

Research on Energy Efficiency Optimization and Resource Collaborative Scheduling Strategy for Communication Data Centers

Yinan Yang Haibo Dou Hailong Deng

China United Network Communications Co., Ltd. Shenzhen Branch, Shenzhen, Guangdong, 518000, China

Abstract

This paper explores in depth the energy efficiency optimization and resource collaborative scheduling strategies for communication data centers, and comprehensively analyzes the challenges and deficiencies in energy efficiency in current communication data centers. The study proposes a series of practical and feasible energy efficiency improvement strategies from three dimensions: hardware upgrade, software optimization, and management innovation. At the same time, in order to achieve efficient collaborative scheduling of resources, this paper designs a comprehensive resource collaborative scheduling framework and develops corresponding scheduling algorithms based on practical scenarios. Through the implementation of strategies and detailed energy efficiency evaluations, this paper aims to significantly improve the energy efficiency and resource utilization of communication data centers, reduce operating costs, and promote green and sustainable development.

Keywords

communication data center; energy efficiency optimization; resource collaborative scheduling; strategy design; energy efficiency evaluation

面向通信数据中心的能效优化与资源协同调度策略研究

杨宜楠 窦海波 邓海龙

中国联合网络通信有限公司深圳市分公司, 中国 · 广东 深圳 518000

摘要

论文深入探讨了面向通信数据中心的能效优化与资源协同调度策略, 针对当前通信数据中心在能效方面存在的挑战与不足进行了全面分析。研究从硬件升级、软件优化及管理创新三个维度出发, 提出了一系列切实可行的能效提升策略。同时, 为了实现资源的高效协同调度, 论文设计了一套完善的资源协同调度框架, 并结合实际场景开发了相应的调度算法。通过策略的实施与细致的能效评估, 论文旨在显著提升通信数据中心的能效水平与资源利用率, 降低运营成本, 促进绿色可持续发展。

关键词

通信数据中心; 能效优化; 资源协同调度; 策略设计; 能效评估

1 引言

随着信息技术的飞速发展, 通信数据中心的规模不断扩大, 能源消耗和资源利用率成为亟待解决的问题。能效优化与资源协同调度策略对于降低数据中心运营成本、提高能源效率和资源利用率具有重要意义。论文旨在研究面向通信数据中心的能效优化与资源协同调度策略, 通过合理的资源分配和管理, 实现数据中心的高效运行和可持续发展。论文将从多个角度深入探讨该策略的实施方法和效果, 为数据中心能效优化和资源协同调度提供理论和实践支持。

【作者简介】杨宜楠 (1984-), 男, 中国陕西西安人, 本科, 工程师, 从事通信研究。

2 通信数据中心能效现状分析

2.1 通信数据中心能耗构成

通信数据中心的能耗构成复杂多样, 主要涵盖了多个关键系统。首先是 IT 设备, 包括服务器、存储设备和网络通信设备, 它们共同构成了数据中心的处理单元。服务器系统作为能耗大户, 占据了 IT 设备能耗的一半左右, 而存储系统和网络通信设备则紧随其后, 分别占据了相当比例的能耗。空调系统的能耗同样不容忽视, 它是数据中心第二大能耗来源。为了维持数据中心内部的适宜温度和湿度, 空调系统持续运行, 产生了大量能耗。尤其是在高密度的 IT 设备布局下, 空调系统的能耗压力更为显著。此外, 电源系统也是数据中心能耗的重要组成部分。它包括 UPS 输入供电系统和 UPS 供电系统, 为整个数据中心提供稳定可靠的

电力供应。尽管其占比相对较小，但在保障数据中心正常运行方面发挥着不可替代的作用。照明系统和其他辅助设备如安防系统也占据了一定的能耗比例。虽然这些系统的能耗相对较低，但在整体能耗构成中仍占有一席之地^[1]。

通信数据中心的能耗构成是一个复杂而多元的系统，需要综合考虑各个部分的能耗情况，以实现能效的优化。

2.2 能效评估指标与方法

在通信数据中心的能效现状分析中，能效评估指标与方法扮演着至关重要的角色。首先，PUE（Power Usage Effectiveness）是衡量数据中心基础设施能效的核心指标，它反映了数据中心总耗电与IT设备耗电的比例，PUE值越接近1，表明能效水平越高。此外，pPUE（Partial PUE）作为PUE的衍生指标，用于更细致地评估数据中心局部区域或设备的能效，有助于发现能效短板并制定针对性的优化策略^[2]。除了PUE和pPUE，CLF（Cooling Load Factor）和PLF（Power Load Factor）也是重要的能效评估指标。CLF衡量了制冷设备电能消耗与IT设备电能消耗之比，而PLF则反映了供电系统电能消耗与IT设备电能消耗的关系。这些指标共同构成了数据中心能效评估的完整体系，为深入分析能源效率提供了有力工具。在能效评估方法上，通常采用基于实际运行数据的测算与对比分析，结合行业标准与最佳实践，对数据中心的整体能效进行客观评价。通过这些指标与方法，数据中心可以更加精准地掌握能源使用情况，为后续的能效优化与资源协同调度策略制定提供科学依据。

2.3 现存能效问题及挑战

在通信数据中心的能效现状分析中，现存能效问题及挑战显得尤为突出。随着数据中心规模和复杂性的不断增加，能源效率和可持续性成为数据中心管理者必须面对的重要课题。一方面，数据中心作为大规模计算和存储设施的核心，消耗着惊人的能源。冷却系统、电力分配和设备效率等方面的精细化管理成为持续优化能源效率的关键^[3]。然而，在实际操作中，如何平衡能源消耗与性能需求，确保数据中心在高负载下仍能保持稳定运行，是一大挑战。另一方面，数据中心在建设和运营过程中，面临着技术陈旧和机架空置等问题，这直接导致了能源浪费和上架率低下现状。此外，随着云计算和服务器虚拟化的普及，数据中心在服务器迁移期间确保业务连续性的需求也日益迫切。如何在迁移过程中保持虚拟机的IP地址及其操作状态，同时满足数据中心网络在主机密度、收敛性能和带宽利用率方面的需求，成为又一重要挑战^[4]。

通信数据中心在能效优化方面面临着多重挑战，包括能源消耗的精细化管理、技术陈旧与能源浪费，以及服务器迁移期间的业务连续性保障等。这些挑战要求数据中心管理者不断探索和创新，采用先进的能效优化策略和资源协同调度方法，以提高数据中心的能效水平和资源利用率。

3 能效优化策略研究

3.1 硬件层面的能效优化

在硬件层面的能效优化方面，数据中心需要关注设备选择与能效提升。首先，选择高效能的服务器硬件是提升数据中心能效的关键。采用低功耗处理器、固态硬盘（SSD）等高效组件，可以显著降低设备的运行能耗。这些组件不仅能够提供出色的性能，还能在能耗控制上发挥重要作用。电源和转换设备的效率同样不可忽视。高效的电源供应单元（PSU）和能源转换设备能够减少能源在转换过程中的损失，进一步提升整体能效。通过引入这些高效硬件，数据中心可以在保持高性能的同时，大幅度降低能源消耗。此外，冷却系统的优化也是硬件层面能效提升的重要环节。采用先进的冷却技术，如液冷系统、热通道隔离等，可以显著提高冷却效率，减少不必要的能源消耗。结合智能温控系统，根据实际负载动态调整冷却强度，实现能源的最大化利用^[5]。

硬件层面的能效优化需要从设备选择、电源效率以及冷却系统等多个方面综合考虑，通过引入高效硬件和优化系统设计，数据中心可以在硬件层面实现显著的能效提升。

3.2 软件层面的能效优化

软件层面的能效优化是数据中心能效提升的关键环节。通过优化应用程序和操作系统的代码，可以显著减少不必要的计算和数据处理，降低CPU和存储设备的负载。例如，采用高效的算法和数据结构，如快速排序代替冒泡排序、哈希表代替线性查找，能有效提升程序性能。同时，优化并发和锁机制，增加任务的并行性，减小锁的开销，也是提升能效的重要手段。虚拟化技术在软件层面的能效优化中发挥着重要作用。通过虚拟化技术，可以实现资源的动态分配和负载均衡，根据任务需求智能调整资源配置，避免资源浪费。此外，高效的任务调度机制也能合理安排任务执行的顺序和时间，进一步减少系统能耗。数据中心的能源管理系统（EMS）也是软件层面能效优化的关键工具。通过EMS，可以对能源消耗进行统一管理和优化，设置合理的能耗目标和激励机制，鼓励数据中心采取节能措施。同时，利用先进的监控和分析工具，实时监测数据中心的能耗情况，及时调整优化策略，确保能效最大化^[6]。

3.3 管理层面的能效提升

在管理层面推动能效提升，需着重于策略规划与执行监控的深度整合。首先，应构建全面的能效管理体系，该体系需涵盖数据中心运营的全过程，从设备选型、布局设计到日常维护，每一环节都应遵循绿色节能原则。通过引入智能化管理工具，如能效管理系统（EMS），实现对数据中心能耗的实时监测与精细分析，及时发现并处理能效瓶颈。同时，强化人员培训与意识提升也是关键。定期组织节能知识讲座与技术交流会，提升运维团队对能效优化的理解与操作能力。此外，建立能效考核机制，将能耗指标纳入员工绩效

考核体系,激励全员参与能效提升工作。另外,实施灵活的运维策略,如根据业务负载动态调整服务器功率,采用虚拟化技术提高资源利用率,以及利用可再生能源与储能系统优化能源结构,都是管理层面上提升能效的有效途径。通过这些策略的综合运用,不仅能显著降低数据中心运营成本,还能提升整体运营效率和环境友好度^[7]。

4 资源协同调度策略设计

4.1 资源协同调度框架构建

在资源协同调度策略设计的首要环节,即资源协同调度框架构建中,我们需构建一个能够整合并优化各类通信数据中心资源的系统架构。该框架基于算力网络,将云、边、端的算力资源调度和服务编排协同统一起来。中心云通过传统的云计算技术实现资源集中管理,主要处理大规模或超大规模的数据;边缘云则利用多集群的方式,实现对众多且分布广泛的边缘数据中心的协同管理。框架内,我们需实现网络连接打通云、边、端的算力资源,基于SDN承载网络,面向中心云采用OpenStack等传统技术实现资源调度和管理,面向边缘和端侧则利用Kubernetes等技术。同时,该框架还涉及底层资源的服务化编排和算力网络资源的统一调度,通过能力库的方式实现PaaS平台的进一步下沉,并促进算力网络能力的进一步开放。此框架还面向上层用户和开发者提供不同的业务入口,实现自助式服务,并通过API网关和应用商店提供服务能力的商品化展现,同时提供应用一键部署能力。该框架旨在屏蔽底层算力网络资源的差异化,降低用户和开发者的使用门槛,以满足目前企业数字化转型中资源集约化和DevOps运维一体化的应用需求。

4.2 协同调度算法研究

首先,我们关注了启发式算法在资源协同调度中的重要作用。这类算法,如蚁群算法、遗传算法等,通过动态搜索解空间,能够高效地处理复杂的资源调度问题。这些算法基于直观或经验构造,能够在可接受的时空费用下,给出组合优化问题的可行解,从而提高资源利用率和调度效率。此外,我们还研究了负载均衡算法在任务分配中的应用。负载均衡算法,如最小负载优先算法和轮询调度算法,通过使数据中心中各个机器的负载尽量均衡,避免了某些机器过载而其他机器闲置的情况,从而提高了整个数据中心的效率和性能。我们讨论了将能源效率纳入资源调度算法的重要性。考虑到数据中心的高能耗问题,我们提出了基于网络能耗感知的调度算法,该算法不仅考虑了数据中心网络通信的能耗损失,还将温度与计算节点的可靠性相互关联,以实现能效优化和资源协同调度的双重目标。

4.3 策略实施与效果评估

在策略实施阶段,我们首先依据前期分析设计的资源协同调度算法,对通信数据中心的实际运行数据进行模拟测试。通过引入先进的机器学习模型,对资源使用情况进行精准预测,确保调度策略能够动态适应流量变化。随后,将算法部署到数据中心的资源管理系统中,实现自动化、智能化的资源分配与调度。为确保策略的有效性,我们实施了全面的效果评估。通过对比策略实施前后的性能指标,如资源利用率、能耗效率以及服务响应时间等,来量化评估策略带来的改进。同时,利用大数据分析技术,深入挖掘调度过程中的潜在问题,持续优化算法参数,提升策略的稳定性和鲁棒性。此外,我们还关注了策略对数据中心整体运营效率的影响,通过用户满意度调查、业务连续性分析等手段,综合评估策略在实际应用中的效果。经过一系列严格的测试与优化,资源协同调度策略在通信数据中心中展现出显著的能效提升与资源优化效果,为数据中心的可持续发展奠定了坚实基础。

5 结语

论文旨在探讨通信数据中心的能效提升与资源高效利用。文章首先分析了通信数据中心的能效现状,指出了存在的能耗问题及挑战。接着,从硬件、软件和管理三个层面提出了能效优化策略。同时,设计了资源协同调度策略框架,研究了协同调度算法,并评估了策略实施效果。总结了研究成果、创新与贡献,并对未来工作进行了展望。论文为通信数据中心的能效优化和资源协同调度提供了有价值的参考,有助于推动数据中心绿色、高效发展。

参考文献

- [1] 翟春妮,周承书.基于云计算的数据中心能效优化方法研究[J].长江信息通信,2024(10).
- [2] 于海军.5G工业物联网绿色无线与能量资源协同管理优化研究[D].上海:华北电力大学,2023.
- [3] 欧阳艺文.物联网中计算与通信资源高效协同优化[D].深圳:深圳大学,2022.
- [4] 李尚,赵宁,王梦迪,等.微模块数据中心能效优化研究[J].信息周刊,2019(37):2.
- [5] 张露阳.基于时延和能效的云边协同车联网资源分配策略研究[D].济南:山东大学,2023.
- [6] 李大平.基于多介质特性的数据中心存储能效优化技术研究[D].武汉:华中科技大学,2022.
- [7] 钱声攀,邱奔,李哲,等.数据中心能效优化策略研究[J].信息通信技术与政策,2021(4):8.