



基于50G-PON的全光万兆示范与应用

马智勇¹, 张坚平¹, 严森垒²

(1. 中国电信股份有限公司上海分公司, 上海 200120;

2. 上海邮电设计咨询研究院有限公司, 上海 200092)

摘要: 探讨了50G-PON落地应用中满足光功率预算要求、降低转发时延、三代共存等主要技术实现。基于50G-PON构建了“一跳入算”方案, 实现了人工智能大模型产业园区至算力中心的全光万兆带宽、微秒级入算。设计实现了万兆云宽带示范基地, 围绕存储、计算、视频和感知等创新方向示范了多种万兆家庭应用。

关键词: 光接入网; EPON; 50G-PON; 万兆光网

中图分类号: TP393

文献标志码: A

doi: 10.11959/j.issn.1000-0801.2025092

0 引言

2021年9月, 国际电信联盟电信标准分局 (ITU-T) 批准并发布了50G-PON标准。被广泛认可为业界主流的下一代无源光网络 (PON) 技术, 能够支持泛在万兆全光接入, 可满足新一代智算网络中各种新型数字化业务对超大带宽、超低时延和超高稳定性诉求。国家和行业内已启动标准化、应用场景等研究工作, 推进从千兆光网迈向万兆光网的技术演进。上海市政府2023年发布了《上海市进一步推进新型基础设施建设行动方案(2023—2026年)》提出建设“以5G-A和万兆光网为标志的全球双万兆城市”。上海市通信管理局、上海市经济和信息化委员会2024年发布了《上海市“光耀申城”万兆启航行动计划(2024—2025年)》, 目标为到2025年适度超前打造具有国际领先水准的万兆光网基础设施。

中国电信股份有限公司上海分公司(以下简称上海电信)积极推进50G-PON技术研究和试点

部署, 服务数字家庭、商务楼宇、智慧园区等各个领域, 于2023年5月17日发布《50G PON全光万兆发展白皮书》, 2023年11月在浦东新区实现了全光万兆的现网千户覆盖, 2024年年初在“模速空间”产业生态集聚区全球首发“一跳入算”服务, 2024年5月17日发布了“全光万兆云宽带产业合作创新示范基地”。本文分享了上海电信50G-PON试点和首发阶段的技术实现方案。

1 50G-PON主要技术实现

1.1 满足光功率预算要求

50G-PON下行数据速率为50 Gbit/s, 相对于10G EPON(下行数据速率为10 Gbit/s EPON)和EPON(上下行数据速率均为1 Gbit/s EPON), 更高的数据速率会导致50G-PON光接收机的灵敏度低于后两者。在同样的光分配网(ODN)光信号衰减的情况下, EPON系统能工作, 但50G-PON系统可能无法正常工作。为了解决这个问题, 本文引入数字均衡光数字信号处理(ODSP)来补

偿光器件带宽不足以及传输色散造成的性能代价,在50G/25G-PON(下行50 Gbit/s、上行25 Gbit/s)场景下,将光线路终端(OLT)的接收灵敏度提高到-24.5 dBm、光网络单元(ONU)终端的接收灵敏度达到-24.0 dBm。在此基础上,结合实际验证情况,本文设定OLT侧端口平均发光功率为5.5~11 dBm,ONU侧的平均发光功率为5.0~9.0 dBm。通过这样的参数组合,系统在50 Gbit/s数据转发速率情况下能以较合理的成本实现端到端系统光链路功率预算30 dB的要求。

1.2 降低转发时延

为了满足极致云交互、产业园区、工业应用场景的低时延需求,降低50G-PON系统转发时延,本文通过单帧多突发使得上行方向ONU在单帧125 μs周期内有多次发送机会,从而缩减上行时延;采用通道外注册技术,引入额外通道用于ONU的上线注册,避免了ONU上线注册对业务数据传输引入的额外时延和抖动。在单帧16突发情况下,配合通道外注册,本文将50G-PON ONU至OLT的上行转发时延压缩至50 μs以内,上行平均时延优化了约22%。

1.3 多代PON共存

当前上海电信接入网络中包括以太网无源光网络(EPON)、10G-EPON(10 Gbit/s EPON),50G-PON应与现网中的PON设备实现兼容支持3代PON系统在同PON口共存,以确保平滑升级并保护运营商的投资。

对于波长收窄的EPON终端,可以采用上行波长规划解决三代PON共存问题。而上行波长未收窄的EPON终端(上行波长范围为1 260~1 360 nm),会与50G-PON下行通道互相干扰。为了解决这个问题,一方面,本文通过终端技术标准的更新减少新入网上行波长未收窄EPON终端;另一方面,本文采取按需建设50G-PON端口、“先分后合”逐步推进ODN复用的策略。

所谓的“先分”策略,是由于现有EPON宽

频ONU设备部署广泛且更换难度高,初、中期50G-PON网络宜优先针对高价值区域实现“薄覆盖”,同时充分利用现有光缆网空余光纤资源,配置独立的ODN网络,结合业务申请需求进行灵活的网络调配。后期随着设备价格以及上行波长未收窄的EPON终端的逐步退网,再将千兆用户和波长收窄的ONU割接至50G-PON设备端口下,逐步合并ODN网络,从而实现“后合”的目标。

在这个推进过程中,本文要求OLT支持对上行波长未收窄EPON终端的检测和识别,以便根据演进阶段采取适当的干预。其中备选干预手段可包括:如果发现为上行工作波长未收窄终端,则去激活;或者通过指定MAC地址等方式,在网管上远程对异常终端设置拦截模式,实现人工拦截。

2 一跳入算方案

上海“算力浦江”规划2024年算力达到15 EFLOPS,其中临港总算力5 EFLOPS,占比达1/3。“模速空间”是人工智能大模型产业集聚区,是全国首个大模型专业孵化和加速载体。上海电信“一跳入算”服务基于50G-PON面向人工智能大模型企业/园区,打通了模速空间至临港算力池,满足实时大数据量传输、算力调用对网络超大带宽、超低时延、超高稳定性、无拥塞传输的诉求,提供带宽/时长弹性随选的高性价比解决方案,可支持算力随取随用,实现算力集中部署、算力自由共享调度,大幅提升了算力网络的服务效率。

如图1所示,“一跳入算”方案采用50G-PON技术为企业提供10 Gbit/s以上的超宽接入,整合了OTN能力的OLT设备向上到传输层采用了一跳直达的全光方案,大幅减少了网络转发节点数量,将时延降低到微秒级、抖动降低到纳秒级。不同于传统的调度方案,上行时分复用

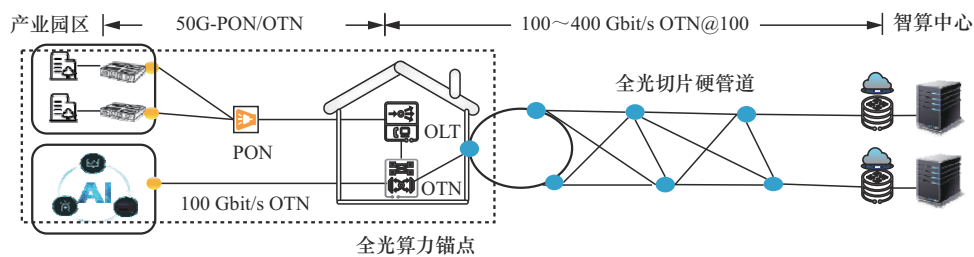


图1 “一跳入算”技术实现方案

(TDM)切片链路的可靠性得到极大提升,实现了无阻塞转发零丢包。基于中国电信集团云专网产品,提供从2 Mbit/s到10 Gbit/s或100 Gbit/s的弹性带宽,支持按时长、按流量动态计费,用户可自助申请动态升降速并按需付费。

经实测,本文方案可实现模速空间与临港算力之间10 Gbit/s业务传输的时延低至750 μ s,无拥塞、零丢包。对算力用户而言,这将大幅提升训练数据传输、算力调用的效能,以及算力应用的感知。例如,通常训练一个百亿参数的大模型,需要10 TB级别的数据量,若使用100 Mbit/s的宽带,需传送200多小时,通过“一跳入算”10 Gbit/s速率2 h即可完成传输。又比如,当前比较苛刻的云渲染应用对时延的要求是单向5 ms以下,经由国际互联网接入算力资源时延通常大于20 ms,而本文方案网络时延在微秒级,能流畅地实现云渲染,提供良好的用户体验。

3 万兆云宽带示范基地

为了验证基于50G-PON万兆云宽带的云网边缘协同网架构和万兆家庭业务体验,本文搭建了“全光万兆云宽带产业合作创新示范基地”(以下简称基地)。基地的一层建筑作为全光万兆云宽带业务展示及体验环境,二层建筑模拟接入机房环境。在基地的网络架构采用双50G-PON OLT设计,其中一套设置在电信的局端机房,用以实现与广域网的高效互联,为基地提供稳定、高速的现网业务及应用连接通道;另一套安装在基地的二层机房,用以构建独立的本地网络环境。在

基地的机房内同时设置了网络访问存储(NAS)服务器及个人计算机(PC)农场服务器,为极致云交互、浅压缩技术等创新云宽带业务的体验与测试提供条件。基地的业务展示及体验区域采用光纤到房间(FTTR)布线方案,实现客厅、厨房、电竞室、书房、卧室之间的高带宽有线、无线组网,支持多种业务场景的快速部署和切换。基地网络方案如图2所示。

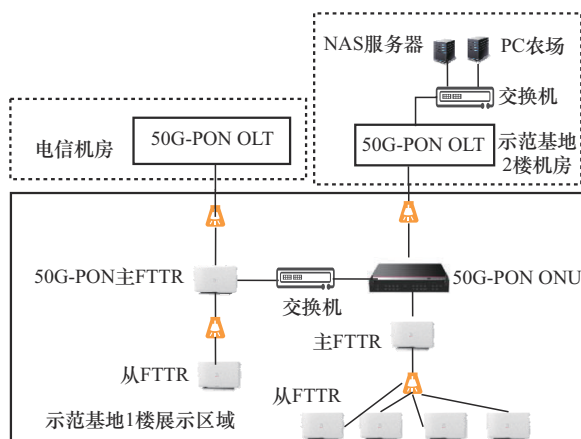


图2 全光万兆云宽带产业合作创新示范基地组网技术方案

在基地的业务展示区域内,本文模拟家庭环境围绕存储、计算、视频和感知四大云宽带业务创新方向,展示了多种业务场景万兆宽带应用。业务演示布局如图3所示。

- 云8K家庭影院。在客厅高清视频体验区,8K视频经由天翼高清IPTV专网、万兆云宽带接入FTTR家庭网关,再经由家庭内部全光纤组网传送至电视机,利用内置于电视机中的8K超高清“软终端”解码,实现类本地的8K视频家

庭娱乐和观影体验。

- 极致云交互电竞体验。在基地中以浅压缩云游戏进行云交互展示，在边缘云进行游戏图像渲染和浅压缩，借助源端图像的低压缩比、万兆速率转发，以高带宽换取低时延。在基地的4K画质游云游戏体验中，下行数据速率达400 Mbit/s，游戏操作时延低于6 ms，为用户带来极致的云游戏体验。同时，由于渲染和压缩都部署在边缘云，用户无须依赖昂贵的游戏硬件，瘦终端即可享受到万元主机性能，可为用户节省大量的游戏硬件花销。
- 3D/XR直播。3D/XR直播作为一种创新技术，正在改变人们的观看方式和互动方式，3D双目相机实时回传8K视频至直播平台码率最高150 Mbit/s，保障带宽300 Mbit/s。通过高性能计算机、实时渲染技术，并结合全光万兆的网络，3D/XR直播逐渐平民化，不再遥不可及。
- 3D光感知。基地展示了3D光感知监测人体跌倒的业务场景，通过激光雷达实

时采集3D点云成像有效保护隐私。一路感知探头产生的上行实时流量大概250 Mbit/s，多点位部署时总带宽需求将超过1 Gbit/s。基于50G-PON的全光万兆宽带为这种应用场景落地提供了可能，进而可为用户提供更加便捷的居家安全、智慧养老解决方案。

- 极速智家硬盘。基地凭借全光万兆网络、边缘云资源为家庭用户提供了端到端10 Gbit/s上下行速率智家硬盘体验。具备接近本地存储的传输速度，超大文件的传输实现“秒级”完成，云盘内的8K视频点播可以做到即点即播、视频进度条拖拽“0”等待。

截至2024年9月，基地已经接待了来自国内外多批次的企业、机构团队参观，其中包括日本ISP、MekongNET、阿联酋、埃及内阁信息决策支持中心、新疆电信、甘肃电信、湖北电信、北京联通等，不仅展示了示范基地在技术创新和产业合作方面的成果，也促进了各方交流与合作。

4 结束语

以50G-PON为基础的万兆光网将极大地提升

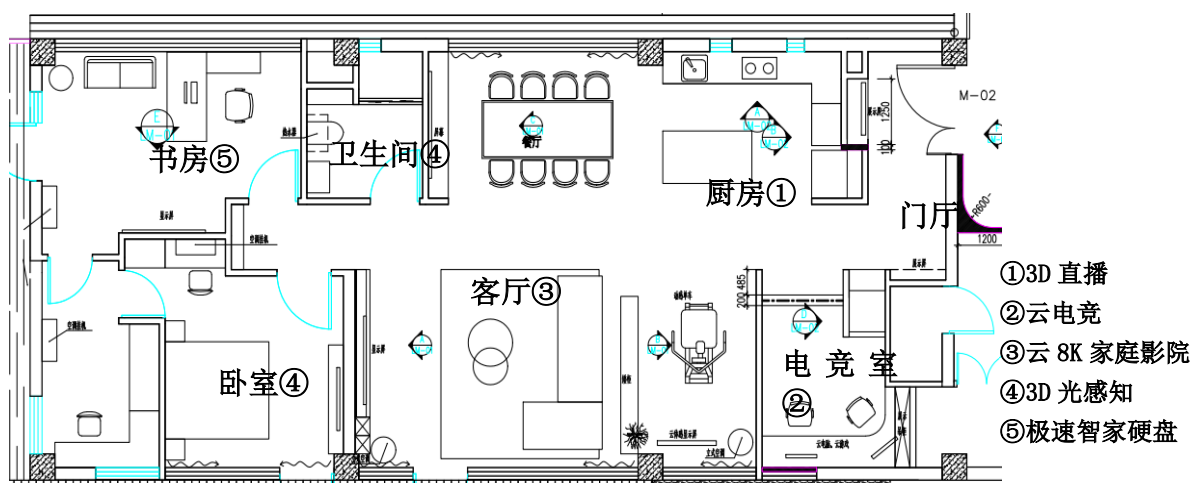


图3 全光万兆云宽带产业合作创新示范基地业务演示布局



人们的网络体验，在家庭生活中使得高清视频流传输、在线游戏、云办公等应用更加流畅无阻，在工业场景使得远程监控、实时数据分析等应用成为可能，极大地提高了生产效率和产品质量，将为云计算、大数据、人工智能等新兴技术的发展提供坚实基础，并将推动这些技术在各行业的广泛应用，促进产业升级，为经济增长注入了新的动力。本文分享了上海电信 50G-PON 试点和首发阶段的技术实现方案。未来，笔者将持续推进 50G-PON 的规模应用和创新业务探索，推动全光万兆云宽带产业的合作与发展。

参考文献：

- [1] ITU-T. Higher speed passive optical networks - common transmission convergence layer specification:G.9804.2[S]. 2021.
- [2] 上海市政府. 上海市进一步推进新型基础设施建设行动方案(2023-2026年)[R]. 2023.
- [3] 上海市通信管理局, 上海市经济和信息化委员会. 上海市“光耀申城”万兆启航行动计划(2024-2025年)[R]. 2024.
- [4] 中国电信上海公司, 华为技术有限公司. 50G PON 全光万兆发展白皮书[R]. 2023.
- [5] 马智勇, 张坚平. 50G PON 与 EPON 共存的探讨[J]. 电信科学, 2024, 40(Z1): 169-174.
- [6] 上海市通信管理局, 中共上海市委网络安全和信息化委员会办公室, 上海市发展和改革委员会, 等. 上海市智能算力基础设施高质量发展“算力浦江”智算行动实施方案(2024-2025年)[R]. 2024.
- [7] 马智勇. 家庭光纤组网技术方案探讨[J]. 电信科学, 2021, 37(5): 170-176.

[作者简介]

马智勇 (1976-) 男, 中国电信股份有限公司上海分公司总工程师室高级工程师, 主要研究方向为光接入网、家庭网络与终端的技术。

张坚平 (1970-) 男, 中国电信股份有限公司上海分公司总工程师室教授级高级工程师、副总工, 主要研究方向为固网、移动网、终端技术。

严森垒 (1969-) 男, 上海邮电设计咨询研究院有限公司教授级高级工程师, 主要研究方向为建筑通信配套工程技术。