

附加随机模型的三维控制场平差处理

任超锋^{1,2} 林宗坚^{1,2} 李国胜³

(1. 武汉大学 遥感信息工程学院 湖北 武汉 430079; 2. 中国测绘科学研究院 北京 100039;
3. 中国矿业大学 环境与测绘学院 江苏 徐州 221116)

Additional Dynamic Stochastic Model Adjustment in 3D Control Field

REN Chaofeng, LIN Zongjian, LI Guosheng

摘要:室内三维控制场是组合宽角相机检校的场所。在布设控制场过程中,需要进行坐标相似变换。深入分析 Bursa 模型的参数,提出一种顾及观测偏角的随机模型参与平差,可将控制场整体精度提高 10%。从结果分析可知,室内控制场坐标转换模型尺度系数对转换结果基本没有影响,可以省略。

关键词:三维控制场; 坐标相似变换; Bursa 模型; 相机检校; 组合宽角相机

一、引言

目前,无人机低空航测遥感系统在我国精细测绘、应急测绘、国土资源监测等方面的应用已逐渐展开。其系统一般包括飞行平台、成像系统、数据处理软件 3 部分。而成像系统则主要有以下几种组合:单相机、双相机和四相机^[1],其中双相机和四相机通称为组合相机。由于具有扩大面阵传感器容量及可以形成组合宽角视场等优势,组合宽角相机具有更广阔的应用前景。成像系统采用的相机均为普通非量测数码相机,常因工程要求变化而需更换不同型号、不同焦距的镜头,内部参数稳定性较差^[2-3],使用之前需要检校。因此,建立三维控制场是无人机低空航测遥感系统必不可少的一部分。

三维控制场分为室内和室外两种。室外控制场精度较高,但布设困难、维护成本高,且使用不便。因此,研究布设室内三维控制场具有很大的实际使用价值。本文从布设室内三维控制场遇到的坐标相似变换问题出发,提出一种适用的平差随机模型。同时,对比坐标变换尺度系数对结果的影响,以提高室内三维控制场的精度。

二、布设室内三维控制场

室内三维控制场,是室内建立的三维控制系统,系统内按一定规律布设一组已知空间坐标的控制标志^[4]。由于组合相机,尤其是四相机组合相机,其可视角较大,如图 1 所示,因此控制场应布

为多侧用室内三维控制场,即控制点布设在多侧墙面上。如图 2 所示。

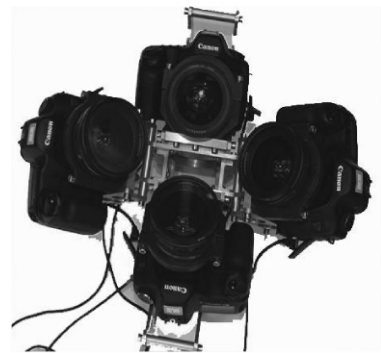


图 1 四相机组合宽角相机系统

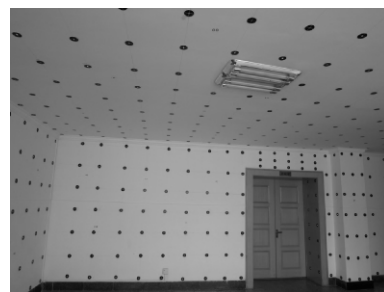


图 2 室内三维控制场

一般全站仪都具有一定的可观测角,而在一测站之内,无法观测到布设在全站仪正上方的部分控制点。因此,需要观测至少两个测站才能观测到所有控制点。对于多个测站观测到的控制点需要进行坐标相似变换,将观测结果换算到统一的坐标系

收稿日期: 2010-10-13

基金项目: 国家 863 计划资助项目(2008AA121305)

作者简介: 任超锋(1984—),男,陕西潼关人,博士生,主要研究方向为低空摄影测量。

中。所以 在后一个测站需要观测一定数量的同名点 用以坐标解算。

三、坐标相似变换函数模型

将不同坐标系统一到同一坐标基准称为坐标相似变换。本文采用最通用的 Bursa 模型。Bursa 模型具有 7 个参数,包含 3 个平移参数、3 个旋转参数和 1 个尺度参数^[5-6],可以用式(1)表示

$$\begin{bmatrix} X_A \\ Y_A \\ Z_A \end{bmatrix} = \lambda \begin{bmatrix} a_1 & a_2 & a_3 \\ b_1 & b_2 & b_3 \\ c_1 & c_2 & c_3 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_B \\ Y_B \\ Z_B \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \Delta X \\ \Delta Y \\ \Delta Z \end{bmatrix} \quad (1)$$

式中 (X_A, Y_A, Z_A) 为测站 A 观测到的控制点坐标; (X_B, Y_B, Z_B) 为测站 B 观测到的控制点坐标; λ 为比例尺缩放系数; a_i, b_i, c_i 是角元素 φ, ω, κ 的函数组成的旋转矩阵,该矩阵定义为 R ; $(\Delta X, \Delta Y, \Delta Z)$ 为坐标原点的平移量。

空间相似变换式(1)为多元非线性函数,将其按泰勒公式展开,保留到一次项^[1],则有

$$F = F_0 + \frac{\partial F}{\partial \lambda} d\lambda + \frac{\partial F}{\partial \varphi} d\varphi + \frac{\partial F}{\partial \omega} d\omega + \frac{\partial F}{\partial \kappa} d\kappa + \frac{\partial F}{\partial \Delta X} d\Delta X + \frac{\partial F}{\partial \Delta Y} d\Delta Y + \frac{\partial F}{\partial \Delta Z} d\Delta Z \quad (2)$$

将式(2)列成误差方程式为

$$\begin{bmatrix} v_x \\ v_y \\ v_z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\partial X}{\partial \Delta X} & \frac{\partial X}{\partial \Delta Y} & \frac{\partial X}{\partial \Delta Z} & \frac{\partial X}{\partial \varphi} & \frac{\partial X}{\partial \omega} & \frac{\partial X}{\partial \kappa} & \frac{\partial X}{\partial \lambda} \\ \frac{\partial Y}{\partial \Delta X} & \frac{\partial Y}{\partial \Delta Y} & \frac{\partial Y}{\partial \Delta Z} & \frac{\partial Y}{\partial \varphi} & \frac{\partial Y}{\partial \omega} & \frac{\partial Y}{\partial \kappa} & \frac{\partial Y}{\partial \lambda} \\ \frac{\partial Z}{\partial \Delta X} & \frac{\partial Z}{\partial \Delta Y} & \frac{\partial Z}{\partial \Delta Z} & \frac{\partial Z}{\partial \varphi} & \frac{\partial Z}{\partial \omega} & \frac{\partial Z}{\partial \kappa} & \frac{\partial Z}{\partial \lambda} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} d\Delta X \\ d\Delta Y \\ d\Delta Z \\ d\varphi \\ d\omega \\ d\kappa \\ d\lambda \end{bmatrix} \quad (3)$$

由于多个测站观测的同名点相同,所以在室内三维控制场坐标相似变换中,可以省略掉比例尺缩放系数 λ 。则误差方程变为

$$\begin{bmatrix} v_x \\ v_y \\ v_z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\partial X}{\partial \Delta X} & \frac{\partial X}{\partial \Delta Y} & \frac{\partial X}{\partial \Delta Z} & \frac{\partial X}{\partial \varphi} & \frac{\partial X}{\partial \omega} & \frac{\partial X}{\partial \kappa} \\ \frac{\partial Y}{\partial \Delta X} & \frac{\partial Y}{\partial \Delta Y} & \frac{\partial Y}{\partial \Delta Z} & \frac{\partial Y}{\partial \varphi} & \frac{\partial Y}{\partial \omega} & \frac{\partial Y}{\partial \kappa} \\ \frac{\partial Z}{\partial \Delta X} & \frac{\partial Z}{\partial \Delta Y} & \frac{\partial Z}{\partial \Delta Z} & \frac{\partial Z}{\partial \varphi} & \frac{\partial Z}{\partial \omega} & \frac{\partial Z}{\partial \kappa} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} d\Delta X \\ d\Delta Y \\ d\Delta Z \\ d\varphi \\ d\omega \\ d\kappa \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} d\Delta X \\ d\Delta Y \\ d\Delta Z \\ d\varphi \\ d\omega \\ d\kappa \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} l_x \\ l_y \\ l_z \end{bmatrix} \quad (4)$$

式(3)与式(4)可写为

$$V = AX - L \quad (5)$$

式中 L 为常数矩阵

$$L = \begin{bmatrix} X_A \\ Y_A \\ Z_A \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} \Delta X \\ \Delta Y \\ \Delta Z \end{bmatrix} - \lambda R \begin{bmatrix} X_B \\ Y_B \\ Z_B \end{bmatrix} \quad (6)$$

式(5)即为坐标相似变换平差处理的数学模型。

四、坐标相似变换随机模型

通常作平差处理时,随机模型 P 一般定义为单位矩阵 I ,认为所有观测点具有相等的精度,赋以相等的权值。但在室内观测时,由于观测点距测站较近,且控制点中心一般贴有反射片,使得观测位于边缘处的控制点时,全站仪十字丝无法精确卡准控制点中心。因此,定义一个合适的随机模型,赋予处于控制场边缘的控制点一个较小的权值,参与平差,可以提高三维控制场的整体精度。由图 3 可知, A 点为测站 B 点为控制点, C 点为测站 A 在墙面的垂点。AC 与 AB 之间的夹角为 α 。

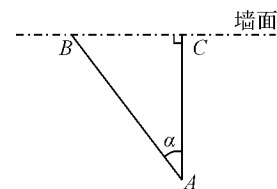


图 3

因此,可以定义随机模型

$$P = \begin{bmatrix} P_x \\ P_y \\ P_z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \alpha \\ \cos \alpha \\ \cos \alpha \end{bmatrix} \quad (7)$$

当夹角 α 等于 90° 时,可以认为观测点处于无穷远处,其权值为 0;当夹角 α 等于 0° 时,认为观测点无误差,其权值为 1。

五、试验结果分析

三维室内控制场采用徕卡 TS06 全站仪测量控制点,共布设两个测站,量测了 14 对同名点用于坐标相似变换解算。根据式(5)和式(7)所定义的平差

模型按照间接平差方法进行最小二乘平差,处理结果如表1所示。

表1 坐标相似变换模型参数及精度

	考虑尺度系数 λ		不考虑尺度系数 λ	
	不考虑偏角	考虑偏角	不考虑偏角	考虑偏角
ΔX	-70.484 445 181 03	-70.486 869 378 651	-70.487 567 469 731	-70.489 843 887 280 7
ΔY	-27.934 967 523 323 1	-27.931 559 459 015 7	-27.936 950 545 017 3	-27.933 504 673 259 5
ΔZ	-9.995 946 630 838 23	-9.995 513 610 437 01	-9.996 495 521 278 08	-9.996 051 654 535 9
φ	5.567 862 488 857 05E-06	-2.461 980 050 997 71E-06	5.567 862 488 917 04E-06	-2.461 980 050 761 34E-06
ω	-1.186 851 103 729 71E-05	-5.154 213 618 346 37E-06	-1.186 851 103 788 46E-05	-5.154 213 618 214 8E-06
κ	-0.191 283 398 107 668	-0.191 310 404 702 887	-0.191 283 398 107 669	-0.191 310 404 702 886
λ	0.999 974 843 321 19	0.999 975 269 680 574	1	1
中误差 σ	$\pm 0.000 726 496 790 649 201$	$\pm 0.000 648 942 984 399 438$	$\pm 0.000 718 966 869 250 022$	$\pm 0.000 642 030 215 058 21$

从结果分析可知,加入考虑偏角的随机模型参加平差可以将三维控制场整体精度提高约10%。从图4、图5中可明显看出,考虑偏角的随机模型对单点中误差也有一定程度的抑制,但不是很明显。这说明布设室内三维控制场时,观测角对观测精度影响有限。另外,从表1也可看到,布设室内三维控制场时,坐标系尺度系数 λ 对平差结果几乎没有影响。这主要是由于两测站观测的控制点在同一尺度空间内。因此,在实际处理这类问题时,可以使用简化的Bursa模型,即不考虑尺度系数 λ 的六参数模型。

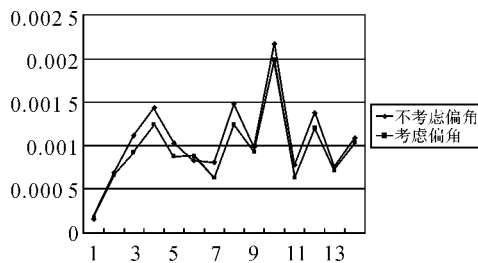


图4 考虑 λ 时同名点单点中误差

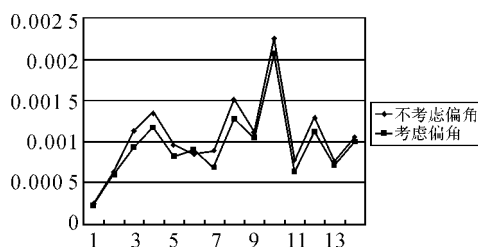


图5 不考虑 λ 时同名点单点中误差

六、结束语

本文对布设三维室内控制场中遇到的坐标相似变换问题进行了分析,提出一种实用、有效的随机模型参与平差,对控制场精度有一定程度的提高。另外,在对结果的分析中得出,布设室内控制场时,无需考虑坐标系尺度系数 λ ,它对控制场整体精度基本没有影响。

参考文献:

- [1] 彭晓东,林宗坚.无人飞艇低空航测系统[J].测绘科学,2009,34(4):11-15.
- [2] 彭晓东,林宗坚,解菲菲.基于单位四元数的数码相机检校[J].测绘科学,2009,34(6):7-10.
- [3] 崔红霞.无人机低空数码摄影测量系统研究[D].武汉:武汉大学,2006.
- [4] 冯文灏.近景摄影测量[M].武汉:武汉大学出版社,2002.
- [5] 陈廷武,段红志,朱照荣.坐标相似变换模型的探讨[J].北京测绘,2008(4):18-19.
- [6] 张剑清,潘励,王树根.摄影测量学[M].武汉:武汉大学出版社,2003:34-35.