

云环境下基于虚拟机动态迁移的调度策略研究

方义秋¹, 唐道红¹, 葛君伟²

(1 重庆邮电大学 计算机科学与技术学院, 重庆 400065; 2 重庆邮电大学 图书馆, 重庆 400065)

摘 要: 针对目前云环境资源调度采用静态负载均衡策略易于导致资源浪费的问题, 提出了一种双限定值的虚拟机动态迁移的调度策略. 该策略将当前负载状况与负载过重或过轻时两个限定值比较, 选择介于二者之间能耗较低的虚拟机迁移至目标节点. 仿真实验表明, 该策略能够减少迁移次数, 降低虚拟机迁移能耗, 从而尽可能达到负载均衡和满足服务等级协议的需求.

关键词: 云计算; 虚拟机动态迁移; 资源调度; 减少能耗; 负载均衡; 服务等级协议

中图分类号: TP311

文献标识码: A

文章编号: 1000-7180(2012)04-0045-04

Research on Schedule Strategy Based on Dynamic Migration of Virtual Machines in Cloud Environment

FANG Yi-qiu¹, TANG Dao-hong¹, GE Jun-wei²

(1 College of Computer Science and Technology, Chongqing University of Posts and Telecommunication Chongqing 400065, China; 2 Library, Chongqing University of Posts & Telecom, Chongqing 400065, China)

Abstract: Aiming at the current resource scheduling using the static load balancing strategy in cloud computing environment could easily lead to the waste of resources, the paper presents the Double Threshold(DT) of scheduling strategy based on virtual machine live migration. The strategy will compare the current load conditions with double threshold values in which is overloading or too light loading, and choose the virtual machine with lower energy consumption and between with the two values to migrate the destination node. Experimental results show that the strategy can reduce the migration times and the energy consumption of virtual machine migration, so as to achieve load balancing and meet service level agreement (SLA) requirements.

Key words: cloud computing; dynamic migration of virtual machines; resource scheduling; reducing energy; load balancing; Service Level Agreement (SLA)

1 引言

云计算的一个很重要的特点就是资源虚拟化^[1]. 通过互联网将这些动态的可扩展的资源连接起来整合成云计算的庞大的计算和存储规模^[2], 由于云中资源的异构性和用户需求的动态性, 如果不能合理地调度资源, 势必会导致资源的浪费或者负载过重问题. 尽管解决系统负载的方法包括: 目标地址散列调度、加权轮叫调度算法等, 但是往往都采用静态的负载均衡策略, 很难适应用户请求的动态变化.

由于计算资源需求在不断增加, 总体的能源消耗也将持续增长, 资源池中基础设施资源的高能耗导致资源利用率较低和资源管理成本加大. 为了减少高电力能耗所带来的巨大代价, 云计算平台利用虚拟化技术构建的虚拟集群, 能够动态地组织异构的计算资源^[3], 不仅可以提供有效和安全的计算和存储资源, 还可以根据系统的负载变化将虚拟机重新映射到合适的物理主机上, 有效地将资源整合并充分利用, 从而减少使用的硬件资源的数量和提高资源利用率. 这个虚拟机重新映射过程可以借助虚拟机的动态迁移来实现.

目前, Virtuoizzo、Vmware 和 Cardosa 等都进行了虚拟机迁移的相关研究^[2], 它们没有考虑虚拟机迁移过程所造成的能源消耗和保证用户需求的服务质量. 传统的静态虚拟机迁移策略或基于单点限定值的虚拟机迁移策略, 没有考虑根据用户请求的资源的变化来动态地调度资源, 而导致不必要的迁移开销^[3].

2 云环境下基于虚拟机动态迁移的调度架构

云计算层次架构将云分成了应用层、平台层、虚拟化和基础设施层. 云计算的基础设施层不同于网格计算的一个很重要的方面是大规模地部署虚拟化器件和虚拟化环境^[4]. 因此, 在云计算中新增加了一个虚拟化层, 作为基于云的应用服务的执行和提供托管环境. 云的服务核心的硬件基础设施由一个处理服务请求的数据中心来建模. 尽管宿主在同一主机上的虚拟机之间的性能是隔离的, 但每个虚拟机所获得的处理能力要受到宿主机的处理能力的限制. 为了允许在不同级别的性能隔离下模拟不同的资源调度策略, 采用了两级虚拟机调度模型: 一个是主机级, 一个是虚拟机级^[5]. 主机级它可以指定在一个主机中每个内核的处理能力(MIPS)的多少将分配给虚拟机, 虚拟机级是指定特定数量的处理能力分配给托管在该级的就绪队列里的单个任务单元.

虚拟机动态迁移架构如图 1 所示. 用户首先将其任务提交到云计算环境中的任何一台服务器上, 系统就能根据用户请求自动地将其部署到合适的服务器上, 并根据用户的服务器的负载状况来决定由哪一台服务器来完成该用户请求任务, 为了实现这样的需求目标, 云系统的数据中心根据用户请求动态地迁移云中的虚拟机以调度资源满足用户需求. 云系统的数据中心控制主要负责对云计算环境中虚拟机的创建操作、虚拟机的迁移和虚拟机的销毁操作, 提供虚拟机到主机的部署, 以及根据用户服务请求选择处理用户任务的服务器. 这个模块需要通过各个虚拟监控器进行交互, 以获取各个虚拟机的 CPU、内存、存储、带宽以及能耗信息, 本文采用 CPU 的利用率来描述系统负载. 因此, 如果 CPU 的处理能力超出了最高限定值, 就称该资源的负载过重; CPU 的处理能力低于了最低限定值, 就称该资源空闲. 资源负载过重或空闲就需要向数据中心发送一个请求迁移的信号, 并准备对其进行资源调度.

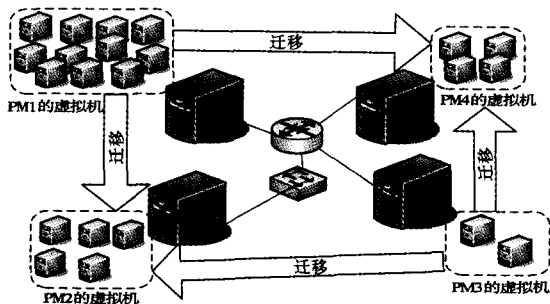


图 1 虚拟机动态迁移的调度架构

3 虚拟机动态迁移调度策略的算法实现

对于云环境下基于虚拟机迁移的调度策略需要考虑的问题很多^[6]. 首先, 确定什么情况下迁移虚拟机; 其次, 怎么选择适合迁移的目标主机, 然后, 如何保证迁移虚拟机到目标主机过程中的服务等级协议; 最后, 迁移结束后须在源主机上销毁迁移的虚拟机并保证其上的任务继续运行. 针对上述问题, 根据当前主机的负载动态地迁移调度虚拟机资源, 从而有效地解决云计算中资源利用率低和负载不均衡的问题.

3.1 虚拟机迁移流程

虚拟机的迁移流程如图 2 所示, 由以下几个过程组成: (1) 确定迁移对象. 定时检测物理主机和虚拟机的 CPU、内存资源、网络带宽和存储资源使用情况, 主要是用资源的 CPU 利用率判断负载状况, 来确定哪个虚拟机需要进行迁移. (2) 选择目标节点. 查找在云计算环境中节点列表中的其他节点, 查找符合源节点虚拟机迁移条件的节点作为要迁移的目标主机, 如果找到的话, 在两个节点之间建立交互连接, 如果没有找到, 继续在列表中寻找其他满足条件的节点. (3) 启动迁移. 发送迁移信号给数据中心, 由数据中心启动迁移. (4) 虚拟机迁移. 将源节点上要迁移的虚拟机的 CPU 信息、内存信息、网络连接信息打包传递给目标节点. (5) 提交. 源主机向目标主机提交一个信息, 告诉目标主机迁移工作完成. 如果提交完成, 则目标主机会向源主机发送一个确认信息, 表示它现在有了一个完全和源主机上完全一致的要迁移的虚拟机映像. 最后, 源主机将从它的虚拟机列表中删除该虚拟机. (6) 激活. 彻底销毁源主机中迁移的虚拟机节点, 然后唤醒目标主机中的虚拟机节点, 让其继续运行该虚拟机上的任务.

3.2 DT(Double Threshold)策略思想描述以及考虑参数

根据当前监测到的各个资源的利用率进行判

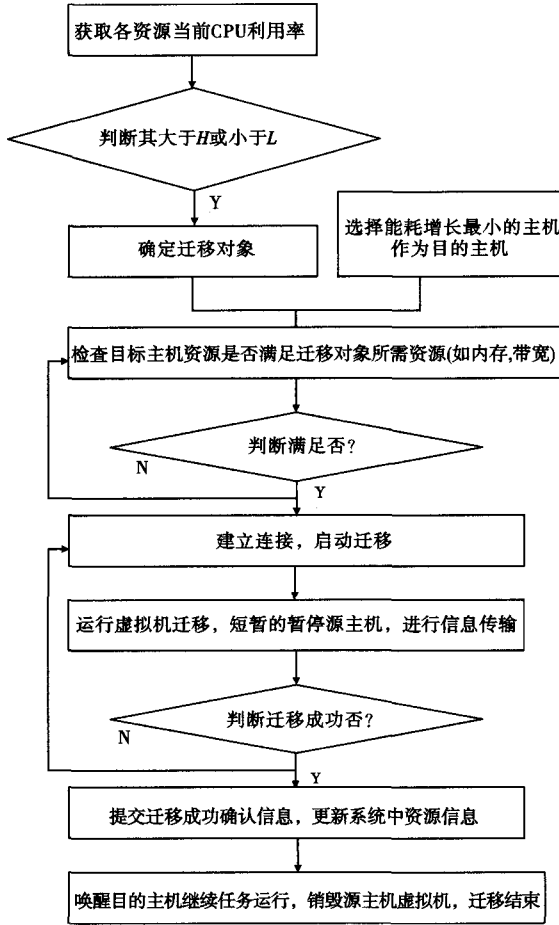


图2 虚拟机迁移流程图

断,如果某节点上的虚拟机总的利用率大于最高限定值 H ,就将某些虚拟机就从该节点迁移出去,以减少 SLA 破坏的风险,否则就不做迁移操作,继续选择物理机主机列表中其他的节点;如果该节点上虚拟机总的利用率小于最低限定值 L ,该节点上的所有虚拟机将被迁移,从而关闭该物理机节点,以节省这个闲置节点的所消耗的电力能源消耗. 对于第一种情况究竟迁移哪些虚拟机是一个考虑的重点. 将物理节点的虚拟机的 CPU 利用率按照从大到小进行排序,选择 CPU 利用率最大的虚拟机首先做迁移;从主机中寻找电力能源消耗最小的物理机作为当前虚拟机要迁移的目标主机;如果虚拟机的计算能力(MIPS)小于目标主机的剩余计算能力(MIPS)并且目标主机要有足够该虚拟机所需的内存、带宽等资源,才可以进行迁移,否则不做迁移;迁移结束后,将该迁移的虚拟机从源主机中删除,然后更新系统状态信息,这样各个节点 CPU 利用率、剩余计算能力等性能参数都得以更改;下次迁移时,继续重新判断列表中节点,依次遍历各个节点,执行虚拟机的迁移操作.

使用各服务器的 CPU 利用率方差来表示负载均衡度(B),用 u_i 表示服务器资源 i 当前的 CPU 利用率, m 表示宿主机的个数,某个时刻的所有的平均 CPU 利用率为式(1),然后求得负载均衡度为式(2):

$$\bar{u} = \frac{\sum_{i=1}^m u_i}{m} \quad (1)$$

$$B = \sqrt{\frac{1}{m} \times \sum_{i=1}^m (u_i - \bar{u})^2} \quad (2)$$

通过上面这个值来确定负载均衡,目标是使得 B 的值越小越好. 而对于能耗的计算,假设服务器空闲时所消耗的电力能源的百分比为 k , P_{full} 表示服务器满载时的能耗, u_i 表示服务器的 CPU 利用率,所以随着时间 t 的增长总的能耗(E)为

$$E = \int_t (k \times P_{full} + (1 - k) \times P_{full} \times u_i) \quad (3)$$

通过使用 MIPS(计算能力)来求解 SLA 的破坏程度,所以 SLA 破坏的百分比为式(4). 其中, $User_{req}$ 表示用户请求的 MIPS, $User_{allocate}$ 表示实际分配给用户的 MIPS.

$$SLA = \frac{User_{req} - User_{allocate}}{User_{req}} \quad (4)$$

4 实验结果

由于云计算系统是针对一个大规模云数据中心的,有必要进行大规模的实验来评估. 然而,很难在一个真实环境的基础设施上运行大规模的实验,特别是当要在相同条件下对于不同的策略重复多次实验. 所以本文采用了 CloudSim^[7] 来模拟该资源调度策略. 在本仿真实验中配置相同的 100 个物理主机节点,提供了 300 个性能相同的虚拟机,根据当前资源的 CPU 利用率情况动态地迁移虚拟机. 通过实验将本文的资源调度策略不考虑节能的(Non Power Aware, NPA)的资源调度策略比较来体现节能的目标,以及与简单的单个限定值(SimpleThreshold, ST)比较体现在减少了迁移次数和减少了迁移过程造成的 SLA 破坏. 本文采用每隔 10 秒钟计算一次运行虚拟机动态迁移中各个物理机资源的利用率和该时刻系统的负载均衡度,以及完成虚拟机动态迁移过程的性能参数. 实验结果如下所示

从图 3 可以看出,随着迁移过程时间的增加, DoubleThreshold(DT)和 SimplePolicy(即 ST 策略限定值取 1 的时候)两种虚拟机动态迁移策略的负载均衡度在逐渐的减小,传统的简单的虚拟机调度

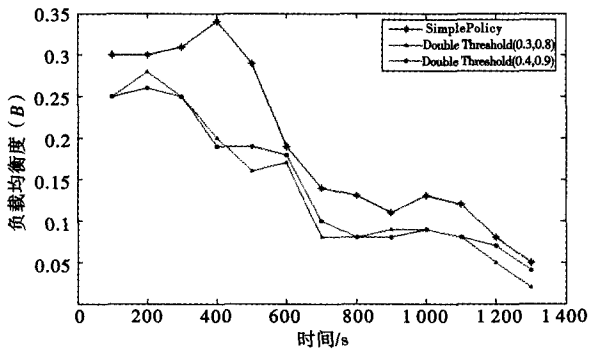


图3 负载均衡度

策略的系统负载均衡度大于两个限定值的虚拟机动态迁移策略, DoubleThreshold(DT)策略具有更好的负载均衡效果, 从而更加有效地提高了资源利用率。

从表1的实验结果中可以看出: 根据当前CPU的利用率动态地分配虚拟机资源比传统的不考虑节能的(NPA)的资源调度策略更加节能。在这三种虚拟机调度策略中, DT的节能效果最佳。DT比NPA和ST分别减少了约27%、15%的能耗。另外, DT的虚拟机迁移的次数小于ST, 从而减小了迁移代价。由于DT限定值可以根据用户需求动态地调节, 这就导致了算法有很大的灵活性, 当限定值在0.2至0.7时消耗了3.07 kWh功率, SLA破坏的百分比达到了10.03%, 但是当限定值在0.4至0.9时SLA破坏的百分比却增加到了10.43%, 而此时的功率消耗却减小到了2.96 kWh。由于算法的灵活性使得在数值上呈现的变化比较小, 但是实际情况产生的变化将是不容忽视的。

表1 实验结果

策略	能耗 E/kWh	迁移次数	SLA 破坏百分比/%
NPA	4.15	—	—
ST(0.5)	3.54	582	12.74
ST(0.6)	3.56	595	12.61
ST(0.7)	3.56	598	10.38
DT(0.2,0.7)	3.07	523	10.03
DT(0.3,0.8)	3.04	500	10.14
DT(0.4,0.9)	2.96	498	10.43

5 结束语

本文通过对 CloudSim 云计算仿真平台的扩展, 对提出的虚拟机迁移的资源调度策略进行了验证, 解决了云环境下资源空闲造成的资源浪费, 以及资源负载过重造成的系统负载不均衡问题。通过将本文提出的策略与单个限定值的(ST)策略和不考虑节能的(NPA)策略进行比较, 该策略在减少迁移过

程所带来的功率消耗和迁移次数方面有较好的效果, 从而提高了资源的利用率, 保证了服务等级协议(SLA)的需求。

参考文献:

- [1] 曾诚, 李兵, 何克清. 云计算的栈模型研究[J]. 微电子学与计算机, 2009, 26(8): 22-24.
- [2] 曾龙海, 张博峰. 基于云计算平台的虚拟集群构建技术研究[J]. 微电子学与计算机, 2010, 27(8): 31-35.
- [3] Mauro Andreolini, Sara Casolari, Michele Colajanni. Dynamic load management of virtual machines in a cloud architecture[J]. Department of Information Engineering, 2010: 201-204.
- [4] Daniel Versick, Djamshid Tavangarian. Reducing energy consumption by load aggregation with an optimized dynamic live migration of virtual machines[C] // International Conference on P2P. Parallel, Grid, Cloud and Internet Computing (3PGCIC), 2010: 164-170.
- [5] Po-cheng Chen, Lin Cheng-i, Huang Shengwei, Japan, R, et al. A performance study of virtual machine migration vs thread migration for grid systems [C] // 22th International Conference on Advanced information Networking and Applications (IEEE). Canadian, 2008: 86-91.
- [6] Timothy Wood, Ramakrishnan K K. CloudNet: dynamic pooling of cloud resources by live WAN migration of virtual machines[C] // VEE 11 Proceedings of the 7th ACM SIGPLAN/SIGOPS international Conference on Virtual execution environments (ISBN). Japan: Tokyo, 2011: 121-132.
- [7] Rodrigo N Calheiros, Rajiv Ranjan, Anton Beloglazov. CloudSim: a toolkit for modeling and simulation of cloud computing environments and evaluation of resource provisioning algorithms[J]. Software: Practice and Experience (SPE), 2011, 41(1): 23-50.

作者简介:



方义秋 女, (1963—), 副教授. 研究方向为软件工程。

唐道红 女, (1985—), 硕士. 研究方向为云计算、软件工程。
葛君伟 男, (1961—), 博士, 教授. 研究方向为云计算、软件工程、MDA。