

GPS 网与地面网约束条件的序贯平差^{*}

高井祥 张华海

余学祥

(中国矿业大学 徐州 221008)

(淮南工业学院 淮南 232001)

摘 要 采用简洁的方式,导出了固定参数序贯平差的计算公式,并对 GPS 网与地面网中存在的固定边长和固定坐标方位角等约束条件进行序贯平差.结合矿区实例,讨论了约束条件的精度对 GPS 网精度的影响问题.

关键词 地面网 GPS 网 约束条件 序贯平差

中图号 P207

众所周知,GPS 卫星定位技术获得的观测值属于 WGS—84 协议地球参考坐标系.实际应用中一般将其转化为国家参考坐标系下的高斯平面直角坐标.当地面网中存在约束条件(如固定点坐标、固定边长、固定方位角)时,还要将 GPS 观测值的平差值强制符合到这些约束条件上去.若在 GPS 网平差后坐标转换过程中加入这些约束条件,除要增加误差方程及法方程的维数和进行高阶矩阵的运算外,还存在两个缺点:一是在不能确认地面基准点的稳定性时,约束条件的加入不利于基准点稳定性的判别;二是即使地面基准点稳定,约束条件的加入也不便于数据的编辑,并增加了大量的计算工作量.所以,在实践中可按如下步骤进行:

- a. 先对 GPS 网进行空间无约束平差.为了克服 GPS 网和地面网高程系统不同对求坐标转换参数的影响,应将 GPS 网空间平差的结果(点的坐标及协因数阵)投影到高斯平面上;
- b. 采用高崩溃污染率抗差估计,选择稳定的基准点,求取转换参数,并将 GPS 网点坐标及其协因数阵转换到地面网所在坐标系下;
- c. 根据序贯平差的基本原理,对地面网中的约束条件进行序贯平差,求得 GPS 网点转换后的最终成果.

1 序贯平差的基本原理

序贯平差是柯尔莫哥洛夫(A. H. Kolmogorov)和维纳(N. Wiener)提出的.1960 年,卡尔曼进一步发展了这一方法,称为卡尔曼滤波.在工程测量领域,主要讨论参数不随时间变化的静态卡尔曼滤波,称为序贯平差.本文主要探讨序贯平差理论在 GPS 数据处理中的应用.

1.1 固定参数序贯平差的基本原理

数学模型:

$$V = A \delta \hat{X} - f$$

$$\begin{matrix} n \times 1 & n \times t & t \times 1 & n \times 1 \end{matrix}$$

权阵 P

(1)

式中: V ——观测值 L 的残差向量; A ——平差图形的设计矩阵(列满秩); $\delta \hat{X}$ ——待估参数近似值 X_0 的改正数; f ——自由项向量.

设将观测值分成两组,即

$$V = \begin{pmatrix} V_{k-1} \\ V_k \end{pmatrix}$$

$$\begin{matrix} n_1 \times 1 \\ n_2 \times 1 \end{matrix}$$

$$A = \begin{pmatrix} A_{k-1} \\ A_k \end{pmatrix}$$

$$\begin{matrix} n_1 \times t \\ n_2 \times t \end{matrix}$$

$$f = \begin{pmatrix} f_{k-1} \\ f_k \end{pmatrix}$$

$$\begin{matrix} n_1 \times 1 \\ n_2 \times 1 \end{matrix}$$

$$P = \begin{pmatrix} P_{k-1} & O \\ O & P_k \end{pmatrix}$$

$$\begin{matrix} n_1 \times n_1 \\ n_2 \times n_2 \end{matrix}$$

其中

$$f_{k-1} = L_{k-1} - A_{k-1}X_0 - d_{k-1}$$

$$f_k = L_k - A_kX_0 - d_k$$

收稿日期:1997-02-22

第一作者简介:高井祥,男,教授,测量工程专业,主要从事测量方法及理论研究.

^{*} 国家教委博士点基金资助项目(9329009)中国矿业大学青年基金资助项目.

并且 $n = n_1 + n_2$ $rk(A_{k-1}) = rk(A_k) = t$

观测值 L_{k-1} 与 L_k 相互独立 则有

$$V_{k-1} = A_{k-1}\delta\hat{X} - f_{k-1} \quad \text{权阵 } P_{k-1} \quad (2)$$

$$V_k = A_k\delta\hat{X} - f_k \quad \text{权阵 } P_k \quad (3)$$

按最小二乘 (LS) 估计对式 (2) 单独进行平差 有

$$\delta\hat{X}_{k-1} = N_{k-1}^{-1} A_{k-1}^T P_{k-1} f_{k-1} \quad (4)$$

$$V_{k-1} = (A_{k-1} N_{k-1}^{-1} A_{k-1}^T P_{k-1} - E) f_{k-1} \quad (5)$$

$$Q_{\hat{X}_{k-1}} = N_{k-1}^{-1} = (A_{k-1}^T P_{k-1} A_{k-1})^{-1} \quad (6)$$

显然 上面得到的不是整体平差的结果. 因此 尚需利用第二组观测值对上述结果进行修正 使

$$\delta\hat{X} = \delta\hat{X}_{k-1} + \delta\hat{X}_k \quad (7)$$

将式 (7) 代入式 (3) 得

$$V_k = A_k\delta\hat{X}_k - \bar{f}_k \quad \text{权阵 } P_k \quad (8)$$

其中

$$\bar{f}_k = f_k - A_k\delta\hat{X}_{k-1} = L_k - A_k\hat{X}_{k-1} - d_k \quad (9)$$

可见 式 (8) 就是以 $\hat{X}_{k-1}$ 为 X 的近似值所列出的误差方程 $\bar{f}_k$ 为其自由项.

若将 $\hat{X}_{k-1}$ 当作一组权阵为 $P_{X_{k-1}} = Q_{\hat{X}_{k-1}}^{-1}$ 的虚拟观测值 并以 $V_{X_{k-1}}$ 表示其改正数 则有

$$V_{X_{k-1}} = \delta\hat{X}_k \quad \text{权阵 } P_{X_{k-1}} \quad (10)$$

由式 (8) 和式 (10) 组成误差方程 按 LS 估计 有

$$\delta\hat{X}_k = (P_{X_{k-1}} + A_k^T P_k A_k)^{-1} A_k^T P_k \bar{f}_k \quad (11)$$

根据矩阵反演公式 式 (11) 可写成

$$\delta\hat{X}_k = P_{X_{k-1}}^{-1} A_k^T (P_k^{-1} + A_k P_{X_{k-1}}^{-1} A_k^T)^{-1} \bar{f}_k \quad (12)$$

将 $P_{X_{k-1}} = Q_{\hat{X}_{k-1}}^{-1}$ 代入式 (12) 得

$$\delta\hat{X}_k = Q_{\hat{X}_{k-1}} A_k^T (P_k^{-1} + A_k Q_{\hat{X}_{k-1}} A_k^T)^{-1} \bar{f}_k \quad (13)$$

令

$$K_X = Q_{\hat{X}_{k-1}} A_k^T (P_k^{-1} + A_k Q_{\hat{X}_{k-1}} A_k^T)^{-1} \quad (14)$$

则式 (13) 成为

$$\delta\hat{X}_k = K_X \bar{f}_k \quad (15)$$

将式 (15) 代入式 (7) 得

$$\delta\hat{X} = \delta\hat{X}_{k-1} + \delta\hat{X}_k = \delta\hat{X}_{k-1} + K_X \bar{f}_k \quad (16)$$

于是

$$\hat{X} = X_0 + \delta\hat{X}_{k-1} + K_X \bar{f}_k = \hat{X}_{k-1} + K_X \bar{f}_k \quad (17)$$

未知数的协因数阵为

$$\begin{aligned} Q_{\hat{X}} &= (A^T P A)^{-1} = \left((A_{k-1}^T A_k^T) \begin{bmatrix} P_{k-1} & O \\ O & P_k \end{bmatrix} \begin{bmatrix} A_{k-1} \\ A_k \end{bmatrix} \right)^{-1} = \\ &= (A_{k-1}^T P_{k-1} A_{k-1} + A_k^T P_k A_k)^{-1} = \\ &= (P_{X_{k-1}} + A_k^T P_k A_k)^{-1} \end{aligned} \quad (18)$$

据矩阵反演公式 上式可写成

$$\begin{aligned} Q_{\hat{X}} &= P_{X_{k-1}}^{-1} - P_{X_{k-1}}^{-1} A_k^T (P_k^{-1} + A_k P_{X_{k-1}}^{-1} A_k^T)^{-1} A_k P_{X_{k-1}}^{-1} = \\ &= Q_{\hat{X}_{k-1}} - Q_{\hat{X}_{k-1}} A_k^T (P_k^{-1} + A_k Q_{\hat{X}_{k-1}} A_k^T)^{-1} A_k Q_{\hat{X}_{k-1}} \end{aligned} \quad (19)$$

将式 (14) 代入式 (19) 得

$$Q_{\hat{X}} = Q_{\hat{X}_{k-1}} - K_X A_k Q_{\hat{X}_{k-1}} = (E - K_X A_k) Q_{\hat{X}_{k-1}} \quad (20)$$

序贯平差后的残差二次型为

$$V^T P V = V_{k-1}^T P_{k-1} V_{k-1} + (f_k - A_k \delta \hat{X}_{k-1})^T (P_k^{-1} + A_k Q_{\hat{X}_{k-1}} A_k^T)^{-1} (f_k - A_k \delta \hat{X}_{k-1}) \quad (21)$$

上面的公式是针对观测值增加的情形导出的,如果稍加变化,也适用于观测数据减少的情形:

$$\left. \begin{aligned} \hat{X} &= \hat{X}_{k-1} - K_X \bar{f}_k \\ Q_{\hat{X}} &= (E + K_X A_k) Q_{\hat{X}_{k-1}} \\ V^T P V &= V_{k-1}^T P_{k-1} V_{k-1} + \bar{f}_k^T (P_k^{-1} - A_k Q_{\hat{X}_{k-1}} A_k^T)^{-1} \bar{f}_k \end{aligned} \right\} \quad (22)$$

其中

$$K_X = Q_{\hat{X}_{k-1}} A_k^T (P_k^{-1} - A_k Q_{\hat{X}_{k-1}} A_k^T)^{-1}$$

$$\bar{f}_k = f_k - A_k \delta \hat{X}_{k-1}$$

1.2 序贯平差的特点

仔细分析序贯平差的有关公式,可以发现:

- 本次平差时,由于 $\hat{X}_{k-1}$, $Q_{\hat{X}_{k-1}}$ 及 $V_{k-1}^T P_{k-1} V_{k-1}$ 已由前一阶段的平差得到,所以不必考虑前一阶段的观测值 L_{k-1} ,仍能获得整体平差效果。
- 序贯平差不需要解算高阶逆矩阵,因为若观测值较多时,可将它们分成不相关的几组,逐次进行序贯平差。
- 在平差过程中,序贯平差可以随意增加或减少观测数据,所以,序贯平差易于实现数据的自动编辑。

2 GPS 网与地面网约束条件的序贯平差

前面导出了固定参数的序贯平差公式,下面就利用这些公式进行 GPS 网与地面网约束条件的序贯平差。在进行序贯平差时,需要用到第 $k-1$ 次平差时的先验信息 $\hat{X}_{k-1}$, $Q_{\hat{X}_{k-1}}$ 和 $V_{k-1}^T P_{k-1} V_{k-1}$ 。在 GPS 网点向地面网所在的高斯坐标系转换时,我们已得到了点的坐标、协因数阵及解算坐标转换参数时的残差二次型。在以下计算中将直接利用这些数据。

2.1 固定边长约束条件的序贯平差

设 S_{ij} 为地面网中的固定边长,其权为 P_s 。线性化后的约束条件方程为

$$-\cos \alpha_{ij}^0 \delta \hat{X}_i - \sin \alpha_{ij}^0 \cdot \delta \hat{Y}_i + \cos \alpha_{ij}^0 \cdot \delta \hat{X}_j + \sin \alpha_{ij}^0 \cdot \delta \hat{Y}_j + W_{S_{ij}} = 0 \quad (23)$$

其中

$$\alpha_{ij}^0 = \arctan\left(\frac{Y_j^0 - Y_i^0}{X_j^0 - X_i^0}\right) \quad W_{S_{ij}} = \sqrt{(X_j^0 - X_i^0)^2 + (Y_j^0 - Y_i^0)^2} - S_{ij} = S_{ij}^0 - S_{ij}$$

式中: $X_i^0, Y_i^0, X_j^0, Y_j^0$ ——GPS 网点转换后的平面坐标。

由于固定边长可以看成是权很大(算例中, P_s 取 GPS 基线向量权的 100 倍)的边长观测值,则式(23)可写成误差方程式:

$$V_s = -\cos \alpha_{ij}^0 \cdot \delta \hat{X}_i - \sin \alpha_{ij}^0 \cdot \delta \hat{Y}_i + \cos \alpha_{ij}^0 \cdot \delta \hat{X}_j + \sin \alpha_{ij}^0 \cdot \delta \hat{Y}_j + W_{S_{ij}} \quad (24)$$

将上式写成矩阵形式:

$$V_k = \begin{matrix} A_k \delta \hat{X} \\ 1 \times 1 \end{matrix} \quad \begin{matrix} 1 \times 2n & 2n \times 1 \end{matrix} \quad \begin{matrix} f_k \\ 1 \times 1 \end{matrix} \quad (25)$$

其中

$$A_k = [0 \quad 0 \quad \dots \quad -\cos \alpha_{ij}^0 \quad -\sin \alpha_{ij}^0 \quad 0 \quad 0 \quad \dots \quad \cos \alpha_{ij}^0 \quad \sin \alpha_{ij}^0 \quad \dots \quad 0 \quad 0]$$

$$\delta \hat{X} = [\delta \hat{X}_1 \quad \delta \hat{Y}_1 \quad \dots \quad \delta \hat{X}_i \quad \delta \hat{Y}_i \quad \dots \quad \delta \hat{X}_j \quad \delta \hat{Y}_j \quad \dots \quad \delta \hat{X}_n \quad \delta \hat{Y}_n]^T$$

$$f_k = -W_{S_{ij}} = S_{ij} - S_{ij}^0$$

式中: n ——GPS 网的总点数。

根据固定参数的序贯平差公式,可按下式计算加入一个固定边长约束条件后 GPS 网的最终结果:

$$\left. \begin{aligned} \hat{X} &= \hat{X}_{k-1} + K_X \bar{f}_k \\ Q_{\hat{X}} &= (E - K_X A_k) Q_{\hat{X}_{k-1}} \\ V^T P V &= V_{k-1}^T P_{k-1} V_{k-1} + \bar{f}_k^T (P_s^{-1} + A_k Q_{\hat{X}_{k-1}} A_k^T)^{-1} \bar{f}_k \end{aligned} \right\} \quad (26)$$

其中

$$K_X = Q_{\hat{X}_{k-1}} A_k^T (P_s^{-1} + A_k Q_{\hat{X}_{k-1}} A_k^T)^{-1}$$

$$\bar{f}_k = S_{ij} - A_k \hat{X}_{k-1}$$

当地面网中固定边长约束条件不只一个时,由于可将各固定边长看作是权很大的独立观测值,因此可采用每次只增加一个边长约束条件的序贯平差方法.此时应将式(26)的平差结果看作 $\hat{X}_{k-1}$, $Q_{\hat{X}_{k-1}}$ 及 $V_{k-1}^T P_{k-1} V_{k-1}$, 然后利用这些先验值进行下一个约束条件的序贯平差.

2.2 固定坐标方位角约束条件的序贯平差

设 α_{ij} 为地面网中的固定坐标方位角,其权为 P_α .则约束条件方程为

$$\alpha_{ij} \delta \hat{X}_i + b_{ij} \delta \hat{Y}_i - \alpha_{ij} \delta \hat{X}_j - b_{ij} \delta \hat{Y}_j + W_{\alpha_{ij}} = 0 \quad (27)$$

其中

$$\alpha_{ij} = \frac{\rho'' \cdot \sin \alpha_{ij}^0}{S_{ij}^0} \quad b_{ij} = -\frac{\rho'' \cdot \cos \alpha_{ij}^0}{S_{ij}^0} \quad \alpha_{ij} = \arctan\left(\frac{Y_j^0 - Y_i^0}{X_j^0 - X_i^0}\right)$$

$$S_{ij}^0 = \sqrt{(X_j^0 - X_i^0)^2 + (Y_j^0 - Y_i^0)^2} \quad W_{\alpha_{ij}} = \alpha_{ij}^0 - \alpha_{ij}$$

式中: $X_i^0, Y_i^0, X_j^0, Y_j^0$ ——GPS 网转换后的坐标.

同样,可将固定坐标方位角看成是权很大(算例中, P_α 取 GPS 基线向量权的 100 倍)的观测值,故式(27)可写成误差方程式:

$$V_\alpha = \alpha_{ij} \delta \hat{X}_i + b_{ij} \delta \hat{Y}_i - \alpha_{ij} \delta \hat{X}_j - b_{ij} \delta \hat{Y}_j + W_{\alpha_{ij}} \quad (28)$$

将其写成矩阵形式,有

$$V_k = A_k \delta \hat{X} - f_k \quad (29)$$

$1 \times 1 \quad 1 \times 2n \quad 2n \times 1 \quad 1 \times 1$

其中

$$A_k = [0 \quad 0 \quad \dots \quad a_{ij} \quad b_{ij} \quad \dots \quad -\alpha_{ij} \quad -b_{ij} \quad \dots \quad 0 \quad 0]$$

$$\delta \hat{X} = [\delta \hat{X}_1 \quad \delta \hat{Y}_1 \quad \dots \quad \delta \hat{X}_i \quad \delta \hat{Y}_i \quad \dots \quad \delta \hat{X}_j \quad \delta \hat{Y}_j \quad \dots \quad \delta \hat{X}_n \quad \delta \hat{Y}_n]$$

$$f_k = -W_{\alpha_{ij}} = \alpha_{ij} - \alpha_{ij}^0$$

然后,即可按式(26)的矩阵形式对坐标方位角约束条件进行类似的序贯平差.但此时应将式(26)中的 P_s 换成 P_α , $\bar{f}_k = \alpha_{ij} - \alpha_{ij}^0$.

当地面网中既有固定边长,又有固定坐标方位角约束条件时,可按式(24)(25)及式(28)(29)分别列出其误差方程,逐一进行序贯平差.平差过程中,如果发现某些约束条件的加入使 GPS 网的精度降低了,则应采用减少观测值的序贯平差的公式,将这种约束条件剔除掉.

3 算 例

图 1 所示的矿区 GPS 网中,将 1—5 边和 3—4 边的边长和坐标方位角作为约束条件.根据四个值,制定七个平差方案,以考察加入不同的约束条件后,对 GPS 网转换后精度的影响.这七个方案是:

- a. XG40: 两个边长及两个方位角均作为约束条件;
- b. XG31: 1—5 边边长和两个方位角作为约束条件;
- c. XG32: 两个边长及 3—4 边的方位角作为约束条件;
- d. XG21: 两个边长作为约束条件;
- e. XG22: 1—5 边边长和 3—4 边的方位角作为约束条件;
- f. XG11: 1—5 边边长作为约束条件;
- g. XG12: 3—4 边的方位角作为约束条件.

采用自编的 GPS 数据后处理软件,利用坐标转换时获得的有关信息,对上述各方案分别进行序贯平差.平差结果列于有关表格中.

表 1 列出了 GPS 网无约束平差后投影到高斯平面上,并进行平面坐标转换的坐标值与进行约束条件序贯平差后的相应值之差(取各点的相应两个坐标分量互差的最大值).表 2 列出了各方案序贯平差后 GPS 网点的点位中误差(表中

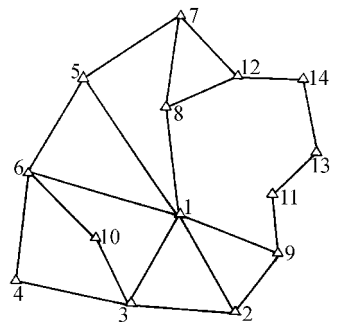


图 1 GPS 网
Fig.1 GPS net

D_0 方案表示序贯平差前的点位中误差)。

表 1 序贯平差后坐标值比较

Table 1 Comparison of coordinate values after sequential adjustment

mm

点号	方 案						
	XG_{40}	XG_{31}	XG_{32}	XG_{21}	XG_{22}	XG_{11}	XG_{12}
1	- 3.6	- 4.8	2.9	0	2.2	0	- 4.1
2	94.7	108.9	- 49.1	- 0.1	- 41.1	0	97.5
3	26.7	25.7	- 59.5	0	- 31.2	0	31.0
4	36.9	- 35.2	- 116.7	0	- 80.9	0	14.4
5	67.5	- 68.8	119.5	0	61.4	0	- 74.8
6	- 167.0	- 163.6	- 78.3	0	99.9	0	- 137.5
7	- 31.7	- 33.1	70.8	0	34.5	0	- 36.3
8	- 18.0	- 18.2	38.0	0	19.0	0	- 21.3
9	56.6	69.5	- 30.4	0	- 20.6	0	57.5
10	- 37.6	- 40.2	- 58.8	0	- 48.3	0	- 27.6
11	23.6	32.3	7.5	0	- 2.6	0	25.0
12	- 22.8	- 23.6	56.1	0	25.8	0	- 21.8
13	13.8	23.1	21.2	0	6.0	0	12.1
14	- 22.7	- 23.3	43.9	0	19.0	0	- 17.5

表 2 序贯平差后点位中误差比较

Table 2 Comparison of points errors after sequential adjustment

cm

点号	方 案							
	D_0	XG_{40}	XG_{31}	XG_{32}	XG_{21}	XG_{22}	XG_{11}	XG_{12}
1	0.40	2.23	2.70	2.15	0.36	1.94	0.38	2.92
2	0.44	3.60	4.49	3.74	0.60	3.33	0.64	4.90
3	0.43	3.80	4.70	3.12	0.59	3.28	0.65	5.02
4	0.46	3.82	4.36	3.17	0.53	2.93	0.51	3.84
5	0.45	2.27	2.77	3.65	0.54	2.86	0.53	3.71
6	0.46	1.05	1.11	2.25	0.36	1.80	0.24	1.26
7	0.44	2.99	3.64	3.23	0.54	2.80	0.55	4.07
8	0.41	2.24	2.73	2.22	0.37	1.99	0.39	2.95
9	0.41	2.21	2.68	2.21	0.37	1.99	0.39	2.90
10	0.42	2.25	2.76	2.14	0.38	1.92	0.40	3.00
11	0.41	2.24	2.73	2.17	0.37	1.96	0.39	2.95
12	0.42	2.30	2.80	2.30	0.38	2.05	0.40	3.05
13	0.42	2.31	2.80	2.25	0.38	2.03	0.40	3.05
14	0.43	2.35	2.86	2.33	0.39	2.09	0.41	3.11
$\hat{\sigma}_0$	0.85	4.74	5.77	4.57	0.77	4.12	0.81	6.28

由表中数据不难看出：

a. 当地面网中存在固定坐标方位角约束条件时(如 XG_{40} 、 XG_{31} 、 XG_{32} 、 XG_{22} 等方案),GPS 网点的坐标值变化很大,一般在 2~10 cm,最大为 16.7 cm,GPS 网点的精度明显降低,单位权中误差是约束条件平差前(D_0 方案)的 5 倍多.这说明本例中的坐标方位角约束条件存在较大误差,强制符合使 GPS 网产生扭曲或变形,丧失了 GPS 技术的高精度.所以,这些方位角不能作为固定约束条件参与平差.

b. 当地面网中只有边长约束条件(如 XG_{21} 和 XG_{11} 方案)时,约束条件的加入,对 GPS 网点的精度没有影响,但也没有明显的提高作用.这说明本例中边长约束条件的精度与 GPS 网的精度相当,加入与否对平差意义不大.

这个例子,一方面说明在 GPS 网中进行固定约束条件的序贯平差的方法;另一方面说明在高精度的 GPS 网中加入约束条件应慎重,弄不好可能造成不良后果.

4 结 论

a. 对地面网的约束条件采用序贯平差法,可以极大地减少计算工作量.而且,当约束条件的精度较低时,可以采用减少观测值的序贯平差公式,将该约束条件剔除掉,不必重新进行平差计算.

b. 在 GPS 网中加入与其精度不相匹配的约束条件,会使 GPS 网产生扭曲或变形.所以固定约束条件的加入应慎重.

c. 由于序贯平差有一套规律性很强的计算公式,因此,若要将 GPS 观测数据与地面网中常规观测值(如边长、方向等)进行联合平差时,也可采用该方法.但是应该注意两个问题:一要保证各次序贯平差的观测值之间的统计独立性;二要保证 GPS 观测值和常规观测值定权标准的一致性.

参 考 文 献

- 1 黄维彬.近代平差理论及其应用.北京:解放军出版社,1992.321~325
- 2 於宗侑.测量平差基础(修订本).北京:测绘出版社,1983.356~362
- 3 刘基余,李征航.GPS 卫星测量原理与应用.北京:测绘出版社,1992.226~228

Sequential Adjustment of Constraints in GPS and Geodetic Network

Gao Jingxiang Zhang Huahai

(China University of Mining and Technology, Xuzhou 221008)

Yu Xuexiang

(Huainan Institute of Technology, Huainan 232001)

Abstract The formulas of the fixed parameter sequential adjustment are deduced and the characteristics of this method are analysed. The sequential adjustment of constraints, such as fixed sides and fixed grid azimuths in the GPS and geodetic network is conducted. The influence of accuracies of the constraints on accuracies of the GPS network is discussed through an example.

Key words geodetic network; GPS network; constraints; sequential adjustment

· 简讯 ·

拥有信息资源,才能拥抱知识经济时代!

3000 种中英文社科、科技核心与专业特色期刊全文集成 40 万篇理论与应用学术文献按学科专业聚类

87 个专题数据库 96 张光盘,分别面向党、政、军、企、科、教、文、卫决策管理与教育科研

97《中国学术期刊(光盘版)·专题文献数据库》宣布发行

《中国学术期刊(光盘版)·专题文献数据库》是《中国学术期刊(光盘版)》的增刊,每年出版一期,第一期于 1997 年 1 月出版.订购专题文献数据库可联系索取详细资料.

中国学术期刊(光盘版)电子杂志社 通信地址 北京清华大学华业大厦 1319 邮编 100084

联系人 刘锦山 张颖 张益民 赵凤华 联系电话 (010) 62788946 62789720 传真 (010) 62771042

E-mail: CAJ-CD@tsinghua.edu.cn 网址: <http://www.cajcd.edu.cn>