

云存储系统运行能耗节省优化方法分析

凌宇堃, 毕晓琳

(广东东软学院, 广东 佛山 528225)

摘要 信息技术飞速发展, 用户数据量激增, 云存储成为数据存储和处理的重要工具。然而, 云存储系统的高能耗制约了其升级和发展。本文详细分析了云存储系统的能耗现状, 探讨了导致能源效率低下的因素, 如 IT 资源利用不足和高强度的散热需求。为解决这些问题, 本文提出了多种能耗优化策略, 包括采用节能硬件、利用自然冷却、投资绿色能源以及先进的冷却技术。在软件层面, 采用贪心算法和基于人工智能的动态电源管理算法, 通过实时调整功耗和智能预测需求, 显著降低系统能耗。通过整合最新研究和技术, 本文旨在为云存储领域提供实用的节能解决方案, 从而促进其可持续发展。

关键词 云存储系统; 能耗节省策略; 贪婪算法

中图分类号: TP3

文献标志码: A

文章编号: 2097-3365(2024)09-0022-03

云存储系统在数字时代已变得不可或缺, 为信息技术发展提供了可扩展且高效的数据存储解决方案。然而, 持续为服务器供电和冷却, 以及服务器运行过程能源大量消耗, 严重影响环境。数据中心作为云存储的核心支柱, 其消耗的能源比大多数国家都多, 且预计到 2025 年能源使用量将进一步增加^[1]。鉴于云存储系统不断增长的能源需求, 迫切需要探索和实施节能策略。本文旨在对目前云存储能耗现状进行详细分析, 研究降低云存储系统能耗, 探索各种能耗优化策略, 为云存储领域的发展提供简洁且实用的解决方案, 帮助实现数据存储的节能目标。

1 云存储系统能耗现状分析

本文对当今世界主要数据中心的能耗情况进行分析研究, 统计出数据中心每年消耗 196 至 400 太瓦时 (TWh) 的电力, 约占世界总用电量的 1% 至 2%^[2]。这种能源消耗源于存储设备的运行以及维持数据中心运行的辅助系统, 例如冷却和配电系统。

而云存储系统的高能耗原因有以下两种:

一是 IT 资源利用不足: 研究数据表明, 一些数据中心服务器的平均 CPU 利用率甚至低于 20%, 而一些设施报告的非并置工作负载的实际利用率低至 5% 到 12%^[3]。当前节点管理方式是根据峰值需求配置资源, 系统缺乏能耗调节导致服务器在低负载场景下仍然高功耗运行浪费能源, 造成大量能源浪费。

二是硬件运行的高能耗: 服务器系统高强度的散热需求, 在传统的数据中心场景中, 有高达 50% 的电力消耗由非服务器设备所消耗^[4]。

因此, 本文分析了关于动态节能和性能感知的优化功耗策略, 以及硬件层面实现更高效的能耗优化的方法。

2 能耗优化策略

基于上述研究以及能耗问题的存在, 本文总结了一些能耗优化策略供云存储系统进行优化研究。以下是基于研究列出的几种策略。

2.1 硬件与物理条件的优化

为了有效降低云存储系统的能耗, 采用节能硬件是关键的一步^[5]。另外, 在冷却技术方面, 直接液体冷却技术 (DLC) 是当前广泛采用的优化方式。高效的空气分配系统 (ADS) 设计, 可以显著节省互联网数据中心 (IDC) 中的电力消耗^[6]。

此外, 数据中心的选址和设计对于能耗优化有重要作用。利用环境温度进行冷却, 减少高能耗冷却系统的使用。

2.2 从软件层面优化能耗的策略

贪婪算法在能耗优化策略中发挥着重要作用, 特别是在节点管理和能源效率提升方面。贪婪算法的核心优势在于其能够提供即时、局部最优的选择, 通过实时观测云存储系统的工作负载, 动态调整功耗输出^[7]。

3 实现方法

3.1 贪婪算法在节点管理中的应用

3.1.1 实验环境

模拟设置 100 个存储节点。每个节点都具有随机初始化的负载和能耗等级。实验通过在本地服务器上

配置的模拟软件进行，使用 C++ 编写模拟程序，并在 Windows 10 操作系统上运行。

3.1.2 模型假设

在实施贪婪算法前，建立以下假设：

所有存储节点的硬件配置相似，因而具有相似的能耗特性。数据迁移产生的能耗相对于节点长时间空闲运行的能耗较低。系统的数据访问模式和负载相对稳定，大规模的数据访问峰值是可预测的。

3.1.3 算法伪代码

初始化：

NodeList：系统中所有存储节点的列表。

WeightsNodeList：节点权重列表，例如存储容量、带宽、延迟等。

CurrentLoad：当前节点负载。

// 计算节点能效比

```
function calculateEfficiencyRatio(node,
EnergyRates, WeightsNodeList):
    return WeightsNodeList[node] / EnergyRates
[node]
```

// 查找最高能效比的目标节点

```
function findTargetNode(NodeList, EnergyRates,
WeightsNodeList):
```

```
    maxEfficiencyNode=null
```

```
    maxEfficiencyRatio=-infinity
```

```
    for node in NodeList:
```

```
        if node is active:
```

```
            efficiencyRatio=calculateEfficiencyRatio(
node, EnergyRates, WeightsNodeList)
```

```
            if efficiencyRatio>maxEfficiencyRatio:
```

```
                maxEfficiencyRatio = efficiencyRatio
```

```
                maxEfficiencyNode = node
```

```
    return maxEfficiencyNode
```

// 主要优化算法

while 负载不均衡或功耗过高

```
    for node in NodeList:
```

```
        if CurrentLoad[node]>OptimizedLoad[node]:
```

```
            targetNode=findTargetNode(NodeList,
EnergyRates, WeightsNodeList)
```

```
            if targetNode is not null and CurrentLoad
[targetNode]<OptimizedLoad[targetNode]:
```

```
                migrateData(node, targetNode)
```

```
                updateLoad(node, targetNode)
```

```
updateNodeListAndWeights(NodeList, WeightsNodeList)
```

```
    if checkOptimizationCriteria(NodeList,
OptimizedLoad):
```

```
        break
```

```
// 输出最终状态
```

```
output final load distribution of nodes
```

```
output optimized energy consumption
```

3.1.4 算法输出

OptimizedLoad：优化后的节点负载。

EnergySaved：本次优化操作节约的总能耗量。

3.1.5 实验参数和评估标准

1. 能耗降低百分比：算法实施前后总能耗的降低百分比。

2. 关闭节点列表：记录算法实施进行关闭操作的节点数量。

3. 服务中断率：由于节点关闭或数据迁移导致的服务中断时间比率。

4. 性能影响：评估数据迁移对系统响应时间的影响。

3.1.6 实验结果

实验显示，在模拟环境中运行贪婪算法后，云存储系统的总能耗显著降低。具体结果如下：云存储系统的总能耗降低了约 21.3%。关闭了 14.9% 的低负载节点，这些节点的平均负载低于设定的利用率阈值（20%）。产生了 3% 的节点服务中断，存在节点关闭和数据迁移导致部分节点短暂的服务中断，但总体服务中断率保持在合理范围内。

数据迁移过程中的平均延迟增加了 4.27%，但对总体服务质量的影响较小^[8]。尽管导致任务响应时间略有增加，但其在能耗优化方面的优势显著。其他研究也表明，改进的贪婪算法在负载均衡和能效优化方面表现出色^[9]。

3.1.7 优化效果的评估

与现有的能耗优化研究（如 VM 迁移、负载均衡技术）相比，贪婪算法提供了一种更为直接和快速的解决方案。但贪婪算法主要关注即时的能耗降低而较少考虑长期的系统优化，仍有优化空间。

3.2 硬件条件优化

3.2.1 节能硬件的采用

固态硬盘（SSD）相比传统硬盘驱动器（HDD），具有更低的能耗和更高的性能。SSD 的能耗仅为 HDD 的 1/10，且访问延迟更低，这使得它成为云存储系统的理

想选择^[10]。此外,采用能效比更高的CPU也可以显著降低服务器的能耗。例如,Intel推出的Xeon处理器采用了多项节能技术,具备动态电压和频率调整(DVFS)和电源管理技术,可以根据实际工作负载动态调整性能,在保证性能的同时最大限度地降低能耗。

3.2.2 先进冷却技术的应用

冷却系统是数据中心能耗的主要来源,采用先进的冷却技术可以显著降低制冷能耗。而直接液体冷却(DLC)是一种高效广泛的冷却方式,通过将冷却液直接引入服务器,吸收热量后再回到热交换器中冷却,大幅提高制冷效率。相比传统的机房空调(CRAC)冷却,DLC可以将制冷能耗降低40%以上。此外,采用高效的空气分配系统(ADS)也能够优化制冷效果^[11]。通过优化送风口和回风口的布局,提高冷空气的利用率,可以减少制冷能耗。

3.2.3 数据中心选址

采取将数据中心建在气候较冷的地区,可以最大限度地利用自然冷却,减少对高能耗制冷系统的依赖。例如,Facebook在瑞典北部的Lulea建立了一个大型数据中心,利用当地寒冷的气候条件,通过自然冷却将制冷能耗降低了70%。

3.3 分析优化策略的有效性和局限性

本研究提出了一种基于贪婪算法的云存储系统能耗优化策略。通过实验模拟,证明了该算法在降低系统总能耗方面的有效性,约21.3%的节能效果。这为云存储系统的能源管理提供了一种相对简单且高效的解决方案。然而该优化策略仍存在局限性。例如算法的性能高度依赖于参数(如节点利用率阈值)的正确配置。在复杂的云存储环境中,工作负载的动态变化可能影响算法的性能。而复杂环境下的外部干扰以及用户行为的不确定性,都可能在一定程度上影响优化效果。因此,将该策略应用于生产环境还需更多的测试与验证。

4 结论与未来工作

本文研究了云存储系统的能耗问题,提出了一种基于贪婪算法的节点管理优化策略。通过模拟实验,验证了该策略对降低系统总能耗的有效性,达到了约21.3%的节能效果,为云存储系统的能源优化提供了新的思路和方法^[12]。

此外,本文还探讨了硬件层面的优化方法,包括采用节能硬件、数据中心选址与设计优化以及先进冷却技术的应用。

未来的研究工作将着眼于以下几个方面:

首先,深入探索算法的关键参数(如节点关闭阈值、数据迁移策略等)对节能效果的影响,通过大量实验确定最优参数组合。

其次,研究算法的自适应性,提高其在动态负载环境下的稳定性。将贪婪算法与其他技术(如机器学习预测、智能调度等)相结合,提升云存储系统的智能化水平和整体性能。

最后,还需开展真实环境下的测试和应用,评估算法在实际系统中的表现,并根据反馈不断改进和完善。通过研究优化云存储系统的能源使用,提升其整体性能和用户满意度,同时为共建绿色生态环境增加力量。

参考文献:

- [1] Buyya R, Ilager S, Arroba P. Energy-efficiency and sustainability in new generation cloud computing: A vision and directions for integrated management of data centre resources and workloads[J]. *Softw: Pract Exper.* 2024, 54(01): 24-38.
- [2] Masanet E, Shehabi A, Lei N, Smith S, Koomey J. Recalibrating global data center energy-use estimates[J]. *Science.* 2020 Feb 28;367(6481):984-986.
- [3] 李洪军,刘雪娇. 浅谈如何提高网络虚拟服务器的资源利用率[J]. *北京联合大学学报*, 2023,37(02):12-16.
- [4] 同[3].
- [5] 况帆,李大平. 数据中心存储设备节能方案研究[J]. *计算机与数字工程*, 2023,51(12):2940-2947.
- [6] 崔康吉,余亮. 数据中心的高效液冷散热系统设计[J]. *长江信息通信*, 2022,35(08):116-118.
- [7] SHARMA M, GARG R. An artificial neural network based approach for energy efficient task scheduling in cloud data centers[J]. *Sustainable Computing: Informatics and Systems*, 2020(26): 100373.
- [8] KOSURU S K, MIDHUNCHAKKARAVARTHY D, HUSSAIN M A. An intelligent energy minimization algorithm with virtual machine consolidation for sensor-based decision support system[J]. *Sustainable Computing: Informatics and Systems*, 2023(37): 100870.
- [9] 申圳,赵成贵. 去中心化云存储网络的存储任务分配算法[J]. *计算机科学*, 2022,49(12):17-21.
- [10] 同[5].
- [11] 潘志安,周剑涛,胡坚. 数据中心机房节能改造[J]. *网络安全和信息化*, 2023(10):64-65.
- [12] 李海波,王浩萍,王卫国,等. 数据中心能效分析及标准化建议[J]. *信息技术与标准化*, 2012(05):32-35.