

NGHIÊN CỨU THUẬT TOÁN XÁC ĐỊNH ĐIỂM ỔN ĐỊNH, KHÔNG ỔN ĐỊNH TRONG LƯỚI ĐỊA ĐỘNG

VŨ ĐÌNH TOÀN, Trường Đại học Mỏ - Địa chất

Tóm tắt: Trong mạng lưới quan trắc địa động, việc xác định lượng dịch chuyển từ đó xác định độ ổn định của các điểm là việc cần thiết. Bài báo giới thiệu phương pháp phân tích độ ổn định của các điểm trong mạng lưới quan trắc địa động dựa trên việc lựa chọn ma trận định vị (C) một cách hợp lý trong bài toán bình sai lưới trắc địa tự do.

1. Đặt vấn đề

Một trong những phương pháp thường dùng để xây dựng mạng lưới quan trắc địa động hiện nay là phương pháp xây dựng bằng công nghệ GPS. Theo phương pháp này người ta tiến hành xây dựng các điểm khống chế và tiến hành đo GPS nhiều chu kỳ để xác định đại lượng dịch chuyển. Như vậy mạng lưới địa động là lưới được đo lặp nhiều chu kỳ. Thuật toán bình sai kết hợp số liệu đo lưới GPS nhiều chu kỳ có xét đến ẩn số là vận tốc chuyển dịch các thành phần tọa độ của các điểm nhằm xác định được lượng dịch chuyển và tốc độ dịch chuyển của các điểm đã được trình bày trong [5]. Thuật toán này khi bình sai đã coi tọa độ của một điểm là cố định không dịch chuyển giữa các chu kỳ đo. Do đó vấn đề đặt ra là cần chọn điểm nào là điểm ổn định trong hệ thống mốc của lưới địa động? Để giải quyết được vấn đề này chúng ta cần phải tiến hành phân tích độ ổn định của hệ thống mốc đó trước khi tiến hành bình sai kết hợp nhằm xác định vận tốc dịch chuyển.

Hệ thống các điểm của lưới địa động có thể không hoàn toàn ổn định giữa các chu kỳ quan trắc vì vậy một trong những yêu cầu kỹ thuật bắt buộc khi xử lý số liệu lưới là phải có biện pháp phân tích, đánh giá độ ổn định của các mốc. Thuật toán bình sai lưới trắc địa tự do được trình bày trong nhiều tài liệu [2,3,4], thuật toán bình sai lưới mặt bằng (2D) và độ cao tự do đã được nghiên cứu ứng dụng nhiều trong xử lý số liệu lưới quan trắc chuyển dịch biến dạng công trình [3]. Thuật toán bình sai lưới trắc địa tự do có thể được ứng dụng nhằm xác định ra điểm ổn định, điểm không ổn định của mạng lưới quan trắc địa động bằng việc lựa chọn phương thức định vị mạng lưới một cách hợp lý

tức là việc lựa chọn ma trận định vị C một cách hợp lý. Bài báo này sẽ trình bày thuật toán và quy trình phân tích độ ổn định của các điểm trong lưới địa động.

2. Cơ sở lý thuyết

2.1. Thuật toán bình sai tự do lưới địa động trong hệ tọa độ không gian địa tâm

Trong [5] đã trình bày thuật toán bình sai kết hợp số liệu đo GPS nhiều chu kỳ có xét đến vận tốc chuyển dịch của các thành phần tọa độ các điểm, ở đây không xét đến thành phần vận tốc vì chỉ thực hiện việc phân tích độ ổn định của các điểm trong lưới địa động. Thuật toán bình sai được thực hiện trong hệ tọa độ vuông góc không gian địa tâm theo bài toán bình sai lưới tự do. Thuật toán bình sai tự do lưới địa động trong hệ tọa độ vuông góc không gian địa tâm được thực hiện như sau:

Lập hệ phương trình số hiệu chỉnh có dạng:

$$V = A.X + L \quad , \quad (1)$$

trong đó: A - ma trận hệ số;

X - véc tơ ẩn số;

V, L - véc tơ số hiệu chỉnh và véc tơ số hạng tự do.

Khi chuyển từ hệ phương trình số hiệu chỉnh (1) sang hệ phương trình chuẩn theo nguyên lý số bình phương nhỏ nhất ($[pvv] = \min$) ta sẽ thu được:

$$R.X + b = 0 \quad , \quad (2)$$

với: $R = A^T P A$; $b = A^T P L$;

P - ma trận trọng số của các trị đo được tính từ ma trận hiệp phương sai (M) của các cạnh trong lưới.

Tính chất của hệ phương trình chuẩn này là: $\text{Det}(R) = 0$

Ma trận R là ma trận suy biến sẽ không tìm được ma trận nghịch đảo theo phương pháp

thông thường. Như vậy bài toán bình sai lưới tự do tập trung chủ yếu vào việc tìm ma trận nghịch đảo của ma trận suy biến. Ma trận nghịch đảo trong trường hợp này được gọi là ma trận giả nghịch đảo, ký hiệu là R^{-} và nó được tính như sau:

$$R^{-} = (R + CP_0C^T)^{-1} - TP_0^{-1}T^T, \quad (3)$$

trong đó: ma trận định vị C trong trường hợp tổng quát thường được chọn như sau:

$$C = (C_1 \ C_2 \ \dots \ C_N)^T, \quad (4)$$

với $C_i = E$ là các ma trận đơn vị có kích cỡ 3 hàng, 3 cột:

$$C_i = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}. \quad (5)$$

Ma trận T được tính như sau:

$$T = B(C^TB)^{-1}; \quad B = C$$

Để đơn giản hơn trong tính toán thực tế [4], nhất là trong việc lập trình chúng ta có những cải biến sau trong việc giải ma trận giả nghịch đảo R^{-} . Chọn ma trận P_0 có dạng đường chéo.

$$P_0 = \begin{bmatrix} 1O^m & & \\ & 1O^m & \\ & & 1O^m \end{bmatrix}$$

Với m đủ lớn chúng ta có thể viết:

$$R^{-} = (R + CP_0C^T)^{-1}$$

Những tính toán thực nghiệm cho thấy rằng chọn $m/6$ là đủ độ chính xác xác định R^{-} .

Theo [3] thì kết quả bình sai lưới tự do phụ thuộc vào việc lựa chọn véc tơ tọa độ gần đúng và ma trận định vị C nhưng kết quả bình sai chỉ phụ thuộc vào tọa độ gần đúng của những điểm có $C_i \neq 0$ (trong trường hợp này thì $C_i = E$) và không phụ thuộc vào tọa độ gần đúng của những điểm có $C_i = 0$ (ma trận 3 hàng, 3 cột với các phần tử đều bằng 0). Như vậy trong trường hợp này ma trận định vị C sẽ được lựa chọn như sau:

$$C_i = \begin{cases} E & \text{- đối với những điểm ổn định} \\ 0 & \text{- đối với những điểm không ổn định} \end{cases}$$

2.2. Quy trình phân tích độ ổn định lưới địa động

Với những phân tích ở trên thì quy trình xác định độ ổn định của lưới địa động là một quá trình tính lặp được thực hiện như sau:

Bước 1: Chọn ẩn số, ẩn số được chọn là tọa độ bình sai của tất cả các điểm.

Bước 2: Chọn tọa độ gần đúng, tọa độ gần đúng được chọn là tọa độ đã bình sai của các điểm trong chu kỳ được lấy làm mức so sánh. Với cách lựa chọn này, số hiệu chỉnh vào tọa độ cũng chính là độ dịch chuyển các thành phần tọa độ của các điểm.

Bước 3: Trên cơ sở véc tơ trị đo, lập hệ phương trình số hiệu chỉnh và hệ phương trình chuẩn đối với các mạng lưới.

Bước 4: Giả thiết tất cả các điểm trong lưới là ổn định, chọn ma trận định vị $C = (C_1 \ C_2 \ \dots \ C_N)^T$ với $C_i = E$.

Bước 5: Giải hệ phương trình chuẩn với ma trận định vị C đã chọn, xác định véc tơ ẩn số và tính độ dịch chuyển tọa độ của các điểm so với số liệu tọa độ ở chu kỳ được lấy làm mức so sánh (ở đây véc tơ ẩn số chính là độ dịch chuyển các thành phần tọa độ).

Bước 6: Thực hiện kiểm tra. Xảy ra một trong hai trường hợp:

- Nếu phát hiện một số điểm không ổn định thì sẽ loại một điểm có độ chuyển dịch lớn nhất (điểm i) ra khỏi tập hợp các điểm ổn định bằng cách gán $C_i = 0$ và quay lại thực hiện từ bước 3. Trong đó tiêu chuẩn để đánh giá độ ổn định của các điểm được thực hiện như sau: điểm được coi là ổn định nếu độ dịch chuyển tọa độ của điểm ở chu kỳ đang xét với chu kỳ so sánh không vượt quá sai số giới hạn xác định độ chênh lệch đó, ở đây ta giả thiết giới hạn đó như sau:

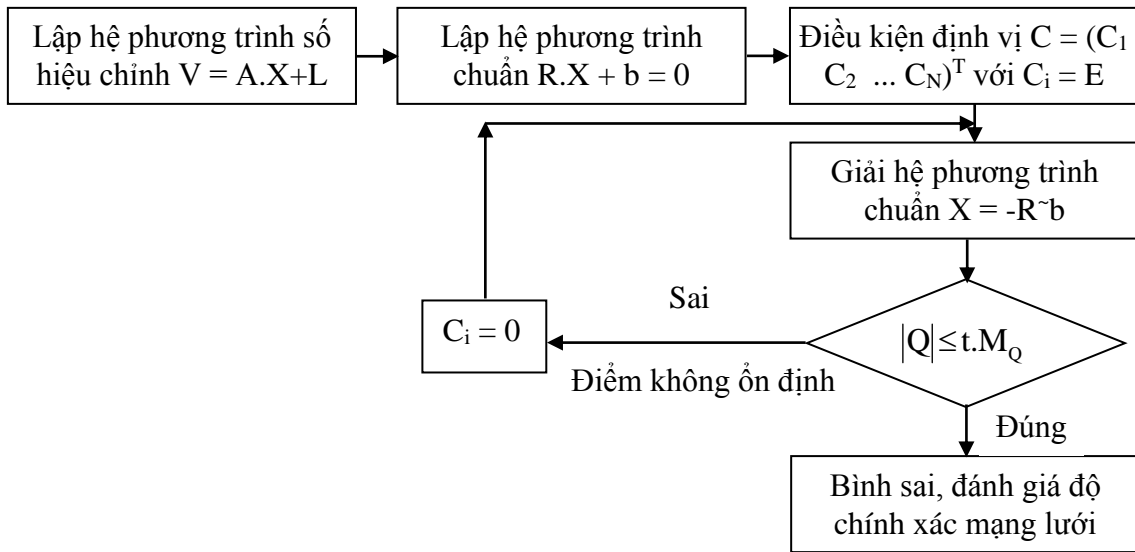
$$|Q_i| \leq t.M_{Q_i}$$

trong đó: Q_i và M_{Q_i} là giá trị dịch chuyển tọa độ và sai số tương ứng; t là hệ số xác định tiêu chuẩn sai số giới hạn, thường t lấy giá trị trong khoảng từ 2 đến 3.

- Nếu các điểm còn lại đều ổn định thì việc kiểm tra được dừng lại.

Bước 7: Tính các kết quả và đánh giá độ chính xác mạng lưới.

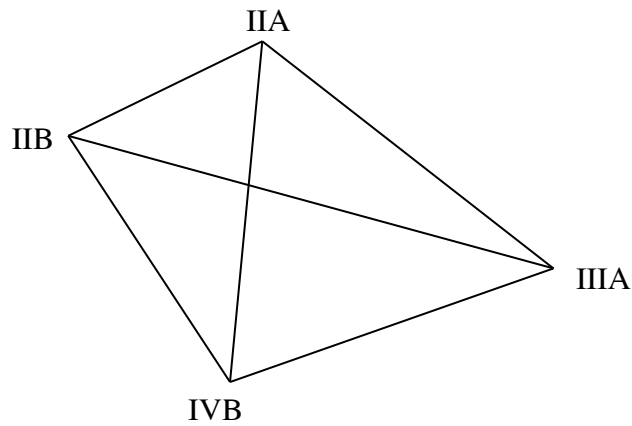
Quy trình xử lý số liệu lưới địa động nêu trên có thể được mô tả bằng sơ đồ sau:



Hình 1. Quy trình phân tích độ ổn định các mốc trong lưới địa động

3. Ví dụ tính toán

Để thấy được khả năng ứng dụng của thuật toán và quy trình xử lý số liệu trình bày ở trên, trong ví dụ tính toán dưới đây, tôi đã thực hiện tính toán thực nghiệm cho mạng lưới “mô hình” bao gồm 4 điểm IIA, IIB, IIIA, IVB với 6 cạnh đo được đo làm 2 chu kỳ. Ở chu kỳ 2, điểm IIA đã được dịch đi 3cm, điểm IIB đã được dịch đi 2cm. Sơ đồ lưới thực nghiệm được thể hiện trong hình 2:



Hình 2. Sơ đồ lưới thực nghiệm

Tọa độ của các điểm trong chu kỳ 1 được lấy làm tọa độ gần đúng khi xử lý số liệu chu kỳ 2. Tọa độ vuông góc không gian địa tâm của 4 điểm trong chu kỳ 1 được cho trong bảng sau:

Bảng 1. Tọa độ của các điểm trong chu kỳ 1

Tên điểm	Tọa độ		
	X(m)	Y(m)	Z(m)
IIA	-1773915,131	5685403,817	2275167,512
IIB	-1773642,826	5685505,947	2275126,845
IIIA	-1774249,393	5685454,553	2274331,089
IVB	-1774210,863	5685560,972	2274179,166

Gia số tọa độ của 6 cạnh trong hệ tọa độ vuông góc không gian địa tâm đo ở chu kỳ 2 được trình bày ở bảng 2:

Bảng 2. Gia số tọa độ đo ở chu kỳ 2

Tên cạnh	Giá trị		
	$\Delta X(m)$	$\Delta Y(m)$	$\Delta Z(m)$
IIA-IIB	272,3029	102,1279	-40,6779
IIIA-IIA	334,2750	-50,7231	836,4468
IIIA-IIB	606,5779	51,4048	795,7689
IIIA-IVB	38,5300	106,4190	-151,9230
IVB-IIA	295,7450	-157,1421	988,3698
IVB-IIB	568,0479	-55,0142	947,6919

Từ số liệu gia số tọa độ ở bảng 2 tiến hành lập phương trình số hiệu chỉnh, phương trình chuẩn rồi giải hệ phương trình chuẩn theo điều kiện định vị đã chọn ta sẽ tính được lượng dịch chuyển của các thành phần tọa độ ở chu kỳ 2 và tiến hành phân tích độ ổn định của các điểm. Quy trình phân tích độ ổn định của các mốc là quá trình tính lặp, với số liệu thực nghiệm này quá trình tính lặp được thực hiện 3 lần. Kết quả của quá trình xử lý lặp được thể hiện trong các bảng sau:

Bảng 3. Phân tích độ ổn định của các mốc trong lưới trong chu kỳ 2 lần lặp 1

Tên điểm	Chuyển dịch (mm)					Sai số chuyển dịch (mm)			
	C	Q_X	Q_Y	Q_Z	Q	m_{Qx}	m_{Qy}	m_{Qz}	m_Q
IIA	E	7,0	7,0	14,6	17,7	0,000010	0,000010	0,000008	0,000016
IIB	E	4,9	4,9	3,7	7,9	0,000008	0,000010	0,000007	0,000014
IIIA	E	-6,0	-5,9	-9,2	12,4	0,000010	0,000010	0,000008	0,000016
IVB	E	-6,0	-5,9	-9,2	12,4	0,000008	0,000010	0,000010	0,000016

Nhận xét: Sau lần lặp 1 phát hiện điểm IIA là điểm không ổn định có độ dịch chuyển là 17,7(mm). Gán $C_{IIA} = 0$ thực hiện tính lặp lần 2.

Bảng 4. Phân tích độ ổn định của các mốc trong lưới trong chu kỳ 2 lần lặp 2

Tên điểm	Chuyển dịch (mm)					Sai số chuyển dịch (mm)			
	C	Q_X	Q_Y	Q_Z	Q	m_{Qx}	m_{Qy}	m_{Qz}	m_Q
IIA	0	9,4	9,3	19,5	23,5	0,000012	0,000012	0,000010	0,000019
IIB	E	7,3	7,2	8,6	13,4	0,000007	0,000008	0,000006	0,000012
IIIA	E	-3,6	-3,6	-4,3	6,7	0,000008	0,000008	0,000007	0,000014
IVB	E	-3,6	-3,6	-4,3	6,7	0,000007	0,000008	0,000008	0,000014

Nhận xét: Sau lần lặp 2 phát hiện điểm IIB là điểm không ổn định có độ dịch chuyển là 13,4(mm). Gán $C_{IIB} = 0$ thực hiện tính lặp lần 3.

Bảng 5. Phân tích độ ổn định của các mốc trong lưới trong chu kỳ 2 lần lặp 3

Tên điểm	Chuyển dịch (mm)					Sai số chuyển dịch (mm)			
	C	Q_X	Q_Y	Q_Z	Q	m_{Qx}	m_{Qy}	m_{Qz}	m_Q
IIA	0	13,0	12,9	23,8	30,0	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000
IIB	0	10,9	10,8	12,9	20,0	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000
IIIA	E	0,0	0,0	0,0	0,0	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000
IVB	E	0,0	0,0	0,0	0,0	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000

Nhận xét: - Sau lần lặp 3 không còn phát hiện thêm điểm không ổn định, quá trình tính lặp kết thúc. Hai điểm IIIA và IVB là những điểm ổn định.

- Theo các thuật toán và quy trình tính toán đã nêu ở trên, sau 3 lần tính lặp phát hiện được 2 điểm IIA và IIB bị chuyển dịch. Giá trị chuyển dịch của điểm IIA là 3(cm), của điểm IIB là 2(cm) là hoàn toàn đúng với giá trị chuyển dịch mà ta đã chủ động dịch đi.

Tọa độ các điểm sau bình sai trong hệ tọa độ vuông góc không gian địa tâm ở chu kỳ 2 được thể hiện trong bảng 6:

Bảng 6. Tọa độ sau bình sai trong hệ tọa độ vuông góc không gian địa tâm ở chu kỳ 2

Tên điểm	Tọa độ		
	X(m)	Y(m)	Z(m)
IIA	-1773915,1180	5685403,8299	2275167,5358
IIB	-1773642,8151	5685505,9578	2275126,8579
IIIA	-1774249,3930	5685454,5530	2274331,0890
IVB	-1774210,8630	5685560,9720	2274179,1660

4. Kết luận

- Sau quá trình tính lặp đã phát hiện ra điểm ổn định, điểm không ổn định trong lưới địa động. Giá trị dịch chuyển của các điểm mà ta xác định được hoàn toàn bằng với giá trị dịch chuyển của các điểm mà ta đã chủ động tạo ra. Như vậy thuật toán và quy trình phân tích như đã trình bày trong bài báo là hoàn toàn đúng đắn và thích hợp cho việc xử lý số liệu lưới địa động.

- Quy trình xử lý số liệu trên rất thuận tiện cho việc lập trình để tự động hóa các bước tính toán trên máy tính điện tử.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Đỗ Ngọc Đường, Đặng Nam Chinh, 2009. Bài giảng Công nghệ GPS. Đại học Mỏ - Địa chất, Hà Nội.
- [2]. Hoàng Ngọc Hà, 2006. Bình sai tính toán lưới trắc địa và GPS. Nhà xuất bản Khoa học và kỹ thuật.
- [3]. Trần Khánh, 1996. Nghiên cứu ứng dụng bình sai tự do trong lĩnh vực xử lý số liệu trắc địa công trình. Luận án phó tiến sỹ khoa học kỹ thuật, Hà Nội.
- [4]. Vũ Đình Toàn, 2011. Khảo sát một số phương pháp tìm ma trận giả nghịch đảo trong bình sai lưới trắc địa tự do, Tạp chí KHKT Mỏ - Địa chất số 33, Hà Nội.
- [5]. Nguyễn Văn Sáng, 2008. Thuật toán bình sai kết hợp lưới GPS nhiều chu kỳ trong quan trắc địa động, Tạp chí KHKT Mỏ - Địa chất số 22, Hà Nội.
- [6]. Dương Văn Phong, Nguyễn Gia Trọng, Phạm Ngọc Quang. So sánh vận tốc chuyển dịch các thành phần tọa độ điểm xét từ kết quả bình sai kết hợp số liệu đo lưới GPS nhiều chu kỳ trong trường hợp có và không có điểm cố định. Tạp chí khoa học kỹ thuật Mỏ-Địa chất số 34, 4/2011, (Chuyên đề Trắc địa).

SUMMARY

Research algorithm identified stable, not stable points in the geodynamic network

Vu Dinh Toan, *University of Mining and Geology*

In the network of geodynamic monitoring, the identification of moving from that determine the stability of the points is necessary. The paper introduces methods of analyzing the stability of the points in the geodynamic monitoring network based on the selection positioning matrix (C) appropriately in adjustment of free geodetic network.