

# Giải pháp tính khoảng cách từ tàu đến mốc phía trước sử dụng định vị vệ tinh

Lê Hồng Minh\*, Võ Công Minh, Nguyễn Huy Hưng, Đoàn Hồng Quang

*Viện Ứng dụng Công nghệ, Bộ Khoa học và Công nghệ*

Ngày nhận bài 11/2/2019; ngày chuyển phản biện 4/3/2019; ngày nhận phản biện 9/4/2019; ngày chấp nhận đăng 25/4/2019

## **Tóm tắt:**

Để tính khoảng cách từ tàu đến mốc phía trước sử dụng định vị vệ tinh, nghiên cứu đã xây dựng quy trình gồm hai bước để triển khai giải pháp, đề xuất sử dụng thiết bị GNSS của U-blox để thu nhận thông tin định vị. Bài viết giới thiệu các công thức cơ bản để tính khoảng cách ngắn nhất, tính một điểm khi biết hai điểm và tính điểm giữa của hai điểm trên bề mặt trái đất. Bản đồ đường tàu để tính khoảng cách được tạo lập trên cơ sở các giải thuật: tìm đoạn gần nhất, tìm điểm gần nhất, loại điểm dư thừa, tính trung bình các lần đo.

**Từ khóa:** dẫn đường, định vị vệ tinh, GNSS, I-ATP, phòng vệ đoàn tàu tự động kiểu điểm.

**Chỉ số phân loại:** 2.2

## Algorithms for calculating the distance from the train to the ahead landmark using satellite navigation

Hong Minh Le\*, Cong Minh Vo,  
Huy Hung Nguyen, Hong Quang Doan

*National Center for Technological Progress, Ministry of Science and Technology*

Received 11 February 2019; accepted 25 April 2019

## **Abstract:**

To calculate the distance from the train to the ahead landmark using satellite navigation, the study developed a two-step process for deploying the solution, suggesting the use of Ublox's GNSS device to acquire positioning information. The article introduces the basic formulas for calculating the shortest distance, calculating a point by knowing two points, and computing the midpoint of two points on the surface of the earth. The route-map for calculating the distance is based on the following algorithms: finding the nearest segment, finding the nearest point, removing the excess point, and averaging the measurements.

**Keywords:** GNSS, I-ATP, intermittent automatic train protection, navigation, satellite navigation.

**Classification number:** 2.2

## **Đặt vấn đề**

Trong “Hệ thống phòng vệ đoàn tàu tự động kiểu điểm” (Intermittent - Automatic Train Protection - I-ATP) thì khoảng cách từ tàu đến mốc<sup>1</sup> phía trước là thông tin đầu vào rất quan trọng để tính toán điều khiển tốc độ tàu, đảm bảo an toàn khi đến mốc [1].

Hiện tại thông tin chỉ đường (trong đó có khoảng cách) chủ yếu được cung cấp tại các mốc bên đường. Hình thức này là để cho người xử lý, không phù hợp với các hệ thống dẫn đường tự động. Từ khi công nghệ định vị vệ tinh và bản đồ số được ứng dụng rộng rãi thì dẫn đường tự động trở nên phổ biến. Các ứng dụng này căn cứ vào vị trí nhận được qua thiết bị định vị, cùng với bản đồ số đưa ra các thông tin dẫn đường, hướng dẫn người dùng.

Ở Việt Nam, các ứng dụng dẫn đường tự động đang sử dụng hiện tại chủ yếu phát triển cho đường bộ, nếu sử dụng cho đường sắt có nhiều vấn đề không phù hợp, có thể kể ra là:

- Các bản đồ số phổ biến đang được tích hợp thì dữ liệu cho đường sắt vẫn chưa đầy đủ [2-4].

- Ứng dụng điều khiển tự động cho mục đích an toàn yêu cầu độ tin cậy khác với ứng dụng dẫn đường mang tính trợ giúp.

- Dữ liệu về đường sắt (nếu có) từ các bản đồ số dùng chung khó đáp ứng yêu cầu an toàn vì không quản lý được độ tin cậy và độ chính xác.

Để “tính khoảng cách từ tàu đến mốc phía trước”, có thể sử dụng dữ liệu dạng lý trình về đường đi và vị trí các mốc, tính quãng đường đã đi được để biết khoảng cách còn lại. Phương án này có hạn chế là sẽ có sai số tích lũy, ngoài ra với trường hợp mốc phía trước là chuyển động (tàu chạy phía trước), hoặc cột hiệu ảo (trường hợp phân khu

<sup>1</sup>Mốc có thể là đèn hiệu, biển báo, ghi, mốc tránh va chạm, balisse, tàu phía trước...

\*Tác giả liên hệ: Email: isgcontact@gmail.com

đóng đường đi động) thì không phù hợp.

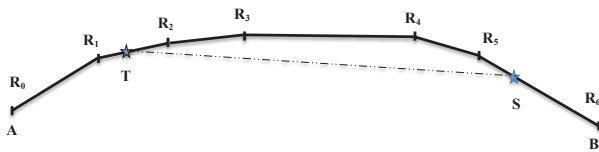
Sử dụng những công nghệ mới nhất về định vị vệ tinh, với đặc thù đường sắt là tàu chỉ có thể chạy trên đường ray cố định biết trước, có thể xác định khoảng cách giữa hai điểm trên đường tàu với độ chính xác cao, sai số trong phạm vi quản lý. Bài viết trình bày kết quả nghiên cứu về xây dựng các giải thuật để tự động tính khoảng cách từ tàu đang chạy đến mốc phía trước bằng định vị vệ tinh.

**Nội dung nghiên cứu**

Trong nghiên cứu này, chúng tôi giới thiệu các công thức tính toán liên quan đến các điểm trên bề mặt trái đất, phương pháp thu thập và xử lý dữ liệu, đồng thời đề xuất sử dụng thiết bị GNSS của U-blox để thu nhận thông tin định vị.

**Phân tích bài toán**

Ví dụ, có đoạn đường tàu từ A đến B, được mô tả bằng danh sách n điểm  $R_i$  ( $i = 0 \dots n-1$ ), mỗi điểm  $R_i$  bao gồm vĩ độ và kinh độ (ở đây  $n = 7$ ,  $R_0 \equiv A$ ,  $R_6 \equiv B$ ). Đoạn đường AB có thể được biểu diễn dạng



**Hình 1. Bản đồ đường tàu được tuyến tính hóa.**

tuyến tính trên bản đồ bằng cách nối thẳng các điểm theo thứ tự thành đường gấp khúc gồm các đoạn  $[R_0R_1]$ ,  $[R_1R_2]$ ,  $[R_2R_3]$ ,  $[R_3R_4]$ ,  $[R_4R_5]$ ,  $[R_5R_6]$  (hình 1).

Giả sử, tàu ở vị trí T, cột hiệu ở vị trí S, khoảng cách từ tàu đến cột hiệu TS không phải độ dài đường chằm nối thẳng hai điểm T, S mà  $TS = TR_2 + R_2R_3 + R_3R_4 + R_4R_5 + R_5S$ .

Như vậy, để tính khoảng cách từ tàu đến cột hiệu phía trước sử dụng định vị vệ tinh, cần thực hiện quy trình với các đối tượng và công việc sau:

Bước 1: chuẩn bị dữ liệu: lập bản đồ đường tàu (tập hợp các điểm  $R_i$ ), lập dữ liệu các mốc cố định của tuyến đường.

Bước 2: tính khoảng cách: xác định vị trí hiện thời của tàu (từ vệ tinh), ánh xạ vào bản đồ đường tàu (nói chung vị trí nhận được không nằm trên đường bản đồ), xác định mốc phía trước (từ dữ liệu lưu trữ hoặc được cung cấp từ ga), tính khoảng cách từ tàu đến mốc.

**Công cụ sử dụng**

Thông tin vị trí được xác định bởi thiết bị định vị vệ tinh (Global Navigation Satellite System - GNSS). Độ chính xác của dữ liệu thu nhận quyết định độ chính xác của bản đồ đường tàu, vị trí cột hiệu, vị trí tàu và khoảng cách tính được. Nhưng thiết bị thu GNSS luôn có sai số [5] nên các công nghệ để cải thiện độ chính xác của định vị vệ tinh hiện vẫn đang là chủ đề rất được quan tâm. Tuy nhiên, phạm vi của nghiên cứu này không phải về tăng độ chính xác thiết bị thu GNSS, mà là lựa chọn thiết bị phù hợp với yêu cầu.

Trong nghiên cứu yêu cầu thiết bị thu GNSS có sai số vị trí trung bình nhỏ hơn 3 m; nhận tín hiệu khi di chuyển với vận tốc lớn; tần số lấy mẫu cao; và tích hợp sẵn các công nghệ nội suy vị trí khi tín hiệu vệ tinh bị gián đoạn. Thiết bị thu định vị vệ tinh GNSS của U-blox [6] nhận thấy đáp ứng các yêu cầu trên, và được nghiên cứu lựa chọn sử dụng. Các thiết bị lựa chọn hỗ trợ 72 kênh của các hệ thống định vị vệ tinh là GPS L1C/A, SBAS L1C/A, QZSS L1C/A, QZSS L1-SAIF, GLONASS L1OF, BeiDou B1I, Galileo E1B/C; tần số nhận tín hiệu tối đa là 20 Hz; tốc độ di chuyển đến 500 m/s. Có hai loại thiết bị được sử dụng:

- Thiết bị thu GNSS trên cơ sở module NEO-M8P-2 [7] để ghi nhận vị trí ở trạng thái tĩnh.

Đặc điểm: thiết bị sử dụng cùng với phần mềm U-center của U-blox kèm theo có tính năng tự hiệu chỉnh để đạt độ chính xác cao.

Sử dụng: để ghi đo thủ công xây dựng bản đồ đường tàu mẫu; tạo cơ sở dữ liệu (CSDL) các mốc tĩnh.

Chế độ làm việc: thiết bị được đặt chế độ tự hiệu chỉnh với độ chính xác 1,5 m. Khi đo ghi dữ liệu, antenna thu được đặt vào vị trí giữa hai thanh ray ngang với các mốc.

- Thiết bị GNSS trên cơ sở module NEO-M8U [8] để ghi nhận vị trí trạng thái động.

Đặc điểm: thiết bị ngoài tính năng định vị vệ tinh còn tích hợp cảm biến gia tốc và cảm biến hướng để tăng độ chính xác của dữ liệu định vị và không bị ngắt đoạn khi mất tín hiệu vệ tinh. Theo nhà sản xuất, dữ liệu thu nhận có độ chính xác trung bình là 2,5 m.

Sử dụng: để tập hợp dữ liệu xây dựng bản đồ đường tàu và quá trình vận hành khai thác sau này.

Chế độ làm việc: antenna thu được đặt trên nóc toa tàu, căn vào vị trí giữa đường ray; tần số thu được thiết đặt là 1 Hz.

**Các công thức cơ sở**

Các công thức cơ sở được sử dụng trong các giải thuật để: tính khoảng cách ngắn nhất giữa 2 điểm trên bề mặt trái đất; tính vị trí (vĩ độ, kinh độ) của 1 điểm khi biết 2 điểm và khoảng cách từ điểm cần tính đến điểm đã biết; tính vị trí (vĩ độ, kinh độ) của điểm giữa của 2 điểm đã biết. Các công thức này giả thiết trái đất là hình cầu, có bán kính là 6371 km.

Khoảng cách giữa 2 điểm trên bề mặt trái đất là đường đi ngắn nhất nối hai điểm, chính là độ dài cung ngắn thuộc đường tròn lớn đi qua hai điểm đó. Đường tròn lớn của trái đất được định nghĩa là giao điểm của mặt phẳng đi qua tâm trái đất và bề mặt trái đất [9].

- ❖ Công thức 1: công thức tính khoảng cách 2 điểm trên bề mặt trái đất (công thức Haversine) [10, 11]:

$$d = R \times 2 \times \text{atan2}(\sqrt{a}, \sqrt{1-a}) \tag{CT-1}$$

Trong đó:

d là khoảng cách giữa 2 điểm (km)

R là bán kính trái đất (km)

$$a = \sin^2\left(\frac{\Delta\varphi}{2}\right) + \cos(\varphi_1) \times \cos(\varphi_2) \times \sin^2\left(\frac{\Delta\lambda}{2}\right)$$

$\varphi_1$  là vĩ độ điểm 1;  $\varphi_2$  là vĩ độ điểm 2;  $\Delta\varphi = \varphi_2 - \varphi_1$   
 $\lambda_1$  là kinh độ điểm 1;  $\lambda_2$  là kinh độ điểm 2;  $\Delta\lambda = \lambda_2 - \lambda_1$

❖ Công thức 2: công thức tính 1 điểm khi biết 2 điểm và khoảng cách đến điểm thứ nhất (điểm đầu) [11]:

$$\begin{aligned} \varphi_i &= \text{atan2}(z, \sqrt{x^2 + y^2}) \\ \lambda_i &= \text{atan2}(y, x) \end{aligned} \quad (\text{CT-2})$$

Trong đó:

$\varphi_i$  là vĩ độ điểm i cần tìm

$\lambda_i$  là kinh độ điểm i cần tìm

$$z = a \cdot \sin(\varphi_1) + b \cdot \sin(\varphi_2)$$

$$x = a \cdot \cos(\varphi_1) \cdot \cos(\lambda_1) + b \cdot \cos(\varphi_2) \cdot \cos(\lambda_2)$$

$$y = a \cdot \cos(\varphi_1) \cdot \sin(\lambda_1) + b \cdot \cos(\varphi_2) \cdot \sin(\lambda_2)$$

$\varphi_i$  là vĩ độ điểm 1;  $\varphi_2$  là vĩ độ điểm 2

$\lambda_1$  là kinh độ điểm 1;  $\lambda_2$  là kinh độ điểm 2

$$a = \frac{\sin(1-f) \times \delta}{\sin(\delta)}$$

$$b = \frac{\sin(f \times \delta)}{\sin(\delta)}$$

$\delta = d/R$  với d là khoảng cách giữa 2 điểm (km), R là bán kính trái đất (km)

f = d<sub>i</sub>/d là tỷ lệ khoảng cách từ điểm đầu đến điểm cần tính (d<sub>i</sub>) so với toàn đoạn (d); khi f = 0, điểm cần tính là điểm đầu; f = 1, điểm cần tính chính là điểm cuối.

❖ Công thức 3: công thức tính điểm giữa 2 điểm [11]:

$$\varphi_m = \text{atan2}\left(\sin(\varphi_1) + \sin(\varphi_2), \sqrt{(\cos(\varphi_1) + B_x)^2 + B_y^2}\right) \quad (\text{CT-3})$$

$$\lambda_m = \lambda_1 + \text{atan2}(B_y, \cos(\varphi_1) + B_x)$$

Trong đó:

$\varphi_m$  là vĩ độ điểm giữa cần tính

$\lambda_m$  là kinh độ điểm giữa cần tính

$$B_x = \cos(\varphi_2) \cdot \cos(\Delta\lambda)$$

$$B_y = \cos(\varphi_2) \cdot \sin(\Delta\lambda)$$

$\varphi_1$  là vĩ độ điểm 1;  $\varphi_2$  là vĩ độ điểm 2

$\lambda_1$  là kinh độ điểm 1;  $\lambda_2$  là kinh độ điểm 2;  $\Delta\lambda = \lambda_2 - \lambda_1$

### Thu nhận dữ liệu

Dữ liệu định vị được thu nhận để tạo lập bản đồ đường tàu và tính khoảng cách giữa tàu đến mốc khi vận hành.

Thiết bị thu GNSS được lựa chọn khi hoạt động sẽ cung cấp thông tin từ vệ tinh theo các "câu" theo định dạng NMEA-0183 [12]. Phần mềm được xây dựng để thu nhận dữ liệu sẽ phân tích các câu loại "GNRMC" hoặc "GNNGGA" để lấy vĩ độ, kinh độ, vận tốc tại thời điểm ghi nhận. Dữ liệu của 1 điểm sẽ được lưu trữ dạng: "vĩ độ, kinh độ: vận tốc". Ví dụ: 21.4889352,105.0832045:21.

Ngoài ra, vận tốc có thể được tính theo công thức  $v = \frac{s}{t}$

Trong đó: v là vận tốc (km/h); s là quãng đường đi được giữa 2 lần ghi (km), được tính sử dụng công thức CT-1; t là thời gian giữa 2

lần đo (theo tần số thiết đặt, đơn vị tính là giờ).

### Tiền xử lý dữ liệu

Dữ liệu thu nhận sẽ có dư thừa (ví dụ đoạn thẳng chỉ cần 2 điểm, nhưng có thể ghi nhận rất nhiều do tốc độ di chuyển và tần suất ghi), không có thông tin (ví dụ khi tàu đứng yên), dị thường (ví dụ hai vị trí ghi liên tục nhưng cách nhau quá xa).

Tiền xử lý dữ liệu sẽ loại bỏ các dữ liệu sai, dữ liệu dư thừa để có bộ dữ liệu tối thiểu mô tả đường tàu. Dữ liệu sau mỗi lần ghi nhận được đưa qua các bộ "lọc" sau:

- Định vị lại điểm đầu và điểm cuối của tuyến đường (thủ công).

- Loại bỏ dữ liệu lỗi ngẫu nhiên: căn cứ vào vận tốc di chuyển tối đa của tàu khi ghi nhận, loại bỏ các điểm có vận tốc lớn hơn vận tốc tối đa.

- Loại bỏ dữ liệu không có thông tin: loại bỏ các điểm liên nhau có giá trị vận tốc bằng 0 (tàu đứng yên), chỉ giữ lại điểm đầu tiên.

- Loại bỏ dữ liệu dư thừa: theo nguyên tắc với 1 đoạn thẳng thì chỉ cần 2 điểm để mô tả. Nghiên cứu đã xây dựng giải thuật để loại bỏ các điểm trung gian ở giữa đoạn thẳng hàng.

### Lập bản đồ đường tàu

Để lập bản đồ đường tàu, có thể dùng phương pháp đo thủ công trực tiếp từng điểm R<sub>i</sub> như hình 1. Với thiết bị đo có độ chính xác cao thì về nguyên tắc, ta sẽ có bộ số liệu có độ chính xác cao. Tuy nhiên, phương pháp thủ công ngoài hạn chế là chi phí nhân công cao và thời gian dài thì độ chính xác còn phụ thuộc vào số điểm đo được.

Để thấy là có thể sử dụng thiết bị thu định vị vệ tinh, dịch chuyển theo tuyến đường quan tâm, ghi lại vị trí đã đi (như các ứng dụng tracking) là sẽ có bản đồ cho tuyến đường đã đi. Tuy nhiên, với mỗi lần ghi sẽ được một bộ dữ liệu và nói chung các bộ dữ liệu ghi nhận được của cùng một tuyến đường không trùng nhau bởi:

- Số điểm mô tả không bằng nhau: do tốc độ di chuyển của tàu, tần số ghi khác nhau.

- Giá trị tuyệt đối các điểm tương ứng không trùng nhau (trừ điểm đầu, điểm cuối được thiết đặt cố định).

- Đường được vẽ trên bản đồ không trùng nhau.

- Với cùng một điều kiện đo ghi (cùng thiết bị định vị, cùng phương án di chuyển) thì sẽ không thể đánh giá được bộ dữ liệu nào chính xác hơn, bởi tất cả đều có sai số do đặc thù của xác định vị trí bằng định vị vệ tinh [5].

Tuy nhiên, ta có thể có bộ dữ liệu "tốt" hơn để đáp ứng được mục tiêu xác định khoảng cách bằng các tính "trung bình" của các bộ dữ liệu đã có. Mỗi khi có bộ dữ liệu mới ghi, ta sẽ tính trung bình giữa bộ dữ liệu mới và bộ dữ liệu đã có; bộ dữ liệu kết quả (trung bình) sẽ được coi là bộ tốt hơn.

Nghiên cứu đã xây dựng giải thuật để tính trung bình dữ liệu của nhiều lần ghi để được bộ dữ liệu bản đồ đường tàu với độ tin cậy cao.

Cần lưu ý là, mặc dù đường ray cho tàu chạy là hai chiều nhưng ở đây quy ước đường tàu có hướng là từ trái sang phải. Đối với mỗi

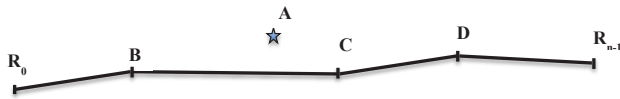
đoạn thì sẽ có điểm đầu bên trái, điểm cuối bên phải. Các điểm bất kỳ nói chung là khó có thể sử dụng vĩ độ, kinh độ để xác định nó thuộc vị trí nào trên đường bản đồ, nên các tính toán đều được thông qua tính khoảng cách bằng công thức CT-1.

**Kết quả**

Nghiên cứu đã xây dựng được năm giải thuật sử dụng để tạo lập đường bản đồ tàu tự động và tính khoảng cách từ tàu đến mốc.

**Giải thuật 1: tìm đoạn gần nhất** (GT-1)

*Bài toán:* có đoạn đường tàu được mô tả bởi n điểm (từ  $R_0$  đến  $R_{n-1}$ ), biết một điểm A bất kỳ (A không trước  $R_0$  và không sau  $R_{n-1}$ ), tìm đoạn BC (xác định bởi 2 điểm B và C) trên đường tàu gần nhất với điểm A (hình 2).



Hình 2. Tìm đoạn gần nhất.

*Phân tích:*

Để tìm đoạn BC gần điểm A nhất, trước tiên cần tìm điểm C gần A nhất, sau đó đánh giá.

Gọi:

- Khoảng cách từ điểm đầu đến điểm A là  $d_A$
- Khoảng cách từ điểm đầu đến điểm C là  $d_C$

Nếu:

- $d_A < d_C$  thì đoạn gần nhất là BC
- $d_A > d_C$  thì đoạn gần nhất là CD

*Giải thuật:*

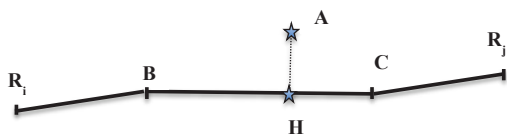
- Tìm điểm C trên dữ liệu bản đồ đường tàu gần A nhất (bằng tính khoảng cách từ A đến các điểm từ  $R_0$  đến  $R_{n-1}$  sử dụng công thức CT-1).

- Xác định A bên trái hay bên phải của C bằng cách tính khoảng cách BA và BC sử dụng công thức CT-1: nếu  $BA < BC$  thì A bên trái C, đoạn gần nhất là BC; nếu  $BA > BC$  thì A bên phải C, đoạn gần nhất là CD; nếu  $BA = BC$  thì A trùng C, có thể lấy BC hoặc CD.

**Giải thuật 2: tính điểm gần nhất** (GT-2)

*Bài toán:*

Có đoạn đường tàu được mô tả bởi n điểm (từ  $R_0$  đến  $R_{n-1}$ ), biết một điểm A bất kỳ (A không trước  $R_0$  và không sau  $R_{n-1}$ ), tính điểm H thuộc đường tàu gần nhất với điểm A (hình 3).



Hình 3. Tìm điểm gần nhất.

*Phân tích:*

Nếu xem bề mặt trái đất khu vực này là mặt phẳng, thì đoạn đường thẳng gần A nhất là BC; điểm gần A nhất chính là điểm H - chân đường cao AH của tam giác ABC.

*Giải thuật:*

- Xác định đoạn BC (2 điểm B và C) gần điểm A nhất, sử dụng giải thuật GT-1.

- Biết các điểm B, C và A; tính độ dài các đoạn AB, AC và BC sử dụng công thức CT-1.

- Tính đoạn BH: sử dụng định lý định lý Pitago, ta có:

$$AB^2 = BH^2 + AH^2 \rightarrow AH^2 = AB^2 - BH^2$$

$$AC^2 = CH^2 + AH^2 \rightarrow AH^2 = AC^2 - CH^2$$

$$\rightarrow AB^2 - BH^2 = AC^2 - CH^2$$

$$\text{thay } CH = BC - BH$$

$$BH = \frac{AB^2 - AC^2 + BC^2}{2 \times BC}$$

- Tính điểm H: sử dụng công thức CT-2 tính điểm H, khi biết các điểm B, C và khoảng cách BH.

*Nhận xét:*

Điểm H chính là A khi A nằm trên đoạn BC, kể cả khi A trùng với B hoặc C.

**Giải thuật 3: loại điểm dư thừa** (GT-3)

Giả sử ta có bộ dữ liệu gồm n điểm (từ  $R_0$  đến  $R_{n-1}$ ), các điểm cần kiểm tra dư thừa là từ điểm  $R_1$  đến điểm  $R_{n-2}$ . Giải thuật kiểm tra và loại bỏ điểm dư thừa sẽ so sánh khoảng cách với các mốc là điểm trước và sau để đánh giá. Giải thuật được mô tả như sau:

Lập với mỗi điểm  $R_i$  ( $i = 1$  đến  $n-2$ ).

Tính (sử dụng công thức CT-1):  $D$  là khoảng cách ngắn nhất đường đi từ  $R_{i-1}$  đến  $R_{i+1}$ ,  $D_1$  là khoảng cách ngắn nhất đường đi từ  $R_{i-1}$  đến  $R_i$ ,  $D_2$  là khoảng cách ngắn nhất đường đi từ  $R_i$  đến  $R_{i+1}$ .

Kiểm tra: nếu  $D = D_1 + D_2$  thì loại bỏ điểm  $R_i$ .

Lưu ý: kết quả tính khoảng cách theo CT-1 là số thực với đơn vị là km, tuy nhiên trong tính toán nên đổi và làm tròn khoảng cách theo đơn vị nhỏ hơn (ví dụ cm) để thuận tiện cho phép so sánh chính xác.

**Giải thuật 4: tính trung bình hai bộ dữ liệu** (GT-4)

Giả sử có bộ dữ liệu mới có n điểm (từ 0 đến  $n-1$ ), giải thuật được phát biểu như sau:

Lập với mỗi điểm từ điểm thứ nhất đến điểm thứ  $n-2$  (gọi là A): tính điểm H trên bộ dữ liệu cũ (đang có) gần nhất với A sử dụng GT-2; tính điểm G, là điểm giữa của đoạn AH sử dụng CT-3; thêm điểm G vào bộ dữ liệu cũ. Loại tất cả các điểm trên bộ dữ liệu cũ (các điểm A, B thuộc đoạn AB gần nhất trong GT-1) đã tham gia vào quá trình tính trung bình (tính điểm G), ta được bộ dữ liệu trung bình.

**Giải thuật 5: tính khoảng cách từ tàu đến mốc** (GT-5)

Giải thuật tính khoảng cách từ tàu đến mốc phía trước sử dụng 3

thông tin đầu vào là: bản đồ đường tàu: được tạo lập như trình bày ở trên; vị trí mốc (cố định, di động): được lưu trữ hoặc nhận được qua các kênh truyền thông; vị trí hiện thời của tàu: ghi nhận bằng thiết bị định vị vệ tinh GNSS (cùng loại và cách ghi với việc lập bản đồ đường tàu). Tần suất tính khoảng cách do yêu cầu điều khiển cụ thể, có thể tính liên tục (mỗi khi có giá trị vị trí mới) hay khi có yêu cầu.



Hình 4. Tính khoảng cách T-M.

Giải thuật được phát biểu gồm các bước như sau (hình 4): xác định vị trí hiện thời của tàu T bằng thiết bị GNSS; tính điểm trên bản đồ đường tàu gần tàu nhất T' sử dụng giải thuật GT-2; xác định điểm  $R_i$  của đường tàu phía trước điểm T'; xác định đoạn  $R_{i-1}R_i$  gần T' nhất bằng GT-1; lấy điểm  $R_i$  bên phải T'; xác định điểm  $R_j$  của đường tàu phía sau mốc M; xác định đoạn  $R_jR_{j+1}$  gần M nhất bằng GT-1; lấy điểm  $R_j$  bên trái M; tính khoảng cách T'M bằng tổng các khoảng cách:  $T'R_i$ , các đoạn  $R_iR_j$  và  $R_jM$ . Các khoảng cách này được tính sử dụng công thức CT-1.

**Thảo luận**

Giải pháp tính khoảng cách từ tàu đến mốc bằng định vị vệ tinh thì độ chính xác của bản đồ đường tàu được tạo lập tự động và độ tin cậy của kết quả tính khoảng cách là điều cần quan tâm.

**Độ chính xác của bản đồ tạo lập**

Do vị trí thu từ vệ tinh có sai số nên bản đồ đường tàu được tạo lập tự động bằng cách trung bình các lần đo cần phải đánh giá độ chính xác.

Giả sử đã có đường bản đồ chuẩn (gốc), có thể sử dụng chỉ tiêu “khoảng cách trung bình (KCTB)” của bản đồ tạo lập so với bản đồ gốc để đánh giá sai số (độ chính xác) của bản đồ được tạo lập. KCTB được tính bằng trung bình của khoảng cách ngắn nhất của các điểm trên đường bản đồ tạo lập so với bản đồ gốc. Giá trị càng nhỏ thì càng chính xác, giá trị này sẽ tiến tới 0 khi bản đồ tạo lập trùng với bản đồ gốc. Tuy nhiên, do không có đường bản đồ gốc (tất nhiên), nên để đánh giá sai số, KCTB giữa bản đồ mới và bản đồ cũ sẽ được tính. Căn cứ vào một giá trị ngưỡng được đặt trước (có thể điều chỉnh tùy yêu cầu độ chính xác), quá trình tạo lập bản đồ tự động sẽ dừng khi KCTB nhỏ hơn ngưỡng này. Giá trị của ngưỡng có thể coi như độ chính xác của đường bản đồ tạo lập.

Lưu ý: dữ liệu tracking của tàu trong quá trình khai thác cũng có thể sử dụng để tiếp tục xây dựng bản đồ đường tàu.

**Độ tin cậy của định vị vệ tinh**

Sự gián đoạn tín hiệu thu từ vệ tinh: nguyên nhân việc này thì nhiều và đây là vấn đề xảy ra phổ biến với các thiết bị thu phổ cập, tuy nhiên, thiết bị GNSS đề nghị sử dụng đã khắc phục được hạn chế này. Thiết bị có khả năng thu và giải mã tín hiệu từ các hệ thống định vị lớn nhất là GPS, SBAS, QZSS, Glonass, Beidou, Galileo nên sẽ giảm thiểu tình trạng bị thiếu vệ tinh định vị. Ngoài ra, với thông tin từ cảm biến gia tốc và hướng, thiết bị vẫn có thể tính và cung cấp vị

trí đối với thời điểm mất tín hiệu vệ tinh.

Vị trí cung cấp có sai số: sai số vị trí của định vị vệ tinh là không tránh khỏi, chỉ có thể lựa chọn thiết bị với sai số nhỏ. Thiết bị lựa chọn có thêm thông tin từ cảm biến gia tốc và cảm biến hướng nên sai số không phải hướng chuyển động sẽ được giảm thiểu. Phương án tốt hơn để sử dụng định vị vệ tinh là sử dụng các trạm cơ sở để cung cấp tín hiệu hiệu chỉnh, tăng độ chính xác cho các thiết bị GNSS.

Việc sử dụng cùng một phương pháp, thiết bị cho cả việc tạo lập bản đồ và khai thác về sau cũng giúp quản lý được sai số. Đường tàu được hình thành bởi tính trung bình của nhiều lần đo, vị trí của tàu khi tính khoảng cách được ánh xạ vào đường tàu nên có thể nhận định sai số của tính khoảng cách từ tàu đến mốc sẽ trong khoảng sai số trung bình của thiết bị GNSS. Biết được khoảng của sai số, bộ điều khiển có thể thiết lập hệ số an toàn phù hợp để việc điều khiển được tin cậy.

**Kết luận**

Nghiên cứu đã xây dựng 5 giải thuật để triển khai giải pháp tính khoảng cách từ tàu đến mốc bằng định vị vệ tinh. Trước tiên, các giải thuật được đề xuất sẽ được sử dụng để tạo lập bản đồ đường tàu được tự động bằng cách tính trung bình các bộ số liệu ghi nhận; sau đó khoảng cách từ tàu đến mốc được tính trên cơ sở bản đồ đường tàu đã được tạo lập.

Các giải thuật giới thiệu trên đã được cài đặt và tích hợp trong hệ thống I-ATP với sai số tính khoảng cách nhỏ và quản lý được.

Giải thuật tạo lập bản đồ tự động được trình bày có thể sử dụng không chỉ để lập bản đồ cho hệ thống đường sắt mà còn có thể sử dụng để lập bản đồ các đường đi cần kiểm soát được độ tin cậy, hoặc khi không có sẵn dữ liệu từ các nguồn bản đồ chuyên dụng.

**LỜI CẢM ƠN**

Nghiên cứu và kết quả đạt được là một phần công việc thuộc nhiệm vụ KH&CN cấp quốc gia, mã số: ĐTDL.CN17/16 do Viện Ứng dụng Công nghệ là cơ quan chủ trì. Các tác giả xin trân trọng cảm ơn.

**TÀI LIỆU THAM KHẢO**

[1] Thuyết minh nhiệm vụ KH&CN cấp quốc gia: “Nghiên cứu thiết kế chế tạo và thử nghiệm hệ thống phòng vệ đoàn tàu tự động kiểu điểm (I-ATP) nâng cao an toàn và năng lực vận tải đường sắt Việt Nam”, mã số: ĐTDL.CN17/16 (2016-2018).

[2] <https://www.google.com/maps>.

[3] <https://www.openstreetmap.org>.

[4] <https://www.openrailwaymap.org>.

[5] M. Karaim, M. Elsheikh, A. Noureldin (2018), *GNSS Error Sources*.

[6] <https://www.u-blox.com/en>.

[7] <https://www.u-blox.com/en/product/neo-m8p-series>.

[8] <https://www.u-blox.com/en/product/neo-m8u-module>.

[9] Benny Dwi Kifana, et al. (2012), “Great Circle Distance Methode for Improving Operational Control System Based on GPS”, *International Journal on Computer Science and Engineering (IJCSE)*, **4(4)**, pp.647-662

[10] Van Brummelen, Glen Robert (2013), *Heavenly Mathematics: The Forgotten Art of Spherical Trigonometry*, Princeton University Press.

[11] <https://www.movable-type.co.uk/scripts/latlong.html>.

[12] [https://www.nmea.org/content/nmea\\_standards/nmea\\_0183\\_v\\_410.asp](https://www.nmea.org/content/nmea_standards/nmea_0183_v_410.asp).