

文章编号: 1007-4619 (2001) 02-0114-05

机载三维成像仪航带拼接的误差处理研究

尤红建, 刘 彤, 李树楷, 刘建明

(中国科学院 遥感应用研究所, 国家遥感工程技术研究中心, 北京 100101)

摘 要: 机载三维成像仪是集成了全球定位系统(GPS)、姿态测量装置、激光测距仪和光谱成像仪的新一代航空遥感系统, 它能直接得到地学编码影像和数字地面模型(DTM), 而无需地面控制点。利用图像上分布的具有三维坐标的激光点来纠正原始图像, 并且生成DTM。该文首先分析了机载三维成像仪系统中各种传感器本身的误差和系统之间存在的误差, 然后介绍了处理系统误差的方法——航带重叠区域灰度平均差值最小算法求解航带间的系统误差, 同时还设计了一种变权方法来处理随机误差和拼接航带的地学编码图像。通过算例说明了处理算法的正确性。

关键词: 三维成像仪; 系统误差; 航带拼接

中图分类号: TP701 **文献标识码:** A

1 引 言

遥感作为获取地表资源、环境信息的重要技术手段, 日益受到政府和各行各业的重视和广泛应用。目前“数字地球”也在各国方兴未艾, 但数字地球必须首先获取数字地球信息才行, 因此数据源是数字地球的关键。遥感技术是解决数据源的不可缺少的技术手段, 而航空遥感由于其作业灵活、获取的图像分辨率较高、费用低等优势成为遥感的重要组成部分。但是传统的遥感一般都是获取的地面二维图像, 再利用地面控制点进行图像几何纠正来获得地学编码影像。人们一直希望能够摆脱地面控制点来直接产生地学编码影像, 进入90年代后期以来, 以全球定位系统(GPS)、扫描激光测距、惯性导航系统(INS)为技术支持的机载扫描激光系统进入重要的研究阶段, 利用它可以快速获取DTM。据统计^[1], 目前全球已经有40多个机载激光系统。中国学者李树楷于90年代初提出了利用GPS、INS、扫描激光测距和扫描成像仪进行集成而得到机载三维成像仪, 在国家863计划的支持下, 于1996年完成了该系统原理样机的研制后又于1998年转入实验样机的研制。

机载三维成像仪由GPS接收机、姿态测量装置、扫描激光测距仪、扫描成像仪4个主要部分构成。GPS能得到三维成像仪在空中的位置, 姿态测量装置能测出它的姿态参数, 扫描激光测距仪可以精确测定它到地面的距离, 根据几何原理就可以计算激光点的三维位置。同时扫描成像仪同步获取地面的遥感图像, 扫描成像仪和扫描激光测距仪在硬件上共用一套扫描光学系统, 从而保证地面的激光测距点和图像上的像元点严格匹配, 系统原理见图1。在事后处理中, 这些具有三维位置的激光像元点作为“控制点”来精确纠正所获得的遥感图像, 从而快速提供地学编码影像, 也作为“种子点”来求出DTM。

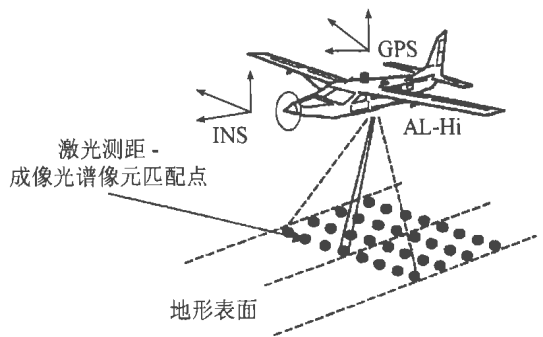


图1 三维成像仪的原理示意图

Fig. 1 Principle of airborne 3D imager

收稿日期: 2000-08-16; 修订日期: 2000-09-26

基金项目: 国家863计划308主题项目, 项目编号: 863-308-12-01(1)。

作者简介: 尤红建(1969—), 江苏如皋人, 男, 副研究员, 在职博士研究生, 1995年毕业于清华大学土木工程系, 获得工程测量硕士学位。主要从事机载集成遥感技术的应用和研究, 已发表论文15篇。

2 三维成像仪的误差分析

机载三维成像仪在工作时,扫描激光测距-成像组合传感器的中心控制单元控制各种数据的获取。电机旋转一周码盘正好对应于扫描镜旋转一周,即获得一行扫描数据。每扫描一行图像就向姿态测量装置发出一个采样信号,姿态测量装置接收到这个信号后,立即采集当前的姿态参数,并通过接口发送给扫描激光测距-成像组合传感器。每扫描32行,控制单元向GPS发出一个事件脉冲信号,并在自己的数据中进行计数。而GPS能测出该脉冲的精确时刻,并存储在GPS内存中(事后处理时依据该事件脉冲信号的精确时间计算成像仪对应的空中三维位置)。

由于它是4种传感器进行集成通过位置或时间同步技术来实现数据的同步获取,因而单个传感器系统本身的测量误差以及传感器系统之间的同步误差都对最终的结果产生误差。下面分析三维成像仪系统中存在的误差。

2.1 单个传感器的误差^[2]

从三维成像仪技术系统的组成和定位原理来看,影响三维遥感结果的误差来源主要有GPS定位的位置误差、测距误差、姿态误差、扫描角度误差。

GPS定位误差 GPS定位结果受到多方面因素的影响,其精度也是有限的。在三维成像仪中,GPS测出的天线相位中心位置要转化成空中遥感器投影中心的位置,这就要进行偏心矢量改正和位置内插,这也会引入一定的误差。因此,最终由GPS而求出的空中投影中心位置包含了误差,该位置误差表现为空中矢量的起始端点误差,从几何关系可以看出,它对地面点的三维定位误差影响是一种累积误差。

扫描激光测距误差 扫描激光测距技术被用来测量空中遥感器到地面点的斜距,由于激光束的发散角、地面精度和斜度、扫描角度以及计时误差等因素的影响会使测距带有误差。从目前的国内外现状及实际检测精度来看,测距精度达到0.25—1m是可能的。

姿态误差 空中遥感器测距的矢量方向是通过姿态测量装置与激光测距仪进行刚体连接而测量的,由于陀螺各种常值漂移、随机漂移、加速度计的动态误差使得姿态测定只能达到一定的精度,目前一般为分级的水平上,国内外普遍采用的GPS和

INS组合可以达到1'甚至于几十秒的精度,三维对地定位中采用了GPS来校正INS的方法能够达到1'—2'左右的精度。从定位原理来分析,姿态误差是影响三维定位的重要因素。

扫描角误差 扫描角是通过当前扫描像元号和扫描中心像元号来计算的,由于扫描镜的运动方程误差和码盘刻划精度,使得扫描角的计算引入了误差,利用扫描角进行三维定位解算时也会引入误差。

这些误差中,GPS定位的位置误差与飞行高度无关,激光测距误差、姿态误差和扫描角度误差会随飞行高度增加而明显变大,而且会随扫描角度的不同而稍有变化,因此飞行高度的增加必须要求精度较高的姿态测量装置,并采取一定的方法或措施提高扫描角的测量精度。

2.2 传感器之间的误差

三维成像仪把4种传感器集成在一起,各部件之间的相互不同步或不统一,都会导致最终结果的误差。这些误差主要有:GPS坐标系和姿态坐标系之间的误差,各传感器之间的时间同步误差,扫描仪坐标系和姿态坐标之间的误差,定位数据和图像的套合误差。其中,定位数据和图像像元的准确匹配才能保证位置和遥感图像的统一,但是由于时序误差、硬件同步误差等影响,使它们的套合存在误差,该误差主要是系统性的。为了消除套合误差,必须尽量消除时序误差或进行补偿(比如扫描周期为0.05s而飞行高度600m,时序误差为10 μ s,就会导致0.8m的系统误差),三维成像仪中测距和扫描仪共用一套光学系统,因此在光学校准时确保各个探测器视场重合,以尽量消除硬件同步误差。

3 系统误差的确定和处理

三维成像仪航空作业时,由于旁向扫描视场有限,因此每条航带的图像只能覆盖地面一定的宽度,要完成一定的作业面积就必须飞行多条航线,而且这些航线还必须保持一定的重叠度(10%—20%)。三维成像仪处理的地学编码图像生成后,还必须将多条航带的地学编码图像拼接成一个测区的遥感地学编码图像。但是,由于误差的存在,使得航带直接按坐标拼接会出现问题(图2),因此要采用一定的误差处理技术,才能保证各条航带的图像拼接正确而无缝。

航带拼接中出现的误差可以分为系统误差和随

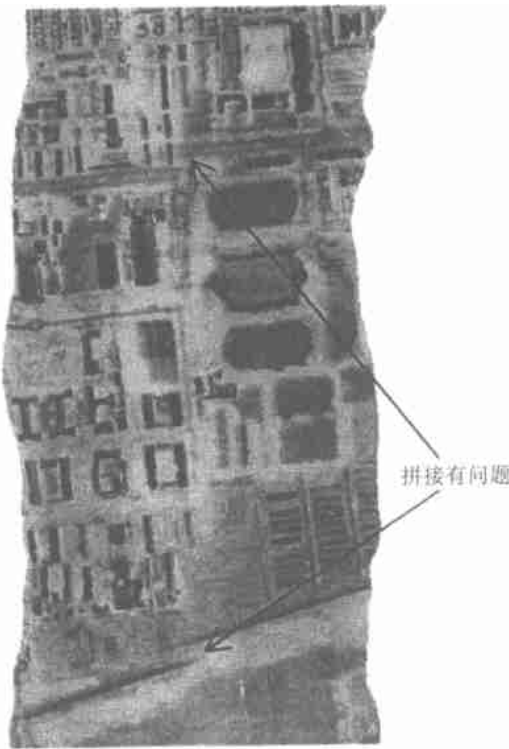


图 2 直接按坐标拼接相邻航带的地学编码图像
Fig.2 Mosaic image of two neighbor strips based on coordinates directly

机误差两种。系统误差在表现为系统性,通常通过一定的作业方法和处理技术可以确定。对于三维成像仪的飞行作业,利用相邻飞行相反的两条航带就可以确定出航带间的系统误差。由于相邻两条航带之间有一定的重叠度,在重叠区内必然会出现同名地物,则它们的三维坐标从理论上讲应该一致。由于飞行方向相反,因此一旦出现系统误差,则同一地物在两条航带的坐标会相差一个常数(系统误差)。通过试验处理,证明了该思想的可行性。我们利用三维成像仪 2000 年 3 月在上海的飞行数据,首先进行了人工分析系统误差。共选择了 9 条航带 21 个同名地物点进行了坐标的系统误差检查,得到了飞行方向的系统误差为 9m 左右。飞行同向的相邻航带没有系统误差存在。

系统误差的存在,就必须在航带坐标拼接之前,把相邻航带的系统误差确定并修正。系统误差确定的依据是相邻航带的所有同名地物点的坐标应该相等,如果坐标出现不等,就为系统误差。利用航带重叠区的同名点匹配算法就可以确定系统误差,但由于相邻航带的重叠区域为不规则区域,而且在搜索过程中,相邻航带重叠的区域大小也是变化的,同时

相邻航带重叠区内的灰度可能会存在系统偏差,因此我们采用了重叠区域平均灰度差的最小的判断原则进行重叠区的区域匹配。即:

$$\sum_{i,j \in S} \frac{|g(i,j)_R - g(i,j)_L|}{n} = \min \quad (1)$$

式中: $g(i,j)_R$ 为重叠区右侧航带图像的灰度, $g(i,j)_L$ 为重叠区左侧航带图像的灰度, S 表示图像重叠的区域,它一般为不规则区域, n 为重叠区域内的图像点数。

开始时,根据各航带的坐标就能确定重叠区域,然后计算出重叠区域的平均灰度差,接着不断移动重叠区域并相应计算出重叠区域的平均灰度差,从这些不断改变的重叠区域中找出平均灰度差最小的区域,此时,从开始确定的重叠区域移动到平均灰度差最小的区域时所对应的坐标平移量,就是航带间的系统误差,利用此系统误差来修正航带的数据即可。

利用本算法对 2000 年 3 月三维成像仪飞行的上海数据,进行了系统误差的探测和修正。表 1 显示了系统误差处理的比较情况,通过比较说明区域匹配算法可以达到满意的结果(人工方法利用明显地物点进行系统误差确定时,由于其地学编码图像的分辨率为 1.8m,因此人工方法的精确度为一个像素,即 1.8m 左右)。

表 1 系统误差确定(区域算法和人工方法的比较)

Table 1 System error determination (Comparison of area algorithm vs man-made method)

相邻航带	区域算法确定的系统误差/m	人工确定的系统误差(3个明显地物点)/m	
反向飞行的相邻航带	3和4	10	9
	7和8	8	9
	7和10	10	10
	9和10	8	7
	11和12	10	9
同向飞行的相邻航带	9和11	0	0

4 随机误差处理和拼接

对每条航带的地学编码图像进行系统误差确定和修正后,还必须将测区所有航带的图像拼接在一起,形成整个测区的地学编码图像,此时必须处理左右航带在重叠区内出现的随机误差。拼接时要使测区影像拼接无缝,灰度过度自然(每条航带的灰度会因为太阳照射角度等因素而不一样),就必须考虑重

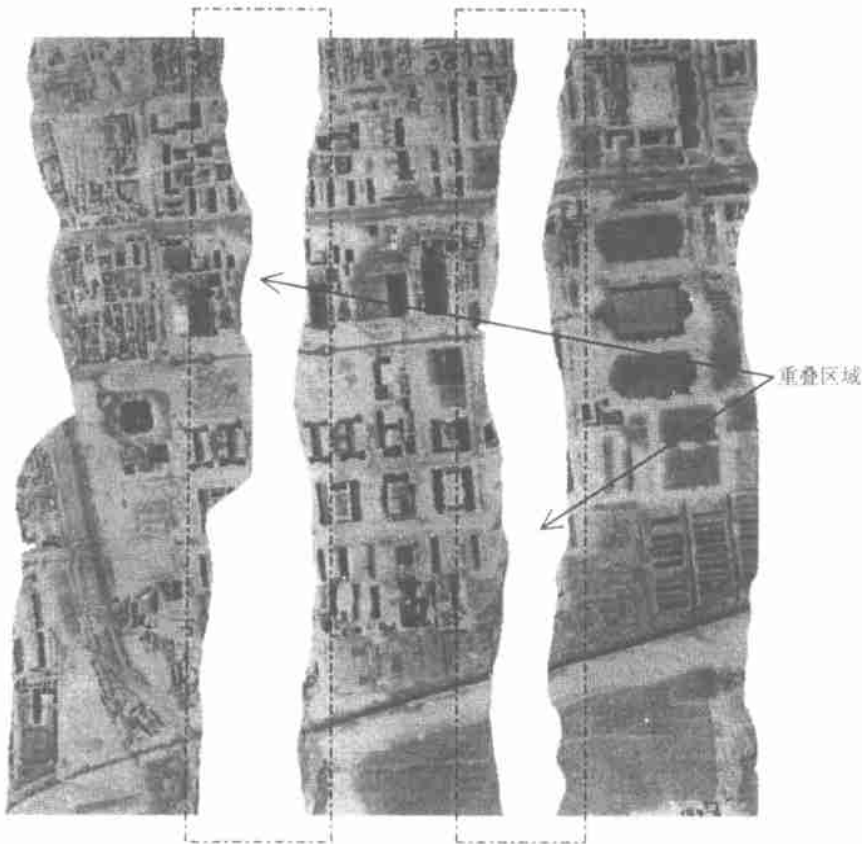


图3 单独3条相邻航带的地学编码图像

Fig. 3 Geo-referenced images of three neighbor strips

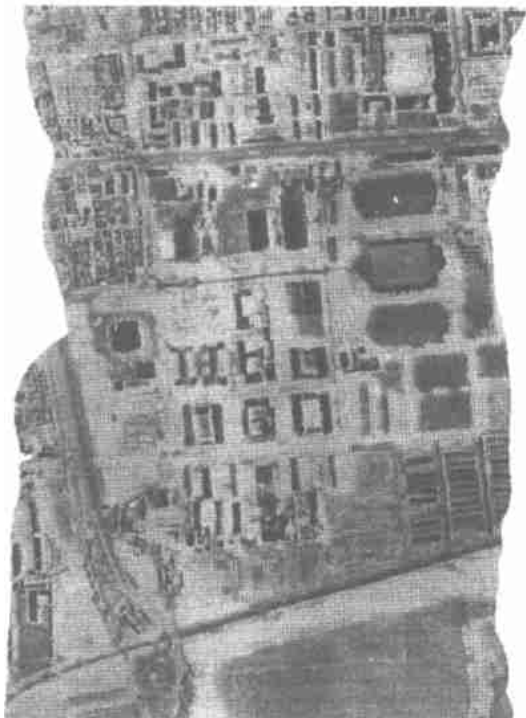


图4 经误差处理拼接的地学编码图像

Fig. 4 Mosaic images after error processing

叠部分的左右两条航带的图像数据,因此设计了一种变权的加权平均值。

$$g_{\text{overlay}} = \frac{R_L}{R_R + R_L} g_R + \frac{R_R}{R_R + R_L} g_L \quad (2)$$

式中 R_R 为当前重叠区内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 为重叠区右侧航带像元的灰度值, g_L 为重叠区左侧航带像元的灰度值。

由于飞行复杂性,两条航线间重叠区内的每行扫描数据的重叠也都不一样,所以权系数是随每行而变化的,每行中的每个像素也是变化的,这样保证了重叠区到非重叠区的平稳过度;真正做到无缝拼接。

具体拼接时,根据每条航带各自的影像数据信息头就可以确定重叠区域,然后按行进行自动拼接,重叠区按变权的加权平均进行计算,非重叠区不变。图3显示了3条相邻航的地学编码图像,图4则显示了经过系统误差修正和自动拼接后的地学编码图像。

5 结 论

三维成像仪作为一种带定位测量功能的新型航空遥感系统,能够快速提供地学编码图像和数字地面模型。但由于各个传感器自身的测量误差和传感器之间的误差会导致处理得到的地学编码图像中带有误差,使得航带拼接时会出现问题。为此在处理得到每条航带的地学编码图像后,必须进行航带间的系统误差的处理和航带拼接处理。经过试验处理,系统误差修正并拼接所得到的地学编码图像拼

接无缝,结果比较令人满意。

参考文献 (References)

- [1] Baltsavias E P. Airborne laser scanning: existing systems and firms and other resources [J]. *ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote and Sensing*, 1999, **54**(2-3): 164-198.
- [2] You Hongjian, Jiang Yuesong, Li Shukai. Error analysis and accuracy estimation of airborne remote sensing with air-to-ground positioning system [J]. *Acta Geodetica et Cartographica Sinica*, 1998, **27**(1): 86-91. [尤红建,江月松,李树楷.机载遥感三维直接对地定位的误差分析和精度估计[J].测绘学报,1998,**27**(1): 86-91.]

Error Processing Technology of Airborne 3D Imager to Mosaic Strips

YOU Hong-jian, LIU Tong, LI Shu-kai, LIU Jian-ming

(Institute of Remote Sensing Applications, Chinese Academy of Sciences, National Engineering Research Center for Geoinformatics, Beijing 100101, China)

Abstract: Airborne 3D imager which integrates global positioning system, attitude measurement unit, scanning laser range finder and spectral imager can produce geo-referenced image and digital terrain models (DTM) without ground control points. The raw image is rectified based on the laser points with known coordinates. Owing to the existence of the error, the geo-referenced images of neighbor strips can not be mosaiced seamlessly. Therefore, it is necessary to eliminate the error. The error source of each component of 3D imager such as GPS error, attitude error and laser range error is analyzed and the system error between the components is also described. Then we focus on the error processing algorithm. The system error is determined and corrected using least mean gray difference in the overlap and the random error is processed by variant weight algorithm in order to mosaic the strips. The test result proves that the error processing methods is feasible.

Key words: 3D imager; system error; strips mosaic