

一种基于经济模型的数据复制收入预测函数

闫晓东¹, 徐惠民²

(1. 中央民族大学数学与计算机学院 北京 海淀区 100081; 2. 北京邮电大学电信工程学院 北京 海淀区 100876)

【摘要】提出了新的基于齐普夫分布和二项式分布相结合的预测函数,同时考虑了文件的序列相关性和地理位置相关性(基于二项式和齐普夫分布)。实验数据显示该方法能有效地提高网格环境下,网格任务访问数据的效率和最大吞吐量,预测效果优于文献[2]中的预测函数。

关键词 数据网格; 数据复制; 价值预测; 齐普夫分布
中图分类号 TP393 文献标识码 A

A Novel Revenue Prediction Function for Economically-Effective File Replication

YAN Xiao-dong¹, XU Hui-min²

(1. School of Mathematics and Computer, Center University for Nationalities Haidian Beijing 100081;

2. School of Telecommunications Engineering, Beijing University of Posts and Telecommunications Haidian Beijing 100876)

Abstract In this paper, a new prediction function based on Zipf and Binomial distribution is proposed, which considers both the sequence relation and geographic sequence. The novel algorithm improves the efficiency of file access and the throughput of grid. It turns out that, over the performed tests, the novel algorithm predicts the simulated values better than the prediction function in Ref [2].

Key words data grid; data replica; value prediction; Zipf distribution

网格计算解决了目前国际科学研究项目对大规模计算和海量数据的处理需求。数据网格是网格技术在数据管理方面的应用和实现,实现了海量数据的共享、访问和处理。数据网格中的复制管理部分为用户应用提供一个能够快速访问、处理远程数据的局部缓冲数据副本,避免大量数据远程传输到应用端,提高数据访问效率和容错性能。为了有效提高数据网格环境下、网格作业执行过程中数据访问的效率,应对数据分布和复制的优化,文献[1]提出了基于经济模型的数据网格环境下数据复制优化服务。模型中主要的两个元素是计算单元(Compute Element, CE)和存储代理(Storage Broker, SB)。计算单元为正在该站点执行的网格任务获得数据,与该站点的存储代理一起通过特定的拍卖协议,购买到最便宜的副本。存储代理通过将数据卖给其他存储代理或计算单元来获得最大收入。在经济模型中数据文件的可用性(价值)正比于SB从其获得的收入,复制之前SB必须确定复制文件到本站点是否有价值,即对文件将来的价值给出预测。另一方面由

于网格站点的存储空间有限,所以存储空间不够时要删除文件。因此,SB又必须采用不同的策略标准对文件将来的价值进行预测,然后做出删除的决定。预测函数能基于数据文件的历史价值预测将来的价值,能有效地应用于SB的策略。

文献[2]定义了两种预测函数(基于高斯和二项分布),并且做了实验评估。两种预测函数都是考虑了访问文件的序列相关性。本文基于齐普夫分布和二项分布相结合的方式提出了一种新的预测函数,同时考虑了文件的序列相关性和地理位置相关性(基于二项和齐普夫分布),并且将其与文献[2]中的预测函数进行了实验数据的对比,结果表明预测效果优于文献[2]中的方法。

1 文件访问过程

在网格任务执行期间,SB会收到来自CE或其他SB的一系列的文件请求。为了做预测,本文研究两种重要的文件请求过程:(1)地理位置相关性(相同文件的访问请求集中在一个地区);(2)序列相关性

(包含相似数据的访问集中在一个时间段)。并对到达的序列做以下假设^[3-4]：

(1) 文件请求的到达满足指数分布

像许多排队论中研究的现象一样，本文设定两个连续文件请求的到达时间间隔是独立随机变量，并且满足参数为 τ 的指数分布。设在时刻 t_0 到达，在每个文件请求到达后，在时间间隔 $t-t_0$ 内一个新请求的到达概率为：

$$\phi(t) = 1 - e^{-\tau(t-t_0)} \quad (1)$$

式中 参数 τ 为单位时间内请求的到达次数。

(2) 文件的序列相关性

本文设定文件的请求是序列相关的，即给定一个文件请求，下一个文件请求和此文件请求可能具有相似的内容。设根据文件的内容相似性所定义的文件名空间为 $\{F\}$ ，实际文件名空间为 $\{f\}$ ，若设文件名是正整数，则会存在以下映射关系，两个文件名 f_1 和 f_2 的距离越近，即 $|f_2 - f_1|$ 的值越小，文件 F_1 与 F_2 在内容上的联系就越紧密。

(3) 文件的地理位置相关性

本文设定文件的请求是地理位置相关的。两个文件名 f_1 和 f_2 的距离越近，即 $|f_2 - f_1|$ 的值越小，文件 F_1 与 F_2 所在的地理位置就越接近。

根据以上的假设可推断，文件的请求是在文件命名空间内的一个随机游动。游动开始于 f_0 ，然后加上随机游动的步长 $s_i (i > 0)$ 。每个静态步长都是一个独立随机变量，可以假定处于范围 $[-S, +S]$ ， $2S$ 是两个连续文件请求的最大距离。

2 定义预测函数

文献[2]提出了建立在二项和正态分布上的两个预测函数。本文用齐普夫分布函数来预测文件将来的价值，并与二项分布相结合形成一个混合模型的预测函数。其中前一部分考虑文件的序列相关性，后一部分考虑文件的地理位置相关性，根据需要可以对两种分布对整个函数的影响大小作调整。函数定义如下：

2.1 基于齐普夫分布的预测函数

近来的研究表明，网页的点击率不同程度上满足齐普夫分布^[5]，可用齐普夫分布作为文件未来收入的预测函数。文献[2]定义的函数 $E[V(f, k, n), r]$ 用来计算收入值，对所考虑的时间段内文件的访问次数做预测，其中， r 代表对文件 f 访问次数的估计值建立在对前 r 个文件进行分析的基础上。函数 $V(f, k, n)$ 为文件 f 计算收入值，考虑从时刻 t_k 开始以后的 n 个文

件请求，有：

$$V(f, k, n) = \sum_{i=k}^{k+n} \delta(f, f_i) \quad (2)$$

本文为随机游动中两个连续文件请求之间的静态步长 s 选择特殊的分布，选择 zipf 分布(设其分布指数为 1)， s 取值范围为 $[-S, S]$ ，并假定若文件被访问，则下一个文件请求仍然是该文件的概率为 $1/2$ 。 s 的分布情况及平均值和标准差为^[6]：

$$\begin{cases} p(s) = c/|s| & s \neq 0 \\ p(s) = 1/2 & s = 0 \end{cases} \Rightarrow \bar{s} = 0, \quad \delta_s = \sqrt{S+1}$$

如图 1 所示， $S=3$ ，则 $2 * c(1+1/2 + \dots + 1/S) + 1/2 = 1 \Rightarrow c = 3/22$ ， $p(-3) = p(+3) = 1/22$ ， $p(-2) = p(+2) = 3/44$ ， $p(-1) = p(+1) = 3/22$ ， $p(0) = 1/2$ 。每个 f_i 代表随机游动从初始文件 f_0 开始，经过 i 步到达文件 f 。

$$f_i = f_0 + \sum_{j=1}^i s_j \Rightarrow \bar{f} = f_0 \quad \delta_f = \sqrt{i(S+1)}$$

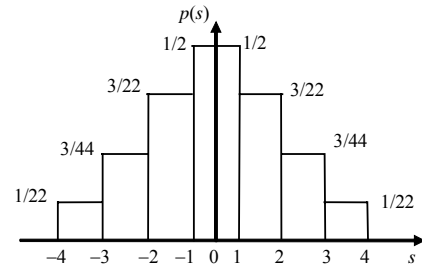


图1 中心为0， $S=3$ 的齐普夫分布

每个 s_j 都是满足对称齐普夫分布的独立随机变量。不同的步长获得文件请求的概率 $p(f)$ 为：

$$\begin{aligned} p_1(f) &= 1/|f - f_0| \quad |f - f_0| \leq S \\ p_2(f) &= \sum_{j=-s, j \neq 0}^s p_1(f_j) (1/|f - f_j|) = \\ &= \sum_{j=-s, j \neq 0}^s (1/|f - f_j|) (1/|f_j - f_0|) \\ &= \sum_{j=-s, j \neq 0}^s 1/|f - f_0| \quad 2S \\ p_3(f) &= \sum_{j=-2s, j \neq 0}^{2s} p_2(f_j) (1/|f - f_j|) \\ &= \sum_{j=-2s, j \neq 0}^{2s} 1/|f - f_0| \quad 3S \\ p_n(f) &= \sum_{j=-(n-1)s, j \neq 0}^{(n-1)s} p_{n-1}(f_j) (1/|f - f_j|) \\ &= \sum_{j=-(n-1)s, j \neq 0}^{(n-1)s} 1/|f - f_0| \quad nS \end{aligned} \quad (3)$$

所以有：

$$E[V(f, k, n), r] = \sum_{i=1}^n p_i(f) \quad (4)$$

下面给出 n 和 S 的定义：

(1) n ：首先需确定估计建立在对前 T' 时间段的观察值基础上， T 是将来要预测的时间段， r 是在过去的 T' 时间段内文件的访问次数。设文件的到达率

是不变的,有:

$$n = rT/T' \quad (5)$$

如果 $T = T'$, 则 $n = r$ 。

(2) S : 在对前一时间段数据进行分析的基础上, 能对将来的 S 作出估计。对于每个 j 从 $1 \sim r$, 变量 f_{-j} 的方差为 $j(S+1)$, 而对此方差的最佳估计为 $(f_0 - f_{-j})^2$, 则有 $j(S+1) = (f_0 - f_{-j})^2$, 再取平均, 可获得对 S 的估计值为:

$$S = \frac{1}{r} \sum_{j=1}^r \frac{(f_0 - f_{-j})^2}{j} - 1 \quad (6)$$

2.2 基于混合模型的预测函数

文件的请求既存在序列相关性, 也存在地理位置相关性, 所以可以定义一种由两种预测函数(二项分布和齐普夫分布)相结合而构成的函数为:

$$E[V(f, k, n), r] = c_1 E_1[V(f, k, n), r] + c_2 E_2[V(f, k, n), r] \quad (7)$$

式中 c_1 、 c_2 为系数; $E_1[V(f, k, n), r]$ 为考虑序列相关性而获得的预测函数; $E_2[V(f, k, n), r]$ 为考虑地理位置相关性而获得的预测函数。 $c_1=0$ 时只考虑序列相关性; $c_2=0$ 时只考虑地理位置相关性。否则, 根据系数 c_1 、 c_2 取二函数的平均值。

3 基本试验及结果

本文对式(4)和式(7)定义的预测函数做了实验。为了完成实验, 首先按网络数据特性产生了一些文件请求, 文件标识(Identifier, ID)处于整数范围[1,20]的1 000个文件请求(称为信号的真值)。

在给定的文件请求中取某个文件位置, 计算其分别在式(4)、(7)中的 $E[V(f, k, n), r]$ 。 $E_1[V(f, k, n), r]$ 基于齐普夫分布, 而 $E_2[V(f, k, n), r]$ 基于二项分布。它们给出了文件 f 在将来时间段内访问次数的预测值, 然后计算该时间段的真实访问次数, 反复对所选的时间段数据做此试验, 可以得到一些对这些函数的定性评估。

通过真实值和预测值的对比可知, 基于齐普夫分布预测函数优于基于二项分布的预测函数。基于混合模型的预测函数既考虑序列相关性, 又考虑地理位置相关性, 所以在有些网格场景中, 此方法优于其他方法。

4 结束语

进一步的研究工作需要自行设计一个模拟器, 模拟具有一定数量任务和站点的网格环境, 任务的执行需要对存在站点中的数据进行访问, 而数据的获得可以本地复制, 也可以到远程站点获取。复制时采用的策略及预测函数也有多种选择, 通过模拟器的模拟工作, 能再现网格的真实环境, 对策略及预测函数性能的好坏评价更为标准。

参 考 文 献

- [1] CARMAN M, ZINI F, SERAFINI L, et al. Towards an economy-based optimisation of file access and replication on a data grid[C]//Proc. of 2nd IEEE/ACM Int. Symposium on Cluster Computing and the Grid (CCGrid'2002), Berlin, 2002: 340-345.
- [2] CAPOZZA L, STOCKINGER K, ZINI F. Preliminary evaluation of revenue prediction functions for economically effective file replication[R]. Technical report, Data Grid-02-TED-020724, CERN, Geneva, Switzerland, 2002.
- [3] BELL W H, CAMERON D G, CARVAJAL R, et al. Evaluation of an economy-based file replication strategy for a data grid[C]//On Cluster Computing and the Grid (CCCG 2003), Tokyo, Japan, IEEE CS Press, 2003: 661-668.
- [4] BELL W H, CAMERON D G, CAPOZZA L, et al. Simulation of dynamic grid replication strategies in optosim[J]. Int. Journal of High Performance Computing Applications, 2003, 17(4): 46-57.
- [5] BERNARDO A H, PETER L T P, JAMES E, et al. Strong regularities in world wide web surfing[J]. Science, 1998, 280(4): 96-97.
- [6] 陆大陆. 随机过程及其应用[M]. 北京: 清华大学出版社, 1986.

编辑 黄 莘