

数字电视前端系统集成架构设计与实施分析

陈轶

华数传媒网络有限公司, 浙江杭州, 310000;

摘要: 依靠构建模块化的集成架构, 对数字电视前端系统的接收、处理、调制、复用及传输各环节展开设计, 采用具备高度兼容性的接口与标准化协议, 达成多信源及多业务类型的高效合并与统一统筹, 系统可实现 IP 化演进支持, 提升信号输送效率与网络适配本领, 拥有出色的扩展性与可维护性, 集成方案对系统稳定性及故障容错能力予以优化, 为超高清电视业务以及智能化广播服务筑牢可靠根基, 符合广电网络未来发展的诉求。

关键词: 数字电视前端; 集成架构; 模块化设计; 多信源整合; 系统容错

DOI: 10.64216/3080-1508.25.04.055

引言

伴着广播电视技术的持续变迁, 用户针对高清、多样化、智能化内容的需求持续走高, 促使数字电视系统朝着高集成、高效率的方向迈进, 作为信号接收及处理核心环节的前端系统, 其架构设计直接左右着整体传输质量与服务能力, 怎样打造一套可靠灵活、方便扩展的集成架构, 成为实现智慧广电转变升级的紧要技术课题, 急需对系统功能划分与技术实现层面进行深度探讨优化。

1 数字电视前端系统的功能构成与架构需求

1.1 前端系统基本组成

数字电视前端系统身为整个广播传输链的起始点, 肩负接收并处理多种信源信号, 然后输出的重任, 其基本组成一般是由信号接收模块、信号处理模块、编码/复用模块、内容管理与调度模块等组成, 信号接收模块重点完成卫星、有线或地面信号的初步捕获及解调, 使信号源稳定接入成为现实; 信号处理模块承担起对接收到的信号做格式转换、去噪、校正等技术处理的工作, 增强信号质量与后续处理的效率。

编码/复用模块把多路音视频流先压缩编码再逻辑合并, 统一归整为传输流, 实现内容的高效投送; 内容管理与调度模块能实现内容编排、EPG 信息插入、加扰控制及时序管理等功能, 对整个节目流逻辑关系实施系统化把控, 这些模块彼此协同运转, 一起形成一套完整的前端处理链路, 向后端网络的分发系统供给统一又高质量的信号输出。

1.2 设计需求分析

前端系统的集成设计需为未来发展而谋划, 拥有尚

可的系统容量延展水平, 以契合 4K/8K 超高清、虚拟频道、互动点播等新兴业务模式造成的流量激增及并发处理压力, 系统架构宜采用分布式与模块化的设计方案, 可实现节点的扩展以及功能模块的增设, 具备动态资源调遣与按需安排配置的能力, 由此显著提升系统业务承载与处理水平, 应思索带宽资源的合理规划及码流管理办法, 保障在高密度内容传输期间, 数据持续流畅、播放始终稳定。

为保障信号传输稳定、安全特性, 系统应布置多级冗余备份格局, 诸如编码器、调制器、复用器等关键设备实施 1+1 热备配置方案, 结合故障检测机制达成自动切换的效果, 杜绝因单点故障引起服务中断, 在接口设计方面而言, 系统需做到对多种行业通用标准的支持, 诸如 ASI、IP、采用 UDP/RTP 的 TS 等, 提升跟不同厂商设备、上层业务系统的兼容水平与协作效能, 采用引入灵活参数配置与智能内容管理系统之法, 可达成多源输入、多格式输出、多业务融合的高效调度及运营安排, 为广电业务多元化发展构筑坚实支撑体系。

1.3 多信源支持与数据接入方式

数字电视前端系统应具备支撑多类信源输入的能力, 含有卫星信号、有线电视网络、地面数字电视信号以及 IPTV 和 OTT 内容平台, 这些信源的编码标准、传输格式及同步机制存在差异, 系统要采用可灵活实现编程的接收卡与解调器, 适配多制式、多频段的接入途径, 实现接收整合与处理的标准化。

就数据接入途径而言, 系统要构建多路径、冗余模式的数据链路接入样式, 增进信号稳定性及接入安全性, 采用 IP 化接入及分布式部署办法, 能实现远程信源接入以及资源的动态调配, 为内容中心组建和云端集成夯

实根基，随着 IPTV 以及流媒体技术成熟，前端系统应进一步实现网络分发能力的融合，做到传统广播与互联网内容的无缝整合和统一把控。

2 集成架构设计原则与技术实现路径

2.1 模块化与标准化设计原则

集成架构的核心聚焦于模块化，即把数字电视前端系统划分成若干具备独立功能的子系统，诸如信号接收模块、编码模块、复用模块以及内容调度模块，各模块间经标准接口完成数据交互，该结构切实降低了系统的耦合程度，让各模块可独立实现升级、替换或维护任务，增进整体系统的扩展性及灵活性。

实现系统互联互通，离不开标准化这一前提，现阶段主流前端系统普遍采用 ASI (Asynchronous Serial Interface)、IP (Internet Protocol)、SDI (Serial Digital Interface) 等标准的信号接口，而在数据协议方面，采用了 MPEG - 2 TS，保证设备彼此之间的兼容性，借助标准化与模块化的融合，可迅速完成不同厂商设备以及新业务模块的集成工作，增强工程实施的效率。

2.2 信号处理与调制技术策略

在信号处理方面，需开展信号解调、误码改正、音视频解码、码流重新编排等事宜，保证信号质量契合广播级需求，调制方式的选定直接关乎传输效率与抗干扰能力，QAM (Quadrature Amplitude Modulation) 调制方式常被有线数字电视采用，诸如 64QAM、256QAM 等类型，各调制阶数能在带宽利用率与误码性能间实现平衡。

就地面数字电视而言，往往采用 COFDM (Coded Orthogonal Frequency Division Multiplexing) 调制技术，拥有上佳的多径抗干扰本领与频谱效率，可应对复杂的城市传播环境，调制参数设定需配合频率规划做优化，恰当地分配物理频点与虚拟频道编号，实现频道有序性与调度成效，前端系统里还得部署多路复用器，实现多个节目源的时分复用机制，加大频道承载的密度量级，普遍具有复用率在 30Mbps 以上的 TS 流聚合能力。

2.3 冗余备份与系统容错机制

作为公共信息传输的基础设施乃是数字电视，有着对系统稳定性的极高要求，为杜绝单点故障引发的信号中断，前端架构应采用多路径备份设计，好比主备双机热备的方案模式、1+1 链路的保护途径、冗余 IP 路由办

法等，诸如编码器、复用器、调制器之类的关键节点设备，需配置双机热备机制，达成实时数据镜像及无缝的切换，让切换时间控制到毫秒级以内，保证传输维持不间断。

就系统控制的层面而言，要设计集中监控跟故障自我痊愈机制，把 SNMP 协议和 NMS (Network Management System) 平台进行结合，达成故障的自动检测、告警、切换以及日志追溯，依靠容错机制与智能调度系统相互配合，可有力增强系统的可用水平，达到符合 99.999% 的“五星级运行”要求，保证关键广播服务在诸多异常条件下依旧具备突出的稳定性与可靠性。

3 系统集成实施流程与关键技术分析

3.1 集成流程分解

数字电视前端系统集成一般遵循“六步流程”，也就是开展需求调查、开展方案规划、完成设备选定、实施系统集成、进行测试确认以及落实系统上线，需求调研环节需搞清楚系统规模、信源种类、内容分发模式以及未来可扩展性，得出系统功能指标清单表；而后进入方案设计的环节，着手进行逻辑架构、物理拓扑与信号流程的规划设计，确定好接口的标准以及系统边界。

设备选型阶段，着重考量硬件性能的匹配、接口兼容性以及厂商的技术支持能力；在系统集成阶段，将各子系统依照模块进行物理连接及逻辑配置，做好设备上架、布线安排、地址配置及信号流构建等方面工作；测试验证阶段，要对信号稳定性、误码率、切换响应、调度控制等做全面综合测试，而后形成测试报告文档；末尾实施上线部署操作，依托试播运行达成最终切换，之后投身正式业务运营。如图 1 所示。

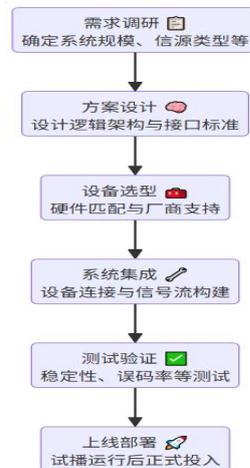


图 1 数字电视前端系统六步集成流程

3.2 协议接口与数据一致性处理

系统集成过程中, TS 流封装这一工作十分关键, 要统一采用 MPEG - 2 TS 格式对音视频流进行封装, 达成音视频同步与时序的契合, 多个频道节目复用进同一条传输流的时候, 应思考 PID 规划以及 SI/PSI 表 (如 PAT/PMT/NIT) 的编制规范内容, 防止发生冲突现象或信号解析差错, 还应精准地把 EPG (电子节目指南) 数据注入复用流里, 实现终端节目信息的充分呈现。

内容安全作为数字电视前端系统的核心构成, 需凭借与 CA (条件接收) 或 DRM (数字版权管理) 系统的有效连通, 实现节目加扰操作与用户端的授权解密密钥, 在实施集成的过程, 往往采用 SIMULCRYPT 标准协议, 达成不同加扰系统跟前端系统的兼容关系。系统得准确地把 EMM (授权管理信息) 和 ECM (授权控制信息) 插入, 且应保证其与节目信号的时序精准匹配, 进而保障终端用户接收的解密信息能完整且有效地呈现, 在多链路冗余部署的场景里, 需格外留意数据状态的一致性, 杜绝因切换时间延迟、信息未同步造成图像黑屏、花屏等现象, 依靠搭建统一的密钥管理机制跟同步策略, 可有效强化系统在复杂广播环境中的稳定性与安全水平。

3.3 网络适配与 IP 化趋势下的部署要点

随着广播电视系统向 IP 化演进, 数字电视前端系统正逐渐从传统的 ASI (异步串行接口) 传输模式向全 IP 架构转变, 该转变既提升了传输的灵活性, 又改善了网络的可管理性, 而且引出了带宽资源分配、QoS 保障等方面新挑战, 实施 IP 化部署需规划合理的交换架构, 采用核心交换设备, 支持千兆或万兆, 实现 VLAN 划分与多播 IGMP 控制的结合, 改善数据流隔离性及传输的效率。

QoS (服务质量) 管理乃保障节目质量的核心手段, 应采用 DiffServ 或端口限速策略, 实行针对不同优先级流量的差异化调度举措, 保障视频流稳定无虞, 还应部署依托 NTP 的时钟同步系统, 保障各设备的时序精准吻合, 防止码流出现断帧与丢包情形, 处于 IP 化环境下, 管理平台也需拥有实时流量监控、设备在线状态图呈现、异常预警与日志追溯这些功能, 增强系统整体可视化运维的实力。

4 性能评估与系统优化方向

4.1 性能评价指标体系建立

为综合考量数字电视前端系统的运行成效, 应设立多维度、可进行量化的性能评价指标体系, 核心指标聚焦于信号质量, 通常以 MER (调制误码率, Modulation Error Ratio) 和 BER (比特误码率, Bit Error Rate) 衡量。要让 MER 值控制在 35dB 以上才行, BER 值得低于 $1E - 9$ 这一界限, 才可以保障图像不存在明显失真, 符合高清及超高清播放规格。

传输延迟、系统切换时间也是关键的参考参数, 就直播类的业务而言, 应把延迟把控在 300ms 以内, 系统做主备链路切换、频道切换等切换时, 时间不超 1 秒, 防止用户体验陷入中断, 反映系统并发能力的是数据吞吐量, 现代系统要支持单通道达到 $\geq 50\text{Mbps}$ 的吞吐水平, 整套系统需支持总吞吐量 $\geq 1\text{Gbps}$, 为满足多频道同步播放的需求。如表 1 所示。

表 1 性能参数推荐值

指标项目	推荐值
MER	$\geq 35\text{ dB}$
BER	$\leq 1 \times 10^{-9}$
系统延迟	$\leq 300\text{ ms}$
切换时间	$\leq 1\text{ 秒}$
数据吞吐能力	$\geq 1\text{ Gbps}$ (系统级)

4.2 系统监控与运维能力建设

为让数字电视前端系统实现长期稳定运行, 需建立一套完备的系统监控与运维管理体系, 采用引入 SNMP, 可针对各个前端设备运行状态做标准化信息收集, 凭借 NMS (网络管理系统) 平台实现集中的可视管理操作, 该平台可实时展示出设备运行参数, 诸如温度、电压高低、信号的强度、网络流量多少及接口状态之类, 要是察觉到异常波动, 即可启动自动警报机制, 助力运维人员迅速锁定故障源头, 减少故障排除时长, 切实降低停播事件风险。

就运维这一层面, 可实施自动日志收集机制, 对系统运行状态、历史操作行为开展记录和分析, 协助运维人员开展故障追踪与趋势分析, 采用冗余备份系统, 也可达成自动容灾切换与自愈策略的实施, 强化系统的高可用性水平, 保障广电播出服务稳定地连续输出,

4.3 可扩展性与未来升级规划

伴随 4K/8K 超高清内容的普及、互动电视与点播业务实现增长, 前端系统应当有良好的架构可扩展性及业务兼容性, 起始于物理资源这一方面, 需预留足量的机架空间及接口端口, 支持后续设备的新添入; 从逻辑架构这个层面出发, 可采用可编程逻辑设计 (如 FPGA+AR

M混合结构)或模块化卡件式方案,实现按所需进行扩展。

面对像AI智能分发、边缘计算、内容识别与个性化推荐的新兴业务情形,前端系统也得支持以内容识别码(Content-ID)、深度学习引擎为基础的部署接口,经由引入云端资源协同机制及平台级开放接口,可与大数据平台、广告系统、用户行为分析模块达成高效的协同合作,促使数字电视系统向“智能广电”迈进并实现升级。

5 结语

直接关乎信号质量、系统稳定性和业务拓展能力的,是数字电视前端系统的集成架构设计,基于模块化与标准化设计的理念,采用先进调制技术、冗余备份机制与IP化部署的方案,塑造高效、稳定、可实现扩展的前端系统架构,开展实施时留意流程规范及接口兼容,达成数据连贯与内容安全保障,按照多维性能指标对系统进行评估,借助智能监控平台带动运维效率的增长,为未来4K/8K超高清、交互点播以及AI内容服务的融合打

造稳固基础,助力广电行业走进智能化、融合化的崭新阶段。

参考文献

- [1] 秦懿. 基于RCP的数字电视前端设备群管理系统的设计与实现[D]. 北京邮电大学, 2018.
- [2] 宋昊. 基于IP技术的数字电视前端系统设计与实现[D]. 北京工业大学, 2018. DOI:10.26935/d.cnki.gbjgu.2018.000064.
- [3] 龙中锋. C市有线数字电视系统集成项目规划与实施管理研究[D]. 南京邮电大学, 2019. DOI:10.27251/d.cnki.gnjdc.2019.001192.
- [4] 卢琦. 基于高级安全芯片平台集成CA系统的研究与实现[D]. 上海交通大学, 2018. DOI:10.27307/d.cnki.gshtu.2018.001283.
- [5] 林瑛群. 市域数字电视IP化前端系统分析与性能测试[D]. 华侨大学, 2022. DOI:10.27155/d.cnki.ghqiu.2022.001134.