

数字航空摄影测量的相机检校

张建霞^{1,2,3},王留召^{2,3,4},刘先林³,李天子^{2,3},郭辉^{2,3}

(1. 西安科技大学,陕西 西安 710054; 2. 河南理工大学,河南 焦作 454001; 3. 中国测绘科学研究院,北京 100039; 4. 昆明理工大学,云南 昆明 690053)

Camera Calibration for Digital Air Survey

ZHANG Jian-xia, WANG Liu-zhao, LIU Xian-lin, LI Tian-zi, GUO Hui

摘要:介绍数字航空摄影测量中数字相机检校的理论与方法,主要包括检校场的建立、检校的数学模型及解算和检校结果的验证等内容。通过实例验证与分析得出结论,为数字航空摄影测量系统研究的后续工作提供基础性的保证。

关键词:数字影像;相机检校;检校参数;航空摄影测量

一、引言

目前国内航空摄影测量仍然大量使用进口的模拟航空摄影相机,不仅价格昂贵,要使用胶片,还要用昂贵的仪器进行胶片影像数字化,而且胶片动态范围小(6~7 bit),航摄质量低,测图周期长,影响整个行业进步。另外,近几年国家每年有1亿多元的航空摄影任务,以国家、集体,甚至个人等形式的航摄队伍,都难以完成,只有发展新的数字航空摄影测量系统,才能适应这一需要。航空摄影用数字相机是数字航空摄影测量的关键设备,而数字相机不是专门为摄影测量设计的,是非量测相机,其内方位元素无法直接测定,也存在较大的光学畸变差。因此,数字相机的严格检校是数字航空摄影测量的基础性工作之一。

二、数字相机检校

1. 数字相机及其检校

数字相机是由传统相机演变而来,仍使用传统的光学系统,只是图像信息的载体发生了变化,在原有胶片的位置换上了 CCD 芯片。景物光信号通过 CCD 转换为电信号,再由模数转换形成数字影像。数字相机检校的目的是恢复影像光束的正确形状,即通过检校获取影像的内方位元素和各项畸变系数。

2. 数字相机检校内容及误差来源分析

数字相机的检校内容包括主点位置 (x_0, y_0) 的测定;主距 (f) 的测定;光学畸变系数的测定。数字相机的误差由光学误差、电学误差和机械误差组成。

光学误差主要是指光学畸变误差,即指相机物镜系统制作、装配引起的像点偏离其理想位置的点位误差,它分为径向畸变差和偏心畸变差两类;电学误差主要包括行同步误差、场同步误差和采样误差;机械误差是指从光学镜头拍摄的影像转化到数字化阵列影像所产生的误差,主要由以下两个因素引起:①扫描阵列不平行于光学影像,致使数字化影像相对于光学影像有旋转;②每个阵列元素尺寸不同而产生不均匀变形。

3. 数字相机检校的数学模型

本检校是一种基于空间后方交会的检校方法。它以共线方程为基础,以像点坐标作为观测值,解求相机内外方位元素、畸变系数以及其他附加参数的检校方法。顾及改正项的共线方程式为

$$\begin{aligned} &(x - x_0) + \Delta x = \\ &-f \frac{a_1(X - X_S) + b_1(Y - Y_S) + c_1(Z - Z_S)}{a_3(X - X_S) + b_3(Y - Y_S) + c_3(Z - Z_S)} \\ &(y - y_0) + \Delta y = \\ &-f \frac{a_2(X - X_S) + b_2(Y - Y_S) + c_2(Z - Z_S)}{a_3(X - X_S) + b_3(Y - Y_S) + c_3(Z - Z_S)} \end{aligned} \quad (1)$$

以像点坐标为观测值,可列出误差方程式

$$V = AX_E + BX_I + CX_{AD} - L \quad (2)$$

式中, X_E 表示影像外方位元素; X_I 表示影像内方位元素; X_{AD} 表示一些附加参数,主要包括光学畸变改正项。

三、检校实例

1. 概述

本次数字相机检校的数学模型解算引进了墨尔本

本大学的 Australis 软件,像点定位和检校数学解算都由该软件完成。采用的数字相机,其分辨率为 4 K×4 K,标称焦距为 50 mm,影像以 DCR 格式存储输出。检校建立了室外检校场,在某家属楼立面布设了数百个间隔为 1.5~2.5 m 的控制点标志;该楼高约 30 m,宽约为 100 m,墙体有电梯、走廊和凹槽,构成了前后四个层次的立体结构。控制点标志采用黑色的铝片做成,为了提高控制点坐标的获取效率,创造性地在铝片中间粘贴了全站仪棱镜反光片,其标志具体制作见图 1。

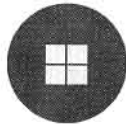


图 1 检校场控制点标志

2. 检校及结果

在不同位置、不同高度和不同角度共拍摄了 72 张影像。为以后作为航空相机使用,拍摄距离在

40 m 以外,与焦距相比,可视为无穷远,获取的影像能充满像幅(见图 2)。利用 Australis 软件作数学解算时,将 72 张影像按拍摄的方位规律地分为 3 组,每组 24 张影像。经检校,所得相机各项参数数值稳定,精度高,内方位元素的检校精度达到微米级,部分数据见表 1。



图 2 检校影像

表 1 主要参数检校结果

影像组	f/mm	x ₀ /mm	y ₀ /mm	κ ₁	κ ₂	κ ₃
1	52.090	0.185 66	0.486 42	2.517 9E-5	-9.369 6E-9	-2.228 1E-12
2	52.094	0.184 63	0.484 65	2.552 5E-5	-1.001 4E-8	-1.946 6E-12
3	52.091	0.187 74	0.486 15	2.537 4E-5	-9.688 6E-9	-2.091 8E-12
均值	52.091 7	0.186 01	0.485 74	2.535 9E-5	-9.690 7E-9	-2.088 8E-12

3. 检校可靠性验证

为验证检校参数的可靠性,利用该相机作了近景立体摄影测量,设置了 60 个控制点。利用上述数

字相机的检校结果,经摄影测量数学解算,所得结果精度高,达到毫米级精度,表明该数字相机的检校结果正确可靠,部分示例数据见表 2。

表 2 近景立体摄影测量结果

点号	原始坐标/m			近景摄影测量坐标/m			坐标较差/mm		
	X	Y	Z	X	Y	Z	ΔX	ΔY	ΔZ
103	109.939 7	1 002.306 0	962.871 3	109.940 6	1 002.307 0	962.869 5	-0.8	-1.1	-1.8
212	109.268 0	1 004.763 0	960.392 3	109.269 1	1 004.764 0	960.389 4	-1.1	-0.5	2.9
401	104.971 7	1 006.854 0	960.803 7	104.971 7	1 006.855 0	960.802 9	0	-0.6	0.7
906	97.088 3	996.563 7	960.380 7	97.086 7	996.563 4	960.377 9	1.6	0.3	2.8
1 212	91.041 7	1 002.283 0	962.874 3	91.013 2	1 002.284 0	962.872 1	1.5	-1.2	2.2

利用公式

$$m = \pm \sqrt{[\Delta\Delta]/n} \quad (3)$$

计算中误差结果为

$$m_x = \pm 1.3 \text{ mm}$$

$$m_y = \pm 0.9 \text{ mm}$$

$$m_z = \pm 3.8 \text{ mm}$$

点位中误差为

$$m_o = \pm \sqrt{m_x^2 + m_y^2 + m_z^2} = \pm 4.2 \text{ mm}$$

四、几点结论

笔者目前正参与“轻型机数字航空摄影测量系统”项目的研究工作,数字相机的检校是整个研究工

(下转第 62 页)

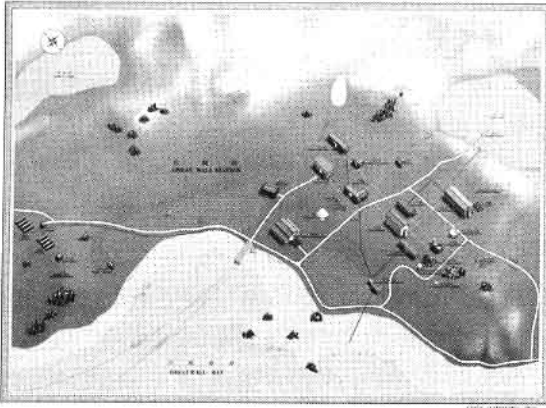


图 10 南极长城站站区图

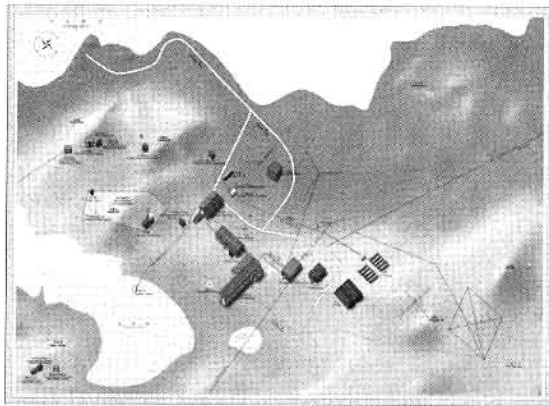


图 11 南极中山站站区图

参考文献:

[1] 江文萍,毋河海,杜清运,等.大型彩色地貌晕渲的自动生成技术研究[J].武汉大学学报(信息科学版),2004,29(6):496-499.

[2] 吴 樊,俞连笙.基于 DEM 的地貌晕渲图的制作[J].测绘信息与工程,2003,(2):31-32.

[3] 马海建,郭礼珍,赵 虎.基于 DEM 生成小比例尺分省彩色晕渲图[J].测绘信息与工程,2004,(8):40-41.

[4] 郭礼珍,李 霖,张园玉.基于视觉表象的彩色晕渲地图色彩设计[J].武汉大学学报(信息科学版),2004,29(6):492-495.

[5] 李志林,朱 庆.数字高程模型[M].武汉:武汉测绘科技大学出版社,2003.

[6] 俞连笙,王 涛.地图整饰[M].北京:测绘出版社,1995.

[7] 曹纯贫.数字地貌晕渲中若干参数的设置[J].测绘通报,2003,(5):17-19.

[8] 徐 青.地形 3 维可视化技术[M].北京:测绘出版社,2000.

[9] 王晓延,郭庆胜.基于 DEM 的地貌晕渲表达方法探讨[J].测绘通报,2003,(8):48-50.

[10] 江文萍,杜清运.数字地图 3 维可视化的若干研究与应用[EB/OL]. <http://www.telecarto.com>,2004-10-12.

[11] 远图工作室. Atlas3D 技术文档[EB/OL]. <http://www.telecarto.com>,2004-10-14.

(上接第 42 页)

作的基础,决定着所有后续工作的价值和意义,通过检校工作及分析获得以下几点结论:

1. 相机机身要进行机械固定,否则会引起相机参数的不稳定;
2. 必须多方位地获取大量的影像才能得到高精度可靠的结果;
3. 条件允许时,尽可能建立 3 维检校场以消除检校参数间的病态相关性;
4. 检校场标志点的建立方法和检校软件 Australis 的首次使用为今后数字相机的检校提供了成功的范例;
5. 大面阵数字相机的成功检校为数字航空摄影测量系统研究奠定了前提和基础。

五、展 望

胶片摄影被数字摄影所取代已成为必然趋势,数字航空摄影测量系统的研究已成为当前航空遥感领域的研究热点和发展方向,新型数字航空摄影机的应用必将为航空摄影测量技术带来一次变革,并把我国航空摄影测量技术推向数字航空摄影时代。

参考文献:

[1] 冯文灏.近景摄影测量[M].武汉:武汉大学出版社,2002.

[2] 张祖勋,等.数字摄影测量学[M].武汉:武汉大学出版社,2002.