

Giải pháp xây dựng hệ định vị mặt đất phạm vi hẹp hoạt động độc lập với các hệ thống định vị vệ tinh

Nguyễn Thị Thảo¹, Cao Văn Toàn^{1*}, Phan Huy Anh¹, Nguyễn Thị Thu Trang²

¹Viện Điện tử/Viện Khoa học và Công nghệ quân sự;

²Viện Khoa học và Công nghệ quân sự.

*Email: caotoanryazan@gmail.com

Nhận bài: 29/8/2022; Hoàn thiện: 15/11/2022; Chấp nhận đăng: 28/11/2022; Xuất bản: 23/12/2022.

DOI: <https://doi.org/10.54939/1859-1043.j.mst.FEE.2022.96-103>

TÓM TẮT

Trong những năm qua, các hệ thống định vị vệ tinh toàn cầu GNSS đóng vai trò ngày càng quan trọng trong mọi mặt của đời sống, đặc biệt là lĩnh vực quốc phòng an ninh. Tuy nhiên, do đặc trưng tín hiệu yếu và cấu trúc dữ liệu đơn giản, tín hiệu định vị vệ tinh dễ bị suy giảm, gây nhiễu, thậm chí tạo giả để đánh lừa máy thu khiến cho việc ứng dụng định vị vệ tinh trong các môi trường đặc thù như quốc phòng-an ninh trở nên kém hiệu quả. Do đó, việc nghiên cứu phát triển một hệ thống định vị trên mặt đất, có khả năng hoạt động độc lập hoàn toàn với các hệ thống định vị vệ tinh, để khắc phục các nhược điểm trên của định vị vệ tinh, đồng thời tăng cường khả năng định vị dẫn đường cho phương tiện, khí tài và vũ khí trong tác chiến quân sự là hết sức cần thiết và cấp bách, phù hợp với tình hình hiện nay. Trong bài báo này, chúng tôi đề xuất xây dựng một hệ thống định vị mặt đất với cơ chế đồng bộ thời gian giữa các máy phát và máy thu tương tự như thiết bị Locata hiện có trên thị trường. Kết quả mô phỏng với kịch bản hạn chế cho thấy khả năng định vị cục bộ là hoàn toàn khả thi và có thể tiếp tục nghiên cứu phát triển cho hệ thống thực tế.

Từ khóa: Định vị vệ tinh; Định vị mặt đất; Quy trình TimeLoc.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Ngày nay, định vị vệ tinh đang trở nên không thể thiếu với nhiều lĩnh vực của đời sống xã hội như: dẫn đường hàng không, hàng hải, đường bộ; cũng như có ý nghĩa đặc biệt quan trọng, như: đồng bộ hệ thống trong mạng điện thoại di động, hệ thống truyền tải năng lượng, hệ thống giao dịch điện tử; dẫn đường trong các trang thiết bị quân sự. Các lĩnh vực này, đặc biệt là trong lĩnh vực quân sự đặt ra những yêu cầu ngặt nghèo không những về độ chính xác mà đặc biệt còn về độ tin cậy, độ an toàn/an ninh trong các dịch vụ định vị dẫn đường. Tuy nhiên, về bản chất, đa số các hệ thống định vị vệ tinh đều là các hệ thống có nguồn gốc quân sự, do đó, với người sử dụng dân dụng và không thuộc các quốc gia phát triển và vận hành hệ thống, các dịch vụ định vị mà các hệ thống này cung cấp đều không đi kèm bất kỳ cơ chế đảm bảo độ tin cậy cũng như độ an toàn/an ninh định vị nào. Hơn nữa, do đặc trưng tín hiệu yếu và cấu trúc dữ liệu đơn giản, tín hiệu định vị vệ tinh dễ bị suy giảm, gây nhiễu, thậm chí tạo giả để đánh lừa máy thu [1] khiến cho việc ứng dụng định vị vệ tinh trong các môi trường đặc thù như quốc phòng an ninh trở nên kém hiệu quả. Do đó, việc nghiên cứu phát triển một hệ thống định vị trên mặt đất để khắc phục các nhược điểm trên của định vị vệ tinh, đồng thời tăng cường khả năng định vị dẫn đường cho phương tiện, khí tài và vũ khí trong tác chiến quân sự là hết sức cần thiết và cấp bách, phù hợp với tình hình hiện nay.

Hệ thống định vị mặt đất (hoặc hệ thống định vị cục bộ/địa phương - Local Positioning System - LPS) là hệ thống định vị cung cấp thông tin vị trí trong phạm vi giới hạn, trong mọi điều kiện thời tiết, ở bất kỳ đâu trong phạm vi phủ sóng của mạng lưới, miễn tồn tại đường truyền trực tiếp từ máy thu đến ít nhất ba trạm phát đặt tại các vị trí có tọa độ chính xác trên mặt đất [2]. Không giống như GPS hoặc các hệ thống định vị vệ tinh toàn cầu khác (GNSS), hệ thống định vị mặt đất không có phạm vi phủ sóng toàn cầu. Thay vào đó, hệ thống sử dụng (một tập

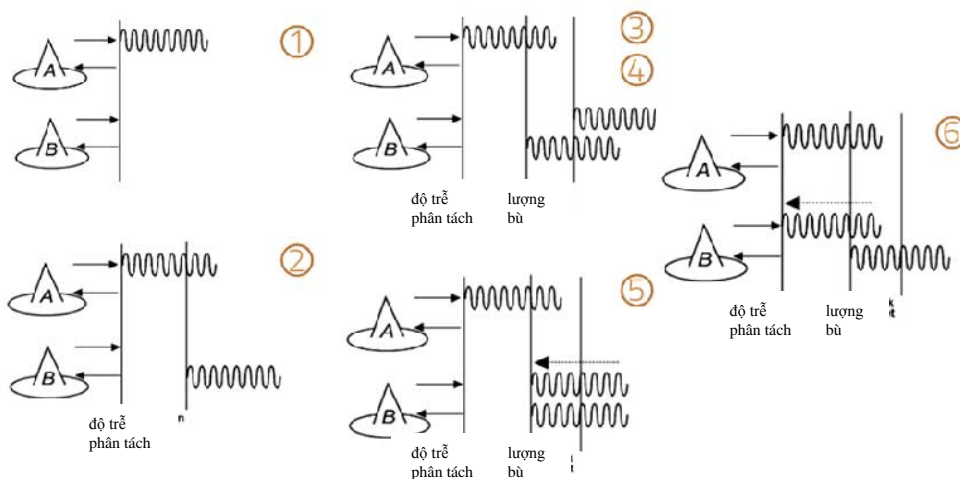
hợp) các trạm phát có phạm vi hạn chế, đòi hỏi máy thu phải nằm trong vùng phủ sóng. Hệ thống Locata hiện có trên thị trường là một trong những hệ thống định vị mặt đất tiêu biểu.

Bài báo này đề xuất giải pháp xây dựng hệ thống định vị mặt đất phạm vi hẹp, hoạt động độc lập với các hệ thống định vị vệ tinh và đặc biệt là hệ thống sử dụng quy trình đồng bộ thời gian TimeLoc [3] với độ chính xác cao mà không cần phải sử dụng đồng hồ nguyên tử đắt tiền. Quy trình TimeLoc là công nghệ quan trọng của Locata không những giảm thiểu giá thành hệ thống (không dùng đồng hồ nguyên tử) mà còn giúp cho việc phát triển và triển khai hệ thống trở nên dễ dàng và linh hoạt trong bất kỳ hoàn cảnh nào, dù trong nhà hay ngoài trời. Trong các phần tiếp theo nhóm tác giả sẽ giới thiệu về quy trình đồng bộ thời gian TimeLoc, kỹ thuật xác định tọa độ máy thu và các kết quả mô phỏng hoạt động của hệ thống.

2. QUY TRÌNH ĐỒNG BỘ THỜI GIAN TIMELOC

Một trong những quy trình quan trọng nhất để đảm bảo sự chính xác trong định vị là quy trình đồng bộ thời gian. Tất cả các hệ thống định vị vệ tinh không những được đồng bộ thời gian theo đồng hồ nguyên tử mà quá trình đồng bộ này còn được cơ quan quản lý cập nhật theo định kỳ một cách rất chặt chẽ. Mức độ đồng bộ yêu cầu cực kỳ cao, vì sai số một nano giây trong thời gian tương đương với sai số xấp xỉ ba mươi centimet về khoảng cách. Tuy nhiên, giá thành cho những đồng hồ nguyên tử có độ chính xác cao lại không hề thấp.

Hệ thống Locata là một mạng định vị có nguyên lý kết hợp giữa định vị giả vệ tinh và định vị beacon [4], do đó, nó có thể hoạt động với tư cách là một hệ hỗ trợ định vị kèm theo GNSS hoặc một hệ thống độc lập hoàn toàn. Theo [4], phần quan trọng nhất của hệ thống định vị Locata là bộ thu phát giả vệ tinh đồng bộ thời gian gọi là LocataLite. Một tập hợp các thiết bị LocataLite tạo thành mạng lưới Locata. Thiết bị LocataLite phát ra các tín hiệu có cấu trúc giống với tín hiệu GPS, giúp cho máy thu có thể định vị được vị trí của mình thông qua các phép đo pha sóng mang. Quy trình đồng bộ hóa thời gian của một hoặc nhiều thiết bị LocataLite là một cải tiến quan trọng của “Công nghệ Locata” và được gọi là TimeLoc. Quy trình TimeLoc để đồng bộ một LocataLite (B) với một LocataLite (A) khác có thể được chia thành các bước như trên hình 1.



Hình 1. Các bước quy trình TimeLoc.

Bước 1 : LocataLite A phát mã C/A và tín hiệu sóng mang theo một mã PRN cụ thể.

Bước 2 : Phân thu của LocataLite B sẽ thu tín hiệu, theo dõi và đo lường tín hiệu (các phép đo mã C/A và pha-sóng mang) phát ra bởi LocataLite A.

Bước 3 : LocataLite B phát mã C/A và tín hiệu sóng mang riêng trên một mã PRN khác tới LocataLite A.

Bước 4 : LocataLite B tính toán sự sai khác giữa mã và sóng mang tín hiệu nhận được với tín hiệu nó tự tạo ra trong nội bộ. Bỏ qua lỗi đường truyền, sự sai khác giữa hai tín hiệu là do xung đồng hồ thiếu đồng bộ giữa hai thiết bị, và khoảng cách hình học giữa chúng.

Bước 5 : LocataLite B điều chỉnh bộ giao động nội sử dụng kỹ thuật tổng hợp số trực tiếp (DDS) để hiệu chỉnh độ sai khác mã và sóng mang giữa hai LocataLite về mức bằng không. Sự sai khác mã và sóng mang giữa LocataLite A và B sẽ tiếp tục được giám sát để đảm bảo luôn bằng không. Nói theo cách khác thì bộ dao động nội của B sẽ bám sát một cách chính xác bộ dao động nội bên A.

Bước 6 : Bước cuối cùng là chính xác hoá sai lệch hình học giữa LocataLite A và B sử dụng chính tọa độ đã biết trước của hai LocataLite này. Kể từ đây, quá trình đồng bộ hoá TimeLoc được coi là thành công.

Điều quan trọng là quy trình trên có thể thực hiện mà không cần phải sử dụng đồng hồ nguyên tử đắt tiền và số lượng LocataLite có thể đồng bộ theo TimeLoc là không hạn chế. Đây là một cơ sở quan trọng cho tính khả thi để thiết kế, chế tạo các thiết bị thu phát cho mạng định vị mặt đất.

3. MÔ HÌNH KỸ THUẬT XÁC ĐỊNH TỌA ĐỘ MÁY THU BẰNG SAI PHÂN ĐƠN TRỊ ĐO PHA CỦA CÁC MÁY PHÁT

Về cơ bản, hệ thống Locata sử dụng kỹ thuật định vị pha sóng mang (carrier phase positioning - CPP) để xác định vị trí theo ba chiều không gian từ ít nhất bốn LocataLite. Kỹ thuật CPP sử dụng pha sóng mang cho phép đo cơ bản và khá tương đồng với kỹ thuật giám sát pha sóng mang trong trường hợp định vị GPS. Do vậy, phương trình giả cự ly ước tính khoảng cách giữa máy thu A và LocataLite i thông qua trị đo pha sóng mang được biểu diễn bằng công thức [5]:

$$\rho_A^i = \phi_A^i \times \lambda = r_A^i + \tau_{trop_A}^i + c \cdot \delta T_A + N_A^i \times \lambda + \varepsilon_\phi^i \quad (1)$$

Trong đó: ϕ_A^i là pha sóng mang tích hợp theo đơn vị chu kỳ, λ là bước sóng của tín hiệu, r_A^i là khoảng cách thực giữa máy thu A và LocataLite i , $\tau_{trop_A}^i$ là độ trễ tầng đối lưu, $c \cdot \delta T_A$ là lỗi đồng hồ của máy thu A, N_A^i là giai đoạn mờ của pha sóng mang và ε_ϕ^i là các nguồn lỗi khác như đa đường, tán xạ,... Để ý rằng, trong phương trình trên không có lỗi đồng hồ máy phát do sự đồng bộ hóa thời gian chặt chẽ của các LocataLite.

Độ phân giải mờ là một xem xét quan trọng để định vị pha sóng mang. Trong hệ thống Locata đã sử dụng kỹ thuật độ phân giải mờ để xác định các giá trị ước lượng chưa rõ ràng. Khi đó, giai đoạn mờ của pha sóng mang được xác định theo công thức:

$$\tilde{N}_A^i \times \lambda = \phi_A^i \times \lambda - r_A^i \quad (2)$$

Để tính chính xác khoảng cách r_A^i cần xác định chính xác vị trí ban đầu của các LocataLite. Trong bài báo này, nhóm tác giả sử dụng máy thu định vị độ chính xác cao (RTK sử dụng tín hiệu trạm CORS quốc gia) để xác định tọa độ của các ăng ten phát. Lưu ý rằng, $\phi_A^i \times \lambda$ là giá trị theo đôi pha sóng mang từ một máy thu Locata, nó là tổng hợp các giá trị $\phi_A^i \times \lambda$, $c \cdot \delta T_A$, ε_ϕ^i , và $\tau_{trop_A}^i$.

Mặt khác, ta có độ trễ tầng đối lưu $\tau_{trop_A}^i$ là tham số không phụ thuộc thời gian, do đó, giai đoạn mờ của pha sóng mang N_A^i phải tách rời hiệu chỉnh tầng đối lưu. Giả sử rằng, $c \cdot \delta T_A$ và ε_ϕ^i không thể ước lượng được và áp dụng hiệu chỉnh tầng đối lưu sẽ dẫn đến:

$$N_j^i \times \lambda = \tilde{N}_A^i \times \lambda - \tau_{trop_A}^i \quad (3)$$

Như vậy, bằng cách áp dụng kỹ thuật phân giải mờ, hầu hết các nguồn lỗi chưa xác định (tức là ε_ϕ^i) được hấp thụ, đây là một lợi thế lớn vì nó giảm tác động của những lỗi này trong xác định tọa độ.

Trong trường hợp xác định được giá trị đo pha sóng mang của cùng một bộ thu từ hai LocataLite i và j trong cùng thời điểm ta xác định được sai phân đơn trị đo pha, trong đó, sai số đồng hồ máy thu được loại bỏ.

Ta có sai phân đơn trị đo pha giữa các LocataLite như sau [5]:

$$\Delta\rho_A^{ij} = \rho_A^i - \rho_A^j = (\phi_A^i - \phi_A^j) * \lambda + (\tau_{trop_A^i} - \tau_{trop_A^j}) * \lambda + (N_A^i - N_A^j) * \lambda + (\varepsilon_\phi^i - \varepsilon_\phi^j) \quad (4)$$

Trong đó:

$$\Delta\rho_A^{ij} = \sqrt{(X_i - X_A)^2 + (Y_i - Y_A)^2 + (Z_i - Z_A)^2} - \sqrt{(X_j - X_A)^2 + (Y_j - Y_A)^2 + (Z_j - Z_A)^2} \quad (5)$$

Với (X_i, Y_i, Z_i) và (X_j, Y_j, Z_j) là tọa độ đã biết của LocataLite đã truyền tín hiệu i và j . Tọa độ máy thu (X_A, Y_A, Z_A) là các giá trị cần xác định.

Tới đây, ta sử dụng phương pháp điều chỉnh bình phương tối thiểu (LSE) [6, 7] cho mối quan hệ giữa vector cần đo z và vector trạng thái chưa xác định x của hệ thống ($z = Ax+b$). Trong đó, ma trận A mô tả mối quan hệ giữa x và z được suy ra bằng cách sử dụng đạo hàm riêng đối với vector trạng thái x , b là vector dư chứa ẩn các sai số đo lường chưa biết. Khi đó, giá trị LSE tối thiểu ε được thể hiện trong biểu thức sau.

$$\varepsilon = \min\{(b)^T(b)\} \quad (6)$$

Ước lượng vector trạng thái \hat{x} được xác định theo công thức:

$$\hat{x} = (A^T A)^{-1} A^T b \quad (7)$$

Để kiểm soát thêm phép đo, nếu chất lượng đo có thể thay đổi và mối tương quan giữa các phép đo đã biết, ma trận trọng số P (nghịch đảo của ma trận hiệp phương sai đo R) được đưa vào LSE. Khi đó, phương trình cho ước lượng \hat{x} trở thành:

$$\hat{x} = (A^T P A)^{-1} A^T P b = (N)^{-1} * (W) \quad (8)$$

$$N = A^T * P * A, \quad W = A^T * P * b$$

Các tham số ước lượng sau đó được cập nhật bằng phương trình (8). Điều này là do Δx , xuất phát từ quá trình theo dõi, biểu thị sự hiệu chỉnh của ước lượng x .

$$x = x + \hat{x} \quad (9)$$

Mức độ chính xác của các tham số ước tính được xác định bởi (10):

$$Q_x = \sqrt{N^{-1}} \quad (10)$$

Áp dụng phương pháp điều chỉnh bình phương tối thiểu cho Locata ta xây dựng được các phương trình mô hình cho các phép đo pha sóng mang:

$$F(X) = F(X_A, Y_A, Z_A) = (\phi_A^i \times \lambda + \tau_{trop_A^i} + c. \delta T_A + N_A^i \times \lambda + \varepsilon_\phi^i) - (\phi_A^j \times \lambda + \tau_{trop_A^j} + c. \delta T_A + N_A^j \times \lambda + \varepsilon_\phi^j) - \Delta\rho_A^{ij} = 0 \quad (11)$$

$$\Rightarrow F(X) = F(X_A, Y_A, Z_A) = (\phi_A^i - \phi_A^j) * \lambda + (\tau_{trop_A^i} - \tau_{trop_A^j}) * \lambda + (N_A^i - N_A^j) * \lambda + (\varepsilon_\phi^i - \varepsilon_\phi^j) - \Delta\rho_A^{ij} = 0$$

Các phép đo ϕ_A^i, ϕ_A^j và các tham số (X_A, Y_A, Z_A) . Ma trận đạo hàm riêng cho các phép đo trong phương trình (11) là:

$$A_{ij}^n = \left[\left(\frac{dF(X)}{dX_i} \quad \frac{dF(X)}{dY_i} \quad \frac{dF(Z)}{dZ_i} \right) - \left(\frac{dF(X)}{dX_j} \quad \frac{dF(X)}{dY_j} \quad \frac{dF(Z)}{dZ_j} \right) \right] \quad (12)$$

Trong đó, n là số phép đo.

Giải pháp tọa độ Locata thu được từ quy trình LSE lặp đi lặp lại sử dụng các phương trình (6 - 9). Số lượng phép đo tối thiểu là 3 hoặc 4 phép đo từ 3 hoặc 4 LocataLite khác nhau cho giải pháp xác định tọa độ 2D hoặc 3D [8]. Áp dụng phương trình (12) vào phương trình (8) để tạo ra vectơ trạng thái mới được ước lượng (\hat{x}). Cần có một quá trình lặp đi lặp lại để đảm bảo sự hội tụ của \hat{x} đến một giới hạn yêu cầu cụ thể của bài toán.

Trong trường hợp cụ thể, nhóm tác giả đã xây dựng mô hình mô phỏng để xác định tọa độ 2D trên mặt phẳng của một máy thu nên đã sử dụng 3 máy phát đặt ở các vị trí có tọa độ xác định trước. Kết quả mô phỏng cụ thể được thể hiện trong phần tiếp theo.

4. KẾT QUẢ THỬ NGHIỆM

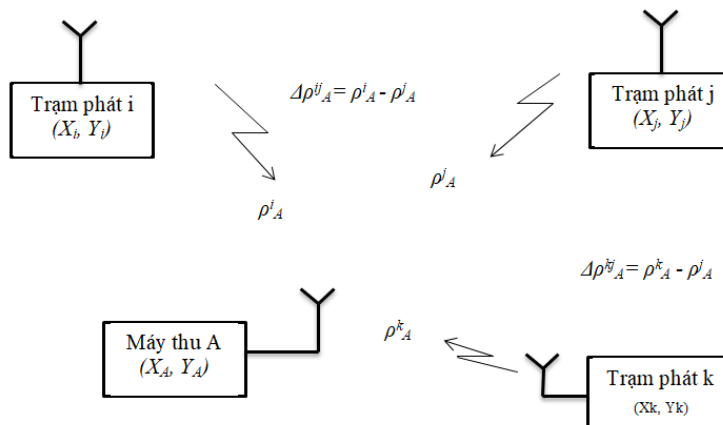
Để tiến hành thử nghiệm hệ thống định vị mặt đất mô phỏng cho 3 máy phát và 1 máy thu ta thiết lập hệ thống mô phỏng như trong hình 2. Tọa độ của các máy phát được xác định bằng máy thu định vị độ chính xác cao (RTK sử dụng tín hiệu trạm CORS quốc gia). Ba máy phát được đồng bộ với nhau theo quy trình TimeLoc. Máy thu sẽ thu tín hiệu từ các máy phát và tính khoảng cách đến các máy phát theo trị đo pha (ρ_A^i, ρ_A^j và ρ_A^k) theo biểu thức (1). Áp dụng quy trình LSE theo các công thức (6-9) để xác định các vector trạng thái ước lượng. Từ đó, lập được hệ hai phương trình các sai phân đơn trị đo pha $\Delta\rho_A^{ij}$ và $\Delta\rho_A^{kj}$, giải hệ phương trình để xác định tọa độ (X_A, Y_A) của máy thu.

Quá trình mô phỏng nhận các tham số đầu vào là tọa độ vị trí của các ăng ten phát lần lượt là: (X_i, Y_i) = (21.043456702367518, 105.82512376161247);

$$(X_j, Y_j) = (21.057872801189617, 105.82959567355232);$$

$$(X_k, Y_k) = (21.07200952130541, 105.81689879701266).$$

Áp dụng quy trình LSE để tính toán ước lượng các véc tơ trạng thái, tính các giả cự ly và lập hệ phương trình tính toán tọa độ của máy thu. Mô phỏng tọa độ của máy thu trong hai trường hợp, khi máy thu đứng yên và khi máy thu di chuyển với vận tốc 36km/h. Tần số cập nhật của máy thu và máy phát là 10 Hz. Trong quá trình mô phỏng ta giả định các trạm phát và máy thu bố trí quanh bờ Hồ Tây, nhìn trực tiếp nhau nên có thể bỏ qua các nguồn lỗi như đa đường, tán xạ,...



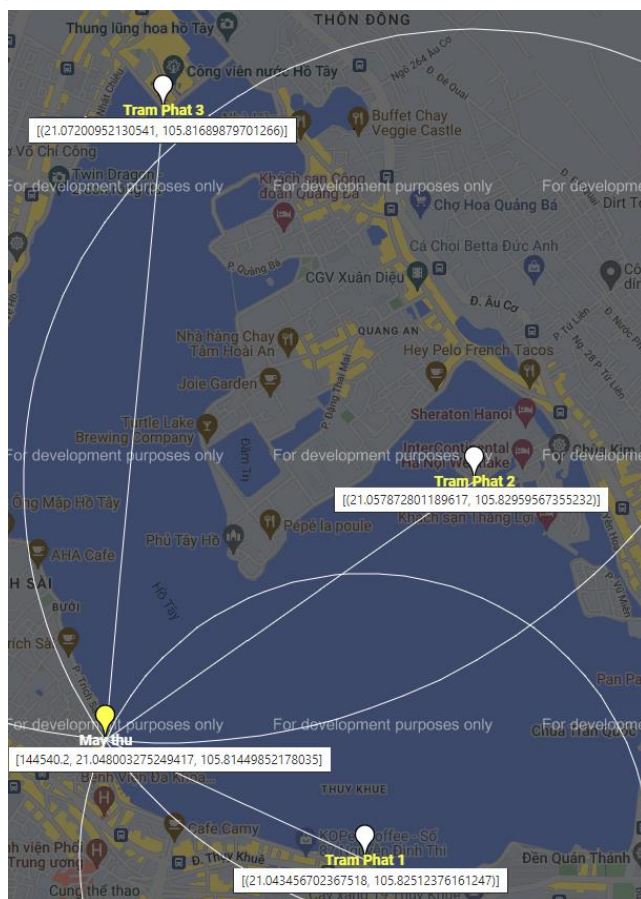
Hình 2. Cấu hình kiểm thử hệ thống mô phỏng tín hiệu định vị mặt đất.

Trên nền bản đồ, khi di chuột tới vị trí các máy phát sẽ hiện thị tọa độ cụ thể chính xác của các ăng ten phát, tại vị trí máy thu sẽ hiển thị thời gian nhận tín hiệu và tọa độ máy thu

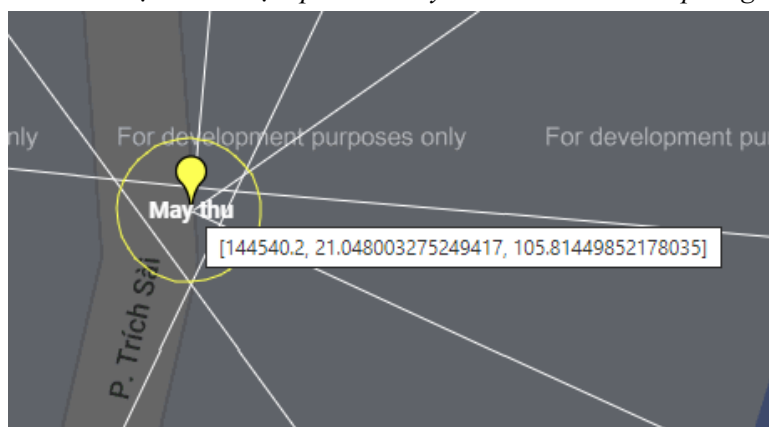
Nghiên cứu khoa học công nghệ

vào thời điểm nhận được tín hiệu. Trong hình 3, vị trí máy thu vào thời điểm 14 giờ 45 phút 40,2 giây là $(X_A, Y_A) = (21.048003275249417, 105.81449852178035)$.

Trong hình 4, xác định tọa độ máy thu ước tính di chuyển trong vòng tròn bán kính 2m, tức là sai số định vị là 2 m.



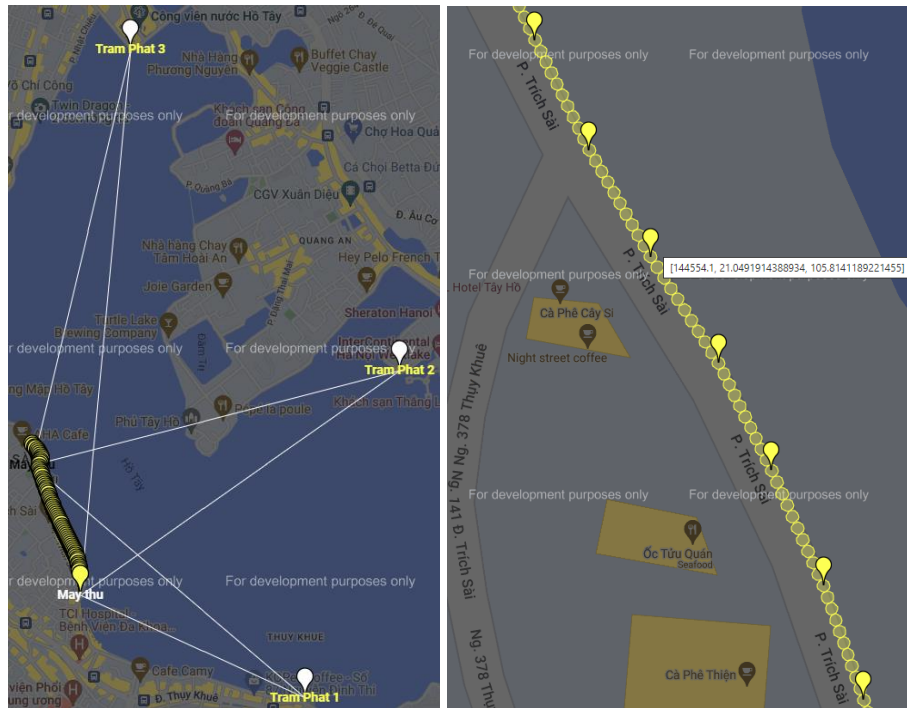
Hình 3. Vị trí các trạm phát và máy thu trên bản đồ mô phỏng.



Hình 4. Sai số định vị máy thu.

Đối với trường hợp máy thu di chuyển, vị trí máy thu sẽ được cập nhật sau mỗi 0,1 giây. Để thuận tiện cho quá trình kiểm tra đánh giá, trong quá trình mô phỏng sẽ tiến hành đánh dấu vị trí máy thu sau mỗi 1 giây.

Tiến hành thống kê thời gian và tọa độ của máy thu tại một số điểm mốc, từ đây tính vận tốc di chuyển của máy thu giữa hai điểm mốc liền kề nhau và đánh giá kết quả định vị khi máy thu di chuyển. Kết quả đánh giá sai số khi máy thu di chuyển được thể hiện trên bảng 1.



Hình 5. Tọa độ máy thu khi di chuyển.

Bảng 1. Kết quả đánh giá sai số khi máy thu di chuyển.

Thời gian, s	Tọa độ, (vĩ độ, kinh độ)	Khoảng cách, m	Vận tốc, m/s	Sai số, %
45°41,1	21.04808438058116, 105.81449309030705			
45°42,1	21.04817199431317, 105.81448370257536	9.801	9.801	2
45°45,1	21.04843671263597, 105.81441865900547	30.233	10,078	0,78
45°58,1	21.04951122639426, 105.81394256690288	129.438	9,957	0,43
46,10,1	21.05048247502487, 105.81343898216056	120.112	10,109	1,1
46°25,1	21.05173657793096, 105.81291058698442	151.011	10,067	0,67
46°45,1	21.05342184028768, 105.81248277464643	192.795	10,147	1,47

Như vậy, khi máy thu di chuyển trong tầm nhìn thẳng của các trạm phát với khoảng cách dưới 5 km, tần số cập nhật là 10 Hz, ta thu được sai số trong xác định vận tốc di chuyển của máy thu là khoảng 2%.

5. KẾT LUẬN

Bài báo đã trình bày một phương pháp xây dựng hệ thống định vị mặt đất phạm vi hẹp, hoạt động độc lập hoàn toàn với các hệ thống định vị vệ tinh. Phương pháp này cho độ chính xác cao

đặc biệt với giá thành rẻ khi không cần sử dụng đến đồng hồ nguyên tử để đồng bộ thời gian cho các trạm phát. Vấn đề khó nhất là đồng bộ thời gian trong hệ thống thì hoàn toàn có thể xử lý được khi ứng dụng quy trình đồng bộ hai chiều tương tự như quy trình TimeLoc của Locata đã phân tích ở trên. Sự khác nhau ở đây là chi tiết về TimeLoc là bí quyết của Locata cho khả năng đồng bộ cỡ nano giây với độ chính xác vài cm. Nhưng nếu thực hiện đồng bộ ở mức độ micro giây và độ chính xác cỡ vài mét thì hoàn toàn có thể thực hiện được. Đây là một hướng mới nhằm phục vụ nghiên cứu phát triển một hệ thống định vị mặt đất hoạt động hoàn toàn độc lập với các hệ thống định vị vệ tinh.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. F. Dovis, "GNSS Interference Threats and Countermeasures". Norwood, MA, USA: Artech House, (2015).
- [2]. <https://en.wikipedia.org/wiki/Pseudolite>.
- [3]. Nunzio Gambale & Jimmy LaMance. "TimeLoc - A new Ultra-Precise Synchronization Technology." PNT Advisory Board Meeting, (2015).
- [4]. Barnes, J., C. Rizos, Jinling Wang, D. Small, G. Voigt and N. Gambale. "Locata: the positioning technology of the future?" (2003).
- [5]. Choudhury, Mohammad Mazher-ul Alam. "Analysing Locata positioning technology for slow structural displacement monitoring application." Surveying & Spatial Information Systems, The University of New South Wales, (2012).
- [6]. Strang, G., & Borre, K. "Linear Algebra, Geodesy, and GPS". Wellesley Cambridge Press, Wellesley, MA, USA, (1997).
- [7]. Harvey, B.R. "Practical Least Squares and Statistics for Land Surveyors". School of Surveying & Spatial Information Systems, Monograph 13, The University of New South Wales, Sydney, Australia, (2006).
- [8]. Barnes, J., Rizos, C., Wang, J., Small, D., Voight, G., & Gambale, N. "LocataNet: A new positioning technology for high precision indoor and outdoor positioning". 16th Int. Tech. Meeting of the Satellite Division of the U.S. Institute of Navigation, Portland, Oregon, USA, 1119-1128, (2003).

ABSTRACT

Proposed narrow-range ground navigation system working independently of global navigation satellite systems

In recent years, global navigation satellite systems (GNSSs) have played an increasingly important role in all aspects of life, especially in the field of national defense and security. However, due to weak signal characteristics and simple data structure, satellite navigation signals are prone to attenuation, interference, and even spoofing attacks, making the application of satellite navigation in particular environments such as defense-security become less effective. Therefore, the research and development of a ground-based navigation system capable of operating completely independently of satellite navigation systems is essential to overcome the above disadvantages. Such system is aimed at locating and guide vehicles, equipment and weapons in military operations in proximate regions. In this paper, we propose to build a ground navigation system with a time synchronization mechanism between transmitters and receivers similar to the existing Locata system. Simulation results for a limited scenario show that local positioning is completely feasible and can be developed for a real-life system.

Keywords: Satellite positioning; Ground positioning; TimeLoc process.