VAI TRÒ CỦA VIỆC XÁC ĐỊNH CÁC ĐIỂM ỔN ĐỊNH ĐỂ ĐÁNH GIÁ SỰ CHUYỂN DỊCH CỦA VỎ TRÁI ĐẤT GIỮA HAI CHU KỲ ĐO LẶP

PGS. TSKH. HÀ MINH HÒA
Viện Khoa học Đo đạc và Bản đồ

Tóm tắt:

Bài báo khoa học này sẽ chứng minh rằng việc xác định các điểm ổn định của mạng lưới trắc địa địa động lực sẽ là cơ sở để để làm giảm ảnh hưởng của các sai số ngẫu nhiên trong kết quả đo lặp mạng lưới đến việc xác định các vectơ chuyển dịch của các điểm không ổn định giữa hai chu kỳ đo lặp.

1. Đặt vấn đề

Trong bài báo khoa học [1] đã chứng minh được rằng sau khi bình sai mạng lưới trắc địa tự do với các trị đo là các hiệu của các trị đo cùng tên được xác định từ hai chu kỳ đo lặp, các vectơ chuyển dịch không gian (và ngang) giữa hai chu kỳ đo lặp được xác định trong hệ toạ độ trung tâm (với gốc là trọng tâm của mạng lưới trắc địa vệ tinh (và mặt bằng)) hoặc vectơ chuyển dịch đứng giữa hai chu kỳ đo lặp được xác định trong hệ độ cao trung tâm với mặt khởi tính là mặt độ cao trung bình của mạng lưới độ cao. Việc bình sai mạng lưới trắc địa tự do được thực hiện nhờ việc giải hệ phương trình số cải chính của các hiệu trị đo cùng tên giữa hai chu kỳ đo lặp j và j + 1

$$V_{j,j+1} = A_{n\times k} \cdot (\delta t)_{j,j+1} + (L)_{j,j+1}, \tag{1}$$

với ma trận trọng số $(P)_{j,j+1}$, dưới điều kiện

$$\overline{B}^T \cdot (\delta t)_{j,j+1} = 0, \tag{2}$$

trong đó $(\delta t)_{j,j+1}$ - vectơ của các thành phần nghiệm (vectơ chuyển dịch) của các điểm giữa hai chu kỳ đo lặp j và j+1, vectơ số hạng tự do $(L)_{j,j+1} = Y_{j+1} - Y_j$ dưới đây theo phương pháp bình phương nhỏ nhất:

Gọi $(\delta t_i)_{j,j+1}$ là vectơ con của các thành phần nghiệm giải được tương ứng với điểm i của mạng lưới (điểm i thuộc mạng lưới GPS - tự do có 3 thành phần, thuộc mạng lưới mặt bằng (x,y) - tự do có hai thành phần, thuộc mạng lưới độ cao tự do có 1 thành phần).

Nếu tất cả các thành phần của vectơ con $(\delta t_i)_{j,j+1}$ đều nhỏ hơn 2 lần sai số trung phương của chúng, thì điểm i được gọi là điểm ổn định (không bị xê dịch) giữa hai chu kỳ đo lặp j và j+1.

Nếu một trong các thành phần của vectơ con $(\delta t_i)_{j,j+1}$ lớn hơn 2 lần sai số trung phương của nó, thì điểm i được gọi là điểm không ổn định (bị xê dịch) giữa hai chu kỳ đo lặp j và j+1.

Vậy xuất hiện câu hỏi: Điểm ổn định được xác định nhằm mục đích gì?. Câu trả lời như

Người phản biện: GS. TSKH. Phạm Hoàng Lân sau: Các thành phần nghiệm tương ứng với điểm ổn định là các sai số ngẫu nhiên được gây ra do các sai số đo đạc trong mạng lưới giữa hai chu kỳ đo lặp. Các thành phần nghiệm tương ứng với điểm không ổn định là các thành phần của vectơ chuyển dịch của điểm này giữa hai chu kỳ đo lặp. Xét về bản chất, sự chuyển dịch của vỏ Trái đất được diễn ra theo quy luật, nên các giá trị tin cậy của các thành phần của vectơ chuyển dịch của điểm không ổn định phải mang tính hệ thống. Do các thành phần của vectơ chuyển dịch của điểm không ổn định được xác định từ kết quả giải hệ (1) dưới điều kiện (2) vừa chứa các sai số ngẫu nhiên (gây ra do các sai số đo đạc trong mạng lưới giữa hai chu kỳ đo lặp), vừa chứa các đại lượng chuyển dịch mang tính hệ thống, nên chúng ta phải sử dụng các thành phần nghiệm tương ứng với các điểm ổn định để mô hình hóa sự ảnh hưởng của các sai số ngẫu nhiên gây ra do các sai số đo đạc trong mạng lưới giữa hai chu kỳ đo lặp. Từ đây chúng ta hoàn toàn có thể loại bỏ sự ảnh hưởng của các sai số ngẫu nhiên gây ra do các sai số đo đạc trong mạng lưới giữa hai chu kỳ đo lặp trong các thành phần của vectơ chuyển dịch của các điểm không ổn định được xác định từ kết quả giải hệ (1) dưới điều kiện (2). Khi đó chúng ta sẽ xác định được các giá trị tin cậy của các thành phần của vectơ chuyển dịch của điểm không ổn định. Bài báo khoa học này sẽ chứng minh luận điểm nêu trên.

2. Giải quyết vấn đề

Gọi s là tổng số thành phần nghiệm dt_1 tương ứng với p điểm ổn định (đối với mạng lưới trắc địa mặt bằng tự do s = 2.p; đối với mạng lưới độ cao tự do s = p; đối với mạng lưới trắc địa vệ tinh tự do s = 3.p).

Không mất tính chất chung, chúng ta giả thiết rằng các thành phần nghiệm dt_1 tương ứng với p điểm ổn định được sắp xếp đầu tiên trong vectơ $(\delta t)_{j,j+1}$. Khi coi các thành phần chuyển dịch của các điểm ổn định là các sai số ngẫu nhiên và tuân thủ quy luật của các sai số ngẫu nhiên nêu trên, chúng ta có điều kiện:

$$C_1^T.dt_1 = 0,$$

ở đây đối với mạng lưới trắc địa mặt bằng (x,y) – tự do với N điểm, ma trận C_1^T có dạng:

$$C_1^T = \begin{bmatrix} 1\,0\,1\,0.....1\,0 \\ 0\,1\,0\,1.....0\,1 \end{bmatrix}_{2xs},$$

tức điều kiện nêu trên đảm bảo tổng các thành phần nghiệm dt_1 theo mỗi trục tọa độ x và y đều bằng 0,

đối với mạng lưới thuỷ chuẩn tự do với N mốc, ma trận $\overline{C}_1^T$ có dạng: $C_1^T = \begin{bmatrix} 1\,1\,1.....1\,1 \end{bmatrix}_{xs}$,

tức điều kiện nêu trên đảm bảo tổng các thành phần nghiệm dt_1 theo p mốc thuỷ chuẩn ổn định đều bằng 0;

đối với mạng lưới trắc địa vệ tinh (X, Y, Z) - tự do với N điểm, ma trận C_1^T có dạng:

$$C_1^T = \begin{bmatrix} 1\,0\,0\,1\,0\,0.....1\,0\,0 \\ 0\,1\,0\,0\,1\,0.....0\,1\,0 \\ 0\,0\,10\,0\,1......0\,0\,1 \end{bmatrix}_{3xs},$$

tức điều kiện nêu trên đảm bảo tổng các thành phần nghiệm dt_1 theo mỗi trục tọa độ X, Y, Z đều bằng 0.

Khi trực giao hóa các thành phần của ma trận C_1^T theo phương pháp Gramma - Smidt, điều kiện nêu trên có dạng:

$$\overline{C}_1^T.dt_1 = 0, \tag{3}$$

đối với mạng lưới mặt bằng (x,y) - tự do:

$$\overline{C}_1^T = \begin{bmatrix} \frac{1}{\sqrt{N}} & 0 & \frac{1}{\sqrt{N}} & 0\cdots & \frac{1}{\sqrt{N}} & 0 \\ 0 & \frac{1}{\sqrt{N}} & 0 & \frac{1}{\sqrt{N}}\cdots & 0 & \frac{1}{\sqrt{N}} \end{bmatrix}, \tag{4}$$

đối với mạng lưới GPS (X,Y,Z) - tự do:

$$\overline{C}_1^T = \begin{bmatrix} \frac{1}{\sqrt{N}} & 0 & 0 & \frac{1}{\sqrt{N}} & 0 & 0\cdots & \frac{1}{\sqrt{N}} & 0 & 0 \\ 0 & \frac{1}{\sqrt{N}} & 0 & 0 & \frac{1}{\sqrt{N}} & 0\cdots & 0 & \frac{1}{\sqrt{N}} & 0 \\ 0 & 0 & \frac{1}{\sqrt{N}} & 0 & 0 & \frac{1}{\sqrt{N}}\cdots 0 & & 0 & \frac{1}{\sqrt{N}} \end{bmatrix}, \tag{5}$$

đối với mạng lưới độ cao tự do:

$$\overline{C}_1^T = \begin{bmatrix} \frac{1}{\sqrt{N}} & \frac{1}{\sqrt{N}} & \cdots\frac{1}{\sqrt{N}} \end{bmatrix} \tag{6}$$

Chúng ta nhận xét rằng sau khi chuẩn vuông góc ma trận C_1^T đối với các mạng lưới tự do nêu trên, nó trùng với dạng ma trận con $\overline{B}_1^T$ tương ứng với p điểm ổn định từ các ma trận $\overline{B}_1^T$ tương ứng với các mạng lưới này và đã được xem xét trong bài báo khoa học [1]. Cũng cần thiết phải nhấn mạnh rằng trong thực tế ma trận $\overline{C}_1^T$ trong (3) đối với các dạng lưới trắc địa địa động lực khác nhau chỉ có thể thành lập được khi đã xác định được các điểm ổn định trong mạng lưới giữa hai chu kỳ đo lặp. Đó chính là ý nghĩa của việc giải hệ phương trình (1) dưới điều kiện (2).

Khi bình sai mạng lưới trắc địa tự do theo phương pháp bình sai truy hồi, điều kiện (3) được thay thế bởi hệ phương trình số cải chính

$$V_C = \overline{C}_1^T.dt_1 + 0.0, \tag{7}$$

với ma trận trọng số $P_0 = \infty.E_1$, ở đây E_1 – ma trận đơn vị bậc 1 x 1 đối với mạng lưới thuỷ chuẩn tự do, bậc 2 x 2 đối với mạng lưới trắc địa mặt bằng (x,y) - tự do và bậc 3 x 3 đối với mạng lưới trắc địa vệ tinh (X,Y,Z) - tự do; ∞ - số vô hạn.

Chúng ta sẽ chứng minh rằng việc giải hệ phương trình (1) dưới điều kiện (3) (hoặc sử dụng hệ phương trình số cải chính (7)), các thành phần của các vectơ chuyển dịch của các điểm không ổn định được xác định sẽ có ảnh hưởng của các sai số ngẫu nhiên bị làm giảm đi. Để làm điều này giả thiết rằng chúng ta đã biết s thành phần nghiệm tương ứng với p điểm ổn định của mạng lưới địa động lực. Đầu tiên chúng ta xem xét các tính chất của các nghiệm dt_1^+ tương ứng với p điểm ổn định và các nghiệm dt_2^+ tương ứng với N - p điểm không ổn định khi bình sai mạng lưới địa động lực tự do dựa trên việc giải hệ phương trình (1) dưới điều kiện (2) theo phương pháp bình phương nhỏ nhất. Tiếp theo để làm giảm ảnh hưởng của các sai số ngẫu nhiên đến các nghiệm dt_2 là các vectơ chuyển dịch của các điểm không ổn định chúng ta sẽ nghiên cứu các tính chất của các nghiệm dt_1 và dt_2 nhận được khi giải các hệ (1) và (7) theo phương pháp bình phương nhỏ nhất. Việc phân tích các quan hệ giữa các nghiệm dt_1^+ và dt_1, dt_2^+ và dt_2 sẽ cho phép khẳng định được kết luận rằng khi giải các hệ (1) và (7) theo phương pháp bình phương nhỏ nhất, các thành phần của các vectơ chuyển dịch của các điểm không ổn định sẽ có ảnh hưởng của các sai số ngẫu nhiên bị làm giảm đi.

2.1. Nghiên cứu tính chất của các nghiệm cận chuẩn tương ứng với các điểm ổn định và các điểm không ổn định khi bình sai mạng lưới trắc địa địa động lực tự do

Đầu tiên, chúng ta sẽ xem xét trường hợp giải hệ phương trình cải chính (1) cùng với hệ phương trình số cải chính (2) để xác định p điểm cố định và N - p điểm không ổn định đối với các mạng lưới mặt bằng (x,y) - tự do, thủy chuẩn tự do và vệ tinh (X,Y,Z) - tự do. Khi lưu ý các vectơ nghiệm con dt_1^+ và dt_2^+ tương ứng với p điểm ổn định và N - p điểm không ổn định, chúng ta biểu diễn điều kiện (2) dưới dạng phương trình số cải chính:

$$V_C = \overline{B}_1^T.dt_1^+ + \overline{B}_2^T.dt_2^+ + 0.0, \tag{8}$$

với trọng số $P_0 = \infty.E$,

ở đây các ma trận con $\overline{B}_1$ bậc s x k, $\overline{B}_2$ bậc t x k có các dạng như đã nêu trong tài liệu [1], thêm vào đó số lượng nghiệm $s \geq d$; d - lượng hụt trong mạng lưới; E – ma trận đơn vị bậc k x k.

Tương ứng với dạng (8) chúng ta biểu diễn hệ phương trình (1) dưới dạng sau

$$V = \left[A_1 \mid A_2\right]\begin{bmatrix} dt_1^+ \\ dt_2^+ \end{bmatrix} + L, \tag{9}$$

với ma trận trọng số P.

Giải hệ phương trình số cải chính (9) cùng với hệ phương trình số cải chính (8) theo phương pháp bình phương nhỏ nhất, chúng ta nhận được hệ phương trình chuẩn

$$\begin{bmatrix} \hat{R}_{11} & \hat{R}_{12} \\ \hat{R}_{21} & \hat{R}_{22} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} dt_1^+ \\ dt_2^+ \end{bmatrix} = -\begin{bmatrix} b_1 \\ b_2 \end{bmatrix}, \tag{10}$$

ở đây các ma trận con

$$\begin{aligned} \hat{R}_{11} &= A_1^T.P.A_1 + \overline{B}_1.P_0.\overline{B}_1^T = R_{11} + \overline{B}_1.P_0.\overline{B}_1^T, \\ \hat{R}_{12} &= A_1^T.P.A_2 + \overline{B}_1.P_0.\overline{B}_2^T = R_{12} + \overline{B}_1.P_0.\overline{B}_2^T, \\ \hat{R}_{21} &= \hat{R}_{12}^T, \\ \hat{R}_{22} &= A_2^T.P.A_2 + \overline{B}_2.P_0.\overline{B}_2^T = R_{22} + \overline{B}_2.P_0.\overline{B}_2^T, \end{aligned} \tag{11}$$

các vectơ số hạng tự do $b_1 = A_1^T.P.L;\ b_2 = A_2^T.P.L.$

Đối với ma trận chuẩn

$$\hat{R} = \begin{bmatrix} \hat{R}_{11} & \hat{R}_{12} \\ \hat{R}_{21} & \hat{R}_{22} \end{bmatrix},$$

dựa theo công thức nghịch đảo khối của Frobenhius, chúng ta nhận được ma trận nghịch đảo

$$\hat{Q} = \hat{R}^{-1} = \begin{bmatrix} \hat{Q}_{11} & \hat{Q}_{12} \\ \hat{Q}_{21} & \hat{Q}_{22} \end{bmatrix}, \tag{12}$$

ở đây

$$\begin{aligned} &\hat{Q}_{11} = \hat{R}_{11}^{-1} - \hat{Q}_{12}.\hat{R}_{21}.\hat{R}_{11}^{-1}, \\ &\hat{Q}_{12} = -\hat{R}_{11}^{-1}.\hat{R}_{12}.\hat{Q}_{22}, \\ &\hat{Q}_{21} = \hat{Q}_{12}^{T}, \\ &\hat{Q}_{22} = \left(\hat{R}_{22} - \hat{R}_{21}.\hat{R}_{11}^{-1}.\hat{R}_{12}\right)^{-1}. \end{aligned} \tag{13}$$

Lưu ý (12), từ hệ (10) chúng ta có

$$\begin{bmatrix} dt_1^+ \\ dt_2^+ \end{bmatrix} = -\begin{bmatrix} \hat{Q}_{11} & \hat{Q}_{12} \\ \hat{Q}_{21} & \hat{Q}_{22} \end{bmatrix}.\begin{bmatrix} b_1 \\ b_2 \end{bmatrix}. \tag{14}$$

Dựa trên công thức nghịch đảo biểu thức các ma trận đã biết

$$(Y \pm UZV)^{-1} = Y^{-1} \mp Y^{-1}.U.(Z^{-1} \pm V.Y^{-1}.U)^{-1}.V.Y^{-1}, \tag{15}$$

chúng ta nhận được công thức tính nghịch đảo ma trận con $\hat{R}_{11}$ trong (11):

$$\hat{R}_{11}^{-1} = R_{11}^{-1} - R_{11}^{-1}.\overline{B}_1.(P_0^{-1} + \overline{B}_1^T.R_{11}^{-1}.\overline{B}_1)^{-1}.\overline{B}_1^T.R_{11}^{-1}.$$

Do $P_0^{-1} = 0$, nên suy ra

$$\hat{R}_{11}^{-1} = R_{11}^{-1} - R_{11}^{-1}.\overline{B}_1.(\overline{B}_1^T.R_{11}^{-1}.\overline{B}_1)^{-1}.\overline{B}_1^T.R_{11}^{-1}. \tag{16}$$

Lưu ý công thức tính ma trận con $\hat{R}_{21}$ trong (11), từ (16) chúng ta có quan hệ sau:

$$\hat{R}_{21}.\hat{R}_{11}^{-1} = R_{21}.\hat{R}_{11}^{-1}. \tag{17}$$

Từ quan hệ (17), lưu ý công thức tính ma trận con $\hat{R}_{12}$ trong (11) và công thức (16) suy ra:

$$\hat{R}_{21}.\hat{R}_{11}^{-1}.\hat{R}_{12} = R_{21}.\hat{R}_{11}^{-1}.R_{12}. \tag{18}$$

Tiếp theo, từ công thức tính công thức tính ma trận con $\hat{R}_{22}$ trong (11) và công thức (18), và đặt

$$Q_{22}^{-1} = \left(R_{22} - R_{21}.\hat{R}_{11}^{-1}.R_{12}\right) \tag{19}$$

dựa trên công thức tính $\hat{Q}_{22}$ trong (13), chúng ta có:

$$\boxed{\hat{Q}_{22} = \left(R_{22} + \overline{B}_2.P_0.\overline{B}_2^T - R_{21}.\hat{R}_{11}^{-1}.R_{12}\right)^{-1} = \left(Q_{22}^{-1} + \overline{B}_2.P_0.\overline{B}_2^T\right)^{-1}.}$$

Do $P_0^{-1} = 0$, trên cơ sở công thức (15) suy ra

$$\begin{aligned}\hat{Q}_{22} &= Q_{22} - Q_{22}.\overline{B}_2.\left(P_0^{-1} + \overline{B}_2^T.Q_{22}.\overline{B}_2\right)^{-1}.\overline{B}_2^T.Q_{22} = \\ &= Q_{22} - Q_{22}.\overline{B}_2.\left(\overline{B}_2^T.Q_{22}.\overline{B}_2\right)^{-1}.\overline{B}_2^T.Q_{22}.\end{aligned} \tag{20}$$

Từ các công thức (13), (17) và (20) chúng ta có:

$$\begin{aligned}\hat{Q}_{21} &= -\hat{Q}_{22}.\hat{R}_{21}.\hat{R}_{11}^{-1} = -\hat{Q}_{22}.R_{21}.\hat{R}_{11}^{-1} = -Q_{22}.R_{21}.\hat{R}_{11}^{-1} + \\ &+ Q_{22}.\overline{B}_2.\left(\overline{B}_2^T.Q_{22}.\overline{B}_2\right)^{-1}.\overline{B}_2^T.Q_{22}.R_{21}.\hat{R}_{11}^{-1}.\end{aligned} \tag{21}$$

Từ hệ (14) lưu ý các công thức (20), (21) và $P_0^{-1} = 0$, chúng ta suy ra:

$$\begin{aligned}dt_2^+ &= -\hat{Q}_{21}.b_1 - \hat{Q}_{22}.b_2 = \left(Q_{22}.R_{21}.\hat{R}_{11}^{-1}.b_1 - Q_{22}.b_2\right) + \\ &+ Q_{22}.\overline{B}_2.\left(\overline{B}_2^T.Q_{22}.\overline{B}_2\right)^{-1}.\overline{B}_2^T.Q_{22}.b_2 - \\ &- Q_{22}.\overline{B}_2.\left(\overline{B}_2^T.Q_{22}.\overline{B}_2\right)^{-1}.\overline{B}_2^T.Q_{22}.R_{21}.\hat{R}_{11}^{-1}.b_1.\end{aligned} \tag{22}$$

Đặt

$$dt_2 = \left(Q_{22}.R_{21}.\hat{R}_{11}^{-1}.b_1 - Q_{22}.b_2\right), \tag{23}$$

từ biểu thức trên chúng ta nhận được công thức:

$$dt_2 = dt_2^+ - Q_{22}.\overline{B}_2.\left(\overline{B}_2^T.Q_{22}.\overline{B}_2\right)^{-1}.\overline{B}_2^T.Q_{22}.\left(b_2 - R_{21}.\hat{R}_{11}^{-1}.b_1\right). \tag{24}$$

Lưu ý các công thức (17), (21) chúng ta biểu diễn công thức tính ma trận con trong công thức (13) dưới dạng sau:

$$\begin{aligned}\hat{\hat{Q}}_{11} &= \hat{R}_{11}^{-1} - \hat{Q}_{12}.\hat{R}_{21}.\hat{R}_{11}^{-1} = \hat{R}_{11}^{-1} - \hat{Q}_{12}.R_{21}.\hat{R}_{11}^{-1} = \hat{R}_{11}^{-1} + \\ &+ \hat{R}_{11}^{-1}.R_{12}.Q_{22}.R_{21}.\hat{R}_{11}^{-1} - \hat{R}_{11}^{-1}.R_{12}.Q_{22}.\overline{B}_2.(\overline{B}_2^T.Q_{22}.\overline{B}_2)^{-1}.\overline{B}_2^T.Q_{22}.R_{21}.\hat{R}_{11}^{-1}.\end{aligned} \tag{25}$$

Từ hệ (14) lưu ý các công thức (21), (V.25) chúng ta có:

$$\begin{aligned}dt_1^+ &= -\hat{\hat{Q}}_{11}.b_1 - \hat{Q}_{12}.b_2 = -\hat{R}_{11}^{-1}.b_1 - \hat{R}_{11}^{-1}.R_{12}.Q_{22}.R_{21}.\hat{R}_{11}^{-1}.b_1 + \\ &+ \hat{R}_{11}^{-1}.R_{12}.Q_{22}.\overline{B}_2.(\overline{B}_2^T.Q_{22}.\overline{B}_2)^{-1}.\overline{B}_2^T.Q_{22}.R_{21}.\hat{R}_{11}^{-1}.b_1 + \\ &+ \hat{R}_{11}^{-1}.R_{12}.Q_{22}.b_2 - \hat{R}_{11}^{-1}.R_{12}.Q_{22}.\overline{B}_2.(\overline{B}_2^T.Q_{22}.\overline{B}_2)^{-1}.\overline{B}_2^T.Q_{22}.b_2 = \\ &= \left(-\hat{R}_{11}^{-1}.b_1 - \hat{R}_{11}^{-1}.R_{12}.Q_{22}.R_{21}.\hat{R}_{11}^{-1}.b_1 + \hat{R}_{11}^{-1}.R_{12}.Q_{22}.b_2\right) - \\ &- \hat{R}_{11}^{-1}.R_{12}.Q_{22}.\overline{B}_2.\left(\overline{B}_2^T.Q_{22}.\overline{B}_2\right)^{-1}.\overline{B}_2^T.Q_{22}.\left(b_2 - R_{21}.\hat{R}_{11}^{-1}.b_1\right).\end{aligned}$$

Đặt

$$dt_1 = \left(-\hat{R}_{11}^{-1}.b_1 - \hat{R}_{11}^{-1}.R_{12}.Q_{22}.R_{21}.\hat{R}_{11}^{-1}.b_1 + \hat{R}_{11}^{-1}.R_{12}.Q_{22}.b_2\right), \tag{26}$$

từ biểu thức trên suy ra

$$dt_1^+ = dt_1 - \hat{R}_{11}^{-1}.R_{12}.Q_{22}.\overline{B}_2.(\overline{B}_2^T.Q_{22}.\overline{B}_2)^{-1}.\overline{B}_2^T.Q_{22}.(b_2 - R_{21}.\hat{R}_{11}^{-1}.b_1). \quad (27)$$

Đặt vectơ các sai số ngẫu nhiên trong các nghiệm tương ứng với p điểm ổn định (s thành phần nghiệm) $\Delta_1 = dt_1^+ - dt_1$. Từ công thức (27) suy ra

$$\Delta_1 = -\hat{R}_{11}^{-1}.R_{12}.Q_{22}.\overline{B}_2.(\overline{B}_2^T.Q_{22}.\overline{B}_2)^{-1}.\overline{B}_2^T.Q_{22}.(b_2 - R_{21}.\hat{R}_{11}^{-1}.b_1). \quad (28)$$

Khi chúng ta đặt thành phần sai số ngẫu nhiên

$$\Delta_2 = Q_{22}.\overline{B}_2.\left(\overline{B}_2^T.Q_{22}.\overline{B}_2\right)^{-1}.\overline{B}_2^T.Q_{22}.(b_2 - R_{21}.\hat{R}_{11}^{-1}.b_1), \quad (29)$$

thì từ quan hệ (28) suy ra

$$\Delta_1 = -\hat{R}_{11}^{-1}.R_{12}.\Delta_2. \quad (30)$$

Lưu ý công thức (29) chúng ta viết lại công thức (24) dưới dạng

$$dt_2 = dt_2^+ - \Delta_2. \quad (31)$$

Từ kết quả bình sai mạng lưới tự do với việc giải hệ phương trình (9) cùng với hệ phương trình (8) chúng ta xác định được vectơ nghiệm con dt_1^+ tương ứng với p điểm ổn định và vectơ nghiệm con dt_2^+ tương ứng với N - p điểm không ổn định. Vectơ nghiệm con dt_1^+ nhận được sẽ bao gồm thành phần nghiệm dt_1 (26) và vectơ sai số ngẫu nhiên Δ_1 Vectơ nghiệm con dt_2^+ nhận được sẽ bao gồm thành phần nghiệm dt_2 (24) và vectơ sai số ngẫu nhiên Δ_2 Đối với p điểm ổn định, các thành phần nghiệm con dt_1^+ được coi là các sai số ngẫu nhiên. Vectơ sai số ngẫu nhiên Δ_1 được xác định theo công thức (28) là các sai số ngẫu nhiên được mô hình hóa do các sai số trong các kết quả đo đạc mạng lưới, còn thành phần nghiệm dt_1 là các sai số ngẫu nhiên nhỏ còn lại không mô hình hóa được.

Vấn đề được đặt ra là làm thế nào xác định được thành phần nghiệm dt_1 để từ đó xác định được vectơ sai số ngẫu nhiên Δ_1 được mô hình hóa. Từ đây dựa trên quan hệ (30) chúng ta xác định hiệu chỉnh vectơ sai số ngẫu nhiên Δ_2 và tiếp theo từ quan hệ (31) xác định vectơ chuyển dịch dt_2 với các sai số ngẫu nhiên đã được làm giảm đối với N - p điểm không ổn định. Chúng ta sẽ giải quyết tiếp vấn đề này.

2.2. Làm giảm ảnh hưởng của các các sai số ngẫu nhiên đến các vectơ chuyển dịch của các điểm ổn định

Như đã nêu ở trên, việc giải hệ phương trình số cải chính (1) dưới điều kiện (2) nhằm xác định các điểm nào trong mạng lưới là ổn định, các điểm nào không ổn định giữa hai chu kỳ đo lặp. Khi biết các điểm ổn định chúng ta sẽ lập được ma trận C_1^T trong điều kiện (3). Chúng ta sẽ chứng minh rằng khi giải hệ phương trình số cải chính (9) (suy ra từ hệ (1)) dưới điều kiện (3) (hoặc hệ phương trình (7)) chúng ta sẽ nhận được các vectơ chuyển dịch của các điểm không ổn định đã được làm giảm ảnh hưởng của các sai số ngẫu nhiên được gây ra trong quá trình đo đạc mạng lưới trong hai chu kỳ. Thật vậy, khi giải hệ phương trình (9) cùng với hệ phương trình (7) theo phương pháp bình phương nhỏ nhất chúng ta nhận được hệ phương trình chuẩn:

$$\begin{bmatrix} \hat{R}_{11} & R_{12} \\ R_{21} & R_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} dt_1 \\ dt_2 \end{bmatrix} = -\begin{bmatrix} b_1 \\ b_2 \end{bmatrix}, \quad (32)$$

ở đây các ma trận con

$$\begin{aligned}&\hat{R}_{11}=A_1^T.P.A_1+\overline{C}_1.P_0.\overline{C}_1^T=R_{11}+\overline{C}_1.P_0.\overline{C}_1^T,\\&R_{12}=A_1^T.P.A_2;\ R_{21}=R_{12}^T,\ R_{22}=A_2^T.P.A_2,\end{aligned}\tag{33}$$

các vectơ số hạng tự do $b_1=A_1^T.P.L;\ b_2=A_2^T.P.L.$

Đối với ma trận chuẩn $R=\begin{bmatrix}\hat{R}_{11} & R_{12}\\ R_{21} & R_{22}\end{bmatrix},$

dựa theo công thức nghịch đảo khối của Frobenhius, chúng ta nhận được ma trận nghịch đảo

$$Q=R^{-1}=\begin{bmatrix}\hat{Q}_{11} & Q_{12}\\ Q_{21} & Q_{22}\end{bmatrix},\tag{34}$$

ở đây

$$\begin{aligned}&\hat{Q}_{11}=\hat{R}_{11}^{-1}-Q_{12}.R_{21}.\hat{R}_{11}^{-1},\\&Q_{12}=-\hat{R}_{11}^{-1}.R_{12}.Q_{22},\\&Q_{21}=Q_{12}^T,\\&Q_{22}=\left(R_{22}-R_{21}.\hat{R}_{11}^{-1}.R_{12}\right)^{-1}.\end{aligned}\tag{35}$$

Lưu ý (34), từ hệ (32) chúng ta có

$$\begin{bmatrix}dt_1\\ dt_2\end{bmatrix}=-\begin{bmatrix}\hat{Q}_{11} & Q_{12}\\ Q_{21} & Q_{22}\end{bmatrix}.\begin{bmatrix}b_1\\ b_2\end{bmatrix}.\tag{36}$$

Từ hệ (36) lưu ý các công thức trong (35) chúng ta thấy rằng khi thay ma trận con $\overline{C}_1^T$ trong công thức (33) bằng ma trận con $\overline{B}_1^T$, các vectơ nghiệm con dt_1 và dt_2 trong hệ (36) trùng với các nghiệm trong (26) và (23). Trong trường hợp này bằng việc giải hệ phương trình (9) cùng với hệ phương trình (7) theo phương pháp bình phương nhỏ nhất chúng ta nhận được ngay vectơ nghiệm con dt_2 trong công thức (31), thêm vào đó vectơ nghiệm con này là vectơ chuyển dịch của N - p điểm không ổn định với sự làm giảm ảnh hưởng của các sai số ngẫu nhiên. Chúng ta sẽ chứng minh tiếp kết luận trên.

Từ các công thức (20) và (21) chúng ta thấy rằng

$$\overline{B}_2^T.\hat{Q}_{22}=\overline{B}_2^T.\hat{Q}_{21}=0.$$

Khi đó từ công thức (23) suy ra

$$\overline{B}_2^T.dt_2^+=-\overline{B}_2^T.\hat{Q}_{21}.b_1-\overline{B}_2^T.\hat{Q}_{22}.b_2=0.\tag{37}$$

Từ hai phương trình thứ nhất của các hệ phương trình chuẩn (10) và (32) với điều kiện thay ma trận con $\overline{C}_1^T$ bằng ma trận con $\overline{B}_1^T$ trong công thức (33), lưu ý công thức (37) chúng ta có:

$$\begin{aligned}&\hat{R}_{11}.dt_1^+ + R_{12}.dt_2^+ + \overline{B}_1.P_0.\overline{B}_2^T.dt_2^+ = \hat{R}_{11}.dt_1^+ + R_{12}.dt_2^+ = -b_1,\\&\hat{R}_{11}.dt_1 + R_{12}.dt_2 = -b_1.\end{aligned} \tag{38}$$

Lấy hiệu hai phương trình trong (38) chúng ta có:

$$\hat{R}_{11}.\Delta_1 + R_{12}.(dt_2^+ - dt_2) = 0,$$

hay

$$\Delta_1 = -\hat{R}_{11}^{-1}.R_{12}.(dt_2^+ - dt_2). \tag{39}$$

Lưu ý (31), từ (39) chúng ta lại suy ra được công thức (30). Như vậy kết luận được nêu ở trên là hoàn toàn đúng đắn. Chúng ta có thể kết luận được rằng khi thay ma trận con $\overline{C}_1^T$ trong hệ (7) bằng ma trận con $\overline{B}_1^T$ trong công thức (8), việc giải hệ phương trình (9) sẽ làm giảm ảnh hưởng của các sai số ngẫu nhiên trong các kết quả đo đạc đến vectơ chuyển dịch của các điểm không ổn định. Khi so sánh các ma trận con $\overline{C}_1^T$ ở các dạng (4), (5), (6) với các ma trận con $\overline{B}_1^T$ đã nêu trong tài liệu [1] chúng ta thấy rằng kết luận trên chỉ đúng đối với các mạng lưới mặt bằng (x,y) - tự do, GPS (X,Y,Z) - tự do và độ cao tự do. Kết luận này không đúng đối với các mạng lưới mặt bằng (x,y, m,) - tự do, (x,y,) - tự do, (x,y,m) - tự do. Đây là một trong những ưu điểm cơ bản tiếp theo của việc sử dụng các mạng lưới mặt bằng (x,y) - tự do, GPS (X,Y,Z) - tự do và độ cao tự do trong nghiên cứu chuyển dịch của vỏ Trái đất.

Như vậy trong phương pháp bình sai mạng lưới trắc địa tự do để nghiên cứu xác định chuyển dịch của vỏ Trái đất chúng ta phải thực hiện hai bước:

Bước 1: Giải hệ phương trình (9) với điều kiện (2) để xác định p điểm ổn định và N - p điểm không ổn định;

Bước 2: Giải hệ phương trình (9) với điều kiện (3) để làm giảm ảnh hưởng của các sai số ngẫu nhiên trong các kết quả đo đạc đến vectơ chuyển dịch của các điểm không ổn định.

Các bước nêu trên đã được sử dụng trong phần mềm ECME - GPS (Earth Crustal Movement Estimation by GPS technology) được thành lập trong khuôn khổ các đề tài nghiên cứu khoa học [2, 3] để nghiên cứu chuyển dịch của vỏ Trái đất bằng công nghệ GPS trên các đứt gãy Lai Châu - Điện Biên và Sông Mã.

3. Kết luận

Bài báo khoa học này đã chứng minh được rằng việc xác định các điểm ổn định của mạng lưới trắc địa địa động lực là tiền đề để làm giảm ảnh hưởng của các sai số ngẫu nhiên trong kết quả đo lặp mạng lưới đến các vectơ chuyển dịch của các điểm không ổn định giữa hai chu kỳ đo lặp. Như vậy việc xác định các vectơ chuyển dịch của các điểm trong mạng lưới trắc địa địa động lực phải thực hiện theo hai bước: xác định các điểm ổn định và không ổn định và xác định các vectơ chuyển dịch của các điểm không ổn định giữa hai chu kỳ đo lặp. Với ý nghĩa đã được trình bày ở trên, khi thiết kế mạng lưới trắc địa địa động lực phải bố trí các điểm trắc địa trên phạm vi rộng lớn hơn so với khu vực nghiên cứu chuyển dịch của vỏ Trái đất dựa trên các thông tin đã có trên bản đồ địa chất kiến tạo và các kết quả nghiên cứu chuyển dịch đã được thực hiện từ trước sao cho luôn tồn tại một số điểm ổn định giữa hai chu kỳ đo lặp. Do hoạt động kiến tạo phức tạp của các đới đứt gãy, nên luôn tồn tại một số điểm trong mạng lưới trắc địa địa động lực giữa hai chu kỳ đo lặp này là ổn định, giữa hai chu kỳ đo lặp khác lại là không ổn định. Xu thế chuyển dịch chung của vỏ Trái đất ở khu vực nghiên cứu trong các chu kỳ đo lặp được xác định nhờ sự dịch chuyển thường xuyên của một số các điểm không ổn định.❍

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1]. Hà Minh Hòa. Quay trở lại vấn đề sử dụng phương pháp bình sai lưới trắc địa tự do trong nghiên cứu chuyển dịch của vỏ Trái đất. Tạp chí Khoa học Đo đạc và Bản đồ, số 6 - 12/2010, Viện Khoa học Đo đạc và Bản đồ, trg. 3 - 17.

[2]. Hà Minh Hoà, Phạm Hoàng Lân, Trần Đình Tô, Nguyễn Ngọc Lâu, Dương Chí Công, Vy Quốc Hải. Ứng dụng công nghệ GPS để nghiên cứu chuyển dịch vỏ Trái đất trên khu vực đứt gãy lai Châu - Điện Biên. Đề tài NCKH Bộ Tài nguyên và Môi trường trong giai đoạn 2002 – 2005. Hà Nội – 6/2005.

[3]. Hà Minh Hoà, Dương Chí Công, Nguyễn Ngọc Lâu, Nguyễn Văn Hùng. Xây dựng mạng lưới GPS địa động lực Sông Mã phục vụ công tác dự báo tai biến tự nhiên vùng Tây Bắc Việt Nam. Dự án Thử nghiệm cấp Bộ Tài nguyên và Môi trường. Hà Nội – 1/2009.❍

Summary

ROLE OF DETERMINATION OF STABLE POINTS FOR THE ESTIMATION OF THE EARTH CRUSTAL MOVEMENTS BETWEEN TWO REPEAT MEASURMENT CYCLES

Ass. Prof. Dr.Sc. Ha Minh Hoa

Vietnam Institute of Geodesy and Cartography

This scientific article will prove that the determination of stable points in geodynamic geodetic network will create the basic for reducing of influence of radom errors in repeat measurment results of the network to the estimation of the movement vectors of the unstable points between two repeat measurment cycles.❍