

基于 GPS 和 INS 快速纠正红外扫描图像*

尤红建 李树楷

(中国科学院遥感应用研究所, 北京, 100101)

摘要 对利用 GPS 位置和 INS 的姿态来快速纠正同步获得的红外遥感扫描图像进行了试验研究, 依据 GPS 测量的三维位置、INS 给出的三个姿态和地面的平均高度来推算出一个扫描行上图像元点的坐标, 依此纠正该扫描行的图像, 并进行灰度的内插和航带的联合拼接处理, 通过飞行所获取数据的快速处理, 说明本方法是可行的。
关键词 GPS, INS, 纠正图像, 拼接。

FAST RECTIFYING AIRBORNE INFRARED IMAGE BASED ON GPS AND INS*

YOU Hong-Jian LI Shu-Kai

(Institute of Remote Sensing Applications, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China)

Abstract A new method was tested to fast rectify scanning image based on GPS and INS. The positions of some pixels in a scanning line were calculated first, then these pixels were used to rectify the whole scanning line. The gray interpolation and strips mosaic are also discussed. The data of flight tests processed using this method shows it is feasible.

Key words GPS, INS, rectifying image, mosaic.

引言

航空热红外波段的遥感图像是对地面温度场分布的成像, 它受天气影响小, 几乎具有全天候作业能力, 因而在土壤水分和农作物水分调查、海洋水温调查、地质和城市用地分类调查等领域有着重要的应用^[1]. 由于飞机位置和姿态和变化造成红外扫描图像的几何变形, 一般要经过几何纠正才能应用. 常用的纠正方法是利用地面控制点(野外实际测量或从地形图上量测), 利用地面控制点进行航空图像的纠正, 比较费时费力. 用新方法快速纠正航空扫描图像是人们追求的目标之一, 现在全球定位系统(GPS)和惯性导航系统(INS)的发展, 为快速纠正航空扫描图像提供了技术基础^[2]. 利用 GPS 可以精确地确定获取红外扫描图像的投影中心三维位置, 而 INS 能够给出扫描仪的三轴姿态. 而且对于比较平坦的飞行区域, 其平均高度一般可以知道, 这样根据几何原理就能够把获取的扫描图像纠正到地理坐

标系中, 得到地学编码图像. 为了研究利用 GPS 和姿态纠正扫描图像的可行性, 我们用机载三维成像仪所获取的 GPS 定位数据、姿态数据和圆扫描热红外图像进行了研究.

1 利用 GPS 和姿态计算扫描图像像元位置

机载三维成像仪是由中科院遥感应用研究所和中科院上海技术物理研究所联合研究的. 它通过时间同步、位置同步方式来同步获取 GPS 位置、姿态、热红外扫描图像和激光测距值^[3]. 在本文的研究中仅利用了其中的 GPS 数据、姿态数据和红外扫描图像, 以利用 GPS、姿态来快速纠正同步获取的扫描图像.

1.1 推算图像像元点在扫描仪坐标系中的位置

图 1 为扫描剖面图, 图 1 中 O 为扫描镜的光学中心位置, 它由 GPS 来精确测定, 而对于比较平坦的地区, 地面的平均高度 $H_{average}$ 一般是知道的, 因此可以用平均面来代替地面, 则平均高度面到光学中

* 国家 863 计划基金(编号: 863-308-12-01-1)资助项目
稿件收到日期 2000-11-09, 修改稿收到日期 2001-03-19

* The project supported by the National Hi-tech Research & Development Plan (No. 863-308-12-01(1))

Received 2000-11-09, revised 2001-03-19

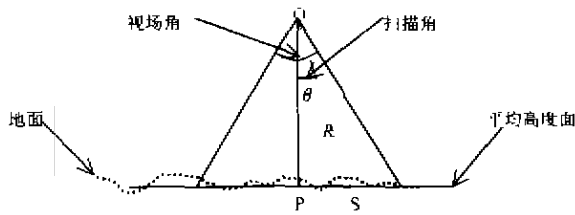


图 1 扫描剖面示意图
Fig. 1 Illustration of scanning line

心 O 点的距离 OP 为:

$$OP = H_0 - H_{average} \quad (1)$$

像元点 S 所对应的扫描角 θ 可以根据像元的序号进行计算, 因此距离 R (即 OS) 为:

$$R = \frac{OP}{\cos\theta} \quad (2)$$

根据扫描的运动方程, 利用距离扫描角, 就可以计算出该像元在扫描仪坐标系中的坐标 (x, y, z) :

$$\begin{cases} x = f_1(\theta, R), \\ y = f_2(\theta, R), \\ z = f_3(\theta, R); \end{cases} \quad (3)$$

具体的计算公式必须参照所采用的扫描方式来确定。

1.2 推算像元点的地理坐标

有了像元的扫描坐标, 再依据 GPS 给出的扫描镜中心位置 $(X_{GPS}, Y_{GPS}, Z_{GPS})$ 和惯导 INS 给出的扫

描仪的姿态 (测滚角 ω , 航向角 κ , 俯仰角 φ), 就可以按坐标旋转和平移来计算出该像元对应的地理坐标 $(X, Y, Z)^{[1]}$:

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_1 & a_2 & a_3 \\ b_1 & b_2 & b_3 \\ c_1 & c_2 & c_3 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} X_{GPS} \\ Y_{GPS} \\ Z_{GPS} \end{bmatrix}, \quad (4)$$

式 (4) 中, $a_1 = \cos\kappa\cos\varphi$;

$$a_2 = -\cos\kappa\sin\varphi\sin\omega - \sin\kappa\cos\omega;$$

$$a_3 = \sin\kappa\cos\varphi; \quad b_1 = \sin\kappa\cos\varphi;$$

$$b_2 = -\sin\kappa\sin\varphi\sin\omega + \cos\kappa\cos\omega;$$

$$b_3 = -\sin\kappa\sin\varphi\cos\omega - \cos\kappa\sin\omega;$$

$$c_1 = \sin\varphi; \quad c_2 = \cos\varphi\sin\omega;$$

$$c_3 = \cos\varphi\cos\omega.$$

2 利用像元点的坐标快速纠正扫描图像

利用像元点的坐标就可以纠正扫描图像, 每一扫描行上的每个像元都可以按照上述的方法计算出其对应的地理坐标, 利用地理坐标, 重采样就可以得到纠正的扫描图像。为了计算迅速 (一个扫描行一般有几百、上千个像元), 可以先计算出一个扫描行上若干个等间距分布的像元点的坐标, 然后再利用这些点拟合出该扫描行的运动轨迹方程, 从而由此轨迹方程来纠正一扫描上的所有图像。经过比较, 采用三次多项式拟合的方法来纠正圆扫描方式的图像简单易行, 而且可以满足精度要求。由于原始图像是按行逐个像元扫描获取的, 因此纠正也是每行进行的。



图 2 原始的红外扫描图像
Fig. 2 Raw infrared scanning image



图 3 纠正后的图像
Fig. 3 Rectified image



图 4 灰度内插后的图像
Fig. 4 image after gray interpolation

对每一扫描行纠正时,可以认为像元的地面坐标 (u, v) 是像元号 n 的三次函数:

$$\begin{cases} u = a_0 + a_1 \cdot n + a_2 \cdot n^2 + a_3 \cdot n^3, \\ v = b_0 + b_1 \cdot n + b_2 \cdot n^2 + b_3 \cdot n^3. \end{cases} \quad (5)$$

它是一个扫描的图像像元号 n 和地面坐标 (u, v) 之间的映射关系,每行的具体映射关系可以由该行图像上分布的若干个已知地理坐标的像元点来确定,即按最小二乘的方法来反求出系数 $a_0, a_1, a_2, a_3, b_0, b_1, b_2, b_3$ 。系数确定后,就能把这一行的每个像元按该映射关系求出它的地理坐标,有了地面坐标,经过重采样就得到纠正后的扫描图像,图 2 和图 3 分别显示了纠正前后的扫描图像。

3 灰度内插和航带联合处理

3.1 灰度内插

由于飞行速度和姿态的变化,使得按行扫描得到原始图像并不能完全覆盖地面,会有一些地面点未被扫描成像,这从纠正后的图像(见图 3)上可以明显看出,因此纠正完的图像还必须进行灰度内插—根据周围点的灰度内插该点的灰度。数学上内插的方法较多,为了计算迅速,并保证精度,选用了单点移面方法(它没有求逆过程);用一个 3×3 移动面,将该移动面的中心和要内插的灰度点重合,利用移动面内的所有已知灰度值按加权平均来内插该点的灰度,具体数学模型为:

$$G_{interpolation} = \frac{1}{P} \sum_{i=1}^n P_i G_i, \quad (6)$$

式(6)中 $P = \sum_{i=1}^n P_i$, n 为移动面内的已知灰度点的个数, P_i 为该移动面内每个灰度点对应的权, G_i 为区域内已知灰度点的灰度值,在实际应用中取内插点到已知灰度点的距离 d_i 的倒数作为权,即: $P_i = 1/d_i$ 。图 1 为灰度内插后得到的图像。

3.2 航带的联合处理

航空红外扫描仪作业时,由于扫描视场角固定,每条航带的图像只能覆盖地面有限的宽度,因此一个区域的图像常常由多条航带数据构成,且航带数据必须保持一定的重叠度(10~20%)。在处理时,纠正完每条扫描图像后,还必须把多条航带的图像拼接在一起,形成整个测区的扫描图像,由于各种误差的存在,使得相邻航带的图像按坐标进行拼接或镶嵌时,往往出现误差,这个误差中既包含了系统误差,也包含了随机误差,必须分开处理。

首先要进行系统误差的探测和修正,依据每条航带的地理坐标可以确定相邻航带的重叠区域,利用重叠区域的图像数据可以计算出相邻航带间的系统误差,我们采用重叠区域的匹配算法确定相邻航带间最佳的重叠区域,根据坐标确定的初始重叠区域和匹配算法确定最佳的重叠区域可以计算出两个方向的系统误差,利用此系统误差进行坐标的修正,在进行重叠区域的匹配时,依据重叠区域内的灰度差的平均值最小作为判断因子。

消除了系统误差后,还要对随机误差进行处理,使测区图像拼接无缝,灰度过度自然(每条航带的灰

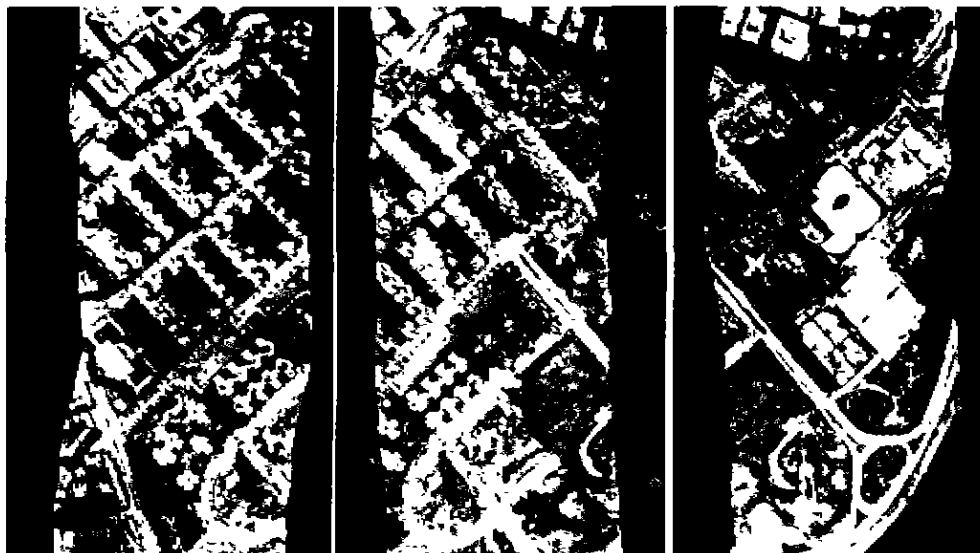


图 5 3 条相邻航带的图像

Fig. 5 Three neighboring strip image

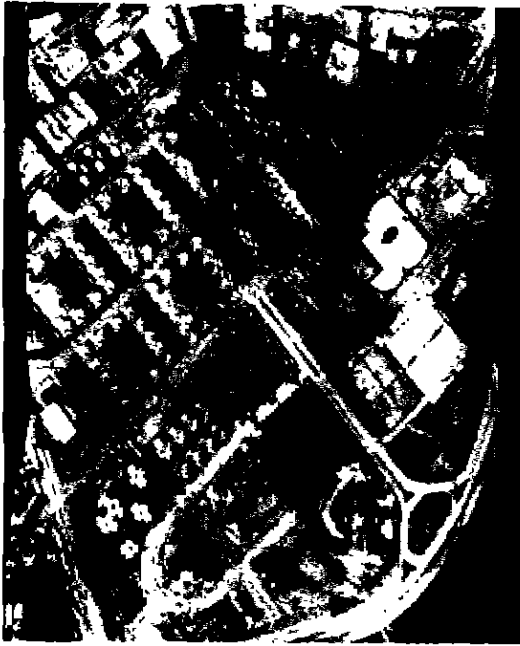


图6 3条航带自动联合拼接后得到的图像
Fig. 6 Mosaiced image of three strip images



图7 上海市中心区热红外扫描图像
Fig. 7 Thermal infrared image of Shanghai (central area)

度值会因为太阳照射角度、飞行的时间等因素而大不一样). 必须充分利用重叠区内的两条航带的图像数据的灰度值进行误差消除, 特地采用了两侧图像的加权平均值来计算重叠区域内的图像的灰度值.

$$G_{\text{mosaic}} = \frac{R_l}{R_r - R_l} G_r + \frac{R_r}{R_r + R_l} G_l \quad (7)$$

式(7)中 R_r 为当前重叠区的像元到重叠区最右侧的距离, R_l 为到重叠区最左侧的距离, G_r 为重叠区右侧航带元的灰度值, G_l 为重叠区左侧航带像元的灰度值. 这样保证了重叠区到非重叠区的平稳过渡, 真正做到无缝拼接.

具体拼接时, 首先消除系统误差, 再根据航带的地理坐标确定重叠区域, 然后按行进行自动拼接. 图5、6显示了三条航线进行自动拼接前后的结果.

我们用三维成像仪于2000年3月在上海市中心区飞行获取的热红外扫描图像、GPS数据和姿态数据进行了快速处理. 这次飞行的高度约为650m, 视场角为30°, 采用了圆扫描方式, 地面分辨率为2m, 南北方向飞行, 每条航线约6km长, 航带间的重叠为20%左右, 这样飞行的区域约为40km². 按照上述的方法首先对24条航带数据进行了几何纠正和系统误差修正, 然后再拼接就得到了整个测区的扫描图像(见图7). 从计算像元点坐标到完成整个测区的图像的拼接只用了45min左右, 取得了比较满意的结果(有些地方由于姿态数据不良影响了

图像的纠正精度).

通过飞行数据的处理, 说明在平坦地区直接用GPS位置和INS的姿态进行扫描图像纠正, 具有速度快, 作业效率高, 无需地面控制点就可以生成精确纠正的遥感图像. 对于地面起伏比较大的地区, 也可以按照上述方法进行纠正, 但还要利用测区的DEM进行投影差改正, 以克服地形起伏导致的扫描图像变形. 对于推扫方式的图像也可以采用该方法来进行几何纠正.

REFERENCES

- [1] LI Shu-Kai. *Analysis of Remote Sensing of Global Environment and Resources*. Beijing: Surveying and Mapping Press (李树楷, 全球环境、资源遥感分析, 北京: 测绘出版社), 1992: 217-240
- [2] S. B. Brewster Jr, Bechtel Nevada. Geometric correction system capabilities processing and applications. *Proceedings of the 4th International Airborne Remote Sensing Conferences and Exhibition*. Ottawa, Ontario, Canada, 21-24 June 1999. Ann Arbor, MI USA: ERIM International, Inc, 1999: 162-169
- [3] LI Shu-Kai, XUE Yong-Qi. *Airborne Multi-dimensional Imaging System*. Beijing: Science Press (李树楷, 薛永祺, 高效三维遥感集成技术系统, 北京: 科学出版社), 2000: 41-47
- [4] WANG Zhu-Zhuo. *Principle of Photogrammetry*. Beijing: Surveying and Mapping Press (王之卓, 摄影测量原理, 北京: 测绘出版社), 1979: 5-10