



**Tạp chí Khoa học Kỹ thuật Mỏ - Địa chất**

Trang điện tử: <http://tapchi.humg.edu.vn>



# Ảnh hưởng giá trị khởi đầu của phép lọc Kalman tới kết quả dự báo chuyển dịch ngang công trình

Phạm Quốc Khánh \*

Khoa Trắc địa - Bản đồ và Quản lý đất đai, Trường Đại học Mỏ - Địa Chất, Việt Nam

**THÔNG TIN BÀI BÁO**

**TÓM TẮT**

*Quá trình:*

Nhận bài 15/2/2017  
 Chấp nhận 20/3/2017  
 Đăng online 28/4/2017

*Từ khóa:*

Lọc Kalman  
 Xử lý số liệu  
 Quan trắc biến dạng  
 Dự báo chuyển dịch

*Phép lọc Kalman được ứng dụng trong quan trắc chuyển dịch biến dạng công trình chủ yếu ở phương diện lọc số liệu đo và dự báo biến dạng. Phương pháp tính của lọc Kalman gồm hai bước là xây dựng mô hình và cập nhật trị đo. Do đó, phương pháp này cho phép ước lượng tối ưu giá trị của mẫu tại thời điểm xét, đồng thời dự báo giá trị chuyển dịch của một số chu kỳ tiếp theo. Khi áp dụng phương pháp lọc Kalman, xác định trạng thái ban đầu hay trị khởi đầu của phép lọc là rất quan trọng do giá trị này có ảnh hưởng tới kết quả của phép lọc. Chọn giá trị khởi đầu như thế nào cho hợp lý là vấn đề được nghiên cứu và giải quyết trong nội dung của bài báo. Từ kết quả thực nghiệm cho thấy, giá trị khởi đầu của phép lọc Kalman chỉ ảnh hưởng tới độ chính xác của một số chu kỳ đầu của mô hình, từ chu kỳ thứ 6 trở đi giá trị tính từ mô hình và giá trị dự báo có sự ổn định tương đối tốt, sai số của giá trị dự báo chỉ là 1.5% giá trị chuyển dịch thực tế của điểm quan trắc.*

© 2017 Trường Đại học Mỏ - Địa chất. Tất cả các quyền được bảo đảm.

**1. Mở đầu**

Lọc Kalman ứng dụng trong xử lý số liệu quan trắc biến dạng công trình đã đạt được một số kết quả nhất định trên thế giới, đó là lọc số liệu đo GPS, số liệu quét ba chiều, dự báo biến dạng công trình. (Phạm Quốc Khanh and Phạm Trung Dũng, 2016). Lọc Kalman xây dựng mô hình và cập nhật liên tục trị đo trên cơ sở tập mẫu để ước lượng tối ưu tức thời giá trị của mẫu tại thời điểm xét, đồng thời dự báo cho một số chu kỳ tiếp theo ở tương lai. Trong lĩnh vực trắc địa công trình, nghiên cứu ứng dụng lọc Kalman hiện nay phát triển rất mạnh khi

không còn gặp khó khăn về tính toán. Lọc Kalman được ứng dụng chủ yếu trong dự báo lún công trình (Phạm Quốc Khanh và nnk, 2015; Hua Yuanyuan, 2008) dự báo chuyển dịch ngang công trình (Phạm Quốc Khanh, Phạm Trung Dũng, 2016; Wang Qi, 2009); xử lý số liệu GPS đo liên tục (Cankut, Muhammed, 2000). Khi xử lý số liệu bằng lọc Kalman trong dự báo chuyển dịch biến dạng công trình, giá trị khởi đầu của phép lọc được chọn dựa vào kết quả xử lý số liệu quan trắc của chu kỳ trước đó. Tuy nhiên trên thực tế, rất khó để xác định giá trị khởi đầu theo lý thuyết nếu chỉ có dãy trị đo của một điểm quan trắc nào đó. Lúc đó, xác định giá trị khởi đầu của lọc Kalman một cách hợp lý sao cho kết quả lọc số liệu phù hợp với xu thế chuyển dịch của công trình ở thực tế là rất

\*Tác giả liên hệ

E-mail: [phamquockhanh@humg.edu.vn](mailto:phamquockhanh@humg.edu.vn)

quan trọng và có ý nghĩa. Vì thế, bài báo tập trung nghiên cứu vấn đề này.

## 2. Mô hình toán học và phương trình cơ bản của lọc Kalman

Mô hình toán của lọc Kalman gồm phương trình trạng thái (hoặc gọi là phương trình động thái) và phương trình trị đo, dạng rời rạc của nó là (Kalman, 1960):

$$X_k = \phi_{k/k-1} X_{k-1} + \Gamma_{k-1} W_{k-1} \quad (k=1, 2, \dots, n) \quad (1)$$

$$L_k = H_k X_k + V_k \quad (k=1, 2, \dots, n) \quad (2)$$

Trong đó:

$X_k$  là vector trạng thái ( $n$  chiều) của hệ thống ở thời điểm  $t_k$ ;

$L_k$  là vector trị đo ( $m$  chiều) của hệ thống ở thời điểm  $t_k$ ;

$\phi_{k/k-1}$  là ma trận ( $m \times n$ ) chuyển dịch trạng thái hệ thống trong thời gian từ  $t_{k-1}$  đến  $t_k$ ;

$W_{k-1}$  là nhiễu (có nghĩa là sai số) động thái ở thời điểm  $t_{k-1}$ ;

$\Gamma_{k-1}$  là ma trận ( $n \times r$ ) nhiễu động thái;

$H_k$  là ma trận ( $m \times n$ ) trị đo ở thời điểm  $t_k$ ;

$V_k$  là nhiễu ( $m$  chiều) của trị đo ở thời điểm  $t_k$ ;

$n$  là số lượng mẫu ban đầu xây dựng mô hình. Nếu  $W$  và  $V$  thỏa mãn đặc tính thống kê:

$$\begin{cases} E(W_k) = 0 \\ E(V_k) = 0 \end{cases} \quad (3)$$

$$\begin{cases} Cov(W_k, W_j) = Q_k \delta_{kj} \\ Cov(V_k, V_j) = R_k \delta_{kj} \\ Cov(W_k, V_j) = 0 \end{cases} \quad (4)$$

Trong đó:  $Q_k$  và  $R_k$  là ma trận phương sai nhiễu động thái và nhiễu trị đo;  $\delta_{kj}$  là hàm số Kronecker:

$$\delta_{kj} = \begin{cases} 1, & k = j \\ 0, & k \neq j \end{cases}$$

thì phương trình suy rộng dần lọc Kalman được tính như sau:

(1) Dự báo trạng thái

$$\hat{X}_{k/k-1} = \phi_{k/k-1} \hat{X}_{k-1} \quad (5)$$

(2) Dự báo ma trận hiệp phương sai trạng thái

$$P_{k/k-1} = \phi_{k/k-1} P_{k-1} \phi_{k/k-1}^T + \Gamma_{k-1} Q_{k-1} \Gamma_{k-1}^T \quad (6)$$

(3) Tính ma trận hiệu ích

$$K_k = P_{k/k-1} H_k^T (H_k P_{k/k-1} H_k^T + R_k)^{-1} \quad (7)$$

(4) Ước lượng trạng thái

$$\hat{X}_k = \hat{X}_{k/k-1} + K_k (L_k - H_k \hat{X}_{k/k-1}) \quad (8)$$

(5) Ước lượng ma trận hiệp phương sai trạng thái

$$P_k = (I - K_k H_k) P_{k/k-1} \quad (9)$$

(6) Điều kiện trạng thái ban đầu

$$\hat{X}_0 = E(X_0) = \mu_0, \quad \hat{P}_0 = Var(X_0) \quad (10)$$

Từ phương trình dự báo trạng thái (5), khi đã biết trạng thái  $\hat{X}_{k-1}$  của hệ thống động thái ở thời điểm  $t_{k-1}$ , đặt  $W_{k-1} = 0$  thì có thể có được trị dự báo trạng thái  $\hat{X}_{k/k-1}$  ở thời điểm  $t_k$ . Từ (7), sau khi tiến hành đo hệ thống  $L_k$  ở thời điểm  $t_k$ , thì có thể dùng trị đo này tiến hành hiệu chỉnh trị dự báo để được ước lượng trạng thái (trị lọc)  $\hat{X}_k$  của hệ thống ở thời điểm  $t_k$ . Vì thế, sau khi đã cho trị ban đầu  $\hat{X}_0, \hat{P}_0$ , thì có thể dựa vào phương trình (5) đến (10) tiến hành xây dựng mô hình chuyển dịch và dự báo cho tương lai

## 3. Xác định giá trị khởi đầu của phép lọc Kalman

### 3.1. Phương trình trạng thái điểm đo và phương trình trị đo

Trường hợp xác định được tọa độ không gian của điểm quan trắc, ví dụ dùng GPS để quan trắc biến dạng công trình, vị trí điểm quan trắc khi đó là tọa độ không gian 3 chiều  $(X, Y, Z)$  hoặc tọa độ trắc địa  $(B, L, H)$ , cũng có thể là tọa độ  $(x, y, h)$  trong hệ tọa độ độc lập của công trình. Để lập phương trình trạng thái và phương trình trị đo của hệ thống biến dạng trong hệ tọa độ độc lập công trình, xét vị trí của một điểm đo  $X = (x, y, h)^T$ , tốc độ biến dạng  $\dot{X} = (\dot{x}, \dot{y}, \dot{h})^T$  và gia tốc biến dạng  $\ddot{X} = (\ddot{x}, \ddot{y}, \ddot{h})^T$  là tham số trạng thái, phương trình trạng thái là (Huang, và nmk, 2003)

$$\begin{bmatrix} X \\ \dot{X} \\ \ddot{X} \end{bmatrix}_k = \begin{bmatrix} E & \Delta t_k E & \frac{1}{2} \Delta t_k^2 E \\ 0 & E & \Delta t_k E \\ 0 & 0 & E \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X \\ \dot{X} \\ \ddot{X} \end{bmatrix}_{k-1} + \begin{bmatrix} \frac{1}{6} \Delta t_k^3 E \\ \frac{1}{2} \Delta t_k^2 E \\ \Delta t_k E \end{bmatrix} W_{k-1} \quad (11)$$

Trong đó: 0 và E là ma trận 0 bậc 3 và ma trận đơn vị bậc 3;

$\Delta t_k = t_k - t_{k-1}$  là hiệu hai thời điểm đo kề nhau.

Nếu lấy kết quả tọa độ 3 chiều của điểm đo làm trị đo thì phương trình trị đo là

$$\begin{bmatrix} x \\ y \\ h \end{bmatrix}_k = [E \quad 0 \quad 0] \begin{bmatrix} X \\ \dot{X} \\ \ddot{X} \end{bmatrix}_k + V_k \quad (12)$$

Phương trình (11) và (12) tạo thành mô hình toán cơ bản một điểm đơn của lọc Kalman trong hệ thống biến dạng.

Việc chọn tham số trạng thái của hệ thống biến dạng liên quan đến đối tượng quan trắc biến dạng và tần suất đo, nếu đối tượng quan trắc có tính động thái mạnh, biến đổi nhanh, cần phải xét đến tốc độ và gia tốc biến đổi của điểm đo; nếu đối tượng quan trắc có tính động thái không mạnh, xu thế biến dạng chậm mà tần suất đo tương đối cao thì có thể chỉ xét đến tốc độ biến đổi của điểm đo, còn biến đổi chốc lát của tốc độ được xem là nhiễu (sai số) ngẫu nhiên. Lúc đó phương trình trạng thái và phương trình trị đo của một điểm đơn là:

$$\begin{bmatrix} X \\ \dot{X} \end{bmatrix}_k = \begin{bmatrix} E & \Delta t_k E \\ 0 & E \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X \\ \dot{X} \end{bmatrix}_{k-1} + \begin{bmatrix} \frac{1}{2} \Delta t_k^2 E \\ \Delta t_k E \end{bmatrix} W_{k-1} \quad (13)$$

$$\begin{bmatrix} x \\ y \\ h \end{bmatrix}_k = [E \quad 0] \begin{bmatrix} X \\ \dot{X} \end{bmatrix}_k + V_k \quad (14)$$

Nếu xem hệ thống biến dạng là hệ thống tuyến tính ngẫu nhiên rời rạc, mẫu số liệu đo tương đối dày, trong thời gian ngắn thì hoàn toàn có thể bỏ qua biến đổi vị trí, tức xem biến đổi trong chốc lát của vị trí là nhiễu ngẫu nhiên, lúc đó có thể tiến hành tính toán theo phương trình của lọc Kalman với phương trình trạng thái và phương trình trị đo của điểm đơn khi đó theo phương trình (15), (16).

$$\begin{bmatrix} x \\ y \\ h \end{bmatrix}_k = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \\ h \end{bmatrix}_{k-1} + W_{k-1} \quad (15)$$

$$\begin{bmatrix} x \\ y \\ h \end{bmatrix}_k = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \\ h \end{bmatrix}_k + V_k \quad (16)$$

### 3.2. Xác định trị khởi đầu của phép lọc Kalman

Từ phương trình tính toán của lọc Kalman có thể thấy, muốn xác định trạng thái ở thời điểm  $t_k$  của hệ thống, đầu tiên cần phải biết trạng thái khởi đầu của hệ thống, tức cần biết trị khởi đầu của hệ thống. Trên thực tế, trước khi lọc, trạng thái khởi đầu của hệ thống khó mà xác định chính xác, thường chỉ có thể gần đúng. Nhưng nếu trị khởi đầu có sai lệch tương đối lớn thì có thể dẫn đến kết quả lọc có sai số tương đối lớn, biến dạng của điểm là không chân thực. Do đó xác định hợp lý trị khởi đầu của hệ thống là rất quan trọng. Trị khởi đầu của lọc hệ thống gồm: vector trạng thái khởi đầu  $X_0$ , ma trận  $P_0$  tương ứng với nó và ma trận phương sai của nhiễu đo  $R_k$ . Có thể phân tích thành 2 trường hợp như sau:

(1) Đối với quan trắc chuyển dịch biến dạng theo chu kỳ, thường lấy vector chuyển dịch  $X$  và tốc độ biến đổi  $\dot{X}$  của điểm đo làm tham số trạng thái, lúc đó có thể lấy chuyển dịch của điểm đo sau bình sai của chu kỳ hai  $X''$  làm tham số vị trí khởi đầu  $X_0$ , ma trận phương sai tương ứng là ma trận phương sai vị trí khởi đầu; lấy tốc độ chuyển dịch trung bình của hai chu kỳ  $\Delta t^{-1}(X'' - X')$  làm tham số tốc độ chuyển dịch khởi đầu  $\dot{X}_0$ , ma trận phương sai của nhiễu  $R_k$  theo lý thuyết có thể trực tiếp xác định từ phương pháp xử lý số liệu đo, chỉ lấy giá trị trên đường chéo chính.

(2) Trường hợp chỉ biết véc tơ chuyển dịch  $X$  và thời gian quan trắc giữa các chu kỳ, phương sai của nhiễu không biết. Khi đó chỉ có thể xác định các giá trị chưa biết một cách gần đúng. Đây là trường hợp cần xây dựng mô hình chuyển dịch và dự báo đối với một dãy số liệu quan trắc trên thực tế mà không có kết quả tính toán bình sai của các chu kỳ.

Ảnh hưởng của các giá trị khởi đầu khi đưa vào phép lọc Kalman đối với kết quả lọc, xây dựng mô hình và dự báo được phân tích cụ thể qua phần thực nghiệm dưới đây.

#### 4. Ảnh hưởng của giá trị khởi đầu đối với kết quả lọc Kalman

Tiến hành tính toán thực nghiệm đối với số liệu quan trắc 16 chu kỳ chuyển dịch ngang điểm M8 của thủy điện Yaly, trong khuôn khổ bài báo này chỉ làm thực nghiệm đối với chuyển dịch theo trục Y của

điểm quan trắc. Bảng 1 là số liệu quan trắc chuyển dịch thực tế theo số liệu đo của điểm quan trắc M8 (Công ty tư vấn xây dựng điện I, 2006).

Sử dụng giá trị của 14 chu kỳ quan trắc xây dựng mô hình chuyển dịch, qua tính toán theo phép lọc Kalman, tính giá trị dự báo cho 2 giá trị chu kỳ 15 và 16. Để có kết luận hợp lý về giá trị

Bảng 1. Số liệu quan trắc chuyển dịch theo trục Y của điểm M8.

Chu kỳ	Thời gian quan trắc (tháng)	Chuyển dịch thực tế (mm)	Chu kỳ	Thời gian quan trắc (tháng)	Chuyển dịch thực tế (mm)
1	4	0.00	9	38	-209.2
2	8	-77.6	10	45	-212.3
3	11	-91.5	11	51	-211.1
4	15	-98.1	12	57	-220.0
5	19	-190.9	13	65	-217.7
6	23	-191.4	14	69	-219.7
7	27	-199.8	15	75	-219.1
8	32	-204.2	16	80	-225.7

Bảng 2. So sánh giá trị dự báo 3 mô hình đầu.

		Mô hình 1		Mô hình 2		Mô hình 3		
Trị khởi đầu (vận tốc chuyển dịch chu kỳ 2 so với chu kỳ 1)			-77.6		-77.6		-77.6	
Giá trị nhiễu ban đầu $R_k$		0.5	0.5	30	30	77.6	77.6	
Chu kỳ	Thời gian quan trắc (tháng)	Chuyển dịch đo (mm)	Giá trị theo mô hình (mm)	Sai số (mm)	Giá trị theo mô hình (mm)	Sai số (mm)	Giá trị theo mô hình (mm)	Sai số (mm)
1	4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2	8	-77.6	-99.7	22.1	-77.8	0.2	-77.7	0.0
3	11	-91.5	-101.76	10.2	-92.8	1.3	-92.4	0.9
4	15	-98.1	-97.3	-0.7	-98.8	0.7	-98.8	0.7
5	19	-190.9	-176.8	-14.0	-178.9	-11.9	178.9	-11.9
6	23	-191.4	-199.4	8.0	-199.9	8.5	200.0	8.6
7	27	-199.8	-203.7	3.9	-203.6	3.8	-203.6	3.8
8	32	-204.2	-205.2	1.0	-205.0	0.8	-205.0	0.8
9	38	-209.2	-208.9	-0.2	-208.8	-0.3	-208.8	-0.3
10	45	-212.3	-212.2	0.0	-212.2	-0.0	-212.2	0.0
11	51	-211.1	-212.4	1.3	-212.4	1.3	-212.4	1.3
12	57	-220.0	-218.2	-1.7	-218.2	-1.7	-218.2	-1.7
13	65	-217.7	-219.0	1.3	-219.0	1.3	-219.0	1.3
14	69	-219.7	-220.1	0.4	-220.1	0.4	-220.1	0.4
			Giá trị dự báo (mm)	Sai số (mm)	Giá trị dự báo (mm)	Sai số (mm)	Giá trị dự báo (mm)	Sai số (mm)
15	75	-219.1	-221.2	-2.1	-221.2	-2.1	-221.2	-2.1
16	80	-225.7	-222.3	3.4	-222.3	3.4	-222.3	3.4

Bảng 3. So sánh giá trị dự báo 3 mô hình sau.

		Mô hình 4			Mô hình 5		Mô hình 6	
Trị khởi đầu (vận tốc chuyển dịch chu kỳ 2 so với chu kỳ 1))			-10.0		-40		-77.6	
Giá trị nhiễu ban đầu $R_k$			77.6	77.6	77.6	77.6	77.6	77.6
Chu kỳ	Thời gian quan trắc (tháng)	Chuyển dịch đo (mm)	Giá trị mô hình (mm)	Sai số (mm)	Giá trị mô hình (mm)	Sai số (mm)	Giá trị mô hình (mm)	Sai số (mm)
1	4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2	8	-77.6	-77.5	-0.1	-77.6	0.0	-77.6	0.0
3	11	-91.5	-92.2	0.7	-92.3	0.8	-92.4	0.9
4	15	-98.1	-98.8	0.7	-98.8	0.7	-98.8	0.7
5	19	-190.9	-178.9	-11.9	-178.9	-11.9	-178.9	-11.9
6	23	-191.4	-200.0	8.6	-200.0	8.6	-200.0	8.6
7	27	-199.8	-203.6	3.8	-203.6	3.8	-203.6	3.8
8	32	-204.2	-205.1	0.9	-205.1	0.9	-205.2	1.0
9	38	-209.2	-208.8	-0.3	-208.8	-0.3	-208.8	-0.3
10	45	-212.3	-212.2	-0.0	-212.2	-0.0	-212.2	0.0
11	51	-211.1	-212.4	1.3	-212.4	1.3	-212.4	1.3
12	57	-220.0	-218.2	-1.7	-218.2	-1.7	-218.2	-1.7
13	65	-217.7	-219.0	1.3	-219.0	1.3	-219.0	1.3
14	69	-219.7	-220.1	0.4	-220.1	0.4	-220.1	0.4
			Giá trị dự báo (mm)	Sai số (mm)	Giá trị dự báo (mm)	Sai số (mm)	Giá trị dự báo (mm)	Sai số (mm)
15	75	-219.1	-221.2	-2.1	-221.2	-2.1	-221.2	-2.1
16	80	-225.7	-222.3	3.4	-222.3	3.4	-222.3	3.4

khởi đầu của phép lọc, tiến hành xây dựng 6 mô hình chuyển dịch có các giá trị đầu vào khác nhau. Ba mô hình đầu, lấy giá trị khởi đầu là tốc độ chuyển dịch của điểm quan trắc chu kỳ 2 so với chu kỳ 1; ma trận phương sai của nhiễu thay đổi. Ba mô hình sau, giá trị khởi đầu của vận tốc chuyển dịch thay đổi nhưng ma trận phương sai của nhiễu giống nhau. Bố trí mô hình 3 và mô hình 6 giống nhau để so sánh. Kết quả tính toán cụ thể như Bảng 2 và Bảng 3.

- Từ Bảng 2 có thể thấy mô hình chuyển dịch xây dựng bằng lọc Kalman có độ chính xác tăng lên khi giá trị phương sai của nhiễu tăng dần đến vận tốc chuyển dịch. Trong 3 mô hình trên, sai số mô hình lớn nhất là của mô hình 1 với 22.1mm, sai số nhỏ nhất của 3 mô hình là 0.0mm.

- Theo kết quả tính toán thực tế của ba mô hình đầu, thấy rằng nếu lấy giá trị khởi đầu là tốc độ chuyển dịch của điểm quan trắc (chu kỳ 2 so với chu kỳ 1) và phương sai bằng đúng với giá trị đó (dấu dương) thì mô hình đạt kết quả tốt nhất. Trên cơ sở đó, tiến hành thực nghiệm với ba mô hình tiếp theo sử dụng phương sai cho kết quả tốt nhất trong thực nghiệm 1 nhưng có tốc độ chuyển dịch khác nhau, kết quả cụ thể được trình bày trong Bảng 3.

- Khi tăng tốc độ chuyển dịch của trị ban đầu đến tốc độ chuyển dịch thực tế của chu kỳ 2 với chu kỳ 1, trong điều kiện cùng phương sai của nhiễu thì sai số mô hình thay đổi không đáng kể. Sai số lớn nhất của cả 3 mô hình là -11.9mm, sai số nhỏ nhất là 0.0mm.

- Với cả 6 mô hình trên, giá trị tính từ mô hình lọc Kalman ổn định từ chu kỳ thứ 6 trở đi;

Nhìn vào giá trị dự báo của 2 chu kỳ 15 và 16, giá trị này chỉ bằng 1.5% giá trị chuyển dịch của điểm quan trắc. Trong khi Việt Nam chưa có quy định cụ thể, quy định của Trung Quốc (Hua Yuanyuan, 2008), giá trị chuyển dịch dự báo không vượt quá 10% giá trị chuyển dịch thực tế thì mô hình đạt yêu cầu về độ chính xác.

- Các giá trị dự báo của chu kỳ 15 và 16 là như nhau với cả 6 trường hợp.

## 5. Kết luận

- Giá trị khởi đầu của lọc Kalman ảnh hưởng tới kết quả lọc của một số giá trị ban đầu. Trong xây dựng mô hình chuyển dịch biến dạng thực nghiệm, khi không có ma trận phương sai của nhiễu, nên lấy giá trị khởi đầu của phép lọc và phương sai của nhiễu (với giá trị dương) bằng tốc độ chuyển dịch của chu kỳ 2 so với chu kỳ 1.

- Khi xây dựng mô hình lọc Kalman mà không biết giá trị khởi đầu, mô hình vẫn có độ tin cậy và độ ổn định tốt với điều kiện tập mẫu có từ 7 chu kỳ trở lên.

- Khi dự báo chuyển dịch, chỉ nên dự báo cho một số ít chu kỳ tính từ chu kỳ đang xét.

## Tài liệu tham khảo

Cankut, D. I., and Muhammed, S., 2000. Real-time deformation monitoring with GPS and Kalman Filter. *Earth Planets Space* 52, 837-840.

Công ty tư vấn xây dựng điện I, 2006. Công tác đo đạc quan trắc biến dạng tuyến áp lực chu

kỳ 18. *Báo cáo kỹ thuật*.

Hua, Y., 2008. Phương pháp lọc Kalman và ứng dụng trong xử lý số liệu quan trắc biến dạng. *Tạp chí quản lý sáng tạo và kỹ thuật* 29(6), 658-660 (tiếng Trung Quốc).

Huang, S., Yin, H., Jiang, Z., 2003. *Xử lý số liệu quan trắc biến dạng*. Nhà xuất bản đại học Vũ Hán (tiếng Trung Quốc).

Kalman, R. E., 1960. A new approach to linear filtering and prediction problems, *Journal of Basic Engineering* 82D, 35-45.

Jiang, Q., 2001. Quy phạm quan trắc chuyển dịch cấp 1, 2 quốc gia. *Tiêu chuẩn hóa Trắc địa và bản đồ* 17(4), 5-9.

Pham Quoc Khanh, Pham Trung Dung, Tran Quynh An, 2015. Building estimation model of construction using Kalman filter. *Proceedings of the 2rd international conference in Scientific research cooperation between Vietnam and Poland on Earth Sciences*, 276-283.

Pham Quoc Khanh and Pham Trung Dung, 2016. Applied Kalman filter for prediction of horizontal movement of construction. *International symposium on geo-spatial and mobile mapping technologies and summer school for mobile mapping technology*, 60-64.

Wang, Q., 2009. Application of Kalman filter analysis method in deformation monitoring data procession. *Chinese journal of engineering geophysics* 6 (5), 608-611 (tiếng Trung Quốc).

## **ABSTRACT**

### **Influence of initial state vector and covariance matrix of Kalman filter on predicting horizontal movement in the deformation monitoring**

Khanh Quoc Pham

*Faculty of Geomatics and Land Administration, Hanoi University of Mining and Geology, Vietnam.*

Kalman filter is mainly used for processing data and predicting horizontal movements in the deformation monitoring of engineered structures. The technique consists of two main steps: estimation of the current state variables and updating observation of next measurement. It allows one to have the optimal estimation of the current movement as well as the estimation of movements in the next cycles. The determination of initial state vector and covariance matrix is crucial procedure of this algorithm as it impacts the final results of the filter. This study focuses on the determination of initial state vector and covariance matrix, and the results show that the initial state vector and covariance matrix only influence on the accuracy of prediction in the several initial cycles, but after the cycle of six the error of predicted movements is just under 10% of their values.