

广播电视发射信号调制解调技术优化与抗干扰性能研究

荣 丽

内蒙古自治区广播电视传输发射中心839台 内蒙古 呼和浩特 010020

摘 要: 本文聚焦广播电视发射信号调制解调技术优化与抗干扰性能研究。阐述了调制解调技术基础原理,分析现有技术瓶颈,如高阶调制信噪比敏感、多径干扰致符号间干扰、频谱资源紧张等。随后提出调制解调技术优化设计,包括调制、解调及协同优化。最后构建“三级联动”抗干扰技术体系,针对不同干扰场景适配策略,为提升广播电视信号传输质量与稳定性提供理论支撑。

关键词: 广播电视; 调制解调技术; 抗干扰

引言: 广播电视作为重要信息传播媒介,其信号传输质量关乎用户体验。调制解调技术作为实现音视频信息高效传输与可靠接收的核心,至关重要。然而,随着高清、超高清广播电视普及,现有调制解调技术面临高阶调制信噪比敏感、多径干扰致符号间干扰、频谱资源紧张等诸多瓶颈。研究其优化与抗干扰性能,对提升传输质量、满足用户需求、推动广播电视行业发展具有重大意义。

1 广播电视信号调制解调技术基础

广播电视信号调制解调技术是实现音视频信息高效传输与可靠接收的核心支撑,是连接信号源与终端用户的关键技术桥梁。在广播电视传输体系中,调制技术负责将低频基带信号加载到高频载波上,实现信号在特定信道中的有效传输;解调技术则反向操作,从已调信号中提取原始基带信号,完成信息还原。

1.1 调制技术原理

调制技术的核心原理是利用基带信号对高频载波的某个或多个参数进行可控修改,使载波携带目标信息并适配信道传输特性。高频载波具备较强的远距离传输能力,而基带信号(如音视频信号)频率较低,直接传输时衰减快、抗干扰弱,无法满足广播电视远距离覆盖需求。调制过程中,常用的载波参数包括幅度、频率和相位,对应产生调幅(AM)、调频(FM)和调相(PM)三种基本调制方式,实际应用中还衍生出幅度相位联合调制(QAM)、正交频分复用(OFDM)等复合调制技术^[1]。其本质是通过信号参数的映射转换,实现基带信号的频谱搬移,使信号能量集中在信道允许的频率范围内,同时提升信号在传输过程中的抗干扰性能与频谱利用率,为广播电视信号的大规模、高质量传输提供技术保障。

1.2 解调技术原理

解调技术作为调制的逆过程,其核心原理是从经过信道传输的已调信号中,精准提取被调制的基带信号,完成信息的还原与恢复。解调过程需与调制方式严格匹配,通过针对性的信号处理算法,抵消调制过程中引入的参数变化,分离载波与基带信号。以常见的调制方式为例,调幅信号的解调通过包络检波或同步检波,提取载波幅度变化所承载的基带信息;调频信号则通过鉴频器将载波频率变化转换为电压变化,还原原始信号;而数字调制信号的解调则需先通过同步技术实现载波同步、位同步,再利用解调算法对信号进行判决与恢复。解调技术的关键在于克服信道噪声、失真以及传输过程中引入的干扰,通过滤波、均衡、同步校准等信号处理手段,提升基带信号的还原精度,确保终端用户能够获得清晰、稳定的音视频体验。

2 现有技术瓶颈分析

2.1 高阶调制下的信噪比敏感性问题

高阶调制技术(如64QAM、256QAM等)虽能显著提升频谱利用率与传输速率,满足超高清广播电视的传输需求,但此类技术对传输信道的信噪比具有极高的敏感性,成为其大规模应用的核心瓶颈。高阶调制通过增加载波参数的离散取值数量来承载更多信息,不同信号状态之间的差异更小,信道中的噪声、干扰以及信号衰减极易导致信号状态误判。当信道信噪比低于临界阈值时,解调过程中的误码率会呈指数级上升,严重影响信号还原质量。在实际传输场景中,广播电视信号需覆盖城市、郊区、偏远地区等不同环境,信道条件复杂多变,信号在远距离传输或遮挡区域易出现信噪比下降,此时高阶调制信号的传输性能会急剧恶化,甚至出现信号中断。现有技术难以在保证传输速率的同时,有效降低高阶调制对信噪比的依赖,导致高阶调制技术的应用范围受限,无法充分发挥其频谱高效的优点。

2.2 多径干扰导致的符号间干扰 (ISI)

多径干扰是广播电视信号传输过程中普遍存在的问题，其引发的符号间干扰 (ISI) 是制约调制解调性能的关键瓶颈之一。在无线传输场景中，广播电视信号会通过直射、反射、折射等多种路径到达接收端，不同路径的信号在传输时延、幅度、相位等方面存在差异，形成多径信号叠加。当多径信号的时延差超过符号周期时，前后相邻的符号会相互重叠干扰，即符号间干扰，导致接收端难以准确区分各个符号的边界与信息，进而引发解调误码^[2]。尤其是在城市密集区域，高楼建筑、地形地貌等会加剧多径效应，使符号间干扰问题更为突出。现有均衡技术虽能在一定程度上抑制符号间干扰，但面对复杂多变的多径环境，其自适应调整能力不足，难以实现对动态多径干扰的精准抵消，导致信号传输质量不稳定，影响用户的收视体验。

2.3 频谱资源紧张与邻频干扰冲突

随着广播电视、移动通信、物联网等各类无线通信业务的快速发展，有限的频谱资源日益紧张，广播电视传输频段面临着严重的邻频干扰冲突，成为制约技术发展的重要瓶颈。广播电视传输频段需与其他通信系统频段相邻，部分非法发射、频段滥用以及设备性能不足等情况，会导致相邻频段的信号侵入广播电视传输信道，形成邻频干扰。邻频干扰会破坏广播电视信号的频谱纯净度，导致信号解调过程中的误码率上升，出现画面卡顿、声音失真等问题。为避免邻频干扰，现有技术需预留足够的保护带宽，这进一步加剧了频谱资源的浪费，降低了整体频谱利用率。在频谱资源供需矛盾日益突出的背景下，如何在有限的频谱资源内，有效规避邻频干扰，提升频谱利用效率，成为广播电视调制解调技术亟待解决的关键问题。

3 广播电视发射信号调制解调技术优化设计

针对现有技术瓶颈，广播电视发射信号调制解调技术的优化设计需围绕提升传输可靠性、频谱利用率与抗干扰能力展开，通过调制技术、解调技术的针对性优化，以及两者的协同配合，构建高效、稳定的技术体系。

3.1 调制技术优化：自适应参数调整与带宽提升

调制技术的优化核心在于实现自适应参数调整与传输带宽的高效提升，以应对复杂多变的信道环境与日益增长的传输需求。自适应参数调整技术通过实时监测信道状态（如信噪比、干扰强度、传输时延等），动态调整调制方式、调制阶数以及编码速率，在信道条件良好时采用高阶调制提升传输速率，在信道质量下降时切换至低阶调制保证传输可靠性，实现传输速率与稳定性的

动态平衡。通过引入新型调制波形设计（如灵活OFDM、滤波正交频分复用 (f-OFDM) 等），在提升传输带宽的同时，降低信号的带外辐射，减少对相邻频段的干扰。另外，优化调制信号的星座图设计与映射方式，增强信号对噪声与干扰的抵抗能力，进一步提升高阶调制技术在复杂信道中的适应性，实现频谱利用率与传输可靠性的双重提升^[3]。

3.2 解调技术优化：精准信道估计与高效信号恢复

解调技术的优化重点在于构建精准的信道估计模型与高效的信号恢复算法，提升在复杂信道环境下的信号还原能力。精准信道估计技术通过引入自适应信道估计算法（如基于导频辅助的迭代估计算法、盲估计算法等），实时追踪信道的动态变化，准确获取信道衰减、时延、干扰等参数信息，为信号恢复提供可靠的信道特性依据。针对多径干扰导致的符号间干扰问题，优化均衡算法（如自适应均衡、判决反馈均衡、正交频分复用系统中的频域均衡等），通过对信道失真的精准补偿，有效抵消符号间干扰与噪声影响。同时引入深度学习、机器学习等人工智能技术，构建数据驱动的信号恢复模型，提升解调算法对复杂干扰与非线性失真的适应能力，实现从已调信号中高效、精准地恢复基带信号，显著降低解调误码率，提升传输质量。

3.3 调制解调协同优化：基于反馈的闭环设计

调制解调协同优化通过构建基于反馈的闭环设计，实现调制端与解调端的信息交互与动态适配，打破两者独立工作的局限，提升整体系统性能。闭环设计的核心是在接收端解调完成后，将信道状态信息、解调误码率、干扰检测结果等关键数据，通过反馈链路实时传输至发射端的调制模块。发射端根据反馈信息，动态调整调制参数（如调制阶数、编码方式、波形参数等），使调制信号能够精准适配当前信道条件；同时，解调端也可根据发射端的调制参数调整，优化解调算法与策略，形成“调制调整-信号传输-解调反馈-参数优化”的闭环循环。这种协同优化模式能够快速响应信道的动态变化，在面对信噪比波动、多径干扰等问题时，通过调制与解调的联动调整，实现传输性能的动态优化，有效提升系统的抗干扰能力、频谱利用率与传输可靠性，为复杂环境下的广播电视信号传输提供高效解决方案。

4 广播电视发射信号抗干扰技术体系构建

4.1 抗干扰技术构建原则

广播电视发射信号抗干扰技术体系的构建需遵循三大核心原则，确保技术体系的科学性、实用性与可持续性。一是系统性原则，抗干扰技术体系需覆盖信号发

射、传输、接收全链路，整合调制优化、解调增强、干扰抑制、信道适配等多维度技术，避免单一技术优化导致的局限性，形成全流程、全方位的抗干扰防护；二是针对性原则，针对不同干扰类型（多径干扰、邻频干扰、噪声干扰等）、不同应用场景（城市、郊区、偏远地区等）以及不同传输需求（标清、高清、超高清等），制定差异化的抗干扰技术方案，确保技术优化的精准性与有效性；三是兼容性原则，抗干扰技术的引入需兼容现有广播电视传输标准与设备，避免大规模设备替换带来的高成本，同时预留技术升级空间，适应未来广播电视技术的发展趋势，确保技术体系的可持续性与扩展性。

4.2 “三级联动”抗干扰技术架构

“三级联动”抗干扰技术架构以全链路干扰防护为目标，构建“发射端预处理-传输过程优化-接收端增强”的三级抗干扰体系，实现各环节的协同联动与干扰层层抑制。第一级发射端预处理，通过优化调制参数、增强信号鲁棒性、引入干扰预判机制，从源头降低信号对干扰的敏感性，例如采用自适应调制编码技术、添加抗干扰训练序列、优化信号波形设计等；第二级传输过程优化，通过信道自适应调整、干扰隔离、信号放大与滤波等技术，减少传输过程中干扰的引入与影响，例如部署智能天线、采用频率选择性调度、设置抗干扰中继节点等；第三级接收端增强，通过精准信道估计、高效均衡算法、干扰抵消技术等，提升接收端对干扰的抑制与信号恢复能力。三级技术架构相互配合、协同联动，形成全链路的抗干扰防护，有效提升广播电视信号的传输稳定性。

4.3 不同干扰场景的抗干扰策略适配

针对广播电视信号传输中常见的多径干扰、邻频干扰、噪声干扰等不同干扰场景，需制定差异化的抗干扰策略，确保抗干扰技术的适配性与有效性。对于多径干

扰场景，核心策略是抑制符号间干扰，采用正交频分复用（OFDM）技术将宽带信号分解为多个窄带子载波，降低多径时延影响，结合自适应均衡算法与rake接收技术，实现多径信号的有效合并与干扰抵消^[4]。对于邻频干扰场景，重点在于减少频段间的相互干扰，通过优化调制信号的带外辐射抑制技术（如加窗OFDM、滤波组多载波技术）、合理规划频谱资源与保护带宽、采用频段隔离与干扰检测避让技术，避免邻频信号侵入；对于噪声干扰场景，核心是提升信号的抗噪声能力，采用低阶调制与高效信道编码技术（如LDPC码、Turbo码）结合的方式，通过增加冗余信息提高信号的容错能力，同时优化解调算法的噪声抑制性能，降低噪声对信号还原的影响。通过场景化的抗干扰策略适配，实现对各类干扰的精准抑制，保障广播电视信号的高质量传输。

结束语

本文深入探讨了广播电视发射信号调制解调技术的优化与抗干扰性能提升。通过剖析现有技术瓶颈，针对性地提出调制、解调及协同优化设计，并构建“三级联动”抗干扰技术体系，适配不同干扰场景策略。这些研究为解决广播电视信号传输难题提供了有效途径，有助于提升信号传输的稳定性与可靠性。未来，随着技术发展，还需持续探索创新，推动广播电视行业迈向新高度。

参考文献

- [1]齐俊虎.调频广播电视发射天线技术及其维护措施[J].数字传媒研究, 2024, 41(12):36-39.
- [2]李岳松.无线广播电视发射台信号检测系统设计与实现[J].电声技术, 2024, 48(09):174-176.
- [3]赵坤,李中堂,何蒙.数字音频技术在广播电视工程中的应用[J].电视技术, 2025,49(02):91-93+97.
- [4]王平.数字音频技术在广播电视卫星信号无线覆盖中的应用[J].卫星电视与宽带多媒体,2024,21(24):10-12.