

文章编号: 1674—8247(2023)03—0055—05

DOI:10.12098/j.issn.1674-8247.2023.03.011

乘客信息系统视频直播软硬件一体化设计研究

杨岗¹ 乔羽² 舒军¹ 董松¹ 聂守帅²

(1. 中铁二院工程集团有限责任公司, 成都 610031;

2. 青岛海信网络科技股份有限公司, 山东 青岛 266071)

摘要: 乘客信息系统(简称 PIS)通常需要接入广播电视中心的 SDI 信号,经中心专用的直播系统转换成 IP 网络流转发到车站和列车进行解码播放。当前,针对 PIS 系统存在专业化程度较高,故障节点多,进口设备需求适应性差,对维保人员要求较高等痛点,迫切需要研发一套国产化的视频直播系统,以满足更高的视频播出品质及降低维保技术门槛,加快产业推广。本文针对中心专用的直播系统进行了软硬件一体化设计,将多个专用设备和业务功能通过软硬件一体化设计的方式集成为一个设备,物理上减少了 80% 的故障节点,逻辑上实现了直播补包、节目单推流、双机冗余、通道冗余等多项功能,并实现了产业化应用,取得了良好的应用效果。

关键词: 视频服务器;直播系统;软硬件一体化;乘客信息系统

中图分类号: U270.38

文献标识码: A

Research on Software and Hardware Integration Design of Passenger Information System Video Live Broadcast

YANG Gang¹ QIAO Yu² SHU Jun¹ DONG Song¹ NIE Shoushuai²

(1. China Railway Eryuan Engineering Group Co., Ltd., Chengdu 610031, China;

2. Qingdao Hisense Trans-Tech Co., Ltd., Qingdao 266071, China)

Abstract: The passenger information system (PIS) usually needs to connect to the SDI signal of the broadcasting and television center, which is converted into an IP network stream through the dedicated live broadcast system of the center and forwarded to the station and train for decoding and playback. At present, in view of the high degree of specialization, many fault nodes, poor adaptability to imported equipment of the PIS system, and higher requirements for maintenance personnel, there is an urgent need to develop a domestically produced video live streaming system that adapts to high-quality broadcasting, thus reducing the technical threshold of maintenance, and speeding up industrial promotion. This paper focuses on the integrated design of software and hardware for the dedicated live streaming system in the center, integrating multiple dedicated devices and business functions into one through a software and hardware integration approach, which physically reduces 80% of failure nodes and logically achieves multiple functions as live streaming compensation, program stream push, dual machine redundancy, and channel redundancy, and thus realizing industrial applications, and delivering good application results.

Key words: video server; live broadcast system; software and hardware integration; passenger information system

收稿日期:2023-05-04

作者简介:杨岗(1964-),男,教授级高级工程师。

引文格式:杨岗,乔羽,舒军,等.乘客信息系统视频直播软硬件一体化设计研究[J].高速铁路技术,2023,14(3):55-59.

YANG Gang, QIAO Yu, SHU Jun, et al. Research on Software and Hardware Integration Design of Passenger Information System Video Live Broadcast [J]. High Speed Railway Technology, 2023, 14(3):55-59.

乘客信息系统(简称 PIS)基于各类显示终端为乘客提供多媒体资讯服务,视频直播是其中最重要的业务之一,通常需要控制中心的有线电视解码器、音视频切换矩阵、高标清变换器、直播数字编码器、视频流服务器等设备共同配合实现广播电视信号的接入和转发,其专业化程度较高、故障节点多、对维保人员要求较高。本文从乘客信息系统的实际应用场景出发,结合车地无线视频补包、节目单自动编排推流、视频通道冗余等重要业务需求,提出了软硬件一体化的设计方案,旨在推动国产视频直播系统的产业化应用。

1 传统直播系统

1.1 传统直播系统概况

广播电视通常接入 SDI(Serial Digital Interface)信号,通过同轴电缆传输,其接口类型是 BNC(Bayonet Nut Connector),视频分辨率为 1080p。广播电视信号需专用调制解调器进行解码后将 SDI 信号接入音视频矩阵,矩阵分出 2 路信号,一路输出给直播数字编码器(车站用),另一路输出给高标清变换器,由高标清变换器将 1080p 转换成 720p(受车地带宽影响,一般列车播放的视频分辨率是 720p),再输出给直播数字编码器,由直播数字编码器编码 TS(Transport Stream)视频流推送到网络组播^[1]地址中。车站和列车的播控器从 2 个不通的组播地址中获取 TS 流进行解码播放。传统直播系统如图 1 所示。

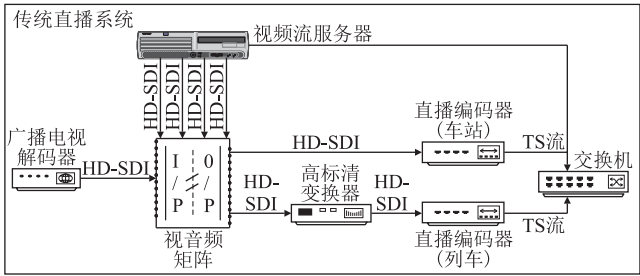


图 1 传统直播系统图

1.2 传统直播系统现状分析

目前,视频流服务器通常从国外进口,对国内需求的适应性较差,存在视频格式限制、功能单一等缺陷^[2],还需配合非线性编辑工作站进行视频素材的编辑及传输,对维护人员的技术要求较高。视频流服务器通常安装在机房中,如何在编播室或网管室远程操作,如何将视频服务器通过节目单关联起来,纳入到 PIS 软件系统中统一管理^[3],也是当前面临的重要问题。当广播电视直播信号中断时,需要 PIS 系统自动监测广播电视信号的状态,异常中断时自动切换成本

地素材推送视频流,确保直播系统稳定性。此外,中心的视频直播系统一旦故障将导致全线没有直播信号,因此迫切需要实现视频直播系统的冗余功能。

与此同时,传统直播系统的设备构成复杂、设备节点多、传输路径长,进而导致故障点多,专业化程度较高,运营维保存在较大难度。由于受到车地无线网络不稳定因素的影响,在中心视频流传输到列车过程中会产生网络丢包导致列车播控器播放时出现“马赛克”、画面抖动等现象,目前随着新建线路 WiFi6 无线技术^[4]的应用,传输速率和带宽均大幅提高,但列车高速运行时需要在各个无线 AP(Access Point)网络中切换,依然存在一定概率的网络丢包导致列车播放直播出现“马赛克”、抖动等情况,因此在应用层面实现丢包数据的重传^[5]依然十分重要,但传统直播系统功能单一,仅能进行直播推流,不支持应用扩展。目前各系统集成商仅能额外开发车地补包程序,又因各集成商使用协议不统一导致行业标准化程度低。此外,使用本地素材文件推送直播流时,通常是多个素材文件进行串联播放,如何实现多个素材文件按运营方所需的节目编排规则进行推流(如多个文件按顺序推送直播流后自动从头循环推流、临时插入视频文件重新排序等),也是替代人工操作、提高效率的迫切需求。

1.3 传统直播系统改进方案

改进后的直播系统设备应充分利用服务器硬件资源,依据 PIS 系统的需求进行直播全功能设计,支持远程网管、节目编排推流、信号自动诊断、故障模式切换以及直播补包功能。采用图形化操作界面,支持远程操作和状态监视,纳入到 PIS 系统中统一管理,降低维保技术门槛。采用开放的、标准化的协议,形成行业的标准解决方案,推动产业化应用。同时整合各专业设备的功能,减少设备故障点,支持整机冗余及通道冗余^[6],提高直播系统整体可靠性。

2 软硬件一体化设计方案

针对传统直播系统的问题及改进方案的思考,本文提出通过软硬件一体化设计,将多个专用设备和业务功能集成为一个设备的解决思路。

2.1 软硬件一体化设计的必要性

传统方案下,各专业设备功能单一、需要多个设备配套使用才能完成视频直播功能,故障节点多。同时视频服务器造价高,但未能结合 PIS 实际应用需求进行全功能设计,造成服务器硬件资源浪费。软硬件一体化设计后,能够有效减少设备故障节点,有效利用硬件设备资源,采用标准化的输入输出方式,更有

利于产业推广。

2.2 总体设计

硬件方面,视频服务器采用一体化设计,集音视频矩阵、高标清变换器、直播编码器、视频流服务器功能于一体,用软件编码方式代替直播编码器和标清变换器的功能,用多进程方式替代音视频矩阵的一分多及切换功能,将原来5个设备配合完成的功能全部由1台设备实现,减少80%的故障节点。一体化视频服务器架构如图2所示。



图2 一体化系统图

功能方面,具备双通道输入、多通道输出、通道冗余、整机冗余、节目单推流、远程网管、视频补包等功能。

维护性方面,视频服务器仅需插入网线和接入电视SDI信号线缆,节省了原多个设备配合调试的时间,无需专业维护人员。视频服务器支持接入PIS系统,统一由PIS系统远程网管、远程发送节目单和素材,并支持状态回传。软件操作全部提供可视化界面,操作便捷,一体化系统设计如图3所示。

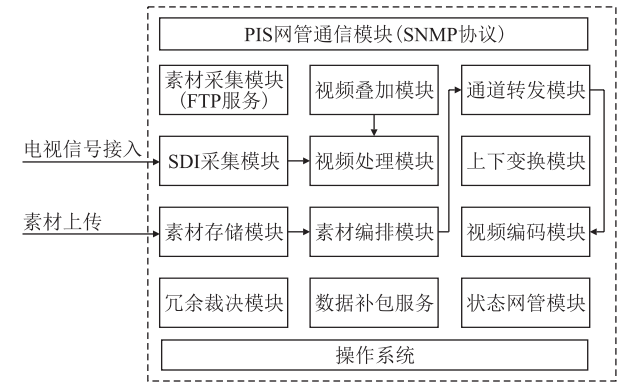


图3 一体化系统设计框图

兼容性方面,支持标准的RTP/RTCP(Realtime Transport Protocol,参照RFC3550标准)协议,支持视频补包功能。

2.3 硬件设计

采用3U全铝型材机箱,具备良好的导热和电磁屏蔽性能,支持塔式和机架式安装方式。

配置1+1冗余热插拔电源和风扇,配置32G内存,两颗Xeon E5-2680 V4处理器(具备35M缓存、14核心、28线程的处理能力),硬盘采用可插拔设计,

默认配置1T固态硬盘,可扩展至10T,支持接入磁盘阵列。

配置2张DVP7611HE型号的SDI高清数据采集卡,支持双通道数据采集。

2.4 软件设计

2.4.1 功能

(1)软件支持2通道SDI输入和本地素材输入,本地素材输入视频格式包括mpeg1、mpeg2、mpeg4、h264、RealVideo、WMV、xvid;输入音频格式包括mpeg layer 1/2/3、AC3/A52、WMA。

(2)支持6通道TS视频流输出,视频编码采用软编码实现,输出协议格式为RTP(参照RFC3550标准)。

(3)输出视频格式包括mpeg2、mpeg4、h264,输出音频格式包括mpeg layer 1/2/3、AC3/A52;

(4)输出视频可叠加文字,可设置字体、透明度、颜色、位置,输出可叠加图片,并可设置图片的位置及透明度等信息。

(5)支持输入通道冗余,当其中一路通道无信号时,自动切换至另一路输入通道,当两路通道均没有信号时,以本地素材作为输入源。

(6)支持双机冗余和输出通道冗余,当整机故障或者有一路输出通道故障时,系统自动切换为备用通道。

(7)以本地素材作为输入源的情况下,支持节目单自动编排推流、支持在PIS系统中监视推流状态、支持插入节目素材后自动排序及循环输出功能。

(8)支持基于RTP/RTCP协议的数据补包服务,每个播放终端在检测到数据丢包后,根据协议格式向视频服务器发送标准的补包请求来获取补包数据。

(9)支持远程网管和自动清理能力,可以在PIS系统中监视视频服务器的硬盘、内存、CPU、关键进程状态等,支持过期素材、日志及节目单的自动清理。

2.4.2 冗余设计

单视频服务器运行时,冗余输入输出逻辑如下:

(1)默认设置1路输入通道为主,实时监测输入通道信号,若无信号输入则切换另一路输入通道,若依然无信号则启用本地节目单推流。在双机冗余模式下,输入通道无信号时,则优先切换备用视频服务器,若备用视频服务器的输入通道异常,则启用本地节目单推流。

(2)每一路输出通道单独设置1个推流进程和1个备用推流进程,推流进程周期性向视频编码模块^[7]汇报状态,当视频编码模块监测到通道推流进程异常则

关闭当前异常的推流进程、激活备用的推流进程输出视频流,若输出进程持续异常,则重新开辟新的主备推流进程。

双视频服务器冗余运行时,冗余输入输出逻辑如下:

- (1)默认设置1台视频服务器为主,2台视频服务器周期性发送心跳包^[8],当检测到对机心跳超时,主动 ping(Packet Internet Groper,是一种因特网包探索器)第三方裁决节点(比如中心的核心交换机),若 ping 通,说明本机和网络正常、对机离线,则本机升级为主,主动对外提供服务。若 ping 不通,则说明本机和网络异常,则本机降级为备,不对外提供服务。
- (2)当视频服务器异常恢复后,若本机为默认主,则为了不影响运营期间视频流稳定性,默认夜间2点钟通知对机降级为备,本机升级为主。若本机为默认备,则重新上线后,不对外提供服务。

视频服务器支持双线路整机及通道级冗余,每台视频服务设置输入通道冗余以及双线路四通道输出冗余,确保直播系统可靠,如图4所示。

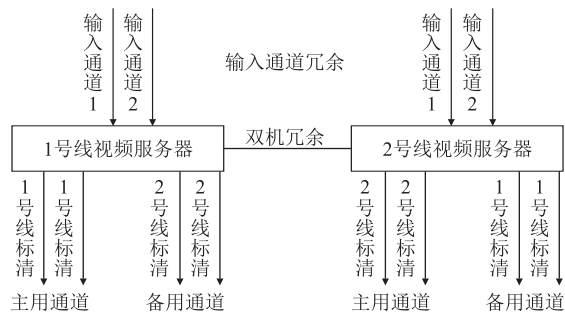


图4 双线路冗余设计图

2.4.3 节目编排设计

在 PIS 系统的节目制作软件中统一编辑节目单,支持顺序、定时、时间段、循环播放等模式,通过 FTP (File Transfer Protocol) 协议将节目单和相关联的素材文件发送到视频服务器中。

视频服务器接收到节目单后,解析节目单内容,并按照既定的编排规则将素材文件按文件播放顺序和时长进行排序。

视频服务器依据节目单推送视频流时,向 PIS 系统汇报每个素材的推流状态,以便于在 PIS 系统中能够远程监视视频推流状态、形成视频推流报告(在运营方投放广告时,该功能可支撑广告费用的统计结算)^[9]。

PIS 系统可以随时改变视频服务器中的节目单,调整节目顺序,视频服务器根据每个素材的文件属性

(播放时长)自动排序。

2.4.4 数据补包设计

视频服务器中设置补包服务端程序,基于标准 RTP/RTCP 协议开发,便于后续车站与列车统一按照标准协议接入,主要交互过程如图5所示。

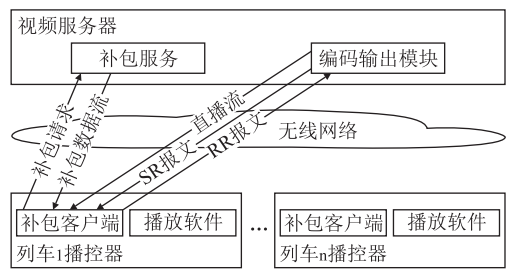


图5 视频补包流程图

补包服务端和补包客户端均需建立指定时长的延时缓存,均以 RTP 数据包内自带的序列号作为索引。缓存为环形队列,最大缓存大小为 65 536(这是 RTP 数据包中序列号能产生的最大值),在补包服务端和补包客户端分别建立 65 536 个存储单元,每个新的 RTP 包直接存入以 RTP 序列号为索引的存储单元,并覆盖旧的 RTP 包,这样以序列号为索引进行查找、读取、增删就成了常量级操作。

补包客户端周期性的检查缓存,若发现缺失的 RTP 序列号,为节省带宽,批量压缩后再向补包服务端软件模块发出 UDP (User Datagram Protocol) 单播形式的补包请求,报文格式为 NACK 格式(Negative Acknowledgements),1 个 NACK 报文^[10]可以携带 17 个 RTP 序列号,因此具有压缩的功能,节省网络流量。

补包服务端接收到补包请求后,解压缩出需要补包的 RTP 序列号,对解压后的每个 RTP 序列号进行请求裁决,如果最近一段时间(可调整,通常设置为 2 s)已经被相同的客户端请求过,则忽略该请求,这种机制称之为冷却。冷却机制是为了避免重复补包会额外消耗掉主干网资源和不稳定网络的资源。导致重复补包的原因有两种情况,一是 UDP 传输层协议本身可能重复发送补包请求数据包;二是网络高延迟会导致补包数据迟到,从而造成补包客户端误判为补包失败,重新发送补包请求。

补包服务端对客户端按每个不稳定网络中的客户端进行分组(每辆列车为 1 个分组,每个分组就是 1 个网络),按分组分配资源来处理补包请求,分组之间的请求处理采用资源公平调度^[11]策略,让每个分组平等的使用补包资源。每个分组单独设立 1 个存在最大令牌数限制的令牌桶,每指定等间隔时间内自动

产生指定数量的令牌,直至达到最大的令牌数限制,而每个分组的每一次补包,都要消耗1个自己令牌桶中的令牌,若桶中无令牌,则需等待新的令牌的产生。令牌桶机制对每个分组发送补包数据的速度进行限制,这样主干网的资源能够平均分配,避免了某个分组挤占服务资源。

根据 RTCP 协议(Real-Time Control Protocol,参照 RFC3550 标准),视频编码输出模块每隔 5 s 钟向客户端发送 1 次 SR(Sender Report RTCP Packet)报文,为了防止占用过多的网络资源,所以需要限制 RTCP 信息包的流量,控制信息所占带宽一般不超过可用带宽的 5%,应用程序根据发送 SR 报文的客户端总数就可以调整 RTCP 包的发送速率。客户端收到后需要回应 RR(Receiver Report RTCP Packet)报文来反馈状态统计信息。RTCP 报文的作用主要有如下几点:(1)客户端可以根据 SR 报文的相对时间戳进行时间零点的周期性校正;(2)客户端根据 SR 报文的同步源标识确定视频源是否发生变化,若变化,则需要清空环形存储缓存;(3)服务端依据 RR 反馈的统计数据来调整编码策略及拥塞控制。

3 结束语

本文从硬件和软件设计两个方面分析了一体化视频服务器的设计思路,并结合 PIS 系统的实际业务进行了全功能化及标准化设计,打破了专用设备的壁垒,降低了维护门槛,对推动国产视频直播系统的发展及产业化具有重大意义,并实现了产业化推广应用。

参考文献:

- [1] 邵淇锋,焦雷,沈琦. 浅谈 IP 实时直播流中心系统设计[J]. 中国有线电视, 2017(12): 1403 - 1406.
SHAO Qifeng, JIAO Lei, SHEN Qi. Design of IP Live Streaming System[J]. China Digital Cable TV, 2017(12): 1403 - 1406.
- [2] 郑翔,邱黎. 流媒体技术在地铁电视中的应用[J]. 电视技术, 2015, 39(16): 29 - 32.
ZHENG Xiang, QIU Li. Research on Application of Streaming Media Technology in Metro TV[J]. Video Engineering, 2015, 39(16): 29 - 32.
- [3] 于孝安,杜呈欣,刘栋,等. 地铁乘客信息系统视频流服务器应用

方案研究[J]. 铁路计算机应用, 2017, 26(2): 39 - 42, 53.

- YU Xiaon, DU Chengxin, LIU Dong, et al. Application Solution of Video Streaming Server for Metro Passenger Information System[J]. Railway Computer Application, 2017, 26(2): 39 - 42, 53.
- [4] 陈昶,虞凯,段永奇. 铁路客站无线通信系统发展现状及展望[J]. 高速铁路技术, 2021, 12(3): 19 - 23, 46.
CHEN Yi, YU Kai, DUAN Yongqi. Development Status and Prospect of Wireless Communication System in Railway Passenger Stations[J]. High Speed Railway Technology, 2021, 12(3): 19 - 23, 46.
- [5] 亚信科技控股有限公司. 中国实时音视频行业研究报告[R]. 北京: 亚信科技控股有限公司, 2022.
Asiainfo Technologies Limited. Research Report on China's Real Time Audio and Video Industry [R]. Beijing: Asiainfo Technologies Limited, 2022.
- [6] 季奕军. 浅谈播出系统视频服务器的控制模式[J]. 现代电视技术, 2022(1): 144 - 147.
JI Yijun. Discussion on the Control Mode of Video Server in Broadcast System[J]. Advanced Television Engineering, 2022(1): 144 - 147.
- [7] 曾永安,康韦晓,单亚飞,等. 基于 Hi3531A 芯片和流媒体服务器的视频监控系统[J]. 无线电通信技术, 2018, 44(2): 207 - 210.
ZENG Yongan, KANG Weixiao, SHAN Yafei, et al. Video Surveillance System Based on Hi3531A and Streaming Media Server[J]. Radio Communications Technology, 2018, 44(2): 207 - 210.
- [8] 王丹华. 播出视频服务器网络升级改造实践[J]. 广播与电视技术, 2018, 45(6): 71 - 76.
WANG Danhua. Transformation of Video Broadcasting Server Network[J]. Radio & TV Broadcast Engineering, 2018, 45(6): 71 - 76.
- [9] 李玮琪,杨家田,孙强. 基于 IPv6 的铁路多媒体调度通信系统方案研究[J]. 铁路通信信号工程技术, 2022, 19(9): 26 - 32.
LI Weiqi, YANG Jiatian, SUN Qiang. Research on Application Scheme of IPv6 in Railway Multimedia Dispatching Communication System[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2022, 19(9): 26 - 32.
- [10] The Internet Society. RFC4585. Extended RTP Profile for Real-time Transport Control Protocol (RTCP)-Based Feedback (RTP/AVPF) [S].
- [11] 彭冬阳,王睿,胡谷雨,等. 视频缓存策略中 QoE 和能量效率的公平联合优化[J]. 计算机科学, 2022, 49(4): 312 - 320.
PENG Dongyang, WANG Rui, HU Guyu, et al. Fair Joint Optimization of QoE and Energy Efficiency in Caching Strategy for Videos[J]. Computer Science, 2022, 49(4): 312 - 320.