

人工智能在消防火灾救援领域中的应用探索

梁虎印

山西省晋中市消防救援支队祁县大队 山西晋中 030900

DOI:10.32629/ems.v8i5.20223

[摘要] 随着建筑结构日益复杂,火灾事故的突发性、复杂性和危害性显著增加,传统的消防救援模式在火灾预警、现场态势感知及救援决策等方面存在一定的局限性。人工智能(AI)技术凭借其强大的数据处理、模式识别和自主决策能力,为消防火灾救援的智能化转型提供了强大动力支持。深入探讨了人工智能在火灾预警、火场侦察、辅助决策、灾后评估等关键环节中的创新应用。深入分析了AI技术当前应用面临复杂环境下的数据干扰、算法可解释性差、跨部门系统集成壁垒及安全伦理等挑战以及解决思路,并对未来发展方向,如人机智能深度融合、装备形态向自主智能体集群变革、应用范式向平战结合全周期风险管理拓展等进行了展望。

[关键词] 消防救援;人工智能;创新应用;发展方向

[中图分类号] D631.6

传统的消防火灾救援往往依赖于消防员的经验和现场直觉,且受限于浓烟、高温等恶劣环境,存在信息获取滞后、风险评估主观性强、人员安全保障难等问题。尤其在面对大型复杂建筑火灾、工业危化品泄漏爆炸火灾时,常因信息不对称、决策延迟和资源错配可能导致灾情扩大和救援人员伤亡。近年来,以大数据、物联网、云计算为支撑的人工智能第三次浪潮席卷全球,其强大的数据挖掘、模式识别、预测推演和自主决策能力,为各行各业带来了颠覆性变革。在此背景下,将人工智能技术融入消防火灾救援体系,构建“智慧消防”已成为行业发展的必然趋势。

1 AI技术在消防救援领域应用的技术架构

AI技术在消防救援领域的应用技术架构通常遵循“端-边-云”协同的模式,结合物联网、大数据、云计算和人工智能算法,实现从感知、传输、决策到执行的全流程智能化。该架构通常自下而上感知层、传输层、数据层、应用层四个层级^[1]。感知层由各类前端设备组成,包括高清摄像头、红外热像仪、烟雾传感器、水压监测器、消防员智能手环等;传输层是通过利用5G、NB-IoT、LoRa等通信技术,实现海量异构数据的低延迟、高可靠传输;数据层是构建消防大数据中心,清洗、存储并管理多源数据,形成统一的“消防数据湖”;应用层是基于AI算法模型的各类业务系统,如火灾预警平台、指挥调度系统、数字化预案系统等。

2 人工智能在消防火灾救援中的核心应用场景

目前人工智能(AI)技术贯穿于消防火灾救援的整个过程,包括灾前(预防、监控、培训)、灾中(响应、态势感知、决策支持、救援)、灾后(分析、恢复)^[2]。在消防救援领域,AI的使用正在从简单的“辅助工具”向“决策大脑”转变,其核心价值在于提升预警能力、增强救援效率、保障消防员安全以及优化灾后分析。人工智能在消防火灾救援中的核心应用场景主要体现在以下5个方面:

1) 基于物联网与大数据的智能火灾预警。它AI在消防领域最成熟的应用,核心在于“防患于未然”。针对传统火灾报警系统依赖单一阈值易导致误报漏报的局限,AI技术的引入推动了火灾预警从“事后报警”向“事前预警”的转变。通过物联网技术采集温度、烟雾、电流电压及视频监控等多维异构数据,AI算法能进行综合分析。同时,利用卷积神经网络等计算机视觉技术对监控视频进行实时解析,精准识别火焰光谱特征与烟雾的扩散特征。这种图像型探测手段不仅突破了室内大空间的高度限制,更能在火灾极早期(阴燃阶段)即发出警报,有效提升了预警的准确性与时效性。

2) 基于无人机与机器人的火场侦察。针对复杂火灾现场深入内部侦察存在的极高安全风险,无人化装备结合AI算法已成为侦察行动的先锋。无人机搭载红外热成像仪和高清摄像头,配合AI图像拼接与三维建模技术,可以快速生成

火场热力图和 3D 模型, 通过自动识别火点蔓延方向、被困人员位置及建筑结构受损情况, 为指挥员提供全局的“上帝视角”。消防灭火与侦察机器人利用 SLAM 技术在浓烟环境中实现自主导航与障碍规避, 能够深入消防员无法抵达的区域进行数据采集和初期控火, 从而构建立体化的智能侦察体系^[2]。

3) 智能搜救与人员防护。搜救作为消防救援中“人命关天”且技术难度最大的核心环节, 借助人工智能实现了从“盲目寻找”到“精准定位”的跨越, 极大延伸了搜救的感官触角。在视觉识别方面, 基于深度学习的计算机视觉技术利用多光谱热成像结合 AI 增强算法, 能穿透浓烟区分人体与火源干扰, 精准锁定被困者轮廓, 并通过姿态识别与骨骼关键点检测实时分析人员状态及生存概率。在单兵智能穿戴方面, 利用集成于智能头显或背心的传感器, AI 系统可实时监测消防员的心率、体温、血氧及所处位置的毒气浓度, 一旦监测到中暑或体力透支等数据异常, 系统会立即向指挥中心和队友发送警报并指导撤离。

4) 火灾态势感知与智能决策。火灾发生后, 救援行动的效率和安全性是核心, AI 在此阶段充当“超级辅助大脑”和“千里眼顺风耳”, 全面赋能指挥中枢和一线队员。在立体化态势感知与融合分析方面, AI 集成处理来自无人机、穿戴设备、机器人及视频监控等多源异构数据, 构建实时统一的灾场全景图。利用无人机 AI 巡检自动识别火点、被困人员分布及建筑结构变形, 并借助多模态信息融合技术将视频、热像、气体与声音数据进行互补分析, 为指挥员实现“看得全、看得清、看得懂”, 彻底改变“信息盲打”的被动局面。在智能指挥调度与辅助决策方面, 面对复杂火灾, AI 利用运筹优化或强化学习动态计算最优车辆编组、救援队行进路线及消防水源调配顺序, 并利用多准则决策算法对被困人员搜救优先级进行排序, 从而将指挥员从繁重计算中解放出来, 提升决策的科学性与时效性。

5) 灾后分析与损失评估。火灾结束后, 在调查分析方面, AI 能够快速分析海量现场照片、视频及传感器历史数据, 辅助消防调查人员寻找火源起点、分析蔓延路径并识别可能的引火源。在损失快速评估方面, AI 基于无人机航拍影像, 利用图像分割和变化检测技术, 可自动识别和统计受损房屋数

量、过火面积及财物损失程度, 初步估算经济损失。

人工智能在消防救援中的应用, 本质上是从“经验驱动”向“数据驱动”的转型。它不仅让消防设备更聪明, 更重要的是通过技术手段, 最大程度地减少了人员伤亡和财产损失。

3 当前面临的挑战与解决思路

尽管 AI 在消防救援中展现出巨大潜力, 但其广泛应用仍面临一系列复杂且严峻的挑战, 这些挑战贯穿于技术、数据、环境、伦理和落地融合等多个层面^[3]。具体而言, 主要包括以下几个方面:

1) 火灾环境复杂性对数据质量形成挑战。在实际救援中存在浓烟、强光、蒸汽、电磁等因素干扰严重阻碍了传感器数据传输, 遇到复杂地形时更限制了救援机器人的自主移动, 这样就形成了救援时效性与 AI 模型计算耗时之间的矛盾。针对这个问题, 可以通过融合热成像、毫米波雷达及气体传感器等多种设备, 克服单一传感器的感知缺陷^[3]。同时, 采用边缘计算和轻量化模型技术, 将算力下沉至前端设备, 在保障决策精度的同时大幅提升系统的响应速度。

2) 技术成熟度与可靠性存在瓶颈。AI 技术在可靠性和准确性方面仍存在短板, 这对生命至上的消防救援构成了风险。在实际应用中发现, 许多先进 AI 救援模型(尤其是深度学习)的“黑箱”特性使其决策逻辑难以理解和追溯, 导致指挥官难以信任无法解释依据的决策系统。针对这个问题, 研发可解释 AI (XAI) 技术将其嵌入救援模型中, 使决策依据透明化, 持续优化算法并引入冗余验证机制以提高可靠性。

3) 系统集成与实操落地挑战。应急救援涉及消防、公安、医疗、交通、气象、市政等多个部门, 因各系统数据格式不统一且接口不开放, 容易形成了数据孤岛。开发 AI 救援系统若不能打破这些壁垒实现高效共享, 其系统集成性能将大打折扣。其次, 部署 AI 救援系统需要强大的算力、高速通信网络及完善的物联网感知设备。高昂的软硬件投入与维护成本, 对许多基层和欠发达地区的消防救援队伍构成了沉重负担。针对这些问题, 建议地方政府管理层牵头推动建立统一的数据交换标准和共享平台以破除部门壁垒, 采用“云-边-端”协同架构, 通过云端计算、边缘侧实时处理和终端交互平衡系统的性能与成本。

4) 数据安全与责任归属模糊。AI 在接入消防救援系统

时需处理城市安全底线和关键基础设施(包括重要场所图纸、生命线工程、地下空间数据等)、实时音视频、指挥通信数据及个人信息等一些敏感数据,一旦泄露后果不可估量。当 AI 辅助决策失误导致事故时,责任应由算法开发者、设备制造商、运营商还是最终的人类决策者承担,这在法律和伦理上均是尚未完全解决的灰色地带^[3]。针对这些挑战,建议在消防救援单位接入 AI 系统时实施严格的数据加密(如量子加密)、访问权限控制和数据脱敏处理。消防救援类相关法律制定部门及时修订补充 AI 救援内容、推进行业标准的制定,明确 AI 应用中的责任划分。

4 未来发展趋势

AI 技术在消防救援领域的发展趋势正呈现出从“单点智能”向“系统智能”、从“辅助工具”向“核心能力”的深刻演进。其核心驱动力是让消防系统变得更“主动、精准、自主、协同”。

1) 人机关系从“人操作”到“人机智能融合”重构。未来的人机协同将超越简单的工具使用,迈向混合增强智能的深度融合。AI 技术将作为消防救援的“战术顾问”,通过脑机接口及自然语言对话等新型交互界面,深度嵌入指挥线路与一线人员作战回路中,实现信息的无缝双向流动。这种 AI 负责处理海量数据并提供建议,人类则凭借经验、伦理判断与直觉进行最终决策的协作模式,共同形成“1+1>2”的超级消防救援系统^[4]。

2) 装备形态从“遥控工具”到“自主智能体集群”的变革。应急救援机器人将从当前的“遥控+半自主”模式,迈向具备高级别自主决策与协作能力的异构智能体集群。它们将搭载多模态感知系统,通过激光雷达、热成像和深度视觉算法,实时构建火场内部的三维语义地图。在“自主智能体集群”架构下,每个智能体都具备独立的 AI 运算能力,装备系统将具备“去中心化”的抗毁性与自愈能力。当部分救援装备受损或通信受阻,剩余的集群也能基于局部感知和预设的协同协议,自动重组队形,补位救援,确保救援行动不中断。这种仿生学意义上的“蜂群思维”,将极大提升救援装备在极端高危环境下的生存能力和任务完成率。

3) 应用范式从“灾中应急”到“平战结合”的全周期风险管理的拓展。在“平战结合”的新范式下, AI 技术将“平时”积累的数据转化为“战时”的情报。智能救援系统不仅基于数字化预案库瞬间生成最佳救援方案,还能联动建筑 BIM 数据,提供穿透烟雾的内部透视图,将“经验指挥”跃升为“透明化”的数据赋能实战决策。通过将“平时”的预防监测与“战时”的应急救援深度融合,构建起“预测预警—智能指挥—灾后进化”的完整闭环。这种平战结合的全周期风险管理,不仅大幅降低了火灾发生的概率,更在灾难来临时最大限度地挽救生命与财产,标志着城市消防安全治理能力迈入了智慧化的新纪元^[5]。

5 结论

人工智能技术的融入正在深刻重塑消防火灾救援的工作模式,从被动的“接警出动”向主动的“事前智能预警、事中精准指挥和高效救援、事后科学评估”转变。尽管目前 AI 技术在数据质量、技术成熟度、系统集成性及伦理法规等方面仍存在挑战,但随着技术的不断迭代和基础设施的完善,这些瓶颈终将被突破。未来,人工智能将与消防工作深度融合,构建起一个全方位、立体化、智能化的现代消防安全治理体系,为保障人民生命财产安全和社会稳定提供强有力的科技支撑。

[参考文献]

- [1]李亚楠.建筑电气消防系统智能化设计与应用探讨[J].电工技术,2025(06)198-200.
- [2]周锐.人工智能在消防救援装备中的应用探讨[J].江西通信科技,2025(02)27-31.
- [3]崔庶.人工智能在消防灭火救援工作中的应用研究[J].消防界(电子版),2025(06)115-117.
- [4]康雪峰.人工智能在消防监督管理中的应用探究[J].今日消防,2020(09)4-5.
- [5]崔健明.人工智能在智慧消防监督工作中的研究及应用[J].户外装备,2023(12)443-445.

作者简介:梁虎印(1985—),男,汉族,山西阳泉人,本科学士,研究方向为防火监督、火灾调查、消防宣传。