

Exploration of geological hazard survey technology based on UAV laser point cloud and remote sensing fusion

Xingguo Liu

Anhui Institute of Geophysical and Geochemical Exploration Technology, Hefei, Anhui, 230011, China

Abstract

With the rapid advancement of remote sensing and spatial information technologies, traditional geological hazard investigation methods have increasingly revealed shortcomings in efficiency, accuracy, and safety. This paper explores innovative approaches to integrate drone LiDAR technology with multi-source remote sensing data for geological hazard surveys. It comprehensively discusses the key advantages of LiDAR point cloud data in constructing high-precision terrain models and identifying micro-landform features, while analyzing the integration mechanisms and operational methods for complementary information and multi-temporal monitoring with optical, thermal infrared, and synthetic aperture radar (SAR) data. This fusion technology enables early identification, precise mapping, and dynamic monitoring of geological hazards such as landslides, rockfalls, and debris flows. It provides robust technical support for establishing an “integrated space-air-ground” intelligent geological hazard survey framework, significantly enhancing the scientific rigor, foresight, and efficiency of survey operations.

Keywords

UAV; LiDAR; LiDAR point cloud; remote sensing fusion; geological hazard survey; high-precision 3D modeling

无人机激光点云与遥感融合的地质灾害普查技术探索

刘兴国

安徽省地球物理地球化学勘查技术院, 中国·安徽 合肥 230011

摘要

伴随遥感与空间信息技术的迅猛进步,传统地质灾害调查方式在效率、精确性与安全性上的短板愈发突出。本文探究了无人机激光雷达技术与多源遥感数据融合运用于地质灾害普查的创新办法,文章全面论述了激光点云数据在搭建高精度地形模型、判别微地貌特征方面的关键优势,剖析了其光学、热红外及合成孔径雷达等遥感数据在信息互补、多时相监测上的融合机制与操作方法。此融合技术可达成对滑坡、崩塌、泥石流等地质灾害隐患的前期识别、精准描绘与动态监管,为构建“空天地一体化”的智能化地质灾害普查架构提供了强劲的技术支持,大幅增强了普查工作的科学性、前瞻性和效率。

关键词

无人机; 激光雷达; 激光点云; 遥感融合; 地质灾害普查; 高精度三维建模

1 引言

地质灾害对人民生命财产安全与重大工程运转构成严重威胁,实施高效、精确的普查是实现有效防灾减灾的基础。传统地质灾害调查大多依靠人工现场勘查,有着劳动负荷大、效能低、覆盖范围有限、危险地带难以涉足等固有弊端,卫星遥感技术虽说可以进行大范围观测,然而在复杂山区往往会受到云层遮蔽、空间分辨率欠佳等条件的制约,难以契合对地质灾害体精细结构刻画的需求。无人机技术的完备与激光雷达传感器的轻型化,让迅速获取地表高精度、高密度的三维激光点云数据成为现实。多源的多光谱、高光谱、热红外以及合成孔径雷达等遥感数据蕴藏着大量地表物质、

温度和形变信息,把无人机激光点云与多源遥感数据深度整合,充分挖掘各自优势,打造“几何精准、属性丰富、时序连续”的综合观测实力,正成为变革地质灾害普查技术体系的关键路径。本文致力于全面探究这一融合技术的原理、方式与应用前景,从而为地质灾害风险早期识别与精细化调查提供新的技术思路和实践借鉴。

2 无人机激光点云技术的核心优势

无人机激光雷达借助主动发射激光脉冲并接收其回波,可直接、迅速地获取地表三维坐标,形成密集的激光点云,为地质灾害普查提供了以往从未有过的高精度三维数据基础。

2.1 高精度三维地形建模能力

激光点云可穿透稀疏植被,直接取得真实地表的高精度三维资料,构建数字高程模型。和传统摄影测量相较而言,

【作者简介】刘兴国(1980-),男,中国山东兰陵人,本科,高级工程师,从事地质测绘、遥感勘查、地灾防治研究。

它受光照条件的影响程度低,在陡峻、阴影地带仍旧可以保证数据质量,其垂直精度处于厘米级至分米级,能够清楚重现滑坡后缘壁、滑坡台阶、冲沟形态、崩塌危岩体结构等关键微地貌特性,为地质灾害体的边界判定、体积测算和结构剖析提供精准的几何基础^[1]。

2.2 精细地表特征识别与提取

依托高密度点云,能够进一步算出坡度、坡向、曲率、粗糙度等地形要素。这些是滑坡、泥石流易发性评判的关键参数,利用点云分类算法,可高效区分地面点和非地面点,得到纯粹的地表模型。点云强度资讯在一定层面上展现了地物表面的反射属性,协助区分岩性、土壤湿度差异等各类地表覆盖类型,为探寻潜在不稳定区域给予线索。

2.3 多期数据对比与形变监测

借助对同一区域开展周期性的无人机激光雷达扫描活动,采集多时相的点云数据。采用点云配准与差分分析方法,能够达成对地表微小形变的定量监测工作。这种手段能够察觉滑坡体的缓慢移动、崩塌前端的局部塌落以及工程开凿诱发的边坡变化,达成从“静态普查”到“动态监测”的转变,为地质灾害的预警预报给予直接支撑。

3 多源遥感数据的互补信息与融合机理

光学、热红外以及雷达等遥感数据包含了大量的地表物理化学特质与时空变动信息,跟激光点云的几何信息相融合,可达成地质灾害隐患“形、态、变”一体化感知。

3.1 光学遥感对地表覆盖与异常的解译

高分辨率光学影像(源于无人机或者卫星)具备直观的纹理与色彩数据,可清晰呈现地表裂隙、裸露岩土体范围、植被异常(像“醉汉林”)、水体分布等各类地物特征。把光学影像纹理和由激光点云生成的三维模型进行融合处理,可构建出带有真实感纹理的实景三维模型,显著提升了调查人员开展沉浸式判读与解译的便利性,精准圈定地质灾害体的平面展布范围及其影响区^[2]。

3.2 热红外遥感对渗水与裂缝的探测

地表温度的异常状况往往和地质灾害的活动存在关联。在热红外影像中,滑坡体前沿的渗水区、岩体里面的裂缝因含水量或者热惯量的差别,在热红外影像中常常呈现出温度异常现象。将热红外遥感数据和由激光点云生成的高精度地形模型相叠加,能够在三维空间精准确定这些热异常区域,剖析其与地形、地貌之间的关联,为判定滑坡的活跃状况、探寻潜在滑面的位置给予关键依据。

4 融合技术在地质灾害普查中的集成应用路径

对上述技术优势实施系统性聚合,能够搭建一套从快速筛选到精准调查的标准化普查作业流程。

4.1 空天地协同的隐患早期识别

在区域地质灾害隐患前期识别工作进程中,全面运用多源卫星遥感技术是开展宏观筛查的关键首要步骤。借助调

用高分辨率光学卫星影像,可针对研究区域内的地形地貌、岩性构造、植被覆盖以及现存的滑坡、崩塌等灾害痕迹实施系统性解读,初步界定地质条件欠佳、历史灾害频发的易患区域。合成孔径雷达干涉测量手段,尤其是时序 InSAR 技术,可凭借毫米级的精准度,大范围且持续地监测地表微弱的变形信号。借助对多期卫星雷达数据的处理,能够辨别出大范围内存在缓慢、持续下沉或蠕动变形的异常区域。这些区域常常预示着潜在的、尚未出现明显地表破裂的滑坡风险,光学和 InSAR 技术的联合,达成了从“静态的地形地貌特征”到“动态的地表形变过程”的全面剖析,由此高效完成对广阔区域的风险初始筛选^[3]。

在卫星遥感圈出的重点疑似区域也或高风险地段,工作应进入更高精度的详细勘查阶段,固定翼也或多旋翼无人机借助其灵动、高效的特质,成为适宜的空中监测平台。为获取精准的地形数据,无人机可以装载激光雷达系统, LiDAR 可穿透浓密的植被冠层,径直获取高密集度的地面点云数据,迅速搭建起厘米级精准度的数字高程模型和数字地表模型,清楚呈现被植被覆盖的古滑坡体、坡体裂缝、潜在崩塌体边界等微地貌特征,其精度是卫星数据远远比不上的。

为了对隐患点实施更全面的研判,无人机平台还可以同步或单独搭载高分辨率光学相机与热红外传感器。高分辨率正射影像可提供地物的细微纹理,协助辨别小型裂缝、渗水点等迹象。热红外影像凭借探测地表温度的异常分布特征,有利于推断地下水的活动情形或岩土体含水率的差别,这对判定滑坡的诱发因素与稳定性极为关键。凭借融合 LiDAR 所生成的高精准三维地貌、光学影像的纹理讯息以及热红外的地表温度数据,技术人员可以在隐患尚未大范围显现的前期阶段,对其实施精准的空间定位,同时初步分析它的类型、规模、活动性以及可能的诱发缘由,为后续的实地核查与工程治理决策,提供了极其可靠且高效的技术凭据。

4.2 多维度数据的融合分析与精细刻画

在精准识别并明确地质灾害隐患点后,后续分析工作的关键在于对多源异构监测数据的深度整合与智能阐释。这需把无人机激光雷达获取到的高密度三维点云数据、高分辨率光学多光谱正射影像、热红外温度场数据,以及由卫星时序 InSAR 提取的长周期地表形变历史记录,开展统一的坐标基准校准与空间匹配。把这些数据层整体融入专业的地理信息系统或三维地学模拟平台里面,创建起一个含有几何形态、光谱特征、热力学属性与时间序列形变信息的综合数字孪生体,这一深度整合的数据根基,使从多物理场层面剖析灾害体本质具备了可能^[4]。

借助这一强劲的三维数据情境,能够实施深层次、多维度的空间叠加与关联剖析。基于高度逼真的三维地貌模型,不仅可以直观地测定潜在滑坡体的长度、宽度以及面积,

还能够精准剖析地表已然出现的裂隙、错台等变形迹象的空间分布规律,探究其走向跟区域构造线、地层倾向或当前斜坡坡向、坡度之间的耦合联系。把热红外影像所呈现的地温异常区域和通过高精度 DEM 获取的微地形(像凹地、沟谷)进行叠加,探究热异常现象是否与地形汇水线、地下水渗点或者土壤含水量较高的区域相契合,以此推断水在灾害演化进程中的作用。把隐患点所对应的历史 InSAR 形变时间序列曲线加载进来,剖析形变速率随季节性降雨的变动规律,判定其变形处于加速、匀速还是趋向稳定的态势。

经由上述多维度数据的相互验证与全面分析,能够显著增强对地质灾害认知的精准性与规范性。不同种类数据之间的彼此印证或补充,让对灾害体边界(尤其是后缘与侧界)的描绘不再只依靠单一的地表特征,而是获得了形变、地热等多样证据的支持,边界定位更为精准。对灾害体内部结构的剖析也更为精准,能够初步识别出可能的主滑带、次级滑块,并且推测其可能的滑动面深度与形状。整合地形、岩性、水文以及形变方面的信息,能够针对其形成原理(例如降雨促成、开挖释荷、冻融作用等)进行更为可靠的初步判别,进而最终实现对灾害体稳定性的动态、量化综合评判,为风险管理与工程治理方案的制订提供坚实的决策依据。

4.3 普查成果的三维信息化管理与服务

把经过深度融合和解构处理后的各类数据成果,包含高精度激光点云所构建的三维地形模型、高清正射影像图片、精确描绘的地质灾害隐患边界、形变监测时间上的序列曲线以及相关岩性、水文、历史灾害等属性数据,实施标准化整合与组织。这一流程意在搭建一个统一、完备、可交互操控的三维地理信息数据库,达成所谓的地质灾害隐患“三维一张图”数字成果。该成果全面革新了以往以二维图纸和分散报告为主要形式的信息管理模式,将全部关键信息固定在真实的地理空间坐标之上^[5]。

这一三维地理信息平台的关键优势在于其卓越的立体可视化与空间剖析能力。平台可凭借真三维的模式,全方位、清晰地呈现隐患点的精准空间位置、几何形状、规模尺寸以及其与周边居民点、重要基础设施、河流道路等地物环境的空间关联,给予仿若置身其中般的全局鸟瞰与细节审视感受。用户不仅能够借助点击模型实现属性信息的即刻查询,而且能够在三维场景里直接开展距离、面积、体积、坡度、

坡向等空间量测。

“三维一张图”的构建,为地质灾害防治工作的全流程供给了创新性的数据基础与决策辅助工具。在监测预警环节,它可充当布置专业监测器具、设定预警临界值的基础场景。在风险评定期间,它可支持开展多情景状况下的灾害链模拟与风险分区划定。在工程治理设计阶段,工程师可于平台当中实施治理方案的虚拟设置与效果预演,改良工程设计,一旦开启应急指挥模式,该平台可快速提取隐患点及其周边的全景资料,为规划人员撤离路径、研判灾情、调配救援力量提供精确、直观的空间支撑,进而达成从隐患察觉至综合整治的全流程、全息式与智能化管控。

5 结语

无人机激光点云技术凭借其超凡的三维信息捕捉能力,给核心的地质灾害精细勘查带来了颠覆性革新。而与多源遥感数据的深度融汇,更极大拓展了普查的信息范畴,达成了几何形态、地表属性、温度场与形变场的协同察觉。这种融合技术缔造了从宏观筛查到微观解析、从静态呈现到动态洞察的完整技术链路,大幅提高了地质灾害普查的精度、效率与智能化水准。伴随传感器性能的持续增强、数据自动处理与人工智能解译算法的逐步完善,无人机激光点云与遥感融合技术必定会在地质灾害风险调查评估、监测预警及综合防治中起到更为关键的作用,推动地质灾害防治工作往更精准、更智能、更具前瞻性的方向发展。

参考文献

- [1] 刘鸿剑,刘龙龙.基于无人机激光点云的带状地形三维测绘方法[J].测绘与空间地理信息,2025,48(11):185-187.
- [2] 季晓菲,苟彦梅,周健,董方.比较不同密度无人机激光雷达点云对我国北方次生林结构参数估算研究[J].北斗与空间信息应用技术,2025,(05):46-50.
- [3] 刘冰山,王利,舒宝,许豪,安君毅,张勤.基于无人机激光点云数据与多准则决策方法的GNSS监测站智能化选址方法[J].测绘工程,2025,34(06):18-26+39.
- [4] 林翔,纪小永,吴海宝,徐东华,陈卫林.基于无人机激光点云的电力杆塔倾斜检测算法研究[J].电工技术,2025,(19):167-170.
- [5] 亓立壮,潘浩,李奇,张亦卓,陈俊美,董晓晗,刘承浩.基于高精度激光雷达点云的无人机高光谱影像几何校正[J].科学技术与工程,2025,25(17):7053-7060.