

# ĐÁNH GIÁ ĐỘ ỔN ĐỊNH CÁC MỐC QUAN TRẮC CHUYỂN DỊCH NGANG ỨNG DỤNG BÌNH SAI TRUY HỒI

Vũ Thái Hà<sup>1</sup>, Hoàng Ngọc Hà<sup>2</sup>

**Tóm tắt :** Các công trình xây dựng, trong khi xây dựng cũng như quá trình sử dụng đều bị biến dạng theo phương thẳng đứng và phương nằm ngang. Quan trắc biến dạng công trình là một trong những nội dung của công tác trắc địa trong xây dựng công trình. Bài báo đề cập đến vấn đề ứng dụng công thức truy hồi để đánh giá độ ổn định các mốc quan trắc chuyển dịch ngang. Khi bình sai lưới hỗn hợp mặt đất và GPS nên sử dụng công thức truy hồi để tự động hóa phát hiện và loại bỏ trị đo có sai số thô, đặc biệt với những lưới có số lượng trị đo lớn.

**Summary:** During construction and use, the construction are deformed by vertical and horizontal directions. Deformation monitoring is one of the contents of the surveyor in the construction. The paper presents application of recurrent form for adjustment of the horizontal monitoring networks. Adjustment of a large network which includes a large number of measurements may be used in recurrent form to detect blunder. When adjustment of a network adds more measurements, using recurrent form only computes the additional measurement.

Nhận ngày 25/02/2012, chỉnh sửa ngày 28/02/2012, chấp nhận đăng ngày 28/02/2012

## 1. Mở đầu

Cùng với sự phát triển của khoa học và công nghệ hiện đại, kỹ thuật thi công và yêu cầu vận hành công trình ngày càng đòi hỏi độ chính xác cao hơn, để đảm bảo công trình được ổn định và sử dụng lâu dài. Đáp ứng yêu cầu đó, công tác trắc địa đóng góp từ giai đoạn khảo sát, thiết kế, thi công cho đến khi công trình đưa vào khai thác và đi vào ổn định. Cơ sở quan trắc biến dạng công trình chính là lưới khống chế trắc địa. Đối với từng dạng công trình đặc thù, cùng với điều kiện tự nhiên đặc trưng của khu vực mà chúng ta có thể quan trắc biến dạng công trình theo phương pháp phù hợp nhất. Một trong những nội dung đó là đánh giá độ ổn định của các mốc quan trắc thông qua bài toán bình sai chặt chẽ đối với mỗi chu kì. Ta sẽ xác định được dịch chuyển của mốc quan trắc thông qua gia số tọa độ của điểm sau bình sai giữa hai chu kì liên tiếp.

Hiện nay, công nghệ GPS (Global Position System) ngày càng được sử dụng phổ biến trong công tác trắc địa bởi nhiều ưu điểm vượt trội mà nó mang lại. Sự xuất hiện của trị đo GPS làm cho các dạng đồ hình lưới có nhiều điểm khác biệt so với đo đạc bằng các thiết bị truyền thống. Điều này đặt ra cho công tác xử lý số liệu trắc địa cần phải phát triển các thuật toán xử lý số liệu đối với các mạng lưới trắc địa vệ tinh, cũng như các mạng lưới hỗn hợp trắc địa mặt đất và vệ tinh. Từ đó, đưa vào tự động hoá việc tính toán trên máy tính nhằm đáp ứng nhu cầu của thực tế sản xuất.

<sup>1</sup>KS, Khoa Xây dựng Cầu đường, Trường Đại học Xây dựng. E-mail: havudhxd@gmail.com

<sup>2</sup>GS.TSKH, Trường Đại học Mỏ - Địa chất

Bài báo đề cập đến một phương pháp đánh giá độ ổn định các mốc quan trắc chuyển dịch ngang. Đó là bình sai mạng lưới hỗn hợp mặt đất và GPS, ứng dụng công thức truy hồi để loại bỏ trị đo có sai số thô.

## 2. Ứng dụng bình sai truy hồi để phát hiện sai số thô

Công thức truy hồi được phát minh ra hồi đầu thế kỷ 20 và sau đó được áp dụng rộng rãi trong toán học và một số ngành khác trong đó có ngành Trắc địa, xuất phát từ định lý:

Nếu  $R_{n \times m}$  và  $P_{n \times n}$  là hai ma trận không suy biến [2],  $A$  là ma trận kích thước  $m \times n$  khi đó

$$(R + APA^T)^{-1} = R^{-1} - R^{-1}A(A^TP^{-1}A + P^{-1})^{-1}A^TR^{-1} \quad (1)$$

Trường hợp đặc biệt khi trị đo  $n = 1$ :

$$(R + APA^T)^{-1} = R^{-1} - \frac{R^{-1}AA^TR^{-1}}{\frac{1}{P_i} + A^TR^{-1}A} \quad (2)$$

Để ý rằng trong trắc địa chúng ta thường kí hiệu  $Q = R^{-1}$  và  $a_i$  là vector hệ số hệ phương trình số hiệu chỉnh thứ  $i$ , nếu ma trận  $Q_{i-1}$  đã được xác định thì ma trận  $Q_i$  được tính theo công thức:

$$Q_i = Q_{i-1} - \frac{Q_{i-1}a_i^T a_i Q_{i-1}}{\frac{1}{P_i} + a_i Q_{i-1} a_i^T} \quad (3)$$

Như vậy, nếu lần lượt tính các ma trận  $Q_i$  thay đổi từ 1 đến  $n$  (với  $n$  là số trị đo thêm), chúng ta sẽ thu được ma trận nghịch đảo  $Q$  của vector tọa độ lưới.

Nếu  $i$  không phải là một trị đo đơn lẻ mà là một nhóm trị đo phụ thuộc thì công thức truy hồi tính ma trận nghịch đảo có dạng:

$$Q_i = Q_{i-1} - A_i^T (A_i Q_{i-1} A_i^T + P_i^{-1})^{-1} A_i Q_{i-1} \quad (4)$$

Khi tăng hoặc giảm trọng số của một trị đo, dùng công thức truy hồi ta dễ dàng có được công thức truy hồi ma trận hiệp phương sai các tham số.

Khi đặt  $A = Q_{i-1}a_i^T$  công thức truy hồi lúc này có dạng :

$$Q_i = Q_{i-1} - \frac{AA^T}{\frac{1}{P_i} + a_i A} \quad (5)$$

Với công nghệ tiên tiến hiện nay, một mạng lưới ngoài các trị đo mặt đất người ta còn bổ sung thêm các trị đo GPS hoặc các trị đo mặt đất nhằm tăng độ chính xác và nâng cao chất lượng của lưới. Nhưng sau khi bổ sung thêm các trị đo, theo phương pháp truyền thống ta lại phải tiến hành bình sai lại toàn bộ mạng lưới. Số lượng phương trình lớn dẫn đến khối lượng tính toán cũng sẽ rất lớn sau mỗi lần bổ sung. Hơn nữa, vì số lượng trị đo lớn nên sẽ có nhiều khả năng xuất hiện trị đo có mang sai số thô, nếu không được phát hiện và loại bỏ thì sẽ làm giảm độ chính xác của lưới. Để có thể tự động hóa việc phát hiện sai số thô kết hợp với việc bình sai lưới có trị đo bổ sung mà không cần bình sai lại toàn bộ lưới, sử dụng công thức truy hồi là một biện pháp thích hợp.

Để xét xem một trị đo có mang sai số thô hay không, trong quá trình tính  $Q_i$  của trị đo đó, ta tiến hành so sánh theo công thức sau:

$$|l_i| < t.m_o \sqrt{g_i} \quad (t = 2 \text{ hoặc } 3) \quad (6)$$

$$\text{Với } g_i = \frac{1}{P} + a_i Q_{i-1} a_i^T \quad (7)$$

trong đó:  $g_i$  - mẫu số tính được trong quá trình tính  $Q_i$ ;  $l_i$  - số hạng tự do của trị đo thứ  $i$  trong hệ phương trình số hiệu chỉnh;  $m_o$  - sai số trung phương của trị đo thứ  $i$

Nếu công thức (6) thỏa mãn thì trị đo thứ  $i$  không mang sai số thô.

Ngược lại,  $|l_i| \geq t.m_o \sqrt{g_i}$  thì trị đo thứ  $i$  hoặc các trị đo trước đó mang sai số thô.

Có thể tiến hành phát hiện hết các trị đo có sai số thô trong một lần bình sai sau đó loại bỏ những trị đo có mang sai số thô để bình sai lại, lưới sẽ có độ chính xác cao hơn.

### 3. Bình sai lưới hỗn hợp mặt đất và GPS để đánh giá độ ổn định các mốc quan trắc và phát hiện sai số thô của trị đo trong từng chu kỳ bằng công thức truy hồi

Để quan trắc chuyển dịch, một số lưới được thành lập bao gồm các điểm mốc cơ sở và các điểm mốc quan trắc để đo chuyển dịch. Trong lưới, đo các cạnh và góc kết hợp. Có thể đo thêm một số cạnh GPS để tăng độ chính xác cho lưới. Bình sai kết quả đo trong mỗi chu kỳ để tính tọa độ các điểm sau mỗi chu kỳ. Coi các mốc cơ sở ổn định qua các chu kỳ. Dựa vào tọa độ tính được của các điểm quan trắc ở các chu kỳ khác nhau để tính giá trị và hướng chuyển dịch.

$$\begin{aligned} q_{x_i} &= x_{i,j} - x_{i,j-1} \\ q_{y_i} &= y_{i,j} - y_{i,j-1} \\ q_i &= \sqrt{q_{x_i}^2 + q_{y_i}^2} \end{aligned} \quad (8)$$

Sai số trung phương xác định chuyển dịch toàn phần của điểm  $i$  được tính theo công thức:

$$m_{q_i} = \sqrt{m_{q_{xi}}^2 + m_{q_{yi}}^2} \quad (9)$$

Với mỗi chu kỳ, sử dụng bình sai truy hồi để phát hiện và loại bỏ các trị đo có sai số thô như đã nêu ở mục 1, nhằm nâng cao chất lượng của lưới đo.

### 4. Bài toán thực nghiệm

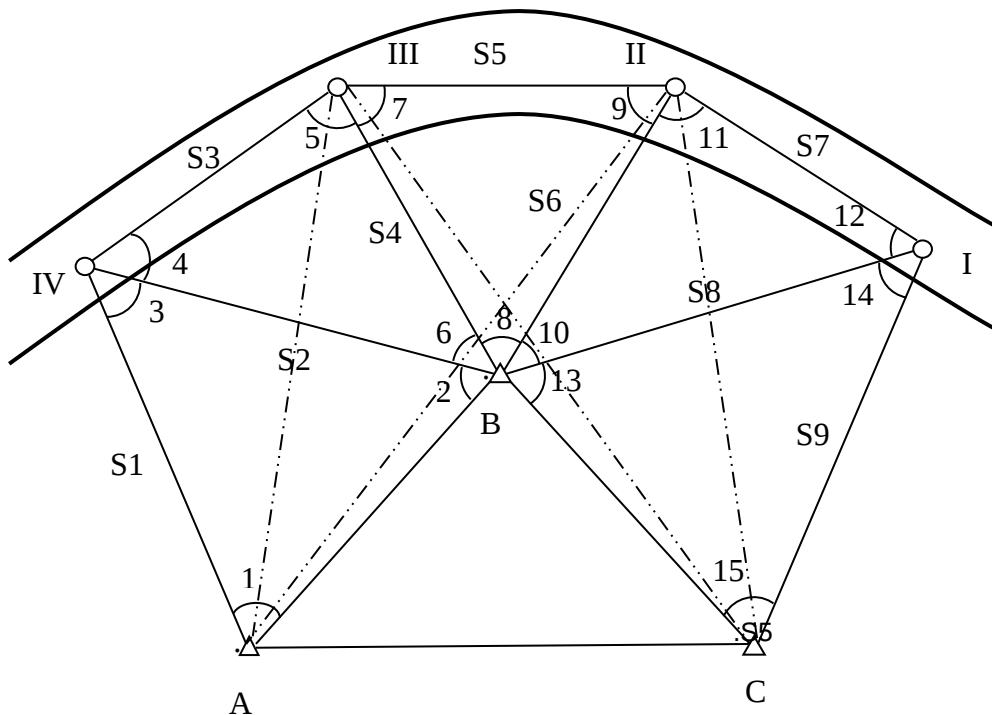
Tác giả đã tiến hành tính toán thực nghiệm với mô hình lưới đo 15 góc; 9 cạnh; 3 điểm mốc cơ sở A, B, C; 4 điểm mốc quan trắc I, II, III, IV. Sau đó tiến hành đo thêm 8 trị đo GPS dưới dạng trị đo  $\Delta X, \Delta Y$  (hình 1). Phần tính toán thực nghiệm gồm các bài toán sau:

#### 4.1 Bình sai số liệu đo của lưới ở chu kỳ 1

Tiến hành bình sai theo phương pháp gián tiếp thông thường khi coi các điểm mốc cơ sở là điểm gốc. Kết quả thu được là các trị đo sau bình sai, tọa độ điểm quan trắc sau bình sai ở chu kỳ 1 và đánh giá được độ chính xác đo (Bảng 1).

**Bảng 1. Tọa độ các điểm sau bình sai lưới chu kỳ 1**

| Điểm | X          | Y          | $m_x (m)$ | $m_y (m)$ | $m_p (m)$ |
|------|------------|------------|-----------|-----------|-----------|
| I    | 80764.8423 | 55003.6599 | 0.0010    | 0.0010    | 0.0014    |
| II   | 81042.6757 | 54643.7342 | 0.0011    | 0.0011    | 0.0016    |
| III  | 80905.9628 | 54213.1557 | 0.0011    | 0.0011    | 0.0016    |
| IV   | 80542.1356 | 54089.4993 | 0.0009    | 0.0010    | 0.0010    |



Hình 1. Sơ đồ lưới quan trắc thực nghiệm

#### 4.2 Bình sai số liệu đo của lưới ở chu kì 2

Tiến hành bình sai theo phương pháp gián tiếp thông thường với các số liệu đo ở chu kì 2 khi coi các điểm mốc cơ sở là ổn định trong suốt 2 chu kì. Kết quả thu được là các trị đo sau bình sai, tọa độ điểm quan trắc sau bình sai ở chu kì 2 và đánh giá được độ chính xác đo (Bảng 2). Sự dịch chuyển của các điểm quan trắc giữa 2 chu kì được tính theo công thức (8).

Bảng 2. Tọa độ các điểm sau bình sai lưới chu kì 2 và sự chuyển dịch giữa 2 chu kì

| Điểm | $X^{sbs}$  | $Y^{sbs}$  | $m_p$ (m) | $q_x$ (m) | $q_y$ (m) | $q_i$ (m) |
|------|------------|------------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| I    | 80764.8454 | 55003.6626 | 0.0023    | 0.0031    | 0.0027    | 0.0041    |
| II   | 81042.6767 | 54643.7337 | 0.0024    | 0.0010    | -0.0005   | 0.0011    |
| III  | 80905.9607 | 54213.1576 | 0.0023    | -0.0021   | 0.0019    | 0.0028    |
| IV   | 80542.1347 | 54089.4983 | 0.0020    | -0.0009   | -0.0010   | 0.0013    |

#### 4.3 Bình sai số liệu đo của lưới ở chu kì 2 có sử dụng công thức truy hồi để loại bỏ trị đo có sai số thô

Với số liệu đo chu kì 2 giống ở bước 4.2, tiến hành bình sai theo phương pháp truy hồi. Đối với các trị đo cạnh và trị đo GPS xét đến điều kiện (6) để loại bỏ những trị đo có sai số thô. Thu được kết quả lưới không có trị đo cạnh hay trị đo GPS có sai số thô.

Giả sử ta tăng trị đo cạnh  $S_1$  thêm 0.02m, khi tính đến ma trận  $Q_i$  của cạnh  $S_1$  phát hiện thấy  $|l_{S_1}| \geq 3m_o \sqrt{g_i}$ , kết luận được trị đo này có sai số thô. Như vậy, thuật toán truy hồi sẽ giúp ta phát hiện được trị đo có sai số thô trong quá trình bình sai đối với trị đo cạnh.

Nếu tiếp tục bình sai với trị đo có sai số thô này, ta thu được kết quả tọa độ các điểm quan trắc (Bảng 3). So sánh thấy kết quả tọa độ các điểm quan trắc sau bình sai ở bảng 3 giống như bảng 2. Vậy trị đo  $S_1$  khi tăng thêm 0.02m, có sai số thô nhỏ không làm ảnh hưởng đến kết quả bình sai.

**Bảng 3.** Tọa độ các điểm sau bình sai lưới chu kỳ 2 và sự chuyển dịch giữa 2 chu kỳ khi tăng trị đo  $S_1$  thêm 0.02m

| Điểm | $X^{sbs}$  | $Y^{sbs}$  | (m)    | (m)     | (m)     | (m)    |
|------|------------|------------|--------|---------|---------|--------|
| D    | 80764.8454 | 55003.6626 | 0.0023 | 0.0031  | 0.0027  | 0.0041 |
| E    | 81042.6767 | 54643.7337 | 0.0024 | 0.0010  | -0.0005 | 0.0011 |
| F    | 80905.9607 | 54213.1576 | 0.0023 | -0.0021 | 0.0019  | 0.0028 |
| G    | 80542.1347 | 54089.4983 | 0.0020 | -0.0009 | -0.0010 | 0.0013 |

Tương tự với trị đo GPS, giả sử ta tăng trị đo  $\Delta X$  cạnh A - III thêm -0.0200m, phát hiện thấy  $|l_{\Delta X_{A-III}}| \geq 3m_o \sqrt{g_i}$ , kết luận được trị đo này có sai số thô. Như vậy, thuật toán truy hồi sẽ giúp ta phát hiện được trị đo có sai số thô trong quá trình bình sai đối với trị đo GPS. Trên thực tế, xuất phát từ nhiều nguyên nhân khác nhau, sai số thô có thể tồn tại trong các trị đo GPS được đưa vào bài toán bình sai. Ví dụ như sai lầm khi nhập số liệu của trị đo GPS vào bài toán bình sai.

Tác giả bài báo đã xây dựng chương trình bình sai dựa trên ngôn ngữ C# ứng dụng công thức truy hồi để bình sai lưới có bổ sung thêm trị đo và loại bỏ sai số thô. Trong quá trình thực hiện bài toán bình sai, các trị đo ban đầu và trị đo bổ sung không thỏa mãn yêu cầu  $|l_i| \geq 3m_o \sqrt{g_i}$  hoàn toàn được loại bỏ.

**5. Kết luận**

Sau quá trình nghiên cứu áp dụng trong các công trình thực tế, dựa trên kết quả tính toán, khảo sát thực nghiệm các tác giả bài báo có một số kết luận sau:

- Để nâng cao độ chính xác của mạng lưới trắc địa mặt đất nên kết hợp đo thêm một số trị đo GPS.
- Bình sai lưới có số trị đo lớn nên sử dụng công thức truy hồi trong bình sai để có thể tự động hóa được việc phát hiện sai số thô.
- Để đánh giá độ ổn định của các mốc quan trắc, có thể ứng dụng bình sai truy hồi. Đồng thời với việc bình sai, loại bỏ được sai số thô, nâng cao chất lượng lưới đo.
- Có thể chỉ trong một lần bình sai phát hiện được nhiều trị đo có sai số thô mà không phải tiến hành nhiều lần. Sau đó, loại bỏ những trị đo đó, tiến hành bình sai lại lưới để độ chính xác của lưới được nâng cao.

**Tài liệu tham khảo**

1. Hoàng Ngọc Hà (2006), *Bình sai tính toán lưới trắc địa và GPS*, Nhà xuất bản Khoa học và Kỹ thuật, Hà Nội.

2. Hoàng Ngọc Hà (2001), *Tính toán trắc địa và cơ sở dữ liệu*, Nhà xuất bản Giáo dục, Hà Nội.