

# 云环境下虚拟机集群迁移策略研究

胡荣辉,王瑞通

(南京邮电大学 计算机学院,江苏 南京 210003)

**摘要:**针对因目前数据中心资源利用率偏低以及负载不平衡而导致数据中心能耗浪费严重的问题,提出了一种基于双门限与资源需求相关性匹配的虚拟机迁移算法。该算法采用双门限值方式触发虚拟机迁移策略,通过双门限触发的策略减少虚拟机迁移次数,从而避免系统频繁的虚拟机迁移。根据各虚拟机的资源利用率、带宽内存比以及与服务器资源的相关性进行待迁移虚拟机的选择,使得数据中心在降低迁移开销以及保证服务质量的同时,能够释放更多的服务器资源,并能通过迁移数量以及资源匹配程度确定待迁移服务器。仿真结果表明,提出的算法能有效降低虚拟机迁移成本,提高系统资源利用率,并在降低SLA违约方面有一定的改善,也避免了因多数虚拟机迁移到同一台服务器所形成的群聚效应。

**关键词:**数据中心;虚拟机迁移;资源匹配;相关性

中图分类号:TP301.6

文献标识码:A

文章编号:1673-629X(2017)11-0033-04

doi:10.3969/j.issn.1673-629X.2017.11.007

## Study on Virtual Cluster Migration Strategy in Cloud Environment

HU Rong-hui, WANG Rui-tong

(College of Computer, Nanjing University of Posts and Telecommunications, Nanjing 210003, China)

**Abstract:** In allusion of problem of wasted energy consumption in the data center caused by its low resource utilization and imbalanced load, a virtual machine migration algorithm based on dual threshold and resource demand for relevance matching is proposed, which adopts two-threshold method to trigger the virtual machine migration strategy and avoids frequent VM migration by reducing the number of virtual machine migrations by the double-threshold triggered strategy. According to the resource utilization, bandwidth memory ratio and the relevance with server resource for each virtual machine, the data center has reduced the migration cost and guarantee the quality of service, which it can release more server resources and can determine the server to be migrated by the quantity of migration and the degree of resource matching meanwhile. The simulation results show that it has effectively reduced cost of virtual machine migration and promoted system resource utilization, with certain improvement in reducing the SLA breach, avoiding most virtual machine migration to the cluster effect formed by the same server.

**Key words:** data center; virtual machine migration; resource matching; relevance

### 1 概述

云计算是通过互联网技术将庞大的计算、存储资源整合成一个计算资源池,从而使资源利用率达到最大化,并通过网络将计算资源以服务的形式提供给用户,使得用户可以避免在硬件设备上消耗太多的人力和物力。虚拟化技术是云计算的基石,通过虚拟化技术可以整合平台下的计算以及存储等物理资源。云计算下的虚拟化技术主要有服务器虚拟化、存储虚拟化、桌面虚拟化和应用虚拟化<sup>[1]</sup>。

虚拟化技术通过虚拟机提供服务,虚拟机是独立、安全和高度的计算单元并且映射到相应的物理服务器

上。虚拟化技术通过物理机和虚拟机之间映射的重定向实现虚拟机在多个物理机之间的动态迁移,动态地实现整个系统的负载均衡<sup>[2]</sup>以及资源利用率的提高。

虚拟机迁移是指将虚拟机从一台物理服务器迁移到另外一台物理服务器,并在目的服务器上恢复之前虚拟机的运行,其主要目的是实现虚拟机和宿主物理服务器之间的重映射,提高系统资源的利用率以及降低系统开销,从而提高系统的可靠性。

现阶段的虚拟机迁移研究主要集中在两个方面:降低虚拟机迁移中内存页迁移以及带宽占用等问题,着重于迁移自身的算法优化;考虑虚拟机迁移机制或

者迁移策略,研究重点在于虚拟机迁移时机的选择、服务器中选择需要进行迁移的虚拟机、系统中待迁入的服务器选择等问题<sup>[3]</sup>。在虚拟机进行迁移策略选择方面,文献[4]采用一种预先进行内存拷贝的方式,减少了系统中迁移所需要资源带来的占用问题。文献[5]分析了几种不同虚拟网络进行迁移的性能,并提出了一种新的策略以保证虚拟机迁移过程中不会出现丢包问题。文献[6]根据虚拟机当前的资源利用状况,在进行虚拟机迁移时,通过远程连接方式,将虚拟机的内存页进行迁移,降低了虚拟机的迁移能耗。

除了在虚拟机迁移算法层的研究,也有一些文献针对虚拟机迁移策略进行了一些探索。文献[3]采用最大相关性选择算法(RRVMS)以及多资源相关匹配主机选择算法(RMRHS)进行迁移。文献[7]提出当系统中服务器的资源利用率不小于某一个极限阈值时,就进行虚拟机迁移策略。文献[2]根据历史资源使用率,通过预测算法来预测下一个时刻资源使用状况并做出迁移判断。文献[8]提出了最大资源需求优先迁移算法,对资源需求较大的虚拟机最有机会被选中迁移。在文献[9]中,当虚拟机资源超载时,利用动态伸缩算法为其分配资源,当没有额外的资源时,虚拟机迁移策略才会被触发。文献[10]考虑了虚拟机之间通信的带宽问题,将需求带宽较大的虚拟机集中迁移到相同的服务器上,实现资源利用最大化,避免了资源浪费,从而降低系统能耗。

针对虚拟机迁移策略,为了提高资源利用率、服务质量以及负载均衡<sup>[11]</sup>,当服务器提供的服务质量下降或者某一资源使用率超过阈值时,就会触发虚拟机迁移机制,将虚拟机迁移到相应负载较低的服务器上。

虚拟机迁移策略主要分为三个阶段<sup>[12]</sup>:虚拟机迁移的时机;迁移虚拟机的选择;目的服务器选择。

第一个问题是选择问题。迁移时机的把握在虚拟机迁移策略中处于重要的地位,无论迁移的策略怎么制定,必将会带来额外的系统能耗开销以及服务质量的下降,如果没有在合适的时机进行迁移,将会增大系统的负载、降低服务质量。因此,在设定迁移时机时,需要考虑系统负载、服务质量等方面,通过设置阈值上限来提高系统负载。

第二个问题是针对服务器如何选择虚拟机进行迁移。当服务器的利用率低于阈值时<sup>[13]</sup>,不需要考虑迁移虚拟机的选择,因为需要将服务器上所有虚拟机进行迁移,而当服务器利用率超过一个阈值时,就需要考虑在服务商选择哪一台虚拟机进行迁移,并且需要考虑在迁移过程中能够保证服务质量。

第三个问题是迁移的目的服务器的选择问题,即在选择完迁移的虚拟机后,需要考虑找到合适的服务

器来放置以保证其服务质量和系统的负载均衡<sup>[14]</sup>。

为此,提出了在虚拟机资源需求动态变化下引起的虚拟机迁移策略。该策略保证了系统良好的资源利用率以及较高的服务质量。因为虚拟机的频繁迁移会导致系统能耗的增加,服务质量的降低。为了避免单阈值导致的频繁迁移,提出了双门限触发策略,通过双阈值限制降低虚拟机迁移次数,避免峰值触发不必要的迁移。此外,针对迁移虚拟机的选择,通过三种不同的属性加权获取最佳迁移虚拟机,而针对目的服务器的选取,则考虑了当前服务器已承载的迁移服务,并通过资源相关性匹配方案,解决虚拟机资源需求与服务器提供需求之间的最佳映射。实验结果表明,基于双阈值触发的虚拟机迁移策略能够有效提高系统的服务质量,并降低虚拟机的迁移次数,从而降低系统能耗。

## 2 迁移策略研究

### 2.1 迁移时机算法设计

虚拟机迁移时机策略结合了预测机制,对服务器的迁移阈值不设置单一属性值,而是设置多个阈值。该策略中设置两个虚拟机的阈值,如式(1)所示:

$$M_1 = U_c \times R_{cmax} + U_b \times R_{bmax} + U_m \times R_{mmax} \quad (1)$$

其中,  $M_1$  是第一级的阈值,当服务器的资源利用率超过第一级的阈值时,将会触发服务器迁移时间选择策略。

如式(2)所示,在可预测的时间  $T_{off}$  内,如果服务器的阈值达到了第二级的阈值  $M_2$ ,将会触发下一阶段的迁移策略,从而有效减少服务器的迁移次数,降低系统迁移成本。其中阈值包括服务器的三个主要属性:CPU、内存以及带宽的利用率和进行加权处理得出的值;第二阈值由三个属性加其可接受变化的进行加权得到,通过加权操作,可以根据当前系统的资源分配对虚拟机迁移的门限进行合理设定,从而实现动态迁移。

$$M_2 = U_c \times (R_{cmax} + R_{coff}) + U_b \times (R_{bmax} + R_{boff}) + U_m \times (R_{mmax} + R_{moff}) \quad (2)$$

其中,  $R_{cmax}$ 、 $R_{mmax}$  和  $R_{bmax}$  分别为 CPU、内存和带宽的利用上限;  $R_{coff}$ 、 $R_{moff}$  和  $R_{boff}$  分别为 CPU、内存和带宽的可接受变化范围;  $U_c$ 、 $U_b$  和  $U_m$  分别为 CPU、带宽和内存的权重值。

### 2.2 迁移虚拟机选择算法设计

当虚拟机被触发迁移时,如果此时有多个虚拟机运行在服务器上,需要在该服务器上选择合适的虚拟机进行迁移,使得服务器可以释放所需的资源,又可以实现最小的迁移代价,因此对待迁移服务器下的虚拟机进行参数量化,从而方便进行比较,其步骤如下:

(1) 计算服务器下的虚拟机与服务器的相关度。

当服务器和虚拟机之间的相关度很高时,虚拟机

的资源需求对服务器的依赖程度也就很高,而如果虚拟机和服务器的相关度很低,迁移该虚拟机对服务器的影响也就会降低,这样可以达到保证服务质量的目的。当服务器无法提供服务时,采用式(3)计算虚拟机和服务器之间的相关系数,并按照该系数进行排序。

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n x_i y_i}{\sqrt{(\sum_{i=1}^n x_i^2)(\sum_{i=1}^n y_i^2)}} \quad (3)$$

其中,  $x_i$  为虚拟机在启动至  $i$  时刻的资源利用率;  $y_i$  为服务器在启动至  $i$  时刻的资源利用率。

(2) 虚拟机当前内存和可用带宽比。

虚拟机迁移的核心是虚拟机内存页的迁移,和服务器相关的因素则是带宽,因此,当需要迁移虚拟机时,需要考虑迁移开销最小化。除了考虑上述虚拟机和服务器的相关性外,还需要综合考虑内存和带宽资源的使用率,因为待迁移的虚拟机的内存带宽比越大,迁移的时间就越长,那么对迁移虚拟机的性能损耗就越大,更会增加系统开销。如式(4)所示,优先考虑选择迁移内存带宽比较小的虚拟机。

$$t = \sqrt{\left(\frac{M_m}{B_b}\right)^2 - \left(\frac{M_j}{B_b}\right)^2} \quad (4)$$

其中,  $M_m$  为服务器的可用内存;  $B_b$  为服务器的可用带宽;  $M_j$  为虚拟机  $j$  的内存。

(3) 虚拟机资源利用率加权处理。

当服务器被触发迁移时,应考虑到服务器各种资源之间的权重比,对虚拟机的使用资源进行加权处理。比如因为带宽因素导致的虚拟机迁移,在考虑虚拟机迁移时,对带宽因素的权重就应该比其他的资源因素高,如式(5)所示,构建一个最佳迁移虚拟机模型:

$$V = \{r_c, r_b, r_n\} \quad (5)$$

其中,  $r_c, r_b, r_n$  是当前服务器剩余资源的一半。

如式(6)所示,结合了虚拟机三种资源利用率之间的权重,将服务器的资源值进行量化,寻找接近最佳状态的待迁移虚拟机。

$$e = \sqrt{a^2 + b^2 + n^2} \quad (6)$$

其中,  $a = W_c(a_c - r_c)$ ,  $b = W_b(a_b - r_b)$ ,  $n = W_n(a_n - r_n)$  分别表示服务器上虚拟机资源的权重值,基于此可以根据服务器上资源利用率之间的变化动态分配对应资源的权重。

如式(7)所示,结合上述三种策略量化结果,根据计算结果将服务器上的虚拟机进行排序,并按照该排列的优先级进行迁移虚拟机的选择。

$$h = \sqrt{r^2 + t^2 + e^2} \quad (7)$$

### 2.3 迁移目的服务器算法设计

(1) 该服务器承载的迁移次数。

在选择目的服务器时,需要考虑服务器承载的最大迁移数量,如果一个服务器同时承载多个虚拟机迁移任务,那么它被接着选中目的服务器的概率应该呈快速下降的趋势,使其不会影响到系统的负载均衡并减少资源负担及性能损耗。

(2) 计算每个服务器的资源权重值。

在得到需要迁移的虚拟机后,需要根据候选的服务器选出和待迁移虚拟机资源相关系数最小的服务器,对服务器的资源进行加权处理,每个服务器上的资源利用率都和待迁移虚拟机的被迁移时资源权重相关,相关资源利用率高的服务器将有更大的权重值。如式(8)所示,将各个资源利用率相加:

$$R_i = \sum_{i=1}^n A_i \times r_i \quad (8)$$

其中,  $A_i$  为第  $i$  种资源的权重;  $r_i$  为第  $i$  种资源的相关系数。

(3) 将待选服务器按式(9)得出服务器和虚拟机之间的距离,按照该值进行排序,距离最短的服务器将是需要迁移的目的服务器。

$$l = \frac{\sum_{i=1}^n \sqrt{(R_i - CR_i)^2}}{\sqrt{(t - T_{\text{Best}})^2}} \quad (9)$$

## 3 实验与分析

为了评估该策略的性能,采用墨尔本大学网络实验室和 Gridbus 项目推出的 CloudSim 仿真平台进行测试。建立一个包含多个服务器和虚拟机的数据中心,服务器的 CPU、内存以及带宽参数保持一致,虚拟机的资源配置参数有多种不同的规格。

通过以下几个指标来比较判断算法的性能。

(1) 虚拟机迁移次数。实验中,通过不断增加虚拟机个数,获取在指定时间内的虚拟机迁移次数,以此来判断系统是否发生虚拟机的频繁迁移。

(2) 功耗。实验中,同样通过不断增加虚拟机个数来判断系统的能耗变化,并以此来判断系统中服务器的开启数量,当系统的能耗变小时,说明系统的资源利用率变高。

(3) 服务器资源的 SLA (Service Level Agreement)。SLA 是服务器在一定开销下为用户提供保障服务的可靠性及性能,该指标可以衡量系统在不同数量虚拟机请求下提供的服务质量,其违约率越低说明系统提供的服务质量越高。

如图 1 所示,随着虚拟机数目的增加,双门限策略主导的虚拟机迁移次数明显少于由瞬间触发主导的虚拟机迁移策略,这是因为使用了双门限触发机制,可以有效避免一部分因为瞬时峰值导致的虚拟机迁移,从



而达到了降低虚拟机迁移次数的效果,减少了因为虚拟机迁移导致的系统额外开销。

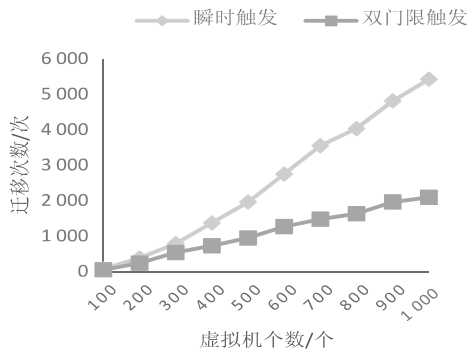


图1 不同迁移机制对迁移次数的影响

组合算法结合了 RRVMS 的优点,仿真结果如图 2 所示。

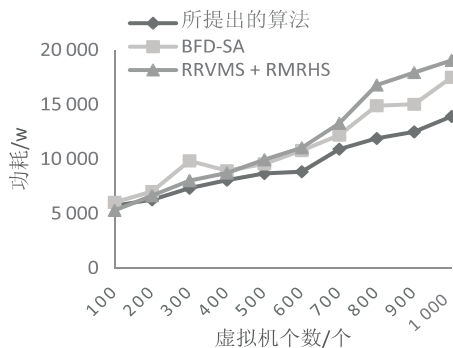


图2 不同算法下的系统功耗比较

从图 2 中可见,随着虚拟机数目的增加,改进算法系统功耗相比于 BFD-SA 以及 RRVMS+RMRHS 算法降低显著,并且不会出现剧烈波动的情况。说明在虚拟机迁移时,考虑到虚拟机和服务器之间的相关性以及虚拟机带宽与内存比,在选择服务器时,考虑到待迁入的服务器已承载的虚拟机迁移次数和服务器和虚拟机之间的相关性,可以有效降低虚拟机的功耗。功耗的增加来源于开启服务器的增加,在虚拟机迁移时,考虑到资源利用率以及资源之间的匹配度,可以减缓服务器上资源需求量的增加,减少服务器的资源浪费。

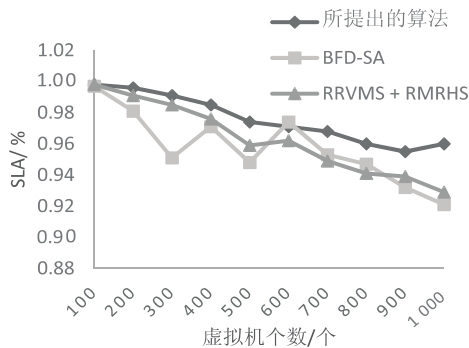


图3 不同算法下的 SLA 性能比较

从图 3 可见,随着虚拟机数目的增加,改进算法可以有效地保证 SLA 的违背率,即系统提供的服务质量能够达到很好的效果。表明该算法通过对资源进行相

关性匹配与权重分析以及考虑服务器已承载的迁移数目,在保证能耗降低的同时,保证系统的服务质量。

## 4 结束语

为解决云环境下虚拟机频繁迁移导致系统服务质量降低、能耗增加的问题,提出了一种基于双门限的虚拟机迁移算法。实验结果表明,该算法提高了系统资源利用率,降低了迁移开销,达到了降低功耗的目的。在下一步的研究中,将考虑把当前的虚拟机迁移策略移植到具体平台上,实现系统能耗和系统稳定性相结合,进一步优化虚拟机集群。

## 参考文献:

- [1] 韩德志,李楠楠,毕 坤. 云环境下的虚拟化技术探析[J]. 华中科技大学学报:自然科学版,2012(S1):262-265.
- [2] 刘媛媛,高庆一,陈 阳. 虚拟计算环境下虚拟机资源负载均衡方法[J]. 计算机工程,2010,36(16):30-32.
- [3] 刘 璠,虞红芳,郑少平. 面向业务动态变化的虚拟机迁移技术研究[J]. 计算机应用研究,2016,33(2):534-539.
- [4] Aroa C, Fraser K, Hand S, et al. Live migration of virtual machines[C]//Proceedings of the 2nd conference on symposium on networked system design and implementation - volume 2. Boston, USA: USENIX, 2005: 273-286.
- [5] Pisa P, Fernandes N C, Carvalho H E T, et al. OpenFlow and Xen based virtual network migration[M]//Communication: wireless in developing countries and network of the future. Berlin: Springer, 2010: 170-181.
- [6] 彭近尧. 基于能效的数据中心资源整合机制[D]. 成都: 电子科技大学, 2013.
- [7] 钱育蓉,于 炯,王卫源,等. 云计算环境下软硬件节能和负载均衡策略[J]. 计算机应用,2013,33(12):3326-3330.
- [8] 刘进军,陈桂林,胡成祥. 基于负载特征的虚拟机迁移调度策略[J]. 计算机工程,2011,37(17):276-278.
- [9] Achar R, Thilagam P S, Soans N, et al. Load balancing in cloud based on live migration of virtual machines[C]//Annual IEEE India conference. India: IEEE, 2013.
- [10] Shrivastava V, Zerfos P, Lee K W, et al. Application-aware virtual machine migration in data centers[C]//Proceedings of IEEE INFOCOM. [s. l.]: IEEE, 2011: 66-70.
- [11] 王庆波,何 乐,赵 阳. 虚拟化与云计算[M]. 北京: 电子工业出版社, 2010.
- [12] Isci C, Liu Jiuxing, Abali B, et al. Improving server utilization using fast virtual machine migration[J]. IBM Journal of Research and Development, 2011, 55(6): 365-376.
- [13] 周文煜,陈华平,杨寿保,等. 基于虚拟机迁移的虚拟机集群资源调度[J]. 华中科技大学学报:自然科学版,2011, 39: 130-133.
- [14] 赵广才,张雪萍. 云计算技术分析及其展望[J]. 电子设计工程,2011,19(22):4-7.