

基于虚拟化的云中心性能分析

刘晓东, 王 淼

(河南工程学院 计算机学院, 河南 郑州 451191)

摘 要: 云计算是一种按需提供服务的新范式, 利用虚拟化技术, 多个虚拟机可以运行在同一物理服务器上. 针对多个虚拟机共享同一底层物理资源这一云特征, 提出一种面向基于虚拟化技术的云中心性能分析模型, 该模型考虑了云中心资源共享这一特点, 并将服务请求划分为多个子任务, 这与云中心服务特征更加吻合. 通过求解该模型, 可以获取阻塞概率、服务响应时间等一些性能参数.

关键词: 云计算; 资源共享; 性能分析

中图分类号: TP393

文献标识码: A

文章编号: 1000-7180(2016)05-0106-05

Performance Analysis of Virtualization-based Cloud Centers

LIU Xiao-dong, WANG Miao

(School of Computer, Henan Institute of Engineering, Zhengzhou 451191, China)

Abstract: Cloud computing is a novel paradigm for the provision of service on demand. Through the use of virtualization, multiple virtual machines (VMs) are allowed to run on the same physical server. Aiming at the problem that multiple VMs shares the same underlying physical resources, this paper presents a model for performance analysis of virtualization-based cloud centers. The model considers the resources sharing among VMs. In addition, a service request is divided into many subtasks, which is much closer to the reality of a cloud system. The performance indicators such as blocking probability, the average response time are obtained.

Key words: cloud computing; resources sharing; performance analysis

1 引言

鉴于在提高资源利用率、易于管理、服务定制和在线迁移等方面的优势, 基于虚拟化的云计算技术越来越受欢迎. 云计算中心将大量的计算、网络 and 存储等资源整合在一起, 以虚拟机的形式对外提供服务, 用户可以根据自己的需求定制资源, 并按照使用量或者使用时间付费^[1]. 云中心以其灵活的资源管理、按需提供服务等优势, 吸引了越来越多的用户选择将应用提交到云中心. 随着 Amazon EC2^[2] 等公有云计算服务的成功运营, 云中心的发展速度进一步加快.

与传统的计算机机群相比, 云中心有以下三个主要特征: 首先, 云中心资源庞大且可扩展的; 其次,

资源可以按需动态配置^[3]; 第三, 基于虚拟化的云计算中心允许多个虚拟机运行在同一物理机器上, 这些虚拟机共享底层的物理资源. 由于云计算中心的复杂性, 很难对其性能进行建模和分析^[4], 对云中心进行性能分析已成为当前研究热点之一.

由于云中心对众多应用提供服务, 对服务质量的评估是一个很重要的方面. 目前已有一些研究通过模拟排队的方法对云计算中心服务质量进行评估^[5], 并获取了一些重要的性能参数, 这些参数包括平均队列长度、阻塞概率、等待和响应时间等. 这些工作假设每个请求由一个服务器进行服务, 然而在云计算环境下, 一个服务可能由多个虚拟机进行服务. Feng Tan 等人^[6]假设一个服务请求可以划分为一系列的子任务, 并将云计算中心建模为一个 GI^x/

M/S/N 排队模型,该模型是一个多服务器排队系统,采用一般服务请求时间间隔分布、指数分布时间、有限的服务器容量和批量达到并考虑了计算节点和通信链路的容错.该研究工作在对云计算中心进行性能分析时假设一个任务或一个子任务被分配给一个处理单元,该处理单元独占一个服务器的所有资源,然而,在云计算中心,任务或者子任务由虚拟机来服务,多个虚拟机可能共享同一物理资源. Dario Bruneo^[7]考虑了由于虚拟机之间资源共享导致的性能下降,Hamzeh Khazaei 等人^[8]考虑了由于虚拟机中的工作负荷导致的性能下降.但这些研究并没有建立虚拟机资源共享的性能模型.

本文提出一种面向基于虚拟机的云计算中心性能分析模型,该模型将云中心建模为一个 M/G/m 排队系统,并考虑了云中心资源共享和服务请求规模大等云服务特征.与已有的工作相比,本文的性能分析模型有以下几个主要特点:第一,充分考虑了虚拟机之间的资源共享;第二,虚拟云计算中心的服务率建模考虑了资源调度的策略,已有工作的性能分析模型把服务率看作一个固定的值^[9];第三,一个服务请求被划分为多个子任务,每个子任务由一个虚拟机来提供服务,多个虚拟机共享并竞争同一底层的物理资源.

2 性能分析模型

当一个服务请求提交到云计算中心时,该请求将由负责维护服务请求队列的资源管理系统(Resource Mangement System, RMS)进行处理, RMS 将分析该请求,并为该请求分配相应的资源.需要强调的是,一个服务请求可能包含多个子任务,每个子任务分配给一台虚拟机,这些虚拟机由 RMS 统一管理和调度.与物理资源不同,云计算中心以虚拟机的形式对外提供服务,多个虚拟机共享底层物理资源,虚拟机的处理速度依赖于其占有底层物理资源的比例.比如,假设某物理机的处理速度为 4 GHz,虚拟机 VM1 占该物理服务器计算资源的比例为 30%,则它的处理速度为 1.24 GHz.

服务请求和资源请求是两个不同的概念,服务请求直接来自于用户,而一个服务请求则可能包含多个资源请求.假设云中心由 M 个物理机组成,每个物理机上可以创建多个虚拟机,服务请求由 RMS 按照一定的调度策略分配给一个或多个虚拟机.

令 A_n 和 A_{n+1} 分别为第 n 个和第 $n+1$ 个资源请求,同时,令 q_n 和 q_{n+1} 分别为系统处于状态 n ($n=1,$

$2, \dots, n$) 和 $n+1$ 时稳定状态概率.状态转移概率 p_{ij} 可以定义为

$$p_{ij} = P[q_{n+1} = j \mid q_n = i] \quad (1)$$

由于云中心潜在的用户服务请求多,每个服务请求一次提交多个资源请求.因此,云计算中心服务请求到达情况可以建模为一个马尔科夫过程^[10].假设一个服务请求被划分为 g ($g \geq 1$) 个子任务,子任务的个数是概率分布为 $\{g_n, n=1, 2, \dots\}$ 的独立同分布的随机变量, g_n 取值为整数且具有有限的平均值,子任务到达率服从参数为 λ ($\lambda > 0$) 的泊松分布,服务方式采用先来先服务的策略 (FCFS).

云计算中心通常由一系列异构的服务器组成,这些服务器具有不同的结构和处理速度,假设云计算中心由 M 个异构的物理服务器组成,这 M 个物理服务器的服务率可以定义为一个 M 维向量.

定义 1 假设第 j 个物理服务器 M_j 的服务率为 r_j ,云计算中心服务器的服务率可以表示为一个 M 维向量 $\mathbf{S}_c$,其中 $\mathbf{S}_c = [r_1, r_2, \dots, r_M]$.

云计算中心处理的任务规模往往很大,需要将一个服务请求划分为一系列的子任务进行处理, RMS 依据一定的调度策略为每个子任务分配一台虚拟机,分配策略由定义 2 给出.

定义 2 假设服务请求的子任务数量为 g ,子任务分配策略可以表示为一个 $g \times g$ 矩阵 $\mathbf{M}$,如果子任务 k 分配给虚拟机 VM_i ,则 $M_{ki} = 1$,否则 $M_{ki} = 0$.

虚拟机由 RMS 负责分配到物理服务器上,考虑到多个虚拟机之间共享同一物理资源,为了刻画虚拟机之间资源共享这一特点,引入一个虚拟机 VM_i 占物理服务器 M_j 资源比例的变量 s_{ij} ,则虚拟机分配策略可由定义 3 给出.

定义 3 假设一个服务请求使用的虚拟机个数 g ,虚拟机分配策略可以表示为一个 $g \times M$ 矩阵 $\mathbf{W}$,如果虚拟机 VM_i 分配给物理服务器 M_j ,则 $W_{ij} = s_{ij} \times r_j$,否则 $W_{ij} = 0$.

在上述分析的基础上,选取资源请求为马尔科夫点,把虚拟机看做服务者,则资源请求可以建模为一个马尔科夫过程如图 1 所示.

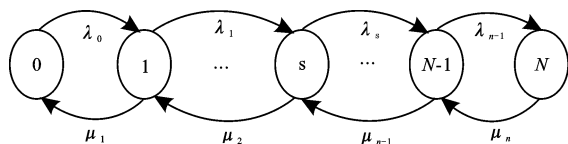


图 1 资源请求队列马尔科夫模型

图 1 中的状态 n ($n=0, 1, 2, \dots, N$) 代表系统中

正在提供服务的虚拟机个数. 根据图 1 所述的马尔科夫过程, 转换概率 p_{ij} 可以划分为以下三种情况:

- 当 $i = j - 1$ 时, $p_{ij} = \lambda_i$;
- 当 $i = j + 1$ 时, $p_{ij} = \mu_i$;
- 其他情况, p_{ij} 为 0.

云计算中心将 CPU、内存和存储等物理设备转换为“资源池”, 提供按需弹性服务, 故系统处于状态 n 时的服务率 μ_n 不是一个固定的值, 而是取决于云资源调度策略. 因此, 需要一种获取 μ_n 的新方法. 接下来, 将给出求解系统各个状态服务率 μ_n 的方法.

定义 4 假设云计算中心由 M 个物理服务器对外提供服务, 则云系统处于状态 n 时的服务率可以用 M 维向量 $\mathbf{A}^{(n)} = [a_1, a_2, \dots, a_M]$ 表示.

命题 1: 假设云中心有 S 个服务请求, M 维向量 $\mathbf{A}^{(n)}$ 和虚拟机分配矩阵 $\mathbf{W}_i (i = 1, 2, \dots, S)$ 满足式(2):

$$a_j = \sum_{k=1}^S \sum_{i=1}^{g_i} \mathbf{W}_{ij}^{(k)} \quad (2)$$

证明: 根据定义 2, 对第 k 个服务请求, 第 $j (j = 1, 2, \dots, M)$ 个物理服务器 M_j 的实际服务率可以表示为 $a_j = \sum_{i=1}^{g_i} \mathbf{W}_{ij}^{(k)}$, 当系统中有 S 个服务请求时, 第 $j (j = 1, 2, \dots, M)$ 个物理服务器 M_j 的实际服务率可以表示为 $a_j = \sum_{k=1}^S \sum_{i=1}^{g_i} \mathbf{W}_{ij}^{(k)}$, 命题得证.

在得到 m 维向量 $\mathbf{A}^{(n)} (n = 1, 2, \dots, N)$ 之后, 服务率 μ_n 可以由式(3) 计算得出:

$$\mu_n = \sum_{j=1}^M \mathbf{A}^{(n)}[j] \quad (3)$$

式中, $\mathbf{A}^{(n)}[j]$ 表示向量 $\mathbf{A}^{(n)}$ 的第 j 个元素.

云计算中心的服务率可以用以下三个步骤来求解.

步骤 1: 服务请求率向量 $\mathbf{A}^{(0)}$ 中的每个元素初始化为 0;

步骤 2: 当 RMS 为某服务请求分配资源时, 根据定义 2 计算资源分配矩阵 $\mathbf{W}$;

步骤 3: 利用式(2)、(3) 计算系统每个状态的服务率.

当得到转换概率 p_{ij} 后, 可以通过求解式(4) ~ (7) 求解 q_n

$$q_1 \times p_{10} = q_0 \times p_{01} \quad (4)$$

$$q_{i+1} p_{(i+1)i} + q_{i-1} p_{(i-1)i} = q_i (p_{i(i-1)} + p_{i(i+1)}) \quad (5)$$

$$q_{N-1} p_{(N-1)N} = q_N p_{N(N-1)} \quad (6)$$

$$\sum_{i=0}^N q_i = 1 \quad (7)$$

3 性能参数

在得到转换概率 p_{ij} 和系统处于状态 n 时稳定状态概率 q_n 后, 可以获取像阻塞概率、服务请求等待时间等一些重要的性能参数.

3.1 阻塞概率

假设某服务请求需要的虚拟机个数为 g , 如果资源请求队列大于 $N - g$, 则该服务请求并不是所有的资源请求都可以进入资源请求队列, 这将会产生因阻塞而导致请求失效, 因此, 可以按照式(8) 来计算包含 g 个虚拟机资源请求服务的阻塞概率:

$$P_g^{\text{block}} = \sum_{n=N-g+1}^N q_n \quad (8)$$

3.2 立即服务概率

当一个包含 g 个虚拟机的服务请求达到云中心时, 如果处于空闲状态的虚拟机的个数大于 g , 那么该服务请求可以立即被云中心处理. 因此, 包含 g 个虚拟机资源请求服务可以立即被服务的概率为

$$P_g^{\text{ims}} = \sum_{n=0}^{N-g} q_n \quad (9)$$

3.3 服务请求等待时间

假设物理机 M_j 上最多可以创建 M_j^{max} 个虚拟机, 云计算中心可以创建的虚拟机总和为

$$M_{\text{total}} = \sum_{j=1}^M M_j^{\text{max}} \quad (10)$$

假设服务请求等待时间为 T_w , 该时间为从 g 个资源请求队列直到这 g 个资源请求全部得到服务, T_w 是一个随机变量, 其累积分布函数可以表示为

$$F_{T_w}(t) = P(T_w \leq t) \quad (11)$$

如果 $g \leq N - n$ 且 $n + g \leq M_{\text{total}}$, 则该服务请求可以立即得到服务, 服务请求不必等待, 故 $F_{T_w}(t) = 0$.

如果 $g \leq N - n$ 且 $n + g > M_{\text{total}}$, 服务请求必须等待系统中 $n + g - M_{\text{total}}$ 个子任务完成服务, 因此 T_w 服从参数为 μ_n 的 Gamma 分布^[6], 其累积分布函数为

$$F_{T_w}(t) = P(T_w \leq t) = \begin{cases} 0 & t \leq 0 \\ \frac{\Gamma(n + g - M_{\text{total}}, \mu_n t)}{(n + g - M_{\text{total}} - 1)!} & t > 0 \end{cases} \quad (12)$$

根据 Gamma 分布的性质有:

$$E[T_w] = \frac{n + g - M_{\text{total}}}{\mu_n} \quad (13)$$

因此, 包含 g 个虚拟机资源请求服务的平均等

待时间可以由式(14) 来计算:

$$T_i^{\text{avg}} = \sum_{n=0}^{M_{\text{total}}-g} 0 + \sum_{n=M_{\text{total}}-g+1}^{N-g} (q_n \times \frac{n+g-M_{\text{total}}}{\mu_n})$$

(14)

4 模拟实验

4.1 模拟实验设置

利用 MatlabR2014b 对性能分析模型进行评估,使用的物理机器配置为英特尔 Core I5 2. 60 GHz、内存大小为 8 GB、安装的操作系统为 64 bit Window8. 假设资源请求队列的容量为 20,云中心有 4 个异构的物理服务器,表 1 中给出了物理服务器的属性. 假设服务请求达到率服从参数 $\lambda=1$ 的泊松分布,服务请求的子任务个数 g 为服从分布律为 $g(g=1,2,\cdots,20)$ 的均匀分布.

表 1 物理服务器属性列表

物理服务器	M_1	M_2	M_3	M_4
M_j^{max}	2	2	3	4
服务率/ s^{-1}	0.4	0.5	0.6	0.8
r_j/MIPS	200	200	300	400

4.2 系统状态概率分布

云调度对云服务性能有一定的影响,目前在对云计算中心资源调度研究方面已有很多研究成果,但在对云调度对云服务性能影响的研究方面还比较欠缺. 为简单,本文采用常用的最少服务器(SL)调度策略,该调度仅当一台物理服务器上创建的虚拟机达到该物理服务器可创建虚拟机个数的最大值时,虚拟机才可以在另外一台物理服务器上创建. 图 2 给出了系统状态概率分布率.

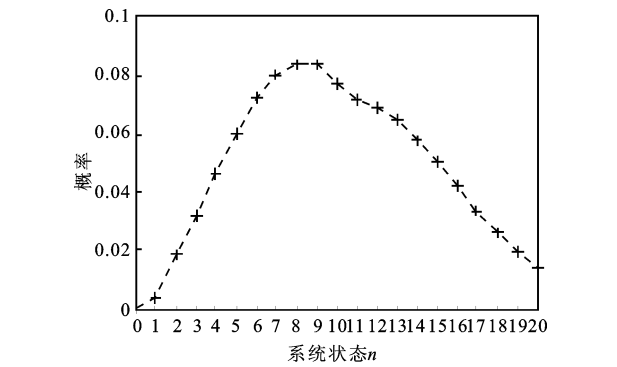


图 2 系统状态概率分布

4.3 阻塞概率和立即服务概率

本文讨论服务请求的阻塞概率以及服务请求可

以立即得到服务的概率,图 3 和图 4 分别给出了当服务请求包含的子任务个数变化时的阻塞概率和立即服务概率. 从图 3 和图 4 可以看出,当子任务个数增加时,阻塞概率逐步增加,而立即服务概率逐步减少.

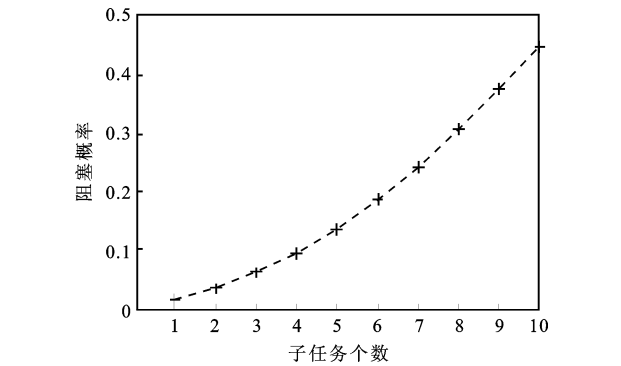


图 3 阻塞概率

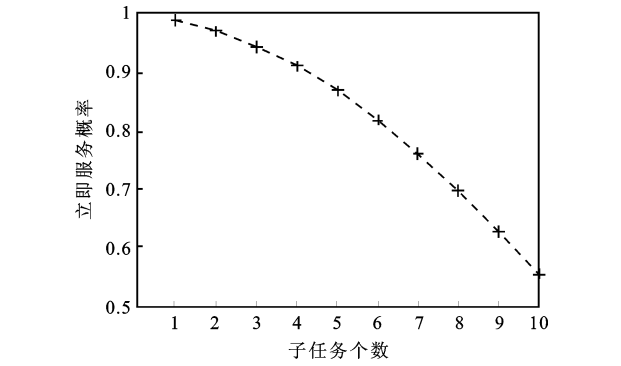


图 4 立即服务概率

4.4 服务请求等待时间

服务请求等待时间主要取决于云计算中心可提供服务的总的虚拟机个数以、服务率及服务请求的子任务个数,图 5 给出了当服务请求的子任务个数从 1 增加到 10 时,服务请求在云计算中心的平均等待时间,从图 5 可以看出,在云中心资源配置不变的情况下,当服务请求的子任务个数增加时,服务请求等待时间以近乎直线式增加,这种现象可以由上述式(14)进行解释.

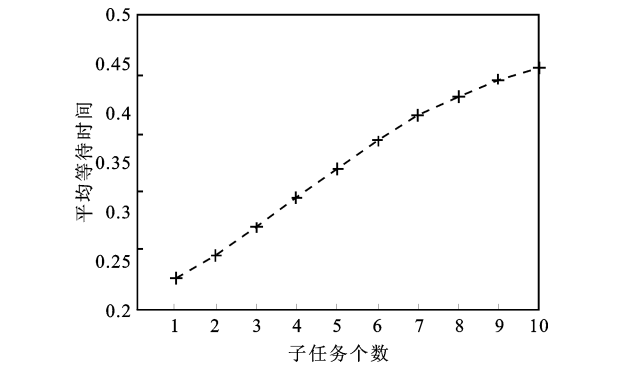


图 5 平均等待时间

5 结束语

本文提出一种云计算中心性能分析模型,该模型考虑了云计算中心虚拟机资源共享这一特征.同时,考虑到云计算中心资源动态配置的灵活性,本文的性能分析模型并未将云中心的服务率看做一个常数,而是架起了云资源调度和性能分析模型之间的桥梁,可通过云调度策略来动态求解云中心服务率.在接下来的工作中,我们会更深入的研究云资源调度和云服务性能之间的联系.

参考文献:

[1] Michael Armbrust, Armando Fox, Rean Griffith, et al. A view of cloud computing [J]. Communications of the ACM, 2010,53(4): 50-58.

[2] Amazon Elastic Computing Cloud (EC2). [EB/OL]. [2015-07-02]. <http://aws.amazon.com/ec2/>.

[3] Hamzeh Khazaei, Jelena Mišić, Vojislav B Mišić. Performance analysis of cloud computing centers[C]// Quality, Reliability, Security and Robustness in Heterogeneous Networks. Innsbruck, Austria: IEEE, 2012;251-264.

[4] Hamzeh Khazaei, Jelena Misic, Vojislav B Misic. Performance Analysis of Cloud Computing Centers Using M/G/m/m+r Queuing Systems [J]. IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems, 2012, 23(5): 936-943.

[5] Suresh Varma P, Satyanarayana A, M V Rama Sundari. Performance analysis of cloud computing using Queuing models[C]// Proceedings of 2012 International Conference

on Cloud Computing, Technologies, Applications & Management. Dubai:IEEE, 2012;12-15.

[6] Bo Yang, Feng Tan, Yuan-Shun Dai, et al. Performance Evaluation of Cloud Service Considering Fault Recovery [J]. The Journal of Supercomputing, 2013, 65(1): 426-444. .

[7] Dario Bruneo. A stochastic model to investigate data center performance and QoS in IaaS cloud computing systems[J]. IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems, 2014, 25(3): 560-569. .

[8] Hamzeh Khazaei, J Mišić, V B Mišić. Performance of cloud centers with high degree of virtualization under batch task arrivals[J]. IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems, 2014, 24(12): 2429-2438.

[9] Fang Dong, Junzhou Luo, Jiahui Jin, et al. Performance evaluation and analysis of SEU Cloud Computing Platform; using general benchmarks and real world AMS application[C]// Proceedings of the 2012 IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics. Seoal:IEEE, 2012;1455—1460.

[10] Hamzeh Khazaei, J Mišić, V B Mišić. Performance of Cloud Centers with High Degree of Virtualization under Batch Task Arrivals [J]. IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems, 2014, 24(12): 2429-2438

作者简介:

刘晓东 男,(1981-),博士,讲师.研究方向为云计算、虚拟化. E-mail:liuxiaodongxht@qq.com.

王 淼 男,(1981-),博士,副教授.研究方向为空间查询、空间推理.

(上接第 105 页)

[7] 靳海燕,熊庆宇,石欣,等. 基于角点动能模型的电梯轿厢内异常行为检测[J]. 计算机应用研究, 2012, 29(2):775-778.

[8] Chen L, Honey J, Nugent C D,et al. Sensor-based activity recognition [J]. IEEE transactions on systems man and cybernetics part c: applications and reviews, 2012, 42(6): 790-808.

[9] Juan Y, Simon D, Susan M. Situation identification techniques in pervasive computing: a review [J]. Pervasive and mobile computing, 2012, 8(1): 36-66.

[10] 黄静,孔令富,李海涛,等. 基于傅里叶-隐马尔科夫模型的人体行为识别[J]. 计算机仿真, 2011, 28(7): 245-248.

[11] 姜鸣,王哲龙,刘晓博,等. 基于 BSN 和 CHMMs 的

人体日常动作识别方法研究[J]. 大理理工大学学报, 2013, 53(1): 121-126.

[12] 马登武,范庚,张继军. 相关向量机及其在故障诊断与预测中的应用[J]. 海军航空工程学院学报, 2013(2): 154-160.

[13] 王凡,贺兴时,王燕,等. 基于 CS 算法的 Markov 模型及收敛性分析[J]. 计算机工程, 2012, 38(11):180-182,185.

[14] 赵春晖,张焱. 相关向量机分类方法的研究进展与分析[J]. 智能系统学报, 2012, 7(4): 294-301.

作者简介:

马 伟 男,(1982-),硕士,讲师.研究方向为:嵌入式系统、计算机网络技术. E-mail:haron_82713@163.com