

# 面向复杂场景的应急广播多终端协同覆盖关键技术

袁 亮

湖北省广播电视局宜昌中波转播台 湖北 武汉 430100

**摘要:** 面向复杂场景的应急广播多终端协同覆盖关键技术,旨在解决山区、隧道等地理环境复杂及人口密度、灾害类型多样带来的通信难题。通过构建多频段、多网络冗余传输体系,结合分布式架构、多通信协议融合、智能调度算法等技术,实现覆盖无盲区、实时精准调度、终端自适应及抗灾韧性。同时,面临标准不统一、成本制约等挑战,未来需融合6G与AI、运用北斗技术及建立跨区域协作机制。

**关键词:** 复杂场景; 应急广播; 多终端协同覆盖; 关键技术

引言: 在自然灾害、公共卫生事件等复杂场景频发的当下,应急广播作为信息传递与救援指挥的关键手段,其覆盖广度与响应速度直接关系到救援成效。然而,山区信号遮挡、城市高并发需求、农村基础设施薄弱等现实挑战,使得传统单一通信模式难以满足需求。因此,探索面向复杂场景的应急广播多终端协同覆盖技术,通过整合5G、卫星、北斗等前沿技术,构建高效、可靠、自适应的应急通信体系,已成为保障公共安全的重要课题。为此,国家广播电视总局于2025年印发《国家应急广播体系总体方案》,明确提出构建“横向打通、纵向贯通、精准高效、安全可靠”的应急广播体系。本文围绕该总体方案,结合应急广播服务防汛救灾专项行动的实践经验,系统研究面向复杂场景的多终端协同覆盖关键技术,以提升应急广播在极端条件下的信息触达能力与播发效能。

## 1 复杂场景特征与需求分析

### 1.1 复杂场景分类

(1) 地理环境: 以山区、隧道、地下空间为典型代表,此类场景因地形遮挡或密闭结构导致信号严重衰减。山区地形起伏大,植被覆盖茂密,无线电波传播易受阻挡且多径效应明显;隧道内壁多为混凝土材质,对信号存在强吸收和反射作用,易形成信号盲区;地下空间如地铁、地下商城等,封闭性强,信号穿透难度大,且人员流动密集,进一步加剧信号传输压力。(2) 人口密度: 城市中心区人口高度集聚,各类活动频繁,对通信服务存在高并发需求,尤其在大型赛事、节庆活动等场景下,短时间内海量用户的通话、数据传输需求极易引发网络拥堵;农村及偏远地区人口分布分散,居住点间距大,对通信网络的长距离覆盖需求突出,同时该区域基础设施相对薄弱,网络建设和维护难度较大。(3) 灾害类型: 地震灾害易造成通信基站、光缆等基础设施损毁,导致

区域通信中断,急需应急通信保障;洪水灾害中,人员和物资需快速转移,移动载体的避险调度对实时通信依赖度高,且洪涝环境易损坏通信设备;公共卫生事件期间,需向社区精准推送防控通知、核酸检测信息等,对信息传递的精准性和时效性要求极高。

### 1.2 核心需求

(1) 覆盖无盲区: 需构建多频段、多网络冗余传输体系,整合5G、卫星、北斗等多种通信技术优势,通过频段互补和网络备份,消除山区、隧道等复杂场景的信号盲区,确保极端条件下通信链路稳定通畅。(2) 实时精准调度: 基于GIS地理信息系统构建动态优先级调度算法,结合场景紧急程度和影响范围划分信息推送优先级,例如火灾场景中,优先向火场周边500米范围精准广播疏散指令,保障救援和避险工作高效开展。(3) 终端自适应: 兼容传统大喇叭、智能电视、手机APP等多形态终端设备,支持语音、文字、视频等多模态信息输出,适配不同群体的信息接收习惯,尤其保障老年人、儿童等特殊群体能及时获取关键信息。(4) 抗灾韧性: 设备需具备高防护性能,采用太阳能供电等应急供电方案,搭配防水、防尘、抗冲击设计,确保在地震、洪水等极端环境下能够连续72小时稳定工作,为应急处置提供持续通信支撑<sup>[1]</sup>。

## 2 面向复杂场景的应急广播多终端协同覆盖关键技术体系

### 2.1 分布式架构与协同调度

(1) 分层调度机制: 采用“全局统筹+区域自主”的分层调度架构,构建中心平台与区域节点的协同调度体系。全局调度层面,由省级或市级应急广播指挥中心依托大数据分析能力,结合全域灾害风险态势、资源分布情况制定整体广播策略,明确各区域广播任务优先级与资源分配方案;区域调度层面,区级或乡镇级平台承接

全局策略, 聚焦农村乡镇细化播发颗粒度, 以气象红黄色等预警信息播发为抓手, 结合辖区内实时场景变化进行精细化微调, 实现“统分结合”的高效调度。例如北京应急广播指挥中心统筹全市资源与响应策略, 各区级平台针对辖区农村乡镇、社区等场景, 动态调整广播覆盖与推送频次, 提升调度精准度<sup>[2]</sup>。(2) 边缘计算应用: 在终端节点部署边缘计算模块, 赋予终端本地数据处理、任务决策与临时调度能力, 大幅减少与中心服务器的交互频次, 降低核心网络传输压力与延迟。通过边缘节点对本地终端状态、信道质量等数据的实时分析, 可快速响应局部应急需求, 避免因中心服务器过载导致的响应滞后。如湖南农村应急广播系统采用Netty高性能通信框架搭配定制化业务线程池, 构建边缘计算节点, 单节点可支持2000+终端并发接入与本地调度, 在突发气象灾害时, 实现预警信息的毫秒级本地推送, 较传统集中式架构响应效率提升60%以上。(3) 北斗+应急广播技术应用: 将北斗技术与应急广播深度融合, 覆盖指令生成、传输与执行全流程, 依托北斗精准定位与抗干扰特性, 保障调度指令高效直达。建立与气象、水利、地震等横向单位协同办公机制, 实现预警信息实时共享、联动处置; 同时, 精准追溯指令下发时间、执行终端等关键信息, 为应急复盘、责任认定提供可靠依据, 显著提升应急调度的公信力、规范性与联动效率。

## 2.2 多通信协议融合与优化

(1) 协议适配层设计: 构建统一的协议适配层, 对5G、Wi-Fi、调频广播、DRM数字广播等多种通信协议进行标准化封装, 形成统一的接口规范与数据传输格式。适配层具备协议动态识别与切换能力, 可根据场景信道质量、终端类型自动选择最优通信协议, 实现多协议无缝协同。例如, DRM数字广播系统通过EWF应急预警协议与适配层对接, 将应急预警信息与音频数据进行一体化封装传输, 在城市密集区利用5G协议实现高速推送, 在偏远山区自动切换至DRM调频协议保障覆盖, 实现不同场景下的高效信息传输。(2) 低功耗广域网(LPWAN)部署: 针对农村及偏远地区长距离、低功耗的覆盖需求, 大规模部署LoRa等低功耗广域网终端。LoRa终端采用扩频通信技术, 单节点覆盖半径可达10公里, 且功耗仅为传统蜂窝通信终端的1/5, 支持电池长期供电, 大幅降低农村地区应急广播网络的建设与运维成本。通过LoRa网关与中心平台对接, 构建“网关+终端”的星型网络, 实现对农村分散居住点、田间地头的全面覆盖, 解决传统广播在偏远地区覆盖薄弱的问题<sup>[3]</sup>。(3) 卫星-5G融合组网: 以卫星技术为核心, 整合北斗卫星短报文与5G NR广

播技术, 构建天地一体化融合组网模式, 突破公网依赖限制。在无公网覆盖的极端场景, 如地震损毁通信基站、偏远山区, 通过北斗卫星短报文实现应急指令远距离传输, 再由本地5G NR广播节点扩散至周边终端; 公网可用时, 依托5G高速率、低延迟特性实现海量终端精准覆盖, 形成“卫星保底、5G增效”的无死角传播体系, 确保应急信息穿透式覆盖。

## 2.3 智能调度算法与资源分配

(1) 基于强化学习的优先级调度: 构建基于强化学习的智能调度算法模型, 将灾害类型(如地震、洪水、火灾)、人口密度、终端在线状态、区域风险等级等多维度数据作为输入特征, 通过持续迭代训练优化调度策略。算法可动态调整信息广播的顺序与频次, 例如在洪水预警场景中, 自动将低洼地区、河道周边等高危区域终端设为最高优先级, 优先推送撤离指令; 在公共卫生事件中, 按社区人口密度、防控等级分级推送信息, 确保关键信息优先触达高需求群体。(2) 多通道负载均衡: 引入软件定义网络(SDN)技术, 构建柔性化网络资源调度体系, 实现多通信通道的流量智能分配。SDN控制器实时监测各通道(如5G、LoRa、卫星)的带宽占用率、传输延迟、丢包率等指标, 当某一通道出现拥堵迹象时, 自动将部分广播任务分流至负载较轻的通道, 避免单一通道过载导致的信息传输中断。在广西应急广播试点项目中, 该技术的应用使应急广播信息传输成功率从89.5%提升至99.2%, 显著提升了传输稳定性。(3) 终端唤醒策略: 采用多模式终端唤醒机制, 针对不同类型终端设计差异化唤醒方案, 在保障应急响应速度的同时降低能耗。对于农村地区的传统大喇叭终端, 通过DTMF双音多频信号实现远程唤醒, 平时处于休眠状态节省电能, 接到唤醒指令后1秒内启动并播放信息; 对于智能终端(如手机APP、智能电视), 采用低功耗蓝牙唤醒+网络唤醒双重模式, 确保终端在待机状态下也能快速响应应急广播任务, 实现“按需唤醒、即时响应”<sup>[4]</sup>。

## 2.4 抗灾能力增强技术

(1) 冗余设计与故障自愈: 对核心设备(如广播发射机、电源模块、通信网关)采用N+1冗余备份方案, 确保单设备故障时, 备份设备可在3秒内自动切换投入运行, 不间断保障广播服务。同时, 集成AI故障预测模型, 通过传感器实时采集设备运行参数(如温度、电压、运行时长), 结合历史故障数据训练模型, 提前识别设备老化、性能衰减等潜在故障, 发出预警并辅助运维人员提前更换部件, 将被动抢修转化为主动预防, 提升系统抗灾稳定性。(2) 自适应编码调制: 采用自适应编码调制技术,

终端实时监测信道传输质量,动态调整编码方式与调制速率。在信号衰减严重的复杂场景(如山区、隧道),自动切换至QPSK等低速率、高抗干扰的调制模式,保障信息完整接收;在信道条件良好的区域(如城市核心区),切换至16QAM或64QAM高速调制模式,提升信息传输效率。通过动态适配信道变化,实现不同场景下传输效率与可靠性的平衡<sup>[5]</sup>。(3)应急电源系统:集成“太阳能+蓄电池+超级电容”三位一体的应急电源系统,适配极端环境工作需求。太阳能电池板可在光照条件下为系统供电并为蓄电池充电,蓄电池保障无光照时的基础供电,超级电容则用于应对突发大功率供电需求(如终端启动、信号发射);电源系统具备宽温工作特性,可在-20°C至60°C的极端温度环境下稳定运行,同时具备防水、防尘、抗冲击防护能力,完全满足高原、沙漠、洪涝等复杂场景的供电需求,确保系统72小时持续工作。

### 3 面向复杂场景应急广播多终端协同的挑战与未来展望

#### 3.1 当前挑战

(1)标准不统一:应急广播领域缺乏统一行业标准,不同厂商终端的通信协议、数据传输格式差异较大,导致多终端协同覆盖存在兼容性问题,需额外部署适配设备,增加系统复杂度与运维成本,影响应急信息传输效率与稳定性。(2)成本制约:卫星通信、5G专用网络等先进技术部署及运维成本高昂,农村及偏远地区财政支撑不足,导致高可靠性应急广播网络难以大规模推广,部分地区依赖传统广播,无法满足复杂灾害场景需求。(3)隐私与安全:应急信息精准推送需采集用户位置等隐私数据,存在泄露风险;同时应急广播系统易遭遇恶意攻击、信息篡改,需强化数据加密与系统防护,平衡信息精准性与隐私安全性。

#### 3.2 未来方向

(1)6G与AI融合:随着6G技术发展,未来将利用太赫兹通信的超高速、大容量特性,实现应急高清视频、海量传感数据的瞬时传输。结合AI技术深度分析用户画像与

场景需求,生成个性化预警内容,例如为老年人推送语音预警,为救援人员推送图文结合的精准调度信息,提升信息传递的针对性与有效性。(2)北斗+应急广播演练:依托北斗精准定位与应急广播技术,结合山区、城市、隧道等复杂地理环境及多终端部署实际,模拟地震、洪水等灾害发生过程,开展多终端协同调度演练。通过演练实时优化调度策略与资源分配方案,大幅降低实地演练成本,有效提升应急响应队伍的实战处置能力。(3)全国协作机制:推动建立国内跨区域应急广播标准互通体系,兼顾网络信息安全,实现国内不同地区应急广播网络的互联互通。针对地震、台风等跨区域灾害,构建全国应急信息共享与协同响应机制,打破地域限制,确保应急信息快速传递,提升全国范围内重大灾害的联合应对能力。

#### 结束语

面向复杂场景的应急广播多终端协同覆盖关键技术,是应对突发事件、保障公共安全的重要支撑。通过融合分布式架构、多通信协议、智能调度算法等创新技术,我们能够有效突破地理、环境与资源限制,实现应急信息的精准、高效、全覆盖传播。未来,随着技术的不断进步与应用场景的持续拓展,这一领域将持续创新,为构建更加安全、韧性的社会贡献力量。

#### 参考文献

- [1]张开.应急广播系统设计与实现[J].中国有线电视,2022(05):58-60.
- [2]陈东林.数字应急广播关键技术及应用研究[J].广播与电视技术,2023(12):36-38.
- [3]赵春雷.基于云计算的应急广播系统架构设计[J].电子技术与软件工程,2024(23):22-24.
- [4]温慧臻.信息化发展背景下广电应急平台体系建设[J].新闻文化建设,2023(20):137-139.
- [5]李光辉.5GNRMBS技术在应急广播关键任务中的应用研究[J].电视技术,2024,48(10):200-203.