and continuity, it has become the main method of locating ships when navigating offshore. Determining the ship's position by astronomical observations is still a backup method in the unusual incidents. Currently, during the daytime, it is only possible to apply the astronomical method to determine the position of the ship by observing the altitude of the sun not at once. This traditional method needs time to wait for the azimuth of the sun changes significantly to reduce the geometrical error, so it depends much on the predicted error and

the influence of external conditions. On the other hand, the main requirement of the backup method is to locate the ship quickly when navigating offshore without global positioning system. In order to solve the mentioned problem, this paper proposes a new astronomical method determining ship position by observing simultaneously the altitude and azimuth of the sun. On the theoretical basis of the new method, the author proposes an algorithm and builds a program to determine ship position with high reliability and applicability

KEYWORDS: Dead reckoning, estimated position, simultaneous observation, altitude and azimuth, new celestial navigation fix.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Xác định vị trí tàu bằng phương vị và khoảng cách đồng thời tới một mục tiêu địa văn là phương pháp đơn giản, có độ chính xác cao và thường được áp dụng khi dẫn tàu ven bờ. Trong thiên văn, việc đo phương vị tới thiên thể tương đối phức tạp và kém chính xác. Chỉ có phương vị mặt trời là có thể đo đạc đơn giản và có độ chính xác cao. Hiện nay, phương pháp thiên văn xác định vị trí tàu vào ban ngày chủ yếu là quan trắc không đồng thời độ cao mặt trời [1]. Phương pháp không đồng thời này có độ chính xác kém, cần phải tính toán quan trắc vào thời điểm mặt trời qua kinh tuyến người quan sát và khoảng thời gian giữa hai lần đo phương vị lớn. Bài báo nghiên cứu để xuất phương pháp xác định vị trí tàu bằng quan trắc đồng thời độ cao và phương vị mặt trời. Đây là phương pháp thiên văn xác định vị trí tàu mới, khắc phục được các hạn chế của phương pháp quan trắc không đồng thời mặt trời, có thể xác định nhanh chóng vào ban ngày và ít phụ thuộc vào sai số của vị trí dự đoán. Trên cơ sở lý thuyết của phương pháp xác định vị trí tàu mới, tác giả đề xuất thuật toán và xây dựng chương trình tính toán xác định vị trí tàu tự động. Chương trình tính toán tự động nâng cao chất lượng của phương pháp thiên văn xác định vị trí tàu, đáp ứng yêu cầu là phương pháp dự phòng và phù hợp với tiêu chuẩn

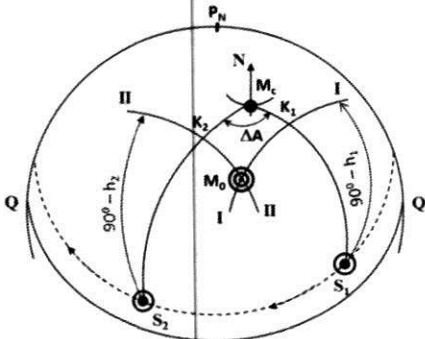
dẫn đường an toàn trong điều kiện hàng hải hiện đại ngày nay [2].

2. XÁC ĐỊNH VỊ TRÍ TÀU BẰNG QUAN TRẮC MẶT TRỜI KHÔNG ĐỒNG THỜI

2.1. Cơ sở lý thuyết

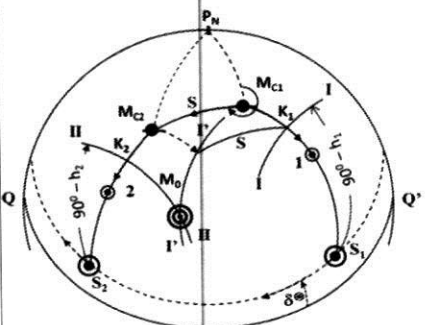
Điều kiện để đo độ cao là phải quan sát được đồng thời thiên thể và đường chân trời nhìn thấy. Vì vậy, cần tiến hành xác định vị trí tàu bằng phương pháp thiên văn vào lúc bình minh và hoàng hôn hàng hải. Ban ngày, trên tàu chỉ quan sát được mặt trời nên thường áp dụng phương pháp không đồng thời. Mặt khác, do chuyển động hàng ngày nên mặt trời liên tục thay đổi vị trí so với kinh tuyến và thiên đỉnh người quan sát. Vì vậy, để giảm sai số hình học cần tính toán thời điểm quan trắc để khoảng thời gian giữa hai lần đo phương vị mặt trời biến thiên $\Delta A \geq 30^\circ$ [3].

Giả sử, đo độ cao mặt trời lần thứ nhất được h_1 , vòng đẳng cao có tâm là cực chiếu sáng S_1 , bán kính là đỉnh cực $z_1 = 90^\circ - h_1$, đường vị trí nhận được là I-I (Hình 2.1). Phương vị và độ cao mặt trời thay đổi, cực chiếu sáng di chuyển theo cung S_1S_2 tới điểm S_2 . Tiến hành đo độ cao mặt trời lần thứ hai được h_2 , đường vị trí tương ứng nhận được là II-II. Giả sử tàu không di chuyển (neo hoặc buộc cầu) thì vị trí của nó sẽ là giao điểm M_0 của hai đường vị trí $M_0 = I \cap II$.



Hình 2.1: Trường hợp tàu đứng yên

Khi hành trình, khoảng thời gian giữa hai lần quan trắc tàu sẽ di chuyển trên bề mặt trái đất một khoảng cách $M_{C1}M_{C2} = S$ (Hình 2.2). Từ vị trí M_{C1} , đo được độ cao h_1 , đường vị trí I-I được dựng trên cơ sở thiên đỉnh của M_{C1} và vị trí mặt trời S_1 (với các yếu tố của tam giác vị trí dự đoán $\varphi_{C1}, \lambda_{C1}, \delta_1, t_1$). Tương tự, từ vị trí M_{C2} , đo được độ cao h_2 , đường vị trí II-II được dựng trên cơ sở thiên đỉnh của M_{C2} và vị trí mặt trời S_2 (với các yếu tố của tam giác vị trí dự đoán $\varphi_{C2}, \lambda_{C2}, \delta_2, t_2$).



Hình 2.2: Trường hợp tàu chuyển động

2.2. Xác định vị trí tàu bằng quan trắc không đồng thời mặt trời

- Chọn thời điểm quan trắc:

Biến thiên phương vị của thiên thể trong chuyển động nhìn thấy hàng ngày được tính toán theo công thức sau [4]:

$$\Delta A = (\cos A \cos \varphi \tanh - \sin \varphi) \Delta t \quad (1)$$

Phương vị thay đổi lớn nhất khi đạt giá trị $A = 0^\circ$ hoặc 180° , chính là khi thiên thể qua kinh tuyến người quan sát. Vì vậy, thời điểm thích hợp nhất để quan trắc xác định vị trí tàu là trước hoặc sau khi mặt trời qua kinh tuyến thượng người quan sát từ $2^h00^m \div 2^h00^m$ ở vĩ độ trung bình và từ $40^m \div 1^h30^m$ ở vĩ độ thấp.

Quan trắc lần thứ nhất từ vị trí dự đoán $M_{C1}(\varphi_{C1}, \lambda_{C1})$, đo độ cao mặt trời, ghi giờ thế giới t_{G1}^o , chỉ số tốc độ kế, hướng đi, áp suất, nhiệt độ và độ cao mắt người quan sát.

Hiệu chỉnh độ cao do:

$$h_{S1} = OC_{TBI} + i + s - d + \Delta h + \Delta h_{T,B} \quad (2)$$

Từ giờ thế giới T_{G1} , tra lịch thiên văn xác định được xích vĩ δ_1^o và góc giờ thế giới t_{G1}^o của mặt trời. Tính toán góc giờ địa phương của mặt trời theo công thức:

$$t_{L1}^o = t_{G1}^o \pm \lambda_{C1}^E \quad (3)$$

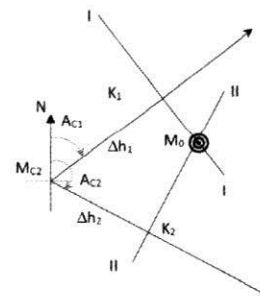
Với các đối số $(\varphi_{C1}, \delta_1^o, t_{L1}^o)$, tra bảng toán chuyên môn hoặc tính trực tiếp theo công thức chung, xác định được độ cao và phương vị của mặt trời (h_1, A_1) .

Tương tự, tiến hành quan trắc lần thứ hai từ vị trí dự đoán $M_{C2}(\varphi_{C2}, \lambda_{C2})$ khi phương vị thay đổi được từ $30^\circ \div 45^\circ$, tùy điều kiện thực tế.

Thao tác trên hải đồ với các yếu tố vẽ đường vị trí thiên văn như sau (Hình 2.3):

Đường I-I: Vị trí dự đoán $M_{C1}(\varphi_{C1}, \lambda_{C1})$, phương vị tính A_{C1} và hiệu độ cao $\Delta h_1 = h_{S1} - h_{C1}$.

Đường II-II: Vị trí dự đoán $M_{C2}(\varphi_{C2}, \lambda_{C2})$, phương vị tính A_{C2} và hiệu độ cao $\Delta h_2 = h_{S2} - h_{C2}$.



Hình 2.3: Thao tác xác định vị trí tàu không đồng thời

3. XÁC ĐỊNH VỊ TRÍ TÀU BẰNG QUAN TRẮC ĐỒNG THỜI ĐỘ CAO VÀ PHƯƠNG VỊ MẶT TRỜI

Vị trí tàu xác định bằng quan trắc không đồng thời mặt trời có nhiều hạn chế như: cần tiến hành vào thời điểm mặt trời qua kinh tuyến người quan sát, chịu ảnh hưởng của sai số vị trí dự đoán và đặc biệt là sai số tịnh tiến đường vị trí. Nhằm khắc phục các hạn chế trên, bài báo giới thiệu phương pháp xác định vị trí tàu bằng quan trắc đồng thời độ cao và phương vị mặt trời, bao gồm các bước sau:

- Bước 1: Xác định miền tìm kiếm

Mục đích của bước 1 là xác định khu vực lân cận vị trí dự đoán có xác suất chứa vị trí thật của tàu lớn hơn 95% theo tiêu chuẩn về độ chính xác định vị [5]: Miền tìm kiếm xác định như sau:

Vĩ độ giới hạn: $\varphi_{\min} \div \varphi_{\max}$ (giới hạn phía Nam $\varphi_0 = \varphi_{\min}$ và giới hạn phía Bắc $\varphi_a = \varphi_{\max}$)

Kinh độ giới hạn: $\lambda_{\min} \div \lambda_{\max}$ (giới hạn phía Tây $\lambda_0 = \lambda_{\min}$ và giới hạn phía Đông $\lambda_a = \lambda_{\max}$)

Với:

$$\varphi_{\min} = \varphi_c - |\Delta\varphi_c|, \varphi_{\max} = \varphi_c + |\Delta\varphi_c|, \Delta\varphi_c \text{ sai số của vĩ độ dự đoán } \varphi_c.$$

$$\lambda_{\min} = \lambda_c - |\Delta\lambda_c|, \lambda_{\max} = \lambda_c + |\Delta\lambda_c|, \Delta\lambda_c \text{ sai số của kinh độ dự đoán } \lambda_c.$$

Sai số của vị trí dự đoán được tính toán trên cơ sở giả trí sai số bình phương trung bình (R) của vị trí tàu ($|\Delta\varphi_c| = kR, |\Delta\lambda_c| = R$).

Trong đó:

K - Hệ số tăng tỷ lệ xích dọc theo kinh tuyến hay độ tăng vĩ độ tiến trên hải đồ mercator [6].

R - Bán kính diện tích xác suất chứa vị trí tàu, được tính toán sao cho xác suất vị trí thật của tàu nằm trong miền tìm kiếm lớn hơn 95%.

Thực tế, trường hợp đặc biệt phải sử dụng phương pháp thiên văn dự phòng để xác định vị trí thì chắc chắn trên tàu chỉ có vị trí dự đoán. Khi đó, bán kính sai số bình phương trung bình (R) của vị trí dự đoán theo công thức [7]:

$$R = \sqrt{(S_{TK} \varepsilon_L)^2 + (S_{TK} \varepsilon_{TK})^2} \quad (4)$$

Với:

S_{TK} - Quãng đường tàu chạy;

ε_L - Sai số trong số hiệu chỉnh la bàn;

ε_{TK} - Sai số trong số hiệu chỉnh tốc độ kế.

Giả sử tàu chạy được quãng đường theo tốc độ kế là 100 hải lý, sai số trong số hiệu chỉnh tốc độ kế là 0,6%, sai số trong số hiệu chỉnh la bàn 0°5. Tính toán bán kính sai số bình phương trung bình (R).

$$R = \sqrt{\left(100 \frac{0.5}{57.3}\right)^2 + \left(100 \frac{0.6}{100}\right)^2} = 1.06 \text{ nm}$$

Để tính toán sai số dự đoán, bán kính sai số được xác định là $3R = 3,18$ hải lý (99,7%).

- Bước 2: Thiết lập tập hợp vị trí tàu giả định trong miền tìm kiếm

Xây dựng mạng kinh vĩ tạo thành tập hợp điểm

$A = \{M_{xy}(\varphi_x, \lambda_y)\}$, với:

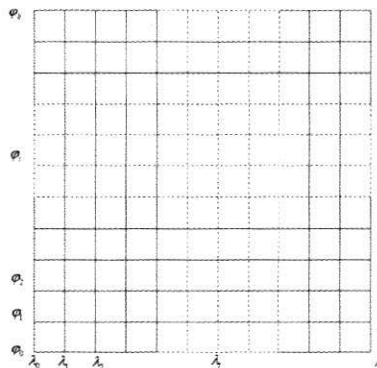
$$x = \{1, 2, \dots, b\} \text{ và } y = \{1, 2, \dots, a\}$$

Vĩ độ giới hạn phía Nam $\varphi_0 = \varphi_{\min}$ và vĩ độ giới hạn phía Bắc $\varphi_a = \varphi_{\max}$.

Kinh độ giới hạn phía Tây $\lambda_0 = \lambda_{\min}$ và kinh độ giới hạn phía Đông $\lambda_a = \lambda_{\max}$.

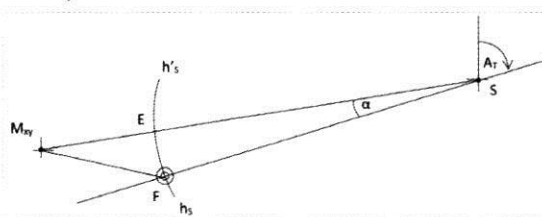
Khoảng giãn cách đảm bảo: $\varphi_{1+1} - \varphi_1 = 0^{\circ}000001$ và $\lambda_{1+1} - \lambda_1 = 0^{\circ}000001$.

Trên tàu tiến hành đo độ cao và phương vị mặt trời đồng thời, sau khi hiệu chỉnh được (h_s, A_T). Thao tác xác định vị trí tàu trên hải đồ mercator: Vòng đẳng cao có tâm là cực chiếu sáng S (φ_s, λ_s), bán kính là khoảng cách thật (h_s) giao với phương vị đo (A_T) cho vị trí tàu là F. Tuy nhiên, vị trí thật F chỉ là giả định vì không thể vẽ được đường vị trí (h_s, h'_s) trên hải đồ do khoảng cách h_s quá lớn.



Hình 3.1: Tập hợp điểm trong miền tìm kiếm

Tính toán khoảng cách từ điểm bất kỳ $M_{xy} \in \{A\}$ tới F do khoảng cách FS rất lớn nên coi gần đúng: $EF \approx EF$ và $EF \perp M_{xy}S$.



Hình 3.2: Xác định vị trí xác suất nhất

Xét tam giác vuông $M_{xy}EF$, ta có:

$$(M_{xy}F)^2 = (M_{xy}E)^2 + (EF)^2 \quad (9)$$

Trong đó:

$$EF \approx EF = FS \cdot \alpha = h_s \cdot \alpha$$

$$\alpha = A_T - K$$

K là hướng từ $M_{xy} \rightarrow S$ trên hải đồ Mercator, tính theo công thức [8]:

$$K = \tan^{-1}\left(\frac{H\lambda}{HD}\right) = \frac{\lambda_s - \lambda_y}{D_{\varphi_s} - D_{\varphi_x}} \quad (10)$$

Với:

Vĩ độ tiến của φ_x :

$$D_{\varphi_x} = a \ln \operatorname{tg} \left(\frac{\pi + \varphi_x}{4} + \frac{\varphi_x}{2} \right) \left(\frac{1 - e \sin \varphi_x}{1 + e \sin \varphi_x} \right)^{\frac{e}{2}} \quad (11)$$

Vĩ độ tiến của φ_s :

$$D_{\varphi_s} = a \ln \operatorname{tg} \left(\frac{\pi + \varphi_s}{4} + \frac{\varphi_s}{2} \right) \left(\frac{1 - e \sin \varphi_s}{1 + e \sin \varphi_s} \right)^{\frac{e}{2}} \quad (12)$$

a - Bán trục lớn của elip kinh tuyến trái đất;

e - Độ lệch tâm của elip kinh tuyến trái đất.

$$M_{xy}F = SM_{xy} - SE = h_s - h_{xy} \quad (13)$$

Với:

$$h_{xy} = \sin^{-1}[\sin \varphi_x \sin \delta + \cos \varphi_x \cos \delta \cos(t_G \pm \lambda_{xy}^{\pm E})] \quad (14)$$

Vị trí tàu xác suất nhất (M_{mn}) thỏa mãn điều kiện:

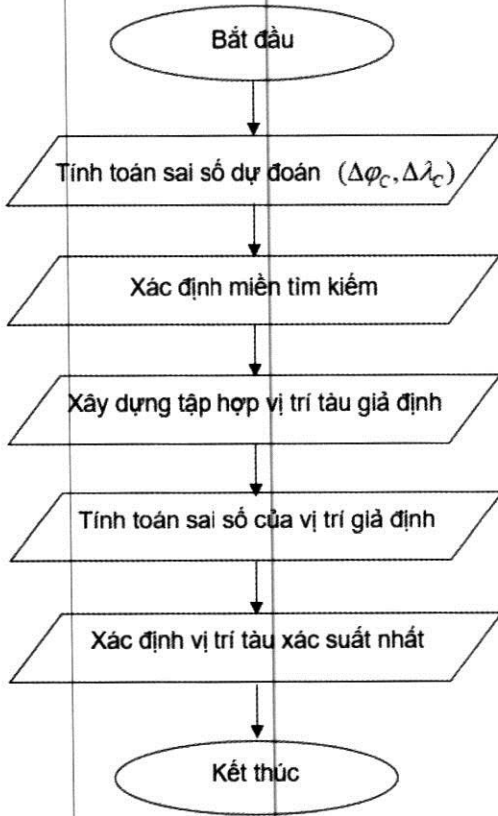
$$(M_{mn}F)^2 = \min \{ (M_{xy}F)^2 \} \quad (15)$$

4. XÂY DỰNG CHƯƠNG TRÌNH TÍNH TOÁN XÁC ĐỊNH VỊ TRÍ TÀU

4.1. Lưu đồ thuật toán

Với cơ sở toán học trên, thuật toán xác định vị trí tàu

bằng quan trắc đồng thời độ cao và phương vị mặt trời được đề xuất (Hình 4.1):



Hình 4.1: Sơ đồ tính toán xác định vị trí tàu

4.2. Các bước của thuật toán

Bước 1: Tính toán sai số vị trí dự đoán, xác định bán kính hình tròn xác suất vị trí theo yêu cầu về độ chính xác hàng hải (> 95%).

Bước 2: Xác định miền tìm kiếm trên cơ sở vị trí dự đoán đảm bảo xác suất chứa vị trí tàu đảm bảo yêu cầu của Tổ chức Hàng hải quốc tế (> 95%).

Bước 3: Xây dựng tập hợp vị trí tàu giả định trong miền xác định, có tọa độ và trật tự sắp xếp hợp lý.

Bước 4: Tính toán sai số của các vị trí tàu giả định trong miền tìm kiếm. Sai số vị trí tàu giả định tính toán dựa trên khoảng tới vị trí tàu thật.

Bước 5: Xác định vị trí tàu xác suất nhất áp dụng phương pháp bình phương nhỏ nhất.

4.3. Chương trình tính toán xác định vị trí tàu

Trên cơ sở thuật toán đề xuất, chương trình tính toán tự động vị trí tàu được xây dựng. Chương trình dựa trên ứng dụng bảng tính excel, thiết kế đơn giản, phù hợp với điều kiện và khả năng của sĩ quan hàng hải trên tàu biển. Giao diện chính của chương trình được chỉ ra trong Hình 4.2:

Nautical Almanac	GHA	132	44	30	E
	DEC	16	14	06	N
Dead Reckoning	Lat	20	12	45	N
	Long	107	50	39	E
Fixed Position	Lat	20	11	39	N
	Long	107	51	15	E

Hình 4.2: Giao diện chính của chương trình

4.4. Thử nghiệm chương trình

Tiến hành kiểm thử chương trình và so sánh với phương pháp xác định vị trí tàu bằng mặt trời truyền thống. Ngày 18/9/2020, tàu MV. JEWEL OF SHINAS của Công ty New Ocean Shipmanagement PTE LTD chạy hướng 180°, vận tốc 12,1 hải lý/giờ. Mặt trời qua kinh tuyến thượng, người quan sát vào lúc 11h 54 phút theo lịch thiên văn Anh [9].

- Trước thời điểm mặt trời qua kinh tuyến thượng, vào lúc 10h 30 phút, đo độ cao và phương vị mặt trời lần thứ nhất. Xác định vị trí tàu bằng phương pháp đồng thời, vị trí dự đoán là vị trí GPS.

- Tính toán khoảng thời gian để phương vị mặt trời biến thiên lớn hơn 30°, vào lúc 10h 50 phút, đo độ cao và phương vị mặt trời lần hai. Xác định vị trí tàu bằng phương pháp đồng thời và không đồng thời. Vị trí dự đoán xác định theo hướng và vận tốc tàu, không sử dụng vị trí GPS.

- Sau thời điểm mặt trời qua kinh tuyến thượng, vào lúc 13h 30 phút, đo độ cao và phương vị mặt trời lần thứ ba. Xác định vị trí tàu bằng phương pháp đồng thời, vị trí dự đoán là vị trí GPS.

- Tiếp tục tính toán khoảng thời gian để phương vị mặt trời biến thiên lớn hơn 30°, vào lúc 13h 50 phút, đo độ cao và phương vị mặt trời lần thứ tư. Xác định vị trí tàu bằng phương pháp đồng thời và không đồng thời. Vị trí dự đoán xác định theo hướng và vận tốc tàu, không sử dụng vị trí GPS.

Kết quả xác định vị trí tàu chỉ ra trong Bảng 4.1:

Bảng 4.1. Kết quả kiểm thử chương trình xác định vị trí tàu

GMT	Vị trí GPS		Đồng thời		Không đồng thời	
	Lat	Long	Lat	Long	Lat	Long
1030/18/9/2020	20°12'8" N	107°50'6" E	20°15'0" N	107°52'1" E		
1050/18/9/2020	20°08'6" N	107°50'6" E	20°06'2" N	107°51'5" E	20°11'1" N	107°38'9" E
1330/18/9/2020	19°35'0" N	107°50'8" E	19°32'5" N	107°51'7" E		
1350/18/9/2020	19°30'8" N	107°50'9" E	19°33'5" N	107°52'1" E	19°39'7" N	107°59'5" E

Nhận xét:

Tương ứng với thời điểm quan trắc từ 1 ÷ 4, sai số vị trí xác định bằng phương pháp đồng thời so với vị trí GPS lần lượt là 2,6 - 2,5 - 2,7 - 2,9 hải lý. Độ chính xác của vị trí xác định bằng phương pháp đồng thời cao và ổn định, không phụ thuộc nhiều vào sai số dự đoán.

Compass Error (deg.)	0,1	SUN NAVIGATION FIX PROGRAM			
Speed Log Error (%)	0,3				
GMT (hh,mm,ss)	090000	Degrees	Minutes	Second	Name

Hai vị trí xác định bằng quan trắc không đồng thời truyền thống có sai số so với vị trí GPS lần lượt là 11,6 và 12,1 hải lý. Độ chính xác kém, phụ thuộc nhiều vào sai số dự đoán.

5. KẾT LUẬN

Bài báo đã trình bày cơ sở lý thuyết của phương pháp xác định vị trí tàu bằng quan trắc mặt trời không đồng thời. Trên cơ sở lý luận của phương pháp truyền thống, tác giả nghiên cứu phương pháp xác định vị trí tàu bằng quan trắc đồng thời độ cao và phương vị mặt trời. Phương pháp mới có ưu điểm là thực hiện đơn giản, nhanh chóng, có thể thực hiện vào thời điểm ban ngày. Trên cơ sở toán học đã trình bày, tác giả đề xuất thuật toán và xây dựng chương trình tính toán vị trí tàu tự động. Kết quả kiểm thử của chương trình là minh chứng cho các ưu điểm của phương pháp mới đề xuất như: độ chính xác cao, ổn định và hạn chế được tác động của sai số dự đoán và ảnh hưởng của điều kiện ngoại cảnh. Với các thể mạnh trên, chương trình hoàn toàn có thể triển khai áp dụng trên tàu biển. Đảm bảo phương pháp thiên văn xác định vị trí tàu là phương pháp định vị dự phòng có tính thực tiễn và độ tin cậy cao.

Lời cảm ơn: Bài báo này là sản phẩm của đề tài nghiên cứu khoa học cấp Trường năm học 2020 - 2021: “Nghiên cứu phương pháp thiên văn xác định vị trí tàu mới đáp ứng yêu cầu sửa đổi trong Công ước STCW 78/2010”, được hỗ trợ kinh phí bởi Trường Đại học Hàng hải Việt Nam.

Tài liệu tham khảo

- [1]. B. Krasavtsev, B. Khlyustin (1970), *Nautical Astronomy*, Mir Publishers, Moscow.
- [2]. International Maritime Organization, *International Convention on Standards of Training, Certification and Watchkeeping for Seafarers (STCW 78/2010)*.
- [3]. Nathaniel Bowditch, LL.D (2002), *The American Practical Navigator*, National Imagery and Mapping Agency, Bethesda, Maryland.
- [4]. David Burch (2010), *Celestial Navigation*, Starpath Publications.
- [5]. IMO. Resolution A. 529 (13) (1983), *Accuracy standards for navigation*.
- [6]. Nguyễn Thái Dương (11/2019), *Ảnh hưởng của độ biến dạng của phép chiếu hải đồ Mercator tới công tác dẫn tàu an toàn*, Tạp chí Khoa học Công nghệ Hàng hải, số 60.
- [7]. В. И. Дмитриев, В.Л. Григорян, В.А. Катенин (2009), *Навигация и Лоция*, Учебник для вузов. - Москва “Моркнига”, 458 с.
- [8]. A. Frost (2001), *Pratical navigation for second mates*, Glasgow Brown, Nautical Publishers.
- [9]. The Hydrographic Office (2011), *The Nautical Almanac*, Admiralty.

Ngày nhận bài: 12/12/2020

Ngày chấp nhận đăng: 07/01/2021

Người phản biện: TS. Lương Tú Nam

TS. Nguyễn Quang Duy