

PHƯƠNG PHÁP BAARDA KIỂM NGHIỆM SAI SỐ THÔ TRONG XỬ LÝ SỐ LIỆU QUAN TRẮC CÔNG TRÌNH

TS. PHẠM QUỐC KHÁNH
Trường Đại học Mỏ-Địa chất

Sai số của số liệu quan trắc thông thường bao gồm ba loại sai số là sai số ngẫu nhiên, sai số hệ thống và sai số thô. Trong đó, sai số ngẫu nhiên có thể thông qua phương pháp xử lý số liệu, ví dụ phương pháp số bình phương nhỏ nhất, để đánh giá độ chính xác quan trắc; sai số hệ thống cũng có thể loại trừ hoặc giảm bớt khi quan trắc công trình theo một sơ đồ và trình tự nhất định; để tránh được sai số thô yêu cầu người đo phải có trách nhiệm cao, phương pháp quan trắc chính xác, biện pháp quan trắc thích hợp và phải tuân thủ đúng quy định quy phạm trong quá trình quan trắc. Nhưng vì sai số thô có ảnh hưởng lớn đến kết quả xử lý số liệu, nên nếu không phát hiện được sai số thô trước khi tính toán bình sai thì độ chính xác và độ tin cậy của kết quả quan trắc không cao, do đó việc phát hiện sai số thô và loại bỏ sai số này trước khi xử lý số liệu là rất cần thiết và có ý nghĩa. Bài báo nghiên cứu lý thuyết và ứng dụng phương pháp này phát hiện sai số trong quá trình xử lý số liệu quan trắc công trình.

1. Kiểm nghiệm sai số thô theo lý thuyết Baarda

Phương pháp Baarda kiểm nghiệm sai số thô được lấy theo tên của giáo sư người Hà Lan Baarda từ cuối những năm 60 của thế kỷ trước khi ông đề xuất lý thuyết về độ tin cậy và phương pháp thăm dò số liệu [1, 2], đặt nền móng phát triển cho nghiên cứu lý thuyết về sai số thô và hiện nay vẫn được ứng dụng rộng rãi ở nhiều nước trên thế giới. Tư tưởng cơ bản của phương pháp là dùng giả thiết thống kê đưa sai số thô vào mô hình hàm số bình sai, sau đó dựa vào mức đo thừa của trị đo để từng bước phát hiện và loại trừ sai số thô.

1.1 Mức đo thừa của trị đo

Giả thiết vector trị đo là L , vector sai số thực là Δ , vector số hiệu chỉnh là V , vector tham số là X , trị thực là \tilde{X} , trị gần đúng là X_0 , giá trị thực số cải chính của trị gần đúng là \tilde{x} , trị bình sai là \hat{x} , ma trận trọng số là P , khi đó phương trình trị đo được xác định là:

$$L = (BX + d + \Delta) \quad (1)$$

Trong đó, d là vector hằng số, B là ma trận hệ số của hệ phương trình số hiệu chỉnh.

Phương trình sai số là:

$$V = B\hat{x} - L \quad (2)$$

Tiến hành biến đổi (2) như sau:

$$V = B(\hat{x} - \tilde{x}) - (L - B\tilde{x}) = B\hat{x} - \Delta - B\tilde{x}$$

Trong bài toán bình sai gián tiếp, trị bình sai được tính như sau:

$$\hat{x} = N^{-1}B^T P L \quad (3)$$

Với $N = B^T P B$, thay vào, được

$$V = BN^{-1}B^T P L - \Delta - BN^{-1}B^T P B\tilde{x}$$

$$V = BN^{-1}B^T P (L - B\tilde{x}) - \Delta$$

$$V = -(E - BN^{-1}B^T) P \Delta$$

Trong đó: E - Ma trận đơn vị. Khi đó:

$$V = -(Q_{VV} \cdot P \cdot \Delta) = -(R \cdot \Delta) \quad (4)$$

Trong đó: Q_{VV} - Ma trận hiệp trọng số đảo số hiệu chỉnh của trị đo, và

$$R = (Q_{VV} \cdot P) \quad (5)$$

Đây là công thức rất quan trọng trong nghiên cứu mối quan hệ giữa lý thuyết về độ tin cậy và phương pháp thăm dò số liệu, trong đó ma trận R có quan hệ với ma trận hệ số của hệ phương trình sai số B và ma trận trọng số của trị đo P , không liên quan gì với ma trận trị đo L , đặt

$$R = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & \dots & r_{1n} \\ r_{21} & r_{22} & \dots & r_{2n} \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ r_{n1} & r_{n2} & \dots & r_{nn} \end{bmatrix} \quad (6)$$

Ma trận R có các tính chất sau:

- ❖ Ma trận R là ma trận đẳng mũ, tức là có $R^2 = R$;
- ❖ Vết của ma trận R chính là số trị đo thừa r của hệ thống bình sai;
- ❖ Phần tử thứ i trên đường chéo của ma trận R gọi là mức trị đo thừa của trị đo thứ i , nghĩa là:

$$r_i = r_{ii} \quad \text{và} \quad r = \sum_{i=1}^n r_i \quad (7)$$

Giá trị này đại diện cho mức đo thừa của trị đo chiếm bao nhiêu phần trong tổng số trị đo thừa. Khi ma trận trọng số là ma trận đường chéo (các trị đo không tương quan với nhau) thì $0 \leq r_i \leq 1$. Các trị đo có

$r_i=0$ là các trị đo bắt buộc phải quan trắc, các trị đo có $r_i=1$ là các trị đo hoàn toàn thừa, sai số thực của trị đo thứ i ảnh hưởng đến số cải chính của trị đo này là:

$$V_i^* = -(r_i \cdot \Delta_i) \quad (8)$$

Công thức trên chứng tỏ mức đo thừa đại diện cho sai số đo Δ_i , phản ánh ở tỷ lệ trong số cải chính V_i . Có thể nói, sai số đo chỉ được phản ánh một phần trong số cải chính của nó. Khi mức đo thừa $r_i=0$, số cải chính không thể phản ánh được sai số đo; khi mức đo thừa $r_i=1$, số cải chính mới có thể phản ánh được toàn bộ sai số đo Δ_i .

1.1. Dùng ma trận R tính sai số trung phương của số cải chính

$$\sigma_{V_i}^2 = (Q_{VV})_{ii} \sigma_0^2 = (Q_{VV}PQ)_{ii} \sigma_0^2 = (RQ\sigma_0^2)_{ii}$$

Khi Q là ma trận đường chéo (các trị đo không tương quan với nhau), thì:

$$\sigma_{V_i}^2 = r_i \frac{\sigma_0^2}{P_i} \text{ hoặc viết thành}$$

$$\sigma_{V_i} = \sqrt{r_i} \sigma_0 \quad (9)$$

Công thức trên chứng tỏ số cải chính V_i tuân theo phân bố chuẩn, tức $V_i \approx N(0, \sigma_{V_i}^2)$.

1.3. Các bước kiểm nghiệm sai số thô theo phương pháp Baarda

Để kiểm nghiệm sai số thô của các trị đo theo phương pháp Baarda cần tiến hành theo 2 bước là kiểm nghiệm tổng thể và kiểm nghiệm cục bộ [3,4].

a. Kiểm nghiệm tổng thể

Theo phương pháp bình sai thông thường (gián tiếp hoặc bình sai lưới tự do) nếu số liệu đo không có sai số thô thì phương sai sau bình sai được tính:

$$\hat{\sigma}_0^2 = \frac{V^T P V}{n - k + d} \quad (10)$$

Trong đó: n - Số lượng tổng số trị đo; k - Số trị đo cần thiết; d - Số bậc tự do của lưới. Giả sử phương sai trọng số đơn vị trước bình sai là σ_0^2 thì tỷ số giữa

$\hat{\sigma}_0^2$ và σ_0^2 tạo thành lượng thống kê:

$$F = \hat{\sigma}_0^2 / \sigma_0^2 \quad (11)$$

Nếu giả thiết gốc $E(\hat{\sigma}_0^2) = \sigma_0^2$ được chấp nhận, tức trong dãy số liệu đo không có sai số thô, thì F tuân theo phân phối Fisher với bậc tự do $r = (n - k + d)$, ký hiệu là $F(r, \infty)$. Ngược lại, giả thiết gốc bị bác bỏ thì nghi ngờ trong dãy số liệu đo có sai số vượt giới hạn.

b. Kiểm nghiệm cục bộ

Để xác định trong dãy trị đo có sai số thô hay không cần dùng giả thiết kiểm nghiệm thống kê tiến hành kiểm nghiệm, từ đó mới có thể loại trừ sai số thô. Giả thiết gốc và giả thiết đối của phương pháp kiểm nghiệm số liệu là:

$$H_0: E(V_i) = 0; H_1: E(V_i) \neq 0 \quad (12)$$

Khi đó lượng thống kê được xác định:

$$\omega = \frac{|V_i|}{\sigma_{V_i}} = \frac{|V_i|}{\sqrt{r_i} \sigma_0} = \frac{|V_i|}{\sigma_0 \sqrt{(Q_{VV})_{ii}}} \quad (13)$$

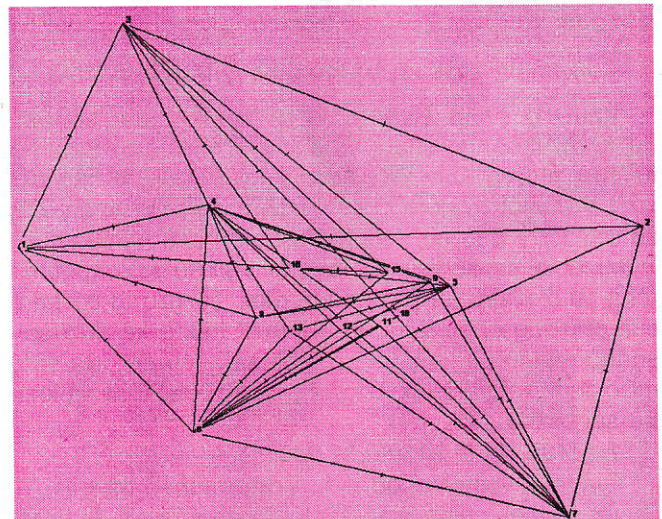
Trong đó: V_i - Số hiệu chỉnh của trị đo thứ i ; $(Q_{VV})_{ii}$ - Hiệp trọng số đảo số hiệu chỉnh của trị đo thứ i ; $N(0, 1)$ - Biểu thị lượng thống kê w tuân theo luật phân phối chuẩn.

Nếu giá trị quan trắc không có sai số thô, thì $\omega \approx N(0, 1)$, tức tuân theo luật phân phối chuẩn, với độ tin cậy α . Tra Bảng phân bố chuẩn được giá trị z_α , nếu $\omega \leq z_\alpha$ thì có thể cho rằng giá trị quan trắc này không có sai số thô. Ngược lại, khi $\omega_i > z_\alpha$ thì nghi ngờ giá trị quan trắc đang xét có sai số thô. Chính vì thế chỉ cần xét giá trị ω_i lớn nhất trong số các giá trị tính được, đây chính là nội dung của phương pháp kiểm nghiệm Baarda.

Phương pháp kiểm nghiệm số liệu Baarda trong mỗi lần bình sai chỉ có thể phát hiện một sai số thô. Khi muốn phát hiện thêm sai số thô, cần phải loại bỏ sai số thô đã phát hiện trước đó, sau đó bình sai lại, tính toán lượng thống kê rồi tiến hành kiểm nghiệm cho tới khi tập trị đo không còn sai số thô thì dừng lại.

2. Ví dụ thực nghiệm

Hình H.1 là lưới khống chế quan trắc trượt lở của một công trình thủy điện [3], lưới gồm 15 điểm, đo 88 góc, 46 cạnh bằng máy toàn đạc điện tử độ chính xác cao TS 30 của Leica và được bình sai theo phương pháp bình sai lưới tự do. Sai số trung phương trước bình sai khi kiểm nghiệm máy là 0.7", giả thiết tại trị đo góc thứ 41 thêm 10" sai số thô, dùng lý thuyết của phương pháp Baarda kiểm nghiệm sai số thô, kết quả như sau.



H.1 Lưới khống chế quan trắc trượt lở tại cửa một công trình thủy điện

2.1. Kiểm nghiệm tổng thể

Lưới được bình sai theo phương pháp bình sai lưới tự do, sau bình sai thu được sai số trung phương là $\hat{\sigma} = 1.0$, thành lập lượng thống kê:

$$F = \frac{\hat{\sigma}^2}{\sigma^2} = \frac{1.0^2}{0.7^2} = 2.04 \sim F(r, \infty)$$

Lấy mức xác suất $\alpha=0.05$, $r=134-30+3=107$, $F_{0.05}(107, \infty)=1.3$. Do $F > F_{0.05}(107, \infty)$ nên nghi ngờ số liệu quan trắc có sai số thô.

2.2 Kiểm nghiệm cục bộ

Để có thể thành lập được lượng thống kê và tiến hành kiểm nghiệm theo phương pháp Baarda, cần tính tỷ số $|v_i|/\sqrt{Q_{V_iV_i}}$ cho tất cả các trị đo, kết quả ghi trong Bảng 1 và Bảng 2.

Bảng 1. Giá trị $|v_i|/\sqrt{Q_{V_iV_i}}$ của góc đo

N ^o	$ v_i /\sqrt{Q_{V_iV_i}}$	N ^o	$ v_i /\sqrt{Q_{V_iV_i}}$	N ^o	$ v_i /\sqrt{Q_{V_iV_i}}$
1	0.2	38	0.5	83	0.4
2	0.2	39	0.0	84	1.2
3	0.3	40	1.2	85	0.6
4	0.4	41	8.4	86	0.3
5	0.5	42	1.1	87	0.4
...

Bảng 2. Giá trị $|v_i|/\sqrt{Q_{V_iV_i}}$ của cạnh đo

N ^o	$ v_i /\sqrt{Q_{V_iV_i}}$	N ^o	$ v_i /\sqrt{Q_{V_iV_i}}$
1	0.2	40	0.6
2	0.1	41	0.4
3	0.1	42	0.0
4	0.2	43	0.0
5	0.2	44	0.6
...

Từ Bảng 1 và Bảng 2 có thể thấy giá trị

$$\max \left(\frac{|v_i|}{\sqrt{Q_{V_iV_i}}} \right) = \frac{|v_{41}|}{\sqrt{Q_{V_{41}V_{41}}}} = 8.4,$$

để có thể kết luận trị đo góc thứ 41 có sai số thô hay không theo (13) lập được lượng thống kê:

$$w_{41} = 8.4/0.7 = 12.0.$$

Với mức xác suất $\alpha=0.05$, tra Bảng được giá trị $w_{1-\alpha/2} = 1.96$, do $w_{41} > w_{1-\alpha/2}$ nên giả thiết gốc bị bác bỏ, chứng tỏ trị đo thứ 41 có chứa sai số thô.

3. Kết luận

❖ Phương pháp Baarda kiểm nghiệm sai số thô cho kết quả chính xác, do sai số thô được đưa vào mô hình hàm số bình sai nên sử dụng tương đối thuận tiện.

❖ Nhược điểm của phương pháp này là số liệu đầu vào phải có nhiều trị đo thừa, hơn nữa mỗi lần chỉ có thể phát hiện được một sai số thô, nếu dãy số liệu đo vẫn còn sai số thô thì phải tính lập, do vậy khối lượng tính toán tương đối lớn.

❖ Phương pháp này chỉ có thể xác định được vị trí sai số thô chứ không xác định được giá trị sai số thô. □

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Bộ môn Bình sai trắc địa đại học Vũ Hán, 1998, Cơ sở bình sai trắc địa (bản thứ 3, in lần 10), NXB Trắc hội Bắc Kinh, tiếng Trung Quốc
2. Phan Văn Hiến, Phạm Quốc Khánh (biên dịch), 2012, Xử lý số liệu quan trắc biến dạng, NXB Khoa học kỹ thuật.
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.
4. Huang Youcai, 1989, Thám trắc số liệu và ước lượng vững, NXB Trắc hội Bắc Kinh, tiếng Trung Quốc.

Người biên tập: Nguyễn Bình

SUMMARY

Gross errors greatly affect the results of engineering monitoring data processing. Discovery and elimination of errors before proceeding to adjustment calculation is very important and necessary. This paper studies Baarda method theory to test gross error of monitor data, using experimentally actual measurement data of a high grid network to demonstrate the effectiveness of the method.

TRỌNG ĐIỂM

1. Còn có thứ hiếm hơn, tốt đẹp hơn, khó kiếm hơn. Đó là có thể nhận ra được tài năng. *Elbert Hubbard.*
2. Khi anh đi câu tình yêu, hãy lấy trái tim làm mồi chứ đừng lấy bộ não. *Mark Twain.*
3. Hãy tham lam khi người khác đang lo sợ và nên hãy lo sợ khi người khác tham lam. *Warren Buffet.*
4. Người không hiểu được sự im lặng của người khác, thì cũng chẳng hiểu được những gì họ nói. *Elbert Hubbard.*
5. Tôi đọc lỗi cả mắt và vẫn không đọc được đủ tới một nửa.... người ta càng đọc nhiều càng thấy còn nhiều điều cần phải đọc. *John Adams.*

VTH sưu tầm