 DOI: https://doi.org/10.12349/iser.v7i5.10546

Research on the Application and Optimization of Wireless Communication Technology in Broadcasting and Television Transmission Systems

Du Runye

News, Publication, Radio, Film and Television Center of Central Chahar Right Banner Ulanqab City, Inner Mongolia Autonomous Region 013550, China

Abstract

The transition of radio and television transmission and broadcasting system onto the complete analog-to-digital signal mode has been achieved. Wireless communication technology is present throughout the whole process including signal encoding and RF transmission, space transmission, and terminal reception directly affecting broadcast quality and signal coverage. The paper focuses on four kinds of specialized wireless communication technologies used in broadcasting that are terrestrial digital television, FM / medium-shortwave broadcasting, satellite broadcasting, and the 5G private network in broadcasting and television. It focuses on four essential application conditions: terrestrial transmission, emergency broadcasting, satellite coverage and intelligent station management and examines how they can be implemented in practice. Also, it discusses current issues like co-channel interference, security of broadcast control, and compatibility of hardware, and suggests ways to optimize the systems to improve system operational stability.

Keywords

Wireless communication technology; Radio and television transmission and broadcasting; DTMB; Broadcasting control security; Ant interference for transmission stations

无线通信技术在广播电视传输发射系统中的应用与优化研究

杜润晔

察哈尔右翼中旗新闻出版广电中心，内蒙古自治区乌兰察布市，013550

摘要

广播电视传输发射体系完成模拟至数字信号整体转型,无线通信技术贯穿信号编码,射频发射,空间传输与终端接收全流程，直接左右播出品质与信号覆盖规模。本文梳理地面数字电视、调频/中短波广播、卫星广播、广电5G专网四类广电专用无线通信技术,立足地面发射,应急广播,卫星覆盖,台站智能管控四大应用场景,探析其实际应用方式.同时分析同频干扰、播控安全、硬件兼容等现存难题，提出优化策略，提高系统运行稳定性。

关键词

无线通信技术；广播电视传输发射；DTMB；播控安全；发射台抗干扰

1 引言

广播电视传输发射体系持续朝着数字化智能化方向迭代,传统偏重有线的单一传输形式,难以契合全域组网,高清播送及应急广播这类现代应用诉求.无线通信技术以大功率广播式单向传输,专用频谱资源,全域覆盖为核心特征,是广电信号落地与安全播出的基础支撑.为明确该技术在广播电视传输发射系统中的落地逻辑,本文从广电专用无线通信技术类型,实践应用,现存问题,优化对策四个维度展开研究,旨在强化广电信号安全传输,夯实安全播出根基，为行业长效平稳运行提供理论依据与实践借鉴。

【作者简介】杜润晔（1975年12月–）女，汉族，内蒙古乌兰察布市察哈尔右翼中旗科布尔镇，本科，电子工程专业，高级工程师（电子）

2 广播电视传输发射系统常用无线通信技术类型

2.1 地面数字广播电视传输技术

地面数字电视传输技术已成为地面广电发射主流,取代

原有模拟发射形式,借助超高频与甚高频专属频谱完成音视频数字信号无线传送.该技术采用多载波调制,具备频谱利用率高,抗干扰能力强,画面清晰度高,覆盖范围广的优势,是城乡地面电视信号无线覆盖的核心技术.DT-MB支持固定接收与移动接收双重模式,适配城区密集楼宇,乡村开阔地带,山区复杂地形的信号覆盖场景.同时兼容应急广播信号插播功能,能够依托地面传输网络快速推送预警信息,是公共应急视听传播的重要技术支撑。

2.2 调频与中短波广播发射技术

调频及中短波广播是应用广泛的传统无线发射技术,多用于音频信号传输,依靠不同频段电波实现区域与远距离覆盖,调频广播处于超高频段,音质纯净抗干扰性强,多用于市县区域广播布设.调频广播频段集中在超高频波段,信号音质清晰,失真率低,抗干扰性能优良,主要用于市县区域性广播覆盖.中短波广播传输距离更远,依托地波,天波传播特性,可突破地形限制,实现跨省,大范围广域覆盖,具备极强的信号穿透能力与应急适配能力,可在偏远山区及灾害应急通信场景发挥独特作用,也是广电基础传输发射的关键技术。

3 无线通信技术在广播电视传输发射系统中的实践领域

3.1 广播电视地面发射系统

地面无线发射台站是广电信号落地的核心节点,无线通信技术是发射系统运行的核心载体.在日常播出中,发射机房将编码压缩后的音视频信号经激励器调制,功率放大器放大,通过馈线传输至天线系统向外辐射.无线通信技术保障了从节目源到发射机,再到空间传输的全链路稳定运行.同时,台站利用无线回传技术将发射功率,驻波比,频谱参数等监测数据实时发送至调度中心,实现远程设备状态判断与参数调控,简化台站运维结构,降低人工巡检频次，保障广播电视信号的大面积、高可靠覆盖。

3.2 广电无线覆盖与应急广播系统

应急广播系统构成广播电视传输发射体系的关键板块，无线通信技术赋予该类系统全天候,大范围的信号播发条件,调频广播副载波,DTMB应急数据通道,卫星广播这类无线技术,能够完成应急消息的快速插播与定向区域推送.在自然灾害导致地面通信中断时,中短波广播凭借天波传播特性，可跨区域传送应急指令[1]。广电5G专网则支持应急广播终端的双向交互,实时回传接收反馈.本人长期深耕广播电视无线覆盖传输工程,参加工作期间,完成了三个基站科布尔镇基站,黑山子基站,巴音火石坝发射基站建设改造,信号优化治理,台站智能化升级一线工作,长期负责地面数字电视基站,调频广播基站,乡镇补点转发站的建设运维,覆盖优化,干扰治理,技改升级与安全播出保障工作,主持完成多项无线覆盖优化与基站标准化改造工程,积累了丰富的复杂场景无线传输优化,设备改造,安全体系搭建实战经验,在无线覆盖基站工程建设中本人牵头开展广电无线覆盖组网优化工程,重新规划基站覆盖半径,天线架设高度,发射仰角与极化方式,完成多座主干发射基站标准化整改,新增乡镇级小型无线补点转发基站,完善无线覆盖网络.信号稳定性提高,收看收听质量大幅提升.在安全播出与无线传输安全方面,本人牵头完善各无线发射台站传输安全体系,实现全年无线发射,信号覆盖传输零停播,零事故,零违规,全面筑牢广电无线传输安全播出底线。

4 无线通信技术应用于广播电视传输发射系统的现存难题

4.1 同频邻频干扰与多径衰落问题突出

广播电视传输发射系统中,同频邻频干扰与多径衰落是影响播出质量的突出问题.相邻地区或不同台站使用相同或邻近频点时,会产生同频干扰或邻频干扰,导致接收端出现误码,画面马赛克甚至信号中断.有研究指出:当电磁信号通过对流层时,会因雨,雪,云等天然物质的吸收而产生一定的损耗.此过程也取决于信号的频率,雨雪的强度以及信号的距离差异而有不同的体现.通过笔者长期观察,发现降雨,降雪会造成卫星发射信号的衰减,一般来说发射信号的衰减会随着频率的升高而升高,且随着距离的延长而增大[2]。

4.2 播控安全与非法信号插播风险

广播电视无线传输依托开放式电磁波完成信号播送,相较于有线传输模式更容易受到非法信号干扰与恶意篡改.不法人员利用同频发射设备在合规节目频点植入违规内容,渗透台站上行链路改动节目信号,滋生不良社会影响.部分老旧发射系统未部署数字加密与接入认证机制,卫星接收机,激励器等关键设备缺少防篡改保护,外部人员可通过闲置接口或无线通道注入恶意指令。此外，广电5G专网虽然用于台站监测回传,但若安全防护不足,可能成为入侵发射系统的跳板.播控安全问题直接威胁广播电视安全播出红线,是广电系统必须重点防范的风险。

4.3 老旧发射设备与数字化系统的硬件兼容难题

广播电视传输发射系统内部，多数服役的老旧发射机、激励器及天线控制系统定型于模拟广播阶段,封闭的硬件接口协议与滞后电路架构，难以兼容 DTMB 数字调制模块、广电 5G 回传终端这类新型无线通信设备。部分台站开展数字化升级作业时,往往直接置换整机发射设备或是加装外置转换装置,高额改造成本之外还会占用机房有限空间.同时,新型无线通信模组在偏远发射台站长期运行会产生可观能耗,而台站多采用市电或油机供电,供电稳定性差,能耗管控压力大.小型化,低功耗的无线传输模块在传输距离,抗干扰能力上又难以满足大功率发射台站的远距离监测需求,形成硬件选型上的两难局面。

5 无线通信技术的优化对策

5.1 搭建抗干扰信号传输体系

要整理记录各频段背景噪声与干扰源分布情况,参照台站发射频率划分三类优先级可用频道,高频段承担城区补点覆盖,低频段负责远距离广域广播,动态频段分配机制在误码率超出10　　时自主切换备用频率.跳频通信不适用于大功率广播发射,但可在台站内部监测网络中使用,设定单帧周期20ms，结合混沌映射生成跳频序列实现每秒50次频段切换，依靠导频序列完成同步头匹配校准[3]。发射机房内不同功

率等级的发射机加装厚度0.3mm以上铜镍复合电磁屏蔽罩，确保接地电阻低于0.5Ω，屏蔽罩开孔位置加装波导通风窗.针对山区遮挡物密集区域,部署数字补点转发站,每15-20公里设置一个同频转发器,采用时分双工模式转发,并通过同步时序控制避免自激。

接收端信号滤波模块使用自适应陷波滤波器,实时检测工频谐波及同频干扰，陷波深度达到40dB以上。同时配置可调带通滤波器,中心频率与发射频道联动,带宽控制在信道带宽的80%。动态功率控制采用闭环反馈方式：在覆盖区域边缘设置监测点,测量接收场强并回传,发射端每100ms调整一次功率,步进0.5dBm,确保边缘场强稳定在特定覆盖标准区间.强干扰场景启动功率抬升机制,瞬时增益提升3dB且时长限定200ms之内,规避功放饱和状态与邻频信号混杂问题.发射天线可依托布局极化方式完成优化调整,垂直或水平极化布设形式依托现场勘察结果判定,多频共塔天线体系采用极化分集布设思路;垂直,水平双极化天线间距维持十倍波长以上,弱化同频信号产生的干扰作用，配套搭建天气与传播条件监测系统。

5.2 完善无线通信安全防护机制

普通节目信源依托 SM4、AES-256-GCM 算法完成音视频流实时加密处理,卫星与专网渠道每三十分钟完成密钥更迭，密钥派生流程选用 HKDF-SHA256 算法。上行站通往发射台站的传输链路内，采集设备 MAC 地址、SNMP 读团体名及设备指纹生成独有识别标识,阻拦虚假信源接入链路[4].重要频道播出场景布设 802.1X 认证体系联动 RA−DIUS 服务器，各发射设备划分独立 VLAN 网段，EAP-TL-S数字证书用于设备身份核验,证书设置三十天有效期限并实现自动更替.核心涉密发射链路搭建物理隔绝的专属局域网,关键控制指令改用光纤传输,仅在发射机房终端区域布设发射功率≤10mW的低功率无线监测设备。身份核验整合多项手段:智能卡遵循ISO/IEC7816规范,基于TOTP算法生成每30秒刷新的动态口令,搭配活体指纹核验,整体误识率低于1/100000.部署非法信号监测与阻断系统,在发射台站周边设置多个监测点,实时扫描广播电视频段,发现异常同频信号或非法内容插播时自动比对合法节目指纹并告警.防火墙模块部署于广电调度中心网关,配置深度包检测规则,陌生端口默认拒绝,白名单仅允许预先登记的台站IP和端口号.数据监测方面,在无线控制器旁路部署流量探针,实时分析各台站回传的数据包,建立基线模型，当某台站每小时外发数据超过基线3倍标准差时触发告警并临时阻断.安全补丁管理采用自动化推送平台,设备固件扫描工作定于每月首个周日凌晨两点执行,系统调取官方仓库补丁,经由SHA-256校验流程完成静默安装，升级失败时自动回滚程序并留存运行日志。

5.3 优化硬件适配与能耗管控设计

运行工况稳定的老旧发射机可加装外置数字激励器适配模块，DTMB 与 CDR 数字调制信号依托模块转化为设备兼容的模拟输入格式,规避整机更换带来的资源消耗.机房空间局促的台站可搭载尺寸控制在 50mm × 50mm 以内的工业微型 5G 模组，模组低功耗运行模式能够保障监测数据实时性，同时压缩设备能耗[5]。其次，建立发射台站能耗分级管控机制.将无线通信设备按重要性分为三类:关键控制链路采用双路冗余供电并常开;日常监测数据回传设备采用定时唤醒模式，每5分钟唤醒一次发送数据，其余时间进入深度睡眠，功耗降低至唤醒状态的5%；非核心辅助通信设备采用电池供电，更新周期延长至30分钟。

针对偏远台站供电不稳,市电频繁波动的问题,布设太阳能辅助供电配套蓄电池储能单元,优先供给低功耗无线通信模块运转,主力发射机依旧依靠市电与燃油机组维持电力供应.同时,对电子管发射机逐步进行固态化改造,用全固态发射机替代老旧电子管发射机，整机效率从50%提升至85%以上，既降低发射机能耗又减少冷却系统带来的附加功耗.最后,建立硬件兼容性测试平台,在新购无线通信设备前进行台站环境模拟测试,确保接口协议,电磁兼容性,供电要求与现有系统匹配,避免采购后无法部署的情况。

6 结语

现行广播电视传输发射体系中,多径同频干扰,非法插播,老旧设备兼容缺陷等问题,制约信号播出质量与覆盖能力。结合行业应用痛点，文章围绕提升安全传输能力,筑牢安全播出防线这一核心目标,完善广电无线通信技术架构.未来应持续深耕广电专用无线通信技术平衡覆盖性能与运行成本,切实筑牢广播电视安全播出防线,保障安全播出与公共文化服务高质量发展。

参考文献

[1] 张舜垚.卫星通信技术在广播电视传输发射中的应用[J].卫星电视与宽带多媒体,2024,21(07):1-3.

[2] 李永春.广播电视信号传输与发射中的安全播出问题[J].电声技术,2024,48(10):132-134.

[3] 祁衡达.广播电视传输发射中心的智能化转型：AI技术的融合与突破[J].数字传媒研究,2025,42(04):41-43.

[4] 徐春秀,陈伟,孟祥光.基于无线通信技术的风电场电能质量检测方法研究[J].电气技术与经济,2025,(12):267-269+277.

[5] 杨剑.应急广播中数字音频广播CDR编码技术的应用[J].电声技术,2025,49(10):102-105.