

TRƯỜNG ĐẠI HỌC MỎ - ĐỊA CHẤT
KHOA TRẮC ĐỊA - BẢN ĐỒ VÀ QUẢN LÝ ĐẤT ĐAI

HỘI NGHỊ KHOA HỌC TOÀN QUỐC

Công nghệ Địa không gian
trong Khoa học Trái đất và Môi trường

National conference on Geospatial technology
in Earth science and Environment

NCGEE 2021



NXB TÀI NGUYÊN - MÔI TRƯỜNG VÀ BẢN ĐỒ VIỆT NAM

BÌNH SAI HỖN HỢP LƯỚI MẶT ĐẤT VÀ GNSS PHỤC VỤ PHÁT TRIỂN HỆ THỐNG TỌA ĐỘ Ở VIỆT NAM

Hoàng Ngọc Hà

Trường Đại học Mỏ - Địa chất

Tác giả liên hệ: hoanghakhcn@gmail.com

Tóm tắt: Trong báo cáo trình bày quá trình xây dựng các mạng lưới trắc địa ở Việt Nam. Bắt đầu từ những năm 90 của thế kỷ 20 công nghệ GPS đã được đưa vào Việt Nam. Từ đó bài toán xử lý số liệu trắc địa không chỉ với các trị đo mặt đất truyền thống, mà phải tính toán kết hợp với kết quả xử lý GPS/ GNSS. Các kết quả này đã góp phần xây dựng hệ tọa độ Quốc gia VN 2000 và xây dựng luận cứ khoa học tính toán bình sai hệ độ cao ở Việt Nam. Trong báo cáo tập trung nghiên cứu ứng dụng phương pháp chia khối Helmert để bình sai hỗn hợp lưới GNSS đo baseline và có dữ liệu CORS và lưới mặt đất. Thực hiện ví dụ tính toán với lưới trắc địa thực nghiệm để minh họa. Định hướng các vấn đề cần nghiên cứu trong tương lai để phát triển các hệ thống tọa độ phục vụ phát triển bền vững ở Việt Nam.

Từ khóa: GNSS, Hệ tọa độ, Bình sai, CORS.

1. Đặt vấn đề

1.1. Hình thành và phát triển Hệ thống tọa độ

1.1.1. Xây dựng và phát triển lưới mặt bằng ở nước ta

Từ năm 1959 mạng lưới thiên văn-trắc địa ở miền Bắc được xây dựng là một mạng lưới tam giác dày đặc gồm 339 điểm hạng I và 696 điểm hạng II với 13 cạnh đáy, 13 phương vị Laplace và 13 điểm thiên văn. Cạnh lưới tam giác hạng I dài trung bình 25 km (dài nhất là 42 km, ngắn nhất là 9 km). Lưới tam giác hạng II phát triển dưới dạng chêm dây vào lưới tam giác hạng I. Chiều dài cạnh trung bình là 14 km, khoảng cách giữa các đường đáy khoảng 130 km. Mạng lưới hạng I được chia làm 3 khu (khu Đông, khu Tây I và khu Tây II) có độ gồ ghề phù thành 2 hàng điểm để tính toán bình sai chia nhóm Pranhic-Pranheovich. Các cạnh đáy, góc phương vị được tính toán trước trên mặt phẳng chiếu Gauss để sử dụng làm số liệu khởi tính và coi không có sai số. Hệ thống tọa độ được tính chuyển từ điểm núi Ngũ Lĩnh (Trung Quốc). Lưới hạng II được bình sai theo phương pháp gián tiếp.

Từ 1977-1983 đã triển khai đo đạc lưới tam giác hạng I khu vực Bình-Trị-Thiên từ vĩ độ $16^{\circ}10'$ đến vĩ độ $17^{\circ}10'$ nối tiếp với lưới thiên văn-trắc địa miền Bắc. Mạng lưới gồm 25 điểm, trong đó có 3 điểm đo trùng với lưới thiên văn-trắc địa miền Bắc và 22 điểm mới được bố trí như khoá tam giác kép giữa hai cạnh mở rộng có xác định góc phương vị Laplace, Chiều dài cạnh trung bình từ 20 đến 25 km các góc đo bằng máy kinh vĩ Wild-T3. Sau bình sai, sai số trung phương trọng số đơn vị đạt: $\mu = \pm 0,50''$.

Năm 1983 đã triển khai xây dựng mạng lưới tam giác hạng II dày đặc ở khu vực miền

địa biển bằng công nghệ GPS để đo nối tọa độ các điểm trên đảo với hệ tọa độ trên đất liền. Mạng lưới gồm 36 điểm, trong đó 9 điểm thuộc các mạng lưới tam giác, đường chuyền dọc theo bờ biển, 9 điểm trên các đảo lớn như Bạch Long Vỹ, Cô Tô, Hòn Ngự, Côn Cò, Phú Quý, Côn Đảo, Hòn Khoai, Thổ Chu, Phú Quốc và 18 điểm trên quần đảo Trường Sa.

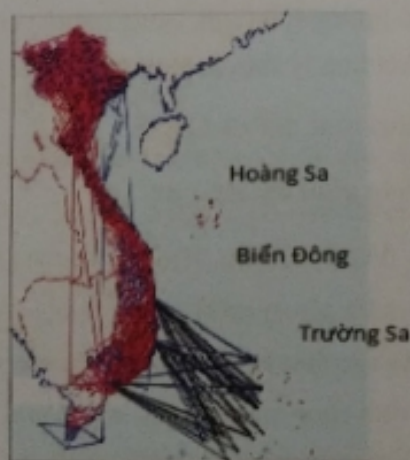
Năm 1993, đã tiến hành đo lưới GPS cạnh dài nhằm nối một số điểm trong các lưới tam giác, đường chuyền từ Bắc đến Nam để tăng cường tọa độ cho lưới tọa độ Nhà nước. Mạng lưới gồm 10 điểm trùng với các điểm trên mặt đất đã xây dựng. Toàn bộ lưới GPS cạnh dài trên đất liền và trên biển tạo thành một mạng lưới cạnh dài chung phủ trùm toàn bộ lãnh thổ cả nước. Lưới có cạnh dài nhất là 1200 km, ngắn nhất là 160 km.

Mạng lưới GPS cấp "0" được xây dựng nhằm kiểm tra chất lượng của các lưới hạng I và hạng II đã xây dựng, kết nối thống nhất và tăng cường độ chính xác cho các lưới này, xác định hệ quy chiếu quốc gia, xây dựng lưới điểm tọa độ Nhà nước, nghiên cứu biến động vỏ trái đất, chuyển dịch lục địa và để đo nối với lưới tọa độ khu vực và quốc tế.

Lưới thiết kế gồm 69 điểm, trong đó 68 điểm trùng với các điểm hạng I và hạng II đã đo, một điểm mới ở Hà Nội. Chiều dài cạnh trung bình là 70 km. Ngoài ra còn đo nối nhiều điểm quan trọng với nhau như: Hà Nội-Quảng Bình, Hà Nội-Đà Nẵng, Hà Nội-Nha Trang, Hà Nội-TP Hồ Chí Minh..., sơ đồ tổng thể lưới mặt bằng và lưới GPS/GNSS ở nước ta được thể hiện ở hình 1.

Các trạm CORS được xây dựng tới nay là 65 trạm, trong đó có 24 trạm Geodetic CORS phân bố đều trên toàn lãnh thổ Việt Nam với khoảng cách giữa các trạm từ 150 km đến 200 km và 41 trạm NRTK CORS tại các khu vực trọng điểm với mật độ từ 50 km đến 80 km/trạm. Trong đó Miền Bắc 14 trạm; Miền Trung 7 trạm; Tây Nguyên và Nam Bộ 20 trạm và 01 Trạm xử lý và điều khiển trung tâm tại Hà Nội. Giai đoạn tiếp theo sẽ từng bước chêm dày các trạm NRTK CORS tại các khu vực còn lại, tiến tới phủ trùm trên toàn lãnh thổ.

1.2. Ứng dụng và phát triển lý thuyết xử lý số liệu



Hình 1. Sơ đồ tổng thể lưới mặt bằng và lưới GPS ở Việt Nam

Bắt đầu từ những năm 60 của thế kỷ XX công tác bình sai tính toán lưới trắc địa trên phạm vi miền Bắc đã được triển khai. Lưới tam giác hạng I và II phủ trùm miền Bắc đã được tính toán, bình sai bằng phương pháp chia khu (3 khu). Năm 1972 lưới trắc địa miền Bắc được bình sai, trong đó có 68 điểm thiên văn và được công bố sử dụng Hệ tọa độ Hà Nội -72 (HN-72). Năm 2000 Hệ tọa độ VN-2000 được công bố trên cơ sở định vị Ellipsoid WGS-84 phù hợp với lãnh thổ Việt Nam và bình sai tổng thể lưới hạng I, II và GPS ...

Nhìn chung công tác xử lý số liệu trắc địa trong những năm qua ở nước ta phát triển nhanh chóng. Trong các trường đại học và viện nghiên cứu đã công bố nhiều bài báo, giáo trình, sách chuyên khảo về phát triển lý thuyết bình sai, dựa trên nguyên tắc số bình phương nhỏ nhất, cả loại tự do và không tự do, ứng dụng các phương pháp địa thống kê, ví dụ [2, 4, 5, 8]...

Từ khi công nghệ vệ tinh được ứng dụng rộng rãi trong trắc địa, bài toán bình sai hỗn hợp lưới mặt đất và vệ tinh được sự quan tâm đặc biệt trong các công trình nghiên cứu ở Việt Nam. Và đây trở thành bài toán tổng quát trong lý thuyết bình sai trắc địa vì phải xử lý hỗn hợp các loại trị đo có bản chất khác nhau và trong các hệ quy chiếu và hệ tọa độ khác nhau [1, 2, 5, 6]...

Trên thế giới, các mô hình bình sai hỗn hợp lưới mặt đất và GPS/GNSS được đề cập trong một số công trình, ví dụ như [3, 9, 11].... Đáng chú ý là kinh nghiệm trong việc bình sai lại mạng lưới Quốc gia của Hoa Kỳ để thành lập hệ tọa độ NAD 83, trong đó sử dụng cả số liệu đo mặt đất và GPS [11].

Việc phát triển các trạm CORS ở Việt Nam trong những năm gần đây đặt ra bài toán mới cho công tác tính toán bình sai, đó là trong dữ liệu đầu vào cần đưa thêm thông tin từ các trạm CORS như tọa độ B, L, H trong hệ tọa độ động với độ chính xác cao nhằm kiểm tra kết quả tính toán bình sai, tăng độ chính xác bình sai lưới và có thể xác định được tọa độ các điểm lưới vào các thời điểm khác nhau. Trong bài báo này, chúng tôi tập trung nghiên cứu phương pháp bình sai với một mô hình mới của lưới trắc địa hiện đại, đó là lưới bao gồm trị đo mặt đất như đo góc, đo cạnh cả có các trị đo GNSS baseline và có số liệu B, L, H của các điểm trạm CORS. Để xử lý cả trường hợp lưới có số lượng điểm lớn, trong nghiên cứu đề xuất ứng dụng phương pháp bình sai chia khối Helmert kết hợp lý thuyết bình sai với sai số số liệu góc.

2. Lý thuyết bình sai hỗn hợp lưới mặt đất và GNSS

2.1. Bình sai trong hệ tọa độ không gian đo ΔX , ΔY , ΔZ

Nếu ký hiệu $\Delta rS = (... \Delta X_{ijS} \Delta Y_{ijS} \Delta Z_{ijS} ...)T$ - vector của giá số tọa độ các điểm GPS.

$$\Delta rS + C\Omega + V = \Delta r(.0) + A \delta r \quad (1)$$

δr - vector các số hiệu chỉnh tọa độ các điểm trùng; $\Delta r(.0)$ - vector của baseline tính theo tọa độ gần đúng, Ω - vector các tham số tính chuyển. $\Omega T = (ex \ ey \ ez \ m)$.

Ở đây ex , ey , ez là các góc xoay Euler, m là hệ số tỷ lệ.

Ma trận C được xác định từ các ma trận khối sau:

$$C_i = \begin{bmatrix} 0 & -\Delta Z_s & Y_s & \Delta X_s \\ \Delta Z_s & 0 & -\Delta X_s & \Delta Y_s \\ -\Delta Y_s & \Delta X_s & 0 & \Delta Z_s \end{bmatrix} \quad (2)$$

Ma trận A được xác định từ các khối:

$$A^T = (A_1^T \ A_2^T \dots A_n^T)$$

$$A_i = (\dots -E \dots E \dots) \quad ; (i=1,2,\dots,n).$$

với E3x3 - ma trận đơn vị.

Hệ phương trình các số hiệu chỉnh có dạng:

$$V = A \delta r - C \Omega + LS \quad (3)$$

$$LS = (\Delta r(0) - \Delta r)$$

Với ma trận trọng số là Q Δr có được từ các trị đo baseline.

Thành lập hệ phương trình các số hiệu chỉnh với các điểm trùng:

$$V = \delta r + L; \text{ với } P_t = Q_t - I \quad (4)$$

Giải hệ (3) và (4) với điều kiện:

$$V^T, Q^{-1} \Delta r^S \ V + V^T P_t V = \min \quad (5)$$

Chúng ta thành lập được hệ phương trình:

$$\begin{pmatrix} A^T P \Delta r^S A & -A^T P \Delta r^S C \\ C^T P \Delta r^S C \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \delta r \\ \delta \Omega \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} A^T P \Delta r^S L \\ -C^T P \Delta r^S L \end{pmatrix} = 0 \quad (6)$$

Ma trận P $\Delta r^S = Q^{-1} \Delta r^S$.

Cuối cùng chúng ta có hệ phương trình chuẩn như sau:

$$\begin{pmatrix} A^T P \Delta r^S A + R_t & -A^T P \Delta r^S C \\ C^T P \Delta r^S C \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \delta r \\ \delta \Omega \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} A^T P \Delta r^S L \\ -C^T P \Delta r^S L \end{pmatrix} = 0 \quad (7)$$

2.2. Bình sai trong hệ tọa độ phẳng

2.2.1. Tính chuyển baseline thành gia số tọa độ $\Delta x, \Delta y$

Nếu ký hiệu $\Delta r^S = (\dots \Delta x_{ij}^S \ \Delta y_{ij}^S \dots)^T$ - vector của gia số tọa độ phẳng của các điểm GPS.

$$\Delta r^S + \Delta B \ U + V = \Delta r(12.0) + A \ \delta r \quad (8)$$

δr - vector các số hiệu chỉnh tọa độ x, y các điểm trùng;

$\Delta r(12.0)$ - vector của gia số tọa độ tính theo tọa độ gần đúng.

$$U = (\alpha \ m)^T \quad (9)$$

Ma trận C được xác định từ các ma trận khối sau:

$$C_i = \begin{pmatrix} \Delta Y & \Delta X \\ -\Delta X & \Delta Y \end{pmatrix} \quad (10)$$

Ma trận A được xác định từ các khối:

$$A_i = (...-E \dots E...) \quad (11)$$

$E_{2 \times 2}$ - ma trận đơn vị.

$$V = A \delta r - C U + LS \quad (12)$$

$$LS = (\Delta r(0) - \Delta r) \quad (13)$$

với ma trận trọng số là $Q\Delta r$ có được từ các trị đo baseline.

Thành lập hệ phương trình các số hiệu chỉnh với các điểm trùng:

$$V = \delta r + l; \text{ với } P_t = Q_t \quad (14)$$

Giải hệ (12) và (13) với điều kiện:

$$V.T. Q^{-1} \Delta r V + V.T. P_t V = \min \quad (15)$$

Chúng ta thành lập được hệ phương trình:

$$\begin{pmatrix} A^T P \Delta r A & -A^T P \Delta r C \\ C^T P \Delta r C \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \delta r \\ \delta U \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} A^T P \Delta r L \\ -C^T P \Delta r L \end{pmatrix} = 0 \quad (16)$$

Ma trận $P \Delta r = Q^{-1} \Delta r$.

Cuối cùng chúng ta có hệ phương trình chuẩn như sau:

$$\begin{pmatrix} A^T P \Delta r A + R_t & -A^T P \Delta r C \\ C^T P \Delta r C \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \delta r \\ \delta U \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} A^T P \Delta r L \\ -C^T P \Delta r L \end{pmatrix} = 0 \quad (17)$$

Trong trường hợp hệ tọa độ phẳng mặt đất và GPS song song và cùng tỷ lệ (ví dụ hệ VN-2000 với lưới chiếu UTM) chúng ta có hệ phương trình chuẩn như sau:

$$(A^T P \Delta r A + R_t) \delta r + A^T P \Delta r L = 0 \quad (18)$$

Trong trường hợp này dễ dàng nhận thấy để tính toán bình sai, ngoài phương trình các số hiệu chỉnh lưới mặt bằng (đối với các trị đo góc và đo cạnh) chúng ta có thêm các trị đo là các số giả tọa độ $\Delta x, \Delta y$ với ma trận trọng số $P \Delta r$ được tính từ ma trận trọng số đảo của các trị đo GPS $\Delta X, \Delta Y, \Delta Z$. Trong nhiều trường hợp chỉ cần xét các thành phần đường chéo của ma trận $P \Delta r$.

2.2.3. Phương pháp bình sai chia khối Helmert kết hợp công thức truy hồi để xử lý hỗn hợp với số liệu trạm CORS

Mạng lưới được chia thành k khối có các vùng chung mà số hiệu điểm được đánh số cuối cùng. Chúng ta có hệ phương trình chuẩn:

(11)

$$\left. \begin{aligned} R_1 x_1 + \dots + R_{1,k+1} x_{k+1} + b_1 &= 0 \\ R_2 x_2 + \dots + R_{2,k+1} x_{k+1} + b_2 &= 0 \\ \dots &\dots \\ R_k x_k + R_{k,k+1} x_{k+1} + b_k &= 0 \\ R_{1,k+1} x_1 + R_{2,k+1} x_2 + \dots + R_{k,k+1} x_k + b_{k+1} &= 0 \end{aligned} \right\} \quad (19)$$

(12)

(13)

eline.

điểm trùng:

Ở đây vector x_i ($i = 1, 2 \dots k$) vector của các ẩn số của các khối i , x_{k+1} ẩn số của các điểm chung. Từ k phương trình đầu chúng ta có:

$$x_i = -R_i^{-1} R_{i,k+1} x_{k+1} - R_i^{-1} b_i \quad (20)$$

(14)

Thay thế biểu thức (20) vào phương trình cuối cùng của hệ (19) chúng ta có:

$$R_0 x_{k+1} + b_0 = 0 \quad (21)$$

(15)

Ở đây ma trận R_0 có dạng như sau:

$$R_0 = R_{k+1} - \sum_{i=1}^k R_{i,k+1}^T R_i^{-1} R_{k+1} \quad (22)$$

Vec tơ b_0 :

$$b_0 = b_{k+1} - \sum_{i=1}^k R_{i,k+1}^T R_i^{-1} b_{k+1} \quad (23)$$

(16)

Kết quả giải hệ phương trình (21) chúng ta được vector ẩn số x_{k+1} đối với các điểm ẩn số chung cũng như ma trận trọng số đảo.

$$Q_0 = R_0^{-1} \quad (24)$$

Các khối của ma trận trọng số đảo của các vector ẩn số x_i sẽ là:

$$Q_i = R_i^{-1} + R_i^{-1} R_{i,k+1} Q_0 R_{i,k+1}^T R_i^{-1} \quad (25)$$

(17)

$$Q_{i,k+1} = -R_i^{-1} R_{i,k+1} Q_0 \quad (26)$$

ng tỷ lệ (ví dụ hệ VN-

$$Q_{ij} = -R_{i,j-1} R_{i,j-1} Q_0 R_{i,j-1} R_j^{-1} \quad (27)$$

(18)

Vector ẩn số x_i sau bình sai được tính theo công thức (20).

Đánh giá độ chính xác của ẩn số và hàm số sai số trung phương trọng số đơn vị μ được tính theo công thức:

$$\mu = \sqrt{\frac{\Phi}{n-k}} \quad (28)$$

ng số đảo của các

đường chéo của

ở đây: $\Phi = V^T P V$

n - số trị đo; k - số ẩn số.

Φ sẽ tính theo công thức

Chúng ta có công thức tính ma trận:

$$Q_i = R_i^{-1} + \bar{R}_{i,k+1} Q_0 \bar{R}_{i,k+1}^T \quad (30)$$

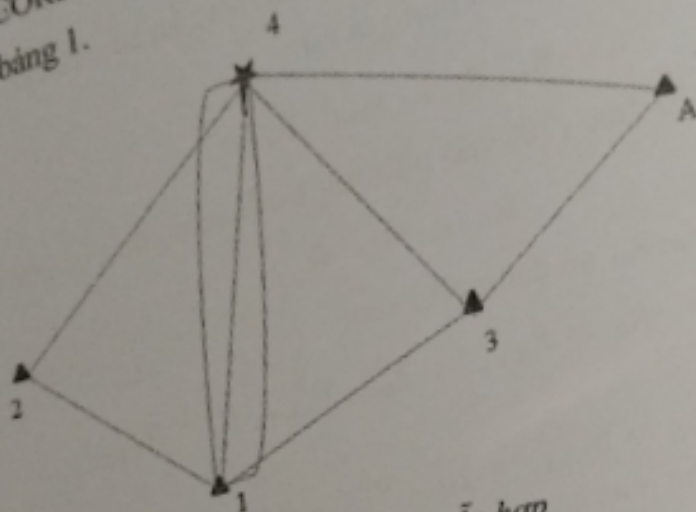
tính số cuối

Để tính trọng số đảo của hàm số chúng ta áp dụng công thức:

$$1/p_f = f Q_i f^T = f R_i^{-1} f + f R_i^{-1} R_{i,k+1} Q_0 R_{i,k+1}^T R_i^{-1} f^T \quad (31)$$

qua nghiên cứu và thảo luận

Để tính toán thực nghiệm minh họa lý thuyết, chúng ta sẽ xem xét một ví dụ bình sai lưới
spline GNSS kết hợp đo góc mặt đất và sử dụng dữ liệu trạm CORS ở mô hình 2D. Sơ đồ
thực nghiệm được trình bày ở hình 1. Trên hình vẽ điểm 4 là điểm có tọa độ x, y được tính
L, H từ điểm trạm CORS. Các số liệu tọa độ điểm góc A và giá trị gần đúng của các điểm
xác định được cho ở bảng 1.



Hình 2. Sơ đồ lưới hỗn hợp

Bảng 1. Tọa độ điểm gốc

Tên điểm	X(m)	Y(m)
A	2346338,229	584158,755

Bảng 2. Tọa độ gần đúng của các điểm 1, 2, 3, 4.

TT	Tên điểm	X(m)	Y(m)
1	1	2346656,797	583129,927
2	2	2347435,086	582126,314
3	3	2346874,288	582427,047
4	4	2347247,324	582868,946

Bảng 3. Số liệu đo góc mặt đất

TT	Góc đo	Giá trị (° - ')
1	2 3 4	78 2 3,00
2	4 3 1	57 21 47,00
3	4 1 A	131 2 54,00
4	A 4 1	30 58 45,00
5	1 4 3	73 40 23,00
6	3 4 2	54 21 34,00
7	1 A 4	17 58 25,00

Bảng 4. Số liệu đo Baseline lưới GNSS chuyển về DX, DY

TT	Baseline	DX(m)	DY(m)
1	A - 4	909,108	-1289,791
2	A - 1	318,572	-1028,84
3	3 - 2	560,79	-300,745
4	4 - 3	-373,038	-441,892
5	1 - 4	590,521	-260,991
6	4 - 2	187,76	-742,625
7	1 - 3	217,49	-702,886

Trong ví dụ cụ thể này, chúng ta chia lưới thành 2 khối và 1 khối chung. Khối 1 bao gồm điểm gốc A và điểm 1. Khối 2 bao gồm điểm 2. Khối 3 là khối chung bao gồm điểm 3 và 4.

Trong phương pháp bình sai khối điều khiển [1, 5] sử dụng để bình sai tổng thể lưới tọa độ Quốc gia Việt Nam (VN-2000), khối điều khiển bao gồm khối chung và các điểm GPS cạnh dài nối giữa các khối. Đã áp dụng phép khử các góc định hướng đối với các trị đo hướng trong các khối. Riêng đối với khối điều khiển vẫn thành lập hệ phương trình các số hiệu chỉnh theo trị đo hướng. Trong phương pháp khối điều khiển đã áp dụng kỹ thuật ma trận thưa để giải hệ phương trình và tính ma trận nghịch đảo trong từng khối. Chúng ta có các ma trận khối như sau:

$$R_{11} = \begin{pmatrix} 2278097 & -33064 \\ -33064 & 1762436 \end{pmatrix}$$

$$R_{12} = \begin{pmatrix} -455554,715 & -28500,144 & -1412255,6 & 1778,808536 \\ 19889,67945 & -337559,40 & 27770,1234 & -1051916,11 \end{pmatrix}$$

$$R_{22} = \begin{pmatrix} 737959,6913 & 70142,56444 \\ 70142,56444 & 332155,1717 \end{pmatrix}$$

$$R_{23} = \begin{pmatrix} -254325,136 & 371,381707 & -483634,55 & -70513,944 \\ -47416,927 & -103784,73 & -22725,636 & -228370,437 \end{pmatrix}$$

$$R_{33} = \begin{pmatrix} 1129936,289 & -6976,99113 & -420056,439 & 34504,23487 \\ -6976,99113 & 664917,7448 & 35105,75433 & -223573,604 \\ -420056,439 & 35105,75433 & 2787060,631 & -61879,4 \\ 34504,23487 & -223573,604 & -61879,4 & 1989035,495 \end{pmatrix}$$

Ma trận:

HỘI NGHỊ KHOA HỌC QUỐC GIA VỀ CÔNG NGHỆ ĐỊA KHÔNG GIAN TRONG KHOA HỌC TRÁI ĐẤT VÀ MÔI TRƯỜNG



$$O = \begin{pmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{pmatrix};$$

$$E = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{pmatrix}.$$

Ma trận $Q_0 = Q_{xy}$ là ma trận trọng số đảo của của điểm gốc trong lý thuyết bình sai với sai số số liệu gốc. Ma trận Q_{xy} được xác định như sau:

Từ tọa độ trắc địa B, L, H và ma trận hiệp phương sai của điểm trạm CORS (trong ví dụ đang xem xét là điểm 4), chúng ta tính tọa độ phẳng x, y và ma trận trọng số đảo Q_{xy} . Do ma

$= Q_{xy}^{-1}$ sẽ là ma trận có thành phần đường chéo lớn. Để thuận lợi cho việc tính toán chúng ta áp dụng công thức truy hồi [8] để tính ma trận đảo như sau:

$$(R_0 + B^T Q_{xy} B)^{-1} = Q_0 - Q_0 B (Q_{xy} + B Q_0 B^T)^{-1} B^T Q_0.$$

Tính toán theo công thức (33), chúng ta có ma trận khối Q_{33} như sau:

Ma trận trọng số đảo sau bình sai sẽ là:

13,03403891	1,749350566	10,59873288	1,966601269	11,43189236	1,950037487	10,17862223	1,8429447
1,749350566	14,06455035	1,639185156	10,75084519	1,683484592	12,20620382	1,715893422	10,072515
10,59873288	1,639185156	26,96554507	-0,99883034	14,78020461	1,281173171	12,2672712	1,9577235
1,966601269	10,75084519	-0,99883034	44,68858137	2,624220909	16,68916015	1,753176883	12,598515
11,43189236	1,683484592	14,78020461	2,624220909	21,11474955	2,001009102	11,55226429	1,9134118
1,950037487	12,20620382	1,281173171	16,68916015	2,001009102	27,71967522	1,669415035	11,488161
10,17862223	1,715893422	12,2672712	1,753176883	11,55226429	1,669415035	12,62114101	1,9044868
1,8429447	10,072515	1,9577235	12,598515	1,913411821	11,48816065	1,904486838	13,117622

được

TT
1
2
3
4

Nh
với phụ
ứng dự
Mô hình
và kết q

4. Kết l

xây dựng
quỹ bầu
quan trọng
thực tiễn
toán bình
CORS. L
công thức
ta đã phát
đo góc, đo
GNSS CO

Tr
công tác x
thể gần hệ
thời gian t

Vecto các ẩn số hiệu chỉnh tọa độ 4 điểm sẽ là:

$$dx = \begin{bmatrix} 0,011221 \\ 0,007953 \\ 0,004025 \\ 0,0047 \\ 0,009043 \\ 0,005373 \\ 0,007037 \\ 0,003289 \end{bmatrix}$$

Kết quả tính toán tọa độ và sai số trung phương của các điểm tương ứng sau bình sai được thể hiện ở bảng 5.

Bảng 5. Tọa độ và sai số trung phương vị trí điểm sau bình sai

TT	Điểm	X(m)	Y(m)	MX(m)	My(m)	Mp(m)
1	1	2346656,808	583129,935	0,006	0,006	0,008
2	2	2347435,090	582126,319	0,008	0,010	0,012
3	3	2346874,299	582427,055	0,007	0,008	0,010
4	4	2347247,331	582868,949	0,005	0,005	0,007

Như vậy chúng ta thấy mô hình tính toán bình sai trong ví dụ trên là mô hình tổng hợp đối với phương pháp xây dựng lưới trắc địa hiện đại. Kết quả bình sai cho thấy sự ưu việt của việc ứng dụng lý thuyết bình sai chia khối đối với các mạng lưới trắc địa, đặc biệt là mạng lưới lớn. Mô hình này còn cho phép sử dụng số liệu tọa độ của các trạm CORS ở các thời kỳ khác nhau và kết quả bình sai phù hợp với tọa độ động.

4. Kết luận và kiến nghị

Việc xây dựng và phát triển hệ thống tọa độ thống nhất ở nước ta gắn liền với lịch sử xây dựng các mạng lưới trắc địa mặt đất và vệ tinh. Cả hệ thống dữ liệu đo đạc là khối tài sản quý báu để sử dụng lâu dài. Ứng dụng các phương pháp hiện đại để xử lý số liệu là công việc quan trọng và đòi hỏi phải có các nghiên cứu liên tục để giải quyết kịp thời các yêu cầu của thực tiễn đặt ra. Kết quả nghiên cứu mới trong báo cáo là đã xây dựng cơ sở lý thuyết cho thuật toán bình sai hỗn hợp lưới trắc địa mặt đất và GNSS và kết hợp với số liệu thu được từ các trạm CORS. Lý thuyết này được xây dựng trên cơ sở phát triển phương pháp chia khối Helmert, công thức truy hồi và phương pháp bình sai với sai số số liệu gốc. Như vậy có thể nói, chúng ta đã phát triển lý thuyết bình sai trắc địa từ các phương pháp bình sai kinh điển đối với các trị đo góc, đo cạnh và thêm trị đo GNSS và bước tiếp theo là kết hợp các số liệu động của hệ thống GNSS CORS.

Trong báo cáo đã đề cập về một định hướng mới đối với công tác trắc địa nói chung và công tác xử lý số liệu nói riêng đó là với sự phát triển nhanh chóng của các công nghệ mới có thể gắn hệ tọa độ đã được xây dựng theo các phương pháp kinh điển với hệ tọa độ động theo thời gian thực của các trạm CORS. Như vậy, chúng ta có thể xác định tọa độ bình sai của cả

một nhóm điểm trong thời điểm nhất định. Trong tương lai gần chúng ta cần hiện đại hóa hệ tọa độ độ cao ở nước ta gắn với việc chính xác hóa mô hình Geoid cục bộ cũng như trên toàn lãnh thổ trên cơ sở phát triển lưới thủy chuẩn, ứng dụng công nghệ GNSS, hiện đại hóa mạng lưới trọng lực và phát triển các phương pháp xử lý số liệu, trong đó có lý thuyết xử lý hỗn hợp lưới trắc địa mặt đất và GNSS. Ngoài ra chúng ta cần xây dựng các hệ tọa độ phục vụ yêu cầu đặc biệt của công tác an ninh-quốc phòng với độ chính xác đáp ứng yêu cầu đặt ra.

Tài liệu tham khảo

1. Báo cáo khoa học "Xây dựng hệ quy chiếu và hệ tọa độ quốc gia", Tổng cục Địa chính, 2000.
2. Đặng Nam Chính, Bài giảng cao học: Địa thống kê, Đại học Mỏ địa chất Hà Nội, 2012.
3. Ghilani C.D., Wolf P.R., Adjustment Computations (2017), John Wiley & Sons, in, 661 Edition
4. Hoàng Ngọc Hà, Trương Quang Hiếu (2000), Cơ sở toán học xử lý số liệu trắc địa, NXB Giao thông vận tải, 2000.
5. Hoàng Ngọc Hà, Bình sai tính toán lưới Trắc địa và GPS/GNSS, Nhà xuất bản khoa học kỹ thuật, 2020.
6. Hoang N.H. (2020) Modernization of Height System in Vietnam Using GNSS and Geoid Model. In: Tien Bui D., Tran H.T., Bui XN. (eds) Proceedings of the International Conference on Innovations for Sustainable and Responsible Mining. Lecture Notes in Civil Engineering vol 108. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-60269-7_8, 10- 2020.
7. Kotsakis, C., Katsambalos, K., Ampatzidis, D. (2012): Estimation of the zeroheight geopotential level in a local vertical datum from inversion of colocated GPS, levelling and geoid heights: a case study in the Hellenic islands. Journal of Geodesy, vol. 86, no. 6, pp. 423-439.
8. Markuze. Y.I (1990) Cơ sở bình sai tính toán bình sai. Nhà xuất bản Nhedra Moscow.
9. Markuze Y.I Hoàng Ngọc Hà (1991). Bình sai các mạng lưới không gian mặt đất và vệ tinh. NXB "Nhedra" Matxcova. Sách chuyên khảo (tiếng Nga).
10. Markuze Y.I, Gölubev V.V. (2010). Lý thuyết xử lý toán học lưới trắc địa. Alma Mater. (Tiếng Nga).
11. Rockville, MD, Dale G. Pursell, Mike Potterfield (2008). NAD83 (NSR2007) National Readjustment Final Report

ABSTRACT

COMBINED ADJUSTMENT OF TERRESTRIAL AND GNSS NETWORK FOR THE DEVELOPMENT OF GEODETIC DATUM IN VIETNAM

Hoàng Ngọc Hà

Hanoi University of Mining and Geology

Corresponding author: hoanghakhcn@gmail.com

The report presents the process of building geodetic networks in Vietnam. Starting in the 90s of the 20th centuries, GPS technology was introduced to Vietnam. Since then, the problem of processing geodetic data is not only with traditional ground measurements, but must be calculated in combination with the results of GPS/GNSS processing. These results have contributed to building the national coordinate system VN-2000 and building a scientific foundation to calculate the height difference system in Vietnam. In the report focus on applying the Helmert block method to correct the mixed network with terrestrial measurements and GNSS Baseline and CORS data. Mention issues that need future research to develop coordinate systems for sustainable development in Vietnam.

Keywords: GNSS, Adjustment computations, Geodetic Datum, CORS.