

KHẢO SÁT ỨNG DỤNG CỦA THUẬT TOÁN BJERHAMMAR ĐỂ BÌNH SAI MẠNG LƯỚI KHỔNG CHẾ CƠ SỞ TRONG QUAN TRẮC BIẾN DẠNG

Lê Thị Nhung¹, Phạm Thị Thương Huyền¹, Dương Thị Oanh²

¹Trường Đại học Tài nguyên và Môi trường Hà Nội

²Trường Cao đẳng Xây dựng số 1

Tóm tắt

Bình sai lưới tự do đang được ứng dụng ngày càng phổ biến trong việc xử lý các mạng lưới trắc địa nói chung và trong quan trắc chuyển dịch biến dạng nói riêng, tiêu biểu như thuật toán của Mittermayer, Bjerhammar, Markuze, Wolf,... Trong bài báo này, nhóm tác giả ứng dụng thuật toán Bjerhammar để bình sai mạng lưới khống chế cơ sở trong quan trắc chuyển dịch biến dạng và khảo sát với phương pháp khác đang được ứng dụng ngoài thực tế sản xuất, từ đó đưa ra những kết luận về khả năng ứng dụng của phương pháp Bjerhammar.

Từ khóa: Bình sai lưới tự do; Bjerhammar; Quan trắc biến dạng.

Abstract

Investigating the application of Bjerhammar's algorithm to adjust control networks in deformation monitoring

Free network adjustment has been applied increasingly in the treatment of geodetic networks in general and in the deformation monitoring in particular, such as Mittermayer, Bjerhammar, Markuze, Wolf,... In this paper, the authors apply Bjerhammar's algorithm to adjust the control networks in the deformation monitoring and compare with other methods. From there, conclusions about the Bjerhammar method will be proposed.

Keywords: Free network Adjustment; Bjerhammar; Deformation analysis.

1. Đặt vấn đề

Bình sai mạng lưới tự do đóng vai trò quan trọng trong việc xử lý, phân tích các mạng lưới trắc địa và ứng dụng ngày càng phổ biến trong lĩnh vực quan trắc chuyển dịch, biến dạng. Hiện nay, các nhà trắc địa đã ứng dụng các thuật toán bình sai lưới tự do vào trong phân tích các mạng lưới quan trắc biến dạng như trong [4, 5, 10, 11] và cả trên không gian ba chiều (X, Y, Z), bốn chiều (X, Y, X, T) như trong [2, 7]. Bình sai lưới tự do thường được áp dụng trong xử lý mạng lưới khống chế cơ sở trong quan trắc chuyển dịch biến dạng công trình bởi những tính đặc thù về yếu tố gốc của lưới.

Vấn đề mấu chốt trong xử lý bài toán bình sai lưới tự do chủ yếu là giải quyết tính suy biến của ma trận hệ phương trình chuẩn. Từ trước đến nay, đã có nhiều nghiên cứu về vấn đề này như [1, 3, 6, 7, 8, 9] tiêu biểu là những thuật toán của Mittermayer, Markuze, Bjerhammar, Wolf,... Để giải bài toán đa trị, một điều kiện phụ sẽ được thêm vào hệ phương trình số hiệu chỉnh để giới hạn tập nghiệm của bài toán bình sai. Mittermayer chia ma trận hệ số hệ phương trình số hiệu chỉnh A thành hai ma trận con gồm A_1, A_2 , trong đó số hàng của ba ma trận này là giống nhau và bằng số trị đo n. Số cột của ma trận con thứ nhất A_1 bằng số ẩn số, số cột

của của ma trận con thứ hai A_2 bằng số khuyết d trong lưới không chế. Trong khi Markuze lựa chọn phương pháp mở rộng ma trận hệ số hệ phương trình chuẩn để có thể nghịch đảo được ma trận mở rộng này, từ đó tìm véc tơ nghiệm.

Ở nước ta, thuật toán của Markuze đang được đưa vào giảng dạy [2, 8, 9, 11] và ứng dụng ngoài thực tế sản xuất thông qua các phần mềm xử lý số liệu trắc địa. Trong bài báo này, nhóm tác giả tiến hành khảo sát ứng dụng của thuật toán Bjerhammar để chứng minh cho cơ sở khoa học về ứng dụng của thuật toán này trong lĩnh vực quan trắc biến dạng công trình ở Việt Nam nói chung.

2. Cơ sở lý thuyết phương pháp Bjerhammar

Cơ sở lý thuyết của phương pháp bình sai lưới tự do ứng dụng thuật toán Bjerhammar dựa trên nguyên lý của bài toán bình sai gián tiếp kèm điều kiện. Các bước bình sai lưới tự do theo phương pháp này về cơ bản tương tự như bài toán bình sai gián tiếp thông thường, điểm khác biệt lớn nhất ở phần tạo ra ma trận nghịch đảo mở rộng. Do ma trận hệ số hệ phương trình chuẩn N bị suy biến ($\text{Det}N = 0$), vì vậy Bjerhammar [3, 12] đã tạo ra ma trận nghịch đảo mở rộng để tìm nghiệm của bài toán bình sai thông qua hai bước chính.

Bước 1: Chọn ma trận con $(NN)_o$ có t hàng và t cột thuộc ma trận (NN) , với t là số lượng trị đo cần thiết trong lưới không chế. Có nhiều phương án lựa chọn t hàng và t cột trong ma trận (NN) để tạo thành ma trận $(NN)_o$. Tuy nhiên nên chọn t hàng và cột đầu tiên nằm phía trên và bên góc trái của ma trận (NN) để tránh nhầm lẫn.

$$(NN)_{m \times m} = \begin{bmatrix} (NN)_o & \dots \\ \dots & \dots \end{bmatrix} \quad (1)$$

Trong đó: m là số lượng ẩn số (chọn ẩn số là trị bình sai tọa độ mặt bằng hoặc

độ cao điểm).

Khi đó $\text{Det}(NN)_o$ cho giá trị khác 0.

Bước 2: Tạo ma trận nghịch đảo mở rộng bằng cách thêm d hàng và d cột vào ma trận có các phần tử đều có giá trị bằng 0 như sau:

$$N_R^{-1} = \begin{bmatrix} (NN)_o^{-1} & \dots & 0 \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & \dots & 0 \end{bmatrix} \quad (2)$$

Trong đó: d là số khuyết trong lưới, $d_{\max} = 1$ với lưới độ cao, $d_{\max} = 4$ với lưới mặt bằng, và $d_{\max} = 7$ với lưới không gian 3 chiều.

Sau khi tính được ma trận nghịch đảo dạng mở rộng, nghiệm của bài toán bình sai xác định theo công thức sau [3, 12]:

$$X = -N(NN)_o^{-1}A^T P L \quad (3)$$

Trong đó:

A: Ma trận hệ số hệ phương trình số hiệu chỉnh

P: Trọng số

L: Véc tơ số hạng tự do

Để đánh giá độ chính xác, tính ma trận hiệp phương sai Q_{XX} theo công thức [3], [12]:

$$Q_{XX} = N(N_R^{-1})A^T P \quad (4)$$

Công thức tính toán để đánh giá độ chính xác các yếu tố trong lưới tương tự như trong bình sai gián tiếp thông thường.

3. Tính toán với số liệu thực nghiệm

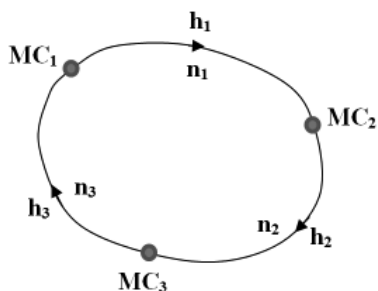
3.1. Ứng dụng thuật toán Bjerhammar

Số liệu quan trắc lún lưới không chế cơ sở tại công trình: Nhà để xe Ga quốc nội - Cảng hàng không quốc tế Tân Sơn Nhất. Có 03 mốc chuẩn thuộc lưới không chế cơ sở kí hiệu là MC_1 , MC_2 , MC_3 tạo thành vòng khép kín như sơ đồ trong hình 1.

Nghiên cứu

Bảng 1. Số liệu đo chu kỳ II

N^0	Chênh cao h_i (m)	Số trạm máy n_i
1	0.1137	6
2	0.1202	4
3	-0.2346	10



Hình 1: Sơ đồ đo

Áp dụng thuật toán Bjerhammar để bình sai mạng lưới trắc địa tự do trên. Tính được ma trận hệ số hệ phương trình số hiệu chỉnh $N = A^T P L$ như sau:

$$N = \begin{bmatrix} 0.2667 & -0.1667 & -0.1000 \\ -0.1667 & 0.4167 & -0.2500 \\ -0.1000 & -0.2500 & 0.3500 \end{bmatrix}$$

Với các giá trị P_i trên đường chéo chính của ma trận trọng số P được tính theo công thức:

$$P_i = \frac{1}{n_i}$$

Từ ma trận N , tính ma trận (NN) như sau:

$$NN = \begin{bmatrix} 0.10889 & -0.00889 & -0.02000 \\ -0.00889 & 0.26389 & -0.17500 \\ -0.02000 & -0.17500 & 0.19500 \end{bmatrix}$$

Ma trận (NN) làm cơ sở để chọn ma trận $(NN)_o$ có t hàng và t cột, trong ví dụ này chọn t hàng và t cột đầu tiên từ ma trận (NN) :

$$(NN)_o = \begin{bmatrix} 0.10889 & -0.08889 \\ -0.08889 & 0.26389 \end{bmatrix}$$

Giải ma trận nghịch đảo $(NN)_o^{-1}$ thu được:

$$(NN)_o^{-1} = \begin{bmatrix} 12.66667 & 4.26667 \\ 4.26667 & 5.22667 \end{bmatrix}$$

Trong bình sai mạng lưới độ cao tự do, có số khuyết $d = 1$. Do vậy theo Bjerhammar, ma trận nghịch đảo mở rộng sẽ được thêm vào 1 hàng và 1 cột từ ma trận nghịch đảo $(NN)_o^{-1}$, thu được:

$$N_R^{-1} = \begin{bmatrix} 12.66667 & 4.26667 & 0 \\ 4.26667 & 5.22667 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

Véc tơ nghiệm X :

$$X = \begin{bmatrix} 0.00004 \\ 0.00000 \\ -0.00004 \end{bmatrix}$$

Từ véc tơ nghiệm X ở trên ta có $[X_i] = 0$, chứng tỏ kết quả tính toán bình sai là chính xác, đảm bảo nguyên lý của bài toán bình sai tự do nói chung với tổng mô đun véc tơ nghiệm là nhỏ nhất.

Để đánh giá độ chính xác, tính ma trận hiệp phương sai Q_{xx} thu được:

$$Q_{xx} = \begin{bmatrix} 0.23556 & -0.10444 & -0.13111 \\ -0.10444 & 0.22556 & -0.12111 \\ -0.13111 & -0.12111 & 0.25222 \end{bmatrix}$$

Véc tơ số hiệu chỉnh V :

$$V = \begin{bmatrix} 0.00018 \\ 0.00012 \\ 0.00003 \end{bmatrix}$$

Véc tơ số hiệu chỉnh V đảm bảo nguyên lý số bình phương nhỏ nhất $[PVV] = \min$

Sai số trung phương trọng số đơn vị:

$$m_o = \sqrt{\frac{[PVV]}{n - t + d}} = \pm 0.13(\text{mm})$$

Trong đó: n là số lượng trị đo trong lưới, t là số trị đo cần thiết trong lưới, d là số khuyết.

Độ cao các điểm mốc khống chế sau bình sai và sai số trung phương (SSTP) như trong bảng 2.

Bảng 2. Độ cao sau bình sai và sai số trung phương

Tên điểm	Độ cao bình sai H^{BS} (m)	SSTP độ cao m_{hi} (mm)	SSTP chênh cao m_{h3} (mm)
MC ₁	10.0000	0.07	0.11
MC ₂	10.1136	0.06	0.11
MC ₃	10.2343	0.07	0.12

- Sai số trung phương độ cao điểm yếu nhất: $m_{H_{MC1}} = \pm 0.07\text{mm}$.

- Sai số trung phương chênh cao yếu nhất: $m_{h3} = \pm 0.12\text{mm}$.

3.2. Tính toán bằng phần mềm DPSurvey 2.8

Để kiểm chứng lại phương pháp Bjerhammar, nhóm tác giả sử dụng phần mềm DPSurvey 2.8 để bình sai mạng lưới khống chế cơ sở trên. Thuật toán được ứng dụng trong phần mềm

DPSurvey 2.8 để giải quyết bài toán bình sai lưới tự do như trong [8, 9, 11]. Lấy các thông số đầu vào cho việc xử lý bằng DPSurvey 2.8 (trị đo, trạm máy, trị gần đúng,...) giống như đối với phương pháp Bjerhammar, thu được kết quả như trong bảng 3:

Bảng 3. Kết quả bình sai bằng phần mềm DPSurvey 2.8

STT	Tên điểm	Độ cao gần đúng H^0 (m)	Độ cao bình sai H^{BS} (m)	SSTP độ cao m_{hi} (mm)	SSTP chênh cao m_{h3} (mm)
1	MC ₁	10.0000	10.0000	0.2	0.3
2	MC ₂	10.1136	10.1136	0.1	0.2
3	MC ₃	10.2344	10.2343	0.2	0.3

- Sai số trung phương trọng số đơn vị: $m_0 = \pm 0.13\text{mm}$.

- Sai số trung phương độ cao điểm yếu nhất: $m_{H_{MC1}} = \pm 0.17\text{mm}$.

- Sai số trung phương chênh cao yếu nhất: $m_{h3} = \pm 0.30\text{mm}$.

4. Kết luận

Thuật toán sử dụng trong bình sai mạng lưới trắc địa tự do theo Bjerhammar được so sánh với thuật toán khác (Markuze I.V) thông qua sử dụng phần mềm DPSurvey 2.8 thu được trị xác suất (độ cao bình sai H^{BS}) là tương đương nhau. Kết quả đánh giá độ chính xác các yếu tố trong lưới theo phương pháp Bjerhammar có phần tốt hơn (xét về sai số trung phương độ cao điểm và sai số trung phương chênh cao). Ngoài ra, thuật toán của Bjerhammar tương đối đơn giản, ngắn gọn, có thể dễ dàng viết lập trình để tự động hóa cho bài toán bình sai mạng lưới trắc địa tự do nói chung và ứng dụng trong xử lý lưới khống chế cơ sở trong quan trắc biến dạng nói riêng.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1]. A. Perelmutter (1979). *Adjustment of free networks*. University of Tel Aviv, Department of Geodesy, Tel Aviv, Israel.
 [2]. Đinh Xuân Vinh, Phan Văn Hiến, Nguyễn Bá Dũng (2016). *Lý thuyết và phương pháp phân tích biến dạng*. Nhà xuất bản Tài nguyên Môi trường và Bản đồ Việt Nam, ISBN 978-604-904-875-3.
 [3]. E Mittermayer (1972). *A generalisation of the least-squares method for the adjustment of free networks*. Technical University of Berlin, Germany.
 [4]. Gilad Even-Tzur (2011). *Deformation Analysis by Means of Extended Free Network Adjustment Constraints*. Journal of surveying engineering may 2011, 137:47-52.

(Xem tiếp trang 26)

C. KẾT LUẬN

Lọc Kalman thực sự rất hiệu quả khi phân tích dữ liệu vận động theo thời gian. Những nghiên cứu bước đầu nhằm sử dụng máy thu GPS rẻ tiền, thông dụng thay thế những máy thu GPS RTK đắt tiền. Kết quả có thể chấp nhận được trong điều kiện số lượng vệ tinh rất ít (5 vệ tinh), chất lượng tín hiệu yếu và đôi khi mất tín hiệu. Với độ chính xác ± 3 cm có thể ứng dụng trong đo vẽ chi tiết hoặc xây dựng lưới không chế đo vẽ. Nếu có thể sử dụng loại máy thu được các vệ tinh GPS, Glonass, Beidou thì chất lượng sẽ nâng lên đáng kể, thời gian đo cũng vì thế tăng nhanh hơn.

Lời cảm ơn: Nghiên cứu này được thực hiện với sự hỗ trợ của đề tài nghiên cứu khoa học cấp cơ sở “Nghiên cứu nâng cao độ chính xác xác định vị trí điểm máy thu trong đo GPS động xử lý sau phục vụ thành lập bản đồ tỷ lệ lớn ở Việt Nam”, mã số 13.01.17.O.03. Tác giả chân thành cảm ơn nhóm sinh viên ĐH5QĐ9 đã nhiệt tình tham gia thực nghiệm.

BBT nhận bài: 22/01/2018; Phản biện xong: 27/2/2018

.....

KHẢO SÁT ỨNG DỤNG CỦA THUẬT TOÁN BJERHAMMAR... (tiếp theo trang 81)

[5]. Gilad Even-Tzur, Lior Shahaar (2015). *Application of extended free net adjustment constraints in two-step analysis of deformation network*. Acta Geod Geophys DOI 10.1007/s40328-015-0119-3, Springer.

[6]. Dagogo M.J. FUBARA (1973). *Geodetic numerical and statistical analysis of data*. Space Program Office, Battelle Columbus Laboratories, Columbus, Ohio 43201. <https://link.springer.com/article/10.1007%2FBF02522077>.

[7]. Haim B. Papo (1986). *Extended free net adjustment constraints*. US Department of commerce, National Oceanic and Atmospheric Administration, National Ocean Service.

[8]. Hoàng Ngọc Hà, Trương Quang Hiếu (2003). *Cơ sở toán học xử lý số liệu trắc địa*. NXB Giao thông vận tải.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1]. R.E. Kalman (1960). *A New Approach to Linear Filtering and Prediction Problems*, Journal of Basic Engineering, 82 (series D):34-45. Copyright @ 1960 by ASME.

[2]. Norman Morrison (1969). *Intro to Sequential Smoothing and Prediction*. McGraw-Hil Book Company, New York.

[3]. Đinh Xuân Vinh, Phan Văn Hiến, Nguyễn Bá Dũng (2016). *Lý thuyết và phương pháp phân tích biến dạng*. Nhà xuất bản Tài nguyên Môi trường và Bản đồ Việt Nam. ISBN: 978-604-904-875-3.

[4]. Phan Văn Hiến, Đinh Xuân Vinh (2010). *Ứng dụng lọc Kalman trong phân tích biến dạng nhà cao tầng do bức xạ nhiệt mặt trời*. Tạp chí Xây dựng, số 5-2010. ISSN 0866-0762.

[5]. Đề tài nghiên cứu khoa học cấp cơ sở “Nghiên cứu nâng cao độ chính xác xác định vị trí điểm máy thu trong đo GPS động xử lý sau phục vụ thành lập bản đồ tỷ lệ lớn ở Việt Nam”, mã số 13.01.17.O.03. Chủ nhiệm đề tài: TS. Đinh Xuân Vinh.

[9]. Hoàng Ngọc Hà (2006). *Bình sai tính toán lưới trắc địa và GPS*. NXB Khoa học kỹ thuật.

[10]. Huang Shengxiang, Yin Hui, Jiang Zheng (2004). *Xử lý số liệu trong quan trắc biến dạng*. NXB Đại học Vũ Hán (Bản dịch của PGS. TS Phan Văn Hiến. NXB Khoa học và kỹ thuật, 2010).

[11]. Trần Khánh, Nguyễn Quang Phúc (2010). *Quan trắc chuyển dịch và biến dạng công trình*. NXB Giao thông vận tải.

[12]. Tao Benzao (2017). *Bình sai lưới tự do và phân tích biến dạng*. Phan Văn Hiến và Phạm Quốc Khánh dịch. NXB Tài nguyên - Môi trường và Bản đồ Việt Nam.

BBT nhận bài: 11/01/2018; Phản biện xong: 20/02/2018