

面向算力网络的高速有线通信与智能协同传输

李林何

江西诚科建设咨询监理有限公司 江西 南昌 330025

摘要: 算力网络作为打破算力资源孤岛、实现算力高效分发的核心体系,对高速有线通信的高带宽、低时延、高可靠需求日益迫切。本文立足算力网络核心理论与技术基础,分析其对高速有线通信的差异化需求,优化通信技术适配方案、拥塞控制及可靠性保障策略,设计“感知-调度-协同-反馈”闭环智能协同传输机制,通过仿真验证优化方案有效性,为算力网络高效稳定运行提供技术支撑,助力算网一体协同发展。

关键词: 面向算力网络; 高速有线通信; 智能协同传输

引言: 数字经济时代,算力成为新质生产力,算力网络已成为全球科技竞争的战略制高点,“东数西算”工程推动下,其规模化发展面临通信传输瓶颈。传统有线通信技术难以适配万卡级智算集群、异构算力调度等复杂场景需求,算网协同不足导致资源利用率偏低。因此,开展面向算力网络的高速有线通信适配优化与智能协同传输研究,破解传输时延、拥塞等难题,具有重要的理论与工程实践意义。

1 相关理论与技术基础

1.1 算力网络核心理论

(1) 算力网络的定义与架构: 算力网络是分布式异构算力的统一纳管与协同调度体系,旨在打破算力资源孤岛,实现算力的高效分发与利用。其核心组成包括算力接入层、网络传输层、协同调度层和应用服务层,分别承担算力节点接入、数据高速传输、算网资源协同调度及应用适配等功能,形成“算网一体”的完整架构。(2) 算力网络的核心需求: 传输层面需满足高带宽、低时延、高可靠、可调度的核心要求,保障算力数据高效传输;算网协同层面核心诉求是实现算力资源与网络资源的动态匹配,提升资源利用率,满足不同场景下的算力服务需求。

1.2 高速有线通信技术基础

(1) 主流高速有线通信技术: InfiniBand技术具备低时延、高带宽特性,适用于高性能计算场景;RoCEv2基于以太网实现RDMA功能,兼顾兼容性与高性能;以太网技术成熟、成本低,广泛应用于通用算力传输场景,三者互补支撑不同算力传输需求。(2) 高速有线通信关键指标: 带宽指单位时间传输的数据量,时延是数据从发送到接收的耗时,丢包率为丢失数据包占比,可靠性衡量传输稳定性;常用测试方法包括带宽测试工具、时延监测软件及丢包率统计分析等。(3) 高速有线通信硬件支撑: 智能无损交换芯片实现低时延、无丢包转发,高带

宽网卡提升数据收发速率,光模块保障远距离高速传输,三者共同构成高速有线通信的硬件基础^[1]。

1.3 智能协同传输相关技术

(1) 协同传输核心技术: RDMA远程直接内存访问可跳过操作系统内核,降低传输时延;流量调度实现数据分流,避免网络拥堵;拥塞控制通过动态调整传输速率,保障传输稳定性。(2) 智能调度技术: 动态流调度根据网络状态调整数据传输路径,多级负载均衡均衡节点压力,计算感知路由优化结合算力需求规划最优路由,提升传输效率。(3) 通信协议基础: MPI、NCCL等集体通信库适配高性能计算场景,保障多节点协同通信;TCP/IP协议保障传输可靠性,UDP协议侧重高速传输,二者根据算力传输需求灵活适配。

1.4 算网协同核心理论

(1) 算网协同的内涵: 核心是建立算力资源与网络资源的动态匹配、协同调度机制,通过实时感知算力与网络状态,实现资源的最优分配,提升算网整体运行效率。(2) 异构算力通信协同理论: 针对CPU、GPU等不同类型算力节点,构建通信适配机制,优化节点间数据交互流程,解决异构算力间通信兼容性问题,实现异构算力高效协同。

2 面向算力网络的高速有线通信技术适配与优化

2.1 算力网络对高速有线通信的核心需求分析

(1) 万卡级智算集群的传输需求: 万卡级智算集群作为算力网络的核心载体,需支撑大规模并行计算任务,对高速有线通信提出严苛要求。其中带宽需达到800Gb/s及以上,满足海量算力数据的高速传输需求;时延需控制在微秒级,保障计算任务的实时协同;同时需实现零丢包的无损传输,避免数据丢失导致计算任务中断或结果偏差,为智算集群高效运行提供通信保障。(2) 异构算力场景的通信需求: 算力网络中存在CPU、GPU、FPGA

等多种异构算力节点，不同节点的通信协议、传输速率存在差异，因此需满足节点间的通信兼容性，实现异构节点间数据的顺畅交互。同时，异构算力节点的负载分布不均衡，需通过通信优化实现负载均衡，避免单一节点通信拥堵，提升整体算力利用效率^[2]。（3）动态算力调度的通信需求：算力网络的核心优势的是算力资源的动态调度，在算力迁移、任务切换过程中，通信链路需保持稳定，避免因调度导致通信中断；同时需满足实时性需求，确保算力迁移和任务切换过程中数据传输不延迟，保障计算任务的连续性和稳定性，实现算力资源的灵活调配。

2.2 高速有线通信技术适配设计

（1）InfiniBand与RoCEv2协议的适配优化：针对算力网络的多样化场景，对InfiniBand与RoCEv2协议进行参数调整，优化协议的传输时延和带宽利用率，无需对终端设备与通信库进行深度定制，降低适配成本和部署难度。通过协议适配，使两种协议能够灵活适配不同算力场景，兼顾高性能与兼容性，满足算力网络的差异化通信需求。（2）高速有线通信链路优化：结合算力网络的动态负载变化，对链路带宽进行智能分配，优先保障高优先级算力任务的带宽需求；同时实现传输速率的自适应调整，根据网络负载和算力需求动态调节传输速率，避免链路带宽浪费，提升链路利用率，确保通信链路始终处于高效运行状态。（3）硬件适配方案：聚焦国产化部署需求，推动国产智能无损交换芯片与高带宽网卡的集成适配，优化硬件接口协议，实现硬件设备的无缝兼容。通过国产化硬件集成，不仅降低了部署成本，还提升了通信系统的自主可控性，为算力网络的安全稳定运行提供硬件支撑^[3]。

2.3 高速有线通信拥塞控制与负载均衡优化

（1）智能主动拥塞控制算法设计：融合ECN（显式拥塞通知）与IPCC（智能拥塞控制）技术，通过实时采集网络链路的流量、时延等参数，提前感知拥塞隐患，动态调整数据传输速率和流量分配，避免拥塞发生。该算法无需等到拥塞出现后再进行调整，有效降低传输时延和丢包率，保障通信链路的顺畅。（2）负载均衡策略优化：采用Spraylink多路径喷射技术，将数据流量均匀分配到多条通信路径上，避免单一路径负载过重导致的拥塞问题。同时结合算力节点的负载状态，动态调整路径分配权重，实现流量与算力负载的协同均衡，进一步提升通信效率和网络稳定性^[4]。（3）优化方案验证：通过仿真测试搭建模拟算力网络环境，模拟万卡级智算集群、异构算力调度等真实场景，对拥塞控制与负载均衡优化方案进行验证。测试结果表明，优化方案可有效降低丢

包率和传输时延，提升链路利用率和通信稳定性，满足算力网络的核心通信需求。

2.4 高速有线通信可靠性保障设计

（1）链路故障快速恢复机制：采用M-LAG（多链路聚合）与DPSH分布式保护技术，构建双重冗余通信链路，形成主备互补的链路架构。当主链路出现中断、卡顿等故障时，系统可自动快速切换至备用链路，实现毫秒级网络收敛。该机制能有效缩短故障恢复时间，杜绝因链路故障导致的算力任务中断问题，切实保障通信链路的高可用性与稳定性。（2）静默故障检测与自愈：基于ISDF（智能静默故障检测）技术，对通信数据面的隐性故障、潜在隐患进行实时精准监测，整个检测过程无需中断正常通信，不影响算力传输效率。一旦检测到故障，系统将自动触发自愈机制，通过切换至备用资源、动态调整传输路径等方式，实现故障快速恢复，进一步筑牢高速有线通信的可靠性防线。

3 面向算力网络的智能协同传输机制设计

3.1 智能协同传输架构设计

（1）架构总体设计：为适配算力网络动态调度与高效传输需求，构建“感知-调度-协同-反馈”的闭环智能协同传输架构。该架构以算力与网络状态感知为基础，通过智能调度实现资源最优分配，依托多节点协同保障传输效率，借助性能反馈持续优化机制参数，形成全流程、自适应的协同传输体系，打破算网割裂壁垒，提升算力网络整体传输性能。（2）核心模块划分：算力与网络状态感知模块负责采集算力节点负载、网络带宽等核心参数，为调度决策提供数据支撑；智能调度模块承担路径规划、优先级分配等核心任务，实现传输资源的动态调配；多节点协同模块协调不同算力节点、通信链路的工作状态，保障多节点数据高效交互；性能反馈模块实时监测传输性能，将异常数据反馈至调度模块，完成闭环优化。（3）与算力网络的融合设计：立足算力网络“算网一体”核心需求，确保协同传输机制与算力调度、资源分配深度适配。通过接口标准化设计，实现协同传输模块与算力调度平台的数据互通，使传输调度能够实时响应算力迁移、任务切换等场景需求，同步调整传输策略，保障算力资源与网络资源协同联动、高效匹配。

3.2 算力与网络状态感知机制

（1）感知指标选取：聚焦协同传输决策需求，选取核心感知指标，涵盖算力节点负载（CPU、GPU利用率）、网络带宽利用率、传输时延、丢包率，同时补充节点通信兼容性、链路稳定性等辅助指标，全面反映算力与网络的实时运行状态，为智能调度提供全面、精准的数据依

据。(2)感知方法设计:采用“异构通信库信息采集+集中控制器与端侧自主控制结合”的感知方式。通过MPI、NCCL等异构通信库采集节点内部通信数据,依托集中控制器实现全局网络状态汇总,同时赋予端侧节点自主感知能力,减少集中式感知的时延,实现全局感知与局部感知的协同,提升感知实时性^[5]。(3)感知数据处理:对采集到的原始数据进行预处理,通过滤波算法完成数据降噪,剔除异常干扰数据;采用多源数据融合技术,整合不同感知渠道的信息,提升数据准确性;建立高速数据传输通道,将处理后的感知数据实时推送至智能调度模块,确保调度决策的及时性与科学性。

3.3 智能协同调度策略设计

(1)基于算力需求的传输路径优化:结合感知模块获取的算力与网络状态数据,采用启发式算法进行全局最优路径规划,综合考虑传输时延、带宽利用率、链路可靠性等因素,避开拥堵链路与高负载节点,选择最优传输路径,最大限度降低传输时延,保障数据传输高效顺畅。(2)多业务优先级协同调度:根据算力任务的重要程度与实时需求,划分不同业务优先级,核心算力任务(如大规模并行计算、实时数据处理)设定为高优先级,普通任务设定为低优先级。调度策略优先保障高优先级任务的带宽与传输资源,动态调整流量分配,避免低优先级任务占用核心资源,提升任务传输的有序性与高效性。(3)异构算力节点协同传输:针对CPU、GPU、FPGA等不同类型算力节点的通信特性与传输需求,设计差异化协同传输策略。对高算力、高带宽需求的GPU节点,采用RDMA技术提升传输效率;对通用CPU节点,优化TCP/IP协议适配,实现不同节点间的通信兼容与高效协同,充分发挥异构算力的整体效能。

3.4 协同传输性能优化与仿真验证

(1)性能优化目标:明确协同传输机制的核心优化目标,重点降低传输时延、提升网络带宽利用率,同时

缩短任务传输完成时间,减少数据丢包率,确保协同传输机制能够适配万卡级智算集群、异构算力调度等复杂场景,满足算力网络的高性能传输需求。(2)仿真环境搭建:基于真实算力网络场景,构建仿真测试平台,模拟万卡级智算集群、异构算力节点部署环境,设置不同的算力负载、网络带宽、传输任务等测试参数,还原实际应用中的复杂场景,确保仿真测试的真实性与针对性。(3)仿真结果分析:对比优化前后的传输性能指标,重点分析传输时延、带宽利用率、任务完成时间等核心参数的变化。仿真结果表明,所设计的智能协同传输机制能够有效降低传输时延、提升带宽利用率,缩短任务传输完成时间,验证了机制的有效性与可行性,能够满足算力网络的协同传输需求。

结束语

本文围绕算力网络的高速有线通信适配与智能协同传输展开系统研究,完成了通信技术优化、可靠性保障及协同传输机制设计,仿真结果验证了方案的可行性与有效性。当前算力网络仍处于起步阶段,未来可结合全光网3.0、人工智能技术,进一步优化感知精度与调度效率,推动国产化硬件规模化应用,助力算力网络向更高效、更智能、更可靠的方向发展。

参考文献

- [1]唐欢.对有线通信的光纤接入网技术的研究[J].长江信息通信,2022,35(07):183-186.
- [2]白羽,全永华.面向5G通信网络传输承载方案研究[J].计算机产品与流通,2020,(01):64-67.
- [3]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.
- [4]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.
- [5]陈明,李勇.超密集网络在5G中的实现与挑战[J].无线通信,2024,42(4):85-90.