

无人机技术在林业资源监测中的应用

刘凤敏

赤峰市森林草原保护发展中心 内蒙古 赤峰 024000

摘要：文章围绕无人机遥感技术在森林资源普查、病虫害监测、火险评估、碳储量估算等方面的应用展开深入分析，提出了提高数据处理自动化水平、发展轻小型智能化无人机平台、推进数据共享与业务化应用等发展建议。无人机遥感技术与林业行业的深度融合，必将提升林业资源监测的智能化水平，推动林业可持续发展。

关键词：无人机技术；林业；资源监测

引言：森林是陆地生态系统的主体，在维系生态平衡、涵养水源、固碳减排等方面发挥着不可替代的作用。传统的林业资源监测主要依靠地面调查和统计，存在周期长、成本高、精度低等不足。随着现代信息技术的发展，以无人机遥感为代表的航空遥感技术日益成为林业资源监测的新途径。文章拟对无人机遥感技术在林业资源监测中的应用现状、关键技术及未来趋势进行系统梳理和探讨，为无人机遥感技术在林业行业的推广应用提供参考。

1 无人机遥感技术概述

1.1 无人机的类型及特点

在林业领域应用的无人机主要有两大类：固定翼无人机和多旋翼无人机，如图1、2所示。固定翼无人机一般体积较大，翼展可达数米，动力多为燃油发动机，飞行速度较快，载荷能力强，续航时间长，单次航程可达数百公里，飞行高度可达数千米，适合大面积林区的调查监测工作。固定翼无人机的缺点是起降跑道要求高，对地形适应性差，机动性相对较弱。多旋翼无人机体积较小，重量较轻，多为电池驱动，机动灵活，垂直起降，对起降场地要求低。大载重多旋翼无人机的载荷可达数十公斤，续航时间可达1-2小时，飞行高度可达1000米以上，适合开展局部区域的精细化调查监测。多旋翼无人机的不足主要是续航时间和航程相对固定翼无人机较短。此外，林业无人机在遥感设备配置上也各具特色。激光雷达无人机适合获取林冠三维结构信息，多光谱、高光谱无人机适合开展树种识别和病虫害监测，热红外无人机可用于林火监测等。用户可根据实际需求选择合适的无人机类型和遥感设备配置，发挥无人机的技

术优势，提高工作效率。



图1 固定翼无人机



图2 多旋翼无人机

1.2 无人机遥感的工作原理

无人机遥感是一种以无人机为平台的现代遥感技术，通过搭载数码相机、多光谱相机、激光雷达等传感器，对地面目标进行高精度成像探测。其工作原理是让无人机携带传感器在预设的航线和高度上进行航拍或扫描，获取目标区域的影像数据并传输至地面接收系统进行处理分析。由于无人机可以低空慢速飞行，其成像分辨率可达厘米级，这使得它能够获取极其精确的遥感影像数据。通过数字图像处理和模式识别等技术手段，研

作者简介：刘凤敏；1983.10；女；满族；内蒙古赤峰市松山区；本科；林业工程师；森林草原保护和生态修复；Chifeng Municipal Forest and Grassland Protection and Development Center

究人员可以从这些高精度影像中提取林分参数、树种分布和病虫害等关键信息，为林业资源的监测和管理提供可靠的数据支持。

1.3 无人机遥感技术的优势

与传统的卫星遥感和有人机航空遥感相比，无人机遥感技术具有多方面的独特优势。首先，无人机体积小、重量轻、机动灵活，能够在复杂地形和林下空间实现近距离、多角度的精细化观测，这显著提高了工作效率。其次，无人机的载荷系统采用模块化设计，组合方式灵活多样，可以根据实际需求搭载可见光、多光谱、高光谱、激光雷达等不同类型的传感器，从而获取多维度的遥感信息。此外，无人机系统的部署便捷，反应速度快，可以随时起飞执行任务，特别适合对突发事件进行应急监测。从经济效益的角度来看，无人机遥感平台的成本显著低于传统航空遥感设备，通常只需后者的几分之一甚至几十分之一的投入，而且由于机体小巧，对起降条件和日常维护的要求也相对较低。

2 无人机遥感技术在林业资源监测中的应用

2.1 获取高分辨率遥感影像

无人机飞行高度通常在数百米范围内，远低于传统卫星遥感平台。这使得无人机获取的影像空间分辨率可达厘米级，较常规卫星遥感数据的米级分辨率有了数量级的提升。高分辨率影像不仅能提高森林资源信息提取的精度，也为森林结构参数反演提供了更丰富的纹理特征。此外，无人机还能通过多视角成像实现立体数据采集，进而构建高精度三维森林模型。

2.2 开展森林资源普查

2.2.1 树种识别与分类

获取了高分辨率无人机遥感影像后，可利用影像特征差异进行树种分类。不同树种在冠层结构、叶片形态和色彩上存在差异，导致其在遥感影像上呈现出不同的光谱、纹理和几何特征。通过提取这些特征并结合机器学习算法，就能实现对森林树种的自动分类。目前，利用高分辨率多光谱、高光谱影像进行树种分类已取得了较好效果。将分类结果与样地实测数据结合，可获取树种空间分布信息，这对森林资源管理和生态学研究具有重要意义。

2.2.2 林分密度与郁闭度测算 林草分密度与郁闭度测算

对无人机高分辨率影像进行分割和二值化处理，可提取林冠轮廓信息。通过计算林冠投影面积与总面积比值，可得到林分郁闭度；而林木个体数量与样地面积的比值，即为林分密度。无人机影像能精确刻画林冠空间

结构，测算结果比传统目视估测或抽样统计更加准确。

2.2.3 树高与胸径测量

利用无人机获取的三维点云数据，可实现对单木树高的精确测量。通过点云处理软件提取单木树冠顶点和地面高程，两者高差即为树高。同时借助综合因子回归方程，还可根据树高估算胸径。目前，无人机激光雷达技术已广泛应用于树高和胸径测量，其精度可与地面实测相当。

2.2.4 林下植被调查（举例相关品种）

传统林下植被调查主要依靠地面观测和样方调查，工作量大且效率低。无人机遥感技术可以弥补这一不足。通过获取高分辨率近地面影像，可清晰分辨林下灌木和草本植被的空间分布特征。利用影像纹理和光谱特征，再结合机器学习算法，就能实现对常见林下植被如灌木山杏，草本猪毛蒿自动分类和覆盖度估算^[1]。相比地面调查，无人机遥感调查更加快速、经济，数据产品也更加直观，能为林下植被管理提供重要的信息支撑。

2.3 监测森林病虫害

2.3.1 病虫害发生面积测算

在当前我国森林资源环境尚不健全，防治病虫害工作越来越艰巨的前提下，无人机遥感技术对病虫害发生面积监测更加精准，便捷。可以根据病虫害会引起树木光谱特性的改变，通过分析植被反射光谱曲线的差异，就能判别病虫害发生区域。当树木受到病虫害侵袭时，叶片的叶绿素含量下降，细胞结构遭到破坏，导致植被在可见光和近红外波段的反射率发生明显变化。利用高光谱成像技术，可以获取树冠反射光谱的精细变化特征，通过构建光谱指数或采用分类算法，识别出病虫害发生区域，如图3所示。再利用影像分割技术提取病害区域边界，进行矢量化处理，即可精确测算病虫害发生面积。这种测算方法不仅省时高效，而且能够获取病虫害空间分布信息，有效的解决病虫害各种问题。

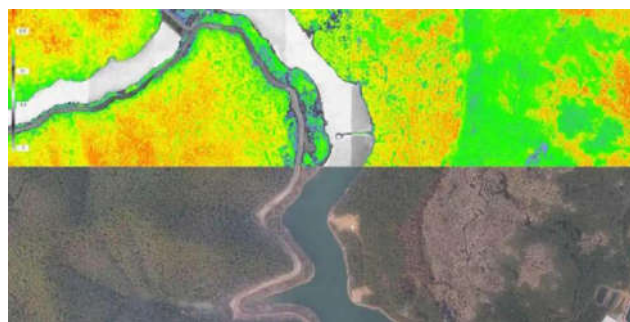


图3 病虫害识别

2.3.2 病虫害程度评估

病虫害不同程度会导致林冠色彩和温度的差异。轻

度病虫害只会引起树冠局部颜色变化,而严重病虫害则会导致大片树冠变色,呈现灰褐色。此外,病虫害还会影响树木蒸腾作用,导致冠层温度升高。通过提取高分辨率可见光和热红外遥感影像的色度、纹理、温度等特征,构建病虫害程度分级模型,就能实现对病虫害严重程度的定量评估。例如,在松材线虫病监测中,该模型可将松树划分为健康、轻度、中度、重度等不同等级,评估准确性通常可达80%以上。将评估结果与地面调查数据相结合,可进一步提高评估精度,为松材线虫病等森林病虫害的精准防控提供数据支撑。

2.3.3 病虫害动态监测

传统卫星遥感受云雾遮挡、重访周期长等因素制约,难以满足病虫害监测的时效性需求。而无人机机动灵活,可根据需要随时开展数据采集,对病虫害发生、发展过程进行动态监测,及时发现新发病虫害区,掌握已发生区域扩展趋势,用于验证防治效果,优化防治策略。例如,在美国加州爆发大面积葡萄根癌病时,研究人员利用无人机对葡萄园进行了连续数月的多光谱成像监测。通过分析病害区植被指数的时空变化特征,准确掌握了病害扩散速度和趋势,并评估了不同防治措施的效果,为制定最佳防控方案提供了关键依据。这种动态监测方式可全面把握病虫害进程,为提升森林病虫害管理水平、维护林业生态安全提供重要支撑。

2.4 评估森林火险等级

2.4.1 可燃物测量

无人机遥感影像能清晰反映林下枯枝落叶等可燃物覆盖状况。通过提取影像纹理信息并结合分类算法,可实现对可燃物的自动识别和提取,获得可燃物数量分布图。将可燃物信息与林下植被数据相结合,能够全面评估林下可燃物的空间分布特征,为开展精准防火提供数据支撑^[4]。

2.4.2 温湿度实时监测

将温湿度传感器搭载到无人机上,利用无人机的机动性,对重点防火区进行巡航式监测,获取不同区域温湿度数据。将数据传输到地面站,结合GIS平台进行空间可视化展示,能更直观掌握森林温湿度状况。

2.4.3 火情预警

森林火灾作为常见的自然灾害,随机性大,难以管理。利用搭载热红外传感器的无人机可及时发现林区异常热点。当热点温度超过设定阈值时,系统会自动报警。结合可见光影像,可进一步判别热点性质,识别野外用火还是火灾隐患。一旦发现火情,无人机就能快速定位火点位置。同时利用无人机采集的火情信息,并对

起火区域持续监测,为火情研判、扑救决策提供第一手资料。例如,2019年凉山州木里县发生森林火灾时,当地及时调用搭载热成像仪的无人机,对火场进行昼夜不间断航拍。通过热成像数据分析,准确掌握了火势蔓延范围和烈度等关键信息,并结合地形、风向等因素预判了火势发展趋势,为森林消防指挥部制定扑救方案提供了重要决策依据,有效指导了扑火行动。

2.5 估算森林碳储量

2.5.1 植被指数反演

无人机遥感技术可通过植被指数反演的方法,实现对森林碳储量的快速估算。常用植被指数如归一化植被指数(NDVI)、增强型植被指数(EVI)等,能在一定程度上表征植被生物量和生长状况。基于无人机多光谱影像,可提取各种植被指数,并建立其与森林碳储量的回归模型。利用该模型,可根据植被指数分布图估算区域森林碳储量。

2.5.2 地上生物量估算模型

除植被指数外,利用无人机激光雷达点云数据构建地上生物量估算模型,是估算森林碳储量的另一有效途径。基于点云数据可提取树高、冠幅等林分结构参数,进而构建结构参数与地上生物量之间的异速生长模型。这类模型的生物量估算精度通常优于植被指数模型。此外,点云数据还可用于提取林分三维结构特征,如森林垂直分层结构、冠层表面高度变化等,纳入生物量估算模型,可进一步提高模型估算精度。由于激光雷达穿透能力强,还可获取林下灌草及枯枝落叶等碳储量信息,实现森林碳储量的全面评估。

2.5.3 碳储量动态变化监测

由于无人机重访周期短,机动灵活,可满足森林碳储量多时相监测需求。通过不同时期无人机遥感数据,利用植被指数或生物量模型,就可获取森林碳储量动态变化信息。将变化信息与气象、土壤、干扰等多源数据相结合,可深入分析碳储量变化驱动因素。同时,对变化异常区域进行及时预警,并开展地面核查,以便及时采取应对措施。这种动态监测方式可全面把握森林碳收支过程,为提升森林碳汇功能、优化生态系统管理提供科学决策依据。

3 无人机遥感技术在林业资源监测中的应用展望

3.1 提高数据获取与处理的自动化水平

未来需着力于智能飞行任务规划系统的研发,使无人机能够根据作业区域、目标特征自主生成最优飞行路线和传感器参数,从而最大限度减少人工操作。在数据处理方面,需加强自动辐射校正、自动几何校正等关键

算法的研究,实现遥感数据从原始影像到正射影像的自动化处理。同时,采用深度学习等人工智能技术,研发智能化的影像解译与信息提取算法,最大程度降低数据处理的人工参与度。

3.2 发展轻小型化和智能化无人机平台

为拓展无人机遥感的应用范围和监测精度,亟需发展轻小型化、智能化的新型无人机平台。一方面,需研制更轻质、高强度的新型材料,在保证无人机强度和刚度的同时最大限度降低自重,从而提升其载荷比和续航时间。另一方面,需加快微型化、一体化传感器的研发,实现更多类型传感器的机载集成,扩大无人机的信息获取能力。未来无人机平台还应具备一定的智能化水平,如自主避障、自主返航、自主决策等,最大程度减少人工操控。同时,应积极发展无人机集群协同技术,实现多架无人机联合作业,提高作业效率。

3.3 推动数据共享与一体化业务应用

未来应积极推动行业数据汇交与共享平台建设,制定统一的数据格式、元数据标准,促进不同来源数据的互操作和综合应用。同时,要加强无人机遥感与林业行业业务的深度融合,研发面向森林资源管理、自然保护

区监管等具体业务需求的应用系统,实现无人机数据与其他林业资源数据的无缝集成,支撑数据的可视化管理和动态更新,切实提高林业管理的信息化水平。

4 结语

随着轻小型化、智能化无人机平台的发展,数据获取和处理自动化水平的提高,以及数据共享和业务化应用的深入推进,无人机遥感技术必将在林业行业实现规模化应用。展望未来,无人机遥感与北斗导航、互联网、大数据、人工智能等新一代信息技术的深度融合,将进一步拓展林业资源监测的广度和深度,助力数字林业建设。

参考文献

- [1] 粟桂泉,廖雪菊,杨礼和.无人机技术在林业资源调查与监测中的应用[J].农村科学实验,2024,(12):148-150.
- [2] 王晓龙.无人机遥感技术在林业资源调查与监测中的应用[J].中国林副特产,2023,(05):96-97+102.
- [3] 陶佳亮.无人机遥感技术在林业资源调查与监测中的应用探究[J].新农业,2023,(01):34-35.
- [4] 储成林.无人机遥感技术在林业资源调查与监测中的应用[J].林业科技情报,2022,54(01):59-61.