

# 无人机赋能消防灭火救援的智能化探索

马宏勇

北京市通州区消防救援支队商务园消防救援站 北京 101100

**摘要:** 无人机在消防灭火救援领域应用广泛, 本文先阐述其在侦察监测、通信中继、物资投送等方面的基础功能拓展, 接着探讨自主导航与避障、智能决策支持等智能化技术赋能方向, 随后介绍系统构建要点, 包括硬件平台设计、软件系统开发及人机交互界面设计, 最后分析预防性巡查、应急响应、持续作战等作业模式创新, 展现无人机为消防灭火救援带来的积极变革。

**关键词:** 无人机; 消防灭火救援; 智能化技术; 作业模式创新

引言: 消防灭火救援工作关乎人民生命财产安全与社会稳定。传统消防手段在面对复杂火场环境时, 存在信息获取不及时、救援效率受限等问题。随着科技发展, 无人机凭借灵活机动、高空作业等优势进入消防领域。这不仅能突破地面视角局限, 还能快速响应、精准作业。研究无人机赋能消防灭火救援的智能化探索, 对提升消防救援能力、降低火灾损失、保障救援人员安全具有重要意义, 是推动消防事业现代化发展的关键举措。

## 1 无人机在消防灭火救援中的基础功能拓展

### 1.1 侦察与监测

在消防灭火救援场景中, 无人机凭借灵活的机动性与高空作业优势, 可快速抵达火场上空, 获取全景视角下的火场动态信息。这种全局性观测能力突破了地面视角的局限, 为指挥人员提供宏观态势研判基础。通过搭载高分辨率光学摄像头, 无人机能够捕捉火势蔓延的细微变化, 结合图像处理算法实现火场边界的动态标注, 为力量部署提供空间参考。热成像技术的集成进一步提升了无人机对火源的探测精度<sup>[1]</sup>。在浓烟遮蔽或建筑结构复杂的场景中, 传统光学设备难以穿透障碍物, 而热成像传感器通过捕捉物体表面温度差异, 可精准定位隐蔽火点及高温区域。这种技术对隔层燃烧、地下火等隐蔽火源的识别具有显著优势, 为灭火行动提供关键靶点信息。环境参数监测是无人机侦察功能的另一重要维度。通过搭载多参数气体传感器, 无人机可实时采集烟雾浓度、有毒气体分布等数据, 结合气象信息构建三维环境模型。这种多维度数据融合不仅有助于评估火场危险等级, 还能为救援人员规划安全路径提供科学依据。部分先进系统已实现气体扩散趋势预测, 为疏散决策争取时间窗口。

### 1.2 通信中继

构建火场临时通信网络是无人机在极端救援场景中

的核心辅助功能, 针对大型火灾现场公网瘫痪、传统通信信号屏蔽等问题, 通过无人机集群自组网技术搭建临时通信链路, 采用分层网络架构与优化路由协议, 实现信号快速覆盖与动态自愈, 填补地下空间、高层建筑核心燃烧区等区域的通信盲区, 搭建指挥中心与前沿救援力量的信息传输桥梁。保障复杂环境下指挥通信的畅通依托无人机搭载的通信中继载荷, 可实现4G/5G与专网信号的转发, 扩大通信覆盖范围, 确保语音指令、视频数据等关键信息的稳定传输。该功能应对火场气流扰动、电磁干扰等复杂工况, 通过动态调整飞行姿态维持通信链路稳定, 避免指挥指令中断, 提升救援行动的协同性与指挥决策的时效性, 破解极端场景下通信保障的关键难题。

### 1.3 物资投送

针对火场被困人员急需的小型物资, 无人机展现出独特的投送优势。通过预设航线或远程操控, 无人机可携带灭火弹、呼吸器等装备精准投放至指定位置, 为初期灭火争取宝贵时间。模块化设计使得无人机能够根据任务需求快速更换载荷, 部分机型已实现灭火剂与救援物资的混合装载。在应急救援场景中, 无人机可突破交通阻塞等限制, 将急救药品、通讯设备等物资快速送达受困区域。通过优化投送算法, 系统能够根据风速、建筑布局等因素动态调整飞行姿态, 确保物资安全着陆。随着载重能力的提升, 未来无人机有望承担更复杂的物资运输任务, 成为地面救援力量的有效补充。

## 2 智能化技术赋能无人机的关键方向

### 2.1 自主导航与避障

基于多传感器融合的自主定位技术整合GNSS、IMU、视觉传感器及激光雷达等多种感知设备, 通过数据互补与融合算法消除单一传感器的测量误差, 提升无人机在复杂场景中的定位精度与稳定性<sup>[2]</sup>。该技术可有效应

对火场GNSS信号遮挡、电磁干扰等问题,依托联邦滤波算法实现多源数据的实时融合处理,精准输出无人机位置、姿态及速度信息,为后续导航与避障操作提供可靠数据支撑,符合无人机自主控制领域的技术规范与研究热点。复杂火场环境下的动态避障算法以环境实时感知数据为基础,结合深度学习与强化学习技术,构建火场动态障碍物识别模型,可快速识别燃烧坠落物、烟雾团、临时搭建物等动态干扰因素。算法通过实时规划最优规避路径,动态调整无人机飞行参数,兼顾避障效率与飞行稳定性,同时具备自适应学习能力,可根据不同火场环境特征优化避障策略,避免无人机与障碍物发生碰撞,保障无人机在高危场景下的持续作业能力。

### 2.2 智能决策支持

火场态势的智能分析与评估依托计算机视觉、大数据分析等智能化技术,对无人机采集的火场影像、环境参数等多源数据进行深度挖掘与处理。通过语义分割算法识别火场核心燃烧区域、建筑损毁程度及被困人员疑似位置,结合火灾动力学模型分析火势蔓延趋势与发展规律,量化评估火场危险等级与救援难度,为指挥人员提供全面、精准的态势分析结果,支撑救援决策的科学性与合理性。灭火救援策略的自动生成与优化基于火场态势评估结果,结合应急救援知识库与规则库,通过智能算法完成救援任务拆解、力量分配及战术规划。算法可综合考量火场环境、无人机性能、救援资源等多方面因素,生成多套救援方案并进行迭代优化,筛选出最优执行方案,同时可根据火场态势动态变化实时调整策略,提升灭火救援行动的针对性与高效性,推动救援指挥从经验驱动向数据驱动转型。

### 2.3 协同作业能力

多无人机之间的任务分配与协同依托分布式协同控制技术,构建多智能体协同架构,实现无人机集群的自主组网与任务动态分配。通过任务优先级排序算法,根据各无人机载荷类型、飞行性能及剩余电量,将侦察、通信、投送等任务合理分配至不同无人机,同时通过信息交互协议实现集群内数据共享与动作协同,提升无人机集群整体作业效率,满足大规模、复杂化火场救援的任务需求。无人机与地面消防力量的联动机制通过物联网技术与通信协议,搭建无人机与地面指挥终端、消防车辆、救援人员穿戴设备之间的无缝对接链路。无人机将采集的火场数据实时传输至地面指挥中心,为地面救援力量提供精准引导,地面指挥指令可快速反馈至无人机,实现无人机作业与地面救援行动的精准配合、协同推进,打破空中与地面救援的信息壁垒,形成全域协同

的救援格局。

## 3 无人机智能化消防灭火救援系统的构建

### 3.1 硬件平台设计

无人机电体的选型与定制需结合消防灭火救援的实际作业需求,遵循可靠性、适应性与扩展性原则,优先选用工业级多旋翼或固定翼无人机作为基础载体<sup>[3]</sup>。选型过程需综合考量载荷承载能力、续航时间、抗高温性能及抗电磁干扰能力,针对火场复杂工况进行定制化改造,优化机身结构以提升抗风稳定性,升级动力系统延长续航时长,预留载荷接口便于后续功能拓展,符合消防无人机硬件选型的行业标准与技术规范。传感器、执行器等关键部件的集成围绕系统智能化感知与控制需求展开,采用模块化集成方案实现各部件的高效协同。传感器集成涵盖红外热成像传感器、多光谱传感器、气体传感器及激光雷达等,通过标准化接口实现与无人机电体的无缝对接,确保感知数据的高效传输;执行器集成聚焦飞行控制、物资投送及通信中继等核心功能,选用高精度伺服执行器与电磁执行机构,提升系统响应速度与控制精度,保障各功能模块稳定运行。

### 3.2 软件系统开发

操作系统与任务管理软件是系统运行的核心支撑,采用嵌入式实时操作系统构建底层运行环境,具备高实时性、高可靠性与强兼容性,可有效调度各硬件模块与软件组件。任务管理软件基于分层架构设计,实现任务接收、解析、分配与执行的全流程管控,能够根据火场实时态势动态调整任务优先级,统筹协调无人机飞行、感知、通信及投送等各项任务,提升系统作业的有序性与高效性。数据分析与处理算法库是实现系统智能化决策的关键,整合火灾态势分析、障碍物识别、路径规划等多种核心算法。算法库采用模块化设计,可根据实际应用场景灵活调用相应算法,通过深度学习与大数据挖掘技术对多源感知数据进行深度处理,提炼火场关键信息,量化分析火势发展趋势与救援风险,为救援决策提供精准的数据支撑,契合智能消防系统软件开发的技术发展方向。

### 3.3 人机交互界面

消防指挥人员的操作控制方式以便捷性、高效性为核心,结合消防指挥场景需求设计多样化控制模式,涵盖手动操控、半自动操控与全自动操控三种方式。手动操控模式适配复杂突发场景,支持精准调整无人机飞行姿态与作业参数;半自动与全自动操控模式依托系统智能化算法,减少指挥人员操作负荷,可实现任务自主执行,同时保留人工干预权限,确保指挥人员能够根据现

场态势灵活掌控作业进程。实时信息展示与交互设计聚焦指挥决策需求,采用可视化界面呈现火场态势、无人机状态、感知数据等关键信息,界面布局简洁合理,突出核心内容展示<sup>[4]</sup>。交互设计遵循人性化原则,优化操作流程,支持指挥人员快速查询、筛选与调取所需信息,实现指令下发、参数调整与信息反馈的高效交互,降低操作复杂度,提升指挥决策的时效性,助力指挥人员快速掌握现场情况、部署救援行动。

#### 4 智能化无人机在消防灭火救援中的作业模式创新

##### 4.1 预防性巡查模式

定期对重点区域进行消防安全巡查依托智能化无人机的自主巡航能力,结合预设巡查路线与自主导航技术,实现对高层建筑、化工园区、森林草原等重点防火区域的常态化、规范化巡查。巡查周期可根据区域火灾风险等级灵活设定,通过搭载的高清视觉与多光谱传感器,全面捕捉区域内消防设施完好状况、易燃易爆物品存放情况及违规用火用电等潜在风险点,巡查过程无需人工全程操控,大幅提升消防安全巡查的覆盖面与效率,契合消防安全常态化防控的行业要求。潜在火灾隐患的早期发现与预警通过智能化数据分析技术,对巡查采集的多源数据进行实时处理与特征提取,精准识别电气线路老化、消防通道堵塞、易燃物堆积等潜在火灾隐患。结合火灾隐患分级标准,对隐患风险进行量化分级,及时生成预警信息并推送至消防管理部门,同时标记隐患具体位置与详细情况,为隐患整改提供精准指引,实现火灾隐患早发现、早处置,从源头降低火灾发生概率,符合消防安全预警体系建设的技术规范。

##### 4.2 应急响应模式

当火灾警报响起,时间就是生命,快速响应至关重要。智能化无人机可在接到指令后迅速起飞,以最短时间抵达火场。抵达现场后,无人机立即展开全方位的侦察与监测工作。借助高清摄像头,它能实时获取火场的宏观态势,包括火灾规模、蔓延方向、周边环境等信息;通过热成像技术,精准定位火源及高温区域,为消防人员确定灭火重点提供依据。此外,无人机还可对烟雾浓度、有毒气体种类及含量等环境参数进行实时监测,并将这些关键信息及时反馈给指挥中心<sup>[5]</sup>。消防指挥人员根

据无人机传回的数据,能够全面了解火场情况,制定科学合理的初期灭火方案,为后续救援行动提供坚实的信息支持,提高灭火救援的效率和成功率。

##### 4.3 持续作战模式

长时间在火场上空执行任务依托无人机动力系统优化与续航技术升级,搭配可快速更换的电池模块或燃油补给方案,实现无人机在火场上空的长时间持续作业。作业过程中通过自主姿态调整与故障自诊断技术,应对火场气流扰动、高温炙烤等复杂工况,维持稳定飞行状态,确保侦察、监测、通信等任务不间断开展,满足大规模、长时间火灾救援的作业需求。实时更新火场信息并调整救援策略持续采集火场动态变化数据,通过智能化算法对火势蔓延趋势、建筑结构变化、环境参数波动等情况进行动态分析,实时更新火场态势信息。根据态势变化,辅助指挥人员调整救援策略,优化力量部署与任务分配,及时调整无人机作业重点,确保救援行动始终贴合火场实际情况,提升救援行动的灵活性与科学性,推动灭火救援作业向精准化、持续化转型。

##### 结束语

智能化无人机在消防灭火救援领域的应用,通过基础功能拓展、关键技术赋能、系统构建以及作业模式创新等多方面探索,显著提升了救援的及时性、精准性与科学性。其在预防性巡查中提前发现隐患,应急响应时快速提供信息支持,持续作战中实时更新火场情况并调整策略,全方位助力消防灭火救援工作,为保障社会消防安全发挥不可替代的作用。

##### 参考文献

- [1]李仕帆.无人机在消防灭火救援工作中的运用实践探讨[J].中国设备工程,2023(08):8-10.
- [2]杨哲.消防通信与消防无人机协同作战的应用研究与实践[J].中国新通信,2024,26(19):10-12.
- [3]曾洋.论无人机在消防灭火救援工作中的应用[J].水上安全,2024(17):1-3.
- [4]郭玉海.智慧消防建设视域下物联网技术在消防救援管理中的应用研究[J].今日消防,2024,9(05):48-51.
- [5]陈黄悦.无人机在消防救援领域的应用研究[J].中国新通信,2024,26(16):29-31.