

ỨNG DỤNG PHƯƠNG PHÁP PHÂN TÍCH TỰ HỒI QUY TRONG DỰ BÁO LÚN CÔNG TRÌNH

TS. PHẠM QUỐC KHÁNH, ThS. NGUYỄN VIỆT HÀ
Trường Đại học Mỏ-Địa chất

Công trình kiến trúc, các mỏ lộ thiên, hầm lò và hệ thống thiết bị máy móc trong quá trình vận hành, sử dụng đều có thể phát sinh trôi hoặc lún, các chuyên gia chuyên ngành gọi chung là lún.

Do tính chất phức tạp và đa dạng của cơ lý đá, việc nghiên cứu lý thuyết và phương pháp phân tích, xây dựng mô hình lún của công trình cần phải kết hợp thông tin liên quan đến trắc địa, địa chất, lực học, thủy văn... để xử lý toán học.

Sau đó sử dụng mô hình toán để tiếp cận, mô phỏng và làm sáng tỏ quy luật và đặc trưng động thái lún, cung cấp căn cứ khoa học cho thiết kế và phòng chống tai biến công trình.

Lĩnh vực trắc địa mặc dù chỉ là một mắt xích trong dây chuyền quan trắc lún công trình nhưng chiếm vị trí rất quan trọng, việc xây dựng mô hình lún và dự báo lún theo số liệu trắc địa góp phần làm giảm các biến cố do công trình có thể gây ra trong tương lai. Chính vì lý do đó, nghiên cứu ứng dụng phương pháp phân tích tự hồi quy dự báo lún công trình có ý nghĩa thực tế và rất 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 biến dạng và nhân tố dẫn đến biến dạng 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, 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 độ lún của công trình.

1. Phân tích tự hồi quy

Số liệu quan trắc dù được sắp xếp theo thứ tự thời gian hay sắp xếp theo thứ tự vị trí không gian thì giữa các số liệu hoặc ít hoặc nhiều đều tồn tại hiện tượng tương quan thống kê.

Tuy nhiên cho đến nay, phương pháp phân tích và xử lý số liệu biến dạng đều giả thiết số liệu quan trắc là độc lập hoặc không tương quan về mặt thống kê, mô hình tự hồi quy là mô hình được thành lập dựa vào quy luật tự thân thay đổi của biến cho nên phải tính đến sự tương quan giữa các biến [1].

1.1. Mô hình tự hồi quy

Mô hình tự hồi quy AR(p) - Auto Regressive - trong đó p là bậc của mô hình. Có thể lấy một ví dụ đơn giản về mô hình tự hồi quy dựa trên hiện tượng con lắc đơn, 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 x_{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, φ là hệ số lực cản. Nếu con lắc đơn này còn chịu các nhiễu 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, khi đó công thức (1) trở thành:

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

Công thức (2) gọi là mô hình tự hồi quy cấp 1. Khi các khái niệm trên được mở rộng lên bậc cao hơn, thu được mô hình tự hồi quy tổng quát như sau:

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

Trong đó: b_i ($i=1, 2, 3, \dots, p$) - Tham số tự hồi quy, a_t - Sai số ngẫu nhiên của mô hình.

1.2. Phương pháp số bình phương nhỏ nhất 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 , phương trình số hiệu chỉnh của mô hình tự hồi quy bậc p là:

$$\begin{cases} v_{p+1} = x_p \hat{b}_1 + x_{p-1} \hat{b}_2 + \dots + x_1 \hat{b}_p - x_{p+1} \\ v_{p+2} = x_{p+1} \hat{b}_1 + x_p \hat{b}_2 + \dots + x_2 \hat{b}_p - x_{p+2} \\ \vdots \\ v_n = x_{n-1} \hat{b}_1 + x_{n-2} \hat{b}_2 + \dots + x_{n-p} \hat{b}_p - x_n \end{cases} \quad (4)$$

$$\text{Ký hiệu: } V = \begin{bmatrix} v_{p+1} \\ v_{p+2} \\ \vdots \\ v_{p+n} \end{bmatrix}; \hat{\beta} = \begin{bmatrix} \hat{b}_1 \\ \hat{b}_2 \\ \vdots \\ \hat{b}_n \end{bmatrix};$$

$$X = \begin{bmatrix} x_p + x_{p-1} + \dots + x_1 \\ x_{p+1} + x_p + \dots + x_2 \\ \vdots \\ x_{n-1} + x_{n-2} + \dots + x_{n-p} \end{bmatrix}; Y = \begin{bmatrix} x_{p+1} \\ x_{p+2} \\ \vdots \\ x_{p+n} \end{bmatrix} \quad (5)$$

thì (4) được viết ở dạng ma trận như sau:

$$V = X\hat{\beta} - Y \quad (6)$$

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

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

1.3. Xác định bậc của mô hình tự hồi quy AR(p)

Thành lập mô hình tự hồi quy quan trọng nhất là xác định hợp lý bậc của mô hình p, thông thường ban đầu giả định bậc của mô hình trong một phạm vi nào đó. Trong phạm vi này tiến hành ước lượng tham số mô hình của tất cả các bậc, đồng thời tiến hành kiểm nghiệm mức độ tin cậy của tham số để xác định chính xác bậc của mô hình. Thường dùng phương pháp giả thuyết tuyến tính xác định bậc mô hình AR(p) [2], [3].

Giả thiết có dãy số liệu trị đo (x_1, x_2, \dots, x_n) , 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, có:

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

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 tiến hành 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 $Sc_{p-1} = [V^T V]_{p-1}$.

Tính: $R = (Sc_{p-1} - Sc_p)$. 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 :

$$F = \frac{R}{Sc_p / (n-p)} = \frac{Sc_{p-1} - Sc_p}{Sc_p / (n-p)} \quad (10)$$

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_α . 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, cần kiểm tra lại số liệu đầu vào.

1.4. Dự báo theo mô hình tự hồi quy

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

$$x_t = \hat{b}_1 x_{t-1} + \hat{b}_2 x_{t-2} + \dots + \hat{b}_p x_{t-p} \quad (11)$$

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:

$$x_t(1) = \hat{b}_1 x_{t-1} + \hat{b}_2 x_{t-2} + \dots + \hat{b}_p x_{t-p+1} \quad (12)$$

Giá trị dự báo bước 2 là:

$$x_t(2) = \hat{b}_1 x_t(1) + \hat{b}_2 x_t + \dots + \hat{b}_p x_{t-p+2} \quad (13)$$

Tương tự, dự báo bước l là:

$$x_t(l) = \hat{b}_1 x_t(l-1) + \hat{b}_2 x_t(l-2) + \dots + \hat{b}_p x_{t-p+l} \quad (14)$$

Một điều hiển nhiên, l càng lớn độ chính xác dự báo càng thấp. Do vậy, giá trị 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 cho các chu kỳ quan trắc lún với thời gian quan trắc tương đối đều nhau. Trên thực tế, quan trắc công trình với thời gian không đều cũng thường xảy ra, để giải quyết vấn đề này cần phải thực hiện việc chuyển đổi số liệu từ quan trắc với thời gian không đều sang quan trắc với thời gian đều [4]. Khó khăn bài báo này chỉ xử lý dãy số liệu quan trắc đầu vào với thời gian tương đối đều.

2. Tính toán thực nghiệm

2.1. Giới thiệu mô hình thực nghiệm

Bảng 1 là số liệu độ lún của một điểm quan trắc trụ cầu gồm 25 chu kỳ với thời gian quan trắc tương đối đều nhau [5]. Sử dụng 22 chu kỳ đầu theo phương pháp phân tích số liệu theo thời gian xây dựng mô hình lún công trình và dự báo lún cho 3 chu kỳ cuối, so sánh với giá trị thực để đánh giá độ chính xác của mô hình thành lập.

2.2 Xây dựng mô hình tự hồi quy

Dựa vào độ cao 22 chu kỳ của mốc quan trắc, tiến hành thành lập mô hình lún theo phương pháp tự hồi quy. Thông qua kiểm nghiệm mô hình, thành lập được 4 mô hình là AR(2), AR(3), AR(4) và AR(5), phương trình tự hồi quy của các mô hình như sau:

AR(2) là: $x_t = 1.796x_{t-1} - 0.796x_{t-2}$

AR(3) là: $x_t = 1.851x_{t-1} - 1.020x_{t-2} + 0.175x_{t-3}$

AR(4) là: $x_t = 1.448x_{t-1} - 0.185x_{t-2} - 0.486x_{t-3} + 0.238x_{t-4}$

AR(5) là:

$$x_t = 1.0549x_{t-1} + 0.0873x_{t-2} - 0.1180x_{t-3} - 0.0462x_{t-4} + 0.0447x_{t-5}$$

Dựa trên các mô hình tự hồi quy này, tính các giá trị lún của các chu kỳ theo mô hình và các giá trị dự báo, tiến hành so sánh với giá trị đo đạc thực tế xem mô hình tự hồi quy có tin cậy không.

Bảng 1. Độ lún của điểm quan trắc qua 25 chu kỳ

Chu kỳ	Độ lún (mm)	Chu kỳ	Độ lún (mm)	Chu kỳ	Độ lún (mm)	Chu kỳ	Độ lún (mm)	Chu kỳ	Độ lún (mm)
1	0.0	6	-20.8	11	-23.8	16	-27.7	21	-31.6
2	-1.9	7	-22.2	12	-23.8	17	-29.3	22	-32.0
3	-7.6	8	-22.9	13	-23.8	18	-30.2	23	-32.2
4	-14.1	9	-23.3	14	-23.8	19	-30.7	24	-32.4
5	-19.9	10	-23.8	15	-26.3	20	-31.1	25	32.2

Bảng 2. Giá trị mô hình AR(p), p=2-5; phía dưới cùng ký hiệu, so với giá trị thực tế (mm)

Chu kỳ	T/gian quan trắc, ngày	Độ lún tích lũy	Mô hình AR(2)	Sai số mô hình	Mô hình AR(3)	Sai số mô hình	Mô hình AR(4)	Sai số mô hình	Mô hình AR(5)	Sai số mô hình
1	0	0.0								
2	7	-1.9								
3	14	-7.6	-3.4	4.2						
4	20	-14.1	-12.1	2.0	-12.1	2.0				
5	25	-19.9	-19.3	0.6	-18.7	1.2	-18.1	1.8		
6	32	-20.8	-24.5	-3.7	-23.8	-3.0	-23.0	-2.2	-21.2	-0.4
7	38	-22.2	-21.5	0.7	-20.7	1.5	-21.4	0.8	-21.7	0.5
8	45	-22.9	-23.3	-0.4	-23.4	-0.5	-22.0	0.9	-22.6	0.3
9	51	-23.3	-23.5	-0.2	-23.4	-0.1	-23.7	-0.4	-23.4	-0.1
10	57	-23.8	-23.6	0.2	-23.7	0.1	-23.7	0.1	-23.9	-0.1
11	63	-23.8	-24.2	-0.4	-24.3	-0.5	-24.3	-0.5	-24.3	-0.5
12	68	-23.8	-23.8	0.0	-23.9	-0.1	-24.2	-0.4	-24.4	-0.6
13	75	-23.8	-23.8	0.0	-24	-0.2	-24.0	-0.2	-24.3	-0.5
14	82	-23.8	-23.8	0.0	-24	-0.2	-24.2	-0.4	-24.3	-0.5
15	89	-26.3	-23.8	2.5	-24	2.3	-24.2	2.1	-24.3	2.0
16	96	-27.7	-28.3	-0.6	-28.6	-0.9	-27.8	-0.1	-27.0	0.7
17	103	-29.3	-28.8	0.5	-28.6	0.7	-29.3	0.0	-28.7	0.6
18	110	-30.2	-30.6	-0.4	-30.6	-0.4	-30.2	0.0	-30.2	0.0
19	116	-30.7	-30.9	-0.2	-30.9	-0.2	-31.1	-0.4	-31	-0.3
20	123	-31.1	-31.1	0.0	-31.2	-0.1	-31.2	-0.1	-31.5	-0.4
21	130	-31.6	-31.4	0.2	-31.6	0.0	-31.7	-0.1	-31.8	-0.2
22	135	-32.0	-32.0	0.0	-32.2	-0.2	-32.3	-0.3	-32.3	-0.3
Độ lún dự báo 3 chu kỳ tiếp theo và sai số so với số liệu thực tế										
23	142	-32.2	-32.3	-0.1	-32.5	-0.3	-32.7	-0.5	-32.8	-0.6
24	150	-32.4	-32.6	-0.2	-33	-0.6	-33.5	-1.1	-33.6	-1.2
25	157	-32.2	-32.8	-0.6	-33.6	-1.4	-34.4	-2.2	-34.4	-2.2

Có thể biểu diễn độ lún của điểm quan trắc bằng biểu đồ theo 4 mô hình AR(p) như dưới đây:

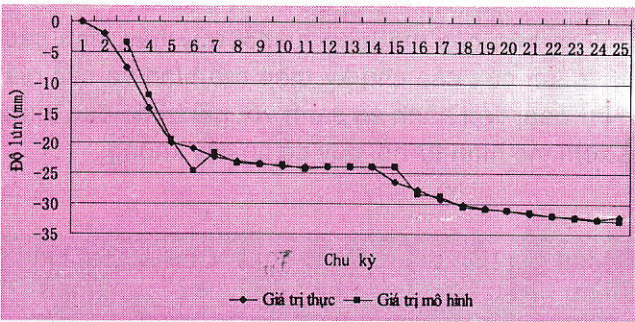
Nhận xét:

❖ Mô hình lún xây dựng theo phương pháp tự hồi quy sát với thực tế, sai số các mô hình đều tương đối nhỏ;

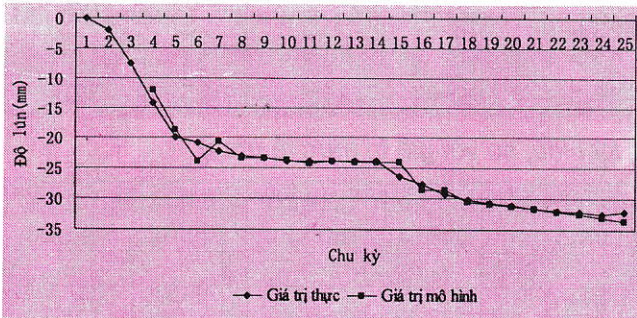
❖ Giá trị dự báo lún theo mô hình AR(p) phụ

thuộc vào các giá trị trước đó, độ chính xác dự báo sẽ giảm tỷ lệ thuận với số chu kỳ dự báo tính từ chu kỳ hiện thời;

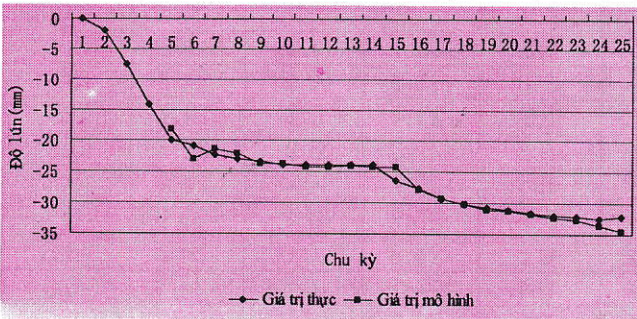
❖ Giá trị dự báo độ lún của mô hình bậc cao không phải là tốt nhất. Trong thực nghiệm này, giá trị dự báo của mô hình AR(2) sát với trị thực nhất với sai số mô hình là 0,8 mm.



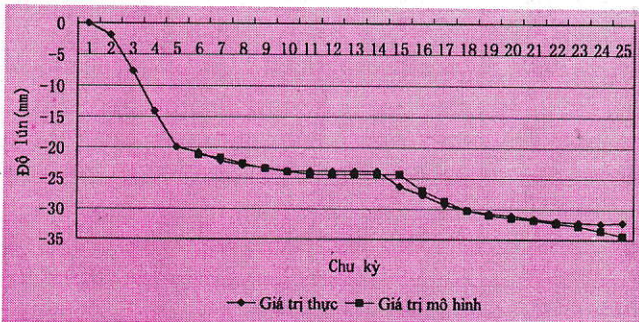
H.1. Mô hình lún AR(2)



H.2. Mô hình lún AR(3)



H.3. Mô hình lún AR(4)



H.4. Mô hình lún AR(5)

3. Kết luận

- ❖ Cần nghiên cứu thêm phương pháp tự hồi quy và các ứng dụng của nó trong ngành trắc địa.
- ❖ Ứng dụng phương pháp tự hồi quy để xây dựng mô hình và dự báo độ lún công trình là phương pháp xử lý số liệu động, mô hình dự báo và giá trị dự báo đáng tin cậy, có thể ứng dụng trong thực tế.
- ❖ Khi tiến hành dự báo lún công trình, cần xem

xét xu thế lún để quyết định chọn mô hình tốt nhất. Đồng thời chỉ nên dự báo cho một số ít chu kỳ tiếp theo chu kỳ đang xét. □

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Mei Hong, 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), trang 14~16.
2. Wang Xinzhou, Tao Benzao, Qiu Weining, Yao Yibin (2006), Bình sai trắc địa cao cấp, NXB Trắc hội Bắc Kinh.
3. Huang Shengxiang, Yin Hui, Jiang Zheng (2013), Xử lý số liệu quan trắc biến dạng, NXB Đại học Vũ Hán.
4. Hou Jianguo, Wang Tengjun (2008) Lý thuyết và ứng dụng quan trắc biến dạng, NXB Trắc hội Bắc Kinh.
5. 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.

Người biên tập: Nguyễn Bình

SUMMARY

Regressive model shows the relationship between random variable and others. It is divided on two models including static model is linear units regressive, pluralism linear regressive and kinematic model (auto regressive). The content of this paper researches auto regressive model and application on this analysis to estimate a subside of construction, establish model and compute the estimation of value from real data to demonstrate the reliability of this method.

ĐỜI SỐNG VÀ ĐẠO ĐỨC

1. Có bao nhiêu tính thiện trong người là có ngần ấy cuộc sống trong họ. *Emerson.*
2. Cái tay viết, còn cái đầu chịu trách nhiệm. *Thành ngữ Đức.*
3. Đừng bao giờ lãng phí một giây phút nào để nghĩ nhớ đến người bạn không hề yêu thích. *Đức Phật.*
4. Niềm vui tuyệt diệu nhất trên đời là làm được điều mà người ta bảo mình không thể làm được. *Châm ngôn Xứ thế.*

VTH sưu tầm