

97, 24(3)
1-5

移动数据库技术: 机遇和挑战*

1-87
TP311.13

李霖 周兴铭

(国防科技大学计算机系 长沙 410073)

移动计算环境,
移动数据库,
移动计
算机

A 摘要 Mobile computing has appeared due to recent prevalence of mobile computers and wireless networking technology. The new characteristic of mobile computing presents new challenges to the research of databases. This paper describes traits of mobile computing, and then discusses current research issues on mobile databases. Finally, we present our expectation on the development of mobile databases in the future.

关键词 Mobile computing, Mobile databases, Replication, Cache, Data broadcast, Query processing, Transaction processing

1. 引言

目前,越来越多的用户开始拥有各种便携计算设备,例如笔记本电脑、PDA等,我们把它们统称为移动计算机(Mobile Computer)。据有关资料介绍,1993年美国商用PC机销售量的约40%都是移动计算机^[9]。而且,随着半导体技术的飞速发展,移动计算机的处理能力、存储容量等性能指标正以每18个月翻一番的速度提高(摩尔定律),已足可与同类台式机相媲美。于是,移动计算机已经有能力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管理任务。

另一方面,目前我们已进入以网络计算为中心的时代,人们迫切需求能在任何时候、任何地点访问任何所需数据,而正在迅速发展并逐渐成熟的无线通信与联网技术为之提供了手段。可以预见,未来的绝大部分移动计算机都将配备以无线为主的联网设备,以支持移动用户访问网络中数据的需要。这将是一种更灵活、更复杂的分布计算环境,人们称之为移动计算环境。我们将能够支持移动计算环境的数据库技术称作移动数据库技术。

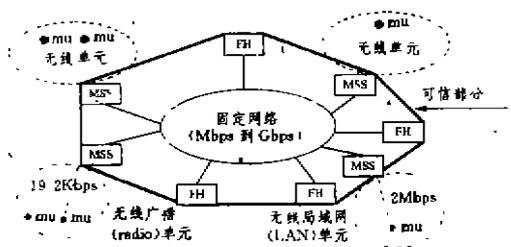
研究表明,由于移动计算环境的一些独特特点,传统的分布式数据库与客户/服务器数据库技术不能支持或是不能有效支持移动计算^[4,9,12,13]。因此,在研究移动数据库技术时,必需考虑移动计算环境

的挑战。

2. 移动计算环境的主要特点

移动计算环境是传统分布计算环境的扩展,图1展示了一种移动计算环境的典型体系结构^[11]。与基于固定网络的传统分布计算环境相比,移动计算环境具有以下特点:

- 移动性。在移动计算环境中,同一台移动计算机可以在不同的地方连通网络,这种计算平台的移动性可能导致系统访问布局的变化和资源的移动性。而且,个人的移动性(即在不同地方使用当地的计算设备)也随着个人通信网PCN与网络计算机NC的提出而日益突出;



mu: 移动设备; MSS: 支持移动计算的固定站点, 具有无线通信接口; FH: 固定主机, 没有无线通信接口

图1 移动计算环境的典型结构

* 本课题受九五国防预研基金资助, 李霖 博士研究生, 主要研究兴趣为并行与分布式数据库、移动数据库技术, 周兴铭 中科院院士, 主要研究兴趣包括高性能机体系结构、并行与分布式数据库、先进计算机网络技术等。

• **断接性。**移动计算机在移动过程中,由于使用方式、电源、网络条件等因素的限制,一般不采用保持持续联网的工作方式,而是频繁地、有预见地入网、断接;

• **带宽的多样性。**移动计算机的移动性使得不同时间可用的网络带宽与服务质量是变化多端的,甚至相差悬殊;移动计算机既可以联入高带宽的固定网络中,也可以工作在低带宽的无线广域网中,甚至根本无网可上。显然,移动数据库的查询优化等机制必须针对不同的网络条件选择最合适的策略;

• **网络通信的非对称性。**由于物理通信媒介的限制,一般的无线网络通信都是非对称的,表现在固定服务器节点可以拥有强大的发送设备,而移动计算机的发送能力非常有限,于是下行链路(服务器到移动计算机)的通信带宽与代价和上行链路是相差很大的。此外,许多客户/服务器应用中的信息流动范型也会引起通信的非对称性;

• **移动计算机的电源能力。**移动计算机主要依靠蓄电池供电,而现在电池的容量相当有限,一般在正常的连续使用情况下只能维持2—5个小时。不幸的是,电池容量在未来5年内只能提高约30%^[4],这远远低于同期CPU速度和存储容量的发展速度。因此,尽管已有不少节能技术应用于移动计算机,但电池容量问题仍将在长时间内存在;

• **可靠性。**无线网络与固定网络相比,可靠性较低,更容易受到干扰而出现网络故障;此外,移动计算机由于其便携性和工作环境,也带来潜在的不安全因素,如损坏、失窃等;

• **规模。**许多移动数据库应用环境,如公共交通信息系统,都要求系统同时支持大量的移动用户并发访问,这就要求移动数据库系统必须具有比传统客户/服务器及分布式数据库系统高得多的可伸缩性。

3. 移动数据库的主要研究方向

近年来,国外已有多家研究机构积极开展移动数据库的研究工作,比较有代表性的有美国的Rutgers大学、Purdue大学、日本松下公司的信息技术实验室(MITL)等。目前,有关移动数据库技术的研究工作主要集中在下述几个方向。

3.1 复制与缓存技术

复制的主要目的是提高分布式数据库系统的可用性、可靠性以及访问性能。传统的复制技术主要考虑在服务器之间的复制,并且假设服务器之间是经常保持连接的。

此外,传统的复制策略都是静态的,即由系统管理员统一安排好复制布局后就固定不变了,如果系统中用户访问范型发生较大变化而要求改变这种布局时,必须要管理员重新配置分布系统。因此,传统复制技术在移动计算环境中不能有效工作。

针对移动计算的特点,J.Gray^[5]和J.J.Kistler^[20]等都提出了两级复制(two-tier replication)的概念。两级复制机制假设移动系统中含有两类结点,移动结点和基结点(即服务器)。基结点位于固定网络中,它们之间总是保持连接的,而移动结点则大部分时间处于断接状态。于是,系统的第一级复制就是在服务器之间的复制,而第二级复制是在移动结点上保存数据库的复制(亦即缓存)。在下文中,为叙述方便,我们把前者称为复制,而把后者称作缓存。

目前,人们已分别以复制或缓存策略为侧重点展开了研究。在复制方面,传统的复制技术可以适用,但在某些应用中,由于关键用户的频繁移动而造成静态复制策略难以达到满意的性能,因而提出了对动态复制策略的需求。Ouri Wolfson等在文[21]中首先提出了两个动态复制的分布算法,这两种算法均能够根据各个结点上数据项的读写范型的变化而动态地改变复制布局,使之分别在通信代价与通信时间上趋于最优化。但它们只能处理单一数据项的复制问题,因此仍具有相当大的局限性,Yi Xiu Huang等在此基础上加以扩展,使之适合于移动计算机与服务器之间的复制,提出了一种滑动动态算法SW₁^[10],但他们仍只考虑对一个对象的复制,而且假设移动计算机要保持与服务器的连接,这是不切实际的。

在移动计算机的缓存策略方面,针对传统的客户/服务器DBMS,人们已对客户机上的缓存问题进行了许多研究,提出了一些缓存机制和策略,具有代表性的包括R.Alonso提出的准拷贝(Quasi-copy)方法^[1],A.M.Keller等提出的基于谓词的缓存机制^[6],但这些研究都是假设客户机长时间保持与服务器的连接,因而不能直接用于经常断接的移动计算机上。

Kistler在其博士论文[19]中重点研究了在移动文件系统Coda中的断接操作,对客户机的缓存机制Venus作了详细的讨论。Venus采用乐观缓存策略,它工作于三种状态:hoarding(收集)、emulation(竞争)、reintegration(再集成)。在保持连接时,

Venus 处于 hoarding 状态,它能够访问服务器上的复制,并收集在可预期的断接期间可能需要的数据;在断接时,Venus 进入 emulation 状态,这时它基本代理了服务器的操作,并将在缓存数据上的操作记录在日志中;最后,在客户机重新连接时,Venus 根据日志记录,将其缓存数据与服务器上的数据重新同步,并对可能发生的各种冲突进行消解。Honeyman 等在[9]中也讨论了一种移动文件系统,并进一步将移动计算机的连接情况分为4种,即连接、部分连接、只取、断接,分别对应于带宽、可靠性从高到低的网络环境;针对每种连接状态,该文分别研究了相应的缓存策略。上述关于缓存的研究很具有启发性,但它们都是以分布文件系统为研究基础的,因而不能有效支持数据库访问中的缓存问题。

Barbara 与 Imielinski 在[5]中研究了支持移动计算环境的数据库访问缓存机制。他们提出了三种基于广播的缓存失效报告方法,并对三种方法的适用范围作了理论分析。这三种方法都是通过周期地广播能反映数据库更新情况的数据来维持缓存的同步的。但是,该文没有考虑移动计算机对数据库进行缓存的粒度和机制,而且也未考虑失效报告如何组织,以便在公共信道中周期广播。目前,我们还没有见到在移动数据库研究领域中有类似于 Coda 中的断接操作那样详细的缓存技术研究,可见在这个方向的研究还非常初步。

3.2 数据广播技术

利用无线网络通信不对称的特点,为支持大规模的移动用户对热点数据的并发访问,研究将热点数据组织在共享无线信道上的广播技术,通过对空中数据及其索引的合理组织,使移动用户可以以最小的代价有选择地接收数据,从而提高查询效率及移动数据库的可伸缩性。数据广播技术将有着很大的应用前景,例如公共信息的发布(股市、交通...)

目前,人们对数据广播技术的研究刚刚起步。Rutgers 大学在这方面作了一些有益的尝试,Imielinski 等人不仅详细讨论了在未来无线信息系统中数据广播的重要性与可行性^[4],而且初步研究了空中广播信道的数据组织方法^[15-17],提出了散列方法、柔性(flexible)索引、分布索引等结构,并对这些结构的访问时间、调谐(tuning)时间进行了分析。但是,这些方法仍具有很大的局限性,如数据项大小固定、所以数据无论访问频率如何都以相同的周期广播、未考虑热点数据与其它数据的区别处理等。

Brown 大学的 S. Acharya 等人也对数据广播进

行了研究,他们在[2]中提出一种多盘广播(Multi-disk Broadcast)机制。与 Imielinski 不同,他们的广播机制侧重于将数据组织成以不同周期广播的形式,即更有可能被大多数移动用户访问的热点数据的广播频次要高于其它数据;此外,这种多盘广播机制还考虑了客户机上的缓存问题,利用预取缓存技术来进一步提高用户访问空中数据的性能。但是,Acharya 没有考虑被广播的数据库频繁更新的情况,而是假设每次广播的数据库结构、大小都是固定的,因而也就未考虑索引机制和缓存一致性问题。

可见,Imielinski 与 Acharya 等的研究都只考虑了某个侧面的问题,没有能较好地结合起来。而且,他们都没有考虑如何把支持热点数据访问的数据广播与支持其它一般数据的请求/应答方式结合起来的问题,而这在实际的移动数据库系统中是必须的。

3.3 移动查询优化技术

移动数据库系统所基于的网络环境是可以变化的,可能使用各种带宽和服务质量的网络条件。因此,在进行分布查询优化时,必须研究带宽多样性等因素产生的影响,使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,同时灵活选择满足用户需要的查询响应方式;此外,还必须考虑一些新出现的特殊因素,例如,在无线网络上发送数据的费用相对较高,这就迫使查询优化器将重点转移到如何使一个查询规划所消耗的经济费用最小化;此外,在采用蜂窝通信的移动计算环境中,除了数据传输开销以外,启动一次通信连接还需要相对较高的额外费用,因此在优化执行时间较长的分布查询时,不能采用频繁的短时通信方式,而应考虑尽量减少通信连接的次数,增加每次连接的时间,这样才能降低总的通信费用。总之,移动数据库的查询优化算法应当综合考虑网络带宽和通信费用两种因素,采用灵活的决策方式,允许用户指出优先考虑的因素(例如,某些用户要求尽量缩短查询的响应时间,对通信费用的高低并不关心;而其他用户却更关心查询的费用)。

另一个可能影响查询处理的网络因素是用户的移动性和断接性。对于执行时间较长的查询来说,发出查询的移动用户不能长时间保持连接,也许在断接一段时间之后,从另一个位置重新入网以取回查询结果。移动数据库服务器应当能够处理这种移动性和断接性,允许以脱机(off-line)方式提交查询,并保证将查询结果送回正确的用户。

上一节我们已指出,目前的电池技术只能维持

移动用户几个小时的工作。由于使用数据库的移动用户对电池容量要求更高,因此移动数据库必须考虑尽量减小对电源的消耗。除了在硬件和操作系统级采用节能技术以外,移动数据库也可以通过省电查询优化的方法节约电能,即根据各种候选查询规划的耗电量选择最佳执行规划。于是,Alonso指出,除了传统的事务吞吐率之外,单个事务的耗电量也将成为移动数据库系统的设计准则^[2]。

Imielinski 等人认为,在移动计算环境中,查询本身的性质也会影响查询处理^[11]。例如,一个查询中的有关参数可能与发出查询的移动计算机的当前位置、移动方向、运动速度等相关,这增加了查询处理的复杂度。

3.4 移动事务处理技术

移动计算应用将需要各种事务服务。由于移动计算机同样拥有可观的处理能力和存储容量,因此移动数据库的事务处理不仅决不比传统的分布式事务处理简单,而且会更加复杂。此外,移动用户需要在断接期间继续工作,使得本地数据库对自治性要求更高,因此,称动数据库的事务处理也要应用多数据库中的有关技术。

移动计算机频繁的可预见的断接,意味着系统必须采取相应的特殊措施,以保证活动事务的顺利完成。以下是 Alonso 提出的一些可行的处理方法^[4]。

(1)如果一个事务不再需要和用户交互,则可以该事务的执行迁移到一台非移动的计算机上完成。

(2)对仍需要继续交互执行的事务,可以在断接之前将事务要用到的远程数据下载到移动计算机上,以支持该事务在断接之后的继续执行;在重新入网时,按乐观估计的并发控制方法将事务对远程数据的修改发回原地。

(3)移动计算机在断接之前,主动向其参与的分布式数据库协议(如多数一致协议)宣告退出,这可以简化分布协议处理网络分割故障的开销,因为在传统的分布模型中,断接只有在实际发生之后才可能被检测出来。

在上节中提到,移动计算机的可靠性较低,其数据容易因意外事故而受到破坏,例如碰撞、强磁场甚至失窃等。因此,除了应用传统的数据库恢复技术之外,还要设计一些特殊的机制,提高移动数据库的可靠性。例如,在每次断接之前,将移动数据库的事务处理日志记录传送到一台固定计算机上备份。

除了特殊的断接模式之外,移动数据库事务处理还应考虑无线通信代价的特点。这个代价不仅体现在远高于固定网络的传输费用,还体现在发送/接收数据时对有限电池容量的消耗上。事务处理应尽可能将通信数据组织起来,成批量地传输,以降低总的通信费用。

3.5 安全

移动计算机可以在不同的地方、不同的网络中出现和消失,于是带来了一些问题:怎样才能防止一台计算机冒充另一台机器的身份,从而进行非法数据访问? 移动计算机携带方便,但也容易失窃,此时由它发送或接收的数据很容易被盗用,如何避免这种情况的发生? 还有,移动计算环境使移动用户可以连入任意网络,如何防止这些移动用户的泛滥可能对被访问网络环境造成的偶然甚至恶意的破坏? 以上都是移动数据库面临的安全问题。

3.6 人机界面

移动计算机的未来发展趋势是更小、更易于携带和使用,它很可能将采用笔输入或语音输入等方式取代难以再缩小的键盘,屏幕尺寸也会进一步减小。如果人们最终能接受这种新型的计算设备,就像今天人们已广泛接受 PC 机一样,那么移动数据库的人机界面必须进行改造,以适应这种变化趋势。例如,现有的数据库查询语言 SQL 在笔输入计算机上不易使用,更理想的方法是设计一种可视化的查询输入环境,诸如查询类型、模式选择、属性选择以及查询参数的输入等都可以简单地用笔输入来完成。其次,屏幕尺寸的缩小也将影响查询结果的输出形式,那种将结果数据按原样全部输出的方式显然不适合移动计算机,更好的方法可能是采用能够反映用户基本查询意图的模糊输出方式。

总结 综上所述,移动计算环境的出现,使人们见到了能够随时随地访问任意所需信息的希望。但是,移动计算以及它所具有的独特特点,对传统的数据库技术,如分布式数据库技术和客户/服务器数据库技术,提出了新的要求和挑战。

移动数据库系统要求支持移动用户在多种网络条件下都能够有效地访问所需数据,完成数据查询和事务处理;移动用户即使在断接的情况下也可拥有一定的工作能力,并且能尽可能地提高系统的访问效率和性能;移动数据库系统能够充分利用无线通信网络的能力,同时支持大规模的移动用户访问热点数据,从而具有高度的可伸缩性,这是传统的客户/服务器或分布式数据库系统所难以比拟的。因

此,移动数据库技术的研究与实现,对未来移动环境中的许多重要应用,诸如战场移动指挥、公共信息发布系统等,都将具有重要的意义和巨大的实用价值。

移动数据库技术的研究仍是一个充满挑战性和具有实用意义的新兴课题,这一领域正引起更多数据库研究人员的关注和兴趣。虽然目前已有一些有价值的研究成果推出,但在该领域的研究仍有许多不足之处,已提出的一些机制、算法都存在较强的假设和较大的局限性。因此,我们有必要抓住这个机会,对移动数据库技术进行更深入的研究,迎接移动计算对我们提出的新的挑战。

参考文献

- [1] R. Alonso, et al., Data Caching Issues in an Information System, ACM Trans. on Database Systems, 15 (3), 1990
- [2] S. Acharya, et al., Dissemination-Based Data Delivery Using Broadcast Disks, IEEE Personal Communications, Dec. 1995
- [3] R. Alonso & S. Ganguly, Energy-efficient Query Optimization, MITL-TR-33-92, Matsushita Information Technology Laboratory, Princeton, NJ, 1992
- [4] R. Alonso & H. F. Korth, Database System Issues in Nomadic Computing, In Proc. of ACM SIGMOD Intl. Conf. on Management of Data, 1993
- [5] P. A. Bernstein, PC Database Systems - Present and Future, In Proc. of the 20th VLDB Conf., 1994
- [6] D. Barbara & T. Imielinski, Sleepers and Workaholics, Caching Strategies in Mobile Environments, SIGMOD'94, 1994
- [7] M. H. Dunham & A. Helal, Mobile Computing and Databases, Anything New?, SIGMOD Record, 24 (4), 1995
- [8] J. Gray, et al., The Dangers of Replication and a Solution, SIGMOD'96, Jun. 1996
- [9] P. Honeyman & L. B. Huston, Communications and Consistency in Mobile File Systems, IEEE Personal Communications, Dec. 1995, 44-48
- [10] YiXiu Huang et al., Data Replication for Mobile Computers, SIGMOD'94, May 1994
- [11] T. Imielinski & B. R. Badrinath, Querying in Highly Mobile Distributed Environments, In Proc. of the 8th VLDB Conf., 1992
- [12] T. Imielinski & B. R. Badrinath, Data Management for Mobile Computing, SIGMOD Record, 22 (1), 1993
- [13] T. Imielinski & B. R. Badrinath, Mobile Wireless Computing: Challenges in Data Management, CACM, 37(10), 1994
- [14] T. Imielinski, S. Viswanathan, Adaptive Wireless Information Systems, Tech. Report, Rutgers University, 1993
- [15] T. Imielinski, et al., Power Efficient Filtering of Data on Air, 4th Intl. Conf. on Extending Database Technology, Mar. 1994
- [16] T. Imielinski, et al., Data on Air, Organization and Access, Tech. Report, Rutgers University, 1994
- [17] T. Imielinski, et al., Energy Efficient Indexing on Air, SIGMOD'94, May 1994
- [18] A. M. Keller & J. Basu, A Predicate-based Caching Scheme for Client-Server Database Architectures, VLDB Journal, Vol. 5, 1996
- [19] J. J. Kistler, Disconnected Operation in a Distributed File System, Ph. D dissertation, Carnegie-Mellon University, May 1993
- [20] J. J. Kistler & M. Satyanarayanan, Disconnected Operation in the Coda File System, ACM Trans. on Computer Systems, 10(1), 1992
- [21] O. Wolfson & S. Jajodia, Distributed Algorithms for Dynamic Replication of Data, 11th ACM PODS, Jun. 1992