

可拓检测在动态负载均衡策略中的应用研究^{*}

张夏雨¹ 余永权¹ 陈柏兴¹ 郑锦伍²

(广东工业大学计算机学院 广州 510090)¹ (华南理工大学管理科学与工程系 广州 510641)²

摘要 在 DNS 动态负载均衡策略中,服务器负载状态的获取是控制的关键。现有的 DNS 负载均衡策略在状态获取的实时性、状态表示的合理性等方面都存在不足。针对这些不足,本文提出了一种新的动态负载均衡策略,把可拓检测技术的思想和模糊数学引入到负载均衡策略中,利用可拓学的物元、关联函数,可拓检测和模糊学的隶属度等概念来构建一个集群动态负载均衡策略模型。实验证明,在该策略模型中,利用可拓检测的思想来获取负载状态,能明显提高负载均衡策略的有效性、实时性、动态性和稳定性。

关键词 DNS 负载均衡,负载状态,可拓检测,模糊数学,集群

Application of Extension Detecting in Dynamic Load Balancing Strategy Model

ZHANG Xia-yu¹ YU Yong-quan¹ CHEN Bai-xing¹ ZHENG Jin-wu²

(Faculty of Computer,Guangdong University of Technology,Guangzhou 510090,China)¹

(Faculty of Management Engineering,South China University of Technology,Guangzhou 510641,China)²

Abstract In the DNS dynamic load balancing strategy, the key point is to get the load states of servers. The existing DNS dynamic load balancing strategies have shortages, such as the real-time states capture and the logical load states expression. In this paper, a new load balancing method, which is to connect extension detecting technology and fuzzy math with load balancing, is put forward. The method takes advantage of the concepts of matter-element, extension detecting, dependent function and the membership degree in extension theory and fuzzy math to improve the efficiency of load states getting and set up a dynamic load balancing model of cluster. It is proved that by using this new model the load states getting is more effective, rationality, real time, and the load balancing strategies are more dynamic, steady-going.

Keywords DNS load balancing, Load state, Extension detecting, Fuzzy math, Cluster

1 引言

随着互连网技术和网络服务需求的增长,以服务器集群来提供网络服务已经成为一种趋势^[1]。网络的规模越来越大,网络中服务器的负载也变得越来越重,因此,利用 DNS 负载均衡技术来实现网络负载均衡控制是发展的需要。然而,一般地 DNS 负载均衡策略,特别是负载状态获取这一关键环节,存在着诸如实时性差、准确性低、逻辑性弱等不足,这些不足大部分是由于负载状态获取时实时性、合理性较差而引起的。本文所提出的负载均衡方法是一种对传统方法的改进。在该策略中,引进可拓检测技术和模糊数学的思想,构建一个基于可拓检测思想的模型,引入物元、可测性、状态等级等概念,从而对集群中的服务器进行“物元化→可拓变换→可拓聚焦→物元显性→负载均衡控制”一系列操作并且最终进行负载均衡控制。实验证明,这种新的负载均衡策略具有通用性、动态性和准确性。

2 负载均衡技术研究现状

负载均衡是一个经典的组合优化难题之一,其难度与 Hamilton 问题相当,是一个 NP-Hard 问题^[2]。目前,人们已

提出很多负载均衡调度算法,如轮转算法、加权轮转算法、随机法、加权随机法、最小连接数、加权最小连接数、哈希散列算法和 SWP 算法等^[3-5]。

DNS 负载均衡是最早的负载均衡技术,也是负载均衡技术的一个典型^[6]。当一个客户的 DNS 请求到达时,DNS 服务器会根据负载均衡调度策略在服务器群集中选择一个适合的服务器,将其地址返回给客户。对于客户来说,集群是透明的,服务是由负载均衡算法来实现的^[7]。因此,服务的关键是使用有效的负载均衡算法来进行服务器负载状态的获取,从而进行选择调度。

一般的 DNS 负载均衡实现算法采用轮询法、TTL(Time To Live)等等。然而,轮询法虽然简单、易于实现,但是无法检测各个服务器的负荷,难控制访客的访问地址;而 TTL 方法也有不足,概括来说,一般的 DNS 负载均衡实现策略存在以下问题:

(1)域名服务器无法检测服务结点是否实时有效,当服务结点失效时,域名系统依然会将域名解析到该节点上,造成用户访问失效。

(2)由于 DNS 的数据刷新时间一旦超过刷新时间 TTL,其他 DNS 服务器就需要和当前服务器交互。因此为了使地

^{*} 基金项目:国家自然科学基金项目(60272089);广东省自然科学基金项目(980406,04009464)。张夏雨 硕士研究生,主要研究方向为可拓检测、模糊逻辑、嵌入式智能系统;余永权 教授,博士生导师,主要研究方向为嵌入式智能系统、智能家居网络、可拓检测、模糊逻辑、神经网络和软计算。

址能随机分配,就应使 TTL 尽量短,然而当 TTL 趋于零时, DNS 要处理的域名解析请求会加大,这会严重影响 DNS 的处理能力,造成性能瓶颈。

(3)一般策略不能区分服务器的差异,也不能反映服务器的当前运行状态。

因此,负载均衡控制的研究目的在于找到通用、简洁方便、稳健控制并且可以动态获取负载状态的控制策略^[3,4]。从这一思想出发,本文引入新的概念和基础,把可拓检测技术和模糊学思想融入到负载均衡控制中,提出一种新的集群服务器负载状态获取方法并设计出集群应用的 DNS 动态负载均衡模型。

3 基于可拓检测技术的设计思想

可拓学是中国科学家蔡文教授创立的,具有深远意义的原创性学科。它是用形式化的工具,从定性和定量两个角度去研究解决矛盾问题的规律和方法。可拓学的理论支柱是物元理论和可拓集理论,其逻辑细胞是物元^[5,7-9]。

可拓检测技术是基于可拓学矛盾转化的思想方法而提出的一种与传统检测技术不同的新技术。这种检测技术利用可拓学的物元概念及相关方法,从矛盾转化去研究检测技术,以解决无法检测的物理量检测问题。在本文的模型研究中,我们利用可拓检测技术的思想来实现负载状态的获取^[10]。下面是可拓检测的基本概念:

定义 1(可测物元、不可测物元) 存在物元 $R=(N, c, v)$,其中 N 为事物, c 为特征, v 为特征量值;如果事物特征的量值可以用现存的传感器或通信直接检测出来,则称该物元 R 是可测物元。反之为不可测物元。

定义 2(n 维物元可测物元、不可测物元) 存在 n 维物元 R

$$R = \begin{bmatrix} N, & c_1, & V_1 \\ & c_2, & V_2 \\ & \dots & \dots \\ & c_n, & V_n \end{bmatrix} \quad (1)$$

其中 N 为事物, $c_k, k=1, \dots, n$ 为事物特征, $V_k, k=1, \dots, n$ 为特征量值,如果特征的量值可以用现存的传感器或通信直接检测出来,则称该 n 维物元 R 为 n 维可测物元。反之称为 n 维不可测物元。

定义 3(目标物元) 在检测过程中,被检测的物元称为目标物元。目标物元可以是可测物元,也可以是不可测物元。在可拓检测中,目标物元通常是不可测物元。

前面讲过,在 DNS 负载均衡控制中,当一个客户的 DNS 请求到达时, DNS 服务器根据适当的调度策略从服务器群集中选择一个适合的服务器,将它的 IP 地址返回给客户。因此,在 DNS 负载均衡策略模型中,如何确定负载状态并且选择正确合适的服务器至关重要^[1,6]。利用上面介绍的关于可拓检测技术的思想,结合模糊学,得到 DNS 动态负载均衡策略模型的设计思想如下:

(1)利用物元来表示集群中的服务器,把服务器的网络参数作为物元的特征。

(2)利用可拓检测技术的思想,构建 n 维服务器物元,其中包括可测和不可测物元,而目标是不可测物元。

(3)利用模糊学思想,把最终获取的负载状态分成几个负载等级。

(4)利用可拓变换,对集群中每个 n 维服务器物元的不可

测物元进行变换,然后进行物元聚焦,从而获取每一个服务器物元的负载状态和选择合理的服务器响应服务。

4 模型实现过程

图 1 是可拓检测在集群动态负载均衡策略中的应用模型。首先构建服务器物元并确定可测物元、不可测物元,然后物元化负载等级,最后通过物元变换和物元聚焦,确定服务器的负载等级,从而进行负载控制,实现负载均衡。

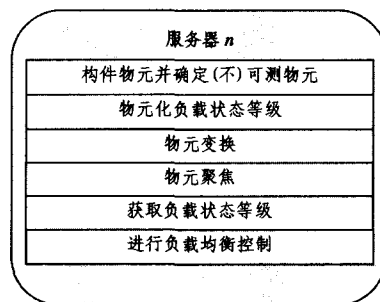


图 1 可拓检测在动态负载均衡策略中的应用模型

4.1 构建物元并确定可测物元、不可测物元

构建服务器物元首先要解决的问题是负载指标的确定。衡量节点当前负载状况的度量方法和准则称为负载指标。理想的负载指标应满足以下条件^[2,6]:①测量开销低;②能体现所有竞争资源上的负载;③各负载指标在测量及控制上彼此独立。因此,集群的负载评估机制需考虑的基本因素有:① CPU 利用率;② MEM 利用率;③带宽(T)利用率(当前网络流量);④磁盘 I/O 访问率;⑤硬盘(Hd)利用率;⑥负载状态。

通过负载指标的确定,可以得到物元化的服务器,表示为:

$$R_{\text{服务器}} = \begin{bmatrix} N, & c_1, & V_1 \\ & c_2, & V_2 \\ & \dots & \dots \\ & c_6, & V_6 \end{bmatrix} \quad (2)$$

其中 c_1, c_2, \dots, c_6 分别为 CPU 利用率、MEM 利用率、带宽利用率、磁盘 I/O 访问率、硬盘利用率、负载状态。

得到 6 维服务器物元后,可测物元和不可测物元的确定可以通过定义 1 和定义 2 来完成。把集群中可以通过相互发送信息而直接获取的负载状态指标定为可测物元;把不可以通过互相发送信息而直接获取的状态称为不可测物元。因此 c_1, c_2, \dots, c_5 为可测物元,而 c_6 即为我们的不可测物元,即目标物元。

4.2 物元化负载状态等级

在这个环节中,主要的任务是应用模糊数学的隶属度概念对负载状态进行等级划分,并把物元思想加入到各个等级中,即:用物元的形式来描述集群中服务器的状态和负载等级。过程如下:

(1)划分目标不可测物元等级

在本模型中,目标不可测物元为负载状态。负载状态等级的划分可以根据实际情况而定。在本文中我们把等级定为“无负载、较轻负载、轻负载、较重负载、重负载、满负载”。

(2)将可测物元隶属度化

主要是利用专家经验或者经典数据将精确的数据进行模糊化。经过隶属度化后,所有类别的所有特征都会有相同的取值范围 $[0, 1]$,因此是一种无量纲化处理。

首先,建立单一可测负载指标的负载等级状态表(如表 1 所示)并将其隶属度化。

表 1 单一可测负载指标的负载等级状态表

	Cpu(%)	Mem(%)	T(%)	Io(%)	Hd(%)
无负载	0~5	0~8	0~5	0~8	0~5
较轻负载	5~15	8~18	5~16	8~20	5~15
轻负载	15~35	18~35	16~36	20~40	15~30
较重负载	35~60	35~65	36~65	40~70	30~65
重负载	60~90	65~90	65~90	70~90	65~90
满负载	90~100	90~100	90~100	90~100	90~100

本文的研究中,所有的负载指标参数都用百分比“(s_i) %”表示。为了方便计算,隶属度化的过程采用最简单的方法^[1],将 10 个百分点化为 0.1,即:0%~10%为 0.1,10%~20%为 0.2……90%~100%为 1。

(3)构建可测物元的经典域、节域

所谓经典域,是指各个不可测物元对可测物元所取的数据范围,即负载状态等级对应各个负载指标所取的数据范围。在本文所研究的负载均衡系统中,经典域在隶属度化过程中可以归纳产生。其物元表示为:

$$R_0 = (P_0, C, V_0) = \begin{bmatrix} P_0, & c_1, & V_{01} \\ & c_2, & V_{02} \\ & \dots & \\ & c_n, & V_{0n} \end{bmatrix} \quad (3)$$

其中,P₀ 是任何一个目标不可测物元等级,c₁,c₂,...,c_n 是 P₀ 的 n 个不同可测指标,V₀₁,V₀₂,...,V_{0n} 分别是 P₀ 关于 c₁,c₂,...,c_n 所取的值的范围。例如,由表 1 可以得到“重负载”的经典域为:

$$R_0 = (P_{\text{重负载}}, C, V_0) = \begin{bmatrix} P_{\text{重负载}}, & c_1, & \langle 0.7, 0.9 \rangle \\ & c_2, & \langle 0.7, 0.9 \rangle \\ & c_3, & \langle 0.7, 0.9 \rangle \\ & c_4, & \langle 0.8, 0.9 \rangle \\ & c_5, & \langle 0.7, 0.9 \rangle \end{bmatrix} \quad (4)$$

所谓节域,是指构建经典域所允许的取值范围。显然,经典域是节域的子集^[8,9]。其物元表示为:

$$R_p = (P, C, V_p) = \begin{bmatrix} P & c_1, & V_{p1} \\ & c_2, & V_{p2} \\ & \dots & \\ & c_n, & V_{pn} \end{bmatrix} \quad (5)$$

例如,由表 1 可以得到所有负载等级的节域都是[0, 1]。在实现过程中,应该计算出所有负载等级的经典域和节域。

(4)确定服务器对象形成的物元

在负载均衡模型中,服务器对象也要用物元表示,首先测量出各可测物元的对应值,然后用物元形式表示如下:

$$R = (P, C, V) = \begin{bmatrix} P, & c_1, & V_1 \\ & c_2, & V_2 \\ & \dots & \\ & c_6, & V_6 \end{bmatrix} \quad (6)$$

例如,当测到的服务器对象的当前运行状态是:①Cpu: 20%;②Memory: 30%;③T: 30%;④Io: 45%;⑤Hd: 55%。则该服务器物元表示为:

$$R = (P, C, V) = \begin{bmatrix} P, & c_1, & 0.2 \\ & c_2, & 0.3 \\ & c_3, & 0.3 \\ & c_4, & 0.5 \\ & c_5, & 0.6 \\ & c_6, & \text{目标状态} \end{bmatrix} \quad (7)$$

4.3 物元变换

在可拓检测技术中,物元变换是对事物的特征及量值进行相关的变换。物元检测出来的结果具有特征的内涵及量值的定义。物元变换过程是把其变换到目标物元的特征及量值相应的范围。在本文的模型中,可拓变换的过程采用关联函数的思想,把可测物元和不可测物元的各个等级进行一一映射,从而得到的变换结果是一个多维矩阵。图 2 所示为映射过程。

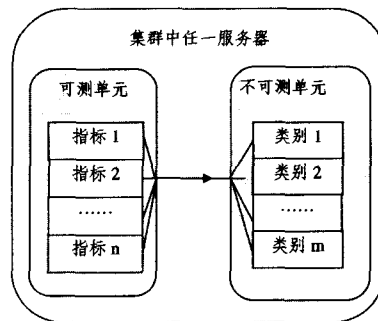


图 2 负载指标和负载等级的对应关系

在本文的模型中,映射过程采用可拓学的关联函数^[8,9]来进行。通过关联函数值的计算,可以得到当前服务器物元的“指标-负载等级关联矩阵”K_c,表示如下:

$$K_c = \begin{bmatrix} K_{p_1c_1} & K_{p_1c_2} & \dots & K_{p_1c_n} \\ K_{p_2c_1} & K_{p_2c_2} & \dots & K_{p_2c_n} \\ \dots & & & \\ K_{p_m c_1} & K_{p_m c_2} & \dots & K_{p_m c_n} \end{bmatrix} \quad (8)$$

其中,m 为负载等级,n 为可测负载指标,该特征关联矩阵清楚地列出了通过关联函数计算后,n 维服务器物元所有可测物元(可测负载状态指标)关于所有目标不可测物元等级(负载等级)的关联值。

4.4 物元聚焦

可测物元通过变换指向不可测物元。对同一个事物,由于存在多特征的特点,故不可测物元往往是由一个事物中的可测特征隐征的。因此,需要对变换的结果进行聚焦,从而确定不可测物元最终的测量值。

可拓变换的结果大致可以分成几类:分散点、直线、二维或多维空间。在本文的模型中,变换的结果我们用二维矩阵 K_c 表示,因此可拓聚焦时必须借助权值分散点进行。分两步进行:

1)可测物元权重系数求取

可以用多种方法来进行权系数的确定,目的是给各个负载指标对负载等级的影响程度做出一个排序。本文用简化后的极值统计迭代法^[4]。设 U={u₁, ..., u_k} 为有限论域,W 为指标的权重向量,p*={p₁^{*}, ..., p_n^{*}} 为参与确定权系数的人员集合,现求 W(u_j)(j=1, 2, ..., k)。大致步骤如下:

(1)对任一 p_i^{*}, 给其一个初始值 q(1 ≤ q ≤ k)

- d)用 11 式计算出新模型 UIM^{T+1} ;
- e)用 13 式计算出新模型 CIM_{cm}^{T+1} ;
- f)通过启发式规则 5 和 6 对新模型 UIM^{T+1} 和 CIM_{cm}^{T+1} 降维;
- g)输出并保存 UIM^{T+1} 和 CIM_{cm}^{T+1} , 供下次推荐使用。

结束语 用户兴趣模型是用户兴趣的语义表示,是个性化推荐服务的基础。本文以用户访问历史为基础,构造访问历史的主要特征词权重矩阵,建立动态变化的二层语义用户兴趣模型。在个性化推荐中,该模型能实现二层语义匹配。通过上层匹配,系统知道用户最感兴趣的类;通过下层匹配,系统知道这些类中用户最感兴趣的主要特征词。文中主要是对模型的建立、模型的降维和更新进行了研究。当然,与其它模型一样,也能用该模型对用户按兴趣进行分组,实现协同过滤推荐,为用户发现新的可能感兴趣的资源。

(上接第 128 页)

- (2) 在 U 中选择 p_i^* 认为优先属于 W 的 q 个元素,得到 U 的子集 $U_i^{(j)}$;
- (3) 依次类推,在 U 中选择 p_i^* 认为优先属于 W 的 s_q 个元素,得到 U 的子集 $U_i^{(j)}$,显然, $U_i^{(j)} \subset U_i^{(j)}$; 当 $s * q \geq k$ 时,迭代中止于第 $t(t=s)$ 代;
- (4) 求取 U_i 的覆盖频率为

$$m(u_i) = \sum_{s=1}^t \sum_{j=1}^n \chi_{U_i^{(j)}}(u_i) \quad (i=1, 2, \dots, k) \quad (9)$$

其中, $\chi_{U_i^{(j)}}$ 为集合 $U_i^{(j)}$ 的特征函数。

- (5) 最后是归一化处理,从而得到各个指标的权重系数,可以得到:

$$W(u_i) = m(u_i) / \sum_{j=1}^k m(u_j) \quad (i=1, 2, \dots, k) \quad (10)$$

2) 加权关联度求取

权重求取之后,就可以进行加权关联度的计算了。求取类别的加权关联度即为求取当前服务器对象对某一负载级别的隶属程度。在这里我们给出隶属程度的定义:

定义 4(隶属程度) 若 w_1, w_2, \dots, w_n 为负载均衡过程的特征权重, k_c 为关联函数矩阵,则

$$K(p_j) = \sum_{i=1}^n w_i K_{p_j c_i} \quad (1 \leq j \leq m) \quad (11)$$

为当前服务器物元对象对负载等级 j 的隶属程度。

4.5 获取负载状态等级

对于集群中的任一服务器对象,计算其对各个负载等级的隶属程度,然后将获得最大隶属程度的类别定为最终的输出结果,这就是负载状态等级的获取。过程如下:

- (1) 对于论域中的所有类别,分别计算出服务器对象对其的隶属程度 $K(p_i) (1 \leq i \leq m)$;
- (2) 若 $K(p_k) (K(p_k) < 0)$, 则将类别 k 忽略;
- (3) 在所有大于零的 $K(p_m)$ 中,求取出:

$$K(p_\theta) = \max(K(p_j)) \quad (j=1, 2, \dots, m, j \neq k) \quad (12)$$

将类别 θ 定为最终负载均衡结果。结果表示为“在 M 台服务器组成的集群中,服务器 $R (1 \leq R \leq M)$ 目前的运行状态处于负载等级 $\theta (1 \leq \theta \leq m)$ ”。

4.6 进行负载均衡控制

到此,我们确定了集群中所有服务器的负载状态等级。前面提过,负载等级的获取是动态负载均衡策略模型的关键。在该模型中,负载等级的数量和分法可以由使用负载均衡的客户自行定制。在我们的设计中,定为“无负载、较轻负载、轻负载、较重负载、重负载、满负载”六种负载等级。在 DNS 负

参 考 文 献

- [1] 张尧学,方存好. 主动服务——概念、结构与实现. 北京,科学出版社,2005(1):3,32,50
- [2] 喻坚,等. 面向服务的计算——原理和应用. 清华大学出版社,2006(12):258-261
- [3] Jurafsky D, Martin J H. 自然语言处理综论. 冯志伟,等译. 北京:电子工业出版社,2005(6):403-406
- [4] Salton G, McGill M J. Introduction to Modern Information Retrieval. McGraw-Hill, New York, 1983
- [5] Salton G, Buckley C. Term Weighting Approaches in Automatic Text Retrieval. Information Processing and Mangement, 1988, 24(5):513-523
- [6] Luhn H P. A statistical approach to the mechanized encoding and searching of literary information. IBM Journal of Research and Development, 1957, 1(4):309-317
- [7] Sparck J K. A statistical interpretation of term specificity and its application in retrieval. Journal of Documentation, 1972, 28(1):11-21
- [8] Silverstein C, Henzinger M, Marais H, et al. Analysis of a very large AltaVista querylog. Tech. rep. 1998-014

载均衡控制中,关键是选择一个负载最小的服务器来响应用户的服务请求。因此,在每一次服务请求中,模型都会在得到所有服务器的负载等级后,按照某种排序对服务器进行任务调度分配,通常是选取集群中当前负载量最小的一个或者几个服务器进行任务分配,从而完成异构服务器群集动态负载均衡控制。

我们通过典型范例,在 VC6.0 和 matlab7.0 上进行实验和画图,证明该模型和采用的算法比一般的 DNS 动态负载均衡算法具有有效性和实用性。

结束语 本文针对 DNS 动态负载均衡一般算法的不足,利用可拓检测技术和模糊数学的原理,构建出一个基于可拓的动态负载均衡模型,它是可拓检测技术和模糊数学的一种全新的应用。利用该方法进行负载状态的确定和负载均衡控制,不仅克服了一般策略的不足,而且易于实现,操作性强,更加重要的是提出了一种通用性强、与传统思维方法不同的负载均衡控制方法,且算法简单,具有很强的健壮性。因此,这种基于可拓检测技术的动态负载均衡算法具有很好的应用前景,而这种用矛盾思想把不可测问题转化成可用可测问题进行表示并解决的思维方式,对工程上的其它难题更是具有指导意义。

参 考 文 献

- [1] 熊智,晏蒲柳,郭成城. Web 集群中文档组织分布的优化策略. 计算机科学,2006,33(12):114-118
- [2] 张普,王青,杨立光. 网络计算机集群负载均衡机制的研究. 计算机工程与设计,2006,27(16):2914-2917
- [3] Cardellini V, Colajanni M. Dynamic loadbalancing on Web-server systems. IEEE Internet Computing, 1999, 3(3):28-39
- [4] Schroeder T, Goddard S, Ramamurthy B. Scalable Web Server Clusterint Technologies. IEEE Network, May/June 2000:38-45
- [5] Yu Yongquan, Peng Haixia, Ye Weigiong. The Principle of Extension Detecting with Extension Sets // International Conference on Computer, Communication and Control Technologies, CCCCT'03. Orlando, Florida, USA, July 2003
- [6] Fu Yong, Wang Hongan, Lu Chenyang, et al. Distributed Utilization Control for Real-Time Clusters with Load Balancing // 27th IEEE International Real-Time Systems Symposium (RTSS'06). 2006:137-146
- [7] 王洪伟,吴家春,蒋馥. 基于可拓集的决策模型研究. 计算机科学,2003,30(8):130-133
- [8] 蔡文,杨春燕,林伟初. 可拓工程方法[M]. 北京:科学出版社,1999:95-101
- [9] 蔡文. 可拓论及其应用. 科学通报,1999,44(17):673-682
- [10] 余永权. 可拓检测技术. 中国工程科学,2001,3(4):89-94
- [11] 余永权,曾碧. 单片机模糊逻辑控制. 北京航空航天大学出版社,1997:21-33