



移动数据库 及其关键技术

岳阳师范学院计算机系 胡虚怀
国防科技大学计算机学院 郑若忠

本文介绍支持移动计算环境的新一代分布式数据库技术,即移动数据库,包括它的基本概念、系统模型和实现目标。并通过对移动数据库的三级复制体系结构的分析,指出了它的关键技术。

引言

数据库最早出现于20世纪60年代,当时它们大多基于层次与网络数据模型。自70年代,IBM公司的E.F.Codd提出数据库的关系模型后,其理论和技术在20多年的发展过程中不断成熟并被得到广泛应用。进入90年代后,一些新的应用领域不断向数据库技术提出新的要求和挑战,而且计算机领域本身的发展也会给数据库技术带来了深刻的变化,特别是随着移动通信技术的迅速发展和投入使用,许多计算结点已经可以在自由移动的过程中保持网络连接,人们迫切需求能在任何时候、任何地点访问任何数据,这使原来基于有线网络和固定主机的分布式数据库不再适应。于是,一种更加灵活、复杂的移动数据库技术便应运而生,并迅速成为一个新的研究热点。

移动数据库介绍

1. 移动计算与移动数据库

在以网络为计算中心的时代,越来越多的用户开始拥有各种便携式的计算设备,小一点如掌上电脑(H/PC)、个人数字助理(PDA)和个人信息管理器(PIM、Plam PC),大一些的如笔记本电脑等,我们称之为移动计算机(Mobile Computer)。随着半导体技术的飞速发展,高档移动计算机的处理能力和存储容量已允许其管理在不久前还曾被看作是“超大规模”的数据库,支持一些复杂的数据库管理任务。而且,未来的移动计算机都将配备以无线网络为主的移动联网设备,以支持移动用户访问网络中的数据,实现无约束自由通信和共享资源的理想目标。这是一种更加灵活、复杂的分布计算环境,人们称之为移动计算(Mobile Computing)。

在传统的分布计算系统中,各个计算结点之间都是通过固定网络连接的,并始终保持网络的持续连接性,而移动计算机系统不具备这种条件。移动计算系统是由固定结点和移动结点构成的分布计算系统,它将使用户不再需

要停留在固定位置不变,而是可以携带着移动计算机自由移动,并在移动的同时通过移动通信网络保持与固定结点或其他移动结点的连接。与其于固定网络的传统分布计算环境相比,移动计算环境除了移动性这一主要特点以外还具有频繁断接性(指移动计算机可主动或被动地间歇性入网、断接)、网络条件多样性(指移动计算机在不同的时间内可使用的网络条件是变化多端的)以及网络通信的非对称性(指服务器到移动计算机的下行链路与移动计算机到服务器的上行链路相比较,它们之间的通信带宽与代价相差很大)等特点。这些特点使得传统的分布式数据库技术不能支持或是不能有效地支持移动计算环境。因此,必须对已有的传统的分布式数据库加以改进,或者重新设计,形成一种能全面支持移动计算环境的崭新数据库技术——移动数据库(Mobile Database)。下表列举了移动数据库与传统分布式数据库之间的一些主要差别。

数据管理技术	移动数据库与分布式数据库的主要差别
应用程序	1. 可能是位置相关的 2. 需要适应可变的系统环境
事务处理	1. 能够描述移动性的新模型 2. 事务的过区切换(在不同的服务器覆盖范围之间的移动)
故障恢复	1. 频繁的网络分割 2. 移动计算机的断接不认为是系统故障 3. 移动性可能要求更多的日志记录 4. 在过区切换(handoff)时从短暂断接中恢复的技术
数据复制	1. 不同程度的一致性约束(弱一致性或可变一致性) 2. 频繁的断接使移动计算机的缓存刷新必须采用新技术
查询处理	1. 位置相关 2. 不同的代价因素(如网络带宽、花费、电源消耗等) 3. 查询结果可能返回到不同的位置(客户机的移动性) 4. 需要可适应性技术(网络条件的变化) 5. 特殊查询方式: 数据广播(网络的非对称性)
名字解析	移动性和断接性要求采用新型的全局命名策略(如移动计算机的地址、可移动服务器上数据库的命名等)

2. 移动数据库的系统模型

在移动计算机环境下,移动数据库的典型系统模型^[4]可以用图1描述。图中移动数据库系统由三类结点组成,即:

- 服务器(Server): 一般为固定结点,每个服务器维护一个本地数据库,服务器之间由可靠的高速互联网络连接在一起,构成一个传统意义上的分布式数据库系统。服务器可以处理客户的联机请求,并可以保持所有请求的历史记录。

- 移动支持结点(Mobile Support Station,简称MSS): MSS也位于高速网络中,并具有无线联网能力,它们用于支持一个无线网络单元(cell),该单元内的移动客户机既可以通过无线链路与一个MSS通信,从而与整个固定网络连通,也可以接收由MSS发送的广播信息。服务器与MSS可以是同一台机器。

- 移动客户机(Mobile Client,简称MC)MC: 的处理能力与存储能力相对于服务器来说非常有限,且具有移动性(即可以出现在任意一个无线单元中),经常与服务器断接(指MC无法与服务器联机通信)。即使在与服务器保持连接时,由于MC所处的网络环境(即当时可用的无线单元)多变,MC与服务器之间的网络带宽相差很大,且可靠性较低、网络延迟较大。

3. 移动数据库的实现目标与意义

一个理想的移动数据库系统要做到有效地支持移动计算环境中的各种数据应用,满足人们能在任意地点、任意时刻访问任意数据的需求,应当实现如下四个目标:

- 可用性与可伸缩性(scalability):在保证系统稳定性的同时,提供高可用性,并且移动客户数不受限制,能满

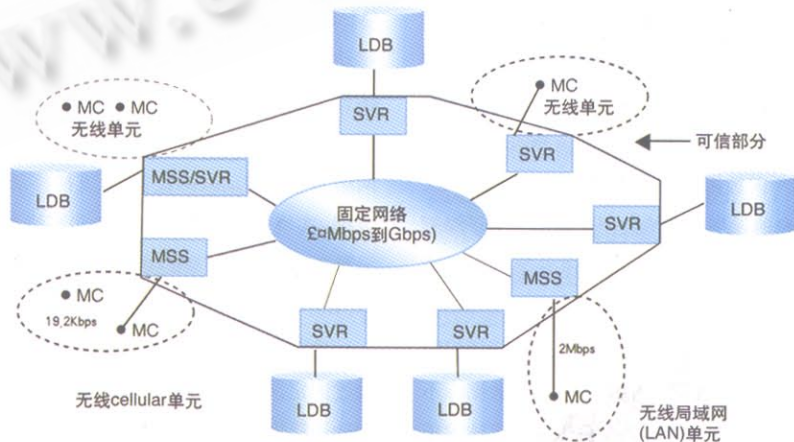


图1 移动数据库的典型系统模型

足大规模移动用户的同时接入。

- 移动性(mobility): 允许移动计算机在和网络断接的情况下访问和更新数据库。

- 可串性(serializability): 支持满足可串性的并发事务执行。

- 收敛性(convergence): 使系统总能收敛于一致状态, 从而避免出现混乱。

显然, 移动数据库对移动计算环境中许多重要应用, 诸如移动办公系统、未来数字战场的移动指挥、公共信息(天气预报、旅游交通信息、股市行情)发布等, 都将具有重要的意义和巨大的实用价值, 拥有广泛的应用前景。

移动数据库的关键技术

移动数据库涉及的理论和技术涵盖了当今通信和计算机发展的最新成果, 其中, 在移动环境下如何进行数据管理是实现移动数据库的关键, 根据目前国际上有关机构的研究表明, 这些关键技术主要集中在如下几个方面:

1. 复制与缓存技术

复制是指在多个结点上维护数据的备份, 包括基结点(即服务器)之间的复制和移动结点上保存数据库的复制。一般前者称为复制, 后者称为缓存。复制的主要目的是提高分布式数据库系统的可用性、可靠性或访问性能, 首要问题是如何维护多个复制结点上数据状态的一致性。按照维护复制一致性的方式来划分, 现有的复制协议可以分为严格一致性协议和弱一致性协议两类。严格一致性协议要求在任何时刻所有数据库的复制都是一致的; 而弱一致性协议允许各个复制之间存在暂时的不一致, 但这种不一致总是保护在一定的界限内, 而且总是能够趋向于一致(收敛性)。传统的复制技术是无法有效支持移动计算环境的, 现在提出了一种三层复制体系结构(Three-Tier

Replication Archirtcture, 简称 TTR 结构), 它能灵活有效地支持各种类型的移动数据应用, 实现上面提到的移动数据库的四个基本目标。三层复制(TTR)体系结构如图 2 所示。

第一层复制是指服务器之间利用传统的复制技术在固定高速网络中所进行的复制, 称之为“服务器级复制”。为了支持移动计算环境, 一般采用一种弱一致性服务器级复制机制(Weakly Consistent Server Replication, 简称 WCSR)。这种策略让每个复制服务器都支持查询与更新操作, 并且允许各个复制之间存在暂时的不一致。因此, 一个用户在访问数据库时, 只需要访问一个复制服务器即可, 而且不仅可以执行查询事务, 还支持更新事务。服务器接到一个查询事务之后, 根据本地数据库的状态返回查询结果; 对于更新事务, 服务器是将其记入暂时事务日志中, 在本地数据库上执行, 并立即返回给用户其标识符和结果, 用户不必等待服务器将该事务的结果传递给其他复制服务器, 因此具有较短的响应时间。为了降低通信开销, 提高可靠性, WCSR 采用了一种周期成对同步的方式, 即每个服务器周期地选择另一个服务器, 两个服务器之间交换各自的暂时事务日志, 经过有限次的成对同步过程, 最终使所有数据库状态达成一致。

第二层复制是指服务器利用无线网络固有的广播能力将数据库中经常被大部分用户访问的公共热点数据组织起来, 经由 MSS 向无线网络单元内的所有 MC 广播, 这实际上是在无线广播信道上做数据复制(只读的), 称之为“空中复制”; 空中复制充分利用了无线网络非对称性的特点。首先, 因为无线网络特有的广播能力与普通网络中的广播显著不同, 它可以支持大量 MC 同时接收, 而且不管接收的客户数有多少, MSS 的广播代价并不改变, 这就允许大规模的移动用户同时访问被广播的热点数据, 极大地提高系统的可伸缩性; 其次, 由于 MC 可以从空中复制取得常用的热点数据, 使得其向服务器发送访问请求的频率也大幅减少, 甚至没有必要再与服务器联机, 这不仅可以使 MC 更有效地使用上行链路或避免代价较高的无线通信, 而且减少了服务器处理每个联机 MC 的开销, 进而使服务器可以同时接收更多联机 MC 的访问。可见, 空中复制是一项开销不大、但却很有实际应用意义的技术。

第三层复制是为了支持移动用户的断接操作, MC 利用本身的处理和存储能力缓存数据库中的部分数据, 称之为“客户机缓存”。由于 MC 的存储容量无法与数据库服务器相比, 而且普通用户也不需要断接期间访问整个数

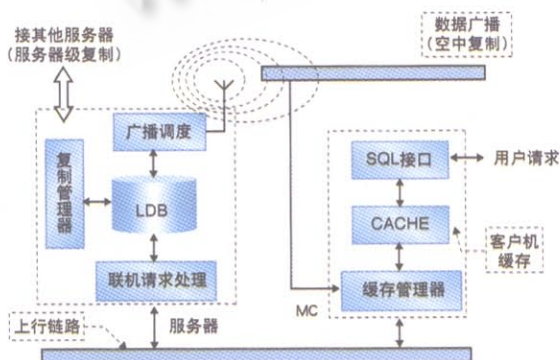


图 2 三层复制(TTR)体系结构示意图

数据库系统,因此在TTR 体系中一般采用一种支持数据库的子集缓存的MC缓存机制,称作MCC (Mobile Client Caching)机制。MCC缓存机制的核心是缓存管理器。它在不同的网络连接条件下具有三种不同的工作状态,即联机状态、脱机状态、集成状态。在联机状态下,缓存管理器将MC用户的事务转交给服务器执行,并负责建立与维护MC的缓存;在脱机状态下,缓存管理器仿真服务器的功能,并将用户更新事务记录在本地的脱机事务日志中;最后,在集成状态下,缓存管理器与服务器合并,并回到联机状态。

2. 数据广播技术

在一个无线单元以内,从服务器到MC的下行通信带宽一般要远大于从MC到服务器的上行通信带宽,而且MC从服务器接收数据的开销也远小于发送开销;在极端的情况下,即使是处于断接状态(即无法向服务器发送消息)的MC也可以选择接收从服务器发送的下行广播信息。于是服务器可以利用这种网络的非对称性,把大多数MC用户频繁访问的数据(即热点数据)组织起来,以周期性的广播形式提供给MC访问。这就是移动计算环境下的数据广播技术。与传统的服务器/客户机联机数据请求方式相比,这种数据广播技术具有以下优点:

- 很好的可伸缩性: 因为服务器广播数据的开销与接收广播的MC个数是无关的,因此它可以以很小的代价支持大量的MC同时访问数据;
- MC可以不需要数据缓存,因此不再需要预测未来的数据请求;
- 即使在断接时,也允许MC访问到最新数据;
- 节约有限带宽: MC从数据广播中获取数据,可以避免或减少与服务器间上行网络通信;
- 便于发送新数据: 服务器可以利用数据广播,将新产生的数据发送给MC,即使MC事先不知道这些数据的存在。

数据广播技术中的一个首要问题是如何调度待广播的数据,优化数据广播的访问时间与调谐时间。访问时间代表了MC访问广播数据的等待时间,而调谐时间则反映了MC为接收指定数据而保持接听数据广播的总时间。目前,这方面的研究还处于初步阶段。

3. 移动查询优化和事务处理技术

移动查询优化技术是指在传统分布式数据库查询优化技术的基础上,利用多种方法、消除带宽多样性、断接等因素产生的影响,命名查询引擎能够根据当前可用网络



条件采取恰当的优化策略。同时,针对移动计算机有限电源能力,合理地组织本地数据库管理、远程数据库访问等消耗电能较多的操作,达到节能目的,延长关键数据的可用时间。移动事务处理技术涉及到计算机提交的分布事务的调度和执行策略,支持脱机移动事务等方式。为了使移动数据库的事务处理更加有效,同时还应针对计算环境的低可靠性考虑如何提高移动事务的可靠性。

4. 移动数据库的安全技术

从本质上讲,无线连接的网络远没有固定网络安全,这是由于无论何地都可以轻而易举地侦听和发射无线电波,且很难被发觉。因此,数据的无线传输比固定线路传输更易受到盗用或欺骗,所带来的问题是:一台计算机容易冒充另一台计算机的身份,怎样才能防止这种非法数据访问?其次,移动计算机携带方便,但也容易失窃,如何避免在移动计算机失窃后对接收或发送数据的盗用?还有,移动计算环境使用户可以连入任意网络,如何防止这种移动用户的泛滥可能被访问网络环境造成的偶然甚至恶意的破坏?这些都是移动数据库的安全技术问题。目前,安全技术的主要措施是:第一,对MC进行认证,防止非注册MC的欺骗性接入;第二,对无线路径加密,以防止第三方盗用;第三,对移动用户提供身份保护,防止用户位置泄密或被跟踪。

结束语

移动数据库既有信息的及时性、分散性和局部自治性,又有系统间的协同性和统一性,它的出发点和所要解决的问题既符合社会组织机构的管理原则,又能实现个人无约束自由沟通和获取资源的理想目标。人类对移动数据库的强烈的应用要求必然促进其迅速发展。但是,由于移动数据库的复杂性,在真正达到实用化之前,还有相当长的路要走,目前还须加紧对其理论和关键技术作更进一步的研究。■