

基于软件定义无线电的广播信号处理与优化研究

卜云龙

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: 在广播通信领域, 信号处理的质量与效率始终是追求的关键目标。本文围绕基于软件定义无线电 (SDR) 的广播信号处理与优化展开研究。先是概述软件定义无线电, 分析广播信号特性及 SDR 处理流程, 涵盖信号接收、数字化等环节。随后探讨影响广播信号质量的因素, 如噪声干扰、多径传播等。重点聚焦基于 SDR 的广播信号优化策略, 包含噪声抑制、多径衰落补偿等多方面内容。旨在借助 SDR 优势, 通过系列优化策略提升广播信号质量, 为广播领域更好地运用软件定义无线电技术提供参考与助

关键词: 基于软件; 定义无线电; 广播信号; 处理与优化; 研究

引言: 广播在信息传播领域一直有着重要地位, 而广播信号质量关乎传播效果。随着软件定义无线电 (SDR) 技术的兴起, 为广播信号处理带来新契机。它以软件可灵活定义硬件功能的特性, 展现出独特优势。然而广播信号受多种因素影响面临质量挑战。基于此, 本文深入研究基于 SDR 的广播信号处理与优化相关内容, 探索提升广播信号质量的有效途径, 具有重要现实意义。

1 软件定义无线电概述

软件定义无线电 (SDR) 是一种革新性的无线电通信技术架构, 它打破了传统无线电系统中硬件与功能紧密绑定的模式。SDR 的基本架构主要由天线、射频前端、模数转换器 (ADC)、数字信号处理器 (DSP) 以及数模转换器 (DAC) 等组件构成。天线负责捕捉空中的无线电波信号, 射频前端对接收信号进行初步调理, 如放大、滤波和频率转换, 将射频信号转换为适合 ADC 采样的中频或基带信号。ADC 以特定的采样率和精度将模拟信号数字化, 这一过程是软件无线电实现灵活处理的关键步骤。随后, DSP 利用软件编程来执行各种复杂的数字信号处理任务, 包括解调、解码、滤波、调制、编码等, 通过加载不同的软件算法, 可以轻松实现不同的无线电功能和通信标准^[1]。

2 广播信号特性与 SDR 处理流程

2.1 广播信号特性

2.1.1 频率范围

广播信号涵盖了较广的频率范围。其中, 调幅 (AM) 广播通常处于中波频段, 频率范围大约在 535kHz 至 1605kHz 之间。这个频段的信号传播距离较远, 能够覆盖大面积的区域, 尤其是在夜间, 信号可通过电离层反射传播到更远的地方。调频 (FM) 广播则多工作在 88MHz

至 108MHz 的超高频段, 其信号相对稳定, 受外界干扰较小, 能提供较高质量的音频传输。此外, 还有数字广播, 如 DAB (数字音频广播) 等, 其频率范围根据不同地区和应用有所差异, 一般在 VHF 频段或更高频段, 它具有频谱效率高、可提供多种附加服务等特点, 能更好地适应现代广播多样化的需求。

2.1.2 信号调制方式

广播信号采用多种调制方式。调幅广播利用幅度调制, 通过改变载波信号的幅度来携带音频信息。这种调制方式实现相对简单, 接收机成本较低, 但它的抗干扰能力较弱, 信号容易受到噪声和其他信号的干扰, 导致音频质量下降。调频广播采用频率调制, 即通过改变载波的频率来传递声音信号。调频广播具有较好的抗干扰性能, 能够有效抑制噪声, 提供高保真的音频效果, 不过其占用的频谱带宽相对较宽。数字广播则多采用先进的数字调制技术, 如正交频分复用 (OFDM) 等, 它将高速数据流分割成多个低速子数据流, 在多个子载波上并行传输, 不仅提高了频谱效率, 还增强了抗多径衰落和干扰的能力, 为广播信号的高质量传输奠定了基础。

2.1.3 信号强度与覆盖范围

对于传统的 AM 广播, 由于其工作中波频段, 波长较长, 地波传播特性较好, 在白天, 信号主要依靠地波沿着地球表面传播, 覆盖范围一般在几十公里到上百公里左右。而到了夜间, 天波传播起主要作用, 信号可通过电离层反射, 传播距离大幅增加, 能覆盖几百公里甚至更远的区域, 但信号强度会随着传播距离的增加而逐渐减弱。FM 广播的信号强度相对较为稳定, 其覆盖范围一般在几十公里以内, 多适用于城市及周边地区的广播覆盖。这是因为 FM 信号为超高频信号, 直线传播特性明显, 容易受到地形、建筑物等阻挡而衰减。数字广播

的覆盖范围则取决于发射功率、频率、调制方式以及接收端的灵敏度等因素，在合适的条件下，其覆盖范围可以与 FM 广播相近或更广，并且在信号强度和质量方面具有更好的稳定性和可控性，能够为听众提供更可靠的广播服务。

2.2 SDR处理流程

2.2.1 信号接收

在这一阶段，天线作为信号采集的前端部件，负责捕捉广播信号。广播信号以电磁波形式在空间传播，被天线感应接收后，会传输至射频前端。射频前端对接收信号进行初步处理，包括放大微弱信号以提升信噪比，同时利用带通滤波器筛选出特定频段的广播信号，抑制其他频段的干扰信号。例如，对于调频广播信号，射频前端会将天线接收到的信号进行放大和调频波段的滤波，确保进入后续处理环节的信号具有较高质量且符合特定广播类型的频率要求，为后续精确的信号处理奠定基础。

2.2.2 数字化

经射频前端处理后的模拟信号被送至模数转换器（ADC）。ADC 依据特定采样定理，以足够高的采样频率对模拟信号进行采样，将其转换为数字信号。采样频率的选择需兼顾信号带宽及奈奎斯特采样准则，以保证能够准确还原原始信号信息。例如，对于音频广播信号，常见的采样频率有 44.1kHz 或 48kHz 等。同时，ADC 的采样精度也会影响信号数字化的质量，较高的采样精度能更细腻地表示信号幅度变化，减少量化误差。数字化后的信号便于后续利用软件算法进行各种复杂的处理操作，是实现软件无线电灵活功能的重要基础。

2.2.3 滤波

数字化后的信号可能包含噪声以及不需要的频率成分。通过数字滤波技术，可以设计不同类型的数字滤波器，如低通滤波器、高通滤波器、带通滤波器等。对于广播信号，常采用带通滤波器来进一步提纯信号，确保信号在规定的广播频段内，去除带外噪声和干扰。例如，在处理调频广播信号时，可设计中心频率在 88MHz - 108MHz 之间的带通数字滤波器，使该频段内的有用信号顺利通过，而其他频段的杂散信号则被有效滤除，从而提高信号的纯净度和质量，减少信号在传输和处理过程中的失真与干扰，提升广播收听体验。

2.2.4 解调

在广播信号处理中，不同的调制方式对应不同的解调算法。对于调幅信号，通常采用包络检波或同步检波等解调方法。包络检波通过提取调幅信号的包络线来

恢复原始音频信号，而同步检波则利用本地载波与接收信号相乘后滤波得到音频信号，同步检波具有更好的性能但电路相对复杂。对于调频信号，一般采用鉴频器进行解调，鉴频器根据调频信号频率变化与音频信号幅度变化的对应关系，将频率变化转换为音频信号的幅度变化，从而恢复出原始音频信息。在软件无线电中，这些解调算法均以软件形式实现，可根据广播信号的调制类型灵活切换解调算法，提高系统的适应性和通用性，确保广播信号能准确地还原为可播放的音频或其他信息形式^[2]。

3 影响广播信号质量的因素分析

3.1 噪声干扰

广播信号在传输过程中，会受到多种类型噪声的影响。首先是热噪声，它源于导体中电子的热运动，在所有频段均存在，其功率谱密度均匀分布，会对广播信号产生持续的背景干扰，降低信号的信噪比。其次，人为噪声不容忽视，如工业设备产生的电磁干扰、通信设备间的互调干扰等。例如，在工厂附近，大型电机运转时会辐射出强烈的电磁噪声，可能淹没广播信号。再者，自然噪声如雷电放电产生的天电噪声，其能量集中在低频段，对 AM 广播信号影响较大。

3.2 多径传播

广播信号在传播过程中，会因周围环境的反射、散射和折射而形成多条传播路径。例如，在城市环境中，信号会被高楼大厦反射，在山区则会被山体反射和散射。由于不同路径的传播距离和传播时间存在差异，导致信号到达接收端的时间不一致，产生多径时延扩展。这会使接收信号在时域上发生重叠，造成信号的衰落和失真。在调频广播中，多径传播可能引起信号的频率选择性衰落，即不同频率成分的信号衰落程度不同，导致音频信号的频率响应发生变化，听众会感觉到声音的音色改变、音质变差。

3.3 信号带宽与传输速率

信号带宽决定了广播信号能够携带信息的容量和传输速率。较宽的信号带宽可以容纳更多的音频或数据信息，实现更高质量的音频编码和传输，例如高清音频广播往往需要较大的带宽支持。然而，如果信号带宽过大，在有限的频谱资源环境下，容易与其他信号产生频谱重叠和干扰，并且对发射和接收设备的要求也更高。传输速率则与信号带宽密切相关，较高的传输速率能使广播信号更快地传输信息，减少信号传输的延迟。但如果传输速率超过了信道容量或接收设备的处理能力，就会导致数据丢失、误码率增加。

3.4 设备性能

发射设备方面,其功率大小直接关系到广播信号的覆盖范围和强度。功率不足可能导致信号在远距离传输时迅速衰减,无法到达预期的覆盖区域;而功率过大则可能引发信号过载和失真,并且可能对其他相邻频段的信号造成干扰。发射机的频率稳定性也至关重要,不稳定的频率会使广播信号偏离预定的频率范围,导致接收端难以准确调谐和接收信号。对于接收设备,天线的增益和方向性会影响信号的接收灵敏度和选择性。高增益天线能够增强对微弱信号的接收能力,但如果方向性过强,可能会在某些方向上出现信号盲区。接收机的本振频率精度、信噪比、动态范围等性能指标也会影响信号的解调质量。

4 基于软件定义无线电的广播信号优化策略

4.1 噪声抑制算法优化

采用自适应滤波算法,能依据噪声特性动态调整滤波器参数。例如,在存在强窄带干扰时,滤波器可精准定位干扰频率并抑制。小波变换算法也大有可为,它将信号分解为不同频率子带,可有效分离信号与噪声,对各子带分别处理以降低噪声影响。此外,基于深度学习的算法利用大量样本训练模型识别信号与噪声,智能去除噪声成分,使广播信号在复杂噪声环境下仍能保持较高信噪比,让听众获得更清晰的广播音频体验。

4.2 多径衰落补偿技术

利用均衡器技术,根据信道特性估计多径信道参数,调整信号幅度与相位,补偿因多径传播导致的信号失真。例如,采用最小均方误差(MMSE)均衡器可有效减少信号衰落影响。分集接收技术也是重要手段,通过空间分集、频率分集或时间分集,将多个衰落特性不同的信号合并处理,增强信号可靠性。如在接收端设置多天线进行空间分集接收,综合处理不同天线接收的信号,显著改善因多径引起的信号质量下降问题,确保广播信号稳定传输。

4.3 带宽与传输速率优化

为优化带宽与传输速率,可采用先进的调制编码技

术。如高阶正交幅度调制(QAM),在相同带宽下能传输更多信息,提高频谱效率。同时结合高效的纠错编码如低密度奇偶校验码(LDPC),降低误码率,保障信息准确传输。此外,动态频谱分配技术可根据广播信号实际需求与信道使用情况,智能分配频谱资源,避免频谱浪费与冲突。在广播流量低谷时适当减少占用带宽,高峰时合理分配更多带宽,实现带宽资源的灵活调配,从而提升广播信号的传输速率与整体质量,满足不同时段广播业务的需求。

4.4 设备性能提升与资源分配优化

在发射端,采用高性能的数字信号处理器(DSP)和现场可编程门阵列(FPGA),增强信号处理能力与运算速度,确保信号准确及时处理。优化发射机功率放大器设计,提高功率效率与线性度,减少信号失真。在接收端,提升天线性能,如采用智能天线技术,自动调整天线方向与增益,增强信号接收灵敏度。通过软件定义无线电的灵活性,合理分配硬件资源,如根据信号处理任务需求调配DSP和FPGA资源,使设备各部件协同工作,达到最佳性能状态,为广播信号处理与传输提供有力保障^[3]。

结束语

本研究深入剖析了基于软件定义无线电的广播信号处理与优化。从广播信号特性出发,详细阐述SDR处理流程,全面分析影响信号质量因素,并提出针对性优化策略。通过这些探索,展示了SDR在广播领域的巨大潜力,其灵活的软件处理能力为提升广播信号质量、应对复杂传播环境提供有效途径。

参考文献

- [1]张功军.广播信号传输与发射中的安全问题分析[J].电子技术(上海),2022,51(12):136-138
- [2]孙清芳,刘伟进,江立世,王伟.无线电广播中软件无线电技术的应用研究[J].中国宽带,2021(1):70-70
- [3]郭凝.认知无线电技术在广播电视监测中的运用分析[J].通信电源技术,2021,38(5):204-206.