

Application of forestry UAV remote sensing technology in dynamic monitoring of forest resources

Xifang Tao

Jishishan County Forestry and Grassland Development Center, Jishishan, Gansu, 731700, China

Abstract

Global forest resources are facing multiple threats including climate change, illegal logging, and land degradation. Traditional forest monitoring methods such as manual patrols and satellite remote sensing struggle to meet dynamic monitoring demands due to their limited timeliness, low resolution, or high costs. Drone remote sensing technology, with its high spatiotemporal resolution, flexible deployment, and cost-effectiveness, has gradually become a crucial tool for forestry resource surveys and change detection. Equipped with optical, multispectral, or LiDAR sensors, drones can rapidly acquire high-precision forest data. Combined with AI algorithms for automated analysis, this technology provides scientific support for forest health assessment, illegal activity monitoring, and ecological restoration. This paper first elaborates on the fundamentals of drone remote sensing technology, then analyzes its applications in dynamic forest resource monitoring. Finally, through case studies, it summarizes relevant achievements, challenges, and future prospects, aiming to offer valuable references for related research.

Keywords

forestry UAV remote sensing technology; woodland resources; dynamic monitoring; application

林业无人机遥感技术在林地资源动态监测中的应用

陶希芳

积石山县林草事业发展中心, 中国·甘肃 积石山 731700

摘 要

全球森林资源正面临气候变化、非法砍伐和土地退化等多重威胁, 传统林地监测手段(如人工巡查、卫星遥感)因时效性差、分辨率低或成本高昂, 难以满足动态监测需求。无人机遥感技术凭借其高时空分辨率、灵活部署和低成本优势, 逐渐成为林业资源调查与变化检测的重要工具。通过搭载光学、多光谱或LiDAR传感器, 无人机可快速获取林地高精度数据, 结合人工智能算法实现自动化分析, 为森林健康评估、非法活动监管及生态修复提供科学依据。本文先是具体阐述了无人机遥感技术基础, 随后详细分析了无人机在林地资源动态监测中的应用, 最后通过案例分析总结了相关成果以及面临的挑战与对未来的展望, 以期对相关研究提供有益参考与借鉴。

关键词

林业无人机遥感技术; 林地资源; 动态监测; 应用

1 引言

森林作为地球生态系统的关键支柱, 肩负碳汇、生物多样性保护和水土保持等重任。但当下全球森林面积正以每年约 1000 万公顷的速度锐减, 非法砍伐、森林退化以及气候变化等因素更是让这一趋势雪上加霜。传统监测手段中, 人工巡查效率低、覆盖范围窄, 卫星遥感虽能大范围覆盖, 却受云层遮挡、重访周期长和分辨率不足等限制, 无法满足高频次、精细化监测需求。在此背景下, 无人机遥感技术凭借亚米级分辨率、按需部署和多传感器集成能力脱颖而出, 成为林业监测热点。它可快速获取林地信息, 结合深度学

习算法实现自动化分析, 为森林资源动态管理提供实时数据, 本文梳理其应用场景等, 为森林保护与可持续利用提供参考。

2 林业无人机遥感技术基础

2.1 无人机平台类型与选择

无人机平台的选择需综合飞行性能、载荷能力及任务场景需求, 林业监测中主流平台为多旋翼与固定翼无人机, 二者特性差异显著。多旋翼无人机(如大疆 M300 RTK)具备垂直起降、悬停精准、操作灵活等优势, 可搭载轻量化传感器(如微型多光谱相机、LiDAR), 支持低空慢速飞行获取亚米级影像, 适用于山区单木识别、病虫害监测或小范围三维建模; 固定翼无人机(如纵横 CW-15)则以长续航(> 1 小时)、高速(50-100 km/h)和大覆盖(单次架次数百平方

【作者简介】陶希芳(1990-), 中国甘肃积石山人, 本科, 工程师, 从事林业相关研究。

公里)见长,但需跑道起降且悬停能力弱,更适用于大范围林地面积估算、灾害应急监测或周期性变化检测。载荷设备是数据质量核心,光学相机用于森林边界提取,多光谱/高光谱传感器通过波段组合分析植被健康,LiDAR则通过点云数据解析林分结构。平台与传感器匹配需遵循“任务导向”,如固定翼搭载多光谱相机适合健康评估,多旋翼结合LiDAR则更利于单木参数反演。

2.2 数据采集与处理技术

数据采集与处理是无人机遥感从原始信号到决策信息转化的核心环节,需兼顾效率与精度。飞行规划中,航线设计需结合地形(如坡度、海拔)与分辨率需求,采用“之字形”或“环形”航线确保全覆盖,例如山区监测需依据DEM数据动态调整飞行高度以维持影像分辨率;重叠度设置需平衡拼接精度与数据量,航向重叠度(60%-85%)与旁向重叠度(50%-70%)需根据传感器性能优化;分辨率选择则以监测目标为导向,单木识别需 $GSD \leq 0.1\text{ m}$,而森林类型分类 $GSD \geq 0.5\text{ m}$ 即可。数据预处理阶段,几何校正通过GCPs或POS数据消除镜头畸变与姿态误差,辐射校正统一多期影像反射率以保障变化检测可靠性,影像拼接则利用Pix4D等软件生成DOM或倾斜模型,误差需控制在亚像素级。三维建模中,LiDAR点云经滤波与分类后可生成DSM与CHM,结合随机森林算法可实现单木分割准确率>90%,为树高、胸径及生物量估算提供高精度数据支撑。

2.3 关键技术优势

无人机遥感技术凭借三大核心优势,已成为林业资源动态管理的关键工具。其一,高时空分辨率特性使其突破传统监测局限:无人机可按需快速部署,实现“小时级”响应能力,如灾害发生后2小时内即可获取影像,同时其厘米级空间分辨率($GSD=0.02\text{ m}$)远超卫星遥感($>10\text{ m}$),能精准捕捉早期病虫害斑块、单株树木倒伏等细微变化^[1]。其二,灵活性与低成本优势显著:多旋翼无人机起降条件宽松,可深入密林山区作业;固定翼无人机单架次覆盖范围达卫星10倍以上,且运营成本仅为有人机的1/5,例如热带雨林监测中无人机单日成本约500元,较有人机降低90%。其三,多源数据融合构建了“空-天-地”一体化监测网络,通过整合卫星影像的大范围背景、地面调查数据的精度验证及物联网传感器的实时参数,如结合Sentinel-2多光谱数据与无人机LiDAR点云,可同步获取森林覆盖类型与三维结构信息,使分类精度提升至95%以上。

3 无人机在林地资源动态监测中的应用

3.1 森林资源调查与制图

在森林资源调查与制图的领域里,无人机已然成为不可或缺的得力“助手”,展现出超强的数据获取与分析能力。在树种分类方面,无人机搭载的多光谱或高光谱传感器能够大显神通,它们可以采集到丰富且精细的光谱信息。随

后,利用随机森林、支持向量机(SVM)等机器学习算法对这些数据进行深度剖析,就能高效且精准地识别与分类树种,为森林资源多样性的保护和管理筑牢坚实基础。而在林地面积与边界提取工作中,深度学习语义分割技术里的U-Net模型发挥关键作用,它能自动且精确地从无人机影像中分割出林地区域,快速确定面积、精准提取边界。相较于传统人工测绘,这种借助无人机的方式大幅提升了制图效率与精度,节省了大量时间人力成本,还能获取更全面细致的林地信息。

3.2 森林变化检测

森林变化检测作为及时把握森林资源动态的核心环节,意义重大。借助时间序列分析方法,对不同时期采集的无人机影像展开对比分析,能敏锐捕捉森林里的各类变化,像砍伐、火灾、退化等情况都无所遁形。比如,定期对同一林区进行影像采集,通过对比不同时间的影像,树木数量减少、林地烧毁痕迹、森林植被覆盖度降低等变化便会清晰呈现^[2]。不仅如此,多种变化检测算法也发挥着关键作用。差值法通过计算不同时期影像对应像素差值来检测变化;主成分分析(PCA)能把多时相影像数据转换到新坐标系,突出变化信息;面向对象变化检测方法以对象为单位,综合考量光谱、纹理等特征,提升检测准确性与可靠性。这些算法综合运用,让森林变化检测更全面精准,为森林资源保护和恢复提供有力决策支撑。

3.3 森林健康评估

森林健康评估是保障森林生态系统稳定与可持续发展的关键所在。在病虫害监测上,无人机搭载的传感器成为“侦察尖兵”,它能精准获取植被的反射光谱信息。基于这些信息计算出归一化植被指数(NDVI)、增强型植被指数(EVI)等植被指数后,便可快速锁定植被生长异常区域^[3]。由于这些区域常与病虫害紧密相关,所以能实现病虫害的早期察觉与及时防治,将危害扼杀在萌芽状态。而在生物量估算领域,无人机搭载的激光雷达(LiDAR)大显身手。它可获取森林的三维点云数据,经先进的单木分割算法处理,点云数据被分割成单株树木。再结合生物量模型,就能精确估算每株树木及整个林区的生物量。这一成果不仅助力我们深入了解森林生态系统的物质循环和能量流动,还为森林碳汇计量、生态补偿等工作提供了坚实的数据支撑。

3.4 非法活动监管

在守护森林资源安全的战场上,无人机凭借独特优势成为非法活动监管的“利器”。它拥有强大的实时巡查能力,能如疾风般快速掠过大面积林区,让盗伐、非法开垦等违法行为无所遁形,第一时间被发现。其搭载的高清摄像设备更是一大“法宝”,能清晰记录现场情况,为执法部门提供无可辩驳的确凿证据,让违法者难以逃脱法律制裁^[4]。不仅如此,当无人机监测系统与地理信息系统(GIS)深度集成后,监管能力更上一层楼。它能对林区资源进行动态监管与预

警,如同给森林装上了“千里眼”和“顺风耳”。一旦监测到异常活动,系统便会自动拉响警报,并将相关信息第一时间实时传输至管理部门。管理部门可据此迅速反应、及时制止,为森林资源安全筑牢坚实防线。

4 案例分析

4.1 研究区域与数据来源

为全面深入探究无人机在林地资源动态监测中的效能,选取典型实验区十分关键。热带雨林生态系统复杂、生物多样,对监测技术精度和全面性要求高;人工林人工规划、树种单一,便于针对性研究特定目标。同时选择二者作为实验区,能涵盖不同林地资源,让研究结果更具普遍性与说服力。而数据获取是实验基础,对于无人机数据,要详细记录飞行高度、速度、航线规划等参数,它们分别影响影像分辨率、覆盖范围、数据采集效率与清晰度以及目标区域覆盖情况。此外,还需收集地面验证数据,如在实验区设置样地记录树种组成等信息,为后续精度验证提供可靠依据。

4.2 实验方法与流程

实验方法与流程上,数据处理首先进行影像拼接,因无人机单次飞行影像范围有限,需多幅拼接成完整区域影像,这要求影像有足够重叠区域,借助专业软件以特征匹配等技术实现无缝拼接,保证色彩、几何形状一致。接着影像分类,依研究目的将地物分森林、草地等类,森林还可细分树种,采用随机森林等基于多光谱或高光谱数据的机器学习算法自动学习光谱特征实现准确分类。变化检测是关键,通过对比不同时期影像识别森林覆盖变化,常用差值法、PCA、面向对象变化检测等方法。最后进行精度验证,将无人机监测结果与卫星影像、地面调查数据对比,计算 Kappa 系数、准确率等指标评估效果。

4.3 结果与分析

在结果呈现上,经上述实验可生成有价值成果。森林覆盖变化图以不同颜色或符号标注砍伐、造林等变化区域,直观展现森林资源演变趋势;健康评估报告依据植被指数和生物量估算结果,综合评价森林健康状况,为保护抚育提供依据;非法活动分布图标记盗伐等非法活动位置,为执法提供线索。定量分析是理解无人机监测效能的关键,计算分类精度的 Kappa 系数,0.8 以上说明结果可靠;分析变化检测准确率,90% 以上表明方法有效。同时对比不同林区监测结果,分析无人机适用性与局限性,为优化监测技术和方法、提升林地资源动态监测水平质量提供参考。

5 挑战与展望

5.1 当前挑战

在林地资源监测中,无人机虽能获取含丰富地形、植

被信息的大规模点云数据,但存储与计算面临瓶颈。数据量大需大量存储空间,且持续增长加剧压力;计算需强大能力,现有设备处理速度和效率不理想,数据处理周期长,影响监测时效性,如大面积森林三维建模耗时久。同时,缺乏统一作业流程与数据格式,不同团队作业方式有差异,数据难整合对比,格式不统一致共享交流困难、易出错,增加处理难度成本。另外,无人机飞行许可法规不完善,申请流程复杂、审批长,地区限制有差异,且数据安全保护措施不健全,数据泄露威胁大,难以保障采集、传输和存储安全。

5.2 未来发展方向

未来,人工智能将深度融入无人机监测技术,借助机器学习与深度学习算法,实现森林地物自动化分类,如用 CNN 精准区分树种,还能通过 RNN 实时分析监测数据,及时发现砍伐、火灾等变化并预警。同时,构建无人机、卫星、地面传感器立体监测网络是重要方向,无人机详查局部,卫星提供宏观信息,地面传感器获取微观数据,融合分析可全方位、多层次监测林地资源。此外,构建林业遥感云平台是关键,它能集中存储管理海量数据,实现共享交流,提高利用效率,提供强大计算能力挖掘潜在信息,支持决策,还开放接口,方便第三方开发应用,拓展林业遥感的应用领域与价值。

6 结语

综上所述,林业无人机遥感技术优势显著,凭借高时空分辨率、灵活部署及低成本等特点,在林地资源动态监测中大放异彩,有力推动了森林资源调查与制图的精准高效、森林变化检测的及时全面、森林健康评估的科学深入,也为非法活动监管筑牢了防线。不过,当下该技术仍面临诸多挑战,如数据存储计算受限、作业流程与格式不统一、法规不完善和数据安全存隐患等。展望未来,随着人工智能深度融入、多平台协同监测以及林业遥感云平台的搭建,无人机遥感技术有望突破瓶颈,进一步提升监测精度与效率,拓宽应用范畴,为全球森林保护和可持续利用提供更坚实全面的保障。

参考文献

- [1] 唐代静.无人机遥感技术在林业资源调查中的应用探讨[J].林业科技情报,2025,57(03):79-81.
- [2] 刘军伟.基于无人机遥感技术的林业工程病虫害监测与防治研究[J].新农村,2025,(19):82-84.
- [3] 杨安蓉,李富荣,赵满,等.无人机遥感技术在林业中的应用[J].林业与环境科学,2025,41(03):148-157.
- [4] 秦昆.无人机遥感技术在林业资源调查中的应用研究[J].智能建筑与智慧城市,2024,(11):27-29.