

远程教育中资源副本创建时机决策机制

李 静

LI Jing

重庆教育学院 计算机与现代教育技术系, 重庆 400067

Department of Computer and Modern Education Technology, Chongqing Education College, Chongqing 400067, China

E-mail: li_jing1@163.com

LI Jing. Decision mechanism of replication creation opportune moment in long-distance education. *Computer Engineering and Applications*, 2009, 45(5): 236-238.

Abstract: Long-distance education based on Data Grid provides geographically distributed education resources. However, ensuring efficient and fast access to such huge and widely distributed resources is hindered by the high latencies of the Internet. Replication is adopted to address these problems. Aiming at replica creation, a model to decide replica creation opportune moment is introduced, which is based on queuing theory. Through statistical record of the arrival rate of uses, service period, and replicas already created, calculating length of queue, waiting duration time, busy period, service strength and so on, a reasonable creation opportune moment of replica can be obtained.

Key words: long-distance education; data grid; replication; queuing theory

摘 要: 基于数据网格的远程教育提供了地理分布的大量共享教育资源, 然而互联网的高访问延迟降低了资源访问的效率。副本创建是一种提高访问效率的有效方法。提出了一种基于排队论的副本创建时机决策模型, 通过统计记录系统中用户请求到达的时间、任务服务的时间、副本已创建数等, 计算排队系统队长、逗留时间、等候时间、忙期、服务强度及系统的瞬时状态等, 由此得出一个比较合理的副本创建时机。

关键词: 远程教育; 数据网格; 副本; 排队论

DOI: 10.3778/j.issn.1002-8331.2009.05.069 文章编号: 1002-8331(2009)05-0236-03 文献标识码: A 中图分类号: TP393

1 引言

数据网格的发展使远程教育在技术、模式和理念等方面产生一场深刻的革命。将远程教育建立在数据网格之上需要解决大量技术问题。数据网格^[1]通过将地理分布的节点相联, 在不可靠和动态的底层网络环境中提供稳定、低代价、高性能的数据服务。在数据网络上, 远程教育的服务质量如何得到保证具有重要意义。副本服务是一个有效的方法, 它是通过创建同一个教育资源的多个副本, 并通过网络分布到另外一个或者多个地理位置不同的系统中, 来提高资源的可用性并且可以提高整个网格的有效性和资源的使用效率。使用副本策略具有减少存取延迟, 减小带宽占用, 均衡网格负载, 提高资源的可用性等优点^[2]。

副本创建策略通常需要考虑副本创建的位置、副本创建的粒度、副本创建和撤消的时机。本文主要研究副本创建的时机。副本创建的时机是指什么时候创建副本。副本服务的特点是用户请求流量不稳定, 由于用户请求到达时间和处理请求所需时间的随机性, 可控性小, 在合理安排副本方面存在一定的困难。当副本量不足时, 常出现用户等待时间延长, 用户满意度下降, 造成服务质量降低的不良影响。由于数据资源是有限的, 而用

户的数量理论上是无限的, 排队几乎不可避免; 而如果系统盲目增加副本, 则会造成不必要的空闲, 形成资源浪费, 这就形成一对矛盾。如何在两者之间取得平衡, 选择合理的副本创建时机, 使用户请求等待的时间尽可能减少, 以便提高服务质量, 降低服务费用, 是一个值得研究的问题。

2 相关工作

一般副本创建策略中对副本创建时机的选择都基本相同, 即某个副本发现其在一定时间段内被请求的次数超过特定阈值, 就触发副本创建服务。

在采用最佳用户副本创建策略^[3]的数据网格系统中, 每个网格节点对其所存储的每个物理文件都维护着一张详细的访问历史信息表。表中记录着该物理文件所接收到访问请求的信息, 包括请求的次数以及发出请求的网格节点等。网格节点按照一定的周期检查副本节点上每个物理文件的访问历史信息表, 以确认是否存在对某个物理文件的请求次数超过预定阈值的情形。若存在, 则根据信息表中的访问历史记录选出对该物理文件发出访问请求最多的网格节点, 将该网格节点设为该物理文件的“最佳用户”, 并将该物理文件复制到“最佳用户”节点

基金项目: 重庆市教育委员会 2007 年科学技术研究项目 (No. KJ071503)。

作者简介: 李静 (1974-), 女, 博士生, 讲师, 研究方向为网格和网络安全等。

收稿日期: 2008-01-07 修回日期: 2008-03-26

上。在复制操作结束后,清空网格节点上该物理文件对应的历史信息表中的访问历史记录,并重新开始统计。文献[4]提出针对低端网格的一种基于存储联盟的双层动态副本创建策略,只关注在一定时间段内被访问次数超过特定阈值的副本,而阈值的具体值与网络的拥塞状况以及用户的访问模式等有很大关系,可在运行时刻动态调整。还有其他一些副本创建策略^[5-6]并未考虑创建时机问题。

这种用一个周期内的访问次数来决定副本创建时机的方法都是事后调整,难以动态地有预见性地表现用户的需求状态并及时满足用户需求。本文提出用排队论^[7]的方法来解决副本创建时机的问题。

3 副本服务过程模型

3.1 基本结构和假设

副本服务系统的基本结构由4个部分构成:输入、服务时间、服务台和排队规则。

(1)输入是指不同类型的用户请求以各种规律来到,请求的总体可以是无限的,可以是有限的;可以单个或成批到来;相继到达的间隔时间可以是确定的或随机的;请求的到来可以是相互独立或有关联的;到来的过程可以是平稳的,也可是非平稳的。

(2)服务时间是指接受服务的时间。用户接受服务的时间是随机的,其规律通过概率分布描述,由于一般排队系统的服务时间往往服从负指数分布,每个用户请求接受服务的时间是独立同分布的,其分布函数为:

$$B(t)=1-e^{-\mu t}(t \geq 0)$$

其中, μ 代表单位时间的平均服务率, $1/\mu$ 则是平均服务时间。

(3)服务台即创建多少副本来接纳用户请求,其主要属性是副本的个数。

(4)排队规则即按照某种一定的次序接受服务。一般分为三类:损失制、等待制、混合制。

损失制:用户请求到达时,所有副本都没有空闲,该用户不愿等待,就随即从排队系统消失。

等待制:用户请求到达时,如果所有副本都没有空闲,他们就排队等待。等待服务的次序又有各种不同的规矩,先到先服务,或后到先服务,如优先级高的任务等。

混合制:既有等待又有损失的情况,如用户等待时考虑排队的队长、等待时间的长短等因素而决定去留。

为建立数学模型,做出如下假设:

假设 1 对输入过程,假设用户源是无限的,请求单个到来且相互独立,一定时间的到达数服从泊松分布,到达过程已是平稳的(到达间隔时间及期望值、方差均不受时间影响)。

目前排队系统应用最广泛的是泊松(Poisson)输入,所谓泊松输入,即满足4个条件的输入:(1)平稳性。在某一时间区间内到达的请求数的概率,只与这段时间的长度有关;(2)无后效性。不相交的时间区间内到达的请求数是相互独立的;(3)普通性。在同时间点上到达最多1个请求,不存在同时到达2个以上请求的情况;(4)有限性。在有限的时间区间内只能到达有限个用户请求,不可能有无限个请求到达。

因为上述条件与副本服务是基本符合的,所以作出此假设。

假设 2 各个副本串行处理服务请求;多个副本独立工作,其平均服务率相同;各用户的服务时间是相互独立的,服从相

同的负指数分布;用户请求到达间隔时间和服务时间是相互独立的。

3.2 主要数量指标

评价和优化排队系统,需要通过一定的数量指标来反映,建立排队系统模型的主要数量指标有3个:等待时间、忙期与队长。

需要指出的是,“平均”是指概率论中的数学期望,这是一种习惯用法。由于可以认为各个副本是没有系统差异的,从而多个服务台可以在单个的基础上进行换算,这样计算和讨论可以方便很多。

设在任意时刻 t 系统中有 n 个用户请求的概率 $P_n(t)$ 。当系统达到稳定状态后, $P_n(t)$ 趋于平衡 P_n 且与 t 无关。此时称系统处于统计平衡状态,并称 P_n 为统计平衡状态下的稳态概率。

$$P_n=(1-\rho)\rho^n, n=0, 1, 2, \dots$$

(1)平均到达率与平均服务率

平均到达率(λ)表示单位时间平均到达的用户请求数;平均服务率(μ)表示单位时间能被服务完的请求数(期望值),而 $1/\mu$ 就表示一个请求的平均服务时间。

上述这两个参数都需要实测的数据经过统计学检验来确定,目前,可以通过所编制的软件系统来获得数据进行计算和检验。

服务强度 ρ 为有效的平均到达率 λ 与平均服务率 μ 之比:即 $\rho=\lambda/\mu(0<\rho<1)$,它是相同时间区间内用户请求到达的期望值与能被服务的期望值之比,这个比是描述服务效率和服务机构利用程度的重要标志。

(2)平均队长

平均队长(L_s)指系统中的请求数(包括排队等候的和正在接受服务的所有用户请求),若不考虑接受服务的请求,则将系统中排队等待服务的请求数称为队列长(L_q),一般情形, L_s (或 L_q)越大,说明服务率越低。

$$L_s = \sum_{n=1}^{\infty} n P_n = \frac{\rho}{1-\rho} = \frac{\lambda}{\mu-\lambda}$$

$$L_q = \sum_{n=1}^{\infty} (n-1) P_n = L_s - \rho = \rho L_s$$

(3)平均等待时间与平均逗留时间

平均等待时间(W_q)指一个用户请求在系统中排队等待的时间,是用户请求从到达系统时起到开始接受服务时止这一段的时间,显然用户希望等待时间越短越好。

平均逗留时间(W_s)指用户请求在系统中的停留时间(包括等待时间和服务时间)。

$$W_q = W_s - \frac{1}{\mu} = \frac{L_q}{\lambda} \quad W_s = \frac{1}{\mu-\lambda} = \frac{L_s}{\lambda}$$

(4)忙期

忙期指服务台连续繁忙的时间长度。该指标反映服务台的工作强度和利用程度,用 B 表示忙期的平均长度。与忙期相应的是闲期,闲期是指服务台一直空闲的时间长度,用 l 表示闲期的平均长度。

$$l = \frac{1}{\lambda} \quad B = L_s * l = \frac{\lambda}{\mu-\lambda} * \frac{1}{\lambda} = \frac{1}{\mu-\lambda}$$

3.3 多副本服务模型

假定有 C 个副本,各服务台独立工作,其平均服务率相同,即 $\mu_1=\mu_2=\dots=\mu_c=\mu$,因此该系统的平均服务率为 $C\mu$ 。则在统计

平衡状态下,服务强度: $\rho = \frac{\lambda}{C\mu} < 1$ 。

此时,系统的稳态概率为:

$$P_0 = \left[\sum_{k=0}^{C-1} \frac{1}{k!} \left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^k + \frac{1}{C!} \left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^C \frac{C\mu}{\mu-\lambda} \right]^{-1}$$

$$P_n = \begin{cases} \frac{1}{n!} \left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^n P_0, n \leq C \\ \frac{1}{C!} \frac{C^{n-C}}{C^{n-C}} \left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^n P_0, n > C \end{cases}$$

$$(1) \text{平均队列长 } L_q: L_q = \sum_{n=C+1}^{\infty} (n-C) P_n = \frac{(C\rho)^C}{C! (1-\rho)^2} \rho P_0$$

$$(2) \text{平均队长 } L_s: L_s = L_q + C\rho$$

$$(3) \text{用户请求在系统中平均逗留时间 } W_s: W_s = \frac{L_s}{\lambda}$$

$$(4) \text{用户请求在队列中平均等待时间 } W_q: W_q = \frac{L_q}{\lambda}$$

一般来说,用户请求在队列中的平均等待时间会在很大程度上影响用户的去留,所以对 W_q 给出一个预定阈值 T ,一旦超过,即触发副本创建服务。

3.4 模型的优化设计

模型的优化设计主要是估计最优副本数 C 和单位时间服务用户请求数的能力。

(1) 在模型中最优的副本数 C 的估算

稳态情况下,单位时间全部费用的期望值为:

$$z = c_1 C + c_2 L_s$$

其中, c_1 表示每个副本单位时间成本,按经验取常数。 c_2 表示每个用户请求在系统停留单位时间的费用。 L_s 为系统平均队长,即用用户请求平均数(随 C 值的不同而不同),则

$$L_s(C^*) - L_s(C^*+1) < c_1/c_2 < L_s(C^*-1) - L_s(C^*)$$

依次求 $C=1, 2, 3, \dots$ 的 L_s 值,由于 c_1/c_2 是已知数,根据这个数落到哪个不等式区间就可确定 C^* 。

(2) 求最优化服务率

目标函数 z 为副本单位时间成本与用户请求在系统逗留费用之和,要求 z 的期望值最小:

$$z = c_s \mu + c_2 L_s$$

其中, μ 表示单位时间内被服务完的用户请求数; c_s 表示当 $\mu=1$ 时,副本服务单位时间费用,取常数; c_2 表示每个用户请求在系统中停留单位时间费用; L_s 表示系统中平均队长。求得:

$$\mu^* = \lambda + \sqrt{\frac{c_2 * \lambda}{c_s}}$$

4 仿真实验

仿真环境的网格节点利用 PLOD^[8]算法生成网络拓扑,参数设为 $\alpha=1.0$,节点度均值为 7,用于模拟具有 power-law 特征的网络。网格节点从 50 到 300 个变化,每节点平均 3 min 发出一个请求,每个请求在系统中处理时间相同,为 1 min,系统串行处理请求。如果用户请求在队列中的平均等待时间超过 2 min,则撤消该请求。分别使用简单阈值法和基于排队论的方法来选择副本创建时机,触发副本创建服务。对前者设定在 1 min 内系统被请求服务的次数超过 30 次时创建副本,对后者

则根据各参数预先计算请求在队列中平均等待时间,如超过 2 min 创建副本。实验比较了两种方法下用户请求服务率,持续时间为 1 h,结果如图 1 所示。

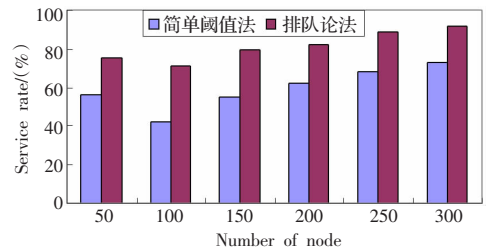


图1 用户请求服务率比较

因为用简单阈值法创建副本有效果滞后的缺点,而用基于排队论的方法来选择副本创建时机则具有预见性,所以使用后者的时,用户请求服务率得到了较大程度的提高。

5 结论

在数据网络上,远程教育的服务质量如何得到保证具有重要意义。教育资源副本服务是一个有效的方法。为副本服务建立排队系统,对其结构和行为进行动态模拟,以获得反映其系统本质特征的数量指标,进而进行预测、分析和评价,从而为决策者提供决策依据。根据排队系统的理论分布类型,运用相应的数学计算公式和方法对排队系统进行描述;并通过给定的条件建立相应数学计算模型进行计算,给出理想的副本创建时机,可以为实际工作提供可靠的、科学的、有预见性的指导。

参考文献:

- [1] Foster I, Kesselman C, Tuecke S. The anatomy of the grid: Enabling scalable virtual organizations[J]. International Journal of High Performance Computing Applications, 2001, 15(3): 200-222.
- [2] Golding R, Borowsky E. Fault-tolerant replication management in large-scale distributed storage systems[C]//The 18th IEEE Symposium on Reliable Distributed Systems. Los Alamitos, CA: IEEE Computer Society Press, 1999: 144-155.
- [3] Allcock B, Bester J, Bresnahn J, et al. Data management and transfer in high performance computational grid environments[J]. Parallel Computing Journal, 2002, 28(5): 749-771.
- [4] 孙海燕, 王晓东, 周斌, 等. 基于存储联盟的双层动态副本创建策略—SADDRE[J]. 电子学报, 2005, 33(7): 1222-1226.
- [5] Rahman R M, Barker K, Alhadj R. Effective dynamic replica maintenance algorithm for the grid environment[C]//Proceeding of Grid and Pervasive Computing 2006, Taichung, Taiwan, [S.l.]: Springer Verlag Press, 2006: 336-345.
- [6] Park S M, Kim J H, Ko Y B, et al. Dynamic data grid replication strategy based on Internet hierarchy[C]//Second International Workshop on Grid and Cooperative Computing, Shanghai, China, [S.l.]: Springer Verlag Press, 2003: 838-846.
- [7] 王文平. 运筹学[M]. 北京: 科学出版社, 2007: 270-313.
- [8] Palmer C, Steffan J. Generating network topologies that obey power law[C]//Proceedings of GLOBECOM. San Francisco, CA: IEEE, 2000: 434-438.