

带自稳定双相机的低空无人飞艇航测系统

陈天恩, 刘凤英, 卢秀山, 王冬

(山东科技大学 测绘科学与工程学院, 山东 青岛 266590)

摘要:研发了一套自稳定双拼相机低空无人飞艇航测系统。该系统以无人飞艇为飞行平台,以带稳定平台的双拼相机为影像获取设备,以测绘城区 1:2000 以上大比例尺地形图为应用目标。通过实验对该系统的设计原理和达到的成果精度进行验证,结果表明,采用该系统进行低空摄影测量可达到测绘 1:2000 以上大比例尺地形图的精度要求。该系统已成功应用于地形图测绘、城区规划、三维城市建模、矿区开采沉陷损害评估等领域。

关键词:无人飞艇;双拼相机;空中三角测量;大比例尺测图

中图分类号:P231

文献标志码:A

文章编号:1672-3767(2013)01-0062-05

An Unmanned Airship Based on Mapping System with Self-stabilized Dual-camera

Chen Tianen, Liu Fengying, Lu Xiushan, Wang Dong

(Geomatics College, Shandong University of Science & Technology, Qingdao, Shandong 266590, China)

Abstract: This paper describes the low-altitude unmanned airships photogrammetric system with the Self-stabilized and dual-combined camera. We have validated the design principles and the accuracy of the system through the production instance. The results show that we can map 1:2000 and 1:1000 relief map by using the system for low altitude photogrammetry. The system has been successfully applied to topographic mapping, urban planning, 3D city modeling, mining subsidence damages and other fields.

Key words: unmanned airship; dual-camera; aerotriangulation; large scale mapping

低空无人飞行器航测遥感系统是近几年国内外快速发展起来的一种新型空间信息获取与处理手段,它以无人飞行器 UAV(unmanned aerial vehicle)为飞行平台,通过机上搭载的相机系统、GPS 接收机、IMU、激光扫描仪、自动飞控系统等设备对地面进行观测获取地面遥感信息^[1],与传统航空摄影测量相比,具有灵活机动、高效快速、应用范围广等显著优势。但是,目前低空无人飞行器航测遥感系统还存在着作业效率不高,影像质量不好,测量精度不高等问题。原因是当前低空无人飞行器航测遥感系统中的相机系统大都采用家用单反数码相机,其光学性能低,畸变差大,像场角小,地面覆盖范围小,影像数量多,组成立体测图时的立体像对间的基线短^[2-3]。此外,目前大多数低空无人飞行器航测遥感系统的飞行平台,未充分考虑飞行过程中飞机自身震动、气流抖动造成的影像模糊以及飞机对地移动造成的像移等误差。要有效解决低空无人飞行器航测遥感系统存在的问题,需要根据具体生产应用,综合考虑平台、传感器以及续数据处理等环节,对系统进行优化。

本研究主要考虑城区小范围大比例尺测图需要,研制开发了一套带稳定平台的双拼相机低空无人飞行

收稿日期:2012-02-19

基金项目:山东省“泰山学者”建设工程专项经费项目;山东科技大学科学研究“春蕾计划”项目(2010AZZ005);山东科技大学“群星计划”项目(qx1020)

作者简介:陈天恩(1966—),男,河南信阳人,教授,博士后,山东省泰山学者,主要从事摄影测量与遥感、计算机视觉、光学传感器检校与研制方面的研究. E-mail:chentian@iis. u-tokyo. ac. jp

器航测遥感系统。该系统已在教学和生产中得到了应用,并于 2009 年通过国家测绘地理信息局组织的专家鉴定。这一系统以无人驾驶飞艇为飞行平台,以高分辨率数字遥感设备为机载传感器,以获取低空高分辨率遥感数据和测绘大比例尺地形图为应用目标,具有快速、实时对地观测和调查监测能力,为资源调查、环境监测提供了有效手段。

1 系统组成及关键技术

系统主要由无人飞艇、自动飞行控制系统、地面控制站、数码相机和数据处理软件组成。

1.1 无人飞艇

飞艇由山东科技大学委托中国测绘科学研究院开发,后经山东科技大学根据生产和教学任务设计改进、完善并定型,是承载飞艇自动飞行控制系统、相机系统及其他附属部件的平台,主要由艇囊、尾舵、动力舱和任务舱四部分组成,图 1、图 2 分别是其全貌图和飞艇上搭载的飞控系统示意图,表 1 为无人飞艇主要技术参数。



图 1 无人飞艇系统图

Fig. 1 The unmanned airship system



图 2 无人机自动飞行控制系统外观图

Fig. 2 The automatic flight control system

1.2 自动飞行控制系统

自动飞行控制系统是当前三类无人飞行器平台的核心硬件,是平台的控制中枢。它主要负责和地面实时通信,根据预先设定的航线、航摄点、飞行高度、摄影比例尺、重叠度等参数以及飞行器上各种传感器观测的参数和地面控制站发出的指令控制飞行器的飞行,并实时将飞行位置、高度、飞行速度、航向、姿态及飞行器等参数发回地面控制站,使获取的遥感数据在精度、比例尺和重叠度等方面满足遥感的技术要求。

1.3 地面测控系统

地面测控系统是无人飞行器航测遥感系统整个硬件组成的控制指挥中枢部分(图 3),由双向数据传输模块、图像接收模块、接收天线或跟踪天线、图像显示器、计算机、电源管理器和地面站工作电池等组成。它通过计算机软件的配合可轻易实现超视距遥控飞行或者自主飞行。地面控制站可装载矢量电子地图及 google 卫星地图照片、航拍照片等,能够实现任务航线规划,对无人飞行器双向数据控制,飞行器航迹、航高、航速、航时、航向、机载温度、机载通讯设备及动力设备电压实时监测,并对无人飞行器传回的图像与飞行轨迹实现显示与记录。机载相机可通过地面站指令或按程序定点实现自动拍照,将实时视频图像传输到地面站,并在液晶屏上显示拍摄的图像,也可通过地面指令实现定时、定距离拍摄。在半径 30 km 范围内,通过数传设备的 4 个通道对无人飞行器进行测控,测控站可连续工作 6 h 以上,随地面测控站配置的手控遥控器遥控半径可大于 2 km。

表 1 无人飞艇主要技术参数表

Tab. 1 The main technical parameters of unmanned airship

项目	参数	项目	参数
飞艇长度/m	13	飞艇直径/m	3.4
任务载荷/kg	5~15	起飞重量/kg	60
飞行速度/(km/h)	0~60	飞行高度/m	0~3000
续航时间/h	3~4	控制半径/km	0~20
导航精度/m	≤5	控制方式	遥控、自主、程控

1.4 带稳定平台的双相机系统

无人飞行器由于体积小、动力不足,普遍存在抗风能力弱和飞行不稳等问题,所搭载的主要遥感传感器为市场上销售的家用面阵 CCD 数码相机。这类相机价格低廉,但光学性能较差,对抖动比较敏感,容易产生影像抖动模糊从而大大降低影像分辨率。鉴于此,可通过镜头、CCD 芯片或成像软件添加防抖功能,这些措施虽然可以保证影像的清晰,但容易破坏相机成像的几何条件,不便于摄影测量使用。

为使获取的遥感影像满足大比例尺测图的精度要求,应根据相机的几何成像模型,做相关的检校工作,得到相机的内外参数,必要时采用特殊的检测手段,测定每个像元的畸变量^[4]。另外,为提高飞行作业效率以及测量成果的精度和质量,尽量采用大面阵 CCD 数字相机来减少地面覆盖所需航线及影像数量,提高摄影基高比。对于飞行平台自身抗风能力弱、飞行稳定性差的问题应加装三轴稳定平台,以保证获取稳定的、清晰的高质量影像,遥感传感器的位置数据和姿态数据最好能够实时记录并存储,以用于遥感数据的处理,提高工作效率^[5-6]。

为此,开发了带稳定平台的双相机系统(图 4(a),4(b)),采用内倾式、外拼接方式进行双相机拼接,拼接成像示意图如图 5 所示。双相机系统采用现代航空数码相机的多相机原理,并与三轴稳定平台固定成一体,达到既稳定相机系统姿态又能同时获取大幅面航空影像的目的。双拼相机的检校,首先要对每台相机单独进行检校,然后测定各相机间的相对外方位元素。相机一旦固定,两相机的相对位置就确定下来,每个相机相对于虚平面坐标系的外方位元素也就确定下来。将固定好的相机对检校场进行拍照,利用空间后方交会的原理求取两相机拍摄时的外方位元素,然后求取两相机对虚平面的相对外方位元素。然后利用双相机的检校结果进虚拟影像的拼接,影像拼接的流程图如图 6 所示,拼接的虚拟影像如图 7 所示。

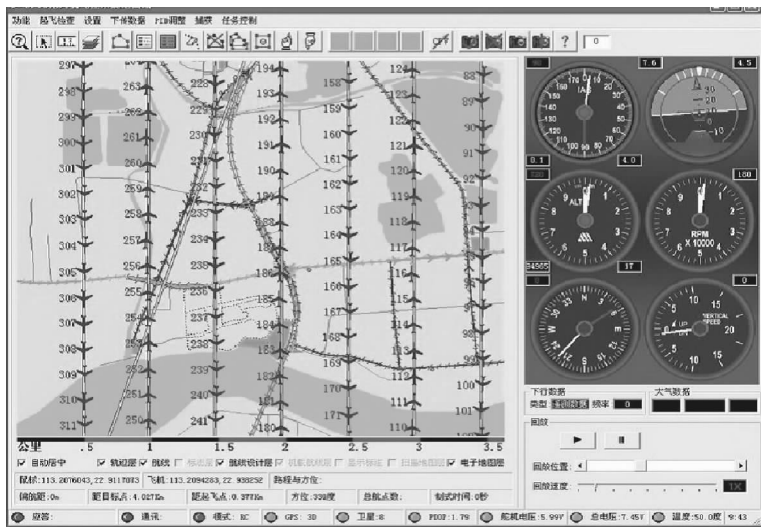
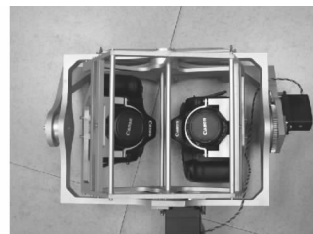


图 3 地面控制工作界面图

Fig. 3 The working interface of the ground control station



(a) 带稳定平台的双拼相机系统侧面图



(b) 带稳定平台的双拼相机系统正面图

图 4 带稳定平台的双拼相机系统图

Fig. 4 The side view (a) and top view (b) of the self-stabilized dual-camera

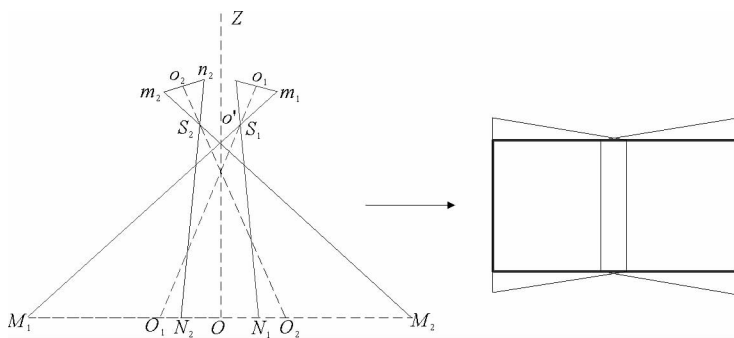


图 5 双拼相机内倾式拼接成像模型图

Fig. 5 The dual-camera inner oblique mosaic model

1.5 数据处理系统

目前的无人飞行器遥感系统多使用小型数字相机作为机载遥感设备,与传统的航片相比,存在像幅较小、影像数量多、影像的倾角过大以及重叠度不规则等问题,给影像匹配、影像的定向和空中三角测量等内业处理带来一系列困难。因此,开发了国内第一套处理大倾角非规则飞行航空影像的数据处理软件MAP-AT,该系统突破了传统航测在摄影比例尺、姿态角、重叠度等方面的限制,通过数学模型处理现有面阵航摄胶片相机、数码相机以及组合宽角相机(包括各种全景数码相机)的影像。经普通飞机航摄、低空轻型机航摄、无人机航摄以及无人飞艇航摄所获取的竖直摄影影像、交向摄影影像、倾斜影影像和复杂航线多基线摄影影像,通过多视影像匹配自动构建空中三角测量网,能进行多达10 000片影像的大区域网光束平差;配合低空遥感的高分辨率影像,实现高精度航测定位,并且能自动化生产数字高程模型和数字正射影像等产品。

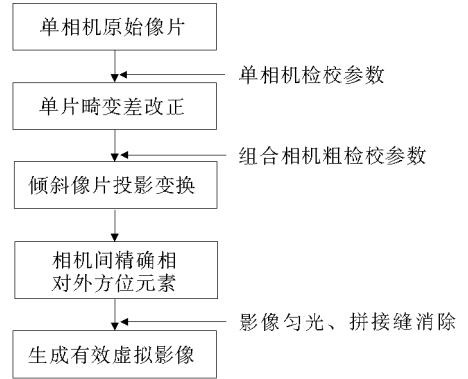
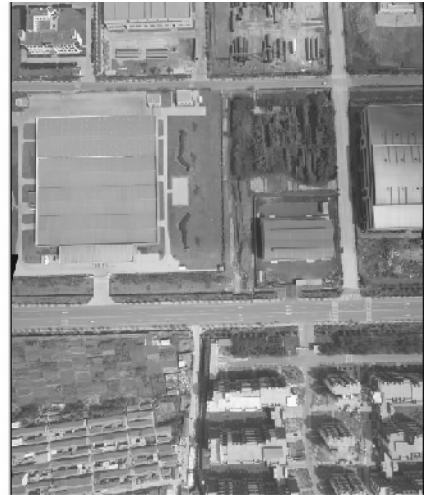


图6 影像拼接流程图

Fig. 6 The image mosaic flow



(a) 双拼相机初始拼接结果



(b) 双拼相机最后拼接结果

图7 带稳定平台的双拼相机系统的拼接影像图

Fig. 7 The merged images of the self-stabilized dual-camera

2 试验与精度分析

为了对自稳定双拼相机低空无人飞艇航测系统的整体性能进行检验,选择山东省博兴县城作为试验区,该试验区大部分地势平坦,主要为城镇区域。相关技术参数如表2和表3所示。

按照区域网空中三角测量作业的要求,在测区中使用GPS实时动态测量技术施测了80多个平高控

表2 带稳定平台双相机系统主要技术参数表

Tab. 2 The main technical parameters of the self-stabilized dual-camera

项目	参数	项目	参数
单相机型号	佳能 EOS 5D	主距/mm	24
感光元件	CMOS	感光元件尺寸/mm	35.8×23.9
影像分辨率/像素	4368×2912	快门速度/s	1/8000-30
机身重量/g	810	单相机尺寸/mm	152×113×75
双相机间距/m	0.13	双相机间夹角/(°)	33
像片重叠度/%	33	虚拟有效像幅/像素	4320×5332
稳定平台反应/Hz	20	滚动俯仰角度/(°)	±40

制点和检查点,控制点没有制作人工地标,全部选择地物点,部分控制点选择在有起伏的房角上,这会影响到空三精度,尤其是高程精度,需要根据计算结果对控制点进行优化选取。

本次试验采用自动空中三角测量软件 MAP-AT 空中三角测量模块进行平差点的自动观测和区域网平差计算。在外业控制点获取前先进行全测区的自由网空三加密,根据平差后像点坐标残差统计出的中误差为 0.3 像素(表 4)。从数据解算的结果看,虽然采用的普通数码相机镜头质量差,影像效果不好,但平面和高程精度均达到了预定的 1:1000 成图的空三加密精度要求,按常规航测法采用“先内后外”的方式测绘 1:1000 地形图。

3 结论

自稳定双拼相机低空无人飞艇航测系统,采用两台普通数码相机拼接成一幅大幅面的虚拟中心投影影像,不仅可以克服飞艇飞行不稳造成影像重叠度时大时小产生的漏洞,还通过增大像幅尺寸提高作业效率和几何精度,保证了大比例尺测图的规范要求,达到了实用化的目标。在数字城市快速更新、新农村测绘保障服务和应急救援等方面有着非常广阔的应用前景,可作为卫星遥感和传统航空摄影测量与遥感的重要补充手段。

参考文献:

[1] Masahiko N, Chen T, Shibasaki R, et al. UAV-Borne 3-D mapping system by multisensor integration[J]. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 2009, 47(3): 701-708.

[2] 刘召芹. UAV 载特轻小型组合广角数码相机系统研究[D]. 青岛: 山东科技大学, 2008: 26-34.

[3] 王聪华. 无人飞行器低空遥感影像数据处理方法[D]. 青岛: 山东科技大学, 2006: 51-66.

[4] Chen T, Shibasaki R, Murai S. Development and calibration of the airborne three-line scanner(TLS) imaging system[J]. Photogrammetry Engineering and Remote Sensing, 2003, 69(1): 71-78.

[5] 王留召. 小型数字航空摄影测量系统[D]. 昆明: 昆明理工大学, 2006: 32-38.

[6] 韩友美. 优化 UAVRS-F 摄影测量高程精度的方案与技术研究[D]. 青岛: 山东科技大学, 2008: 43-49.

表 3 航摄相关技术参数表

Tab. 3 The parameters of aerial photogrammetry

项目	参数	项目	参数
单相机型号	佳能 EOS 5D-Mark II	航线数/条	9
镜头主距/mm	佳能定焦 24	摄影比例尺	1:12 000
感光元件	CMOS	航向重叠度/%	80
感光元件尺寸/mm	35.8×23.9	旁向重叠度/%	50
单影像分辨率/像素	5616×3744	地面分辨率/cm	8
虚拟有效像幅/像素	6860×5600	测区航片数/张	331
航高/m	280	计划成图比例尺	1:1000

表 4 空三加密精度表

Tab. 4 The precision of aerotriangulation

项目	X/m	Y/m	Z/m
基本定向点残差中误差	0.079	0.101	0.207
基本定向点残差最大值	0.321	0.361	0.394
检查点残差中误差	0.084	0.102	0.241
检查点残差最大值	0.412	0.370	0.550

(责任编辑:高丽华)