

# 移动计算环境中基于移动代理的数据管理体系结构<sup>\*</sup>

吴 劲 卢显良 任立勇 侯孟书

(电子科技大学计算机科学与工程学院 成都610054)

**摘 要** 在研究、分析移动计算环境特殊性的基础上,提出了一种基于移动代理的数据管理体系结构,简称DMABMA。该体系结构能把移动计算环境分成两大部分:固定网络部分和无线网络部分,充分利用固定网络部分的高带宽和高可靠性来弥补无线网络部分的断接性、有限带宽和弱可靠性,最终使两者有机结合,形成一个适合移动计算环境需要的体系结构。

**关键词** 移动代理,移动计算环境,数据管理体系结构,客户/服务器

## Data Management Architecture Based on Mobile Agent in Mobile Computing Environments

WU Jing LU Xian-Liang REN Li-Yong HOU Meng-Shu

(College of Computer Science & Engineering, UESTC of China, Chengdu 610054)

**Abstract** Researching the particularity of the mobile computing environments, we propose a data management architecture based on mobile agent, namely DMABMA. This architecture divides the mobile computing environments into two parts: the fixed network and the wireless network. We can use the high bandwidth and high reliability of the fixed network to repair the disconnection, the limited bandwidth and weak reliability of the wireless network. The two parts combine to form an architecture adapting well to the mobile computing environments.

**Keywords** Mobile agent, Mobile computing environments, Data management architecture, Client/server

## 1 引言

体系结构模型定义了系统中组件交互的方式以及它们映射到计算机基础网络的方式<sup>[1]</sup>,一个系统的体系结构是用指定组件表示的结构,其整体目标是确保结构能满足现在和将来可能的需求,主要关心的是如何使系统可靠、可管理、可适应、低成本和高效益。移动计算的的网络环境是一种特殊的分布式环境<sup>[2]</sup>,与传统的分布式系统相比,它具有鲜明的特点:移动性、断接性、带宽多样性、可伸缩性、弱可靠性、网络通信的非对称性、电源能力局限性等等。这些特点使得传统的分布式体系结构不能很好地适应移动计算环境的特殊需求,我们在研究、分析移动计算环境特殊性的基础上,提出了一种基于移动代理的数据管理体系结构(Data Management Architecture Base-on Mobile Agent,简称:DMABMA),该体系结构能把移动计算环境分成两大部分:固定网络部分和无线网络部分,充分利用固定网络部分的高带宽和高可靠性来弥补无线网络部分的断接性、有限带宽和弱可靠性,最终使两者有机结合,形成一个适合移动计算环境需要的体系结构。

本文首先介绍了移动计算环境的基础网络模型和系统设计目标,然后分析比较了已有的两种移动计算环境的体系结构,最后系统描述了我们提出的基于移动代理的数据管理体系结构DMABMA。

## 2 移动计算环境的基础网络模型和系统设计目标

### 2.1 移动计算环境的基础网络模型

我们提出的基于移动代理的数据管理体系结构DMABMA,是基于图1所示的移动计算环境的基础网络模型。总体

上,整个网络由有线网络作为主干网络,各种无线网络作为对主干网络的扩充。移动主机(MH: Mobile Host)只能通过无线网络与连接在有线网络上的MSS(Mobile Support Station)或基站(Base Station)通信,所有其它主机,无论是移动主机还是固定主机,和该移动主机之间的通信都要经过MSS中转。

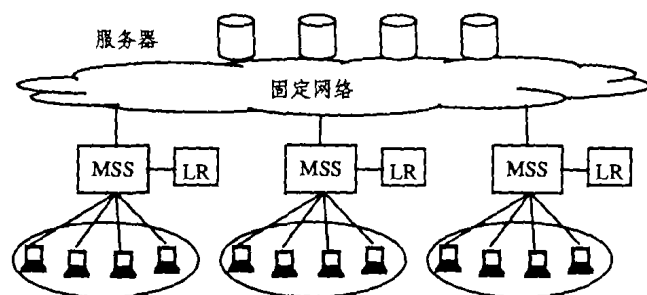


图1 移动计算环境的基础网络模型

从MSS发送的信号可以覆盖的范围称为一个区间(Cell)。区间的大小变化范围很大,卫星系统的一个区间直径可以超过四百英里,蜂窝系统的覆盖范围直径为几英里,而无线局域网的区间半径只有几十米。为了更有效地利用频道,支持更多的用户,无线网络的一个发展趋势是区间的小型化。移动主机移动时可能穿越区间而进入另一个MSS所覆盖的区间,这个过程叫做越区切换(Handoff),越区切换对链路管理和位置管理有很大的影响,尤其是数据传输中的越区切换会比较复杂,图中的位置寄存器LR的作用就是协助进行移动主机的位置管理。

<sup>\*</sup> 本文由电子信息产业发展基金和电子科技大学校青年基金资助,项目编号分别为:[2002]11006和YF020803。吴 劲 讲师,博士生,主要研究方向为计算机网络及分布式数据库技术;卢显良 教授,博士生导师,主要研究方向为计算机网络技术及应用。

## 2.2 系统设计目标

结合移动计算的特点,一个理想的移动数据管理系统要做到有效地支持移动计算环境中的各种数据应用,满足人们能在任意时刻、任意地点访问任意数据的需求,应当实现如下四个目标<sup>[3]</sup>:

**可用性与可伸缩性** 在移动计算环境中,许多应用系统都要求系统同时支持大量的移动用户并发访问,这就要求移动数据管理系统必须具有比传统 Client/Server 及分布式数据管理系统高得多的可伸缩性,在保证系统稳定性的同时,提供高可用性。

**移动性** 在移动计算环境中,同一台移动主机可以在不同的地方联入网络,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,同时移动计算应用过程中,网络通信中上行和下行链路通常是非对称的,而且还会频繁断接,这要求移动计算环境的体系结构要能适应移动性带来的特殊问题。

**可串行性** 数据不一致的一个很重要原因是多个数据源更新操作并发执行,因此应设法保证事务调度的可串行性。

**收敛性** 使系统总能收敛于一致状态,从而避免出现混乱。当某一事务因某种原因被终止,长时间不能继续时,应提供相应的策略以保持系统数据的完整性与一致性。

基于上面的四个目标我们来讨论一下适用于移动计算环境的体系结构。

## 3 适用于移动计算环境的体系结构研究

移动计算环境是分布式系统的特例,我们认为,在移动计算环境中采用多级客户/服务器体系结构更为可行,下面我们将讨论两种适应于移动计算环境的模型<sup>[4]</sup>。

### 3.1 Client/Agent/Server 模型

Client/Agent/Server 模型如图2所示,该模型属于多层客户/服务器模型,在 Client 与 Agent, Agent 与 Server 之间采用消息和排队机制来实现信息交流,实际上,在这种模型中 Agent 是客户在固定网络服务器端的代理。这种结构可部分消除在无线连接情况下的有限带宽、弱可靠性的不良影响,因为代理可以在固定服务器端保持客户的存在。显然,Agent 的接口可以分为两个部分:一个是 Client 与 Agent 之间的接口;一个是 Agent 与 Server 之间的接口。在不同的接口中可以采用不同的通讯协议。

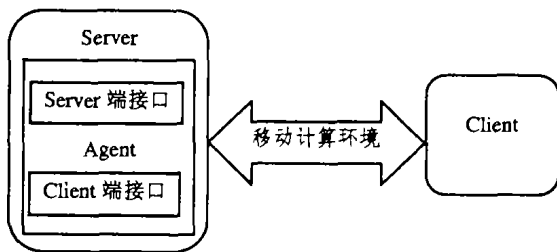


图2 Client/Agent/Server 模型

该模型适用于有限计算能力和有限电源的“瘦客户”。通过该模型可以将客户上要处理的业务转交到 Agent 上,并在固定服务器端执行。该模型处理断接的方法为:断接前,移动客户可以将任务要求提交给 Agent,断接后由 Agent 和 Server 交互工作完成任务,处理结果存放在 Agent 处。一旦移动客户与 Server 再次连接成功,移动客户则可以从 Agent 处获得最终结果。

这种模型的优点在于:断接时,Agent 仍然可与 Server 交互执行任务,Agent 可利用固定网络的高带宽,可在 Agent 执行优化操作,可有选择地传送结果。但是这种模型也存在缺点:一旦出现断接操作,客户就不能继续工作。而且 Agent 只能优化从固定网络到移动客户的数据传输,而反之不能,即从移动客户到固定网络的数据传输无法优化。为了解决这些问题,可采用下面介绍的 Client/Intercept/Server 模型。

### 3.2 Client/Intercept/Server 模型

Client/Intercept/Server 模型如图3所示,这种模型将 Agent 划分为两个部分:服务器端 Agent (Server-side Agent) 和客户端 Agent (Client-side Agent)。顾名思义,Server-side Agent 驻留在固定网络的服务器端,而 Client-side Agent 则驻留在客户端。后者解释客户的请求并与前者一起执行优化处理,以减少在无线链路上的数据传输,改善数据的可用性,并保证移动客户的操作不间断性。从客户的角度来看,Client-side Agent 的作用相当于一个驻留在本地客户上的局部服务器代理。同样,Server-side Agent 就如同在服务器端的本地客户代理。Server-side Agent 驻留在固定网络中,并不一定要和相应的服务器驻留在同一台机器上,因此这组 Agent 可以看成是“虚”插入在客户和服务器之间的数据通路上。

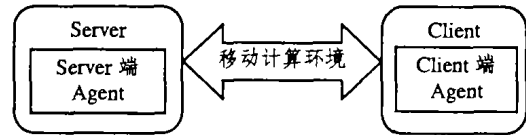


图3 Client/Intercept/Server 模型

这个模型对于客户和服务器都是透明的,它们可以为多个应用程序所使用。两个 Agent 的协作来优化无线链路的使用,从而使不同的应用获益,特别是可以更为有效地进行特定应用的优化。这个模型可以灵活地处理断接操作。在 Client-side Agent 上可以进行局部数据缓存,这个缓存可以在一定程度上满足在断接情况下客户的数据需求。缓存的命中丢失可以由 Agent 进行排队处理,一旦再次连接成功就可以解决命中丢失问题。同样在断接状态,服务器端对客户的要求也可以在 Server-side Agent 处进行缓存等待处理,直到再次成功连接。对于弱连接的处理方法类似。

该模型较适用于带用足够的计算能力和较强辅存能力的“胖客户”,其缺点是每个应用都要求在服务器端和客户端开发相应的程序。

## 4 基于移动代理的数据管理体系结构

我们在研究典型的移动计算环境网络模型的基础上,提出了“基于移动代理的数据管理体系结构”(Data Management Architecture Base-on Mobile Agent,简称:DMABMA),DMABMA 是一种多层客户/服务器模型,吸取了 Client/Agent/Server 模型和 Client/Intercept/Server 模型的优势,并通过数据处理功能的合理分配,避免了上两种模型的局限性,保证了系统的可用性、可伸缩性以及收敛性。

### 4.1 DMABMA 的总体结构

DMABMA 的总体结构如图4所示。服务器通过主干网络与各个 MSS 相连接,MSS 负责管理其覆盖范围内的移动主机 (Mobile Host:MH)。为了增加系统的可伸缩性,我们把移动代理 MA 安排在 MSS 上;而在每个移动主机 MH 上都有自己的缓存 (Cache),缓存的存在可以减少在无线链路上的数

据传输,改善数据的可用性,并保证移动客户操作的不间断性。

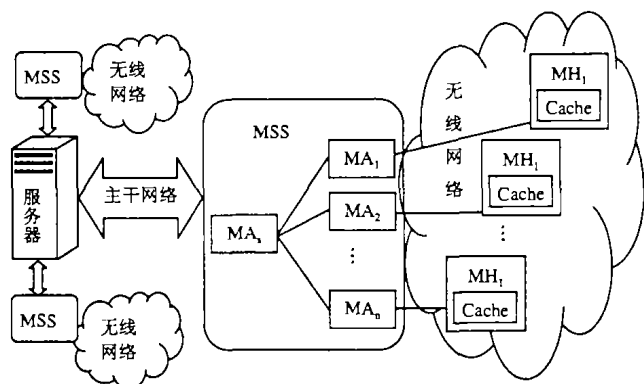


图4 DMABMA 的总体结构

每个MSS上有两大类移动代理:  $MA_i$  和  $MA_j$  ( $i=1, 2, \dots, n$ )。  $MA_i$  的功能可以分成二大部分: 第一, 是与服务器协调工作, 主要负责数据复制, 即负责维护数据库的备份, 其主要目的是提高分布式数据库系统的可用性、可靠性和访问性能; 第二, 是与该小区内的各移动主机在MSS上的  $MA_i$  协调工作, 主要负责数据广播(或称为空中复制), 就是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(或者是缓存失效策略中的失效报告), 向无线网络单元内的所有MH广播, 数据广播充分利用了无线网络非对称性的特点。  $MA_i$  的功能可以分成二大部分: 第一, 是与  $MA_j$  协调工作, 负责接收数据广播等相关数据; 第二, 是与  $MH_i$  协调工作, 负责缓存失效管理的相关功能。

#### 4.2 DMABMA 中的数据复制技术

数据复制(Data Replication)是指在多个结点上维护数据库的备份, 其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。数据复制的首要问题是如何维护多个复制结点上数据库状态之间的一致性。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持在一定的界限内, 而且总是能够趋向于一致(收敛性)。

严格一致性复制协议在用于移动计算环境中时将产生可用性与访问性能的问题, 由于严格一致性复制协议要求所有复制结点都必须同时保持连接, 因此, 如果将MH加入到复制服务器集合中, 则严格一致性复制协议不允许MH断接, 这在移动计算机环境中是不现实的; 反之, 如果所有MH都不参与复制集合, 则一方面加重了数据库服务器的处理开销, 因为所有数据访问请求都必须由服务器完成, 这不仅降低了系统的可伸缩性, 而且降低了MH的访问性能; 另一方面, 断接时将不访问任何数据, 这大大降低了移动数据库的可用性。因此, 严格一致性复制协议不适用于移动计算环境。

与严格一致性复制协议相比, 弱一致性复制协议能够更好地支持移动计算环境。但是, 单纯采用传统的弱一致性复制技术也难以有效地支持移动计算环境。例如, MH在断接期间需要继续对数据库进行访问(即MH的断接操作), 如果选择在每个MH上都加入弱一致性数据复制, 则会使移动数据库和复制规模无限增长, 使整个复制数据库系统的收敛性与一致性几乎不可能得到有效的维护。此外, 在一些特殊移动应用环境中, 移动服务器需要在断接情况下支持MH的数据库访

问, 这种服务器的断接性与传统复制技术中考虑的网络分割故障是不同的, 因为前者是一种主动的行为, 需要得到特殊的处理; 另外, 单纯的弱一致性复制协议无法支持需要严格一致性的移动应用, 而这在许多应用场合是必需的。

总之, 在分布式数据库系统中得到广泛应用的传统数据复制技术, 主要是在服务器之间复制数据, 其数据缓冲技术也主要是在客户上存储部分数据库的数据, 它们都假定服务器之间的连接是固定且不间断的, 而这与移动计算环境的移动和网络断接频繁的特点相矛盾。显然, 传统的数据复制技术无法有效地支持移动计算环境, 因此不能直接应用于移动数据库系统中。

我们提出的DMABMA体系结构中的数据复制是在服务器和MSS之间进行, 即在移动计算环境中的固定可信网络部分之中进行, 所以避开了以上所讨论的难题。因此, 我们完全可以利用已有的分布式数据复制技术<sup>[5]</sup>完成这部分功能模块的实现, 而与移动网络部分相关的数据管理技术, 我们将采用下面讨论的数据广播技术和缓存失效策略来完善。

#### 4.3 DMABMA 中的数据广播技术

数据广播(空中复制), 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MH广播, 实际上是在无线广播信道上做数据复制(只读的)。数据广播充分利用了无线网络非对称性的特点, 在一个无线单元以内, 从服务器到MH的下行通信带宽一般要远大于从MH到服务器的上行通信带宽, 而且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MH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MH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MH访问。与传统的客户/服务器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MH的个数是无关的, 所以它可以以很小的代价支持大量的MH同时访问数据;
- 节约有限带宽: MH从数据广播中获取数据, 可以避免或减少与服务器间的上行网络通信;
- 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MH, 即使MH事先不知道这些数据的存在。

在我们提出的DMABMA体系结构中, 每个移动主机MH在MSS中都有相应的MA存在, 所以在DMABMA体系结构中的数据广播技术可充分利用MSS上的MA, 以改善数据广播算法的性能。其中最主要的研究课题是, 研究服务器如何根据MH的访问概率分布生成最适合MH访问的广播程序, 即数据广播的调度问题。要评价一个数据广播调度策略优劣, 主要考虑两个指标<sup>[6]</sup>:

访问时间(Access Time): 从移动客户提出数据访问请求开始, 到从数据广播中得到结果为止所需时间, 访问时间决定了移动用户查询的响应时间。

调协时间(Tuning Time): 在完成一个访问请求期间, 移动主机保持接听广播的总时间。调协时间决定了移动主机的电源消耗, 因为如果不接听广播, 移动主机可转入休眠状态。大部分移动主机依靠有限的电池供电, 因此减少调协时间也是数据广播的一个重要研究课题。

(下转第88页)

- 6 Ye Yiming, Yi Xun. Coalition Signature Scheme in Multi-agent System. In: 11<sup>th</sup> Intl. World Wide Web Conf. Honolulu, Hawaii, USA, May 2002
- 7 Elgamal T. A Public Key Cryptosystem and A Signature Scheme Based on Discrete Logarithms. IEEE Trans Inform. Theory, 1985, 31:469~472
- 8 Chang Y S, Wu T C, Huang S C. ElGamal-Like Digital Signature and Multi-signature Schemes Using Self-certified Public Keys. The Journal of System and Software, 2000, 50(2): 99~105
- 9 伊丽江,白国强,肖国镇.代理多重签名:一类新的代理签名方案.电子学报,2001,4:569~570
- 10 Roth V. Mutual Protection of Cooperating Agents. In:Jan Vitek and Christian Jensen, eds. Secure Internet Programming: Security Issues for Mobile and Distributed Objects. vol. 1603 of Lecture Notes in Computer Science, pp275~285
- 11 王汝传,徐小龙.移动代理安全机制的研究.计算机学报,2002,25(12):1294~1301
- 12 王汝传,赵新宁.基于网络的移动代理系统安全模型研究和分析.计算机学报,2002,26(4):477~483
- 13 王汝传,孙开翠.基于 JavaCard 的移动代理安全模型研究.通信学报,2003,24(11):27~33
- 14 Miao C, Wei R. Secret Sharing for Mobile Agent Cryptography. Communication Networks and Services Research Conference, Session B2, 2003. 93~100
- 15 Tate S R, Xu K. Mobile Agent Security Through Multi-Agent Cryptographic Protocols. In:The 4<sup>th</sup> Intl. Conf. on Internet Computing, 2003

(上接第78页)

#### 4.4 DMABMA 中的缓存失效策略

缓存(Cache)技术在传统的分布式系统中得到广泛应用,但移动计算环境具有低带宽、易断连、低电源容量的特性,使得移动客户的缓存管理要充分考虑频繁断连带来的问题,因此,缓存管理协议应能优化利用有限带宽、容忍断连、有效使用电能,并对无线网络提供不同 QoS 的适应性。

Imielinski 和 Barbara 等人提出的“缓存失效报告技术”<sup>[7]</sup>,能较好地适应移动计算环境的特点,但是存在若客户较长时间断线会令整个缓存失效的问题,其可伸缩性较差,而在我们 DMABMA 的体系结构中,由于移动代理技术的引入,能更好地解决这些问题。

我们在文[8]提出了一种“基于移动代理的缓存失效策略”,如图4所示,每个移动主机,都在本机有一个数据缓存区;除此之外,在该主机所在的无线网络内,都有一个连接在固定网络上的移动服务支持站 MSS, MSS 上有  $n$  个移动代理(Mobile Agent)负责分别管理该网络内相应的  $n$  个 MH 的缓存副本,该副本称为本地缓存(Home Cache)。

对于一个具体的 MSS 而言,在它的覆盖范围内有  $n$  个移动主机(MH,  $1 \leq i \leq n$ ),对于任一个  $i$ ,都有一个相应的移动代理 MA,维护其 HC,此 HC,是对应 MH<sub>*i*</sub>的缓存副本。HC,由一系列的记录清单组成的,每个记录是一个三元组( $x$ ,  $TS$ ,  $invalid\_flag$ )。其中  $x$  表示数据项,  $TS$  是服务器在失效报告中提供时戳(Time-Stamp),  $invalid\_flag$  是失效标记,缺省值为 FALSE。

因为本方案的失效报告的传送是异步的,失效报告先缓存在 MA 中,当移动主机与 MSS 连接时才由 MA,传送报告给 MH<sub>*i*</sub>。若失效项已发给 MH<sub>*i*</sub>,但没收到确认,  $invalid\_flag$  被标记为 TRUE。

每个移动主机维护本机的经常被访问缓存数据项,在回答任何应用查询之前,它首先检查数据的一致性状态。具体过程如下:当 MSS 收到来自服务器的失效报告, MSS 通过和 MA 协商决定哪些 MH 集合需要这些数据并发送给它们。MH 收到失效信息,它使本机缓存中的相应数据项失效。当 MH 从应用层收到查询请求,检查缓存数据的有效性,如果数据项有效,在本地就可以满足查询;否则,向 MSS 中的 MA 发送上行查询, MA 再向服务器提出此请求,当 MA 从服务器收到请求数据后,先增加到 HC 中,再发送给 MH。

#### 4.5 DMABMA 的优势

DMABMA 模型将移动代理划分为两个部分: MA<sub>*i*</sub> 和 MA<sub>*j*</sub>, 它们都驻留在 MSS 上, MA<sub>*i*</sub> 可与固定网络的服务器直

接交互, MA<sub>*j*</sub> 可与无线网络的移动主机 MH 直接交互。该结构最大的好处是通过移动代理的插入把移动计算环境分成了两大部分:传统的分布式网络部分和无线网络部分;这样针对不同的网络环境可以选择更合适的方法和技术解决相应的问题,增加了系统的可用性。

该模型可以很好地支持移动计算环境的断接性。由于 MA 存在于固定网络之中,即使 MH 处于断接状态, MA 仍然可利用固定网络的高带宽与 Server 交互执行任务;在 MH 上的局部数据缓存可以在一定程度上满足在断接情况下客户的数据需求,缓存的命中丢失可以由 MA 和 MH 联合进行处理,一旦再次连接成功就可以解决命中丢失问题;同样在断接状态,服务器端对客户的要求也可以在 MA 处进行缓存等待处理,直到再次成功连接。

该模型通过两种 MA 的共同协作来优化无线链路的使用,从而使不同的应用获益。它解决了 Client/Agent/Server 模型只能优化从固定网络到移动主机的数据传输,而不能优化从移动主机到固定网络的数据传输的问题;也解决了 Client/Intercept/Server 模型的每个应用都要求在服务器端和客户端开发相应的软件的问题;较好地满足了系统的动态可伸缩性的要求。

**总结** 本文提出了一种基于移动代理的数据管理体系结构 DMABMA,该结构与数据复制、数据广播和缓存技术相结合,能较好地适应移动计算环境的特殊要求,满足我们的设计目标,具有较强的可用性、可伸缩性和收敛性。

#### 参考文献

- 1 Coulouris G, Dollimore J, Kindberg T. Distributed Systems: Concepts and Design(Third Edition). Pearson Education, 2001
- 2 Imielinski T, Badrinath B R. Mobile wireless computing: challenges in data management. Communication of ACM, 1994, 37(10): 18~28
- 3 Dunham M H, Helal A. Mobile computing and databases: anything new? ACM SIGMOD Record, 1995, 24(4): 5~9
- 4 李东,冯玉才,王元珍.适于移动数据库的客户用及服务器体系结构研究.计算机应用研究,2001(4):32~34
- 5 Gray J, Helland P. The dangers of replication and a solution. In: Proc. ACM SIGMOD Record, 1996, 25(2): 173~182
- 6 Anindya D, Debra E V, Aslihan C, Vijay K. Broadcast Protocols to support efficient retrieval from database by mobile users. ACM TODS, 1999, 24(1)1: 1~79
- 7 Barbara D, Imielinski T. Sleepers and Workaholics: Caching Strategies in Mobile Environments. In: Proc. of the 1994 ACM-SIGMOD intl. conf. on Management of Data, May 1994. 1~12
- 8 吴劲,卢显良,任立勇.在移动计算环境中基于移动代理的缓存失效方案.计算机科学,2003,30(4):82~84