 DOI: https://doi.org/10.12349/tie.v3i9.11780

Research on the Causes of Interference in Shortwave Radio Broadcast Signal Transmission and Corresponding Suppression Techniques

Qian Wu

Langmushi Radio Relay Station, Gansu Provincial Radio and Television Bureau, Gannan, Gansu, 747205, China

Abstract

To address interference issues encountered during the operation of our shortwave broadcasting system—such as adjacent-channel suppression, burst broadband noise, and internal system intermodulation—this study analyzes the formation mechanisms of natural interference, man-made interference, and internal system interference by integrating link recording data from three consecutive months, spectrum monitoring logs, and randomly sampled received signal strength data at various points. Based on these analyses, an adaptive interference suppression scheme utilizing the LMS algorithm and a corresponding digital signal processing workflow were designed. The results demonstrate that system interference exhibits distinct temporal clustering patterns, with approximately 60% of cases occurring during morning and evening peak hours, and about 50% of affected receiving points. Following the implementation of this scheme, the average signal-to-noise ratio increased from 18.6 dB to 22.8 dB, the average bit error rate decreased from 1.2×10^{-3} to 3.5×10^{-4}, the average noise floor was reduced by 4.5 dB, and the number of affected receiving points was reduced from 21 to 9. These results indicate that the combination of adaptive filtering and FIR channel shaping can effectively mitigate the impact of adjacent-channel signals and burst noise on the shortwave broadcasting link.

Keywords

shortwave broadcasting; transmission interference; adaptive filtering; digital signal processing; LMS algorithm

短波无线电广播信号传输干扰成因及抑制技术研究

吴骞

甘肃省广播电视局郎木寺广播转播台，中国 · 甘肃 甘南 747205

摘　要

针对我台短波广播系统在运行过程中出现的邻频压制、突发宽带噪声及系统内部互调等干扰问题，结合连续3个月链路记录、频谱监测日志和随机抽样接受点场强数据，分析自然干扰、人为干扰与系统内部干扰的形成机理，并设计基于LMS算法的自适应干扰抑制方案及数字信号处理流程。研究表明，系统干扰具有明显的时段聚集性，早晚高峰累计占比约60%，受扰接收点占比约50%。方案实施后，平均信噪比由18.6 dB提升至22.8 dB，平均误码率由1.2×10^{-3}降至3.5×10^{-4}，平均噪声底降低4.5 dB，受扰接收点由21个减少至9个。结果说明，自适应滤波与FIR通道整形相结合，可有效削弱邻频信号和突发噪声对短波广播链路的影响。

关键词

短波广播；传输干扰；自适应滤波；数字信号处理；LMS算法

1 引言

短波广播依托电离层反射或折射实现远距离覆盖，在跨区域信息传输、应急广播和特殊环境通信中仍具有重要应用价值。由于短波频段传播路径受太阳活动、季节、时段及电离层状态影响显著，接收场强和信号稳定性容易发生波动[1]。同时，短波频段具有开放共享特征，邻频台站、工业电磁设备、通信杂散发射及非授权射频源均可能进入目标接收通道，使广播链路面临复杂电磁环境。对于实际运行系统而言，外部频谱环境变化、发射链路线性度不足、接收机前端噪声及本振泄漏等因素还会相互叠加，进一步增加干扰识别和抑制难度。因此，围绕短波广播系统开展干扰成因分析与抑制技术研究，有助于提升链路稳定性、改善覆盖区接收质量，并为频率规划、设备维护和运行参数优化提供工程依据。

2 工程概况

2.1 我台短波广播系统基本架构

我台短波广播系统由发射子系统、短波传输链路以及接收子系统构成。发射子系统承担音频节目源编码、信道复

【作者简介】吴骞（1991–），男，中国甘肃定西人，本科，助理工程师，从事短波发射机的运行与维护研究。

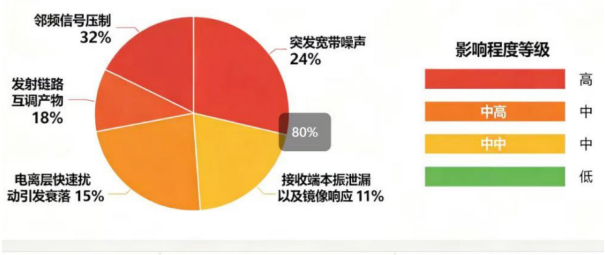
用、调制放大和射频辐射等任务，核心设备包括节目处理设备、激励器、功率放大器、滤波器以及定向天线。节目数字化后形成基带信号，经调制器加载至选定载频，再由功率放大器完成能量放大，借助定向天线把射频信号送入空间。

短波信号进入电离层信道后，依靠电离层反射或折射实现远距离传播，其路径会受到工作频率、太阳活动、季节变化以及传播时段影响。接收端由接收天线、射频前端、调谐设备、解调器、信道译码单元以及音频终端组成，依次完成信号捕获、选频放大、解调译码和节目还原。为便于后续干扰分析，系统还应配置频谱监测、场强采集以及链路状态记录设备，对发射端、传播段以及接收端的信号质量进行连续观测。

2.2 某系统干扰问题现状分析

鉴于我台短波广播系统在连续 3 个月运行周期内的链路记录、频谱监测日志以及覆盖区场强采集数据，干扰问题主要集中在日出后频率切换窗口以及傍晚业务高负荷时段，早晚高峰累计占比约 60%。进一步观察发现，干扰发生时接收端自动增益控制响应幅度增大，音频底噪抬升较为明显，典型接收点信噪比较常态下降 3 dB 至 5 dB，边缘覆盖区域的节目可懂度波动更为突出。覆盖范围方面，系统服务区内布设的 42 个固定接收点中有 21 个在监测周期内出现不同程度受扰现象，约占 50%，说明干扰已从零散异常转向具有时段聚集性以及区域扩展性的运行问题。结合干扰源统计结果来看，邻频信号压制、突发宽带噪声以及设备互调产物构成主要影响因素，相关统计见表 1。

表1 我台短波广播系统干扰源统计结果表



干扰类型	发生频率占比	影响程度等级

3 短波广播信号传输干扰成因分析

3.1 自然干扰成因分析

短波广播信号依靠电离层反射或折射完成远距离传播，电离层电子密度的时空变化会直接改变信号传播路径以及接收场强。电离层闪烁是由电子密度不均匀结构引起的快速幅度和相位起伏，其影响可归因于传播介质折射特性的持续变化。当电离层临界频率发生正负 15% 的波动时，工作频率与临界频率之间的相对关系随之改变，反射高度、入射角以及有效传播路径会同步偏移。信号在多径传播条件下叠加后，容易形成相消干涉，使接收端出现短时衰落、载波相位抖动以及解调信噪比下降。对于处于频率切换窗口的业务链路，临界频率变化还可能使原有传播模式失配，导致有效覆盖距离缩短 [2]。

大气噪声主要来源于雷电放电、对流层电活动以及远距离自然电磁辐射，其能量通常以连续噪声或脉冲噪声形式进入接收系统。结合该系统监测条件，自然噪声场强约处于 −120 dBm 至 −80 dBm 范围，噪声功率会随季节、时段、地理位置以及雷暴活动强度发生变化。低频段大气噪声具有较强的频谱起伏，进入接收机前端后会抬升噪声底，并且压缩自动增益控制的动态调节空间。脉冲型噪声还会在较短时间内造成解调器瞬态失锁，使音频端出现爆裂声、断续声以及节目可懂度下降。结合电离层折射变化以及噪声谱密度参数，可把自然干扰折算为接收端等效场强，其计算式如下：

$$E_{\mathrm{nat}}=k_{\mathrm{r}}\sqrt{\frac{4Z_0N_0B}{A_{\mathrm{e}}}}10^{-L_{\mathrm{a}}/20}$$

其中，E_{nat} 表示自然干扰等效电场强度，单位为 V/m；k_{r} 表示电离层折射系数，用于反映临界频率变化对传播路径以及场强的修正作用；Z_0 表示自由空间波阻抗，单位为 Ω；N_0 表示自然噪声功率谱密度，单位为 W/Hz；B 表示接收机等效噪声带宽，单位为 Hz；A_{e} 表示接收天线有效孔径，单位为 m²；L_{a} 表示自然传播衰减量，单位为 dB。由此可见，电离层闪烁主要改变传播项以及折射修正项，大气噪声则主要受噪声谱密度和接收带宽控制，二者叠加后共同形成自然干扰场强。

3.2 人为干扰成因分析

鉴于短波广播频段开放共享以及跨区域传播距离较长的运行背景，人为干扰主要来自邻频广播台站、工业电磁辐射、通信设备杂散发射以及非授权射频源。邻频广播表现为相邻载频能量向目标通道边缘泄入，当频率偏移处于 ±5 kHz 附近时，接收机中频滤波器难以完全削弱边带分量，强邻频信号会把自动增益控制推向压缩状态，进而使目标载波的包络稳定性下降。

工业电磁辐射则具有更强的空间局部性以及时间突发性，电焊机、高频加热装置以及大功率变频设备在启停或负载快速变化时，会向外辐射宽带脉冲分量。监测点靠近工业作业区时，电焊机辐射强度可达到 ≥-70 dBm，脉冲能量进入接收天线后会把接收前端噪声底短时抬高，还可能触发限幅电路产生非线性失真。工业类干扰占比为 25%，低于邻频广播但对边缘覆盖点影响更集中。通信设备杂散发射以及非授权射频源分别占 18% 以及 12%，其频谱形态较分散，常表现为窄带尖峰或间歇载波。剩余 10% 来自临时施工电源、开关电源阵列以及车辆点火系统等复合电磁活动，这类信号单次持续时间较短，却会增加干扰识别以及频率规划修正的复杂度。

3.3 系统内部干扰成因分析

系统内部干扰主要由发射链路线性度不足、接收机前端噪声以及本振与电源耦合共同形成，其影响具有随设备工

作状态变化而增强的特性。发射机功率放大器在接近额定输出功率运行时，晶体管跨导变化、偏置点漂移以及器件热效应会压缩线性工作区间，多路载频经过非线性器件后产生三阶交调产物。当三阶交调产物相对载波电平达到 −40 dBc 及以上时，产物可能落入目标信道或邻近通道，经过馈线、滤波器以及天线系统后形成难以区分的内部干扰。驻波比升高还会改变功率放大器的负载阻抗，使交调分量随反射功率增加而扩展 [3]。

由此可见，设备内部干扰并非单一器件故障所致，而是功率放大器非线性、接收前端噪声以及本振隔离度不足共同作用的结果。馈线驻波、散热条件和供电纹波会进一步改变干扰功率的分布，使其在频率切换以及高负荷运行期间表现出更明显的时变性。

4 干扰抑制技术研究及效果评估

4.1 自适应干扰抑制技术设计

鉴于短波广播链路在日出后频率切换窗口以及傍晚高负荷时段容易出现邻频压制和宽带噪声叠加，本研究选用 LMS 算法开展自适应滤波方案设计。LMS 算法即最小均方算法，其核心是借助误差信号的均方值趋小过程，对滤波器权值进行连续修正，使接收端在不预先固定干扰谱形的条件下完成干扰分量抵消。方案把接收机射频前端输出信号当作主输入来使用，同时引入频谱监测通道采集的邻频噪声参考信号，构造长度为 32 的输入向量，对应滤波器阶数设置为。该阶数能够覆盖短波信道中常见的多径延迟扩展以及邻频边带泄入特性，同时不会给解调前的实时处理带来过高运算负担。步长因子设置为，用于在收敛速度以及稳态失调之间取得较为平衡的调节关系。

权值更新环节把当前滤波输出与期望信号之间的差值定义为误差信号，并且把该误差信号反馈至权值修正过程。对于该短波广播系统，期望信号可由经过窄带选频以及幅度归一化后的目标载波包络给出，参考输入则用于表征邻频压制和突发噪声的相关分量。LMS 算法权值更新公式如下：

$$\mathbf{w}(n+1)=\mathbf{w}(n)+\mu e(n)\mathbf{x}(n)$$

其中，$w(n)$ 表示第 n 次迭代时的滤波器权值向量，$w(n+1)$ 表示更新后的滤波器权值向量，μ 表示步长因子且取值为 0.01，$e(n)$ 表示误差信号，$x(n)$ 表示由 32 个连续采样点构成的输入向量，N 表示滤波器阶数且取值为 32。依靠上述更新过程，滤波器能够把与参考通道相关的干扰能量逐步从主通道信号中削弱，并且保留目标广播信号的主要包络变化特征。

4.2 数字信号处理抑制方案实现

鉴于短波广播接收链路存在邻频边带泄入以及突发宽带噪声叠加现象，数字信号处理模块把射频前端下变频后的中频数据当作处理对象来使用，采样率设置为 1 MHz，以保留目标载频附近干扰谱线的细节变化。频谱感知单元依靠快速傅里叶变换开展能量分布估计，并且把目标频率两侧相邻频点的功率突增、噪声底抬升以及间歇窄带尖峰纳入判别范围，为后续滤波参数调整提供输入依据。

结合广播语音带宽以及接收机选频需求，数字滤波环节选用 FIR 滤波器进行通道整形，截止频率设置为目标频率 ±3 kHz，使目标调制分量能够在通带内保持相对完整，同时把邻频广播边带以及宽带噪声的通带外能量进行削弱。滤波器系数由窗函数法生成，并且在业务频率切换时由控制单元重新载入。处理后的基带序列进入自适应抵消单元，与 3.1 节所述 LMS 权值更新过程衔接，进一步削弱同参考通道相关的干扰分量。

5 结语

本文围绕我台短波广播系统的传输干扰问题，分别从自然传播环境、人为电磁活动和系统内部链路状态出发，梳理了干扰形成路径及其对接收质量的影响。在此基础上，引入 LMS 自适应滤波和 FIR 数字滤波处理机制，构建了面向邻频压制与宽带噪声的综合抑制方案。验证结果表明，该方案能够改善信噪比、误码率、噪声底和自动增益控制波动等关键指标，对多数受扰接收点具有明显修复作用。后续运行中仍需结合电离层快速扰动、边缘覆盖点异常和业务频率切换需求，持续优化监测策略与滤波参数，以进一步增强短波广播系统在复杂电磁环境下的可靠性。

参考文献

[1] 潘春红.数字化电视广播信号传输中的抗干扰技术研究[J].电声技术,2024,48(12):155-157.

[2] 王玉刚.自适应滤波下中波无线电广播信号增强研究[J].无线互联科技,2024,21(19):4-6.

[3] 刘琛良.抗干扰技术在数字化电视广播信号传输中的应用[J].中国宽带,2025,21(07):82-84.