

ỨNG DỤNG THUẬT TOÁN TRUY HỒI TRONG THIẾT KẾ TỐI ƯU LƯỚI QUAN TRẮC BIẾN DẠNG CÔNG TRÌNH

LÊ ĐỨC TÌNH, Trường Đại học Mỏ - Địa chất

Tóm tắt: Lưới quan trắc biến dạng công trình có yêu cầu cao về độ chính xác, về thời gian thi công lưới. Vì vậy, khi thiết kế lưới cần phải áp dụng các biện pháp tối ưu nhằm xác định phương án lưới phù hợp. Việc thiết kế lưới theo phương pháp tối ưu là một quá trình tính lặp phức tạp, trong đó phải xem xét tới vô số những phương án thiết kế. Do đó, giải pháp phù hợp nhất là áp dụng thuật toán truy hồi, vì thuật toán này cho phép xác định nhanh chóng ma trận trọng số đảo của các ẩn không thông qua việc thành lập hệ phương trình chuẩn. Trên cơ sở nghiên cứu lý thuyết đã xây dựng hệ thống thuật toán và quy trình xử lý số liệu phù hợp trong thiết kế tối ưu mạng lưới theo độ chính xác. Tính đúng đắn của các vấn đề nêu ra đã được kiểm chứng thông qua ví dụ thực nghiệm.

1. Cơ sở lý thuyết của thuật toán truy hồi

Lưới quan trắc biến dạng công trình là công tác trắc địa có độ chính xác cao trong trắc địa công trình, khi thiết kế lưới quan trắc đòi hỏi phải áp dụng các biện pháp tối ưu nhằm xác định phương án lưới phù hợp nhất. Bài báo này sẽ khảo sát việc ứng dụng thuật toán truy hồi trong thiết kế tối ưu lưới quan trắc biến dạng công trình.

Công thức truy hồi tính ma trận nghịch đảo được đưa ra theo [5, 6]:

$$Q_i = Q_{i-1} - \frac{Q_{i-1} a_i^T a_i Q_{i-1}}{p_i^{-1} + a_i Q_{i-1} a_i^T}, \quad (1)$$

trong đó: a_i , p_i là vector hệ số phương trình số hiệu chỉnh và trọng số của trị đo thứ i , R_i , Q_i là ma trận hệ số hệ phương trình chuẩn và ma trận nghịch đảo tương ứng.

Từ (1) cho thấy, để xác định ma trận nghịch đảo Q ứng với trị đo thứ I , cần phải tính ma trận trọng số đảo của trị đo thứ $(i-1)$.

Ma trận Q_0 xuất hiện khi thực hiện tính toán với trị đo thứ nhất. Có thể xác định ma trận này dựa trên cơ sở suy luận: Giả sử rằng tất cả ẩn số của lưới được đo độc lập với ma trận trọng số P_0 . Theo lý thuyết bình sai có tính đến sai số số liệu gốc, sẽ viết được ma trận hệ số của hệ phương trình chuẩn:

$$\bar{R} = R + P_0. \quad (2)$$

Trước hết, tính ma trận $Q_0 = P_0^{-1}$, điều này đồng nghĩa với việc đưa vào lưới các “trị đo ảo”

với trọng số gần bằng 0. Đặt $Q_0 = 10^m E$ với m rất lớn, số m cần chọn sao cho đại lượng 10^{-m} có giá trị nhỏ không đáng kể so với sai số tính toán. Trong trường hợp này, kết quả bình sai cuối cùng sẽ không chịu ảnh hưởng của m . Thực tế cho thấy có thể chọn $m = 5 \div 6$ [1].

Phương pháp bình sai với cách tính ma trận nghịch đảo theo công thức truy hồi có ưu điểm là: trong bài toán khảo sát độ chính xác của các mạng lưới trắc địa, nhiều trường hợp phải thay đổi số đại lượng đo, như bổ sung hoặc giảm bớt các đại lượng đo, khi đó công thức truy hồi cho phép không cần phải lập lại hệ phương trình chuẩn và tính ma trận nghịch đảo từ đầu, nên rất thuận tiện cho việc tính toán thiết kế lưới [6].

2. Ứng dụng thuật toán truy hồi trong thiết kế tối ưu độ chính xác lưới quan trắc biến dạng công trình

Trường hợp khi lưới được thiết kế tối ưu theo độ chính xác, bài toán được đặt ra là: *Cần xác định phương án lưới có độ chính xác cao nhất với chi phí (thời gian, nhân vật lực, giá thành) cho trước.* Hàm mục tiêu được chọn là hàm số thể hiện độ chính xác lưới (có thể coi là sai số tại vị trí yếu nhất của mạng lưới), hệ điều kiện ràng buộc thể hiện chi phí thi công lưới. Độ chính xác của các đại lượng trong lưới phụ thuộc vào các yếu tố như: sơ đồ phân bố vị trí các điểm lưới, độ chính xác đo đạc, số lượng các yếu tố được đo. Khi vị trí các điểm và sai số đo các yếu tố trong lưới đã được xác định thì độ chính xác của lưới

chỉ còn phụ thuộc vào số lượng, chủng loại và phân bố của các đại lượng đo trong lưới [3].

Kí hiệu độ chính xác của mạng lưới là Z , tập hợp các đại lượng đo có thể thực hiện trong lưới là (x_1, x_2, \dots, x_n) . Khi đó hàm mục tiêu được viết dưới dạng tổng quát như sau:

$$Z = f(x_1, x_2, \dots, x_n). \quad (3)$$

Coi chi phí thi công lưới theo thiết kế (ký hiệu W) là hàm tuyến tính đối với các đại lượng đo trong lưới. Mặt khác, để bảo đảm độ tin cậy của lưới thì theo [3] số lượng trị đo thừa trong lưới phải là $r \approx (0.5 \div 0.7)t$ (với t là số trị đo cần thiết). Để bảo đảm điều kiện đó, đối với mỗi điểm lưới cần có một số lượng tối thiểu hướng đo nó. Kí hiệu số lượng hướng đo tối thiểu đến mỗi điểm lưới là V , số hướng đo đến điểm m bất kỳ là H_m , a_i ($i=1, n$) là chi phí đo đại lượng x_i , k là số điểm không chế trong lưới. Khi đó, hệ điều kiện ràng buộc có thể viết như sau:

$$\left. \begin{aligned} a_1x_1 + a_2x_2 + \dots + a_nx_n &\leq W \\ H_m &\geq V; (m = 1 \div k) \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

Để thiết kế tối ưu theo độ chính xác lưới, ban đầu mạng lưới được thiết kế với *tất cả các đại lượng đo có thể*. Sau đó lần lượt giữ lại nhóm đại lượng đo (theo tổ hợp), sao cho chi phí đo lưới không vượt quá chi phí đã ấn định trong bản thiết kế. Với mỗi tổ hợp đại lượng đo sẽ thực hiện bài toán ước tính độ chính xác lưới để trên cơ sở đó xác định sai số điểm yếu (sai số vị trí điểm hoặc sai số theo hướng) theo công thức:

$$m_i = \text{Max}(m_1, m_2, \dots, m_k). \quad (5)$$

Giải pháp khảo sát độ chính xác theo tổ hợp các phương án như trên đòi hỏi khối lượng tính toán rất lớn, thời gian tính toán phụ thuộc vào số lượng điểm, số đại lượng đo trong mạng lưới. Kí hiệu N , N_1 lần lượt là tổng số đại lượng đo và số đại lượng đo giữ lại trong phương án tính, thì số lượng phương án cần phải thực hiện ước tính độ chính xác là:

$$w = \frac{N!}{N_1!(N - N_1)!}. \quad (6)$$

Với việc áp dụng thuật toán truy hồi và ứng dụng giải pháp tính toán thông qua công cụ lập trình trên máy tính thì xử lý bài toán với nhiều phương án không còn là trở ngại đáng kể.

Thực hiện thiết kế tối ưu độ chính xác lưới,

mô hình và thuật toán tính tối ưu được xây dựng như sau:

a) Mô hình bài toán:

- Chọn biến số thiết kế: Biến số thiết kế được chọn là các đại lượng đo trong lưới

- Hàm mục tiêu

$$Z = f_1(x_1, x_2, \dots, x_n) \rightarrow \text{Min}$$

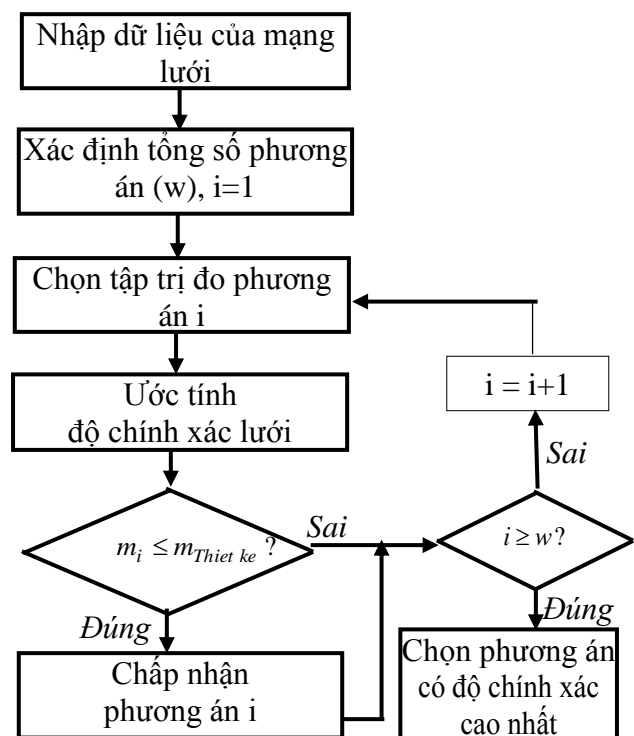
- Hệ điều kiện ràng buộc

$$+ m \leq m_{\text{Thietke}}$$

$$+ \text{Chi phí thành lập lưới } W_0 \leq W$$

$$+ H_m \geq V.$$

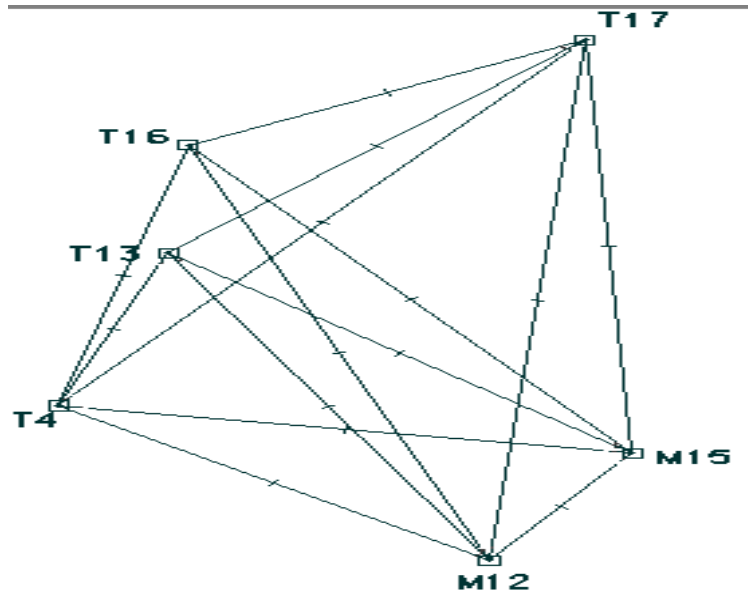
b) Sơ đồ thuật toán



Hình 1. Sơ đồ tính toán thiết kế tối ưu độ chính xác

3. Thực nghiệm thiết kế tối ưu lưới

Mạng lưới thực nghiệm là lưới cơ sở mặt bằng quan trắc chuyên dịch ngang nhà máy thủy điện Hòa Bình [2]. Đây là lưới tam giác đo cạnh, các cạnh được thiết kế đo với độ chính xác $m_s = 1\text{mm} + 0.5 \text{ ppm}$, số lượng cạnh tối đa có thể đo được trong mạng lưới là 15. Yêu cầu độ chính xác quan trắc đối với công trình này được đưa ra là $m_q = \pm 6\text{mm}$ [2]. Nếu chọn hệ số giảm độ chính xác $k = 2$ sẽ tính được yêu cầu độ chính xác đối với lưới cơ sở là $m_{qcs} = \pm 2.7\text{mm}$ (hình 2).



Hình 2. Sơ đồ lưới thực nghiệm

Trong phương án ban đầu, thực hiện thiết kế lưới với tất cả trị đo có thể (15 trị đo cạnh). Kết quả tính được đưa ra trong bảng 1.

Bảng 1. Tọa độ thiết kế và độ chính xác lưới theo phương án ban đầu

Số TT	Tên điểm	Tọa độ thiết kế		Sai số vị trí điểm (mm)			Elip sai số		
		x(m)	Y(m)	m_{qx}	m_{qy}	M_q	E mm	F mm	φ°
1	T16	2303057.6	533977.1	1.4	2.0	2.4	2.2	1.1	114.4
2	T17	2303390.0	534490.5	1.7	1.6	2.4	2.0	1.2	138.2
3	T13	2302716.4	533846.6	1.2	2.2	2.5	2.2	1.1	102.6
4	T4	2302235.5	533675.6	1.3	1.7	2.1	1.7	1.3	89.9
5	M12	2301746.3	534341.9	1.4	1.6	2.1	1.6	1.4	82.6
6	M15	2302084.7	534562.6	1.4	1.6	2.1	1.6	1.4	102.1

Coi chi phí thời gian (hoặc giá thành, hoặc nhân lực) thi công tỷ lệ thuận với số lượng trị đo trong lưới. Bài toán đặt ra là: Với mức chi phí cho trước (thể hiện thông qua số lượng cạnh đo trong lưới) cần xác định một phương án đạt độ chính xác cao nhất thỏa mãn hệ điều kiện ràng buộc.

Xem lưới thực nghiệm như một lưới tự do $d > 0$. Thực hiện ước tính độ chính xác các phương án thành lập lưới theo thuật toán truy hồi đã nói ở trên bằng chương trình “Construction Deformation Analysis - CDA” [4]. Trong tính toán đã khảo sát các trường hợp sau đây:

- Trường hợp bớt 1 cạnh: có 15 phương án, trong đó 4 phương án thỏa mãn được hệ điều kiện ràng buộc và đáp ứng được yêu cầu độ chính xác đối với mạng lưới.

- Trường hợp bớt 2 cạnh: có 105 phương án, trong đó 1 phương án thỏa mãn được hệ điều kiện ràng buộc đáp ứng được yêu cầu độ chính xác đối với mạng lưới.

- Trường hợp bớt 3 cạnh: có 395 phương án, trong đó không phương án nào đáp ứng được yêu cầu độ chính xác đối với mạng lưới.

- Trường hợp bớt 4 cạnh: có 735 phương án, trong đó không phương án nào đáp ứng được yêu cầu độ chính xác đối với mạng lưới.

- Trường hợp khi số cạnh được bớt lớn hơn 4 cạnh: không có phương án nào đáp ứng được yêu cầu độ chính xác đối với mạng lưới.

Kết quả ước tính độ chính xác lưới ứng với các trường hợp thiết kế như nêu trên, mỗi trường hợp chọn đưa ra 1 phương án có độ chính xác cao nhất (xét theo chỉ tiêu sai số vị trí điểm) được đưa ra trong bảng 2:

Bảng 2. Kết quả thực nghiệm thiết kế tối ưu theo độ chính xác

Số TT	Tên điểm	Tọa độ thiết kế (m)		Sai số vị trí (mm)			Elip sai số (mm)		
		X	Y	M_{qx}	M_{qy}	M_q	E	F	φ°
Bỏ bớt 1 cạnh: T17-T4									
1	T16	2303057.6	533977.1	1.4	2.0	2.5	2.2	1.1	114.4
2	T17	2303390.0	534490.5	1.8	1.7	2.5	2.0	1.4	141.6
3	T13	2302716.4	533846.6	1.2	2.2	2.5	2.2	1.1	102.6
4	T4	2302235.5	533675.6	1.5	1.8	2.3	1.8	1.4	70.7
5	M12	2301746.3	534341.9	1.4	1.6	2.1	1.6	1.4	81.7
6	M15	2302084.7	534562.6	1.4	1.6	2.1	1.6	1.4	104.2
Bỏ bớt 2 cạnh: T17-T4, T16-T13									
1	T16	2303057.6	533977.1	1.6	2.1	2.6	2.2	1.5	113.0
2	T17	2303390.0	534490.5	1.8	1.7	2.5	2.0	1.4	141.1
3	T13	2302716.4	533846.6	1.5	2.3	2.7	2.3	1.5	94.3
4	T4	2302235.5	533675.6	1.5	1.8	2.3	1.8	1.4	70.2
5	M12	2301746.3	534341.9	1.4	1.6	2.1	1.6	1.4	81.0
6	M15	2302084.7	534562.6	1.4	1.6	2.1	1.6	1.4	105.2
Bớt 3 cạnh: T16-M12, T17-M12, T13-T4									
1	T16	2303057.6	533977.1	1.7	2.3	2.8	2.6	1.2	121.9
2	T17	2303390.0	534490.5	2.2	1.8	2.8	2.5	1.3	145.8
3	T13	2302716.4	533846.6	1.5	2.4	2.8	2.4	1.4	97.9
4	T4	2302235.5	533675.6	1.7	1.8	2.5	1.9	1.6	50.3
5	M12	2301746.3	534341.9	2.0	1.6	2.6	2.0	1.6	9.1
6	M15	2302084.7	534562.6	1.5	1.6	2.2	1.6	1.5	93.5
Bớt 4 cạnh: T16-M12, T17-T4, T17-M12, T13-T4									
1	T16	2303057.6	533977.1	1.7	2.3	2.9	2.6	1.2	121.6
2	T17	2303390.0	534490.5	2.4	1.8	3.0	2.6	1.5	152.4
3	T13	2302716.4	533846.6	1.5	2.4	2.8	2.4	1.5	96.7
4	T4	2302235.5	533675.6	2.2	2.0	2.9	2.5	1.6	40.3
5	M12	2301746.3	534341.9	2.0	1.6	2.6	2.0	1.6	9.1
6	M15	2302084.7	534562.6	1.5	1.6	2.2	1.6	1.5	97.8

Dựa trên các phương án tốt nhất trong các trường hợp thỏa mãn hàm mục tiêu và hệ điều kiện ràng buộc, dựa vào kinh nghiệm của người thiết kế sẽ chọn ra được một phương án tối ưu nhất có thể triển khai thuận lợi, phù hợp ngoài thực tế.

4. Kết luận

Trên cơ sở phân tích lý thuyết và tính toán thực nghiệm, có thể rút ra một số kết luận sau:

1- Lưới quan trắc biến dạng công trình có yêu cầu cao về độ chính xác, lại phải thi công lưới trong khoảng thời gian ngắn. Vì vậy, khi thiết kế lưới cần thiết phải áp dụng các biện pháp tối ưu nhằm xác định phương án lưới phù hợp.

2- Khi hàm mục tiêu là độ chính xác lập lưới

thì ứng dụng thuật toán bình sai truy hồi cho phép thực hiện ước tính nhanh chóng với nhiều phương án lập lưới và cho kết quả là phương án có độ chính xác tốt nhất thỏa mãn các điều kiện ràng buộc trong việc thiết kế tối ưu lưới.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1]. Trần Khánh, 2010. Ứng dụng công nghệ mới trong Trắc địa công trình. Nhà xuất bản Giao thông - Vận tải.

[2]. Nhà máy thủy điện Hòa Bình, 2007. Nghiên cứu ứng dụng phương pháp bình sai lưới tự do để xử lý lưới khống chế cho quản lý các nhà máy thủy điện, Báo cáo tổng kết đề tài NCKH cấp Tổng công ty điện lực.

(xem tiếp trang 112)

[3]. Nguyễn Quang Phúc, 2006. Nghiên cứu tối ưu hóa thiết kế hệ thống lưới quan trắc chuyển dịch biến dạng công trình. Luận án tiến sỹ kỹ thuật, Trường Đại học Mỏ - Địa chất, Hà Nội.

[4]. Lê Đức Tinh, 2012. Nghiên cứu giải pháp nâng cao hiệu quả công tác quan trắc biến dạng công trình ở Việt Nam, Luận án Tiến sỹ kỹ thuật, Trường đại học Mỏ - Địa chất - Hà Nội.

[5]. Зайцев А. К. и др., 1991. Геодезические методы исследования деформаций сооружения, изд-во “недра. Москва.

[6]. Маркузе Ю. И., 1989. Алгоритмы для уравнивания геодезических сетей на ЭВМ, изд-во “недра”, Москва.

ABSTRACT

Using of recurrent algorithm in optimization design for construction project deformation monitoring network

Le Duc Tinh, *Hanoi University of Mining and Geology*

The geodetic networks for construction project deformation monitoring are required with high accuracy, and short time for establishment. Therefore, it is necessary to apply optimizing solutions to design the most suitable network. The process of designing the networks based on optimization is a process of complicated repetition, in which a large number of solutions are considered. Therefore, the most appropriate approach is using recurrent algorithm because this will enable the quick determination of the inverted weight matrix of the unknowns without determination of the normal matrix. Based on this theoretical approach, the author has established the process of appropriate data processing in optimization design according to the accuracy. The correctness of the algorithm is tested through an experiment network.