

KIỂM SOÁT SAI SỐ THÔ TRONG XỬ LÝ SỐ LIỆU LƯỚI KHÔNG CHẾ MẶT BẰNG CÓ DẠNG TAM GIÁC

Lê Anh Cường

Trường Đại học Tài nguyên và Môi trường Hà Nội

Tóm tắt

Hiện nay, với sự phát triển của công nghệ GNSS (Global Navigation Satellite System) đã giải quyết được rất nhiều những vấn đề khó khăn của công nghệ đo đạc truyền thống. Tuy nhiên, thực tế không phải khi nào cũng có thể ứng dụng được công nghệ GNSS trong thành lập lưới không chế trắc địa, ví dụ như ở những khu vực có độ che phủ lớn (rừng rậm hoặc cạnh các công trình kiến trúc lớn), mà phải sử dụng lưới tam giác hoặc đường chuyền. Mặt khác, trong quá trình xử lý số liệu lưới không chế trắc địa phải tiến hành kiểm tra sự tồn tại của sai số thô và loại bỏ chúng. Bài báo này trình bày cơ sở lý thuyết và tính toán thực nghiệm tìm kiếm, loại bỏ sai số thô trong lưới tam giác dựa trên ứng dụng của phương pháp bình sai truy hồi.

Từ khóa: Bình sai truy hồi; Sai số thô; Lưới tam giác.

Abstract

Control gross error in triangulation network

Nowadays, development of GNSS technology (Global Navigation Satellite System) can solve difficulties of the former measurement methods. However, implementation of the standard GNSS network is not always feasible, for example, in areas with a large coverage (e.g. jungles or large-scale building structures). Accordingly, establishing triangulation or traverse is necessary. The paper presents conceptual framework and example to control gross error in triangulation network on the application of the recurrent adjustment.

Keywords: Recurrent adjustment; Gross error; Triangulation network.

1. Đặt vấn đề

Sai số thô là sai số do sự bất cẩn của con người trong đo đạc, do trục trặc của thiết bị, sự dịch chuyển của chúng tại thời điểm đo, kỹ thuật đo không chính xác, sự suy giảm nghiêm trọng về điều kiện ngoại cảnh và các lý do khác. Đặc điểm của sai số thường có giá trị rất lớn, làm có kết quả đo có giá trị sai lệch rất nhiều so với giá trị thực của chúng. Chính vì vậy, một trong những vấn đề của lý thuyết xử lý số liệu đo trắc địa là việc tìm kiếm, phát hiện và loại bỏ các trị đo chứa sai số thô. Vào đầu thế kỷ XX, phương pháp bình sai truy

hồi với nhiều ưu điểm và ứng dụng thuận tiện đã được tiến hành nghiên cứu và áp dụng rộng rãi trong toán học cùng một số ngành khác, trong đó có Trắc địa. Trong quá trình bình sai truy hồi có thể phát hiện sự tồn tại sai số thô dựa trên số các hạng tự do trong hệ phương trình số hiệu chỉnh của các trị đo thừa [1 - 4]. Với đặc thù lưới tam giác có nhiều trị đo thừa, bài báo này nghiên cứu, góp phần bổ sung cơ sở lý thuyết và quy trình tìm kiếm, loại bỏ sai số thô trong lưới tam giác dựa trên ứng dụng của phương pháp bình sai truy hồi.

2. Cơ sở lý thuyết

2.1. Phương pháp bình sai truy hồi

Cho một lưới trắc địa đã được bình sai với $(i-1)$ trị đo, nhận được vector ẩn số x_{i-1} , ma trận nghịch đảo Q_{i-1} . Nếu bổ sung vào lưới một nhóm trị đo i có hệ phương trình số hiệu chỉnh tuyến tính: $V_i = A_i \Delta x_i + L_i$ (trong đó: A_i - ma trận hệ số phương trình số hiệu chỉnh, L_i - vector số hạng tự do, Δx_i - số hiệu chỉnh của ẩn số) với ma trận trọng số P_i , thì có thể nhận được các kết quả bình sai theo công thức sau:

$$Q_i = Q_{i-1} - Z_i^T N_i^{-1} Z_i, \quad (1)$$

$$\Delta x_i = -Z_i^T N_i^{-1} L_i, \quad (2)$$

$$x_i = x_{i-1} + \Delta x_i = x_{i-1} - Z_i^T N_i^{-1} L_i, \quad (3)$$

trong đó:

$$Z_i^T = Q_{i-1} A_i^T;$$

$$N_i = P_i^{-1} + A_i Q_{i-1} A_i^T = P_i^{-1} + A_i Z_i^T;$$

$$L_i = f(x_{i-1}) - y_i \quad (4)$$

với $f(x_{i-1})$ - hàm liên hệ với vector ẩn số x_{i-1} và y_i - vector nhóm trị đo i

Trong các nghiên cứu trước đây của tác giả, cũng như của các nhà khoa học trong và ngoài nước [1, 2, 3, 5, 6] cho thấy: nếu tính toán từ đầu với $i = 1$ thì ma trận khởi tính Q_0 có thể được tính theo công thức $Q_0 = 10^m \cdot E$ với $m \geq 5$.

2.2. Tìm kiếm trị đo thừa có khả năng chứa sai số thô dựa trên số hạng tự do của phương trình số hiệu chỉnh tương ứng

Trong các tài liệu nghiên cứu về ứng dụng của phương pháp bình sai truy hồi [1 - 3] đã chỉ ra rằng giá trị giới hạn của số hạng tự do j bất kỳ trong vector số hạng tự do L_i có thể được tính theo công thức:

$$(L_i)_{j,gh} = \pm t \sigma_0 \sqrt{(N_i)_{jj}}, \quad (5)$$

trong đó:

σ_0 : một hằng số tùy chọn, đóng vai trò sai số trung phương trọng số đơn vị.

t : hệ số xác định tiêu chuẩn giới hạn, thường được lấy giá trị từ 2 đến 3.

$(N_i)_{jj}$: phần tử đường chéo của ma trận N_i .

Như vậy, để phát hiện tồn tại sai số thô theo phương pháp bình sai truy hồi, sẽ tính ma trận Q chỉ với các trị đo cần thiết, còn đối với các trị đo thừa chỉ cần tính giá trị số hạng tự do và giá trị giới hạn của chúng. Nếu giá trị số hạng tự do của trị đo j nào đó vượt quá giới hạn cho phép tương ứng thì trong lưới tam giác tồn tại sai số thô. Tuy nhiên không thể chắc chắn trị đo j có chứa sai số thô mà nó còn có thể nằm trong các trị đo cần thiết nào đó có liên quan đến điều kiện hình thành trị đo thừa j . Chính vì vậy, sau đó cần phải thực hiện tìm kiếm các trị đo cần thiết có khả năng chứa sai số thô.

2.3. Tìm kiếm các trị đo cần thiết có khả năng chứa sai số thô

Các trị đo cần thiết có khả năng chứa sai số thô sẽ được tìm kiếm dựa trên cơ sở công thức chuyển đổi từ phương pháp bình sai gián tiếp sang phương pháp bình sai điều kiện [2, 4]. Công thức chuyển đổi được xây dựng như sau:

Hệ phương trình số hiệu chỉnh $V = A \Delta x + L$ sẽ được chia thành 2 nhóm:

$$V_1 = A_1 \Delta x + L_1, \quad (6)$$

$$V_2 = A_2 \Delta x + L_2, \quad (7)$$

trong đó:

A_1 - ma trận hệ số hệ phương trình số hiệu chỉnh của các trị đo cần thiết.

A_2 - ma trận hệ số hệ phương trình số hiệu chỉnh của các trị đo thừa.

Khi đó, theo công thức (6) vector ẩn số Δx biểu thị dưới dạng:

$$\Delta x = A_1^{-1}V_1 - A_1^{-1}L_1. \quad (8)$$

Thay thế vào công thức (7), ta có:

$$V_2 = A_2A_1^{-1}V_1 + L_2 - A_2A_1^{-1}L_1. \quad (9)$$

$$\text{Đặt } G = A_2A_1^{-1}$$

và $W = L_2 - A_2A_1^{-1}L_1 = L_2 - GVL_1$
 $\Rightarrow$ công thức (9) có dạng:

$$V_2 = GV_1 + W, \quad (10)$$

hoặc

$$GV_1 - V_2 + W = 0 \quad (11)$$

Lúc này phương trình số hiệu chỉnh (9) có thể đưa về dạng phương trình điều kiện $BV + W = 0$ với khối ma trận $B = (G - E)$.

Quay trở lại với bài toán tìm kiếm các trị đo cần thiết có khả năng chứa sai số thô, thông qua ma trận G có thể tìm được chúng theo các bước sau:

- Bước 1: Lập ma trận hệ số hệ phương trình số hiệu chỉnh của các trị đo cần thiết A_1 .

- Bước 2: Lập ma trận hệ số hệ phương trình số hiệu chỉnh của các trị đo thừa có khả năng chứa sai số thô A_2 .

- Bước 3: Tính ma trận $G = A_2A_1^{-1}$. Lúc này số cột của ma trận G sẽ tương ứng với trị đo cần thiết, số hàng của ma trận G tương ứng với trị đo thừa có khả năng chứa sai số thô.

- Bước 4: Dựa vào các phần tử khác 0 trong ma trận G sẽ xác định được trị đo cần thiết có khả năng chứa sai số thô (do các trị đo cần thiết này có mối quan hệ tương quan với trị đo thừa có khả năng chứa sai số thô).

2.4. Xác định các phương án loại bỏ trị đo có chứa sai số thô

Cần lưu ý rằng 1 trị đo cần thiết chứa sai số thô có thể sẽ dẫn tới nhiều các trị đo thừa có số hạng tự do trong các phương trình số hiệu chỉnh vượt quá giới hạn cho phép (hay nói cách khác là trị đo thừa có khả năng chứa sai số thô). Vì thế cần xác định các phương án trị đo có chứa sai số thô để loại bỏ chúng.

Giả sử xác định được d trị đo thừa và u trị đo cần thiết có khả năng chứa sai số thô. Khi đó tổng số trị đo có khả năng chứa sai số thô: $z = d + u$.

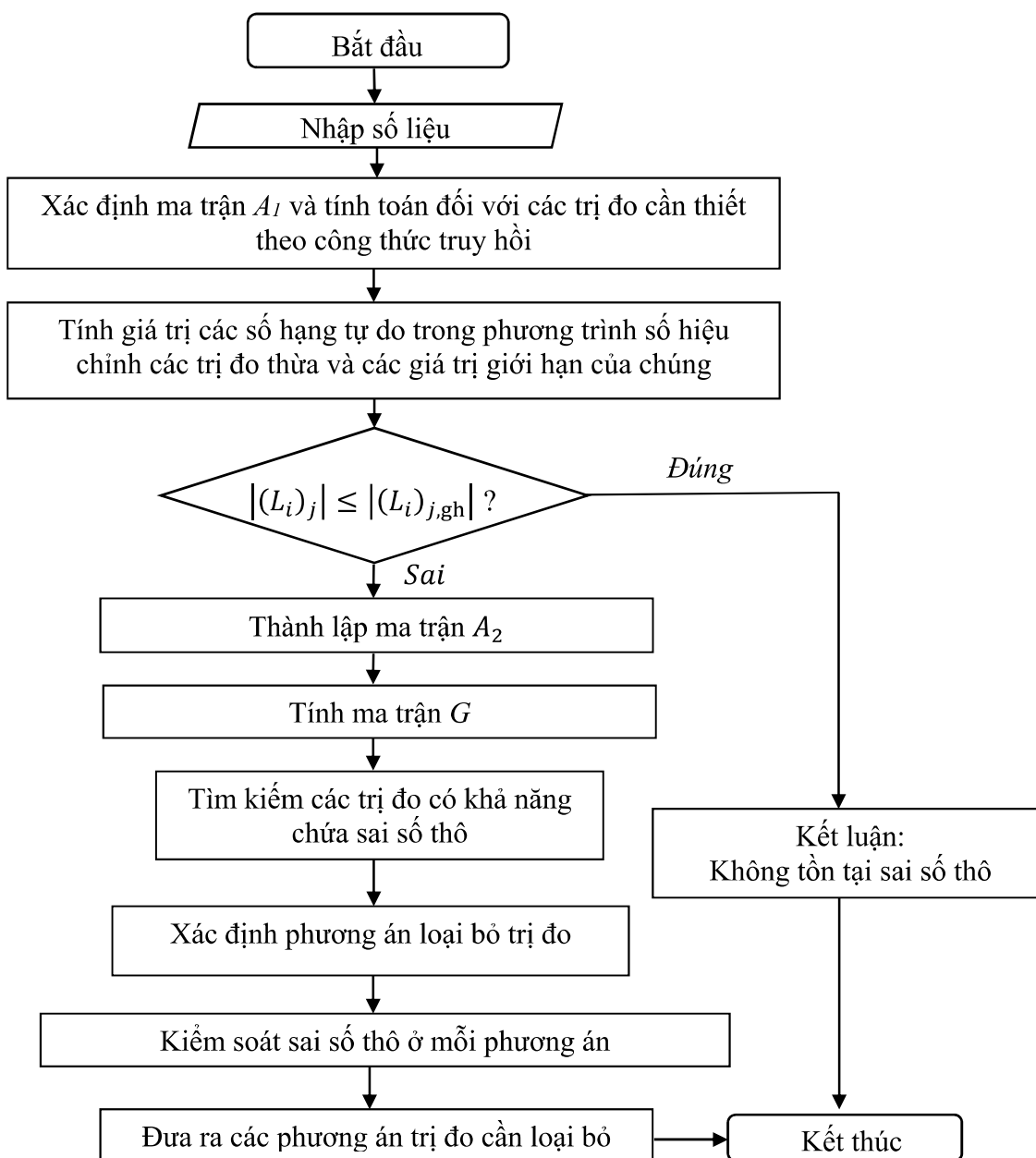
Tiến hành xác định các phương án loại bỏ k trị đo thô ($k = 1, 2, \dots, d$) có khả năng chứa sai số dựa trên tổ hợp C_k chấp k của z .

Số lượng các phương án được tính theo công thức:

$$C_z^k = \frac{z!}{k!(z-k)!}. \quad (12)$$

Với mỗi phương án, sau khi loại bỏ các trị đo sẽ tiến hành kiểm soát sai số thô và đưa ra các phương án không còn tồn tại sai số thô. Trong các phương án đó sẽ lựa chọn phương án loại bỏ trị đo (hoặc tiến hành kiểm tra lại trị đo đó) với điều kiện số lượng trị đo loại bỏ nhỏ nhất.

Sơ đồ khối xây dựng chương trình kiểm soát sai số thô như ở sơ đồ trang sau.



Hình 1: Sơ đồ khối chương trình kiểm soát sai số thô

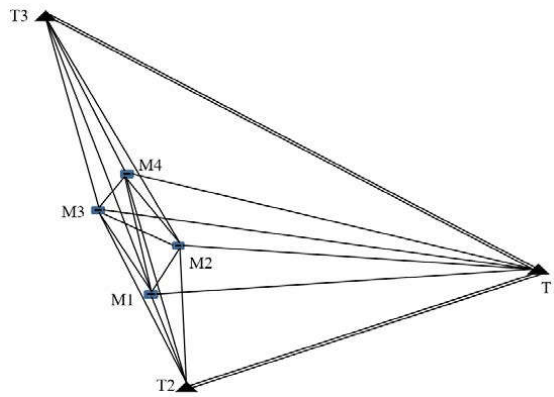
3. Thực nghiệm

Để chứng minh tính đúng đắn mà cơ sở lý thuyết đã trình bày, tác giả đã lập trình xây dựng phần mềm kiểm soát sai số thô và tiến hành tính toán thực nghiệm cho lưới tam giác đo cạnh (Hình 2) trong 3 trường hợp:

- + Không tồn tại sai số thô
- + Trị đo thừa có chứa sai số thô
- + Trị đo cần thiết có chứa sai số thô

Số liệu gốc thể hiện trong Bảng 1, độ

chính xác đo cạnh là $m_s = 1mm + 1ppm$; trọng số các trị đo với $p_i = \frac{\sigma_0^2}{m_{s_i}^2}$ với $\sigma_0 = 1$; và trong thực nghiệm kiểm soát sai số thô, tác giả chọn giá trị $t = 2,5$.



Bảng 1. Số liệu gốc

STT	Điểm gốc	Tọa độ	
		X (m)	Y (m)
1	T1	1544714,9445	445730,3224
2	T2	1544524,1073	445521,2876
3	T3	1546214,1057	445385,4396

Hình 2: Sơ đồ lưới tam giác đo cạnh

a. Trường hợp 1: Không tồn tại sai số thô

Số liệu đo cạnh được trình bày trong Bảng 2

Bảng 2. Số liệu đo cạnh

STT	Cạnh	Kí hiệu	Giá trị đo (m)	STT	Cạnh	Kí hiệu	Giá trị đo (m)
1	T1 - M1	S_1	295,7215	10	T3 - M2	S_{10}	1284,3958
2	T1 - M2	S_2	333,5367	11	T3 - M3	S_{11}	1250,9937
3	T1 - M3	S_3	371,5800	12	T3 - M4	S_{12}	1202,6892
4	T1 - M4	S_4	427,9634	13	M1 - M2	S_{13}	38,9314
5	T2 - M1	S_5	378,0833	14	M1 - M3	S_{14}	78,0320
6	T2 - M2	S_6	411,2273	15	M1 - M4	S_{15}	135,5618
7	T2 - M3	S_7	445,8442	16	M2 - M3	S_{16}	39,1075
8	T2 - M4	S_8	497,8274	17	M2 - M4	S_{17}	96,6360
9	T3 - M1	S_9	1317,5355	18	M3 - M4	S_{18}	57,5293

Trị đo cần thiết: các cạnh từ S_1 đến S_8 ; trị đo thừa: các cạnh từ S_9 đến S_{18}

Sử dụng chương trình tính toán tìm được các số hạng tự do của trị đo thừa và giá trị giới hạn tương ứng của chúng trong trường hợp 1 (Bảng 3)

Bảng 3. Giá trị số hạng tự do l_i và giá trị giới hạn tương ứng trong trường hợp 1

STT	Cạnh	l_i (mm)	$l_{i,gh}$ (mm)	Kết quả
1	S_9	1,6	$\pm 4,9$	Trong giới hạn
2	S_{10}	0,3	$\pm 4,9$	Trong giới hạn
3	S_{11}	0,6	$\pm 5,0$	Trong giới hạn
4	S_{12}	0,0	$\pm 5,3$	Trong giới hạn
5	S_{13}	-0,7	$\pm 3,9$	Trong giới hạn
6	S_{14}	1,1	$\pm 3,9$	Trong giới hạn
7	S_{15}	0,1	$\pm 3,9$	Trong giới hạn
8	S_{16}	-0,7	$\pm 3,9$	Trong giới hạn
9	S_{17}	-0,6	$\pm 3,9$	Trong giới hạn
10	S_{18}	0,2	$\pm 3,9$	Trong giới hạn

Từ kết quả trên có thể kết luận trong lưới không tồn tại sai số thô.

b. Trường hợp 2: Trị đo thừa có chứa sai số thô

Giả thiết cạnh đo S_{14} ($M_1 - M_3$) chứa sai số thô có giá trị bằng **78,1320** m (giá trị không có sai số thô là **78,0320** m). Các cạnh đo còn lại có giá trị như trong Bảng 2.

Trị đo cần thiết: các cạnh từ S_1 đến S_8 ; trị đo thừa: các cạnh từ S_9 đến S_{18}

Sử dụng chương trình tính toán tìm được các số hạng tự do của trị đo thừa và giá trị giới hạn tương ứng của chúng trong trường hợp 2 (Bảng 4)

Bảng 4. Giá trị số hạng tự do l_i và giá trị giới hạn tương ứng trong trường hợp 2

STT	Cạnh	l_i (mm)	$l_{i,gh}$ (mm)	Kết quả
1	S_9	1,6	$\pm 4,9$	Trong giới hạn
2	S_{10}	0,3	$\pm 4,9$	Trong giới hạn
3	S_{11}	0,6	$\pm 5,0$	Trong giới hạn
4	S_{12}	0,0	$\pm 5,3$	Trong giới hạn
5	S_{13}	-0,7	$\pm 3,9$	Trong giới hạn
6	S_{14}	-98,9	$\pm 3,9$	Quá giới hạn
7	S_{15}	0,1	$\pm 3,9$	Trong giới hạn
8	S_{16}	-0,7	$\pm 3,9$	Trong giới hạn
9	S_{17}	-0,6	$\pm 3,9$	Trong giới hạn
10	S_{18}	0,2	$\pm 3,9$	Trong giới hạn

Từ kết quả Bảng 4 nhận thấy trị đo thừa S_{14} có khả năng chứa sai số thô và kết luận lưới tam giác tồn tại sai số thô. Vì thế tiến hành thực hiện tìm kiếm tất cả các trị đo có khả năng chứa sai số thô. Kết quả nhận được từ chương trình như sau:

$$A_1 = \begin{pmatrix} 0,631 & -0,775 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0,653 & -0,756 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0,673 & -0,739 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0,694 & -0,719 \\ 0,999 & -0,053 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0,994 & -0,105 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0,989 & -0,147 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0,980 & -0,199 \end{pmatrix}$$

$$A_2 = (-0,812 \quad 0,582 \quad 0 \quad 0 \quad 0,812 \quad -0,582 \quad 0 \quad 0)$$

$$G = (-0,723 \quad 0 \quad 0,721 \quad 0 \quad -0,354 \quad 0 \quad 0,330 \quad 0)$$

Từ các giá trị khác 0 trong G nhận thấy: các trị đo cần thiết có khả năng chứa sai số thô là S_1 ($T_1 - M_1$), S_3 ($T_1 - M_3$), S_5 ($T_2 - M_1$), S_7 ($T_2 - M_3$). Như vậy có 5 trị đo có khả năng chứa sai số thô: S_1 , S_3 , S_5 , S_7 , S_{14} .

Sau khi thực hiện kiểm soát sai số thô ở các phương án loại bỏ trị đo bằng chương trình nhận thấy chỉ có phương án loại bỏ trị đo S_{14} thì lưới sẽ không còn tồn tại sai số thô với giá trị số hạng tự do của trị đo thừa và giá trị giới hạn tương ứng của chúng như sau (Bảng 5)

Bảng 5. Giá trị số hạng tự do l_i và giá trị giới hạn tương ứng trong trường hợp loại bỏ trị đo S_{14}

STT	Cạnh	l_i (mm)	$l_{i,gh}$ (mm)	Kết quả
1	S_9	1,6	$\pm 4,9$	Trong giới hạn
2	S_{10}	0,3	$\pm 4,9$	Trong giới hạn
3	S_{11}	0,6	$\pm 5,0$	Trong giới hạn
4	S_{12}	0,0	$\pm 5,3$	Trong giới hạn
5	S_{13}	-0,7	$\pm 3,9$	Trong giới hạn
6	S_{15}	0,1	$\pm 3,9$	Trong giới hạn
7	S_{16}	-0,7	$\pm 3,9$	Trong giới hạn
8	S_{17}	-0,6	$\pm 3,9$	Trong giới hạn
9	S_{18}	0,2	$\pm 3,9$	Trong giới hạn

b. Trường hợp 3: Trị đo cần thiết có chứa sai số thô

Giả thiết cạnh đo S_5 ($T_2 - M_1$) chứa sai số thô có giá trị bằng **378,0933** m (giá trị không có sai số thô là **378,0833** m). Các cạnh đo còn lại có giá trị như trong Bảng 2.

Trị đo cần thiết: các cạnh từ S_1 đến S_8 ; trị đo thừa: các cạnh từ S_9 đến S_{18}

Sử dụng chương trình tính toán tìm được các số hạng tự do của trị đo thừa và giá trị giới hạn tương ứng của chúng trong trường hợp 3 (Bảng 6)

Bảng 6. Giá trị số hạng tự do l_i và giá trị giới hạn tương ứng trong trường hợp 3

STT	Cạnh	l_i (mm)	$l_{i,gh}$ (mm)	Kết quả
1	S_9	-8,1	$\pm 4,9$	Quá giới hạn
2	S_{10}	0,3	$\pm 4,9$	Trong giới hạn
3	S_{11}	0,6	$\pm 5,0$	Trong giới hạn
4	S_{12}	0,0	$\pm 5,3$	Trong giới hạn
5	S_{13}	4,1	$\pm 3,9$	Quá giới hạn
6	S_{14}	-2,4	$\pm 3,9$	Trong giới hạn
7	S_{15}	-3,4	$\pm 3,9$	Trong giới hạn
8	S_{16}	-0,7	$\pm 3,9$	Trong giới hạn
9	S_{17}	-0,6	$\pm 3,9$	Trong giới hạn
10	S_{18}	0,2	$\pm 3,9$	Trong giới hạn

Từ kết quả Bảng 6 nhận thấy trị đo thừa S_9 ($T_3 - M_1$) và S_{13} ($M_1 - M_2$) có khả năng chứa sai số thô và kết luận lưới tam giác tồn tại sai số thô. Vì thế tiến hành thực hiện tìm kiếm tất cả các trị đo có khả năng chứa sai số thô. Kết quả nhận được từ chương trình như sau:

$$A_1 = \begin{pmatrix} 0,631 & -0,775 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0,653 & -0,756 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0,673 & -0,739 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0,694 & -0,719 \\ 0,999 & -0,053 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0,994 & -0,105 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$$

$$\begin{array}{cccccccc} 0 & 0 & 0 & 0 & 0,989 & -0,147 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0,980 & -0,199 \end{array}$$

$$A_2 = \begin{pmatrix} -0,996 & 0,088 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -0,806 & 0,591 & 0,806 & -0,591 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$$

$$G = \begin{pmatrix} -0,046 & 0 & 0 & 0 & -0,968 & 0 & 0 & 0 \\ -0,739 & 0,736 & 0 & 0 & -0,341 & 0,327 & 0 & 0 \end{pmatrix}$$

Từ các giá trị khác 0 trong ma trận G nhận thấy: các trị đo cần thiết có khả năng chứa sai số thô là S_1 (T1 - M1), S_2 (T1 - M2), S_5 (T2 - M1), S_6 (T2 - M2). Như vậy có 6 trị đo có khả năng chứa sai số thô: S_1 , S_2 , S_5 , S_6 , S_9 và S_{13} .

Sau khi thực hiện kiểm soát sai số thô ở các phương án loại bỏ trị đo bằng

chương trình nhận thấy có 6 phương án loại bỏ trị đo thì lưới không còn tồn tại sai số thô. Trong đó: 1 phương án loại bỏ 1 trị đo là S_5 và 5 phương án loại bỏ 2 trị đo. Khi loại bỏ trị đo S_5 thì trị đo cần thiết là S_1 , S_2 , S_3 , S_4 , S_6 , S_7 , S_8 , S_9 , và giá trị số hạng tự do của trị đo thừa, giá trị giới hạn tương ứng của chúng như sau (Bảng 7)

Bảng 7. Giá trị số hạng tự do l_i và giá trị giới hạn tương ứng trong trường hợp loại bỏ trị đo S_5

STT	Cạnh	l_i (mm)	$l_{i,gh}$ (mm)	Kết quả
1	S_{10}	0,3	$\pm 4,9$	Trong giới hạn
2	S_{11}	0,6	$\pm 5,0$	Trong giới hạn
3	S_{12}	0,0	$\pm 5,3$	Trong giới hạn
4	S_{13}	-1,3	$\pm 4,1$	Trong giới hạn
5	S_{14}	0,5	$\pm 4,1$	Trong giới hạn
6	S_{15}	-0,5	$\pm 4,1$	Trong giới hạn
7	S_{16}	-0,7	$\pm 3,9$	Trong giới hạn
8	S_{17}	-0,6	$\pm 3,9$	Trong giới hạn
9	S_{18}	-0,2	$\pm 3,9$	Trong giới hạn

Ngoài ra, có thể nhận thấy sau khi loại bỏ trị đo S_5 chất lượng của lưới tam giác tốt hơn dựa vào sự so sánh các giá trị số hạng tự do l_i tương ứng ở Bảng 6 và Bảng 7.

4. Kết luận

Việc phát hiện sự tồn tại của sai số thô trong lưới trắc địa có thể được thực hiện một cách hiệu quả bằng phương pháp

phân sai truy hồi. Quá trình kiểm soát sai số được trình bày trong bài báo này đã góp phần làm rõ hơn những ưu điểm của phương pháp phân sai truy hồi trong xử lý số liệu lưới trắc địa.

Công việc xác định các phương án loại bỏ trị đo chứa sai số thô có khối lượng tính toán lớn nên cần thiết phải ứng dụng kỹ thuật lập trình trong trắc địa. Tác giả đã viết phần mềm bằng ngôn ngữ lập trình

Visual Basic để thực hiện tính toán thực nghiệm. Kết quả thực nghiệm đã chứng minh tính đúng đắn của cơ sở lý thuyết.

Việc loại bỏ trị đo có chứa sai số thô sẽ nâng cao độ chính xác của lưới trắc địa. Tuy nhiên lưu ý nếu xảy ra trường hợp có nhiều phương án mà số lượng trị đo loại bỏ nhỏ nhất, cần phải kiểm tra lại tất cả các trị đo có mặt trong các phương án đó.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Маркузе Ю. И (1989). *Алгоритмы для уравнивания геодезических сетей на ЭВМ*. М.: Недра.
- [2]. Маркузе Ю. И., Голубев В. В (2010). *Теория математической обработки геодезических измерений: Учеб. пособие для вузов / Под общ. ред. Ю. И. Маркузе*. М.: Академический Проект Альма Матер.
- [3]. Маркузе Ю. И (1990). *Основы уравнивательных вычислений: Учеб. пособие для вузов* – М.: Недра. 240 с.
- [4]. Маркузе Ю. И (2000). *Обобщенный рекуррентный алгоритм уравнивания свободных и несвободных геодезических сетей с локализацией грубых ошибок // Изв. вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. № 1. С. 3 - 16.*
- [5]. Маркузе Ю. И., Лэ Ань Куонг, Чан Тиен Ранг (2016). *Исследование исходной матрицы обратных весов неизвестных при рекуррентном способе уравнивания измерений // Геодезия и картография. № 11. С. 7 - 10. DOI: 10.22389/0016-7126-2016-917-11-7-10.*
- [6]. Lê Anh Cường (2013). *Nghiên cứu ứng dụng phương pháp bình sai truy hồi trong xử lý số liệu lưới trắc địa*. Tạp chí Khoa học Tài nguyên và Môi trường, Số 01.

BBT nhận bài: 30/7/2021; Phản biện xong: 11/8/2021; Chấp nhận đăng: 22/9/2021