

# 广播电视视音频一致性对比系统设计与实现

田彩霞

天津网络广播电视台有限公司 天津 和平区 300070

**摘要:** 为保障广播电视行业前端7×24小时播出安全,本文设计并实现一套主备路信号源视音频一致性对比系统。以解决传统人工监控方式覆盖范围有限、响应滞后、难以满足大规模频道精细化监控的问题。视频维度:以结构相似性指数(SSIM, structural similarity index measure)与均方误差(MSE, Mean Squared Error)作为核心量化指标,通过双指标协同实现画面差异的精准识别。音频维度:以短时傅里叶变换(STFT, Short Time Fourier Transform)频谱分析与滑动窗口对比方式,通过视频与音频对齐起点差值推断音画同步与否。经测试系统能有效识别非法插播、音频无声/杂音/错配等异常,成功定位多起信号源异常问题,显著提升播出安全性与运维效率。

**关键词:** 视音频一致性; 主备信号监控; 自动化监控; 信号源异常检测播出安全

引言: 广播电视作为信息传播的重要载体,其前端播出系统的稳定性与安全性直接关系到公共信息服务质量与社会舆论引导效果。随着平台直播频道数量与主备路信号源的丰富,传统“一主多备”的信号源架构虽能在一定程度上保障播出连续性,但人工轮巡监控模式存在局限性:一方面,人工监控难以实现7×24小时信号监看;另一方面,大规模频道运维中,人工对比主备路视音频信号的效率低,无法及时发现非法信号插播、音频无声、音画不同步等隐性故障,给播出安全带来潜在风险<sup>[1]</sup>。

## 1 研究意义

1.1 本研究设计的视音频一致性对比系统,具有三方面核心意义。

(一)提升播出安全级别:通过自动化对比主备路视音频信号,可实时识别非法信号插播、音频异常等问题,弥补人工监控的滞后性与局限性。(二)提高运维效率:系统可覆盖全量频道的主备路信号监控,辅助传统人工轮巡,减轻运维人员重复低效工作,同时通过日志记录与异常告警功能,为故障定位与排查提供精准数据支持。(三)完善技术体系:系统融合了视频帧对比算法、音频频谱分析与音画同步判断逻辑,形成一套完整的视音频一致性监控技术方案,可为广播电视行业自动化监控技术的发展提供参考<sup>[2]</sup>。

## 1.2 研究内容与框架

本文围绕广播电视视音频一致性对比系统的设计与实现展开,主要内容包括四个方面。

系统总体方案设计:明确系统流程、关键技术与实施步骤,构建“数据提取-信号录制-视音频分析-一致性对比-结果判定-弹窗播放展示”完整工作链路。

核心算法实现:详细阐述视频帧对比(SSIM+MSE加权)、音频频谱分析(STFT)及音画同步判断的技术原理与实现细节。

系统测试与成果验证:通过实际场景测试,验证系统在异常信号检测、故障定位中的有效性,并分析测试中发现问题与优化方向。

总结与展望:系统梳理本广播电视视音频一致性对比系统在实际应用场景中的核心价值与实践意义,重点归纳其在提升信号源质量检测效率、保障视音频同步性等方面的作用;在此基础上,明确未来阶段需进一步完善的关键方向,为系统功能的迭代优化提供清晰指引。

## 2 广播电视视音频一致性对比系统总体方案设计

### 2.1 系统设计目标

根据广播电视前端播出运维的实际需求,系统设计需实现以下核心目标。

视音频一致性对比:以主路信号为基准,对比备路信号与主路的视频画面及音频特性一致性,识别画面差异、音频异常(无声、杂音、错配)等问题。

非法信号防范:通过视频一致性对比,实时检测主备路信号是否存在非法插播内容,保障播出内容安全。

音画同步判断:结合视频与音频的一致性对比结果,计算音画同步偏差值,判断信号源是否存在音画不同步问题。

自动化与可追溯:实现全量频道信号的自动接入、录制与对比,生成详细日志记录,支持异常片段保存,确保后期可追溯。

### 2.2 系统总体流程

系统采用模块化设计,总体流程分为五个阶段。如图1所示:

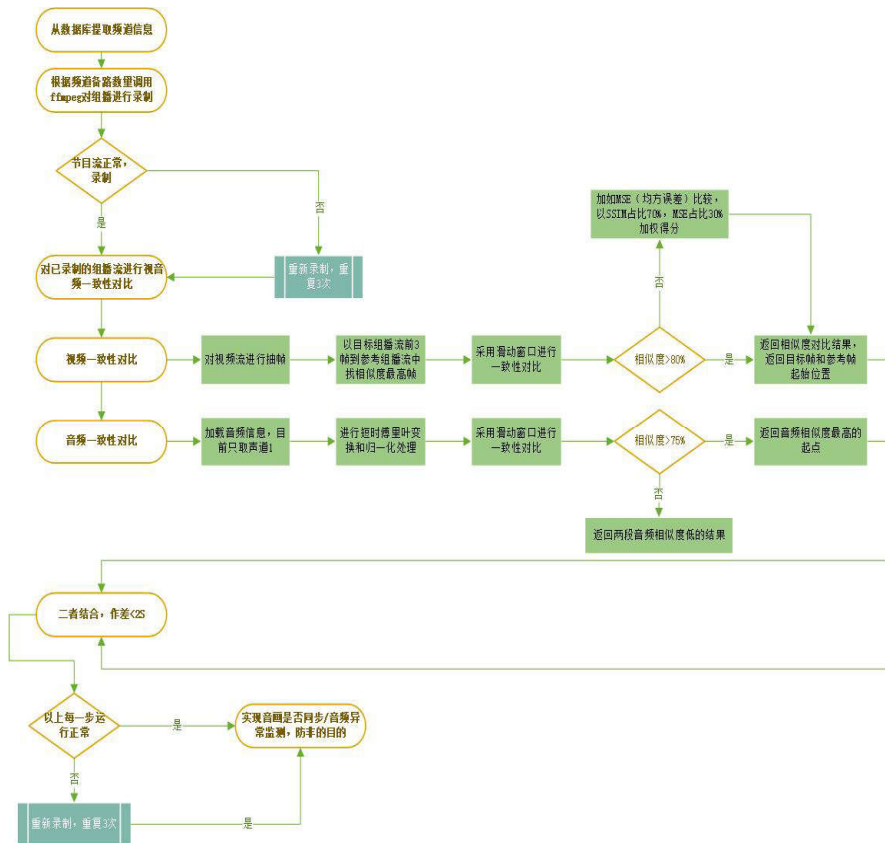


图1 模块化设计总体流程

数据提取阶段：基于全量频道数据库，系统对各频道对应的主路信号源、备1路信号源、备2路信号源、备3路信号源及输出信号源的组播信息逐频道提取。该数据库内置日志记录机制，能够实时捕获并记录频道信息提取环节中出现的异常事件，确保数据来源可追溯。

信号录制阶段：根据频道备路数量，动态调用FFmpeg工具对主备路信号进行差异化录制：主路信号录制时长为30秒，备路信号（备1、备2、备3）录制时长均为15秒。差异化录制的设计目的是确保主路信号覆盖备路信号的时间范围，为后续视音频一致性对比提供充足的数据基础，避免因时间范围不重叠导致的对比误差。

视音频分析阶段：对录制完成的组播流进行预处理与特征提取。（一）视频分析：采用定时抽帧策略，每秒抽取1帧（默认视频帧率为25帧，即每25帧抽取1帧），将视频流转换为连续的图像帧序列，以列表形式保存。（二）音频分析：加载音频信号（取1声道，或取AAC音频对应的声道，可根据需求扩展），通过短时傅里叶变换（STFT）将时域音频信号转换为频域频谱特征，并进行归一化处理，消除信号强度差异对后续对比的影响。

一致性对比阶段：以向外输出的组播流为主路信号，即“参考信号源”，各备路信号为“目标信号源”，目

标信号源分别与参考信号源进行视频、音频一致性对比。

（一）视频对比：通过结构相似性指数（SSIM）计算目标帧与参考帧的相似度，结合均方误差（MSE）进行加权评分，判断视频画面一致性。（二）音频对比：基于归一化后的音频频谱特征，采用滑动窗口法对比目标音频与参考音频的匹配度，确定音频信号的一致性；记录目标音频在参考音频的起点，从而为视音频一致性对比提供参考。

结果判定阶段：综合视频与音频一致性对比结果，完成以下判定。（一）若视频相似度低于50%（整体相似度低于10%时直接反馈）或音频相似度低于75%，判定为信号异常；（二）结合视频与音频的时间对齐结果，计算音画同步偏差值，若偏差值大于2s，判定为音画不同步；（三）若连续3次录制对比均判定为异常，对异常信号进行片段保存，触发音频告警，同时调用异常组播流，将其集中播放出来。

### 3 系统核心算法实现

组播流提取技术：自动提取各信号源的组播地址、端口号等参数，无需人工手动输入，实现全量频道信号的自动接入。

差异化录制策略：考虑到主路信号需作为备路信号

的参考基准,系统采用“主路30秒+备路15秒”的差异化录制时长。

视频一致性对比算法:视频对比采用“快速查找+精确对比”的两阶段策略,结合结构相似性指数SSIM与均方误差MSE加权评分,平衡对比速度与准确性<sup>[3]</sup>。

快速查找:将图像帧转换为128×128分辨率的灰度图,计算SSIM值,快速定位目标帧在参考帧中的大致匹配位置。

精确对比:在快速查找确定的位置附近,将图像帧转换为256×256分辨率的灰度图,重新计算SSIM值,并引入MSE指标,以SSIM占比70%、MSE占比30%的权重计算加权得分。若加权得分>设定阈值(80%),判定为视频帧一致;否则判定为不一致。

音频一致性对比算法:音频对比基于短时傅里叶变换(STFT)实现,核心步骤包括:(一)频谱转换,通过STFT将时域音频信号分解为不同频率的频谱成分,获取音频的频域特征。(二)归一化处理,对频谱特征进行归一化,核心目的是消除信号强度差异对最终音频对比结果产生的影响,保证对比的客观性。(三)滑动窗口对比,采用滑动窗口法(窗口阈值设为3),对比目标音频与参考音频的频谱匹配度,返回相似度最高的起始位置。若相似度>设定阈值(70%),判定为音频一致;否则判定为不一致。

#### 音画同步判断技术

音画同步判断以视频与音频的时间对齐结果为基础:通过视频对比确定目标视频在参考视频中的起始位置,结合音频对比确定目标音频在参考音频中的起始位置,计算两者的时间偏差值。若偏差值<设定阈值(2秒),判定为音画同步;否则判定为音画不同步,触发异常告警<sup>[4]</sup>。

### 4 系统测试与成果验证

4.1 测试方案:采用“功能性测试+实际场景测试”相结合的方式。

功能性测试:验证系统的组播信息提取、信号录制、视音频对比、异常告警等功能是否正常运行。

实际场景测试:接入现网环境,以测试系统检测准确率;并对正常运行的频道开展持续监控,以此验证系统运行稳定性,保障测试环境与实际应用场景效果一致。

#### 4.2 测试成果与分析

测试成果:在持续的实际场景测试中,系统成功检测出多起信号源异常问题,具体案例如下:

某频道各路信号源异常,检测到《XX高清》等多路频道的各路信号与主路信号视音频相似度低,判定为异常。运维人员核实后发现告警频道某各路信号源异常,

及时反馈及时处理。

某频道延时异常,检测到《XX标清》频道因转码设备延时问题,各路信号对比主路高延时,超出系统对比时间范围(主路30秒覆盖备路15秒),导致对比失败,后续通过重启转码器解决延时问题。

画面格式异常,检测到《XX》频道主路信号视频画面顶部、底部存在黑边,导致主备路帧对比时SSIM值偏低(45%),判定为异常;《XX》频道主路信号分辨率为704×576,各路信号分辨率为720×576,分辨率差异导致视频相似度仅38%,判定为异常,后续通过统一分辨率参数解决。

#### 4.3 测试结论

有效性:系统可有效检测非法信号插播、音频异常、音画不同步等问题,在实际场景中成功定位多起故障,验证了其在广播电视行业直播频道防非检测与故障排查中的实用价值。

稳定性:系统在大规模频道监控中运行稳定,满足广电生业要求的7×24小时不间断运行的需求。

#### 结语

广播电视视音频一致性对比系统通过自动化技术手段,解决了传统人工监控在大规模频道运维中的短板,实现了主备路信号源视音频一致性的实时监测、异常告警与故障定位。系统融合了SSIM+MSE视频对比算法、STFT音频分析技术,形成了一套完整的监控方案,经测试验证,可有效提升广播电视行业直播频道的播出安全性与运维效率,为广播电视前端播出运维提供了可靠的技术支撑。

尽管系统在实际应用中取得了良好效果,但仍存在对信号延时、格式差异适应性不足等问题。后续通过算法优化、功能扩展与冗余设计,可进一步提升系统的稳定性与适应性,推动广播电视行业自动化监控技术的持续发展。相信随着该系统的正式上线与迭代优化,将为广播电视安全播出保障体系的完善提供重要助力。

#### 参考文献:

- [1]国家广播电视总局.广播电视安全播出管理规定[S].北京:国家广播电视总局,2020.
- [2]张宏科,李正.IPTV技术原理与应用[M].北京:人民邮电出版社,2018:124-138.
- [3]Wang Z, Bovik A C, Sheikh H R, et al. Image quality assessment: from error visibility to structural similarity [J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2004, 13 (4):600-612. (SSIM 算法核心文献)
- [4]Smith J O. Spectral Audio Signal Processing [M]. Stanford: CCRMA, 2011: 201-225. (STFT 音频分析技术原理)