

无人机摄影测量在地形测绘中误差分析与控制

贾凯

太原市城乡规划测量中心

DOI:10.12238/gmsm.v8i2.2154

[摘要] 伴随无人机摄影测量在地形测绘方面的普遍运用,其误差状况成为影响测绘成果精准度的核心要素。基于此,本文阐述了无人机摄影测量技术原理及系统构成,深入剖析了地形测绘过程中传感器、飞行平台、GPS/IMU定位等部分常见误差类别及形成原因,针对性探讨了优化飞行参数设定、相机校准、高精度定位系统整合等误差管控关键技术,所取得成果为提高无人机摄影测量在地形测绘方面精准度提供理论支撑与实践指引,对扩大无人机测绘应用范围、推动测绘技术向前发展有重要现实意义。

[关键词] 无人机摄影测量; 地形测绘; 误差分析; 误差控制; 精度提升

中图分类号: V279+.2 **文献标识码:** A

Error Analysis and Control of UAV Photogrammetry in Topographic Mapping

Kai Jia

Taiyuan Urban and Rural Planning Surveying Center

[Abstract] With the widespread use of UAV photogrammetry in topographic mapping, the error conditions have become a critical factor affecting the accuracy of surveying results. This paper thoroughly examines the principles and system composition of UAV photogrammetry technology, delves into common error types and their causes during the topographic mapping process, including sensors, flight platforms, and GPS/IMU positioning. It also explores key technologies for error control, such as optimizing flight parameter settings, camera calibration, and integrating high-precision positioning systems. The findings provide theoretical support and practical guidance for enhancing the accuracy of UAV photogrammetry in topographic mapping, which is of significant practical importance for expanding the application scope of UAV mapping and advancing surveying technology.

[Key words] Unmanned aerial vehicle photogrammetry; Topographic mapping; Error analysis; Error control; Precision improvement

引言

随着测绘技术进步,无人机摄影测量凭借高机动性、低成本、高分辨率等优势,在城市、山区、大型工程地形测绘工作中得到广泛应用。然而因受系统自身特性及外界环境条件作用,其于地形测绘时易出现误差影响成果精度与可靠性,故分析误差产生根源,探寻误差控制策略对提高测绘质量与拓宽技术应用范围具有重要理论意义与实践价值。

1 无人机摄影测量基本原理及系统组成

1.1 无人机摄影测量的基本原理

无人机摄影测量依靠摄影测量学相关理论,凭借搭载航摄设备的无人机平台,从多个角度、多个方向对目标区域采集影像。其核心原理建立在摄影瞬间时摄影中心、像点、物点这三者处于同一条直线几何关系的共线条件方程之上,且在实际操作过程中依据预先规划好的航线于不同摄站位置取得多组影像

以构建出立体像对。

借助特征提取与匹配算法,准确识别不同影像上对应同一地物点像点的同名像点匹配属于其中关键环节。像SIFT(尺度不变特征变换)、SURF(加速稳健特征)这类常用特征提取算法能在较为复杂环境里稳定提取特征点,以保障同名像点精确匹配,得到同名像点后依据前方交会原理,结合像点坐标、摄影中心位置、像片姿态参数,便可计算出目标地物点在三维空间中的坐标。

在无人机摄影测量中有着极其重要地位的空中三角测量技术,通过在测区内科学合理设置高精度地面控制点,并运用平差计算方法对像片外方位元素进行优化和调整,此过程有效消除由设备误差、环境干扰等多种因素产生的误差,以达成整个测区高精度的几何定向以及坐标系统的统一^[1]。最后基于精准测量数据生成数字高程模型(DEM)、数字表面模型(DSM)、数字正射

影像(DOM)等多样化测绘成果,给地形分析与工程设计等领域提供可靠数据支撑。

1.2 无人机摄影测量的系统组成

无人机摄影测量系统,呈现为硬件系统与软件系统共同运行的复杂架构样态。就硬件系统而言,飞行平台作为获取影像承载主体,其具体性能于测量工作覆盖范围及精准程度起到关键作用情况,多旋翼无人机因起降灵活、悬停稳定特点而较契合地形复杂、区域面积不大,但对测量精度要求颇高之处,固定翼无人机凭续航能力强,飞行速度快优势可有效完成大面积区域快速测量任务状况。

航拍设备挑选对影像质量具有决定性影响,高分辨率数码相机可获清晰垂直影像,以满足像正射影像制作等。倾斜摄影相机能从多角度收集数据为三维建模提供充足纹理信息;地面控制系统肩负航线规划、飞行参数设定、实时状态监测、应急处置等重要使命,依靠专业导航软件依目标区域地形、气象等条件精确规划无人机飞行路线,保证其依预定轨迹稳定飞行,而且实时监控其飞行状态及设备参数,遇异常状况及时采取应急手段保障作业过程安全性;数据存储单元需具备大容量、高读写速度、可靠数据保护性能,来应对无人机作业期间大量影像数据确保数据能安全存储且快速传输。

达成数据处理与成果产出核心在于软件系统,针对原始影像开展几何纠正与辐射校正等前期处理工作,以消除因传感器变形、光照差异等造成影像偏差,进而提升影像质量。运用空三加密、光束法平差等算法,对影像内外方位元素进行精准计算,以达成像片定向及三维坐标准确求解的是数据解算模块。借助点云滤波、表面重建等技术,将解算后的数据转化为数字高程模型、数字正射影像等多种测绘成果,以满足不同行业、不同使用场景需求,从而完成从数据采集到成果输出整套作业流程。

2 地形测绘中常见误差类型及其成因分析

2.1 传感器误差: 相机畸变与姿态误差

相机产生畸变这一传感器出现误差的关键原因,主要涵盖径向畸变致使影像里直线呈弯曲状态不再笔直、切向畸变致使影像发生扭曲变形的两大类情况,这些畸变情况对影像上像点坐标精准测定造成阻碍进而令地形测绘精准程度下降;相机姿态误差由无人机飞行期间姿态不稳所致,因无人机易受气流、震动等多种因素干扰,拍摄时很可能出现俯仰角、滚转角、偏航角方面偏差,使得影像姿态参数不准确最终导致地形测绘出现误差,如一次无人机飞行工作中遭强劲气流致相机俯仰角出现 3° 偏差,后续处理发觉所生成数字高程模型(DEM)局部区域出现高达0.5米高程偏差。

2.2 飞行平台误差: 航线偏移与飞行稳定性影响

飞行平台造成的误差主要在航线偏离与飞行平稳度方面有所体现。在现实飞行状态下,无人机因诸如GPS信号受干扰、风速过高等缘由可能偏离预先设定航线,进而致使影像覆盖区域不完整或重叠程度达不到规定要求,影响到空中三角测量加密工作及三维建模的精确水平;飞行平稳度不佳时,无人机飞行进

程中会产生抖动现象,使得拍摄影像变模糊,造成图像匹配准确率降低;就如在某丘陵地区开展的地形测绘项目里,因山区风速变化幅度大,无人机航线偏移超出设计数值的15%,部分区域影像重叠度不足60%,从而致使空中三角测量加密工作无法顺利开展,最终让测绘结果出现大面积误差。

2.3 GPS/IMU定位误差: 数据同步与漂移分析

GPS与IMU(即惯性测量单元)在无人机定位及姿态测量方面属极为关键设备。然而实际投入使用时存在数据同步问题及漂移状况,GPS信号易受遮挡、多路径效应等影响致定位精准度降低,IMU长时间运行会出现漂移致姿态参数误差渐累加。若GPS与IMU数据不能同步则会使影像外方位元素解算出错进而影响地形测绘结果,如在城市建筑物密集区域测绘时,GPS信号会被建筑物遮挡,定位误差可达2米甚至更多,且IMU漂移会致姿态参数偏差,最终使生成的DOM呈现明显几何变形情况。

2.4 影像获取误差: 重叠度不足、光照变化、模糊等因素

在获取影像全过程中,重叠度达不到要求、光照出现变化、影像模糊不清皆为常见产生误差因素。重叠度不足会使同名点匹配困难影响空三加密精准度,光照改变会让影像亮度及对比度变化降低图像匹配准确度,影像模糊可能因无人机飞行速度过快或相机快门速度设置不合理等引起,这会使特征点提取遇难题进而影响地形测绘精准度,就如在农田地形测绘项目里,因无人机飞行速度过快,部分影像模糊严重,特征点提取数量降低40%,空三加密误差增大,最终得到的DEM高程误差达0.8米。

2.5 空三加密误差: 控制点布设不足与点位分布不均

空中三角测量的精确度与控制点设置情况紧密相连,控制点设置不足会使解算外方位元素的约束条件不充分,进而导致加密点坐标出现更大误差,且点位分布不均衡会让局部地区精度高而别的地区精度低。比如在某大型水库地形测绘项目里,因控制点设置数量不多且大多集中在库区边缘,完成空三加密后,库区中心区域加密点平面误差达0.5米左右,高程误差更是0.7米,对整个库区地形测绘精度产生严重不良影响。

3 误差控制的关键技术与优化策略

3.1 优化飞行参数设计: 航高、重叠度与航线规划

想要更好地把控误差,关键在于将飞行参数设计得科学合理,而航高的确定需综合两方面因素考量,即测绘精度方面的具体要求以及无人机本身所具备的各种性能。选择相对低一些的航高,虽能取得分辨率高的影像,但会带来飞行风险增大与作业时长变长的问题;航高较高时,虽能使作业效率得到一定提升,可测绘精度又会随之下降。通常,进行大比例尺的地形测绘工作宜选较低航高,中小比例尺的测绘作业则航高可适当提高^[2]。

在重叠度方面,要求航向重叠度不低于75%、旁向重叠度同样不低于60%,以保证有足够数量的同名点来进行匹配。说到航线规划,要依据地形呈现出的具体特点及障碍物在相关区域的分布状况予以优化,避免航线偏离以及影像被遮挡情况发生。

3.2 相机标定与畸变校正技术

相机标定是获取相机的内方位元素以及畸变参数的十分关

键途径,借助高精度的标定板,运用像张正友标定法之类的技术,可精准测量出相机的诸如焦距、主点坐标、畸变系数等参数。在处理数据前,利用相机标定所得参数对影像进行畸变校正工作,能有效消除因相机本身畸变而对测绘精度产生的不良影响。

3.3 控制点布设原则与优化布点方法

关于控制点布局原则及优化布点办法,合理布局控制点可提高空三加密精度至关重要,需在整个测绘区域让控制点均匀分布而非集中于某一处。对于地形复杂、地物特征变化明显区域应适当增加控制点数量,且要选在如道路交叉处、建筑物拐角等固定还明显的地物点位上,以保证在影像上能清楚分辨,优化布点可采用模拟布点法,即对不同布点方案开展模拟空三加密工作,并测评精度以选出精度最高方案。如某山区地形测绘项目采用模拟布点法在原有控制点基础上于山谷、山脊等复杂地形区域多布置10个控制点,使空三加密平面中误差由0.8米降至0.3米,高程中误差由1.2米下降到0.5米。

3.4 高精度RTK/PPK定位系统的集成与应用

关于高精度RTK/PPK定位系统的融合及应用,RTK(实时动态定位)和PPK(后处理动态定位)技术可大幅提升无人机定位精度,RTK能实时达到厘米级定位在无人机飞行阶段,提供精确位置相关信息有效降低航线偏移误差,PPK通过对GPS观测数据和基站数据之后,处理可获高精度定位成果尤其适用于信号被遮挡区域,将RTK/PPK定位系统与无人机融合使用可弥补传统GPS定位缺陷。如某森林地形测绘项目因森林区域GPS信号被树木严重遮挡,采用PPK定位技术在飞行结束后对GPS数据做后处理,使定位精度达到厘米级从而很好控制住因定位误差导致的地形测绘误差^[3]。

3.5 图像匹配质量控制与空三解算优化

为提升图像匹配质量水准,可选用将多种特征提取及匹配算法相结合的举措,如先借SIFT算法提炼特征点,再用RANSAC算法去除误匹配点;在空中三角测量解算流程中,通过优化调整解算相关参数,像增添迭代次数、调节权值等做法,可提升解算精准程度,且引入光束法平差对空中三角测量加密成果予以优化处理,以将像点坐标观测数值与计算数值间误差缩到最小的方式,进一步提高影像外方位元素及加密点坐标精确性。例如在某大型矿山地形测绘项目中,使用SIFT加RANSAC的图像匹配算法及优化后的空中三角测量解算参数,使空中三角测量加

密精度明显提升,将加密点平面误差与高程误差皆控制在0.2米范围之内。

3.6 地面检核点设置与误差统计分析方法

完成地形测绘成果后,设定地面检核点用于精度验证乃十分关键一环,检核点应在测绘区域均匀分布且与控制点相互独立,通过实地测量检核点三维坐标并与测绘成果中对应点坐标对比,进而算出平面误差与高程误差,采用误差统计分析办法。如运用中误差、相对误差等指标,对测绘成果精度展开全方位评估,依据误差分析所得结果,找出误差较大区域及误差产生根源并针对性予以改进优化。比如在某城市新区地形测绘项目中,设定了50个地面检核点,经测量及统计分析后,发觉部分区域高程误差超出0.3米,经分析判定是因该区域植被繁茂致使影像匹配困难所致,后续针对该区域开展补测及重新处理工作,最终使整个区域测绘精度达到标准要求。

4 结语

在地形测绘范畴的无人机摄影测量,有着颇为可观的应用潜能彰显,只是其测绘精度迈向更高层级受误差方面问题限制。经详细剖析该测量在地形测绘期间诸如传感器偏差、飞行平台有误、GPS/IMU定位不准等误差起源,并针对性给出优化飞行参数规划、相机校准以及畸变修正、恰当安排控制点等误差管控关键技术和改进策略,便可切实减少误差,增强地形测绘成果精度与可靠性。伴随技术持续进步,后续尚需进一步探寻全新误差管控办法,与人工智能、深度学习等技术相结合,以提升其在地形测绘方面应用水准,进而为各个行业供应更为精准、可信的地形测绘数据。

[参考文献]

- [1]支卫斌.无人机航空摄影测量在地形测绘中的应用[J].江西建材,2015(8):2.
- [2]饶见有,陈智扬,詹钧评.无人机摄影测量与直接地理定位之精度分析[J].国土测绘与空间资讯,2014,2(1):1-22.
- [3]王超.无人机航空摄影测量在地形图测绘中的应用探讨[J].城市地理,2017(10):1.

作者简介:

贾凯(1971—),男,汉族,山西万荣人,大学本科,职称:工程师从事的研究方向或工作领域:工程测绘。