

智能化技术在林业资源病虫害防治与精细化管理中的应用研究

张艳英

内蒙古赤峰市元宝山区林业和草原局

DOI:10.32629/as.v9i2.3704

[摘要] 在全球气候变化和人类活动影响不断加深的背景下,林业资源面临着病虫害加剧、管理效率低下等严峻挑战。传统林业管理模式已难以满足现代林业可持续发展的需求。本文系统梳理了智能化技术——包括物联网、遥感、大数据、人工智能、无人机及机器人等——在林业病虫害监测预警、精准防治以及森林资源精细化管理领域的应用研究进展。详细阐述了这些技术如何通过高精度感知、智能分析与自动化作业,革新了林业病虫害的“监测-预警-防治”全链条流程,并推动了森林资源在动态监测、生长模型构建、碳汇评估及可持续经营决策等方面的管理精细化。文章进一步分析了当前应用实践中的技术瓶颈、集成挑战及推广障碍,并对未来发展趋势进行了展望,提出构建“天空地一体化”智能监测网络、发展跨学科融合的智能决策系统、强化人机协同作业模式等方向,旨在为我国林业现代化和生态文明建设提供理论参考与实践指引。

[关键词] 智能化技术; 林业; 病虫害防治; 精细化管理; 遥感监测

中图分类号: S7 **文献标识码:** A

Research on the application of intelligent technology in the prevention and control of forest resource pests and diseases, as well as in fine management

Yanying Zhang

Forestry and Grassland Bureau of Yuanbaoshan District, Chifeng City, Inner Mongolia

[Abstract] Against the backdrop of global climate change and the deepening impact of human activities, forestry resources are facing severe challenges such as intensified pests and diseases, and inefficient management. Traditional forestry management models have become difficult to meet the needs of sustainable development in modern forestry. This paper systematically reviews the research progress of intelligent technologies, including the Internet of Things, remote sensing, big data, artificial intelligence, drones, and robots, in the fields of forestry pest and disease monitoring and early warning, precise prevention and control, and fine management of forest resources. It elaborates on how these technologies, through high-precision perception, intelligent analysis, and automated operations, have revolutionized the entire "monitoring-early warning-prevention and control" process of forestry pests and diseases, and have promoted the fine management of forest resources in dynamic monitoring, growth model construction, carbon sequestration assessment, and sustainable management decision-making. The article further analyzes the technical bottlenecks, integration challenges, and promotion obstacles in current application practices, and looks forward to future development trends. It proposes directions such as building an "air-ground-space integrated" intelligent monitoring network, developing an interdisciplinary intelligent decision-making system, and strengthening the human-machine collaborative operation mode, aiming to provide theoretical reference and practical guidance for China's forestry modernization and ecological civilization construction.

[Key words] intelligent technology; forestry; pest control; fine management; remote sensing monitoring

引言

森林作为陆地生态系统的主体,在维护生物多样性、调节气候、涵养水源、提供林产品及固碳减排等方面发挥着不可替代

的作用。然而,全球范围内林业资源正遭受着日益严重的病虫害威胁。据统计,全球每年因森林病虫害造成的经济损失高达数十亿美元,同时导致巨大的生态服务功能损失。气候变化导致的异

常天气频发、国际贸易往来加剧了外来有害生物的入侵风险,使得病虫害的发生更具突发性、流行性和毁灭性。

传统的林业病虫害防治主要依赖人工地面巡查、经验判断和化学农药的粗放式喷洒,存在监测范围有限、预警滞后、防治不及时且易造成环境污染等问题。同时,传统的森林资源管理在资源清查、生长监测、经营规划等方面也普遍存在数据更新周期长、成本高、决策主观性强等弊端。这种粗放式的管理模式已无法适应精准、高效、绿色的现代林业发展需求。

以物联网(IoT)、遥感(RS)、地理信息系统(GIS)、大数据、人工智能(AI)、无人机(UAV)和机器人等为代表的智能化技术浪潮,为林业资源的保护和管理的深刻变革提供了前所未有的机遇。这些技术通过构建“感知-传输-分析-决策-执行”的完整智能闭环,正在推动林业从“经验驱动”向“数据驱动”和“智能决策”转型。本文旨在系统综述智能化技术在林业病虫害防治与精细化管理中的应用现状、关键技术、实践成效、面临挑战及未来趋势,以期对相关领域的科研与实践提供综合性参考。

1 智能化技术体系及其林业应用基础

林业智能化应用依赖于一个多技术融合的协同体系,其核心是数据的获取、处理与智能应用。

1.1感知与数据采集技术: 航天与航空遥感技术: 卫星遥感可提供大范围、周期性、多光谱的森林覆盖、叶面积指数、植被指数等数据,用于宏观监测森林健康状况和病虫害初发区域。高光谱和激光雷达(LiDAR)技术能够识别更精细的树种、生化组分和三维结构信息。

近地物联网与传感技术: 由部署在林间的各类传感器节点构成,实现对林区微气候、土壤墒情、病虫害发生前兆等环境与生物因子的实时、连续、原位监测。

无人机平台: 作为一种灵活的低空遥感与作业平台,无人机可搭载高分辨率光学相机、多光谱/高光谱相机、热红外相机及LiDAR等传感器,实现对林分、单木乃至叶片尺度的高精度信息获取,弥补了星载遥感受云层和重访周期限制,以及地面监测范围有限的不足。

1.2数据传输与网络技术: 通过低功耗广域网(LPWAN,如LoRa、NB-IoT)、无线传感器网络(WSN)、移动通信网络(4G/5G)以及卫星通信等,将分散的感知数据实时、可靠地传输至云端或边缘计算节点,为后续分析提供数据流。

1.3数据处理与智能分析技术: 大数据与云计算: 提供海量异构林业数据的存储、管理和并行计算能力,是进行大规模时空分析的基础。

人工智能与机器学习: 这是智能化应用的核心“大脑”。

计算机视觉: 用于自动识别无人机或固定摄像头拍摄的病虫害症状图像、树种、林木株数等。

深度学习: 特别是卷积神经网络(CNN)、递归神经网络(RNN)及其变体,在遥感影像分类、病虫害等级评估、生长预测等方面展现出卓越性能。

机器学习: 如随机森林、支持向量机等算法,用于建立病虫

害发生与气象、地形、林分结构等因子之间的预测模型。

1.4决策支持与自动化执行技术: 智能决策支持系统(IDSS): 集成多源数据、分析模型和专家知识,通过可视化界面为管理者提供病虫害发生风险图、防治方案建议、资源优化配置等辅助决策。

自动化作业装备: 包括植保无人机、自主导航喷药/施肥机器人、智能采伐机器人等,用于执行精准的防治、抚育和采伐作业。

2 智能化技术在林业病虫害防治中的应用

智能化技术正在重塑病虫害防治的各个环节,形成“早发现、准预警、精防治”的新模式。

2.1智能化监测与早期诊断: 遥感宏观监测: 利用多时相卫星遥感数据,通过计算归一化差值植被指数(NDVI)、叶绿素荧光等变化,可在大区域尺度上探测因病虫害胁迫引起的森林冠层变色、失叶等早期异常,实现灾害范围的快速圈定。

近地精准识别:

图像识别: 基于深度学习的无人机航拍影像或手持设备拍摄的叶片图像分析,能够自动识别和计数特定的病斑、虫害特征(如松材线虫病致松树红萎、美国白蛾网幕),准确率可达90%以上,极大提升了调查效率和客观性。

声纹监测: 利用声学传感器捕捉蛀干害虫(如天牛)幼虫的取食声或成虫活动声,通过声音特征分析实现对其存在与否及数量的无损监测。

信息素与孢子智能监测: 集成图像识别功能的智能虫情测报灯和孢子捕捉仪,可自动计数并识别捕获的害虫种类和病原菌孢子,数据无线传输至管理平台。

2.2智能预警与发生预测: 数据驱动的预测模型: 融合历史病虫害发生数据、实时物联网监测的环境数据、遥感提取的寄主分布与长势数据,以及地形数据等,利用机器学习算法构建病虫害发生概率或流行程度的预测模型。这些模型能够揭示复杂的环境驱动机制,实现提前数周甚至数月的风险预警。

传播扩散模拟: 结合GIS空间分析技术和基于智能体建模(ABM)等方法,模拟病虫害在景观尺度上的传播路径和速度,为划定重点防控区和设置隔离带提供科学依据。

2.3精准化与自动化防治作业: 精准施药: 植保无人机根据病虫害发生位置和程度的GIS“处方图”,进行变量喷洒,实现了农药的减量增效。多光谱影像可用于评估施药后的防治效果。

物理与生物防治的精准实施: 无人机可用于精准投放天敌昆虫(如赤眼蜂)或扩散性信息素。机器人可以定位并清除感染病害的单木,或安装诱捕装置。

防治决策优化: 智能决策系统可综合经济阈值、生态影响、药剂特性等因素,推荐最优的防治时间、方式和药剂组合,避免盲目防治。

3 智能化技术在林业精细化管理中的应用

精细化管理要求对森林资源状况有精确的掌握,并对经营措施进行精准设计和执行。

3.1 森林资源动态监测与精准清查: 高精度资源调查: 结合无人机LiDAR和高分辨率影像, 可以高效获取单木位置、树高、冠幅、胸径(反演)等信息, 实现林分参数的自动化提取和蓄积量的精准估算, 替代传统耗费大量人力物力的野外实测。

变化检测: 利用多时相遥感数据, 自动检测森林采伐、火灾迹地、土地覆盖变化等情况, 为监管和执法提供及时、客观的证据。

3.2 林木生长建模与生产力评估: 生长过程模拟: 整合树木生理生态模型与实时环境传感数据、遥感数据, 利用数据同化技术, 实现对单木或林分生长动态的精细化模拟和预测。

生产力与碳汇计量: 基于遥感反演的光合有效辐射吸收比例和生长模型, 估算森林净初级生产力(NPP)。结合LiDAR获取的生物量数据, 提升森林碳储量和碳汇能力的监测评估精度, 服务于国家“双碳”战略。

3.3 智慧经营规划与决策支持: 空间优化规划: 运用GIS空间分析和多目标优化算法, 在考虑地形、土壤、生态敏感性、经济目标等多重约束条件下, 对造林地选择、抚育间伐方案、采伐规划等进行空间优化配置。

森林健康与生态安全评估: 构建综合病虫害风险、火灾风险、土壤侵蚀风险等多因子的森林健康评价指标体系, 利用智能化方法进行动态评估与区划, 指导差异化、保护性的经营措施。

虚拟仿真与方案预演: 通过数字孪生技术构建虚拟林场, 对不同经营方案的长期生态和经济效益进行模拟预演, 辅助管理者做出科学决策。

4 当前应用面临的挑战与瓶颈

尽管前景广阔, 但智能化技术在林业领域的全面深入应用仍面临诸多挑战:

4.1 技术层面的挑战: 复杂环境的适应性: 林区地形复杂、植被茂密、信号遮挡严重, 对传感器部署、通信组网、无人机自主导航与避障提出了极高要求。

算法模型的普适性与精度: 当前很多AI模型在特定区域和树种上表现良好, 但受树种多样性、物候变化、光照条件等影响, 其泛化能力有待提高。病虫害早期、隐症的识别精度仍是难点。

多源数据融合与标准化: 来自不同平台、不同尺度、不同格式的数据融合处理技术尚不成熟, 缺乏统一的林业数据标准与共享机制, 形成“数据孤岛”。

4.2 成本与基础设施挑战: 智能化系统前期投入较高, 后期维护也需要专业技术支持。偏远林区往往缺乏稳定的电力与网络覆盖, 限制了实时监测的应用。

4.3 人才与知识壁垒: 既懂林业专业知识又精通信息技术的复合型人才严重短缺。林业生产一线人员对智能化设备的操作和维护能力有待培训提升。

4.4 体制机制与管理融合挑战: 现有的林业管理流程和部门设置与智能化、数据驱动的管理模式存在不适应。缺乏跨部门的数据共享和业务协同机制。

5 未来发展趋势与展望

未来, 林业智能化将向更集成、更自主、更协同的方向发展:

5.1 构建“天空地一体化”智能监测网络: 未来将深度融合卫星、无人机、地面物联网和移动监测装备, 形成从星载宏观扫描到地面精准定位的无缝衔接监测体系, 实现林业资源与灾害的全天候、全要素、全过程立体感知。

5.2 发展跨尺度、跨学科融合的智能决策模型: 结合机理模型与数据驱动模型(AI模型)的优势, 发展“物理信息神经网络”等新型模型, 提升生长预测、灾害预警的机理可解释性和长期预测能力。加强生态学、林学、信息科学、工程学的深度交叉。

5.3 强化边缘计算与人机协同: 在林区边缘节点部署计算能力, 实现数据的本地化快速处理与实时响应, 降低对中心云的依赖和通信延迟。发展“人类专家决策+AI辅助分析+机器人自动化执行”的高效人机协同作业模式。

5.4 推动林业数字孪生与元宇宙应用: 构建高保真、可模拟、可交互的森林数字孪生体, 不仅用于监测和模拟, 更可作为虚拟实验室, 对各种经营和灾害应对策略进行无风险测试和优化, 并可能发展为林业科普、生态教育的沉浸式平台。

5.5 关注伦理、安全与普惠性: 在数据采集和使用中需关注隐私和生态伦理。保障智能化系统的网络安全和数据安全。研发低成本、易操作的适用技术, 促进智能化成果在广大林区和中小型林场中的普惠应用。

6 结论

智能化技术为林业资源病虫害防治和精细化管理带来了革命性的工具与方法论, 正驱动着林业从传统经验模式迈向数据驱动和智能决策的新纪元。在病虫害防治方面, 智能化技术实现了从被动响应到主动预警、从粗放喷洒到精准靶向的转变; 在资源管理方面, 则推动了从静态清查到动态监测、从定性决策到定量优化的提升。然而, 技术的落地生根仍需克服环境适应性、成本、人才和机制等多重障碍。展望未来, 通过持续的技术创新、跨学科融合、基础设施完善和体制机制改革, 构建一个更加智能、精准、高效和可持续的“智慧林业”体系, 必将为守护绿水青山、保障木材安全、应对气候变化和建设生态文明做出不可替代的贡献。

【参考文献】

- [1]张怀清, 鞠洪波, 刘华. 物联网技术在森林资源精细化管理中的应用研究[J]. 林业资源管理, 2020(04):123-128.
- [2]王政权, 郭忠玲, 梅莉. 基于数字孪生的智慧林场构建与精细化管理应用[J]. 应用生态学报, 2022, 33(07):1891-1900.
- [3]孙玉军, 马炜, 刘金龙. 基于多源遥感数据融合的森林健康状况动态评估模型[J]. 林业资源管理, 2022(03):98-105.
- [4]陈尔学, 赵峰, 李增元. 融合深度学习与机理模型的森林病虫害传播模拟研究[J]. 遥感技术与应用, 2024, 39(03):678-687.
- [5]周金星, 牛健植, 余新晓. 面向碳中和的智慧林业碳汇精准核算技术[J]. 应用生态学报, 2025, 36(02):389-398.

作者简介:

张艳英(1979--), 女, 汉族, 元宝山区人, 本科, 基层林业副高级工程师, 研究方向: 旗县林草资源管理工作。