

高原山区天狼星无人机航测精度分析

袁三明¹ 袁崇政² 朱兰艳¹

(1.昆明理工大学 昆明 650093; 2.永胜县畜牧站 丽江 674200)

摘要: 传统的高原山区无人机航测内外业流程复杂且工作效率低。天狼星无人机拥有先进的免像控航测技术,可以快速地获取高分辨率的多元数据,并能够大大减少内外业工作时间。本文选取云南丽山村为航测区域。通过对航测数据进行处理获得数字正射影像(DOM)和数字表面模型(DSM)。从正射影像上测量检测点的平面坐标,并在数字表面模型上测量检测点的高程值,通过解算获取误差,然后与规范标准进行对比完成平面精度和高程精度的检验。结果表明,平面中误差为0.129 m;高程精度最大误差为0.221 m,最小误差为0.068 m;高程中误差为0.086 m。数据精度符合规范要求,证明了天狼星无人机免像控航测技术在高原山区应用的可行性。通过对天狼星无人机在云南丽山村的航测数据进行精度分析,为同类地形中无地面像控的航测提供了参考和数据支持。

关键词: 无人机;免像控;高原山区;航测精度

中图分类号: TN98 **文献标识码:** A **国家标准学科分类代码:** 420.2030

Precision analysis of aerial photogrammetry of the Sirius UAV in plateau mountain area

Yuan Sanming¹ Yuan Chongzheng² Zhu Lanyan¹

(1.Kunming University of Science and Technology, Kunming 650093, China;

2. Yongsheng County Animal Husbandry Veterinarian Station, Lijiang 674200, China)

Abstract: The office work and field work of traditional UAV aerial photogrammetry in plateau mountains area are complex and inefficient. The Sirius UAV has advanced non-GCPs aerial photogrammetry technology that can quickly acquire high-resolution multivariate data and greatly reduce data processing and field work hours. This paper selects Lishan Village in Yunnan for the aerial photogrammetry area. Digital orthophoto (DOM) and digital surface model (DSM) are obtained by processing aerial photogrammetry data. Measuring the plane coordinates of the detection point from the orthophoto image and measuring the height of the detection point on the digital surface model. The error is obtained by calculation, and then compared with the specification standard to complete the inspection of plane precision and height accuracy. The results show that the mean square error of plane is 0.129m; the maximum error of the elevation accuracy is 0.221m, the minimum error is 0.068m; the mean square error of height is 0.086m. The accuracy of the data meets the requirements of the specification, which proves the feasibility of Sirius UAV non-GCPs aerial photogrammetry technology applied in the plateau mountains area. Through the accuracy analysis of the aerial photogrammetry data of Sirius UAV in Lishan Village, Yunnan, it provides reference and data support for aerial photogrammetry non-GCPs in similar terrain.

Keywords: unmanned aerial vehicle; non-image control points; plateau mountain area; aerial photogrammetry accuracy

0 引言

高原山区地形复杂、交通不便,传统的测量方法费时费力,难以把控测图的精度要求。在保证精度的前提下,在高原山区中开展快速且便捷的测绘工作是灾害监测和国土调查的现实需求。使用无人机进行山区航测具有测绘成本低、

便于携带、测绘灵活等优点,是空间信息数据获取的重要方法和途径^[1]。特别是在地形地貌测量、植被监测、灾害救援以及城市勘测等方面,无人机低空数字航测都发挥着十分重要的作用^[2]。如今,许多学者将无人机低空数字航测分别应用在了土地整治项目、高原地质灾害、水稻种植信息提取、水资源综合利用和滑坡调查评估等领域^[3-7]。但民用轻小型无

人机系统的外业摄影测量和内业处理流程繁杂,且现有的数码相机大都为4 000万像素以下的非专业型设备,此类摄影器材获取的图像精度低、易失真,使航测效率变低。目前,利用传统无人机航测系统开展高山密林测图依然存在困难,地区测绘工作存在像控点布设难度大、施测复杂等问题^[8]。

拓普康公司新推出的Sirius PRO无人机拥有内置高精度实时动态(real-time kinematic, RTK),在迅速获取大量多元数据的同时可以保证数据精度^[9]。一键式导入数据后通过处理软件能够自动完成高分辨率的大比例尺地形图、正射影像制作。同时天狼星无人机的免像控技术,大大减少了内外业作业时间,更加快速的保证了高原山区地形地理数据获取,有力地支持了高效航测作业提供了支持^[10]。本文通过使用天狼星无人机在云南高原山区进行小范围实际测图来获取数据,并以1:2 000大比例尺测图标准为参考对其测图精度进行验证分析。

1 天狼星免像控无人机系统

拓普康公司研制的新一代高精度天狼星无人机系统,测量作业过程中能实现免像控航测,自动完成数据采集。该系统高度整合了先进硬件设备和高精度实时动态技术,集成的全球定位系统(global positioning system, GPS)、惯性测量单元(inertial measurement unit, IMU),航测过程中能够实时求差获取坐标与高程。它主要由系统硬件设备、影像处理系统、信息分析系统、业务运行保障系统等组成^[11]。文献[12-15]已将免像控无人机系统应用于电厂地形图测量工程、工程收方、热带森林测量以及河湖监测等项目中。但目前依然没有对该系统在高原山区的应用进行可行性验证。

1.1 天狼星无人机

天狼星无人机为轻型固定翼无人机,机身采用了超轻材料Elaper泡沫,长度1.2 m,翼展1.63 m,仅重2.7 kg,可手抛起飞和自动滑行降落。能在雨中或5级风力以内作业,巡航时间理论值为55 min,飞行速度最大可达65 km/h^[16]。如图1所示。



图1 天狼星无人机

1.2 配套软件

天狼星无人机免像控系统配置有一套标准操作软件,

主要包括地面站软件 MAVinci Desktop 和影像后处理软件 PhotoScan Pro。MAVinci Desktop 还与其他大部分影像处理软件兼容一键式集成接口,如 PIX4D Desktop、Menci APS、OrbitGIS 等。将航测数据一键式导入 PhotoScan Pro,经过自动拼接处理取得数字正射影像(digital orthophoto map, DOM)、数字表面模型(digital surface model, DSM)以及点云数据,再根据不同的需求实现快速可视化、虚拟测量、体积分析以及实时计算等高线等功能。影像后处理的整个过程不需要人工参与^[17]。

2 航飞测图

2.1 飞行区域概况

此次航测区域位于云南省禄劝彝族苗族自治县两山村,航区面积1.21 km²,南北平缓、东西陡高、地势复杂、交通不便。平均海拔1 840 m,最大高程差288 m,通视条件较差。年降水量1 020 mm,容易发生较大泥石流灾害^[18]。主要种植水稻、玉米等作物以及酥梨、红杏等经济林果^[19]。

2.2 航线与飞行参数

在测区内,首先要进行现场踏勘,确定飞行高度和分辨率,有效地规划航摄架次^[20]。在基准站架设、飞机组装、地面调试完成后,开始进行航线规划设计^[21]。拓普康自主研发的 MAVinci Desktop 针对航测区的实际情况输出一个优化的飞行计划。无人机按照飞行计划航线进行飞行,航飞结束后将数据自动传输回计算机。本次航测总共飞行1个架次,表1所示为详细飞行参数。

表1 天狼星无人机飞行参数

飞行参数	数据	飞行参数	数据
飞行高度/m	349	航线/条	36
航向重叠度/%	85	旁向重叠度/%	65
飞行时间/分钟	31	飞行距离/km	28.8
焦距/mm	18.5	搭载相机	ILCE-6300
地面精度/cm	9	分辨率	6 000×4 000
拍摄照片/张	477	优化后照片/张	396

2.3 检测点设计

为获取测区实测数据,在测区范围内布设了16个50 cm×50 cm的十字检测靶标。因测区南北山地有密林影响飞行视线,所以选取10处山地开垦农田和果园放置靶标,测区东西方向则均匀放置6个靶标。用十字中心点作为检测点,并使用GPS-RTK测量每个点的固定解。为保证检测点实测数据的精度,对每个检测点进行3次数据采集,且在读取数据过程中保证3D协调质量(3D coordinate quality, 3DCQ)处于0.05 m以内,最终取平均值作为实测数据成果^[22]。检测点依次编号为J1-J16。

2.4 数据处理

天狼星无人机在航摄过程中获取的精确影像位置即可

作为传统的地面控制点,完成影像与位置数据匹配后选取坐标系再输入基准站控制点坐标即可开始影像后处理^[23]。使用 Agisoft Photoscan Professional 对数据进行处理,整个工作流程由软件自动完成^[24]。该软件能够支持倾斜影像、多源影像、多光谱影像及多航高、多分辨率影像等各类影像的自动空三处理;具有影像掩模添加、畸变去除等功能,能够顺利处理非常规的航线数据或包含航摄漏洞的数据,同时它还支持多核、多线程中央处理器(central processing unit, CPU)运算,支持图形处理器(graphics processing unit, GPU)加速运算,支持数据分块拆分处理,高效快速地处理大数据^[25]。流程如图 2 所示。

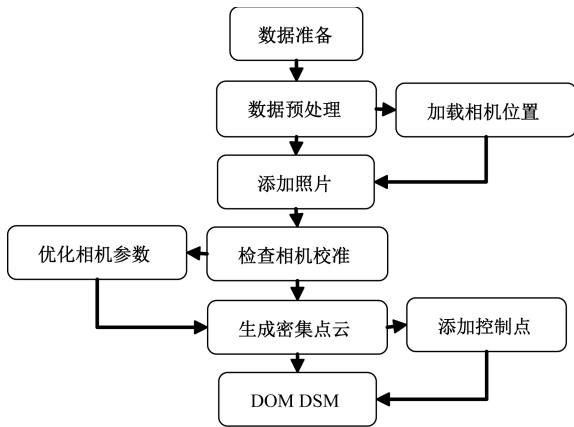
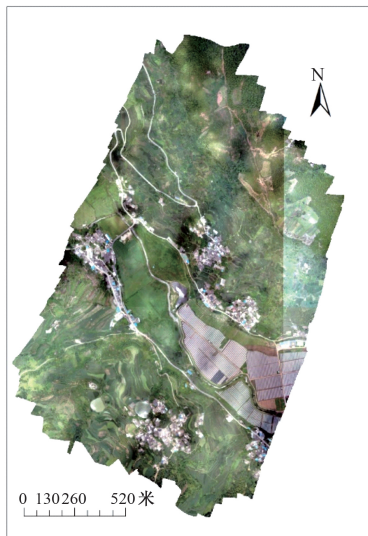
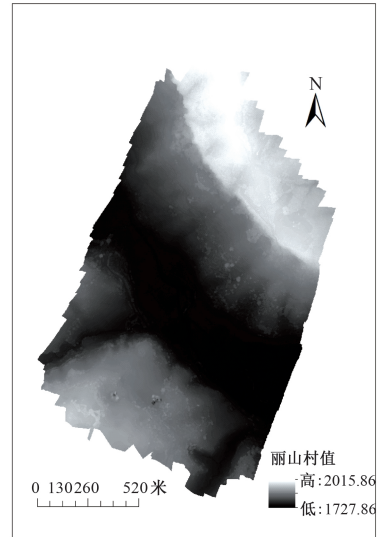


图 2 数据处理流程

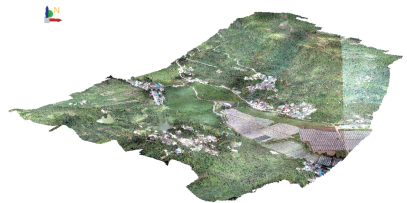
添加照片之后软件会自动进行相机对准,如果所获取的低空无人机影像的数据量过大,可以实行分区域计算以保证计算机运行效率^[26]。运动恢复结构(structure from motion, SFM)重建后便利用稀疏点云建立地形格网模型,再根据生成的不规则三角网(triangulated irregular network, TIN)进行纹理贴图^[27]。最终如图 3 所示构建生成 DOM 和 DSM 等结果数据。



(a) DOM



(b) 海拔值



(c) DSM

图 3 数据处理结果

3 数据精度分析

获得 DOM 和 DSM 后,从正射影像上测量了 16 个检测点的平面坐标,并在数字表面模型上测量了检测点的高程值。对天狼星无人机航测数据进行解算获取中误差,完成平面精度和高程精度的检验^[28]。

3.1 平面精度

将检测点在 DOM 上的平面坐标与检测点实测平面坐标进行比较,如表 2 所示。可知平面精度最大误差为 0.176 m,最小误差为 0.025 m,平面中误差为 $M_s = \sqrt{\frac{1}{n} \sum dS^2} = 0.129$ m。内业规范要求 1:2 000 大比例尺地图平面中误差不得大于 2.5 m^[29]。通过对地物点平面位置精度进行运算检验,天狼星无人机高原山区航测平面精度能够满足规范的要求。

3.2 高程精度

从 DSM 上获取检测点高程值与检测点实测高程值进行对比(表 2)^[30]。高程精度最大误差为 0.221 m,最小误差为 0.068 m,高程中误差为 $M_H = \sqrt{\frac{1}{n} \sum dH^2} = 0.086$ m。航测的高程精度满足规范要求。

表2 平面与高程差值统计

(m)

点号	dx	dy	dS	dH
J1	0.036	0.054	0.065	0.038
J2	0.083	0.126	0.151	0.052
J3	0.108	0.063	0.125	0.082
J4	0.176	0.052	0.184	0.073
J5	0.125	0.096	0.158	0.049
J6	0.040	0.057	0.070	0.076
J7	0.025	0.107	0.110	0.089
J8	0.097	0.066	0.117	0.171
J9	0.046	0.138	0.145	0.069
J10	0.078	0.143	0.163	0.114
J11	0.109	0.027	0.112	0.057
J12	0.046	0.081	0.093	0.077
J13	0.079	0.067	0.104	0.065
J14	0.096	0.023	0.099	0.091
J15	0.153	0.078	0.172	0.098

注: dH 为高程差值统计结果

3.3 对比分析

文献[31-33]分别在水利工程、公路带状地形与矿区河道的测量中使用了传统无人机航测技术,并对航测数据进行了精度分析,表3所示为传统无人机与免像控无人机的航测详情对比。通过不同航测技术在各类测区的对比可以发

现:1)地形平坦的测区比地形复杂与地物复杂的测区获得的数据精度更高;2)航测时设定的比例尺越大航测精度越高;3)免像控无人机在地形复杂的测区航测优势更加明显。结果表明,与传统无人机航测相比天狼星无人机免像控航测不仅能有效减少内外业作业时间,而且航测精度更高。

表3 无人机航测对比

航测参数	传统无人机			免像控无人机		
	[32]	[31]	[33]	[27]	[10]	[22]
文献	[32]	[31]	[33]	[27]	[10]	[22]
无人机型号	KC1600	ZC-II	快眼III	Sirius PRO	Sirius PRO	Sirius PRO
航测区	苏中河道	云南东南部	山西矿区河道	微山河道	定西河道	上海农田
侧墙情况	平坦	复杂	复杂	地物复杂	沟壑地带	平坦
航测高度/m	388			380	272	127
比例尺	1:1 000	1:2 000	1:2 000	1:2 000	1:2 000	1:500
平面中误差/m	0.27	0.536	0.89	0.14	0.097	0.089
高程中误差/m	0.32	0.462	0.139	0.1	0.136	0.058

4 结 论

目前,传统的无人机航测系统开展高山密林测图依然存在困难,地区测绘工作存在像控点布设难度大、施测复杂等问题。拓普康天狼星无人机系统集成的RTK技术和MAVinci精密定时工具可以提供亚毫秒的定时精度,这也使得飞行期间拍摄的图像上可以获得高精度的高程和平面数据。高原山区航测的精度达到了规程要求,证明了无人机免像控航测技术在高原山区的可行性。在高原山区测量过程中会遇到很多地形复杂甚至无法接近的测区,可以充分利用天狼星无人机不需要布设像控点即可展开航

测的优势来完成测量。天狼星无人机免像控航测技术提高了高原山区航测的工作效率、降低了工作流程的复杂度,为解决高原山区中的自然灾害、水土流失、地理基础信息收集繁杂等问题提供了一种新的解决思路和方法。

参考文献

- [1] 洪宇,龚建华,胡社荣,等.无人机遥感影像获取及后续处理探讨[J].遥感技术与应用,2008(4):462-466,361.
- [2] 樊伊君,张启超.无人机航测图像匹配关键技术研究[J].电子测量技术,2018,41(10):25-28.
- [3] 吴涛.低空无人机航空摄影测量技术在土地整治项目规划设计阶段的运用[J].安徽农业科学,2015,43(2):

- 295-296,300.
- [4] 吕文雅,朱兰艳,李超,等.多旋翼无人机航测系统在高原地质灾害中的应用[J].城市勘测,2018(2):79-81.
- [5] 李明,黄愉淇,李绪孟,等.基于无人机遥感影像的水稻种植信息提取[J].农业工程学报,2018,34(4):108-114.
- [6] 王玮,王浩,李卫正,等.基于小型无人机摄影测量的江南景观水资源综合利用分析[J].南京林业大学学报(自然科学版),2018,42(1):7-14.
- [7] 彭大雷,许强,董秀军,等.无人机低空摄影测量在黄土滑坡调查评估中的应用[J].地球科学进展,2017,32(3):319-330.
- [8] 毕凯,李英成,丁晓波,等.轻小型无人机航摄技术现状及发展趋势[J].测绘通报,2015(3):27-31,48.
- [9] 郎博,高春林,赵瑞.天狼星无人机在陆地风力发电场测量中的应用[J].北京工业职业技术学院学报,2016,15(4):6-9.
- [10] 刘建良,杨琦,杨军.天狼星无人机免像控技术在河道整治中的应用[J].测绘通报,2017(12):149-152.
- [11] 孙彦明.单基站 CORS 系统在城镇地籍测量中的应用[J].山西建筑,2016,42(27):194-195.
- [12] 周冰,刘佳莹,吴岷.免外控无人机系统在电厂地形图测量中的应用及精度分析[J].测绘通报,2017(S1):188-191.
- [13] 任斌,高利敏.免像控无人机在工程收方中的应用[J].测绘通报,2018(8):156-159.
- [14] 邓云,王彬,李强,等.轻小型无人机航摄技术辅助的热带森林样地测量精度问题探讨[J].生物多样性,2018,26(8):892-904.
- [15] 钱海明,王春林,孙金彦,等.无人机免像控技术在河湖监测中的应用[J].测绘通报,2017(S1):195-196,200.
- [16] Topcon.sirius_pro[EB/OL].2015-12-24.http://www.topconpositioning.cn/mass-data-and-volume-collection/aerial-mapping/sirius-pro.
- [17] 赵杰,张聪聪.无人机航空摄影测量影像数据快速处理方法[J].山西建筑,2016,42(25):191-192.
- [18] 周春花,唐川,铁永波.暴雨泥石流高发地区年降水量的灰色拓扑预测——以昆明市东川区为例[J].云南地理环境研究,2006(1):6-9.
- [19] 云南丽山村委会.村情概况[EB/OL].[2015-08-08].http://ynszxc.gov.cn/S1/S2/S140/S145/S210092/.
- [20] 马新文,张学之,赵全辉.基于无控倾斜摄影的实景三维建模生产研究[J].测绘与空间地理信息,2018,41(5):45-47.
- [21] 田超,陈杰,李能能,等.利用无人机免像控快速构建高精度 DSM[J].测绘通报,2017(8):158-160.
- [22] 孟庆鹏,孙斌,凌清.天狼星无人机大比例尺测图精度分析[J].测绘通报,2018(3):158-161.
- [23] 胡健波,张健.无人机遥感在生态学中的应用进展[J].生态学报,2018,38(1):20-30.
- [24] 赵云景,龚绪才,杜文俊,等.PhotoScan Pro 软件在无人机应急航摄中的应用[J].国土资源遥感,2015,27(4):179-182.
- [25] 李秀全,陈竹安,张立亭.非量测相机影像三维模型构建及精度检验[J].测绘科学,2016,41(6):144-147.
- [26] 代婷婷,马骏,徐雁南.基于 Agisoft PhotoScan 的无人机影像自动拼接在风景园林规划中的应用[J].南京林业大学学报(自然科学版),2018,42(4):165-170.
- [27] 严慧敏,王飞.天狼星无人机航测系统在水利工程测绘中的应用[J].测绘通报,2017(7):158-160.
- [28] 孙晓静,王春来,赵蕊.无人机航测系统测绘 1:1 000 大比例尺地形图精度分析[J].中国科技信息,2016(20):43-44.
- [29] 袁修孝.航空摄影测量影像定向的若干探讨[J].地球科学进展,2007(8):828-834.
- [30] 国家测绘局.CH/Z 3003-2010.低空数字航空摄影测量内业规范[S].北京:测绘出版社,2010.
- [31] 史华林.无人机航测系统在公路带状地形测量中的应用[J].测绘通报,2014(6):60-62.
- [32] 王光彦,姚坚,李登富,等.低空无人机遥感在水利工程测绘中的应用研究[J].测绘与空间地理信息,2016,39(5):113-115,118.
- [33] 薛永安,王晓丽,张明媚.无人机航测系统快速测绘矿区大比例尺地形图[J].测绘地理信息,2013,38(2):46-48.

作者简介

袁三明,硕士研究生,主要研究方向为摄影测量与遥感。

E-mail:741022687@qq.com

袁崇政,高级畜牧师,主要研究方向为草原管理。

E-mail:1243093418@qq.com

朱兰艳(通信作者),副教授,主要研究方向为地理空间数据处理和误差分析。

E-mail:KMOY2222@sina.com