

# NGHIÊN CỨU ỨNG DỤNG PHƯƠNG PHÁP LỌC KALMAN DỰ BÁO DỊCH CHUYỂN ĐỨNG BỀ MẶT

TS. PHẠM QUỐC KHÁNH, ThS. NGUYỄN QUỐC LONG  
Trường Đại học Mỏ-Địa Chất

## 1. Tổng quan

Các hiện tượng dịch chuyển đất đá và biến dạng bề mặt là mối đe dọa nguy hiểm đối với các công trình tự nhiên và nhân tạo trên bề mặt đất. Trên thế giới, ngay từ đầu thế kỷ 18, việc khai thác than hầm lò tại một số nước Châu Âu như Bỉ, Pháp, Anh... đã gây ra những tác động tiêu cực tới bề mặt, gây thiệt hại nhiều về kinh tế. Tại Việt Nam, những thiệt hại do dịch chuyển biến dạng ở mỏ khá phổ biến, có thể kể đến như: Ở mỏ Mạo Khê trạm quạt ở mức 142 m bị hỏng, phải sửa chữa nhiều lần và tốn kém; tại mỏ Mông Dương dịch chuyển đất đá mỏ làm nghiêng cột điện cao thế 110 KV, gây biến dạng giếng đứng, nứt tường nhà dân; hiện tượng lún đất đá mỏ gây xuống cấp nghiêm trọng đường ô tô lên mỏ Đèo Nai; dịch chuyển bề mặt làm hư hại hệ thống đường ray ở khu vực Công ty Than Dương Huy [4].

Để cảnh báo sớm các hiện tượng dịch chuyển ở mỏ thì nhiều phương pháp dự báo biến dạng do ảnh hưởng của quá trình khai thác mỏ hầm lò đã được xây dựng. Trong các nhóm phương pháp dựa trên nguyên lý hình học, nhóm phương pháp môi trường liên tục và ngẫu nhiên, nhóm phương pháp quan hệ thực nghiệm... thì phương pháp dự báo dựa trên số liệu quan trắc thực nghiệm được cho là có tính ưu việt hơn cả vì số liệu quan trắc thực địa đã thể hiện được ảnh hưởng tổng hợp của các yếu tố địa chất-khai thác tác động lên bề mặt.

Trong nhóm phương pháp quan hệ thực nghiệm, mô hình lọc Kalman do nhà khoa học Kalman đề xuất vào những năm 60 của thế kỷ 20 có tính hiện đại và thực tiễn cao. Đây là phương pháp tính suy rộng dần, có hiệu quả cao trong xử lý số liệu tức thời đối với hệ thống có trạng thái động. Các nhà khoa học trắc địa đã triển khai nghiên cứu ứng dụng lọc Kalman trong nhiều phương diện và đã đạt được những thành tựu nhất định [1], [6], [7]. Vài năm gần đây, lọc Kalman được ứng dụng rộng rãi để lọc và xử lý số liệu quan trắc biến dạng liên

tục ở những công trình quan trọng như đập thủy điện, cầu lớn... Ở Việt Nam, việc nghiên cứu ứng dụng lọc Kalman mới chỉ được đề cập ở một vài công trình nghiên cứu khoa học thuộc lĩnh vực trắc địa công trình [2], [5]. Việc nghiên cứu ứng dụng phép lọc này trong lĩnh vực trắc địa mỏ vẫn là vấn đề chưa được nghiên cứu.

## 2. Mô hình toán học và công thức cơ bản của mô hình lọc Kalman

Đối với hệ thống (trạng thái) động, sử dụng phương thức suy rộng dần lọc Kalman, nhờ ma trận chuyển dịch trạng thái của bản thân hệ thống và số liệu đo sẽ ước lượng được giá trị trạng thái tối ưu tức thời của hệ thống. Ngoài ra, còn có thể dự báo trạng thái của hệ thống trong tương lai, do đó phương pháp lọc Kalman được dùng để khống chế tức thời và dự báo nhanh chóng cho hệ thống động.

Mô hình toán của lọc Kalman gồm phương trình trạng thái và phương trình trị đo, dạng rời rạc của nó là [1], [3]:

$$X_k = \Phi_{k/k-1} X_{k-1} + \Gamma_{k-1} W_{k-1} \quad (1)$$

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

Trong đó:  $X_k$  - Vector trạng thái ( $n$  chiều) của hệ thống ở thời điểm  $t_k$ ;  $L_k$  - Vector trị đo ( $m$  chiều) hệ thống ở thời điểm  $t_k$ ;  $\Phi_{k/k-1}$  - Ma trận  $m \times n$  chuyển dịch trạng thái hệ thống trong thời gian từ  $t_{k-1}$  đến  $t_k$ ;  $W_{k-1}$  - Nhiễu (có nghĩa là sai số) động thái ở thời điểm  $t_{k-1}$ ;  $\Gamma_{k-1}$  - Ma trận  $n \times r$  nhiễu động thái;  $H_k$  - Ma trận  $m \times n$  trị đo ở thời điểm  $t_k$ ;  $V_k$  - Nhiễu ( $m$  chiều) của trị đo ở thời điểm  $t_k$ .

Nếu  $W$  và  $V$  thỏa mãn đặc tính thống kê:

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

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



Trong đó:  $Q_k$  và  $R_k$  - Các ma trận phương sai nhiễu động thái và nhiễu trị đo;  $\delta_{kj}$  - Hàm số Kronecker, tức:

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

Công thức suy rộng dần lọc Kalman được tính như sau:

❖ Dự báo trạng thái:

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

❖ Dự báo ma trận hiệp phương sai trạng thái:

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

❖ Tính ma trận hiệu ích:

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

❖ Ước lượng trạng thái:

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

❖ Ước lượng ma trận hiệp phương sai trạng thái:

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

❖ Điều kiện trạng thái ban đầu:

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

Từ (5) thấy rằng, 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  $t_k$ , lặp lại như vậy để suy rộng dần dự báo và lọc. Do đó, sau khi đã cho trị ban đầu  $\hat{X}_0, \hat{P}_0$ , thì có thể

dựa vào (5) ~ (10) tiến hành tính toán suy rộng dần để thực hiện mục đích lọc.

### 3. Ứng dụng lọc Kalman trong dự báo độ lún bề mặt mỏ

Trạm quan trắc dịch động trên bề mặt mỏ Thống Nhất gồm 5 tuyến, 2 tuyến dọc theo đường phương và 3 tuyến theo hướng dốc của vỉa. Các tuyến được đo 11 chu kỳ, trung bình mỗi chu kỳ đo cách nhau từ 3 đến 4 tháng [4]. Độ cao chuyển từ mốc cố định đến mốc công tác bằng thủy chuẩn hình học hạng III, dùng máy Ni 030, mia 2 mặt, sai số khép giữa 2 lần đo đi và về nhỏ hơn  $15\sqrt{L}$  (mm). Trong tính toán thực nghiệm các tác giả đã xây dựng mô hình dự báo và dự báo biến dạng cho 10 điểm quan trắc trên bề mặt thuộc tuyến quan trắc P. Trong khuôn khổ nội dung bài báo, các tác giả chỉ trích giới thiệu kết quả xây dựng mô hình cũng như kết quả ứng dụng mô hình để dự báo lún trong tương lai của 2 điểm quan trắc là P18, P24. Số liệu đo lún 11 chu kỳ của 2 điểm trên được ghi trong Bảng 1.

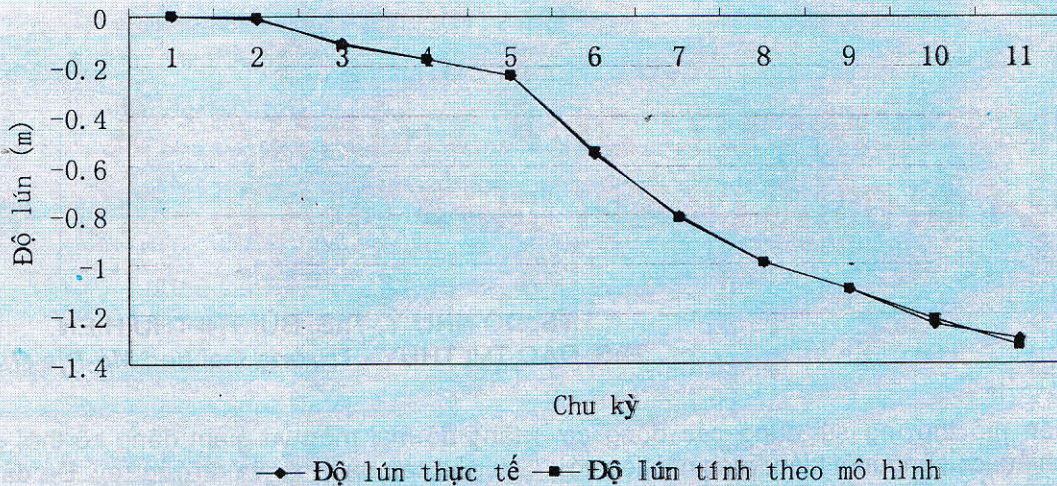
Bảng 1. Số liệu đo lún 11 chu kỳ điểm P18 và P29 (m)

| Chu kỳ | P18    | P29    | Chu kỳ | P18    | P29    |
|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 1      | 0      | 0      | 7      | -0.805 | -0.609 |
| 2      | -0.016 | -0.037 | 8      | -0.991 | -0.645 |
| 3      | -0.11  | -0.278 | 9      | -1.098 | -0.644 |
| 4      | -0.174 | -0.371 | 10     | -1.243 | -0.718 |
| 5      | -0.24  | -0.481 | 11     | -1.297 | -0.783 |
| 6      | -0.556 | -0.578 |        |        |        |

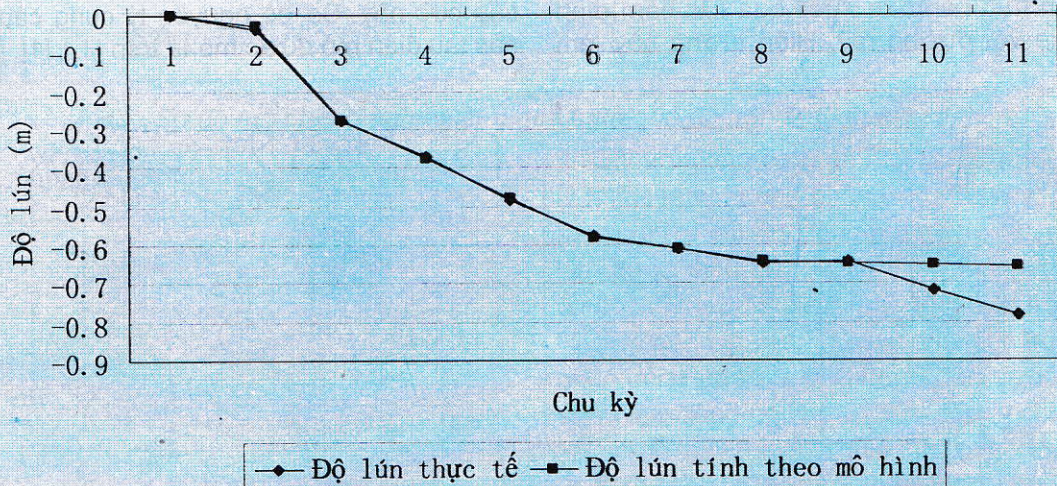
Bảng 2. Kết quả tính toán từ mô hình Kalman của điểm P18 và điểm P29 (m)

| Điểm P18              |             |                         |        | Điểm P29              |             |                         |        |
|-----------------------|-------------|-------------------------|--------|-----------------------|-------------|-------------------------|--------|
| Chu kỳ                | Trị đo thực | Giá trị tính từ mô hình | Sai số | Chu kỳ                | Trị đo thực | Giá trị tính từ mô hình | Sai số |
| 1                     | 0           | 0.000                   | 0.000  | 1                     | 0           | 0.000                   | 0.000  |
| 2                     | -0.016      | -0.005                  | -0.011 | 2                     | -0.037      | -0.026                  | -0.011 |
| 3                     | -0.11       | -0.112                  | 0.002  | 3                     | -0.278      | -0.276                  | -0.002 |
| 4                     | -0.174      | -0.175                  | 0.001  | 4                     | -0.371      | -0.376                  | 0.005  |
| 5                     | -0.24       | -0.240                  | 0.000  | 5                     | -0.481      | -0.479                  | -0.002 |
| 6                     | -0.556      | -0.549                  | -0.007 | 6                     | -0.578      | -0.579                  | 0.001  |
| 7                     | -0.805      | -0.809                  | 0.004  | 7                     | -0.609      | -0.611                  | 0.002  |
| 8                     | -0.991      | -0.992                  | 0.001  | 8                     | -0.645      | -0.644                  | -0.001 |
| 9                     | -1.098      | -1.102                  | 0.004  | 9                     | -0.644      | -0.646                  | 0.002  |
| Sai số mô hình: 0.003 |             |                         |        | Sai số mô hình: 0.003 |             |                         |        |
| Giá trị dự báo        |             |                         |        | Giá trị dự báo        |             |                         |        |
| 10                    | -1.243      | -1.217                  | 0.026  | 10                    | -0.718      | -0.652                  | 0.066  |
| 11                    | -1.297      | -1.331                  | -0.034 | 11                    | -0.783      | -0.657                  | 0.126  |





H.1. Đồ thị dự báo lún điểm P18



H.2. Đồ thị dự báo lún điểm P29

Từ số liệu đo lún, sử dụng 9 chu kỳ đầu của các điểm đo, dựa vào lý thuyết phép lọc Kalman nêu trên để thành lập mô hình độ lún và tính toán giá trị dự báo cho 2 chu kỳ 10 và 11. Giá trị dự báo được so sánh với giá trị thực tế để so sánh và phân tích. Kết quả tính toán độ lún của điểm P18 và P29 được ghi trong Bảng 2. Biểu đồ so sánh độ lún tính được từ mô hình dự báo Kalman với số liệu độ lún thực tế được thể hiện trên hình H.1 và H.2. Nhìn vào đồ thị ở hình H.1 và hình H.2 có thể thấy rằng:

- ❖ Giá trị tính toán độ lún 2 điểm quan trắc bề mặt mỏ Thống Nhất từ mô hình Kalman tương đối sát với số liệu đo đạc thực tế, sai số ở mô hình rất nhỏ;

- ❖ Giá trị dự báo ở mô hình 1 tốt hơn mô hình 2, nguyên nhân là do xu thế lún của điểm P18 đều hơn xu thế lún của điểm P29. Chu kỳ 8 và 9 của điểm P18 độ lún dương trong khi đó tại điểm P29 thì chu kỳ 8 và 9 độ lún gần như bằng 0 nên mô hình có xu thế đi ngang, điều này có thể do sai số đo đạc vì ở chu kỳ tiếp theo điểm P29 lại tiếp tục lún.

### 5. Kết luận

- ❖ Ứng dụng lọc Kalman xây dựng mô hình lún bề mặt mỏ cho độ chính xác tốt, phù hợp với dự báo biến dạng trạng thái động.

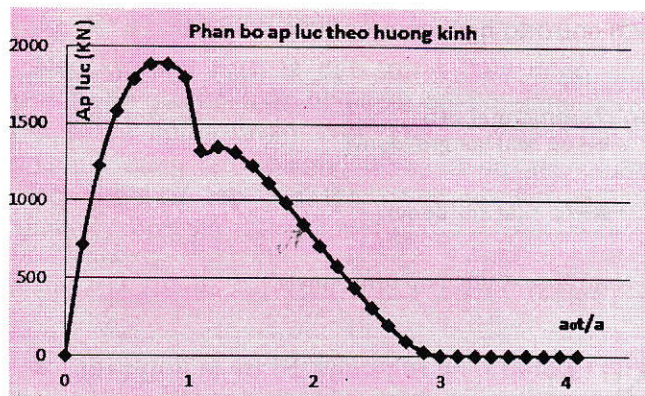
- ❖ Chỉ nên tính toán giá trị dự báo cho một số ít chu kỳ tiếp theo chu kỳ đang xét để đảm bảo độ chính xác dự báo. □

### TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Phan Văn Hiến, Phạm Quốc Khánh. Xử lý số liệu quan trắc biến dạng. NXB Khoa học Kỹ thuật. 2012.
2. Lê Văn Hùng. Nghiên cứu bình sai kết hợp trị đo GPS và trị đo mặt đất trong hệ tọa độ vuông góc không gian địa diện chân trời áp dụng cho các mạng lưới trắc địa công trình. Luận án Tiến sĩ Kỹ thuật. Trường Đại học Mỏ-Địa chất. 2014.
3. Phạm Quốc Khánh, 2012. Xử lý số liệu quan trắc biến dạng công trình và ứng dụng tại Việt Nam. Luận án Tiến sĩ. Tiếng Trung Quốc.

(Xem tiếp trang 22)





H.6. Phân bố áp lực lên chướng ngại hình cầu

5. Kết luận

Tùy thuộc quy luật và độ lớn của sóng xung kích, áp suất sóng xung kích tác dụng lên vật thể cầu lớn nhất khi ở vị trí gần tới mặt cắt đi qua tâm của hình cầu và vuông góc với hướng truyền sóng, vì tác động lúc này là tổng của sóng tới và nhiễu xạ. Trong công tác thiết kế, nếu buộc phải có các kết cấu cầu thì các nhà thiết kế cần chú ý đến gia cường độ bền cho vùng có vị trí mặt cắt tương ứng với 1/3 bán kính của vật thể hình cầu. Ngoài ra, căn cứ vào nghiên cứu này có thể giảm thiểu được việc phải tiến hành thí nghiệm nổ thực tế để xác định khả năng tương tác giữa lượng nổ và kết cấu, giúp tiết kiệm được chi phí và đảm bảo an toàn về người và phương tiện khi thực hiện nổ thực tế. □

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Báo cáo tổng hợp số liệu thực nghiệm nổ dưới nước tại Đảo Sơn Ca-Trường Sa 2013. Đề tài cấp nhà nước KC-09.06/11-15.

2. Tô Đức Thọ, Trịnh Trung Tiến. Mô phỏng tải trọng nổ trong môi trường nước. Tuyển tập công trình Hội nghị Cơ học kỹ thuật toàn quốc. Tập 2. Cơ học vật rắn biến dạng. Hà Nội. 6/2014.

3. Vũ Đình Lợi, Tô Đức Thọ, Lê Anh Tuấn, Phạm Công Nghị, Một số kết quả nghiên cứu thực nghiệm nổ trong vùng nước nông tại khu vực Trường Sa. Tuyển tập công trình Hội nghị Cơ học kỹ thuật toàn quốc. Tập 2. Cơ học vật rắn biến dạng. Hà Nội. 6/2014.

4. B.V. Zamyshlyayev, et al. Dynamic loads in underwater explosion. Washington D.C. 2/1973.

Người biên tập: Hồ Sĩ Giao

SUMMARY

The paper shows the results of mutual action of blasting ware under water with barricade of sphere form.

ĐỀ BÀI THÁNG

1. Dừng những nghi ngờ, hãy thực hiện từng bước nhỏ trong kế hoạch dài bạn đã vạch ra. Regina Brett.

2. Kẻ ngu dốt có học ngu dốt hơn người vô học nhiều. Benjamin Franklin.

3. Logic sẽ đưa anh từ điểm A tới điểm B. Trí tưởng tượng sẽ đưa anh tới mọi nơi. Thomas Edison.

VTH sưu tầm

Người biên tập: Trần Văn Trạch

NGHIÊN CỨU ỨNG DỤNG...

(Tiếp theo trang 25)

4. Nguyễn Quốc Long, 2010. Nghiên cứu dự báo các thông số dịch chuyển và biến dạng mặt đất do ảnh hưởng của quá trình khai thác hầm lò. Luận văn Thạc sĩ kỹ thuật. Đại học Mỏ-Địa chất. Hà Nội.

5. Đinh Xuân Vinh, 2012. Nghiên cứu phương pháp quan trắc, xử lý số liệu và phân tích biến dạng công trình công nghiệp-dân dụng trong điều kiện Việt Nam. Luận án tiến sĩ kỹ thuật.

6. Bao Huan, 2009. Nghiên cứu lý thuyết và ứng dụng hệ thống quan trắc biến dạng thời gian thực của các công trình lớn. Luận án tiến sĩ, tiếng Trung Quốc.

7. WU Zi'an. Báo cáo phân tích biến dạng động. Đại học khoa học kỹ thuật Trắc hội Vũ Hán, 1991(4), tr. 45-48.

SUMMARY

Kalman filter model has been widely used in field of data processing in the world. In Vietnam, the study and application of this model on civil surveying in general and on mine surveying in particular is still a new issue. This paper presents the theoretical of the Kalman filter and applied it to predict subsidence of some observation points on mine surface. The results shows the reliability of the method.