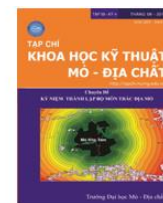




## Tạp chí Khoa học Kỹ thuật Mỏ - Địa chất

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



# Nghiên cứu ứng dụng ước lượng vững phát hiện sai số thô trong xử lý số liệu trắc địa

Phạm Quốc Khánh<sup>1,\*</sup>, Trần Quỳnh An<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 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 15/3/2017  
Chấp nhận 15/6/2017  
Đăng online 31/8/2017

#### Từ khóa:

Ước lượng vững  
Xử lý số liệu  
Sai số thô

*Việc kiểm tra và phát hiện sai số thô trước khi tính toán bình sai là công việc cần thiết và không thể thiếu trong quy trình xử lý số liệu trắc địa. Nếu tập trị đo có sai số thô sẽ ảnh hưởng lớn đến kết quả tính toán bình sai. Trong xử lý số liệu trắc địa theo nguyên lý ước lượng vững, sai số thô được xử lý cùng với mô hình ngẫu nhiên của bài toán bình sai, tính lặp trọng số để xác định vị trí và giá trị sai số thô. Phương pháp này đạt hiệu quả cao khi xử lý mạng lưới có đồ hình phức tạp với nhiều trị đo thừa. Kết quả thực nghiệm cho thấy phương pháp ước lượng vững phát hiện sai số thô có độ tin cậy tốt và có thể ứng dụng rộng rãi trong thực tế sản xuất.*

© 2017 Trường Đại học Mỏ - Địa chất. Tất cả các quyền được bảo đảm.

## 1. Mở đầu

Nguyên tắc bình phương nhỏ nhất áp dụng trong công tác xử lý số liệu trắc địa cho kết quả tin cậy khi tập trị đo chỉ mang sai số ngẫu nhiên, sai số thô và sai số hệ thống đã được loại bỏ trước khi thực hiện tính toán bình sai. Ở nước ta, tìm và loại bỏ sai số thô thường dựa vào quan hệ hình học của lưới hoặc các điều kiện ràng buộc trong lưới của các trị đo để kiểm tra số liệu đo ngoại nghiệp, cũng như trong xử lý số liệu trước bình sai mạng lưới khống chế trắc địa. Phương pháp này có hiệu quả tốt đối với các mạng lưới nhỏ, có ít trị đo. Nhưng với các mạng lưới lớn có đồ hình phức tạp và nhiều trị đo như lưới quan trắc biến dạng thủy lợi-thủy điện, lưới khống chế khu công nghiệp, thành phố v.v..., để tìm được sai số thô bằng phương

pháp trên sẽ mất rất nhiều công sức và thời gian. Gần đây, có thêm nghiên cứu (Phạm Quốc Khánh, 2014; Phạm Quốc Khánh, 2016), sai số thô được xử lý đồng thời với mô hình hàm số bình sai dựa trên lý thuyết xác suất thống kê, phương pháp này có độ tin cậy tốt nhưng nhược điểm là chỉ phát hiện được một sai số thô trong mỗi lần bình sai, muốn tiếp tục tìm sai số thô khác, phải loại bỏ trị đo có sai số thô trước đó rồi mới có thể tiếp tục thực hiện tính toán.

Trong lý thuyết bình sai hiện đại, xử lý số liệu trắc địa theo nguyên lý ước lượng vững, với mạng lưới có nhiều trị đo thừa, cho phép xử lý đồng thời sai số ngẫu nhiên và sai số thô trong quá trình bình sai, dựa vào kết quả tính lặp để liên tục cải biến trọng số hoặc phương sai của trị đo, kết quả làm cho trọng số của trị đo có chứa sai số thô tiến tới 0 hoặc phương sai tiến tới vô cùng lớn. Thông qua đó, xác định vị trí sai số thô và giá trị sai số không những một mà của nhiều trị đo. Nguyên lý ước

\*Tác giả liên hệ

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

lượng vững phát hiện sai số thô được ứng dụng hiệu quả trong nhiều lĩnh vực như lý thuyết tối ưu (Baselga S, 2007), bình sai lưới GPS (Yang Yuanxi, Xu Tianhe, Song Lijie, 2005; Anh Tuan Luu, 2016). Có nhiều phương pháp ước lượng sai số thô theo nguyên lý ước lượng vững, trong khuôn khổ nội dung bài báo này, chỉ nghiên cứu phương pháp thay thế chọn trọng số và ứng dụng trong xử lý lưới quan trắc chuyển dịch biến dạng công trình.

## 2. Nguyên tắc ước lượng tự nhiên lớn nhất của ước lượng vững

Tư tưởng cơ bản của ước lượng vững là khi không thể tránh được sai số thô, chọn phương pháp ước lượng thích hợp sao cho trị ước lượng của tham số cố gắng tránh ảnh hưởng của sai số thô để đạt được trị ước lượng tốt nhất. Vì vậy, cách thức mà ước lượng vững nghiên cứu là dựa trên mô hình giả định đối với bài toán thực tế, đồng thời cho rằng mô hình này không chính xác, chỉ gần đúng với mô hình lý thuyết của bài toán thực tế. Phương pháp ước lượng để giải bài toán loại này phải đạt được các mục tiêu sau (Bộ môn Bình sai trắc địa đại học Vũ Hán, 2010):

(1) Với mô hình phân bố trị đo đã giả định, trị ước lượng phải là tối ưu hoặc gần tối ưu;

(2) Khi mô hình phân bố của giả thiết và mô hình lý thuyết của thực tế có khác biệt tương đối nhỏ, trị ước lượng chịu ảnh hưởng của sai số thô tương đối nhỏ;

(3) Khi mô hình phân bố của giả thiết và mô hình lý thuyết của thực tế có khác biệt tương đối lớn, trị ước lượng không đến nỗi chịu ảnh hưởng quá lớn.

Ước lượng vững được chia làm ba loại cơ bản là là ước lượng tự nhiên lớn nhất (ước lượng M), ước lượng tuyến tính sắp xếp thứ tự (ước lượng L) và ước lượng hạng (ước lượng R). Trong ba dạng trên, ước lượng M có tác dụng chống nhiễu và loại trừ sai số thô nên được ứng dụng chủ yếu trong trắc địa. Nguyên tắc ước lượng tự nhiên lớn nhất của ước lượng M như sau.

Giả thiết tập trị đo độc lập là  $L_i (i = 1, \dots, n)$ ,  $X$  là tham số ước lượng, mật độ phân bố của  $L_i$  là  $f(L_i, \hat{X})$ , nguyên tắc ước lượng tự nhiên lớn nhất

$$\text{là: } \sum_{i=1}^n \ln f(L_i, \hat{X}) = \max \quad (1)$$

Dùng ký hiệu  $\rho(L_i, \hat{X})$  thay cho  $\ln f(L_i, \hat{X})$ , ta có:

$$\sum_{i=1}^n \rho(L_i, \hat{X}) = \min \quad (2)$$

Lấy đạo hàm biểu thức trên, được:

$$\sum_{i=1}^n \varphi(L_i, \hat{X}) = 0 \quad (3)$$

$$\text{Trong đó: } \varphi(L_i, \hat{X}) = \frac{\partial \rho(L_i, \hat{X})}{\partial \hat{X}}$$

Có thể thấy, một hàm số  $\rho$  (hoặc  $\varphi$ ) thì định nghĩa được một ước lượng M. Hàm số  $\rho$  là hàm đối xứng, liên tục, lồi hoặc không giảm trên bán trục dương. Việc xác định hàm số  $\rho$  (hoặc  $\varphi$ ) là mắt xích quan trọng nhất khi dùng ước lượng M, do hàm số  $\rho$  phải đảm bảo tư tưởng cơ bản và ba mục tiêu ước lượng tham số của ước lượng vững.

Nếu chọn hàm số  $\rho(L_i, \hat{X}) = (L_i - \mu)^2$  thì  $\sum_{i=1}^n \rho(L_i, \hat{X}) = \sum_{i=1}^n v_i^2$ , đây là nguyên tắc bình phương nhỏ nhất, không có tính chất chống nhiễu và loại trừ sai số thô nên không phải là một phương pháp ước lượng vững.

## 3. Phương pháp thay thế chọn trọng số ước lượng vững

Có nhiều phương pháp ước lượng M nhưng được sử dụng nhiều nhất là phương pháp thay thế chọn trọng số (Wang Xinzhou, Tao Benzao, Qiu Weining, Yao Yibin, 2006, Phạm Quốc Khánh, 2012). Nội dung cơ bản của phương pháp này là:

Giả thiết trị đo độc lập là  $L_{n,1}$ , vector tham số chưa biết là  $\hat{X}_{1,1}$ , phương trình sai số và ma trận trọng số là:

$$V = A\hat{X} - L = \begin{bmatrix} a_1 \\ a_2 \\ \vdots \\ a_n \end{bmatrix} \hat{X} - \begin{bmatrix} l_1 \\ l_2 \\ \vdots \\ l_n \end{bmatrix}; \quad (4)$$

$$P = \begin{bmatrix} p_1 & & & \\ & p_2 & & \\ & & \ddots & \\ & & & p_n \end{bmatrix}$$

Trong đó,  $a_i$  là vector hệ số có kích thước 1x $t$ .

Từ phương trình sai số, hàm số  $\rho(l_i, \hat{X})$  của ước lượng M được biểu thị là:

$$\rho(l_i, \hat{X}) = \rho(v_i) \quad (5)$$

Trong trường hợp các trị đo không cùng độ chính xác, ước lượng M có dạng:

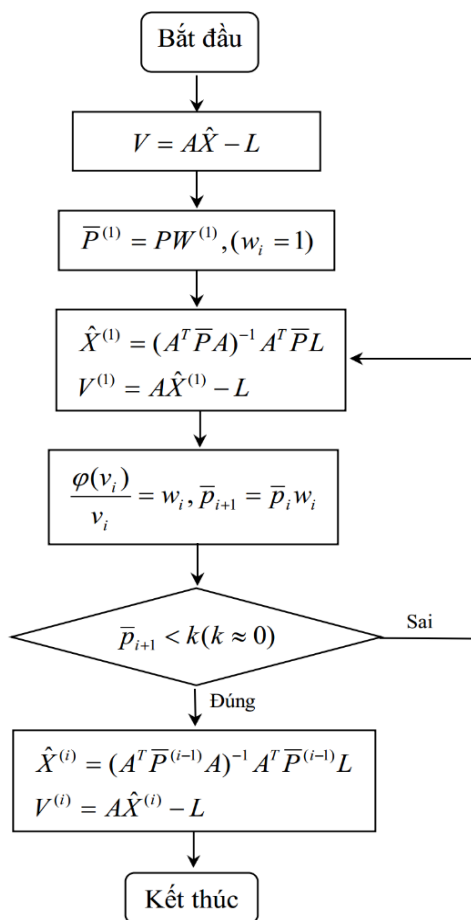
$$\sum_{i=1}^n p_i \rho(v_i) = \sum_{i=1}^n p_i \rho(a_i \hat{X} - l_i) = \min \quad (6)$$

Tương tự (3), đồng thời ký hiệu  $\varphi(v_i) = \frac{\partial \rho}{\partial v_i}$ , được

$$\sum_{i=1}^n p_i \varphi(v_i) a_i = 0 \quad (7)$$

$$\text{Đặt } \bar{p}_i = p_i w_i, w_i = \frac{\varphi(v_i)}{v_i} \quad (8)$$

$$\text{Được } \sum_{i=1}^n a_i^T \bar{p}_i v_i = 0 \text{ hoặc } A^T \bar{P} V = 0 \quad (9)$$



Hình 1. Sơ đồ khối phương pháp thay thế chọn trọng số ước lượng vững.

Phương trình chuẩn của ước lượng M là

$$A^T \bar{P} A \hat{X} - A^T \bar{P} L = 0 \quad (10)$$

Trong đó,  $\bar{P}$  là ma trận trọng số tương đương,  $\bar{p}_i$  là phần tử trọng số tương đương. Do  $\bar{P}$  là hàm của V, thông qua việc gán cho nó giá trị ban đầu, dùng phương pháp thay thế để ước lượng tham số  $\hat{X}$ , ước lượng vững M cuối cùng của tham số là

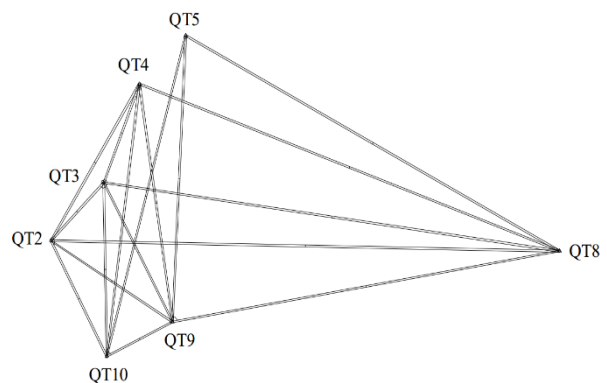
$$\hat{X} = (A^T \bar{P} A)^{-1} A^T \bar{P} L \quad (11)$$

Nhận xét: Từ (8) thấy rằng, khi chọn hàm số  $\rho$  khác nhau sẽ tạo ra nhiều dạng khác nhau của hàm trọng số, ví dụ hàm Huber, hàm Turkey, hàm Hampel... (Bộ môn Bình sai trắc địa đại học Vũ Hán, 2010). Vì hàm trọng số luôn là đại lượng biến đổi theo số hiệu chỉnh trong quá trình bình sai, độ lớn của  $v_i$  và  $w_i$  tỷ lệ nghịch với nhau;  $v_i$  càng lớn,  $w_i$  và  $\bar{p}_i$  càng nhỏ. Qua thay thế nhiều lần, làm cho trọng số của trị đo có chứa sai số thô bằng 0 hoặc tiến tới 0, sai số của trị đo tương ứng sẽ phản ánh giá trị sai số thô của trị đo đó. Chính vì vậy mới nói rằng, phương pháp thay thế chọn trọng số có thể xác định được vị trí và giá trị của sai số thô.

Sơ đồ khối của phương pháp thay thế chọn trọng số ước lượng vững được thực hiện như hình 1.

#### 4. Tính toán thực nghiệm

Bài báo sử dụng lưới cơ sở quan trắc chuyển dịch biến dạng thủy điện Yaly làm thực nghiệm, sơ đồ lưới như hình 2. Lưới gồm có 7 điểm cơ sở (ký hiệu lần lượt là QT2, QT3, QT4, QT5, QT8, QT9, QT10) được đo theo phương pháp đo góc cạnh bằng máy toàn đạc điện tử TC 1700, bao gồm 28 góc và 17 cạnh. Độ chính xác đo góc là  $1.0''$ , độ chính xác đo cạnh là  $1 + 1.ppm$ .



Hình 2. Lưới cơ sở quan trắc thủy điện Yaly.

Với số liệu thực tế chu kỳ 15 đo ngày 20/8/2004 (không có sai số thô). Nếu kiểm tra lưới theo các phương trình điều kiện thì cần tính 34 phương trình, các điều kiện để kiểm tra dù sử dụng máy tính cũng rất mất thời gian. Từ số liệu trên, tiến hành thực hiện 2 thực nghiệm như sau.

#### 4.1. Thực nghiệm 1

Giả thiết trong dãy số liệu đo chỉ tồn tại sai số thô đo góc, tại trị đo góc thứ 8 thêm vào giá trị đo sai số 10" (giá trị góc đo thực tế là 30 46 05.83), trị đo góc 19 giảm vào giá trị đo 10" (giá trị góc đo thực tế là 12 09 48.82). Tiến hành xử lý số liệu và phát hiện sai số thô theo phương pháp ước lượng

vững, kết quả thu được ghi trong Bảng 1.

Sau xử lý, nhận thấy góc đo số 8 có sai số là -8.58" và góc số 19 là 9.56". Nghĩa là giá trị đúng của các góc này phải được cộng và trừ theo số hiệu chỉnh tương ứng như trên. Các giá trị này tương đối sát với các giá trị sai số đưa vào.

#### 4.2. Thực nghiệm 2

Trong dãy số liệu đo tồn tại cả sai số thô đo góc và sai số thô đo cạnh, vẫn giả thiết tại trị đo góc thứ 8 thêm vào giá trị đo sai số 10" (giá trị góc đo thực tế là 30 46 05.83), trị đo góc 19 giảm vào giá trị đo 10" (giá trị góc đo thực tế là 12 09 48.82), trị đo cạnh thứ 10 sai 30mm (trị đo là 475.0725m).

Bảng 1. Góc đo và số hiệu chỉnh tương ứng thực nghiệm

STT	Góc (° ' ")	Số hiệu chỉnh (")	Ghi chú	STT	Góc (° ' ")	Số hiệu chỉnh (")	Ghi chú
1	26 44 15.78	0.00		15	16 05 19.31	0.08	
2	8 32 25.30	0.81		16	14 04 51.75	0.00	
3	7 34 00.67	0.60		17	10 08 00.88	0.14	
4	49 14 55.10	0.00		18	65 03 55.58	0.19	
5	13 10 13.70	1.63		19	12 09 38.82	9.56	Giảm 10"
6	46 13 58.60	-0.34		20	10 33 45.49	-1.03	
7	30 20 05.75	0.36		21	6 45 30.27	0.26	
8	30 46 15.83	-8.58	Thêm 10"	22	12 10 45.05	0.02	
9	156 41 42.99	0.66		23	7 46 55.38	-0.23	
10	76 17 44.44	0.71		24	57 08 15.67	0.43	
11	53 49 52.82	-0.47		25	30 15 17.25	-0.48	
12	27 15 06.28	-0.02		26	19 42 11.18	0.18	
13	45 55 33.47	-0.87		27	11 29 31.77	0.51	
14	61 21 18.64	0.00		28	77 39 08.13	0.89	

Bảng 2. Góc đo và số hiệu chỉnh tương ứng thực nghiệm 2.

STT	Góc (° ' ")	Số hiệu chỉnh (")	Ghi chú	STT	Góc (° ' ")	Số hiệu chỉnh (")	Ghi chú
1	26 44 15.78	0.05		15	16 05 19.31	0.31	
2	8 32 25.30	-1.26		16	14 04 51.75	0.06	
3	7 34 00.67	0.58		17	10 08 00.88	0.31	
4	49 14 55.10	0.00		18	65 03 55.58	0.14	
5	13 10 13.70	1.03		19	12 09 38.82	9.70	Giảm 10"
6	46 13 58.60	0.00		20	10 33 45.49	-0.84	
7	30 20 05.75	0.63		21	6 45 30.27	0.49	
8	30 46 15.83	-8.40	Thêm 10"	22	12 10 45.05	-0.39	
9	156 41 42.99	1.09		23	7 46 55.38	-0.12	
10	76 17 44.44	0.84		24	57 08 15.67	0.69	
11	53 49 52.82	-0.01		25	30 15 17.25	-0.05	
12	27 15 06.28	-0.23		26	19 42 11.18	-0.70	
13	45 55 33.47	-1.70		27	11 29 31.77	0.58	
14	61 21 18.64	-0.01		28	77 39 08.13	0.83	

Bảng 2. Góc đo và số hiệu chỉnh tương ứng thực nghiệm 2.

STT	Cạnh (m)	Số hiệu chỉnh (mm)	Ghi chú	STT	Cạnh (m)	Số hiệu chỉnh (mm)	Ghi chú
1	585.7900	-0.1		10	475.0425	25.9	Giảm 30mm
2	778.3205	5.6		11	2251.0534	1.8	
3	1230.4922	-2.2		12	708.1612	3.1	
4	1486.7881	3.6		13	2187.7510	-3.4	
5	356.7622	2.6		14	1077.4215	-2.4	
6	824.8497	-1.9		15	2068.5944	1.3	
7	366.8374	2.7		16	1282.6991	0.6	
8	2489.1695	-3.4		17	1920.1998	-0.7	
9	696.9223	-1.1					

Tiến hành xử lý số liệu thu được kết quả như Bảng 2 và Bảng 3.

Nhận xét: Các sai số thô theo giả thiết đều được phát hiện vị trí chính xác, giá trị của sai số tìm được tương đối sát với giá trị sai số đưa vào thực nghiệm. Sai khác của giá trị tìm thấy và sai số đưa vào là do sai số đo và sai số của mô hình bình sai.

## 5. Kết luận

Từ kết quả nghiên cứu phương pháp ước lượng vững phát hiện sai số thô cho thấy:

- Với mạng lưới trắc địa lớn, phức tạp và có nhiều trị đo thừa, ứng dụng phương pháp ước lượng vững phát hiện và loại trừ sai số thô cho kết quả đáng tin cậy.

- Phương pháp này có thể tìm được vị trí và giá trị của sai số thô mà không mất quá nhiều thời gian tính toán. Giá trị sai số thô không được xác định chính xác tuyệt đối là do sai số của phép đo và sai số mô hình bình sai gây ra.

- Thuật toán của phương pháp ước lượng vững thuận tiện cho công tác lập trình trên máy tính.

## Tài liệu tham khảo

- Bộ môn Bình sai trắc địa đại học Vũ Hán, 2010. *Cơ sở bình sai trắc địa (bản thứ 3, in lần 10)*. NXB Trắc hội Bắc Kinh, tiếng Trung Quốc
- Phạm Quốc Khánh, 2012. *Xử lý số liệu quan trắc biến dạng công trình và ứng dụng tại Việt Nam*.

Luận án tiến sỹ, tiếng Trung Quốc.

Phạm Quốc Khánh, 2014. *Phương pháp Baarda kiểm nghiệm sai số thô trong xử lý số liệu quan trắc công trình*. Tạp chí Công nghiệp Mỏ, số 2, 33-35.

Quoc Khanh Pham, 2016. *Research into method used for detecting geodetic non-random errors based on adjustment calculus*. International symposium on geo-spatial and mobile mapping technologies and summer school for mobile mapping technology, 55-59.

Anh Tuan Luu, Ngoc Giang Le, 2016. *Application of robust estimation in geodetic network*. International symposium on geo-spatial and mobile mapping technologies and summer school for mobile mapping technology, 213-218.

Baselga, S., 2007. *Global optimization solution of robust estimation*. Journal of Surveying Engineering-ASCE, 133(3).

Wang Xinzhou, Tao Benzao, Qiu Weining, Yao Yibin, 2006. *Bình sai trắc địa nâng cao*. Nhà xuất bản Trắc Hội Bắc Kinh, tiếng Trung Quốc.

Yang Yuanxi, Xu Tianhe, Song Lijie, 2005. *Robust estimation of variance components with application in global positioning system network adjustment*. Journal of Surveying Engineering, 131(4)

## ABSTRACT

### Research on the application of the robust estimation to detect outliers for the processing data in geodesy

Khanh Quoc Pham <sup>1,\*</sup>, An Quynh Tran <sup>1</sup>

<sup>1</sup> Faculty of Geomatics and Land Administration, Hanoi University of Mining and Geology, Vietnam.

Checking and detecting the gross error before the adjustment is necessary for processing data in geodesy. If the set of measurement includes gross error it will seriously affect the final result. Due to the processing data used the robust estimation, gross and random errors in the stochastic model are calculated by iterative process using weights to determine the location and value of the gross error. This method can achieve a high effect according to networks that are complicated configuration and many redundant observations. Experimental calculation shows the ability of this method that is reliable for detecting outliers. The robust estimation should use for practical geodesy.

Keywords: Robust estimation, processing data, gross error.