NGHIÊN CỨU THUẬT TOÁN ỨNG DỤNG CHO LA BÀN VỆ TINH

A STUDY ON ALGORITHM OF GNSS COMPASS

Phạm Việt Hưng[1], Nguyễn Trọng Các[2]

Email: phamviethung@vimaru.edu.vn

[1]Trường Đại học Hàng hải Việt Nam

[2]Trường Đại học Sao Đỏ

Ngày nhận bài:

Ngày nhận bài sửa sau phản biện:

Ngày chấp nhận đăng:

Tóm tắt

Gần đây, các hệ thống định vị sử dụng vệ tinh toàn cầu (GNSS) đang có những thay đổi, cải tiến rõ rệt như việc hiện đại hóa hệ thống GPS (Mỹ) hoặc triển khai các hệ thống GNSS mới như Galileo (Châu Âu), Bắc Đẩu (Trung Quốc). Các hệ thống, thiết bị sử dụng dịch vụ của GNSS bao gồm: dẫn đường hàng hải, dẫn đường trên bộ, cảnh báo sóng thần, dẫn đường hàng không… Trong số đó, la bàn GNSS hay la bàn vệ tinh là một trong những thiết bị mới nhất sử dụng dịch vụ GNSS được lắp đặt trên tàu biển. So với la bàn từ và la bàn điện, la bàn vệ tinh có nhiều ưu điểm như không bị ảnh hưởng của nhiễu từ trường và hiện tượng sai số tích lũy của la bàn điện. Ngoài ra, các ưu điểm khác của la bàn vệ tinh như dễ lắp đặt, kích thước nhỏ, giá thành rẻ và độ chính xác cao. Mặt khác, la bàn vệ tinh dễ dàng kết nối đến các hệ thống khác như radar, hải đồ điện tử, máy lái tự động, bộ ghi dữ liệu hành trình (hộp đen) để cung cấp các thông số động cho các hệ thống điều khiển tàu nhằm nâng cao độ an toàn trong hành hải trên biển. Bài báo khảo sát các thuật toán được ứng dụng trong la bàn GNSS như thuật toán LAMBDA và LAMBDA cải tiến. Trước tiên, cấu trúc giải thuật và triển khai giải thuật của thuật toán được giới thiệu. Trên cơ sở của mô phỏng số, hiệu quả hoạt động của các thuật toán sẽ được đánh giá và phân tích.

Từ khóa: *La bàn vệ tinh; thuật toán LAMBDA; ước lượng bình phương nhỏ nhất; sai pha sóng mang; la bàn GNSS.*

Abstract

Recent years, Global Navigation Satellite System (GNSS) have been changed dramatically such as the modernization of Global Positioning System (GPS) or the introduction of European Galileo System, Chinese Beidou. Many applications of GNSS have developed consisting of marine navigation, tsunami warning, route guidance,… Among them, GNSS compass or satellite compass is one of the latest navigation device installed on marine vessels. There are many advantages of GNSS compass in comparison to conventional intertial sensors such as magnetic compass or gyrocompass since GNSS compass is not suffer from magnetic interference or error drifting. Moreover, the other advantages of GNSS include easy installation, small volume, low price and high precision. GNSS compass could connect to radar, electronic chart, autopilot, voyage data recorder and provide many dynamics parameters of vessel to other control systems to enhance the maritime safety.This paper provide a survey of current algorithms for attitude determination and carrier phase ambiguity resolution using in GNSS Compass. The algorithms discussed in this paper are LAMBDA (Least-squares AMBiguity Decorrelation Adjustment) and a modification of LAMBDA called modified LAMBDA method. These algorithms are first introduced their functionality and implementation. In addition, the performance analysis for these algorithms is also carried out to figure out the efficiency.

Key words: *Satellite compass; GNSS attitude determination; the LAMBDA method; integer least squares estimation; carrier phase ambiguity; GNSS compass.*

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Trong những năm gần đây, các hệ thống định vị sử dụng vệ tinh toàn cầu (*Global Navigation Satellite System – GNSS*) ngày càng có vai trò quan trọng trong nhiều lĩnh vực của cuộc sống, các dịch vụ của GNSS được sử dụng trong dẫn đường hàng không, dẫn đường hàng hải, giám sát môi trường, định vị các đối tượng và cảnh báo thiên tai,…[1, 2]. Trong lĩnh vực hàng hải, hệ thống GNSS đóng vai trò quan trọng khi tham gia trong nhiều hệ thống thông tin hàng

hải như: nhận dạng tự động (*AIS – Automatic Identification System*), máy thu định vị, máy lái tự động (*Autopilot*), hải đồ điện tử, hệ thống định vị động (*DPS – Dynamic Positioning System*), la bàn vệ tinh [3]. Trong số các hệ thống này, la bàn vệ tinh đã và đang được sử dụng tương đối rộng rãi trên các tàu biển bên cạnh hệ thống la bàn từ (*magnetic compass*) và la bàn điện hay la bàn con quay (*gyrocompass*). Các hệ thống thông tin hàng hải cung cấp các thông tin, tham số hệ thống cần thiết giúp cho con tàu có thể hành hải an toàn ở trên mọi vùng biển.

Trong quá trình hành hải, thông số về hướng mũi tàu so với hướng cực Bắc của trái đất là vô cùng quan trọng. Hướng mũi tàu và hướng di chuyển của tàu có thể lệch nhau khi quá trình di chuyển tàu chịu ảnh hưởng của gió và luồng chảy. Nhờ máy thu định vị hoặc máy thu GNSS, các thông số về vị trí anten thu, tốc độ tàu so với mặt đất, hướng mũi tàu so với mặt đất có thể được xác định. Tuy nhiên, thông số về hướng mũi tàu có thể được cung cấp không chính xác qua máy thu GNSS.

Để xác định chính xác hướng mũi tàu, trên các tàu biển hành hải bắt buộc phải trang bị các hệ thống la bàn như la bàn từ, la bàn điện và gần đây là la bàn vệ tinh. La bàn từ thường có giá thành thấp nhưng dễ chịu tác động của nhiễu từ trường và khả năng kết nối kém đến các hệ thống thông tin hàng hải còn lại trên tàu. La bàn điện có tính năng vượt trội, kết nối tốt đến tất cả các hệ thống thông tin và nghi khí hàng hải nhưng giá thành rất cao, chi phí bảo trì lớn, tích lũy sai số và phải được cài đặt hiệu chỉnh sai số với các vĩ độ khác nhau. Vì vậy, la bàn điện không phù hợp trên các tàu cỡ nhỏ (điều này cũng là không bắt buộc theo quy định của Tổ chức Hàng hải Quốc tế - IMO).

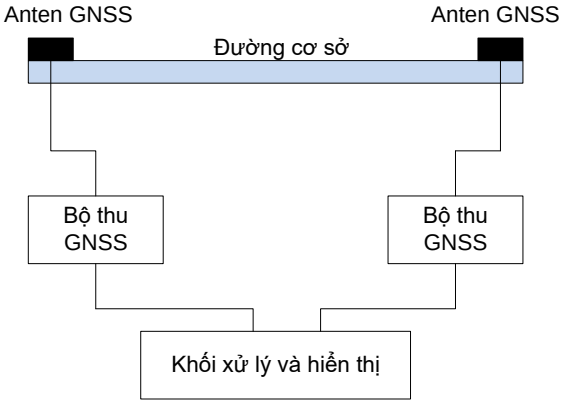
Bài báo này phân tích cấu trúc của hệ thống la bàn vệ tinh khi làm việc ở chế độ đa hệ thống vệ tinh định vị. Thuật toán liên quan đến xử lý tín hiệu định vị trong la bàn vệ tinh được nghiên cứu, phân tích trong bài báo như thuật toán LAMBDA (*Least-squares AMBiguity Decorrelation Adjustment*) [4, 5].

Cấu trúc của bài báo được tổ chức như sau. Phần 2 sẽ phân tích cấu trúc hệ thống của la bàn vệ tinh. Các thuật toán xử lý tín hiệu định vị trong la bàn vệ tinh sẽ được mô tả thông qua phương pháp giải tích ở phần 3. Cuối cùng, phần 4 sẽ có những kết luận quan trọng về các kỹ thuật xử lý tín hiệu này trong la bàn vệ tinh.

2. CẤU TRÚC VÀ NGUYÊN LÝ HOẠT ĐỘNG LA BÀN VỆ TINH

2.1. Cấu trúc la bàn vệ tinh

Cấu trúc của la bàn vệ tinh được minh họa ở Hình 1 bao gồm các thành phần: 02 anten thu tín hiệu GNSS, 02 bộ thu tín hiệu GNSS và khối xử lý và hiển thị. Bên cạnh đó tại khối xử lý và hiển thị sẽ có khối giao tiếp truyền thông theo chuẩn NMEA0183 để kết nối la bàn vệ tinh đến các hệ thống thông tin khác. Hai anten được bố trí theo trục dọc của thân tàu, khoảng cách giữa 02 anten có giá trị xác định, không thay đổi và được gọi là đường cơ sở (baseline). Bộ thu GNSS xử lý tín hiệu cao tần GNSS để đưa ra thông tin về pha sóng mang, thông tin về vị trí của vệ tinh để bộ xử lý thực hiện tính hướng mũi tàu, vị trí của anten được tính thông qua mã C/A. Khối xử lý tín hiệu thực hiện các thuật toán xử lý tín hiệu trung tần, xử lý tín hiệu số để có được các dữ liệu về hướng mũi tàu, vị trí các anten, các thông tin về định vị trong thông tin được gửi đến từ các bộ thu GNSS. Các thông tin hướng mũi, vị trí,… này được hiển thị hoặc sẽ được mã hóa thành bản tin NMEA0183 đưa đến cổng truyền thông để truyền đến các hệ thống thông tin khác như Radar, hải đồ điện tử, AIS, máy lái tự động,….



Hình 1. *Sơ đồ cấu trúc la bàn vệ tinh*

2.2. Nguyên lý hoạt động la bàn vệ tinh

Gọi A1 và A2 là 02 anten GNSS nhận tín hiệu từ cùng một vệ tinh Si. La bàn vệ tinh cần phải xác định được hướng của vector đường cơ sở, vector B, như minh họa ở Hình 2. Đường cơ sở được lựa chọn có giá trị đủ nhỏ (02 anten được bố trí gần nhau) để 02 anten có cùng vector đơn vị chỉ phương tới vệ tinh Si. Hệ thống sẽ tính toán để xác định được hướng của vector B theo các khung tín hiệu tham chiếu. Nếu biết độ dài của vector, cần phải xác định được sai lệch về khoảng cách từ vệ tinh tới 2 anten, gọi là $\Delta\rho_i$. Khi xác định được $\Delta\rho_i$ càng chính xác bao nhiêu thì tính toán được góc θ_i giữa vector B và vector chỉ phương tới vệ tinh Si (gọi là vector Si) càng chính xác bấy nhiêu, với: $\Delta\rho_i = |B|cos\theta_i = B.S_i$

Ký hiệu các tham số để thực hiện tính toán như sau:

$\emptyset_{1m}^i$ ($\emptyset_{2m}^i$): góc pha của tín hiệu GNSS từ vệ tinh thứ i tới bộ thu 1 (bộ thu 2)

ρ_{1m}^i (ρ_{2m}^i): khoảng cách giữa vệ tinh thứ i tới bộ thu 1 (bộ thu 2)

C: tốc độ ánh sáng

Δt^i: sai lệch đồng hồ giữa đồng hồ của vệ tinh thứ i và thời gian GNSS.

ΔT_1 (ΔT_2): sai lệch đồng hồ giữa đồng hồ của bộ thu 1 (bộ thu 2) và thời gian GNSS.

λ: bước sóng của tín hiệu L1 (19,03cm).

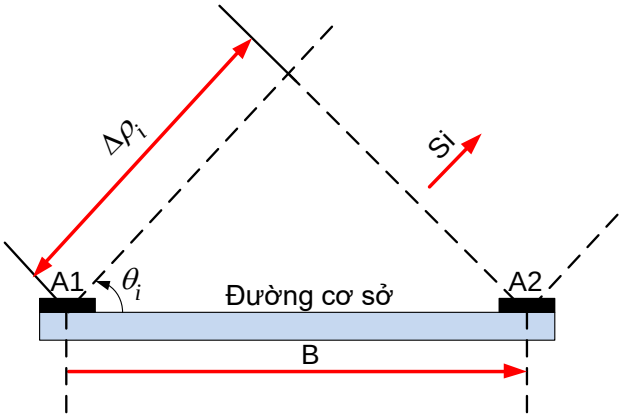
N_1^i (N_2^i): sai lệch chu kỳ sóng mang đo được tại bộ thu 1 (bộ thu 2) từ vệ tinh thứ i.

d_{ion}^i: trễ tầng điện ly từ vệ tinh thứ i tới bộ thu.

d_{trop}^i: trễ tầng đối lưu từ vệ tinh thứ i tới bộ thu.

$bias_1^i$ ($bias_2^i$): sai pha sóng mang tại bộ thu 1 (bộ thu 2) từ vệ tinh thứ i do các nhân tố khác như: đa đường,…

Do 2 anten đặt gần nhau nên trễ tầng điện ly, trễ tầng đối lưu của tín hiệu từ vệ tinh thứ i tới 2 anten là như nhau.



Hình 2. *Xác định hướng của đường cơ sở theo pha tín hiệu GNSS.*

Từ đó, giá trị đo đạc pha sóng mang được biểu diễn thành:

$$\lambda.\phi_{1m}^i = \rho_1^i + C(\Delta t^i - \Delta T_1) + \lambda.N_1^i - d_{ion}^i + d_{trop}^i + bias_1^i \quad (1)$$

$$\lambda.\phi_{2m}^i = \rho_2^i + C(\Delta t^i - \Delta T_2) + \lambda.N_2^i - d_{ion}^i + d_{trop}^i + bias_2^i \quad (2)$$

Để loại bỏ sai lệch và các sai số trong quá trình đo đạc, thực hiện xác định sai lệch giữa các góc pha. Ta có:

$$\lambda.(\phi_{1m}^i - \phi_{2m}^i) = \Delta\rho_i + C.\Delta T + \lambda.\Delta N_i + \Delta bias_i \quad (3)$$

Từ đó, sai khác về khoảng cách giữa 2 anten của 2 bộ thu tới vệ tinh GPS được xác định:

$$\Delta\rho_i = \lambda.(\phi_{1m}^i - \phi_{2m}^i) + C.\Delta T - \lambda.\Delta N_i - \Delta bias_i \quad (4)$$

Tuy nhiên, trong (4), sai lệch khoảng cách vẫn còn tồn tại sai số do bản thân các bộ thu. Vì vậy, để loại trừ sai số này, ta cần xác định sai lệch từ 2 bộ thu tới các vệ tinh trong tầm nhìn thấy nhằm loại bỏ thành phần $C.\Delta T$ trong (4). Giả sử, có $k+1$ vệ tinh trong tầm nhìn thấy của các bộ thu, tương ứng có $k+1$ phương trình giống (4). Do đó, ta sẽ có k phương trình có dạng:

$$\Delta\rho_i - \Delta\rho_1 = \lambda\begin{bmatrix}(\Delta\phi_m^i - \Delta\phi_m^1) + (\Delta m_i - \Delta m_1)\\ +(\Delta b_i - \Delta b_1)\end{bmatrix} \quad (5)$$

Với $i = 2, 3, 4, \ldots, k$

Trong đó: $\Delta m_i \equiv -\Delta N_i$; $\Delta b_i \equiv -\Delta bias_i/\lambda$

Do đó, ta sẽ có:

$$\Delta\rho_i - \Delta\rho_1 = B(S_i - S_1) = (\nabla\Delta\phi_m^i + \nabla\Delta m_i + \nabla\Delta b_i)\lambda \quad (6)$$

Đặt $S \equiv [S_2 - S_1\ S_3 - S_1\ \ldots\ S_k - S_1]$, ta có

$$BS = \begin{bmatrix}(\nabla\Delta\phi_m^2 + \nabla\Delta m_2 + \nabla\Delta b_2)\lambda\\ (\nabla\Delta\phi_m^3 + \nabla\Delta m_3 + \nabla\Delta b_3)\lambda\\ \vdots\\ (\nabla\Delta\phi_m^{k+1} + \nabla\Delta m_{k+1} + \nabla\Delta b_{k+1})\lambda\end{bmatrix} \quad (7)$$

Vì vậy, ta sẽ xác định được:

$$B = S^{-1}.\begin{bmatrix}(\nabla\Delta\phi_m^2 + \nabla\Delta m_2 + \nabla\Delta b_2)\lambda\\ (\nabla\Delta\phi_m^3 + \nabla\Delta m_3 + \nabla\Delta b_3)\lambda\\ \vdots\\ (\nabla\Delta\phi_m^{k+1} + \nabla\Delta m_{k+1} + \nabla\Delta b_{k+1})\lambda\end{bmatrix} \quad (8)$$

Với k phương trình như (6), hướng của vector B được xác định. Tuy nhiên, trong quá trình tính toán thông số tín hiệu GPS, giá trị của $\nabla\Delta\phi_m^i$ có thể được xác định nhưng vẫn không xác định được chính xác được số chu kỳ sai lệch giữa các tín hiệu GPS (hiện tượng *integer ambiguity*). Để xác định được sai lệch này, một số giải pháp được đề xuất như quay đường cơ sở hoặc tăng thời gian xử lý để thay đổi chòm sao GPS trong tầm nhìn thấy. Với các ứng dụng cho các phương tiện giao thông, giải pháp quay đường cơ sở thường được áp dụng dựa trên việc di chuyển, quay trở của các phương tiện này.

2.3 Giải pháp quay đường cơ sở

Giải pháp quay đường cơ sở giải quyết hiệu quả được vấn đề sai lệch chu kỳ. Dựa trên cơ sở quay đường cơ sở, giai pháp đảo anten được đề xuất, cụ thể, gọi B1 là vector chỉ phương của đường cơ sở, sau đảo anten, vector chỉ phương trở thành B2 như Hình 3. Từ (8), B1 được biểu diễn

$$B2 = S^{-1}.\begin{bmatrix} (\nabla\Delta\phi_m^{2'} + \nabla\Delta m_2 + \nabla\Delta b_2)\lambda \\ (\nabla\Delta\phi_m^{3'} + \nabla\Delta m_3 + \nabla\Delta b_3)\lambda \\ \vdots \\ (\nabla\Delta\phi_m^{k+1'} + \nabla\Delta m_{k+1} + \nabla\Delta b_{k+1})\lambda \end{bmatrix} = -B1 \quad (9)$$

Giả sử không có hiện tượng lệch chu kỳ sóng mang trong quá trình quay, khi đó vector B2 được biểu diễn

$$B2 = S^{-1}.\begin{bmatrix} (\nabla\Delta\phi_m^1 + \nabla\Delta m_1 + \nabla\Delta b_1)\lambda \\ (\nabla\Delta\phi_m^2 + \nabla\Delta m_2 + \nabla\Delta b_2)\lambda \\ \vdots \\ (\nabla\Delta\phi_m^k + \nabla\Delta m_k + \nabla\Delta b_k)\lambda \end{bmatrix} \quad (10)$$

Giả sử, xét 04 vệ tinh trong tầm nhìn thấy của 2 bộ thu. Khi đó B2 trở thành

$$B2 = S^{-1}.\begin{bmatrix} (\nabla\Delta\phi_m^1 + \nabla\Delta m_1 + \nabla\Delta b_1)\lambda \\ (\nabla\Delta\phi_m^2 + \nabla\Delta m_2 + \nabla\Delta b_2)\lambda \\ (\nabla\Delta\phi_m^3 + \nabla\Delta m_3 + \nabla\Delta b_3)\lambda \end{bmatrix}$$

$$= -B1 = S^{-1}\begin{bmatrix} \nabla\Delta\phi_2 \\ \nabla\Delta\phi_3 \\ \nabla\Delta\phi_4 \end{bmatrix}\lambda$$

Giả sử, gọi

$$B1_m = S^{-1}.\begin{bmatrix} (\nabla\Delta\phi_m^1 - \nabla\Delta m_1 - \nabla\Delta b_1)\lambda \\ (\nabla\Delta\phi_m^2 - \nabla\Delta m_2 - \nabla\Delta b_2)\lambda \\ (\nabla\Delta\phi_m^3 - \nabla\Delta m_3 - \nabla\Delta b_3)\lambda \end{bmatrix}$$

Và

$$B2_m = S^{-1}.\begin{bmatrix} (-\nabla\Delta\phi_m^1 - \nabla\Delta m_1 - \nabla\Delta b_1)\lambda \\ (-\nabla\Delta\phi_m^2 - \nabla\Delta m_2 - \nabla\Delta b_2)\lambda \\ (-\nabla\Delta\phi_m^3 - \nabla\Delta m_3 - \nabla\Delta b_3)\lambda \end{bmatrix}$$

Tính toán sai lệch giữa $B1_m$ và $B2_m$, sự sai lệch về chu kỳ pha sóng mang sẽ được loại bỏ, ta có:

$$(B1_m - B2_m)/2 = S^{-1}.\begin{bmatrix} (-\nabla\Delta\phi_m^1 - \nabla\Delta m_1 - \nabla\Delta b_1) \\ (-\nabla\Delta\phi_m^2 - \nabla\Delta m_2 - \nabla\Delta b_2) \\ (-\nabla\Delta\phi_m^3 - \nabla\Delta m_3 - \nabla\Delta b_3) \end{bmatrix}\lambda/2$$

$$= B1$$

Do đó, hướng của vector B1 sẽ được xác định.

Giải pháp quay anten được thực hiện bằng cách quay vector đường cơ sở đi một góc 180^0. Giả sử đường cơ sở được quay đi 1 góc là θ. Gọi

$$Bias = S^{-1}.\begin{bmatrix} (-\nabla\Delta m_1 - \nabla\Delta b_1) \\ (-\nabla\Delta m_2 - \nabla\Delta b_2) \\ (-\nabla\Delta m_3 - \nabla\Delta b_3) \end{bmatrix}\lambda$$

Từ các biểu thức ở trên, ta có:

$$B1_m = B1 + Bias$$
$$B2_m = B2 + Bias$$

Mối quan hệ giữa B1 và B2 có thể được quan sát từ hình vẽ:

$$B2 = R(n,\theta)B1$$

Trong đó, $R(n,\theta)$ là phép quay trục n đi góc θ. Với giải pháp này, vector đường cơ sở được quay trong mặt phẳng ngang, do đó, trục $n = [0\ 0\ 1]^T$. Khi đó ta có ma trận của phép quay:

$$R(n,\theta) = \begin{bmatrix} \cos\theta & -\sin\theta & 0 \\ \sin\theta & \cos\theta & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Từ biểu thức ở trên, độ sai lệch có thể loại bỏ được:

$$B2_m - B1_m = B2 - B1 = R(n,\theta)B1 - B1$$
$$= [R(n,\theta) - I_{3x3}]B1$$

Như vậy, với việc xác định được $B2_m$, $B1_m$ và với 1 góc quay đã biết, ta sẽ xác định được hướng của vector $B1$.

3. XỬ LÝ TÍN HIỆU TRONG LA BÀN VỆ TINH

3.1. Thuật toán LAMBDA

Phương pháp LAMDA (*Least-squares AMBiguity Decorrelation Ajustment*) được phát triển bởi trường đại học Công nghệ Delft để xử lý vấn đề sai chu kỳ pha sóng mang trong việc định vị chính xác sử dụng dịch vụ hệ thống GPS.

Phương pháp này sẽ ước lượng sai pha dạng nguyên qua hai bước. Bước 1 sử dụng biến đổi Z để thực hiện tính tương quan của các sai lệch chu kỳ pha. Bước 2 tối thiểu hóa số nguyên này bằng cách tìm kiếm rời rạc trong miền elip.

3.1.1. Ước lượng thông số

Phân giải sai lệch pha sóng mang GPS là quá trình tìm sự nhầm lẫn về chu kỳ của sai lệch kép dữ liệu pha sóng mang. Độ sai lệch này là 1 số nguyên. Mô hình GPS được sử dụng có thể được biểu diễn dưới dạng phương trình quan sát được tuyến tính hóa:

$$E\{y\} = Aa + Bb + e$$

Trong đó: *y* là vector dữ liệu GPS, a và b là biến vector thông số bậc n và bậc p. e là vector tạp âm bậc m

Ma trận A và ma trận B là ma trận thiết kế có

kích thước lần lượt là $m \times n$ và $m \times p$.

3.1.2. Ước lượng tối thiểu bình phương dạng nguyên

Quá trình ánh xạ từ miền không gian *n* chiều các số thực sang không gian *n* chiều các số nguyên đã được thực hiện ở phần trên. Số lượng ánh xạ có thể thực hiện được tương đối lớn. Do vậy, việc ánh xạ này phức tạp hơn so với bộ ước lượng tối thiểu bình phương. Quá trình ước lượng tối thiểu bình phương tối ưu hơn giải pháp trước do bộ ước lượng sẽ tìm cực đại xác suất để xác định chính xác số nguyên cần tìm.

3.1.3. Giải tương quan độ sai lệch chu kỳ pha

Theo lý thuyết, có thể thực hiện việc tìm kiếm số nguyên như ở phần trên trong không gian ban đầu của độ sai lệch kép về chu kỳ pha sóng mang. Tuy nhiên, do sự tương quan cao giữa các phần tử của vector sai lệch chu kỳ pha cũng như sự kém chính xác của các phần tử, quá trình này sẽ trở nên rất cồng kềnh và phức tạp. Vì vậy, bằng cách tham số hóa các sai lệch chu kỳ pha, ta có thể làm tăng độ chính xác của mỗi phần tử, đồng thời làm giảm độ tương quan giữa chúng. Quá trình tham số hóa này giống như biến đổi Z, thực hiện biến đổi các độ sai lệch kép chu kỳ pha ban đầu sang tập các độ sai lệch.

Đại số tuyến tính cho LAMBDA

Gọi *b* là vector chứa 3 thành phần của đường cơ sở, *a* là vector độ sai lệch chu kỳ pha của tần số L1 và có thể cho tần số L2. Độ quan sát sai lệch kép được lưu trong vector *y*

$$[B\ A]\begin{bmatrix} b \\ a \end{bmatrix} = y + errors$$

Các phương trình chuẩn tắc là:

$$\begin{bmatrix} B^T B & B^T A \\ A^T B & A^T A \end{bmatrix}\begin{bmatrix} \hat{b} \\ \hat{a} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} B^T \\ A^T \end{bmatrix} y$$

Và giải ra được

$$\begin{bmatrix} \hat{b} \\ \hat{a} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} B^T B & B^T A \\ A^T B & A^T A \end{bmatrix}^{-1}\begin{bmatrix} B^T \\ A^T \end{bmatrix} y = \begin{bmatrix} Q_{\hat{b}} & Q_{\hat{b}\hat{a}} \\ Q_{\hat{b}\hat{a}}^T & Q_{\hat{a}} \end{bmatrix}\begin{bmatrix} B^T \\ A^T \end{bmatrix} y \quad (13)$$

Các thành phần của vector $\hat{a}$ là thực, tuy nhiên ta muốn các thành phần đó là số nguyên. Do đó, ta phải thực hiện tìm 1 vector số nguyên a sao cho:

$$(\hat{a} - a)^T Q_{\hat{a}}^{-1}(\hat{a} - a) = min.overinteger\ vectors\ a$$

Như vậy, ta sẽ xác định được số nguyên $\check{a}$ cho số thực $\hat{a}$. Tương tự, thực hiện tìm số nguyên $\check{b}$ cho số thực $\hat{b}$. Để xác định $\hat{b}$, thực hiện biến đổi (13) bằng cách nhân hàng dưới với $Q_{\hat{b}\hat{a}}^T Q_{\hat{a}}^{-1}$ rồi lấy hàng thứ nhất trừ đi cho giá trị vừa nhận được, ta sẽ có:

$$\begin{bmatrix} \hat{b} - Q_{\hat{b}\hat{a}}^T Q_{\hat{a}}^{-1}\hat{a} \\ \hat{a} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Q_{\hat{b}} - Q_{\hat{b}\hat{a}}^T Q_{\hat{a}}^{-1} & 0 \\ Q_{\hat{b}\hat{a}}^T & Q_{\hat{a}} \end{bmatrix}\begin{bmatrix} B^T \\ A^T \end{bmatrix} y \quad (14)$$

Hàng trên sẽ cho ta:

$$\hat{b} - Q_{\hat{b}\hat{a}}^T Q_{\hat{a}}^{-1}\hat{a} = \left(Q_{\hat{b}} - Q_{\hat{b}\hat{a}}^T Q_{\hat{a}}^{-1}\right) B^T y \quad (15)$$

Vế phải của (15) là hằng số đã biết. Nếu đổi $\hat{a}$ thành $\check{a}$, khi đó $\hat{b}$ sẽ chuyển thành $\check{b}$. Do đó, ta sẽ có:

$$\hat{b} - Q_{\hat{b}\hat{a}}^T Q_{\hat{a}}^{-1}\hat{a} = \left(\check{b} - Q_{\hat{b}\hat{a}}^T Q_{\hat{a}}^{-1}\check{a}\right) \quad (16)$$

Khi đó, dễ dàng xác định được:

$$\check{b} = \hat{b} - Q_{\hat{b}\hat{a}}^T Q_{\hat{a}}^{-1}(\hat{a} - \check{a}) \quad (17)$$

3.2. Xử lý tín hiệu trong la bàn vệ tinh để xác định các thống số về hướng mũi.

Toàn bộ quá trình xử lý tín hiệu được mô tả qua lưu đồ ở Hình 3.

Các bước cơ bản để thực hiện việc tính toán thông số hướng mũi tàu từ tín hiệu định vị GNSS:

Thu nhận tín hiệu cao tần từ các vệ tinh GNSS tới anten của bộ thu. Tín hiệu cao tần này được khối đầu cuối cao tần (RF Frontend) xử lý để đưa về trùng tần và chuyển đổi sang dạng số nhờ bộ biến đổi tương tự số (ADC).

Tín hiệu GNSS dạng số tiếp tục qua các khối khai phá tín hiệu, bám tín hiệu để cuối cùng giải mã ra bản tin định vị và tính ra các tọa độ của anten chính cũng như ước lượng ra vị trí của anten phụ.

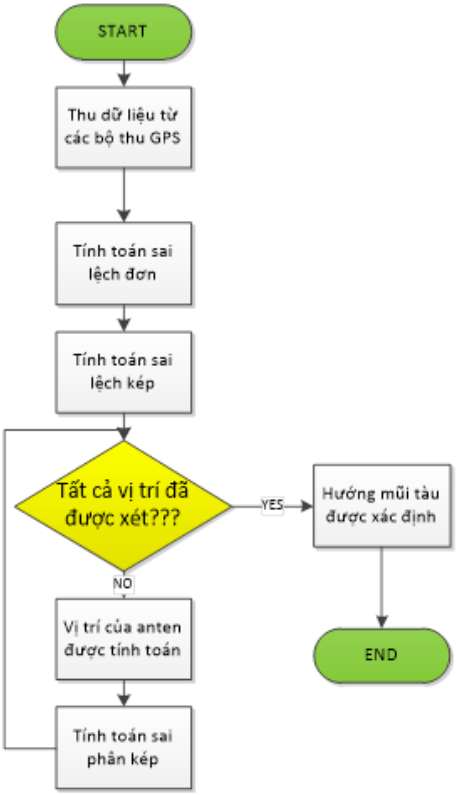
Xử lý các thông số của vệ tinh quan sát được với dữ liệu được giải mã và chọn ra 04 vệ tinh có mức công suất tới anten chính cao nhất.

Tính toán sai lệch đơn để tìm ra tọa độ của anten 2

Tính toán, sử dụng các điều kiện ràng buộc (liên quan đến số nguyên lần bước sóng mang) để tìm ra thông số tốt nhất.

Tính toán với thông số của anten còn lại để ước lượng độ chính xác dựa trên nguyên lý bình phương tối thiểu (LS- least squares)

Biến đổi các thông số về tọa độ với những giá trị phù hợp thành các thông số về hướng mũi,…



Hình 3. *Lưu đồ thực hiện xử lý tín hiệu trong la bàn vệ tinh*

4. KẾT LUẬN

La bàn vệ tinh là một trong những hệ thống la bàn được sử dụng trên các tàu biển để xác định hướng của mũi tàu trong quá trình hành hải trên biển. La bàn vệ tinh hoạt động dựa trên công nghệ định vị sử dụng vệ tinh. So với các hệ thống la bàn khác (la bàn từ, la bàn con quay), la bàn vệ tinh có nhiều ưu điểm rõ rệt. Với sự phát triển không ngừng của khoa học và công nghệ, các ứng dụng của la bàn vệ tinh sẽ không ngừng phát triển và thay thế cho các hệ thống la bàn còn lại. Đồng thời, với sự phát triển của các hệ thống định vị sử dụng vệ tinh, độ tin cậy của hệ thống la bàn vệ tinh sẽ không ngừng tăng lên và ngày càng hoạt động ổn định.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1]. M. S. Braasch and A. J. van Dierendonck, "GPS receiver architectures and measurements," *Proceedings of the IEEE,* vol. 87, pp. 48-64, 1999.

[2]. X. Guochang, *GPS ·. Theory, Algorithms and Applications*, 2nd ed. Berlin: Springer, 2007.

[3]. C.-H. Tu, K. Tu, F.-R. Chang, and L.-S. Wang, "GPS compass: novel navigation equipment," *IEEE transactions on aerospace and electronic systems,* vol. 33, pp. 1063-1068, 1997.

[4]. L. Dai, G. R. Hu, K. V. Ling, and N. Nagarajan, "Real-time attitude determination for microsatellite by LAMBDA method combined with Kalman filtering," in *22nd AIAA International Communications Satellite Systems Conference & Exhibit 2004 (ICSSC)*, 2004, p. 3118.

[5]. H.-M. Peng, E. Chang, and L.-S. Wang, "Rotation method for direction finding via GPS carrier phases," *IEEE Transactions on Aerospace and electronic systems,* vol. 36, pp. 72-84, 2000.

THÔNG TIN TÁC GIẢ

<table>
<tr>
<td> </td>
<td>Phạm Việt Hưng

Năm 2003: Tốt nghiệp Đại học ngành Điện tử viễn thông chuyên ngành Điện tử viễn thông - Đại học Bách Khoa Hà Nội.

Năm 2007: Tốt nghiệp Thạc sĩ ngành Điện tử viễn thông chuyên ngành Điện tử viễn thông - Đại học Bách Khoa Hà Nội.

Năm 2015: Tốt nghiệp Tiến sĩ ngành Điện tử viễn thông chuyên ngành Kỹ thuật viễn thông - Đại học Bách Khoa Hà Nội..

- Lĩnh vực quan tâm: Xử lý tín hiệu trong hệ thống vệ tinh định vị toàn cầu, truyền thông kỹ thuật số, truyền thông hàng hải.

Điện thoại: 0916.588.889

Email: phamviethung@vimaru.edu.vn</td>
</tr>
<tr>
<td> </td>
<td>Nguyễn Trọng Các

- Tóm tắt quá trình đào tạo, nghiên cứu: (thời điểm tốt nghiệp và chương trinh đào tạo, nghiên cứu)

Năm 2002: Tốt nghiệp Đại học ngành Điện chuyên ngành Điện nông nghiệp - Đại học Nông nghiệp I Hà Nội.

Năm 2005: Tốt nghiệp Thạc sĩ ngành Kỹ thuật tự động hóa chuyên ngành Tự động hóa Trường Đại học Bách khoa Hà Nội.

Năm 2015: Tốt nghiệp Tiến sĩ ngành Kỹ thuật điện tử chuyên ngành Kỹ thuật điện tử Trường Đại học Bách khoa Hà Nội.

- Tóm tắt công việc hiện tại: Giảng viên khoa Điện Trường Đại học Sao Đỏ

- Lĩnh vực quan tâm: DCS, SCADA, NCS

Điện thoại: 0904369421

Email: cacdhsd@gmail.com</td>
</tr>
</table>