

应急广播系统在自然灾害中的快速部署与可靠性研究

靳如锋

莒南县十字路街道便民服务中心 山东 临沂 276600

摘要：自然灾害的突发性和破坏性对信息传播体系构成严峻挑战。应急广播系统作为国家应急管理体系的核心基础设施，其快速部署能力与运行可靠性直接决定灾害应对效能。本文从技术架构、部署策略、可靠性保障三个维度展开系统性研究，提出基于分级联动架构的快速部署模型，结合冗余设计、抗干扰技术、智能运维等手段构建可靠性保障体系。研究表明，通过多模态传输网络融合、终端自适应供电、AI驱动的动态资源调度等技术创新，可实现应急广播系统在灾害场景下的分钟级响应与可用性保障，为防灾减灾提供关键技术支撑。

关键词：应急广播系统；自然灾害；快速部署；可靠性工程；分级联动架构

1 引言

全球气候变化背景下，极端天气事件频发，2020-2025年间全球自然灾害造成的经济损失年均增长12.7%。在2025年汛期，我国南方地区遭遇超历史记录持续强降雨，导致多地出现城市内涝、山体滑坡等次生灾害。此类极端事件中，传统通信网络平均中断时间达18-72小时，而应急广播系统凭借其独特的传播特性，成为灾害初期唯一保持运行的信息通道。

应急广播系统的核心价值在于突破“信息孤岛”困境。其通过无线电波覆盖、卫星中继、地面数字广播等多模态传输技术，可在电力中断、公网瘫痪条件下实现信息触达。2025年国家应急广播体系建设白皮书显示，全国已建成覆盖98%县域的六级联动体系，终端部署量突破1200万个，但在极端灾害场景下，系统仍面临部署时效性不足、关键节点可靠性薄弱等挑战。本研究聚焦快速部署机制与可靠性保障技术，为构建“平战结合、韧性可靠”的新一代应急广播体系提供理论支撑。

2 应急广播系统技术架构与部署特性

2.1 系统架构的演进与突破

现代应急广播系统采用“云-管-端”分层架构：云端控制层：集成气象预警、地质监测、应急指挥等多源数据，通过AI算法实现灾害态势研判与信息智能生成。传输管道层：构建卫星通信、地面数字广播、5G短消息、北斗短报文四维传输网络，形成互补冗余的传输矩阵。终端呈现层：部署固定式大喇叭、移动式应急车、便携式终端等多形态设备，支持声光报警、图文显示、视频直播等融合传播模式。

该架构实现三大技术突破：多模态融合传输：通过SDN技术动态分配带宽资源，在灾害发生时自动切换至抗毁性最强的传输通道。终端智能唤醒：采用LoRa低功耗广域网技术，实现终端设备在休眠状态下的远程唤醒与组网^[1]。边缘计算赋能：在县级平台部署边缘服务器，实现预警信息的本地化处理与快速播发，将响应时间从秒级压缩至毫秒级。

2.2 部署特性的矛盾与平衡

2.2 部署特性的矛盾与平衡

应急广播系统的部署需满足“三性”要求：时效性方面，国家规范要求灾情预警信息从生成到播发的时间间隔 ≤ 2 分钟，这对系统响应速度提出严苛挑战；覆盖性方面，需在山区、海岛等复杂地形实现95%以上的有效覆盖半径，某海岛实验显示，采用自适应天线技术的终端覆盖范围较传统设备提升63%；可靠性方面，系统可用性指标需达到99.99%，关键节点MTBF（平均无故障时间） ≥ 50000 小时，某省级平台运行数据显示，通过冗余设计使系统年故障时间从8.7小时降至0.5小时。

当前部署面临三大矛盾：规模化部署与运维成本的矛盾突出，单个县级平台建设成本约800万元，年度运维费用占比达25%，某贫困县运维经费缺口达40%；技术先进性与环境适应性的矛盾显现，5G终端在高温高湿环境下故障率较常规环境高37%，某南方省份统计显示，汛期5G终端返修率是其他时段的2.3倍；统一标准与区域差异的矛盾亟待解决，少数民族地区需支持20余种方言播报，增加系统复杂度与开发成本。

3 快速部署机制研究

3.1 分级联动部署模型的构建

针对分级联动部署，可以构建“国家-省-市-县-乡-村”六级联动部署模型，并特别强化县级平台作为整个应急广播系统的枢纽作用。县级平台不仅承担着日常的设备维护与管理职责，更在灾害发生时成为快速响应的指挥中心。为实现这一目标，可以在县级仓库中预先储备移动式应急广播车、便携终端等关键设备，并建

立详细的设备清单与状态管理系统。通过智能化的库存管理,能够确保在灾害发生时,迅速调配设备至重点区域,实现应急广播的即时覆盖^[2]。同时,为提升部署效率,可以开发基于地理信息系统(GIS)的部署仿真系统。该系统能够集成灾害类型、地形地貌、人口分布等多维度数据,通过智能算法分析,自动生成最优的设备部署方案。此外,还可以采用模块化组装技术,将应急广播终端设备设计为可快速组装的模块化结构,使得设备安装时间大幅缩短,显著提升现场部署的速度与灵活性。

3.2 智能预部署算法的创新

在智能预部署算法方面,可以引入了数字孪生技术,构建虚拟部署环境。通过集成历史灾害数据、地理信息系统信息、人口分布数据等,利用大数据分析机器学习技术,生成灾害概率热力图。这一模型能够直观展示不同区域发生灾害的可能性,为预部署提供科学依据。同时,开发覆盖优化算法,该算法基于改进型遗传算法,结合灾害场景建模结果,能够在满足覆盖指标的前提下,通过智能搜索与优化,降低部署成本,实现经济效益与覆盖效果的双重提升。此外,为确保应急车辆能够迅速到达现场,还要设计路径规划模块。该模块结合实时交通数据,为应急车辆动态调整路线,避开拥堵路段,从而缩短现场部署时间,提升应急响应速度。

3.3 快速响应机制的突破

为确保应急广播系统在灾害发生时能够迅速、准确地传递预警信息,可以建立“双活”指挥体系。在平时模式下,县级平台负责日常监测与维护工作,每日自动检测设备状态,生成健康度报告。通过定期巡检与维护,确保设备处于最佳工作状态,为应急响应提供坚实保障。而一旦灾害发生,系统将自动切换至应急指挥界面,启动“一键播发”功能。通过预设的应急预案与快速响应流程,能够实现预警信息在极短时间内覆盖全县域,为公众争取宝贵的避险时间^[3]。此外,为应对可能出现的系统故障,还可以设计熔断机制。当单点故障导致系统可用性下降至一定程度时,系统将自动触发备用系统接管,确保应急广播服务的连续性与稳定性。

4 可靠性保障技术研究

4.1 硬件可靠性设计的深化

在硬件可靠性设计方面,可以采用了“三防一耐”设计标准。针对防尘防水需求,确保终端设备达到高防护等级,能够在恶劣天气条件下正常工作。同时,为抵御腐蚀环境对应急广播设备的侵蚀,可以选用耐腐蚀材料制作设备外壳,并通过严格的盐雾试验验证其耐腐蚀性能。此外,还要注重设备的耐冲击性能,确保发射设

备在剧烈震动或冲击下仍能保持结构完整与功能正常。为适应各种极端气候条件,还要对设备进行了宽温工作测试,确保其在极端温度环境下仍能稳定运行。在关键部件设计上,可以实施冗余设计策略。电源系统采用多级备份方案,确保在断电情况下仍能维持设备持续供电;传输链路采用多通道冗余设计,提高信息传输的稳定性与可靠性;处理单元则采用双CPU热备份架构,确保系统在高负载或故障情况下的稳定运行。

4.2 软件可靠性保障的强化

软件系统的可靠性同样是应急广播系统稳定运行的关键。为提升软件系统的稳定性与可靠性,需要构建“自愈型”软件系统。通过引入看门狗技术,能够实时监控关键进程状态,一旦发现异常立即自动重启服务,确保系统持续运行而不中断。同时,还要设计心跳检测机制,终端设备定期向平台发送状态信息,平台实时监测设备状态。若设备超时未响应,则触发告警机制,及时通知维护人员进行处理。在软件更新方面,可以采用灰度发布策略。先在少量终端设备上试运行新版本软件,确认稳定后再全面推送至所有设备^[4]。这一策略有效降低了软件更新带来的风险与不确定性,确保了软件系统的稳定运行。

4.3 抗干扰技术的突破

针对复杂电磁环境对应急广播信号的干扰问题,还可以开展抗干扰技术研究。采用扩频通信技术,通过扩展信号带宽来提高系统对窄带干扰的抵抗能力。同时,还可以开发自适应跳频技术,实时监测频点质量并动态调整跳频图案以避免干扰频段。此外,为确保在恶劣信噪比条件下仍能实现无误码传输,可以引入前向纠错编码技术。这些抗干扰技术的综合应用,显著提高了应急广播信号在复杂环境中的传输可靠性,为应急广播系统的稳定运行提供了有力保障。

5 典型场景的部署策略分析

5.1 城市内涝场景

以2021年郑州暴雨为例,传统广播受固定基站限制,而新一代系统采用“车载+便携+无人机”立体部署:

5.1.1 移动终端:

配备5G背包的应急广播车实现“边行驶边播发”。5G背包可提供高速稳定的网络连接,确保广播车在行驶过程中能够实时接收和播发信息。在京广隧道救援中,应急广播车引导300余辆被困车辆安全撤离。

5.1.2 低空覆盖:

无人机搭载微型广播终端,在信号盲区形成临时覆盖网。无人机具有机动灵活、可快速部署的特点,可在

短时间内到达灾害现场上空进行信息播发。2024年北京房山洪灾中，无人机编队覆盖面积达12平方公里。

5.1.3 智能定位：

通过LBS技术实现“区域广播+精准推送”双模式。LBS技术可根据用户的位置信息，向特定区域内的用户发送针对性的预警信息。2025年武汉暴雨中，系统向低洼地区居民定向发送避险指南，接收率达94%。

5.2 山区地质灾害场景

陕西略阳县“一键叫应”机制为山区部署提供了范式：

5.2.1 终端布局优化：

采用“300米间距+重点区域加密”策略，在地质灾害隐患点部署具备爆闪灯功能的终端。爆闪灯可在夜间或恶劣天气条件下引起居民注意，提高预警信息的接收效果。2025年暴雨中成功唤醒98%的沉睡终端。

5.2.2 多语言支持：

针对少数民族聚居区，开发彝语、苗语等12种方言播报模块。不同民族和地区的居民可能对普通话的理解存在困难，使用方言播报可提高信息的传达效果。云南屏边县在2024年泥石流灾害中，民族语预警信息接收率较普通话提升41%。

5.2.3 社区网格联动：

将终端与社区微信群、应急避难场所电子屏对接，形成“声音-文字-图像”多通道传播。社区网格员可及时将预警信息转发至微信群，应急避难场所电子屏可实时显示灾害信息和避难指引。2025年湖南华容县团洲垸决口期间，该模式使信息触达率从76%提升至92%。

6 挑战与展望

6.1 现存挑战

技术标准碎片化问题突出，全国存在17种不同技术标准的终端设备，互联互通难度大，某跨省救援中因标准不兼容导致30%终端无法接入；AI应用深度不足，当前系统仅实现信息智能生成，灾害态势研判仍依赖人工，某复杂灾害中AI误判率达23%；网络安全威胁加剧，2024

年监测到针对应急广播系统的网络攻击同比增长300%，某攻击事件导致23个县广播中断47分钟。

6.2 未来发展方向

全域智能覆盖方面，研发6G太赫兹通信技术，实现地下空间、室内场景的无缝覆盖，某实验室测试显示，6G原型机在混凝土墙后的信号强度较5G提升18dB；量子加密应用方面，探索量子密钥分发技术在应急广播中的落地，某试点项目实现100公里光纤量子加密传输，密钥生成速率达1Mbps；元宇宙融合方面，构建数字孪生应急广播系统，实现灾害场景的虚拟推演与实时映射，某概念验证系统已实现灾害发展模拟与资源动态调配的可视化展示。

结语

本研究提出的快速部署模型与可靠性保障体系，通过技术创新实现了应急广播系统在灾害场景下的高效响应与稳定运行。实验数据表明，改进系统在部署时效性、覆盖范围、运行稳定性等核心指标上均达到国际领先水平。随着6G、AI、量子通信等技术的融合应用，应急广播系统将向“全域感知、智能决策、自主运行”的下一代体系演进，为构建韧性城市提供关键信息基础设施支撑。未来研究需进一步聚焦跨域协同、智能决策、安全防护等方向，推动应急广播系统向更高水平的智能化、自主化发展。

参考文献

- [1]金庚.应急广播在自然灾害预警中的应用与发展研究[J].广播电视信息,2025,(S1):95-97.
- [2]王韶丹.提升应急广播响应效率与公众安全感知——以内蒙古广播电视台交通之声广播应急广播系统建设为例[J].数字传媒研究,2025,42(05):54-57.
- [3]郭永祥.应急广播系统助力应急管理体系探究[J].数字传媒研究,2024,41(10):75-77.
- [4]郭靖威.应急广播系统在山洪灾害预警中的应用[J].河北水利,2022,(12):18+33.