

## Nghiên cứu mô hình kết hợp INS/Odometer phát hiện điểm giả mạo trong tọa độ dẫn đường

Nguyễn Trọng Khuyên\*

Viện Tự động hóa Kỹ thuật quân sự, Viện Khoa học và Công nghệ quân sự, 89B Lý Nam Đế, Cửa Đông, Hoàn Kiếm, Hà Nội, Việt Nam.

\*Email: nguyentk126@gmail.com

Nhận bài: 22/01/2024; Hoàn thiện: 04/3/2024; Chấp nhận đăng: 14/3/2024; Xuất bản: 01/4/2024.

DOI: <https://doi.org/10.54939/1859-1043.j.mst.CAPITI.2024.82-88>

### TÓM TẮT

*Bài báo trình bày một phương pháp mới phát hiện điểm giả mạo trong tọa độ dẫn đường vệ tinh (GNSS) dựa trên việc kết hợp với mô hình INS/Odometer. Tọa độ dẫn đường trả về từ mô hình INS/Odometer và đầu thu tín hiệu GNSS được so sánh với nhau để đưa ra kết luận về điểm giả mạo. Trong bài báo này, tác giả đưa ra mô hình kết hợp INS/Odometer sử dụng bộ lọc Kalman 18 trạng thái; thuật toán phát hiện điểm giả mạo; phương pháp kết hợp GNSS với INS/Odometer để sửa tọa độ sai. Với mô hình INS/Odometer cho phép ước lượng chính xác các tham số dẫn đường. Tọa độ dẫn đường từ mô hình kết hợp INS/Odometer được so sánh với tọa độ thu được từ thiết bị thu vệ tinh để từ đó phát hiện ra điểm giả mạo trong tọa độ GNSS. Các thử nghiệm chứng minh tính đúng đắn của thuật toán đề xuất.*

**Từ khóa:** INS; Odometer; GNSS; Bộ lọc Kalman.

### 1. ĐẶT VẤN ĐỀ

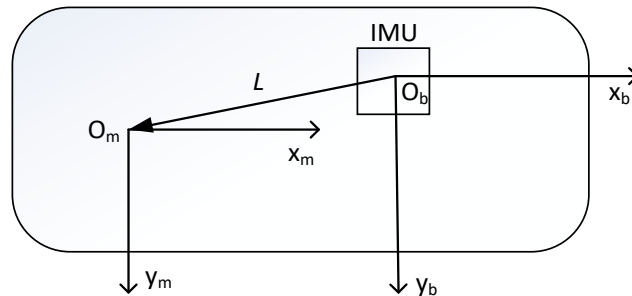
Đối với phần lớn các ứng dụng dân sự, hệ thống định vị toàn cầu bằng vệ tinh đáp ứng được các yêu cầu cơ bản như định vị, dẫn đường, xác định tốc độ di chuyển của phương tiện [1]. Ưu điểm của hệ thống dẫn đường GNSS là dễ triển khai, chi phí rẻ, khu vực bao phủ lớn. Tuy nhiên, hệ thống này thường có tốc độ cập nhật thấp, có thể mất tín hiệu do địa hình, thời tiết, nhiễu. Trong các hoạt động quân sự, các tín hiệu GNSS có thể bị gây nhiễu chủ động, hoặc được thiết kế để đánh lừa máy thu, dẫn đến các tính toán sai khi đưa ra tham số dẫn đường, thay vì thu được tọa độ chuẩn, trên máy thu GNSS nhận được các tọa độ giả mạo. Việc phát hiện tọa độ giả mạo có ý nghĩa rất lớn không chỉ trong quân sự. Đối với các ứng dụng dân sự như xe tự lái, máy bay không người lái, rõ ràng, tọa độ giả mạo làm cho dẫn đường sai, từ đó có thể gây mất an toàn và tổn thất rất lớn. Kỹ thuật phát hiện tọa độ giả mạo có thể thực hiện bằng phần cứng, dựa trên các cải tiến của bộ thu vệ tinh, xử lý trực tiếp tín hiệu GNSS [2, 3]. Việc phát hiện điểm giả mạo cũng có thể thực hiện bằng xử lý phần mềm. Trong công trình [4], nhóm tác giả đề xuất phương pháp học máy có giám sát để phát hiện tín hiệu GPS giả mạo. Cũng liên quan đến tọa độ giả mạo, trong công trình [5] nhóm tác giả đưa ra giải pháp phát hiện điểm giả mạo GPS dựa trên giao thức điều khiển mạng (ICMP) và bản đồ IP của thiết bị sử dụng.

Trong bài báo này, tác giả đề xuất sử dụng mô hình kết hợp INS/Odometer để phát hiện điểm giả mạo trong tọa độ dẫn đường GNSS. Như đã biết, hệ thống dẫn đường quán tính (INS) như một giải pháp để loại bỏ các yếu tố gây nhiễu của môi trường. Có nhiều nghiên cứu về thuật toán dẫn đường quán tính để nâng cao độ chính xác. Trong nước, có thể kể đến công trình [6] của nhóm tác giả Phạm Văn Phúc, Nguyễn Quang Vịnh, Nguyễn Đức Ánh. Trong nghiên cứu này, nhóm kết hợp thiết bị đo vận tốc doppler với thiết bị dẫn đường quán tính để xác định vị trí cho phương tiện ngầm, bộ lọc Kalman được sử dụng để hiệu chỉnh sai số tính toán. Ở ngoài nước, một số thuật toán dẫn đường quán tính có thể tham khảo trong [7]. Trong công trình [8], nhóm tác giả đưa ra phương pháp nâng cao độ chính xác dẫn đường quán tính bằng cách kết hợp cảm biến doppler, và các thuật toán GA (genetic algorithm), SVR (support vector regression).

Trong phương pháp đề xuất, tọa độ thu được từ mô hình INS/Odometer được đem so sánh với tọa độ GNSS để phát hiện giả mạo. Bộ lọc Kalman được sử dụng để tăng độ chính xác các tham số ước lượng. Các nội dung trình bày trong bài báo bao gồm: Mô hình kết hợp INS/Odometer sử dụng bộ lọc Kalman 18 trạng thái; kết hợp mô hình INS/Odometer để phát hiện điểm giả mạo trong tọa độ GNSS; phương pháp sửa tọa độ sai; các kết quả thử nghiệm. Kết quả thu được khẳng định tính đúng đắn của giải pháp đề xuất.

## 2. MÔ HÌNH KẾT HỢP INS/ODOMETER

Chọn hệ tọa độ NED (North East Down) là hệ tọa độ dẫn đường, kí hiệu  $Ox_n Y_n Z_n$  (n-frame). Hệ tọa độ  $O_m X_m Y_m Z_m$  (m-frame) gắn với xe, có gốc đặt tại tâm xe. Hệ tọa độ liên kết gắn với khối đo lường quán tính (Inertial Measurement Unit - IMU)  $O_b X_b Y_b Z_b$  (b-frame). Các góc tư thế của xe là góc nghiêng (roll  $\varphi$ ), góc chúc (pitch  $\theta$ ) và góc hướng (heading  $\psi$ ). Bố trí IMU và Odometer trên xe được minh họa như trong hình 1. Trong đó,  $O_m$  là tâm xe, Odometer đặt tại trục không dẫn động của xe,  $O_b$  – tâm IMU,  $L$  là khoảng cách từ tâm xe đến tâm IMU.



**Hình 1.** Bố trí thiết bị INS và Odometer trên đối tượng xe cơ giới.

Cảm biến đo quãng đường Odometer trả về giá trị quãng đường di chuyển dựa trên bộ đếm tích lũy xung. Chiều dài quãng đường và giá trị vận tốc được xác định trong (1):

$$\begin{aligned} S &= K_{OD} \cdot N \\ v &= \dot{S} = \Delta S / \Delta t = K_{OD} \Delta N / \Delta t \end{aligned} \quad (1)$$

Trong đó:  $S$  là quãng đường di chuyển;  $K_{OD}$  là hệ số tỷ lệ của Odometer;  $N$  là số xung đầu ra;  $\Delta S$  là gia số quãng đường trong khoảng thời gian lấy mẫu  $\Delta t$ . Trong điều kiện hoạt động bình thường, phương tiện chỉ chuyển động theo trục dọc phương tiện (trục  $x$ ), vận tốc theo thành phần ngang và đứng (trục  $y, z$ ) bằng 0. Khi đó, vận tốc đo lường của xe (xác định tại tâm xe):

$$v_{OD}^m = [\dot{S} \ 0 \ 0]^T = [v \ 0 \ 0]^T \quad (2)$$

Khi xác định hệ số tỉ lệ của odometer luôn tồn tại sai số  $\delta k$ , khi đó, vận tốc đo được mô tả bởi công thức:

$$\hat{v}_{OD} = [1 + \delta k] v_{OD} \quad (3)$$

Trong đó:  $v_{OD}$  - Vận tốc của phương tiện xác định bởi odometer,  $\hat{v}_{OD}$  - Vận tốc thật của phương tiện. Khi lắp đặt, giữa cảm biến IMU và xe sẽ luôn tồn tại các góc lệch theo ba trục (roll, pitch, yaw)  $\delta\alpha = (\delta\alpha_r \ \delta\alpha_p \ \delta\alpha_y)^T$ . Sau bước căn chỉnh, các góc lệch này trở nên nhỏ, khi đó, ta có thể biểu diễn ma trận chuyển từ hệ tọa độ liên kết sang hệ tọa độ xe [9]:

$$C_b^m = I - (\delta\alpha \times) \quad (4)$$

Trong đó:  $I$  - Ma trận đơn vị bậc 3;  $(\delta\alpha \times)$  - Skew-symmetrix matrix sinh bởi véc tơ  $\delta\alpha$ . Vận tốc tính được trong hệ dẫn đường và vận tốc tại tâm xe được liên hệ bởi:

$$\mathbf{v}_{OD}^m = \mathbf{C}_b^m (\mathbf{C}_n^b \mathbf{v}^n + \boldsymbol{\omega}_{eb}^b \times \mathbf{l}^b) \quad (5)$$

Trong đó:  $\mathbf{v}_{OD}^m$  - Vận tốc biểu diễn trong hệ tọa độ gắn với IMU;  $\mathbf{v}^n$  - Vận tốc phương tiện tại tâm đặt IMU, biểu diễn trong hệ tọa độ dẫn đường;  $\boldsymbol{\omega}_{eb}^b$  - Vận tốc quay của phương tiện so với trái đất, biểu diễn trong hệ tọa độ liên kết;  $\mathbf{l}_{OD}^b$  - Véc tơ nối tâm IMU với tâm xe, biểu diễn trong hệ tọa độ liên kết.

Khi tính đến sai số đo, phương trình (5) được viết lại:

$$\hat{\mathbf{v}}_{O_m}^m = \mathbf{C}_b^m (\hat{\mathbf{C}}_n^b \hat{\mathbf{v}}^n + \hat{\boldsymbol{\omega}}_{eb}^b \times \mathbf{l}^b) \quad (6)$$

Trong đó:  $\hat{\mathbf{C}}_n^b = \mathbf{C}_n^b (I + \delta\boldsymbol{\phi} \times)$  với  $\delta\boldsymbol{\phi}$  - sai số góc tư thế;  $\hat{\mathbf{v}}^n = \mathbf{v}^n + \delta\mathbf{v}^n$ ;

$$\hat{\boldsymbol{\omega}}_{eb}^b = \hat{\boldsymbol{\omega}}_{ib}^b - \hat{\mathbf{C}}_n^b \hat{\boldsymbol{\omega}}_{ie}^n = \boldsymbol{\omega}_{ib}^b + \delta\mathbf{b}_{gyro} - \mathbf{C}_n^b (I + \delta\boldsymbol{\phi} \times) (\boldsymbol{\omega}_{ie}^n + \delta\boldsymbol{\omega}_{ie}^n);$$

Đặt:  $Z = \hat{\mathbf{v}}_{OD}^m - \hat{\mathbf{v}}_{O_m}^m = [1 + \delta k] \mathbf{v}_{OD} - \mathbf{C}_b^m (\hat{\mathbf{C}}_n^b \hat{\mathbf{v}}^n + \hat{\boldsymbol{\omega}}_{eb}^b \times \mathbf{l}^b)$  - Véc tơ đo lường. Sau khi biến đổi:

$$Z = \mathbf{H}_\phi \delta\boldsymbol{\phi} + \mathbf{H}_v \delta\mathbf{v}_{sins}^n + \mathbf{H}_\alpha \delta\boldsymbol{\alpha}_1 \quad (7)$$

$$\text{Trong đó: } \mathbf{H}_\phi = \mathbf{C}_n^p (\mathbf{v}^n \times); \mathbf{H}_v = -\mathbf{C}_n^p; \mathbf{H}_\alpha = \begin{pmatrix} v_{OD} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & v_{OD} \\ 0 & -v_{OD} & 0 \end{pmatrix}$$

Trong mô hình kết hợp INS/Odometer, phương trình động học mô tả góc tư thế, vận tốc, vị trí được xác định bởi [7]. Các phương trình này cho phép thực hiện tính toán trong khối INS.

$$\dot{\mathbf{C}}_n^b = \mathbf{C}_n^b (\boldsymbol{\omega}_{nb}^b \times), \boldsymbol{\omega}_{nb}^b = \boldsymbol{\omega}_{ib}^b - \delta\mathbf{b}_{gyro} - \mathbf{C}_n^b \boldsymbol{\omega}_{in}^n \quad (8)$$

$$\dot{\mathbf{v}}^n = \mathbf{C}_n^b (\mathbf{f}^b - \delta\mathbf{b}_{acc}) - (2\boldsymbol{\omega}_{ie}^n + \boldsymbol{\omega}_{en}^n) \times \mathbf{v}^n + \mathbf{g}^n \quad (9)$$

$$\dot{\mathbf{r}}^n = \mathbf{v}^n \quad (10)$$

Với  $\mathbf{f}^b$  - Gia tốc trả về bởi IMU;  $\mathbf{r}^n$  - Tọa độ của IMU trong hệ dẫn đường;  $(\boldsymbol{\omega}_{nb}^b \times)$  - Skew symmetrix matrix sinh bởi véc tơ  $\boldsymbol{\omega}_{nb}^b$ . Đặt véc tơ trạng thái  $\mathbf{X}(t) = [\delta\mathbf{r}^T \quad \delta\mathbf{v}^{nT} \quad \delta\boldsymbol{\phi}^{nT} \quad \delta\mathbf{b}_{gyro}^T \quad \delta\mathbf{b}_{acc}^T \quad \delta\boldsymbol{\alpha}_1^T]^T$ , trong đó:  $\delta\boldsymbol{\alpha}_1 = (\delta k \quad \delta\alpha_y \quad \delta\alpha_p)^T$ . Với giả thiết các thành phần sai số của gyro, gia tốc kế và  $\delta\boldsymbol{\alpha}_1$  là hằng số khi đó:  $\delta\dot{\mathbf{b}}_{gyr} = 0$ ;  $\delta\dot{\mathbf{b}}_{acc} = 0$ ;  $\delta\dot{\boldsymbol{\alpha}}_1 = 0$ . Các thành phần đạo hàm  $\delta\dot{\mathbf{r}}^T$ ,  $\delta\dot{\mathbf{v}}^{nT}$ ,  $\delta\dot{\boldsymbol{\phi}}^{nT}$  có thể xem trong [10, 11]. Hệ phương trình trạng thái và phương trình đo lường được xác định:

$$\begin{aligned} \dot{\mathbf{X}}(t) &= \mathbf{F}(t) \mathbf{X}(t) + \mathbf{G}(t) \mathbf{w}(t) \\ \mathbf{Z}(t) &= \mathbf{H}(t) \mathbf{X}(t) + \boldsymbol{\zeta}(t) \end{aligned} \quad (11)$$

$\mathbf{F}(t)$  là ma trận động học hệ thống,  $\mathbf{G}(t)$  là ma trận hệ số nhiễu,  $\mathbf{w}(t) \sim (0, \mathcal{Q})$  - nhiễu quá trình,  $\boldsymbol{\zeta} \sim N(0, \mathbf{R})$ ,  $\mathbf{R} = \text{diag}[\sigma_x^2, \sigma_y^2, \sigma_z^2]$ , là nhiễu đo lường,  $\mathbf{H} = (\mathbf{H}_{\phi 3 \times 3} \quad \mathbf{H}_{v 3 \times 3} \quad \mathbf{H}_{\alpha 3 \times 3})$ .

Vi số liệu đầu ra của IMU là rời rạc, với chu kỳ cập nhật là  $\Delta t$ . Phương trình trạng thái và phương trình đo lường được biểu diễn trên miền rời rạc:

$$\begin{aligned} \mathbf{X}_k &= \Phi_{k,k-1} \mathbf{X}_{k-1} + \mathbf{W}_k \\ \mathbf{Z}_k &= \mathbf{H}_k \mathbf{X}_{k-1} + \boldsymbol{\zeta}_k \end{aligned} \quad (12)$$

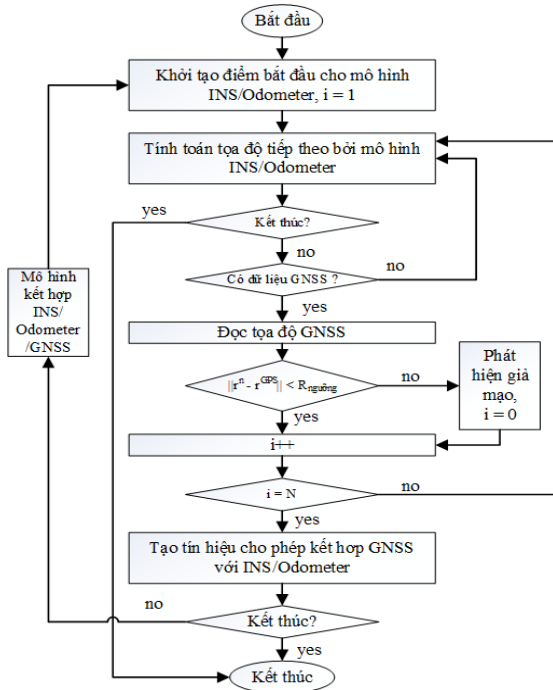
Trong đó:

$$\begin{aligned} \Phi_{k,k-1} &= \exp(\mathbf{F}_{k-1}\Delta t) \approx \mathbf{I} + \mathbf{F}_{k-1}\Delta t \\ \mathbf{W}_k &\sim N(0, \mathbf{Q}_k), \mathbf{Q}_k = \mathbf{G}\mathbf{Q}\mathbf{G}^T\Delta t \\ \zeta_k &\sim N(0, \mathbf{R}_k) \end{aligned} \quad (13)$$

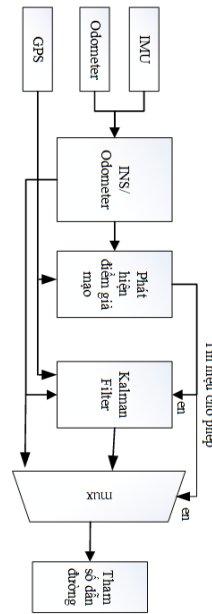
Từ các phương trình trên ta có thể thực thi bộ lọc Kalman mở rộng với nguồn dữ liệu đầu vào từ IMU và thông tin đo lường được lấy từ cảm biến đo quãng đường.

### 3. PHÁT HIỆN VÀ SỬA TỌA ĐỘ GIẢ MẠO TRONG GNSS

Với mô hình kết hợp INS/Odometer, xác định được tọa độ dẫn đường, vận tốc và các góc tư thế. Đặt:  $\mathbf{r}^n = [x^n \ y^n \ z^n]^T$ ,  $\mathbf{v}^n = [v_x^n \ v_y^n \ v_z^n]^T$ . Tọa độ trả về bởi đầu đọc GNSS sau khi quy đổi sang hệ tọa độ NED là:  $\mathbf{r}^{GNSS} = [x^{GNSS} \ y^{GNSS} \ z^{GNSS}]^T$ . Nếu sai lệch giữa véc tơ  $\mathbf{r}^n$  và véc tơ  $\mathbf{r}^{GNSS}$  lớn hơn ngưỡng giới hạn thì đi đến kết luận rằng, tọa độ GNSS là giả mạo. Thuật toán phát hiện điểm giả mạo được mô tả như trong hình 2.



Hình 2. Thuật toán phát hiện điểm giả mạo GNSS.



Hình 3. Mô hình kết hợp INS/Odometer/GNSS sửa tọa độ giả mạo.

Để sửa tọa độ giả mạo trong dẫn đường GNSS, ta sử dụng mô hình kết hợp GNSS/INS/Odometer (hình 3). Bộ lọc Kalman 6 trạng thái được sử dụng để kết hợp tọa độ GNSS với tọa độ INS/Odometer. Đặt  $\mathbf{X} = [\mathbf{r}^n \ \dot{\mathbf{r}}^n]^T = [x^n \ y^n \ z^n \ v_x^n \ v_y^n \ v_z^n]^T$  - véc tơ trạng thái bộ lọc Kalman,  $\mathbf{Z} = [x^{gps} \ y^{gps} \ z^{gps} \ v_x^{gps} \ v_y^{gps} \ v_z^{gps}]^T$  - véc tơ đo lường. Từ [12]:

$$\begin{bmatrix} \dot{\mathbf{r}}^n \\ \dot{\mathbf{v}}^n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \mathbf{v}^n \\ \mathbf{C}_b^n \mathbf{f}^b - 2\mathbf{C}_e^n \mathbf{\Omega}_{ie}^e \mathbf{C}_n^e \mathbf{v}^n + \mathbf{g}^n \end{bmatrix} \quad (14)$$

Trong đó:  $C_b^n$  - Ma trận chuyển từ tọa độ liên kết sang tọa độ dẫn đường,  $C_e^n$  - Ma trận chuyển từ tọa độ trái đất sang tọa độ dẫn đường,  $\Omega_{ie}^e$  - Skew-symmetric matrix sinh bởi véc tơ  $\omega_{ie}^e$  - Vận tốc quay của trái đất trong hệ quy chiếu quán tính. Phương trình mô tả trạng thái và phương trình đo lường:

$$\dot{X} = f(X(t), u(t)) + w(t); Z = HX + v(t) \quad (15)$$

Với ma trận  $H = I_{6 \times 6}$ ,  $w(t)$  - Xác định bởi sai số phép đo gia tốc,  $v(t)$  - Xác định bởi sai số phép đo tọa độ và vận tốc bởi thiết bị GNSS, Từ (16) áp dụng bộ lọc Kalman mở rộng [13] để ước lượng tham số dẫn đường, với chu kỳ cập nhật bằng  $N$  lần chu kỳ cập nhật của GNSS.

Khi phát hiện điểm giả mạo, hệ thống dẫn đường ngắt ra khỏi tín hiệu GNSS, tọa độ dẫn đường lúc này được xác định bằng các thông tin nội bộ, hệ thống hoạt động tự trị theo mô hình INS/Odometer, không chịu ảnh hưởng của các tác nhân gây nhiễu GNSS.

#### 4. THỬ NGHIỆM VÀ KẾT QUẢ

Để thử nghiệm, sử dụng IMU500 với độ trôi gyro  $0.1^\circ/h$ , nhiễu  $0.007^\circ/\sqrt{h}$ , độ trôi gia tốc kế  $0.5 \text{ mg}$ , nhiễu  $20 \text{ ug}$ , odometer 1024 xung/vòng, hệ số  $K_{OD} = 0.324 \text{ cm/xung}$ , thiết bị thu GPS VP88U với sai số định vị tọa độ là  $2.5 \text{ m}$ . Trước hết đánh giá sai số dẫn đường của mô hình INS/Odometer. Kết quả thử nghiệm chỉ ra trên bảng 1, với quãng đường di chuyển  $3010 \text{ m}$ .

**Bảng 1.** Kết quả chạy thử nghiệm xác định sai số dẫn đường.

Lần thử nghiệm	Tọa độ điểm chuẩn	Tọa độ đo được khi về đích	Sai lệch vị trí (m)
1	(21.0320651, 105.8444851)	(21.0320981, 105.8445207)	5.1
2	(21.0320651, 105.8444851)	(21.0321175, 105.8445328)	7.5
3	(21.0320651, 105.8444851)	(21.0320971, 105.8444336)	6.4
4	(21.0320651, 105.8444851)	(21.0320183, 105.8445013)	5.5
Sai số RMS			6.32
Sai số tương đối			0.21%

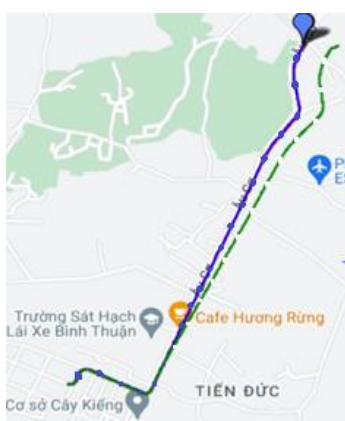
**Bảng 2.** So sánh sai số dẫn đường với một số thiết bị đã có trên thị trường.

BSP-GL-VG109	BIN32.061	INS/ODOMETER
0.1%	0.25%	0.21%

Sai số này là chấp nhận được khi so sánh với một số thiết bị đã có trên thị trường như BSP-GL-VG109 (0.1%), BIN32.061 (0.25%). Tiếp theo, so sánh mô hình kết hợp INS/Odometer với mô hình INS, tọa độ GNSS dùng làm tham chiếu (hình 4). Có thể thấy quỹ đạo dẫn đường INS/Odometer (đường nét liền chấm) bám sát quỹ đạo GNSS (đường nét liền), trên hình 4 hai đường này gần như trùng nhau. Trong khi đó, quỹ đạo INS (đường nét đứt) thì lệch dần so với quỹ đạo GNSS. Sau 6 phút, sai lệch tọa độ GNSS so với INS/Odometer là  $3.1 \text{ m}$ , trong khi đó, so với INS là  $72 \text{ m}$ .

Đối với kịch bản cho trường hợp phát hiện giả mạo, ta sử dụng bộ dữ liệu thu thập cho cung đường Lý Nam Đế, Trần Phú, Điện Biên Phủ, Dinh Độc Lập, Hoàng Văn Thụ, Hùng Vương, Quán Thánh (đường nét liền, hình 5, 6). Trong kịch bản này, trên một phần cung đường từ điểm A đến điểm B đi qua Điện Biên Phủ, Dinh Độc Lập, Hoàng Văn Thụ, Hùng Vương, tọa độ GNSS thực bị thay thế bằng dữ liệu giả mạo (đường nét đứt, hình 5, 6). Đầu tiên, áp dụng mô hình

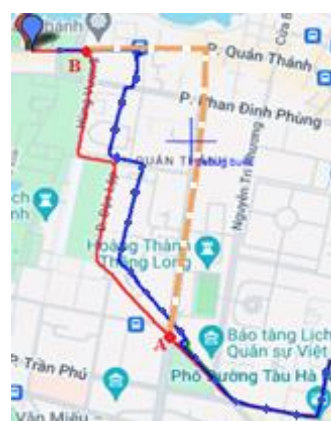
INS/Odometer để phát hiện điểm giả mạo với ngưỡng  $R = 10$  m. Tọa độ dẫn đường của hệ INS/Odometer/GNSS được biểu diễn bằng đường nét liền chấm (hình 5). Trên phần cung đường từ điểm A đến điểm B, hệ thống phát hiện tọa độ giả mạo GNSS, lúc này tọa độ dẫn đường của hệ thống bỏ qua dữ liệu GNSS, nó chỉ dựa trên mô hình INS/Odometer. Có thể thấy, mặc dù tọa độ GNSS bị giả mạo từ điểm A đến điểm B, tọa độ trả về từ hệ thống vẫn bám sát cung đường di chuyển thực tế (đường nét liền). Độ chính xác của INS/Odometer quyết định chất lượng dẫn đường của cả hệ thống. Trong trường hợp sử dụng mô hình INS để phát hiện và sửa điểm giả mạo (hình 6), do sai số dẫn đường INS lớn, khi chưa đến điểm A, sai lệch giữa tọa độ INS và tọa độ GNSS vượt ngưỡng phát hiện ( $R = 10$  m), tọa độ dẫn đường của hệ (đường nét liền chấm) lúc này được xác định bởi tọa độ INS. Do sai số INS lớn nên trường hợp này tọa độ dẫn đường của hệ thống bị lệch nhiều so với di chuyển thực tế (đường liền nét). Khi sai lệch giữa tọa độ INS và tọa độ GNSS nhỏ hơn ngưỡng  $R$ , tọa độ dẫn đường của hệ thống là tổng hợp của tọa độ GNSS và tọa độ INS.



**Hình 4.** So sánh quỹ đạo GNSS, INS/Odometer, INS.



**Hình 5.** Kết hợp INS/Odometer với GNSS để phát hiện và sửa điểm giả mạo.



**Hình 6.** Kết hợp INS với GNSS để phát hiện và sửa điểm giả mạo.

## 5. KẾT LUẬN

Bài báo giới thiệu thành công một phương pháp phát hiện điểm giả mạo trong tọa độ GNSS. Trong bài báo mô hình kết hợp INS/Odometer được sử dụng làm cơ sở tham chiếu để phát hiện các điểm nghi ngờ trong tọa độ dẫn đường GNSS. Thuật toán sử dụng bộ lọc Kalman được áp dụng để ước lượng và hiệu chỉnh các tham số dẫn đường. Các kết quả thử nghiệm cho thấy mô hình INS/Odometer khắc phục được sai số tích lũy trong thuật toán dẫn đường INS truyền thống, nên có thể lấy làm căn cứ đối chiếu với tọa độ GNSS để từ đó phát hiện chính xác điểm giả mạo, trong trường hợp này tọa độ dẫn đường sẽ được xác định dựa trên tọa độ đưa ra bởi mô hình INS/Odometer. Việc phát hiện điểm giả mạo có ý nghĩa quan trọng trong các ứng dụng quân sự, cũng như dân sự. Nó giúp tăng sự an toàn, giảm thiểu các thiệt hại do dẫn đường sai gây ra. Khi phát hiện điểm giả mạo, hệ thống dẫn đường ngắt ra khỏi tín hiệu GNSS, tọa độ dẫn đường lúc này được xác định bằng các thông tin nội bộ, hệ thống hoạt động tự trị, không chịu ảnh hưởng của các tác nhân gây nhiễu GNSS.

## TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Y. Jade Morton, Frank Van Diggelen, et al, “Position, navigation, and timing technologies in 21st century”, John Wiley & Sons, IEEE press (2021).
- [2]. Gamba M.T., Motella B., Pini M. “Statistical test applied to detect distortions of GNSS signals”, In Proceedings of the International Conference on Localization and GNSS, pp. 1–6, (2013).

- [3]. Pirsiavash A., Broumandan A., Lachapelle G. "Two dimensional signal quality monitoring for spoofing detection", In Proceedings of the ESA/ESTEC NAVITEC, pp.14–16, (2016).
- [4]. Mohsen Riahi Manesh, Jonathan Kenney, et al, "Detecting GPS spoofing attacks on unmanned aerial systems", 16th Annual IEEE Consumer Communications and Networking Conference ( 2019).
- [5]. Yu-Heng Chang, Yan-Ling Hwang, Chih-Wen Ou, "GPS Spoofing Defender: A Server-Side Solution to Detect Fake GPS", ACCSE 2018 (2018).
- [6]. Phạm Văn Phúc, Nguyễn Quang Vĩnh, Nguyễn Đức Ánh, "Định vị phương tiện ngầm trên cơ sở kết hợp thiết bị dẫn đường quán tính và thiết bị đo vận tốc theo hiệu ứng Doppler", Hội nghị toàn quốc lần thứ 3 về tự động hóa (2015).
- [7]. Xiaoying Kong, "Inertial navigation system algorithms for low cost IMU", Department of mechanical and mechatronic engineering (2000).
- [8]. Bo Wang, Jingyang Liu, Zhihong Deng, Mengyin Fu, "A Model-Free Calibration Method of Inertial Navigation System and Doppler Sensors", IEEE Sensors Journal, Vol. 21, Issue: 2 (2021).
- [9]. Aboelmagd Noureldin, Tashfeen B. Karamat, Jacques Georgy, "Fundamentals of inertial navigation, satellite-based positioning and integration therein", Auflage, Chapter 2, pp. 21-63, (2012).
- [10]. David Titterton, John L. Weston, "Strapdown Inertial Navigation Technology", IET (2004).
- [11]. Groves, Paul, "Principles of GNSS, Inertial, and Multisensor Integrated Navigation Systems", Artech House, pp. 584–590, (2013).
- [12]. Wei M., Schwarz K. P., "A discussion of models for GPS/INS integration", Y. Bock and N. Leppard (Eds.), Global Positioning, Systems: An Overview (1989).
- [13]. VM Moreno, A Pigazo, "Kalman filter: recent advances and applications", Intech (2009).

## ABSTRACT

### Research on INS/Odometer combination model to detect spoofing points in navigation coordinates

*This article presents a new method for detecting spoofing points in satellite navigation coordinates (GNSS) based on combining with the INS/Odometer model. In this article, the author presents a combined INS/Odometer model, using an 18-state Kalman filter; algorithm to detect spoofing points and method to combine GNSS with INS/Odometer to correct wrong coordinates. The INS/Odometer model allows accurate estimation of navigation parameters. Navigation coordinates from the INS/Odometer system are compared with coordinates obtained from the GPS satellite receiver to detect spoofing points in GNSS coordinates. The experiments demonstrate the correctness of the proposed algorithm.*

**Keywords:** INS; Odometer; GNSS; Kalman Filter.