

## Phương pháp lọc nhiễu trong quan trắc tự động bằng công nghệ GNSS

Dương Thành Trung<sup>1,\*</sup>, Lại Đức Trường<sup>2</sup>, Hoàng Anh Tuấn<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Trường Đại học Mỏ - Địa chất

<sup>2</sup> Công ty Cổ phần Công nghệ hạ tầng cơ sở Aitogy

---

### TÓM TẮT

Hệ thống quan trắc tự động đã và đang được ứng dụng phổ biến để quan trắc các công trình lớn trên thế giới. Một hệ thống quan trắc bao gồm nhiều trạm quan trắc tự động được lắp đặt tại các vị trí đặc trưng của công trình, có mục tiêu quan trắc các đại lượng khác nhau như chuyển vị, lún, nghiêng,... Tất cả các trạm được kết nối chung vào một hệ thống thông qua phần mềm, truyền dẫn dữ liệu quan trắc thời gian thực của các đối tượng quan trắc, từ dữ liệu quan trắc có thể phân tích, đánh giá tình trạng theo thời gian.

Do ảnh hưởng của môi trường và các điều kiện đo khác nhau, dữ liệu đo thường bị ảnh hưởng bởi nhiễu, gây ra các sai số đo. Do vậy lọc nhiễu là cần thiết trong công tác xử lý số liệu quan trắc nhằm đảm bảo độ chính xác của kết quả đo. Với các dữ liệu quan trắc liên tục thời gian thực với tần suất từ vài giây đến vài phút, chúng tôi đề xuất bộ lọc Kalman mở rộng với các tham số phù hợp với điều kiện quan trắc tại Việt Nam hiện nay. Mục đích của bài báo là xây dựng mô hình toán học cho phép lọc Kalman trong công tác quan trắc chuyển vị công trình liên tục tự động.

Kết quả nghiên cứu cho thấy rằng: Khi áp dụng các phép lọc để xử lý số liệu quan trắc, độ chính xác và độ tin cậy của kết quả quan trắc tăng lên đáng kể so với dữ liệu chưa qua xử lý. Độ chính xác quan trắc đạt 3.9 – 6.0 mm với khoảng thời gian thu thập dữ liệu trong 5 phút. Có thể mở rộng khả năng ứng dụng giải pháp kỹ thuật này trong công tác: tư vấn giám sát xây dựng, kiểm tra nghiệm thu và quan trắc các công trình phức tạp, nhằm đem lại hiệu quả về kinh tế và kỹ thuật trong công tác trắc địa phục vụ thi công các công trình xây dựng ở Việt Nam.

*Từ khóa:* Quan trắc tự động, GNSS, Kalman, Realtime, Lọc nhiễu

---

### 1. Đặt vấn đề

Trên thế giới việc nghiên cứu và ứng dụng hệ thống quan trắc biến dạng công trình thời gian thực được đặc biệt quan tâm và phát triển từ rất sớm. Với các công trình quan trọng như cầu đường, sân bay, công trình thủy lợi, thủy điện, các công trình hầm lò và khai thác mỏ... vấn đề theo dõi biến dạng các công trình được đặc biệt quan tâm.

Từ những năm 90 của thế kỷ trước, trên thế giới đặc biệt là các nước phát triển đã hoàn thiện và ứng dụng hệ thống quan trắc biến dạng công trình thời gian thực cho các công trình xây dựng của họ. Các hệ thống quan trắc phức tạp đã được xây lắp đồng bộ, gắn trên các cây cầu lớn, các đập thủy điện, nhà ga, hầm lò

Đi đầu trong lĩnh vực nghiên cứu và phát triển các giải pháp quan trắc biến dạng công trình phải kể đến các công ty lớn, các tập đoàn đa quốc gia như: Leica (Thụy Sĩ), VSL (Thụy Sĩ), GeoKon (Mỹ), Slope Indicator (Mỹ)...

Mục đích chính của việc quan trắc công trình thời gian thực là để theo dõi tình trạng sức khỏe của công trình (Structure Health Monitoring), đánh giá các nguyên nhân tác động và kịp thời phát hiện những hư hỏng [1]. Trong đó, các thông số để đánh giá tình trạng của công trình bao gồm mức độ chuyển dịch, chuyển vị, lún, nghiêng, vặn xoắn, độ rung lắc, sức căng kết cấu... Những tình trạng này có thể được đánh giá thông qua các thiết bị đo đạc, cảm biến như máy thu GNSS, máy toàn đạc điện tử tự động, cảm biến nghiêng, cảm biến rung, cảm biến sức căng... Các yếu tố chính gây nên và làm ảnh hưởng đến sức bền của công trình bao gồm tải trọng của công trình và tải trọng mang, các tác động từ môi trường như nhiệt độ, áp suất, gió, động đất và ánh sáng mặt trời. Mức độ tác động của các yếu tố môi trường có thể tính toán, phân tích thông qua

\* Tác giả liên hệ

Email: duongthanhtung@humg.edu.vn

các cảm biến như nhiệt kế, áp suất kế, phong kế, camera giám sát và các thiết bị phụ trợ khác [2].

Alojz Kopáček và nhóm tác giả (2015)[2] giới thiệu việc quan trắc thời gian thực cầu dây văng nhịp lớn Lafranconi ở Bratislava, Cộng hòa Slovak. Theo bài báo này, hệ thống quan trắc tự động bao gồm hai nhóm cảm biến chính là nhóm các cảm biến trắc địa bao gồm máy thu GNSS, máy toàn đạc điện tử tự động, cảm biến nghiêng với độ chính xác cao và nhóm cảm biến khí tượng bao gồm cảm biến nhiệt độ, áp suất, độ ẩm, tốc độ và hướng gió, vv... Các cảm biến này được kết nối vào một máy tính chủ để đồng bộ hóa về thời gian và các số liệu đo được xử lý bằng phần mềm Geomos của hãng Leica để đưa ra các số liệu phân tích.

Xiao Meng (2002) [3] đã phân tích chi tiết và đánh giá khả năng của việc quan trắc biến dạng cầu ở thời gian thực sử dụng máy thu GNSS và gia tốc kế. Theo kết luận của tác giả, việc lựa chọn và nâng cao độ chính xác định vị của GNSS là cần thiết để có thể đáp ứng được yêu cầu quan trắc chuyển dịch công trình ở mức milimet về độ chính xác.

Ở nước ta hiện nay, Công tác quan trắc biến dạng và tính an toàn công trình ngày càng được quan tâm nghiên cứu và ứng dụng. Một số trường đại học, các viện nghiên cứu lớn đã và đang bắt tay vào nghiên cứu để đưa ra quy trình quan trắc biến dạng công trình thời gian thực. Tuy nhiên, các thiết bị máy móc, cảm biến và cả phần mềm xử lý số liệu hầu hết là được nhập khẩu từ nước ngoài, trong đó giá thành của các thành phần này khá cao trong điều kiện Việt Nam, điều này làm giảm khả năng tiếp cận, vận hành cũng như cải tiến các hệ thống hiện tại [4].

Từ các vấn đề trên, bài báo này đề xuất phương pháp lọc nhiễu dựa trên phép lọc Kalman nhằm nâng cao độ chính xác quan trắc chuyển dịch công trình dựa trên công nghệ định vị vệ tinh GNSS.

## 2. Cơ sở lý thuyết và phương pháp nghiên cứu

### 2.1 Tổng quan về phép lọc Kalman

*Tổng quan về phép ước lượng và lọc Kalman*

Ước lượng là một dạng xử lý số liệu nhằm tìm giá các giá trị có độ tin cậy cao nhất của các đại lượng cần xác định. Bản chất của việc ước lượng là xác hàm phân phối xác suất của các đại lượng cần xác định. Để giải quyết vấn đề này, các mô hình toán học hệ thống với luật phân phối xác suất  $P(x_k|x_{k-1}, z_{1:k-1})$  và mô hình trị đo với luật phân phối xác suất  $P(z_k|x_k)$  được xây dựng như công thức 1 và 2.

$$x_k = f_k(x_{k-1}, w_k) \quad (1)$$

$$z_k = h_k(x_k, v_k) \quad (2)$$

Trong đó:

$x_k \in R^{n_x}$  là véc tơ trạng thái ở thời điểm  $k$ ;  $w_k \in R^{n_w}$  là nhiễu hệ thống;  $z_k \in R^{n_z}$  là trị đo hỗ trợ;  $v_k \in R^{n_v}$  là nhiễu trị đo;  $f_k: R^{n_x} \times R^{n_w} \rightarrow R^{n_x}$  và  $h_k: R^{n_x} \times R^{n_v} \rightarrow R^{n_z}$  là các hàm của véc tơ trạng thái và véc tơ trị đo.

Nếu xác định được hàm phân phối xác suất  $P(x_k|z_{1:k})$  thì có thể xác định được trị xác suất nhất của véc tơ trạng thái  $\hat{x}^k$  và ma trận hiệp phương sai trung ứng  $P_k$ .

Để đạt mục đích này, theo lý thuyết ước lượng Bayes, hai bước ước lượng được thực hiện:

*Bước 1:* Tiên đoán trong đó sử dụng mô hình hệ thống để xác định tiên đoán của véc tơ trạng thái  $x_k$  tại thời điểm  $k$  với các trị đo ở thời điểm  $k-1$  ( $z_{1:k-1}$ ) theo công thức:

$$P(x_k|z_{k-1}) = \int P(x_k|x_{k-1})P(x_{k-1}|z_{1:k-1})dx_{k-1} \quad (3)$$

*Bước 2:* Cập nhật: tại thời điểm  $k$ , nếu có các trị đo cập nhật, tiên đoán được cập nhật theo công thức sau:

$$P(x_k|z_{1:k}) = \frac{P(z_k|x_k)P(x_k|z_{1:k-1})}{P(z_k|z_{1:k-1})} \quad (4)$$

KF được xem như là một dạng đặc biệt của lý thuyết ước lượng Bayes. Trong trường hợp hàm hệ thống và hàm trị đo có dạng tuyến tính, trở thành:

$$x_k = \Phi_{k-1;k}x_{k-1} + w_{k-1} \quad (5)$$

$$z_k = H_k x_k + v_k \quad (6)$$

Trong đó:

$\Phi_{k-1;k}$  là ma trận tính chuyển trạng thái từ thời điểm  $k-1$  đến  $k$ ;

$H_k$  là ma trận hệ số biểu diễn mối quan hệ giữa trị đo hỗ trợ và véc tơ trạng thái.

Trong KF, nhiễu được giả thiết rằng tuân theo luật phân bố chuẩn với kỳ vọng "0" và ma trận hiệp phương sai  $Q_k$  và  $R_k$ .

$$w_k \sim N(0, Q_k) \quad (7)$$

$$v_k \sim N(0, R_k) \quad (8)$$

Với giải thiết này, các PDFs tiên đoán và cập nhật sẽ tuân theo luật phân bố chuẩn với kỳ vọng  $\hat{\mathbf{x}}$  và hiệp phương sai  $P$  như trong công thức (3) và công thức (4).

$$P(x_k|z_{k-1}) = N(x_k; \hat{x}_{k|k-1}, P_{k|k-1}) \quad (9)$$

$$P(x_k|z_k) = N(x_k; \hat{x}_{k|k}, P_{k|k}) \quad (10)$$

Phân tích dựa trên nguyên lý tối thiểu hóa phương sai, các bước tính toán của KF được trình bày dưới đây:

\* *Tiên đoán:*

$$\hat{x}_k^- = \Phi_{k-1;k} \hat{x}_{k-1} \quad (11)$$

$$\hat{P}_k^- = \Phi_{k-1;k} P_{k-1} \Phi_{k-1;k}^T + Q_k \quad (12)$$

Với  $\hat{x}_k^-$  và  $\hat{P}_k^-$  là véc tơ trạng thái và ma trận hiệp phương sai tiên đoán

\* *Cập nhật:*

$$K_k = P_k^- H_k^T [H_k P_k^- H_k^T + H_k]^{-1} \quad (13)$$

$$\hat{x}_k = \hat{x}_k^- + K_k (z_k - H \hat{x}_k^-) \quad (14)$$

$$P_k = P_k^- - K_k H_k P_k^- \quad (15)$$

Trong đó:  $\hat{x}_k$  và  $P_k$  véc tơ trạng thái và ma trận hiệp phương sai cập nhật.

## 2.2. Phép lọc 2 chiều

Để làm tăng độ chính xác của phép ước lượng, phương pháp ước lượng tron được đề xuất đối với các ứng dụng xử lý tín hiệu. Phân loại các kỹ thuật ước lượng tron thành 3 nhóm: cố định điểm (fixed-point), cố định khoảng điểm (fixed-lag), và cố định khoảng thời gian fixed-interval. Theo đó, giả sử  $t_0, t_T$  là các thời gian khởi đầu và kết thúc của dãy dữ liệu;  $t$  là khoảng thời gian ước lượng;  $L$  là khung thời gian giữa hai điểm ước lượng như ở Hình 1. Trong phương pháp cố định điểm,  $t$  cố định và ước lượng  $\hat{x}_{t|T}$  được cập nhật khi  $T$  tăng. Trong phương pháp fixed-lag, ước lượng  $\hat{x}_{T-L|T}$  được cập nhật khi  $T$  tăng, với  $L$  cố định.

Để tránh trường hợp ma trận suy biến trong trường hợp tổng quát và để cung cấp các giá trị khởi tính thích hợp, các biến số sau đây được định nghĩa:

$$M_B = P_B^{-1} \quad (16)$$

$$\delta y_B = P_B^{-1} \delta x_B = M_B \delta x_B \quad (17)$$

Trong đó  $M_B$  là ma trận đảo của ma trận phương sai. Ước lượng tron được bắt đầu sử dụng kết quả của ước lượng Kalman thuận ở bản ghi cuối cùng  $t_N$  như sau

$$\delta x_{SN} = \delta x_{FN}^+ \quad ; \quad P_{SN} = P_{FN}^+ \quad (18)$$

Phương pháp này dẫn tới việc khởi tính ước lượng Kalman đảo được khai triển như sau:

$$M_{BN}^- = P_{BN}^{-1} = P_{SN}^{-1} - P_{FN}^{+1} = 0, \quad P_{BN}^- = \infty \quad (19)$$

$$\delta \hat{y}_{BN}^- = P_{SN}^{-1} \delta \hat{x}_{SN}^- - P_{FN}^{+1} \delta \hat{x}_{FN}^+ = 0 \quad (20)$$

## 2.3. Kết hợp của Kalman thuận vào đảo trong ước lượng hai chiều

Ước lượng tron hai chiều là sự kết hợp của ước lượng thuận và đảo với các công thức như sau:

$$P_{Sk} = (P_{Fk}^{+1} + P_{Bk}^{-1})^{-1} = (M_{Fk}^+ + M_{Bk}^-)^{-1} \quad (21)$$

$$\hat{x}_{Sk} = P_{Sk} (P_{Fk}^{+1} \hat{x}_{Fk}^+ + P_{Bk}^{-1} \hat{x}_{Bk}^-) = P_{Sk} (M_{Fk}^+ \hat{x}_{Fk}^+ + \hat{y}_{Bk}^-) \quad (22)$$

$$= P_{Sk} [M_{Fk}^+ \hat{x}_{Fk}^+ + M_{Bk}^- (\hat{x}_{Fk}^+ - \delta \hat{x}_{Bk}^-)] = \hat{x}_{Fk}^+ - P_{Sk} \delta \hat{y}_{Bk}^- = \hat{x}_{Fk}^+ - \delta \hat{x}_{Sk}$$

## 2.4. Xây dựng mô hình toán học cho phép lọc Kalman mở rộng

Xuất phát từ phương trình chuyển dịch của một điểm trong không gian 1 chiều

$$x_t = x_{t-1} + vx_{t-1}T + \frac{1}{2}aT^2 \quad (23)$$

$$v_t = v_{t-1} + aT \quad (24)$$

Trong đó:  $x_t, v_t$  là vị trí vận tốc ở thời điểm  $t$ ,  $a$  là gia tốc chuyển động.

$$X_t = \begin{bmatrix} x_t \\ y_t \\ H_t \\ vx_t \\ vy_t \\ vH_t \\ \bar{\varphi}_t \end{bmatrix} \quad (25)$$

Và có thể viết lại:

$$X_t = FX_{t-1} + Bu_t \quad (26)$$

Trong đó  $Bu_{t-1}$  có thể được coi như thành phần nhiễu hệ thống.

### Mô hình trị đo tọa độ

Trong dự án này, các trị đo là tọa độ điểm x, y, H, khi đó, phương trình trị đo có dạng như sau:

$$\begin{bmatrix} x_t \\ y_t \\ y_t \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_t \\ y_t \\ H_t \\ vx_t \\ vy_t \\ vH_t \\ \bar{\varphi}_t \end{bmatrix} + V_t$$

Trong đó  $V_t$  gọi là nhiễu trị đo.

Có thể viết lại dạng ma trận như sau.

$$z_k = D_k X_k + v_k \quad (27)$$

Ma trận nhiễu trị đo:

$$R = Cov(V) = \begin{bmatrix} \sigma_x^2 & 0 & 0 \\ 0 & \sigma_y^2 & 0 \\ 0 & 0 & \sigma_z^2 \end{bmatrix}$$

### Mô hình trị đo phương vị

Trong trường hợp trị đo cập nhật là phương vị  $\bar{\varphi}d_t$ , khi đó, phương trình trị đo có dạng như sau:

$$\bar{\varphi}d_t = [0 \quad 0 \quad 0 \quad 0 \quad 0 \quad 0 \quad 1] \begin{bmatrix} x_t \\ y_t \\ H_t \\ vx_t \\ vy_t \\ vH_t \\ \bar{\varphi}_t \end{bmatrix} + P_t$$

Trong đó  $P_t$  gọi là nhiễu phương vị đo.

Có thể viết lại dạng ma trận như sau.

$$z_k = D_k X_k + v_k$$

Ma trận nhiễu trị đo:

$$R = Cov(P) = \sigma_p^2 \quad (28)$$

Như vậy sau khi xây dựng được mô hình toán học của mô hình chuyển dịch tọa độ cho phép lọc Kalman, các bước tính toán dựa trên thuật toán của phép lọc Kalman được thực hiện tuần tự các bước theo các công thức trên.

### Phát hiện trị đo bất thường từ phép lọc Kalman

Trong công thức cập nhật trị đo:

Ký hiệu

$$\text{inno} = z_k - Dx_k = z_k - z_{\text{PRE}} \quad (29)$$

Trong môi trường điều kiện lý tưởng, độ lớn của véc tơ inno bằng không. Vì trong phép lọc Kalman giả thiết rằng các nhiễu có luật phân bố chuẩn Gauss, do vậy tập giá trị inno cũng tuân theo luật phân bố chuẩn với kỳ vọng không và độ lệch chuẩn  $\sigma_{\text{inno}}$ , với:

$$\sigma_{\text{inno}} = \sqrt{\sigma_{z_k}^2 + \sigma_{z_{\text{PRE}}}^2} \quad (30)$$

Dựa vào lý thuyết xác suất thống kê, nếu inno tuân theo luật phân bố chuẩn, nó sẽ được giới hạn bởi một giá trị nhất định với một độ tin cậy nhất định:

$$|\text{inno}| \leq \varepsilon_\beta \cdot \sigma_{\text{inno}} \quad (31)$$

Trong đó  $\varepsilon_\beta$  là hệ số đánh giá với mức tin cậy  $\beta$  ( $\varepsilon_{95\%} = 1.96$ ),  $|\text{inno}|$  là độ lớn của véc tơ inno, được xác định bởi công thức:

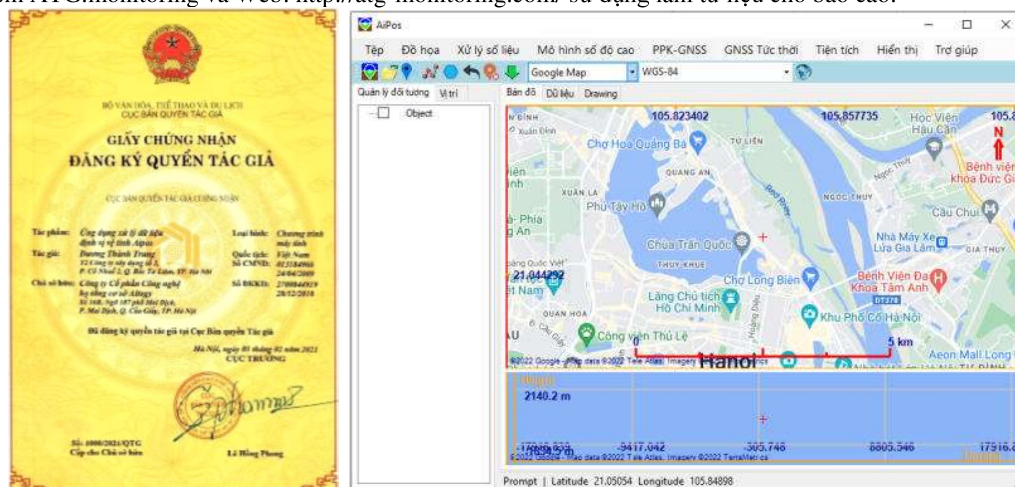
$$|\text{inno}| = \sqrt{z_x^2 + z_y^2 + z_H^2} \quad (32)$$

Dựa trên tiêu chuẩn trong công thức (31), Nếu  $|\text{inno}| > \varepsilon_\beta \cdot \sigma_{\text{inno}}$ , thì trị đo GNSS tương ứng sẽ bị loại bỏ.

Dựa vào các thuật toán nêu trên và ngôn ngữ lập trình C#, trong thời gian công tác tại công ty và sự giúp đỡ của Công ty đã tiến hành thành lập chương trình máy tính có tên là Aipos và ATG.monitoring được



bộ văn hóa, thể thao và du lịch; Cục bản quyền tác giả cấp Giấy chứng nhận quyền tác giả số 1000/2021/QTG cho phần mềm Aipos và Giấy chứng nhận quyền tác giả số 5299/2021/QTG cho phần mềm ATG.monitoring và Web: <http://atg-monitoring.com/> sử dụng làm tư liệu cho báo cáo.



Hình 4. Giấy chứng nhận bản quyền phần mềm và giao diện phần mềm

### 3. Thục nghiệm

Mục đích: Để đánh giá tính hiệu quả và độ chính xác của phép lọc, ta tiến hành đo đạc thử nghiệm trên mốc đã được thành lập kết nối với các điểm bố trí được xác định tọa độ trong hai hệ tọa độ VN2000 và WGS84 tại trường đại học Mỏ - Địa chất.

Điểm HUMG, V, C, D là các điểm đã có tọa độ được xác định trong hệ tọa độ thi công và hệ VN2000 bằng công nghệ GNSS tĩnh. Bảng kết quả tọa độ được thể hiện ở Bảng 1.

Tiến hành thu tín hiệu GNSS tại 04 máy thu, truyền dẫn tín hiệu về phần mềm Ainavi. Sau khi lọc tín hiệu thu GNSS bằng bộ lọc Kalman (KF) sẽ có tọa độ chính xác của các điểm V, C, D, MDC. Điểm HUMG là trạm tham chiếu hoạt động liên tục CORS. Kết quả so sánh tọa độ giữa dữ liệu thô và dữ liệu đã được xử lý qua phần mềm lọc nhiễu được thể hiện ở Bảng 2.

Bảng 1. Tọa độ điểm mốc quan trắc

Tên điểm	X (m)	Y (m)	H (m)
D	2331062.9688	580897.2112	8.9225
C	2331072.5974	581277.6140	8.7803
V	2331067.8212	580552.7458	8.7494
HUMG	2331091.3810	580178.1070	27.9200

Tín hiệu thu không qua xử lý lọc nhiễu bằng Kalman

Bảng 2. So sánh tọa độ

Tên điểm	So sánh tọa độ không qua lọc				So sánh tọa độ sau phép lọc			
	dX (m)	dY (m)	dH (m)	mP (m)	dX (m)	dY (m)	dH (m)	mP (m)
D	-0.0364	0.0360	-0.0231	0.0340	-0.0055	-0.0048	0.0080	0.0073
C	-0.0645	0.0410	-0.0513	0.0316	0.0060	-0.0037	-0.0092	0.0070
V	-0.0064	-0.0210	0.0236	0.0778	-0.0053	0.0049	-0.0094	0.0072
HUMG	-0.0041	-0.0922	0.0954	0.0804	-0.0045	-0.0039	0.0039	0.0060

Kết quả thực nghiệm cho thấy rằng:

- Kết quả của hệ thống quan trắc khi không qua phép lọc đạt độ chính xác từ 4 – 7 cm về mặt bằng và 8-9 cm về độ cao.
- Kết quả của hệ thống quan trắc đã qua phép lọc Kalman đạt độ chính xác từ 3.9 – 6.0 mm về mặt bằng, 3.9 – 9.2 mm về độ cao.

Từ đó cho ta thấy hệ thống phép lọc Kalman đã đáp ứng được tiêu chuẩn quan trắc của các công trình đặc thù yêu cầu độ chính xác từ 6 mm về mặt bằng và từ 9.2 mm về độ cao.

- Giải pháp kỹ thuật quan trắc sử dụng công nghệ GNSS kết hợp với phần mềm lọc nhiễu cho phép bố trí quan trắc tự động với độ chính xác đảm bảo được các yêu cầu kỹ thuật cần thiết mà tiêu chuẩn xây dựng đã đề ra. Giải pháp kỹ thuật này có thời gian đo đạc và xử lý số liệu rất nhanh (thời gian xử lý số liệu từ 1-5 phút) điều này hoàn toàn phù hợp với đặc điểm thi công xây dựng các công trình cần sự quan trắc liên tục ở nước ta. Đó cũng chính là tính hiệu quả của nội dung nghiên cứu.
- Có thể mở rộng khả năng ứng dụng giải pháp kỹ thuật này trong công tác: tư vấn giám sát xây dựng, kiểm tra nghiệm thu và quan trắc các công trình phức tạp, nhằm đem lại hiệu quả về kinh tế và kỹ thuật trong công tác trắc địa phục vụ thi công các công trình xây dựng ở Việt Nam.

#### 4. Kết luận

Từ những nghiên cứu, khảo sát và phân tích về nội dung lý thuyết và các tính toán thực nghiệm của công tác thiết kế và xử lý số liệu quan trắc tự động bằng GNSS tác giả luận văn có kết luận như sau:

- Phương pháp đo quan trắc truyền thống đòi hỏi có kỹ thuật cao, tay nghề Kỹ sư đòi hỏi chuyên nghiệp. Với phương pháp quan trắc tự động bằng GNSS có độ chính xác mặt bằng > 6 mm được đã khắc phục được hiệu quả nhược điểm của phương pháp đo thông thường, khu vực không thể thực hiện được và cho kết quả với độ tin cậy cao, giảm được tối đa về nhân lực thực thi ở thực địa, tăng năng suất lao động, giảm thời gian thực địa. Số lượng phép đo lớn làm tăng độ tin cậy của số liệu đo và đạt hiệu quả kinh tế cao.
- Giải pháp kỹ thuật quan trắc sử dụng công nghệ GNSS kết hợp với phần mềm lọc nhiễu cho phép bố trí quan trắc tự động với độ chính xác đảm bảo được các yêu cầu kỹ thuật cần thiết mà tiêu chuẩn xây dựng đã đề ra. Giải pháp kỹ thuật này có thời gian đo đạc và xử lý số liệu rất nhanh (thời gian xử lý số liệu từ 1-5 phút) điều này hoàn toàn phù hợp với đặc điểm thi công xây dựng các công trình cần sự quan trắc liên tục ở nước ta. Đó cũng chính là tính hiệu quả của nội dung nghiên cứu.

Có thể mở rộng khả năng ứng dụng giải pháp kỹ thuật này trong công tác: tư vấn giám sát xây dựng, kiểm tra nghiệm thu và quan trắc các công trình phức tạp, nhằm đem lại hiệu quả về kinh tế và kỹ thuật trong công tác trắc địa phục vụ thi công các công trình xây dựng ở Việt Nam.

Dựa trên các chu kỳ dịch chuyển, tham số dịch chuyển; Kết hợp các tài liệu nghiên cứu Địa chất công trình, Địa chất thủy văn để xây dựng các cảnh báo, các hàm dự báo lún, nghiêng, dịch chuyển một cách tổng hợp, ứng dụng các phương pháp thống kê, để phân tích đánh giá mức độ an toàn của các công trình như bờ mố, bãi thải, ... một cách toàn diện.

Ngoài các kết quả quan trắc tự động bằng phương pháp GNSS cần phải quan trắc số liệu các yếu tố liên quan, ảnh hưởng đến quá trình chuyển dịch và biến dạng công trình.

#### Tài liệu tham khảo

Kaya Y., Safak E. (2013) Real-Time Structural Health Monitoring and Damage Detection. In: Catbas F., Pakzad S., Racic V., Pavic A., Reynolds P. (eds) Topics in Dynamics of Civil Structures, Volume 4. Conference Proceedings of the Society for Experimental Mechanics Series. Springer, New York, NY

Alojz KOPÁČIK, Imrich LIPTÁK, Ján ERDÉLYI, Peter KYRINOVIČ, “Structural Health Monitoring of bridges using accelerometers – a case study at Apollo Bridge in Bratislava”, Geonauka, Vol. 3, No. 1, 2015.

Xiaolin Meng, “Real-time Deformation Monitoring of Bridges Using GPS/Accelerometers” Thesis submitted to the University of Nottingham for the degree of Doctor of Philosophy May 2002.

Nguyễn Việt Trung, “Cơ sở quan trắc công trình cầu trong thi công và khai thác” Nhà xuất bản xây dựng, Hà Nội, 2011.

### ABSTRACT

## Noise filtering in Structure Deformation monitoring using GNSS

Dương Thanh Trung<sup>1,\*</sup>, Lai Duc Truong<sup>2</sup>, Hoang Anh Tuan<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Hanoi University of Mining and Geology

<sup>2</sup> Aitogy Infrastructure Technology., JSC

The automatic monitoring system has been widely applied for structure deformation monitoring. A monitoring system consists of many automatic monitoring sensor stations installed at specific locations of the project site, with the aim of monitoring different quantities such as displacement, settlement, inclination, etc. All stations are generally connected to a control system through software, transmission of real-time

monitoring data of the monitored objects. Monitoring data can be analyzed and evaluated over time for reporting its health status.

Due to the influence of the environment and different measurement conditions, the measurement data is often affected by noise, causing measurement errors. Therefore, noise filtering is necessary in the processing of monitoring data to ensure the accuracy of measurement results. With real-time continuous monitoring data with a frequency from a few seconds to a few minutes, we propose an extended Kalman filter with parameters suitable for current monitoring conditions in Vietnam. The main objective of the paper is to build a mathematical model for extended Kalman filtering in automatic continuous construction displacement monitoring.

Research results show that: When applying filters to process monitoring data, the accuracy and reliability of monitoring results increase significantly compared to untreated data. Observation accuracy reached 3mm with data collection interval of 5 minutes and drift of 5mm during 1 minute.

*Keywords:* Deformation monitoring, GNSS, Kalman Filter.