

PHƯƠNG PHÁP PHÁT HIỆN DỊCH CHUYỂN THEO THỜI GIAN THỰC TỬ CHUỖI DỮ LIỆU ĐỊNH VỊ GNSS/RTK TRONG QUAN TRẮC BIỂN DẠNG

Phạm Công Khải

Trường Đại học Mỏ - Địa chất

Nguyễn Văn Hải

Trường Đại học Thủy lợi

Tóm tắt: Việc phát hiện dịch chuyển, trượt lở đất đá theo thời gian thực có một ý nghĩa rất lớn trong việc đưa ra cảnh báo để giảm thiểu những rủi ro tai biến do nó gây ra. Trong thời gian gần đây, công nghệ hệ thống vệ tinh dẫn đường toàn cầu (Global Navigation Satellite System - GNSS) với kỹ thuật đo động xử lý tức thời (Real Time Kinematic – RTK) đã được ứng dụng rất có hiệu quả và rộng rãi trong quan trắc, giám sát dịch chuyển theo thời gian thực. Tuy nhiên do ảnh hưởng của nhiễu khi định vị RTK mà chuỗi dữ liệu quan trắc sẽ xuất hiện những giá trị dị thường, dễ nhầm lẫn với giá trị dịch chuyển, gây khó khăn trong việc phát hiện dịch chuyển. Để giải quyết vấn đề này, chúng tôi sử dụng chuỗi dữ liệu định vị GNSS/RTK, được chiết xuất ra theo định dạng tiêu chuẩn NMEA. Sử dụng hai loại tin nhắn GGA và GST của chuỗi dữ liệu này được lọc qua ba bước để loại bỏ nhiễu và các giá trị dị thường sau đó được tính chuyển sang hệ tọa độ vuông góc không gian địa diện chân trời. Phương pháp cửa sổ trượt (Sliding Window – SW) được đề xuất ứng dụng để phân tích chuỗi dữ liệu đã lọc nhiễu sẽ phát hiện ra thời điểm xảy ra chuyển dịch và giá trị chuyển dịch. Một thực nghiệm mô phỏng chuyển dịch được thực hiện với hệ thống thiết bị do chúng tôi thiết kế chế tạo đã minh chứng tính đúng đắn cho phương pháp nghiên cứu đã đề xuất.

Từ khóa: GNSS; RTK; NMEA; Phát hiện chuyển dịch; Thời gian thực; Cửa sổ trượt.

Summary: Real-time detection of displacement and landslides is of great significance in providing warnings to minimize the risks of disasters caused by them. Recently, the Global Navigation Satellite System (GNSS) technology with Real Time Kinematic (RTK) has been applied very effectively and widely in monitoring and supervising displacement in real time. However, due to the influence of positioning noise, the monitoring data series will appear outlier values, which are easily confused with displacement values, making it difficult to detect displacement. To solve this problem, we use the RTK positioning data series, extracted in the standard format NMEA (National Marine Electronics Association). This data series is filtered through three steps to remove noise and the outlier values, are then calculated and converted to the rectangular coordinate system of the horizon space. The Sliding Window (SW) method is applied to analyze the filtered data series to detect the time of the shift and the shift value. A simulation experiment of the shift was conducted with the equipment system designed and manufactured by us, proving the correctness of the proposed research method.

Keywords: GNSS; RTK; NMEA; Displacement detection; Real-time; Sliding window.

1. GIỚI THIỆU

Quan trắc dịch chuyển thường phân chia thành

hai phương thức là quan trắc theo chu kỳ và quan trắc liên tục theo thời gian thực. Quan trắc theo chu kỳ thường sử dụng các thiết bị đo đặc truyền thống như như các máy thủy chuẩn quang học [1], máy toàn đạc điện tử [2], máy thu GPS [3-4]. Ngoài ra việc sử dụng máy quét

Ngày nhận bài: 06/5/2025

Ngày thông qua phản biện: 30/6/2025

Ngày duyệt đăng: 16/7/2025

laser mặt đất [5] và kỹ thuật viễn thám [6-9] cũng đã được sử dụng trong việc quan trắc chuyển dịch. Tuy nhiên có một đặc điểm chung của các phương pháp này là quan trắc theo chu kỳ nên không phát hiện được chuyển dịch một cách tức thời để đưa ra cảnh báo sớm. Ngày nay, xu hướng quan trắc liên tục theo thời gian thực ngày càng phổ biến với việc ứng dụng công nghệ GNSS. Công nghệ này có nhiều ưu điểm vượt trội so với công nghệ truyền thống như quan trắc được liên tục, phát hiện chuyển dịch trong thời gian thực, độ chính xác cao, không phụ thuộc vào thời gian và thời tiết [10]. Công nghệ GNSS đã được ứng dụng để quan trắc kết cấu công trình cầu [11], quan trắc chuyển dịch, biến dạng các công trình nhà cao tầng [12], quan trắc dịch chuyển đập thủy điện [13], quan trắc chuyển dịch trượt lở đất đá ở những vùng đồi núi có độ dốc lớn [14, 15]. Quá trình phát hiện dịch chuyển theo thời gian thực dựa trên công nghệ GNSS phải trải qua hai giai đoạn. Giai đoạn thứ nhất thực hiện quá trình quan trắc bằng kỹ thuật định vị RTK để thu thập dữ liệu. Giai đoạn thứ hai là xử lý và phân tích dữ liệu để phát hiện chuyển dịch. Với công nghệ GNSS, công tác định vị được thực hiện bằng phương pháp định vị xử lý tức thời RTK [16, 15]. Kết quả của các nghiên cứu này cho thấy độ chính xác định vị RTK đạt 4.7 mm về mặt bằng và 7.9 mm về độ cao. Tuy nhiên hệ thống định vị GNSS là một quá trình rất phức tạp, do vậy kết quả quan trắc sẽ còn tồn tại nhiều do sai số định vị, vì vậy việc xử lý dữ liệu để phát hiện chuyển dịch theo thời gian thực vẫn còn là một thách thức với những người làm công tác trắc địa. Trong công trình nghiên cứu [18], các tác giả đã sử dụng thuật toán Bayes để phát hiện dịch chuyển từ chuỗi dữ liệu định vị GNSS.

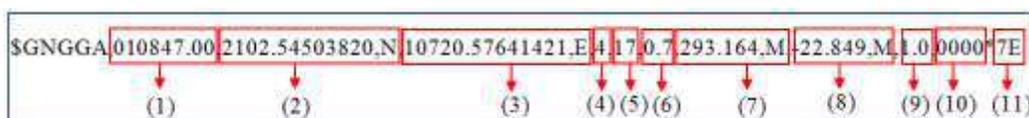
Tuy nhiên, với phương pháp này mới chỉ nghiên cứu về phát hiện chuyển dịch đứng, chưa nghiên cứu phát hiện chuyển dịch ngang, dữ liệu đưa vào để xử lý ở dạng tọa độ, chưa có thông tin về thời gian. Hơn nữa phương pháp này khó thực hiện và xử lý tức thời khi chuỗi dữ liệu quan trắc quá lớn.

Mục đích của nghiên cứu này là xử lý, phân tích chuỗi dữ liệu đo RTK để phát hiện dịch chuyển theo thời gian thực trong quan trắc biến dạng.

2. DỮ LIỆU SỬ DỤNG VÀ PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

2.1. Định dạng dữ liệu sử dụng trong quan trắc dịch chuyển trượt lở đất đá

Trong quan trắc dịch chuyển theo thời gian thực dựa trên công nghệ GNSS, dữ liệu từ trạm quan trắc truyền về máy tính chủ theo định dạng tiêu chuẩn NMEA (National Marine Electronics Association). Dữ liệu theo tiêu chuẩn NMEA gồm có nhiều loại tin nhắn có cấu trúc khác nhau, tùy thuộc vào mục đích công việc mà trích xuất loại tin nhắn cho phù hợp. Trong quan trắc dịch chuyển trượt lở đất đá, có hai loại tin nhắn được sử dụng là GGA và GST. Cấu trúc của một dòng tin nhắn GGA (Hình 1) bao gồm các thông tin về thời gian (1), vĩ độ bắc (2), kinh độ đông (3), chỉ báo chất lượng định vị (4), số lượng vệ tinh được sử dụng (5), độ suy giảm độ chính xác mặt bằng (6), cao độ ăng ten so với mặt Geoid đơn vị là m (7), khoảng cách giữa mặt ellipsoid trái đất WGS-84 và mặt Geoid đơn vị là m (8), thời gian ghi dữ liệu (9), mã định danh (ID) của trạm tham chiếu, phạm vi từ 0000 đến 4095 (10), mã tổng kiểm tra chuỗi tin nhắn (11).



Hình 1: Các thông tin của một dòng tin nhắn GGA

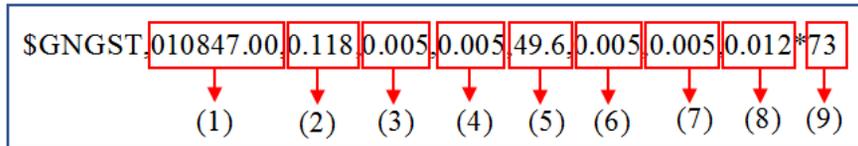
Trong dòng tin nhắn GGA có thông tin về chỉ báo chất lượng định vị. Đây là thông tin rất hữu

ích để lọc ra những giá trị tọa độ đã được cải chính vị trí từ trạm tham chiếu CORS. Chỉ báo

chất lượng định vị có 6 mức độ khác nhau và đánh số từ 0 đến 5. Nếu chỉ báo là 4 thì chất lượng định vị RTK có độ chính xác cao nhất và trị đo này được chấp nhận.

Cấu trúc của một dòng tin nhắn GST (hình 2) có chứa các thông tin về thời gian hiệu chỉnh vị

trí (1), phần dư của khoảng cách giả (2), giá trị bán trục lớn của ellip sai số (3), giá trị bán trục nhỏ của ellip sai số (4), góc định hướng bán trục lớn của ellip sai số (5), giá trị sai số theo trục Y (6), giá trị sai số theo trục X (7), sai số cao độ (8), mã kiểm tra chuỗi tin nhắn (9).



Hình 2: Các thông tin của một dòng tin nhắn GST

Dựa vào các thông tin về sai số theo các thành phần tọa độ để lọc ra những điểm quan trắc có sai số vị trí nhỏ hơn quy định đặt ra.

2.2. Phương pháp xử lý chuỗi dữ liệu quan trắc theo tiêu chuẩn NMEA

Quá trình xử lý chuỗi dữ liệu quan trắc theo tiêu chuẩn NMEA bao gồm hai bước: lọc những giá trị dị thường trong chuỗi dữ liệu đo động xử lý tức thời RTK, tính chuyển tọa độ từ hệ tọa độ WGS84 sang hệ tọa độ vuông góc không gian địa diện chân trời.

2.2.1. Lọc những giá trị dị thường trong chuỗi RTK

Trong quan trắc liên tục dựa trên công nghệ GNSS với kỹ thuật RTK, điểm dị thường xuất hiện cùng với điểm thay đổi do chuyển dịch đột ngột. Vì vậy trong quá trình phát hiện chuyển dịch cần phải nhận biết điểm dị thường để loại bỏ nó trong chuỗi trị đo. Ở (hình 3) các điểm I, II, III là điểm dị thường còn điểm IV là điểm thay đổi (hay còn gọi là điểm dịch chuyển). Điểm dị thường là do độ lệch tương đối trong chuỗi trị đo, còn điểm dịch chuyển là do thay đổi trạng thái trong chuỗi trị đo theo thời gian.



I, II, III là điểm dị thường; IV là điểm dịch chuyển.

Hình 3: Điểm dị thường và điểm dịch chuyển trong chuỗi dữ liệu định vị RTK

Việc lọc những điểm dị thường dựa trên ba tiêu chí sau: thứ nhất là tính đầy đủ của các thông tin trong chuỗi tin nhắn, thứ hai là chất lượng trị đo RTK và thứ ba là sai số vị trí định vị. Quá trình lọc điểm dị thường được tiến hành qua ba bước sau:

1) Bước 1: Lọc những tin nhắn không đầy đủ (Checksum)

Trong định vị GNSS, dữ liệu ở các máy thu hay ở trạm quan trắc được mã hóa theo định dạng tiêu chuẩn NMEA và truyền qua mạng internet

về máy tính chủ, có thể xảy ra lỗi do nhiễu tín hiệu, lỗi phần cứng, hoặc sai sót trong quá trình truyền. Việc kiểm tra tính toàn vẹn của chuỗi tin nhắn NMEA thực hiện bằng cách phân tích tất cả các ký tự trong khoảng từ ký tự \$ đến * thành một chuỗi mới. Sau đó, thực hiện thuật toán thao tác bit XOR ký tự đầu tiên với ký tự tiếp theo, cho đến khi kết thúc chuỗi. Sử dụng mã checksum gửi kèm để so sánh với mã checksum tính toán được. Nếu hai mã này giống nhau, thì dòng tin nhắn này được chấp nhận.

2) Bước 2: Lọc những tin nhắn trị đo đã được hiệu chỉnh vị trí (Fixed).

Khi định vị với kỹ thuật RTK, chất lượng đo có thể ở nhiều mức độ khác nhau, nó được phản ánh qua chỉ báo chất lượng trong tin nhắn GGA. Chỉ báo chất lượng phép đo RTK có 6 mức và được đánh số từ 0 đến 5. Khi chỉ báo là số 4 thì chất lượng định vị RTK là tốt nhất và tin nhắn này được giữ lại.

3) Bước 3: Lọc những tin nhắn trị đo có sai số vị trí trong giới hạn cho phép (Error).

Khi định vị GNSS RTK, sai số vị trí cũng không giống nhau và nó được thể hiện trong tin nhắn GST. Để nâng cao độ chính xác kết quả quan trắc, chỉ những trị đo có sai số vị trí nhỏ hơn giá trị quy định mới được giữ lại. Quá trình lọc ra những tin nhắn có sai số vị trí trong giới hạn cho phép được thực hiện bằng cách phân tích chuỗi tin nhắn GST. Trong nghiên cứu này, chúng tôi lấy giới hạn quy định về sai số mặt bằng là 4mm và sai số độ cao là 8mm.

2.2.2. Tính chuyển tọa độ

Với hệ thống trạm quan trắc đã thiết lập, kỹ thuật đo động xử lý tức thời RTK được sử dụng để quan trắc chuyển dịch. Tọa độ của trạm quan trắc được xác định trong hệ tọa độ địa tâm với các thành phần là (X,Y,Z) hoặc (B,L,H). Để thuận tiện trong việc phát hiện dịch chuyển, các thành phần tọa độ này sau khi được lọc nhiễu qua ba bước như ở trên sẽ được tính chuyển sang hệ tọa độ vuông góc không gian địa diện chân trời (N, E, U theo các công thức (1) đến (4).

$$\begin{bmatrix} N_i \\ E_i \\ U_i \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\sin B_0 \cdot \cos L_0 & -\sin B_0 \cdot \sin L_0 & \cos B_0 \\ -\sin L_0 & \cos L_0 & 0 \\ \cos B_0 \cdot \cos L_0 & \cos B_0 \cdot \sin L_0 & \sin B_0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_i - X_0 \\ Y_i - Y_0 \\ Z_i - Z_0 \end{bmatrix} \quad (1)$$

Trong đó:

- B_0, L_0, H_0 là tọa độ trắc địa của điểm gốc hệ tọa độ địa diện chân trời;

- X_i, Y_i, Z_i là tọa độ không gian địa tâm của các điểm quan trắc;

- X_0, Y_0, Z_0 là tọa độ không gian địa tâm của điểm gốc hệ tọa độ địa diện chân trời được tính theo công thức (2).

$$\left. \begin{aligned} X_0 &= (N_0 + H_0) \cdot \cos B_0 \cdot \cos L_0 \\ Y_0 &= (N_0 + H_0) \cdot \cos B_0 \cdot \sin L_0 \\ Z_0 &= [N_0 (1 - e^2) + H_0] \cdot \sin B_0 \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

Biến đổi công thức (1) sẽ tính được thành phần tọa độ của điểm quan trắc trong hệ tọa độ vuông góc không gian địa diện chân trời theo công thức (3).

$$\left. \begin{aligned} N_i &= -(X_i - X_0) \sin B_0 \cos L_0 - (Y_i - Y_0) \sin B_0 \sin L_0 + (Z_i - Z_0) \cos B_0 \\ E_i &= -(X_i - X_0) \sin L_0 + (Y_i - Y_0) \sin L_0 \\ U_i &= (X_i - X_0) \cos B_0 \cos L_0 + (Y_i - Y_0) \cos B_0 \sin L_0 + (Z_i - Z_0) \sin B_0 \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

Từ các thành phần tọa độ phẳng N_i và E_i , vị trí của các điểm quan trắc trong hệ tọa độ phẳng địa diện chân trời được xác định theo công thức (4)

$$P_i = \sqrt{N_i^2 + E_i^2} \quad (4)$$

2.3. Phân tích dữ liệu phát hiện dịch chuyển

Phát hiện dịch chuyển theo thời gian thực là tìm ra thời điểm dịch chuyển và đại lượng dịch chuyển. Trong nghiên này, thuật toán cửa sổ trượt (Sliding Window – SW) đã được đề xuất ứng dụng trong việc phân tích dữ liệu quan trắc theo thời gian thực. Phương pháp này được thực hiện dựa trên suy luận Bayesian [18] bằng cách dịch chuyển một cửa sổ có kích thước cố định qua một tập hợp dữ liệu, sau đó thực hiện các

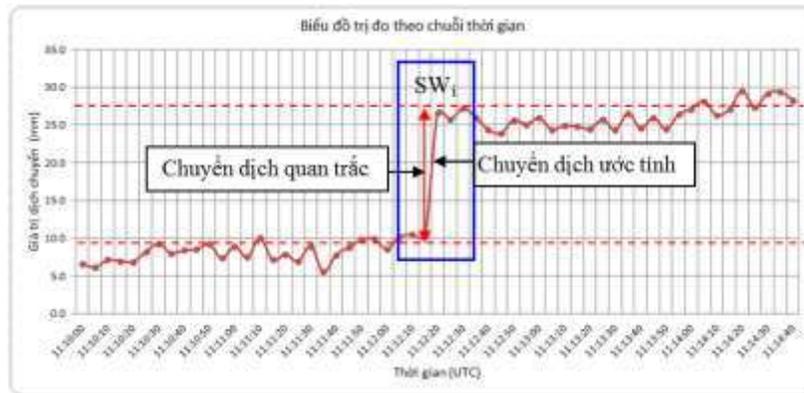
phép tính hoặc phân tích trên các phần tử trong cửa sổ đó. Giả sử, có chuỗi tọa độ liên tục $X(x_1, x_2, \dots, x_n)$ tương ứng với chuỗi thời gian là $T(t_1, t_2, \dots, t_n)$ gọi là mảng lớn (cửa sổ lớn). Đầu tiên, chia dãy tọa độ vị trí điểm thành nhiều mảng nhỏ (cửa sổ nhỏ) có kích thước s kề nhau. Cửa sổ thứ nhất bắt đầu từ tọa độ thứ nhất tới tọa độ thứ s , cửa sổ thứ hai bắt đầu từ tọa độ thứ hai tới tọa độ thứ $s+1$, và tiếp tục làm như vậy cho đến hết mảng X . Kiểu làm này được gọi là cửa sổ trượt được mô tả như (Hình 4).



Hình 4: Mô hình tạo cửa sổ trượt

Phương pháp cửa sổ trượt dựa trên sự biến đổi của các độ lệch chuẩn của chuỗi nhỏ (cửa sổ nhỏ) trong chuỗi lớn (cửa sổ lớn) tọa độ. Vì trong chuỗi tọa độ đã loại bỏ các điểm dị

thường nên chỉ còn các điểm dịch chuyển. Ở hình 3 chuỗi dữ liệu có cả điểm dị thường và điểm dịch chuyển, sau khi lọc chỉ còn lại điểm dịch chuyển (Hình 5) và đã được phát hiện.



Hình 5: Phát hiện điểm dịch chuyển trong chuỗi dữ liệu RTK đã lọc các giá trị dị thường

Sau khi chọn được kích thước cửa sổ trượt, chúng ta tính độ lệch chuẩn của cửa sổ thứ i theo công thức (5)

$$\sigma_i = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^n (x_j - \bar{x}_i)^2}{s-1}} \quad (5)$$

Trong đó:

x_j là trị đo thứ j ;

i là số thứ tự của cửa sổ;

\bar{x}_i là giá trị trung bình ở cửa sổ thứ i ;

s là kích thước cửa sổ.

Sử dụng giá trị giới hạn 3σ để phát hiện dịch chuyển theo điều kiện sau:

- Nếu $|x_j - \bar{x}_j| \leq 3\sigma$ thì điểm x_j không dịch chuyển

- Nếu $|x_j - \bar{x}_j| \geq 3\sigma$ thì điểm x_j có dịch chuyển

Giá trị dịch chuyển ước tính sẽ được tính bằng hiệu giá trị đo của điểm cuối cùng và điểm trước nó trong cửa sổ trượt có chuyển dịch, được tính theo công thức (6).

$$Q_{est} = x_j - x_{j-1} \quad (6)$$

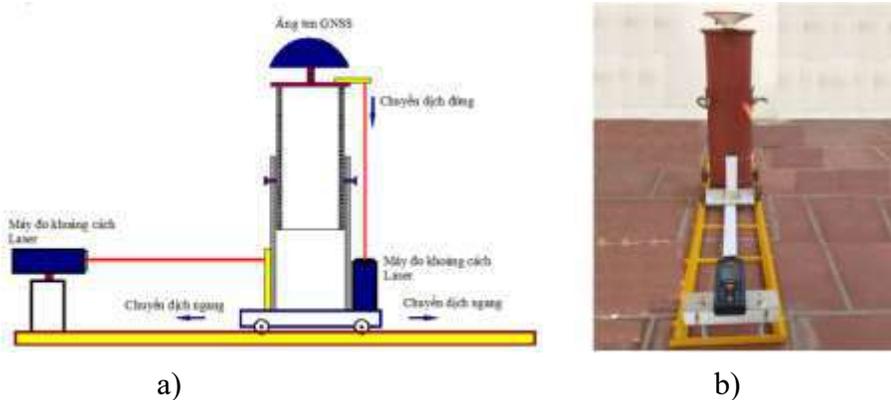
Giá trị dịch chuyển quan trắc được tính bằng hiệu giữa giá trị trung bình của trị đo sau khi có dịch chuyển và trước khi dịch chuyển, theo công thức (7).

$$Q_m = \frac{1}{n_2} \sum_{k=n_1+1}^{n_2} X_k - \frac{1}{n_1} \sum_{i=1}^{n_1} X_i \quad (7)$$

Trong đó: x_k là trị đo của điểm thứ k sau dịch chuyển; x_i là trị đo của điểm thứ i trước dịch chuyển.

3. KẾT QUẢ QUAN TRẮC THỰC NGHIỆM MÔ PHỎNG

Để kiểm chứng tính khả thi của thuật toán phát hiện dịch chuyển theo thời gian thực, một thực nghiệm mô phỏng dịch chuyển đã được tiến hành bằng một hệ thống thiết bị đã được chúng tôi thiết kế, chế tạo. Sơ đồ hệ thống thiết bị mô phỏng được thiết kế dựa trên sự thay đổi vị trí của tâm pha ăng ten GNSS theo phương nằm ngang và phương thẳng đứng thể hiện như ở (hình 6a). Hệ thống thiết bị mô phỏng chuyển dịch, trượt lở đất đá được chế tạo hoàn chỉnh như ở (hình 6b).



Hình 6: Hệ thống thiết bị thực nghiệm mô phỏng chuyển dịch trượt lở đất đá



Hình 7: Khu vực quan trắc thực nghiệm mô phỏng chuyển dịch trượt lở đất đá

Thực nghiệm mô phỏng được tiến hành ở khu vực thành phố Cẩm Phả, tỉnh Quảng Ninh

(hình 7). Trong thực nghiệm này thực hiện 5 lần dịch chuyển đột ngột với giá trị dịch

chuyển ngẫu nhiên. Thời gian mỗi lần thu tín hiệu vệ tinh khoảng 20 phút với tần suất thu tín hiệu là 5Hz. Sau mỗi lần thu tín hiệu vệ tinh, thay đổi vị trí ăng ten theo phương nằm ngang và thẳng đứng để tạo ra dịch chuyển chủ động. Hiệu khoảng cách theo phương nằm ngang và thẳng đứng từ điểm tham chiếu đặt

máy đo khoảng cách Laser đến tâm pha ăng ten là độ dịch chuyển thực.

Ở bảng 1 thể hiện một đoạn dữ liệu quan trắc thực nghiệm mô phỏng theo định dạng tiêu chuẩn NMEA với hai tin nhắn là GGA và GST.

Bảng 1: Một đoạn dữ liệu quan trắc thực nghiệm mô phỏng theo định dạng tiêu chuẩn NMEA

\$GNGGA,045937.00,2059.76848666,N,10716.18868776,E,4,19,0.6,4.153,M,-23.050,M,1.0,0000*75
\$GNGST,045937.00,0.031,0.004,0.003,163.7,0.004,0.003,0.010*45
\$GNGGA,045942.00,2059.76848725,N,10716.18868775,E,4,19,0.6,4.161,M,-23.050,M,1.0,0000*73
\$GNGST,045942.00,0.033,0.004,0.003,164.2,0.004,0.003,0.010*47
\$GNGGA,045947.00,2059.76848649,N,10716.18868747,E,4,22,0.6,4.169,M,-23.050,M,1.0,0000*7C
\$GNGST,045947.00,0.044,0.004,0.003,9.3,0.004,0.003,0.009*41
\$GNGGA,045952.00,2059.76848673,N,10716.18868803,E,4,23,0.6,4.164,M,-23.050,M,1.0,0000*72
\$GNGST,045952.00,0.048,0.004,0.003,8.9,0.004,0.003,0.008*43
\$GNGGA,045957.00,2059.76848761,N,10716.18868742,E,4,23,0.6,4.166,M,-23.050,M,1.0,0000*7D
\$GNGST,045957.00,0.047,0.004,0.003,6.5,0.004,0.003,0.008*4B
\$GNGGA,050002.00,2059.76848640,N,10716.18868722,E,4,23,0.6,4.163,M,-23.050,M,1.0,0000*71
\$GNGST,050002.00,0.058,0.004,0.003,7.1,0.004,0.003,0.008*4D
\$GNGGA,050007.00,2059.76848679,N,10716.18868771,E,4,23,0.6,4.164,M,-23.050,M,1.0,0000*7F
\$GNGST,050007.00,0.057,0.004,0.003,5.9,0.004,0.003,0.008*4D
.....

Dữ liệu quan trắc theo sẽ được xử lý để lọc các điểm dị thường, sau đó tính chuyển sang hệ tọa độ vuông góc không gian địa diện chân trời. Ở bảng 2 thể hiện tọa độ một số

điểm quan trắc theo chuỗi thời gian sau khi lọc các điểm dị thường và được tính chuyển sang hệ tọa độ vuông góc không gian địa diện chân trời.

Bảng 2: Tọa độ một số điểm quan trắc theo chuỗi thời gian sau khi lọc các điểm dị thường

No	Time (UTC)	Tọa độ vuông góc không gian địa tâm			Tọa độ vuông góc không gian địa diện chân trời		
		X(m)	Y(m)	Z(m)	N(m)	E(m)	U(m)
1	04:59:37	-1768531.139	5688654.788	2270997.668	0.000	0.000	0.000
2	04:59:42	-1768531.141	5688654.795	2270997.672	-0.001	0.000	-0.008

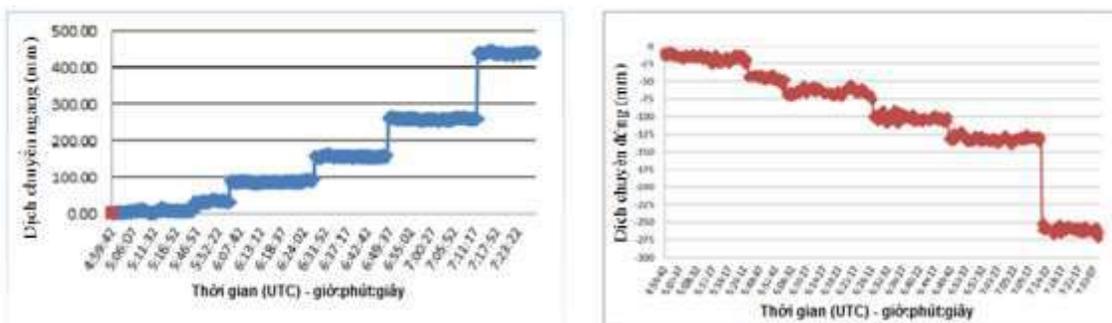
No	Time (UTC)	Tọa độ vuông góc không gian địa tâm			Tọa độ vuông góc không gian địa diện chân trời		
		X(m)	Y(m)	Z(m)	N(m)	E(m)	U(m)
3	04:59:47	-1768531.143	5688654.803	2270997.674	0.000	0.001	-0.016
4	04:59:52	-1768531.143	5688654.798	2270997.672	0.000	-0.001	-0.011
5	04:59:57	-1768531.142	5688654.800	2270997.674	-0.002	0.001	-0.013
...
1284	07:34:12	-1768531.035	5688654.442	2270998.006	-0.445	-0.004	-0.217
1285	07:34:17	-1768531.038	5688654.438	2270998.005	-0.445	-0.008	-0.220
1286	07:34:22	-1768531.040	5688654.445	2270998.011	-0.448	-0.007	-0.211
1287	07:34:27	-1768531.037	5688654.443	2270998.008	-0.446	-0.005	-0.215
1288	07:34:32	-1768531.038	5688654.447	2270998.009	-0.446	-0.005	-0.211
1289	07:34:37	-1768531.039	5688654.447	2270998.009	-0.445	-0.006	-0.210
1290	07:34:42	-1768531.039	5688654.447	2270998.009	-0.445	-0.006	-0.210

Dựa trên chuỗi tọa độ quan trắc theo thời gian, dịch đứng quan trắc ở vị trí thứ nhất và thứ hai các đại lượng chuyển dịch ngang và chuyển dịch đứng được phát hiện thể hiện như ở bảng 3.

Bảng 3: Kết quả xác định chuyển dịch ngang và đứng thông qua thực nghiệm mô phỏng

Lần dịch chuyển	Thời điểm dịch chuyển	Dịch chuyển thực (mm)		Dịch chuyển quan trắc (mm)		Chênh lệch dịch chuyển (mm)	
		Ngang	Đứng	Ngang	Đứng	Ngang	Đứng
1	05:21:07	30	-27	25.6	-31.3	4.4	4.3
2	05:55:12	60	-15	56.2	-20.4	3.8	5.4
3	06:26:32	73	-30	69.0	-35.5	4.0	5.5
4	06:47:37	107	-24	102.3	-29.8	4.7	5.8
5	07:11:52	183	-125	179.5	-129.2	3.5	4.2

Biểu đồ dịch chuyển ngang và dịch chuyển đứng quan trắc thực nghiệm mô phỏng được thể hiện như ở hình 8



(a)

(b)

Hình 8: Biểu đồ dịch chuyển ngang (a) và dịch chuyển đứng (b) thông qua quan trắc thực nghiệm mô phỏng

4. KẾT LUẬN

Bài báo này đã nghiên cứu phương pháp quan

trắc dịch chuyển theo thời gian thực dựa trên công nghệ GNSS/CORS với kỹ thuật đo động

xử lý tức thời RTK. Dữ liệu quan trắc được chiết xuất theo định dạng tiêu chuẩn NMEA với hai loại tin nhắn GGA và GST cho phép lọc được những giá trị dị thường nâng cao độ chính xác định vị RTK đạt 4mm về mặt bằng và 8mm về độ cao. Dữ liệu quan trắc sau khi lọc nhiễu được tính chuyển sang hệ tọa độ không gian địa diện chân trời để phát hiện được dịch chuyển bằng thuật toán cửa sổ trượt. Bằng thực nghiệm mô phỏng dịch chuyển dựa trên hệ

thông thiết bị quan trắc, dữ liệu quan trắc được xử lý và phân tích đã phát hiện được chính xác thời điểm xảy ra dịch chuyển và giá trị dịch chuyển. Độ chênh lệch lớn nhất giữa dịch chuyển quan trắc và dịch chuyển thực là 4.7 mm về dịch chuyển ngang và 5.8mm về dịch chuyển đứng. Như vậy phương pháp cửa sổ trượt đáp ứng được trong việc xử lý và phân tích chuỗi dữ liệu quan trắc để phát hiện dịch chuyển trượt lở đất đá theo thời gian thực.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Jacek Sztubecki; Maria Mrówczyńska. Vertical displacement monitoring using the modified leveling method. *Measurement*. **2023**, *206*, 112264. <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2022.112264>.
- [2] Niccolo Dematteis; Aleksandra Wrzesniak; Paolo Allasia; Davide Bertolo; Daniele Giordan. Integration of robotic total station and digital image correlation to assess the three-dimensional surface kinematics of a landslide. *Engineering Geology*. **2002**, *303*, 106655. <https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2022.106655>.
- [3] Aigong Xu; Qiushi Yang; Huizhong Zhu; Meng Gao. Application of GPS technology in surface subsidence monitoring of water extraction. *Desalination and Water Treatment*. **2021**, *241*, 207–215. doi: 10.5004/dwt.2021.27791.
- [4] Wang Jian; Peng Xiangguo; Xu Chang hui. Coal mining GPS subsidence monitoring technology and its application. *Mining Science and Technology (China)*. **2011**, *21*, 463-467.
- [5] Jiawen Zhou; Nan Jiang; Congjiang Li; Haibo Li. A landslide monitoring method using data from unmanned aerial vehicle and terrestrial laser scanning with insufficient and inaccurate ground control points. *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering*. **2024**, *16*, 4125-4140.
- [6] Huiyan Lu; Weile Li; Qiang Xu; Wenlong Yu; Shengsen Zhou; Zhigang Li; Weiwei Zhan; Weimin Li; Shanmiao Xu; Pan Zhang; Xiujun Dong; Jingtao Liang; Daqing Ge e. Active landslide detection using integrated remote sensing technologies for a wide region and multiple stages: A case study in southwestern China. *Science of the Total Environment*. **2024**, *931*, 172709. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.172709>.
- [7] Omid Memarian Sorkhabi; Mohammad Khajehzadeh; Suraparb Keawsawasvong. Landslides monitoring with SBAS-InSAR and GNSS. *Physics and Chemistry of the Earth*. **2023**, *123*, 103486. <https://doi.org/10.1016/j.pce.2023.103486>.
- [8] Yang Liu, Xin Yao, Zhenkui Gu, Zhenkai Zhou, Xinghong Liu, Shangfei Wei. Study on InSAR image fusion for improved visualization of active landslides in alpine valley areas: A case in the Batang Region, China. *Computers & Geosciences*. **2024**, *186*, 105481. <https://doi.org/10.1016/j.cageo.2023.105481>.
- [9] Menghua Li; Lu Zhang; Chao Ding; Weile Li; Heng Luo; Mingsheng Liao; Qiang Xu. Retrieval of historical surface displacements of the Baige landslide from time-series SAR observations for retrospective analysis of the collapse event. *Remote Sensing of Environment*. **2020**, *240*, 111695. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2020.111695>.

- [10] N. Shen, L.; Chen, J.; Liu, L.; Wang, T.; Tao, D.; Wu, R.; Chen. A review of global navigation satellite system (GNSS)-based dynamic monitoring technologies for structural health monitoring, *Remote Sens.* **2019**, *11* (9), 1001.
- [11] Ruijie Xi; Weiping Jiang; Xiaolin Meng; Hua Chena; Qusen Chen. Bridge monitoring using BDS-RTK and GPS-RTK techniques. *Measurement.* **2018**, *20*, 128-139. <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2018.02.001>.
- [12] N. Quesada-Olmo; M.J. Jimenez-Martinez; M. Farjas-Abadia. Real-time high-rise building monitoring system using global navigation satellite system technology. *Measurement.* **2018**, *123*, 115-124. <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2018.03.054>.
- [13] J. Rene Vazquez-Ontiveros; Carlos A. Martinez-Felix; G. Esteban Vazquez-Becerra; J. Ramon Gaxiola-Camacho; Angela Melgarejo-Morales; Jorge Padilla-Velazco. Monitoring of local deformations and reservoir water level for a gravity type dam based on GPS observations. *Advances in Space Research.* **2002**. *69* (1), 319-330.
- [14] Bao Shu; Yuanhao He; Li Wang; Qin Zhang; Xinrui Li; Xuanyu Qu; Guanwen Huang; Wei Qu. Real-time high-precision landslide displacement monitoring based on a GNSS CORS network. *Measurement.* **2023**, *217*, 113056. <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2023.113056>.
- [15] Pengxu Wang; Hui Liu; Guigen Nie; Zhixin Yang; Jiaji Wu; Chuang Qian; Bao Shu. Performance evaluation of a real-time high-precision landslide displacement detection algorithm based on GNSS virtual reference station technology. *Measurement.* **2022**, *199*, 111457. <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2022.111457>.
- [16] K. Gümüş; M.O. Selbesoğlu. Evaluation of NRTK GNSS positioning methods for displacement detection by a newly designed displacement monitoring system, *Measurement.* **2019**, *142* 131–137. <http://dx.doi.org/10.1016/j.measurement.2019.04.041>.
- [17] Sermet Ogutcu; Salih Alcaay; Huseyin Duman; Behlul Numan Ozdemir; Ceren Konukseven. Static and kinematic PPP-AR performance of low-cost GNSS receiver in monitoring displacements. *Advances in Space Research.* **2023**, *72*(11), 4795-4808. <https://doi.org/10.1016/j.asr.2023.09.025>
- [18] Nan Shen; Liang Chen; Ruizhi Chen. Displacement detection based on Bayesian inference from GNSS kinematic positioning for deformation monitoring. *Mechanical Systems and Signal Processing.* **2022**, *167*, 108570. <https://doi.org/10.1016/j.ymsp.2021.108570>.