

Bài báo khoa học

Ứng dụng phương pháp Markuze vào phân tích độ ổn định mốc lưới độ cao cơ sở

Đoàn Thị Bích Ngọc^{1*}, Đặng Xuân Trường¹, Lê Thùy Linh¹

¹ Trường Đại học Tài nguyên & Môi trường TP. Hồ Chí Minh 236B, Lê Văn Sỹ, Tân Bình, TP. Hồ Chí Minh, Việt Nam; ngocdtb@hcmunre.edu.vn; dxtruong@hcmunre.edu.vn; linhlt@hcmunre.edu.vn

*Tác giả liên hệ: ngocdtb@hcmunre.edu.vn; Tel.: +84–986743896

Ban Biên tập nhận bài: 5/2/2022; Ngày phản biện xong: 10/3/2022; Ngày đăng bài: 25/4/2022

Tóm tắt: Đánh giá độ ổn định của mốc lưới độ cao cơ sở có vai quan trọng trong công tác quan trắc độ lún của công trình xây dựng. Việc sử dụng đa dạng phương pháp để đánh giá độ ổn định của mốc càng làm tăng thêm tính chính xác cũng như phương án lựa chọn phương pháp để sử dụng. Do đó trong bài báo này, chúng tôi đã đi nghiên cứu khả năng ứng dụng của phương pháp Markuze trong đánh giá độ ổn định của mốc lưới độ cao cơ sở. Chúng tôi đã sử dụng bộ dữ liệu đo lưới độ cao cơ sở gồm 4 chu kỳ, và so sánh kết quả thu được từ phương pháp Markuze với phương pháp Thuật toán bình sai lưới tự do (một phương pháp thông dụng nhất hiện nay). Kết quả sau khi sử dụng phương pháp Markuze, chúng tôi thu được: các mốc tại chu kỳ 1, chu kỳ 2, chu kỳ 3 đều ổn định; mốc M_2 tại chu kỳ 4 không ổn định và dịch chuyển (lún) một khoảng 5,0 mm. Kết quả này hoàn toàn phù hợp với phương pháp Thuật toán bình sai lưới tự do. Điều đó cho thấy, để phân tích độ ổn định của lưới độ cao cơ sở, chúng ta hoàn toàn có thể sử dụng phương pháp Markuze như trong bài báo này chúng tôi đã nghiên cứu.

Từ khóa: Markuze; Bình sai truy hồi; Quan trắc biến dạng.

1. Đặt vấn đề

Cùng với sự phát triển chung của nền kinh tế, các công trình xây dựng với quy mô lớn ngày càng nhiều. Vấn đề tuổi thọ cũng như an toàn khi sử dụng các công trình luôn là vấn đề được quan tâm, do đó công tác theo dõi và đánh giá mức độ ổn định của các công trình là vô cùng cần thiết và đã được các nước Nga, Mỹ... nghiên cứu từ rất sớm [1]. Việc thực hiện phân tích độ ổn định của hệ thống mốc độ cao cơ sở là một bước đóng vai trò then chốt trong quá trình quan trắc và xử lý số liệu đo lún công trình, để từ đó góp phần xác định chính xác nhất sự trôi lún của công trình [2–3]. Đã có nhiều nghiên cứu về phương pháp nhằm đánh giá độ ổn định cũng như nâng cao độ chính xác xác định độ ổn định của mốc lưới độ cao cơ sở [4–5]. Quan trắc độ trôi lún ở nước ta từ lâu đã được chú trọng và triển khai rộng rãi đối với các công trình xây dựng, các phương pháp nhằm phân tích độ ổn định của mốc lưới độ cao cơ sở từ đó mà đa dạng dần lên. Hiện nay, chúng ta sử dụng một số phương pháp như: phương pháp thuật toán bình sai lưới tự do, phương pháp phân tích tương quan, phương pháp một mốc gốc... [6]. Phương pháp thuật toán bình sai lưới tự do đã và đang thể hiện được ưu thế [7] và ngày càng được cải tiến về thuật toán để nâng cao độ chính xác [8–10], rất nhiều lưới độ cao cơ sở của các công trình nhà cao tầng trọng điểm đã sử dụng phương pháp này để phân tích độ ổn định [11–12]. Phương pháp thuật toán bình sai lưới tự do tuy có ưu điểm là thuật toán dễ sử dụng nhưng nó không xử lý liên kết được các trị đo giữa các chu kỳ với nhau

[13]. Phương pháp phân tích tương quan cho độ chính xác cao khi số chu kỳ đo từ 10 trở lên và phương pháp này chỉ thường sử dụng đối với những công trình rất quan trọng khi có các chu kỳ quan trắc lớn [14–15]. Chính vì những lý do trên, để nâng cao độ chính xác trong quan trắc độ lún công trình, để xử lý liên kết tất cả các trị đo của các chu kỳ với nhau và đặc biệt là để góp phần làm phong phú hơn các phương pháp đánh giá độ ổn định của mốc lưới độ cao cơ sở, chúng tôi đã tiến hành nghiên cứu về ứng dụng của phương pháp *Markuze* trong phân tích độ ổn định mốc lưới độ cao cơ sở trong quan trắc chuyên dịch biến dạng công trình. Trong nghiên cứu này chúng tôi đã tiến hành đánh giá độ ổn định của mốc lưới độ cao cơ sở theo phương pháp *Markuze* và tiến hành so sánh kết quả đó với phương pháp thuật toán bình sai lưới tự do.

2. Phương pháp nghiên cứu và số liệu áp dụng

2.1. Cơ sở lý thuyết của phương pháp *Markuze*

Để đánh giá độ ổn định của hệ thống mốc cơ sở bằng phương pháp *Markuze* có thể được tiến hành qua các bước sau:

Bước 1. Bình sai riêng biệt chu kỳ đo hiện tại S : Việc bình sai có thể dùng phương pháp tiêu chuẩn hay truy hồi. Tuy nhiên phương pháp truy hồi sẽ thích hợp hơn vì cho phép kiểm tra và loại bỏ sai số thô nếu có [16].

Bước 2. Bình sai liên kết chu kỳ S với các chu kỳ trước đó [16]:

Giả sử rằng $S-1$ chu kỳ trước đó đã được bình sai đồng thời và ta có: Ma trận trọng số đảo của các ản số $\bar{Q}_X^{(s-1)}$; véc tơ ản số $\bar{X}^{(s-1)}$; dạng toàn phương $\bar{\phi}^{(s-1)}$

Các công thức tuần tự trở thành:

Ma trận trọng số đảo của số hạng tự do:

$$\bar{Q}_l^{(s)} = \bar{Q}_X^{(s-1)} + Q_X^{(s)} \quad (1)$$

Vector ản số:

$$\bar{X}^{(s)} = X^{(s)} - Q_X^{(s)} \bar{Q}_l^{(s-1)^{-1}} l^{(s)} \quad (2)$$

Vector số hạng tự do:

$$l^{(s)} = X^{(s)} - \bar{X}^{(s-1)} \quad (3)$$

Ma trận trọng số đảo của các ản số:

$$\bar{Q}_X^{(s)} = Q_X^{(s)} - Q_X^{(s)} \bar{Q}_l^{(s-1)^{-1}} Q_X^{(s)} \quad (4)$$

Dạng toàn phương:

$$\bar{\phi}^{(s)} = \phi^{(s)} + l^{(s)T} Q_l^{(s-1)^{-1}} l^{(s)} \quad (5)$$

Bước 3. Kiểm tra mốc dịch chuyển: Để kiểm tra xem mốc có bị dịch chuyển ở chu kỳ S hay không, ta có thể dùng kiểm tra sau [16]:

$$l^{(s)} \leq t \sigma_0 \sqrt{\bar{Q}_l^{(s)}} \quad (6)$$

Trong đó t là hệ số có giá trị $2 \div 3$, σ_0 là sai số trung phương trọng số đơn vị, $\bar{Q}_l^{(s)}$ là thành phần nằm trên đường chéo chính của ma trận trọng số đảo của số hạng tự do ứng với điểm đang xét [16].

Trong trường hợp nếu mốc i nào đó thỏa mãn bất đẳng thức trên, thì mốc i là hoàn toàn ổn định. Nếu trong trường hợp mốc i không thỏa mãn bất đẳng thức trên thì mốc i không ổn định. Trong trường hợp phát hiện mốc không ổn định thì cần quay lại thực hiện bước 1 và

tính lại giá trị tham số gần đúng cho môc dịch chuyên cũng như thay đổi điều kiện trong phương trình điều kiện của lưới tự do. Tiến hành kiểm tra độ ổn định của các môc còn lại [16].

Bình sai mạng lưới tự do bằng phương pháp bình sai truy hồi cho chu kỳ hiện tại S nào đó được thực hiện như sau:

Lưới độ cao cơ sở là một mạng lưới tự do, để bình sai lưới trắc địa tự do với số khuyết $d=1$ cần bổ sung một phương trình điều kiện dạng [17]:

$$C^T \delta X = 0 \quad (7)$$

C là ma trận bậc $(k \times d)$ với d là số khuyết, k là số lượng ảnh trong lưới.

Khi biểu diễn điều kiện $C^T \delta X = 0$ dưới dạng hệ phương trình số hiệu chỉnh [18]:

$$V_c = B^T \cdot \delta X + 0.0 \quad (8)$$

Với ma trận trọng số $P_0 = \infty \cdot E$; Cấu trúc của ma trận B đối với lưới độ cao tự do $B^T = (1 \ 1 \dots \ 1)$ [17].

Do vậy khi sử dụng thuật toán bình sai truy hồi để xử lý mạng lưới tự do chúng ta cần lần lượt tính toán theo thuật toán truy hồi với n phương trình số hiệu chỉnh dạng $v_i = a_i \delta X + l_i$ và 1 phương trình số hiệu chỉnh dạng $V_c = B^T \cdot \delta X + 0.0$ [19] để tính:

Véc tơ số hạng tự do [20]:
$$l_i = f(X^{(i-1)}, L_i) \quad (9)$$

Trọng số đảo của sai số khép [20]:

$$q_{l_i} = \frac{1}{p_i} + a_i Q_X^{(i-1)} a_i^T \quad (10)$$

Ước lượng của tham số sau khi xử lý trị đo thứ i [20]:

$$X^{(i)} = X^{(i-1)} - Q_X^{(i-1)} a_i^T \frac{l_i}{q_{l_i}} \quad (11)$$

Ma trận trọng số đảo của ảnh số sau khi xử lý trị đo thứ i [20]:

$$Q_X^{(i)} = Q_X^{(i-1)} - \frac{Q_X^{(i-1)} \cdot a_i^T a_i Q_X^{(i-1)}}{q_{l_i}} \quad (12)$$

Dạng toàn phương khi xử lý trị đo thứ i [20]

$$\phi^{(i)} = [P V V]^i = [P V V]^{(i-1)} + \frac{l_i^2}{q_{l_i}} \quad (13)$$

Xác định ma trận ban đầu $Q_X^{(0)}$ của quá trình tính toán bình sai truy hồi:

Để bắt đầu quá trình truy hồi bằng các công thức trên, cần có giá trị gần đúng ma trận trọng số đảo khởi đầu của tham số (Q_X):

Có thể thành lập ma trận ban đầu $Q_X^{(0)}$ theo giáo sư Markuze như sau [16]:

$$Q_X^{(0)} = 10^m \cdot E_{kkk} \quad (14)$$

Với k là tổng số các tham số ảnh δX cần xác định (số lượng các trị đo cần thiết trong mạng lưới trắc địa). E là ma trận đơn vị bậc k ; m là số nguyên có giá trị đủ lớn sao cho 10^m nhỏ hơn sai số tính toán các phần tử của ma trận trung gian. Trong thực tế tính toán bình sai các mạng lưới trắc địa có thể chọn $m = 6 \div 10$ [21], trong tính toán thực nghiệm của bài báo này đã lựa chọn $m = 6$.

Kiểm tra sự có mặt của các trị đo thô theo số hạng tự do của phương trình số hiệu chỉnh đối với trị đo dư

Ưu điểm nổi bật của phương pháp bình sai truy hồi chính là việc kiểm tra sự có mặt của trị đo thô ngay trong quá trình tính toán bình sai truy hồi [21]. Việc sử dụng ma trận khởi đầu $Q_X^{(0)}$ ở dạng $Q_X^{(0)} = 10^m \cdot E_{k \times k}$ [22] hoàn toàn cho phép phân biệt được trị đo cần thiết và trị đo dư. Khi tính toán bình sai truy hồi với trị đo L_i tiến hành xác định trọng số đảo q_i của số hạng tự do l_i theo công thức (9):

Nếu $q_i > \frac{100}{p_i}$, thì trị đo L_i là trị đo cần thiết. Trong trường hợp này chúng ta không kiểm tra sự có mặt của trị đo thô [21].

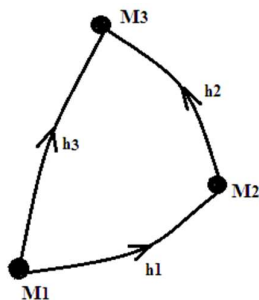
Nếu $q_i \leq \frac{100}{p_i}$, thì trị đo L_i là trị đo dư. Trong trường hợp này hoàn toàn có thể kiểm tra sự có mặt của trị đo thô trên cơ sở so sánh số hạng tự do l_i với hạn sai của nó $(l_i)_{cp}$ [21]:

$$(l_i)_{cp} = \pm t \cdot m_0 \cdot \sqrt{q_i} \tag{15}$$

Trong đó m_0 là sai số trung phương của trị đo thứ i [20].

Nếu $l_i \leq (l_i)_{cp}$ thì có thể thấy rằng trị đo được đưa vào tính toán bình sai truy hồi không có chứa sai số thô. Trong trường hợp ngược lại, để tăng độ chính xác của lưới trị đo cần được loại bỏ vì có chứa sai số thô [20]. Trước khi loại bỏ một trị đo có chứa sai số thô cần phải xem xét thực chất trị đo đó có chứa sai số thô hay không, bằng cách áp dụng phương pháp bình sai lặp để tìm kiếm các trị đo thô [23].

2.2. Số liệu đo lưới độ cao cơ sở



Hình 1. Lưới độ cao cơ sở.

Lưới độ cao cơ sở được quan trắc với 5 chu kỳ: 0, 1, 2, 3, 4. Sau khi bình sai chu kỳ 0 nhận được độ cao sau bình sai của các mốc như sau $H_{M1} = 0,1$ mm; $H_{M2} = 40,1$ mm; $H_{M3} = 90,1$ mm. Số liệu đo các chênh cao và số trạm đo tương ứng của các chu kỳ 1, 2, 3, 4 được thể hiện tại Bảng 1. Các chênh cao này được đo theo quy trình đo lún cấp I với sai số trung phương chênh cao trung bình một trạm đo là 0,15 mm [24].

Bảng 1. Số liệu đo lưới độ cao cơ sở trong 4 chu kỳ.

STT	h_1 (mm)	h_2 (mm)	h_3 (mm)	n_1	n_2	n_3
Chu kỳ 1	39,8	49,9	90,2	5	3	5
Chu kỳ 2	40,3	50,0	89,9	5	3	5
Chu kỳ 3	39,7	50,1	90,2	5	3	5
Chu kỳ 4	35,2	55,2	89,9	5	3	5

3. Kết quả nghiên cứu

Để làm sáng tỏ việc ứng dụng phương pháp Markuze trong phân tích độ ổn định của mốc lưới độ cao cơ sở có thật sự khả thi hay không, thì trong nghiên cứu này chúng tôi tiến hành so sánh kết quả đó với phương pháp phân tích độ ổn định mốc lưới độ cao cơ sở bằng phương pháp thuật toán bình sai lưới tự do.

3.1. Kết quả phân tích độ ổn định mốc lưới độ cao cơ sở theo phương pháp Markuze

Tiến hành bình sai riêng biệt chu kỳ đo hiện tại S theo phương pháp bình sai truy hồi với việc lựa chọn ma trận trọng số đảo ban đầu $Q_X^{(0)}$ của quá trình tính toán bình sai truy hồi là:

$$Q_X^{(0)} = \begin{bmatrix} 1000000 & 0 & 0 \\ 0 & 1000000 & 0 \\ 0 & 0 & 100000 \end{bmatrix} \quad (16)$$

Độ cao gần đúng khi bình sai riêng biệt các chu kỳ S được lấy là độ cao bình sai của chu kỳ $S-1$, thứ tự trị đo được đưa vào bình sai truy hồi tại các chu kỳ lần lượt là h_1, h_2, h_3 và cuối cùng là điều kiện bổ sung.

Tại các chu kỳ 1 tất cả các mốc đều ổn định (Bảng 4), độ cao các mốc sau bình sai như sau $H_{M1} = 0,1$ mm; $H_{M2} = 40,1$ mm; $H_{M3} = 90,1$ mm (Bảng 5) và tại chu kỳ 1 này dịch chuyển của các mốc tương ứng so với chu kỳ 0 đều có giá trị 0,0 mm (Bảng 6).

Tại chu kỳ 2 tất cả các mốc đều ổn định (Bảng 4), do đó tại chu kỳ 2 sẽ được bình sai liên kết với các trị đo của chu kỳ 1. Sau khi bình sai liên kết hai chu kỳ thì độ cao các mốc như sau: $H_{M1} = 0,1$ mm; $H_{M2} = 40,1$ mm; $H_{M3} = 90,1$ mm (Bảng 5) và tại chu kỳ 2 này dịch chuyển của các mốc tương ứng so với chu kỳ 0 đều có giá trị 0,0 mm (Bảng 6).

Tại chu kỳ 3 các mốc đều ổn định (Bảng 4) do đó chu kỳ 3 được bình sai liên kết với kết quả đo của chu kỳ 1 và chu kỳ 2 trước đó. Sau khi bình sai liên kết ba chu kỳ thì độ cao các mốc như sau: $H_{M1} = 0,1$ mm; $H_{M2} = 40,1$ mm; $H_{M3} = 90,1$ mm (Bảng 5) và tại chu kỳ 3 này dịch chuyển của các mốc tương ứng so với chu kỳ 0 đều có giá trị 0,0 mm (Bảng 6).

Tại chu kỳ 4 phát hiện mốc M_2 không ổn định (Bảng 4) do đó chu kỳ này không được bình sai kết hợp với ba chu kỳ trước đó (chu kỳ 1, chu kỳ 2 và chu kỳ 3). Vì mốc M_2 không ổn định trong chu kỳ 4, nên độ cao gần đúng của nó trong chu kỳ này được tính dựa vào độ cao gần đúng của điểm M_1 và chênh cao đo h_1 của chu kỳ 4; ma trận định vị tại chu kỳ 4 ứng với phần tử của mốc M_2 sẽ được chọn lại bằng 0 (Bảng 3). Sau khi bình sai riêng chu kỳ 4 thì độ cao các mốc như sau: $H_{M1} = 0,1$ mm; $H_{M2} = 35,1$ mm; $H_{M3} = 90,2$ mm (Bảng 5) và tại chu kỳ 4 này mốc M_2 bị lún so với chu kỳ 0 một khoảng là 5,0 mm (Bảng 6). Các kết quả được thể hiện cụ thể như sau:

Bảng 2. Đánh giá trị đo có mang sai số thô hay không trong quá trình bình sai truy hồi.

Chu kỳ	Chênh cao	li (mm)	$2m_0\sqrt{q_{l_1}}$	Kết luận
Chu kỳ 1	h_3	-0,5	2,4	Không có sai số thô
Chu kỳ 2	h_3	0,4	2,4	Không có sai số thô
Chu kỳ 3	h_3	-0,4	2,4	Không có sai số thô
Chu kỳ 4	h_3	0,5	2,4	Không có sai số thô

Theo kết quả bảng 2 thì tất cả các trị đo trong 4 chu kỳ đều không có chứa sai số thô, do đó không có trị đo nào bị loại bỏ, các trị đo trong các chu kỳ đều được đưa vào bình sai.

Bảng 3. Ma trận định vị C của các chu kỳ.

Chu kỳ	Ma trận định vị C
Chu kỳ 1	$C^T = (1 \ 1 \ 1)$
Chu kỳ 2	$C^T = (1 \ 1 \ 1)$
Chu kỳ 3	$C^T = (1 \ 1 \ 1)$
Chu kỳ 4	$C^T = (1 \ 0 \ 1)$

Tại các chu kỳ 1, 2, 3 tất cả các mốc đều ổn định do đó các phần tử của ma trận định vị C đều nhận giá trị bằng 1. Tại chu kỳ 4, do mốc M₂ không ổn định nên phần tử ứng với mốc M₂ trên ma trận định vị C sẽ nhận giá trị 0, hai mốc M₁ và M₃ đều ổn định nên vẫn nhận giá trị 1 (Bảng 1).

Bảng 4. Đánh giá độ ổn định mốc tại các chu kỳ (so với chu kỳ liền kề trước).

Chu kỳ	Mốc	Dịch chuyển (mm)	\overline{Q}_t	Giới hạn (mm)	Kết luận
Chu kỳ 1	M1	0,0	1,111	0,4	Ổn định
	M2	0,0	0,855	0,4	Ổn định
	M3	0,0	0,855	0,4	Ổn định
Chu kỳ 2	M1	-0,1	2,222	0,6	Ổn định
	M2	0,1	1,709	0,5	Ổn định
	M3	0,0	1,709	0,5	Ổn định
Chu kỳ 3	M1	0,1	1,667	0,7	Ổn định
	M2	-0,1	1,282	0,4	Ổn định
	M3	0,1	1,282	0,4	Ổn định
Chu kỳ 4	M1	0,0	0,769	0,4	Ổn định
	M2	-4,9	1,923	0,6	Không ổn định
	M3	0,1	0,769	0,4	Ổn định

Tại các chu kỳ 1, chu kỳ 2, chu kỳ 3 tất cả các mốc đều ổn định do lượng dịch chuyển của các mốc tương ứng so với chu kỳ liền kề trước đều nhỏ hơn giới hạn cho phép (Bảng 4). Tại chu kỳ 4 mốc M₂ có giá trị dịch chuyển là 4,9 mm (dịch chuyển so với chu kỳ liền kề trước) lớn hơn giá trị giới hạn cho phép, do đó mốc M₂ trong chu kỳ 4 không ổn định. Do vậy tại chu kỳ 4 này khi thực hiện đo lưới quan trắc thì mốc M₂ không được tham gia làm dữ liệu độ cao gốc để đo nối vào lưới quan trắc.

Bảng 5. Cao độ mốc sau bình sai.

STT	Hi (mm)			
	Chu kỳ 1	Chu kỳ 2	Chu kỳ 3	Chu kỳ 4
M1	0,1	0,1	0,1	0,1
M2	40,1	40,1	40,1	35,1
M3	90,1	90,1	90,1	90,2

Sau khi xác định được các mốc ổn định hay không ổn định sẽ xác định lại được ma trận định vị C, từ đó tiến hành bình sai lưới độ cao cơ sở và nhận được độ cao sau bình sai của các mốc (Bảng 5). Có thể thấy, do các mốc tại chu kỳ 1, chu kỳ 2 và chu kỳ 3 đều ổn định nên độ cao sau bình sai của các mốc trong ba chu kỳ này không có sự thay đổi. Riêng đến chu kỳ 4, do mốc M₂ dịch chuyển nên giá trị độ cao của mốc này sẽ khác giá trị độ cao của nó ở ba chu kỳ trước.

Bảng 6. Dịch chuyển của các mốc tại các chu kỳ so với chu kỳ 0.

STT	Dịch chuyển (mm)			
	ΔH^{0-1}	ΔH^{0-2}	ΔH^{0-3}	ΔH^{0-4}
M1	0,0	0,0	0,0	0,0
M2	0,0	0,0	0,0	-5,0
M3	0,0	0,0	0,0	0,1

Sau khi xác định được giá trị độ cao sau bình sai của các mốc tại 4 chu kỳ sẽ tính được lượng dịch chuyển của các mốc so với chu kỳ 0. Vì chu kỳ 1, chu kỳ 2 và chu kỳ 3 các mốc đều ổn định so với chu kỳ 0 và giá trị dịch chuyển của các mốc đều bằng 0,0 mm. Ở chu kỳ 4 mốc M₂ không ổn định và đã lún so với chu kỳ 0 một khoảng 5,0 mm.

3.2. Kết quả phân tích độ ổn định mốc lưới độ cao cơ sở theo phương pháp thuật toán bình sai lưới tự do

Phương pháp bình sai lưới tự do là phương pháp hiện đang rất phổ biến để phân tích độ ổn định của mốc lưới độ cao cơ sở, do đó kết quả của phương pháp này sẽ là điều kiện để so sánh, kiểm chứng kết quả của phương pháp Markuze đã thực hiện ở trên. Sử dụng phương pháp thuật toán bình sai lưới tự do để phân tích độ ổn định của mốc lưới độ cao cơ sở với số liệu như trên, chúng tôi thu được các kết quả như sau:

Bảng 7. Cao độ mốc sau bình sai.

STT	Hi (mm)			
	Chu kỳ 1	Chu kỳ 2	Chu kỳ 3	Chu kỳ 4
M1	0,1	-0,1	0,1	0,1
M2	40,1	40,2	40,0	35,1
M3	90,1	90,2	90,2	90,2

Tại chu kỳ 1 độ cao các mốc sau bình sai như sau: H_{M1} = 0,1 mm; H_{M2} = 40,1 mm; H_{M3} = 90,1 mm. Tại chu kỳ 2, độ cao các mốc sau bình sai như sau: H_{M1} = -0,1 mm; H_{M2} = 40,2 mm; H_{M3} = 90,2 mm. Tại chu kỳ 3, độ cao các mốc sau bình sai như sau: H_{M1} = 0,1 mm; H_{M2} = 40,0 mm; H_{M3} = 90,2 mm. Tại chu kỳ 4, độ cao các mốc sau bình sai như sau H_{M1} = 0,1 mm; H_{M2} = 35,1 mm; H_{M3} = 90,2 mm. Độ cao sau bình sai tại các chu kỳ 1, chu kỳ 2 và chu kỳ 3 chỉ sai lệch so với độ cao của chu kỳ 0 một giá trị không đáng kể. Tại chu kỳ 4 độ cao của mốc M₂ đã thay đổi so với chu kỳ 0, do đó mốc này đã bị dịch chuyển và không còn ổn định.

Bảng 8. Dịch chuyển của các mốc tại các chu kỳ so với chu kỳ 0.

STT	Dịch chuyển (mm)			
	ΔH^{0-1}	ΔH^{0-2}	ΔH^{0-3}	ΔH^{0-4}
M1	0,0	-0,2	0,0	0,0
M2	0,0	0,1	-0,1	-5,0
M3	0,0	0,1	0,1	0,1

Theo kết quả tại bảng 8, sau khi phân tích độ ổn định các mốc theo phương pháp thuật toán bình sai lưới tự do thì tại chu kỳ 1, chu kỳ 2, chu kỳ 3 các mốc đều ổn định so với chu kỳ 0. Tại chu kỳ 1 thì tất cả các mốc đều có lượng dịch chuyển bằng 0,0 mm. Tại chu kỳ 2 mốc M₁ lún một khoảng 0,2 mm; mốc M₂ và M₃ trôi một khoảng 0,1 mm, các giá trị này hoàn toàn nằm trong giới hạn cho phép của mốc ổn định. Tại chu kỳ 3 chỉ có mốc M₂ lún 0,1 mm và mốc M₃ trôi 0,1 mm, các giá trị này cũng hoàn toàn nằm trong giới hạn cho phép của mốc ổn định. Tại chu kỳ 4 đã phát hiện mốc M₂ lún một khoảng 5,0 mm và hai mốc còn lại vẫn ổn định.

Như vậy, so sánh kết quả giữa bảng 5, bảng 6 theo phương pháp Markuze với bảng 7, bảng 8 theo phương pháp thuật toán bình sai lưới tự do có thể thấy được: Tại các chu kỳ 1, chu kỳ 2, chu kỳ 3 các mốc M_1 , M_2 , M_3 đều ổn định; độ cao cũng như lượng dịch chuyển của các mốc này được tính theo hai phương pháp là gần như tương đồng nhau. Tại chu kỳ 4 thì cả hai phương pháp đều phát hiện mốc M_2 không ổn định và đều bị lún 5 mm. Giá trị độ cao sau bình sai và dịch chuyển của các mốc được tính ở hai phương pháp có sự sai lệch từ 0,1 đến 0,2 mm, giá trị sai lệch này nhỏ hơn sai số đo giới hạn cho phép, do đó kết quả của phương pháp Markuze là hoàn toàn chính xác.

4. Kết luận

Qua kết quả đã nghiên cứu trên, chúng tôi nhận định rằng hoàn toàn có thể áp dụng phương pháp Markuze vào đánh giá độ ổn định của hệ thống mốc độ cao cơ sở.

Phương pháp Markuze thể hiện ưu điểm “nếu các chu kỳ không có mốc nào dịch chuyển sẽ tiến hành bình sai kết hợp tất cả các chu kỳ cho đến thời điểm hiện tại”. Điều này sẽ nâng cao độ chính xác xác định độ cao các mốc trong lưới.

Với phương pháp Markuze, trong trường hợp phát hiện mốc độ cao không ổn định thì cần tính lại giá trị tham số gần đúng cho mốc dịch chuyển cũng như thay đổi điều kiện trong phương trình điều kiện của lưới tự do.

Tuy nhiên qua nghiên cứu trên có thể thấy được một hạn chế của phương pháp Markuze trong phân tích độ ổn định của mốc lưới độ cao cơ sở là thuật toán khá phức tạp, quá trình phân tích độ ổn định của mốc sẽ mất nhiều thời gian do phải bình sai liên kết nhiều trị đo từ nhiều chu kỳ với nhau.

Đóng góp của tác giả: Xây dựng ý tưởng nghiên cứu: Đ.T.B.N; Phân tích số liệu: Đ.T.B.N; Viết bản thảo bài báo: Đ.T.B.N.; Chỉnh sửa bài báo: Đ.T.B.N, Đ.X.T, L.T.L.

Lời cảm ơn: Nhóm tác giả xin chân thành cảm ơn quý thầy cô Khoa Trắc địa, Bản đồ và Thông tin địa lý, Trường Đại học Tài nguyên và Môi trường TP.HCM đã có nhiều góp ý cho bài báo được hoàn thiện hơn.

Lời cam đoan: Tập thể tác giả cam đoan bài báo này là công trình nghiên cứu của tập thể tác giả, chưa được công bố ở đâu, không được sao chép từ những nghiên cứu trước đây; không có sự tranh chấp lợi ích trong nhóm tác giả.

Tài liệu tham khảo

1. ПеньюД. Пене. Анализ устойчивости реперов высотной основы// Из в. вузов. *Геодезия и аэрофотосъемка* 2005, 4С, 3–16.
2. Черников В.Ф. Создание высотной опорной сети для наблюдения за осадками промышленных сооружений// Из в. вузов. *Геодезия и аэрофотосъемка* 1963, 5С, 89–94.
3. US. Army Corps of engineers. Structural Deformation Surveying. Washington, DC 20314–1000, 2002.
4. Маркузе, Ю.И. Алгоритмы для уравнивания геодезических сетей на ЭВМ, изд-во “недра”, Москва. 1989.
5. Costache I.A. Einige neue Aspekte bei Pr3. *Zisionsnivellements zur Bestirnrnung der Senkungvon Bauten/ /Veernnungstechnik*. 1967, 7S, 250– 257.
6. Khánh, T.; Phúc, N.Q. Quan trắc chuyển dịch và biến dạng công trình. NXB Giao thông vận tải. Hà Nội, 2010.
7. Lộc, Đ.X.; Hùng, C.M. Khảo sát độ ổn định mốc lưới độ cao cơ sở bằng thuật toán bình sai lưới tự do. *Tap chí Phát triển KH & CN* 2009, 12(18), 69–75.
8. Ngọc, Đ.T.B.; Lộc, Đ.X. Khảo sát việc lựa chọn véc tơ độ cao gần đúng trong thuật toán bình sai lưới tự do khi đánh giá độ ổn định mốc lưới độ cao cơ sở. *Hội nghị*

Khoa học và Công nghệ lần thứ II: Tài nguyên, Năng lượng và Môi trường vì sự phát triển, 2014, 324– 332.

9. Ngọc, Đ.T.B. Kết hợp phương pháp phân tích tương quan và phương pháp thuật toán bình sai lưới tự do trong phân tích độ ổn định của hệ thống mốc độ cao cơ sở. Hội nghị khoa học công nghệ lần IV: Giải pháp khoa học công nghệ và quản lý sử dụng hiệu quả tài nguyên và năng lượng hướng đến phát triển bền vững và thích ứng với biến đổi khí hậu, **2018**, 237–246.
10. Ngọc, Đ.T.B.; Trường, Đ.X. Ứng dụng thuật toán bình sai lưới tự do để phân tích độ ổn định của mốc lưới độ cao cơ sở trong trường hợp số lượng mốc không ổn định lớn hơn 50% tổng số mốc. *Tap chí Giao thông vận tải 2021*, 84–86.
11. Lộc, Đ.X.; Hưng, V.D. Ứng dụng thuật toán bình sai lưới tự do cho dạng tuyến đo cao không có số liệu đo dư thừa và số liệu các điểm gốc để phân tích độ ổn định các mốc cao độ. Tuyển tập báo cáo hội nghị khoa học lần thứ 12, Trường ĐHBK–ĐHQG Tp. HCM, 26–28/10/2011.
12. Lộc, Đ.X.; Huy, L.H. Về lưới tự do và áp dụng lưới tự do trong trắc địa công trình. Hội nghị khoa học kỷ niệm 50 năm thành lập Viện khoa học công nghệ xây dựng, Tuyển tập báo cáo, Hà Nội 10/2013.
13. Lộc, Đ.X. Khảo sát độ ổn định mốc gốc trong quan trắc lún công trình. *Phát triển Khoa học và Công nghệ ĐHQG TP.HCM*, NXB ĐHQG TP.HCM, số 3 & 4/2003.
14. Ngọc, Đ.T.B. Đánh giá phương pháp phân tích tương quan trong xác định độ ổn định của hệ thống mốc lưới độ cao cơ sở. Hội nghị Khoa học và Công nghệ lần thứ III: Quản Lý Hiệu Quả Tài Nguyên Thiên Nhiên và Môi Trường Hướng Đến Tăng Trưởng Nhanh, **2016**, 249– 258.
15. <https://tailieumienphi.vn/doc/ung-dung-toan-thong-ke-de-danh-gia-do-on-dinh-moc-co-so-do-lun-cong-trinh-tu-ke-ez58tq.html>
16. Ngọc, Đ.T.B. Phân tích các phương pháp đánh giá độ ổn định của hệ thống mốc cơ sở trong quan trắc chuyển dịch biến dạng công trình. Luận văn thạc sĩ Đại học Bách Khoa TP. HCM, 2015.
17. Lộc, Đ.X. Trắc địa công trình trong thi công xây dựng hầm và quan trắc biến dạng công trình, Nhà xuất bản Đại học quốc gia TP. Hồ Chí Minh, 2008.
18. Hà, H.N.; Hà, V.T. Bình sai hỗn hợp lưới mặt đất và GPS, ứng dụng công thức truy hồi để phát hiện sai số thô. *Tap chí KHKT Mỏ –Địa Chất 2012*, 37, 62–65.
19. Hiếu, T.Q. Cơ sở toán học của lý thuyết sai số. Trường Địa học Mỏ–Địa Chất, Hà Nội, 2001.
20. Hà, V.T.; Hà, H.N. Đánh giá độ ổn định các mốc quan trắc chuyển dịch ngang ứng dụng bình sai truy hồi. *Tap chí Khoa học Công nghệ Xây dựng 2012*, 11, 115–119.
21. Thạch, L.T.; Kiên, P.T. Ứng dụng phương pháp bình sai truy hồi trong sử lý toán học số liệu trắc địa. *Tap chí Khoa học Tài nguyên và Môi trường 2017*, 15, 10–13.
22. <https://tailieutuoi.com/tai-lieu/khao-sat-ung-dung-phuong-phap-binh-sai-truy-hoi-trong-xu-ly-so-lieu-luoi-trac-dia-cong-trinh-tran-khanh>
23. Thắm, B.H. Nghiên cứu áp dụng phương pháp bình sai lặp để tìm kiếm các trị đo thô. *Tap chí Khoa học Đo đạc và Bản đồ 2009*, 1, 37– 41.
24. TCVN 9360–2012. Quy trình kỹ thuật xác định độ lún công trình dân dụng và công nghiệp bằng phương pháp đo cao hình học, Hà Nội 2012.

Application of markuze method to evaluate the stability of the base elevation benchmark system

Doan Thi Bich Ngoc^{1*}, Dang Xuan Truong¹, Le Thuy Linh¹

¹ Ho Chi Minh city University of Natural Resources and Environment;
ngocdtb@hcmunre.edu.vn; dxtruong@hcmunre.edu.vn; linhlt@hcmunre.edu.vn

Abstract: Evaluating the stability of the benchmark system plays an important role in the settlement monitoring of construction works. The use of a variety of methods to evaluate the stability of landmarks further increases the accuracy as well as the choice of method to use. Therefore, in this paper, we have studied the applicability of the Markuze method in evaluating the stability of the benchmark system. We used a 4-period baseline grid of elevation data set, and compared the results obtained from the Markuze method with the Free Grid Correction Algorithm method (a most commonly used method today). The results after using the Markuze method, we obtained: the milestones at cycle 1, cycle 2, cycle 3 are all stable; The benchmark M_2 at period 4 is unstable and moves (settled) by about 5,0 mm. This result is completely consistent with the method of Free Grid Correction Algorithm. That said, to analyze the stability of the basic elevation grid, we can completely use the Markuze method as we have studied in this paper.

Keywords: Markuze; Recurrent adjustment; Deformation surveying.