

基于排队论的云计算资源池模型研究

刘 赛,李绪蓉,万麟瑞

(南京航空航天大学,江苏 南京 210016)

摘 要:云计算环境中资源池管理是云计算的关键技术之一。文中通过在用户作业使用云计算资源服务时间满足负指数分布的情况下,利用马尔可夫链和排队论的相关性质方法,构造了云计算资源池多服务窗等待排队模型 $M/M/n$ 。阐述了在给出一个排队队列时和多个排队队列时的系统工作性能比较,以及资源池中服务进程与作业等待时间对比关系。论证了云计算资源池模型的合理性,得出在作业忍受一定排队等待时间的条件下,云计算资源池集成适当数量的资源,就可以为用户提供较高性价比的云计算服务。最后探讨了进一步的研究方向。

关键词:云计算;资源池; $M/M/n$;排队论;马尔可夫链

中图分类号:TP31

文献标识码:A

文章编号:1673-629X(2012)12-0087-03

Computing Clouds Resources Pool Model Research Based on Queue Theory

LIU Sai, LI Xu-rong, WAN Lin-rui

(Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, Nanjing 210016, China)

Abstract: Cloud computing resource pool management is one of the key technologies in cloud computing environment. In this paper, the cloud computing resources in the user's job to meet the circumstances of the negative exponential distribution, using the relative nature method of the Markov chain and queueing theory, constructed the wait queueing model $M/M/n$ of cloud computing resource pool service window. Described the performance contrast of system work when given a queue and multiple queue and comparison relation between service process and operation waiting time in the resource pool. The rationality of a cloud computing resource pool model is proved, and come to tolerate the job under certain conditions queued time, the cloud computing resource pool to integrate the appropriate number of resources, can provide users with a higher cost of cloud computing services. Finally, discuss the future research directions.

Key words: cloud computing; resource pool; $M/M/n$; queueing theory; Markov chain

0 引 言

云计算把计算能力作为一种资源,云计算环境就好比现实生活中的水电煤气网^[1],用户可以方便使用计算资源,只需按需付费^[2],云计算运用容错技术确保云计算环境的稳定性,可达到高性能计算机的性能。

研究显示,一台主机每天的工作负载、网络流量、最近若干天的模式总是相似的,即具有自相似性和相关性^[3,4]。基于上述理论基础,将马尔可夫链引入云计算资源池中,利用马尔可夫性(无记忆性或无后效性)^[5]对当前和历史的云计算资源池使用状态信息,计算未来时刻的云计算资源池的状态。学术界在云计算资源池方面已经进行大量研究工作,文献[6~8]提

出云计算环境下多维属性驱动、基于蚁群算法、DPSO等资源可用性研究用户作业能按时完成,但是云计算系统价值最优化达不到期望的效果,有关云计算资源池模型的优化问题值得进一步深入研究探讨。

1 云计算框架中的资源池

云计算环境由四层组成,即物理资源层、虚拟化资源层、管理中间件层和 SOA 服务层^[9]。云计算资源池处于资源虚拟化层,屏蔽了物理资源层的分布细节,为上层管理中间件层提供支持。云计算资源池是云环境的有机组成部分,它的概念是从云计算中延伸发展出来的,它将真实的物理资源通过虚拟化的方式进行统一管理 and 分配,以向用户提供透明计算服务和数据存储功能的大规模分布式系统。

2 云计算资源池结构设计

假定云计算资源池为作业提供 n 个服务进程,且

收稿日期:2012-03-19;修回日期:2012-06-24

基金项目:国家“863”高技术发展计划项目(86351181004103)

作者简介:刘 赛(1988-),男,硕士研究生,研究方向为云计算;李绪蓉,副教授,研究方向为云计算;万麟瑞,副教授,研究方向为云计算。

各进程工作是相互独立的;作业请求使用资源池按泊松流达到,到达强度为 λ ;又各作业使用云计算资源池时间符合负指数分布,平均服务率为 μ ^[10];易证整个资源池的平均服务率为 $n\mu$ 。当 $\frac{\lambda}{n\mu} < 1$ 时,云计算资源池存在平稳分布。记 $\rho_1 = \frac{\lambda}{\mu}, \rho = \frac{\lambda}{n\mu}$,作业请求资源池服务的排队模型 M/M/n。

假设该云计算资源池不限制作业数量,故云计算资源池的可能状态集应为 $\Phi = \{0, 1, 2, \dots\}$ 。由此可以画出云计算资源池状态流图,如图1所示。

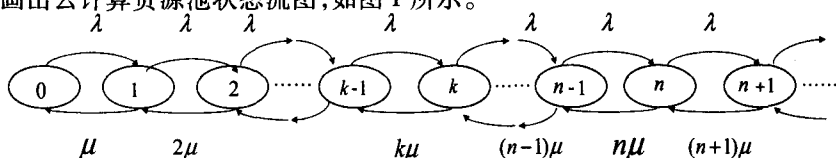


图1 M/M/n 模型状态流图

其中状态 $k (0 \leq k \leq n)$ 表示云计算资源池内有 k 个服务进程正在被作业使用,其余 $n-k$ 个服务进程空闲着;当状态 $k > n$ 时(即达到云计算资源池的作业 k 超过 n), n 个进程都在被作业占用,而余下的 $k-n$ 个作业排队等待服务。假定此处只允许有一个排队等待队列,当服务进程资源服务完空闲时,排队等候的作业按先后顺序前往空闲的服务进程接受服务,由图1可得,当系统处于平衡状态时,可列出K氏代数方程^[11],并求出相应的平稳分布:

对0状态,有 $\lambda p_0 = \mu p_1$,故 $p_1 = \rho_1 p_0 = n\rho p_0$;

对1状态,有 $\lambda p_1 = 2\mu p_2$,故 $p_2 = \frac{\rho_1^2}{2!} p_0 = \frac{n^2}{2!} \rho^2 p_0$;

⋮

对 $n-1$ 状态,有 $\lambda p_{n-1} = n\mu p_n$,故

$$p_n = \frac{\rho_1^n}{n!} p_0 = \frac{n^n}{n!} \rho^n p_0;$$

对 n 状态,有 $\lambda p_n = n\mu p_{n+1}$,故

$$p_{n+1} = \frac{\rho_1^{n+1}}{n!} p_0 = \frac{n^n}{n!} \rho^{n+1} p_0;$$

⋮

对 $n+r-1$ 状态,有 $\lambda p_{n+r-1} = n\mu p_{n+r}$,故

$$p_{n+r} = \frac{\rho_1^{n+r}}{n!} p_0 = \frac{n^n}{n!} \rho^{n+r} p_0;$$

⋮

总之,可写为

$$p_k = \begin{cases} \frac{\rho_1^k}{k!} p_0 = \frac{n^k}{k!} \rho^k p_0, & 0 \leq k < n \\ \frac{\rho_1^k}{n!} p_0 = \frac{n^k}{n!} \rho^k p_0, & k \geq n \end{cases} \quad (1)$$

由正则性条件 $\sum_{k=0}^{\infty} p_k = 1$,当 $\rho < 1$ 时,有

$$1 = \left(\sum_{k=0}^{n-1} \frac{\rho_1^k}{k!} + \sum_{k=n}^{\infty} \frac{\rho_1^k}{n!} \right) p_0 = \left(\sum_{k=0}^{n-1} \frac{\rho_1^k}{k!} + \frac{\rho_1^n}{n!} \right) p_0$$

于是

$$p_0 = \left(\sum_{k=0}^{n-1} \frac{\rho_1^k}{k!} + \frac{\rho_1^n}{n!} \frac{1}{1-\rho} \right)^{-1} \quad (2)$$

由此可得出下列云计算资源池的相关目标参量:

(1) 在等待制中,请求云计算资源池服务的作业迟早会被服务进程服务,故 $P_{损} = 0$ 。

(2) 云计算资源池的相对服务能力

$$Q = 1 - P_{损} = 1 \quad (3)$$

(3) 云计算资源池的绝对服务能力

$$A = \lambda Q = \lambda \quad (4)$$

(4) 等待云计算资源池服务的平均排队队长

$$L_q = \sum_{k=n}^{\infty} (k-n) p_k = \sum_{l=1}^{\infty} l p_{l+n} = \frac{\rho (n\rho)^n}{n!} p_0 \sum_{l=1}^{\infty} l \rho^{l-1} = \frac{\rho \rho_1^n}{n! (1-\rho)^2} p_0 = \frac{\rho_1^{n+1}}{(n-1)! (n-\rho_1)^2} p_0 \quad (5)$$

(5) 云计算资源池中平均忙着的进程个数

$$\begin{aligned} L_{服} = \bar{k} &= \sum_{k=0}^n k p_k + n \sum_{k=n+1}^{\infty} p_k \\ &= \sum_{k=0}^n k \cdot \frac{n^k}{k!} \rho^k p_0 + \sum_{k=n+1}^{\infty} n \cdot \frac{n^n}{n!} \rho^n p_0 \\ &= n\rho \left[\sum_{k=1}^n \frac{(n\rho)^{k-1}}{(k-1)!} p_0 + \sum_{k=n+1}^{\infty} \frac{n^n \rho^{k-1}}{n!} p_0 \right] \\ &= n\rho \left(\sum_{k=0}^{n-1} p_k + \sum_{k=n}^{\infty} p_k \right) = n\rho = \rho_1 \end{aligned} \quad (6)$$

(6) 云计算资源池中作业数的均值

$$L_s = L_q + L_{服} = L_q + \rho_1 = \frac{\rho \rho_1^n p_0}{n! (1-\rho)^2} + \rho_1 \quad (7)$$

(7) 等待云计算资源池服务的平均排队队长方差

$$\begin{aligned} E(l_q^2) &= \sum_{k=n}^{\infty} (k-n)^2 p_k = \sum_{l=1}^{\infty} l^2 p_{l+n} \\ &= \sum_{l=1}^{\infty} \frac{l^2}{n!} (n\rho)^{l+n} p_0 \\ &= \frac{(n\rho)^n \rho^2 p_0}{n!} \sum_{l=2}^{\infty} l(l-1) \rho^{l-2} + \frac{(n\rho)^n \rho p_0}{n!} \sum_{l=1}^{\infty} l \rho^{l-1} \\ &= \frac{2\rho^2 \rho_1^n p_0}{n! (1-\rho)^3} + L_q = \frac{1+\rho}{1-\rho} L_q \end{aligned} \quad (8)$$

所以

$$D(l_q) = E(l_q^2) - [E(l_q)]^2 = L_q \left(\frac{1+\rho}{1-\rho} - L_q \right) \quad (9)$$

(8) 定义:对于一个排队系统,如果在它达到统计

平衡状态后,系统中任一时刻的平均队长 L 、平均等待队长 L_q 、与平均排队等待时间 W_q 、每一个作业在系统中的平均使用时间 W_s 之间有关系式: $L = \lambda W_s$, $L_q = \lambda W_q$ 成立,则称该排队系统满足 Little 公式^[12]。

由 Little 公式可得平均排队等待时间与作业使用系统时间

$$W_q = \frac{L_q}{\lambda} = \frac{\rho_1 p_0}{\mu n \cdot n! (1 - \rho)^2} \quad (10)$$

$$W_s = \frac{L_s}{\lambda} = W_q + \frac{1}{\mu} \quad (11)$$

(9) 作业请求云计算资源池服务必须排队等待的概率

$$\begin{aligned} C(n, \rho_1) &= \sum_{k=n}^{\infty} p_k = \sum_{k=n}^{\infty} \frac{n^n}{n!} \rho^k p_0 \\ &= \sum_{k=n}^{\infty} p_n \cdot \rho^{k-n} = \frac{p_n}{1 - \rho} = \frac{np_n}{n - \rho_1} \end{aligned} \quad (12)$$

3 实验结果与分析

上述约定云计算资源池只有一个等候的队列,理论上也可以在每个服务进度窗口前都设有一个等候的队列,下面给出一个 M/M/n 排队模型与 n 个 M/M/1 排队模型有关目标参数的比较:设 $n = 3$, $\lambda = 0.3$, $\mu = 0.4$, 则计算如表 1 所示。

表 1 M/M/1 与 M/M/3 模型目标参量比较

目标参量 排队模型	M/M/1	M/M/3
L_s	9.00(整个系统)	3.95
W_s	10.00(整个系统)	4.39
W_q	7.50(整个系统)	1.89

由表 1 可得,在假设有 3 个服务进程窗口但只有一个排队等候的队列的 M/M/3 排队系统要比 3 个 M/M/1 排队系统效率明显提高。

图 2 所示分别以不同的 c 、 λ 和 μ 值代入公式 (10), 得到 W_q 结果绘制的曲线。由图可见,云计算资源池中服务进程个数越多,对作业的服务越高效,即服务的质量越高效。

4 结束语

文中介绍了云计算框架结构和现阶段 Map Reduce 资源管理策略,由于云计算环境中资源池使用情况符合马尔可夫链的性质,在假定作业使用云计算资源池服务时间满足指数分布的情况下,提出了基于排队论的 M/M/n 排队模型,验证了云计算资源池在只有一个排队队列时的工作效率要优于多个排队队列,给出了资源池中服务进程与作业等待时间对比关系,

最后得出云计算资源池中只需集成适当数量的资源就可以满足在作业可以承受的等待时间内,为用户提供云计算服务。下一步将在云计算资源池中各集群工作效率不同的情况下进一步研究资源池排队模型。

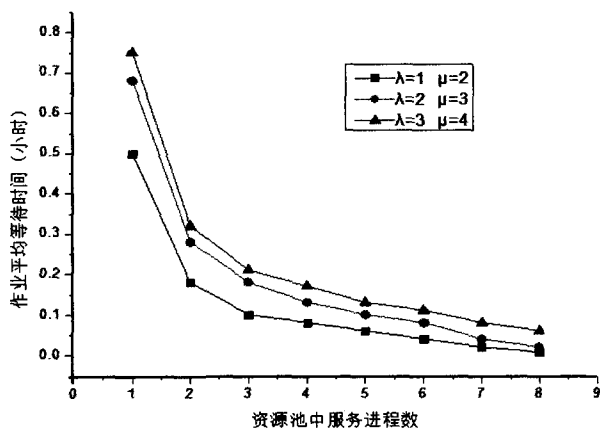


图 2 资源池中服务进程与作业等待时间对比图

参考文献:

- [1] Vaquero L, Rodero-Marino L, Caceres J, et al. A break in the clouds: towards a cloud definition [J]. SIGCOMM Computer Communication Review, 2009, 39(1): 50-55.
- [2] Leavitt N. Is Cloud Computing Really Ready for Prime Time? [J]. Computer, 2009, 42(1): 15-20.
- [3] Leland W, Taqqu M, Willinger W, et al. On the self similar nature of ethernet traffic (Extended Version) [J]. IEEE/ACM Transactions on Networking, 1994, 2(1): 1-15.
- [4] Crovella M E, Bestavros A. Self similarity in World Wide Web traffic evidence and possible causes [C]//Proceedings of ACM SIGMETRICS '96. Philadelphia, PA, USA: [s. n.], 1996: 160-169.
- [5] 陈彦萍, 李增智, 唐亚哲, 等. 一种满足马尔可夫性质的不完全信息下的 Web 服务组方法 [J]. 计算机学报, 2006 (7): 1078-1079.
- [6] 是丽俐. 云环境下多维属性驱动的资源可用性研究 [D]. 合肥: 中国科学技术大学, 2011.
- [7] 刘 永, 王新华, 邢长明, 等. 云计算环境下基于蚁群优化算法的资源调度策略 [J]. 计算机技术与发展, 2011, 21 (9): 21-22.
- [8] 冯小靖, 潘 郁. 云计算环境下的 DPSO 资源负载均衡算法 [J]. 计算机工程与应用, 2011(10): 2-5.
- [9] 董 敏, 陈金鹰, 邹振宇. 云端漫步-云计算时代来临 [J]. 通信与信息技术, 2010(2): 45-46.
- [10] 张 静. 基于 OPNET 的排队模型网络仿真 [J]. 电脑知识与技术, 2010(9): 2218-2219.
- [11] 彭冬生, 林 闯, 刘卫东. 利用无私节点改善基于支付机制 P2P 应用的性能 [J]. 计算机学报, 2008(6): 955-956.
- [12] 肖 楠, 梁 俊, 赵尚弘, 等. 无人机宽带数据链多址接入协议研究 [J]. 计算机应用研究, 2011(12): 4700-4701.