

## KHOA HỌC - CÔNG NGHỆ

### TÍNH TOÁN HỆ SỐ ĐỘ LỆCH RIÊNG LA BÀN TỪ HÀNG HẢI XÉT ĐẾN CÁC THÀNH PHẦN HỆ SỐ ĐỘ LỆCH BẬC CAO

CALCULATING THE DEVIATION COEFFICIENTS OF MARINE MAGNETIC  
COMPASS CONSIDERING HIGH-ORDER COMPONENTS OF COEFFICIENTS

NGUYỄN VĂN SƯƠNG

Khoa Hàng hải, Trường Đại học Hàng hải Việt Nam

Email liên hệ: nguyenvansuong@vamaru.edu.vn

#### Tóm tắt

Trong nghiên cứu này, tác giả đề xuất phương pháp tính toán hệ số độ lệch riêng la bàn từ hàng hải để cập đến các hệ số độ lệch bậc cao và sử dụng thuật toán bình phương nhỏ nhất. Việc đề cập các hệ số này cho phép công thức độ lệch cơ bản biểu thị độ lệch gần với giá trị chính xác hơn. Nghiên cứu này có thể coi như một tham khảo bổ ích cho lý thuyết la bàn từ hàng hải.

**Từ khóa:** La bàn từ, hệ số độ lệch bậc cao, bảng độ lệch còn lại, thuật toán bình phương nhỏ nhất.

#### Abstract

In this research, the author proposes a method to find out the deviation coefficients of marine magnetic compass considering high-order components of coefficients and a least square algorithm. By this way, compass deviation represented by basic formula is closer to true deviation of magnetic compass.

**Keywords:** Marine magnetic compass, high order coefficient, compass deviation table, least square algorithm.

#### 1. Đặt vấn đề

Theo Công ước quốc tế về an toàn sinh mạng trên biển SOLAS 1972, thì la bàn từ là một thiết bị được yêu cầu trang bị trên biển để đảm bảo tàu thuyền luôn xác định được phương hướng trên biển. Ngày nay, với sự phát triển của khoa học công nghệ đã xuất hiện nhiều loại la bàn có độ chính xác rất cao như: La bàn con quay, la bàn sợi quang, hay la bàn vệ tinh phục vụ cho việc xác định phương hướng. Tuy nhiên, với ưu thế không phụ thuộc vào các nguồn năng lượng điện, sóng vệ tinh, hay năng lượng sợi quang, la bàn từ luôn hoạt động trong các tình huống khi tàu gặp sự cố mất điện, không thu được tín hiệu định hướng từ vệ tinh. Do vậy, la bàn từ luôn giữ được vai trò của mình đối với ngành hàng hải.

Mặc dù vậy, nhưng la bàn từ lại có nhiều hạn chế

về độ chính xác. Sau khi hiệu chỉnh la bàn từ xong, người hiệu chỉnh phải tính toán các giá trị hệ số độ lệch riêng la bàn từ và vẽ đường cong độ lệch để thể hiện la bàn từ đã được hiệu chỉnh và độ lệch còn lại trên các hướng nằm trong giá trị cho phép. Hiện nay, phương pháp thông dụng nhất trên thế giới để tính toán hệ số độ lệch la bàn từ hàng hải được thực hiện bằng cách quan sát độ lệch la bàn trên 8 hướng chính, chi tiết có thể tham khảo trong tài liệu [1]. Trong các nghiên cứu [2, 3], các tác giả cũng đã đề xuất các phương pháp khác nhau để giải bài toán xác định hệ số độ lệch riêng la bàn từ. Cụ thể, trong nghiên cứu [2], tác giả đề xuất phương pháp để xác định hệ số độ lệch riêng khi quan sát độ lệch la bàn trên các hướng bất kỳ thay vì quan sát độ lệch trên 8 hướng chính như phương pháp truyền thống được trình bày trong [1]. Ý nghĩa của phương pháp đề xuất này là có thể được sử dụng song hành bên cạnh phương pháp truyền thống để tính toán các hệ số mà không nhất thiết phải quan sát được độ lệch trên các hướng chính.

Dựa trên lập luận lý thuyết, nghiên cứu [3] đề cập đến phương pháp xác định hệ số độ lệch B và C của la bàn từ hàng hải. Trong nghiên cứu này, việc tính toán hệ số B và C được đề cập trong trường hợp hạn chế quan sát độ lệch trên các hướng khác nhau.

Mặc dù các nghiên cứu trên đã có những đóng góp nhất định trong việc phát triển lý thuyết bài toán xác định hệ số độ lệch riêng la bàn. Tuy nhiên, xét về mặt lý thuyết, công thức độ lệch cơ bản biểu thị độ lệch riêng la bàn từ hàng hải trên các hướng dựa vào các hệ số độ lệch A, B, C, D, E chỉ là gần đúng và có sai số so với giá trị độ lệch thực của la bàn từ.

Theo tài liệu về độ lệch riêng la bàn từ hàng hải của tác giả Archibald-Smith [4] thì công thức độ lệch chính xác biểu thị theo các giá trị hệ số độ lệch chính xác và hướng địa từ. Tuy nhiên, do hạn chế từ việc sử dụng hướng địa từ trong hàng hải, nên người ta sử dụng công thức độ lệch cơ bản biểu thị gần đúng giá trị độ lệch theo các hệ số gần đúng và hướng la bàn.

Công thức độ lệch cơ bản được xây dựng trên cơ sở các biến đổi từ phương trình Passon và biến đổi Furrier cùng với việc bỏ qua các thành phần hệ số độ lệch bậc cao. Như vậy, nếu công thức độ lệch cơ bản càng đề cập nhiều hệ số độ lệch bậc cao thì độ lệch sẽ tiệm cận với giá trị chính xác của nó.

Như sự kế thừa các nghiên cứu trước đây về bài toán xác định các hệ số độ lệch riêng la bàn từ hàng hải, trong nghiên cứu này phương pháp tính toán được phát triển đề cập đến các hệ số độ lệch bậc cao mà thực tế hàng hải thường bỏ qua. Cụ thể, nghiên cứu này đưa ra hai vấn đề:

Thứ nhất, công thức độ lệch chính xác và công thức độ lệch cơ bản xét đến các hệ số độ lệch bậc cao được đề cập trên cơ sở lý thuyết toán học;

Thứ hai, sau khi đã có công thức độ lệch cơ bản với các hệ số độ lệch bậc cao, chúng tôi đề xuất phương pháp tính toán hệ số độ lệch sử dụng thuật toán bình phương nhỏ nhất.

Việc tính toán hệ số để biểu diễn độ lệch có đề cập các hệ số bậc cao trong công thức độ lệch cơ bản sẽ góp phần nâng cao độ chính xác của công thức độ lệch cơ bản và nghiên cứu này có thể được xem như một tham khảo bổ ích cho lý thuyết la bàn từ hàng hải.

## 2. Công thức độ lệch chính xác và độ lệch cơ bản của la bàn từ hàng hải

Trong phần này, bài báo đề cập lý thuyết của công thức độ lệch chính xác và công thức độ lệch cơ bản, đây là lý thuyết được xây dựng bởi tác giả Archibald-Smith [4]. Từ đó đưa ra khái niệm các hệ số bậc cao trong công thức độ lệch cơ bản.

Các lực tác dụng lên kim la bàn từ hàng hải được mô tả bằng phương trình Passon:

$$\begin{aligned} X' &= X + aX + bY + cZ + P \\ Y' &= Y + dX + eY + fZ + Q \\ Z' &= Z + gX + hY + kZ + R \end{aligned} \quad (1)$$

Trong đó,  $X, Y, Z$ : Là các lực địa từ trường tác dụng lên 3 trục của kim la bàn từ;  $aX, bY, cZ, dX, eY, fZ, gX, hY, kZ$ : Là các lực tác dụng lên kim la bàn gây ra bởi sắt non;  $P, Q, R$ : Là các lực tác dụng lên kim la bàn gây ra bởi sắt già;  $X', Y', Z'$ : Là tổng hợp các lực tác dụng lên các trục của kim la bàn từ.

Bên cạnh đó, mối quan hệ giữa các phân lực được thể hiện qua hệ thức (2):

$$\begin{aligned} X &= H \cos(360^\circ - H_d) = +H \cos H_d \\ Y &= H \sin(360^\circ - H_d) = -H \sin H_d \\ X' &= H' \cos(360^\circ - H_L) = +H' \cos H_L \end{aligned} \quad (2)$$

$$Y' = H' \sin(360^\circ - H_L) = -H' \sin H_L$$

$$Z = H \tan \theta$$

Trong đó,  $H_d$ : Là hướng địa từ trường,  $H_L$ : Là hướng la bàn từ,  $H$ : Thành phần từ trường nằm ngang có tác dụng định hướng kim từ;  $T$ : Thành phần từ trường tổng hợp do từ trường trái đất sinh ra.

Thay các hệ thức (2) vào hai phương trình đầu tiên của hệ thức (1), và sử dụng mối quan hệ:  $HL = Hd \pm \delta$ . Thu nhận được:

$$H' \cos(H_d \pm \delta) = (1+aH) \cos H_d - bH \sin H_d + cH \tan \theta + P \quad (3)$$

$$-H' \sin(H_d \pm \delta) = (-\sin H_d + d \cos H_d)H - eH \sin H_d + fH \tan \theta + Q \quad (4)$$

Nhân phương trình (3) với  $\sin H_d$ , nhân phương trình (4) với  $\cos H_d$ , sau đó cộng lại ta được:

$$\begin{aligned} \frac{H'}{H} \sin \delta &= \frac{d-b}{2} + (c \tan \theta + \frac{P}{H}) \sin H_d + \\ &+ (f \tan \theta + \frac{Q}{H}) \cos H_d + \frac{a-e}{2} \sin 2H_d + \frac{b+d}{2} \cos 2H_d \end{aligned} \quad (5)$$

Nhân phương trình (3) với  $\cos H_d$ , nhân phương trình (4) với  $\sin H_d$ , sau đó trừ phương trình trên cho phương trình dưới ta được:

$$\begin{aligned} \frac{H'}{H} \cos \delta &= 1 + \frac{a+e}{2} + (c \tan \theta + \frac{P}{H}) \cos H_d - \\ &+ (f \tan \theta + \frac{Q}{H}) \sin H_d + \frac{a-e}{2} \cos 2H_d - \frac{b+d}{2} \sin 2H_d \end{aligned} \quad (6)$$

Trong các phương trình (5) và (6), đặt các giá trị hệ số:

$$\begin{aligned} \lambda &= 1 + \frac{a+e}{2} \\ A' &= \frac{d-b}{2\lambda} \\ B' &= \frac{1}{\lambda} (c \tan \theta + \frac{P}{H}) \\ C' &= \frac{1}{\lambda} (f \tan \theta + \frac{Q}{H}) \\ D' &= \frac{a-e}{2\lambda} \\ E' &= \frac{b+d}{2\lambda} \end{aligned}$$

Lấy phương trình (5) chia cho phương trình (6) (điều kiện là cả hai vế của phương trình (6) phải khác không), thu được công thức biểu thị độ lệch chính xác theo hướng địa từ:

$$\tan \delta = \frac{A + B' \sin H_d + C' \cos H_d + D' \sin 2H_d + E' \cos 2H_d}{1 + B' \cos H_d - C' \sin H_d + D' \cos 2H_d - E' \sin 2H_d} \quad (7)$$

Hệ thức (7) được gọi là công thức độ lệch chính xác được xây dựng bởi các tác giả Archibald-Smith [4]. Tuy nhiên, trong thực tế hàng hải việc sử dụng hướng la bàn  $H_L$  là thông dụng hơn so với việc sử dụng hướng địa từ  $H_d$  nên trong tài liệu [4] hệ thức (7) được biến đổi để biểu diễn độ lệch riêng la bàn từ hàng hải theo hướng la bàn  $H_L$  và các hệ số độ lệch gần đúng. Cụ thể, người ta biến đổi:

$$\tan \delta = \frac{\sin \delta}{\cos \delta}$$

$$H_d = H_L \mp \delta$$

Thay các biến đổi này vào phương trình (7), sau đó dùng chuỗi biến đổi Fourier để thu được công thức độ lệch gần đúng có dạng:

$$\delta = A + B \sin H_L + C \cos H_L + D \sin 2H_L + E \cos 2H_L + F \sin 3H_L + G \cos 3H_L + H \sin 4H_L + K \cos 4H_L + \dots \quad (8)$$

Như vậy có thể thấy, công thức độ lệch gần đúng (8) biểu thị độ lệch theo hướng la bàn  $H_L$  là biểu diễn gần đúng công thức độ lệch chính xác (7).

Trong thực tế hàng hải, công thức (8) được sử dụng để tính toán các hệ số độ lệch và lập bảng độ lệch riêng la bàn từ, tuy nhiên, chỉ xét đến 5 hệ số độ lệch A, B, C, D, và E. Nếu xét đến càng nhiều hệ số độ lệch bậc cao phía sau hệ số độ lệch phần tư vòng thì độ lệch la bàn từ xác định bởi công thức độ lệch gần đúng (8) sẽ càng tiệm cận về độ lệch chính xác của la bàn từ.

### 3. Tính toán hệ số độ lệch la bàn từ Hàng hải xét đến các thành phần hệ số bậc cao

Theo như lập luận, trong nghiên cứu này, tác giả tính toán hệ số độ lệch sử dụng công thức độ lệch dạng phương trình (8) với 9 hệ số độ lệch gần đúng A, B, C, D, E, F, G, H, K. Việc tính toán các giá trị này sau đó thay ngược trở lại công thức độ lệch sẽ cho phép độ chính xác của độ lệch được nâng cao hơn so với việc chỉ tính đến các hệ số độ lệch A, B, C, D, E như trong thực tế hàng hải và trong các nghiên cứu trước đây đề cập.

Về mặt lý thuyết, để xác định 9 hệ số độ lệch riêng la bàn từ như đã đề cập có thể quan sát độ lệch trên 9 hướng khác nhau sau đó giải hệ 9 phương trình cho ta đáp án.

Tuy nhiên, để có được lời giải tin cậy hơn, có thể quan sát độ lệch trên các hướng khác nhau nhiều hơn 9 lần quan sát, sau đó áp dụng thuật toán bình phương nhỏ nhất [5] để giải. Trong hàng hải đã có nhiều tài liệu liên quan đến việc áp dụng thuật giải này cho các bài toán hàng hải, có thể kể như tài liệu [6].

Tiêu chí của thuật toán là cực tiểu hoá giá trị tổng bình phương sai lệch:

$$S = \sum_{i=1}^n (\delta_i - \delta)^2 \quad (9)$$

Trong đó:

$$\delta = A + B \sin H_{Li} + C \cos H_{Li} + D \sin 2H_{Li} + E \cos 2H_{Li} + F \sin 3H_{Li} + G \cos 3H_{Li} + H \sin 4H_{Li} + K \cos 4H_{Li}$$

S đạt cực tiểu khi:

$$\begin{cases} \frac{\partial S}{\partial A} = 0; \frac{\partial S}{\partial B} = 0; \frac{\partial S}{\partial C} = 0 \\ \frac{\partial S}{\partial D} = 0; \frac{\partial S}{\partial E} = 0; \frac{\partial S}{\partial F} = 0 \\ \frac{\partial S}{\partial G} = 0; \frac{\partial S}{\partial H} = 0; \frac{\partial S}{\partial K} = 0 \end{cases} \quad (10)$$

Biến đổi và khai triển ta được hệ 9 phương trình bậc nhất tương ứng với các biến là A, B, C, D, E, F, G, H, K giải các phương trình này ta được các giá trị hệ số độ lệch la bàn từ có tính đến các hệ số bậc cao F, G, H, K.

$$\begin{bmatrix} A \\ B \\ C \\ D \\ E \\ F \\ G \\ H \\ K \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} n & \sum \sin H_{Li} & \sum \cos H_{Li} & \dots & \sum \cos 4H_{Li} \\ \sum \sin H_{Li} & \sum \sin^2 H_{Li} & \sum \sin H_{Li} \cos H_{Li} & \dots & \sum \sin H_{Li} \cos 4H_{Li} \\ \sum \cos H_{Li} & \sum \sin H_{Li} \cos H_{Li} & \sum \cos^2 H_{Li} & \dots & \sum \cos H_{Li} \cos 4H_{Li} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \sum \cos 4H_{Li} & \sum \cos 4H_{Li} \sin H_{Li} & \sum \cos 4H_{Li} \cos H_{Li} & \dots & \sum \cos^2 4H_{Li} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \delta_1 \\ \delta_1 \sin H_{Li} \\ \delta_1 \cos H_{Li} \\ \dots \\ \delta_1 \cos 4H_{Li} \end{bmatrix} \quad (11)$$

Đặt:

$$W = \begin{bmatrix} n & \sum \sin H_{Li} & \sum \cos H_{Li} & \dots & \sum \cos 4H_{Li} \\ \sum \sin H_{Li} & \sum \sin^2 H_{Li} & \sum \sin H_{Li} \cos H_{Li} & \dots & \sum \sin H_{Li} \cos 4H_{Li} \\ \sum \cos H_{Li} & \sum \sin H_{Li} \cos H_{Li} & \sum \cos^2 H_{Li} & \dots & \sum \cos H_{Li} \cos 4H_{Li} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \sum \cos 4H_{Li} & \sum \cos 4H_{Li} \sin H_{Li} & \sum \cos 4H_{Li} \cos H_{Li} & \dots & \sum \cos^2 4H_{Li} \end{bmatrix}$$

$$V = \begin{bmatrix} A \\ B \\ C \\ D \\ E \\ F \\ G \\ H \\ K \end{bmatrix} \quad L = \begin{bmatrix} \delta_1 \\ \delta_1 \sin H_{Li} \\ \delta_1 \cos H_{Li} \\ \dots \\ \delta_1 \cos 4H_{Li} \end{bmatrix}$$

Phương trình (10) được viết dưới dạng:

$$W.V = L \quad (12)$$

Trong đó:  $W$ : Là ma trận vuông có kích cỡ 9 hàng và 9 cột;  $V$ : Là vector hệ số độ lệch có 9 hàng;  $L$ : Là cũng là vector có 9 hàng.

Phương trình (12) dễ dàng được giải để tìm nghiệm  $V$  của bài toán khi quan sát  $n$  ( $n > 9$ ) độ lệch trên các hướng khác nhau:

$$V = W^{-1}.L \quad (13)$$

Bằng các phương trình (11), (12), và (13), có thể lập trình tính toán các hệ số độ lệch trên bảng tính Excel tính toán nhanh chóng các giá trị hệ số độ lệch  $A, B, C, D, E, F, G, H, K$ .

#### 4. Kết luận

Trong nghiên cứu này, tác giả đưa ra một đề xuất tính toán hệ số độ lệch riêng la bàn từ hàng hải có xét đến các hệ số bậc cao trong công thức độ lệch cơ bản. Việc tính toán đề cập đến các hệ số bậc cao là không được áp dụng trong thực tế, tuy nhiên, việc đề cập chúng trong công thức độ lệch cơ bản sẽ giúp độ lệch tính toán tiệm cận gần hơn so với độ lệch thật.

Sau khi đề cập các hệ số độ lệch bậc cao cho công thức độ lệch cơ bản, thuật toán tính toán được đề xuất để giải bài toán. Cụ thể là có thể xác định hệ số độ lệch bằng quan sát 9 giá trị độ lệch trên các hướng và thuật toán bình phương nhỏ nhất với quan sát các hướng bất kỳ số lượng nhiều. Nghiên cứu này có thể xem như một sự phát triển lý thuyết và có thể coi như kiến thức bổ ích cho môn học la bàn từ hàng hải.

#### TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Nguyễn Văn Hoà, Nguyễn Minh Đức, Lại Thế Việt. *La bàn từ Hàng hải*, NXB Hàng hải, 182 Tr, 2013.
- [2] Van Suong Nguyen. *Calculation of the deviation coefficients for marine magnetic compass*. Journal of International Maritime Safety, Enviromental Affairs and Shipping, Vol.2, Issue 2, pp.112-115, 2019.
- [3] Nguyễn Văn Sương. *Xác định hệ số độ lệch B và C của la bàn từ khi tàu đang hành trình*. Tạp chí Khoa học Công nghệ Hàng hải, Số 66, 2021.
- [4] Arcibald Smith. *The admiralty manual for the deviations of the compass*, J.D.Potter Publisher, 199p, 1869.
- [5] Dương Thuỷ Vỹ. *Giáo trình phương pháp tính*, NXB Khoa học và Kỹ thuật, 180 Tr. 2017.
- [6] TS. Phạm Kỳ Quang, TS. Nguyễn Phùng Hưng, ThS. Nguyễn Thái Dương. *Địa văn Hàng hải 2*. NXB Khoa học và Kỹ thuật, 2012.

Ngày nhận bài:	31/5/2021
Ngày nhận bản sửa:	17/6/2021
Ngày duyệt đăng:	24/6/2021