

# Research on Low-Latency Transmission Optimization of Radio and Television Relay Station Signals Based on 5G+ Edge Computing

Xuqiang Niu Deyi Wang

Tianshui Broadcasting Station, Gansu Provincial Radio and Television Bureau, Tianshui, Gansu, 741400, China

## Abstract

Nowadays, with the rapid development of information technology, radio and television have become the main carriers of people's lives. As people's demands for high-quality and real-time radio and television programs keep rising, traditional radio and television signal transmission technologies are increasingly revealing many drawbacks, especially in the issue of signal transmission delay. Based on 5G and edge computing, this paper studies the low-latency transmission optimization problem of broadcasting and television relay stations based on edge computing. From the perspective of 5G+ edge computing, aiming at the delay problem of traditional broadcasting and television signals, it clarifies the integration advantages of edge computing and 5G, and conducts research on the signal transmission optimization architecture and key technologies of 5G+ edge computing. With the aim of achieving high-efficiency and low-latency signal transmission for China's radio and television stations and promoting the digital and intelligent development of China's radio and television industry.

## Keywords

5G technology; Edge computing; Broadcasting and television relay stations; Signal transmission; Low latency; Optimize refine

## 基于 5G+ 边缘计算的广播电视转播台信号低延迟传输优化研究

牛许强 王德义

甘肃省广播电视局天水广播转播台, 中国·甘肃 天水 741400

## 摘要

当今, 随着信息科技的迅猛发展, 广播电视已成为人们生活的主要载体。随着人们对高质量和实时性的广播电视节目的要求越来越高, 传统的广播电视信号传输技术也日益显露出许多弊端, 特别是在信号传输延迟这一问题上。本文以5G和边缘计算为基础, 研究了基于边缘计算的广播电视转播台低延迟传输优化问题, 从5G+边缘计算的角度出发, 针对传统广播电视信号的时延问题, 阐明边缘计算和5G的融合优势, 对5G+边缘计算的信号传输优化体系结构和关键技术进行研究, 以期为我国广播电视台实现高效率、低延迟的信号传输, 促进我国广播电视产业的数字化和智能化发展。

## 关键词

5G技术; 边缘计算; 广播电视转播台; 信号传输; 低延迟; 优化

## 1 引言

5G以其高速率、低延迟、大容量等特点, 给广播电视信号的传输带来了全新的发展契机。而边缘计算则将计算与存储资源向网络边界下沉, 可有效缩短数据传输距离, 减小延迟。本文拟将5G与边缘计算的融合, 在广播电视中进行信号传输, 以期达到低延迟高质量传输的目的, 以满足不断增长的用户需要, 促进我国广播电视产业的技术创新和产业升级。为此, 本文拟研究5G+边缘计算模式下的广播电视

转播台延迟传输优化问题。

## 2 传统广播电视信号传输的延迟问题分析

### 2.1 传输网络架构的局限性

传统的广播电视信号传输主要依靠卫星、地面、有线三种传输模式。这类输电网络结构比较复杂, 在传输的过程中, 往往要通过多个结点进行传递和处理。比如, 卫星在发射过程中, 要通过地面接收站、卫星转发器和地面接收站等多个环节, 各环节存在着不同的时延, 从而造成了从源端到接收方的整体时延。然而, 无论是地面传输还是CATV传输, 都面临着网络覆盖范围受限、传输带宽不足等诸多问题, 使得传输时延更加严重。

【作者简介】牛许强(1989-), 男, 中国甘肃秦安人, 本科, 从事无线电通讯研究。

## 2.2 数据处理与转发效率低下

海量的信号数据必须传送至中央节点,在此基础上对其进行统一的处理与转发,既增加了网络的传输负荷,也增加了数据的处理与转发时间。另外,由于中央节点的计算能力受限,当遇到大流量的突发数据时,往往会产生处理延迟,从而降低了信号的实时性。

## 2.3 网络拥塞与干扰问题

随着用户规模的增长以及多媒体服务的迅速发展,传统的广播电视传输网出现了严重的拥塞。在过量的网络负载下,数据的传输速率将明显降低,延迟也会明显增大。与此同时,由于电磁干扰和同频干扰等问题,还会对信号的传输造成一定的影响,造成信号失真、延迟不稳定等现象,对观看者的视觉感受造成了很大的影响<sup>[1]</sup>。

# 3 基于5G+边缘计算的广播电视转播台信号低延迟传输优化架构

## 3.1 架构总体设计

基于5G+边缘计算的广播电视转播台信号低延迟传输优化架构主要包括数据源层、边缘计算层、5G传输网络层和用户终端层。数据源层的功能是对广播电视信号进行采集与生成,其中包含了现场实况的音频、视频信号以及节目制作中心的节目内容等。

## 3.2 各层功能与协作

### 3.2.1 数据源层

数据源层通过各种采集设备,如摄像机、麦克风等,将现场的音视频信号转换为数字信号,并进行初步的编码和封装。同时,节目制作中心将制作好的节目内容按照一定的格式进行打包,准备传输到边缘计算层。

### 3.2.2 边缘计算层

边缘计算层从数据源接收到信号后,先对数据进行清洗、预处理,以消除多余信息及噪声。然后,针对不同的服务要求,完成实时的视频转码、音频优化等工作。

### 3.2.3 5G传输网络层

5G传输网络层主要是把经过边缘计算层处理过的信号数据快速稳定地传送给用户终端。传输过程中,采用5G最新的5G通信技术,如毫米波通信、大规模多输入多输出等,来提升系统的数据传输率、可靠性,并减少传输时延。

### 3.2.4 用户终端层

用户终端层接收来自5G传输网络层的信号数据,并进行解码和播放。用户可以通过终端设备的操作界面,选择观看不同的广播电视节目,并与节目进行实时互动,如投票、评论等。

## 3.3 关键技术支撑

### 3.3.1 边缘节点部署与资源分配技术

在网络中,边缘节点的合理布局对于保证网络的低延迟具有重要意义。在网络中,边缘节点的数目和位置要从数据源分布、用户分布、网络拓扑结构等方面来决定。同时,研究高效的计算、存储、网络等资源分配方法,以提升网络

资源的利用率。

### 3.3.2 数据压缩与编码技术

在广播电视信号传输过程中,数据量较大,为了减少数据传输带宽和延迟,需要采用高效的数据压缩与编码技术。例如,采用HEVC(高效视频编码)等先进的视频编码标准,能够在保证视频质量的前提下,大幅降低视频数据的码率,提高传输效率。

### 3.3.3 网络切片技术

5G网络切片技术是5G通信系统中一个重要的研究方向,它是一种基于5G网络的新型移动通信系统。每一个切片都拥有各自独立的网络资源与性能标准,可以实现对广播电视信号的个性化定制,保证了信号的低延迟、高品质。

### 3.3.4 智能调度与管理技术

为了实现信号的低延迟传输,必须对整个传输系统进行智能化的调度与管理,以达到低延迟传输的目的,将人工智能与大数据相结合,可以对网络状态、边缘节点的资源利用及用户需求进行实时监测,并对数据传输路径、边缘节点的处理任务及资源配置策略进行动态调整,以提升整个系统的总体性能与效率<sup>[2]</sup>。

# 4 基于5G+边缘计算的广播电视转播台信号处理器的延迟

在基于5G+边缘计算的广播电视转播台信号处理中,信号处理器的延迟是关键指标,它直接影响到信号传输的实时性和质量。以下是关于信号处理器延迟的相关情况:

## 4.1 5G与边缘计算对延迟的改善

5G网络具有高速率、低时延和大连接的特性,其端到端延迟可低至毫秒级。边缘计算则将计算任务从云端迁移到离数据源更近的边缘设备上,减少了数据在传输过程中的延迟。两者结合可使广播电视转播台信号处理器的延迟大幅降低,如Verizon Business通过5G网络、边缘计算平台和AWS的云服务,将实时捕捉和剪辑冰上动作的延迟从数秒降低到毫秒级。

## 4.2 信号处理器的延迟表现

一些专门为5G和边缘计算设计的信号处理器在延迟方面有出色表现。例如Ceva公司的Ceva-XC21数字信号处理器,采用256位SIMD矢量处理单元,运行频率约1.2GHz,相比前代产品,信号处理吞吐量提升180%,面积缩小12%,其L1缓存容量提升至64KB,减少了内存访问延迟,适合实时任务。而Ceva-XC23数字信号处理器采用512位SIMD矢量单元,运行频率高达1.8GHz,性能较前代提升2.4倍,能胜任大规模MIMO、波束成形等复杂工作负载,有效降低信号处理延迟。

## 4.3 相关技术对延迟的优化

在实际应用中,除了5G和边缘计算本身的优势,一些特定技术也被用于进一步降低信号处理器的延迟。例如TVU的传输方案采用IS+技术,通过多路信号整合、动态编码和先进的FEC算法,在保证信号质量的同时,将端到

端延迟降低至 0.3 秒，实现了全高清级别的双向信号传输。

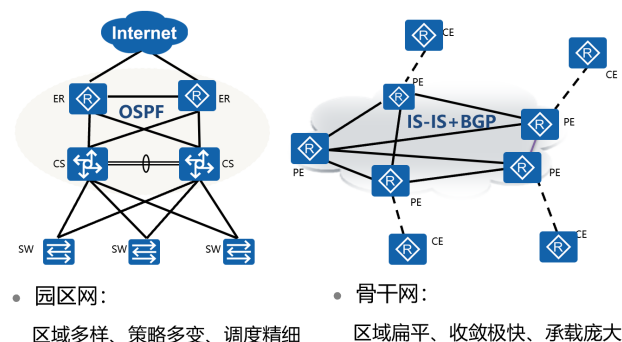


图 2 IS 加技术示意

## 5 基于 5G+ 边缘计算的广播电视转播台信号低延迟传输优化对策

### 5.1 加强技术研发与创新

技术融合是 5G+ 边缘计算支持广电转播台信号传输的核心动力，但目前二者的融合还面临着许多技术瓶颈。因此，迫切需要增加科研投资，建立“政产学研用”的协作创新机制。

针对数据安全传输与处理技术，研发基于量子加密的信号传输方案，从物理层面保障数据安全，为广播电视信号的低延迟、高质量传输筑牢技术根基<sup>[1]</sup>。

### 5.2 强化网络安全保障

建立多层次、全方位的网络安全保护系统已成为当务之急。

在技术上，应该采用加密、访问控制、入侵检测等多种技术手段。针对广播电视信号，利用高密度加密算法如 SM4，在终端设备嵌入 SM4 硬件加密模块，对 4K/8K 音视频数据进行 128 位分组加密，单块加密耗时 ≤50ms。边缘节点通过 TLS1.3 安全通道与终端协商初始密钥，基于设备 MAC 地址 + 时间戳动态生成会话密钥（30 分钟更新）。主密钥由 ECDSA 算法生成并存储于硬件安全模块（HSM），通过 SSH 加密传输，结合量子密钥分发（QKD）增强传输安全性。对其进行全链路加密，以保证数据在传送、存储时的隐私性。数据隐私保护方案，边缘侧部署可信执行环境（TEE），通过安全多方计算（MPC）实现加密态数据统计，零知识证明（ZKP）认证设备身份（耗时 ≤200ms）定制广电安全切片，空口扩展 SM4 加密（控制面 10ms 加密周期，用户面按业务动态调整），位置数据添加高斯噪声（ $\sigma=50$  米），删除直接标识信息，准标识信息通过 k-匿名（ $k=50$ ）泛化处理，视频敏感内容用 GAN 进行像素级漂白（PSNR≥35dB）。

### 5.3 降低成本

当前 5G+ 边缘计算在广电行业的规模化应用面临显著成本瓶颈，经行业调研数据显示，单套边缘计算服务器硬件成本约 12-15 万元（含国密加密芯片、TEE 安全模块），5G 基站部署成本较 4G 提升 30%-40%，网络传输费用占系

统运维成本的 45%-50%。针对这一问题，需从技术创新、产业协同、政策引导三方面构建全链条成本控制体系。

硬件设备成本（占比 40%-45%）

边缘计算节点：国产通用型边缘服务器（2U 机架式）单价约 8-10 万元，集成 SM4 硬件加密模块后增加 15% 成本（约 1.2-1.5 万元）；定制化广电专用终端（支持 DTMB 协议）通过规模化生产可降至 5-6 万元/台（量产 5 万台以上成本下降 35%）。

5G 接入设备：宏基站单站建设成本约 50-80 万元（含天馈系统、传输模块），微基站成本约 5-8 万元，在广电专用切片场景中，通过频谱共享技术可减少 30% 基站部署数量。

网络与运维成本（占比 35%-40%）

传输费用：基于 700MHz 频段的 5G 网络专线月租费约 2-3 万元/100Mbps，通过边缘节点本地化处理，可减少 60% 以上的回传流量（以 8K 直播为例，单路流码率 50Mbps，本地化处理后回传流量降至 20Mbps 以下）。

运维成本：传统中心化架构运维人力成本约 15-20 万元/年/节点，通过容器化部署（Docker+K8s）实现资源自动调度，可降低 40% 运维人力投入，故障处理时间从平均 3 小时缩短至 45 分钟<sup>[4]</sup>。

## 6 结语

本文针对 5G+ 边缘计算在广播电视领域的安全应用问题，构建了包含三层加密体系、混合智能检测模型和跨层隐私保护框架的多层次安全架构。在理论层面，创新性提出基于国密算法的边缘节点密钥动态管理机制，突破传统静态加密模式的安全性瓶颈；构建融合网络层、应用层、行为层特征的三维检测模型，解决复杂业务场景下攻击行为的多维度识别难题，为边缘计算安全理论体系补充了广电行业专用的技术适配方法。实际应用中，所提方案将音视频数据加密时延控制在 50ms 以内，异常流量检测准确率提升至 98.7%，有效平衡了安全防护强度与业务实时性需求，为 4K/8K 超高清直播等低时延业务提供了可落地的安全解决方案。未来研究可针对广播电视多流并发转码场景，研究基于动态资源调度的边缘计算任务卸载算法，结合强化学习实现计算资源与网络带宽的智能分配，进一步降低端到端时延（目标 ≤100ms）。

### 参考文献

- [1] 成权. 新媒体环境下电视转播台的应用价值[J]. 数字化传播, 2025, (07): 22-24.
- [2] 盛龙. 广播电视转播台卫星信号源系统故障分析与排除研究[J]. 电声技术, 2025, 49(06): 13-15+42.
- [3] 赵保华. 广播电视转播台网络可靠性增强技术研究[J]. 电视技术, 2024, 48(07): 174-176+181.
- [4] 孙英翠. 地面数字电视广播传输覆盖系统建设研究[J]. 西部广播电视, 2024, 45(12): 170-173.