

智慧消防背景下 5G 技术在消防救援通信中的应用与问题探析

李明浩

松原市消防救援支队 吉林松原 138000

DOI: 10.32629/ems.v8i8.21625

[摘 要] 随着城市化进程的加速和高层建筑的增多，传统消防救援面临着灾害现场环境复杂、信息传输滞后、指挥调度困难等严峻挑战。在“智慧消防”建设日益深化的背景下，第五代移动通信技术（5G）凭借其高带宽、低时延、广连接的特性，为构建高效、智能的消防救援通信体系提供了前所未有的技术支撑。本文旨在探讨 5G 技术在消防救援通信中的具体应用场景，分析其在高清视频监控传输、无人机协同救援、第一视角实时回传及大数据辅助决策等方面的优势与作用；同时，深入剖析当前应用过程中存在的信号覆盖盲区、设备功耗与续航瓶颈、网络安全风险及标准体系缺失等问题。最后，结合国内外实践经验，提出优化网络布局、研发专用终端、完善安全防护机制及建立统一标准等对策建议，以期为提升我国消防救援现代化水平提供理论参考与实践指引。

[关键词] 智慧消防；5G 技术；消防救援；应急通信；物联网

引言

消防安全是公共安全体系的重要组成部分，直接关系到人民群众的生命财产安全和社会稳定。近年来，随着我国经济社会的快速发展和城市结构的日益复杂，火灾及其他突发公共事件的形态发生了深刻变化。高层建筑密集化、地下空间复杂化、新材料新能源广泛应用等因素，使得消防救援工作面临着“看得见难、听得见慢、联得通乱”的现实困境。传统基于窄带集群或常规宽带网络的通信手段，难以满足现代救援对海量数据实时交互、高清图像无损传输以及多维感知信息融合的需求。特别是在大型综合体火灾、危化品泄漏等高危场景下，指挥中心往往因缺乏现场直观、实时的视觉信息和精准的环境数据，导致指挥决策滞后甚至失误。

在此背景下，“智慧消防”作为一种利用云计算、大数据、物联网及人工智能等技术手段，实现消防监测预警、执勤作战、监督管理智能化的新模式，已成为行业发展的必然趋势。其中，作为智慧消防神经系统的通信技术起着决定性作用。第五代移动通信技术（5G）具备增强移动宽带（eMBB）、超高可靠低时延通信（URLLC）和海量机器类通信（mMTC）三大典型应用场景，完美契合了消防救援对高带宽、高可靠、低时延的通信需求。本文将聚焦于 5G 技术在消防救援通信领域的应用现状，剖析其带来的革新价值，并客观评估当前

实施过程中面临的技术与管理障碍，进而提出相应的解决策略，对于推动消防信息化建设具有重要的现实意义。

1、5G 技术赋能消防救援通信的核心优势与理论基础

要实现 5G 在消防领域的有效应用，首先需明确其区别于前代移动通信技术的核心指标如何转化为救援实战能力。5G 并非简单的速度提升，而是通过重构网络连接架构，解决了传统应急通信中“卡脖子”的关键痛点。

1.1 超高速率保障海量多媒体数据实时回传

在传统的火场通信中，视频图像的清晰度受限于带宽，往往只能做到标清或低码流高清，且伴随严重的马赛克和卡顿现象。5G 的峰值速率可达 20Gbps，平均速率在几百 Mbps 以上，这使得 4K/8K 超高清视频、全景 VR 视频能够在火场内部顺畅传输至指挥中心。消防员佩戴的头盔相机或手持图传设备可以无延迟地将周围 36 度全方位高清画面实时传回后方。这种高质量的视觉反馈不仅让指挥员能够如同亲临现场般掌握火势蔓延方向、建筑结构变化及被困人员位置，更为后续的大数据分析、AI 图像识别算法提供了高质量的数据源，从而支持更精准的火情研判。

1.2 超低时延确保关键指令秒级响应

在危化品爆炸、建筑坍塌等瞬息万变的救援场景中，时间就是生命。4G 网络的时延通常在 30-50ms 左右，而在某

些极端拥塞情况下可能高达 100ms 以上,这对于需要远程精密控制的设备来说是不可接受的。5G URLLC 场景可将空口时延降低至 1ms 级别。这一特性直接赋能远程操控类救援装备的应用。例如,当消防员进入充满有毒气体或可能发生二次坍塌的危险区域进行侦察或破拆时,可通过 5G 网络远程操作排雷机器人、消防灭火机器人或多旋翼无人机。指令发出瞬间即被执行,没有任何感知上的延迟,极大地保障了前线人员的生命安全,实现了“机器换人”、“人机协同”的高效作业模式。

1.3 超大连接能力实现全域物联网感知

智慧消防的核心在于“万物互联”。一座现代化大型建筑内部署了数以千计的烟雾报警器、温度传感器、水压监测仪、红外感应器等 IoT 设备。传统 Wi-Fi 或 NB-IoT 在某些高密度场景下可能存在连接数限制或干扰问题。5G mMTC 场景支持每平方公里百万级设备连接。这意味着在火灾发生时,整个建筑内的感知节点可以同时在线工作状态,将建筑结构完整性、各楼层温度梯度、氧气浓度分布、有毒气体泄漏点位等多维异构数据汇总至云端。指挥中心不再依赖单一的人工汇报,而是基于全量感知数据进行综合态势推演,实现从“经验驱动”向“数据驱动”的转变。

2、5G 技术在消防救援中的具体应用场景

2.1 高清视频实时监控与三维建模重建

在重大火灾事故处理中,指挥部最迫切的需求是“看见”现场。5G 支持下的高清视频流不仅用于实时观看,还可结合计算机视觉技术进行后端处理。通过部署在无人机、机器人及消防员身上的多路高清摄像头,系统可实时采集火场影像。利用边缘计算节点(MEC),对这些视频流进行即时分析,识别明火范围、烟层高度及热点位置。更进一步,通过多个角度的视频流输入,利用 SLAM(同步定位与地图构建)技术,可以在三维数字孪生平台中快速重建火场内部的三维模型。指挥员可在三维地图上直观查看被困人员坐标、最佳救援路径及危险区域,从而实现战术规划的动态调整和优化资源配置。

2.2 无人机空地一体化协同侦察与灭火

无人机已成为现代消防救援的重要空中力量,但传统图传距离短、抗干扰能力差是其短板。5G 专网或公网切片技术赋予了无人机广域、高稳的连接能力。

其一,侦察层面。多架搭载激光雷达、热成像相机的无人机编队可飞入浓烟密布的室内或高空区域,通过 5G 网络将高精度点云数据和热成像图谱实时回传,构建室内外无缝衔接的三维环境地图。

其二,协作层面。无人机可与地面机器人或消防车形成联动。例如,发现高处着火点后,地面指挥通过 5G 指令引导挂载系留灭火弹或水炮的无人机精准投掷或喷水打击。由于控制链路稳定且低时延,飞行员或自动控制系统可实现厘米级的定位精度,避免误伤周边设施或人员。此外,无人机还可充当通信中继节点,在灾区基站受损时,利用 5G 基站的便携性快速恢复局部通信覆盖,打通“信息孤岛”。

2.3 第一视角沉浸式指挥与增强现实(AR)辅助

借助 5G 大带宽特性,AR(增强现实)眼镜在消防中的应用成为可能。前线消防员佩戴 AR 头盔,不仅能看到眼前的火焰,还能在视野中叠加叠加由后台生成的虚拟信息图层。这些信息包括:建筑物内部结构管线图(显示燃气阀门、消防栓位置)、前方路况导航箭头、队友位置标识、剩余空气呼吸器压力值等。

对于指挥员而言,通过 5G 接入的全息视频会议系统,可以实现多方协同作战。不同分队的队长、专家顾问可以通过全息投影的形式“出现在”指挥大屏上,共同审视现场视频和数据,进行远程会商。这种沉浸式的交互体验打破了物理空间的限制,使得后方专家团队能够以前线人员的视角参与决策,极大提升了专业支持和应急响应的针对性与有效性。

3、当前应用面临的主要问题与挑战

3.1 复杂环境下的网络覆盖与稳定性难题

火场环境极其恶劣,高温、浓烟、粉尘、水汽以及建筑钢结构的屏蔽效应,都会对无线信号造成严重衰减甚至中断。虽然 5G 具备更好的穿透力优化方案,但在地下车库、深层地下室或超高层建筑的特定角落,仍存在信号盲区。此外,灾害往往伴随着大规模电力中断,导致室外宏基站断电。虽然基站配有备用电池,但续航有限。在长时间作战或大面积停电场景下,公网信号极易瘫痪。目前,虽有卫星通信和自组网技术作为补充,但与 5G 的高带宽需求相比,这些备用手段在数据传输容量上存在巨大落差。如何构建“天地一体、固移结合”的多制式融合通信备份网络,确保在极端环境下 5G 信号的连续性和可靠性,是亟待解决的工程难题。

3.2 终端设备的功耗、体积与耐用性矛盾

5G 模组相较于 4G 模组,在处理速度和射频复杂度上显著增加,导致功耗大幅上升。对于需要全天候佩戴的单兵终端(如 AR 眼镜、头盔主机)而言,高功耗意味着频繁的充电或沉重的电池负担,直接影响消防员的机动性和作战持久力。同时,消防终端必须满足严格的防爆、防水、防尘、耐高温标准(如 IP68 等级及特定防爆认证)。现有的通用智能手机或平板电脑难以直接胜任,而定制化的工业级 5G 终端往往体积庞大、成本高昂。如何在保证防护等级和 5G 性能的前提下,实现终端设备的轻量化、小型化和长续航,是硬件制造商面临的主要技术瓶颈。

3.3 网络安全风险与数据隐私保护

智慧消防依托于海量数据的采集与共享,涉及国家重要基础设施信息、个人隐私数据以及敏感的灾情情报。5G 网络切片的逻辑隔离虽优于物理隔离,但底层依然共用基础设施,理论上仍存在跨切片攻击的风险。一旦救援通信网络被黑客入侵,可能导致虚假视频注入、控制指令篡改、定位信息欺骗等严重后果,直接危及救援行动安全和人员生命。此外,云平台存储的大量高清监控录像和传感器数据,若缺乏严格的数据加密和访问控制机制,极易发生泄露。目前,针对应急通信领域的专项安全标准和渗透测试规范尚不完善,亟需建立端到端的国家安全防护体系,包括身份认证、数据加密传输、入侵检测及安全审计等功能。

4、对策与建议

4.1 优化网络基础设施,构建多模融合通信体系

应加快重点防火单位、高层建筑、地下空间等重点区域的 5G 信号深度覆盖,鼓励建筑内部部署微基站或小基站。同时,大力发展“5G + 卫星互联网”、“5G + LoRa/NB-IoT”等多模融合通信网关技术。在灾害发生时,通过便携式自组网设备快速搭建局部应急通信网,并自动切换至卫星链路作为保底通道,确保即使在公网中断的情况下,关键语音和低频数据仍能畅通无阻。政府应加大财政投入,支持应急管理部门与运营商共建 5G 应急专网,预留专门的频段资源,优先保障应急救援业务的 QoS(服务质量)。

4.2 强化技术创新,研发适消专用终端

鼓励产学研用联合攻关,开发低功耗、高性能、高防护等级的 5G 消防专用终端。推广使用新型固态电池或混合供

电技术,延长单兵装备续航。引入边缘计算技术,将部分 AI 推理任务下沉至终端或就近的边缘节点,减少上行数据传输量,降低对网络带宽的依赖并提升响应速度。制定严格的消防电子装备行业标准,规范 5G 终端的电磁兼容、抗干扰及环境适应性指标,确保持证上岗设备的可靠性。

4.3 完善安全保障机制,确立统一数据标准

建立健全智慧消防网络安全法规,落实网络安全等级保护制度。采用国密算法对传输数据进行加密,引入区块链技术支持下的数据溯源与防篡改机制,确保救援记录的不可抵赖性。加强攻防演练,提升对 5G 网络的威胁感知和应急响应能力。同时,打破部门间的信息壁垒,由国家级主管部门牵头,制定统一的消防数据采集、接口协议、数据格式及交换标准。消除“数据烟囱”,实现公安、气象、住建、医疗等部门数据的互联互通,构建开放共享的智慧消防大数据生态体系。

5、结语

5G 技术作为新一代信息技术的前沿代表,正在深刻重塑消防救援的作业形态与指挥模式。从单纯的视频传输到全方位的数字孪生,从人工经验判断到数据智能决策,5G 为破解传统救援难题提供了强有力的技术引擎。然而,技术落地并非一蹴而就,面对网络覆盖、终端制约、安全隐患及标准缺失等多重挑战,需要政府、企业、科研机构及消防救援队伍共同努力。通过持续的基础设施投入、硬核技术研发、严密的安全防护以及健全的制度建设,才能真正将 5G 潜能转化为实战效能。未来,随着 6G 技术的萌芽、人工智能的深度融合以及数字孪生城市的普及,智慧消防将迎来更加智能化、无人化、精准化的新发展阶段,为保障人民生命财产安全筑起一道坚不可摧的数字防线。

[参考文献]

- [1]袁园,花志强. 消防灭火救援现场通信问题及应对措施[J]. 电信快报, 2025, (9):27-30.
- [2]刘珂含. 消防指挥中心通信技术在火灾应急响应中的作用分析[J]. 消防界(电子版), 2023, 9(23):55-57.
- [3]黄雅蕾. 5G 通信技术在消防救援中的应用实践分析[J]. 今日消防, 2023, 8(10):36-38.