

ECluster: 一种面向数据密集计算的弹性集群

段赵磊, 朱会东

(郑州轻工业学院 计算机与通信工程学院, 河南 郑州 450002)

摘 要: 提出一种面向数据密集计算的弹性集群 ECluster, 并以 Web Cache 服务为例, 研究弹性集群的性能指标和资源调度策略. 弹性集群将云计算提供的可按需获取的资源与数据密集计算系统中的本地资源结合使用, 当本地资源不足时获取云计算资源, 动态调整数据密集计算系统中的资源供给. 实验结果表明, 与传统数据密集计算系统相比较, 弹性集群能够有效保证数据密集计算系统的系统性能和资源利用效率.

关键词: 数据密集计算; 云计算; 弹性集群; 负载均衡

中图分类号: TP393

文献标识码: A

文章编号: 1000-7180(2013)02-0113-04

Elastic Cluster Oriented to Data Intensive Computing

DUAN Zhao-lei, ZHU Hui-dong

(College of Computer and Communication Engineering, Zhengzhou University of Light Industry,
Zhengzhou 450002, China)

Abstract: A new elastic cluster is presented. Elastic cluster can obtain resource from cloud on demand, adjust resource supply in data intensive computing system dynamically. Experimental results show that elastic cluster can improve system performance and resource utilization comparing with traditional data intensive computing system.

Key words: data intensive computing; cloud computing; elastic cluster; load balancing

1 引言

数据密集计算, 作为高性能计算的一个新的发展方向, 是近年来的研究热点.

集群作为一种高可扩展性的方案, 是数据密集计算系统常用的实现方案. 传统的集群设计, 其高可扩展性主要通过增加集群节点实现, 而资源充分利用和保证客户服务质量两个目标之间是存在矛盾的. 云计算的发展, “按需获取资源”概念的提出, 为从根本上解决以上矛盾提供了新的方向.

当前国内外云计算及其相关技术的研究才刚刚起步, 还没有一个统一的技术标准. 目前的云计算研究都集中在云计算平台的虚拟化技术和资源调度上. 云环境下数据密集计算的研究主要集中在编程模型^[1]、数据分布策略^[2-3]和安全性策略等方面. 使用云计算提供的资源搭建具体应用平台的研究相对

较少, 如何使用云计算提供的可按需获取的资源, 构建面向复杂数据密集计算的通用的、高效的应用平台, 是本文研究的重点.

2 系统结构

云计算的相关技术正在不断发展, 目前云计算本身有它的缺陷: 首先, 云计算由于需要通过 Internet 传递数据, 其安全性和可靠性问题尚未完全解决, 尤其是当网络速度慢甚至不可用时, 完全依赖云计算构建的各种应用和服务将无法正常工作. 其次, 由于相当数量本地资源的存在 (例如使用传统方式构建的集群), 完全用云计算资源构建应用和服务, 意味着本地资源的闲置和浪费, 显然这种方式不够经济, 特别是在系统负载相对较小, 本地资源足以处理时.

因此, 我们希望既能充分利用已有的本地资源,

提高资源利用效率,又能使用按需获取的云计算资源,构建一个具有足够资源供给弹性,同时又要尽可能控制系统的构建费用的数据密集计算系统,提出一种同时使用本地资源和云资源的新型集群架构——弹性集群 ECluster. 弹性集群 ECluster 部分在云内,保证了高负载时系统的服务质量,部分在云外,保证了系统的可靠性,即使在云资源无法获得时也可以保证系统以一定服务质量正常运转. 如何在系统负载过大时动态增加资源以保证服务质量,在系统恢复正常后及时释放空闲资源以避免资源浪费和降低系统开销,这是本文研究的重点.

弹性集群 ECluster 中,集群的后端结点根据来源不同可以分为两类:本地结点和云结点. 本地结点是弹性集群的基本组成部分,只要结点能够正常工作则始终作为集群的一部分. 而云结点则使用云计算平台提供的虚拟机来构建,功能上与本地结点相同,云结点与本地结点的最主要区别在于弹性集群会根据系统负载状态和资源供给的变化动态的增加和减少云结点的数量. 弹性集群 ECluster 的体系结构和基本数据流程如图 1 所示,集群采用 one-way 结构,后端结点直接将响应数据包发送给客户. 整个集群有 $m+n$ 个后端结点,其中包含 n 个本地结点, m 个云结点($m \geq 0$). 从资源供给角度来看,弹性集群 ECluster 是同时使用本地资源和云资源的一种混合式集群. 弹性集群 ECluster 能够将集群本地资源与从云中按需获得的资源无缝结合,具有良好的可扩展性,由于本地结点的存在,其可靠性也能够得到保证,即使在云资源不可用时也能够保证系统在较低服务质量上正常运转.

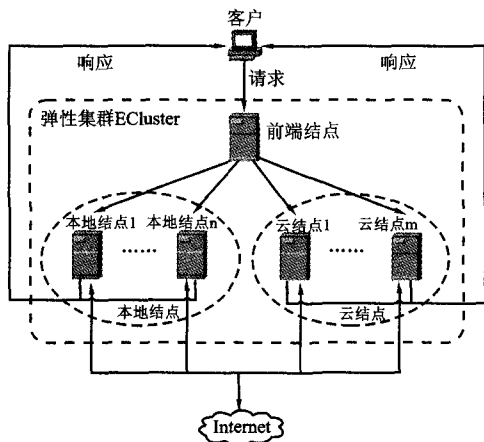


图 1 弹性集群 ECluster 体系结构

3 性能指标

我们以 Web Cache 服务为例研究弹性集群

ECluster. 图 2 中,我们使用 NLANR(美国应用网络研究国家实验室)的日志对不同结点数的传统集群(集群中结点数量固定不变)进行测试,使用排队模型模拟集群中结点的处理过程. 测试结果表明,随着集群中结点数的增加,系统中可用资源数量的增加使得客户请求的平均响应时间不断降低. 很明显,当系统负载越大时,增加集群可用资源数量给系统性能带来的改善越明显. 当结点数达到一定值以后,结点数的继续增加对系统相应时间的改善开始逐渐变小,说明系统现有资源已经能够满足处理客户请求的需要.

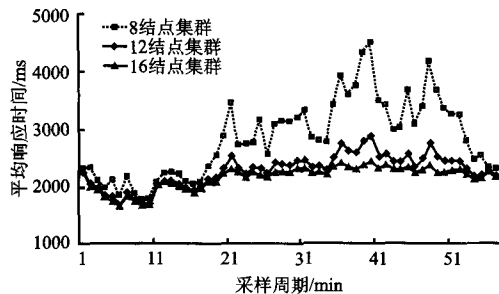


图 2 固定结点数传统集群响应时间比较

基于以上分析,使用云资源实现集群的动态资源分配,构建弹性集群可以有效改善现有数据密集计算系统的性能. 为了在弹性集群中实现动态资源分配,我们首先需要确定一个系统性能指标,来表征弹性集群是否需要增加更多的资源来保证客户的服务质量. 我们将提供 Web Cache 服务的弹性集群的性能指标定义为:计算一定时间段(一个采样周期)内集群每个结点上命中请求的平均处理时间与未命中请求的原始服务器平均响应时间的比值,求所有结点上该比值的平均值,做为性能指标 R .

$$R = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{\text{AvgHitTime}_i}{\text{AvgServerTime}_i} \quad (1)$$

其中, AvgHitTime_i 是集群中第 i 个结点上当前采样周期内所有命中请求的平均处理时间,这里的平均处理时间是指从请求到达集群到请求处理完毕的时间; AvgServerTime_i 为集群中第 i 个结点上当前采样周期内所有未命中请求的原始服务器平均响应时间, n 为集群中当前结点数.

R 值表明了客户请求在集群中的服务质量与客户直接请求原始服务器得到的服务质量之间的相对关系, R 值越大,弹性集群的性能越差, R 值越小,弹性集群的性能越好. 当 AvgServerTime 相对比较稳定时, R 值的大小随着集群后端结点上命中请求的平均处理时间同方向变化. 此外, R 值受网络状况和原始服务器负载状态的影响,当 AvgHitTime 基本

不变, AvgServerTime 越大, 也就是网络状况越差, R 值越小, 即弹性集群的相对性能越好. 我们目的是使用性能指标, 配合阈值, 把弹性集群提供的 Web Cache 服务对网络服务质量的改善程度控制在一定水平. 只有弹性集群的相对性能低于我们所允许的范围时, 才从云中获取资源动态增加系统资源供给, 以提升弹性集群中资源的利用效率, 降低系统构建和使用费用.

4 云调度策略

基于性能指标 R , 本文提出了弹性集群的云调度策略, 具体实现如下:

云调度算法

Input: AvgHitTime, AvgServerTime; R 值的阈值范围 $[t_1, t_2]$;

Output: 云结点的申请或释放;

Method:

Step1:

calculate performance index R ;

Step2:

if $R > t_2$, goto Step3; //need more resource

if $R < t_1$, goto Step4; //has idle resource

if $t_1 \leq R \leq t_2$, goto Step5;

//cluster work normally

Step3:

apply new virtual machine, deploy Web cache service, build new cloud node;
goto Step5;

Step4:

select a cloud node to release;

Step5:

wait 60 second; //set R 's recalculate period to 60 second;

goto Step1.

在构建弹性 Web cache 集群云调度策略时, 需要使用性能指标配合阈值工作, 当 R 值超过阈值则需要增加资源, 反之则减少资源. 弹性集群的云调度策略必须保证整个系统的性能处于可接受的范围之内, 同时尽量避免结点频繁的加入和退出集群, 以减少集群的性能抖动, 从而有效降低集群的构建和使用费用. 由于受多种因素的影响, R 值是频繁变化的, 为了实现上面的目标, 我们选择的阈值是由一个上限和一个下限决定的阈值范围 $[t_1, t_2]$, 而不能是一个简单的数值. 阈值范围 $[t_1, t_2]$, 其中当 $R < t_1$

时弹性集群释放空闲云资源, 当 $R > t_2$ 时弹性集群则需要从云中取得资源构建云结点, 增加系统处理能力. 需要注意的是, 重新计算 R 值的采样时间间隔也是需要解决的问题之一, 我们的解决方法是通过实验选取, 本文中 R 值采样时间间隔为 60 秒.

5 性能评价

为了检测本文提出的弹性集群性能指标的有效性, 同时测试弹性集群的性能, 我们模拟实现了弹性集群和固定结点的传统集群. 使用排队模型模拟结点的处理过程, 假定所有结点(本地结点和云结点)的处理能力相同. 实验中所有集群都使用 round robin 方式进行请求分发, 后端结点间使用 ICP 协议实现缓存协作. 选取性能指标 R 的阈值范围为 $[0.3, 0.7]$, 性能指标 R 的采样间隔为 60 秒. 弹性集群初始结点(本地结点)数为 8, 实验过程中根据系统性能指标 R 的变化增加或者释放云结点. 使用 NLANR(美国应用网络研究国家实验室)的 squid 访问日志模拟基于 HTTP 协议的 Web 访问, 对弹性集群(8 个本地结点+云结点)和固定结点数(8 结点和 16 结点)的传统集群进行了性能比较, 比较结果如图 3 所示.

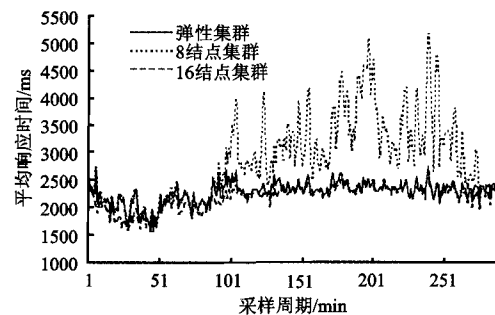


图3 弹性集群——响应时间

从图3可以看出, 与8个结点的传统集群相比, 弹性集群在系统负载较轻的前100个采样周期的响应时间曲线与8个结点的传统集群基本重合, 当系统负载开始明显增大时(100个采样周期以后), 8结点的传统集群由于受可用资源数量限制, 无法提供足够的处理能力, 其响应时间明显增大, 而弹性集群由于可以使用云资源构建云结点, 动态增加系统可用资源数量, 提升处理能力, 因而能够将平均响应时间维持在一个较低的水平上. 与16个结点的传统集群相比, 前100个采样周期中, 由于弹性集群中只有8个结点, 可用资源较少, 因此, 平均响应时间比16结点的传统集群略高, 100周期以后, 弹性集群动态的增加了云资源, 有效提升了系统的处理能力, 使得

平均响应时间与 16 结点的传统集群基本一致。

图 4 显示了实验过程中弹性集群中结点数的变化情况。可以看出,弹性集群中的结点数在 100 周期左右开始增加,也就是说集群开始使用云资源,结点数最大为 16 个。结合图 3 的数据可以分析得出,弹性集群中的资源利用率要高于 16 结点的传统集群,同时其性能与 16 结点的传统集群基本相同。也就是说,弹性集群可以实现提高资源利用效率和保证客户服务质量两个目标的统一。

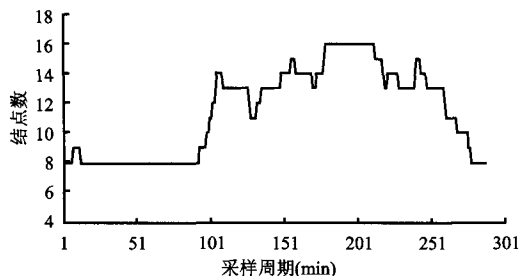


图 4 弹性集群——结点数

图 5 显示了实验过程中三种集群中性能指标 R 的变化情况。实验中模拟的网络状况相对比较稳定,因此, R 值作为集群的性能指标,其变化与系统中请求平均响应时间的变化基本一致(对比图 4)。系统中资源供给越紧张, R 值越大,反之则 R 值越小。同时, R 值随着集群负载大小的变化而波动,波动幅度受系统中可用资源数量的影响,系统中可用资源越少, R 值波动的幅度越大,反之则波动越小。在图 5 所示三条 R 值曲线中,16 结点传统集群的 R 值曲线最平滑,8 结点传统集群的 R 值曲线波动最大。弹性集群中,由于根据 R 值的波动及时调整了资源供给, R 值曲线的变化基本接近于 16 结点传统集群。这也证明了 R 值作为系统性能指标是有效的。

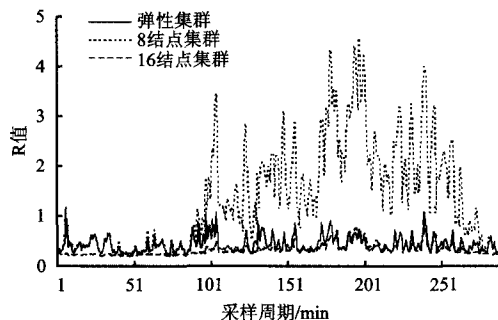


图 5 弹性集群——性能指标

6 结束语

本文构建了一个面向数据密集计算的弹性集群 ECluster,使用按需获取的云资源实现弹性集群中的弹性资源供给,以 Web Cache 服务为例,研究了弹性集群的性能指标和云资源调度策略。当突发请求带来的请求数量剧增使得系统总请求数量超出处理能力时,弹性集群可以作为数据密集计算的应急处理方案,能够对突发请求做出有效处理。当弹性集群中负载超过系统处理能力时,使用云资源构建新的集群后端结点,保证服务质量,当系统恢复正常后,则释放空闲云资源,提高弹性集群中的资源利用效率。实验证明,与使用传统集群的数据密集计算系统相比,同时使用云里云外两种资源、动态调整系统资源供给的弹性集群 ECluster 能够有效保证数据密集计算系统的性能。

参考文献:

- [1] 王鹏,孟丹,詹剑锋,等.数据密集型计算编程模型研究进展[J].计算机研究与发展,2010,47(11):1993—2002.
- [2] 郑湃,崔立真,王海洋,等.云计算环境下面向数据密集型应用的数据布局策略与方法[J].计算机学报,2010,33(8):1472—1480.
- [3] Bicer Tekin, Chiu David, Agrawal Gagan. A framework for data-intensive computing with cloud bursting[C]// Proceedings of the 2011 IEEE International Conference on Cluster Computing[s.l.]:IEEE, 2011: 169—177.

作者简介:



段赵磊 男,(1978—),博士,讲师.研究方向为网络信息处理、高性能计算.