Design of bidirectional signal chain conversion system for 4K news studio

Xiao Chen

Xinjiang Radio and Television Station, Urumqi, Xinjiang, 830000, China

Abstract

With the growing adoption of 4K ultra-high-definition broadcasting systems, the integration and adaptation challenges of traditional HD signals in news production scenarios have become increasingly prominent. This study investigates a unified up-conversion solution for multi-source non-4K signal integration at Xinjiang Broadcasting Corporation's News Studio. It analyzes the signal scheduling architecture and synchronization control logic within the main chain, designs down-conversion pathways and parameter configurations for 4K signals to HD broadcasting systems, and proposes a bidirectional signal conversion framework that meets both program diversity requirements and broadcast compatibility needs. The research findings demonstrate engineering applicability in enhancing format adaptability and signal processing efficiency within existing studio systems.

Keywords

4K studio; bidirectional conversion; HD signal integration; signal processing

4K 新闻演播室信号链双向变换系统设计

陈孝

新疆广播电视台, 中国·新疆 乌鲁木齐 830000

摘要

在4K超高清制播系统逐步普及的背景下,传统高清信号在新闻演播场景中的接入与播出适配问题日益突出。文章研究了新疆广播电视台新闻演播室在多源非4K信号接入情况下的统一上变换方案,分析了主链内部信号调度结构与同步控制逻辑,设计了4K信号向高清播出系统输出的下变换路径与参数配置,提出了满足节目多样性与播出兼容性需求的双向信号变换架构,研究结果对提升现有演播室系统的格式适应能力和信号处理效率具有工程应用价值。

关键词

4K演播室; 双向变换; 高清信号接入; 信号处理

1 引言

在广播电视向4K超高清制播系统过渡的过程中,新闻演播室面临多格式信号融合处理的技术挑战,特别是在4K制播链路中引入来自播出部的高清信号(例如卫星车传输回来的记者实时信号)与HDMI电脑信号时,需对信号格式、分辨率与同步标准进行统一适配。新疆广播电视台当前播出系统仍采用高清标准,要求演播室在输出端将4K主信号下变换为高清信号输出,确保信号格式与播出链路兼容。双向变换系统的构建需涵盖高清信号的接收解码、上变换配置、主链结构部署、信号时钟同步与最终输出下变换机制,保证多信号源融合下的制播稳定性与内容完整性。文章围绕输入适配、链路组织与输出设计展开技术研究,提出可落地的系统设计路径。

【作者简介】陈孝(1986-),男,本科,工程师,从事4k新闻直播演播室和索贝高清新闻制作网的技术支持研究。

2 输入信号适配与统一上变换设计

2.1 记者信号接收链路设计

播出部将卫星接收的外来直播信号以高清格式输出给演播室,通常采用1080i/50规格,经由光纤接口接入信号切换平台。系统前端需配置具备信号识别与自动解码能力的视频处理设备,支持对不同帧结构、时序标准与嵌入音频格式的解析处理。帧率适配模块对隔行或逐行格式进行重建与统一帧率输出,避免在切换台矩阵进行信号调度时出现画面丢帧或延迟积累,确保演播室外来高清信号实时可靠接入至4K处理主链,保障直播过程中的信号稳定性。

2.2 HDMI 电脑信号接入方法

演播室内常规画面调用场景中,主持人操作演示、图文播放等均电脑HDMI信号形式输出,接口板中HDMI转换器,具备多格式HDMI自动识别功能并且上变换后输出为4k视频信号。信号采集过程中通过设备强制输出固定格式,稳定源端输出参数,避免分辨率频繁变动导致图像异

常。HDMI 视频信号经设备编码器模块转换为 4K 格式，进入切换台或分布式处理节点。编码过程采用 H.264 或 HEVC 压缩标准，确保插播画面在主链中保持图像清晰与延迟可控。

2.3 高清信号上变换流程配置

对于 1080p、1080i 等非 4K 输入源，信号进入主链前必须进行分辨率和色彩空间的转换处理，常用方式为配置 UHD 视频上变换处理器或集成式信号处理平台^[1]。处理模块具备多格式解码、分辨率拉伸、帧重建与色域扩展功能，以满足 4K UHD 信号格式要求。帧率处理环节需进行时间基准重采样，将 50Hz 或 25Hz 输入转换为系统主控要求的 50Hz 帧率，保证时基统一。图像上变换过程采用硬件抗锯齿滤波、边缘锐化与动态色彩重构算法，提升画面细节层次感。封装输出采用 12G-SDI，按系统链路设计完成数据格式封装，形成演播室信号标准化接入的稳定方案。

在高清信号接入 4K 主链前的处理过程中，输入信号为 1080i 或 1080p 格式的高清信号在进入 4K 主链前，经由

SDI 或 HDMI 接口采集后送入上变换处理器，处理器内部将信号分别进行分辨率提升、帧率转换与色彩映射三项核心变换操作后，在保持帧结构稳定的前提下完成画面规格与色域标准的统一标准化的上变换处理流程。

3 4K 演播系统内部信号处理结构

3.1 主链结构组网方式

演播系统内部信号链采用 SDI 为主传输架构，所有信号在接入上变换单元后统一封装为 4K 12G-SDI 信号，并接入切换台和矩阵主控平台^[2]。矩阵系统具备多路并行处理能力，按节目生产逻辑配置路由路径，建立从信号源到切换台、包装系统、监看系统再至输出处理器的闭环链路结构。视频数据传输主干仍依赖 SDI 物理链路以保证传输时延与时基准确性。系统各节点需配置统一格式转换器、时间码对齐模块及冗余分支链路，确保信号在主链中按设定逻辑精准流转。主链关键节点设备连接形式、信号类型、输入输出端口数量及接口标准见下表 1。

表 1：主链信号节点设备连接参数表

设备名称	接口类型	输入路数	输出路数	信号制式
UHD 切换台	12G-SDI	24	12	2160p50
图文包装工作站	12G-SDI	4	2	2160p50
视频服务器	12G-SDI	1	1	2160p50
信号矩阵主控	12G-SDI 3G-SDI	64	64	2160p50
多画面监看系统	12G-SDI	24	5	2160p50
输出编码模块	12G-SDI	2	1	1080p50

系统中采用 12G-SDI 为主要传输接口，图文包装节点为 12G 四线配置，满足 2160p50 信号的多路处理需求；信号矩阵主控为整个系统核心枢纽，具备高密度输入输出能力；监看系统为混编架构，处理分辨率控制为 1080p 和 2160p，避免主链资源消耗过大。

3.2 素材编排流程控制机制

节目制作过程中，多源信号在进入 4K 主链后，导播需按照节目脚本和时间线进行统一调度，包括记者连线、现场画面、主持人画面、远程电脑画面及字幕图文包装等。依据预设逻辑调配输入顺序，支持画面合成、音视频对应、素材延时控制等操作。各素材经包装节点完成特效叠加后进入切换系统，在不同节目环节中执行交替切换、窗口分割与虚拟图层合成。调度系统支持动态素材指令预加载，完成画面调用、视角切换与通道并发输出，确保节目输出结构统一。

3.3 时钟统一与同步执行策略

信号链中所有源设备与处理单元需严格保持时间对齐状态，防止帧错位、音画脱节及编码卡顿等问题。系统采用播出部给出的主控黑场同步信号接入演播室机房同步信号发生器作为统一时基源，输出三电平同步信号或复合同步信号引导各节点时钟锁定。SDI 链路中所有 4K 信号通道需配

置帧同步器或延迟补偿模块。音频部分采用 AES 嵌入时间码统一音频延迟，保持与视频帧头一致，避免音频先行或滞后。监看与录制系统与主控切换台设定参考时间链路，确保画面回显、节目预监与记录输出的帧级一致性，满足 4K UHD 节目生产链路对时间准确性的刚性要求。

4 演播室输出信号的下变换方案设计

4.1 4K 信号下变换执行路径

节目输出信号在经过全部 4K 处理流程后，需送入专用的高清视频下变换模块，以满足播出部当前 1080i/50 或 1080p/25 的接收制式要求^[3]。主输出信号从切换台或视频矩阵应急 2*1 输出口引出，通过进入具备多格式降采样能力的 UHD → HD 转换单元，进行分辨率缩减、帧格式转换与信号制式再封装处理。模块内部采用多级缩放滤波与色度重新采样结构，逐帧完成从 2160p 至 1080p 的清晰度降解，同时保证帧率与扫描结构符合高清标准。信号处理路径设置为主备双通道结构，转换后的主备高清视频信号进入视频延时器后，主备信号同时通道输出给播出部，用于直播信号主备应急机制。

为保证信号链兼容性，下变换单元支持 SDI 双格式输

出,可在 1080i 和 1080p 之间切换,满足播出链路差异化要求。系统下变换路径中设置多路测试点,配合波形监视仪与色度示波器完成亮度幅值、边缘平滑度与颜色映射误差测定,以便对输出信号参数进行实时微调。下表 2 为各环节输出信号

的参数配置汇总。

下变换模块可提供两种输出路径,分别适配 1080i 隔行制式与 1080p 逐行制式,接口标准统一为 HD-SDI 便于与播出链对接,帧率保持在主系统标准以确保时序一致性。

表 2: 4K 信号下变换输出参数配置表

环节名称	分辨率	帧率	扫描方式	接口标准
演播系统输出	3840×2160	50Hz	逐行	12G-SDI
下变换模块输入	3840×2160	50Hz	逐行	12G-SDI
下变换模块输出 A	1920×1080	50Hz	隔行	HD-SDI
下变换模块输出 B	1920×1080	50Hz	隔行	HD-SDI

4.2 视频画面质量保持机制

高清下变换过程中需对图像滤波器进行监看,防止在降分辨率阶段出现边缘锯齿、纹理模糊或细节丢失等问题。下变换设备中需要控制好图像边界过渡区域的亮度与色彩重建过程的参数。图像主处理通道输出前增加帧级图像质量监测模块,针对边缘对比度、动态范围与色彩过渡参数进行帧间分析,确保清晰度、还原度保持在可控范围。

色彩空间压缩映射过程中,需保持主色调与次色调在标准色域内的分布均衡,避免出现肤色偏差与亮色泛白等问题,保证视觉观感接近原始信号风格,满足在不同节目内容下的统一视觉输出需求。

4.3 播出信号输出标准配置

输出信号在完成下变换处理后,需严格匹配播出部信号标准接口参数,主输出通道统一采用 HD-SDI 接口标准。音视频封装格式采用嵌入式结构,音频通道嵌入在视频数据流中,配合视频帧头同步输出。音频采用 PCM 编码,并配置音量均衡模块以适应播出链中音频电平需求。视频编码标准具体依据播出系统的接收解码能力进行设定。

5 结论

双向变换系统在 4K 新闻演播室中实现了非 4K 信号的标准化接入与主链处理,通过演播室外来高清信号链路、HDMI 画面采集模块与上变换处理结构构建了完整输入通道,系统内部采用传统 SDI 信号路径,统一帧率与色域规范,完成了节目素材在 4K 链内的时序协同处理,输出部分部署下变换模块,满足播出部 1080i/1080p 接口要求。整体设计支撑了 4K 链路稳定运行与高清播出兼容,具备面向更高标准制播系统的拓展能力。

参考文献

- [1] 李强.内蒙古广播电视台4K超高清沉浸式智能超融合新闻演播室舞美制景及配套区域改造建设[J].数字传媒研究,2024,41(12):13-17.
- [2] 林飞鹏.4K超高清新闻演播室创新设计与实践[J].电视技术,2024,48(09):60-64.
- [3] 王琨,李上,王虎,等.4K超高清全媒体新闻演播室项目介绍[J].电视技术,2023,47(05):17-21.