

面向网络行为的CDN缓存分配策略

冯翔 杨晏 李松

(华东理工大学信息科学与工程学院 上海 200237)

摘要 撒谎行为的存在会破坏CDN缓存分配的公平性。使用博弈论对服务器在缓存分配过程中的自私撒谎行为进行了研究。经分析发现,服务器撒谎行为的本质就是当缓存不足时,额外多申请一定量缓存;而当缓存充足时,则诚实地申请所需缓存量。针对这种撒谎行为,提出了一种公平分配算法,在计算服务器的缓存申请量时,考虑其历史缓存申请量,并根据不同阶段申请量的有效性不同引入年龄因子,(重新)计算得到服务器的当前有效缓存申请量,使得撒谎的服务器与诚实的服务器相比受到更多损失,以此来促使其停止撒谎行为。同时,公平算法还保证了系统的最大吞吐量,并引入了价格机制来保证诚实的服务器得到更高的需求满足度。仿真实验结果表明,公平算法对于上述撒谎行为有很好的改善效果。

关键词 撒谎行为,CDN缓存分配,年龄因子,价格机制

中图分类号 TP18 **文献标识码** A **DOI** 10.11896/j.issn.1002-137X.2015.7.034

Network Behavior-oriented CDN Cache Allocation Strategy

FENG Xiang YANG Tan LI Song

(School of Information Science and Engineering, East China University of Science and Technology, Shanghai 200237, China)

Abstract Lying behavior may destroy the fairness of CDN cache allocation. The selfish lying behavior of servers during CDN cache allocation with the game theory was studied. The essence of lying behavior is that servers will apply more cache when the total cache is not enough, otherwise honestly apply requisite cache volume when the total cache is enough. We proposed fairness algorithm to deal with lying behaviors. We considered the historical application volume while calculating the new one. In addition, we introduced the age factor to calculate the application's effectiveness in different phase. In this way, we could urge the lying servers to stop lying by making them lose more than the honest servers. At the same time, we guaranteed the optimal throughput of system and introduced price mechanism to make honest servers to be more demand-satisfying. The experiment shows the fairness algorithm has a good improvement for lying behavior.

Keywords Lying behavior, CDN cache allocation, Age factor, Price mechanism

1 引言

内容分发网络(Content Delivery Network, CDN)是指在现有的Internet基础上增设一层网络架构,将网站的内容分发到距离用户较近的服务器上。这样用户就可以更快得到自己所需要的内容,减轻Internet中网络拥挤的情况,从而减少用户访问网站的响应时间,提升用户的使用体验。

现如今越来越多的学者加入到CDN的改善与优化的队伍当中。Zhan Wang^[1]等人研究了P2P-CDN混合网络,提出了一个k-合作离散副本置换算法(DRPA);并通过实验验证,该算法的效果要好于单纯应用于CDN的副本置换算法。Jian-Bo Chen^[2]等人提出了一种粒子群优化算法来解决多CDN副本置换问题,通过考虑带宽、链接情况、存储容量、CPU以及内存5个要素来得到全局最优解;且在实验过程中,与其他置换算法进行了对比,发现其算法性能更好。冯翔

等人^[3]构造出一种简单的CDN网络架构,使用博弈粒子场的方法对缓存分配过程进行了研究分析,并且使用价格策略实现了源Web服务器的效用最大化。但文献[1-3]的论文并没有对分配过程中的节点自私撒谎特性进行研究。

而在已有的关于撒谎行为的研究中,乐光学^[4]等人对P2P网络中存在的搭便车行为进行了分析,并提出了一种抑制激励策略模型来鼓励自私节点对系统作贡献。Pingzhong Tang^[5]等主要研究的是两只队伍间的比赛竞争过程,并提出了一系列竞争规则来保证采取撒谎行为的自私队员会失败。Reshef Meir^[6]研究的是分类问题,在其中针对代理节点所具有的撒谎行为,提出了一种真实机制,来保证分类的顺利进行。W. T Luke Teacy^[7]等研究了开放系统中代理节点间的交互问题,针对代理节点所具有的背叛和撒谎行为,提出了一种分层贝叶斯推断信任评估模型来帮助代理节点判断是否相信同行节点。但文献[4-7]中对于撒谎的研究并没有涉及

到稿日期:2014-07-21 返修日期:2014-09-21 本文受国家自然科学基金(60905043,61073107,61173048),上海市教育委员会科研创新项目,中央高校基本科研业务费资助。

冯翔(1977-),女,博士,教授,博士生导师,CCF会员,主要研究方向为分布并行计算、人工智能,E-mail:xfeng@ecust.edu.cn;杨晏(1990-),女,硕士生,主要研究方向为智能仿生算法、缓存分配;李松(1988-),男,硕士,主要研究方向为计算机网络、缓存分配。

CDN 缓存分配过程。

本文则是在上述文献的研究成果的基础上,对 CDN 缓存分配中存在的撒谎行为进行了分析,其实质就是自私服务器在总缓存不足时,额外申请一定量缓存;而当缓存充足时,则诚实地申请自身所需要的缓存量。针对这一撒谎行为,本文提出了公平算法,在分配缓存时,考虑服务器的历史缓存申请量,并根据不同阶段缓存申请量的有效性不同引入年龄因子,计算得到当前有效缓存申请量,从而使撒谎服务器比诚实服务器受到更多的损失。此外,公平算法保证了系统的最大吞吐量,并且引入了价格机制,通过反复摸索过程^[8-10],来使服务器得到更高的需求满足度。然后本文对上述研究进行了理论推导和实验验证,并最终证明了其合理有效性。

2 CDN 缓存分配问题描述

本文主要研究的是 CDN 网络中的缓存分配问题,研究的问题模型如图 1 所示。

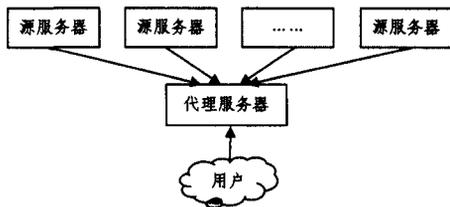


图 1 CDN 缓存分配模型

缓存分配参与方:

源服务器:存储有大量的网络数据,距离用户较远;

代服务器:位于 CDN 网络的边缘,距离用户较近,存储有少部分最受欢迎的数据;

用户:访问网站内容。

定义 1 缓存分配过程为一个多阶段的过程。在每个阶段,源服务器会向代理服务器申请缓存,当代理服务器收到源服务器的缓存申请后,按照一定的算法将缓存分配给多台源服务器使用。

定义 2 在缓存分配过程中,存在两种情况:第一种情况,即总需求量不高于缓存总量,则缓存总量能够满足每个源服务器的需求;第二种情况,即总需求量高于缓存总量,则每个源服务器都将受到一定的损失。

定义 3 对于 l 阶段产生的缓存申请量,记录其产生阶段值 l 。则在 t 阶段,该缓存申请量的年龄为 $t-l$ 。

源服务器具有下述性质:

性质 1 都是理性自私的,即都希望能最大化自身的利益,同时又都不会在不增大自己利益的前提下做出损害其他源服务器利益的行为。

性质 2 源服务器的投资金额是限定的,亦即成本和需求是成反比关系的。

3 理论分析

CDN 缓存分配问题所涉及到的基础概念定义如下:

r_i :表示源服务器 i 的需求量;

d_i :表示源服务器 i 的申请量;

d_i^t :表示 t 阶段源服务器 i 的申请量;

age_{ij} :表示在当前阶段, j 阶段源服务器 i 产生的申请量的年龄;

o_i :表示源服务器 i 所分配得到的缓存量;

p_t :表示 t 阶段的单位缓存价格;

r_t :表示 t 阶段的源服务器需求,不同于 r_i 的是,这里表示的是任一源服务器的需求;

α :表示收益函数中,多于缓存单价的部分;

M :表示代理服务器的缓存总量;

n :表示源服务器的个数。

从系统吞吐量的大小可以看出系统的资源是否得到充分利用。首先,本文研究了如何获得最优系统吞吐量。

3.1 系统吞吐量最大化

定义 4 对于某一源服务器 i ,已知其需求为 r_i ,分配所得的缓存量为 o_i ($\sum o_i = 1$),则 $\chi_i = o_i / r_i$ 可以表示分配得到的缓存部分对源服务器 i 的需求量标准化后得到的相对需求量。使用抽象函数 $f(\chi_i)$ 来表示源服务器的损失比例,其中 $f(\chi_i)$ 满足下述两个条件:

条件 1 $f(\chi_i)$ 是一个关于 χ_i 的严格递减函数,对于任意源服务器而言,增加其分配所得的缓存,都将减小其损失部分。

条件 2 如果一源服务器本身已分配得到的缓存量越大,那么其增加固定缓存的量所获得的额外增益越小。

在本文中,我们定义系统的吞吐量如下:

$$T = \sum_{i=1}^n r_i (1 - f(\chi_i)) \quad (1)$$

为了最大化整个系统的吞吐量,我们希望最小化系统的损失:

$$\text{Minimize } \sum_{i=1}^n r_i f(\chi_i) \quad (2)$$

$$\text{同时满足约束条件: } \sum_{i=1}^n r_i \chi_i = 1.$$

定理 1 只有依据源服务器的需求所占总需求的比例来分配缓存,才能保证系统吞吐量的最大化。

证明:根据条件 1 和条件 2,对于任意的 $a < b$,下式均成立:

$$f(b) - f\left(\frac{a+b}{2}\right) > f\left(\frac{a+b}{2}\right) - f(a) \quad (3)$$

经过变换,可以得到:

$$f\left(\frac{a+b}{2}\right) < \frac{f(a) + f(b)}{2} \quad (4)$$

进一步变换:

$$f\left(\frac{a + \frac{(a+b)}{2}}{2}\right) < \frac{f(a) + f\left(\frac{a+b}{2}\right)}{2} \quad (5)$$

$$f\left(\frac{a + \frac{(a+b)}{2}}{2}\right) < \frac{f(a) + \frac{f(a) + f(b)}{2}}{2} \quad (6)$$

展开:

$$f\left(\frac{3a+b}{4}\right) < \frac{3f(a) + f(b)}{4} \quad (7)$$

通过逐步迭代可以得到一个值: $c' = ta + (1-t)b$, $t \in [0, 1]$,使得下式成立:

$$f(c') < tf(a) + (1-t)f(b) \quad (8)$$

对于 $c = \beta a + (1-\beta)b$, $\beta \in [0, 1]$ 而言,若能通过有限次迭代得到 β ,那么下式成立:

$$f(c) < \beta f(a) + (1-\beta)f(b) \quad (9)$$

如果不能,则可以通过近似法得到下式:

$$c_n = \beta_n a + (1 - \beta_n) b \rightarrow c$$

在此,我们认为上述式(9)是成立的,这就意味着函数 $f(\chi_i)$ 是严格凸函数。下面利用凸函数的性质对上面提到的最小化方案进行求解。

首先设定 $\eta = \sum_{i=1}^n r_i$, 依据琴生不等式的性质,可有:

$$\sum_{i=1}^n \frac{r_i f(\chi_i)}{\eta} \geq f\left(\frac{\sum_{i=1}^n r_i \chi_i}{\eta}\right) \quad (10)$$

根据之前提到的 $\sum_{i=1}^n r_i \chi_i = 1$, 式(10)可以转化为:

$$\sum_{i=1}^n r_i f(\chi_i) \geq \eta f\left(\frac{1}{\eta}\right) \quad (11)$$

为了在满足条件2的情况下,最小化系统的损失,就需要式(11)中等号成立,这就意味着:

$$\chi_1 = \chi_2 = \dots = \chi_n = \frac{1}{\eta} = \frac{1}{\sum_{i=1}^n r_i} \quad (12)$$

证毕。

因而我们知道只有按照源服务器申请量占总申请量的比例来分配缓存(本文中我们习惯称为按比例分配,两者意思相同)才能使得系统的吞吐量最大化。

下面引入价格机制,在满足源服务器的需求的前提下,尽可能高地获得代理服务器的缓存利用率。

3.2 价格机制

本文将按照以下措施调节价格:当总需求高于总供给时,则适当提升价格;而当总需求低于总供给时则适当降低价格,以此来实现总供给和总需求间的平衡,达到资源利用最大化。

定义5 依据性质2,可以知道需求与价格满足下述关系:

$$p_t r_t = p_{t+1} r_{t+1}, t \in [0, +\infty) \quad (13)$$

其中, p_t, p_{t+1} 分别表示第 t 和 $t+1$ 阶段代理服务器单位缓存的价格,而 r_t, r_{t+1} 表示第 t 和 $t+1$ 阶段的源服务器的需求。经过变换,可以得第 $t+1$ 阶段源服务器的需求为:

$$r_{t+1} = p_t r_t / p_{t+1}, t \in [0, +\infty) \quad (14)$$

由式(14)可知,任一阶段源服务器的需求都由上一阶段的需求量及价格情况来确定。

我们设定一个超额需求函数来表示价格的变化:

$$z(p_t) = \sum_{i=1}^n r_i - M \quad (15)$$

其中, r_i 表示在 t 时刻,源服务器 i 的需求量。

通过使用上述价格变化策略,可以保证源服务器的需求满足度以及缓存的使用情况。下面将对缓存分配具体过程涉及到的撒谎行为进行研究。

3.3 分配机制

在定义2中的第二种情况下,为了最大化自身的效用,自私的源服务器就会通过采取撒谎的措施,声明更多的需求,从而得到更多的缓存,而那些诚实的源服务器则将有更多的损失。

定义6 规定源服务器的收益函数为: $I_i(x) = (p_t + \alpha)x$, 其中 x 表示分配所得的缓存,而 α 是一个常数, p_t 表示在 t 阶段的单位缓存价格,上式成立的条件是 $x \leq r$ 。对于多出来的缓存 x' 而言,其收益函数 $I(x') = 0$ 。而相应的成本函数: $c_i(x) = p_t(x + x')$ 。则根据效益与成本,源服务器的效用函数可以表示为: $u(x) = I(x) - c(x + x')$ 。为了鼓励源服务器多

申请缓存,我们设定使用缓存得到的收益会高于相应成本。 t 阶段的效用函数如图2所示。

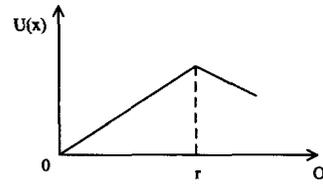


图2 源服务器的效用函数

在图2中, r 表示的是源服务器的需求, O 表示分配的缓存。从中可以看出,当总申请量不高于缓存总量,即源服务器的需求量都能被满足时,源服务器诚实地申请缓存能够获得最大效用。而当总申请量高于缓存总量时,对于同一源服务器而言,申请量越高,所获得的效用越高。

我们使用博弈论分析缓存分配,将其看作一个元组: $(\{1, \dots, n\}, [0, M], u)$, 其中 $\{1, \dots, n\}$ 可以理解为源服务器集合; $[0, M]$ 表示可行策略集合,亦即每阶段各台源服务器所声明申请的缓存量,该缓存量必须要在可行策略集合内;而 $u: [0, M]^n \rightarrow R$ 指代的就是源服务器的效用函数。缓存分配的过程就可以描述为:每个源服务器选择一个策略(亦即声明所需缓存),而后根据策略配置 $s = (s_i, s_{-i})$ 来得到自身的效用 $u_i(s)$, 其中 s_{-i} 表示除却源服务器 i 之外,其他的源服务器所采取的策略。

由上文中系统吞吐量最大化的证明可知,在CDN缓存分配过程中,根据每台源服务器的申请量所占总申请量的比例来分配缓存,能够使系统获得最大吞吐量。本文中所探讨的是缓存分配过程中源服务器存在的自私撒谎行为,首先验证源服务器的撒谎行为对缓存分配的公平性造成了很大影响。

3.3.1 撒谎行为影响公平性

定理2 在CDN缓存分配过程中,不对自私源服务器的撒谎行为采取对策的情况下,对于两台每阶段需求量相同的源服务器,自私源服务器所获效用一直多于诚实源服务器。

证明:两台源服务器属于相同的状态,源服务器 i 是自私的,存在撒谎行为;源服务器 j 是诚实的,每个阶段如实地根据需求申请缓存。则可以分为以下两种情况。

情况1:源服务器的总需求量不大于缓存总量时,源服务器 i 和源服务器 j 都根据自身的需求量申请缓存,即:

$$d_i = r_i, d_j = r_j;$$

在该阶段源服务器所获得分配的缓存等于其申请缓存量。

$$o_i = o_j = d_i = d_j = r_i = r_j;$$

根据源服务器的效用函数 $u(x) = I(x) - c(x + x')$, 可得 $u_i = u_j$ 。

情况2:源服务器的总需求量大于缓存总量时,自私源服务器 i 在需求量的基础上多申请缓存,诚实源服务器 j 如实地根据需求量申请缓存,则有:

$$d_i = r_i + \varphi, d_j = r_j;$$

为实现系统吞吐量最大化,依据源服务器申请量所占总申请量的比例分配缓存,假定源服务器总申请量为 S 。则:

$$o_i = d_i / S = (r_i + \varphi) / S, o_j = d_j / S = r_j / S;$$

在该情况下,源服务器的缓存分配量都小于其缓存需求量,则根据源服务器的效用函数,计算可知 $u_i > u_j$ 。证毕。

由此可知,不对自私源服务器的撒谎行为采取措施,将会

对 CDN 缓存分配的公平性造成较大影响。

本文通过公平算法对 CDN 缓存进行分配,能够对自私源服务器的撒谎行为有一定的抑制作用,从而有效降低自私源服务器通过撒谎行为所获得的效用。

定义 7 公平分配算法的主要思想就是在分配缓存的阶段,考虑每个源服务器的历史缓存申请量。如果在本次分配阶段总需求高于缓存总量,则认为该次源服务器的缓存申请量为可利用,记录该次源服务器的缓存申请量及其年龄;而如果本次分配阶段总需求低于缓存总量,则该次源服务器的有效缓存申请量是源服务器之前所有阶段的有效的可利用缓存申请量(即依据可利用缓存申请量的年龄^[1]计算其有效值,若有效值大于一定值则判定为有效的可利用缓存申请量)的平均值。这里要注意的是,选取的阶段均满足如下条件:总需求高于缓存总量。另外代理服务器按照每个源服务器的当前有效缓存申请来分配缓存。

而在引入历史缓存申请量的同时,在分配阶段引入价格策略,来调整各个阶段源服务器的需求。

3.3.2 公平分配机制有效性

要证明公平分配机制的有效性,我们只须证明采取公平分配算法能使自私源服务器所获效用有效减少,且在不采取撒谎行为的阶段遭受更多损失,从而促使其终止撒谎行为。

定理 3 在使用公平算法前提下,每个源服务器只有真实地申请自己所需要的缓存量,才能最大化自身效用: $U_i(s_i=r_i) > U_i(s_i' \neq r_i)$, $U_i(s_i) = \sum_{j=1}^m u_i(s_{ij})$,这里的 j 表示第 j 博弈阶段。

证明:设 δ_1 表示源服务器的总需求高于代理服务器缓存的概率,其中将 σ_i 定义为源服务器 i 的有效平均需求量(即有效值超过一定值的阶段的需求量和当前需求量的平均需求量),该服务器的申请量为: $s_i = \sigma_i + \vartheta$,其中 ϑ 表示有效申请量撒谎行为的申请部分(即有效历史缓存申请量的虚报缓存部分)。

我们知道,当所有源服务器的总需求量不高于代理服务器的缓存总量时,每个源服务器只有真实地按照自己所需来申请缓存才能得到最优效用。而若此时的源服务器 i 的有效申请量为: $e_i = \sigma_i + \bar{\omega}$,同时 $\bar{\omega} \leq 0$ 的概率为 δ_2 ,而 $\bar{\omega} > 0$ 的概率为 δ_3 ($\delta_1 + \delta_2 + \delta_3 = 1$),则此时的源服务器 i 的损失为: $a\bar{\omega}\delta_2 + p_t\bar{\omega}\delta_3$,其中 t 表示的是第 t 博弈阶段。

当总需求高于代理总缓存时,自私的源服务器会通过撒谎来应对。则此时自私源服务器采取撒谎行为,即 $\vartheta > 0$ 。此处我们可以认为源服务器 i 可以得到额外的 ϑ/S 部分的缓存,其中 $S = \sum_{i=1}^n s_i$ 。在此阶段,此源服务器所获得的额外效用是 $a\vartheta/S$,因而自私的源服务器的预期增益就是 $\delta_1 a\vartheta/S$,但是其在后期需求量小于缓存总量的阶段所要付出的代价就是 $a\bar{\omega}\delta_2 + p_t\bar{\omega}\delta_3$ 。值得注意的是,如果 $s_i = 0$,则相应自私的源服务器的效用损失就是 $a\sigma_i\delta_2$,这样就可以得知源服务器 i 由于撒谎所造成的最小损失为 $\min\{a\bar{\omega}\delta_2 + p_t\bar{\omega}\delta_3, a\sigma_i\delta_2\}$, t 为造成损失所处的阶段。

为了能够有效打击自私源服务器的撒谎行为,我们希望有:

$$\delta_1 a\vartheta/S \leq \min\{a\bar{\omega}\delta_2 + p_t\bar{\omega}\delta_3, a\sigma_i\delta_2\} \quad (16)$$

由此可知,只要式(16)成立,那么公平分配算法就能保证撒谎的源服务器与其他诚实的源服务器相比,其长久效用不

能获得额外的增益,反而会受到惩罚。证毕。

4 算法与实现

公平分配算法依据每个源服务器申请量占总申请量的比例来分配缓存,并且通过考虑源服务器的有效历史申请缓存量,重新计算每阶段源服务器的有效缓存申请量,在最大化系统吞吐量的同时保证 CDN 缓存分配的公平性。

4.1 公平分配算法

公平分配算法可描述为:

输入: $M, Num, range1, range2$

初始化: $rata, price$

While(the condition)

allocate:

if($sum_rata < M$)

$o = rata$;

else

$o = a_rata$;

$re_price()$;

end

其中, M 表示的是代理服务器的缓存量, Num 表示源服务器的数量, $the\ condition$ 表示撒谎服务器通过自身计算发现采取撒谎行为反而比诚实申请缓存损失更多。而 $rata$ 表示源服务器的需求, $price$ 则表示每个源服务器对应的价格, sum_rata 表示某一阶段总需求,而 a_rata 则表示本阶段之前所有超载阶段需求的平均值。

re_price 的变化过程依据之前描述的价格机制,其中 k 值表示价格的改变量,可简单描述为:

re_price :

输入: $M, Num, price_t, rata_t$;

计算 $sumrata_t$;

if($sumrata_t < M$)

$price_t + 1 = price_t - k$;

else if($sumrata_t > M$)

$price_t + 1 = price_t + k$;

else

$price_t + 1 = price_t$;

end

4.2 仿真实验

本文通过实验验证所述算法及理论的有效性。首先为验证按照源服务器缓存申请量所占缓存总量的比例分配缓存可得到最优吞吐量,设计了实验 1。

实验 1 为了计算损失量,我们设定 $f(x_i) = \frac{1}{x_i}$,代理服务器总缓存量 $M=100$,实验分别设定源服务器数目为 3、4、5、6、7、8、9 台,同时每台源服务器的缓存需求满足参数为 25 的泊松分布。3 种不同的分配方式分别为:平均分配(对于每个源服务器而言分配所得缓存为 $M/\text{源服务器数目}$)、随机分配(每个源服务器分配所得的缓存数量是随机确定的)以及比例分配方式。

3 种不同分配方式的结果如表 1、图 3 所示。

表 1 3 种不同分配方式的损失量

源服务器数	3	4	5	6	7	8	9
随机分配	55	322.71	364.61	435.3	452.06	647.08	835.88
平均分配	55	114.12	193.45	268.92	265.44	448.16	719.55
比例分配	55	106.09	187.69	256	265.44	441	691

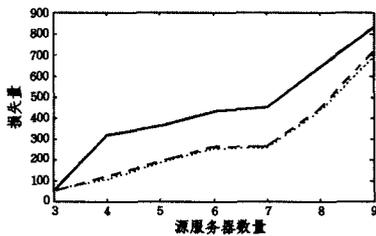


图3 3种不同分配方式损失对比

在图3中,实线表示随机分配所造成的损失量,虚线代表平均分配造成的损失量,而点线则是采取本文分配方式所造成的损失量。从图中可以看出,采取本文分配方式所造成的损失量是最小的。这就意味着,本方法可以实现系统吞吐量的最大化。

为了验证引入价格机制比不引入价格机制有效,设计了实验2。

实验2 5台源服务器竞争一个代理服务器的缓存,其中人为设定前两个会采取撒谎行为而后面3个则不会,代理缓存总量设置为 $M=100$ 。5台源服务器的需求分别满足参数为5、15、20、25、35的泊松分布。我们通过这个实验对比价格机制的有无对需求满足度所造成的影响,实验结果如表2所列。

表2 有/无价格机制对源服务器需求满足度的影响

价格机制	服务器1	服务器2	服务器3	服务器4	服务器5
有	0.9804	0.9804	0.9804	0.9804	0.9804
无	0.9804	0.9804	0.9804	0.9804	0.9804
有	0.7647	0.7647	0.7647	0.7647	0.7647
无	0.7647	0.7647	0.7647	0.7647	0.7647
有	1	1	1	1	1
无	0.7647	0.8462	1.5556	1	0.9688
有	0.7813	0.7813	0.7813	0.7813	0.7813
无	0.9298	0.8186	0.7437	0.7437	0.7437

而对应的图形表示如图4所示。在图4中,实线(有*标记)的是第3个源服务器在无价格机制情况下的需求满足度,而虚线(有0标记)表示的是有价格机制情况下的需求满足度,这里因为算法分配原因,1-5源服务器的需求满足度是相同的。点线(有*标记)表示的是第4源服务器在无价格机制情况下的需求满足度。实线(□标记)表示的是第5个源服务器在无价格机制情况下的需求满足度。实线(有△标记)表示的是第2个源服务器在无价格机制情况下的需求满足度,而实线(有△标记)表示的是第1个源服务器在无价格机制情况下的需求满足度。

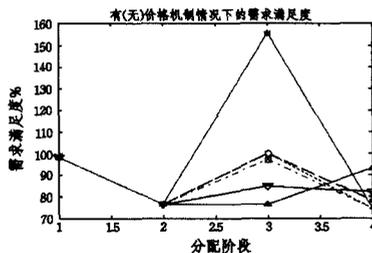


图4 有无价格机制情况下的需求满足度

结合表2和图4,可知引入价格机制可以提高源服务器的需求满足度,并且在某些情况下,还能减少撒谎源服务器的需求满足度。

为了验证公平分配算法对于自私源服务器的撒谎行为处理的有效性,本文设计了实验3。

实验3 实验3的实验条件与实验2相同,为了体现公平分配算法有效性,我们另外采取一种分配模式作对比:在分

配过程中,存在有撒谎行为但不对其进行处理,同时分配方式采取按比例分配模式,这种分配方式我们称为撒谎分配。分配结果如表3、图5所示。

表3 不同分配模式对应撒谎服务器所受到损失

服务器1损失	1阶段	2阶段	3阶段	4阶段	5阶段	6阶段
公平分配	0.43	0.12	2.29	2.59	3.33	2.98
撒谎分配	0.43	0.12	0.31	0.04	0.04	0
服务器2损失	1阶段	2阶段	3阶段	4阶段	5阶段	6阶段
公平分配	1.5	0.17	5.25	3.58	3.69	2.71
撒谎分配	1.5	0.17	1.67	0.16	0.16	0

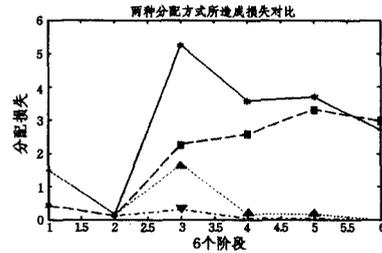


图5 不同分配模式下撒谎服务器损失

在图5中,带*实线为第二台撒谎服务器在公平分配下所造成的损失,带□虚线则是第一台服务器在公平分配模式下所造成的损失。带△虚线是第二台撒谎服务器在撒谎分配模式下所受到的损失,而最下面的带▽虚线表示的则是第一台撒谎服务器在撒谎分配模式下所受到的损失。可以看出,公平算法可以让撒谎的服务器收到更多的损失,从而督促撒谎服务器放弃撒谎行为。

结束语 本文主要对CDN缓存分配中源服务器的自私撒谎行为进行了研究,通过分析了解到服务器撒谎行为的实质,并针对此行为提出了公平分配算法,在进行缓存分配时将源服务器的有效历史申请考虑进去,从而保证自私源服务器比诚实源服务器受到更多的损失。同时公平算法还保证了系统的最优吞吐量,并引入了价格机制来调节源服务器的需求,以得到更高的需求满足度。

但本文研究还存在不足之处:(1)本文并没有涉及到服务器之间的合作行为;(2)本文是把代理服务器当作一个理性的角色来看待的,并没有考虑代理服务器与源服务器之间的竞争;(3)本文目前主要是研究单个代理服务器的情况,而对于多个代理服务器之间的竞争(合作)并没有进行研究。本文存在的不足之处同时也是可进一步研究的切入点,能够对缓存分配存在的问题进行不断完善。

参考文献

- [1] Wang Zhan, Jiang Hai, Sun Yi, et al. A k-coordinated decentralized replica placement algorithm for the ring-based CDN-P2P architecture[C]// 2010 IEEE Symposium on Computers and Communications (ISCC). 2010:811-816
- [2] Chen Jian-bo, Chen Chu-chuan. Using Particle Swarm Optimization Algorithm in Multimedia CDN Content placement[C]// 2012 Fifth International Symposium on Parallel Architectures, Algorithms and Programming (PAAP). 2012:45-51
- [3] 冯翔,刘智满,帅典勋.内容分布网络缓存资源并行分配的博弈粒子场方法[J].计算机学报,2007,30(3):368-379
- [4] Feng Xiang, Lau Francis C M, Shuai Dian-xun. A Novel Game Particle-Field Approach to Parallel Cache Resource Allocation of CDN[J]. Chinese Journal of Computers, 2007, 30(3): 368-379
- [5] 乐光学,李仁发,陈志,等. P2P网络中搭便车行为分析与抑制机制建模[J]. 计算机研究与发展, 2011, 48(3): 382-297

- Yue Guang-xue, Li Ren-fa, Chen Zhi, et al. Analysis of Free-riding Behaviors and Modeling Restrain Mechanisms for Peer-to-Peer Networks[J]. Journal of Computer Research and Development, 2011, 48(3): 382-397
- [5] Tang Ping-zhong, Yoav Shoham, Lin Fang-zhen. Designing competitions between teams of individuals [J]. Artificial Intelligence, 2010, 174(11): 749-766
- [6] Meir R, Procaccia A D, Rosenschein J S. Algorithm for strategy-proof classification[J]. Artificial Intelligence, 2012, 186: 123-156
- [7] Teacy W T L, Luck M, Rogers A, et al. An efficient and versatile approach to trust and reputation using hierarchical Bayesian modelling[J]. Artificial Intelligence, 2012, 193(6): 149-185
- [8] Guo Ming-yu, Conitzer V. Optimal-in-expectation redistribution mechanisms[J]. Artificial Intelligence, 2010, 174(5/6): 363-381
- [9] Kaizoji T. Multiple equilibria and chaos in a discrete tatonnement process[J]. Journal of Economic Behavior & Organization, 2010, 76(3): 597-599
- [10] Kitti M. Convergence of iterative tatonnement without price normalization[J]. Journal of Economic Dynamics & Control, 2010, 34(6): 1077-1091
- [11] Mersch, Danielle P, Crespi A, et al. Tracking individuals shows spatial fidelity is a key regulator of ant social organization[J]. Science 340, 2013(6136): 1090-1093

(上接第 128 页)

此外,通常的模糊综合评判方法在建立评判矩阵时,往往采用专家打分的方法,这就使得建立的评判矩阵带有一定的主观性。而本文提出的综合评判方法只需要利用已知信息建立一个合理的隶属函数,再利用 3 种否定之间的关系和一些简单的修饰子,就可以建立一个完全基于计算的评判矩阵,客观性较强。

结束语 对模糊知识及其否定知识的认识,潘正华指出存在着 3 种不同的否定关系:矛盾否定关系、对立否定关系和中介否定关系,并为此建立了一种带有矛盾否定、对立否定和中介否定的模糊集 FScom。然而 FScom 并没有从哲学层面对模糊性知识中存在的 3 种不同的否定知识的本质特征进行区分和处理,导致 FScom 对否定知识的刻画存在着一些不足。为此,本文提出了广义模糊集 GFScom,它从哲学层面上更好地刻画了模糊性知识及其 3 种不同否定之间的关系。在此基础上,本文给出了基于 GFScom 的模糊综合评判方法,它是一种完全基于计算的模糊综合评判方法,客观性较强。通过应用示例,可以看出 GFScom 对 3 种否定的处理不仅使计算更加简便,而且客观合理。

参 考 文 献

- [1] 汪培庄,李洪兴.知识表示的数学理论[M].天津:天津科学技术出版社,1994
Wang Pei-zhuang, Li Hong-xing. Mathematical theory of knowledge representation[M]. Tianjin: Tianjin Science and Technology Press, 1994
- [2] 谢季坚,刘成平.模糊数学方法及其应用(第三版)[M].武汉:华中科技大学出版社,2006
Xie Ji-jian, Liu Cheng-ping. Fuzzy mathematical methods and its application. the (3rd edition)[M]. Wuhan: Huazhong University of Science and Technology Press, 2006
- [3] 穆成坡,黄厚宽,田盛丰,等.基于模糊综合评判的入侵检测报警信息处理[J].计算机研究与发展,2005,42(10):1679-1685
Mu Cheng-po, Huang Hou-kuan, Tian Sheng-feng, et al. Intrusion-detection alerts processing based on fuzzy comprehensive evaluation[J]. Journal of Computer Research and Development, 2005, 42(10): 1679-1685
- [4] Wagner G. Web rules need two kinds of negation[C]//Bry F, Henze N, Maluszynski J, eds. Principles and Practice of Semantic Web Reasoning, Proc. of the 1st international workshop on Principles and Practice of Semantic Web Reasoning. Heidelberg: Springer Verlag, 2003: 33-50
- [5] Anlyti A, Antoniou G, Damasio C, et al. Negation and Negative Information in the W3C Resource Description Framework[J]. Annals of Mathematics, Computing & Teleinformatics (AM-CT), 2004, 1(2): 25-34
- [6] Ferré S. Negation, Opposition, and Possibility in Logical Concept Analysis[C]//Ganter B, Kwuida L, eds. Formal Concept Analysis: Proc. of the fourth International Conference on Formal Concept Analysis, Heidelberg: Springer Verlag, 2006: 130-145
- [7] Kaneiwa K. Description logics with contraries, contradictories, and subcontraries[J]. New Generation Computing, 2007, 25(4): 443-468
- [8] Pan Zheng-hua, Zhang Sheng-li. Five Kinds of Contradictory Relations and Opposite Relations in Inconsistent Knowledge[C]//Proceedings of IEEE-Fourth International Conference on Fuzzy Systems and Knowledge Discovery (FSKD'07). Haikou, China, 2007: 761-764
- [9] 潘正华.知识中不同否定关系的一种逻辑描述[J].自然科学进展, 2008, 18(12): 1491-1499
Pan Zheng-hua. One logical description of different negative relations in knowledge[J]. Progress in Natural Science, 2008, 18(12): 1491-1499
- [10] Pan Zheng-hua. Fuzzy Set With Three Kinds of Negations in Fuzzy Knowledge Processing[C]//Proceedings of The Ninth International Conference on Machine Learning and Cybernetics. Qingdao, China, 2010: 2730-2735
- [11] 潘正华.模糊知识的 3 种否定及其集合基础[J].计算机学报, 2012, 35(7): 1421-1428
Pan Zheng-hua. Three kinds of fuzzy knowledge and their base of set[J]. Chinese Journal of Computers, 2012, 35(7): 1421-1428
- [12] 张胜礼,潘正华.模糊知识中否定知识处理的一种改进的集合描述[J].山东大学学报(理学版), 2011, 46(5): 103-109
Zhang Sheng-li, Pan Zheng-hua. An improved set description of negative knowledge processing in fuzzy knowledge[J]. Journal of Shandong University (Natural Science), 2011, 46(5): 103-109
- [13] 李永明.模糊系统分析[M].北京:科学出版社, 2005
Li Yong-ming. Analysis of Fuzzy System[M]. Beijing: Science Press, 2005
- [14] 杨磊,潘正华.基于带有 3 种否定的模糊集 FScom 的模糊综合评判[J].计算机工程与科学, 2011, 33(9): 136-140
Yang Lei, Pan Zheng-hua. Fuzzy comprehensive evaluation based on the fuzzy set FScom with three kinds of negations[J]. Computer Engineering and Science, 2011, 33(9): 136-140
- [15] 胡宝清.模糊理论基础(第二版)[M].武汉:武汉大学出版社, 2010
Hu Bao-qing. Fundamentals of Fuzzy Theory(2nd edition)[M]. Wuhan: Wuhan University Press, 2010