

文章编号: 1672-8785(2011)04-0023-05

无控制点条件下的 PHI 影像几何校正

肖 平^{1,2} 童小华¹ 栾奎峰^{1,2,3}

(1. 同济大学测量与国土工程系, 上海 200092 ;

2. 中国科学院上海技术物理研究所, 上海 200083 ;

3. 安徽理工大学测绘学院, 安徽淮南 232001)

摘 要: 利用空间位置测量系统对因遥感平台不稳定而引起的影像畸变进行校正是目前航空摄影测量常用的方法。介绍了对推帚成像模式在无地面控制点情况下采集的影像进行几何校正的原理和方法, 即利用 POS 数据解算外方位元素并建立共线方程, 从而实现影像的几何校正。用 PHI 航空遥感影像进行了实验。实验表明, 在无地面控制点的情况下, 利用 POS 数据辅助航空摄影测量可快速并较好地去除因遥感平台不稳定引起的影像畸变, 校正精度满足影像的实际应用以及大部分比例尺的制图要求。

关键词: 推帚成像; 线性回归; 几何校正; POS

中图分类号: TP75 **文献标识码:** A **DOI:** 10.3969/j.issn.1672-8785.2011.04.006

Geometric Correction of PHI Image without Control Point

XIAO Ping^{1,2}, TONG Xiao-hua¹, LUAN Kui-feng^{1,2,3}

(1. Department of Surveying and Geo-informatics, Tongji University, Shanghai 200092, China;

2. Shanghai Institute of Technical Physics, Chinese Academy of Sciences, Shanghai 200083, China;

3. School of Surveying, Anhui University of Science & Technology, Huainan 232001, China)

Abstract: Using a space position measurement system to correct the image distortion caused by an unstable remote sensing platform is very common in aerial photogrammetry. The principle and method for geometrically correcting the images obtained in pushbroom mode without any ground control point are presented. The geometric correction of the images is implemented by using POS data to calculate azimuth element and by establishing collinearity equations. The method is used for PHI aerial remote sensing images in the experiment. The result shows that in the absence of ground control points, the image distortion caused by the unstable remote sensing platform can be removed quickly with the aided POS data in aerial photogrammetry. The correction accuracy of this method can meet most of the requirements in practical image application and scale mapping.

Key words: PHI; linear regression; geometric correction; POS

1 引言

推帚式高光谱成像仪 (PHI) 是一种采用线阵推帚成像方式的光谱仪。它的投影方式为线

中心投影, 其传感器沿着轨道的垂直方向对地面进行扫描。每扫描一行, 就构成一条中心投影的影像。如果要从 PHI 影像中提取空间位置信息, 就必须先对其进行基于遥感平台的几何

收稿日期: 2011-01-01

作者简介: 肖平 (1983-), 男, 陕西渭南人, 硕士研究生, 研究方向为基于 POS 的高光谱影像的几何校正。E-mail: 2058582@163.com

粗校正。然而线中心投影方式无法利用地面控制点进行遥感平台的粗校正,这就需要用位置姿态测量设备直接记录平台的相关参数,并通过解算外方位元素和建立共线方程来实现遥感平台姿态的校正。同时,在困难地区、无图区或者人员不能通达的地区,人们常常只能获得少量地面控制点或者根本无法获得地面控制点,于是真正无地面控制的摄影测量就成了目前测绘科技工作者追求的目标。因此,研究无地面控制点情况下 PHI 影像的几何校正算法,对于 PHI 影像的应用具有非常重要的意义。

在 PHI 成像过程中,利用高精度的位置姿态测量系统可以瞬时测量并获得遥感平台位置和姿态参数,再通过数据解算即可获得影像外方位元素。2004 年,朱述龙等人在对线阵推帚成像近似几何校正算法的精度进行分析后发现,当改进的多项式模型符合影像变化规律时,精度最高^[1]。2005 年,徐卫明等人指出线阵推帚成像的影像畸变主要来自外方位元素变化、扫描行的重叠或漏扫以及地面高差引起的投影差。他们提出首先通过畸变影像校正将影像坐标变换到像空间坐标,获取外方位元素的线元素和角元素,然后计算点对应的地面坐标,最后进行灰度重采样^[2]。2006 年,徐卫明等人对姿态位置参数精度、焦距测量精度以及安装角测量精度对校正结果的影响进行了研究,并分析了各种误差源导致的校正影像几何误差的大小^[3]。2006 年,袁修孝等人对机载位置姿态测量系统(POS)用于航空遥感直接对地目标定位的精度进行了分析,并提出 POS 系统的航空遥感直接对地目标定位误差至少要在用带有一个平高地面控制点的检校场对 POS 系统进行检校后才能

消除^[4]。

本文介绍了在无控制点情况下利用位置姿态测量系统辅助 PHI 影像几何校正的方法,并对其校正精度进行了分析。

2 PHI 校正原理

2.1 PHI 成像原理

推帚式高光谱成像仪采用一种共轴的棱镜-光栅-棱镜分光方式,如图 1 所示。地物信号先通过狭缝,在被狭缝的线状目标色散后再由会聚镜成像于焦面处的面阵光电探测器上。通过面阵探测器的光谱数据,加上飞行平台的运动,我们就可以得到地面目标的二维图像和图像中各像元的光谱数据^[5]。这种由望远镜系统和色散成像单元组成的成像方式可以简单地看作线中心投影处理,其成像几何关系如图 2 所示。

2.2 外方位元素的解算

POS 系统主要由惯性测量装置(IMU)和动态差分 GPS 系统组成。其中, GPS 系统可测量传感器的位置和速率,具有高精度、误差不随时间积累等优点,但其动态性能差(易失锁)、输出频率低,不能测量瞬间快速变化,没有姿态测量功能。而 IMU 装置拥有姿态测量功能,具有完全自主、无信号传播,既能定位和测速,又可快速测量传感器瞬间移动和输出姿态信息等优点,但其主要缺点是误差会随着时间迅速积累增长。GPS/IMU 组合可以弥补这种缺点,因此最佳方法是对两个系统获得的信息进行综合,从而得到高精度的位置、速率和姿态数据^[7]。

外方位元素是指曝光瞬间内传感器镜头透视中心在成图坐标系中的位置坐标(X_s, Y_s, Z_s)以及成图坐标系旋转到像空间坐标系的旋转角($\alpha,$

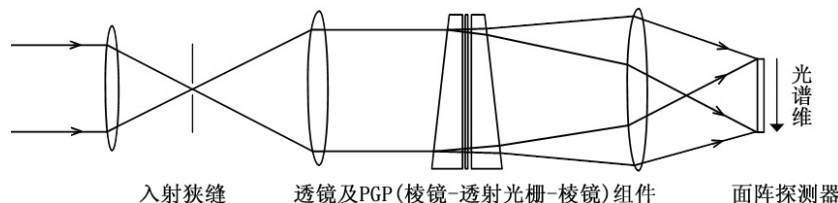


图 1 高光谱成像的光路原理图

β, γ)。GPS 系统使用的参考坐标系是基于 WGS84 坐标系的。通过计算将 GPS 的原始数据转换到传感器投影中心所在的成图坐标系下, 就可以得到投影中心坐标 (X_s, Y_s, Z_s) 。IMU 系统测得的位置姿态数据包含偏航角、侧滚角和俯仰角 (即惯性测量器件坐标系相对于地理坐标系的旋转角)。将这些角度数据通过计算转换到成像仪所在成图坐标系下的角度值, 就可得到航向角 α 、旁向倾角 β 和旋转角 γ [6,7]。

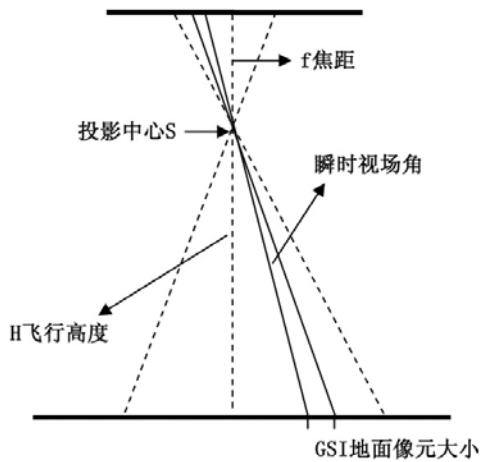


图 2 线中心投影

2.3 PHI 系统几何影像校正

本文是基于共线方程模型进行校正的。共线方程校正模式是一种局部的、完全的几何校正畸变校正模式。它是在已知扫描线扫描瞬间机下点的三维空间位置和三轴姿态值的情况下, 利用建立的共线条件方程对 PHI 成像光谱数据几何畸变进行校正的。

由摄影测量的基本原理可知, 线中心投影的几何关系可以用共线方程表示:

$$x = \frac{f[a1(X - X_s) + b1(Y - Y_s) + c1(Z - Z_s)]}{[a3(X - X_s) + b3(Y - Y_s) + c3(Z - Z_s)]} \quad (1)$$

$$y = -\frac{f[a2(X - X_s) + b2(Y - Y_s) + c2(Z - Z_s)]}{[a3(X - X_s) + b3(Y - Y_s) + c3(Z - Z_s)]} \quad (2)$$

式中, f 为焦距; (x, y) 为地面坐标; (X, Y) 为像点坐标; (X_s, Y_s, Z_s) 为前面所述的投影中心坐标; a 、 b 和 c 为方向余弦, 其值与上述 POS 系统解算出的 α 、 β 和 γ 有关, 其关系式为

$$\begin{aligned} a1 &= \cos \alpha \cos \beta + \sin \alpha \sin \gamma \sin \beta \\ b1 &= \cos \alpha \sin \beta - \sin \alpha \sin \gamma \cos \beta \\ c1 &= \sin \alpha \cos \gamma \\ a2 &= -\cos \gamma \sin \alpha \\ b2 &= \cos \gamma \cos \alpha \\ c2 &= \sin \gamma \\ a3 &= -\sin \alpha \cos \beta + \cos \alpha \sin \gamma \sin \beta \\ b3 &= -\sin \alpha \sin \beta - \cos \alpha \sin \gamma \cos \beta \\ c3 &= \cos \alpha \cos \gamma \end{aligned} \quad (3)$$

计算出全部像素所对应的地面坐标, 然后进行重采样, 得到的图像就是经过几何校正后的影像。因为缺乏 DEM 数据, 本文将高程 Z 假设为当地平均高程。

3 实验与分析

本文采用由中国科学院上海技术物理研究所开发的 PHI-1307 机载高光谱成像系统采集的数据进行了实验, 其技术参数如表 1 所示。实验所用数据是 2009 年 5 月采集的对地遥感影像。该次遥感飞行的航高为 1000m, 飞行速度约为 240km/h。本文在处理前对数据进行了格式转换、辐射校正等预处理。POS 系统采用的是加拿大 Applanix 公司的 POS/AV 510 系统, 其技术参数如表 2 所示。它是专门用于机载传感器的 POS 系统, 其位置精度可以达到 5cm ~ 30cm, 方向精度可以达到 20s ~ 30s。

3.1 几何校正实验

图 3 所示为校正前的原始影像。由于遥感平台的不规则剧烈运动, 原始影像中的地物呈扭

表 1 PHI-1307 系统的主要技术指标

光谱范围 (nm)	波段	IFOV(mrad)	FOV(deg)	光谱分辨率 (nm)	帧频 (Hz)	量化位数
45 ~ 1000	128	0.5×1.0	28°	< 5	60	12

曲状, 地物形态已被破坏。如果不进行基于遥感平台的校正, 将无法对影像进行匹配和拼接, 也就无法对影像光谱进行分析和处理。

表 2 POS/AV 510 系统的主要技术指标

	C/A GPS	DGPS	后处理
位置 (m)	4.0 ~ 6.0	0.5 ~ 2	0.05 ~ 0.3
速度 (m/s)	0.05	0.05	0.005
侧滚和俯仰 (deg)	0.008	0.008	0.005
偏航 (deg)	0.07	0.05	0.008



图 3 PHI 系统获取的原始影像

图 4 所示为利用本文校正方法对原始影像进行几何校正处理的结果。通过对比可知, 原始影像中因平台不规则运动等因素导致的影像几何畸变已经基本消除, 原始影像数据得到了很好的校正。

3.2 实验分析

为了评价该方法对影像进行几何校正的效果, 本文采用线性度评价方法对推扫方向的横坐标进行评价, 而对纵轴方向不作分析。评估是通过用回归方程计算残差值的方法进行的。在回归分析中, 测定值与回归方程预测值之差用 e 表示。残差 e 遵从正态分布 $N(0, \sigma^2)$ 。 e 与 σ 之比称为标准化残差, 用 e^* 表示。 e^* 遵从标准正态分布 $N(0, 1)$ 。实验点的标准化残差落在 $(-2, 2)$

区间以外的概率小于等于 0.05。若某一实验点的标准化残差落在 $(-2, 2)$ 区间以外, 则以 95% 的置信度将其判为异常实验点, 不参与回归线拟合。



图 4 几何校正后的影像

本文选取影像中直线道路上的 31 个特征点 (见图 5), 其像素坐标如表 3 所示。将它们拟合成一条直线, 根据其散点曲线计算其残差值, 其线性回归预测方程为 $y = ax + b$ 。其中, y 为理论值, x 为像元横坐标, a 和 b 为回归系数。通过计算可得, 此处 $a = 0.0559$, $b = 895.33$ 。残差公式为 $e_i = x_i - \hat{x}_i$, 其中 i 是 1 到 31 个特征点, e_i 为残差值, x_i 为实际的 x 坐标值, $\hat{x}_i$ 为理论值。图 6 为计算后的残差分布图。

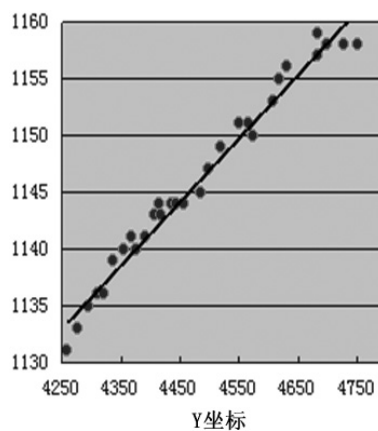


图 5 特征点

表 3 特征点的像素坐标

Y 坐标 (Pixel)	X 坐标 (Pixel)	X 坐标理论值 (Pixel)	e_i (Pixel)
4260	1131	1133.464	-2.464
4277	1133	1134.4143	-1.4143
4295	1135	1135.4205	-0.4205
4311	1136	1136.3149	-0.3149
4323	1136	1136.9857	-0.9857
4337	1139	1137.7683	1.2317
4355	1140	1138.7745	1.2255
4369	1141	1139.5571	1.4429
4376	1140	1139.9484	0.0516
4393	1141	1140.8987	0.1013
4407	1143	1141.6813	1.3187
4418	1143	1142.2962	0.7038
4417	1144	1142.2403	1.7597
4437	1144	1143.3583	0.6417
4445	1144	1143.8055	0.1945
4457	1144	1144.4763	-0.4763
4487	1145	1146.1533	-1.1533
4499	1147	1146.8241	0.1759
4521	1149	1148.0539	0.9461
4552	1151	1149.7868	1.2132
4566	1151	1150.5694	0.4306
4574	1150	1151.0166	-1.0166
4608	1153	1152.9172	0.0828
4620	1155	1153.588	1.412
4631	1156	1154.2029	1.7971
4683	1157	1157.1097	-0.1097
4684	1159	1157.1656	1.8344
4700	1158	1158.06	-0.06
4728	1158	1159.6252	-1.6252
4751	1158	1160.9109	-2.9109

从图 6 中可以看出, 残差值平均分布在 $-2 \sim 2$ 范围内。其中, Y 坐标分别为 4260、4631、4684 和 4751 时的残差值较大, 分别为 -2.464 、 1.7971 、 1.8344 和 -2.9109 。这种误差是由地形起伏、测量误差以及外方位元素误差等造成的。

4 结论

本文介绍了在无地面控制点的情况下利用

POS 数据对 PHI 影像进行几何校正的方法。该方法是实现推帚成像这种相对高效遥感数据采集方式的技术保障之一。实验表明, 经过几何校正后的影像基本恢复了地物的几何特性, 减少了由平台姿态变化造成的影像扭曲和变形现象, 可以明显消除由于遥感平台不稳定而引起的影像畸变。

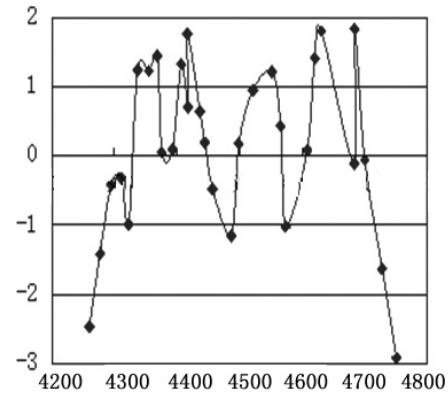


图 6 残差图

参考文献

- [1] 朱述龙, 史文中, 张艳, 等. 线阵推扫式影像近似几何校正算法的精度比较 [J]. 遥感学报, 2004, 5(3): 220-226.
- [2] 徐卫明. 基于线阵 CCD 的航空高分辨力立体影像获取技术研究 [D]. 上海: 中国科学院上海技术物理研究所, 2005.
- [3] 徐卫明, 王建宇, 舒嵘, 等. 线阵推扫成像光谱仪几何校正误差的理论分析 [J]. 红外与毫米波学报, 2006, 4(2): 109-112.
- [4] 袁修孝, 福建红, 左正立, 等. 机载 POS 系统用于航空遥感直接对地目标定位的精度分析 [J]. 武汉大学学报, 2006, 31(10): 847-850.
- [5] 徐卫明. POS 在线列多传感器集成系统中应用的关键技术研究 [D]. 上海: 中国科学院上海技术物理研究所, 2005.
- [6] 马艳华, 徐卫明, 金星, 等. 机载推帚式高光谱影像的空间定位原理与实现 [J]. 红外, 2005, 26(8): 6-9.
- [7] 刘军, 张永生, 王冬红, 等. POS AV510-DG 系统外方位元素的计算方法 [J]. 测绘技术装备, 2004, 4(6): 6-9.