

DOI: 10.7652/xjtuxb201302005

云环境下基于多属性层次分析的虚拟机部署与调度策略

庄威^{1,2}, 桂小林^{1,2}, 林建材¹, 王刚¹, 代敏¹

(1. 西安交通大学电子与信息工程学院, 710049, 西安; 2. 陕西省计算机网络重点实验室, 710049, 西安)

摘要: 针对云计算中物理服务器间的负载不均问题, 提出一种基于多属性层次分析的虚拟机部署与调度策略。该算法将虚拟机按照资源的需求特点进行分类, 主要由两方面构成: 在虚拟机部署时, 对虚拟机的资源进行热点分析并对其重要程度进行量化, 根据量化后的权向量以及服务器资源的使用记录对各个服务器进行预测评价, 选择最佳服务器进行部署; 在虚拟机调度时, 获得运行在超载服务器上的各个虚拟机的权向量, 并按照一定次序对未超载服务器进行评价, 查找是否有更适合的服务器, 从而降低超负荷服务器的负载。与同类算法相比, 该算法不仅实现了服务器各项资源的优化配置, 而且降低了动态负载平衡导致的整体损耗。实验结果表明, 当按同一次序在 5 台物理服务器上申请 20 台资源需求不等的虚拟机时, 该算法到达平衡状态需要的平均动态迁移次数比随机均衡算法减少了 80%, 同时进入平衡状态后, 各服务器的各项资源使用情况也更趋于平衡。

关键词: 云计算; 虚拟机; 层次分析法; 热点; 负载平衡

中图分类号: **文献标志码:** A **文章编号:** 0253-987X(2013)02-0028-05

Deployment and Scheduling of Virtual Machines in Cloud Computing: An “AHP” Approach

ZHUANG Wei^{1,2}, GUI Xiaolin^{1,2}, LIN Jiancai¹, WANG Gang¹, DAI Min¹

(1. School of Electronics and Information Engineering, Xi'an Jiaotong University, Xi'an 710049, China;

2. Shaanxi Province Key Laboratory of Computer Network, Xi'an Jiaotong University, Xi'an 710049, China)

Abstract: A kind of strategy for the deployment and scheduling of virtual machines is proposed based on multiple attributes analysis to solve the uneven loads problem among physical servers in the cloud computing. The strategy classifies virtual machines according to the characteristic of resources, and it is composed of two aspects. Resources of hot spots are analyzed to quantify their important degrees in the virtual machines deployment, and evaluate all the physical servers according to the virtual machine vector, then the best physical server is selected to deploy. The vectors of virtual machines which are running on the overload physical servers are obtained in the virtual machines scheduling, and the rest of physical servers are evaluated in the right order. This strategy not only realizes the optimal allocation of the resources and reduces the overall loss caused by dynamic load balancing. The experimental results show that, when 20 virtual machines in five physical machines are applied in the same order, the average number of dynamic migration of the proposed algorithm significantly reduces about 80% than that the random equalization strategy does, and the rates of physical server resources usage are more balanced.

Keywords: cloud computing; virtualization; AHP; hot spot; load balance

随着计算机技术广泛的普及以及日新月异的发展,对于计算机的计算和存储能力的要求日益提高,这导致了云计算^[1-2]的产生。为了有效地利用云、提高硬件资源的使用率,虚拟化技术^[3](Virtualization)变得不可或缺,随着近年多核系统、集群、网格甚至云计算的广泛部署,虚拟化技术在商业应用上的优势日益体现。

在需求的驱动下,云端的虚拟机数量会越来越多,对虚拟机的部署成了新的挑战:简单的部署策略会导致虚拟机终身绑定物理服务器,产生负载的不平衡;基于单属性的部署与调度策略也会导致负载不均,例如一台需求内存资源的虚拟机有可能部署在 CPU 资源空闲的物理服务器上,对其他虚拟机造成影响;同时在大规模的虚拟机集群中,虚拟机数目和虚拟机的负载会经常随用户和应用的需求变化而变化,物理服务器的负载也会随着变化,静态的部署会使虚拟机产生资源浪费或资源不足的情况,而人工调度又有明显的滞后性。

VMWare 的 DRS 使用基于虚拟机动态迁移的手段进行多节点的负载平衡^[4];Zhuang 等使用基于虚拟机动态迁移的手段进行 KVM 中恶意虚拟机的定位^[5];动态迁移技术^[6-7]能使虚拟机在物理服务器之间快速在线迁移,并且保持虚拟机在迁移过程中不间断运行,但没有对调度机制进行明确分析;Hu 等提出了一种以节能为目标的多节点 CPU 与内存资源调度方法^[8];周文煜等提出了一种基于虚拟机迁移的虚拟机集群资源调度方法^[9],但是没有对各个资源的重要程度作出量化。本文依据 AHP 层次分析法,提出了一种基于多属性的虚拟机部署与调度策略。

1 资源热点的层次分析

层次分析法(AHP, Analytic Hierarchy Process)是将决策有关的元素分解成目标、准则、方案等层次,在此基础上进行定性和定量分析的决策方法。Fadwa 等使用 AHP 实现了一种基于多准则的 Web 决策算法^[10];Cao 等基于 AHP 和模糊理论提出了一种选择和评价合作伙伴的方法^[11]。

通过判断虚拟机的用途来获得虚拟机对资源的需求特性。根据对不同资源的需求特点,可将虚拟机分为 CPU 密集型、内存密集型、I/O 密集型以及网络密集型。由于 I/O 受限于存储结构,因此,本文不讨论 I/O 资源,只根据 CPU 资源、内存资源以及带宽资源 3 种属性进行最终的决策判断。

根据虚拟机所需的热点资源,应用 9 标度可以对 CPU 资源、内存资源以及带宽资源 3 种属性建立如下对比矩阵。

$$\begin{bmatrix} \omega_{CC} & \omega_{CM} & \omega_{CB} \\ \omega_{MC} & \omega_{MM} & \omega_{MB} \\ \omega_{BC} & \omega_{BM} & \omega_{BB} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} W_1/W_1 & W_1/W_2 & W_1/W_3 \\ W_2/W_1 & W_2/W_2 & W_2/W_3 \\ W_3/W_1 & W_3/W_2 & W_3/W_3 \end{bmatrix} \tag{1}$$

其中 C 表示 CPU, M 表示内存, B 表示带宽, W_1 表示 CPU 资源重要程度, W_2 表示内存资源的重要程度, W_3 表示带宽资源的重要程度, ω_{ij} 表示要素 i 相对于要素 j 对上层要素的重要程度, 1 表示 i 与 j 同等重要, 3 表示 i 比 j 略重要, 5 表示 i 比 j 重要, 7 表示 i 比 j 重要很多, 9 表示 i 比 j 极其重要。

对比矩阵需要进行一致性的检验,即要求满足

$$(W_1/W_2)/(W_3/W_2) = (W_1/W_3) \tag{2}$$

如果矩阵的一致性满足要求,则可以根据矩阵的最大特征值进一步计算得到对应的特征向量,并通过对特征向量进行标准化将其转化为权向量

$$\begin{bmatrix} C \\ M \\ B \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} W_1 \\ W_2 \\ W_3 \end{bmatrix} \tag{3}$$

其中的各分量反映了各要素对其相应的上层要素的影响权重。

对于某一热点,当前物理服务器的资源信息与权向量相乘的结果大小反映了当前物理服务器对部署该虚拟机的压力大小,最终的值越小,说明该物理服务器对部署该热点的虚拟机越轻松。

2 方案设计

2.1 基于 NFS 的集中式镜像管理

NFS 是一个客户端或服务器系统,允许用户跨网络访问文件,并能够像操作本地文件一样操作这些远程文件,通过输出和载入两个过程完成。输出过程是指 NFS 服务器向远程客户端提供文件访问的过程;载入过程是指文件系统对操作系统和用户变为可用的过程。

NFS 的主要优势是访问简易,所有服务器都可以连接到载入点,而不需要在服务器的本地存储上备份虚拟机镜像文件,在共享式存储中可减少冗余度。当虚拟机需要进行部署或重定向部署或迁移时,目标物理服务器可以从共享存储中导入虚拟机的镜像文件,而不需要从原物理服务器中进行网络

拷贝。

2.2 基于 AHP 的虚拟机部署

在虚拟机数量少、负载低的情况下,应把虚拟机集中调度到更少的物理服务器上,并将一部分物理服务器停机,以达到节能的目的。

在虚拟机数量多、负载高的情况下,首先唤醒备用物理服务器,获取所有物理服务器的性能监控数据以及所有虚拟机占用物理服务器资源的使用情况,并按照热点进行分类。

(1)当某台虚拟机首次启动时,由调度器读取相同热点虚拟机在运行过程中对物理服务器资源的平均使用情况,记为 M_1 ,作为该虚拟机启动后对物理服务器资源使用情况的预估值

$$M_1 = \{C_1, M_1, B_1\} \quad (4)$$

再结合所有物理服务器的当前性能监控数据,记为 M_P

$$M_P = \{C_P, M_P, B_P\} \quad (5)$$

这里,物理服务器必须满足在部署了该虚拟机后不能影响其他虚拟机提供正常服务的前提,即要求满足

$$M_P + M_1 < M_T \quad (6)$$

式中: M_T 表示物理服务器资源使用的阈值向量。

然后对该虚拟机对应的热点资源进行 AHP 层次分析法评估,得到 CPU、内存和带宽利用率 3 个因素的权向量,记为 V

$$V = \begin{bmatrix} C \\ M \\ B \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} W_1 \\ W_2 \\ W_3 \end{bmatrix} \quad (7)$$

根据向量 V 以及 M_1 和 M_P ,按照式(8)计算每一台物理服务器的综合评价信息,所得结果记为集合 R

$$R = VM_P \quad (8)$$

最后,在集合 R 中选择具有最小值的目标物理服务器进行部署并启动。

(2)当某台虚拟机重新启动时,由调度器读取本虚拟机在运行过程中对物理服务器资源的平均使用情况,记为 M_2 ,作为该虚拟机启动后对物理服务器资源使用情况的预估值

$$M_2 = \{C_2, M_2, B_2\} \quad (9)$$

再结合所有物理服务器的当前性能监控数据,即 M_P 。

这里,同样需要满足式(6),然后对该热点进行分析得到权向量 V ,按照式(8)计算各物理服务器的综合评价信息,记为 R 。

最后在集合 R 中选择具有最小值的目标物理

服务器进行重定向部署并启动。由于采用的是 NFS 的存储结构,在重启的物理服务器重定向过程中忽略了镜像文件的同步问题。

具体的算法如下:

输入 物理服务器集合 N ,将要启动的虚拟机 V_M ,该虚拟机热点 H_S

输出 待部署虚拟机 V_M 的目标物理机

根据 AHP 层次分析法,计算热点 H_S 的权向量,即 V ;

if(V_M 是第一次启动) do

查询所有热点为 H_S 的虚拟机的资源使用信息,求得平均值 M_1 ;

for ($i \in N$) do

查询物理服务器 i 的当前资源使用信息 M_P ;

在 $M_1 + M_P < M_T$ 的前提下

计算物理服务器 i 的综合信息 $R = V M_P$;

endfor;

for ($i \in N$) do

查询拥有最小 R 的物理服务器,设为 j ;

endfor;

在物理服务器 j 上部署虚拟机 V_M ;

endif;

If (V_M 不是第一次启动) do

查询 V_M 虚拟机以往的资源使用信息,求得平均值 M_2 ;

for ($i \in N$) do

查询物理服务器 i 的当前资源使用信息 M_P ;

在 $M_2 + M_P < M_T$ 的前提下

计算物理服务器 i 的综合信息 $R = V M_P$;

endfor;

for ($i \in N$) do

查询拥有最小 R 的物理服务器,设为 j ;

endfor;

在物理服务器 j 上部署虚拟机 V_M ;

endif;

2.3 基于 AHP 的虚拟机调度

当物理服务器的负载极度不均衡,超过了事先设定的阈值,影响了提供的虚拟机的服务质量,这时需要对该物理服务器进行负载平衡。首先,获取该物理服务器当前的资源使用情况(记为 M_{P1})以及其他物理服务器的当前性能监控数据(记为 M_P)

$$M_{P1} = \{C_{P1}, M_{P1}, B_{P1}\} \quad (10)$$

$$M_P = \{C_P, M_P, B_P\} \quad (11)$$

查询该物理服务器上的所有虚拟机,计算它们

的权向量 $\mathbf{V}$ 并获取它们在运行过程中对物理资源的平均使用情况,记为 M_3 ,作为迁移后虚拟机对物理资源使用的预估

$$M_3 = \{C_3, M_3, B_3\} \tag{12}$$

在满足式(13)的前提下,结合每台虚拟机的 $\mathbf{V}$ 和每台物理服务器的 M_P ,按照式(8)计算所有物理服务器评价信息,集合记为 R ;再结合每台虚拟机的 $\mathbf{V}$ 、 M_3 和 M_{P1} ,计算当前物理服务器的评价信息,记为 R'

$$M_P + M_3 < M_T \tag{13}$$

$$R' = \mathbf{V}(M_{P1} - M_3) \tag{14}$$

根据排序后的 R 和 R' ,求最佳物理服务器—— $\min(\text{sort}(R), R')$,并在线迁移虚拟机。由于采用的是 NFS 的存储结构,在迁移过程中省下了镜像文件的传输时间。

具体的算法如下:

输入 需要动态均衡的物理服务器 P_M ,剩余物理服务器集合 N , P_M 上的虚拟机集合 $\mathbf{V}$

输出 待迁移的虚拟机及其目标物理机

if (P_M 的资源使用超过了阈值) do

for ($i \in \mathbf{V}$) do

查询 P_M 上所有虚拟机的资源使用信息,求得各自的平均值,集合记为 M_3 ;

for ($i \in \mathbf{V}$) do

查询剩余物理服务器 j 的当前资源使用信息 M_P ;

根据 AHP 层次分析法,计算虚拟机 i 的权向量 $\mathbf{V}$;

在 $M_3 + M_P < M_T$ 的前提下

计算物理服务器 j 的综合信息 $R = \mathbf{V} M_P$;

endfor;

获得虚拟机 i 的最小 R ,记为 R_i ;

endfor;

for ($i \in \mathbf{V}$) do

对所有的 R_i 进行从小到大的排序,排序结果记为 $\min(R)$ 集合,其虚拟机排序后记为 $\min(\mathbf{V})$,目标物理服务器的排序记为 $\min(N)$;

endfor;

for ($i \in \min(\mathbf{V})$)

查询 P_M 当前的资源使用信息,记为 M_{P1} ;

计算 P_M 在放弃虚拟机 i 后的综合评价: $R = \mathbf{V}(M_{P1} - M_3(i))$;

if ($R < \min(R)(i)$)

$i+1$;

选取次小的虚拟机;

else

选择 $\min(N)(i)$ 进行动态迁移;

endif;

endfor;

if(找不到合适的物理服务器)

不进行迁移;

endif;

3 实验分析

为了评测算法性能,采用现有的策略与本方法进行比较。目前常用的平衡策略是采用随机均衡算法与动态迁移技术相结合实现的,即当虚拟机在部署时,随机在服务器集群中选择一台作为目标宿主机进行部署,同时实时监控各个物理服务器的各项资源利用情况,若其中某项超出阈值,则选择将该物理服务器负载最大的虚拟机迁移至最小负载的物理服务器上。

在 5 台物理服务器上申请 20 台资源需求不等的虚拟机,比较两种策略在进入平衡状态需要进行动态迁移的总次数,以及进入平衡状态后各个物理服务器的负载情况。5 台物理服务器的资源情况如表 1 所示,20 台虚拟机的数量以及资源需求情况如表 2 所示。

表 1 物理服务器资源表

物理服务器	CPU 数/量	内存大小
P1	8	8 GB
P2	8	8 GB
P3	8	8 GB
P4	8	8 GB
P5	8	8 GB

表 2 虚拟机资源需求表

虚拟机种类	CPU 数/量	内存/C	虚拟机数量
虚拟机 A 类	2	1 GB	5
虚拟机 B 类	1	1 GB	5
虚拟机 C 类	2	512 MB	5
虚拟机 D 类	1	512 MB	5

实验 1 测试进行动态迁移的总次数。

分别利用随机均衡算法和动态迁移技术结合策略、基于多属性层次分析的虚拟机部署与调度策略,对表 1 所列的 5 台物理服务器按照同一次序部署虚

拟机。测试 3 次,统计在进入平衡状态后各物理服务器进行动态迁移的总次数,结果如表 3 所示。

表 3 动态迁移总次数

策略	测试 1 的 次数	测试 2 的 次数	测试 3 的 次数
随机均衡算法和动态 迁移技术结合策略	4	4	5
基于多属性层次分析的 虚拟机部署与调度策略	0	1	1

迁移过程需要耗费各种物理资源,包括带宽、CPU 资源等。迁移次数越多,即迁移过程中占用的资源越多,则表现为资源的利用率越低。由表 3 可以发现,基于多属性层次分析的虚拟机部署与调度策略可以有效地减少资源动态平衡过程中的迁移次数,提高服务器资源的利用率。

实验 2 测试平衡状态时各个物理服务器的负载情况。

在与实验 1 相同的试验场景下测试 3 次,统计在进入平衡状态后各物理服务器的资源使用情况。以 CPU 使用情况和内存使用情况为例,结果如图 1、图 2 所示。

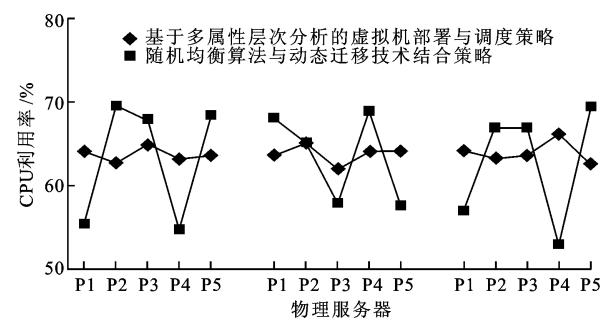


图 1 3 次测试的 CPU 利用率

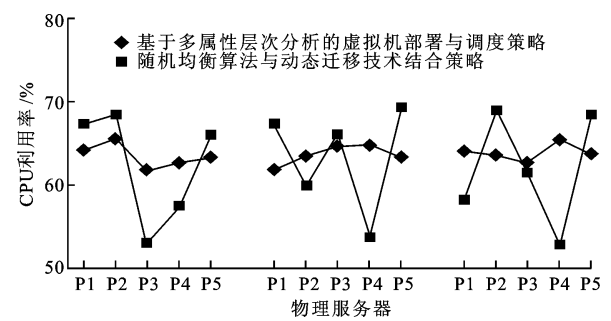


图 2 3 次测试的内存利用率

可以看出,对于基于多属性层次分析的虚拟机部署与调度策略,各个物理服务器间的 CPU 利用率以及内存利用率波动很小,趋近于平衡;而对于随机均衡算法和动态迁移技术结合策略,各个物理服务器间的 CPU 利用率以及内存利用率却不稳定,在有物理服务器处于较高利用率的情况下仍然存在利用率很低的物理服务器。

因此,基于多属性层次分析的虚拟机部署与调度策略可以有效地平衡各物理服务器的资源使用情况,提高服务器资源的利用率以及虚拟机的服务质量。

4 结 论

本文按照虚拟机对资源的需求特性,将虚拟机分为 CPU 密集型、内存密集型和网络密集型,其热点资源分别为 CPU、内存和带宽。当虚拟机需要启动时,利用以往具有相同热点资源的虚拟机对资源平均使用情况或者自身虚拟机在过去对资源平均使用情况预测该虚拟机对资源的使用情况,在部署该虚拟机后不超过阈值的前提下,基于 AHP,对物理服务器的这 3 个属性进行评价分析,选择最佳的物理服务器进行重定向部署。当物理服务器的资源使用情况超过阈值时,对所有运行于该物理服务器上的虚拟机进行 AHP 分析,评价剩余物理服务器中是否存在有比该物理服务器更适合运行该虚拟机的物理服务器存在,若存在,则进行基于 NFS 的动态迁移;如不存在,则不进行迁移。

在以后的工作中,我们将从以下两个方面来进行改进:①在进行 AHP 分析时,因素不能局限于上述提到的 3 种;②设计镜像同步算法,减少镜像的同步时间,解决 NFS 存储结构的局限性。

参考文献:

[1] BUYYA R, YEO C S, VENUGOPAL S. Market-oriented cloudcomputing: vision, hype, and reality for delivering it services as computing utilities [C]//Proceedings of the 10th IEEE International Conference on High Performance Computing and Communications, Piscataway, NJ, USA: IEEE Computer Society, 2008: 5-13.

[2] ARMBRUST M, FOX A, GRIFFITH R, et al, A-bove the clouds; a Berkeley view of cloud computing, UCB/EECS-2009-28 [R]. Springfield, USA: University of California, Berkeley. Electrical Engineering and Computer Sciences Department, 2009.

(下转第 130 页)