

面向智算应用的光网络技术研究

Research on Optical Network Technology for Intelligent Computing Applications

徐云斌¹,张勇²,王轶²,赵星¹(1. 中国信息通信研究院,北京 100191;2. 中国电信股份有限公司北京分公司,北京 100044)

Xu Yunbin¹,Zhang Yong²,Wang Yi²,Zhao Xing¹(1. China Academy of Information and Communications Technology, Beijing 100191, China;2. China Telecom Co., Ltd. Beijing Branch, Beijing 100044, China)

摘要:

智算应用爆发带来的分布式训练以及用户低时延用算等需求,对光网络提出新的要求。首先对智算应用需求进行分析,提出面向智算的端到端光网络架构,并对光网络关键技术,包括任务式调度、长距无损传输、安全可靠机制、智能化运维等进行具体分析。面向智算应用需求,光网络需要提供大带宽、低时延、安全可靠、低成本的网络连接能力,同时,智能体等应用将推动光网络智能运维向L4高阶自智演进,需加快完善相关标准体系,推动光网络智能应用成熟落地。

关键词:

光传送网络;无损传输;智能体;AI

doi:10.12045/j.issn.1007-3043.2025.08.002

文章编号:1007-3043(2025)08-0006-04

中图分类号:TN913

文献标识码:A

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



Abstract:

The surge of intelligent computing applications, along with the demands for distributed training and inference and low-latency user access to computing resources, has posed new requirements for optical networks. It first analyzes the requirements of AI-computing applications, proposes an end-to-end optical-network architecture, and the key optical technologies are analyzed, including task-oriented scheduling, long-haul lossless transmission, secure and reliable mechanisms, and intelligent operation and maintenance. To meet these AI needs, optical networks must deliver high bandwidth, low latency, security and reliability, and cost efficiency. Meanwhile, emerging applications such as AI agents will push optical network toward Level-4 high autonomy, it is essential to accelerate the refinement of relevant standards and drive the mature deployment of intelligent optical-network applications.

Keywords:

Optical transport network; Lossless transmission; Intelligent agent; AI

引用格式:徐云斌,张勇,王轶,等. 面向智算应用的光网络技术研究[J]. 邮电设计技术,2025(8):6-9.

1 概述

随着人工智能应用的快速发展,其对网络基础设施提出了新的挑战,要求网络能够支撑海量数据传输能力与高并发实时访问能力,对入算数据能够提供安全可靠传输,保护隐私,同时要求降低网络能耗,控制入算成本等。光传送网络作为网络通信基础设施的核心底座,凭借其高带宽、低延迟和高可靠性的特点,成为支撑智算应用的关键技术^[1-4]。本文旨在深入探讨智算应用的网络需求,分析光传送网络如何满足这

些需求,并研究引入人工智能后光传送网智能化运维的策略,通过高品质的全光网络为智算应用提供高效、可靠的网络支持。

2 智算应用网络需求分析

开源大模型 DeepSeek 聚焦算法与工程的性能优化,打破了算力至上的传统认知,使得基础模型训练对算力的需求减少了80%~90%,行业模型训练的总计算量也得到了降低,从而降低了行业用算使用门槛,用算需求激增。随着智算应用的爆发,大模型本地化部署以及AI终端等应用激增,本地算力难以满足用户需求,推动云边端协同三级架构普及,网络需要适应

收稿日期:2025-06-04

云边缘协同架构下分布式资源调度的需求,同时需要满足实时推理类应用毫秒级的响应需求^[5-6]。智算应

用网络需求分析如表1所示。

总的来说,面向智算应用需求,网络需要提供大

表1 智算应用网络需求分析

智算应用	需求分析	带宽需求	时延需求/ms	安全可靠	智能调度
虚拟数字人	实时表情和动作渲染	>200 Mbit/s	1~5	高	-
AI工业控制	设备状态监视与监控、实时调控	50~100 Mbit/s	<10	数据不出园区	-
AI辅助课程	流畅用户体验,云上算力渲染	>200 Mbit/s	<10	中	分时调度
远程超声诊断	实时看片	50~100 Mbit/s	<20	高	-
影视制作	云上AI渲染和本地瘦终端	>200 Mbit/s	<1.5	高数据安全	低成本数据传输
数据中心(DC)同城双活	同时读写数据同步诉求	百T	<1.5	可靠性高	一体调度运维
分布式训推	大带宽无损传输,低时延提升训推效率	百G	<1	高	任务式调度

带宽、低时延的连接能力,使得接入云端算力也能具备类本地化体验,同时解决数据安全、算力接入成本等问题。

3 面向智算应用的光传送网关键技术

3.1 面向智算的端到端光网络架构

面向智算模型高效训练和推理需求,光网络需要增强云计算中心、边缘计算节点、终端设备三级算力调度的能力,形成超大带宽、超低时延、灵活调度、安全可靠的能力。面向智算应用的端到端光网络架构如图1所示。

a) 在用户入算网络(DCA),需要增强用户的感知能力,实现基于感知的业务精细化控制,同时传送网和接入网融合协同管控,支撑多种算力接入需求。

b) 在算间互联网络(DCI),进一步提升传输系统

速率,增加全光交叉设备部署,增强全光调度能力,降低网络时延和网络能耗,同时增强网络传输的可靠性安全性。

c) 在算力中心网络(DCN),需要解决算间网络和算内网络独立管控的问题,打通算网资源端到端的管控瓶颈,同时引入全光交换(OSC)技术,增强网络的可扩展性。同时增强对链路模块的故障监测感知能力,增强光电链路的健康度。

d) 在智能管控层面,光网络可以统一数据采集接口,同时面向AI训练推理需求,采集相关数据,同时提供面向意图的北向接口,实现基于业务意图的业务创建流程打通,同时提供智能化接口,实现分布式推理等能力,提升智能化水平。

3.2 任务式调度技术

分布式的训推等应用需要临时性的TB级大数据

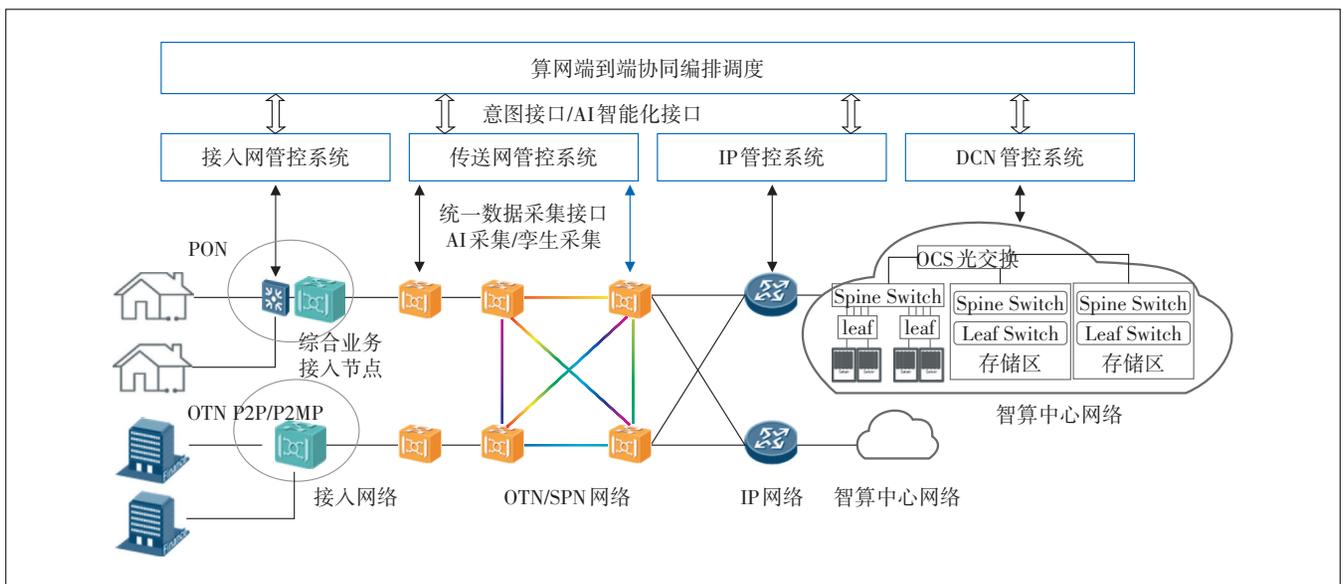


图1 面向智算的光网络总体架构

量传输,为满足这类弹性带宽需求,光传送网络需要支持光电两层的灵活管道建拆能力,需要实现电驱光的业务创建和自动化波长开通能力。

a) 电驱光业务自动建立。算网协同编排系统根据数据传输需求、计算任务周期、业务服务等级协议(SLA)需求等,自动规划光电两层的业务路由、带宽资源以及传输码型、频宽等参数,并配置业务的保护恢复能力。

b) 波长开通自动化。系统需要对光层参数进行实时的提取和数字建模,实现光层路径的可达性探测,实现电驱光的业务自动下发,并完成光层参数的自动调测。

3.3 长距无损传输技术

面向分布式训练的长距网络环境,网络仍旧需要无损传输。在长距环境情况下,由于传输时延现状,导致网络状态滞后,远程内存访问(RDMA)等协议无法高效地利用带宽。未来应对长距无损传输的挑战,光网络需要和IP网络、端侧服务器协同,满足高性能协议的传输效率需求(见图2)。

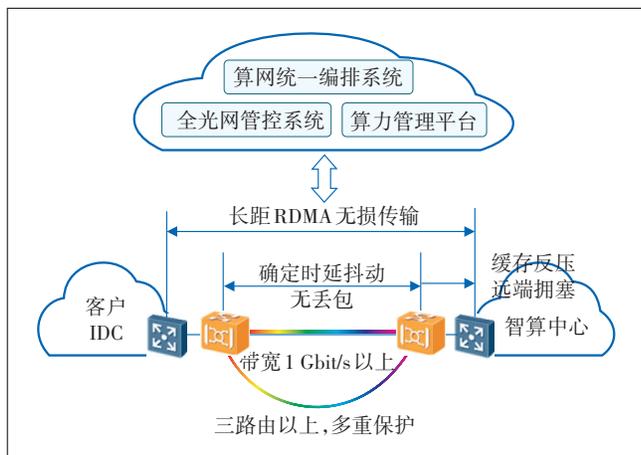


图2 光网络长距无损传输机制分析

a) 物理链路信息协同。长距环境下吞吐量受到传输时延和误码等因素的影响,光网络将端到端的管道传输时延参数通过协议传输到服务器或交换机端侧,并更新由于保护倒换等路由变化引起的时延变化,用于端侧调整协议传输的消息长度、队列数量等参数。此外,光网络可以将误码信息通知端侧,用于端侧对重传故障进行定位,制定不同的传输策略。

b) 协同流量控制。在远端出现拥塞的情况下,由于往返时延(RTT)的存在,交换机需要提供满足RTT时延的大缓存,才能避免丢包,这会导致设备成本的

增加,端网需要协同探索实现长距环境下的流控机制,实现缓存预警流量反压等机制,避免流量拥塞导致的业务丢包。

此外,为降低网络中的丢包发生概率,提升网络可靠性,光网络需要提供确定性的时延抖动控制能力,通过FEC等机制降低网络误码。

3.4 安全可靠机制

用户数据的安全性是用户使用远端算力的主要顾虑之一,需要解决入算过程中的用户数据、知识库安全。光网络可以提供硬管道隔离及加密机制,保障用户数据传输安全性。

a) 安全加密机制。为保证客户数据的安全,OTN可采用国家或商密加密,或者结合量子密钥分发(QKD)等高安全技术实现传输保密通信。

b) 硬管道隔离机制。OTN基于光层LO的波长级波分复用和基于电层L1的固定时隙技术对用户的业务进行隔离,保障了每个业务的资源独享性,保证重要行业客户的业务数据流不易被监听,不会被同一光纤链路内其他类型业务流攻击。

c) 光网络能够提供抗多次故障能力,在保障网络发生多次故障保护倒换情况下,降低网络保护倒换时间,尽量保障其在多次故障的情况下都能够小于50 ms。

4 光传送网智能化运维技术

AI智能体(Agent)作为AI落地应用的主流形式之一,其概念得到业界的广泛关注与认可,2025年以来相关应用逐步进入规模商用。面向网络运维管理智能化能力提升需求,产业界纷纷基于AI大小模型,打造面向具体网络运营管理场景的智能体系统,以提升网络运维管理的智能化与自动化水平。基于业界基本达成共识的通用AI智能体功能架构,本文提出基于AI的网络运维管理智能体的总体功能架构(见图3)。

从抽象功能层面,网络管理智能体功能架构包含以下关键模块。

a) 意图管理模块。基于AI模型提供的推理能力,将输入的任务信息通过模型推理转化为任务意图。

b) 网络感知模块。进行与任务意图相关的网络状态信息实时查询,查询信息包括拓扑、业务配置、告警、性能等,数据来源可包括管控系统、网络数字孪生系统及其他工具等。

c) 任务规划模块。基于AI模型的推理能力,将任

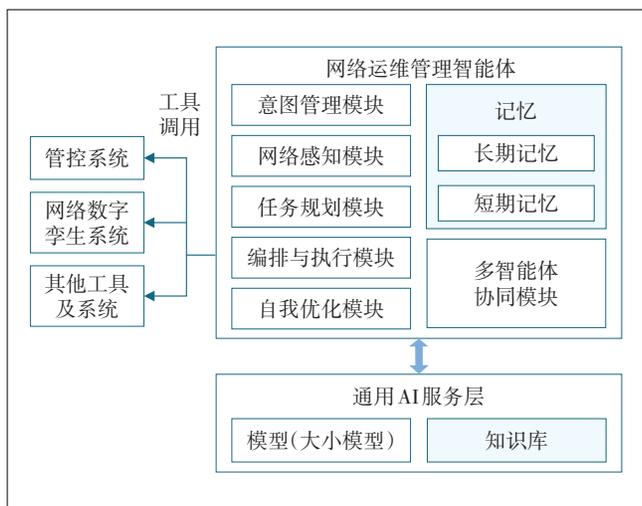


图3 网络运维管理智能体功能架构

务意图分解为多个子操作。

d) 编排与执行模块。选择合适工具并自动调用相关工具或接口执行操作,并在完成各子操作后将结果整合成任务执行结果。

e) 反思与自优化模块。对智能体系统的历史决策过程和执行结果进行分析评估,并根据结果自动调整优化策略、参数等的的能力,可集成人工评估以通过人工监督进一步优化智能体的决策和执行性能。

f) 记忆模块。负责智能体运行过程中的数据存储与处理,包括长期记忆(LTM)和短期记忆(STM)。

g) 多智能体协同模块。实现不同网络层级或不同应用场景下多个智能体系统之间的协作,具体协作机制及通信协议还需进一步研究。

此外,在网络运维管理智能体之外^[7],还应包含通用AI服务层,包含各类AI模型[大语言模型(LLMs)、多模态模型、轻量级小模型]及知识库。其中AI模型作为统一引擎提供公共的推理能力,大模型主要聚焦任务全流程的智能化,小模型则更聚焦网络设备层单一任务的运维,智能体系统可调用多个模型进行大小模型协同,提升决策性能和效率。知识库支持对向量知识库、系统在线帮助、运维数据日志等多类型知识库的统一检索,并结合AI模型完成知识融合与提取,提升智能体系统任务执行的准确性。各类网络运维管理智能体可基于通用AI服务层构建,借助其提供的模型推理能力与知识库,实现意图解析、任务规划等能力。需要说明的是,根据实际部署需求,通用AI服务层也可部署于智能体内部。

针对不同应用场景,可构建多个场景化的智能

体。面向网络规划、建设、维护、优化及运营场景,主要的光网络运维管理智能体包括网络故障处理智能体、质量优化智能体等。为推动智能体应用的成熟,需要加快完善网络智能体测评标准,通过挖掘光网络高价值应用场景,构建支持通用评估、网络领域评估、专业场景评估的综合评估框架体系,实现全场景、全流程评估,推动光网络迈向L4高价自智。

5 总结

总体而言,面向智算的光网络需要进一步提升网络大带宽、低时延传输能力,满足智算应用TB级数据传输以及低时延入算需求;同时需要考虑扩展光网络网关设备,通过与服务器端侧或者交换机设备的交互,实现长距无损传输能力,提升数据传输的效率,通过提供安全可靠的传输管道,保障用户数据安全性,此外还需要形成任务式调度、按需业务调度等模式,降低用户入算成本,增强用户使用远端算力的信心,提升算力中心资源使用效能。

在网络智能运维方面,智能体应用成为当前研究热点,需要加快完善智能体相关标准,挖掘高价值网络场景,推动智能应用城市,加速光网络迈向L4高阶自智。

参考文献:

- [1] 叶通,胡卫生.大规模智算中心光电交换网络架构演化综述[J].电信科学,2025,41(4):32-43.
- [2] 黄婷婷,袁志林,翟德伟,等.面向智算中心光网络的Ring Allreduce业务算网协同部署算法研究[J].电信科学,2025,41(4):44-52.
- [3] 翟锐,李壮志,侯广营,等.基于以太无损网络的智算中心光网络架构研究(特邀)[J].光通信研究,2024(5):70-75.
- [4] 李韞瑄,杨亚萍,涂佳一,等.面向智算中心互连的光网络关键技术研究[J].电信科学,2025,41(4):3-19.
- [5] 栾昊立,王晓东,杨锐,等.AI智算发展对高速光模块的应用需求研究[J].邮电设计技术,2024(6):7-11.
- [6] 郭亮,王少鹏,权伟,等.面向大模型的智算网络发展研究[J].电信科学,2024,40(6):137-145.
- [7] 杨刚刚,邵珠贵,高逢亮,等.知识图谱在光传送网络智能运维中的应用研究[J].电信科学,2024,40(3):136-146.

作者简介:

徐云斌,主任工程师,博士,主要从事智能光网络新技术研究、标准研制、测试验证等工作;张勇,高级工程师,主要从事光传输网络、无损网络等规划和技术研究工作;王轶,高级工程师,主要从事光传输网络、无损网络、智慧机房等管理工作;赵星,高级工程师,硕士,主要从事光网络智能化管控运维新技术、标准研究、测试认证等工作。