基于多模态 AI 视觉的森林火灾实时检测与定位无人机系统

武梅琳，郭思晨
陕西学前师范学院，陕西 西安 710061
DOI: 10.61369/TACS.2026090048

摘　　要： 传统人工巡护与卫星遥感森林火情监测方式存在响应速度慢、精度较低、抗干扰能力弱、监测覆盖存在盲区等问题，难以实现精准监测。本文提出一种基于多模态人工智能视觉的无人机森林火情实时检测与定位系统。该系统融合可见光、红外与烟雾传感器，采用轻量化优化 YOLOv8 算法实现机载火情实时识别；结合 4G/5G-LoRa 混合通信与北斗双模定位技术，可实现全天候森林火情智能监测。野外试验结果表明：系统火情检测准确率达 95.3%，误报率 5.8%，定位误差控制在 5 米以内，能够可靠识别树冠隐蔽火情。本研究可为森林防火智能化升级提供技术参考，提升森林生态安全保障水平与火情处置管控能力。

关 键 词： 无人机系统；森林火情实时检测；多模态人工智能视觉

UAV System for Real-Time Detection and Localization of Forest Fires Based on Multimodal AI Vision

Wu Meilin, Guo Sichen
Shaanxi Xueqian NormalUniversity, Xi 'an, Shaanxi 710061

Abstract: Traditional manual patrols and satellite remote sensing for forest fire monitoring feature slow response, low accuracy, poor anti-interference performance and coverage gaps, limiting precise monitoring. This paper presents a multimodal AI vision-based UAV system for real-time forest fire detection and localization. It integrates visible light, infrared and smoke sensors, and adopts a lightweight optimized YOLOv8 algorithm for onboard real-time fire recognition. Combined with 4G/5G-LoRa hybrid communication and Beidou dual-mode positioning, the system realizes all-weather intelligent forest fire monitoring. Field tests demonstrate 95.3% detection accuracy, 5.8% false alarm rate and positioning errors within 5 meters, enabling reliable detection of hidden canopy fires. This study provides technical references for intelligent fire prevention upgrades and improves forest ecological safety and fire management capacity.

Keywords: UAV system, real-time forest fire detection, multimodal AI vision

引言

森林是陆地上最重要的生态系统之一，能涵养水源、储存碳、释放氧气、保护生物多样性，对我国实现“双碳”目标和生态文明建设至关重要。我国森林资源丰富，人工林面积全球领先，生态屏障作用日益增强。然而，林区地形复杂、气候多变，加上人为用火等因素，森林火灾防控压力巨大[1-2]。全球范围内，重大森林火灾频发，传统火情监测手段的缺陷已成为阻碍防火工作的共性难题。当前，国内外主要依靠人工巡护、瞭望塔观测和卫星遥感来监测火情，但这些方法各有短板。人工巡护受限于地形和体力，覆盖面小，难以及时发现隐蔽的初期火情，响应效率低；卫星遥感则因回访周期长、分辨率不足，易受阴雨云雾影响，无法全天候监控，容易错过早期灭火时机[3]。

近年来，无人机航测、多传感器融合和轻量化深度学习算法不断进步，无人机搭载智能设备进行火情监测成为智慧林业防火的主流方向[4-5]。为解决现有技术覆盖不全、响应慢、精度低等问题，本文设计了一套多模态 AI 视觉森林火灾实时检测与定位无人机系统。它整合了多源环境感知、异构通信和轻量级人工智能识别技术，突破了传统方法的局限，能高效识别早期火情、精准定位火场、及时预警，为智慧森林防火体系提供了可靠的技术支持和理论依据。

项目信息：
2026 年校级大学生创新训练计划项目（2026DC101），2026 年陕西省大学生创新训练计划项目，陕西学前师范学院科研基金项目（编号：2019YBRS26）；校级科研项目（编号：2023DS07）。

Copyright © This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License

一、国内外研究现状

欧美、澳大利亚等林业发达国家较早布局智慧森林防火技术研究，目前已建成成熟的无人机火情监测技术体系。硬件层面，国外防火无人机多搭载单一热成像传感器，依靠温度阈值筛查火情，虽可实现大范围林区常态化巡检，但仅靠红外数据开展监测，缺少可见光图像辅助，无法识别烟雾特征，对林下低温阴燃等隐蔽火情的检测精度较差[6]。算法层面，国外多基于传统卷积神经网络搭建火情识别模型，虽能提升复杂林地的特征提取效果，但模型参数量大、结构冗余，无法适配无人机轻量化、低算力的机载部署需求[7-8]。整体而言，国外相关研究虽具备一定理论基础，但在复杂场景适配、成本控制和实战落地应用方面仍存在明显缺陷。

国内智慧森林防火研究起步较晚，但依托政策扶持与人工智能、传感技术的快速迭代，整体发展速度快、落地成效突出。当前国内研究多聚焦单一视觉模态识别，主要通过改进 YOLO、SSD 等目标检测算法提升林地火焰、烟雾的识别效率，一定程度上优化了复杂场景的检测效果[9]。但该类技术仅依托视觉图像数据判别火情，未融合温度、气体浓度等物理传感信息，极易受光照反射、农田炊烟、林间扬尘等环境因素干扰，频繁出现火情误检、漏检问题，监测稳定性不足[10]。综上，现有国内外森林防火智能监测技术普遍存在感知模态单一、抗干扰能力弱、系统集成度低、实战适配性差等问题，亟需研发多传感融合、高抗干扰的一体化智能火情监测系统，弥补当前行业技术短板。

二、系统总体设计

本系统围绕森林火情监测的实际需求展开设计，核心目标是实现早期发现、高精度识别、低误报率、稳定传输和快速预警，以此打破传统技术在单一性、滞后性和局限性方面的瓶颈。系统采用“无人机机载采集—多源数据融合—AI 智能识别—异构网络传输—地面终端分析”的整体架构，将硬件感知、算法处理、通信传输和终端管控四个关键模块融为一体，打造出一套轻量化、可嵌入、能实际部署的林区火情智能监测方案。在多模态传感器数据与视觉图像数据之间实现深度融合，从而弥补单一监测手段的不足；借助轻量化深度学习算法的优化，让系统能够在无人机的边缘计算环境中高效运行；通过多种网络的协同通信，有效解决林区信号盲区带来的传输难题。最终，这套系统能够实现对森林火情隐性隐患的识别、米级精度的定位、秒级的数据传输以及全天候的智能预警。研究技术路线如图 1 所示。



图 1 技术路线图

本森林防火无人机系统采用分层模块化四层架构，各层级职责清晰又能协同联动，确保在复杂林区稳定运行。第一层是机载多维感知层，以多旋翼无人机为载体，集成可见光、红外测温、烟雾浓度和火焰光谱等多种传感器，从不同维度采集林区基础数据和火情特征，为后端分析提供全面支撑。第二层是机载边缘计算层，在无人机嵌入式主控中部署轻量化 AI 推理模型，所有采集数据都在机载终端实时解析和判断火情，无需依赖云端，避免了远程传输带来的延迟和丢包问题。第三层是智能通信传输层，融合 4G/5G 移动通信与 LoRa 物联网通信，建立自适应双链路传输体系，根据地形遮挡和信号强度自动切换通道，解决了山区信号盲区和数据中断的难题。第四层是地面综合管控层，配套电脑端和移动端管理程序，实现火情数据存储、火点定位、航线规划和险情预警推送等功能，形成智能化森林火情监测防控闭环。

三、系统关键技术设计

（一）多源传感器融合感知技术

为解决单一监测模态抗干扰能力弱、识别精度低的问题，本系统采用多源传感器数据融合技术，构建多维火情判别体系。系统集成三类核心感知模块：红外热成像传感器精准采集林区地表温度数据，测温精度可达 ±1℃，可有效识别无明火、有高温隐患的林下阴燃火情；烟雾传感器实时监测林区空气烟雾浓度变化，捕捉火情初期隐性扩散特征；可见光与火焰光谱传感器提取火焰形态、纹理、光谱特征，实现明火精准识别。

（二）轻量化 AI 算法、异构通信与高精度巡航定位技术

针对无人机机载设备算力不足、传统深度学习模型体积大、运行延迟高的问题，本文基于 YOLOv8 模型开展轻量化改进与林区场景适配优化。通过剪枝模型主干网络，删减冗余卷积与全连接层，有效降低模型参数量和计算量，适配机载嵌入式边缘设备部署。同时，结合林区复杂环境特点，构建涵盖不同光照、天气、地形及火情阶段的数据集，包含明火、阴燃、烟雾干扰等多样样本，提升模型场景适配能力。此外，引入注意力机制，强化火焰、烟雾核心特征提取效果，抑制背景噪声干扰。

针对林区地形复杂、信号覆盖不均引发的传输不稳定问题，本系统设计 4G/5G 与 LoRa 异构协同通信方案，实现全域无死角数据传输。在公网覆盖区域，优先采用 4G/5G 宽带通信，实现高清影像、传感数据秒级传输，传输延迟≤ 1.5s，保障火情、定位等核心数据稳定回传。系统搭载智能通信判别切换程序，可实时监测信号质量，自动切换通信模式，兼顾传输速率与覆盖范围，彻底解决传统系统的通信盲区问题。系统融合 GPS/ 北斗双模定位与视觉里程计技术，实现复杂林区火点精准定位。

四、系统功能设计

结合森林防火的实战需要，本系统集成了四项核心功能，形成了“监测—预警—处置”一体化的作业链条。首先是全天候智能监测，无论白天黑夜、雨雪还是大雾，都能稳定运行，精准识

 Copyright © This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License

别明火、阴燃以及隐蔽性火情。其次是高精度溯源定位，能够锁定火点的具体坐标，同时标注火势范围和蔓延趋势。第三是快速实时预警，从检测到火情开始，3分钟内就能把预警信息和定位数据推送到地面终端。最后是辅助应急处置，无人机可以挂载小型灭火模块，对初期火势进行压制，还能通过机载广播引导人员疏散。此外，地面终端支持数据存储、分析和报表导出，为林区日常防火管理提供长期的数据支撑。

五、结论与展望

针对传统森林火情监测响应滞后、精度不足、抗干扰能力弱等难题，本文研发多模态 AI 视觉无人机火情检测定位系统。系统通过多源传感融合突破单一监测短板，依托轻量化 AI 算法实现机载端实时智能识别，借助异构通信解决林区传输盲区问题，结合高精度定位与自主巡航技术，构建了全天候、高精度的智能化火情监测体系。实测表明，该系统适配性强、响应快速、识别精准，相较于传统技术优势显著，可有效防控林区初期火情风险。

参考文献

[1] 王文博 . 森林火灾扑救中的风险评估与安全管理策略研究 [J]. 消防界 (电子版), 2025, 11(1):117-119.

[2] 王亚强 . 森林火灾扑救阶段的风险评估与作业安全防控策略研究 [J]. 2026(1):139-141.

[3] 尹斌 . 高山森林火灾中无人机投掷灭火弹的精准定位与生态安全性分析 [J]. 电脑采购 , 2025(6):70-72.

[4] 孔祥一 . 预警无人机在森林火灾救援的场景应用设计 [J]. 鞋类工艺与设计 , 2025, 5(20):183-185.

[5] 王勇军 , 李智 , 孙山林 , 等 . 轻小型无人机遥感组网飞行的高程安全监测冗余 容错算法研究 [J]. 地球信息科学学报 , 2019(4):10.DOI:10.12082/dqxxkx.2019.180502.

[6] 尹斌 . 高山森林火灾中无人机投掷灭火弹的精准定位与生态安全性分析 [J]. 电脑采购 , 2025(6):70-72.

[7] 李岳龙 , 安逸 , 禚浩宁 . 基于模型计算协同无人机飞控技术的森林巡检和动态预警系统的开发与验证研究 [J]. 消防界 (电子版), 2025, 11(18):64-66.

[8] 刘宇 . 无人机技术在森林火灾监测与灭火救援设备协同作业中的优化策略分析 [J]. 中国设备工程 , 2025(17).

[9] 黄振雍 . 森林防灭火无人机系统设计与优化研究 [J]. 消防界电子版 , 2026(002):012.

[10] 王俊 , 周树道 , 朱国涛 , 等 . 无人机航迹规划常用算法 [J]. 火力与指挥控制 , 2012, 37(8):4.

Copyright © This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License