

无线数据广播中动静结合分片段移动实时事务模型

党德鹏 徐娟

(北京师范大学信息科学与技术学院 北京 100875)

摘要 无线广播环境非对称通信等的诸多限制以及数据访问者的移动性及实时性等需求,使平坦事务模型及现有移动事务模型都无法满足无线数据广播中移动实时事务处理的要求。从无线数据广播环境特点出发,针对移动应用需求特征,提出了一种动静结合分片段移动实时事务模型。

关键词 数据广播,移动实时事务,事务模型,正确性

Model of Mobile Real-time Transactions Combining Dynamic & Static Segmentation in Wireless Broadcast

DANG De-peng XU Juan

(College of Computer Science & Technology, Beijing Normal University, Beijing 100875, China)

Abstract Wireless data broadcasting allows that the realization of large-scale application systems serving mass mobile users is possible. Existing data broadcasting system does not support the mobile real-time transactions. Considering the inherent limitations of wireless broadcast environments, mobile of data users, especially mobile from one unit to another, and the deadlines of mobile real-time transactions, in this paper, a better transaction model segmented transaction model combined static and dynamic segmentation was given for real-time data broadcasting.

Keywords Data broadcast, Mobile real-time database, Transaction model, Correctness

随着无线通讯技术与便携计算设备的快速发展与普及,移动用户数量不断飙升,移动计算时代已经来临^[1-3]。数据广播完美的可扩展性和通讯带宽高可用性等无可比拟的优势使得其对面向大批量移动用户的大型应用系统极具吸引力^[3,4]。面向大批量移动用户的大型应用系统通常都是实时的,且涉及大量来自移动端的数据更新,因此必须保证数据的一致性。数据更新也必须被立即、一致地发布,移动实时事务的支持对这些应用至关重要^[1,5,6]。现有文献^[1,7-10]提出的移动(实时)事务模型都针对拉式数据发布模式。数据广播中移动实时事务管理方面的探索性研究都基于平坦事务模型,在频繁断接、移动过区切换时会造成大量事务夭折及重启^[2,11-14]。本文从无线数据广播特点出发,针对移动应用需求特征,提出一种动静结合分片段移动实时事务模型。

1 无线广播环境及其特点

广播(见图 1)是一种推式数据发布方式:服务器不断周期性地广播数据,移动客户机调谐到相应的广播信道来提取它们需要的数据。对于数据广播,发送能力强的服务器利用相对富裕的下行带宽广播数据,可以立刻被大量的移动客户机同时接收到;而移动客户机无需每次都发送数据请求,主要是从空中撷取数据,仅在必要时发送少量上行交互信息,这可大大节省移动计算机中很紧俏的电源,系统可扩展性也得到极大提升^[13-15]。

与传统数据发布与访问方式不同,无线数据广播受其通

信网络环境的限制,主要有如下特点。

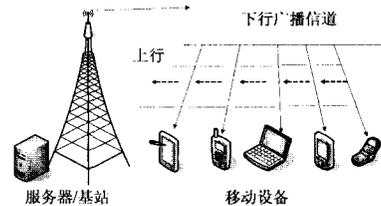


图 1 数据广播系统示意图

a) 不对称性。从服务器到移动客户机的下行通讯带宽远大于从移动客户机到服务器的上行通讯带宽,而且移动客户机从服务器接收数据的开销(电能、时间等)远小于发送开销。

b) 移动性与过区切换。一个广播系统所覆盖的整个区域 G 被分为许多称作单元(Cells)的小区域。系统中的每个移动终端(MU)在数据访问期间都可在整个 G 内(单元间)无限制自由移动。MU 穿越单元的界限从一个单元进入另一个单元称作过区切换(转交)。

c) 频繁断接性。受使用方式、电池容量、无线通信费用、网络条件等因素限制,移动设备一般不采用保持持续联网的工作方式,而是主动或被动地间歇性入网、断接(disconnection)。

d) 移动设备本地资源的局限性。由于移动设备重量和体积的限制,使得设备的本地资源(计算、存储、电池等)有限,尤其是电池能量非常有限。

到稿日期:2010-09-08 返修日期:2010-11-12 本文受国家自然科学基金(60940032, 61073034),“十一五”国家科技支撑计划重大项目(2006BAK01A07),“十一五”国家科技支撑计划重点项目(2006BAC18B06)资助。

党德鹏(1970-),男,博士,副教授,主要研究方向为高等数据库及网络信息管理,E-mail:ddepeng@bnu.edu.cn.

e) 线性访问特性。用户只能对广播信道中的数据进行顺序访问,当所需的数据尚未广播时,用户需要等待,直到数据出现在广播信道上;而一旦用户错过了数据的一次广播,只能等待该数据下一次广播时才能访问到数据^[15]。

2 移动应用的实时需求

面向大批量移动用户的大型应用系统通常都是实时的^[16-18]。从数据角度来看,各个数据项的值只在一定时间内是“流行”的,其值随数据库外部环境现实状态变化而频繁地改变。使用数据时,不能认为简单地提供其最新值就是最合适的,还必须考虑它与其它被使用数据间的相互时间关系。从事务的角度看,事务的执行具有显式的定时限制,典型为截止期^[18]。事务的正确性不仅依赖于其逻辑结果的正确性,还依赖于逻辑结果产生的时间。按截止期的性质,即超截止期对系统带来的影响,事务可分为如下3类:

- 硬(截止期/实时)事务——超截止期会导致严重损失(价值函数取大且可能不断增加的负值)。
- 固(截止期/实时)事务——一旦到达截止时间,其价值立即降为零,此后固定为零(也不会为负)。
- 软(截止期/实时)事务——超截止期仍有一定的价值,且价值不断下降,直到某一时刻(称为最终有效时间)降到零,此后保持为零(不会为负)。

图2分别给出硬、固、软实时事务的典型描绘。其中 v, τ 两坐标轴分别为价值函数与时间, d 为截止期(deadline), u 为“最终有效时间”。 r 为放行(release)时间,当 $\tau < r$ 时, $v(\tau) = 0$ 表示的是在事务未准备好以前启动是无价值的。

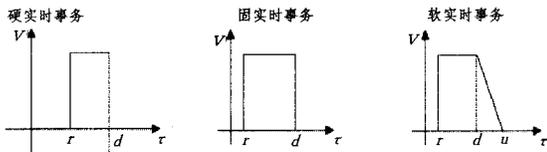


图2 移动事务的实时性图

3 实时数据广播中的移动事务模型

本文从无线数据广播特点出发,针对移动应用需求特征,提出静态划分并在事务执行期间跨分区移动时进一步动态划分的动静结合分片段的移动实时事务模型。

①结构模型

一个移动事务由一组动态、静态划分的片段组成,因此,可并行执行几个片段,提高并行度;并且,一个事务片段失败必须补偿时无需补偿整个事务(在移动环境中,一个移动事务会跨区执行,整个事务的补偿就需要涉及多个基站,这将会消耗大量宝贵资源)。从而,可以更好地适应可靠性低的无线移动环境,帮助更多移动事务更好地满足截止期要求。

一个移动事务的片段又分为关键片段(VS)和非关键片段(NVS)两种类型,当所有VS都成功提交时,相应的移动事务才提交成功。NVS的夭折并不会导致相应移动事务的夭折。如果一个移动事务的所有片段均为关键的,则其严格遵守原子性和隔离性准则;否则放宽了其原子性和隔离性要求。这有助于在需要的时候灵活地调节事务的原子性/隔离性准则,更好地满足实时要求。

一个移动事务的VS分为具体片段(CS)和抽象片段(AS)。CS由传统数据操作和事务操作组成;当一个关键片

段具有若干个相似功能的片段(称为替换片段,记为RS)时定义为抽象片段(AS)。AS封装一个具体片段及其RS、替换规则(RR,说明什么时候以及如何实施替换),其中只需该具体片段(CS)或其一个RS运行成功,就可以向事务提交;当AS中的CS失败时,可依据RR立即启动一个RS,从而减少片段回滚重启的时间,帮助移动事务满足截止期要求。

如图3所示,事务 T_1 包括3个静态划分的片段: T_{11} (AS、VS), T_{12} (VS), T_{13} (NVS)。 T_{11} 包括 T'_{11} , T''_{11} , T'''_{11} 和替换规则。其中 T'_{11} 是 T_{11} 实际对应的具体片段, T''_{11} 和 T'''_{11} 是 T'_{11} 的两个替换。 T_{12} 执行期间进入新小区,又分为 T_{121} , T_{122} 两个动态片段, T_{122} 执行期间又进入另一个新小区,从而又分为 T_{1221} , T_{1222} 两个动态片段。

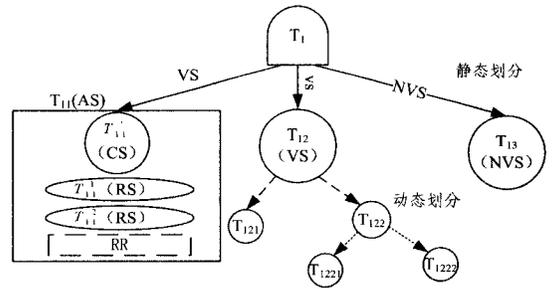


图3 移动实时事务分片段结构模型

②处理模型

如图4所示,用户通常在移动设备上激活一个或若干个移动事务/片段(MT)。每个移动计算设备有移动事务/片段管理器(MTM);每个基站上有小区片段协调器(MSC)和小区事务协调器(MTC)。MTM和MSC共同维护移动事务片段执行状态;MSC负责当前在本小区内执行的事务片段;MTC负责在本小区发起的移动事务。在事务执行期间跨分区移动或者断接时,一个静态事务片段会被进一步动态划分为更小的动态片段,由原小区基站的MSC向MTC发送相关信息;若是跨区切换,则新小区基站的MSC启动下一个动态片段的执行;若是断接,则恢复连接后的小区基站的MSC启动下一个动态片段的执行。从而,可以实现平滑的跨区切换和断接处理。



图4 移动实时事务处理模型

③正确性及规范描述

动静结合分片段的移动实时事务的正确性及规范描述如下。

定义1 无线数据广播系统中,移动实时事务(T)是一个四元组 $T = (\Sigma, \langle, X, N)$,其中, Σ 为构成该事务的一组片段,初始时是一组静态划分的片段 K ,而在过区切换时可进一步进行动态划分形成动态片段 Δ , E 表示具体片段, Λ 表示抽象片段, Γ 表示替换片段, Θ 表示替换规则。各片段可在任意单元中运行,多个片段可在同一单元中运行。

- $\langle \Sigma \rangle ::= \langle K \rangle \langle \Sigma \rangle$
- $\langle K \rangle ::= \langle \Delta \rangle \langle \Delta \rangle$
- $\langle \Delta \rangle ::= \langle \Delta \rangle \langle \Delta \rangle$
- $\langle \Delta \rangle ::= \langle E \rangle | \langle \Lambda \rangle$
- $\langle \Lambda \rangle ::= \langle E \rangle \langle \Gamma \rangle \langle \Theta \rangle$

$K=(O,P,<,X,A,N)$

$E=(O,P,<,X,A,N)$

$O=(\nu,\iota,\theta,\lambda,\alpha)$

$\langle P \rangle ::= \rho_i | \rho_b$

- $<$ 为片段或操作之间的时序;
- X 为与事务或事务片段相关的预定义约束;
- O 为片段涉及的数据对象;
- P 为片段涉及的操作;
- A 为片段的关键特性,即是关键片段或非关键片段;
- ρ_b 为数据操作(如读、写等);
- ρ_i 为事务管理操作(如事务的开始、提交等);
- ν 为数据对象的当前状态或值;
- ι 为采样时刻;
- θ 为采样有效期;
- λ 表示 d 的位置,如其位于数据库服务器中或者位于某移动设备缓存区并随移动设备而移动;
- α 表示与数据对象相关的预定义约束;
- N 为执行事务或事务片段所需资源,如 CPU、缓冲区、磁盘、支持基站等。

定义 2 移动实时事务中的每个原子操作可记作: $\zeta = \rho_{i,j}^k[l,o_m]$ 。其中, i 表示事务标识; j 表示事务片段标识; k 表示节点标识; l 表示单元标识; ρ 表示操作类型读(r)或写(w); o 表示操作的数据对象标识, m 为数据对象标识号。

定义 3 移动实时事务集 T 的执行经历 H 是六元组: $H=(O,T,\Sigma,P,X,<_i)$ 。其中, O 表示广播数据集; T 表示移动实时事务集; Σ 表示(静态/动态)片段集; P 表示原子操作集; X 表示一组预定义的约束; $<_i$ 是 P 上的偏序。

定义 4 移动实时事务集 T 的执行经历 H 在节点 k 的投影定义为 $\rho_H^k=(O,T,\Sigma_H^k,P_H^k,X_H^k,<_{H^k}^k)$ 。

定义 5 移动实时事务集 T 的执行经历 H 在单元 l 的投影定义为 $\rho_H^l=(O,T,\Sigma_H^l,P_H^l,X_H^l,<_{H^l}^l)$ 。

定义 6 移动实时事务集 T 的执行经历 H 对事务 τ 的投影定义为 $\rho_H^\tau=(O,T,\Sigma_H^\tau,P_H^\tau,X_H^\tau,<_{H^\tau}^\tau)$ 。

定义 7 移动实时事务集 T 的执行经历 H 对事务 τ_i 片段 ζ_i 的投影定义为 $\rho_H^{i,j}=(O,T,\Sigma_H^{i,j},P_H^{i,j},X_H^{i,j},<_{H^{i,j}}^{i,j})$ 。

定义 8 如果两个执行经历能够将同一个初始状态转换为相同的结束状态,则说这两个状态等价,记为 $\gamma_1 \equiv \gamma_2$ 。任意一个移动实时事务的执行经历 γ 是正确的当且仅当至少存在一个串行经历 γ' 满足 $(\gamma \equiv \gamma') \wedge (\forall o \in O(t-o, \iota) \leq o, \theta) \wedge (\forall o_{m_1}, o_{m_2} \in \tau. o(|\iota_1 - \iota_2| \leq \iota_f)) \wedge (\tau_i \in T(\tau_i) \text{ compl } \tau_i^d)$ 。

结束语 现有事务模型无法适应无线广播环境来满足用户的需求。针对无线广播系统中移动实时应用的特点与要求,本文提出了一种动静结合分片段移动实时事务模型,并给出了其规范描述。相对于传统的“原子操作序列”的事务定义,一个移动实时事务在需要时可灵活分解为更小的片段。分片段事务模型具有很多优点,很适合无线广播环境。

1) 允许对移动实时事务进行灵活分解,以对其并发执行实施更好的控制,从而有效处理频繁断接及过区切换,支持事务执行的移动性、分布性。

2) 因事务被划分成片段而使各自截止期缩短,再经一定的动态优先级分派和调度策略,从而可大大改善事务满足其截止期的机会。并且当发生故障时,可更精、更细地确定恢复的范围,而不至于浪费大量已完成的工作。

3) 允许一个事务内部的并发执行,有利于及时处理最紧急的事务。

4) 为高性能地处理移动实时事务、灵活地维护广播数据的一致性奠定了基础。

参 考 文 献

- [1] Serrano-Alvarado P, Roncancio C, Adiba M. A Survey of Mobile Transactions[J]. Distributed and Parallel Databases, 2004, 16(2):193-230
- [2] Madria S K, Mohania M, Bhowmick S S, et al. Mobile data and transaction management[J]. Information Sciences, 2002, 14(1):279-309
- [3] Yang D N, Chen M S. Data Broadcast with Adaptive Network Coding in Heterogeneous Wireless Networks[J]. IEEE Transactions on Mobile Computing, 2009, 8(1):109-125
- [4] Zheng B, Lee W C, Lee K C K, et al. A distributed spatial index for error-prone wireless data broadcast[J]. The VLDB Journal, 2009, 18:959-986
- [5] Young C, Chiu G. Efficient Dissemination of Transaction-consistent Data in Broadcast Environments[J]. IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering, 2007, 19(3):384-397
- [6] Lee S-K, Hwang C-S, Kitsuregawa M. Efficient, Energy Conserving Transaction Processing in Wireless Data Broadcast[J]. IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering, 2006, 18(9):1225-1238
- [7] 党德鹏, 周立柱, 刘玉生. 分片段的移动实时数据库事务模型[J]. 计算机科学, 2005, 32(10):108-109
- [8] 丁治明, 孟小峰, 王珊. 移动数据库系统乐观事务处理策略[J]. 计算机研究与发展, 2002, 39(10):1379-1386
- [9] 袁磊, 李东, 冯玉才. 带预读/写的移动事务模型[J]. 计算机工程, 2003, 29(10):104-106
- [10] 廖国琼, 刘云生, 杨进才. 移动实时嵌套事务的并发控制[J]. 计算机学报, 2003, 26(10):1326-1331
- [11] Lee V C S, Lam K-W S, Chan S H, et al. On transaction processing with partial validation and timestamp ordering in mobile broadcast environments[J]. IEEE Transactions on Computers, 2002, 51(10):1196-1211
- [12] 党德鹏. 并行数据广播中的亚可串行化并发控制方法[J]. 计算机学报, 2008, 31(3):450-455
- [13] Lam K-Y, Chan E, Leung H-W, et al. Concurrency control strategies for ordered data broadcast in mobile computing systems[J]. Information Systems, 2004, 29(3):207-234
- [14] Dang De-peng, Liu Yun-sheng. Concurrency Control in Real-time Broadcast Environments[J]. Journal of Systems and Software (U. S. A.), 2003, 68(2):137-144
- [15] Yu Ping, Sun Wei-wei, Qin Yong-rui, et al. A data Partition based near optimal scheduling algorithm for wireless multi-channel data broadcast[C]//Proceedings of the 13th International Conference on Database Systems for Advanced Applications (DASFAA). New Delhi, India, March 2008:188-203
- [16] 周兴铭, 虞万荣, 王晓东. 无线数字通信与战场信息化系统[J]. 国防科技, 2005, 21(3):30-33
- [17] Lam K-Y, Chan E, Kuo T-W, et al. RETINA: A Real-time Traffic Navigation System[C]//Proceedings of 2000 ACM SIGMOD Conference. 2000:11-15
- [18] 刘云生. 现代数据库技术[M]. 北京:国防工业出版社, 2001