

消防应急照明与疏散指示系统的 AI 图像识别动态引导技术研究

李春禹

宣威市消防救援局

DOI: 10.12238/ems.v7i10.15771

[摘要] 建筑应急疏散是保障人员生命安全的关键环节，传统疏散系统受限于固定路径、被动响应等特性，难以适应复杂多变的灾害场景。智能应急疏散系统通过融合物联网、人工智能、数字孪生等技术，实现对灾害环境的实时感知、动态决策与精准引导，为提升疏散效率提供了全新解决方案。本文从传统系统的局限性出发，构建智能应急疏散系统的技术架构，解析其多维度协同机制，探讨实践中面临的挑战与发展路径，旨在为推动建筑应急疏散智能化发展提供理论参考。

[关键词] 智能应急疏散；技术架构；协同机制；建筑安全；动态响应

引言

在建筑火灾、地震等突发灾害中，高效有序的应急疏散直接决定人员生存概率。传统应急疏散系统依赖预设指示灯、固定广播指令及人工引导，存在路径僵化、信息滞后、场景适配性差等问题，当灾害扩散速度超出预期或预设路径被阻断时，易引发疏散混乱甚至次生伤害。随着建筑高度不断增加、功能日趋复杂，对疏散系统的动态响应能力、全局协同水平提出更高要求。智能应急疏散系统通过整合多源感知数据、构建动态决策模型、联动多元执行设备，实现从“被动指引”到“主动防控”的转变，成为提升建筑安全韧性的核心技术支撑。

1. 传统应急疏散系统的局限与智能化转型需求

1.1 传统系统的固有缺陷

传统应急疏散系统的运行逻辑基于预设场景，其缺陷集中表现为三个方面。路径固化导致适应性不足，疏散指示灯按初始设计指向安全出口，无法根据火势蔓延、结构损坏等实时变化调整方向，若安全出口被烟火封堵，易误导人员进入危险区域。信息传递存在滞后性，火灾报警后依赖人工判断发布疏散指令，广播内容固定且缺乏针对性，难以区分不同楼层、不同区域的疏散优先级。场景感知能力薄弱，系统无法获取灾害发展态势、人员分布密度等动态信息，应急照明仅在断电后被动启动，无法针对高风险区域强化照明支持。

1.2 智能化转型的技术驱动

技术进步为应急疏散系统升级提供了可能性。物联网技术实现全域感知覆盖，通过部署在建筑各区域的温度、烟雾、

红外等传感器，可实时采集灾害参数与环境状态，为动态决策提供数据基础。人工智能算法具备深度分析能力，能从海量数据中提取灾害蔓延规律、人员移动特征，构建风险评估模型，支撑疏散路径的动态优化。数字孪生技术构建虚实映射场景，将物理建筑与虚拟模型实时同步，可模拟不同疏散策略的实施效果，为预案优化提供可视化工具。这些技术的融合应用，推动应急疏散系统向自适应、精准化方向发展。

1.3 智能疏散系统的核心目标

智能应急疏散系统需实现三个核心目标。一是风险感知的全面性，通过多维度数据采集，精准识别灾害位置、扩散速度、影响范围及人员分布状态，消除信息盲区。二是决策响应的动态性，根据灾害发展实时调整疏散策略，针对不同人群、不同区域生成差异化引导方案，避开高风险区域与拥堵路段。三是执行过程的协同性，联动应急照明、指示标识、广播系统等设备，形成统一的引导信号，确保人员接收一致的疏散指令，提升疏散效率。

2. 智能应急疏散系统的多层级技术架构

2.1 感知层：全域信息采集网络

感知层是系统获取环境与人员信息的基础，通过多元感知设备构建全覆盖监测网络。环境感知设备包括分布在天花板、墙体的温度传感器、烟雾探测器、气体传感器，实时捕捉灾害区域的温度变化、烟雾浓度、有害气体成分，为判断灾害类型与扩散趋势提供数据；视频监控设备采用高清摄像头与红外成像技术，在低能见度环境下识别火焰轮廓、建筑结构变化及人员移动轨迹；人员定位设备通过蓝牙信标、UWB

定位标签等技术,实时追踪人员位置、移动速度及聚集状态,标记特殊人群位置信息。感知设备需具备抗干扰能力,在高温、潮湿、电磁干扰环境下保持稳定运行,确保数据采集的连续性。

2.2 数据层: 信息处理与融合中心

数据层承担信息整合与处理功能,实现多源数据的标准化和深度融合。通过边缘计算节点对感知数据进行预处理,剔除噪声数据、修正异常值,确保原始数据的准确性;采用分布式存储技术构建数据库,分类存储环境参数、人员信息、建筑结构数据及历史疏散案例,为后续分析提供数据支撑;运用数据融合算法关联不同类型信息,例如将温度变化数据与视频图像中的火焰位置关联,提升灾害定位精度;将人员移动轨迹与建筑平面图匹配,生成动态人员热力图。数据层需建立冗余备份机制,在部分设备故障时仍能保障核心数据的完整性。

2.3 决策层: 动态疏散策略生成引擎

决策层是系统的核心,通过智能算法生成最优疏散方案。基于建筑三维模型与实时灾害数据构建风险评估矩阵,将各区域按危险程度划分为禁入区、缓行区、安全区,动态更新风险等级;运用路径规划算法计算最优疏散路线,综合考虑距离、风险、通行能力等因素,避开灾害影响区域与拥堵路段,为不同位置的人员规划差异化路径;结合人员特征数据调整疏散优先级,为老弱病残等行动迟缓人群规划更短路径,同步推送协助信息至救援人员;通过数字孪生场景模拟疏散过程,预判可能出现的拥堵点,提前调整引导策略。决策响应时间需控制在秒级,确保策略与灾害发展同步。

2.4 执行层: 多终端协同引导设备

执行层将决策指令转化为具体引导信号,通过多元设备实现协同指引。动态指示系统包括可变色应急指示灯、地面投影引导线,根据决策指令实时调整箭头方向与颜色,红色标识危险路径,绿色指引安全方向;智能广播系统基于人员位置信息推送分区语音指令,针对特定区域播报“前方烟雾拥堵,请转向东侧楼梯”等精准信息;应急照明系统采用自适应调光技术,在疏散路径关键节点增强亮度,在烟雾区域启用穿透性强的特殊光源,确保视觉指引清晰;移动终端应用通过蓝牙推送疏散地图与实时提示,辅助人员自主判断行进方向。执行设备需具备应急供电功能,在断电情况下维持至少90分钟的有效运行。

3. 智能应急疏散系统的多维度协同机制

3.1 系统内部模块的协同运作

系统内部各层级需建立实时联动机制,确保信息流转与指令执行的顺畅性。感知层与数据层通过标准化接口实现数据实时传输,当环境参数超过阈值时,自动触发数据处理优先级提升,加快异常信息的分析速度;数据层向决策层动态推送融合后的场景数据,决策层根据信息更新频率调整计算资源分配,确保高动态场景下的决策精度;决策层向执行层发送加密指令,执行层反馈设备运行状态,形成“指令-执行-反馈”的闭环控制。通过内部协同,系统可根据灾害规模自动调整运行模式,小规模险情下启动局部响应,大规模灾害时切换至全域协同状态。

3.2 与建筑消防系统的跨系统联动

智能应急疏散系统需与建筑其他消防系统深度融合,形成整体防控能力。与火灾自动报警系统实时共享报警信息,在确认火情后立即启动疏散准备,提前点亮应急照明;与排烟系统联动调整疏散路径,根据排烟效果优化路线规划,优先引导人员通过排烟顺畅的通道撤离;与防火门控制系统协同动作,在疏散开始后自动解锁疏散路径上的防火门,同时关闭危险区域与安全区域间的防火分隔,延缓灾害蔓延;与消防水泵、喷淋系统联动,根据灭火进展调整疏散节奏,待火势得到控制后引导人员有序撤离。跨系统联动需基于统一的通信协议,确保指令传输的实时性与准确性。

3.3 与外部救援力量的协同响应

系统需建立与外部应急救援体系的协同机制,提升疏散与救援的衔接效率。向消防救援指挥中心实时推送灾害场景数据、人员分布热力图及疏散进展,辅助救援力量制定攻坚方案;标记被困人员位置与数量,引导救援人员优先救助高风险区域人员;根据救援车辆到达时间与行进路线,调整疏散终点,避免疏散人群与救援车辆形成路径冲突;在救援人员进入建筑后,同步更新其位置信息,通过执行层设备指引救援路线,缩短搜救时间。协同过程中需保障数据传输安全,仅向授权救援力量开放必要信息,防止敏感数据泄露。

3.4 人员疏散行为的协同引导

通过多维度信号协同引导人员行为,提升疏散效率。利用视觉、听觉、触觉等多感官信号强化指引效果,例如指示灯闪烁频率与广播语音节奏同步,在地面投影动态箭头的同时震动引导盲道;针对群体疏散中的从众行为,通过重点位

置的强信号引导建立疏散方向共识,避免人群因犹豫而停滞;识别疏散中的异常行为,如逆行、滞留等,通过定向语音提示或附近指示灯闪烁进行干预,纠正错误行为;对特殊人群提供个性化引导,为听力障碍者推送闪光信号,为视力障碍者联动语音导航与盲道引导。协同引导需符合人体工学原理,避免过多信号导致认知混乱。

4. 智能应急疏散系统的实践挑战与发展路径

4.1 技术应用中的现实挑战

智能应急疏散系统在实践中面临多重挑战。复杂环境下的感知精度不足,火灾产生的浓烟、高温会干扰传感器与摄像头的正常工作,导致环境参数误报或人员识别失效;系统可靠性依赖持续供电与网络传输,灾害发生时可能出现断电、网络中断等情况,影响数据采集与指令执行;不同建筑的结构差异较大,通用型算法难以适配所有场景,导致部分特殊建筑(如超高层建筑、地下空间)的疏散策略针对性不足;人员行为的不确定性增加决策难度,恐慌情绪可能引发非理性行动,使预设的疏散路径规划失效。

4.2 技术优化与标准完善路径

提升系统实用性需从技术迭代与标准建设两方面发力。在技术层面,开发抗干扰感知设备,采用红外与可见光融合成像技术提升烟雾环境下的识别精度,通过多光谱分析过滤火焰强光与粉尘干扰,强化对人员轮廓与移动轨迹的捕捉能力;引入边缘计算与本地决策能力,在网络中断时启动独立运行模块,依托嵌入式芯片完成基础路径规划与设备控制,确保核心引导功能不中断;基于迁移学习优化算法模型,通过少量样本训练实现对特殊建筑场景的快速适配,例如针对地下商场的复杂通道结构,仅需补充局部数据即可调整路径权重参数;结合行为心理学研究成果,在决策模型中纳入人员恐慌系数,通过识别奔跑、推挤等行为特征量化恐慌程度,动态调整引导信号强度与指令频率,增强策略的适应性。在标准层面,制定智能疏散系统的技术规范,明确感知设备的布设密度,要求在疏散通道每10米设置1个多功能传感器,确保无监测盲区;规范数据传输的安全协议,采用加密传输与权限分级机制,防止敏感建筑信息与人员数据泄露;设定决策响应的时间阈值,要求从数据采集到指令发布的全流程延迟不超过2秒;建立系统性能评估体系,通过模拟测试验证不同灾害场景下的疏散效率,涵盖烟雾浓度渐变、局部结构坍塌等复杂情景,确保系统在极端条件下仍能保持稳定运

行。同时,标准体系需细化设备抗灾性能指标,明确传感器在高温、潮湿环境下的运行参数阈值,规定应急灯具的应急供电时长与亮度衰减速率。建立跨行业的测试认证机制,联合消防、建筑、信息技术领域专家制定统一的评估量表,从感知精度、决策合理性、执行可靠性等维度进行综合打分。通过定期更新标准内容,同步适配新技术应用场景,确保标准的前瞻性与实用性,为系统落地提供明确指引。

4.3 未来发展趋势

未来智能应急疏散系统将向三个方向深化发展。一是全域智能融合,通过城市级应急疏散网络实现多建筑协同疏散,当某一建筑发生重大灾害时,自动引导周边建筑人员避让并开放避难空间;二是数字孪生全流程推演,将实时感知数据与虚拟仿真结合,预演不同疏散策略的效果,通过强化学习持续优化决策模型;三是柔性执行技术应用,采用可变形指示标识、无人机动态引导等新型设备,适应复杂多变的疏散场景。同时,系统将更注重人文关怀,通过情感计算识别人员情绪状态,推送安抚信息与心理疏导内容,缓解恐慌情绪对疏散的干扰。

结语

智能应急疏散系统通过多层级技术架构与多维度协同机制,突破了传统疏散系统的固有局限,实现了对灾害场景的动态响应与精准引导,为建筑安全疏散提供了智能化解决方案。尽管在复杂环境适应性、系统可靠性等方面仍面临挑战,但随着技术的持续迭代与标准体系的不断完善,其在提升建筑安全韧性中的作用将愈发显著。未来,需进一步推动技术创新与实践应用的深度融合,构建兼具高效性、可靠性与人文关怀的智能应急疏散体系,为保障人员生命安全提供坚实支撑。

[参考文献]

- [1] 赵永珩, 佟德军. 智能消防应急照明疏散指示系统的应用[J]. 2021 (2014-3): 228-229.
- [2] 张乃月. 智能消防应急照明和疏散指示系统介绍及防爆结构设计要求[J]. 电气开关, 2022 (003): 060.
- [3] 张磊. 智能消防应急照明及疏散指示系统的特点与应用研究[J]. 中文科技期刊数据库(文摘版)工程技术, 2021 (1): 2.
- [4] 廖卫超. 智能消防应急照明和疏散指示系统的应用[J]. 光源与照明, 2021 (1): 2.