

文章编号:1001-9081(2005)12-2919-02

基于经济的网格 cache 接受策略研究

宋凤龙, 刘方爱

(山东师范大学 计算机科学系, 山东 济南 250014)

(longdragen@sohu.com)

摘要:为了减少客户端延迟,又满足本地代理总效益最大的要求,在网格 cache 的接受策略中引入经济模型,对其进行基于经济的优化,以市场经济的方式计算缓存某资源带来的效益变化,解决其中的利益冲突,模拟实验证明了其有效性。

关键词: 网格; cache; 接受策略; 经济模型

中图分类号: TP393.02 **文献标识码:** A

Research on economy-based optimisation of admission policy on a grid cache

SONG Feng-long, LIU Fang-ai

(Department of Computer Science, Shandong Normal University, Jinan Shandong 250014, China)

Abstract: To relax the latency and maximise the income of local storage broker, the economic model was used to optimizing the admission policy on grid cache, and an effective admission policy through computing the value difference when caching an object was proposed, which can solve the income conflict. Test results proved the effectivity of the policy.

Key words: grid; cache; admission policy; economic model

0 引言

网格^[1]要实现动态、分布式的虚拟组织间的资源共享,这种共享强调直接对计算机、软件、数据及其他资源的直接访问,而不是简单的文件交换。而资源在网络中传输时会造成延迟,传输量越大延迟也越大,以及网格中资源能力的不均衡和异构特性给系统造成的瓶颈,都会引起客户端延迟。可见,网络传输是提升网格服务性能的瓶颈,为了缓解网络传输所造成的延迟,提高客户端的响应时间,在网格中引入了 cache 技术。

网格 cache 指存储能力强于本地磁盘弱于主存结点的暂时性存储^[2]。使用 cache 可以减少多个任务使用相同资源时的重复传输,既减少了带宽占用、缓解中央服务器的负载,也降低了异构系统间传输造成的处理开销。

网格 cache 技术是网格系统的一项重要技术,在解决通信瓶颈、提高网格系统性能方面起着重要的作用,采用合适的 cache 策略可以有效地屏蔽客户端延迟。

另一方面,为了量化网格中资源的价值,在网格中引入了经济模型,如文献[3]在数据网格中引入经济模型解决了文件复制策略^[3],文献[4]对数据网格中文件访问和复制进行了基于经济的优化。对于网格中不同的资源,访问代价不同,将访问代价高的资源进行缓存,则减少了再次访问该资源时的二次花费。

网格中存储资源的使用也是有代价的,将本地的存储资源留作他用,还是用作 cache 缓存本地应用所访问的资源,两者之间存在利益冲突。其解决方案依赖于如何使用存储资源获得的收益较大,本文给出了本地存储资源代理的预测方法。

对于网格 cache,目前的讨论都集中在如何设计一个有效

的 cache 替换策略,如文献[5]所作的一系列工作。他们都假定已经确定了某个资源对象需要被缓存,而对于如何确定资源对象是否有必要缓存这一 cache 接受策略问题,却没有明确、有效地解决。

本文在已有的研究基础上,在网格 cache 中引入经济模型,对其接受策略进行了基于经济模型的优化,并提出了较为有效的网格 cache 接受策略,在减少延迟的前提下,使本地的资源访问代价,在长期来看是最小的。

1 磁盘存储资源代理

在基于代理的网格资源管理系统^[6]中,网格资源管理系统由三个层次构成,由底到上依次是资源层、代理层和用户层。其中,资源层是网格系统中的实际物理资源构成的集合;用户层是使用网格的组织或个人组成的集合;而代理层则是资源层与用户层之间联系的纽带,代理层由资源代理、应用代理及信息服务代理等三种代理组成。网格中的每类资源都对应一个全局唯一的资源代理,其功能主要是根据当前该类资源的供求情况,利用市场经济的价格杠杆来动态的调整资源的价格,并和应用代理协商最终的资源分配方案,由资源代理的交互来协调网格中各类资源的有效使用。应用代理对应于每个用户,其主要功能是把用户提交的资源请求解析为具体的资源种类和数量,以便资源代理可以理解,以及负责向信息服务代理发送资源请求;信息服务代理负责网格环境中的信息交换和服务,例如对应用代理和资源代理提供全局的信息服务。

存储资源管理程序(Storage Resource Manager, SRM)可以作为存储资源代理,其主要任务是管理相应存储资源,为用户提供一个访问多种异构存储系统的统一接口,屏蔽存储系统

收稿日期:2005-06-08;修订日期:2005-08-24

基金项目:国家自然科学基金资助项目(60373063);山东省自然科学基金资助项目(Y2002G03)

作者简介:宋凤龙(1980-),男,山东陵县人,硕士研究生,主要研究方向:网络计算、服务网格、并行计算;刘方爱(1962-),男,山东济南人,教授,博士生导师,博士,主要研究方向:分布式处理、并行算法、光互连网络路由算法、网络计算、网络环境下的应用开发技术。

异构的特性,其主要目标是使其磁盘使用的有效性最大^[4]。在网格中,SRM 本质上是中间件,其作用是使共享数据和资源更加灵活。一个 SRM 管理一个大容量的磁盘,用以缓存从 Mass Storage System(MSS)读出或写入 MSS 的对象,其功能是依靠一系列的 cache 策略(如 cache 替换策略、文件缓存策略等)实现的。SRM 在网格中的作用就相当于代理服务器(或反向代理)在 WWW 中的缓存作用^[5]。

SRM 负责确定其存储资源是否用作本地 cache,进而确定是否有必要缓存某个资源对象,目的是使其 cache 空间使用效能最大^[4]。将经济模型引入 cache 策略中,则可描述为 SRM 是否对某类资源对象投资 cache 空间。这取决于对其投资所带来的收益,是否比保持 cache 中原内容而获得的收益大。要设计使收益最大的 cache 接受策略,需首先对资源对象的价值进行定义。

2 资源对象价值标准的推导

2.1 缓存资源的价值标准

在基于经济模型的 cache 接受策略中,网格中的资源相当于市场中的货物,它们被需要访问它们的代理所购买,并且由该代理根据其价值来决定是否对该资源进行本地 cache 空间的,目标是本地代理的收益尽量大。

由于再次访问已缓存的资源 F 时,SRM 会选择在 cache 中命中它,而不再到远程站点访问^[5],因而 cache 中某资源对象 F 在时刻 t_k 的价值,表示为某一段时间内,由于使用资源 F 而带来的代价节省。另外,若考虑到 cache 中某资源的实际物理存储位置,即考虑到传输该资源的特殊代价(如国际流量需要付费等),则资源的价值应该与之在某种程度上成正比。设 p_i 表示 t_i 时刻资源 F 的价格, T_{avg} 是 cache 中对象的平均缓存时间, U 为访问该资源的特殊费用,则对象 F 在时刻 t_k 的价值定义为:在此刻开始的一段时间 T_{avg} 期间,由于使用该对象使本地代理所获得的收益,即本地所节省的花费之和。cache 中资源对象价值的计算可写为方程:

$$V(F, t_k) = (1 - \alpha) \sum_{i=k+1}^{k+n} p_i \delta(F, F_i) + \alpha U \quad (1)$$

其中, δ 是一比较函数,若两个参数相同则返回 1,否则返回 0;且 $t_{k+n} \leq t_k + T_{avg} < t_{k+n+1}$; $0 \leq \alpha \leq 1$,表示访问该资源的特殊费用在该资源的价值总体中所占的比重。

2.2 新资源的价值预测

对于本地应用所访问的新资源,由本地代理来预测该资源的缓存价值。

根据文献[5]对网格作业资源访问的实际观察可知,对于某资源 F_1 访问的作业之间是相互独立、无关的,因而作业对资源 F_1 的需求服从 Poisson 分布。假定时刻 t_k 将资源 F_1 缓存,而在时刻 t 又将该资源对象从 cache 中替换出去,则该对象在 cache 中保存的时间为 $\Delta t = t - t_k (t > t_k)$ 。则在 F_1 平均缓存期间,对该资源的访问概率为:

$$Prob(F_1) = e^{-\Delta t / T_{avg}} \quad (2)$$

由于对新资源的访问次数未知,因此我们采用文献[5]的方法,用过去已知的访问数据来预测。设将要替换出去的资源对象在 T_{avg} 期间被累计访问的次数为 $g(t)$,则在 $[t_k, t_k + T_{avg}]$ 期间,资源 F_1 的被访问次数可以估计为:

$$Prob(F_1) * g(t) \quad (3)$$

设在时刻 t_k 购买新访问资源 F_1 的代价为 $C(F_1, t_k)$,则 F_1 的价值可以预测为:

$$V(F_1, t_k) = \alpha [C(F_1, t_k) + \sum_{i=k+1}^{k+n} C(F_1, t_i) \cdot Prob(F_1) g(t)] + \beta U \quad (4)$$

其中, $t_{k+n} \leq t_k + T_{avg} < t_{k+n+1}$; $0 \leq \alpha, \beta \leq 1$,且 $\alpha + \beta = 1$, α 表示资源的当前价格在总体价值中的比重, β 表示访问该资源的特殊费用在总体价值中所占的比重。

3 基于经济的网格 cache 接受策略

3.1 投资带来的收益变化

若所访问的资源 F_1 未缓存在 cache 中,则本地代理需向远程资源站点购买,由本地的 SRM 计算决定是否缓存该资源。

由于 cache 空间是有限的,因此缓存一个新的资源对象可能意味着替换某些已有的缓存对象(如 F),则在时刻 t ,由于缓存 F_1 而带来的收益变化为:

$$\Delta P(t) = \frac{\Delta t}{T_{avg}} \cdot \Delta V - C(F_1, t_k) \quad (5)$$

$$\text{其中, } \Delta V = V(F_1, t_k) - V(F, t_k)$$

只有当 $\Delta P(t) > 0$ 时,SRM 才会决定将新资源缓存到 cache 中,即只有对新资源的投资能够产生正的效益时,才会对其进行投资。

3.2 投资产生正收益的概率计算

在(5)式中,由 $\Delta P(t) > 0$ 可以得到:

$$\frac{\Delta t}{T_{avg}} > \frac{C}{\Delta V} \quad (6)$$

另外,根据文献[4]的实际观察,以及网格中对资源访问的相互独立性和无关性,可得本地代理对某个资源对象进行 cache 空间投资的时间服从 Poisson 分布,即指数分布。另一方面,只要所访问的资源已缓存到 cache 中,就可以节省访问代价,因而对一种资源投资能够使收益产生正变化的概率,与它在 cache 中存在的时间成正比,因而为某资源投资 cache 空间使收益产生正变化的概率为:

$$Prob = e^{-\Delta t / T_{avg}} \quad (7)$$

将(6)式的关系代入(7)式中,可以得到:

$$Prob < e^{-C / \Delta V} \quad (8)$$

(8)式说明了为某资源投资 cache 空间,所能得到的收益为正的的概率小于 $e^{-C / \Delta V}$ 的值。

3.3 基于经济的网格 cache 接受策略

根据实际情况,本地代理预先为使收益产生正变化的概率定义一个阈值 P_0 。本地代理对新访问的资源,计算 $e^{-C / \Delta V}$,若满足 $e^{-C / \Delta V} \geq P_0$,则表示为该资源投资 cache 空间,所能达到的收益为正的的概率较大,因而进行缓存;相反,若有 $e^{-C / \Delta V} < P_0$,则不进行缓存。

3.4 分析与评测

对一个 cache 算法的性能进行衡量要考虑算法本身的效率和算法需要的成本^[2]。算法的效率由延迟、命中率、空间利用率等反映。其中,查找速度是影响延迟的关键因素,而目录和系统结构的设计直接影响到查找的速度;命中率主要是和算法的设计有关,但一定程度上也受 cache 空间和缓存粒度的影响;成本则主要反映在算法占用的带宽和 CPU 时间上。

(下转第 2930 页)

表 1 8 位测试者分别读 10 个句子的评分结果表

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
A	60.55	62.22	73.07	67.45	66.08	61.88	59.70	55.83	78.22	74.11
B	33.73	57.52	55.90	60.38	65.67	55.92	32.31	48.88	56.08	56.06
C	51.87	78.27	63.24	75.58	80.05	73.08	53.31	77.25	71.19	74.69
D	49.82	24.02	52.77	53.48	60.37	59.93	47.27	39.60	45.70	58.64
E	54.13	76.94	57.72	57.30	72.35	60.61	60.74	58.02	68.48	60.50
F	26.65	42.58	53.08	67.37	67.48	47.30	41.27	67.75	69.75	62.93
G	54.83	59.89	53.18	67.13	67.11	53.28	42.73	62.11	60.25	67.74
H	62.28	81.95	52.15	65.67	77.51	59.91	43.28	51.32	68.96	71.00

评分结果作为一种反馈信息,反映出输入的朗读语音与参考标准语音在语调韵律上的相似性,该结果比较符合人的主观感觉。由于评分是基于参考标准语音的比较,为了提高评分的质量,需要把朗读质量较好的语音作为参考标准语音。

与音素评分算法相比,本文算法的特点不仅是不仅对语音内容的准确性作出评价,而且还考虑了朗读过程中的韵律变化因素,从整体的角度去评价句子朗读质量的好坏。因为不需要繁重的语音模型训练运算和预存模型特征库,所以节省了

(上接第 2920 页)

在局域网环境中建立测试系统原型,其中一台作为中央服务器运行信息服务代理,在中央服务器上定义虚拟资源的目录,动态调整每种资源的特殊访问代价 U , 并且动态定义这些资源的价格,即在某个范围内随机变化资源的价格;在其他各个客户端上运行应用程序,随机访问虚拟资源,并计算访问所花费的总代价;在各个客户端上运行存储资源代理程序,将本地磁盘作为 cache,根据 cache 中缓存资源的使用频度预测其价值,以 $e^{-C\Delta V}$ 的值与阈值 P_0 来决定是否缓存新资源,并统计本地访问资源的命中率。

在该系统上运用最近最久未使用 cache 替换策略,分别使用传统的 cache 接受策略与本文的基于经济的优化策略,运行 5 次,每次持续运行 24 小时,则两种情况下 5 次访问的命中率如表 1 所示。

表 1 不同接受策略下的 cache 命中率比较

	不同访问次数下的命中率 (%)				
	1	2	3	4	5
non-elec	36	34	38	37	39
elec	34	35	33	34	36

由表 1 可知,平均命中率的变化不明显,相比之下,客户端访问资源的花费却有相当大的变化,5 次访问的平均花费比较如表 2 所示。

表 2 不同接受策略下的资源访问花费比较

	不同访问次数的平均花费/元				
	1	2	3	4	5
non-elec	135.1	127.4	131.3	129.7	131.8
elec	97.7	103.2	102.6	104.0	99.8

由模拟结果可知,对网格 cache 接受策略进行基于经济的优化,可以在平均命中率无明显变化的情况下,使访问代价大幅度的降低,这对于对价格敏感的用户非常有利。

本文所讨论的网格 cache 的接受策略,根据市场中的经济理论对所使用资源的价值进行评估,其价值主要是根据资源的价格和使用频度的综合考虑,在资源的预测价值基础之

存储空间和运行时间。这对在嵌入式系统上实现评分功能是一种可行的解决方案。

参考文献:

- [1] NEUMEYER L, FRANCO H, WEINTRAUB M, *et al.* Automatic Text-Independent Pronunciation Scoring of Foreign Language Student Speech [A]. Fourth International Conference on Spoken Language Proceedings, ICSLP 96 [C]. 1996, vol 3. 1457 - 1460.
- [2] YORAM M, HIROSE K. Language training system utilizing speech modification [A]. Fourth International Conference on Spoken Language Proceedings, ICSLP 96 [C]. 1996, vol 3. 1449 - 1452.
- [3] THOMAS F. Quatieri, Discrete-Time Speech Signal Processing: Principles and Practice [M]. 北京: 电子工业出版社, 2004.
- [4] CHEN JC, LO JL, JANG JSR. Computer assisted spoken English learning for Chinese in Taiwan [A]. International Symposium on Chinese Spoken Language Processing [C]. 2004. 337 - 340.
- [5] 李俊毅. 语音评分 [D]. 台湾清华大学硕士论文, 2002.

上尽量减小访问延迟。该策略只是涉及到简单的计算,其本身的成本较低。

4 结语

对网格 cache 接受策略进行了讨论,并引入了经济模型,其目标是在访问延迟无明显降低的情况下,使本地代理以尽量小的代价完成所需要的资源请求。首先对存储资源代理进行简单阐释,进而定义如何对资源对象的价值进行评价,最后说明本地存储资源代理对应用所访问的资源进行价值评价,并确定是否缓存的网格 cache 接受策略。

本文的网格 cache 接受策略,主要是从用户的利益角度出发,使用户执行网格任务所花费的代价尽量小,是在使用 cache 的收益角度来提高 cache 的命中率,而不仅仅是从 cache 的内容方面。

参考文献:

- [1] FOSTER I, KESSELMAN C, TUECKE S. The Anatomy of the Grid: Enabling Scalable Virtual Organizations [J]. International Journal of Supercomputer Applications, 2001, 15(3): 1 - 10.
- [2] 陈梅, 都志辉. 网格 Cache 若干问题分析 [J]. 计算机科学, 2004, 31(5): 15 - 17.
- [3] BELL WH, GAMERON DG, CARVAJAL-SCHIAFFINO R, *et al.* Evaluation of an Economy-Based File Replication Strategy for a Data Grid [A]. Proceedings of the 3rd IEEE/ACM International Symposium on Cluster Computing and the Grid (CCGRID'03) [C]. Tokyo, Japan. 2003.
- [4] CARMAN M, ZINI F, SERAFINI L, *et al.* Towards an Economy-Based Optimisation of File Access and Replication on a Data Grid [A]. Proceedings of the 2nd IEEE/ACM International Symposium on Cluster Computing and the Grid (CCGRID'02) [C]. Berlin, Germany. 2002.
- [5] OTOO E, SHOSHANI A. Accurate Modeling of Cache Replacement Policies in a Data Grid [A]. Proceedings of the 20th IEEE/11th NASA Goddard Conference on Mass Storage Systems and Technologies (MSS'03) [C]. San Diego, California. 2003.
- [6] 曹鸿强, 肖依, 卢锡城, 等. 一种基于市场机制的计算网格资源分配方法 [J]. 计算机研究与发展, 2002, 39(8): 913 - 916.