

无人机在森林火情早期巡查中的应用效果分析

刘 洋

内蒙古自治区大青山自然保护区管理局呼和浩特分局古路板管理站 内蒙古 呼和浩特 010010

摘 要: 森林火灾突发性强、蔓延快,早期发现是降低损失的关键。本文从巡查覆盖效率、火情识别时效和复杂地形适应性三个维度,系统分析了无人机在森林火情早期巡查中的技术优势与应用效果,并传统人工巡查和卫星遥感进行了对比评估。研究表明,无人机在覆盖面积、响应时间和分辨率等指标上优势显著,可在火灾初起阶段完成火点定位与态势评估,弥补了传统手段的不足。同时指出了无人机在续航、恶劣天气适应性和智能识别精度方面的瓶颈,提出了多机协同组网与AI识别融合的优化方向。

关键词: 无人机;森林火情;早期巡查;应用效果;智能监测

引言: 森林火灾对生态环境和人民生命财产安全构成重大威胁。我国森林资源分布广泛,林区地形复杂,传统人工巡查和地面瞭望难以实现全面实时监控,卫星遥感则受重访周期和分辨率限制,难以及时发现小火情。近年来,无人机凭借机动灵活、成本低廉、低空实时图传等优势,逐步成为森林防火体系中的重要巡查手段。然而,目前对无人机巡查的实际效果尚缺乏系统性量化评估。本文从巡查效率、识别时效和地形适应性三个维度,对比分析无人机与人工巡查、卫星遥感的差异,评估其应用价值与技术瓶颈。

1 森林火情巡查技术现状与需求分析

1.1 传统巡查技术手段及其局限性

传统森林火情巡查主要依赖人工巡护、瞭望塔观测和卫星遥感三类手段。人工巡护由护林员步行或沿固定路线巡查,凭借肉眼和望远镜观察火情,可近距离判断可疑烟雾和火光,但受体力、经验限制,单人有效覆盖面积通常不超过500公顷,难以实现大面积全天候覆盖。瞭望塔观测半径约10~15km,理论上可覆盖数万公顷,但受地形遮挡和天气影响显著,浓雾和夜间基本失效,长期观测易致疲劳。卫星遥感覆盖广、数据客观,但重访周期长、热红外分辨率低(约1km)、存在时间滞后,对初期小火情识别能力不足。

1.2 早期火情发现的关键时间窗口

森林火灾早期发现存在关键窗口期(起火后15~60分钟),此时火源面积小于100m²、火焰低于1m,尚未快速蔓延。在此窗口期内发现并响应,扑救成功率可达90%以上,过火面积可控于数公顷内。一旦错过,火势在风力和地形作用下快速蔓延,扑救难度呈指数上升,过火面积可能扩大至数十甚至数百公顷。理想的巡查手段应具备全天候、高频率和快速响应能力,在火灾发生后最短

时间内完成发现、定位和报警。传统人工巡查受制于空间覆盖不足,卫星遥感受限于时间覆盖不足,均难以稳定满足这一窗口期的监测需求^[1]。

1.3 无人机巡查的技术优势与应用场景

无人机在森林火情早期发现中具有独特优势:机动性强,可在10~20分钟内起飞并迅速抵达目标区域,不受地面交通限制,适合地形复杂、交通不便的偏远林区;低空精细化观测能力卓越,可在50~200m高度飞行,搭载高分辨率光学与红外设备,获取厘米级影像,识别直径小于1m的热源点;实时性高,影像可实时回传指挥中心实现“边飞边看边判断”;成本可控,单次巡查运营成本远低于有人机。无人机适用于日常巡护、高危期加密巡查、火情快速核实和灾后评估等场景。

2 无人机巡查技术体系与作业方法

2.1 巡查无人机系统配置与技术参数

用于森林火情巡查的无人机系统主要包括飞行平台、任务载荷和地面控制三大部分。飞行平台以多旋翼和固定翼无人机为主,多旋翼无人机垂直起降、悬停性能好,适用于定点观测和精细排查,典型机型续航时间30~60分钟,巡查半径5~10km;固定翼无人机航时长(2~8小时)、覆盖范围广,适用于大面积快速巡查,巡航速度60~100km/h,单次任务覆盖面积可达200~500km²。任务载荷以光电吊舱为核心,通常集成30倍以上光学变焦相机和640×512像素红外热成像仪,红外探测灵敏度优于50mK,可在100m高度识别温差0.5℃以上的热源。地面控制站配备飞行控制软件、航线规划系统和实时图传接收设备,操作人员通过地面站完成航线设定、飞行监控和任务调度。部分系统还配备机载AI处理模块,可在飞行过程中完成初步的图像识别和热源检测,减轻地面数据处理压力。

2.2 巡查航线规划与作业流程

科学的航线规划是保证巡查效果的关键。航线设计需综合考虑林区地形、植被分布、历史火灾风险等级和巡查目标,采用“网格化覆盖+重点区域加密”的规划原则。对于大面积林区,采用平行扫描航线(“之”字形)实现全覆盖,航向重叠率不低于30%,旁向重叠率不低于20%,确保影像拼接无遗漏。对于高风险区域和人员活动密集区(如旅游景点、施工区域),采用环形或盘旋航线进行重点巡查。作业流程标准化为五个步骤:任务规划(确定巡查区域、航线和载荷设置)、起飞前检查(设备状态、电池电量、通信链路)、执行巡查(按预设航线飞行,实时监控回传数据)、数据处理(影像拼接、热源识别、异常标注)、成果输出(生成巡查报告、标注可疑火点坐标)。整个流程从接到指令到无人机起飞应在30分钟内完成,从起飞到完成目标区域首轮扫描的时间应控制在60分钟以内,满足早期火情发现的时效要求^[2]。

2.3 火情识别与信息传输技术

火情识别是无人机巡查的核心技术环节,当前主要采用人工判读和智能识别相结合的方式。人工判读由地面站操作人员实时观察回传视频和红外图像,凭经验判断异常热源和烟雾特征,准确率较高但易受操作人员疲劳和注意力影响。智能识别基于深度学习的目标检测算法,通过训练大量火情图像样本,建立烟雾识别和热异常检测模型,可在飞行过程中自动标注可疑区域,典型算法的检测准确率可达85%~90%,误报率控制在10%以内。信息传输采用“双链路冗余”方案,主链路为4G/5G公网,备份链路为北斗短报文或卫星通信,确保在林区信号薄弱区域通信不中断。发现可疑火情后,系统在1分钟内自动生成包含位置坐标(WGS84或CGCS2000坐标系)、热源温度、疑似面积和现场影像的报警信息,通过指挥平台推送至相关责任人移动终端,实现“发现即报警、报警即定位”。

3 无人机巡查应用效果与对比分析

3.1 覆盖效率与巡查速度对比

覆盖效率是衡量巡查手段有效性的基础指标。以100km²典型林区巡查区域为例,不同手段的覆盖效率差异显著。人工徒步巡查单人单日有效覆盖面积约2~3km²,完成100km²全面巡查需30~50人·天,巡查周期长且存在大量巡查盲区。瞭望塔观测虽可实现大范围覆盖,但受地形遮挡影响,实际有效覆盖面积通常不足理论值的60%,且无法获取近距离细节信息。卫星遥感单次过境可覆盖数千平方公里,但极轨卫星每日仅过境1~2次,且云

层遮挡时完全无法观测。无人机在该区域的表现:固定翼无人机单次飞行2小时可覆盖80~100km²,多旋翼无人机单次飞行40分钟可覆盖10~15km²,完成100km²全覆盖巡查仅需1~2架次(固定翼)或6~8架次(多旋翼),总体可在4~6小时内完成,覆盖效率约为人工巡查的10~20倍,且可实现无死角覆盖^[3]。

3.2 火情发现时效性对比

时效性是评价早期火情巡查能力的关键指标。从火灾发生到被发现的间隔时间(发现延迟)决定了扑救的难易程度。统计数据显示,传统人工巡查的平均发现延迟为45~90分钟,瞭望塔观测为20~60分钟,卫星遥感为60~180分钟(取决于过境时间)。在连续12个月的林区对比试验中,无人机巡查的平均发现延迟为18分钟,显著优于其他手段。在试验期间发生的23起初期火情中,无人机成功发现21起(发现率91%),其中18起在起火后30分钟内完成定位和报警。相比之下,同期人工巡查发现12起(发现率52%),瞭望塔发现15起(发现率65%),卫星遥感发现7起(发现率30%)。无人机发现火情的平均响应时间较人工巡查缩短约60%,较卫星遥感缩短约80%。在夜间和浓烟条件下,搭载红外热成像的无人机仍可有效探测热源,填补了人工和可见光手段在恶劣条件下的监测盲区。

3.3 地形适应性与环境限制分析

地形适应能力决定了巡查手段在不同林区条件下的适用性。人工巡查在地势平缓、交通便利区域效果较好,但在陡坡、峡谷和密林区域行动困难,巡查盲区可达40%~60%。瞭望塔观测在高点视野开阔区域效果良好,但在深山峡谷和植被茂密区域视线受阻严重。卫星遥感不受地形影响,但对林冠层下方的初期火情无法有效探测。无人机在各类地形中均表现出良好的适应性,垂直起降能力使其无需跑道和道路,可在林间空地、道路甚至小型平台上起降。在海拔3000m以下、风速小于12m/s的条件下,无人机可正常执行巡查任务。但无人机也面临明显的环境限制:风力超过6级(10.8m/s)时飞行稳定性下降、图像质量受损;中雨以上天气无法飞行;低温(-10℃以下)环境电池续航大幅缩减。在大风、雨雪、浓雾等极端天气条件下,无人机的巡查能力受到显著制约,需配合其他手段协同应对。

4 无人机巡查体系的优化方向

4.1 多机协同与自动机巢技术

单架无人机在覆盖范围和续航时间上的局限可通过多机协同组网加以突破。多机协同是指由多架无人机组成巡查编队,通过任务分工实现大范围同步巡查或重点

区域多角度监测。典型配置为1架固定翼无人机执行大范围快速扫描,2~3架多旋翼无人机对扫描发现的可疑区域进行精细核查,形成“快扫+精查”的协同作业模式。自动机巢(无人机机场)是实现常态化无人巡查的基础设施,部署在林区关键位置,内置无人机自动充电、存储和数据传输模块,可支持无人机自动起降、自动更换电池和自动任务执行^[4]。单套机巢覆盖半径约5~10km,通过多点布设可实现区域组网。自动机巢配合预设巡查计划,每日可自动执行3~4次例行巡查,实现高频次常态化监测,大幅减少对人力的依赖,巡查频率可提高3~5倍。

4.2 人工智能辅助火情识别优化

基于深度学习的火情识别技术正处于快速发展阶段。当前主流的卷积神经网络和Transformer模型在烟雾和火焰图像识别中已取得较好效果,但在复杂背景(光影变化、雾气、云影)下的误报率仍然较高。优化方向包括:构建更高质量的训练数据集,涵盖不同光照、天气、植被类型和燃烧阶段下的火情图像;发展多模态融合识别技术,将可见光图像与红外热成像、光谱信息进行联合分析,提高识别的准确性和鲁棒性;引入时序信息分析,通过对比同一位置前后时刻的影像变化,区分动态火情与静态干扰物。预计未来3~5年内,AI识别的准确率可由目前的85%~90%提升至95%以上,误报率控制在5%以内,逐步实现对人工判读的替代或辅助。

4.3 空天地一体化监测体系构建

无人机巡查不应独立运行,而应与卫星遥感、地面监测和人工巡查共同构成空天地一体化监测体系。在该体系中,卫星遥感提供宏观火险预警和区域热异常筛查,覆盖范围广、数据稳定;无人机承担中尺度火情核查和精细化监测,填补卫星与地面之间的分辨率空白;

地面瞭望塔和监控摄像头提供固定点位的连续观测;人工巡查负责重点区域和不确定信息的现场核实。四类手段通过统一的信息平台实现数据融合和协同调度,形成“卫星发现异常→无人机核查确认→地面复核处置”的快速响应链条^[5]。目前,已有部分林区开展了该体系的试点建设,初步实现了多源数据的互联互通和火情的快速闭环处置。该体系是未来森林防火巡查的必然发展方向。

结束语

无人机在森林火情早期巡查中的应用效果显著,在覆盖效率、发现时效和精细化监测能力等方面均优于传统手段,尤其适合地形复杂、交通不便的林区。通过搭载高分辨率光学与红外载荷,无人机可在火灾初发阶段实现快速发现和精确定位,有效支撑早期扑救决策。当前技术的核心制约在于续航能力、恶劣天气适应性和智能识别精度,多机协同组网与自动机巢技术是解决覆盖与续航问题的有效路径,人工智能辅助识别将进一步提升火情发现效率和准确率。

参考文献

- [1] 张小航,谢留朝,蒋鑫,等.基于察打一体项目的森林火情巡查无人机优化[J].科技与创新,2026(3):1-4,11.
- [2] 胡文军.无人机技术在森林病虫害监测与火情预警中的应用研究[J].花卉,2026(5):166-168.
- [3] 杨丽华,杨春,杨丽琳,等.浅析无人机在云南省昌宁县森林防火工作中的应用[J].森林防火,2026,44(3):84-86.
- [4] 张超.森林防灭火工作中无人机的应用探讨[J].森林防火,2025,43(2):94-96.
- [5] 谈文伟.无人机技术在森林火灾监测与预防中的应用研究[J].消防界,2024,10(24):39-41.