

自稳定双拼相机低空无人飞艇航测系统

王冬^①, 卢秀山^①, 刘凤英^①, 李为鹏^②

(^① 山东科技大学 测绘科学与工程学院, 青岛 266510; ^② 日照市城乡建设勘察测绘院有限公司, 日照 276826)

摘要:介绍了自稳定双拼相机低空无人飞艇航测系统的结构组成、性能特点、技术指标和应用领域,并详细介绍了系统的核心技术:自稳定双拼相机以及影像处理软件。实验证明:使用该系统进行低空摄影测量可达到1:2000、1:1000地形图测绘的精度要求,达到了工程化、实用化目标。

关键词:低空无人飞艇;自稳定双拼相机;空三加密;相机检校;影像拼接

doi: 10.3969/j.issn.1000-3177.2011.04.019

中图分类号: TP79 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-3177(2011)116-0096-04

The Low-altitude Unmanned Airship Photographic System with Self-stabilized and Dual-combined Camera

WANG Dong^①, LU Xiu-shan^①, LIU Feng-ying^①, LI Wei-peng^②

(^① Geomatics College, Shandong University of Science and Technology, Qingdao 266510;

^② Rizhao Geotechnical Investigation and Surveying Institute of Urban and Rural Construction Co. Ltd, Rizhao 276826)

Abstract: This paper describes the composition, performance characteristics, technical specifications and applications of the low-altitude unmanned airship photographic system with self-stabilized and dual-combined camera, and details the system's core technologies: self-stabilization camera and image processing software. The experiment shows that such a system can achieve the topographic mapping accuracy of 1:2000 and 1:1000 scale when used in low altitude photogrammetry.

Key words: low-altitude unmanned airships; the self-stabilized and dual-combined camera; aerial triangulation; camera calibration; image mosaic

1 引言

虽然传统航空摄影测量仍然是测绘大比例尺地形图的首选技术,但仍然存在以下几个问题:①受天气影响比较大,阴、云、雨等条件下得不到影像、或者影像质量差,现势性差;②飞行高度高,得不到较高分辨率和高清晰度的影像,因此无法获取更详细的地物几何和纹理信息;③用于小区域大比例尺数据采集时航摄成本高,生产周期长,满足不了特定条件下的成图精度和经济效益的要求;④缺乏机动灵活性,不能满足防灾救灾和突发事件应急测绘的需求;⑤普通

用户不能自主拥有。因此,需要寻找一种新型飞行平台以及与其相配套的传感器来解决上述问题。

无人驾驶飞行器低空遥感系统以无人驾驶飞行器为飞行平台、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、环境监测提供了有力的手段,可广泛用于土地利用动态监测、地质环境与灾害勘查、地籍测量、地形图测绘和更新、海洋资源与环境监测等领域。随着国土资源调查和管理的不断深化和应用的不断扩展,对遥感影像数据的需求日趋显著。无人驾驶飞行器低空遥感系

收稿日期:2010-05-17 修订日期:2010-08-04

基金项目:国家海洋局海洋溢油鉴别与损害评估技术重点实验室开放基金资助项目(200904);国家高技术研究发展计划资助项目(2008AA121305-5-2,2009AA121405)。

作者简介:王冬(1979~),男,博士,副教授,主要从事摄影测量尤其是近景摄影测量的理论、方法研究及应用。

E-mail: wdfcy@263.net

统将成为卫星遥感和普通航空摄影遥感的重要技术补充,是遥感信息获取的重要发展方向之一。

2 系统组成及主要技术指标

2.1 系统组成

自稳定双拼相机低空无人飞艇航测系统由无人驾驶飞艇、飞行控制系统、遥测遥控系统、遥感设备及其控制系统、数据处理系统组成,系统具有程控、遥控、自主飞行 3 种控制模式,有较好的可靠性、控制精度和成像效率,能够达到实用化、工程化的目标。

2.2 系统主要技术指标

无人飞艇平台、单相机和双拼相机、相机检校和影像处理软件的主要技术指标如表 1 和表 2:

表 1 飞艇主要技术指标

任务载荷	5~ 15kg	飞行速度	0~ 50km/h
起飞重量	60kg	飞行高度	50~ 3000m
续航时间	3~ 4h	控制半径	5~ 20km
飞艇长度	12~ 20m	飞艇直径	2~ 4m

表 2 传感器主要性能参数表

参数	单台 Cannon EOS 5D
传感器尺寸	35.8× 23.9mm
像元数	1280 万
感光元件	CMOS
最大像幅	4368× 2912 像素
重量	810g
体积	152× 113× 75mm
参数	双拼相机
相机间距	0.13(m)
相机倾角	16° 30′
像片重叠度	33%
虚拟有效像幅	4320× 5332 像素

相机检校达到 0.3 个像素的精度,影像数据预处理软件能够进行双拼相机影像的拼接,并且达到了精度要求;影像数据后处理软件能够快速处理基于无人驾驶飞艇的低空摄影测量影像,具有自动生成 DEM、DOM、DSM 以及编辑功能。应用该系统进行低空摄影测量,能够满足 1: 2000 和 1: 1000 大比例尺地形图测绘的精度要求。

3 关键技术研究

自稳定双拼相机低空无人飞艇航测系统的关键技术包括稳定平台的设计、双拼相机、相机检校、影像拼接和处理技术。

3.1 双轴稳定平台

无人飞艇由于体积大,在空中飞行时易受风和气流的影响,稳定性较差,使姿态角产生偏差。本系统使用了双轴稳定平台,遥感设备安装在稳定平台上,保证摄影时数码相机姿态的稳定并保持垂直摄影姿态,实现对遥感设备的姿态控制,以获取清晰、稳定以及所需拍摄角度的遥感影像。

稳定平台由支架和 3 个能够各自在 X、Y、Z 方向转动的轴组成,齿轮的转动由高性能的大扭力电机驱动,转动量取决于无人飞艇偏转角的大小,由遥感设备偏移时产生的角度变化转换成电信号,输出到稳定平台来控制遥感设备保持垂直向下。稳定平台的俯仰角和横滚角控制范围为 20°,航向角控制范围为 90°。双轴稳定平台的使用既可以实现垂直摄影也可以实现倾斜摄影,通过对无人飞艇飞行时的姿态数据进行分析,在侧风小于 4 级的情况下,稳定平台可以控制任务仓的横滚角、俯仰角一般不大于 3°,能够满足航空摄影测量的要求。

3.2 双拼相机

目前国内外用于航测的低空无人飞行器大都采用单个数码相机作为影像获取的主要传感器,获取的数字影像存在像幅小、影像数量多、处理时间长、基线短、高程精度低等一系列问题。虽然国内外一些单位如中国测绘科学研究院研制出了 SWDC 航测相机和 UAV 专用特宽角组合相机、美国的 DMC 航测相机、奥地利的 UCD 航测相机,但存在价格高、体积大、结构复杂、重量重等问题,对飞行平台特别是无人飞艇有更高的要求,所以有必要研制一种新型的成像传感器。

自稳定双拼相机主要是针对当前低空无人飞艇和成像传感器用于测绘遥感应用中存在的这些实际问题,综合性地从硬件到软件优化后设计开发的一套航测相机,具有如下特点和优势:成像像幅大(增大了地面覆盖面积)、摄影基线长(航测数据高程精度得到提高)、成像数量少、后续处理时间短(作业效率提高)、重量轻(减少了飞行器飞行负担,提高了飞行安全性)等;采用它进行低空摄影测量能够达到 1: 1000 大比例尺测图的精度要求。

自稳定双拼相机选用了两个佳能 EOS 5D (4368× 2912 像素)单反数码相机和两个佳能焦距为 24mm 的镜头,两相机采用内倾式拼接模型进行外视场拼接如图 1,其拼接成像模型示意图如图 2。相机间距与拼接误差成正比,所以为了保证拼接精度,同时为了减小组合相机的体积,相机间距应该越小越

好; 相机倾斜角度越大则地面覆盖会越大, 但是影像边缘部分 GSD 变化较大, 图像重采样后会比较模糊, 对后续的摄影测量处理和精度带来一定的影响。

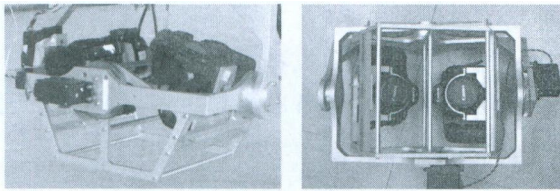


图 1 自稳定双拼相机

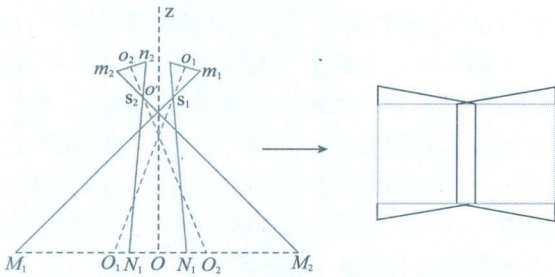


图 2 双拼相机内倾式拼接成像模型

综合考虑相机间距和倾角对像片重叠度、虚拟有效像幅和影像拼接误差的影响, 设计两相机的间距(即相邻两像片投影中心之间的距离)为 0.13m, 倾角(即镜头沿中心轴线方向倾斜的角度)为 16°30', 两相机像片重叠度为 33%, 虚拟有效像幅的大小为 4320×5332 像素。

3.3 相机检校

非量测数码相机内方位元素未知, 且其畸变差大, 要将普通的数码相机用于摄影测量, 必须先对相机进行精确的检校, 标定出数码相机的必要参数, 才能供后续的摄影测量处理使用。检查和校正非量测

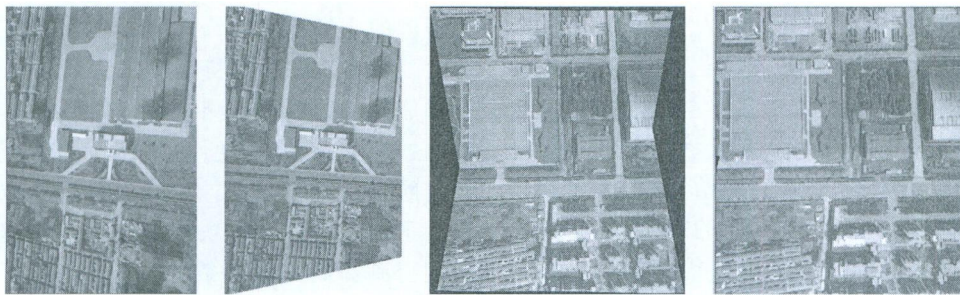


图 3 影像拼接示意图

相对于传统的航空摄影测量航片, 由于受风力等因素的影响, 无人飞艇搭载普通数码相机获取的影像存在数量多、航向和旁向重叠度不规则、像幅小、航线弯曲、倾角过大等一些问题, 所以对影像处理软件的要求比较高。国内比较成熟的摄影测量影像处理软件 JX-4C 和 VirtuoZo 数字摄影测量工作站, 虽然能够处理传统航空摄影测量影像、近景摄影测量影像、部分卫星影像和一些可量测数码相机影

数码相机内元素和光学畸变系数的过程称之为摄影机的检校^[3]。

由于机械设计和制造存在误差, 导致两相机并不能严格按照设计参数完成拼接, 所以必须对双拼相机进行检校, 以获取双相机之间的相对外方位元素, 在后期影像拼接处理中作为初始值参与运算。相机检校的精度直接关系到影像拼接的几何精度和影像后期的摄影测量处理^[1-2,5]。

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”^[3-4,6]。

3.4 影像拼接和处理

双拼相机影像拼接的基本原理是: 首先根据检校的单相机参数将单个影像进行畸变差改正, 然后将倾斜像片纠正成水平像片, 对水平像片重叠区域内的影像进行特征匹配, 利用匹配得到的同名点对各子影像进行内部相对定向, 求取各子影像间精确的相对外方位元素, 然后利用这些外方位元素将各子影像投影到虚拟水平面上, 最后将各子影像拼接成一幅符合中心投影的虚拟影像如图 3。拼接误差只与虚拟影像主距 f_0 、相机间距及地面点的“高程”和绝对航高有关。一般地, 为不改变影像的实际分辨率, 虚拟主距应尽量与相机的实际主距一致。相机固定好之后, 拼接误差只与地表起伏和航高有关^[2]。

像, 但由于对影像数据的质量要求相对较高, 目前在处理一些重叠度较不规则、姿态角变化比较大的无人机和无人飞艇影像时仍然存在一些问题。

针对以上问题专门研发了能够处理无人飞艇影像的软件 Map-AT, 该软件突破了传统航测在摄影比例尺、姿态角、重叠度等方面的严格限制, 按严密数学模型能够处理面阵航摄胶片相机、数码相机、组合宽角相机的影像; 可以处理重叠度不规则(航向和

旁向)、大倾角的航空影像。实际应用过程表明软件达到了影像处理速度快、自动化程度高、支持海量数据处理等工程应用的目标。

4 实验及精度分析

为了验证自稳定双拼相机低空无人飞艇航测系统所能达到的空三加密精度以及工程实用性,于2009年5月采用该系统对山东科技大学青岛校区进行了低空摄影测量实验。测区西部有一座小山,高度约100m,其他三面地势相对平缓,测区内部基本建筑物高度20m左右,地势相对平坦。测区像控点采用品字型布点方案,一共用了14个外业像控点参与空三平差计算,用21个点进行了检查,精度评定依据《城市测量规范》CJJ8-99里面的《城市航空摄影测量》的一般规定,具体实验结果如表3、表4和图4:

表3 相机和航摄参数

镜头焦距	24mm	像元大小	8×8 μ
虚拟像幅幅面大小	4320×5332(pixel)	视场角	88×73°
飞行高度	300m	地面分辨率	11cm
旁向重叠度	50%	航向重叠度	80%
航带间距	266m	曝光间隔	86m

表4 空三加密精度分析(单位:m)

空三加密精度分析		ΔX	ΔY	ΔZ
山科大实验区	像控点最大残差	0.1089	0.1002	0.202
	像控点残差中误差	0.076	0.073	0.163
	像控点点位中误差	0.105 < 0.35		0.163 < 0.18
	检查点最大残差	0.181	0.224	0.183
	检查点残差中误差	0.079	0.102	0.123
	检查点点位中误差	0.129 < 0.35		0.123 < 0.18

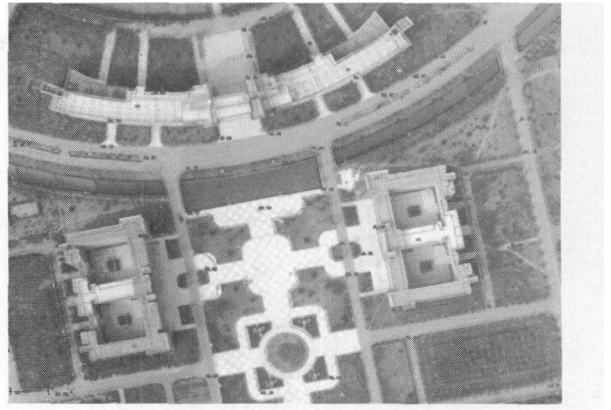


图4 采用该系统获取的测区正射影像与线划图叠加图

实验数据结果表明,采用该系统进行低空摄影测量达到了1:1000大比例尺地形图测绘的规范要求。另外,同搭载单相机进行低空摄影测量相比,利用双拼相机进行低空摄影测量,外业、内业作业效率和高程精度得到了明显提高,生成的正射影像效果较好,几何精度满足精度要求。已采用该系统对其他多个测区进行了低空摄影测量,均达到了1:1000大比例尺地形图测绘的精度要求。

5 结束语

自稳定双拼相机低空无人飞艇航测系统,集新近发展的多种传感器于一体,形成了一套比较完善的基于无人驾驶飞艇的影像数据获取与处理的低空摄影测量方案。系统能够低空低速飞行,在小区域内快速获取高分辨率的遥感影像,能够满足1:1000大比例尺测图的精度要求,达到了工程化、实用化的目标。可以作为卫星遥感与普通航空摄影测量技术的重要补充,满足当前“数字城市”、新农村建设、大比例尺地形图测绘、地籍调查、应急测绘、环境监测等工程项目的需要,具有广阔的应用前景。

参考文献

- [1] 王冬. 基于多片空间后方交会的 CCD 相机检校[D]. 青岛: 山东科技大学, 2003.
- [2] 周国香. UAV 载多面阵数码相机拼接技术的研究[D]. 青岛: 山东科技大学, 2009.
- [3] 刘召芹. UAV 载特轻小型组合广角数字相机系统研究[D]. 青岛: 山东科技大学, 2008.
- [4] 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.
- [5] 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.
- [6] 林宗坚. 数码相机的畸变差检测研究[J]. 武汉大学学报(信息科学版), 2005, 30(2): 121-125.
- [7] 王冬, 冯文灏, 卢秀山, 张纯连. 基于多片空间后方交会的 CCD 相机检校[J]. 测绘科学, 2006, 31(4): 64-66.
- [8] 王冬, 卢秀山, 刘凤英, 黄磊. 一种城市三维建模的新途径[J]. 工程勘察, 2007, 217(8): 49-53.