

一个基于弹性云的负载均衡方法

徐新坤¹, 王志坚^{1,2}, 叶 枫^{1,2}, 岳振瑜¹

(1 河海大学 计算机与信息学院, 江苏 南京 211100;

2 南京航空航天大学 计算机科学与技术学院, 江苏 南京 210016)

摘 要: 提出了一种基于弹性云的负载均衡方法. 这一方法构造了负载均衡模型框架, 建立了模型对于虚拟机负载状况和虚拟机集群资源利用率进行量化评估, 为实现任务的分发和虚拟机集群的弹性伸缩, 设计了任务调度算法和弹性伸缩算法. 实验结果表明基于弹性云的负载均衡方法在实现负载均衡的同时, 有效提高了资源利用率.

关键词: 弹性; 负载均衡; 云计算; 弹性伸缩算法

中图分类号: TP393.1

文献标识码: A

文章编号: 1000-7180(2012)11-0029-04

A Load Balancing Method Based on Elastic Cloud Computing

XU Xin-kun¹, WANG Zhi-jian^{1,2}, YE Feng^{1,2}, YUE Zhen-yu¹

(1 Computer and Information College, Hohai University, Nanjing 211100, China; 2 College of Computer Science and Technology, Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, Nanjing 210016, China)

Abstract: A load balancing method based on elastic cloud computing is proposed. The method introduces the framework using a load balancing method and the model to evaluate load status of the virtual machines and resource utilization of the virtual machine cluster. And the method implements the distribution of the tasks and elastic virtual machine cluster via task distribution algorithm and elastic expansion algorithm. The simulation shows that this method improves the resource utilization effectively while implementing the load balancing.

Key words: elasticity; load balancing; cloud computing; elastic expansion algorithm

1 引言

当前, 基于云计算的负载均衡研究主要针对的是云架构的大规模特征^[1-2], 即云架构中存在的大量基础设施资源, 使用传统的服务器负载均衡模型和算法, 在云计算环境下进行应用^[3-5]. 但是, 随着基础设施规模的扩大, 对于基础设施的利用也逐渐暴露出能耗高、效率低、浪费多等问题^[6]. 针对该问题, 本文结合传统服务器负载均衡方法, 利用云计算的弹性特征, 提出了一种基于弹性云的负载均衡方法.

2 基于弹性云的负载均衡模型

2.1 模型框架

云计算架构按照功能主要分为基础设施层(in-

frastructure layer)、平台层(platform layer)和应用层(application layer)三个基本层次. 传统的负载均衡机制主要位于服务器的应用层, 通过定期查询各个服务器的负载信息, 将任务进行分配转发, 形成“查询—任务分配—查询”的动态反馈机制^[7]. 本文结合云计算的层次模型, 增加了均衡器在平台层的反馈机制. 模型框架如图 1 所示.

基于弹性云的负载均衡模型框架主要由负载均衡器、云资源管理平台、虚拟机镜像库、虚拟机集群以及资源池等构成.

虚拟机集群由若干虚拟机组成. 虚拟机上部署了应用程序和 Agent. 应用程序负责接收用户任务并执行; Agent 负责采集虚拟机负载数据和任务执行情况信息, 定期发送给负载均衡器.

收稿日期: 2012-05-16; 修回日期: 2012-06-18

基金项目: 河海大学自然科学基金(2009421211); 江苏省水利科技计划项目(2011024); 河海大学中央高校基本科研业务(2009B21614)

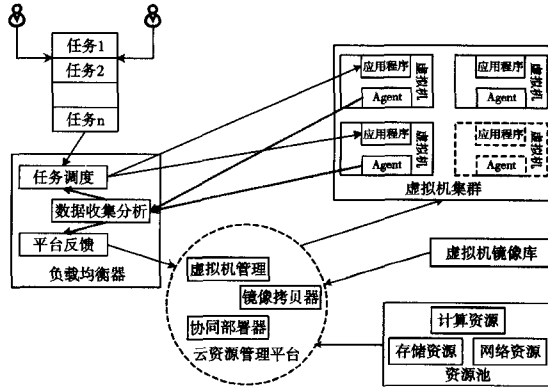


图1 基于弹性云的负载均衡模型框架

云资源管理平台处于框架的中心,主要实现对虚拟机整个生命周期的管理.平台可以将资源池中的计算、存储、网络资源进行整合封装,由镜像拷贝器从虚拟机镜像库中提取、复制虚拟机镜像,通过协同部署器,从而完成虚拟机的构建.平台中的虚拟机管理模块可以接收管理指令,实现对于虚拟机集群中的虚拟机创建、开启、关闭、重启、销毁等操作.

负载均衡器在框架中主要有3个模块组成.

(1) 数据收集分析模块接收来自 Agent 收集的负载信息.信息内容包括虚拟机的各项负载数据以及任务执行情况等.该模块对负载数据通过分析计算,对虚拟机负载状况和虚拟机集群资源利用率进行评估,将结果发送至任务调度和平台反馈模块.

(2) 任务调度模块接收用户的任务请求,并根据虚拟机负载状况的评估结果,利用任务调度算法将任务请求向虚拟机集群中选定的虚拟机转发.

(3) 平台反馈模块依据虚拟机集群资源利用率评估结果,利用弹性伸缩算法,向云资源管理平台发送管理指令.

2.2 虚拟机负载及集群资源利用率评估

虚拟机中的 Agent 定期采集虚拟机负载数据,发送给负载均衡器.一般来说,将 CPU 使用率、内存使用率、硬盘使用率及网络带宽占用率作为负载数据指标.设负载数据的指标有 p 项,虚拟机集群共有 m 台虚拟机,采集的时间点数目共计为 n .

定义 1 l_{ij}^k 表示在虚拟机 k 中时间点 j 采集的负载指标 i 的负载数据.虚拟机的数据记录集合 L^k 用以表示虚拟机 k 的负载数据.虚拟机集群负载数据记录为虚拟机集群内所有虚拟机的负载数据的集合 L .

$$L^k = \{l_{ij}^k | 1 \leq i \leq p, 1 \leq j \leq n\} \quad (1)$$

$$L = \{L^k | 1 \leq k \leq m\} \quad (2)$$

不同的任务对于各项资源的要求不同.本模型假设对于一个给定的云计算系统,任务类型相同.引

入权值因子集合 W ,表示虚拟机负载指标的权值,用以评估任务对于各项资源的要求.

定义 2 w_i 表示负载指标 i 的权值.

$$W = \{w_i | 1 \leq i \leq p\} \quad (3)$$

定义 3 f^k 表示虚拟机 k 的负载量,用以评估虚拟机负载状况.

负载量作为任务调度算法的主要参考数据,用以描述虚拟机实时的负载状态.因此使用距离最近的时间点 n 采集的负载数据进行分析.则 f^k 根据下式计算

$$f^k = \sum_{i=1}^p w_i \times l_m^k \quad (4)$$

由于集群中的虚拟机的异构性,因此对虚拟机集群资源利用率进行评估时,不仅要考虑虚拟机的负载状况,而且要考虑虚拟机的能力.

定义 4 c_i^k 表示虚拟机 k 在负载指标 i 上的能力, c^k 表示虚拟机 k 的综合能力.

$$c^k = \sum_{i=1}^p w_i \times c_i^k \quad (5)$$

定义 5 s_i 表示虚拟机集群在负载指标 i 上的资源利用率.

资源利用率用以描述虚拟机集群在一段时间内对于资源的使用效率.理论上负载数据是连续变化的.但实际上负载数据来自于各个时间点对于各个虚拟机的负载数据的采集,因此实际的负载数据是离散型随机变量.设负载数据采集时间间隔为 Δt .那么在时间段 $1 \sim n$ 内虚拟机 m 负载指标 i 上消耗的资源总量 R_i^k 为

$$R_i^k = \sum_{j=1}^n (l_{ij}^k \times c_i^k \times \Delta t) \quad (6)$$

对于集群在时间段 $1 \sim n$ 内负载指标 i 上消耗的资源总量消耗量 R_i 为

$$R_i = \sum_{k=1}^m R_i^k \quad (7)$$

那么 S_i 的计算公式为:

$$S_i = \frac{R_i}{\sum_{k=1}^m c_i^k \times n \times \Delta t} \quad (8)$$

综合公式(5)~(8),可得到 S_i :

$$S_i = \frac{\sum_{k=1}^m \sum_{j=1}^n (l_{ij}^k \times c_i^k)}{\sum_{k=1}^m c_i^k \times n} \quad (9)$$

使用权值因子 W 对于 S_i 进行分析计算,可得到虚拟机集群资源使用率 S .

$$S = \sum_{i=1}^p w_i \times S_i \quad (10)$$

3 基于弹性云的负载均衡算法

3.1 虚拟机生命周期

为增加虚拟机的管理粒度,将虚拟机生命周期定义为八个状态.其生命周期中各个状态和状态转换如图2所示.

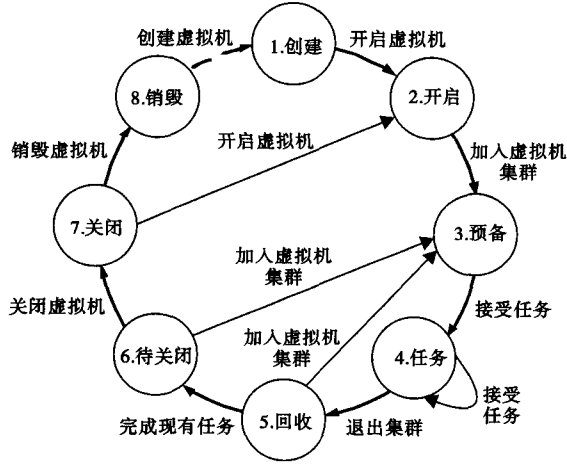


图2 虚拟机生命周期

定义6 q_i^k 表示处于 i 状态的虚拟机 k . q_0^k 表示处于初始状态的虚拟机. 初始状态的虚拟机在物理上并不存在. Q_i 表示位于 i 状态的虚拟机的集合.

$$Q_i = \{q_i^k | 1 \leq k \leq m\} \quad (11)$$

管理平台从资源池中获取资源,经过组装部署,完成虚拟机的创建.虚拟机创建后,由平台的虚拟机管理模块启动,到达开启状态.定义虚拟机集群 $Q_{cluster}$ 为可以接受任务的虚拟机的集合,即 $Q_3 \cup Q_4$. 开启后的虚拟机加入虚拟机集群,转化为预备状态.预备状态的虚拟机接受来自于负载均衡器的任务,从而转换为任务状态.对准备状态下的虚拟机 q_3^k ,自动初始化其负载数据记录 $L^k = \emptyset$.

任务状态的虚拟机可以不断接受任务.任务状态的虚拟机也可以退出集群,不再接受任务,从而到达回收状态.回收状态的虚拟机内尚有部分任务未执行完毕.在所有任务执行完毕后,虚拟机自动到达待关闭状态.待关闭状态和回收状态的虚拟机,均可以再次加入虚拟机集群,从而到达预备状态.进入待关闭状态的虚拟机,在等待时间 T_{close} 后,由管理平台自动对其执行关闭操作,将其转为关闭状态.关闭状态的虚拟机可再次开启.虚拟机如不再需要,则可以执行销毁操作,将虚拟机销毁,并将所属资源交还资源池.

从状态转换的时间成本分析,在整个生命周期中,创建虚拟机 ($q_0^k \rightarrow q_1^k$) 和销毁虚拟机 ($q_7^k \rightarrow q_8^k$) 消耗的时间最长.其次是开启虚拟机 ($q_1^k \rightarrow q_2^k$, $q_7^k \rightarrow q_2^k$) 和关闭虚拟机 ($q_6^k \rightarrow q_7^k$). 加入虚拟机集群 ($q_2^k \rightarrow q_3^k$, $q_6^k \rightarrow q_3^k$, $q_5^k \rightarrow q_3^k$) 和退出虚拟机集群 ($q_4^k \rightarrow q_5^k$) 以及接受任务 ($q_3^k \rightarrow q_4^k$) 只是模型中状态的变换,并没有实际的物理操作,因此时间成本可以忽略.

3.2 任务调度算法

任务调度算法的基本思想是根据虚拟机集群中的虚拟机的实时负载状况评估结果,对于虚拟机进行排序,将任务分配给负载量最小的虚拟机进行处理.具体的任务调度算法如下.

Step1: 任务调度模块接收任务 Task.

Step2: 从数据收集分析模块中取出 $Q_{cluster}$ 中虚拟机的负载状况评估结果,即虚拟机的负载量.

Step3: 根据虚拟机的负载量进行统计排序,计算 $f^{\min}$. $f^{\min} = \min\{f^k | q^k \in Q_{cluster}\}$. 求得负载最小的虚拟机 $q^{\min}$.

Step4: 将任务 Task 分配给虚拟机 $q^{\min}$.

3.3 弹性伸缩算法

弹性伸缩算法由两部分组成:虚拟机回收部分和虚拟机集群扩展部分.其主要思想是根据统计的虚拟机集群资源利用率进行判断,如果低于最小阈值 $\delta_{\min}$,说明目前虚拟机集群计算资源相对充盈,为提升资源利用率,降低能耗,对部分虚拟机进行回收;如果高于最大阈值 $\delta_{\max}$,则说明目前虚拟机集群负荷较重,为提高任务响应时间,则对虚拟机集群进行扩展,增加计算节点以分担任务.

在对虚拟机集群扩展时,考虑到虚拟机的生命周期中的回收、待关闭以及关闭状态中的虚拟机加入虚拟机集群的时间成本较低,因此将处于回收、待关闭以及关闭状态的虚拟机作为虚拟机集群扩展的缓冲池.在扩展虚拟机集群时,优先从缓冲池中取出虚拟机加入虚拟机集群.在缓冲池为空后,则创建虚拟机加入虚拟机集群.具体的弹性伸缩算法如下:

Step1: 从数据收集分析模块中取出虚拟机集群 $Q_{cluster}$ 资源使用率 S . 将 S 与 $\delta_{\min}$, $\delta_{\max}$ 进行比较. 如果 $S < \delta_{\min}$ 则转至 Step2; 如果 $S > \delta_{\max}$ 转至 Step3; 如果 $\delta_{\min} \leq S \leq \delta_{\max}$, 则转至 Step7.

Step2: 计算 $f^{\text{collect}} = \min\{f^k | q^k \in Q_{cluster}\}$. 从 $Q_{cluster}$ 中选择 q^{collect} , 将其转为回收状态 q_5^{collect} . 转至 Step7.

Step3: 计算 $f^{\text{collect}} = \min\{f^k | q^k \in Q_5\}$. 如果 Q_5 为空, 则转至 Step4; 如果 Q_5 不为空, 则从 Q_5 中选

择 $q^{\text{extend}1}$, 将其转为预备状态 $q_3^{\text{extend}1}$, 并转至 Step7.

Step4: 计算 $c^{\text{extend}2} = \max\{c^k | q^k \in Q_6\}$. 如果 Q_6 为空, 则转至 Step5; 如果 Q_6 不为空, 则从 Q_6 中选择 $q^{\text{extend}2}$, 将其转为预备状态 $q_3^{\text{extend}2}$, 并转至 Step7.

Step5: 计算 $f^{\text{extend}3} = \max\{c^k | q^k \in Q_7\}$. 如果 Q_7 为空, 则转至 Step6; 如果 Q_7 不为空, 则从 Q_7 中选择 $q^{\text{extend}3}$, 将其转为开启状态 $q_2^{\text{extend}3}$, 并转至 Step7.

Step6: 向云资源管理平台下达创建虚拟机的指令, 创建虚拟机 $q^{\text{extend}4}$, 并执行开启命令.

Step7: 延迟时间 T_{delay} , 返回 Step1.

4 实验结果分析

为验证方法的有效性, 模拟了云计算环境, 进行仿真实验研究. 主要验证目标为本文方法在云计算环境下负载均衡方面的有效性. 主要通过以下两个指标对于方法性能进行评估:

(1) 响应时间, 指任务从接收到完成任务的时间, 定义为任务的等待时间与完成时间的和.

(2) 资源利用率, 指虚拟机对于资源的使用效率.

仿真系统采用 1998 年世界杯网站每日的请求统计情况^[8] 作为模拟任务进行实验. 实验任务数量如图 3 所示.

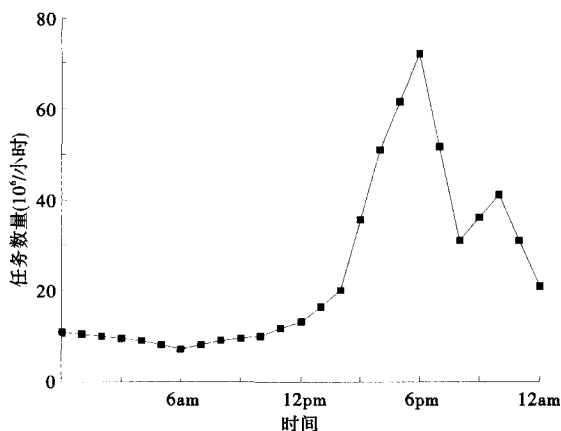


图3 任务数量随时间变化

从实验结果可以看出, 本文提出的基于弹性云的负载均衡方法能在及时响应用户的基础上, 有效提高了资源利用率的同时, 实现了系统的负载均衡.

5 结束语

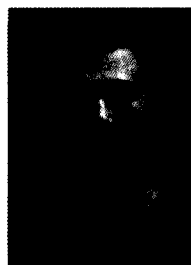
本文利用云计算的弹性特征, 提出了基于弹性云的负载均衡模型框架, 在传统负载均衡器的基础上, 增加了均衡器向平台层的反馈. 同时, 建立了模型对于虚拟机负载状况和虚拟机集群资源利用率进行量化评估, 通过任务调度算法和弹性伸缩算法分

别实现任务的分发和虚拟机集群的弹性伸缩. 实验结果表明, 本文提出的基于弹性云的负载均衡方法在实现负载均衡的同时, 有效提高了资源利用率. 但是对于秒级增长的任务请求, 本方法应对较为缓慢, 需要进一步研究完善.

参考文献:

- [1] 虚拟化与云计算小组. 云计算宝典技术与实践[M]. 北京: 电子工业出版社, 2011.
- [2] 赵超, 王晟. 基于云模型的负载均衡问题研究[J]. 微电子学与计算机, 2012, 29(3): 167-169.
- [3] Zhang B, Gao J, Ai J. Cloud loading balance algorithm; information science and engineering [C] // (ICISE), 2010 2nd International Conference on. Chira; Hangzhou, 2010; 4-6.
- [4] Chang H H, Tang X H. A load-balance based resource-scheduling algorithm under cloud computing environment[J]. New Horizons in Web-Based Learning: ICWL 2010 Workshops, 2011(6537): 85-90.
- [5] Fang Y Q, Wang F, Ge J W. A task scheduling algorithm based on load balancing in cloud computing[J]. Web Information Systems and Mining, 2010(6318): 271-277.
- [6] 林闯, 田源, 姚敏. 绿色网络和绿色评价: 节能机制、模型和评价[J]. 计算机学报, 2011, 34(4): 593-612.
- [7] 刘健, 徐磊, 张维明. 基于动态反馈的负载均衡算法[J]. 计算机工程与科学, 2003, 25(5): 65-68.
- [8] Arlitt M, Jin T. A workload characterization study of the 1998 World Cup Web site[J]. IEEE Network, 2000, 14(3): 30-37.

作者简介:



徐新坤 男, (1988—), 硕士研究生. 研究方向为云计算.

王志坚 男, (1958—), 教授, 博士生导师. 研究方向为软件理论、云计算.

叶枫 男, (1980—), 讲师, 博士研究生. 研究方向为 SOA 和云计算.

岳振瑜 男, (1988—), 硕士研究生. 研究方向为 SOA 与云计算.