

文章编号:1001-9081(2010)01-0015-03

## 使用 Gini 方法评测和优化集群节点结构

杨玉良<sup>1</sup>, 陈世平<sup>2</sup>, 裘慧奇<sup>2</sup>

(1. 上海理工大学 光电信息与计算机工程学院, 上海 200093; 2. 上海理工大学 信息化办公室, 上海 200093)

(chensp@usst.edu.cn)

**摘要:** 负载均衡机制是一种用于提高集群整体处理能力的方法, 但是不合理的集群结构往往会影响到负载均衡机制的效率, 两者的不协调在一定程度上限制了系统性能的体现。通过建立负载均衡模拟系统和引入 Gini 方法, 从节点性能分布、节点数量两个角度分析了集群节点结构与其负载均衡机制的相关性, 进而提出了一个评测和优化系统能力的方法。最后用实验验证了这个方法的可行性, 并给出了进一步的研究方向。

**关键词:** 集群节点结构; 负载均衡; Gini 方法

**中图分类号:** TP393 **文献标志码:** A

## Using Gini measures to evaluate and optimize structure of cluster's nodes

YANG Yu-liang<sup>1</sup>, CHEN Shi-ping<sup>2</sup>, QIU Hui-qi<sup>2</sup>

(1. School of Optical-Electrical and Computer Engineering, University of Shanghai for Science and Technology, Shanghai 200093, China;

2. Information Office, University of Shanghai for Science and Technology, Shanghai 200093, China)

**Abstract:** Load balancing mechanism is an approach to improve the overall handling capacity of the cluster, but the unreasonable structure of the clusters tends to limit the efficiency of load balancing mechanism. Incoordination between the two limits the performance of system hardware and software. Through establishing the simulation system of load balancing and introducing Gini method, the paper analyzed the relationship between the structure of cluster's nodes and its load balancing mechanism. Then a method was proposed to evaluate and optimize the cluster system. The method was verified by experiment, and direction for further research was pointed out.

**Key words:** structure of cluster's nodes; load balance; Gini method

硬件是计算机的“躯体”, 软件是计算机的“灵魂”。软件与硬件的发展是相互促进的。硬件性能的提高, 可以为软件创造出更好的开发环境, 软件的发展也对硬件提出更高的要求, 促使硬件性能的提高, 甚至产生新的硬件。同时, 软件和硬件之间也存在相互制约的关系。比如软件性能会制约硬件性能的发挥, 而硬件结构也会限制软件性能的体现。本文从集群结构与其负载均衡机制的相关性这个角度展开, 对这个问题进行了深入的研究。

负载均衡技术从1996年诞生至今, 已经从理论阶段过渡到了实用阶段, 成为了一种成熟的技术。但在现实中, 负载均衡机制的优势往往会受到与其不相契合的硬件系统的制约。例如, 当某个系统需要升级时, 只根据用户数、数据流量等参数来购买设备, 并没有考虑到新的系统结构是否是合理, 是否与软件契合等问题。

### 1 系统的建立与 Gini 方法的引入

#### 1.1 负载均衡模拟系统的建立

简单地讲, 集群负载均衡机制对数据的处理过程包括数据输入、数据分发、数据处理、数据输出4部分, 图1简单地对其进行了描述。

图1中各个符号的含义:

1)  $v_1, v_2, \dots, v_i, \dots, v_{n-1}, v_n, 1 \leq i \leq n$ , 表示数据流入处

理节点的速度,  $v_i$  的大小由数据流入系统速度  $V_0$  及节点处理性能来决定。

2)  $v'_1, v'_2, \dots, v'_i, \dots, v'_{n-1}, v'_n, 1 \leq i \leq n$ , 表示数据流出处理节点的速度。由于系统处理延迟, 流出速度  $v'_i$  必须大于等于流入速度  $v_i$ , 否则节点将处于拥塞状态。

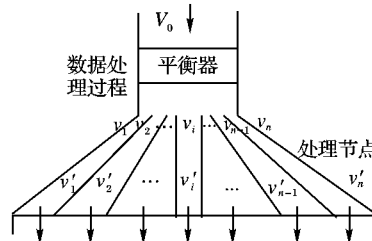


图1 沙漏模型

另外, 为了降低模拟负载均衡过程的难度, 特别做出了如下假设:

1) 模拟系统有  $n$  个处理节点, 各个节点相互独立, 不存在协作和制约关系。

2) 数据以恒定速度  $V_0$  流入系统, 并通过平衡器向各个节点进行转发。处理节点与平衡器采用高速网络直接相连, 不考虑网络传输的影响。

3) 平衡器根据节点的处理能力按比例对流入数据进行分配, 那么就有:

收稿日期: 2009-07-24; 修回日期: 2009-09-03。

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(60573142); 上海市(第三期)重点学科资助项目(S30504)。

作者简介: 杨玉良(1981-), 男, 山西太原人, 硕士研究生, 主要研究方向: 计算机网络通信; 陈世平(1954-), 男, 浙江绍兴人, 教授, 博士生导师, 主要研究方向: P2P 计算、计算机网络通信、数据库与知识库; 裘慧奇(1980-), 男, 浙江嵊州人, 硕士研究生, 主要研究方向: 计算机网络通信、数据库与管理信息系统。

$$p_i = v_i / \sum_{i=1}^n v_i \quad (1)$$

显而易见,有:

$$\sum_{i=1}^n p_i = 1 \quad (2)$$

## 1.2 Gini 方法的引入

流入负载均衡模拟系统的数据是平衡器按照各个节点的处理能力进行分发的。假如系统节点结构对负载能力存在制约性关系,那么只需要通过优化系统节点结构就可以实现系统结构与负载能力的契合。

Gini 方法是数据挖掘中用来处理分类最优化的一个方法,因此我们可以用 Gini 方法来分析系统节点结构与系统负载能力的制约性关系。下面引入 Gini 方程:

$$\begin{cases} Gini(n) = 1 - \sum_i [p(v_i | V_0)]^2 \\ \sum_{i=1}^n p_i = 1, 1 \leq i \leq n \end{cases} \quad (3)$$

其中  $n$  为处理节点个数,而  $p(v_i | V_0)$  可以表示节点被分发到数据的概率,也可以表示节点性能在系统总体性能中的权重。在实际系统中,  $p(v_i | V_0)$  是一个固定值,由节点性能决定。

延续 Gini 方法的思路,即对于分割  $n$ ,  $Gini(n)$  值越小表示系统结构越合理。通过观察发现如下规律:

$$Gini(n) = \begin{cases} 0, & n = 1 \\ 1, & v_i = V_0/n, \lim n = \infty \end{cases} \quad (4)$$

式(4)中的第1式表示系统只有一个节点时,系统结构最合理。第2式表示当  $n$  趋于无穷大,流入系统的数据被平均分发到  $n$  个节点时,每个节点概率的平方趋于0,  $Gini(n)$  取值为1。这时系统结构合理性最差。

## 2 负载均衡能力与系统结构相关性分析

通过前面分析发现,节点数目和节点性能分布对系统结构的合理性有很大影响,也就是说对负载分发机制存在制约。

### 2.1 节点性能分布对系统能力的影响

对于一个确定的数据流,如果向两个性能相同的节点进行分发,那么有:

$$Gini(2) = 1 - \sum_{i=1}^2 [p(1 | 2)]^2 = 1 - (1/4 + 1/4) = 0.5$$

如果向两个性能有一定差异的节点分发数据,那么有:

$$\begin{aligned} Gini(2) &= 1 - \sum_{i=1}^2 [p(v_i | V_0)]^2 = 1 - (p(v_1 | V_0))^2 + \\ &\quad p(v_2 | V_0)^2 = 1 - (0.8^2 + 0.2^2) = 0.32 \\ v_1 + v_2 &= V_0 \end{aligned}$$

通过上面的演算可以知道,如果分发给节点的速度  $v_1$  和  $v_2$  相差越大,那么  $Gini(2)$  的值就会越小。这意味着在处理能力相同的系统中,节点处理能力的差异越大,那么系统的能力将越优,可以通过图2得到更深刻的认识。

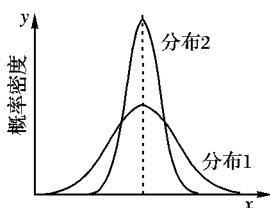


图2 集群节点分布曲线对比

通过观察可以看到,分布1形状矮胖,而分布2形状高

瘦,即分布2的方差比分布1的方差小,数据的离散程度比较小。从数据挖掘的角度看,这说明分布2的数据有更好的相关性,隐藏着更多的有用信息。因此分布2是比分布1好的。故在构建系统时,系统节点性能分布应该尽可能趋近于分布2,负载均衡机制的效率也可以得到充分的发挥。

### 2.2 节点数目对系统能力的影响

通过节点性能分布对系统性能的影响讨论节点数目对系统性能的影响。

图3中系统节点满足相同的分布,但节点数目却不相同,从1到3节点数目逐渐增加,图形也越来越逼近其分布曲线。从概率学和积分学我们可以知道,对分布曲线越逼近表示它所覆盖的面积越大,即系统的处理能力越强。

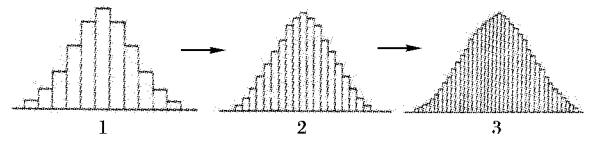


图3 节点数不同但服从相同分布的系统结构

如果只考虑系统性能,那么3将是最佳的,因为它是对分布曲线的最佳逼近。但是,现实中需要考虑数据转发、系统延迟等造成的额外开支,所以并不是节点数越多越好,因为随着节点数的增多,对节点的管理开销也会增大。因此,在系统搭建或优化过程中,需要在节点性能分布曲线与系统节点数之间寻求最佳的结合点。

### 2.3 评测和优化集群系统的方法

前面定性分析了影响系统性能的两个因素,下面将用数学方法定量地对其进行分析。

为了评测和优化系统,本文需要建立一个标准,或者目标函数,即:

$$\text{Min} [1 - Gini(n)] = \sum_i [p(v_i | V_0)]^2 \quad (5)$$

当数据以速度  $V_0$  流入系统时,根据式(2)可以得到:

$$\begin{cases} \sum_{i=1}^n v_i = V_0 \\ \sum_{i=1}^n p_i(v_i | V_0) = 1 \\ v_i \geq 0; 1 \leq i \leq n \end{cases} \quad (6)$$

通过分析知道式(5)和(6)构成了经典的二次规划问题,最小值必定存在。方程的解包括  $Gini$  值和节点性能分布两部分,它们既是评测系统的标准,也是系统优化的方向。

需要注意的是,规划求出的解并不是最优的,需要通过不断的修正约束条件式(6)来向最优值逼近。

## 3 评测和优化集群系统方法的可行性验证

为了验证评测和优化集群系统方法的可行性,假设负载均衡模拟系统由100个节点组成,各个节点相对独立,节点性能分布未知。验证实验分为两个阶段,每个阶段都在 Matlab 6.0 平台上测试通过。

**步骤1** 求解二次规划。通过求解前文提出的二次规划,发现在式(6)的约束下,规划求出的  $Gini$  值始终为0.5,并且与节点数目无关。这个结果表明,需要通过优化约束条件来向最佳  $Gini$  值逼近。

**步骤2** 通过调整节点数目、节点性能分布来优化约束条件。为了更好的观察  $Gini$  值在不同约束下的变化规律,假

设节点性能服从正态分布。

图4描述了当节点数目从1到100,方差从0.1到50变化时 Gini 的取值规律。可以看到,随着节点数目的增多 Gini 值在逐渐增大,而曲面的波动性则表明节点数目和节点性能分布是一个相互制约的关系。在这一步,我们计算出的最佳 Gini 值为 0.251。

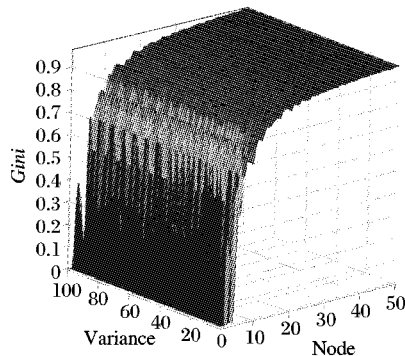


图4 Gini 值在不同约束条件下的变化

现实中集群节点间往往存在相互协作的关系,图5(a)就描述了 Gini 值在这种约束下的变化规律,即 Gini 值随协作节点数目的增多而变小,变化率为负值则表明节点协作性对 Gini 值的优化存在一定的副作用。

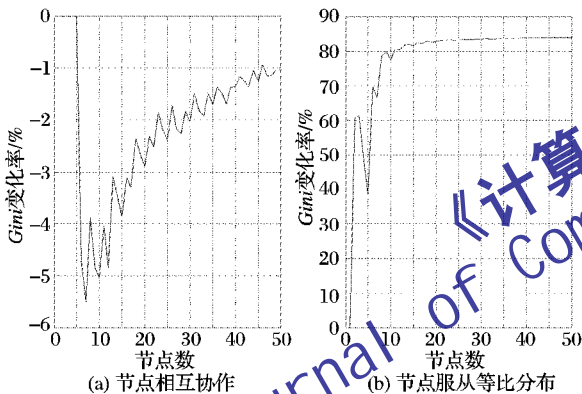


图5 Gini 值在特定约束条件下的变化率

考虑到图4中 Gini 值在不同正态分布下变化不是很大,

故特别测试了不同分布对 Gini 值的影响。图5(b)描述了 Gini 值在节点服从等比数列时的变化规律,可以看到等比数列的公比从1到50的变化过程中,Gini 值将近被优化了85%,最小 Gini 值为 0.180。

从上述实验可以看到,在不断调整约束条件的情况下,Gini 值不断变小。因此本文评测和优化集群系统的方法是可行的,只需要在不同环境下设定不同的约束条件。

## 4 结语

本文通过分析负载均衡机制与集群节点结构的相关性,提出了一种评测和优化集群节点结构的方法。这种方法不仅可以应用在集群系统中,也可以应用到其他拥有多个节点的系统中,它是对软件与硬件协同发展方式的一种探索。

### 参考文献:

- [1] HUI C C, CHANSON S T. Improved strategies for dynamic load balancing[J]. IEEE Concurrency, 1999, 7(3): 58-67.
- [2] 景波. 实时集群计算机的体系结构研究[J]. 硅谷, 2008(14): 36-38.
- [3] 邱钊, 陈明. Web 集群负载均衡算法比较[J]. 现代计算机, 2006(8): 61-63.
- [4] 唐丹, 金海, 张永坤. 集群动态负载均衡系统的性能评价[J]. 计算机学报, 2004, 27(6): 803-811.
- [5] 刘安丰, 陈志刚, 曾志文, 等. 基于数据挖掘的 Web 集群负载均衡算法[J]. 计算机工程与应用, 2003, 39(25): 59-61.
- [6] 陈忠林, 孙福, 于静. 分布式网络环境下的负载均衡原理及算法[J]. 四川大学学报: 工程科学版, 2003, 35(6): 97-100.
- [7] 余海燕, 郑笑飞. 几种负载均衡解决方案的比较[J]. 信息系统工程, 2000(9): 28-29.
- [8] 盛骤, 谢式千, 潘承毅. 概率论与数理统计[M]. 北京: 高等教育出版社, 2001.
- [9] 同济大学应用数学系. 高等数学[M]. 北京: 高等教育出版社, 2002.
- [10] TAN PANGNING, STEINBACH M, KUMAR V. 数据挖掘导论[M]. 范明, 范宏建, 译. 北京: 人民邮电出版社, 2008.
- [11] 李中福. 计算机集群技术应用研究[D]. 新乡: 河南职业技术学院师范学院, 2006.

(上接第9页)

用对象代理模型建立的微生物信息系统在查询响应时间方面要明显优于利用关系模型建立的微生物信息系统,且随着数据规模的增大,这种优势越是明显。

## 4 结语

本文在分析现有微生物数据库实现技术的基础上,提出了一种基于对象代理数据库的微生物数据管理方法,通过该方法开发实现了一个微生物信息服务系统。该信息系统中的微生物菌种资源数据库使用我们自行开发的对象代理数据库管理系统 TOTEM 实现,能支持数据的动态分类,提供高效的数据检索,避免产生数据冗余,具有较好的系统性能。该系统已经在全国 11 所高校中运行,建立了微生物菌种资源丰富的“教学实验用微生物菌种资源数据库”,整理、整合了我国 11 所高校科研机构所收藏的、涵盖 14 个菌种的微生物资源。

### 参考文献:

- [1] 李雁, 郑从义. 微生物多样性的保护与其资源保藏[J]. 氨基酸和生物资源, 2003, 25(3): 4-6.
- [2] BRY F, KROGER P. A computational biology database digest: Da-

ta, data analysis, and data management[J]. Distributed and Parallel Databases, 2003, 13(1): 7-42.

- [3] BENSON D A, KARSCH-MIZRACHI I, LIPMAN D J, et al. Genebank[J]. Nucleic Acids Research, 2000, 28(1): 8-15.
- [4] PENG ZHIYONG, SHI YUAN, ZHAI BOXUAN. Realization of biological data management by object deputy database system[C]// Transactions on Computational Systems Biology V. Berlin: Springer Verlag, 2006: 49-67.
- [5] PENG ZHIYONG, KAMBAYASHI Y. Deputy mechanisms for object-oriented databases[C]// Proceedings of the IEEE 11th International Conference on Data Engineering. Washington, DC: IEEE Computer Society, 1995: 333-340.
- [6] ZHAI BOXUAN, SHI YUAN, PENG ZHIYONG. Object deputy database language[C]// Proceedings of the 4th International Conference on Creating, Connecting and Collaborating through Computing. Washington, DC: IEEE Computer Society, 2006: 88-95.
- [7] FRANKLIN M, HALEVY A, MAIER D. From databases to data-spaces: A new abstraction for information management[J]. SIGMOD Record, 2005, 34(4): 27-33.