

通信传输网络发展和优化规划探讨

潘能健

中国移动通信集团广西有限公司钦州分公司 广西 钦州 535000

摘要: 通信传输网络是信息传递关键支撑, 有线传输网络作为核心载体, 其架构建设与优化规划意义重大。本文梳理其从传统铜缆到光纤的技术演进, 聚焦PDH等技术在架构中的应用。针对业务量激增等挑战, 结合多场景建设需求, 提出架构扁平化重构等优化策略, 并给出分阶段规划, 短期推进OTN部署, 中期实现智能化转型, 长期预研6G配套技术, 构建全域协同体系。

关键词: 通信传输网络; 技术演进; 优化策略; 发展规划

引言: 有线传输网络是通信网络核心骨架, 承担家庭数据接入、基站信号传输等关键职能。早期以铜缆为主, 难满足多场景需求。光纤技术发展推动SDH等技术应用, 提升网络容量与效率。当下, 数字经济发展使多场景对带宽、时延等要求提高, 传统架构问题凸显。在此背景下, 聚焦多场景架构建设与规划优化, 探索适配需求的有线传输方案, 对通信网络高质量发展意义重大。

1 通信传输网络的技术演进

1.1 传统传输技术回顾

早期通信以铜缆传输为主导, 利用电信号在金属导体中的传播实现信息传递。这种技术虽受限于带宽与传输距离, 单条铜缆最大传输速率通常在10Mbps至100Mbps区间, 却在电话通信普及阶段发挥了关键作用^[1]。随着需求增长, 光纤传输技术应运而生, 通过光信号在玻璃或塑料纤维中的全反射传输, 大幅提升了传输速率与抗干扰能力。其中, 准同步数字体系(PDH)作为早期光纤通信标准, 通过固定时隙分配实现多路信号复用, PDH体系下, 单纤传输容量通常在140Mbps至565Mbps之间, 但存在灵活性不足的问题。随后, 同步数字体系(SDH)通过全球统一的帧结构与指针调整技术, 解决了PDH的同步难题, 成为骨干网的核心传输协议, SDH体系下, 单纤传输容量可提升至2.5Gbps至10Gbps, 支撑起语音、数据等业务的稳定传输。

1.2 现代传输技术发展

为应对数据爆炸式增长, 波分复用(WDM)技术通过在同一光纤中传输不同波长的光信号, 实现了传输容量的指数级提升。密集波分复用(DWDM)进一步压缩波长间隔, DWDM系统单纤可支持40至160个波长通道, 单纤传输容量可达数十太比特每秒, 成为长途骨干网的首选方案。光传送网(OTN)则在此基础上引入电层交叉连接与开销管理, 将光层与电层功能深度融合, 既保

留了WDM的大容量优势, 又增强了网络的调度灵活性与保护能力。OTN设备可支持单波100Gbps至800Gbps的传输速率, 满足大颗粒业务的承载需求。与此同时, 软件定义网络(SDN)与网络功能虚拟化(NFV)的融合, 打破了传统网络硬件与软件的紧耦合关系。SDN通过集中式控制平面实现全局资源优化, SDN控制器可管理数千个网络节点, NFV则将网络功能抽象为软件模块, 运行于通用硬件之上, 单台通用服务器可虚拟化部署10至50个网络功能实例, 二者协同推动网络向智能化、可编程化方向演进。

1.3 新兴技术展望

量子通信技术凭借量子纠缠与不可克隆原理, 为信息传输提供了绝对安全保障。量子密钥分发(QKD)已进入实用化阶段, 当前QKD系统最远传输距离可达500公里以上, 未来有望构建覆盖全球的量子保密通信网络。太赫兹通信技术则聚焦于6G时代的高频段资源开发, 利用300GHz至3THz频段的超宽带特性, 实现Tbps级超高速传输, 太赫兹通信实验系统已实现单通道100Gbps至1Tbps的传输速率, 为短距离高容量场景提供新解。面向2030年及更远的未来, 6G技术将融合空天地一体化网络、智能超表面、全息通信等前沿方向, 构建全域覆盖、智能感知的下一代通信基础设施, 6G网络峰值速率预计可达1Tbps以上, 持续拓展人类信息交互的维度与深度。

2 有线传输网络的多场景建设需求分析

2.1 家庭客户有线网络建设需求

家庭客户有线网络是有线传输架构的终端接入环节, 当前面临高带宽、低时延、多设备接入的核心需求^[2]。随着高清视频、云游戏、智能家居的普及, 家庭客户单用户带宽需求从百兆级向千兆级跃迁, 部分高端家庭甚至提出万兆接入需求。同时, 远程办公、在线教育等业务对有线网络时延提出严格要求, 网络响应时延需

控制在10毫秒以内。此外，家庭内智能电视、扫地机器人、智能音箱等多设备同时接入，要求有线网络具备高并发接入能力。这就需要家庭有线传输架构优化接入链路设计，推进光纤到户（FTTH）深度覆盖，提升入户光纤带宽承载能力，同时优化家庭内部有线组网架构，保障多设备接入的稳定性与速率均衡。

2.2 基站间有线网络建设需求

基站间有线网络是保障信号协同与业务连续性的关键链路，核心需求体现为长距离、大容量、高可靠传输。5G及5G-A时代，基站密度提升，基站间需通过有线链路实现信号同步、数据交互与负载均衡，单基站间有线链路带宽需求达10Gbps至100Gbps。基站覆盖范围涵盖城市核心区、偏远山区等多场景，部分基站间有线链路需跨越复杂地理环境，要求传输架构具备抗干扰、抗恶劣环境能力。此外，基站间业务传输需保障高可靠性，链路中断时延需控制在毫秒级，避免影响用户通信体验。因此，基站间有线传输架构需采用大容量WDM、OTN技术，构建多路径冗余链路，提升传输容量与抗故障能力。

2.3 机房间有线网络建设需求

机房间有线网络是通信网络的核心枢纽链路，承担着全网资源调度、数据存储交互的核心职能，需求聚焦于超大容量、超低时延、绝对安全。随着数据中心规模化发展，机房间数据交互量呈指数级增长，核心机房间单链路传输容量需求达Tbps级，以支撑海量数据的实时调度。同时，金融交易、工业控制等核心业务对机房间数据传输时延要求极高，端到端时延需控制在微秒级。此外，机房间传输的数据包包含用户隐私、业务核心数据等敏感信息，对传输安全性提出绝对要求^[3]。这就需要机房间有线传输架构采用高端OTN、DWDM技术提升容量，优化传输路径缩短时延，融入量子通信技术强化安全保障。

3 有线传输网络架构的优化策略

3.1 多场景适配的有线架构扁平化重构

针对传统有线传输架构层级过多、路径迂回的问题，结合家庭、基站、机房多场景需求，推进架构扁平化重构，提升传输效率与适配性。核心层优化方面，简化机房间有线传输架构层级，取消冗余转发节点，构建“核心机房-汇聚机房”两级骨干架构，缩短核心数据传输路径，降低时延。汇聚层优化方面，推进基站汇聚节点整合，将分散的基站接入链路集中至区域汇聚机房，通过OTN设备实现基站间、基站与核心机房间的高效互联，提升资源调度灵活性。接入层优化方面，聚焦家

庭客户需求，推进FTTH网络深度覆盖，优化光分路器部署，减少入户链路传输损耗，同时构建“光纤+同轴电缆”的混合接入架构，适配不同家庭的接入条件。此外，通过SDN技术实现多场景有线架构的集中管控，动态调整链路连接状态，保障家庭、基站、机房间有线网络的协同适配。

3.2 分场景的有线传输技术适配升级

结合不同场景有线传输需求，针对性推进技术升级，提升各场景有线网络的传输能力与稳定性。家庭客户有线网络方面，推广10GPON技术部署，提升入户光纤带宽至千兆乃至万兆级别，同时引入Wi-Fi6与有线网络融合技术，优化家庭内部有线组网体验。基站间有线网络方面，规模化部署OTN设备与DWDM系统，提升基站间链路传输容量，针对偏远地区基站，采用光纤与微波协同的有线传输方案，保障覆盖稳定性。机房间有线网络方面，部署超高速DWDM系统与高端OTN设备，实现单纤传输容量Tbps级突破，同时引入量子密钥分发技术，构建机房间有线传输的安全防护体系。此外，推进传统SDH设备向OTN设备升级改造，实现全网络有线传输技术的统一适配，降低运维成本。

3.3 多维度有线资源动态管理与调度

建立多维度有线资源管理体系，实现带宽、频谱等资源的动态调度，提升资源利用率与场景适配性。带宽资源调度方面，基于家庭、基站、机房的业务流量监测数据，通过SDN控制器动态分配带宽资源，为家庭高峰时段高清视频业务、基站突发数据传输业务预留专用带宽，避免资源拥堵。频谱资源利用方面，在有线传输与无线接入融合区域，优化频谱分配策略，保障有线传输链路的频谱稳定性。资源监测方面，部署物联网传感器对光纤链路、OTN设备等核心资源进行实时监测，建立资源故障预警机制，提前发现链路损耗、设备老化等问题并及时处置。此外，构建资源共享平台，实现不同区域、不同场景有线资源的协同调度，提升全网资源利用效率。

3.4 有线传输网络的智能化运维优化

引入AI与大数据技术，构建智能化运维体系，提升有线传输网络的运维效率与故障处置能力。建立全场景有线网络数据采集平台，收集家庭接入链路、基站间链路、机房间链路的传输性能数据、设备运行数据等，通过大数据分析挖掘流量变化规律、设备故障隐患。利用AI算法实现故障预测与自愈，针对光纤链路损耗、设备端口故障等常见问题，提前发出预警并触发自动化修复流程，减少人工干预^[4]。推进运维流程自动化，实现有线

设备配置下发、链路状态监测、带宽调整等操作的自动化执行,降低运维成本。此外,构建可视化运维管理平台,实现多场景有线网络架构、资源状态、业务运行情况的实时可视化监控,提升运维决策的精准性。

4 有线传输网络架构的未来发展规划

4.1 推进有线架构升级与多场景适配

短期聚焦有线传输架构的基础升级与多场景覆盖完善,提升核心区域与重点场景的有线传输能力。重点推进OTN设备在基站间、机房间有线网络的规模化部署,完成传统SDH设备的升级改造,实现核心区域有线传输容量的翻倍提升。家庭客户有线网络方面,加快10GPON技术覆盖,实现城市核心区、县城城区家庭千兆光纤接入全覆盖,农村地区行政村FTTH覆盖率提升至99%以上。优化基站间有线链路部署,针对城市热点区域基站,加密有线传输链路,构建多路径冗余架构;针对偏远地区基站,完成光纤链路补盲建设。建立多场景有线网络监测体系,部署基础智能化运维工具,实现核心链路故障的快速预警与处置。此外,开展垂直行业有线接入试点,为工业互联网、智慧社区等业务提供定制化有线传输服务。

4.2 实现有线网络智能化与跨场景协同

中期推进有线传输网络的智能化转型,构建家庭、基站、机房间跨场景协同的有线传输体系。全面部署SDN控制器,实现多场景有线网络的集中管控与动态调度,提升全网资源利用效率。深化AI技术在运维中的应用,实现故障预测、自愈、带宽动态调整等全流程智能化,运维效率提升50%以上。家庭客户有线网络方面,推广万兆光纤接入,实现高端社区、产业园区万兆覆盖,同时构建“有线+无线”深度融合的家庭智能组网体系。机房间有线网络方面,完成量子密钥分发技术规模化部署,实现核心机房间数据传输的绝对安全;推进超高速DWDM系统应用,单纤传输容量突破10Tbps。建立跨场景有线网络协同机制,实现家庭业务、基站业务、机房资源的高效联动,提升全网服务质量。

4.3 预研前沿技术与全域有线网络构建

长期阶段,聚焦未来有线传输技术的预研与全域一体化有线传输体系的构建。技术预研方面,开展6G配套有线传输技术、太赫兹有线传输技术的预研工作,探索太赫兹技术在数据中心内部机房间短距离大容量传输场景的应用,研发适配6G空地一体化网络的地面有线接入链路技术。持续推进量子保密有线传输技术的迭代升级,构建覆盖全域的量子保密有线传输网络^[5]。架构构建方面,打造空地一体化的有线传输网络体系,实现地面有线网络与卫星有线回传链路的无缝衔接,保障偏远地区基站与家庭客户的有线接入。推进有线网络向全分布式架构演进,每个网络节点均具备计算、存储与转发能力,形成去中心化的智能有线网络生态。标准协同方面,加强国际合作,参与制定全球统一的下一代有线传输技术标准与频谱分配规则,推动跨国有线网络互联互通与资源协同,为未来数字社会的海量设备接入与智能交互提供坚实的有线传输支撑。

结束语

有线传输网络是家庭、基站、机房接入互联的核心支撑,其架构建设与规划优化关乎通信网络服务质量与发展潜力。面对多场景业务需求,通过架构扁平化、技术升级等策略可提升适配性与传输能力。分阶段规划为有线传输网络发展指明路径。未来,随着新兴技术突破,有线传输网络将实现更高目标,为数字社会建设筑牢核心传输骨架。

参考文献

- [1]吴冰.试论通信传输网络发展与优化规划[J].科学与信息化,2023(16):107-109.
- [2]黄庆.某地区电力通信传输网优化设计分析[J].电子元件与信息技术,2022,6(8):175-179.
- [3]张壹.通信传输网络整体规和建设方案研究[J].中国新通信,2021,23(03):29-31.
- [4]杨薇.通信传输网络发展与优化规划初探[J].中国新通信,2021,23(02):43-44.
- [5]林伟,黄涛.软件定义网络在通信传输中的应用与发展[J].网络安全技术与应用,2023,22(10):45-52