

CCD 相机中高空摆扫航摄数字图像的系统校正

王俊华¹, 庞怡杰², 王 晶², 唐 娉¹

(1 中国科学院遥感应用研究所, 北京 100101; 2 空军第六研究所, 北京 100085)

摘要: 随着数字相机技术的发展, 以胶片为主体的机载航空平台逐步向数字化平台发展。本文结合国内最先进的 CCD 航空数码相机应用, 分析了 CCD 相机中高空摆扫航摄图像的成像过程、成像模型、图像几何形变与计算。在研究倾斜中心投影成像模型的基础上, 提出带有飞行位移的列倾斜中心投影成像模型的系统校正方法, 校正了由相机装机倾角和飞机飞行位移所导致的图像几何形变, 并通过校正结果图像的拼接验证了系统校正的必要性和有效性。

关键词: CCD 相机; 摆扫; 系统校正; 拼接

1 引言

随着数字相机技术的发展, 以胶片为主体的机载航空平台逐步向数字化平台发展, 机载航空数字平台的成像模式多种多样。由于航空平台的飞行高度远低于卫星平台的在轨高度, 通过航空数字平台获得的数字图像的几何特性不同于通过卫星平台获得的图像。因此对不同扫描方式的数字航空平台的成像特点进行分析, 探索其几何特点、变形规律以及系统几何校正方法具有重要的科学与生产意义。

本文分析了 CCD 相机中高空摆扫航摄数字图像的成像过程、成像模型、图像几何形变与计算方法, 给出了系统校正的方法和应用实例。

2 图像的成像模型

CCD 相机是以线阵 TDICCD 为核心获取数字影像的航空摄影数码相机, 广泛应用于农业、林业等资源普查、国土考察等领域。相机以一定的装机倾角的倾斜模式安装, 垂直航线方向上从右向左摆扫成像, 获取数字图像实时下传。如图 1 所示是右倾模式下的成像过程。

左倾和右倾两种装机模式下, CCD 相机都是以一定的旁向起始摆扫角度垂直航线方向从右向左摆扫成像。以右倾模式为例, 相机右倾达到起始摆

扫位置 ab , 开始摆扫成像; 瞬间所获取的线图像平行于飞机飞行方向, 考虑到飞行因素的影响, 线图像有沿飞行前进方向的位移; 匀速摆扫到 ef 位置, 完成一次摆扫成像并下传; 关闭相机, 同速率返回到初始位置 ab , 准备下周期摆扫成像。

图 1 CCD 相机右倾模式下的成像过程

Fig.1 Imaging process of CCD camera in right inclined model

CCD 相机中高空摆扫航摄成像具有倾斜成像特性, 即中心投影成像是在照相机光轴倾斜下实施

的,且每列扫描线有自己的中心。图 2 是框幅式倾斜中心摄影成像的左倾模型,相机此时一定的装机倾角 向左倾斜,成左倾摄影模型。其中地面坐标系为 XOY 系统,在左倾模式中 Y 轴为图像宽度轴,向左为正;右倾模式中则向右为正。X 轴为图像高度轴,垂直于 Y 轴;像面坐标系统为 xoy 系统,其方向正好同地面坐标系相反。图 2 展示了在图像宽度方向上,用近景线和远景线来标定的。左倾摄影时所拍摄的实际范围。通过近景线和远景线的四个顶点坐标可标定实际摄影的范围以像元为单位,并据此再乘上摄影比例尺 f/H ,就得到校正结果图像(以 m 为单位)。

图 2 倾斜中心摄影成像模型

Fig.2 Imaging model of central inclined projection

在框幅式倾斜中心摄影模式下,像面坐标系统上点 (x, y) 同校正结果图像坐标系统上点 (X, Y) 之间的计算公式为:

$$\begin{cases} Y=y \cdot f / ((f \cos \alpha - y \cdot \sin \alpha) \cdot \cos \alpha) \\ X=x \cdot f / (f \cdot \cos \alpha - y \cdot \sin \alpha) \end{cases} \quad (1)$$

在已知相机焦距 f 、装机倾角 的情况下, (x, y) 和 (X, Y) 之间可以相互反算。

框幅式倾斜中心摄影成像是在图像宽度和高度二维方向上同时成像,且整幅图像是在同一时刻瞬间成像的。CCD 相机中高空摆扫航摄图像在成像模式上并不等同于框幅式倾斜中心投影成像模式,考虑到引起图像变形的最大因素是相机的装机倾角,可以将复杂的相机成像模型简化。

CCD 相机中高空摆扫航摄图像是 TDICCD 线阵逐列摆扫成像的,在摆扫过程中瞬间构成了严格的列倾斜中心投影模式。由于在摆扫成像时,飞机仍在沿航向飞行,因此存在飞行位移,但飞行位移仅影响瞬间成像的该列影像,飞行位移将导致图像

沿航向方向上从右往左有逐步增大的前向位移。CCD 相机中高空摆扫航摄图像的成像模型可以简化成带有飞行位移的列倾斜中心投影成像模型。

3 图像的系统校正

3.1 系统校正方法

在实际工程中,系统校正的目的就是消除每线图像的不同比例尺和沿飞行方向不同位移的影响;将倾斜成像的图像比例尺校正到垂直摄影时图像的比例尺 f/H (f 为相机焦距、 H 为飞机航高),为下一步的拼接做好准备。

常规的系统校正基于共线方程的系统校正,即在已知相机焦距 f 和摄影中心坐标 3 个内方位元素、传感器成像时的位置 (X_s, Y_s, Z_s) 和姿态角 $(\varphi, \omega, \kappa)$ 6 个外方位元素的情况下,结合地面点的高程信息 Z ,通过共线方程的逆方程解求出地面点坐标 (X, Y) 。

由于中高空摆扫航摄相机的应用,对图像的系统校正和拼接的精度要求不高,且实际成像参数比如传感器成像时的位置 (X_s, Y_s, Z_s) 和姿态角 $(\varphi, \omega, \kappa)$ 数据精度达不到测绘精度,而且地面点高程信息 Z 未知,若通过共线方程来进行系统校正则会导致误差过大;另外系统校正正是数字图像下传后实时进行的,要求较快的系统校正速度,而基于共线方程的系统校正由于计算繁杂,达不到实时处理要求。因此考虑到系统校正的最大因素是相机装机倾角,图像的系统校正方法认为是带有飞行位移的列倾斜中心投影成像模型的系统校正。

3.2 图像的几何形变分析与计算处理

分析 CCD 相机图像的成像过程和成像模型可知,图像的几何形变包括:

(1) 列倾斜中心投影引起的几何形变。不考虑飞机前向飞行位移的影响,即假设在相机静止的飞机上进行摆扫,图像几何形变主要由装机倾角所导致。虽然摆扫成像的每一线图像不同于框幅式倾斜中心投影成像中的所有线图像同时成像,但可以把在一次摆扫过程中所获取的线图像看作是同时成像,简化为列倾斜中心投影。图像的几何形变可以用倾斜中心投影成像模型的计算公式(1)来进行计算。图 3a 显示了静止状态下列倾斜中心投影所导

致的图像几何形变,从规则矩形畸变到梯形。

(2) 飞机沿航向飞行引起的几何形变。在一次摆扫成像过程中,从起始位置摆扫到边界,线图像的飞行位移 dx 从 0 增大到摆扫周期内的飞机飞行位移。相机是从右向左摆扫,瞬间获取的线图像从右往左沿航向方向上有渐增的位移,从而导致实际摄影区域有从右往左整体的、渐增的沿航向的上移。结合飞机飞行速度 v 、航高 H 、摆扫成像时间 t 等因素可以计算出一次摆扫周期内的飞行位移 fly-Distance, 结合倾斜中心投影成像模型的计算公式 (1) 的逆公式可以计算出瞬间成像的线图像的飞行位移 dx 。图 3b 显示了引入飞行位移后在图 3a 的基础上进一步导致的图像几何形变示意。

图 3 右倾模式的几何形变示意图

Fig.3 Sketch map of distortion in right model

系统校正的具体流程如图 4 所示。

3.3 系统校正效应示例分析

采用右倾模式下获取的两幅相邻影像进行系

统校正验证。原图大小为 21504 × 8192 像元,如图 5a 所示;系统校正后大小为 28207 × 11064 像元,如图 5b 所示。

图 4 系统校正流程

Fig.4 The flow of the system correction

图 5b 显示校正结果图像在宽度和高度方向上被拉长,其右部在高度方向被拉长,说明图像校正了列倾斜中心投影中由装机倾角所导致的几何形变;从右往左,校正结果图像的每列图像有往下渐增的位移,且图像的左边界图像的位移向下达到最大(非向上位移,图像同实际摄影范围在高度方向上相反),符合预期的分析。

图 6 显示了原始图像的拼接效果,图中的圈注,显示左边的陆地接口处和右边的白色公路完全拼接不上。图 7 显示了校正结果图像的拼接效果,

(a)

(b)

图 5 右倾模式下的原始图像与校正结果图像

Fig.5 The original image and the result image of the system correction in right inclined model

图 6 右倾模式下的原始图像拼接
Fig.6 The mosaic of original images in right inclined model

图 7 右倾模式下的系统校正结果图像拼接
Fig.7 The mosaic of result images of the system correction in right inclined model

目视显示上下两幅图像能较好地拼接在一起,从而验证了系统校正的必要性与有效性。

为进一步验证系统校正与拼接的效果,我们在重叠区域随机选取了 10 个同名点,比较图像系统校正前后的横向与纵向的像元误差数。考虑到图像太大,采用缩小 21 倍的图像进行采样比较。同名点横向与纵向的误差数分别如表 1、2 所示。

表 1 同名点横向误差比较

Tab.1 Comparison of control points' transverse error

表 2 同名点纵向误差比较

Tab.2 Comparison of control points' lognitudinal error

缩小 21 倍的原始图像为 1024 ×890 像元,系统校正结果图像为 1343 ×527 像元。没有进行系统校正就进行拼接,图像横向错位高达 8 像元,平均 3.9 像元;纵向高达 31 像元,平均 13.9 像元。而图像系统校正后进行拼接,图像横向错位最大为 2 像元,平均 0.8 像元;纵向错位最高 2 像元,平均 1.1 像元。通过数据比较看出,系统校正后将横向与纵向的像元误差数目分别降低了 4.875 倍、12.636 倍。就像元误差数相对于拼接结果图像的大小而言,认为是在允许误差的范围内。

4 结论

基于带有飞行位移的列倾斜中心投影成像模型的系统校正能有效地校正由装机倾角和飞机飞行所导致的图像几何形变,并使图像的比例尺也归一到垂直摄影时的比例尺 f/H ; 实际的校正结果图

像的拼接也进一步验证了系统校正的必要性和有效性。就具体应用而言,系统校正达到了工程所需的精度;随着应用精度要求的提高,则有必要进一步改正其系统校正方法以提高校正结果的精度。

参考文献

[1] 孙家柄,舒宁,关泽群. 遥感原理、方法和应用. 北京:测绘出版社, 1997.

[2] 解放军空军司令部. 空中照相判断学教程, 1974.

[3] 朱述龙,史文中,张艳,朱宝山. 线阵推扫式影像近似几何校正算法的精度比较. 遥感学报, 2004, 8(3):220~226.

[4] 陈霄,何志勤. CCD 遥感图像几何校正的实时处理算法初探. 中国空间科学技术, 1997, 17(5):46~53.

[5] Feng Yuan. Windows 图形编程. 北京:机械工业出版社, 2002.

The System Correction of Digital Image by CCD Camera of Whisk Broom Model in Middle-high Space

WANG Junhua¹, PANG Yijie², WANG Jing², TANG Ping¹

(1 Institute of Remote Sensing Applications, CAS, Beijing 100101, China; 2 Airforce Sixth Institute, Beijing 100085, China)

Abstract: With the development of digital camera technology, the film-oriented airborne remote sensing platform is developing toward digital imaging platform. With the application of the latest aerial digital camera with CCD as its core in China, we analyse the imaging process, imaging model, geometrical distortion and its computing of digital image by CCD camera of whisk broom model in the middle-high space. According to the research of the imaging model of slantwise central projection, we bring forward the system correction method which is based on the imaging model of slantwise central projection in column with the flight displacement, correct the image geometrical distortion which is resulted from the installing obliquity and the flight displacement, and then test the necessity and the validity of the system correction by verifying the image mosaics.

Key words: CCD camera; whisk broom; system correction; mosaic