

CHÍNH XÁC HÓA CÁC THAM SỐ TÍNH CHUYỂN TỌA ĐỘ BẰNG PHÉP LỌC KALMAN DỰA TRÊN CÁC ĐIỂM SONG TRÙNG BỔ SUNG

PGS. TS. ĐẶNG NAM CHINH

Trường Đại học Mở - Địa chất

KS. NGUYỄN THÀNH LÊ

Học viện Kỹ thuật Quân sự

Tóm tắt:

Bài báo trình bày nguyên tắc sử dụng phép lọc Kalman để cập nhật tham số tính chuyển tọa độ 3D dựa trên các điểm song trùng bổ sung. Theo quy trình này, việc tính toán tham số được đơn giản hóa, được thực hiện ngay cả trong trường hợp không còn một số thông tin ban đầu.

1. Đặt vấn đề

Theo quy trình tính chuyển tọa độ giữa hai hệ quy chiếu dựa vào các điểm song trùng, trước hết chúng ta phải xác định các tham số tính chuyển tọa độ theo nguyên lý bình phương nhỏ nhất. Kết quả của bài toán trên sẽ là:

- Véc tơ tham số tính chuyển X .
- Ma trận hiệp trọng số đảo của các tham số, ký hiệu là Q_x

Trên thực tế có thể gặp trường hợp các tham số tính chuyển đã được xác định dựa vào một số điểm song trùng, sau đó lại có thêm một số điểm song trùng (bổ sung). Trong trường hợp này chúng ta phải xác định lại các tham số tính chuyển. Để giải quyết bài toán, có thể thực hiện theo 2 cách:

a. Xử lý lại toàn bộ các điểm song trùng, trong đó sử dụng các điểm song trùng cũ kết hợp với các điểm song trùng mới để tính lại các tham số tính chuyển tọa độ. Theo cách này, phương pháp tính toán được thực hiện theo các bước như chúng ta đã biết nhưng yêu cầu phải còn đầy đủ thông tin của các điểm song trùng cũ.

b. Sử dụng các tham số tính chuyển đã có và ma trận hiệp trọng số đảo của chúng để xử lý phối hợp với các điểm song trùng mới (bổ sung).

Với cách thứ hai, chúng ta áp dụng lời giải của phép lọc Kalman để cập nhật (đổi mới) các tham số tính chuyển và ma trận hiệp trọng số đảo tương ứng.

2. Thuật toán và quy trình tính

Thuật toán xử lý dựa trên cơ sở của xử lý 2 giai đoạn [1,3], trong đó giai đoạn 1 là xử lý xác định tham số cũ và giai đoạn 2 là xử lý các điểm song trùng mới bổ sung.

Trong trường hợp sử dụng mô hình tính chuyển tọa độ với 7 tham số theo công thức Bursa-Wolf, các phương trình tính chuyển ở giai đoạn 1 có dạng:

Người phản biện: TS. Dương Chí Công

$$\begin{bmatrix} X_i'' \\ Y_i'' \\ Z_i'' \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} V_x \\ V_y \\ V_z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} dX^{(1)} \\ dY^{(1)} \\ dZ^{(1)} \end{bmatrix} + (1 + d_m^{(1)}) \begin{bmatrix} 1 & e_z^{(1)} & -e_y^{(1)} \\ -e_z^{(1)} & 1 & e_x^{(1)} \\ e_y^{(1)} & -e_x^{(1)} & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_i' \\ Y_i' \\ Z_i' \end{bmatrix} \quad (1)$$

Từ (1) ta biến đổi về hệ phương trình số hiệu chỉnh:

$$\begin{bmatrix} V_x \\ V_y \\ V_z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} dX^{(1)} \\ dY^{(1)} \\ dZ^{(1)} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} d_m^{(1)} & e_z^{(1)} & -e_y^{(1)} \\ -e_z^{(1)} & d_m^{(1)} & e_x^{(1)} \\ e_y^{(1)} & -e_x^{(1)} & d_m^{(1)} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_i' \\ Y_i' \\ Z_i' \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} X_i' - X_i'' \\ Y_i' - Y_i'' \\ Z_i' - Z_i'' \end{bmatrix} \quad (2)$$

Cuối cùng ta có các phương trình số hiệu chỉnh dạng:

$$\begin{bmatrix} V_x \\ V_y \\ V_z \\ \vdots \\ \vdots \\ \vdots \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & -Z_i' & Y_i' & X_i' \\ 0 & 1 & 0 & Z_i' & 0 & -X_i' & Y_i' \\ 0 & 0 & 1 & -Y_i' & X_i' & 0 & Z_i' \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \end{bmatrix} \begin{bmatrix} dX^{(1)} \\ dY^{(1)} \\ dZ^{(1)} \\ e_x^{(1)} \\ e_y^{(1)} \\ e_z^{(1)} \\ d_m^{(1)} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} l_x \\ l_y \\ l_z \\ \vdots \\ \vdots \\ \vdots \end{bmatrix}_{(1)} \quad (3)$$

trong đó:

$$\begin{bmatrix} l_x \\ l_y \\ l_z \\ \vdots \\ \vdots \\ \vdots \end{bmatrix}_{(1)} = \begin{bmatrix} X_i' - X_i'' \\ Y_i' - Y_i'' \\ Z_i' - Z_i'' \\ \vdots \\ \vdots \\ \vdots \end{bmatrix} = L_{(1)} \quad (4)$$

Khi có n_1 điểm ta sẽ lập được $3n_1$ phương trình số hiệu chỉnh. 7 ẩn số sẽ được giải theo phương pháp số bình phương nhỏ nhất.

Hệ phương trình chuẩn có dạng:

$$A^T A X^{(1)} + A^T L_{(1)} = 0 \quad (5)$$

trong đó: $X_{(1)} = \begin{bmatrix} dX^{(1)} & dY^{(1)} & dZ^{(1)} & e_x^{(1)} & e_y^{(1)} & e_z^{(1)} & d_m^{(1)} \end{bmatrix}$ (6)

Véc tơ ẩn số $X^{(1)}$ được xác định từ kết quả giải hệ phương trình chuẩn (5)

Ma trận hiệp trọng số đảo của 7 tham số trên sẽ là:

$$Q_{X1} = (A^T A)^{-1} \quad (7)$$

Sai số trung phương đơn vị trọng số của bài toán được tính theo công thức:

$$\mu_{(1)} = \pm \sqrt{\frac{[VV]}{3n_1 - 7}} \quad (8)$$

Giả sử ở giai đoạn 2, có thêm n_2 điểm song trùng. Phương trình số hiệu chỉnh cho các điểm song trùng giai đoạn 2 có thể viết:

$$\begin{bmatrix} V_X \\ V_Y \\ V_Z \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \end{bmatrix}_{(2)} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & -Z'_i & Y'_i & X'_i \\ 0 & 1 & 0 & Z'_i & 0 & -X'_i & Y'_i \\ 0 & 0 & 1 & -Y'_i & X'_i & 0 & Z'_i \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \end{bmatrix} \begin{bmatrix} dX \\ dY \\ dZ \\ e_x \\ e_y \\ e_z \\ d_m \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} l_x \\ l_y \\ l_z \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \end{bmatrix}_{(2)} \quad (9)$$

Trong đó véc tơ $X = [dX \ dY \ dZ \ e_x \ e_y \ e_z \ d_m]^T$ là giá trị tham số được xác định từ các điểm song trùng giai đoạn 1 và các điểm song trùng giai đoạn 2

Số hạng tự do trong (9) cũng được tính tương tự như (4).

Ở đây chúng ta không lập lại hệ phương trình chuẩn chung theo số liệu của tất cả các điểm song trùng giai đoạn 1 và giai đoạn 2 mà sử dụng kết quả tham số đã xác định được ở giai đoạn 1 kết hợp với điểm song trùng mới trong giai đoạn 2 để xử lý xác định lại tham số. Với cách đặt vấn đề như vậy, ta coi tham số đã xác định trong giai đoạn 1 là "trị đo", với các phương trình trị bình sai là:

$$V_{X_1} + X_{(1)} = E.X \quad (10)$$

trong đó E là ma trận đơn vị có kích thước (7x7), số hạng tự do của các phương trình số hiệu chỉnh (10) bằng 0 vì lấy trị gần đúng là trị bình sai giai đoạn 1.

Từ đó ta có phương trình số hiệu chỉnh:

$$V_{X_1} = E.X - X_{(1)} \quad (11)$$

Lưu ý rằng, các phương trình số hiệu chỉnh (10) có ma trận trọng số $P_{X_1} = Q_{X_1}^{-1}$ đã được xác định từ kết quả tính giai đoạn 1 (7).

Nếu ở giai đoạn 2 lấy trị gần đúng của tham số đúng bằng giá trị tham số xác định trong giai đoạn 1 thì phương trình (11) sẽ có dạng:

$$V_{X_1} = E.\Delta_X \quad (12)$$

$$\text{vì } X = X_{(1)} + \Delta_X$$

Các phương trình số hiệu chỉnh lập cho các điểm song trùng giai đoạn 2 có dạng:

$$\begin{bmatrix} V_X \\ V_Y \\ V_Z \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \end{bmatrix}_{(2)} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & -Z'_i & Y'_i & X'_i \\ 0 & 1 & 0 & Z'_i & 0 & -X'_i & Y'_i \\ 0 & 0 & 1 & -Y'_i & X'_i & 0 & Z'_i \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \end{bmatrix} \begin{bmatrix} d_x^{(1)} + \delta x \\ d_y^{(1)} + \delta y \\ d_z^{(1)} + \delta z \\ e_x^{(1)} + \delta e_x \\ e_y^{(1)} + \delta e_y \\ e_z^{(1)} + \delta e_z \\ d_m^{(1)} + \delta d_m \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} l_x \\ l_y \\ l_z \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \end{bmatrix}_{(2)} \quad (13)$$

Hoặc có thể viết ở dạng:

$$V_2 = A_2 \Delta_X - L_2 \quad (14)$$

Trong đó:
$$L_2 = \begin{bmatrix} X_i'' - X_i''^{(1)} \\ Y_i'' - Y_i''^{(1)} \\ Z_i'' - Z_i''^{(1)} \\ \vdots \\ \vdots \end{bmatrix} \text{ và } \Delta_X = [\delta x \quad \delta y \quad \delta z \quad \delta e_x \quad \delta e_y \quad \delta e_z \quad \delta d_m] \quad (15)$$

Với $X_i''^{(1)}; Y_i''^{(1)}; Z_i''^{(1)}$ là tọa độ các điểm song trùng bổ sung có tọa độ hệ I đã được chuyển về hệ II theo các tham số xác định từ giai đoạn 1.

Phối hợp các phương trình số hiệu chỉnh (12) với các phương trình số hiệu chỉnh (14) ta có hệ phương trình số hiệu chỉnh chung:

$$\begin{bmatrix} V_{X_1} \\ V_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} E \\ A_2 \end{bmatrix} \Delta_X + \begin{bmatrix} 0 \\ -L_2 \end{bmatrix} \quad (16)$$

Các phương trình số hiệu chỉnh trên có ma trận trọng số P là:

$$P = \begin{bmatrix} Q_{X_1}^{-1} \\ E_2 \end{bmatrix} \quad (17)$$

trong đó E_2 là ma trận đơn vị có kích thước bằng $3.n_2$

Từ đó lập được hệ phương trình chuẩn:

$$(Q_{X_1}^{-1} + A_2^T A_2) \Delta_X - A_2^T L_2 = 0 \quad (18)$$

Giải hệ phương trình (18) sẽ nhận được véc tơ số hiệu chỉnh Δ_X :

$$\Delta_X = (Q_{X_1}^{-1} + A_2^T A_2)^{-1} A_2^T L_2 \quad (19)$$

Tham số sau tính toán giai đoạn 2 sẽ là:

$$X = X_{(1)} + \Delta_X \quad (20)$$

Đồng thời xác định được ma trận hiệp trọng số đảo của các tham số sau cập nhật:

$$Q_X = (Q_{X_1}^{-1} + A_2^T A_2)^{-1} \quad (21)$$

Với ký hiệu như trên, công thức (14) có thể viết:

$$X = X_{(1)} + Q_X \cdot A_2^T L_2 \quad (22)$$

Theo bổ đề nghịch đảo ma trận (hay đồng nhất thức Sherman-Morrison-Woodbury) [4]:

$$(A + UCV)^{-1} = A^{-1} - A^{-1}U(C^{-1} + VA^{-1}U)^{-1}V \cdot A^{-1} \quad (23)$$

ma trận Q_X tính theo (21) có thể khai triển như sau:

$$Q_X = Q_{X_1} - Q_{X_1} A_2^T (E_2 + A_2 Q_{X_1} A_2^T)^{-1} A_2 Q_{X_1} \quad (24)$$

Nhờ đó, quy trình tính 7 tham số có thể thực hiện theo 2 bước:

Bước 1: Tính ma trận nghịch đảo Q_X dựa vào Q_{X_1} và các điểm song trùng bổ sung:

$$Q_X = Q_{X_1} - Q_{X_1} A_2^T (E_2 + A_2 Q_{X_1} A_2^T)^{-1} A_2 Q_{X_1} \quad (25)$$

Bước 2: Tính 7 tham số sau cập nhật:

$$X = X_{(1)} + Q_X \cdot A_2^T L_2 \quad (26)$$

Theo các công thức (25) và (26) cho thấy, để xác định lại 7 tham số tính chuyển tọa độ khi có thêm điểm song trùng bổ sung không cần lập lại hệ phương trình chuẩn.

Để tiếp cận phép lọc Kalman tuyến tính, ta ký hiệu:

$$K = Q_X A_2^T \quad (27)$$

K được gọi là ma trận tăng ích Kalman (Kalman Gain Matrix), hay gọi tắt là ma trận tăng ích [2,4,5]

Khi đó công thức cập nhật tham số (26) có dạng:

$$X = X_{(1)} + K \cdot L_2 \quad (28)$$

Như vậy sử dụng 3 công thức (25),(27) và (28) cho ta quy trình cập nhật tham số tính chuyển tọa độ khi có thêm các điểm song trùng bổ sung và sử dụng phép lọc Kalman.

Khi tính số hạng tự do L_2 theo (15) cần đưa ra điều kiện kiểm tra để loại bỏ điểm song trùng bổ sung không đạt hạn sai. Hạn sai được xác định dựa theo nguyên tắc có độ lớn bằng 2 lần sai số trung phương. Từ (15) ta có công thức tính sai số giới hạn như sau:

$$\begin{aligned} (l_X)_{gh} &= 2 \cdot \sqrt{(m_X'')^2 + (m_X''^{(1)})^2} \\ (l_Y)_{gh} &= 2 \cdot \sqrt{(m_Y'')^2 + (m_Y''^{(1)})^2} \\ (l_Z)_{gh} &= 2 \cdot \sqrt{(m_Z'')^2 + (m_Z''^{(1)})^2} \end{aligned} \quad (29)$$

Trong đó $m_X''^{(1)}, m_Y''^{(1)}, m_Z''^{(1)}$ là sai số trung phương của hàm các tham số tính chuyển, được tính dựa vào sai số trung phương đơn vị trọng số $\mu_{(1)}$ và ma trận Q_F xác định theo công thức:

$$Q_F = F^T Q_{X1} F \quad (30)$$

với F^T là ma trận hệ số hàm trọng số, được tính từ tọa độ các điểm song trùng bổ sung.

Các giá trị m_X'', m_Y'', m_Z'' trong (29) có thể lấy gần đúng và có giá trị bằng $\mu_{(1)}$.

3. Thí dụ minh họa

Trên lãnh thổ Việt Nam có 9 điểm song trùng, có tọa độ trắc địa trong hệ WGS-84 và trong hệ VN2000 như sau:

DIEM	TOA DO HE WGS-84			TOA DO HE VN2000		
	B	L	H	B	L	H
L-CHAU	22 15 31.11202	102 20 37.26921	542.312 22 15	34.49390 102 20	30.39250	581.763
H-GIANG	23 26 47.36493	105 30 22.01449	756.287 23 26	50.85820 105 30	15.09660	787.927
M-CAI	21 30 45.62819	107 50 5.31233	6.154 21 30	49.25180 107 49	58.51090	26.738
H-NOI	21 4 26.47921	105 46 14.38892	8.564 21 4	30.02490 105 46	7.58470	34.884
NG-AN	18 41 15.33638	105 15 46.28202	8.264 18 41	18.89830 105 15	39.57680	31.671
QU-TRI	16 45 48.18841	107 20 4.69020	9.345 16 45	51.84070 107 19	58.07400	22.273

Nghiên cứu - Ứng dụng

QU-NGAI	15 10 4.56113	108 51 41.08747	10.248 15 10	8.26880 108	51 34.54410	15.017
PLEIKU	14 1 22.56878	108 0 15.64815	564.189 14 1	26.25680 108	0 9.12680	569.518
N-TRANG	12 10 32.18887	109 8 14.20050	12.458 12 10	35.90690 109	8 7.74350	10.357

Từ tọa độ trắc địa tính đổi về tọa độ vuông góc không gian địa tâm X,Y,Z, kết quả như sau:

DIEM	X1	Y1	Z1	X2	Y2	Z2
L-CHAU	-1262599.293	5769664.216	2401148.535	-1262406.317	5769703.477	2401259.760
H-GIANG	-1565364.290	5642182.797	2522461.193	-1565171.384	5642222.055	2522572.388
M-CAI	-1818191.311	5651204.831	2324298.866	-1817998.314	5651244.105	2324410.100
H-NOI	-1618258.673	5730001.521	2279047.387	-1618065.670	5730040.800	2279158.606
NG-AN	-1591059.715	5830783.596	2030625.218	-1590866.768	5830822.852	2030736.462
QU-TRI	-1820129.646	5831345.296	1827778.924	-1819936.638	5831384.580	1827890.156
Q-NGAI	-1990553.583	5826733.222	1658044.365	-1990360.589	5826772.503	1658155.603
PLEIKU	-1913207.642	5886728.048	1535580.638	-1913014.633	5886767.327	1535691.906
N-TRANG	-2044235.274	5891000.704	1336400.712	-2044042.286	5891039.989	1336511.949

Sử dụng mô hình toán Bursa-Wolf đã nêu trên tính được 7 tham số tính chuyển tọa độ từ hệ WGS-84 về hệ VN2000 như sau:

dx= 192.800m;	dy= 39.475m;	dz= 111.255m
ex -.142730852E-07;	ey= .172228835E-07;	ez= .258189707E-07
dm= -.377516959E-07		

Sai số trung phương đơn vị trọng số $\mu_{(1)} = \pm 0,021m$

Ma trận hiệp trọng số đảo của các tham số tính chuyển trên là:

.189975E+03	.761246E+02	-.734236E+02	-.142240E-04	.610456E-05	-.304597E-04	.875873E-06
.761246E+02	.549472E+02	-.336755E+02	-.750525E-05	.226293E-05	-.132574E-04	-.291851E-05
-.734236E+02	-.336755E+02	.543381E+02	.940482E-05	-.125210E-05	.119611E-04	-.100435E-05
-.142240E-04	-.750525E-05	.940482E-05	.175045E-11	-.415031E-12	.231620E-11	.685003E-26
.610456E-05	.226293E-05	-.125210E-05	-.415031E-12	.661656E-12	-.827652E-12	-.198715E-26
-.304597E-04	-.132574E-04	.119611E-04	.231620E-11	-.827652E-12	.498101E-11	.110954E-25
.875873E-06	-.291851E-05	-.100435E-05	.685003E-26	-.198715E-26	.110954E-25	.504548E-12

Hai điểm song trùng bổ sung có tọa độ trong 2 hệ WGS-84 và VN2000 như sau:

HCMINH	10 49 45.62254	106 43 14.80054	5.268 10 49	49.28780 106 43	8.34250 8.587
CMAU	8 35 15.06611	105 4 4.22284	7.654 8 35	18.70610 105 3	57.79340 12.166

Trước hết, dựa vào các điểm song trùng bổ sung, tính số hạng tự do và sai số giới hạn của chúng để kiểm tra chất lượng các điểm song trùng:

TT	Điểm song trùng bổ sung	Số hạng tự do			Sai số giới hạn của số hạng tự do		
		l_x	l_y	l_z	$(l_x)_{gh}$	$(l_y)_{gh}$	$(l_z)_{gh}$
1	HCMINH	0.017 m	0.013 m	-0.028 m	0.051 m	0.059 m	0.051 m
2	CMAU	0.017	0.014	-0.030	0.056	0.079	0.057

Từ bảng trên có thể thấy rằng, số hạng tự do của các phương trình lập cho các điểm song trùng đều nhỏ hơn sai số giới hạn. Tất cả các điểm bổ sung được chấp nhận để chính xác lại các tham số tính chuyển.

Với 2 điểm song trùng bổ sung, sử dụng ma trận hiệp trọng số đảo đã có, theo công thức (24) ta tính được ma trận Q_x :

.955408E+02	.291872E+02	-.134777E+02	-.325360E-05	.368739E-05	-.150687E-04	.490638E-06
.291872E+02	.217736E+02	-.508499E+01	-.171136E-05	.108833E-05	-.515534E-05	-.165086E-05
-.134777E+02	-.508499E+01	.149633E+02	.238161E-05	.245484E-07	.216546E-05	-.516043E-06
-.325360E-05	-.171136E-05	.238161E-05	.442846E-12	-.115981E-12	.521674E-12	-.484147E-17
.368739E-05	.108833E-05	.245484E-07	-.115981E-12	.404421E-12	-.505914E-12	-.228831E-16
-.150687E-04	-.515534E-05	.216546E-05	.521674E-12	-.505914E-12	.242575E-11	.791948E-18
.490638E-06	-.165086E-05	-.516043E-06	-.484147E-17	-.228831E-16	.791948E-18	.283076E-12

Theo (27) tính được ma trận tăng ích K như sau:

-.151420643	1.095423332	-.017577352	-.524602155	4.390304556	.755839395
-.066705351	.537548928	1.256739347	-.533092283	1.647547138	1.991362053
.416862297	-1.442805496	.014115713	.533387868	-2.424119989	-.069815149
.000000015	-.000000244	-.000000067	.000000033	-.000000437	-.000000125
.000000170	.000000038	-.000000009	.000000224	.000000149	.000000068
.000000089	-.000000162	-.000000053	.000000183	-.000000685	-.000000182
-.000000020	.000000048	-.000000179	.000000027	.000000073	-.000000248

Từ ma trận tăng ích K sẽ tính được số hiệu chỉnh cho các tham số tính chuyển tọa độ Δ_x

.042	-.076	-.035	-.285459966E-08	.753238624E-08	-.960526942E-10	.143139151E-07
------	-------	-------	-----------------	----------------	-----------------	----------------

Các tham số cũ $X_{(1)}$:

192.800	39.475	111.255	-.142730852E-07	.172228835E-07	.258189707E-07	-.377516959E-07
---------	--------	---------	-----------------	----------------	----------------	-----------------

Các tham số sau hiệu chỉnh X:

192.842	39.399	111.220	-.171276849E-07	.247552697E-07	.257229180E-07	-.234377808E-07
---------	--------	---------	-----------------	----------------	----------------	-----------------

Để so sánh với phương pháp tính tham số dựa vào tất cả các điểm song trùng (gồm 9 điểm trước và 2 điểm bổ sung), kết quả tính 7 tham số X sẽ là:

192.843	39.400	111.220	-.171482289E-07	.246085686E-07	.256189088E-07	-.235378819E-07
---------	--------	---------	-----------------	----------------	----------------	-----------------

Ma trận Q_x nhận được:

.955390E+02	.291868E+02	-.134766E+02	-.325331E-05	.368702E-05	-.150684E-04	.490598E-06
.291868E+02	.217724E+02	-.508504E+01	-.171128E-05	.108802E-05	-.515523E-05	-.165071E-05
-.134766E+02	-.508504E+01	.149628E+02	.238143E-05	.248870E-07	.216529E-05	-.515974E-06
-.325331E-05	-.171128E-05	.238143E-05	.442793E-12	-.115891E-12	.521628E-12	.105547E-26
.368702E-05	.108802E-05	.248870E-07	-.115891E-12	.404294E-12	-.505848E-12	-.115810E-26
-.150684E-04	-.515523E-05	.216529E-05	.521628E-12	-.505848E-12	.242570E-11	.507043E-26
.490598E-06	-.165071E-05	-.515974E-06	.105547E-26	-.115810E-26	.507043E-26	.283050E-12

Có thể nhận thấy rằng sự khác biệt giữa kết quả tính áp dụng phép lọc Kalman với kết quả tính một lần, lớn nhất chỉ cỡ 1mm đối với các tham số dx , dy , dz và chỉ ở số lẻ thứ 10 của các tham số e_x , e_y , e_z và dm . Ma trận Q cũng có sự sai khác ở mức nhỏ do sai số tính toán.

4. Kết luận

- Áp dụng phép lọc Kalman để xác định lại tham số tính chuyển tọa độ dựa vào công thức tính chuyển tọa độ (3D) Bursa Wolf và các điểm song trùng bổ sung không đòi hỏi phải biết đầy đủ tọa độ các điểm song trùng ở bước trước và cũng không phải lập lại hệ phương trình chuẩn. Trong trường hợp này cần có ma trận hiệp trọng số đảo Q của các tham số tính chuyển.

- Số hạng tự do L_2 trong các phương trình của các điểm song trùng bổ sung luôn được tính theo nguyên tắc đơn giản là bằng tọa độ của các điểm bổ sung trong hệ II trừ đi tọa độ tính chuyển từ hệ I về hệ II của chính các điểm đó theo các tham số tính chuyển đã có. Cần kiểm tra độ lớn của các số hạng tự do để khẳng định chất lượng các điểm song trùng bổ sung.

- Trong trường hợp chỉ có 7 tham số tính chuyển mà không còn lưu lại ma trận hiệp trọng số đảo Q_{x1} , có thể khôi phục lại ma trận này để tính toán theo quy trình trên nếu biết gần đúng vị trí (B,L) của các điểm song trùng đã sử dụng để xác định 7 tham số đã có.○

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1]. Đặng Nam Chinh, Lê Văn Hùng. Bình sai nhiều giai đoạn và cách tiếp cận phép lọc Kalman. Tạp chí Khoa học Kỹ thuật Mỏ - Địa chất, số 35, 7/2011.

[2]. Phan Văn Hiến. Đặng Quang Thịnh. Cơ sở bình sai trắc địa. Nhà xuất bản Nông nghiệp TP Hồ Chí Minh. 2008.

[3]. Wlodzimierz Baran. Teoretyczne podstawy opracowania wyników pomiarów geodezyjnych. Państwowe Wydawnictwo Naukowe, Warszawa 1983.

[4]. Martin Vermeer. Statistical Methods in Geodesy. Maa-6.3282. April 12. 2010.

[5]. Greg Welch, Gary Bishop. An Introduction to the Kalman Filter. University of North Carolina at Chapel Hill. Department of Computer Science. Chapel Hill, NC 27599-3175. 2001.○

Summary

REFINEMENT OF COORDINATE TRANSFORMATION PARAMETERS BY KALMAN FILTER BASED ON ADDITIONAL COMMON POINTS

Ass. Prof. Dr. Dang Nam Chinh

Hanoi University of Mining and Geology

Eng. Nguyen Hong Le

Military Technical Academy

This paper introduces an algorithm for recomputation of the coordinate-3D transformation parameters based on the additional common points using Kalman filter. By this procedure the estimation of transformation parameters is simplified and can be done in case of missing some initial data.○