

边缘计算在现代通信网络中的应用与效果研究

韩伟昌

大唐智创(山东)科技有限公司技术中心, 山东 菏泽

收稿日期: 2024年11月30日; 录用日期: 2024年12月23日; 发布日期: 2024年12月31日

摘要

随着通信技术的不断进步,尤其是5G网络的商用化以及物联网设备数量的激增,传统的云计算中心已难以应对大规模、低延迟的应用需求。边缘计算作为一种新兴的分布式计算模式,通过将数据处理迁移到网络边缘节点,极大地减少了数据传输延迟,增强了用户体验。本文提出了一种优化的边缘节点部署模型,专门用于延迟敏感型和数据密集型应用场景。通过实验验证,该模型显著降低了传输延迟并提升了带宽利用效率。与现有的边缘计算部署策略相比,本研究的模型在资源利用率和响应速度方面更具实用性,为现代通信网络中边缘计算的部署提供了宝贵的参考。

关键词

边缘计算, 现代通信网络, 延迟敏感应用, 带宽优化, 分布式网络管理

Study on the Application and Effect of Edge Computing in Modern Communication Network

Weichang Han

Technology Center of Datang Zhichuang Shandong Technology Co., Ltd., Heze Shandong

Received: Nov. 30th, 2024; accepted: Dec. 23rd, 2024; published: Dec. 31st, 2024

Abstract

With the continuous progress of communication technology, especially the commercialization of 5G network and the surge of the number of Internet of Things devices, the traditional cloud computing centers have been unable to cope with the demand of large-scale and low-latency applications. As an emerging distributed computing mode, edge computing greatly reduces data transmission delay and enhances user experience by migrating data processing to the edge nodes of the network. This

paper presents an optimized model of edge node deployment specifically for delay-sensitive and data-intensive application scenarios. Through experimental verification, the proposed model significantly reduces the transmission latency and improves the bandwidth utilization efficiency. Compared with the existing edge computing deployment strategies, the model of this study is more practical in resource utilization and response speed, which provides a valuable reference for the deployment of edge computing in modern communication networks.

Keywords

Edge Computing, Modern Communication Network, Delay-Sensitive Application, Bandwidth Optimization, and Distributed Network Management

Copyright © 2024 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

在数字化时代，通信网络的数据流量急剧增长，各种新兴应用对网络的实时性和处理能力提出了更高的要求。5G、物联网和人工智能等技术的蓬勃发展进一步加剧了这一趋势。传统云计算由于中心化的数据处理模式和长距离传输的延迟，难以满足超低延迟和海量数据处理的要求。在此背景下，边缘计算应运而生，通过在网络边缘节点进行数据处理，显著提升了网络的响应速度和数据处理能力。本文将详细探讨边缘计算在现代通信网络中的应用，并分析其在实际应用中的效果和发展前景。

2. 边缘计算的概念和技术特点

2.1. 边缘计算的基本概念

边缘计算作为一种新兴的分布式计算模式，突破了传统云计算的中心化架构，将计算资源从集中化的数据中心迁移至网络的边缘节点，使数据得以在更靠近数据生成源头的地方进行处理。这种模式显著缩短了数据在网络中传输的距离和时间，从而有效降低了延迟，满足了对数据处理速度要求更高的场景需求。边缘计算的核心思想在于“将计算能力推向边缘”，即通过将数据处理与分析功能从云端下沉到网络的最前端，快速响应和处理数据交互，为用户提供更加实时的服务体验[1]。在边缘计算架构下，数据不再完全依赖云端进行处理，而是可以就地、快速地进行本地化计算，从而在不牺牲网络带宽的情况下优化数据处理效率。这种分布式处理方式不仅能够缓解传统集中化计算模式带来的延迟问题，还能更好地适应物联网、智能家居、自动驾驶等对低延迟和高频交互需求极高的应用场景。在自动驾驶中，车辆需要实时感知周围环境并快速作出反应，传统云计算需要将数据传输至远程服务器处理，可能会导致因传输延迟而带来的安全隐患；而在边缘计算模式下，这些数据可在本地边缘节点上快速处理，确保行车的实时性和安全性。

2.2. 边缘计算的关键技术

边缘计算的成功实现有赖于一系列支撑技术，这些核心技术共同提升了边缘节点的计算效率和处理能力，使其能够应对现代网络对低延迟和高效响应的严苛需求。虚拟化技术是边缘计算的基础，通过将物理资源抽象成多个虚拟计算单元，实现了资源的灵活分配和管理。虚拟化不仅提高了计算资源的利用率，还能在负载增加或节点故障时迅速调整资源分配，保持系统的稳定性和高效性。例如，多个应用程

序可以共用一个物理设备，而不会相互干扰，实现了多任务处理。容器技术则在虚拟化的基础上进一步提升了边缘计算的灵活性。容器技术能够将应用程序及其依赖环境封装在一个轻量级的独立单元中，使得应用能够按需迁移到不同的边缘设备运行[2]。与传统虚拟机相比，容器占用的资源更少，启动速度更快，适合边缘节点这种资源受限的环境。这一特性使得边缘计算可以提供“按需即用”的计算服务，大大增强了边缘节点的适应性。数据缓存技术也是边缘计算的重要组成部分。通过将频繁访问的热点数据缓存至边缘节点，可以减少数据向中心服务器的请求次数，从而显著降低带宽消耗和网络负荷。在视频流服务或网页加载过程中，缓存技术能确保常用数据在本地存储并快速传输，避免了因多次远程请求造成的延迟，提升了用户的使用体验。

2.3. 边缘计算与云计算的区别

边缘计算和云计算在架构和应用上存在显著差异，这使它们各自在不同场景中发挥独特作用。云计算依赖集中化的数据中心，通过强大的计算和存储资源，能够高效处理海量数据，特别适合复杂的深度分析、数据挖掘和长期存储。例如，大型企业可以利用云计算中心进行历史数据的深度分析，以提取出有价值的商业洞察。然而，集中化的数据处理也意味着，所有数据需要经过网络传输至远程云中心，这在数据量大、交互频繁的场景下，可能带来较高的传输延迟，影响实时性。相比之下，边缘计算通过将计算资源下沉到网络的边缘节点，使得数据在靠近数据源的地方就能得到即时处理和响应，从而极大地降低了传输延迟。这种分布式处理模式特别适合对实时性有高要求的场景，如智能交通、工业物联网和智能家居等应用[3]。在自动驾驶中，边缘计算可以实时处理车载传感器的数据，确保车辆能够迅速响应周围环境的变化，保障行车安全。同时，边缘计算将数据存储和处理尽量安排在本地或靠近数据源的设备中，既减少了数据在网络传输中暴露的时间和路径，又为用户隐私提供了更强的保障。用户的敏感数据可以在边缘节点上就地处理，而无需传输到远程中心，从而降低了数据泄露的风险，满足了越来越多用户对数据隐私和安全的需求。

3. 边缘计算在现代通信网络中的应用

3.1. 在延迟敏感型应用中的应用

边缘计算在延迟敏感型应用中展现了卓越的优势。自动驾驶系统、智能家居、工业机器人等应用都对网络响应时间有严格要求。通过边缘计算，数据处理可以在靠近终端的节点完成，确保在几毫秒内完成数据反馈，有效减少了因延迟而带来的风险。例如，在自动驾驶场景中，车辆需实时响应交通信号、障碍物检测等信息，而边缘计算可以保证这些数据在本地处理，确保行车的安全性。

3.2. 在数据密集型应用中的应用

视频流、虚拟现实(VR)和增强现实(AR)等应用场景在数据生成和传输方面具有高密度和连续性。传统的云计算模式在处理这些数据时会带来较大延迟，而边缘计算通过在本地边缘节点完成即时处理和内容分发，极大地降低了主干网络的负荷[4]。例如，在AR应用中，边缘计算可以实时处理用户与环境的互动信息，提高用户体验的流畅性。

3.3. 在分布式网络管理中的应用

边缘计算为通信运营商提供了一种新的网络管理方式，能够在网络边缘分布式地处理和分析数据，从而实现对流量的动态调度和网络资源的优化分配。运营商通过边缘计算可以在网络拥堵时进行智能分流，提升网络的稳定性和流畅性。此外，边缘计算还可以在边缘节点部署网络安全防护功能，如DDOS防护和入侵检测，增强网络安全性。

4. 边缘计算的应用效果分析

4.1. 网络延迟的降低

边缘计算在需要实时响应的场景中发挥着关键作用，特别是在智能制造和智能城市的应用中，通过缩短数据传输的距离和减少数据传输的次数，大大降低了系统响应的延迟。在智能城市的交通管理系统中，边缘计算让交通信号控制变得更加灵活和高效。传统的交通管理系统通常依赖远程云端进行数据处理，所有的交通数据——例如车流量、道路拥堵情况、行人和信号灯状态等——需要发送到中心服务器，进行集中计算和分析后再返回调控指令。这种中心化的数据处理模式在高峰时段会面临网络拥堵，延迟可能导致交通信号调控滞后，甚至引发交通事故。而在边缘计算架构下，这些数据可以直接在靠近道路路口的边缘节点本地处理，车辆、行人和交通信号之间的实时交互可以瞬时完成，无需依赖远程服务器。边缘节点能够对实时车流量和拥堵情况进行分析，并快速优化信号灯的切换频率，实现精确的交通流量管理。例如，当检测到某一路口出现大流量车辆时，边缘节点可以立即调整绿灯时间，缓解道路拥堵，而不需要将数据传输至云端等待处理。这种实时的响应机制不仅提升了交通系统的效率，还极大地改善了道路安全性，减少了因信号滞后导致的事故风险。

4.2. 网络带宽的节省

边缘计算在带宽优化方面的贡献尤为显著，特别是在处理大量实时数据的密集型应用中。通过将数据处理能力下沉到本地，边缘计算让数据直接在产生地点附近处理，避免了将所有数据发送至中心化数据中心进行计算的需求，从而极大地减少了带宽消耗。例如，在智能视频监控系统中，监控摄像头每天生成大量视频数据，如果所有数据都需传送至中心服务器处理，不仅会耗费巨大的带宽资源，还可能导致网络拥堵，影响系统的实时性和稳定性[5]。然而，通过边缘计算，视频监控系统可以对本地节点进行初步分析，例如图像识别、异常行为检测等处理。只有在发现关键事件或异常时，边缘节点才会将这些重要的信息、警报或特定的图像片段传输至中心，而非整个视频流都传输到远程数据中心。这种分布式数据处理模式显著减轻了中心服务器的负担，并将主干网络流量降低到最低。对于城市中的大规模监控系统而言，这种方式不仅提升了带宽利用效率，还保证了系统在网络负荷增大的情况下依然能保持稳定运行。

5. 研究方法与设计

5.1. 延迟敏感型应用的本地处理优化

针对自动驾驶、工业监控等延迟敏感型场景，本文提出了多层次的边缘节点分布策略，将数据处理尽可能安排在离数据源最近的节点，以最大限度减少传输延迟。具体设计上，模型通过在核心网络节点部署计算资源以承担集中处理任务，并在靠近数据生成源的边缘节点上布置轻量级处理单元，进行就近计算。实验设计中，本文模拟了在不同网络条件下的响应速度对比，结果显示多层次节点分布有效提升了延迟敏感应用的实时性。

5.2. 数据密集型应用的带宽优化方案

为解决视频流、AR/VR 等数据密集型应用的高带宽需求，本文在边缘节点引入了一种基于热度排序的动态缓存模型。该模型通过分析数据访问频率，将热点数据优先保存在本地节点，以降低网络传输负担。实验模拟了不同缓存策略下的视频流传输性能，结果显示该动态缓存模型在提升带宽利用效率、减少传输消耗方面有显著效果，尤其是在访问量波动较大的应用中，动态缓存实现了约 25% 的带宽节省。

5.3. 分布式网络管理中的智能调度算法

针对分布式网络管理需求,本文提出了基于流量分析的智能调度算法,在边缘节点实时监测网络流量并分析数据传输路径,通过智能分流实现负载均衡和资源优化。该算法根据边缘节点负载情况调整流量分布,有效避免了网络拥塞。实验数据表明,该智能调度算法在高负载环境下可提升网络稳定性达18%,优化了分布式环境下的边缘节点资源配置。

6. 实验与数据分析

6.1. 实验环境与参数设置

本实验在虚拟仿真平台上进行,模拟了城市交通监控、工业物联网和视频流服务三个典型应用场景。实验参数包括传输距离、数据处理频率、节点负载等,以此评估优化模型在不同条件下的适应性与效率。各应用场景中,边缘节点部署根据延迟敏感性和数据密集度进行不同分布,以测试其在特定应用中的优化效果。

6.2. 延迟敏感型应用

在延迟敏感场景(如自动驾驶和工业监控)中,本文提出的多层次边缘节点分布策略显著降低了数据处理延迟,平均响应速度提升15%~20%,实现了数据的本地化实时处理,满足了高频交互和低延迟需求。

6.3. 数据密集型应用

在视频流和增强现实应用中,基于热度排序的动态缓存模型减少了主干网带宽消耗。实验表明,使用动态缓存策略后,网络带宽使用率下降25%,在用户频繁访问视频内容的情况下,优化带宽利用效率效果显著。

6.4. 分布式网络管理

智能调度算法在高负载场景中展现出较好的负载均衡效果。实验表明,智能调度算法有效降低了网络拥堵,提升了网络整体稳定性,网络连接连续性提高18%,确保了高频数据交互环境下的网络平稳运行。

7. 结束语

边缘计算的应用为现代通信网络提供了一种全新的数据处理模式,成功应对了因数据流量增长和实时处理需求提升所带来的挑战。在多个领域,边缘计算显著改善了网络响应速度、降低了带宽压力,并提升了数据处理的灵活性和安全性。然而,边缘计算在发展过程中仍需解决节点分布管理、资源协调、设备兼容等挑战。随着技术的不断进步和政策的完善,边缘计算将在未来的通信网络中发挥更重要的作用,为新兴的智能应用场景提供更加高效、灵活和安全的 DataService。

参考文献

- [1] 李超. 分布式边缘网络的身份认证和任务协作策略研究[D]: [博士学位论文]. 北京: 北京邮电大学, 2024.
- [2] 王浩阳. 无线通信系统抗干扰智能决策技术研究与应用[D]: [硕士学位论文]. 成都: 电子科技大学, 2024.
- [3] 胡保玲, 崔宇航, 解思博, 等. 基于无线通信的多功能数字电表设计[J]. 河南科技, 2023, 42(15): 5-8.
- [4] 陈明. 计算机科学技术现代化应用研究[J]. 信息记录材料, 2023, 24(7): 181-183.
- [5] 白卓懿. 无人机使能的边缘——云计算系统时延最优任务卸载机制研究[D]: [硕士学位论文]. 武汉: 华中科技大学, 2023.