

5G与调频广播融合下应急广播信号高效发射与覆盖优化研究

胡秀芳

内蒙古自治区广播电视传输发射中心额尔古纳712台 内蒙古 呼伦贝尔 022250

摘要: 5G与调频广播融合为应急广播带来新机遇。本文分析5G高带宽、低时延、广连接及700MHz频段优势,还有调频广播稳定覆盖特性,设计融合技术架构。研究应急广播信号高效发射技术,包括发射端优化、信号编码调制优化;覆盖优化技术涵盖范围扩展、抗干扰提升、精准覆盖等。同时探讨频谱资源协调、终端兼容性、网络协同管理等挑战及解决方案,为应急广播发展提供理论与实践参考。

关键词: 5G; 调频广播; 应急广播; 信号发射; 覆盖优化

引言: 应急广播在灾害预警、信息传递等方面作用关键。传统应急广播存在覆盖局限、功能单一等问题。5G作为新一代通信技术,具备高带宽、低时延等特性,700MHz频段优势显著;调频广播技术成熟、覆盖广、稳定性强。将二者融合,可整合优势,提升应急广播信号发射效率与覆盖范围,增强应急信息传播的及时性与可靠性,满足复杂应急场景需求,推动应急广播体系升级发展。

1 5G与调频广播融合技术基础

1.1 5G技术特性分析

5G作为新一代通信技术,具备高带宽、低时延、广连接三大核心能力。高带宽特性使数据传输速率大幅提升,最高可达10Gbps以上,能够支持高清视频、大规模文件等大流量业务快速传输,为应急场景下多媒体信息的高效传递提供基础保障^[1]。低时延特性将端到端传输延迟控制在毫秒级,通常在1-10毫秒范围内,在应急指挥、实时救援等场景中,确保指令下达与信息反馈的及时性,避免因延迟导致决策失误或救援延误。广连接能力则可实现每平方公里百万级设备接入,具体可达到每平方公里100万设备接入量,满足应急场景下大量终端同时接入网络的需求,如灾害现场众多监测设备、救援人员终端等。700MHz黄金频段因频率低、波长长,具有传播损耗小、覆盖范围广、穿透能力强等优势。在广域覆盖场景中,利用该频段建设5G基站,可大幅减少基站数量,降低建设成本,同时实现偏远山区、农村等区域的稳定信号覆盖,弥补传统网络覆盖盲区,为应急广播在广域范围内的信号传输提供有力支撑。5GNR-MBS组播广播服务技术通过共享无线资源,实现向多个用户同时发送相同内容。该技术适用于应急信息发布、公共安全预

警等场景,可高效地将重要信息推送至大量用户终端,避免单播方式下重复传输造成的资源浪费,提升应急信息传播效率。

1.2 调频广播技术特性分析

传统调频广播依托成熟的技术体系与广泛的覆盖网络,具备一定覆盖范围与信号穿透能力。该广播信号传播受地形地貌影响相对较小,在平原地区,信号覆盖半径可达50-80公里;在丘陵地区,覆盖半径也能达30-50公里,可实现稳定覆盖。而且,调频广播经过长期发展,技术成熟度高、维护成本低,为应急信息传播筑牢了坚实的基础保障,在应急通信中发挥着不可替代的作用。在应急场景中,调频广播展现出较强稳定性与可靠性。它采用模拟信号传输,对设备要求较低,当电力供应不稳定或网络基础设施受损时,仍可通过备用电源或简易设备维持运行,确保应急信息持续传播,成为应急通信体系中不可或缺的组成部分。

1.3 融合技术架构设计

协同传输架构通过整合蜂窝网络与广播电视塔资源,实现优势互补。这种架构不仅充分利用了蜂窝网络在数据传输和接入方面的灵活性,还借助广播电视塔强大的覆盖能力,让应急广播信号能更广泛、更稳定地传播,为应急通信提供更优质的服务。蜂窝网络提供高速数据传输与灵活接入能力,广播电视塔则发挥广域覆盖优势,二者协同工作,扩大应急广播信号覆盖范围,提升传输质量。信号调制与编码技术采用兼容5G与调频广播的混合调制方案,兼顾两种技术特点。该方案在保证5G高速数据传输需求同时,适配调频广播信号特性,实现两种信号在同一频段或相邻频段高效传输,提升频谱资源利用效率。多模终端适配聚焦支持5G与调频双模接

收的终端硬件设计。通过集成5G通信模块与调频广播接收模块,使终端具备两种信号接收能力,用户可根据实际需求灵活切换接收模式,确保在复杂环境下稳定获取应急信息。

2 应急广播信号高效发射技术

2.1 发射端优化策略

多源信号融合发射是提升应急广播灵活性的关键。通过技术手段将5G基站与调频发射塔的信号进行深度整合,打破传统单一发射模式限制^[2]。依据不同应急场景需求,可灵活切换单播、组播与广播模式。在针对特定区域或特定用户群体发布信息时采用单播模式,确保信息精准送达;面向多个相关区域或用户群发布同类信息时运用组播模式,提升信息传播效率;而面对大范围公共安全预警等场景,则启用广播模式,实现信息的快速广泛覆盖。智能功率控制依托环境感知技术实现动态调整。发射端搭载的环境感知模块可实时收集周边环境信息,如地形地貌、建筑物分布、信号干扰强度等。基于这些信息,运用动态功率调整算法,自动优化信号发射强度。在信号传播条件良好的区域适当降低发射功率,减少能耗;在信号易受遮挡或干扰的区域增强发射功率,保障信号稳定传输,实现发射强度与能耗的平衡。边缘计算赋能为发射端注入智能处理能力。在发射端部署边缘节点,将部分信号处理任务从中心节点转移至本地。边缘节点可对接收到的原始信号进行初步筛选、整理与分析,快速响应本地化需求,减少数据传输至中心节点的延迟,提升应急广播系统的整体响应速度。

2.2 信号编码与调制优化

高效信道编码是保障信号可靠传输的基础。采用LDPC或Polar码等先进编码技术,这些编码方式具备强大的纠错能力,可有效降低传输过程中的误码率。即使在信号受到一定干扰或衰落的情况下,接收端仍能准确还原原始信息,确保应急信息完整无误地传达。混合调制技术融合多种调制方案优势。结合5G常用的OFDM调制与调频广播的FM调制,充分发挥OFDM高数据传输速率与FM强抗干扰能力的特点。这种混合调制方式使应急广播信号在不同环境下都能保持稳定传输,提升信号在复杂电磁环境中的适应能力。智能压缩算法针对多媒体内容传输需求进行优化。对音频、视频等多媒体信息运用动态压缩技术,根据内容特征与传输带宽情况,自动调整压缩比例。对于音频信息,可将压缩比例调整至10:1-20:1;对于视频信息,可将压缩比例调整至50:1-100:1。在保证信息质量的前提下,尽可能减少数据量,降低传输带宽占用,提升应急广播系统的信息承载能力。

3 应急广播信号覆盖优化技术

3.1 覆盖范围扩展策略

广域覆盖优化聚焦于利用700MHz频段特性实现偏远地区超远距离信号覆盖。700MHz频段具有传播损耗小、绕射能力强的优势,信号能够穿透复杂地形地貌,有效覆盖偏远山区、农村等传统网络难以触及的区域^[3]。通过合理规划基站布局与发射功率,可大幅扩展应急广播信号的覆盖半径,使覆盖半径从原来的10-20公里扩展至30-50公里,确保偏远地区在应急情况下也能及时接收关键信息。室内外无缝覆盖致力于解决室内信号盲区问题。智能天线阵列通过调整天线波束方向与形状,增强室内信号强度,提升信号穿透能力,使室内信号强度提升20-30分贝。分布式天线技术则将天线分散部署于建筑物内不同位置,形成多个信号发射点,消除信号覆盖死角。二者协同工作,实现室内外信号的平滑过渡与无缝衔接,保障用户在室内外移动过程中信号接收的连续性。多网融合覆盖通过整合5G、调频广播、卫星通信等多种通信网络,构建立体化覆盖网络。5G网络提供高速数据传输与灵活接入能力,调频广播发挥广域覆盖优势,卫星通信则弥补地面网络覆盖不足,实现全球范围内的信号覆盖。三种网络相互补充、协同工作,提升应急广播信号的整体覆盖范围与可靠性。

3.2 抗干扰与稳定性提升

抗干扰信号设计采用扩频技术与跳频算法降低复杂环境下的信号干扰。扩频技术将信号频谱扩展至更宽频段,使信号频谱宽度从原来的1MHz扩展至10MHz,降低单位频段内的信号功率密度,使信号难以被干扰。跳频算法则使信号在多个频点间快速切换,如每秒切换100-1000个频点,避开干扰频段,提升信号抗干扰能力。冗余传输机制通过多路径备份与快速切换技术确保信号连续性。信号在传输过程中同时通过多条路径发送,如通过3-5条不同路径传输同一信号。当某条路径出现故障或受到干扰时,系统可快速切换至其他正常路径,切换时间可控制在10毫秒以内,保障信号不中断。自适应信号调整基于实时环境监测动态优化信号参数。系统实时收集信号传播环境信息,如信号强度、干扰强度、噪声水平等,依据这些信息自动调整信号频率、功率、调制方式等参数,使信号始终处于最佳传输状态,提升信号稳定性。

3.3 精准覆盖与定向传输

区域定向广播依托5GNRMB技术对特定区域进行精准信息推送。该技术可根据地理位置信息划定广播区域,仅向该区域内的用户终端发送信息,避免信息泛泛

传播,提升信息传播的针对性与有效性。用户分组管理通过多播组标识实现用户分群。系统依据用户属性、需求等因素将用户划分为不同组别,为每组用户分配唯一的多播组标识。信息发布时,仅向特定组别的用户发送相关信息,提升信息分发效率,减少不必要的资源占用。移动性支持优化信号切换算法保障高速移动场景下的信号稳定接收。当用户处于高速移动状态时,系统可快速准确判断用户位置变化,提前规划信号切换路径,确保用户在移动过程中信号切换平滑,避免出现信号中断或卡顿现象。

4 关键技术挑战与解决方案

4.1 频谱资源协调

在5G与调频广播融合过程中,频谱资源协调是首要难题。5G网络与调频广播各自拥有特定频段,为实现二者高效协同,需构建5G与调频广播频段协同分配机制。该机制需综合考虑不同频段特性、业务需求及覆盖范围等因素,科学规划频段使用。通过合理划分频段资源,确保5G高速数据传输与调频广播稳定信号覆盖互不干扰,实现频谱资源的高效利用。动态频谱共享技术是解决频段冲突的关键手段^[4]。在复杂多变的通信环境中,不同业务对频谱资源的需求随时间与空间变化。动态频谱共享技术可实时监测频谱使用情况,依据业务优先级与需求动态调整频谱分配。当5G业务需求高峰时,可临时借用部分调频广播空闲频段,如借用1-5MHz的频段;当调频广播有重要信息发布时,也能优先保障频段使用,从而避免频段冲突,提升频谱资源利用率。

4.2 终端兼容性

终端兼容性直接影响用户对5G与调频广播融合服务的体验。双模终端硬件设计标准化是提升兼容性的基础。统一双模终端硬件设计规范,明确硬件接口、芯片性能、天线设计等关键参数标准,确保不同厂商生产的终端设备在硬件层面具备互操作性。这样用户在更换终端设备时,无需担心因硬件差异导致无法接收5G或调频广播信号。软件定义无线电(SDR)技术为终端灵活适配提供有力支撑。该技术将无线电功能通过软件编程实现,使终端设备具备灵活配置与升级能力。通过软件更

新,终端可快速适配不同通信标准与频段要求,实现5G与调频广播信号的灵活接收与处理。无论通信环境如何变化,终端都能依据实际需求调整工作模式,为用户提供稳定可靠的通信服务。

4.3 网络协同管理

5G核心网与广播网元互联互通协议是网络协同管理的前提。由于5G核心网与广播网元在架构、协议等方面存在差异,需制定统一互联互通协议,实现二者之间信息交互与协同工作。该协议需明确数据格式、传输规则、接口标准等内容,确保5G核心网与广播网元能够无缝对接,共同完成应急广播信号的传输与分发任务,数据传输延迟可降低至1-5毫秒。跨网络资源调度与负载均衡算法是优化网络性能的关键。在5G与调频广播融合网络中,不同网络资源分布不均、负载差异较大。跨网络资源调度算法可依据业务需求、网络状态等因素,动态调配不同网络资源,实现资源优化配置。负载均衡算法则可实时监测各网络节点负载情况,将业务流量合理分配至不同网络,避免局部网络过载,提升整体网络运行效率与稳定性。

结束语

5G与调频广播融合为应急广播发展开辟新路径。通过融合技术架构设计、发射端与信号编码调制优化、覆盖范围扩展及抗干扰等措施,提升了应急广播信号发射效率与覆盖质量。同时,针对频谱资源协调、终端兼容性、网络协同管理等挑战提出解决方案。实际应用中,需持续优化技术,加强各环节协同,确保应急广播在复杂环境下稳定运行,为应急通信提供更可靠保障。

参考文献

- [1]李娟.基于5G的应急广播发射系统传输优化技术研究[J].电声技术,2025,49(5):159-161.
- [2]李磊.综合应急广播管理系统的设计与实现研究[J].数字传媒研究,2025,42(5):50-53.
- [3]陈红珍.基于多频段协同发射的无线广播电视信号传输技术研究[J].电视技术,2025,49(9):115-118.
- [4]刘金柱.中波发射机在灾难应急通信中的重要性探讨[J].电脑校园,2023(17):109-111.