KHẢO SÁT ỨNG DỤNG PHƯƠNG PHÁP BÌNH SAI TRUY HỒI TRONG XỬ LÝ SỐ LIỆU LƯỚI TRẮC ĐỊA CÔNG TRÌNH

Trần Khánh
Trường Đại học Mỏ Địa chất

Tóm tắt: *Bài báo có nội dung nghiên cứu khảo sát phương pháp bình sai truy hồi và ứng dụng để xử lý kết nối các trị đo mặt đất và trị đo GPS trong mạng lưới khống chế trắc địa công trình hỗn hợp. Đã đề xuất thuật toán xử lý số liệu đối với dạng lưới nêu trên theo phương pháp bình sai truy hồi. Quy trình tính toán đưa ra trong bài báo có tính chặt chẽ và thuận tiện cho việc lập trình trên máy tính.*

1. Đặt vấn đề

Phương pháp bình sai truy hồi dựa trên công thức tính ma trận nghịch đảo mà không cần lập hệ phương trình chuẩn, vì vậy phương pháp xử lý số liệu này có một số lợi thế hơn hẳn các phương pháp khác trong tính toán bình sai các mạng lưới chuyên dùng của ngành trắc địa công trình. Ngoài ra, thuật toán của phương pháp này đơn giản và thuận tiện cho việc lập trình trên máy tính.

2. Cơ sở lí thuyết của phương pháp bình sai truy hồi

Công thức truy hồi tính ma trận nghịch đảo được rut ra từ định lý [4]: Nếu R_{nxn}, P_{mxm} là các ma trận không suy biến, A là ma trận kích thước nxm , khi đó:

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

Trường hợp đặc biệt khi A là một vector (kí hiệu là a) và chú ý rằng trong trắc địa thường sử dụng kí hiệu $Q = R^{-1}$. Nếu a_i là vector hệ số phương trình số hiệu chỉnh của trị đo thứ i với trọng số p_i, khi ma trận Q_{i-1} đã xác định thì ma trận Q_i được tính theo công thức:

$$Q_i = Q_{i-1} - \frac{Q_{i-1} a_i^T a_i Q_{i-1}}{p_i^{-1} + a_i Q_{i-1} a_i^T} \quad (2)$$

Như vậy nếu lần lượt tính các ma trận Q_i với i thay đổi từ 0 đến N (N là tổng số trị đo trong mạng lưới trắc địa), sẽ thu được ma trận nghịch đảo Q của vector tọa độ. Nếu i không phải là một trị đo đơn lẻ mà là một nhóm trị đo thì công thức truy hồi tính ma trận nghịch đảo có dạng:

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

Vector nghiệm của bài toán bình sai truy hồi vẫn được tính theo công thức:

$$\delta X = -Q.b \quad (4)$$

Với: b là vector số hạng tự do trong hệ phương trình chuẩn của mạng lưới ($R.\delta X + b = 0$).

Để thực hiện quy trình tính toán ma trận nghịch đảo Q cần có ma trận Q_0 ngay từ lúc bắt đầu quá trình tính toán. Giả sử rằng tất cả ẩn số của lưới được đo độc lập với ma trận trọng số P_0. Khi đó theo lý thuyết bình sai với sai số số liệu gốc, có thể viết được hệ phương trình chuẩn:

$$\overline{R} = R + P_0 \quad (5)$$

Sau đó sẽ nghịch đảo $\overline{R}$ với ma trận $Q_0 = P^{-1}$. Như vậy, thực tế đã đưa vào lưới các "trị đo ảo" với trọng số bằng 0, khi đó $Q_0 = \infty.E$. Đặt $Q_0 = 10^m$. E với $m \Rightarrow \infty$, khi đó cần chọn m sao cho đại lượng 10^{-m} nhỏ không đáng kể so với sai số tính toán, trong trường hợp này kết quả bình sai cuối cùng sẽ không chịu ảnh hưởng của m. Để xử lý mạng lưới trên máy tính điện tử với số có ý nghĩa đến 10 ÷ 13 số thì có thể chọn m = 5 ÷ 6 là đủ [3]. Tuy nhiên có thể lấy $Q_0 = E$ (có nghĩa là gán trị đo ảo có trọng số P = E), sau đó sử dụng công thức (6) để rút các trị đo ảo đó ra, khi đó ma trận nghịch đảo Q được xác định một cách chặt chẽ.

$$Q_i = Q_{i-1} - \frac{Q_{i-1} a_i^T a_i Q_{i-1}}{-\frac{1}{p_i} + a_i Q_{i-1} a_i^T} \qquad (6)$$

Phương pháp bình sai truy hồi có ưu điểm hơn các phương pháp xử lý số liệu thông thường ở những điểm sau [1, 3]:

- Trong thiết kế lưới để phù hợp với yêu cầu độ chính xác, nhiều khi phải thay đổi trị đo như tăng số trị đo hoặc giảm bớt số trị đo, khi đó công thức truy hồi cho phép không cần phải lập lại hệ phương trình chuẩn, không cần tính ma trận nghịch đảo từ đầu nên rất thuận tiện cho việc thiết kế lưới.

- Phương pháp bình sai truy hồi cho phép xử lý kết nội các mạng lưới trắc địa một cách rất đơn giản và thuận tiện.

3. Ứng dụng bình sai truy hồi trong xử lý kết nối lưới GPS và lưới trắc địa mặt đất

Mô hình tổng quát của bài toán xử lý số liệu mạng lưới trắc địa kết hợp với các trị đo GPS và trị đo mặt đất được thể hiện qua hệ phương trình số hiệu chỉnh sau:

$$\begin{cases} \delta X + L_1 = V_1 \text{ với ma trận trọng số } P_1 \\ A\delta X + L_2 = V_2 \text{ với ma trận trọng số } P_2 \end{cases} \qquad (7)$$

Trong đó: phương trình thứ nhất trong công thức (7) ứng với trị đo cạnh GPS (baseline) - được quy chiếu trong hệ tọa độ vuông góc không gian WGS-84 (hệ tọa độ địa tâm), còn phương trình thứ hai ứng với trị đo mặt đất (góc, cạnh) - được quy chiếu trong hệ tọa độ phẳng công trình (hệ tọa độ địa diện). Đối với mạng lưới kết hợp, nếu coi vector tọa độ bình sai của riêng lưới GPS (X1) là các trị đo phụ thuộc (với ma trận tương quan K_G) và lấy giá trị này làm tọa độ gần đúng cho các tính toán tiếp theo, sẽ viết được hệ phương trình số hiệu chỉnh của lưới kết hợp GPS-mặt đất như sau [2]:

$$\begin{cases} \delta x1 = V_1 \text{ với ma trận trọng số } P_1 \\ A_1\delta x1 + A_2.\,\delta x2 + L = V_2 \\ \text{với ma trận trọng số } P_2 \end{cases} \qquad (8)$$

Trong công thức (8): biểu thức đầu là hệ phương trình số hiệu chỉnh (với trị đo là tọa độ X,Y,H) của lưới GPS, biểu thức sau là hệ phương trình số hiệu chỉnh đối với tập hợp trị đo mặt đất.

Ứng dụng phương pháp bình sai truy hồi để giải hệ phương trình (8) là thích hợp hơn cả, bởi vì có thể bắt đầu quá trình tính toán ngay từ ma trận Q_G của lưới GPS mà không cần để ý đến vector trị đo GPS, ngoài ra thuật toán cũng như quy trình tính trong phương pháp bình sai truy hồi là tương đối đơn giản và dễ lập trình trên máy tính.

Khác với trường hợp bình sai lưới thông thường, khi ma trận Q_0 được chọn theo công thức: $Q_0 = 10^m.E$, còn đối với lưới kết hợp GPS-mặt đất, ma trận Q_0 có hạt nhân Q_G là ma trận trọng số đảo của vector tọa độ lưới GPS, vì vậy có thể viết ma trận Q_0 dưới dạng khối như sau:

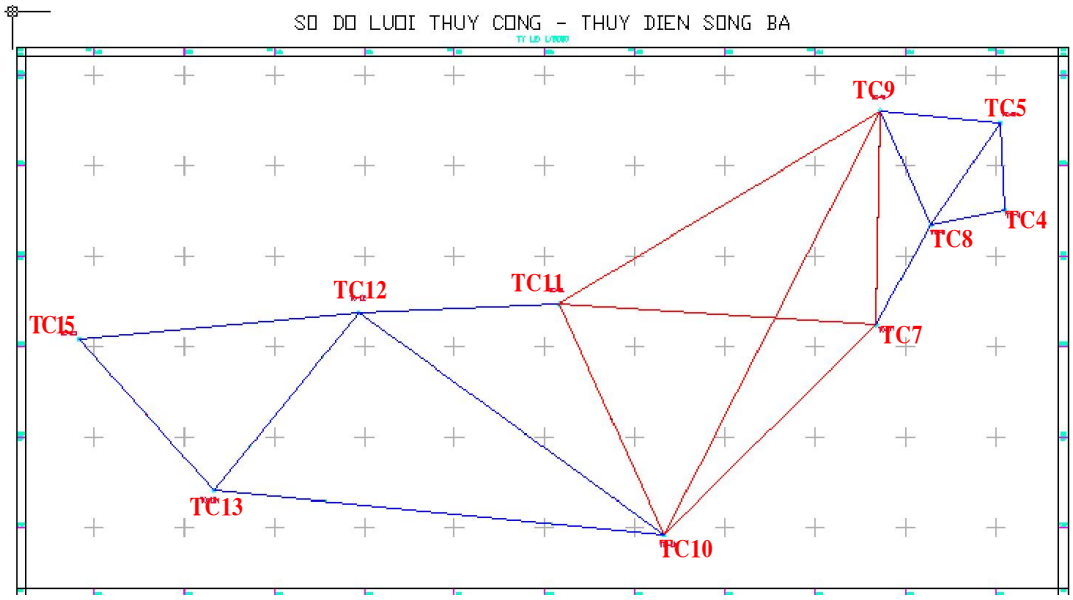
$$Q_0 = \begin{bmatrix} Q_G & 0 \\ 0 & Q_2 \end{bmatrix}; \quad Q_2 = 10^m.E \qquad (9)$$

Như vậy, nếu khi xử lý lưới kết hợp theo phương pháp truy hồi và bắt đầu với ma trận Q_0 thì chỉ cần thực hiện quá trình tính toán với các trị đo mặt đất mà không cần để ý đến các trị đo GPS.

4. Ví dụ tính toán ứng dụng

Để làm rõ tính đúng đắn và kiểm chứng quy trình tính toán nêu trên, trong bài báo nêu các bước thực hiện tính toán với một lưới kết hợp GPS - Mặt đất có sơ đồ như ở hình 1.

Lưới khống chế thi công tại dự án Sông Ba Hạ được thành lập nhằm bảo đảm bố trí các hạng mục công trình của nhà máy thủy điện. Mạng lưới bao gồm 2 khối cách xa nhau: 1 khối tại khu tuyến đập (gồm 5 điểm: TC 10, TC11, TC12, TC13, TC15), khối thứ 2 tại khu vực nhà máy (gồm 5 điểm: TC4, TC5, TC7, TC8, TC9). Trong nội bộ các khối, lưới được đo bằng công nghệ mặt đất. Để liên kết 2 cụm lưới trên trong một hệ tọa độ thống nhất đã thực hiện đo nối giữa 4 điểm TC7, TC9, TC10, TC11 bằng công nghệ GPS, kết quả tạo thành một mạng lưới kết hợp GPS - Mặt đất.



Hình 1: Sơ đồ mạng lưới thực nghiệm

Số liệu tọa độ lưới GPS và ma trận hiệp phương sai các cạnh đo (xác định từ phần mềm GPSurvey 2.35) đưa ra trong các bảng 1, 2. Số liệu đo lưới mặt đất (góc và cạnh) đưa ra trong bảng 3. Kết quả bình sai lưới hỗn hợp GPS - Mặt đất theo phương pháp truy hồi được đưa ra trong bảng 4.

Bảng 1: *Kết quả tọa độ bình sai của các điểm lưới GPS*

Số TT	Tên điểm	Tọa độ phẳng			Tọa độ không gian		
		X(m)	Y(m)	H(m)	X(m)	Y(m)	Z(m)
1	TC7	1444338,261	597620,345	148,579	-2012958,4678	5879365,7199	431701,7036
2	TC9	1444358,696	598808,663	82,871	-2014060,7049	5878916,6971	431702,6289
3	TC10	1443159,976	596459,897	135,148	-2011938,3594	5879981,3111	430554,9314
4	TC11	1442580,026	597735,426	114,691	-2013179,3556	5879674,8930	429981,0072

Bảng 2: *Ma trận hiệp phương sai vector gia số tọa độ cạnh đo GPS*

Số TT	Tên cạnh		Ma trận hiệp phương sai					
	Đầu	Cuối	Kxy	Kxy	Kyy	Kxz	Kyz	Kzz
1	TC9	TC7	2,508602	-3,411927	6,492701	-0,886255	1,689003	0,913929
2	TC10	TC7	5,866998	-3,079028	5,411471	-1,815866	1,559838	1,144626
3	TC10	TC9	1,224723	-1,121430	6,342645	-0,732789	1,435736	1,301882
4	TC11	TC7	8,887417	-4,773125	8,965527	-2,841472	2,549714	1,871302
5	TC11	TC9	1,374540	-1,266569	7,217953	-0,828349	1,656420	1,485042
6	TC11	TC10	0,606444	-0,523146	3,214409	-0,343873	0,693753	0,635997

Bảng 3: *Bảng kê các trị đo của lưới mặt đất*

Trị đo góc					Trị đo cạnh			
Số TT	Tên góc			Giá trị góc ° ‘ “	Số TT	Tên cạnh		Giá trị cạnh (m)
	Trái	Giữa	Phải			Đầu	Cuối	
1	TC8	TC7	TC9	27 55 10,3	1	TC7	TC9	1188,4963
2	TC7	TC9	TC8	25 01 29,6	2	TC7	TC8	629,9626
3	TC8	TC9	TC5	59 53 09,2	3	TC9	TC8	697,3142
4	TC5	TC4	TC8	98 52 28,1	4	TC9	TC5	671,5139
5	TC9	TC5	TC8	61 55 51,8	5	TC4	TC5	483,9437
6	TC8	TC5	TC4	36 44 30,6	6	TC4	TC8	413,8833
7	TC4	TC8	TC5	44 23 00,4	7	TC5	TC8	683,6009
8	TC5	TC8	TC9	58 10 59,4	8	TC10	TC11	1401,1882
9	TC9	TC8	TC7	127 03 20,6	9	TC10	TC12	2090,7525
10	TC11	TC10	TC12	29 34 54,6	10	TC10	TC13	2506,1622
11	TC12	TC10	TC13	30 21 04,8	11	TC12	TC15	1553,0417
12	TC15	TC12	TC13	45 20 29,0	12	TC12	TC13	1268,4135
13	TC13	TC12	TC10	93 15 04,4				
14	TC10	TC12	TC11	38 24 59,9				
15	TC10	TC13	TC12	56 23 51,6				
16	TC12	TC13	TC15	80 54 24,0				
17	TC13	TC15	TC12	53 45 05,9				
18	TC11	TC10	TC12	29 34 54,6				
19	TC12	TC10	TC13	30 21 04,8				
20	TC12	TC11	TC10	112 00 04,5				

Bảng 4**:** *Kết quả tọa độ bình sai*

Số TT	**Tên điểm**	**Tọa độ bình sai**					
		X(m)	**mX**	**Y(m)**	**mY**	**H(m)**	**MH**
1	TC7	1444338,260	0,005	597620,350	0,005	148,578	0,024
2	TC9	1444358,694	0,004	598808,668	0,005	82,867	0,023
3	TC10	1443159,974	0,005	596459,900	0,005	135,145	0,019
4	TC4	1445048,378	0,005	598254,152	0,005	-----	---
5	TC5	1445026,442	0,004	598737,600	0,005	-----	---
6	TC8	1444642,755	0,005	598171,829	0,004	-----	---
7	TC12	1441467,841	0,009	597687,864	0,008	-----	---
8	TC13	1440665,841	0,008	596705,188	0,012	-----	---
9	TC15	1439921,787	0,011	597540,646	0,017	-----	---

5. Kết luận

1.Trong bài báo đã khảo sát phương pháp bình sai truy hồi, xây dựng thuật toán và quy trình xử lý số liệu lưới trắc địa theo phương pháp này. Quy trình và hệ thông công thức tính toán được nêu ra trong bài báo là rõ ràng, dễ triển khai trên máy tính.

2. Thuật toán bình sai truy hồi để kết nối lưới mặt đất và lưới GPS được đề xuất trong bài báo là chặt chẽ, phù hợp và có thể áp dụng được với các mạng lưới khống chế trắc địa công trình.

Tài liệu tham khảo

[1]. Hoàng Ngọc Hà (2006), *Bình sai tímh toán lưới ttrắc địa*, Nxbkhoa học và kỹ thuật.

[2]. Trần Khánh. *Phương pháp xác định ma trận tương quan của vector tọa độ lưới GPS trong trắc địa công trình.*Tạp chí "Khoa học kỹ thuật Mỏ-Địa chất", Tr 74-78, Số 6, 4-2004.

[3]. Markyze.Iu.I. *Thuật toán và chương trình bình sai lưới trắc địa*. Nxb " Nhedra", Moskva-1988 (tiếng Nga)

[4]. C.P.Rao. *Phương pháp thống kê và các ứng dụng*. NXB "Khoa học", Moskva-1968 (tiếng Nga)

Abstract

RESEARCHING METHODS OF RECCURENCE ADJUSTMENT IN THE DATA PROCESSING OF SURVEYING NETWORKS

Tran Khanh

University of Mining and Geology

The article content survey research methods and retraces average error processing applications to connect the ground and measure the value of GPS in geodetic control network works mixture. proposed data processing algorithms for mesh above the average error method retraces. Calculation procedure given in the paper is closely calculated and convenient for computer programming.