

山区地形测绘无人机倾斜摄影精度优化研究

周文英

湖南省地质地理信息所 (湖南省地质大数据中心)

DOI:10.32629/gmsm.v8i6.2376

[摘要] 无人机倾斜摄影技术凭借其高效、灵活、低成本优势,在地形测绘领域得到广泛应用。然而,山区地形复杂、高程起伏大、植被覆盖密集特点,给无人机倾斜摄影测量带来诸多挑战,导致测绘精度难以保证。本文分析山区环境下无人机倾斜摄影技术的主要误差来源,包括复杂地形对航线规划的影响、高程起伏导致的影像重叠度问题以及控制点布设困难,并从自适应航高与动态航线优化、多视角影像融合算法改进、控制点优化布设方案方面提出精度优化策略,以期对山区地形测绘实践提供参考。

[关键词] 无人机倾斜摄影; 山区地形测绘; 精度优化; 空三解算; 控制点布设

中图分类号: P2 文献标识码: A

Optimization of tilt photography accuracy for mountainous area topographic mapping UAV

Wenyi Zhou

Hunan Geological and Geographic Information Institute (Hunan Geological Big Data Center)

[Abstract] Drone oblique photography technology has gained widespread application in terrain surveying due to its efficiency, flexibility, and cost-effectiveness. However, the complex terrain, significant elevation variations, and dense vegetation in mountainous areas pose substantial challenges to drone oblique photogrammetry, often compromising surveying accuracy. This paper analyzes the primary error sources in mountainous environments, including the impact of complex terrain on flight path planning, image overlap caused by elevation fluctuations, and difficulties in control point placement. It proposes precision optimization strategies through adaptive flight altitude and dynamic flight path optimization, improved multi-view image fusion algorithms, and optimized control point deployment schemes, aiming to provide practical references for mountainous terrain surveying.

[Key words] UAV oblique photography; mountainous terrain surveying; precision optimization; aerial triangulation; control point layout

引言

随着测绘技术的快速发展,无人机倾斜摄影技术以其作业效率高、数据获取便捷、成本低廉优势,逐渐成为地形测绘的重要手段。倾斜摄影通过搭载多镜头相机系统,同时获取垂直和倾斜方向的影像,能够真实反映地物的侧面纹理信息,为三维建模提供丰富数据支撑。然而,山区地形条件复杂,地势起伏大、沟壑纵横、植被茂密,给无人机航线规划、影像采集和后期数据处理带来诸多困难,测绘精度往往难以满足工程需求。因此,深入分析山区环境下的误差来源,探索切实可行的精度优化策略,对于提升山区地形测绘质量具有重要的理论意义和实践价值。

1 山区地形测绘中无人机倾斜摄影技术的误差分析

1.1 复杂地形条件对航线规划与影像采集的影响

山区地形具有高差变化大、地貌类型多样、通视条件差的特点,给无人机航线规划带来显著挑战。传统的高航线规划方法在山区应用时,由于地面高程变化剧烈,导致实际航高随地形起

伏而波动,进而造成影像地面分辨率不一致,影响测量精度,同时,山区多存在陡峭山崖、深切峡谷地貌,容易形成航摄盲区,部分区域难以获取有效影像。此外,山区气象条件复杂多变,云雾、强风天气因素也会影响飞行安全和影像质量,增加数据采集的不确定性^[1]。

1.2 高程起伏导致的影像重叠度与空三解算精度问题

影像重叠度是保证空中三角测量精度的关键因素。在山区环境下,由于地形高差变化显著,按固定航高飞行时,山顶区域因距离相机近而使影像覆盖范围减小,山谷区域则因距离远而使覆盖范围增大,导致影像重叠度分布不均匀,重叠度不足的区域同名点匹配困难,连接点数量减少,直接影响空三加密精度。同时,大高差地形使得影像比例尺变化剧烈,像点量测误差被不同程度放大,进一步降低平差精度。此外,山区植被遮挡严重,地面纹理特征不明显,同名点自动匹配成功率下降,也会对空三解算造成不利影响^[2]。

1.3 山区环境下控制点布设与测量误差来源

控制点是无人机倾斜摄影测量中实现绝对定向的基础，山区地形崎岖、交通不便，控制点外业布设工作量大、难度高，往往难以按照规范要求实现均匀分布，控制点数量不足或分布不合理，会导致区域网平差精度下降，出现系统性误差。同时，山区植被茂密，控制点标志容易被遮挡，影像上难以准确识别和量测，刺点误差增大。此外，山区GNSS信号受地形遮挡和多路径效应影响，定位精度降低，也会引入额外的控制点坐标误差，上述因素叠加作用，使得山区测绘成果的平面和高程精度均受到不同程度影响^[3]。山区环境下无人机倾斜摄影测量的误差来源可从航线规划、影像处理、控制点布设三个层面进行系统分析，具体如图1所示。

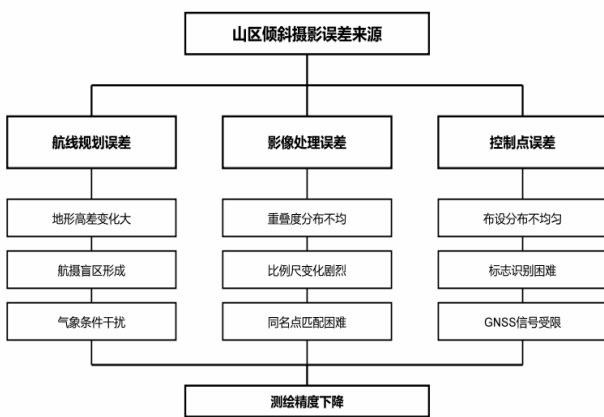


图1 山区无人机倾斜摄影测量误差来源分析流程图

2 山区地形测绘中无人机倾斜摄影精度优化策略

2.1 自适应航高与动态航线优化方法

针对山区地形起伏大导致的航高变化问题，可采用自适应航高的动态航线规划方法。首先，利用已有的低精度数字高程模型或地形图数据，对测区进行地形分析，提取高程特征点和等高线信息。在此基础上，将测区划分为若干高程分区，针对不同分区设定差异化的飞行高度，使相对航高保持相对稳定，从而保证影像地面分辨率的均匀性，同时，可采用仿地飞行技术，根据实时获取的高程数据动态调整飞行高度，使无人机沿地形起伏自动升降，实现真正意义上的相对航高飞行。此外，在航线设计时要充分考虑山区的地貌特征，对陡坡、悬崖等特殊区域适当增加航线密度和影像重叠度，确保获取完整的地物信息，针对山区气象条件多变的特点，还应建立飞行窗口预测机制，选择能见度高、风速适宜的时段开展作业，降低气象因素对影像质量的影响，通过科学合理的航线规划与动态调整策略，能够有效改善山区影像的几何质量，保证不同区域影像分辨率的一致性，为后续空三解算和三维重建奠定良好基础。

2.2 多视角影像融合的三维重建算法改进

倾斜摄影获取的多视角影像蕴含丰富的空间信息，通过改进三维重建算法可有效提升山区建模精度。在影像匹配环节，可采用多特征融合的匹配策略，综合利用SIFT、SURF特征点以及

边缘、纹理结构信息，提高山区复杂地物的匹配成功率，针对植被覆盖区域纹理特征弱的问题，可引入深度学习方法，通过训练卷积神经网络提取深层语义特征，增强同名点识别能力。在密集匹配阶段，采用多视角几何约束的半全局匹配算法，利用多张影像的冗余信息剔除误匹配点，生成高质量的三维点云，此外，在三维模型构建时，可融合机载LiDAR点云数据，利用激光点云穿透植被获取地面高程的优势，弥补影像在密林区域的不足，实现数据源的优势互补。在模型优化阶段，还可采用多尺度网格简化与纹理映射技术，在保证模型精度的前提下降低数据冗余，提升模型的实用性，通过影像匹配、密集重建、模型优化各环节的算法改进，能够显著提升山区三维模型的完整性、精确度和可视化效果。

2.3 基于地形特征的控制点优化布设方案

控制点的布设质量直接影响测绘成果精度，山区环境下需制定科学合理的布设方案。在点位选择上，应优先选取地形相对平坦、通视条件好、GNSS信号稳定的区域，如山脊开阔地带、道路交叉口，避开茂密植被和陡峭坡面。在点位分布上，要兼顾均匀性和代表性原则，在测区四角和中心位置布设基本控制点，同时在高程变化剧烈的区域适当加密，确保不同高程层面均有控制点约束。针对山区交通不便的实际，可采用像控点与检查点相结合的方式，在关键部位布设少量高精度像控点，其余区域利用POS辅助空三技术减少像控点数量，有效降低外业工作强度，控制点标志应选用对比度高、尺寸适中的材料，并确保在多个航向的影像上清晰可见，以提高刺点精度。此外，可采用网络RTK或PPK技术进行控制点测量，有效克服山区GNSS信号遮挡问题，提升定位精度，通过综合考虑地形特征、作业效率和精度需求，制定差异化的控制点布设策略，能够在保证测量精度的前提下，显著提高山区倾斜摄影测绘的整体作业效率。针对上述误差来源，可从航线优化、算法改进、控制点布设三个维度提出相应的精度优化策略，具体如图2所示。

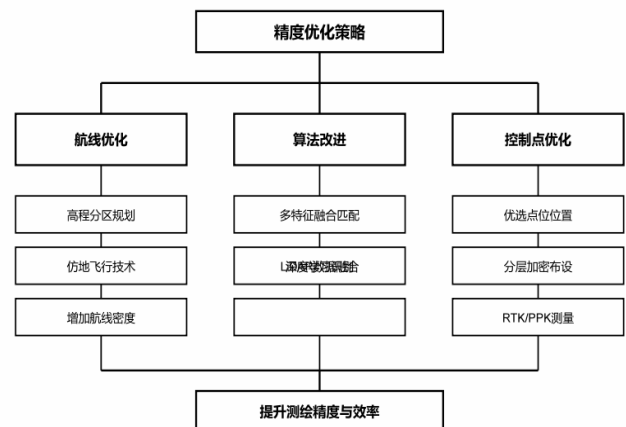


图2 山区无人机倾斜摄影精度优化策略流程图

3 结语

随着现代信息技术的飞速发展，以数字化、网络化、智能化

为主要特征的信息化浪潮正深刻影响和改变着人们的生活方式。无人机倾斜摄影技术在山区地形测绘中具有广阔的应用前景,但复杂地形条件带来的误差问题不容忽视。本文从航线规划、影像采集、控制点布设方面分析山区环境下的主要误差来源,并提出相应的精度优化策略,实践表明,通过自适应航高的动态航线规划、多视角影像融合的算法改进以及科学的控制点布设方案,能够有效提升山区倾斜摄影测量的精度水平。随着无人机技术和数据处理算法的不断进步,相信山区地形测绘的精度和效率将得到进一步提升,为自然资源调查、地质灾害监测、基础设施建设领域提供更加可靠的技术支撑。

[参考文献]

[1]李佳蔚,王越.无人机倾斜摄影技术在面积测量中的精度探讨[J].科技视界,2023,(10):77-80.

[2]何明洋.地形测绘中无人机摄影测量技术的应用[J].工程技术研究,2025,10(17):223-225.

[3]周丹.无人机倾斜摄影测量技术提升测绘工程精度的优化应用研究[J].测绘通报,2025,(S1):229-232.

作者简介:

周文英(1980--),女,汉族,中国湖南衡阳人,专科,工程师,研究方向:测绘地理信息。