

文章编号: 2095-2163(2019)03-0273-03

中图分类号: TP302

文献标志码: A

# 网络感知的虚拟机能效问题研究综述

寇荣虎<sup>1</sup>, 郑航<sup>2</sup>

(1 哈尔滨师范大学 计算机科学与信息工程学院, 哈尔滨 150080; 2 曲阜师范大学 数学科学学院, 山东 曲阜 273165)

**摘要:** 网络感知的虚拟机能效问题是云数据中心节能的重要部分。无论是虚拟机间的流量通信, 还是虚拟机的调度与迁移, 稀缺的网络资源都是虚拟机节能需要考虑的重要因素。本文从基于新型网络拓扑的虚拟机通信节能、虚拟机调度策略和虚拟机迁移策略三个方面对网络感知的虚拟机能效问题进行深入研究。

**关键词:** 网络感知; 能效; 调度

## A review of research on network-aware virtual machine energy efficiency

KOU Ronghu<sup>1</sup>, ZHENG Hang<sup>2</sup>

(1 College of Computer Science and Information Engineering, Harbin Normal University, Harbin 150080, China;

2 School of Mathematical Sciences, Qufu Normal University, Qufu Shandong 273165, China)

**【Abstract】** Network-aware virtual machine energy efficiency is an important part of cloud data center energy conservation. Whether it is traffic communication between virtual machines or scheduling and migration of virtual machines, scarce network resources are important factors for virtual machine energy conservation. This paper conducts an in-depth study on the network-aware virtual machine energy efficiency from three aspects: virtual machine communication energy-conservation, virtual machine scheduling strategy and virtual machine migration strategy based on new network topology.

**【Key words】** network perception; energy efficiency; scheduling

## 0 引言

云计算作为一种新兴的技术,可以灵活地使用强大的计算资源为租户服务,得到政府、企业的高度重视和逐步认同,其技术和应用得到了飞速发展。云计算数据中心在全球范围内普及开来。云供应商为了满足各类用户和企业的多种服务请求,不断增加云数据中心的服务器数量和应用程序的种类,在这些服务器和应用程序增加的同时,也给宝贵的网络资源带来了不小的压力。此外,网络资源的高度消耗使得云数据中心的的服务质量也将面临一定考验,在资源规模更新前,服务水平协议(SLA)的违反次数达到峰值状态,而刚更新过网络资源时的SLA违反次数处于最低值,但随着时间推移,SLA的违反次数逐渐递增,最终出现网络资源不足的情况。

而在当前,云数据中心大多使用虚拟化技术,使多台虚拟机共享IT资源,提供资源整合与复用,这极大优化了IT资源使用和设备能耗<sup>[1-4]</sup>。网络感知的虚拟机能效问题研究,即可通过利用不同的网络拓扑结构,合理地优化虚拟机间的流量通信,对虚拟机进行针对性的调度以满足合理资源利用等,都可以节

省网络资源以达到优化云数据中心能效的目的。

因此,对虚拟机能效问题进行全面探讨是尤为必要的。本文即从新型网络拓扑的虚拟机通信节能、网络感知的调度与迁移策略的角度阐述虚拟机节能研究。

## 1 研究状况

国内外众多学者对网络感知的虚拟机能效问题进行深入的研究,已有研究主要从网络拓扑的虚拟机通信、虚拟机调度和虚拟机迁移角度进行论述,研究内容详见如下。

### 1.1 基于新型网络拓扑的虚拟机通信节能研究

不同网络拓扑架构下的虚拟机间通信存在不同的能源消耗。文献[5]提出一种可扩展、灵活的数据中心网络VL2,VL2通过一种新的网络架构解决传统数据中心中存在的超额认购、资源利用率低、数据中心成本高等问题。增加数据中心内的带宽,并用一种新的寻址方式解决资源分段问题,满足了数据中心灵活性的需求。同时,研究又利用VLB、ECMP等算法实现负载均衡和多路径传输,增加资源利用率,提高网络稳定性。但VL2架构需要更改

**基金项目:** 国家级大学生创新创业训练计划项目(201710446082)。

**作者简介:** 寇荣虎(1992-),男,硕士研究生,主要研究方向:云计算;郑航(1997-),女,本科生,主要研究方向:数学与应用数学。

**收稿日期:** 2019-03-13

服务器的主机协议栈,并且亟需一个高性能、低时延的目录系统提供映射查找服务,为数据中心带来额外的开销。文献[6]设计了 ElasticTree,即数据中心的节能,ElasticTree 以网络冗余为代价节省数据中心的能源。研究中使用 OpenFlow 等智能交换机持续监控数据中心的流量状况,并选择一组网络元素,包括必须保持活动状态以满足性能和容错目标的链路和交换机,未选择的元素将关闭以节省电力。总地说来,ElasticTree 是以降低网络冗余为代价进行节能,但是严格限制冗余要求的目的是适应不断变化的流量和网络交换机的意外故障。文献[7]分析了一种基于 VM 迁移的网络拓扑结构在数据中心网络中的节能。本文介绍了 Honeyguide,这是一种高能效的网络拓扑结构,用于在严格冗余要求下降低数据中心网络的能耗。减少网络能耗的方法是减少开启网络交换机的数量,就是如果没有流量通过网络交换机,可以将其关闭以达到节省能源的目的。在 Honeyguide 方法中,不仅关闭不活动的交换机,还尝试着增加不活跃交换机的数量。为了增加非活跃交换机的数量,结合了2种技术,分别是:虚拟机和流量合并;添加一条旁路链路(对现有的基于树的网络拓扑进行略微的扩展)。分析可知,即具有以下特点:

(1) 利用虚拟机的迁移。Honeyguide 使用虚拟机的迁移来增加未使用的网络交换机的数量。

(2) 容错。数据中心网络元素通常是冗余的,以承受网络交换机和电缆切断的意外故障。该方法保留原始树形拓扑的容错能力以及满足虚拟机容错的要求。

(3) 容易部署。可以在现有数据中心网络上部署,虽然 Honeyguide 采用了稍微扩展的现有基于树的拓扑结构,但可以通过添加旁路链路,这些链路有助于在严格冗余要求下增加关闭网络交换机的数量。

文献[8]讨论了 Flattened Butterfly,这是一种适用于高速网络的低成本拓扑结构。该拓扑利用全局自适应路由的发展,而且该文献还给出了一种性能高效的网络,这种 Flattened Butterfly 比多级交换网络具有更低的跳数,比传统的 Butterfly 具有更好的路径多样性选择。同时,在流量的负载均衡上,Flattened Butterfly 在代价上大约是容量相同的交换网络的一半。但是,如果在传统的拓扑结构上部署 Flattened Butterfly,却必须更改现有网络拓扑的所有布线。最糟糕的情况下,还需要重建一个数据中心。

## 1.2 网络感知的虚拟机调度策略研究

网络感知的虚拟机调度策略就是在考虑网络元素的情况下使用不同的调度以实现虚拟机节能。文献[9]中提取、整理、并汇总了有关数据中心计算和通信元素消耗的能源信息。首先研究了数据中心架构,从2层数据中心架构到3层、以及3层高速的架构,剖析了各自的特点,然后介绍了仿真器 GreenCloud 的结构,为用户提供了数据中心元素(如交换机、服务器和链路)所消耗能量的详细建模。比较了该仿真器与 CloudSim 和 MDCSim 等模拟器的区别和优势,从而展示了 GreenCloud 仿真器细粒度地测量大型数据中心能耗的能力。最后则是实验绩效评估阶段,针对2层、3层和3层高速数据中心架构所获得的仿真结果证明了应用不同电源管理方案(DVFS、DNS)的效果。以及在不同架构下测量的数据中心交换机在核心层、汇聚层、访问层所消耗能量及服务器消耗能量。总之,GreenCloud 仿真器可以细粒度地模拟数据中心情况,避免了无法对大型数据中心直接测量能耗的困扰。

文献[10]提出一种结合能源效率和网络感知的数据中心调度方法,即数据中心节能网络感知调度。这里的网络感知是指 DENS 方法能够接收和分析来自数据中心交换机和链路的运行时反馈,并根据网络反馈采取决策和行动。DENS 方法根据数据中心组件的负载水平和通信潜力选择最适合并行并行的计算资源,从而最大限度地减少数据中心的总能耗。DENS 方法旨在实现执行单个作业,服务水平协议(SLA)中定义的作业 QoS 要求、流量需求、数据中心的能源消耗之间的平衡。DENS 方法在运行数据密集型作业的数据中心中尤为重要,数据密集型作业需要较低的计算负载,但会产生从数据中心以及相邻节点输出的大量数据流。例如,这种数据密集型作业通常由流行的视频共享或地理信息服务产生。本文拟另外撰述提出的调度方法则致力于避免数据中心内的热点,同时最大限度地减少作业执行所需的计算服务器数量。DENS 指标的设计和范对数据中心的架构是关联紧密的,对数据密集型作业的要求高,需要数据密集型的作业做到优化配置,而非注重计算能力,从而产生针对最终用户的大量数据流。

文献[11]是针对具有流量负载平衡的云计算应用节能调度、即 e-STAB 调度程序。目标是优化云计算数据中心的能耗,如此一来就可平衡由作业产生的通信流,同时把作业整合在最少计算量的服

务器上。研究可知,e-STAB 调度程序将作业的通信需求与计算要求置于同等重要位置。e-STAB 作为一个调度程序,分2步来展开调度过程。先选择数据中心中的可用性最高的网络带宽,再选择具有最小可用计算能力的计算服务器,但该服务器却能充分满足计划任务的计算需求。e-STAB 调度程序会分析网络链路上的负载和网络交换机输出队列的占用情况。并且该方案考虑了云应用程序的流量需求,从而在数据中心网络中提供高能效的作业分配和流量负载均衡。网络流量的有效分配通过减少与通信相关的延迟和与拥塞相关的分组丢失来提高云应用的服务质量。从 GreenCloud 模拟器获取的仿真结果验证了所提出的调度方法的优点和效率,并确认得知:在数据中心中通常的管理方案的能耗也未获增加。但 e-STAB 算法是一个需要分2个步骤来定义的调度策略,而且需要实时地了解整个数据中心网络使用率来选择合适的服务器、机架、模块。

### 1.3 网络感知的虚拟机迁移策略研究

网络感知的虚拟机部署迁移研究,旨在最小化数据中心的能源开销和数据中心的网络流量,其核心思想是将网络资源作为虚拟机部署的关键因素。文献[12]研究了基于网络性能优化的资源重设置问题,发现通过虚拟机的在线迁移可以提高虚拟机的性能以及数据中心的网络通信能力。文献[13]通过研究真实数据中心的流量分布,发现虚拟机的流量分布是不均衡的,但虚拟机的流量在长时间的范围内是趋于稳定的,据此提出了基于通信流量的虚拟机部署算法,将具有较大流量交互的虚拟机放置在相近的物理位置上,在最小化高层交换机工作负载的同时提高数据中心网络的可扩展性。文献[14]为了减少能源消耗和改善网络性能,提出一种分阶段的启发式算法。首先将最小割的聚类算法和最佳适应算法相结合来达到能源效率优化的目的,然后使用局部搜索算法再次对虚拟机放置进行优化来最小化最大链路利用率。文献[15]则基于物理主机的负载和虚拟机对资源的需求来估算开销,用以保证将开销最小的物理主机选为迁移的目标主机。

## 2 结束语

综上所述,基于网络拓扑,虚拟机调度与迁移等研究,根本上解决的是在保证性能的前提下提升资源的利用率问题,从而达到优化云数据中心节能的目标。然而仍存在不足,如满足服务水平协议、负载均衡等目标未能同时考虑在内等,未来工作可从多

目标、多角度研究虚拟机能效问题。

### 参考文献

- [1] BARHAM P, DRAGOVIC B, FRASER K, et al. Xen and the art of virtualization [J]. ACM SIGOPS Operating Systems Review, 2003, 37(5): 164-177.
- [2] WANG Lin, ZHANG Fa, ARJONA J A, et al. GreenDCN: A general framework for achieving energy efficiency in data center networks [J]. IEEE Journal on Selected Areas in Communications, 2014, 32(1): 4-15.
- [3] 林伟伟, 吴文泰. 面向云计算环境的能耗测量和管理方法 [J]. 软件学报, 2016, 27(4): 1026-1041.
- [4] HAMDI K, KEFI M. Network-aware virtual machine placement in cloud data centers: An overview [C]//2016 International Conference on Industrial Informatics and Computer Systems. Sharjah, United Arab Emirates: IEEE, 2016: 1-5.
- [5] GREENBERG A G, HAMILTON J R, JAIN N, et al. VL2: A scalable and flexible data center network [J]. ACM Sigcomm Computer Communication Review, 2009, 39(4): 51-62.
- [6] HELLER B, SEETHARAMAN S, MAHADEVAN P, et al. ElasticTree: Saving energy in data center networks [C]//Proceedings of the 7<sup>th</sup> USENIX Symposium on Networked Systems Design and Implementation, NSDI 2010. San Jose, CA, USA: dblp, 2017: 1-17.
- [7] SHIRAYANAGI H, YAMADA H, KONO K. Honeyguide: A VM migration-aware network topology for saving energy consumption in data center networks [C]//2012 IEEE Symposium on Computers & Communications. Cappadocia (ISCC). Turkey: IEEE, 2012: 000460-000467.
- [8] KIM J, DALLY W J, ABTS D. Flattened butterfly: A cost-efficient topology for high-radix networks [C]//34<sup>th</sup> International Symposium on Computer Architecture (ISCA 2007). San Diego, California, USA: dblp, 2007: 1-13.
- [9] KLIAZOVICH D, BOUVRY P, KHAN S U. GreenCloud: A packet-level simulator of energy-aware cloud computing data centers [J]. The Journal of Supercomputing, 2012, 62(3): 1263-1283.
- [10] KLIAZOVICH D, BOUVRY P, KHAN S U. DENS: Data center energy-efficient network-aware scheduling [J]. Cluster Computing, 2013, 16(1): 65-75.
- [11] KLIAZOVICH D, ARZO S T, GRANELLI F, et al. e-STAB: Energy-efficient scheduling for cloud computing applications with traffic load balancing [C]//IEEE International Conference on Green Computing and Communications and IEEE Internet of Things and IEEE Cyber, Physical and Social Computing (GreenCom). Beijing, China: IEEE, 2013: 7-13.
- [12] 罗刚毅, 钱柱中, 陆桑璐. 一种基于网络感知的虚拟机再调度算法 [J]. 计算机学报, 2015, 38(5): 932-943.
- [13] MENG Xiaoqiao, PAPPAS V, ZHANG Li. Improving the scalability of data center networks with traffic-aware virtual machine placement [C]//Proc. IEEE INFOCOM'10. San Deigo, CA, USA: IEEE, 2010: 1-9.
- [14] 董健康, 王洪波, 李阳阳, 等. IaaS 环境下改进能源效率和网络性能的虚拟机放置方法 [J]. 通信学报, 2014, 35(1): 72-81.
- [15] 秦华, 阎钢. 基于 OpenFlow 网络的数据中心服务器负载均衡策略 [J]. 计算机工程, 2016, 42(3): 130-137.