 DOI: https://doi.org/10.12349/iser.v7i9.11753

An Analysis of the Application of Fiber Optic Communication Technology in Broadcasting and Telecommunications Transmission Projects

Manyang Yuan

Shengzhou Municipal Converged Media Center, Shaoxing, Zhejiang, 312400, China

Abstract

As radio and television broadcasting undergoes a transition toward high-definition and intelligent systems, fiber optic communication technology has become the core backbone of broadcasting transmission projects. This paper systematically examines the applications of fiber optic communication in the broadcasting sector; first, it provides an overview of the current state of broadcasting transmission projects, as well as the fundamental principles and core advantages of fiber optic communication; second, it conducts an in-depth analysis of key technologies such as wavelength division multiplexing (WDM), optical amplification and dispersion compensation, and intelligent optical networks; on this basis, it elaborates in detail on the specific applications of fiber optic communication in provincial trunk networks, metropolitan area networks, and Fiber-to-the-Home (FTTH) access networks, while also discussing its pivotal role in live broadcasting of major events, ultra-high-definition channel transmission, and emergency broadcasting support. Finally, addressing practical challenges such as network operation and maintenance, upgrading of aging infrastructure, and network security, this paper proposes corresponding optimization strategies aimed at providing a reference for building a high-speed, stable, and secure modern broadcasting transmission network.

Keywords

fiber optic communication; broadcasting and television transmission; wavelength division multiplexing; access network; ultra-high-definition transmission

广电传输工程中光纤通信技术应用探析

袁满洋

嵊州市融媒体中心，中国 · 浙江 绍兴 312400

摘　要

随着广播电视向高清化、智能化转型，光纤通信技术已成为广电传输工程的核心支撑。本文系统探析了光纤通信在广电领域的应用，首先概述了广电传输工程的发展现状与光纤通信的基本原理及核心优势；其次，深入分析了波分复用、光放大与色散补偿、智能光网络等关键技术；在此基础上，详细阐述了光纤通信在省级干线、城域网及光纤到户接入网中的具体应用，并探讨了其在大型赛事直播、超高清频道传输及应急广播保障中的关键作用。最后，针对网络运维、老旧线路改造及网络安全等现实挑战，提出了相应的优化策略，旨在为构建高速、稳定、安全的现代广电传输网络提供参考。

关键词

光纤通信；广电传输；波分复用；接入网；超高清传输

1 引言

伴随着信息技术的迅速发展，广播电视行业也由原来的单向传播模式向多屏互动、全息化的媒体形态转变。超高清视频、交互式业务以及海量数据回传都会给传输网络带来很大的带宽需求、较高的时延以及较强的稳定性。由于光纤通信具有巨大的带宽、较低的损耗以及较强的抗干扰性等特点，所以其成了广电网络升级换代的最佳选择[1]。对光纤通信技术在广电传输工程中多层次的应用进行剖析，找到实际运维过程中存在的问题，有利于广电网络朝着超高速、大容量、智能化的方向发展。

2 广电传输工程与光纤通信技术概述

2.1 广电传输工程的发展现状

目前广电传输工程正处于一个由数字化向智慧化的转变期。传统的同轴电缆、微波传输方式已经不能满足 4K/8K 超高清、虚拟现实这些新业务的数据流量需求了。全国范围内的广电网络正在加快进行双向化、宽带化改造，骨干网基

【作者简介】袁满洋（1984–），男，中国浙江嵊州人，本科，工程师，从事广电传输工程、信息通讯工程、光纤通讯等研究。

本上已经实现了光纤化，但是接入层的“最后一公里”还存在着瓶颈。同时广电网络要将云计算、大数据以及人工智能技术融合起来，由原来单纯的分发管道变成有感知、有处理、有交互的综合信息服务网络，来应对三网融合环境下激烈的市场竞争。

2.2 光纤通信技术的基本原理

光纤通信技术就是用光波做载波、光纤做传输介质来完成信息传递的一种通信方式。它的基本原理就是光的全反射，即光信号在纤芯和包层的交界处不断发生全反射，从而被束缚在纤芯里向前传播。发送端把电信号转变成光信号，经过光纤传送之后，在接收端再把光信号转变为电信号 [2]。这样就达到了高速率、远距离地运送信息的目的。低损耗窗口主要是 1550nm 波段，配合先进的调制格式，单波长速率可以达到数百吉比特每秒，给广电信号的大容量传输打下了物理基础。

2.3 光纤通信的核心优势

与传统的铜缆以及无线传输相比，在广电工程当中，光纤通信有着无法取代的优势。首先就是带宽潜力无限，单纤可以传输 T 比特级的数据，可以满足多个超高清频道同时播出的需求。其次传输损耗很小，无中继传输距离可达上百公里，大大降低了由于信号衰减而产生的再生成本。另外，光纤是用石英制成的，具有良好的绝缘性，并且不会受到电磁干扰的影响，在强电场、雷雨等恶劣环境中也能保证信号的纯度，不会产生串扰。最后，光纤通信保密性好，光信号泄露很难被窃听，重量轻、寿命长，符合广电传输对于安全播出、长期稳定的严格要求。

3 光纤通信在广电传输中的关键技术

3.1 波分复用与长距离传输技术

波分复用技术就是释放光纤潜力的主要手段，它把一根光纤分成许多个通道来同时传送不同的波长的光信号，从而使得容量成倍增加，就好比是在高速公路旁边开辟出许多条车道一样。广电干线采用密集波分复用技术可以把几十甚至上百路高清频道压缩到一条光纤上，大大节约了光纤资源。配合相干光通信以及高级调制格式之后，单波长频谱效率得到明显提高，可以做到跨越省份甚至跨越国家的无电中继长距离传输。该种技术组合既可以满足广电节目信号对于带宽的需求，又可以大大降低长距离传输的建设及维护成本。

3.2 光放大与色散补偿技术

超长距离广电传输当中，信号衰减、脉冲展宽成了两个主要的敌人。光放大器尤其是掺铒光纤放大器可以直接对光信号做全光放大，不需要光电转换，很好地解决了长距离接力的问题。但是光脉冲经过长距离传输之后，各个频率分量由于速度的不同而产生色散，造成信号畸变以及码间干扰。色散补偿技术用色散补偿光纤或者光纤光栅等器件来引入与线路色散相反的色散量，使脉冲形状得到准确的抵消。二者结合使用可以使得超高清广电信号经过数万公里传输之后仍然保持清晰的眼图以及满足要求的误码率。

3.3 智能光网络与自动切换保护

为了达到广电安全播出的要求，传输网络要具有很强的生存性。智能光网络加入了控制平面之后，就可以做到连接的自动创建、路由的动态规划以及资源的智能调配。当光纤被挖断的时候，自动切换保护技术可以在 50 毫秒之内把业务转到备用路由上，从而达到用户无感知的瞬间自愈效果。以网状网为基础的保护恢复机制比传统的环网更加高效，也更能抵抗多次断纤的情况出现。使网络运维由原来的被动抢修变为现在的主动防护，给承载播控中心之间重要的数据传输、保证直播信号绝对安全提供有力的保障 [3]。

4 光纤通信在骨干与接入网中的应用

4.1 省级干线传输网的应用

省级干线网属于广电信号的承上启下环节，它把中央和地市联系起来。以光纤为传输介质的 OTN 技术创建起稳固的传输基础，把波分复用同 SDH 的运维管理优点融合起来，赋予了海量带宽以及端到端的硬管道隔离功能，各个地市的节目回传和分发可以各自承载，彼此之间不会互相影响。采用环网加网状网的光缆路由结构，任何一个节点发生故障的时候都不会造成业务中断。各个站点设置光放大器和色散补偿设备来实现超长跨段传输，使卫星高清节目、数据中心之间的互联备份没有压缩也没有失真的方式覆盖整个省域范围内的传播网络，是文化传播的神经中枢。

4.2 城域网与本地环网的应用

城域网是骨干网和用户接入之间的一个纽带，它要具有多种业务的接入以及综合承载的能力。光纤通信在城域层面上大多采用 IP 化的融合承载方式，依靠万兆光模块等来达成低成本、大带宽的环网组网。本地光纤环网不但是广播级基带视频上下行通道，也是宽带上网、互动点播等各种数据业务汇集地。为了克服城域光纤路由复杂、资源短缺的状况，粗波分复用技术被大量使用，既节约了纤芯又实现了数据隔离，很好地支持了分前端机房到小区光节点的密集覆盖，满足了政企专线高速互联的要求 [4]。

4.3 光纤到户接入网的应用

光纤到户是宽带广电战略的最终落实，它决定着用户的感受。广电双向改造过程中大量使用光纤同轴混合网向全光网络发展，用 PON 技术把光信号送到每一个家庭。一根极细的光纤就可以同时传输上百个高清直播、上千兆的宽带、几千兆的语音等业务，彻底解决了铜缆接入的带宽瓶颈和维护问题。新建小区、农村覆盖时光纤直接入户一次完成，给三重播放业务提供最好的体验，也为 8K 流媒体、智能家居等新技术的发展留出了足够的发展空间，使广电成为家庭综合信息服务的主要提供者。

5 光纤通信在直播与超高清业务中的应用

5.1 大型赛事直播信号回传

大型赛事直播是检测传输系统极限性能的试金石，现场机位产生大量的无压缩或者浅压缩基带信号，需要很高的带宽以及几乎零时延的回传通道。光纤通信采用野战光缆加光端机的方式把体育场馆同转播车或者播控中心直接相连起来，从而达成 4K、8KHDR 信号的透明传输。由于微波受到视距和天气的影响较大，而光纤通道没有外界干扰，可以保证慢动作回放和制作切换的准确同步。冗余光缆路由以及自动倒换功能使得信号回传绝对可靠，全世界观众可以即时感受到赛场每一个令人惊叹的瞬间，不会遗漏任何一个画面。

5.2 4K/8K 超高清频道传输

4K/8K 超高清节目数据量比高清大得多，甚至大到几十倍以上，给频谱规划以及干线传输造成很大的压力。光纤通信依靠大容量波分复用平台，给省级卫视和付费频道创建起一条从制作域直达有线前端、IPTV 分发平台的专属透明通道。利用编码压缩、统计复用来达到在保证画质的同时提高带宽利用率的目的 [5]。全光网络可以实现无缝连接，使得观众在家里用光纤机顶盒就可以接收到码率稳定、色彩逼真的超高清节目，真正地开始了广电的画质革命，并且给推动国家超高清视频产业的发展战略提供了一个管道。

5.3 应急广播与专线保障

应急广播系统属于公共安全体系的关键部分，对传输链路提出最高可靠度以及最优先的要求。光纤通信依靠 SDH/PON 的物理隔离专网，给城乡广大的应急广播适配终端赋予了一条永不掉线的“生命线”。当出现严重的自然灾害造成电力供应中断的时候，光纤通信同远端供电、备用电源一起工作可以实现对预警信息的下达以及灾情上报的任务。它有天然的抗电磁干扰的优点，不会因为人为的原因而被压制下去，保证紧急命令可以清楚地传达出去。采用智能光网络软硬件相结合的方式，使日常节目和紧急插播可以自由调配，从而达到专线的安全性以及应急演练资源重复利用的目的。

6 应用挑战与优化策略

6.1 网络运维与故障定位难点

全光网络结构繁杂，运维第一要务就是迅速准确地找到故障。光纤线路衰减增大、接头污染或者光模块劣化等状况出现的时候，一般会表现出间歇性的丢包或者信号变差的情况，这样就比较耗费时间了。传统的 OTDR 仪表需要人工去分析曲线，对于多个点的故障判断比较难。优化策略就是用基于人工智能的光纤感知系统，通过大量的性能数据来预测出故障的位置，并且可以准确到具体的链路。另外部署光时域反射远程在线监测网，实行智能巡纤，依靠高精度 GIS 地图快速调配抢修，把被动排障转为主动防御，缩减故障修理时间。

6.2 老旧线路升级改造方案

大量的老旧光纤线路存在着资源枯竭、性能下降以及路由信息缺少等诸多问题。直接替换成本高，并且会中断业务。有效的改造策略就是采取分级施策的方式，对于剩余纤芯优质的一般可以利用波分复用来利旧扩容，激活闲置的光谱资源；对于光纤衰减严重的线路，采用拉曼放大等方式进行补偿，推迟更换光纤的投资。还要重新检验路由资料，用管线资源管理系统创建数字孪生网络。在改造割接的时候，用无缝迁移的方法提前跳通备用路由，保证用户的业务不会受到干扰，做到平滑过渡，让老化的设备重新焕发生机 [6]。

6.3 网络安全与抗毁能力提升

虽然光纤传输网络在物理上是安全的，但是仍然会受到光缆被挖断、恶意窃听以及核心节点被攻击的影响。提高安全和抗毁能力要创建起“三层防护”。从物理层面来说，在重要的干线实行双物理路由的自动保护，用光缆振动预警来预防破坏的发生。逻辑层上，对于承载的党政军和金融专线信号做量子加密或者高级算法加密处理，防止光分路被窃取。网络层加深了 Mesh 化的改造工作，保证了即使某个地方出现故障的时候也能保证业务的正常运行。除此之外还要定期组织攻防演练，完善应急预案，建立异地灾备数据中心，构筑起从光缆到业务全方位的纵深防御体系，守护好广电播出的安全生命线。

7 结语

光纤通信技术已经深入地改变了广电传输工程的面貌，它在骨干动脉上起着重要的作用，在家庭末梢也发挥着关键的作用，对于基础直播以及超高清视觉盛宴来说更是不可或缺。面对不断上升的大带宽、低时延要求，只有不断地解决运维智能化、旧网平滑升级和立体化的安全防护问题，才能充分发挥光纤的优势。展望未来，空芯光纤同光纤传感以及智能管控融合起来之后，会促使广电网络朝着大容量、极高可靠度以及通感一体的方向前进，为构建新一代智慧全媒体传播体系铺设坚实的物理基石。

参考文献

[1] 高江阔.广电工程视域下广播信号传输稳定性技术研究[J].数字通信世界,2026,(2):38-40.

[2] 董宝锋.基于智能监控的广电工程信号传输故障快速定位技术[J].电视电声科学与技术,2026,50(2):13-15.

[3] 蔡浩.驻地网在广电有线电视工程中的建设与维护[J].广播电视网络,2025,32(2):71-73.

[4] 黄婧.通信工程中的有线传输技术优化分析[J].电子技术,2023,52(6):337-339.

[5] 赵泮成.广电工程中光纤网络日常维护和光纤熔接技巧探讨[J].电视技术,2020,44(5):24-25.

[6] 程利娜.光纤通信技术在广电网络中的应用分析[J].科技与创新,2021,(20):158-159+161.