

武汉大学研究生课程报告

课程名称:		现代测量数据处理理论	
教师姓名:		袁修孝	
学生姓名:		叶小川	
学生学号:		2022282140108	
学院	ក់: -	测 绘 学 院	
专 1	k: _	资源与环境	

二零二二年十二月

现代测量数据处理理论误差处理实践报告

1 概述

模拟的立体像对(f为100.5mm,摄影比例尺为1:25500,像点坐标量测中误差为+2.8um), 控制点三维坐标没有误差,查找存在粗差的点位并且估计粗差的大小。

2 算法原理

根据数据的特性和参考本课程的学习,拟采用连续相对定向法。

2.1 相对定向法思想

(1) 相对定向元素

相对定向(relative orientation)是指恢复象对在摄影时候的相对关系,也就是解算立体像对相对方位元素的工作,恢复两光束间相对方位的工作,使得同名光线对对相交^[1]。

(2) 共面条件方程式

一个立体模型实现正确相对定向示意图如图 1 所示,图中的 m_1, m_2 表示模型点M在左右两幅影像上的构像。

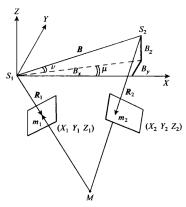


图 1 共面条件

 $S_1 m_1$, $S_2 m_2$ 表示一堆同名光线,它们与空间基线 $S_1 S_2$ 共面,这个平面可以用三个矢量的混合积表示:

$$B \cdot (R_1 \times R_2) = 0 \tag{1}$$

用坐标的形式表示为三阶行列式(2),即为共面条件方程式。

$$F = \begin{vmatrix} B_{x} & B_{y} & B_{z} \\ X_{1} & Y_{1} & Z_{1} \\ X_{2} & Y_{2} & Z_{2} \end{vmatrix} = 0$$
 (2)

2.2 连续像对相对定向

(1) 解算公式

连续像对相对定向通常假定左方影像是水平的或其他方位元素是已知的,可以把(2) 展开到一次项:

$$F = F_0 + \frac{\partial F}{\partial \varphi} d\varphi + \frac{\partial F}{\partial \omega} d\omega + \frac{\partial F}{\partial \kappa} d\kappa + \frac{\partial F}{\partial \mu} b_{\gamma} \cdot d\mu + \frac{\partial F}{\partial \nu} b_z \cdot d\nu = 0$$
(3)

其中 F_0 是用相对定向元素的近似值求出的, $d\varphi$ 等为相对定向待定参数的改正数。五个偏导数用微小旋转矩阵式表示之后可以表示为:

$$\begin{cases} Y_{1} = Y_{2} \\ Z_{1} = Z_{2} \\ X_{1} = X_{2} + \frac{B_{x}}{N'} \end{cases}$$
 (4)

其中, N'是投影系数,可以得到:

$$q = -\frac{X_2 Y_2}{Z_2} N' d\varphi - \left(Z_2 + \frac{Y_2^2}{Z_2} \right) N' d\omega + X_2 N' d\kappa + B_x d\mu - \frac{Y_2}{Z_2} B_x dv$$
 (5)

(2) 解算过程

式 (5) 中有 5 个未知数,因此至少需要量测 5 对同名像对的像点坐标,有多余观测值的时候将 q 视为观测值,可以得到误差公式:

$$v_{q} = -\frac{X_{2}Y_{2}}{Z_{2}}N'd\varphi - \left(Z_{2} + \frac{Y_{2}^{2}}{Z_{2}}\right)N'd\omega + X_{2}N'd\kappa + B_{x}d\mu - \frac{Y_{2}}{Z_{2}}B_{x}dv - q$$
 (6)

3 算法实现

采用 C++实现,引入 Eigen 库

3.1 数据读取及输入

从 dat 文件中读取相点坐标内方位元素等

3.2 解算法方程

进行法方程的计算

3.3 解算改正值和估值

改正值:

$$\hat{X} = (A^T P A)^{-1} A^T P L \tag{7}$$

3.4 判断改正值是否小于限差

如果大于限差,改正未知数重新进行步骤 3.2,如果小于限差则直接输出结果[2]。

4 实验结果

序号	点号	粗差
1	81	91.2321
2	220	19. 1123
3	235	42. 5821
4	330	49. 3823
5	452	65. 2122
6	502	39. 1256

8 874 33,5068 9 1078 96,5401 10 1130 85,8116 11 1252 85,3634 12 1276 41,3306 13 1340 52,9206 14 1505 57,8403 15 1832 67,0305 16 2316 31,5946 17 2666 28,1936 18 2844 62,7248 19 3077 42,8454 20 3107 32,2633 21 3567 81,7237 22 3567 75,6976 23 3808 18,8321 24 3878 93,8189 25 3914 58,6753 26 4017 59,7175 27 4036 56,9016 28 4553 95,0568 29 4606 42,6973 30 4641 99,0518 31 4976 95,2892 32 4986 24,3412 33	7	821	73.9074
10 1130 85.8116 11 1252 85.3634 12 1276 41.3306 13 1340 52.9206 14 1505 57.8403 15 1832 67.0305 16 2316 31.5946 17 2666 28.1936 18 2844 62.7248 19 3077 42.8454 20 3107 32.2633 21 3567 81.7237 22 3567 75.6976 23 3808 18.8321 24 3878 93.8189 25 3914 58.6753 26 4017 59.7175 27 4036 56.9016 28 4553 95.0568 29 4606 42.6973 30 4641 99.0518 31 4976 95.2892 32 4986 24.3412 33 5211 100	8	874	33. 5068
11 1252 85. 3634 12 1276 41. 3306 13 1340 52. 9206 14 1505 57. 8403 15 1832 67. 0305 16 2316 31. 5946 17 2666 28. 1936 18 2844 62. 7248 19 3077 42. 8454 20 3107 32. 2633 21 3567 81. 7237 22 3567 75. 6976 23 3808 18. 8321 24 3878 93. 8189 25 3914 58. 6753 26 4017 59. 7175 27 4036 56. 9016 28 4553 95. 0568 29 4606 42. 6973 30 4641 99. 0518 31 4976 95. 2892 32 4986 24. 3412 33 5211 100. 4265 34 5	9	1078	96. 5401
12 1276 41. 3306 13 1340 52. 9206 14 1505 57. 8403 15 1832 67. 0305 16 2316 31. 5946 17 2666 28. 1936 18 2844 62. 7248 19 3077 42. 8454 20 3107 32. 2633 21 3567 81. 7237 22 3567 75. 6976 23 3808 18. 8321 24 3878 93. 8189 25 3914 58. 6753 26 4017 59. 7175 27 4036 56. 9016 28 4553 95. 0568 29 4606 42. 6973 30 4641 99. 0518 31 4976 95. 2892 32 4986 24. 3412 33 5211 100. 4265 34 5732 56. 3565 35 5777 42. 3411 36 5918 35. 0516	10	1130	85. 8116
13 1340 52. 9206 14 1505 57. 8403 15 1832 67. 0305 16 2316 31. 5946 17 2666 28. 1936 18 2844 62. 7248 19 3077 42. 8454 20 3107 32. 2633 21 3567 81. 7237 22 3567 75. 6976 23 3808 18. 8321 24 3878 93. 8189 25 3914 58. 6753 26 4017 59. 7175 27 4036 56. 9016 28 4553 95. 0568 29 4606 42. 6973 30 4641 99. 0518 31 4976 95. 2892 32 4986 24. 3412 33 5211 100. 4265 34 5732 56. 3565 35 5777 42. 3411 36 5	11	1252	85. 3634
14 1505 57.8403 15 1832 67.0305 16 2316 31.5946 17 2666 28.1936 18 2844 62.7248 19 3077 42.8454 20 3107 32.2633 21 3567 81.7237 22 3567 75.6976 23 3808 18.8321 24 3878 93.8189 25 3914 58.6753 26 4017 59.7175 27 4036 56.9016 28 4553 95.0568 29 4606 42.6973 30 4641 99.0518 31 4976 95.2892 32 4986 24.3412 33 5211 100.4265 34 5732 56.3565 35 5777 42.3411 36 5918 35.0516 37 5947 89	12	1276	41. 3306
15 1832 67. 0305 16 2316 31. 5946 17 2666 28. 1936 18 2844 62. 7248 19 3077 42. 8454 20 3107 32. 2633 21 3567 81. 7237 22 3567 75. 6976 23 3808 18. 8321 24 3878 93. 8189 25 3914 58. 6753 26 4017 59. 7175 27 4036 56. 9016 28 4553 95. 0568 29 4606 42. 6973 30 4641 99. 0518 31 4976 95. 2892 32 4986 24. 3412 33 5211 100. 4265 34 5732 56. 3565 35 5777 42. 3411 36 5918 35. 0516 37 5947 89. 6993 38 6	13	1340	52. 9206
16 2316 31.5946 17 2666 28.1936 18 2844 62.7248 19 3077 42.8454 20 3107 32.2633 21 3567 81.7237 22 3567 75.6976 23 3808 18.8321 24 3878 93.8189 25 3914 58.6753 26 4017 59.7175 27 4036 56.9016 28 4553 95.0568 29 4606 42.6973 30 4641 99.0518 31 4976 95.2892 32 4986 24.3412 33 5211 100.4265 34 5732 56.3565 35 5777 42.3411 36 5918 35.0516 37 5947 89.6993 38 6133 35.3394 39 6412 82.3587 40 6463 36.8845 41	14	1505	57.8403
17 2666 28. 1936 18 2844 62. 7248 19 3077 42. 8454 20 3107 32. 2633 21 3567 81. 7237 22 3567 75. 6976 23 3808 18. 8321 24 3878 93. 8189 25 3914 58. 6753 26 4017 59. 7175 27 4036 56. 9016 28 4553 95. 0568 29 4606 42. 6973 30 4641 99. 0518 31 4976 95. 2892 32 4986 24. 3412 33 5211 100. 4265 34 5732 56. 3565 35 5777 42. 3411 36 5918 35. 0516 37 5947 89. 6993 38 6133 35. 3394 39 6412 82. 3587 40 6463 36. 8845 41 6527 27. 6581	15	1832	67. 0305
18 2844 62. 7248 19 3077 42. 8454 20 3107 32. 2633 21 3567 81. 7237 22 3567 75. 6976 23 3808 18. 8321 24 3878 93. 8189 25 3914 58. 6753 26 4017 59. 7175 27 4036 56. 9016 28 4553 95. 0568 29 4606 42. 6973 30 4641 99. 0518 31 4976 95. 2892 32 4986 24. 3412 33 5211 100. 4265 34 5732 56. 3565 35 5777 42. 3411 36 5918 35. 0516 37 5947 89. 6993 38 6133 35. 3394 40 6463 36. 8845 41 6527 27. 6581 42 6612 69. 4206 43 6658 60. 5126	16	2316	31. 5946
19 3077 42.8454 20 3107 32.2633 21 3567 81.7237 22 3567 75.6976 23 3808 18.8321 24 3878 93.8189 25 3914 58.6753 26 4017 59.7175 27 4036 56.9016 28 4553 95.0568 29 4606 42.6973 30 4641 99.0518 31 4976 95.2892 32 4986 24.3412 33 5211 100.4265 34 5732 56.3565 35 5777 42.3411 36 5918 35.0516 37 5947 89.6993 38 6133 35.3394 39 6412 82.3587 40 6463 36.8845 41 6527 27.6581 42 6612 69.4206 43 6658 60.5126 44	17	2666	28. 1936
20 3107 32.2633 21 3567 81.7237 22 3567 75.6976 23 3808 18.8321 24 3878 93.8189 25 3914 58.6753 26 4017 59.7175 27 4036 56.9016 28 4553 95.0568 29 4606 42.6973 30 4641 99.0518 31 4976 95.2892 32 4986 24.3412 33 5211 100.4265 34 5732 56.3565 35 5777 42.3411 36 5918 35.0516 37 5947 89.6993 38 6133 35.3394 39 6412 82.3587 40 6463 36.8845 41 6527 27.6581 42 6612 69.4206 43 6658 60.5126 44 6737 52.4738 45	18	2844	62. 7248
21 3567 81.7237 22 3567 75.6976 23 3808 18.8321 24 3878 93.8189 25 3914 58.6753 26 4017 59.7175 27 4036 56.9016 28 4553 95.0568 29 4606 42.6973 30 4641 99.0518 31 4976 95.2892 32 4986 24.3412 33 5211 100.4265 34 5732 56.3565 35 5777 42.3411 36 5918 35.0516 37 5947 89.6993 38 6133 35.3394 39 6412 82.3587 40 6463 36.8845 41 6527 27.6581 42 6612 69.4206 43 6658 60.5126 44 6737 52.4738 45 6894 40.3166 46	19	3077	42.8454
22 3567 75.6976 23 3808 18.8321 24 3878 93.8189 25 3914 58.6753 26 4017 59.7175 27 4036 56.9016 28 4553 95.0568 29 4606 42.6973 30 4641 99.0518 31 4976 95.2892 32 4986 24.3412 33 5211 100.4265 34 5732 56.3565 35 5777 42.3411 36 5918 35.0516 37 5947 89.6993 38 6133 35.3394 39 6412 82.3587 40 6463 36.8845 41 6527 27.6581 42 6612 69.4206 43 6658 60.5126 44 6737 52.4738 45 6894 40.3166 46 7042 79.4758	20	3107	32. 2633
23 3808 18.8321 24 3878 93.8189 25 3914 58.6753 26 4017 59.7175 27 4036 56.9016 28 4553 95.0568 29 4606 42.6973 30 4641 99.0518 31 4976 95.2892 32 4986 24.3412 33 5211 100.4265 34 5732 56.3565 35 5777 42.3411 36 5918 35.0516 37 5947 89.6993 38 6133 35.3394 39 6412 82.3587 40 6463 36.8845 41 6527 27.6581 42 6612 69.4206 43 6658 60.5126 44 6737 52.4738 45 6894 40.3166 46 7042 79.4758	21	3567	81. 7237
24 3878 93.8189 25 3914 58.6753 26 4017 59.7175 27 4036 56.9016 28 4553 95.0568 29 4606 42.6973 30 4641 99.0518 31 4976 95.2892 32 4986 24.3412 33 5211 100.4265 34 5732 56.3565 35 5777 42.3411 36 5918 35.0516 37 5947 89.6993 38 6133 35.3394 39 6412 82.3587 40 6463 36.8845 41 6527 27.6581 42 6612 69.4206 43 6658 60.5126 44 6737 52.4738 45 6894 40.3166 46 7042 79.4758	22	3567	75.6976
25 3914 58.6753 26 4017 59.7175 27 4036 56.9016 28 4553 95.0568 29 4606 42.6973 30 4641 99.0518 31 4976 95.2892 32 4986 24.3412 33 5211 100.4265 34 5732 56.3565 35 5777 42.3411 36 5918 35.0516 37 5947 89.6993 38 6133 35.3394 39 6412 82.3587 40 6463 36.8845 41 6527 27.6581 42 6612 69.4206 43 6658 60.5126 44 6737 52.4738 45 6894 40.3166 46 7042 79.4758	23	3808	18.8321
26 4017 59.7175 27 4036 56.9016 28 4553 95.0568 29 4606 42.6973 30 4641 99.0518 31 4976 95.2892 32 4986 24.3412 33 5211 100.4265 34 5732 56.3565 35 5777 42.3411 36 5918 35.0516 37 5947 89.6993 38 6133 35.3394 39 6412 82.3587 40 6463 36.8845 41 6527 27.6581 42 6612 69.4206 43 6658 60.5126 44 6737 52.4738 45 6894 40.3166 46 7042 79.4758	24	3878	93.8189
27 4036 56. 9016 28 4553 95. 0568 29 4606 42. 6973 30 4641 99. 0518 31 4976 95. 2892 32 4986 24. 3412 33 5211 100. 4265 34 5732 56. 3565 35 5777 42. 3411 36 5918 35. 0516 37 5947 89. 6993 38 6133 35. 3394 39 6412 82. 3587 40 6463 36. 8845 41 6527 27. 6581 42 6612 69. 4206 43 6658 60. 5126 44 6737 52. 4738 45 6894 40. 3166 46 7042 79. 4758	25	3914	58.6753
28 4553 95.0568 29 4606 42.6973 30 4641 99.0518 31 4976 95.2892 32 4986 24.3412 33 5211 100.4265 34 5732 56.3565 35 5777 42.3411 36 5918 35.0516 37 5947 89.6993 38 6133 35.3394 39 6412 82.3587 40 6463 36.8845 41 6527 27.6581 42 6612 69.4206 43 6658 60.5126 44 6737 52.4738 45 6894 40.3166 46 7042 79.4758	26	4017	59.7175
29 4606 42.6973 30 4641 99.0518 31 4976 95.2892 32 4986 24.3412 33 5211 100.4265 34 5732 56.3565 35 5777 42.3411 36 5918 35.0516 37 5947 89.6993 38 6133 35.3394 39 6412 82.3587 40 6463 36.8845 41 6527 27.6581 42 6612 69.4206 43 6658 60.5126 44 6737 52.4738 45 6894 40.3166 46 7042 79.4758	27	4036	56. 9016
30 4641 99.0518 31 4976 95.2892 32 4986 24.3412 33 5211 100.4265 34 5732 56.3565 35 5777 42.3411 36 5918 35.0516 37 5947 89.6993 38 6133 35.3394 39 6412 82.3587 40 6463 36.8845 41 6527 27.6581 42 6612 69.4206 43 6658 60.5126 44 6737 52.4738 45 6894 40.3166 46 7042 79.4758	28	4553	95.0568
31 4976 95. 2892 32 4986 24. 3412 33 5211 100. 4265 34 5732 56. 3565 35 5777 42. 3411 36 5918 35. 0516 37 5947 89. 6993 38 6133 35. 3394 39 6412 82. 3587 40 6463 36. 8845 41 6527 27. 6581 42 6612 69. 4206 43 6658 60. 5126 44 6737 52. 4738 45 6894 40. 3166 46 7042 79. 4758	29	4606	42.6973
32 4986 24.3412 33 5211 100.4265 34 5732 56.3565 35 5777 42.3411 36 5918 35.0516 37 5947 89.6993 38 6133 35.3394 39 6412 82.3587 40 6463 36.8845 41 6527 27.6581 42 6612 69.4206 43 6658 60.5126 44 6737 52.4738 45 6894 40.3166 46 7042 79.4758	30	4641	99.0518
33 5211 100. 4265 34 5732 56. 3565 35 5777 42. 3411 36 5918 35. 0516 37 5947 89. 6993 38 6133 35. 3394 39 6412 82. 3587 40 6463 36. 8845 41 6527 27. 6581 42 6612 69. 4206 43 6658 60. 5126 44 6737 52. 4738 45 6894 40. 3166 46 7042 79. 4758	31	4976	95. 2892
34 5732 56. 3565 35 5777 42. 3411 36 5918 35. 0516 37 5947 89. 6993 38 6133 35. 3394 39 6412 82. 3587 40 6463 36. 8845 41 6527 27. 6581 42 6612 69. 4206 43 6658 60. 5126 44 6737 52. 4738 45 6894 40. 3166 46 7042 79. 4758	32	4986	24. 3412
35 5777 42. 3411 36 5918 35. 0516 37 5947 89. 6993 38 6133 35. 3394 39 6412 82. 3587 40 6463 36. 8845 41 6527 27. 6581 42 6612 69. 4206 43 6658 60. 5126 44 6737 52. 4738 45 6894 40. 3166 46 7042 79. 4758	33	5211	100. 4265
36 5918 35.0516 37 5947 89.6993 38 6133 35.3394 39 6412 82.3587 40 6463 36.8845 41 6527 27.6581 42 6612 69.4206 43 6658 60.5126 44 6737 52.4738 45 6894 40.3166 46 7042 79.4758	34	5732	56. 3565
37 5947 89. 6993 38 6133 35. 3394 39 6412 82. 3587 40 6463 36. 8845 41 6527 27. 6581 42 6612 69. 4206 43 6658 60. 5126 44 6737 52. 4738 45 6894 40. 3166 46 7042 79. 4758	35	5777	42. 3411
38 6133 35.3394 39 6412 82.3587 40 6463 36.8845 41 6527 27.6581 42 6612 69.4206 43 6658 60.5126 44 6737 52.4738 45 6894 40.3166 46 7042 79.4758	36	5918	35.0516
39 6412 82. 3587 40 6463 36. 8845 41 6527 27. 6581 42 6612 69. 4206 43 6658 60. 5126 44 6737 52. 4738 45 6894 40. 3166 46 7042 79. 4758	37	5947	89.6993
40 6463 36. 8845 41 6527 27. 6581 42 6612 69. 4206 43 6658 60. 5126 44 6737 52. 4738 45 6894 40. 3166 46 7042 79. 4758	38	6133	35. 3394
41 6527 27.6581 42 6612 69.4206 43 6658 60.5126 44 6737 52.4738 45 6894 40.3166 46 7042 79.4758	39	6412	82. 3587
42 6612 69. 4206 43 6658 60. 5126 44 6737 52. 4738 45 6894 40. 3166 46 7042 79. 4758	40	6463	36. 8845
43 6658 60.5126 44 6737 52.4738 45 6894 40.3166 46 7042 79.4758	41	6527	27. 6581
44 6737 52. 4738 45 6894 40. 3166 46 7042 79. 4758	42	6612	69. 4206
45 6894 40.3166 46 7042 79.4758	43	6658	60. 5126
46 7042 79.4758	44	6737	52. 4738
	45	6894	40.3166
47 7053 21.2022	46	7042	79. 4758
	47	7053	21. 2022

48	7089	42.9935
49	7243	57. 5833
50	7362	83. 7944
51	7446	73.8698
52	8937	71. 9389

5 实验总结

针对于 3 张影像,选取了相对定向方法进行计算,该方法易于理解,可以较为方便进行计算,算得有误差的点位,实践了课程所学。其次在查找资料的过程中发现光束法平差针对这个场景也比较适用,但是程序实现有一定难度,涉及到最小二乘多项式的计算,平差结果一直不理想,故只提交了相对定向方法的结果,后续还会继续进行改进。

参考文献

- [1] 张军, 赵淑湘. 摄影测量与遥感技术[M]. Beijing Book Co. Inc., 2015.
- [2] 广义测量平差[M]. 武汉大学出版社, 2009[2022-12-11].