

基于无人机技术的森林资源调查和监测研究

温蕊, 邢海涛*, 梁昌献, 王劲
云南林业职业技术学院, 云南 昆明 650224
DOI: 10.61369/TACS.2026060043

摘 要 : 森林资源作为陆地生态系统的关键部分, 对其进行准确的调查及动态监测对于林业持续健康发展及环境保护均有着重要意义。传统的森林资源调查工作存在着工作效率低、费用昂贵以及精度有限等诸多缺陷, 在很大程度上制约了现代化林业精细管理水平的提升, 而无人机 (Unmanned Aerial Vehicle, UAV) 遥感技术具有时间分辨率高、空间分辨率高、机动性强、使用费用低等特点, 在森林资源调查和监测中有着广阔的应用前景。本文对无人机遥感应用于森林资源调查的研究现状进行了归纳总结, 探讨了基于光学影像、激光雷达、多光谱和高光谱等不同类型传感器的特点与应用方向, 并对未来发展趋势进行了展望, 以期为无人机技术在森林资源调查与监测中的深入应用提供理论参考和技术支撑。

关 键 词 : 无人机遥感; 森林资源调查; 激光雷达; 单木分割; 林分参数; 动态监测

Research on Forest Resource Survey and Monitoring Based on UAV Technology

Wen Rui, Xing Haitao*, Liang Changxian, Wang Jin
Yunnan Forestry Vocational and Technical College, Kunming, Yunnan 650224

Abstract : As a vital part of terrestrial ecosystems, accurate investigation and dynamic monitoring of forest resources are of great significance to the sustainable and sound development of forestry and environmental protection. Traditional forest resource survey is plagued by low efficiency, high cost and limited precision, which greatly restricts the improvement of refined modern forestry management. In contrast, Unmanned Aerial Vehicle (UAV) remote sensing technology features high temporal resolution, high spatial resolution, strong flexibility and low operating cost, boasting broad application prospects in forest resource survey and monitoring. This paper summarizes the current research status of UAV remote sensing applied to forest resource survey, discusses the characteristics and application directions of different sensors such as optical images, LiDAR, multispectral and hyperspectral sensors, and prospects the future development trends. It aims to provide theoretical reference and technical support for the in-depth application of UAV technology in forest resource survey and monitoring.

Keywords : UAV remote sensing; forest resource survey; LiDAR; individual tree segmentation; stand parameters; dynamic monitoring

引言

森林作为地球陆地生态系统主体, 在维持碳氧平衡、保护生物多样性、涵养水源、调节气候等方面发挥着不可替代的作用。了解并掌握森林资源数量、质量和分布以及动态变化的信息, 是制订林业发展规划、进行森林经营管理、开展生态保护修复的基础。传统森林资源调查是基于人工地面调查的方式进行, 其不可避免地具有劳动量大、周期长、费用高、人为影响大等特点, 并且很难对一些边远地区及地形复杂的地段开展作业; 而卫星遥感影像虽然可以快速大面积地获取信息, 但是由于受到空间分辨率的限制不能够直接应用于单木水平上的精准调查中^[1]。

无人机遥感是近年来发展起来的一种新兴对地观测手段, 在地面调查与卫星遥感之间弥补了尺度上的空缺。无人机平台能够携带可见光相机、激光雷达 (LiDAR)、多光谱及高光谱传感器等载荷获得厘米级甚至是毫米级分辨率的数据, 并且为森林资源调查提供了一种

项目信息:

云南林业职业技术学院学生科技创新项目 (项目编号: XS(KC)202431);

云南林业职业技术学院校级一般科研项目 (项目编号: KY(YB)202410);

云南林业职业技术学院校级科技创新团队 (KY(TD)202301)。

作者简介: 温蕊 (2004—), 女, 汉族, 云南省楚雄彝族自治州人, E-mail: 2578968735@qq.com。

通讯作者: 邢海涛 (1987—), 男, 讲师, 博士, 主要从事森林可持续经营教学和研究, E-mail: xht8709@163.com。

新的技术途径^[6]。相比传统的调查手段,无人机具有影像分辨率高、机动性强、造价低、重访时间短等优点,能大大提高林地信息获取的速度及精度^[2]。

本文结合相关研究进展,对无人机遥感技术应用于森林资源调查与监测的研究现状、关键技术以及存在的问题进行了系统的概述,并对其未来的发展趋势做了展望,以期无人机技术进一步应用于林业领域中提供一定的理论依据和技术支持。

一、无人机遥感系统与传感器技术

(一) 无人机平台类型与特点

目前用于森林资源调查的无人机主要有固定翼无人机、多旋翼无人机和复合翼无人机。其中,固定翼无人机续航时间长、飞行速度较快、覆盖面积较大,适合于大范围林区的大尺度调查工作^[12];多旋翼无人机可实现垂直起降、悬停及灵活机动飞行,适合小范围的精细调查以及在复杂地形区域开展工作^[7];复合翼无人机集二者之长,在林业调查中越来越受到重视。

从飞行高度及分辨率来看,无人机一般以 50 ~ 300 m 高度飞行,并能获得优于地面分辨率 5 cm 的图像数据。研究发现,在 100 m 的飞行高度上,携带高分辨率相机的无人机可以得到具有 3 cm 空间分辨率的图像,足以分辨单木树冠并提取其细小的结构特征^[12]。这使得无人机可以获得与单木尺度相对应的信息,解决了卫星遥感森林精细化调查的技术难题。

(二) 传感器载荷技术

1. 可见光 RGB 传感器

可见光相机是最基本也是最廉价的无人机搭载传感器,通过垂直到斜摄影测图获取 DOM 和三维点云。于东海^[12]利用固定翼无人机 RGB 影像,采用面向对象分类提取地类信息总体精度达 88.64%, Kappa 系数 0.85,采用模板匹配方法统计树木数量,为大面积人工林快速清查提供了一种有效手段。

但是,由于 RGB 传感器只能获得地物的光谱反射信息,并不能直接测得树木的三维结构信息,在林下层信息获取上具有一定的局限性;另外在茂密林分中,树冠之间相互遮挡会使得影像难以匹配,从而影响到三维重建的精度^[2]。

2. 机载激光雷达

机载激光雷达(UAV-LiDAR)通过主动发射激光脉冲并接收回波信号,可直接获取森林冠层的三维点云数据,是提取树高、胸径、冠幅体积等结构参数的最有效手段^[3]。赵自雨^[6]综合分析了无人机激光雷达应用于林场尺度森林调查中,利用区域生长法进行单木分割,所提取的单木树高、冠幅以及林分平均树高、密度等因子精度均可满足森林调查的要求。

3. 多光谱与高光谱传感器

多光谱传感器可以获取到树冠各波段(红边、近红外等)的反射率数据,并计算出归一化植被指数(NDVI)等光谱特征值,实现对树种进行分类、估算叶面积指数(LAI)和分析森林健康程度^[2]。高光谱成像可以获取连续窄波段的光谱数据,组成一个光谱数据立方体,其能识别植被的细微光谱差异,在病虫害早期监测、树种精细分类等方面具有独特的优越性^[1]。

近年来,将高光谱与激光雷达进行融合也是热点方向之一,

一次飞行获得光谱信息以及三维点云数据,最终实现“图谱合一”的多维信息提取^[4]。

4. 热红外传感器

热红外相机通过探测地表热辐射信息,在林火监测、森林健康诊断等方面发挥重要作用^[5]。配备可见光与热成像双光相机的无人机,白天可识别防火隐患和病虫害,夜间借助红外热成像技术清晰识别人员活动,实现全天候不间断监测。

二、森林参数提取关键技术

(一) 单木尺度参数提取

单木参数提取是森林资源精细调查的核心内容,主要包括树高、胸径、冠幅、树冠体积等因子的获取。

(1) 树高提取:基于 DSM 与 DEM 差值生成 CHM,通过局部最大值法或形态学算法检测树顶点,进而获取单木树高。赵自雨^[6]研究表明,无人机激光雷达提取的单木树高精度较高,与地面实测数据的吻合度良好。

(2) 冠幅提取:采用面向对象多尺度分割技术或区域生长法,从 DOM 或 CHM 中提取树冠边界。樊仲谋等^[9]通过无人机航测提取单木冠幅,建立了胸径-冠幅最优模型,进而完成单木胸径估测。

(3) 胸径估测:由于无人机遥感难以直接观测树干,通常通过建立胸径与冠幅、树高等易测因子的回归模型进行间接估测。史洁青^[10]基于无人机影像提取的冠幅和树高参数,建立了航空胸径-冠幅模型和胸径-冠幅-树高模型,决定系数 R^2 均在 0.67 以上。但此类模型受树种、林龄、立地条件等因素影响较大,普适性有待提。

(4) 单木分割算法:单木分割是参数获取的前提,常用的有分水岭算法、区域生长法、局部最大值法等。赵自雨^[6]比较了控制标记分水岭算法及区域生长法,确定出区域生长法作为适合研究区的方法。近年来,以深度学习为基础的方法开始涌现并发展起来,比如改进型 U-net 模型、3D-CNN 模型等在一些复杂林分中的分割精度更高^[4]。

(二) 林分尺度参数反演

林分参数反映森林群体的数量和质量特征,是森林资源调查的重要内容。

(1) 郁闭度及密度估测:郁闭度可反映出林分密度情况。史洁青^[10]利用基于面向对象的分类方法和多尺度分割方法提取林冠信息,郁闭度提取精度可达 0.90 以上;于东海^[12]利用模板匹配的方法对规则松树林地进行了树木计数,在林分密度快速调查上提供了一种新的思路。

(2) 蓄积量 / 生物量估测：蓄积量和生物量是衡量森林资源价值大小和碳汇量的重要指标，在传统的森林资源调查中通常采用样地实测的方法进行测定，但其工作量较大，并不能代表整个林区的情况。而利用无人机遥感影像所获取的信息，可建立光谱信息及结构参数与蓄积量 / 生物量之间的回归模型来进行大面积快速估测。

(3) 树种分类与识别：树种信息是进行森林经营以及保护生物多样性的基础。利用多光谱及高光谱数据能够获得不同树种之间的光谱特性差异，并使用机器学习的方法进行分类处理。王伟鹏^[4]利用改进的 3D-CNN 网络对激光雷达点云进行树种分类，对华山松、马尾松、杉木等树种取得较好的分类效果。

（三）森林动态变化监测

森林资源处于持续的动态变化中，及时掌握其变化信息对林业管理和生态安全具有重要意义。

(1) 变化监测：通过对不同时期无人机航摄像片进行比对，可以实现对林地面积变化情况、迹地上林木生长状况以及营造林效果等情况的变化监测。王明明^[11]对于已有的 DOM 和 DEM 数据基础上采用时相影像自动配准的方法实现了无人机影像的自动化精确配准。

(2) 生长量监测：定期无人机监测可获取林分生长动态信息。通过对比不同时期的 CHM，可精确量测树高生长量；结合冠幅变化分析，可评估林分生长状况和空间竞争关系^[11]。

(3) 干扰监测：无人机可以及时应对森林火灾、风灾、病虫害等干扰事件的发生，获取灾害发生后的影像来评估灾害的影响程度；多光谱无人机可以通过对植物叶面光谱的变化特征的分析，及早发现病虫害，做到“早发现、早干预”^[5]。

三、存在问题与优化路径

（一）当前存在的主要问题

目前无人机林业遥感还存在一定的局限性。无人机林业遥感的数据获取方式多样，分类结果具有不确定性，操作过程缺少规范化的标准，因此难以形成较为成熟的林业技术体系并进行大规

模推广^[2]。另外，在山地等地形复杂的地区飞行容易出现危险；面对庞大的图像信息量，无法做到及时高效地处理分析；不同来源的数据如何更好地结合也是一大难题^{[4][8]}。

（二）技术优化路径

(1) 规范数据采集作业流程。编制无人机林业调查专项技术规范，对飞行航线规划、像控点布设方案、影像质量管控及元数据归档等环节提出统一的技术标准，形成一套可推广、可复制的标准化作业体系。

(2) 研发多尺度智能分类模型。以林地光谱信息、纹理特征及几何形态为基础，针对不同林分类型和调查需求构建多尺度分类模型，并融入深度学习等智能化算法，以增强模型的分类精度与迁移适应能力。

(3) 搭建模块化数据处理平台。将影像拼接融合、辐射校正、特征提取、分类识别及精度评估等核心功能进行模块化整合，打造一体化的无人机林业数据处理系统，简化操作流程，提高整体处理效能。

(4) 完善精度验证与质控体系。通过地面样地实测数据与无人机遥感提取结果进行交叉比对验证，构建系统化的精度评价机制，保障调查成果的准确性与公信力。

四、结论与展望

无人机因其灵活、时效性强、分辨率高、成本低等特点，成为目前森林资源调查监测的主要技术手段之一，在基本信息获取、动态监测、生物量估测以及工程验收等方面广泛使用，极大地提高了调查工作效率和成果质量。

展望未来，在人工智能、5G 通讯、边缘计算等技术支撑下，无人机森林资源调查会向着智能化、自动化、实时化方向发展，多源传感器融合、云端协同处理、数字孪生林场等新技术新模式不断丰富着无人机林业的应用场景和应用深度，加强技术标准制定、完善数据共享机制、培养复合型技术人才，是无人机林业遥感技术规模推广应用的重要保证。

参考文献

- [1] 张伟，张倩. 基于遥感技术的森林资源动态监测与评估方法研究 [J]. 中国资源综合利用，2025，43(12): 39-41.
- [2] 许智勇. 基于无人机影像的林地调查与分类方法研究 [J]. 广东蚕业，2026，60(01): 46-48.
- [3] 梁少华. 无人机遥感技术在森林资源调查与监测中的应用分析 [J]. 农业科技创新，2026，(01): 56-58.
- [4] 王伟鹏. 融合无人机载激光雷达和可见光相机的贵州喀斯特山地森林资源调查与监测技术研究 [D]. 贵阳：贵州师范大学，2022.
- [5] 杜巍. 探讨无人机航测技术在森林资源调查与保护中的应用 [J]. 花卉，2019，(10): 218-219.
- [6] 赵自雨. 林场尺度空地一体化森林生物量估测方法研究 [D]. 北京：北京林业大学，2021.
- [7] 马忠卫. 基于无人机影像的森林树冠因子提取研究 [J]. 现代测绘，2022，45(02): 34-37.
- [8] 乔和爱. 无人机在森林资源调查中的应用 [J]. 林业科技情报，2018，50(04): 82-84.
- [9] 樊仲谋，周成军，周新年，吴能森，张世杰，蓝天华. 无人机航测技术在森林资源调查中的应用 [J]. 森林与环境学报，2018，38(03): 297-301.
- [10] 史洁青. 无人机影像森林资源调查系统设计与试验研究 [D]. 北京：北京林业大学，2018.
- [11] 王明明. 无人机影像地信产品制作及林分信息提取研究 [D]. 北京：北京林业大学，2018.
- [12] 于东海. 无人机航测林分及单木信息提取方法研究 [D]. 北京：北京林业大学，2017.