

基于软件无线电的广播发射信号处理优化研究

莫凌燕

内蒙古自治区广播电视传输发射中心海拉尔548台 内蒙古 呼伦贝尔 021000

摘要：随着广播行业的发展，对广播发射信号处理质量要求日益提高。本文聚焦基于软件无线电的广播发射信号处理优化这一主题，先是概述软件无线电技术，分析广播发射信号采集、调制、编码、滤波等处理流程，阐述软件无线电应用于广播发射的多标准支持、系统升级便捷等优势，重点研究数字上变频、编码、智能滤波等优化算法。通过实验验证优化效果，旨在提升广播发射信号处理水平，为广播技术的进一步发展提供参考与助力。

关键词：基于软件；无线电；广播发射；信号处理；优化研究

引言：广播在信息传播领域始终有着重要地位，而广播发射信号处理的质量影响着广播服务质量与传播效果。传统方式面临着灵活性差、升级困难等诸多局限。软件无线电技术的出现为广播发射信号处理带来了新机遇，它凭借软件定义硬件的特性，能够灵活应对不同标准与多样化需求，有效提升广播发射信号处理的效率与质量。基于此，本文深入探讨基于软件无线电的广播发射信号处理优化相关内容，有着重要的现实意义。

1 软件无线电技术概述

软件无线电技术是一种具有创新性和前瞻性的通信技术理念，它通过软件编程来实现传统上依赖于硬件电路的无线电功能，从而极大地提升了无线电系统的灵活性、适应性和可扩展性。在软件无线电系统架构中，天线负责接收空间中的无线电信号，射频前端对信号进行初步处理，如滤波、放大和下变频等操作，将高频信号转换为适合后续处理的中频或基带信号。模数转换器（ADC）是其中的关键部件，它以较高的采样频率和精度将模拟信号转换为数字信号，以便后续由数字信号处理器（DSP）或通用处理器（GPP）进行各种复杂的数字信号处理运算，包括信号的解调、解码、滤波、调制、编码等操作。数模转换器（DAC）则将处理后的数字信号转换回模拟信号，经射频前端进行上变频、放大等处理后由天线发射出去。软件无线电技术的核心优势显著。其多频段多模式的支持能力尤为突出，通过软件的灵活配置，同一硬件平台能够轻松实现对不同频段、不同通信标准（如GSM、CDMA、LTE等）的兼容，极大地降低了通信设备的研发、生产和维护成本^[1]。

2 广播发射信号处理流程分析

2.1 信号采集

信号采集是广播发射信号处理的首要环节。其通过特定传感器将原始音频、视频等信息转化为数字信号。

在音频采集时，麦克风接收声波并转换为电信号，经模数转换器按一定采样频率（如44.1kHz或48kHz）与采样精度（如16位、24位）进行数字化。采样频率需遵循奈奎斯特定理，以精准还原信号频率成分，为提升信号质量，会采用低通、陷波等滤波技术抑制噪声与干扰，确保采集到的信号具有较高信噪比，为后续处理提供优质基础，在整个广播发射信号处理流程中起着不可或缺的源头作用。

2.2 调制

调制是广播发射信号处理的关键步骤。它将原始信号加载到高频载波信号上便于传输。常见调制方式有AM、FM、PM等。AM调制通过改变载波幅度传递信息，实现简单但抗干扰弱；FM调制改变载波频率，抗干扰性强且音频质量佳，但频谱利用率低；PM调制利用相位变化表意，在数字通信应用广泛。现代广播还常用如QAM等数字调制方式，能在有限带宽内传输更多信息。合适的调制方式可依据广播标准、信道特性与传输需求选择，以平衡信号质量、抗干扰能力与频谱效率间的关系，保障广播信号有效传输。

2.3 编码

滤波是广播发射信号处理的收官环节。主要作用是对调制编码后的信号整形优化，使其契合广播发射频谱要求并剔除杂散与干扰成分。常采用带通滤波器确保信号在规定频带传输。滤波器设计需综合考量通带、阻带特性及过渡带宽度等参数，通带内信号衰减减小，阻带内衰减大，过渡带窄以减少信号失真。随着数字信号处理技术发展，数字滤波器因精度高、灵活性强且能实现复杂滤波特性而被广泛应用，可通过软件编程实时调整参数，适应不同广播发射场景需求，保障发射信号的纯净性与稳定性，提升广播信号质量。

2.4 滤波

滤波是广播发射信号处理的收官环节。主要作用是对调制编码后的信号整形优化,使其契合广播发射频谱要求并剔除杂散与干扰成分。常采用带通滤波器确保信号在规定频带传输。滤波器设计需综合考量通带、阻带特性及过渡带宽度等参数,通带内信号衰减小,阻带内衰减大,过渡带窄以减少信号失真。随着数字信号处理技术发展,数字滤波器因精度高、灵活性强且能实现复杂滤波特性而被广泛应用,可通过软件编程实时调整参数,适应不同广播发射场景需求,保障发射信号的纯净性与稳定性,提升广播信号质量。

3 软件无线电在广播发射中的应用优势

3.1 多标准支持

在广播领域,多种标准并存,如传统的AM、FM以及现代的DAB、DRM等数字广播标准。软件无线电技术基于软件定义功能的特性,使其在多标准支持方面独具优势。它能够在同一硬件平台上,通过加载不同的软件模块,轻松实现对各种广播标准的兼容与切换。例如,在白天时段,根据城市区域内听众对本地新闻、交通信息的需求以及频谱资源状况,广播电台可选择采用FM标准进行广播发射,以提供高质量的音频服务;而到了夜间,当需要覆盖更广泛的区域且对音频质量要求相对较低时,可切换至AM标准,利用其传播距离远的特点扩大广播覆盖范围。这种多标准支持能力,无需为不同标准单独构建硬件系统,大大降低了广播发射系统的建设成本与维护复杂性,提高了系统的通用性与适应性,能够更好地满足不同场景、不同受众群体对广播服务的多样化需求,为广播电台在市场竞争中提供了更大的灵活性与运营空间^[2]。

3.2 系统升级便捷

广播技术处于不断发展演进的过程中,新的信号处理算法、编码方式以及调制技术层出不穷。传统基于硬件的广播发射系统在面临升级需求时,往往面临诸多困境。由于其功能固化在硬件设备中,进行升级通常需要更换大量的专用硬件,这不仅涉及高昂的成本投入,包括新硬件的采购、安装与调试费用,而且整个升级过程耗时费力,可能导致广播服务的中断,影响听众体验。而软件无线电系统则截然不同,其核心优势在于软件与硬件的分离架构。当新的广播技术标准出现或需要对现有信号处理算法进行优化时,只需开发相应的软件升级包,并将其加载到软件无线电平台即可快速实现系统升级。例如,当广播行业推出一种新的音频编码标准,能够在相同带宽下提供更高质量的音频传输时,软件无线电广播发射系统只需更新编码模块的软件代码,无需对

硬件设备进行任何改动,就可以迅速采用新的编码标准进行广播发射。这种便捷的升级方式使得广播发射系统能够紧跟技术发展的步伐,及时为听众提供更优质、更先进的广播服务,极大地增强了广播电台在技术创新方面的竞争力,同时也有效降低了系统升级的成本与风险,保障了广播业务的连续性与稳定性。

3.3 灵活的信号处理

在广播发射信号处理流程中,从信号采集到最终发射的各个阶段,软件无线电都能够通过软件编程实现对信号处理方式的灵活调整。在信号采集阶段,可以根据不同的信号源特性和广播需求,灵活设置采样频率、采样精度以及选择合适的滤波参数,以获取最优质的原始信号。例如,对于音乐类广播节目,为了捕捉更丰富的音频细节,可以采用较高的采样精度;而对于语音类广播节目,在保证可听性的前提下,可以适当降低采样精度以减少数据量。在调制环节,能够依据信道条件、传输距离以及干扰情况等因素,动态选择不同的调制方式和调制参数。如在城市中心区域,信号干扰较大,但传输距离较短,可采用抗干扰能力较强的调频调制方式,并根据实际干扰情况灵活调整调制指数;在偏远地区,为了实现更远距离的传输,可以选择调幅调制方式,并优化载波频率和幅度参数。在编码环节,同样可以根据信号质量和传输效率的要求,实时切换编码方式和调整编码率。这种灵活的信号处理能力使得广播发射系统能够针对不同的广播内容、不同的传输环境以及不同的受众需求,实现信号处理的定制化和优化,从而最大程度地提高广播信号的质量和传输效果,为听众提供更加清晰、稳定、多样化的广播服务。

3.4 资源利用高效

软件无线电平台采用通用的硬件架构,如数字信号处理器(DSP)、现场可编程门阵列(FPGA)等,这些硬件资源具有可灵活编程和动态配置的特点,为高效的资源利用奠定了基础。在广播发射信号处理过程中,不同的信号处理任务对硬件资源的需求在时间和空间上存在差异。软件无线电系统能够通过软件调度机制,根据各任务的实际需求,动态地分配硬件资源。例如,在信号采集阶段,当需要对大量的原始信号进行高速采样和初步处理时,系统可以将更多的DSP资源分配给采样和滤波任务,以确保采集到的信号质量;而在编码阶段,当编码算法对计算资源需求较大时,可将更多的计算资源从其他相对空闲的任务中调配过来,集中用于编码运算,提高编码效率。当某个任务完成或处于空闲状态时,释放的资源又可被其他任务所利用,避免了硬件资

源的闲置浪费。此外,软件无线电系统还可以根据广播发射的实时负载情况,对硬件资源进行智能休眠或唤醒控制,进一步降低系统的功耗。这种高效的资源利用方式不仅提高了广播发射系统的整体性能,确保各个信号处理任务都能在资源充足的条件下高效完成,而且降低了硬件设备的能源消耗和运营成本,提高了系统的经济性和可持续性,在广播发射领域具有重要的应用价值。

4 广播发射信号处理优化算法研究

4.1 数字上变频优化算法

传统算法易出现频谱泄漏与镜像干扰,且计算复杂。基于多相滤波结构的优化算法可有效解决这些问题。多相滤波把滤波器分成多个子滤波器,利用其对称性和周期性减少系数计算量。例如,在设计子滤波器时,依据特定数学规律优化系数生成,降低计算复杂度。插值采用如Lagrange插值法,在保证精度同时减少运算量。混频环节采用高效算法,精准将基带信号搬移到高频段且降低频谱泄漏。通过这些优化措施,数字上变频后的信号频谱更纯净,减少对邻频干扰,提高广播发射信号的质量与频谱利用率,让广播信号在传输过程中更稳定、可靠,尤其在多频道广播环境下,能有效提升整体广播系统的性能表现。

4.2 编码优化算法

编码优化对提升广播发射信号抗干扰性和传输效率意义重大。对于卷积编码,自适应卷积编码算法依据信道实时状况调整约束长度与编码率。信道佳时,用短约束长度与高编码率提升效率;信道差时,反之增强抗干扰力。Turbo编码方面,非二进制Turbo编码扩大符号集提升编码增益;译码采用基于列表的算法,降低复杂度且提高性能。LDPC编码可通过准循环构造方式优化校验矩阵,降低编解码复杂度,再利用密度进化理论优化度分布,增强纠错性能。这些编码优化算法能根据不同广播场景与信道条件灵活适配,有效降低信号传输误码率,保障广播内容准确无误地传达到听众端,无论是在城市

复杂电磁环境还是偏远地区弱信号覆盖区域,都能显著提升广播信号的可靠性与传输质量^[3]。

4.3 智能滤波技术

智能滤波技术旨在应对复杂多变的广播信号环境。传统滤波器参数固定,难以适应变化。自适应滤波算法可实时监测信号与噪声特性,动态调整滤波器系数。如存在突发干扰信号时,能迅速识别干扰频率与幅度,调整陷波参数滤除干扰,保证广播信号纯净。基于机器学习的智能滤波技术更是一大突破,利用神经网络对信号频谱分析预测,设计滤波器参数。它能处理非线性、非平稳信号,比如在车载广播中,当车辆经过不同电磁干扰区域时,智能滤波技术可自动优化滤波器参数,减少信号失真与噪声影响,始终保持良好的收听效果。智能滤波技术极大地提高了广播发射信号的稳定性与质量,为听众带来更清晰、流畅的广播体验。

结束语

本研究深入剖析基于软件无线电的广播发射信号处理优化。通过对信号处理流程各环节的探究、应用优势的阐述、优化算法的研发及软件无线电实现方式的讨论,为广播发射技术改进提供了全面思路。经实验验证,优化策略在提升信号质量与系统性能方面成效显著。未来,随着科技发展,软件无线电技术将持续演进,有望在广播发射领域催生更多创新成果,进一步推动广播行业朝着更高效、优质、智能的方向稳步迈进,开创广播信号处理的崭新局面。

参考文献

- [1]张功军.基于软件无线电的广播发射信号处理优化研究[J].电子技术(上海),2022,51(12):136-138.
- [2]刘天威.基于软件无线电的广播发射信号处理优化研究[J].传播力研究,2020,0(3):188-189.
- [3]韩淑梅.基于软件无线电的广播发射信号处理优化研究[J].电视技术,2022,46(7):200-202