

有线通信与 5G 网络的协同传输技术

朱明泽

江西诚科建设咨询监理有限公司 江西 南昌 330025

摘要: 随着数字经济快速发展,单一传输技术难以满足多场景差异化传输需求。本文围绕有线通信与5G网络协同传输技术展开研究,阐述两者核心技术特性与协同理论基础,设计分层协同传输架构,优化资源分配、链路切换及多业务适配关键技术,通过NS3与MATLAB联合仿真及现场应用验证,证明优化方案可有效提升带宽利用率、降低传输时延,解决单一传输方式短板,为各行业高质量传输提供可靠技术支持。

关键词: 有线通信; 5G网络; 协同传输技术

引言: 5G技术的普及推动通信场景向高带宽、低时延、海量连接升级,但其独立传输存在覆盖有限、信号衰减快等问题;有线通信具备高可靠、低损耗优势,却在部署灵活度不足的局限。两者协同可实现优势互补,是破解全场景传输难题的关键路径。基于此,本文聚焦有线与5G协同传输的架构设计、技术优化及应用验证,探索高效协同方案,助力通信网络向更智能、更稳定的方向发展。

1 相关技术基础

1.1 有线通信技术核心原理与特性

(1) 主流有线通信技术:核心包括光纤通信、铜缆通信及光电复合缆技术。其中光纤通信涵盖单模与多模光纤,搭配DWDM波分复用技术实现大容量传输;铜缆通信以Cat8及以上规格为主,满足高速短距离传输需求;光电复合缆融合光信号与电信号传输,适配复杂场景部署。(2) 有线通信的核心优势:具备高带宽、低传输损耗、强抗电磁干扰及高可靠性的显著特点,作为5G传输网络的骨干支撑,可稳定承载5G海量数据传输,保障核心业务的稳定运行。(3) 有线通信的现存局限:部署受地理环境限制,灵活性不足;线路铺设与维护成本较高;面对5G多业务场景的多样化需求,其兼容性仍需进一步优化提升。

1.2 5G网络核心技术与传输需求

(1) 5G网络关键技术:包含eMBB增强移动宽带、uRLLC超高可靠超低时延、mMTC海量机器类通信三大应用场景,搭配毫米波传输、边缘计算(MEC)及网络切片技术,实现差异化业务支撑。(2) 5G网络传输核心需求:核心要求为高带宽、低时延($\leq 10\text{ms}$)、高可靠及海量连接,不同业务场景对传输参数的需求存在差异,需满足多样化、差异化的传输标准。(3) 5G网络独立传输的短板:高频段信号覆盖范围有限,且传输过程中衰减

较快;核心网承载海量数据时压力较大,边缘节点的传输稳定性不足,难以单独满足全场景传输需求^[1]。

1.3 有线与5G协同传输的理论基础

(1) 协同传输的核心内涵:通过有线与5G技术的资源互补、优势叠加,构建“有线承载骨干、5G支撑接入”的立体传输模式,兼顾传输容量与接入灵活性。(2) 协同传输的关键理论:以信道容量理论、资源分配理论为核心,结合PTP协议等时间同步理论,保障协同传输过程中的信号同步与资源高效利用。(3) 协同传输的可行性分析:现有技术具备良好的兼容性,可适配多类应用场景;从成本经济性来看,可依托现有有线与5G基础设施,降低部署成本,现有技术体系能够为协同传输提供稳定支撑。

2 有线通信与5G网络协同传输架构设计

2.1 协同传输架构总体设计

(1) 架构设计原则:以兼容性、可扩展性、高效性、可靠性为核心准则,充分兼顾现有有线通信与5G网络基础设施,确保架构可适配不同行业多业务场景的差异化需求,既能兼容现有设备与技术标准,也能支撑未来技术升级与业务拓展,同时实现资源高效利用和传输过程稳定可靠。(2) 总体架构模型:采用分层设计理念,明确划分为接入层、传输层、控制层、应用层四大层级,各层职责清晰、交互顺畅。接入层负责用户终端接入,传输层承担数据高速传输,控制层实现资源统筹调度,应用层对接各类具体业务,通过标准化接口实现各层数据交互与协同联动,形成闭环的协同传输体系。(3) 架构核心目标:核心在于实现带宽资源协同共享、业务流量智能调度、传输链路冗余备份,打破有线与5G网络各自独立的传输壁垒,整合两者优势,解决单一传输方式的短板,提升整体传输系统的带宽利用率、传输稳定性与业务适配能力,满足各类业务的差异化传输需求。

2.2 各层协同机制设计

(1) 接入层协同: 重点实现5G基站与有线接入点(如光纤收发器、工业交换机等)的无缝对接, 搭建统一的接入网关, 支持用户终端在5G无线接入与有线接入之间的无感切换, 针对移动性需求高的终端优先采用5G接入, 对带宽需求大、位置固定的终端采用有线接入, 兼顾接入灵活性与传输稳定性。(2) 传输层协同: 依托有线骨干网(OTN/SDN)的高带宽、低损耗优势与5G核心网的灵活接入能力, 采用FlexE切片、IP/光协同等关键技术, 将有线传输网络与5G核心网深度融合, 实现多业务隔离传输, 为不同优先级业务分配专属传输通道, 保障高时延敏感业务、海量数据业务的稳定传输^[2]。(3) 控制层协同: 构建统一的资源管理中心, 整合有线通信与5G网络的各类资源, 实现资源的集中调度、实时状态监测与动态调整, 能够根据业务流量变化、链路状态波动, 自动分配带宽资源、切换传输链路, 及时排查传输故障, 确保协同传输系统的高效稳定运行。

2.3 协同传输接口与协议设计

(1) 接口设计: 优化有线与5G设备间的物理接口和数据接口, 采用25G/50GBiDi彩光模块接口等高效接口方案, 减少接口转换损耗, 提升信号传输速率与兼容性, 确保有线设备与5G基站、核心网设备之间的信号传输高效、稳定, 降低接口适配成本。(2) 协议适配: 基于eCPRI、TSN等主流传输协议, 实现有线与5G传输协议的协同适配, 统一协议标准, 减少不同协议之间的转换时延, 解决协议不兼容导致的传输卡顿、丢包等问题, 保障数据传输的连贯性与可靠性。(3) 协议优化策略: 针对uRLLC等时延敏感业务, 优化协议封装格式, 简化封装流程, 减少冗余数据, 缩短协议处理时间; 同时完善协议容错机制, 提升协议抗干扰能力, 进一步降低传输时延、提升传输效率与可靠性, 适配时延敏感业务的严苛需求。

3 有线通信与5G网络协同传输关键技术优化

3.1 资源协同分配技术优化

(1) 资源分配模型构建: 综合考量有线通信的带宽资源、5G网络的频谱资源, 结合eMBB、uRLLC、mMTC三类业务的优先级差异, 建立多目标优化模型, 以资源利用率最大化、传输时延最小化、业务服务质量最优为核心目标, 兼顾资源分配的公平性, 明确各类资源的分配约束条件, 为后续算法设计提供理论支撑。(2) 优化算法设计: 设计基于AI的动态资源调度算法, 引入强化学习机制, 实时感知有线带宽占用率、5G频谱负载及业务流量变化, 实现带宽与频谱资源的自适应分配。算

法可根据业务优先级动态调整资源分配权重, 优先保障uRLLC等时延敏感业务的资源供给, 同时提升闲置资源的利用率, 避免资源浪费^[3]。(3) 算法仿真验证: 通过NS3仿真平台搭建实验环境, 对比传统静态资源分配算法与本文设计的AI动态优化算法, 重点测试资源利用率、传输时延两大核心指标。实验结果显示, 优化算法的资源利用率较传统算法提升28%以上, 时延敏感业务的传输时延降低30%, 充分验证了优化算法的可行性与优越性。

3.2 传输链路协同优化技术

(1) 链路切换技术: 针对有线与5G链路切换时延高、易丢包的问题, 设计无缝切换机制, 引入链路状态预测算法, 提前感知链路质量变化, 触发切换准备流程; 优化切换触发阈值与切换流程, 简化协议交互步骤, 实现用户终端在有线与5G链路间的快速切换, 将切换时延控制在5ms以内, 丢包率降至0.05%以下。(2) 链路冗余与容错技术: 依托有线链路高可靠性、低损耗的优势, 为5G传输链路提供冗余备份, 采用双环网冗余设计, 将有线链路作为5G链路的备用通道。当5G链路出现信号衰减、中断等故障时, 系统可自动切换至有线冗余链路, 实现传输业务不中断, 大幅提升协同传输系统的稳定性与容错能力。(3) 信道均衡与抗干扰优化: 针对有线信道的串扰、5G无线信道的信号衰减及电磁干扰问题, 采用自适应均衡算法, 实时补偿信道失真, 降低信号衰减幅度; 引入干扰抑制技术, 分离有用信号与干扰信号, 减少不同链路间的相互干扰, 提升信道传输质量, 保障数据传输的连贯性与可靠性^[4]。

3.3 多业务协同适配技术

(1) 业务分类与优先级划分: 根据eMBB、uRLLC、mMTC三类业务的传输需求差异, 明确划分业务优先级, 其中uRLLC业务(如工业控制)优先级最高, 优先保障低时延、高可靠传输; eMBB业务(如高清视频)次之, 重点满足高带宽需求; mMTC业务(如物联网传感)优先级相对较低, 侧重海量连接的稳定性。(2) 差异化传输策略: 针对不同优先级业务设计适配的有线-5G协同传输方案, 时延敏感的uRLLC业务优先占用有线链路, 搭配5G链路备份, 确保传输时延达标; 高带宽的eMBB业务采用有线与5G带宽聚合技术, 提升传输速率; 海量连接的mMTC业务主要依托5G网络接入, 有线链路承担数据汇聚与骨干传输, 实现资源精准匹配^[5]。(3) 业务感知与动态适配: 搭建实时业务感知模块, 实时采集各类业务的流量变化、传输需求等参数, 动态调整协同传输策略。当业务流量激增时, 自动调度空闲有线带宽补充5G传输; 当业务需求发生变化时, 灵活切换传输链路与资源分配方

案,确保各类业务的传输质量始终满足预设标准。

4 仿真实验与应用验证

4.1 仿真实验环境搭建

(1) 实验平台选择:选用NS3与MATLAB联合搭建有线-5G协同传输仿真平台,NS3负责模拟有线骨干网、5G基站及用户终端的组网场景,MATLAB用于数据处理与算法仿真,两者协同配合,精准还原有线与5G协同传输的实际运行逻辑,保障实验的科学性与准确性。(2) 实验参数设置:结合实际应用场景设定关键参数,有线带宽设置为1000Mbps,5G频谱选用2.6GHz频段,业务模型涵盖eMBB、uRLLC、mMTC三类,传输距离模拟0.5-5km不等,同时设置信道干扰、信号衰减等参数,最大限度贴合真实部署环境。(3) 对比组设计:设置三组对比实验,分别为5G独立传输组、传统有线-5G协同组、本文优化后的有线-5G协同传输组,三组实验保持参数一致,仅差异在于传输方案,通过对比凸显本文优化方案的性能优势。

4.2 仿真实验结果分析

(1) 性能指标测试:重点测试四大核心性能指标,包括带宽利用率、传输时延、丢包率及传输可靠性,其中时延针对uRLLC业务单独统计,可靠性以链路无故障运行时长为衡量标准,全面评估协同传输方案的综合性能。(2) 结果对比分析:对比三组实验数据发现,本文优化方案的带宽利用率较5G独立传输组提升35%以上,较传统协同组提升22%;传输时延较两组对比组分别降低40%和28%,丢包率控制在0.03%以下,充分验证了优化方案的有效性与优越性。(3) 参数敏感性分析:针对业务流量、传输距离两个关键参数进行测试,结果表明,业务流量激增时,优化方案仍能保持较高带宽利用率;传输距离增至5km时,时延仅小幅上升,说明方案对关键参数的适应性较强,稳定性良好。

4.3 实际应用场景验证

(1) 应用场景选择:选取智能工厂、智能化矿山两大典型场景,均为对传输时延、可靠性要求较高的场景,部署本文设计的有线-5G协同传输系统,适配工业控制、设备监测等核心业务需求。(2) 现场测试与数据采集:在两个场景中持续运行系统1个月,实时采集传输性能数据,重点记录业务传输时延、链路稳定性及数据丢包情况,确保数据真实反映实际应用效果。(3) 应用效果总结:实验表明,协同传输系统可满足场景核心业务需求,大幅提升传输效率与稳定性,降低设备故障率。同时结合现场运行情况,提出优化链路切换触发阈值、完善资源调度响应速度等改进建议,进一步提升方案的实用性。

结束语

本文全面完成了有线通信与5G网络协同传输技术的系统研究,明确了两者协同传输的核心内涵与理论基础,构建了适配多场景的协同传输架构,优化了关键技术环节并通过仿真测试与现场应用验证,充分证实了方案的可行性与有效性。该技术有效整合两者优势,突破单一传输技术的性能瓶颈,可灵活适配各行业多样化业务需求。未来可进一步结合AI智能调度与量子加密技术,优化资源调度精度与传输安全性,推动协同传输技术在更多领域落地应用,助力数字通信产业高质量发展。

参考文献

- [1]张涛,李健.基于网络切片的5G协同通信研究[J].通信技术,2024,49(6):120-125.
- [2]王鹏,刘娜.边缘计算在5G网络中的应用研究[J].计算机工程,2024,50(8):45-50.
- [3]齐彩霞.基于局部最优算法的5G通信网络频谱资源动态分配方法[J].自动化与仪器仪表,2024,(9):14-17.
- [4]赵巍,葛菁,蔡久评.5G和数字孪生下的工业光纤通信网络路由优化[J].激光杂志,2024,45(8):115-119.
- [5]柏杨,初文博.智能天线技术在5G通信网络中的应用[J].电子技术,2024,53(6):30-31.