

## 基于对等移动客户端的缓存一致性分析

杨 婧,周临震

(盐城工学院 优集学院,江苏 盐城 224051)

**摘要:**在移动计算环境中,保证缓存有效性的一个重要的因素就是维护缓存一致性。通过分析传统的缓存一致性策略,提出一种基于对等移动客户端的缓存策略,它是在基于窗口的时间戳策略的基础上,引入对等客户端的概念,使得每个移动客户端可以作为临时的虚拟服务器,来发送缓存信息。模拟实验表明,这种方法很好地提高了移动缓存命中率,在一定程度上维护了移动缓存一致性。

**关键词:**缓存一致性;断连状态;时间戳;对等移动客户端

**中图分类号:**TP311 **文献标识码:**A **文章编号:**1671-5322(2008)04-0022-04

缓存技术作为处理移动数据库断连性的一项关键技术,是计算机科学中的经典技术之一。所谓缓存技术,就是指把将来可能访问到的资源预先放到离客户端较近的存储器中,从而减轻网络传输的负担,提高相应速度和数据的可用性。缓存技术中最重要的问题就是维护缓存数据的一致性。缓存一致性问题的目标就是维护移动客户端缓存和固定数据库服务器数据之间的一致性。客户端缓存数据的一致性问题的主要内容包括两个方面:(1)服务器端数据的修改要及时通知到各个客户端并更改缓存中的内容;(2)客户端自身修改的数据要及时通知到服务器并及时提交修改。通常情况下,利用前种方式来实现缓存的一致性的效率更高。这种方式主要通过服务器定期广播各种信息来实现缓存一致性。

### 1 传统缓存一致性策略

在移动计算环境中,保证缓存有效性的一个重要的因素就是保证缓存一致性,它能够维持移动客户端和服务端之间的数据一致性。既然无线通路常常是通过广播这种形式来进行事务处理的,那么一个适当的维护缓存一致性的策略就是由服务器发送包含失效报告(Invalidation Report,简称IR)的广播信息给移动客户端,它包含有一段时期内的数据更新信息。然而在移动环境中,

移动客户端有可能经常断连网络,因此失效报告有可能会被错过,这将导致客户端缓存失效,致使缓存信息清除并且重建。改进移动客户端缓存一致性的方法之一就是时间戳方法(Time Stamp,简称TS),它利用了窗口技术。在这种方式下,一定时间间隔的IR包含了在这段时间内的所有数据更新信息,窗体的大小决定了时间相隔段。

在移动客户端缓存一致性维护方面,已有很多研究与实践,基本都是基于时间戳的思想,提出了多种方法,但或多或少都存在些缺点。比如立即广播失效报告几乎不能支持移动客户端的断连,当数据更新频率较高时,广播失效报告的频率也就很频繁,因而会降低事务处理的吞吐量,同时还会浪费有限的网络带宽;当数据更新频率极低时,有时还会因为接收不到请求提交事务的天折信息而使移动客户端长期处于等待状态。

### 2 基于对等移动客户端缓存策略

基于窗口的时间戳策略是一种传统的移动缓存策略,它具有一定的可用性,然而基于以上的分析,可以看出它具有一定的缺陷。在前人经验的基础上,提出一种基于对等移动客户端(peer mobile client,简称PMC)的缓存策略,它是在利用了窗口技术的时间戳方法的基础之上,加入对等客户端的概念,使得每一个移动客户端都可以作为

收稿日期:2008-09-02

作者简介:杨婧(1982-),女,江苏盐城人,助教,硕士研究生,主要研究方向为移动计算、移动通信及其数据处理。

发送 IR 信息的虚拟移动服务器。它的思想是在移动客户端之间发掘对等项,对等覆盖区域(Peer Coverage Area,简称 PCA)为对等客户端传输范围的覆盖区域。为了能够支持其他的对等客户端,每一个移动客户端都本地缓存了在网络连接状态下收到的 IR 数据信息。当一个移动客户端断连之后重新连接网络时,它在 PCA 范围内以广播的形式发送一个找回错失 IR 数据项的请求并等待回应,所有在 PCA 范围内的移动客户端响应请求,并向请求客户端发送本地存储的 IR 信息。收到众多 IR 信息后,如果可以的话,则此移动客户端将验证本地缓存中的数据项,并进行更新处理,如果无法验证,则重建本地缓存。这里需要注意的是,对等客户端的数量越多,移动客户端能够断连并且无需重建缓存的时间就越长,当然,这需要以增加带宽消耗为代价。

### 2.1 基于 TS 缓存策略的分析

在时间戳策略下,引入窗口的概念,这里定义

窗口的大小为  $N$ ,其目的是找出某个移动客户端,它产生了两个连续的查询请求,在其间这个客户端持续断连时间为  $N$  个或者更多连续的时间间隔,把这样的移动客户端标注为 MC。基于这种模型,MC 的工作状态可以建成模型,如图 1 所示。在整个工作过程中,一共有  $N+1$  种状态,状态 0 表示移动客户端处于连接状态,并且它缓存了所有必须的 IR 信息,它的缓存是处于正常活动状态的。状态  $n(0 < n < k)$ ,表示移动客户端持续处于断连状态已有  $n-1$  个时间间隔了,在下一个时间间隔内如果能够重新连接网络,它可以收到所有被错过的 IR 信息。状态  $N$  表示 MC 已经在持续  $N$  个或更多的时间间隔内处于断连状态,已经错失了许多 IR 信息,它的缓存数据已无法达到与服务器的一致性,需要重建缓存。

这里定义,在时间  $t$  时刻,移动客户端处于状态  $n$  的概率为  $P_m(t)$ ,此公式基于离散的马尔可夫模型。就一般性而言,假设最初的条件状态如下:

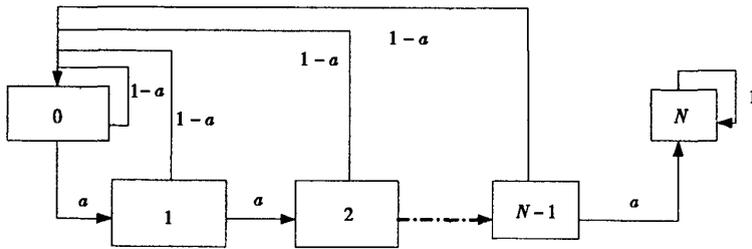


图1 基于 TS 缓存策略的模型

Fig.1 The model for TS caching scheme

- 1) 当  $t < 0$  且  $P_0(0) = 1$  时,  $P_0(t) = 0$ ;
- 2) 当  $n > 0$  并且  $t \leq 0$  时,  $P_m(t) = 0$ ;
- 3) 当  $m = 0$  时,  $P_0(t) = \sum_{j=0}^{N-1} P_j(t-1)(1-a)$ 。

在这里,我们假设处于断连状态下的移动客户端在下一个 IR 信息到来时仍处于断连状态的概率为  $a$ 。

由于  $\sum_{j=0}^{N-1} P_j(t) = 1$ ,则可得出  $P_0(t) = [1 - P_N(t-1)](1-a)$ 。当  $n = N$  时,  $P_m(t) = aP_{m-1}(t-1)$ ; 当  $m = k$  时,  $P_N(t) = aP_{N-1}(t-1) + P_N(t-1) = a^N P_0(t-N) + P_N(t-1)$ 。

根据以上的分析,可以计算出在时间  $t$  点上,移动客户端持续断连了  $N$  个或更多,超过  $t$  个时间间隔的概率。

### 2.2 基于 PMC 缓存策略的分析

在这里,在 TS 策略的基础之上,分析 PMC 策略

的性能。如之前所假设,IR 窗口的大小为  $N$ ,MC 对等客户端的数量为  $M$ ,基于马尔可夫模型,这种情况共有  $(M+1)^N$  个状态,认为近似的状态机制共有  $(N+2)$  个,并显示在图 2 中。状态  $N$  表示 MC 处于断连状态的时长为  $N$  或者更多的连续时间间隔,它本地缓存中的 IR 信息是不完整的,但是在它的对等客户端中至少有一个拥有完整的 IR 信息,并且可以利用它来完善自身的缓存信息;状态  $N+1$  表示所有 MC 的对等客户端的 IR 信息都是不完整的,并且他们所有缓存中的数据信息的结合起来也是不完整的。在休眠  $N$  个或更多连续时间间隔后,一旦 MC 可以得到从其他对等客户端中得到 IR 信息,它会从状态  $N$  转换到状态 0。时长  $a(t)$  表示在其他对等客户端无法提供有效 IR 信息的情况的时间:  $a(t) = (aP_{N-1}(t-1) + P_N(t-1))^M$ ,时长  $x(t)$  表示 MC 可以从其

他对等客户端中获得它所错过的 IR 信息的时间:

$$x(t) = 1 - (1 - aP_0(t - 1) + (1 - a)(1 - P_N(t - 1) - P_{N+1}(t - 1)))^M$$

MC 在两个查询请求之间休眠了  $N$  个或更多

连续时间间隔后,它本地的 IR 信息是不完整的,并且其他  $M$  个对等客户端缓存可以为它提供有效的 IR 信息。利用这个模型,我们能够计算这种情况的概率。

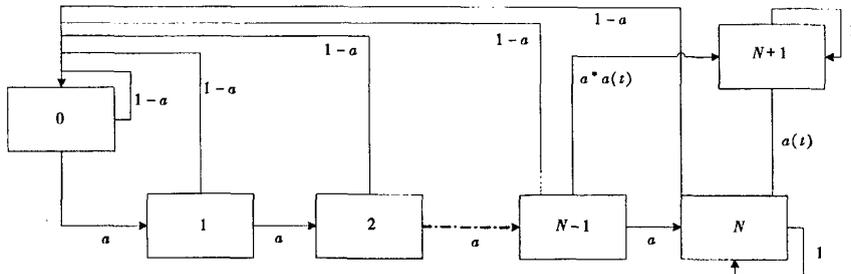


图 2 基于 PMC 缓存策略的模型  
Fig.2 The model for PMC caching scheme

### 3 性能分析的结果与讨论

在前人的研究中,已经有很好的规则来验证缓存一致性维护的性能,其间主要的性能指标为缓存命中率。注意,在这里只考虑对缓存一致性维护的性能影响,而不考虑缓存大小的性能和替换策略的影响。在以上讨论的基础上进行了模拟测试以求验证,所有的试验都是在以下参数值的情况下执行的:IR 时间间隔的长度为  $L = 10$  s, 查询请求使用了两个不同的比率,  $\lambda$  为每秒 0.001 或者 0.1 个查询,更新比率  $\mu$  为每秒 0.000 1 个更新。

#### 3.1 基于 TS 缓存策略的情况

基于 TS 缓存策略的测试结果显示如图 3。对于较高的查询比率,当  $a$  为较高值时,窗口技术对缓存命中率的影响较为明显。这是因为,当  $a$  值较高时,在没有 TS 策略的情况下,缓存命中率较低,窗口策略降低了有效断连概率,因此而提高了缓存命中率。对于较低的查询比率,当  $a$  值较高时,TS 策略的性能较低,因为查询之间的间隔太长,以至于窗口策略无法使之完善。当  $a$  值递增时,改善的质量会降低,因为较大的窗口大小会占用更多的带宽。

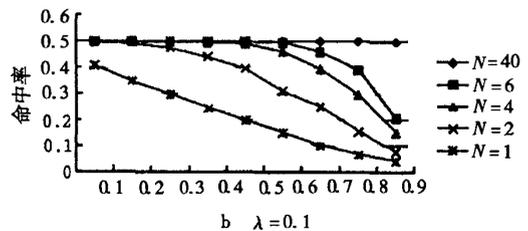
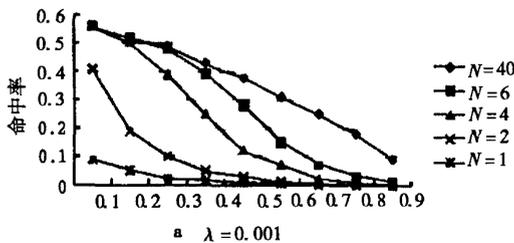


图 3 TS 缓存策略下的命中率  
Fig.3 Hit rate for TS caching scheme

#### 3.2 基于 PMC 缓存策略的情况

由于在 TS 策略下,引入了对等移动客户端的思想,一定程度的改善了缓存命中率,如图 4 所示。为了研究窗口策略对于 PMC 策略的相关效能,选择  $M$  和  $N$  的值要求符合一定的条件,使得  $(M + 1) \times N = C = 10$ , 为定值。对于较高的查询

比率,  $N$  值的增加会更好的改善缓存命中率。当查询比率  $\lambda$  较高时,最初的几个时间间隔在分析中是非常重要的,因为第 2 个查询很可能是在这同一时期内的。

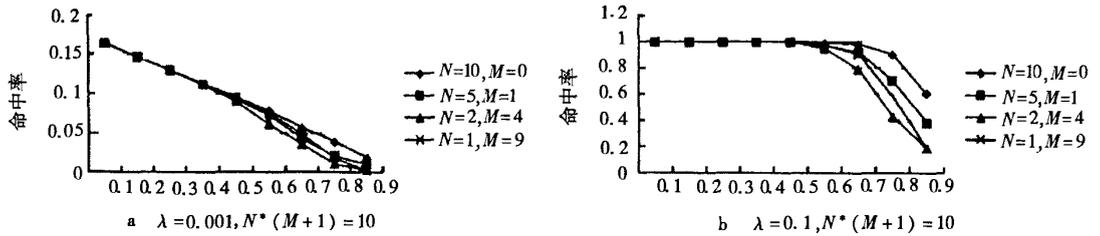


图4 PMC 缓存策略下的命中率

Fig.4 Hit rate for PMC caching scheme

## 4 结束语

在移动计算环境下,缓存技术是处理移动数据库断连性的关键技术之一,缓存技术中最重要的问题就是维护缓存数据的一致性,维护移动客户机缓存和固定数据库服务器数据之间的一致性。基于窗口的时间戳策略是一种传统的移动缓存策略,在此基础之上,提出一种出基于对等移动

客户端的缓存一致性维护策略,它是在利用了窗口技术的时间戳方法的基础之上,引入对等客户端的概念,使得每一个移动客户端都可以作为发送缓存信息的虚拟移动服务器。并对此方法做了性能分析,实验表明,基于对等客户端的缓存策略,很好地提高了移动缓存命中率,并在一定程度上降低了网络吞吐量,维护了移动缓存一致性。

## 参考文献:

- [1] Jing J, Helal A, Elmagarmid H. Client - server computing in mobile environments[J]. ACM Computing Surveys, 1999, 31(2):117 - 157.
- [2] Pissinou N, Dunu C, Makki K. A new framework for handling mobile clients in a client server database system[J]. Computer Communication, 2000, 23:9362 - 9411.
- [3] BORIS Y. CHAN, ANTONIO SI, HONG V. LEONG. A Framework for Cache Management for Mobile Databases: Design and Evaluation[J]. Distributed and Parallel Databases, 2001, 10:23 - 57.
- [4] Wen - Chih Peng, Ming - Syan Chen. Query Processing in a Mobile Computing Environment: Exploiting the Features of Asymmetry[J]. IEEE TRANSACTIONS ON KNOWLEDGE AND DATA ENGINEERING, 2005, 17(7):456 - 460.
- [5] 吴婷婷,章文嵩,周兴铭. 断接下查询的缓存处理[J]. 计算机学报, 2003, 26(10):1393 - 1399.
- [6] 何晓英,刘琼,雷振明. 基于位置预查询的因特网移动支持方案[J]. 软件学报, 2004, 15(2):259 - 267.
- [7] 王敬华,杨进才,刘云生. 基于移动实时事务相关图的数据收集[J]. 计算机应用研究, 2005, 22(3):97 - 100.
- [8] 陈婵,薛贺,王良家,等. 缓存技术在移动数据库中的应用研究[J]. 计算机工程与设计, 2006, 27(9):1615 - 1617.

## Cache Coherency Analysis Based on Peer Mobile Client

YANG Jing, ZHOU Lin-zhen

(UGS College, Yancheng Institute of Technology, Jiangsu Yancheng 224051, China)

**Abstract:** In mobile computing environment, one of the important factors to ensure cache validity is maintaining cache coherency. In this paper, we analyzed the traditional cache coherency scheme, and described a cache scheme based on peer mobile client, which applied the new concept on the time stamp scheme based on windows. This made every mobile client to be a temporary virtual server to send out caching information. The simulated experiment showed that the proposed technique was effective in improving the mobile cache hit ratio and maintained cache coherency to a certain extent.

**Keywords:** cache coherency; disconnected state; time stamp; peer mobile client

(责任编辑:张英健;校对:范大和)