

边缘计算技术在物联网互联网应用中的延迟优化工程研究

刘 勇

珠海凌达压缩机有限公司 广东 珠海 519110

摘要: 本文聚焦边缘计算技术在物联网互联网应用中的延迟优化工程研究。先阐述边缘计算核心概念与优势,分析融合架构及延迟产生机理。提出了延迟优化的核心工程技术路径,涵盖边缘节点部署、数据处理传输、资源调度协同、网络拓扑配置等方面。最后通过工业物联网和制造业车间场景的工程实践,验证优化措施的有效性,为提升物联网互联网应用性能提供理论与实践参考。

关键词: 边缘计算; 物联网; 互联网应用; 延迟优化

引言: 在物联网互联网蓬勃发展的当下,低延迟成为众多应用场景的关键需求。为满足智能制造、数字化车间对实时性的迫切需求,边缘计算作为新兴技术,将计算能力向网络边缘迁移,为降低延迟提供了可能。然而,边缘计算与物联网互联网应用融合时,仍面临延迟问题。深入剖析融合架构及延迟产生机理,探寻有效的延迟优化工程技术路径,对于推动物联网互联网应用规模化落地、提升用户体验具有重要意义,故开展此项研究。

1 边缘计算技术核心概念

边缘计算是一种分布式计算架构,核心是将数据处理、存储及应用服务从云端向网络边缘节点迁移,让计算能力更贴近数据产生源头。其打破了传统云计算“云端集中处理”的模式,通过在网络边缘部署轻量化计算节点,实现数据的本地化处理,减少跨网络传输成本。边缘计算的核心特征包括低延迟、高可靠、广覆盖、隐私保护强及带宽优化,可有效弥补云计算在实时响应、终端设备连接密度等方面的不足。边缘节点通常部署在基站、路由器、工业控制器等终端侧设备附近,能够快速响应终端请求,同时对敏感数据进行本地加密处理,降低数据泄露风险^[1]。作为衔接终端设备与云端平台的关键技术,边缘计算为物联网、互联网应用的规模化落地提供了核心支撑,已成为数字经济时代的重要技术基石。

2 边缘计算与物联网互联网应用的融合架构及延迟产生机理

2.1 融合架构设计

边缘计算与物联网、互联网应用的融合架构采用“终端层-边缘层-云端层”三级架构设计,各层级协同联动实现高效数据处理。终端层包含各类物联网感知设备、互联网终端,负责数据采集与初步感知;边缘层部署边缘节点、边缘网关等设备,承担数据过滤、分析、存储及本地决策任务,同时承接云端下发的指令;云端层负责

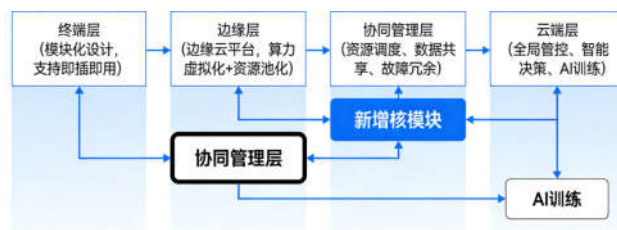
全局数据汇总、大数据分析、模型训练及资源统筹调度。该架构通过边缘层与云端层的分工协作,既保证本地任务的快速响应,又实现了全局资源的优化配置。架构设计中需兼顾兼容性,支持不同协议终端设备接入,同时强化边缘层与云端层的通信协同,确保数据传输的稳定性。另外,架构还融入了轻量化虚拟化技术,实现边缘节点资源的灵活分配,适配不同应用场景的需求。

2.2 延迟产生机理与核心影响因素

延迟产生的核心机理是数据在传输、处理、调度全流程中的耗时累积,其受多方面因素综合影响。从传输层面看,终端与边缘节点、边缘节点与云端之间的网络带宽有限、信号干扰、路由跳转次数过多,会导致数据传输延迟;处理层面,边缘节点算力不足、数据过滤与分析算法效率低下,以及多任务并发处理时的资源竞争,会增加数据处理延迟。核心影响因素包括网络质量,带宽波动、丢包率直接影响传输效率;边缘节点性能,算力、存储资源配置不足会制约处理速度;任务特性,数据量大小、处理复杂度不同导致延迟差异;资源调度策略,不合理的调度会引发节点负载失衡,加剧延迟。终端设备性能、协议适配性也会对延迟产生间接影响,这些因素相互关联,共同决定了融合架构的延迟表现。

3 边缘计算与物联网互联网应用的融合架构及延迟产生机理

3.1 融合架构设计



终端-边缘-协同-云端增强型架构的架构图

基于场景化需求优化的融合架构，在传统三级架构（终端-边缘-云端）基础上创新拓展，增设协同管理层，形成“终端-边缘-协同-云端”的增强型架构。协同管理层作用关键，承担边缘节点间的资源调度、数据共享与故障冗余任务。科学资源调度可实现各边缘节点负载均衡，避免部分节点过载或闲置；数据共享促进信息流通，提升数据利用效率；故障冗余机制保障系统稳定运行，某节点故障时能迅速切换，保证服务连续性，提升架构可靠性与扩展性^[2]。终端层采用模块化设计，灵活性高，支持传感器、智能终端等设备即插即用，新设备接入或旧设备更换轻松完成，适配多元数据采集需求。边缘层引入边缘云平台，实现算力虚拟化与资源池化，能按应用需求动态分配计算和存储资源，提高利用率。云端层聚焦全局管控与智能决策，借助大数据分析和AI模型训练挖掘数据价值，为边缘层提供精准优化策略，使架构更智能高效。此外，架构强化安全防护模块，在边缘节点部署防火墙、数据加密组件等，全方位保障终端与边缘、边缘与云端间的数据传输安全，满足制造业企业高数据安全要求。

3.2 延迟产生机理与核心影响因素

除基础延迟机理，复杂场景下延迟与架构层级协同、异构设备适配紧密相关。边缘节点间数据交互非即时，在压缩机制造行业场景中，平均延迟约50-100ms。边缘层与云端层同步更新，数据量大或网络差时延迟显著，如数据量1GB、带宽10Mbps时，同步更新延迟可达800-1200ms。异构终端设备协议转换增加数据处理耗时，压缩机制造场景中平均耗时约30-60ms。协同机制不合理会使数据传输冗余率达20%-30%，增添延迟。异构设备适配工作量大，压缩机制造行业平均耗时约40-70ms。合理网络拓扑结构可降低15%-25%的数据传输延迟。工业场景电磁干扰会使网络不稳定，压缩机制造车间受干扰时延迟波动幅度达50%-80%。边缘节点缓存命中率，低于60%时重复数据传输耗时可能增加30%-50%。

4 边缘计算延迟优化的核心工程技术路径

4.1 边缘节点部署与资源优化

边缘节点部署与资源优化作为延迟优化的基石，其核心在于通过科学合理的节点部署与资源精准配置，有效缩短数据传输距离和处理耗时。在节点部署上，采用“场景适配+拓扑优化”策略。深入分析应用场景中终端的分布密度、数据产生量等关键因素，运用聚类算法精确定节点部署位置，力求使终端到边缘节点的传输距离最小化。资源优化方面，运用动态资源分配技术，依据边缘节点的实时负载、任务优先级，灵活调配CPU、内存、

存储等资源，防止单一节点负载过高。同时引入边缘节点虚拟化技术，借助容器化、轻量化虚拟机实现资源的弹性扩展，提高资源利用率。通过节点冗余部署，避免因单点故障导致延迟增加，保障服务连续性，为系统的稳定运行提供坚实保障^[3]。

4.2 数据处理与传输优化

数据处理与传输优化旨在从源头减少数据量、提升传输效率，进而降低延迟。数据处理优化采用“预处理+边缘计算”模式。在终端侧，对采集的数据进行过滤、去重、压缩等预处理操作，剔除无效数据，大幅减少传输数据量。边缘层则采用轻量化处理算法，替代传统复杂算法，在保证处理精度的前提下，显著提升处理速度。同时对数据进行分级处理，紧急数据优先处理，非紧急数据批量上传云端，提高数据处理效率。传输优化方面，积极采用5G、WiFi6等高速通信技术，提升传输带宽，为数据快速传输提供硬件支持。引入传输协议优化技术，简化TCP/IP协议栈，采用UDP协议适配实时性需求高的场景。应用数据分片传输、多路径传输技术，避免单一传输路径拥堵导致的延迟，确保数据能够快速、稳定地送达目标节点，实现数据处理与传输的高效协同，提升整体系统性能。

4.3 资源调度与协同优化

资源调度与协同优化借助全局统筹和机制优化，提升架构运行效率、降低延迟。运用智能调度算法，综合边缘节点负载、任务需求、网络状态等多维度信息，动态分配任务至最优边缘节点，防止资源浪费与负载失衡。引入边缘-云端协同调度机制，实时同步边缘节点资源状态与云端任务需求，依任务特性分工，轻量级任务由边缘节点处理，复杂任务上传云端，发挥两者优势。边缘节点间采用分布式调度策略，建立资源共享池，单一节点负载过高时迁移部分任务至空闲节点，提升整体处理能力。同时优化任务调度优先级，对压缩机制造中实时性要求极高的突发故障预警数据、精准控制指令等赋予最高优先级，确保系统快速响应，降低关键任务延迟，保障系统安全稳定运行。

4.4 网络拓扑与配置优化

网络拓扑与配置优化通过优化结构和调整参数，减少数据传输耗时与干扰，提升网络性能。拓扑优化上，针对不同场景选适配结构，工业物联网用环形拓扑提升稳定性、减少故障影响；制造车间物联网用动态mesh拓扑减少路由跳转、提高传输效率。引入软件定义网络（SDN）技术，实现拓扑动态调整，依终端位置、网络负载优化传输路径，避免拥堵。配置优化聚焦参数调整，优化基站发

射功率、信号频段,减少干扰与损耗;调整数据包大小、传输速率等适配不同任务延迟需求。此外,部署网络缓存节点,将高频访问数据缓存至边缘网络,减少重复数据跨网络传输,进一步缩短延迟,提升响应速度,提供优质网络服务。

5 不同物联网互联网应用场景的延迟优化工程实践

5.1 工业物联网场景

工业物联网对延迟要求严苛,需保障生产设备控制与数据监测实时响应,典型优化实践聚焦节点部署、数据处理和协同调度。节点部署时,作为项目负责人,我主导选型与方案设计,在生产车间和流水线周边密集部署边缘计算节点,与PLC控制器、传感器直连,实现设备数据本地采集处理。经测试,控制指令延迟从优化前的1s降至20ms毫秒级。数据处理上,我提出采用边缘预处理+边缘AI分析模式,实时过滤分析设备运行数据,快速识别异常工况并本地预警,避免云端上传延迟^[4]。资源调度方面,我组织团队采用任务优先级调度,将关键任务列为最高级,优先分配资源,还优化网络拓扑,用工业以太网构建环形网络,结合SDN技术动态调整路径,减少干扰,有效降低生产控制延迟,保障生产稳定。

5.2 制造业车间物联网场景



制造业车间物联网场景延迟优化对比

在空调、压缩机制造业车间物联网场景里,延迟优化要满足生产设备精准控制、物流高效协同、质量实时监测等需求,关键在于边缘节点布局、数据传输优化与

协同调度策略。边缘节点布局上,于各生产工位、物流转运节点和质量检测区域部署边缘计算节点,与生产设备、物流机器人、检测仪器直连,就近采集处理数据,大幅降低生产指令下发、物流调度响应等延迟。数据传输优化方面,因车间设备密集、信号干扰大,采用工业级WiFi6与5G专网结合,提升带宽与稳定性。运用数据压缩与加密技术,保障安全的同时减少传输量、降低延迟^[5]。对关键数据采用实时优先传输协议,确保快速准确送达。资源调度策略上,动态分配资源并结合任务优先级调度,关键任务优先处理,物流任务按需动态分配,还建立资源共享机制,均衡利用资源,提升效率、降低延迟。

结束语

边缘计算技术在物联网应用延迟优化上成果突出,经科学部署边缘节点、高效处理传输数据、合理调度协同资源及优化网络拓扑等路径,并在工业、制造业车间场景验证,有效降低了延迟。在我公司“设备联网工程”中应用成效显著,设备综合效率提升,非计划停机时间减少,保障生产流程稳定,提升生产效率与质量。该成果源于实践又能指导实践,解决公司设备联网延迟问题。未来,还需持续创新优化,推动边缘计算在更多领域应用,助力数字经济发展。

参考文献

- [1]钟献坤.云计算环境下的数据安全与隐私保护[J].数字通信世界,2024(03):158-160.
- [2]马士超.云计算环境下疾病预防控制中心的大数据安全和隐私保护[J].通讯世界,2024,31(02):67-69.
- [3]尹晓丹.5G边缘计算技术及应用展望[J].通讯世界,2024,31(2):175-177.
- [4]薛建强,史彦军,李波.面向无人集群的边缘计算技术综述[J].兵工学报,2023,44(9):2546-2555.
- [5]焦源,李扬,李学丛.基于物联网和边缘计算的电力系统性能优化方法研究[J].通信电源技术,2025,42(9):103-105.