

移动数据库的事务处理关键技术研究与分析

Research and analysis on the key technology of mobile transaction processing in mobile database

龚春红 (湖南大学软件学院、湖南财经高等专科学校 410205)

摘要:移动事务的移动性、频繁断接性等特点使传统的事务处理技术已不能适应移动环境,因此设计一个适应移动数据库环境的事务模型是移动事务处理关键。本文在分析移动事务的特点和移动事务处理典型结构基础上,主要论述设计移动事务模型必须要解决的移动事务的过区切换、断接处理、同步复制、故障恢复等四个关键技术的研究现状和原理分析。

关键词:移动主机 移动支持站 移动事务 断接

移动计算技术的飞速发展,使得用户可以使用移动客户机(如 PDA、笔记本电脑等)通过无线通讯接口随时随地访问分布式数据库上的信息。然而由于移动计算环境的计算平台的移动性、连接的频繁断接性、网络条件的多样性、网络通讯的非对称性、系统的高伸缩性和低可靠性以及资源有限性等特点^[1],使得传统分布式数据库已不能有效地支持移动计算。因此移动数据库已成为数据库的一个重要研究领域。

移动事务处理是移动数据库的关键技术。事务处理是数据库管理系统的一个基本功能,一个事务由一系列读写操作组成,主要用于维护数据的一致性,支持多用户的并发访问,使用户可以可靠地查询和更新数据库。在传统的数据库系统中,事务处理必须满足 ACID 准则。但移动计算环境的特点,使传统数据库系统中的事务处理技术不能满足移动事务处理的要求。移动事务处理的研究也成为移动数据库领域的一个重要课题。

1 移动事务处理特点

在移动计算环境中,通常将移动主机发出的事务称为移动事务,它属于分布事务,部分计算工作在移动客户机上完成,其他部分则交给固定节点服务器完成。一个移动事务可以分解成许多子事务,每个子事务本身是一个事务,它由一些对数据对象的读写操作及事务的提交和终止操作组成,各子事务所包含的操

作满足一个偏序关系,任意两个对同一数据对象的操作必须有先后顺序。MH 从一个无线网络单元迁移到另一个无线网络单元,随之而来的是事务的状态、被访问的数据对象的状态和位置状态等信息也在移动,并要求此事务在新区域内可以继续执行,同时保证数据一致性。

移动事务处理相对于传统分布事务具有以下特点^[1]:

(1) 移动性。这不仅指移动事务执行期间,发出事务的移动客户机是移动的,而且事务本身也在相应地移动;在移动事务执行的过程中,移动计算机位置的改变会带来复杂的过区切换问题。

(2) 长事务。由于无线网络通信的低带宽、高延迟以及移动客户机的频繁断接性,都可能使移动事务成为长事务。

(3) 易错性。由于移动客户机不如固定结点可靠,而且无线网络通信也不如固定网络稳定,因此,与一般事务相比,移动事务更容易出错。

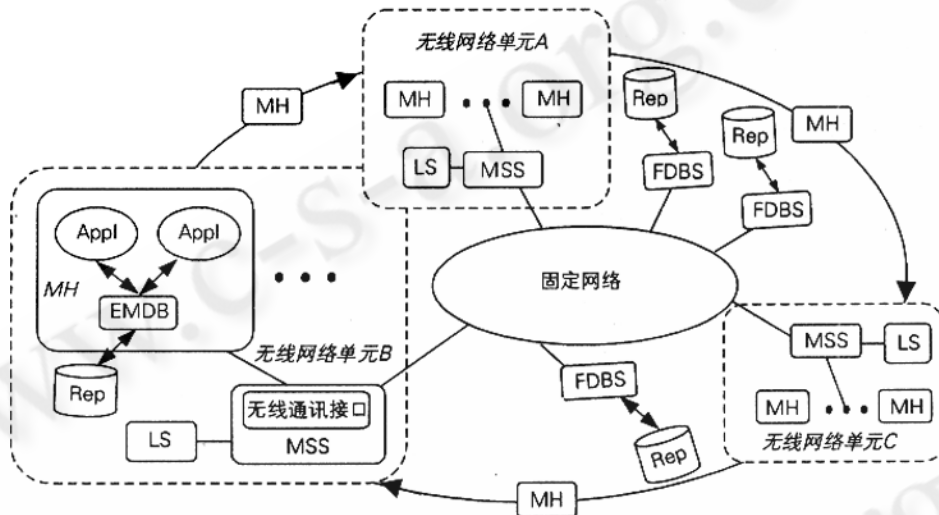
(4) 异构性。由于客户机的移动性,移动事务可能要访问分布的异构数据库系统。

总之,移动事务不同于传统事务,传统的 ACID 模型已不能很好地描述移动事务,需要为移动事务寻找更好的模型。维护数据的一致性和解决过区切换(handoff)问题是移动事务管理的重要任务。

2 移动事务处理典型结构

目前的移动事务处理系统采用如图 1 所示的结构^[2]。

注:①FDDBS: Fixed Database Server (固定网络上的数据库服务器) ②MSS: Mobile Support Station (移动支持站) ③MH: Mobile Host (移动主机) ④Rep: Replication (数据库副本) ⑤EMDB: embed? database (嵌入式移动数据库) ⑥LS: Location Server (位置服务器)



注:①FDDBS: Fixed Database Server (固定网络上的数据库服务器) ②MSS: Mobile Support Station (移动支持站) ③MH: Mobile Host (移动主机) ④Rep: Replication (数据库副本) ⑤EMDB: embed database (嵌入式移动数据库) ⑥LS: Location Server (位置服务器)

图 1 移动事务处理结构

移动事务处理系统主要由固定主机和移动主机两类结点组成。固定网络与固定主机构成可信部分,固定主机主要包括数据库服务器(FDDBS)、位置服务器(LS)和移动支持站(MSS)。

(1) 数据库服务器(FDDBS)。FDDBS是不带无线通讯接口的主机。其中,每个FDDBS都有数据库的完整副本。每个FDDBS均具有场地自治性,支持局部事务处理,并通过两段锁(2PL)协议实现本地事务的并发控制;同时支持全局事务处理,整个系统通过一定的协议实现对全局移动事务的处理。

(2) 移动支持站(MSS)。MMS是带有无线通讯接口的服务器,每个MSS支持一个无线网络单元,每个无线网络单元由多个移动主机(MH)组成。MSS的作用是进行分布式事务管理、控制MH上的嵌入式数据库(简称EMDB)和数据库服务器之间的数据交

换。每个MSS与一个位置服务器(LS)相连。LS记录MH在各无线网络单元中的当前位置。MSS通过查询LS可以知道MH当前位置及状态,从而将事务处理结果正确地返回。

(3) 移动主机(MH)。MH是可移动的便携式设备(如手机、PDA到笔记本电脑)。在MH上有一个嵌入式的数据库管理系统(EMDB),该EMDB从FDDBS处缓存了一部分数据,用户可以对EMDB进行操作或建立自己的应用程序。MH是可以在不同无线网

络单元(简称Cell)之间移动,MH事务的状态、被访问的数据对象的状态和位置状态等信息也会随之移动,事务在新Cell内可以继续执行并保证数据一致性。

MH与FDDBS的联系是通过MSS来完成的,MSS管理着MH上数据的上载、下载、同步等问题。数据同步时发生的冲突检测和解决方式、嵌入式EMDB和MSS的具体功能视采用的事务模型的不同而不同。

3 移动事务关键技术

在移动计算环境下,由于移动事务处理环境是一个低带宽、长延迟和频繁断接性使得移动事务执行时更容易出错,且要访问更加复杂的数据资源,传统数据库系统中的事务处理技术不能满足移动事务处理的要求。因此设计一个适应移动数据库环境的移动事务模型是移动事务处理的关键。目前具有代表性

的移动事务模型有, Walborn 和 Chrysanthis 提出的 Pro-motion 契约代理事务模型。Dunham 提出的 Kangaroo 模型; Pitura 和 Bhargava 提出的 Clustering 移动事务模型; 自适应移动事务模型、MOFLEX 事务模型、丁治明等人提出的 O2PC-MT 模型等。本节针对这些事务模型, 总结出设计移动事务模型必须要解决以下四个关键技术:

3.1 移动事务的过区切换

MH 在事务发送及事务执行的过程中, MH 可以在无线网络单元内和单元间自由移动, MH 在一个 Cell 发送一个事务后, 可能移到其他 Cell 继续执行事务本身也会随之移动。因此如何正确处理事务的过区切换问题是移动事务管理机制首要解决的问题。

每个 MSS 是一个移动事务协调器, 它们从 MH 接收和转发移动事务操作, 监控移动事务的执行与提交, 并将事务执行过程中产生的结果反馈给 MH。每个 MH 在其所属无线网络单元的 MSS 的 LS 注册, 产生唯一的 ID 号。每个 MH 的当前位置都记录在当地的 LS 中, 并通报给其注册地 LS, 再由注册地 LS 向其他所有 MSS 发送广播信息, 这样可知道 MH 的当前位置及状态, 从而将事务操作产生的结果正确地传送给 MH。在发送事务操作及事务执行的过程中, MH 总是将事务操作发送给当前所处无线网络单元的 MSS, 移动事务会被分割成若干子事务被不同的 MSS 所接收^[4]。

移动事务过区切换涉及很多种情况: 注册地发送事务注册地接收结果, 注册地发送事务异地接收结果, 异地发送事务异地接收结果等等。而每个无线网络单元都有一个移动事务管理器来处理本单元内 MH 或移到本单元的 MH 的事务请求。根据移动事务管理器位置不同可以采用以下几种过区切换处理策略: ①注册地事务处理策略: 无论 MH 在何地发起事务或结束事务, 所有移动子事务都由 MH 注册单元的事务管理器协调执行。②发起地事务处理策略: 所有移动子事务都由 MH 发起事务时所在单元的移动事务管理器协调执行。③结束地事务处理策略: 所有移动子事务都由 MH 结束事务时所在单元的移动事务管理器协调执行。

3.2 移动事务的断接处理

移动事务处理除了考虑过区切换以外, 还须考虑

断接时的事务处理。在传统数据库系统中, 客户端始终与数据库服务器保持连接, 任何断开连接的情况均被视为故障事务而进行处理。但在移动计算环境中, MH 经常处于断接状态, 将断开的情况视为故障状态是不合适和低效的。因此移动事务处理必须能够实现移动事务从在线状态迁移到断接状态, 继续移动事务执行。根据 MH 不同断接情况可以用不同策略:

(1) 主动断接处理策略。主动断接是指由于无线通信的费用太高, 用户无法承受长时间连接导致的高昂费用而主动要求与网络断接。这种断接若发生在移动事务开始时, 即预先断接, 由于移动事务还没开始执行, 此状态不会影响任何事务的处理。若 MH 在执行事务过程中主动要求断接, 则 MH 缓存事务执行时的数据和事务状态信息, 以保证事务正确执行; 而对于已提交给 MSS 的事务, 会分成若干子事务, 某个子事务断接时, 则回滚该子事务或从某个检查点直接开始移动事务执行, 事务执行时须计算验证和日志信息, 以便在重新连接时进行局部事务验证。

(2) 被动断接处理策略。被动断接是指 MH 在移动过程中, 进入 MSS 覆盖范围之外的区域, 无法与网络进行连接。这种情况可以在 MSS 的事务管理器上执行超时协议 (Timeout)。即由 MH 和 MSS 的事务管理器为每一个新建事务设一个超时阀。若 MH 断接超过这个超时阈值, 对于不完整的事务, MSS 将其加入挂起对列, 把“事务发送失败”信息发送给 MH, 由 MH 决定是否继续发送或取消发送。而事务处理结果, 则等连接时发送给 MH。

3.3 同步复制

维护数据一致性是移动事务管理的一个重要任务。MH 经常处于断接状态, 同时在断接时继续工作, 或多 MH 同时向固定主机发出移动事务, 这就需要采用事务管理机制来维护数据一致性的问题。

在移动数据库中采用同步复制技术来保证数据的一致性。同步复制是指在多个结点上完成数据的备份, 包括服务器的中心数据库的复制以及在 MH 中保存数据库的副本, 利用同步过程来消除移动设备上的数据与企业中心数据库中的数据会有暂时的数据不一致的技术。其目的是保持数据库系统各结点中数据状态的一致性。

同步复制有数据级同步和事务级同步两种方式。

数据级同步是以元组为同步处理的基本单位,没有考虑事务的概念,因此它不能保证事务的原子性和数据库的一致性。事务级同步机制以事务作为同步处理的基本单位。MH 将数据下载,保存数据副本,EMDB 在本地执行事务(称移动事务)时保存日志信息。MH 与 MSS 重新连接时, MH 上载移动事务到 MSS,然后由事务管理器对 EMDB 的同步请求以事务为基本单位逐一处理。按照一定算法全局提交、或撤消这些事务。但由于多个 MH 可能缓存了同一数据元素,在断开的情况下各自操作,操作的冲突将会直接导致数据的不一致,因此需采用冲突检测和消解算法来保证数据一致性,即在同步过程中固定主机上的事务管理器对 MH 上载的移动事务进行冲突检测,若移动事务未通过检测,该事务夭折,并将失败信息发送给 MH;没有冲突的暂态事务则进行全局提交。

移动数据库的同步机制应该提供灵活的数据下载、可靠的双向同步以及可以满足应用需求的冲突的检测和解决等功能,同时,还应该充分考虑到移动计算环境的特点,以保证同步功能在移动环境下运行的性能。目前,针对移动计算特点开展数据同步复制技术的研究最具代表性的是:两级复制机制、多版本冲突消解技术等^[3]。

3.4 移动事务故障恢复技术

移动数据库可能出现一些故障,如通信故障、存储介质故障、MH 故障或事务故障。其中事务故障是由取消事务引起,可以通过事务回滚使事务恢复到故障发生前状态。进行故障恢复是移动事务管理机制必须解决的问题。

移动事务的恢复策略必须根据移动数据库特点来制订,主要采用以下四个协议:①超时协议(Timeout)。在事务开始前 MH、MSS 共同约定一个时间参数,超过此时间, MSS 可自由开始回滚相应 MH 上的事务。②断接协议(Disconnect)。用于处理 MH 从 MSS 断开的时间约束,与 Timeout 相似, MH 断接持续到设定时限时, MH 事务就开始回滚。③过区切换协议(Hand_off)。该协议由 MH 执行。MH 要求其当前 MSS 保持相应的镜像事务处于准备状态。然后, MH 通知当前 MSS 它的新 MSS 地址,在与新 MSS 建立连接成功后, MH 向它的新 MSS 传递以前的 MSS 的地址。这样,两个 MSS 均可完全使用 MH。④迁移

协议由 MSS 执行。与 Hand_off 不同,本协议中 MH 的新参数由新 MSS 通知以前的 MSS,该协议用于处理当 MH 与以前 MSS 无法进行无线连接时的情况。该迁移信息应在超时协议和断接协议执行前到达前 MSS。

整个移动事务的恢复过程可以分成三个阶段:①分析阶段。即分析事务执行日志、事务状态表等与移动事务执行有关的数据结构,确定缓冲区的更新页面及系统失败时的活动事务集合,同时确定日志中重做的起点。②重做阶段。在此阶段,系统重新执行发生故障的子事务,使数据库数据恢复到与故障发生前的一致状态。③取消阶段。系统反向扫描日志并以相反的顺序取消故障时对数据库改写的操作,以保证数据一致。

移动事务的回滚则视 MH 与 MSS 是否通讯而定。若移动事务仅在 MH 执行,没有与 MSS 通讯,这种回滚与传统数据库回滚相同。但若移动事务在 MH 和 MSS 上都执行, MH 与 MSS 进行通讯,则 MH 必须通知 MSS 以便确定它需回滚的行为。MSS 恢复管理器检查它的消息日记确定恢复检查点,表明回滚是在当前 MSS 上停止还是需进一步扩展到先前的 MSS 上。事务回滚需要多个节点上恢复管理器的协作。若回滚在当前 MSS 结束,进一步的行为在回滚结束时继续。当回滚在前 MSS 上结束时, MH 原来在 MSS 上的镜像事务以及剩下的没有回滚的行为会被提交,而 MH 进一步的行为在当前 MSS 上继续。

参考文献

- 1 徐进辉、徐明, 移动数据库事务处理模型研究[J], 计算机工程与科学, 2004, 26(4): 62-65.
- 2 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): 1379-1385.
- 3 张鹏、余立人、苏容, 数据库同步复制技术在移动计算环境中的应用[J], 现代计算机, 2003, 5: 29-31.
- 4 S. Mazumdar, Panos K. Chrysanthis. "Localization of Integrity Constraints in Mobile Databases and Specification in PRO - MOTION," in Mobile Networks and Applications[C]. Netherlands: Kluwer Academic. 2004, 9(5), pp: 481-490.