



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

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



# Ứng dụng phương pháp tự hồi quy trong dự báo chuyển dịch ngang đập thủy điện

Phạm Quốc Khánh \*, Nguyễn Quang Phúc

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 15/6/2017  
 Chấp nhận 20/7/2017  
 Đăng online 28/2/2018

*Từ khóa:*

Tự hồi quy  
 Dự báo chuyển dịch biến dạng  
 Đập thủy điện

Mô hình tự hồi quy là mô hình được thành lập dựa vào quy luật chuyển dịch của điểm quan trắc, cho phép biểu diễn sự tương quan giữa giá trị chuyển dịch của điểm quan trắc theo thời gian qua các chu kỳ. Bài báo ứng dụng phương pháp tự hồi quy xây dựng mô hình, kiểm tra chất lượng mô hình qua mối tương quan thống kê và dự báo chuyển dịch ngang đối với điểm quan trắc tuyến đập công trình thủy điện Yaly. Phân tích thực nghiệm chỉ ra rằng, mô hình tự hồi quy miêu tả được xu thế chuyển dịch của công trình, độ lệch dự báo của điểm quan trắc qua hai chu kỳ lớn nhất là 6.2% và nhỏ nhất là 1.7% so với độ lệch đo thực tế. Qua đó cho thấy, phương pháp tự hồi quy đáp ứng được công tác dự báo chuyển dịch ngang đập thủy điện đập bằng đất đá ở Việt Nam.

© 2018 Trường Đại học Mỏ - Địa chất. Tất cả các quyền được bảo đảm.

## 1. Mở đầu

Các công trình có quy mô lớn như công trình nhà cao tầng hoặc siêu cao tầng, công trình cầu vượt, công trình thủy lợi-thủy điện trong quá trình vận hành, sử dụng đều bị chuyển dịch biến dạng dù ít hay nhiều. Để có thể phân tích và dự báo các giá trị chuyển dịch ngang của công trình trong tương lai phải thông qua quá trình quan trắc thường xuyên, sử dụng phương pháp phân tích hợp lý đối với từng loại công trình mới có thể dự báo chính xác. Có nhiều phương pháp xây dựng mô hình dự báo, nhưng hiện nay thường chia làm 2 dạng là mô hình dự báo tĩnh và mô hình dự báo động. Mô hình dự báo tĩnh thường sử dụng các

hàm toán học có sẵn như đường thẳng, hàm mũ, parabol, hypebol, hàm song tuyến (Trần Khánh, 2010), còn mô hình dự báo động được xây dựng theo các phương pháp lọc Kalman, mạng thần kinh nhân tạo, lý thuyết sóng nhỏ .v.v...(Huang Shengxiang và nnk, 2013; Hou Jianguo và Wang Tengjun, 2008). Phương pháp phân tích theo dãy thời gian cũng chia thành hai dạng, mô hình tĩnh là hồi quy tuyến tính đơn hoặc tuyến tính bội, mô hình động là tự hồi quy, Auto-Regressive (AR); trung bình trượt, Moving Average Model (MA) hoặc mô hình phân tích theo dãy thời gian tổng quát, Auto-Regressive Moving Average Model (ARMA). Mô hình dự báo động theo dãy thời gian được thế giới nghiên cứu từ lâu (Lu Liu và nnk, 2004; Mei Hong và Yue Lejie, 2005; Rojas và nnk, 2016) nhưng trong lĩnh vực Trắc địa ở Việt Nam, phương pháp này mới được đề cập và chưa có

\*Tác giả liên hệ

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

nhiều nghiên cứu (Phạm Quốc Khánh và Nguyễn Việt Hà, 2015).

Công tác trắc địa trong quan trắc chuyển dịch ngang công trình chỉ quan trắc chuyển dịch bề mặt nhưng chiếm vị trí rất quan trọng, việc xây dựng mô hình và dự báo chuyển dịch theo số liệu trắc địa góp phần làm giảm các biến cố của công trình có thể gây ra trong tương lai. Chính vì vậy, bài báo nghiên cứu phương pháp phân tích theo dãy thời gian tự hồi quy và ứng dụng trong dự báo chuyển dịch ngang công trình thủy điện ở Việt Nam là có ý nghĩa thực tế và cần thiết.

Mô hình tự hồi quy được xây dựng trên cơ sở tìm quy luật thống kê trong quan hệ nội tại giữa giá trị chuyển dịch và yếu tố dẫn đến chuyển dịch của đối tượng quan trắc. Mô hình này có cơ sở lý luận chặt chẽ khi sử dụng phương pháp số bình phương nhỏ nhất tính tham số mô hình, đồng thời kiểm nghiệm tính chính xác của mô hình vừa thành lập thông qua mối quan hệ thống kê giữa các biến. Từ đó, thông qua phương trình dự báo động thái để tính giá trị dự báo chuyển dịch ngang của công trình. Thực nghiệm với số liệu chuyển dịch ngang của công trình thủy điện Yaly thấy rằng, mô hình tự hồi quy hoàn toàn đáp ứng được khi xây dựng mô hình dự báo đối với thủy điện đập đất đá.

## 2. Phân tích tự hồi quy

### 2.1. Mô hình tự hồi quy

Mô hình tự hồi quy  $AR(p)$ , trong đó  $p$  là bậc của mô hình, có thể được mô tả đơn giản thông qua hiện tượng con lắc đơn (Huang Shengxiang và nnk, 2013), giả thiết con lắc ở thời điểm chu kỳ  $t$  có biên độ lớn nhất là  $x_t$ , dưới ảnh hưởng của lực cản không khí, ở chu kỳ  $t+1$  biên độ lớn nhất  $x_{t+1}$  phải thỏa mãn biểu thức quan hệ sau:

$$x_{t+1} = \varphi x_t \quad (1)$$

trong đó,  $\varphi$  là hệ số lực cản. Nếu con lắc đơn này còn chịu các ảnh hưởng khác của môi trường xung quanh thì giá trị biên độ lớn nhất của con lắc ở thời điểm  $x_{t+1}$  sẽ phải thêm một biến ngẫu nhiên mới, tức là:

$$x_{t+1} = \varphi x_t + \varepsilon_t \quad (2)$$

Công thức (2) gọi là mô hình tự hồi quy cấp

1. Nếu mở rộng các khái niệm trên lên bậc cao hơn, sẽ thu được mô hình tự hồi quy tổng quát:

$$x_t = b_1 x_{t-1} + b_2 x_{t-2} + \dots + b_p x_{t-p} + a_t \quad (3)$$

Trong đó:  $b_i (i=1,2,\dots,p)$  gọi là tham số tự hồi quy,  $a_i$  là sai số ngẫu nhiên của mô hình.

### 2.2. Ước lượng tham số mô hình tự hồi quy

Giả thiết có một dãy số liệu quan trắc với thời gian quan trắc đồng đều  $x_1, x_2, \dots, x_n$  thì phương trình số hiệu chỉnh của mô hình tự hồi quy bậc  $p$  là:

$$\begin{cases} v_{p+1} = x_p b_1 + x_{p-1} b_2 + \dots + x_1 b_p - x_{p+1} \\ v_{p+2} = x_{p+1} b_1 + x_p b_2 + \dots + x_2 b_p - x_{p+2} \\ \dots \\ v_n = x_{n-1} b_1 + x_{n-2} b_2 + \dots + x_{n-p} b_p - x_n \end{cases} \quad (4)$$

Viết dưới dạng ma trận:

$$V = X\beta - Y \quad (5)$$

trong đó:

$$V = \begin{bmatrix} v_{p+1} \\ v_{p+2} \\ \vdots \\ v_{p+n} \end{bmatrix}; \beta = \begin{bmatrix} b_1 \\ b_2 \\ \vdots \\ b_p \end{bmatrix};$$

$$X = \begin{bmatrix} x_p + x_{p-1} + \dots + x_1 \\ x_{p+1} + x_p + \dots + x_2 \\ \vdots \\ x_{n-1} + x_{n-2} + \dots + x_{n-p} \end{bmatrix}; Y = \begin{bmatrix} x_{p+1} \\ x_{p+2} \\ \vdots \\ x_{p+n} \end{bmatrix} \quad (6)$$

Giải theo phương pháp số bình phương nhỏ nhất, tính được:

$$\beta = (X^T X)^{-1} X^T Y \quad (7)$$

Từ đó xác định được phương trình cụ thể của mô hình.

### 2.3. Xác định bậc của mô hình tự hồi quy $AR(p)$

Mô hình tự hồi quy không phải lấy bậc bao nhiêu cũng được mà cần xác định một cách hợp lý bậc  $p$  của mô hình. Thông thường ban đầu giả định bậc của mô hình trong một phạm vi nào đó, trong phạm vi này ước lượng tham số mô hình của tất cả các bậc, đồng thời kiểm nghiệm mức độ tin cậy của tham số để xác định chính xác bậc của mô hình (Li Xiao và Yin Hui, 2008).

Với dãy số liệu trị đo  $(x_1, x_2, \dots, x_t)$ , trước tiên giả thiết số bậc mô hình là  $p$ , tiến hành xây dựng mô hình tự hồi quy:

$$x_t = b_1 x_{t-1} + b_2 x_{t-2} + \dots + b_p x_{t-p} + a_t \quad (8)$$

Sau đó xem xét mô hình bậc  $p-1$ , thì:

$$b_p = 0 \quad (9)$$

Kết hợp điều kiện (9) và công thức (8) chính là mô hình bậc  $p-1$ . Bình sai độc lập mô hình bậc  $p$  trước, tính được tham số ước lượng mô hình và tổng bình phương sai số mô hình, ký hiệu là  $SC_p = [V^T V]_p$ ; sau đó bình sai mô hình bậc  $p-1$ , lại tính được tham số ước lượng mô hình và tổng bình phương sai số mô hình; ký hiệu là  $SC_{p-1} = [V^T V]_{p-1}$ .

Theo phương pháp giả thuyết tuyến tính, với giả thuyết gốc  $H_0: b_p=0$ , sẽ thành lập được lượng thống kê theo phân bố  $F$  là:

$$F = \frac{SC_{p-1} - SC_p}{SC_p / (n - p)} \quad (10)$$

Chọn mức xác suất  $\alpha=0.05$ , tương ứng với độ tin cậy 95%, bậc tự do mẫu là  $(n-p)$ , tra bảng phân bố  $F$  được giá trị  $F_\alpha$ . Nếu  $F > F_\alpha$  thì bác bỏ  $H_0$ , tức  $b_p \neq 0$ , mô hình bậc  $p$  và mô hình bậc  $p-1$  có sai khác về độ tin cậy, khi đó sẽ chọn mô hình bậc  $p$ ; ngược lại, nếu  $F < F_\alpha$  thì chấp nhận  $H_0$ , biểu thị mức tin cậy của hai mô hình là như nhau, mô hình tự hồi quy nên chọn bậc  $p-1$ .

Xét trường hợp  $p=1$ , khi  $F > F_\alpha$  thì chấp nhận  $H_0$ , tức là mô hình tự hồi quy bậc 0, điều này cũng đồng nghĩa với việc không thành lập được mô hình tự hồi quy, tức dãy số liệu phân tích không tương quan với nhau, khi đó cần kiểm tra lại số liệu mẫu ban đầu.

#### 2.4. Dự báo theo mô hình tự hồi quy

Giả thiết phương trình mô hình tự hồi quy bậc  $p$  là:

$$x_t = b_1 x_{t-1} + b_2 x_{t-2} + \dots + b_p x_{t-p} \quad (11)$$

Khi đã xác định được hệ số hồi quy  $b_i$  ( $i=1,2,\dots,p$ ), có thể dựa vào phương trình (11) để tiến hành dự báo.

Giá trị dự báo bước 1 là:

$$x_t(1) = b_1 x_{t-1} + b_2 x_{t-2} + \dots + b_p x_{t-p+1} \quad (12)$$

Tương tự, dự báo bước  $l$  là:

$$x_t(l) = b_1 x_t(l-1) + b_2 x_t(l-2) + \dots + b_p x_{t-p+1} \quad (13)$$

Từ công thức (13) thấy rằng,  $l$  càng lớn (tức số chu kỳ dự báo càng nhiều) thì độ chính xác dự báo càng thấp. Do vậy, số chu kỳ dự báo  $l$  càng nhỏ càng tốt, tức chỉ nên dự báo một số ít chu kỳ sau chu kỳ quan trắc hiện tại.

Các công thức ở trên được áp dụng dự báo chuyển dịch ngang cho từng trục công trình với thời gian quan trắc tương đối đều nhau. Khi quan trắc công trình với thời gian không đều cần phải thực hiện việc chuyển đổi số liệu từ quan trắc với thời gian không đều sang quan trắc với thời gian đều (Hou Jianguo và Wang Tengjun, 2008). Khuôn khổ bài báo này chỉ xử lý dãy số liệu quan trắc đều vào với thời gian tương đối đều.

### 3. Tính toán thực nghiệm

#### 3.1. Giới thiệu mô hình thực nghiệm

Thủy điện Yaly là công trình thủy điện lớn thứ 3 ở Việt Nam xây dựng giữa hai tỉnh Gialai và Kontum, đập chính được đắp bằng đất đá với lõi đất sét, bao gồm 4 tuyến cơ nằm ở độ cao 522m, 510m, 500m và 480m. Lưới quan trắc chuyển dịch ngang có 32 điểm phân bố đều trên các cơ đập này. Bảng 1 là số liệu chuyển dịch ngang qua 15 chu kỳ đầu của điểm quan trắc M24 và M28 đặt tại tuyến cơ 480m của thủy điện Yaly từ cuối năm 1999 đến năm 2008 với thời gian quan trắc tương đối đều nhau, khoảng 6 tháng đo một chu kỳ (Công ty tư vấn điện I, 2006). Lưới quan trắc là lưới giai hội góc cạnh được đo bằng máy toàn đạc điện tử TC1700 có độ chính xác đo góc là  $2.0''$ , độ chính xác đo cạnh là  $1+1.ppm$ .

Bảng 1. Chuyển dịch tích lũy của điểm quan trắc M24 và M28 qua 15 chu kỳ.

Chu kỳ	Chuyển dịch điểm M24 theo trục X (mm)	Chuyển dịch điểm M24 theo trục Y (mm)	Chu kỳ	Chuyển dịch điểm M28 theo trục X (mm)	Chuyển dịch điểm M28 theo trục Y (mm)
1	0.0	0.0	1	0.0	0.0
2	-7.4	-77.6	2	9.7	-27.0
3	-18.4	-91.5	3	9.9	-33.5
4	-25.8	-120.1	4	10.6	-35.2
5	-35.3	-150.9	5	13.6	-36.3
6	-40.9	-181.4	6	13.7	-40.4
7	-48.7	-199.8	7	15.1	-43.4
8	-49.6	-204.2	8	13.7	-45.6
9	-50.1	-209.2	9	14.0	-46.3
10	-52.8	-212.2	10	12.9	-48.2
11	-52.8	-215.1	11	13.2	-46.4
12	-56.4	-220.0	12	15.0	-49.0
13	-56.7	-221.7	13	16.6	-48.6
14	-59.0	-221.9	14	14.5	-47.4
15	-58.0	-224.7	15	15.9	-48.8

### 3.2. Xây dựng mô hình tự hồi quy cho điểm quan trắc

Để xây dựng mô hình tự hồi quy, sử dụng giá trị chuyển dịch ngang 14 chu kỳ của mốc quan trắc M24 và M28 với chu kỳ quan trắc đều nhau, xây dựng mô hình chuyển dịch ngang theo lý thuyết nghiên cứu ở trên. Thông qua kiểm nghiệm mô hình, lập được mô hình AR(3) cho chuyển dịch theo trục X và trục Y của điểm quan trắc M24, mô hình AR(2) theo trục X và Y cho điểm M28.

Mô hình tự hồi quy AR(3) của điểm M24 là:

$$x_t = 1.1845x_{t-1} + 0.3921x_{t-2} - 0.5830x_{t-3}$$

$$y_t = 1.7141y_{t-1} - 0.5301y_{t-2} - 0.1952y_{t-3}$$

Mô hình tự hồi quy AR(2) của điểm M28 là:

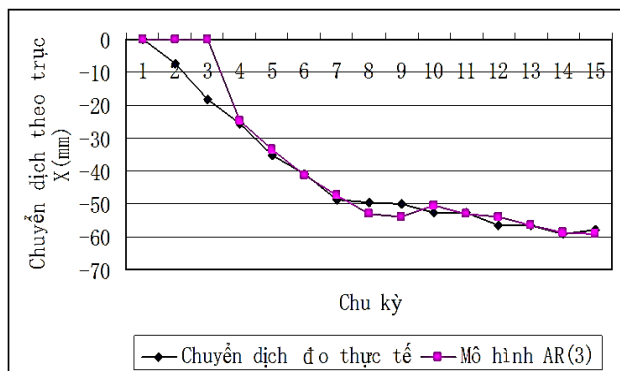
$$x_t = 0.9976x_{t-1} + 0.0262x_{t-2}$$

$$y_t = 1.2351y_{t-1} - 0.2180y_{t-2}$$

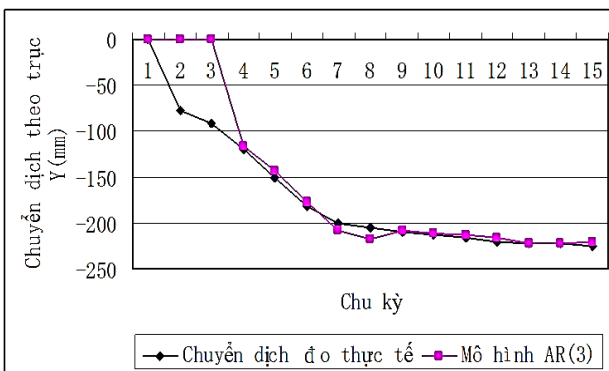
Theo phương trình mô hình tự hồi quy ở trên, tính giá trị chuyển dịch và giá trị dự báo cho chu kỳ 15 theo mô hình và so sánh với giá trị đo thực tế. Số liệu tính toán cụ thể được ghi trong Bảng 2.

Bảng 2. Giá trị tính được từ mô hình tự hồi quy và sai số của điểm quan trắc M24, M28 so với giá trị đo thực tế (Đơn vị:mm).

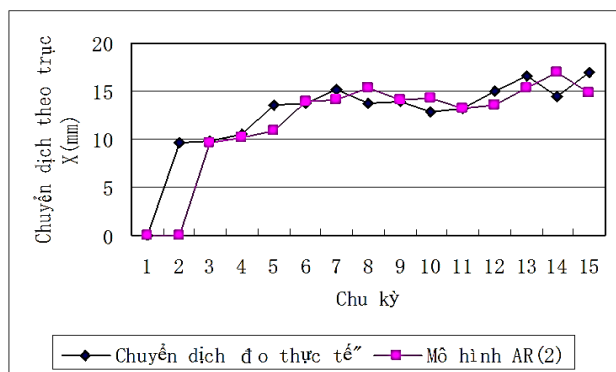
Chu kỳ	Giá trị AR(3) của điểm M24 theo trục X	Sai số giữa mô hình với giá trị đo thực tế	Giá trị AR(3) của điểm M24 theo trục Y	Sai số giữa mô hình với giá trị đo thực tế	Giá trị AR(2) của điểm M28 theo trục X	Sai số giữa mô hình với giá trị đo thực tế	Giá trị AR(2) của điểm M28 theo trục Y	Sai số giữa mô hình với giá trị đo thực tế
1	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	9.68	-0.22	-33.35	0.15
4	-24.7	1.1	-115.71	4.39	10.13	-0.47	-35.49	-0.29
5	-33.46	1.84	-142.21	8.69	10.83	-2.77	-36.17	0.13
6	-41.20	-0.30	-177.14	4.26	13.84	0.14	-37.16	3.24
7	-47.24	1.46	-207.51	-7.71	14.02	-1.08	-41.98	1.42
8	-53.14	-3.54	-216.87	-12.67	15.42	1.72	-44.80	0.80
9	-54.00	-3.90	-208.70	0.50	14.06	0.06	-46.86	-0.56
10	-50.40	2.40	-211.35	0.85	14.33	1.43	-47.24	0.96
11	-53.26	-0.46	-212.98	2.12	13.24	0.04	-49.44	-3.04
12	-54.03	2.37	-215.39	4.61	13.51	-1.49	-46.80	2.20
13	-56.72	-0.02	-221.66	0.04	15.31	-1.29	-50.40	-1.80
14	-58.49	0.51	-221.41	0.49	16.95	2.45	-49.34	-1.94
Giá trị dự báo theo mô hình chu kỳ 15 điểm M24 và M28 và sai số								
15	-59.23	-1.23	-219.90	4.80	14.90	-1.00	-47.95	0.85



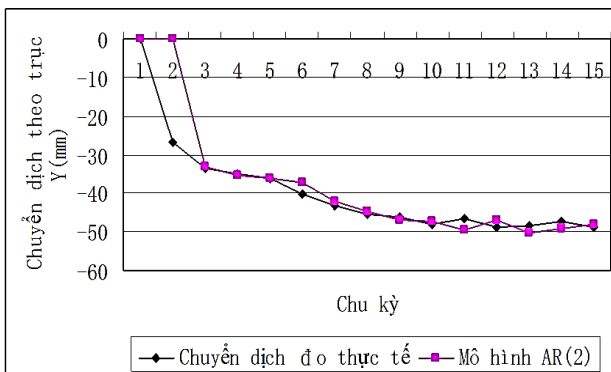
Hình 1. Biểu đồ so sánh chuyển dịch của điểm M24 theo trục X.



Hình 2. Biểu đồ so sánh chuyển dịch của điểm M24 theo trục Y.



Hình 3. Biểu đồ so sánh chuyển dịch của điểm M28 theo trục X.



Hình 4. Biểu đồ so sánh chuyển dịch của điểm M28 theo trục Y.

Có thể biểu diễn chuyển dịch của điểm quan trắc M24 và M28 như Hình 1 đến Hình 4.

#### Nhận xét

- Giá trị của điểm quan trắc tính từ mô hình có sai số lớn ở các chu kỳ mà giá trị chuyển dịch thực tế thay đổi lớn. Với điểm M24, sai số lớn nhất của mô hình theo trục X là -3.90 mm, theo trục Y là -12.67mm; còn với điểm M28, các giá trị này lần lượt là -2.77mm và 3.24mm.

- Giá trị dự báo chu kỳ 15 của điểm M24 có sai số theo trục X là -1.23mm, theo trục Y là 4.8mm, đều tương đương 2,1% so với chuyển dịch đo được thực tế. Với điểm 28, sai số này lần lượt là -1.0mm và 0.85mm, tương đương 6.2% và 1.7% chuyển dịch của điểm đo được thực tế. Với độ chính xác dự báo này, chỉ nên ứng dụng mô hình tự hồi quy dự báo cho các công trình thủy điện có yêu cầu độ chính xác quan trắc trung bình như đập đất đá hoặc đập đất.

#### 4. Kết luận

- Mô hình chuyển dịch ngang xây dựng theo phương pháp phân tích theo dãy thời gian tự hồi quy có lý thuyết dễ hiểu, kết quả dự báo sát với thực tế, biểu diễn được xu thế chuyển dịch của điểm quan trắc.

- Mô hình có sai số lớn khi giá trị chuyển dịch thay đổi không theo quy luật.

- Hoàn toàn có thể ứng dụng phương pháp phân tích theo dãy thời gian tự hồi quy trong dự báo chuyển dịch ngang công trình thủy điện đập bằng đất đá.

#### Tài liệu tham khảo

Công ty tư vấn điện I, 2006. Công tác đo đạc quan trắc biến dạng tuyến áp lực thủy điện Yaly. Báo cáo kỹ thuật.

Hou Jianguo, và Wang Tengjun, 2008. Lý thuyết và ứng dụng quan trắc biến dạng. Nhà xuất bản Trắc hội Bắc Kinh, tiếng Trung Quốc.

Huang Shengxiang, Yin Hui, Jiang Zheng (2013), Xử lý số liệu quan trắc biến dạng. Nhà xuất bản Đại học Vũ Hán, tiếng Trung Quốc.

Li Xiao và Yin Hui, 2008. Lựa chọn mô hình AR trong phân tích biến dạng. Trắc địa công trình và bản đồ 17(5). 23-26, Trung Quốc.

Lu Liu, Shen Feifei, Kong Ning, 2004. Nghiên cứu xử lý số liệu quan trắc lún nhà cao tầng bằng phương pháp phân tích theo dãy thời gian. Khoa học kỹ thuật Trắc Hội, 28(6). 76-79, tiếng Trung Quốc.

Mei Hong và Yue Lejie, 2005. Ứng dụng phân tích theo dãy thời gian trong xử lý số liệu quan trắc biến dạng. Trắc địa hiện đại 28 (6). 14-16, tiếng Trung Quốc.

Phạm Quốc Khánh và Nguyễn Việt Hà, 2015. Ứng dụng phương pháp tự hồi quy trong dự báo lún công trình. Tạp chí Công nghiệp Mỏ 1, 57-60.

QuocKhanh Pham and TrungDung Pham, 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.

Rojas, Ignacio, Pomares, Héctor (Eds.). 2016. Time Series Analysis and Forecasting. *Selected Contributions from the ITISE Conference*.

Trần Khánh, 2010. Quan trắc chuyển dịch và biến dạng công trình. *Nhà xuất bản Giao thông vận tải*.

## ABSTRACT

### On the application of auto-regression for prediction of dam's movement monitoring of hydropower plants

Khanh Quoc Pham, Phuc Quang Nguyen

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

Auto-regression method, based on the variation of monitoring points, allows us to illustrate the correlation among the shifting value of the monitoring point throughout observed circles.. The paper is applied the auto-regression to establish the model, test the quality of the model using the statistic correlation, and predict the movement of observed points in dam of Yaly's hydropower plant. Experimental analysis suggests that the auto-regression method is a good solution for prediction the tendency of movement monitoring. The difference between the predicted value and the measured value of two cycles over 6.2% and the smallest is 1.7% of the actual measurement value. Hence, the auto-regression method can meet the requirement of prediction for soil and rock dam of hydropower plants in Vietnam.