

基于快速傅里叶变换的广播电视发射台 信号干扰抑制研究

岳城

(丰城市融媒体中心 江西 丰城 331100)

摘要 为确保广播电视发射台信号的稳定传输与高质量接收,文中利用快速傅里叶变换,开展了广播电视发射台信号干扰抑制研究。首先,利用高速数据采集卡,连续采集广播电视发射台信号,对其进行去噪与校准处理;其次,利用快速傅里叶变换,识别发射台信号中的干扰信号;在此基础上,分析是否存在异步信号,通过贝叶斯处理实现干扰抑制。实验结果表明,应用该方法后,广播电视发射台信号的BER误比特率最高未超过0.04,具有良好的效果。

关键词: 快速傅里叶变换;广播电视;发射台;信号;干扰;抑制

中图分类号 TN919.4

Research on Signal Interference Suppression of Broadcasting and Television Transmission Stations Based on Fast Fourier Transform

YUE Cheng

(Fengcheng Integrated Media Center, Fengcheng, Jiangxi 331100, China)

Abstract In order to ensure the stable transmission and high-quality reception of radio and television transmitter signals, the research on interference suppression of radio and television transmitter signals is carried out by using fast Fourier transform. Firstly, the radio and television transmitter signals are continuously collected by using high-speed data collection cards, and then denoised and calibrated. Secondly, the interference signals in the transmitter signals are identified by using fast Fourier transform. On this basis, the existence of asynchronous signals is analyzed, and the interference suppression is achieved by Bayesian processing. The experimental results show that after applying this method, the maximum bit error rate of radio and television transmitter signals does not exceed 0.04, which has good results.

Key words Fast fourier transform, Radio and television, Launch pad, Signal, Interference, Inhibition

0 引言

在广播电视领域,信号干扰是一个长期存在且亟待解决的问题。这些干扰不仅影响了广播电视信号的稳定性和清晰度,还可能对观众的收视体验造成严重影响。因此,研究有效的信号干扰抑制方法对于提升广播电视传输质量具有重要意义。当前,文献[1]、[2]提出的两种传统的广播电视发射台信号干扰抑制方法较为常用,但仍存在不足。其中,文献[1]利用滤波器的选频特性,将干扰信号从混合信号中分离出来并予以衰减,难以精确匹配干扰频率,抑制效果不佳。文献[2]通过频率规划和分配,减少了不同发射台之间的同频干扰,但实施难度较大,无法避免在相同或相近的频率上产生重叠和干扰。

快速傅里叶变换(FFT)作为一种高效的数字信号处理算法,揭示了信号中各个频率成分的幅度和相位信息,为信号干扰的识别和抑制提供了有力的工具^[3]。本文基于FFT,

提出了一种新型的广播电视发射台信号干扰抑制方法。

1 广播电视发射台的信号采集与预处理

选择适合广播电视信号频段和高速数据采集卡,参数设置如表1所列。

表1 高速数据采集卡参数设置

序号	项目	参数
1	采样率	20 MHz
2	分辨率	14 bits
3	输入带宽	≥500 MHz
4	接口	PCIe x4或更高

确保高速数据采集卡的采样参数满足采集需求。评估发射台周边环境对信号采集的潜在影响,如电磁干扰、建筑物遮挡等。根据评估结果,选择合适的采集位置和天线高度,以稳定接收广播电视信号。将高速数据采集卡与天线、信号调理

作者简介:岳城(1974—),本科,工程师,研究方向为播出、发射设备维护。

电路等硬件设备正确连接起来。进行初步的信号测试,确保信号能正常传输到数据采集卡上,并检查连接是否牢固、信号质量是否满足要求。启动数据采集卡的驱动程序和采集软件,以连续不间断的采集模式实时采集广播电视信号。

对采集到的信号进行预处理,通过去噪与校准手段提高数据质量。对于广播电视发射台信号的去噪处理,可采用特定的公式来执行,如式(1)所示:

$$y[n]=\sum_{k=0}^{N-1}h[k]\cdot x[n-k] \quad (1)$$

其中, $x[n]$ 表示输入信号; $h[k]$ 表示滤波器的冲激响应系数; N 表示滤波器的阶数; $y[n]$ 表示滤波去噪后的输出信号。

对去噪后的信号进行幅度校准与相位校准,如式(2)、式(3)所示:

$$y[t]=G\cdot y[n] \quad (2)$$

$$y[t]=y[n]\cdot e^{j\phi} \quad (3)$$

其中, G 表示增益因子,根据校准目标确定; ϕ 表示相位旋转角度。

通过去噪与校准,可以显著提高广播电视发射台信号的信噪比和准确性,为后续的信号干扰抑制提供支撑^[4]。

2 基于快速傅里叶变换的干扰信号识别

完成信号采集与预处理后,需要利用FFT来识别发射台信号中的干扰信号。

采用频谱分析仪全面扫描发射台附近的电磁环境,以识别并定位潜在的外部干扰源。随后,检查发射台内部关键设备(如发射机、天线系统、馈线网络等),排查是否存在自激干扰或设备间的相互干扰现象。完成基础检查后,对经过预处理的信号执行FFT,以实现信号从时域向频域的转换,如式(4)所示:

$$X[k]=\sum_{n=0}^{N-1}y[n]\cdot e^{-j\frac{2\pi}{N}kn} \quad (4)$$

其中, $X[k]$ 表示输出信号(频域信号); $y[n]$ 表示输入信号(时域信号); N 表示信号的采样点数; k 表示频率索引; j 表示虚数单位。

FFT技术可以将复杂信号拆解为一系列频率各异的正弦波叠加,其中每个正弦波均携带特定的幅度值和相位角。深入分析FFT处理后的频谱图,能精确辨识出信号的基频及各级谐波,这些谐波频率均为基频的整数倍。频谱图中的每一个频率分量均可以直接映射为信号中的一个正弦波成分,其幅度和相位的具体数值不仅揭示了信号在各频点上的强度,还刻画了相位之间的相对关系。对于干扰信号而言,它们通常在频谱上展现出异常的特征,如某频段内幅度骤增、相位跳变或不规则波动等。

基于频谱分析结果,结合领域内的先验知识库或标准频率特征数据库,能系统地识别出干扰信号的类别、精确频率、最大幅度等关键参数。这一过程需将干扰信号的频谱特征与已知干扰模式的特征模板进行比对分析,利用相似度算法来计算干扰信号的频谱特征与已知干扰模式特征模

板之间的相似度,如式(5)所示:

$$\rho(X,Y)=\frac{\sum_{i=1}^n(x_i-\bar{x})(y_i-\bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n(x_i-\bar{x})^2}\sqrt{\sum_{i=1}^n(y_i-\bar{y})^2}} \quad (5)$$

其中, X,Y 分别表示干扰信号的频谱特征向量和已知干扰模式的特征模板向量; \bar{x},\bar{y} 分别表示 X,Y 的均值。 $\rho(X,Y)$ 的值越接近1,表示 X 和 Y 越相似;越接近-1,表示越不相似;接近0表示无相关性^[5]。根据相似度计算结果,设定一个阈值 ρ_i ,当 $\rho(X,Y)>\rho_i$ 时,认为干扰信号的频谱特征与某个已知干扰模式的特征模板高度相似,从而实现对于干扰信号的精准识别。

3 广播电视发射台信号干扰抑制

完成基于FFT的干扰信号识别后,还需要对信号实行干扰抑制,以确保信号的稳定传输和高质量接收。

在广播电视发射台信号传输中,干扰波与多级码片波形交织,导致接收信号复杂多变,影响信号质量。首先,需要精确估算发射信号的初始码相位,作为识别并处理副峰成分的基准,通过对其进行负向调整,有效削弱干扰。其次,为克服信号模糊性挑战,本文引入了非线性组合技术,以实现信号相位的清晰、无歧义检测,提升干扰抑制效果,如式(6)所示:

$$R=\frac{X[k]\cdot(q+s)}{(1-\delta)\cdot\eta} \quad (6)$$

其中, $X[k]$ 表示发射台信号的FFT结果; q 表示多级码片调制信号对应的波形参量; s 表示多级码片调制信号对应的波峰参量; δ 表示发射台信号间隔分段参数; η 表示待干扰抑制的发射台信号与本地生成信号之间的相互关联。通过式(6),可以划分发射台信号,如表2所示列。

表2 无模糊相位的发射台信号构成

序号	R	划分结果
1	$[R_{\min}, 0.5R_{\min}]$	发射台滞后信号
2	$(0.5R_{\min}, 0)$	发射台插位信号
3	0	发射台同位信号
4	$(0, 0.5R_{\max})$	发射台移位信号
5	$[0.5R_{\max}, R_{\max}]$	发射台超前信号

本文提出的干扰抑制策略聚焦于在维护同位信号完整性的同时,最大化地滤除非目标信号波形。在此基础上,首先需要分析输入信号的周期性,以判断是否存在异步信号。若信号不具备明显的周期性特征,则表明可能存在由信号频率调整引起的载波重叠现象。针对这类情况,本文采用贝叶斯方法进行针对性处理,其处理机制如式(7)所示:

$$M=\sum_{t_n}X[k] \quad (7)$$

其中, M 表示经过贝叶斯处理后的广播电视发射台信号; t_n 表示各异步信号对应的周期参量。

利用贝叶斯分析方法,可以将原始信号解构成多个独立的波形矢量数据单元,确保每个单元都具备清晰的信号

特征。若分析结果显示某部分发射台信号不符合独立波形标准,则自动判定其为杂波成分,并予以剔除。相反,若初步评估确认信号中不存在异步干扰迹象,即表明信号纯净(未受杂波影响),此时可直接将该信号作为输出。

4 实验分析

4.1 实验对象

本次实验以一个包含了多种成分的广播电视发射台复合信号为样本,该信号的具体构成及说明如表3所列。

表3 广播电视发射台信号构成及说明

信号	构成	说明
主信号	中心频率	500 MHz
	带宽	10 MHz
	功率	-30 dBm
窄带干扰	干扰1:	中心频率498 MHz,带宽2 MHz, 功率-25 dBm
	干扰2:	中心频率502 MHz,带宽1 MHz, 功率-35 dBm
宽带干扰	频率范围490~510 MHz,覆盖主信号的部分带宽	
脉冲干扰	持续时间:1~10 μ s 重复周期:100 ms 峰值功率:可达-20 dBm	

使用信号发生器分别生成主信号和干扰信号,将主信号与所有干扰信号叠加起来,形成最终的复合信号。该信号不仅模拟了实际环境中可能遇到的各种干扰情况,还提供了足够的参数,以供后续的信号处理和分析使用。

4.2 实验环境

本文搭建了实验环境,如表4所列,以确保实验顺利进行。

表4 实验环境配置

序号	配置	参数
1	处理器	Intel Core i7 多核处理器,支持并行计算
2	操作系统	Windows 10
3	硬盘	SSD 512 GB
4	信号发生器	频率范围400 MHz~600 MHz,分辨率1 Hz
5	频谱分析仪	频率范围至少覆盖400 MHz~600 MHz,分辨率带宽可调,最小可达1 kHz

4.3 信号干扰抑制效果

在既有设计框架内,为直观评估基于快速傅里叶变换的广播电视发射台信号干扰抑制技术的效能,本文设计并执行了对比实验。实验选取了两个对比方案:(1)文献[1]中描述的调频发射台干扰抑制策略;(2)文献[2]提出的基于滤波技术的干扰抑制方法。实验条件如下。地面广播电视发射台信号覆盖区域内,天线布置数量分别为50、100、

150,在每种配置下,传播区域被进一步细分为4~5个基础单元,并依次编号DY-01~DY-06。统一设定所有实验的传播半径为20.0 km,以确保测试环境的一致性。采用上述3种不同的干扰抑制技术,在每种天线配置下分别实施1000次重复测试,以统计并计算广播电视信号在传输过程中的平均误比特率(BER)。最终,对3种方法的BER均值进行对比分析,结果如图1所示。

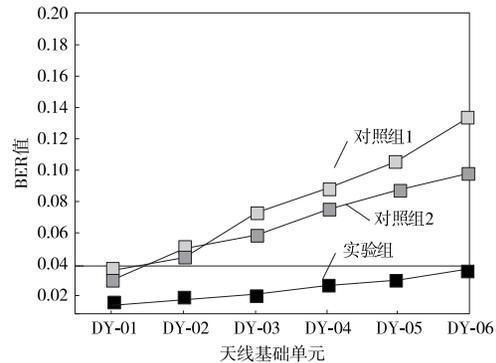


图1 误比特率对比结果

由图1可以看到,广播电视发射台信号的BER(误比特率)会随基础单元数与天线数量的增多而上升,且本文所提的基于快速傅里叶变换的信号干扰抑制方法显著优于两个对照组,其BER值持续保持在较低的水平,且即便在基础单元与天线数量逐渐增加的情况下,BER的波动亦较为平缓,最高未超过0.04。测试结果充分展示了该方法在抑制广播电视发射台信号干扰、降低信号误比特率方面的优越性。

5 结语

本文利用快速傅里叶变换技术,为提升广播电视信号传输质量开辟了新的途径。利用FFT的精准频谱分析能力,能高效地识别并区分信号中的有用成分与干扰噪声,进而采取针对性的抑制措施,显著降低信号在传输过程中的误比特率,不仅证实了FFT在信号干扰控制中的显著效能,还深化了广播电视信号处理技术的理论根基与实践应用。未来,随着广播电视行业的持续进步与发展,基于FFT的信号处理技术将在更多领域得到应用,不断提升该技术的性能与效率,为广播电视信号的高质量传输提供更加稳固的基础。

参考文献

- [1] 张立华,李海光,赵鹏.调频发射台应对广播电视信号干扰的策略与技术[J].电视技术,2024,48(8):133-136.
- [2] 杨慧智.基于滤波技术的广播电视通信干扰抑制方法[J].自动化应用,2022(12):1-4.
- [3] 刘维青,史海江.广播电视播出过程中的信号干扰抑制技术[J].电视技术,2024,48(6):118-120.
- [4] 张辉.5G信号对中波广播发射台站的干扰及应对方法[J].电声技术,2024,48(6):132-134,138.
- [5] 李国红.基于快速傅里叶变换的地面数字电视广播信号干扰抑制研究[J].中国有线电视,2022(8):52-55.