



中国计算机学会学术著作丛书

移动数据管理 概念与技术

孟小峰 丁治明 著

清华大学出版社



中国计算机学会学术著作丛书

移动数据管理 概念与技术

Mobile Data Management
Concepts and Techniques

孟小峰 丁治明 著

清华大学出版社
北京

内 容 简 介

在移动通信和存储技术不断发展和普及的今天,人们对移动数据库的需求越来越迫切,移动数据库成为数据库研究的一个热门领域。本书将介绍与移动数据库管理相关的广泛内容,即嵌入式移动数据库技术(包括移动事务处理、移动数据库复制、移动数据广播等内容),移动对象管理技术(包括移动对象模型、移动对象索引、移动对象更新、移动对象查询、移动对象聚类、移动对象预测、移动数据不确定性研究等内容),位置相关的信息技术(包括位置相关数据的管理技术、空间数据库与交通网络数据库、位置隐私保护等内容)。

本书总结了国内外有关移动数据管理的研究工作和具有代表性的关键技术,并较详细地介绍了作者近年来的一些研究成果,具有较大参考价值。

本书的读者对象为高等院校计算机专业的本科生、研究生、教师,科研机构的研究人员以及相关领域的开发人员等。

版权所有,侵权必究。侵权举报电话:010-62782989 13701121933

图书在版编目(CIP)数据

移动数据管理:概念与技术/孟小峰,丁治明著. —北京:清华大学出版社,2009.2
(中国计算机学会学术著作丛书)

ISBN 978-7-302-19241-1

I. 移… II. ①孟… ②丁… III. 移动式—数据库管理系统 IV. TP311.13

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 004419 号

责任编辑:薛 慧

责任校对:赵丽敏

责任印制:杨 艳

出版发行:清华大学出版社

地 址:北京清华大学学研大厦 A 座

<http://www.tup.com.cn>

邮 编:100084

社 总 机:010-62770175

邮 购:010-62786544

投稿与读者服务:010-62776969, c-service@tup.tsinghua.edu.cn

质 量 反 馈:010-62772015, zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn

印 刷 者:北京国马印刷厂

装 订 者:三河市漂源装订厂

经 销:全国新华书店

开 本:175×245 印 张:19 字 数:388 千字

版 次:2009 年 2 月第 1 版 印 次:2009 年 2 月第 1 次印刷

印 数:1~3000

定 价:45.00 元

本书如存在文字不清、漏印、缺页、倒页、脱页等印装质量问题,请与清华大学出版社出版部联系调换。联系电话:(010)62770177 转 3103 产品编号:031788-01

评审委员会

中国计算机学会学术著作丛书

丨 名誉主任委员：张效祥

丨 主任委员：唐泽圣

丨 副主任委员：陆汝钤

丨 委员：（以姓氏笔画为序）

王 珊 吕 建 李晓明

林惠民 罗军舟 郑纬民

施伯乐 焦金生 谭铁牛

丛书序

Preface

第

一台电子计算机诞生于 20 世纪 40 年代。到目前为止,计算机的发展已远远超出了其创始者的想象。计算机的处理能力越来越强,应用面越来越广,应用领域也从单纯的科学计算渗透到社会生活的方方面面:从工业、国防、医疗、教育、娱乐直至人们的日常生活,计算机的影响可谓无处不在。

计算机之所以能取得上述地位并成为全球最具活力的产业,原因在于其高速的计算能力、庞大的存储能力以及友好、灵活的用户界面。而这些新技术及其应用有赖于研究人员多年不懈的努力。学术研究是应用研究的基础,也是技术发展的动力。

自 1992 年起,清华大学出版社与广西科学技术出版社为促进我国计算机科学技术与产业的发展,推动计算机科技著作的出版,设立了“计算机学术著作出版基金”,并将资助出版的著作列为中国计算机学会的学术著作丛书。时至今日,本套丛书已出版学术专著近 50 种,产生了很好的社会影响,有的专著具有很高的学术水平,有的则奠定了一类学术研究的基础。中国计算机学会一直将学术著作的出版作为学会的一项主要工作。本届理事会将秉承这一传统,继续大

力支持本套丛书的出版,鼓励科技工作者写出更多的优秀学术著作,多出好书,多出精品,为提高我国的知识创新和技术创新能力,促进计算机科学技术的发展和进步作出更大的贡献。

中国计算机学会

2002年6月14日

序

Preface

近

年来,计算技术、无线通信技术以及全球定位技术的发展与结合使得一种全新的计算模式——移动计算模式得到了飞速的发展。在移动计算模式下,各种高性能的嵌入式移动设备管理着大量的数据,并通过无线通信接口实现数据的共享与交换。随着技术的不断发展以及应用的不断深入,这种全新的计算模式正使得人们在任何时候、任何地点存取任何数据信息的愿望逐步成为现实。

然而,在移动计算模式下,计算平台的多样性、数据模型的异构性以及计算环境的复杂性给移动数据管理带来了前所未有的困难与挑战。虽然人们针对移动数据管理中的关键问题进行了大量的研究,但这些研究相对较为分散,有的还处于初步探索阶段。迄今为止,国内尚没有一本全面系统地阐述移动数据管理技术的书籍,而本书的出版填补了这一空白。

《移动数据管理:概念与技术》一书从移动数据管理的热点问题出发,对现有的关键技术逐一进行了深入的研究与讨论。全书分三个部分共 18 个章节,首先对移动数据管理的基本概念及技术沿革进行了综述;第一部分阐述了嵌入式移动数据库及移动信息访问的关键技术,包括移动事务处理、移动数据库复制、移动广播技术等;第二部分分析了移动对象数据库技术,包括移动对象的模型、索引、位置更新、查询、

聚类、预测以及不确定性处理等；第三部分对基于位置的信息服务技术进行了分析，包括位置相关的数据库、空间与交通网络数据库、基于位置的信息服务中间件以及位置隐私保护技术等。全书内容全面，结构清晰，深入浅出，既反映了移动数据管理领域的最新研究成果，又具有良好的可读性。

贯穿全书，作者对基本问题给出了深入细致的讨论，对行之有效的技术给出了详细具体的描述。对概念方面的内容，辅以一些仔细设计的图表加以说明。对技术方面的内容，则给出实现算法，有效提高了读者对技术问题的认识。

本书的两名作者孟小峰教授和丁治明研究员均是长期工作在移动数据管理领域第一线的专家。20 世纪 90 年代末，参与并完成了我国第一个基于掌上电脑的嵌入式移动数据库——“小金灵”的研制。之后近 10 多年以来，在国家自然科学基金和“863”计划的项目支持下，他们对移动数据管理技术进行了不懈的研究与全面的探索，在移动对象管理技术、基于位置服务等方面发表了多篇高水平论文，积累了大量有价值的研究成果。本书是作者多年来对移动数据管理技术研究的结晶，它对广大的科研工作者具有重要的学术参考价值。



2008 年 12 月 3 日

前 言

Foreword

目

前,蜂窝通信、无线局域网以及卫星数据服务等技术的迅速发展,使得人们随时随地访问信息的愿望成为可能。越来越多的人将会拥有一台掌上型或笔记本电脑,或者个人数字助理(PDA)甚至智能手机,这些移动计算设备都将装配无线联网设备,从而能够与固定网络甚至其他移动计算设备相连,用户不再需要固定不变地连接在某一个网络中,而是可以携带移动计算机自由地行动,这样的计算环境称为移动计算。

研究移动计算环境中的数据管理技术,即移动数据管理技术,已成为数据库技术的重要分支。在移动计算模式下,计算平台的多样性、数据模型的异构性以及计算环境的复杂性给移动数据管理带来了前所未有的困难与挑战。目前移动数据管理的研究主要集中在以下几个方面:

首先是移动数据库技术。从数据库技术的发展来看,传统的集中式数据库及分布式数据库技术均是基于有线网络和固定主机的。这些技术都采用了一些隐含假设,如固定网络连接、对等通信代价、主机结点固定不变等。但在移动计算环境下,上述假设条件不再成立。移动计算环境所具有的主机移动性、有限通信带宽、频繁断接性、网络通信的非对称性、电源的有限性等特点,使得传统分布式数据库中的方法和技术不能直接应用于移动数据库。为了有效地解决上述问题,移动数据库中需要解决许多关键问题,包括移动事务处理技术、移动复制与缓存技术、移动数据广播技术、移动查

询处理与查询优化技术、嵌入式数据库的实现技术等。

其次是嵌入式/微小型数据库技术。随着智能移动终端的普及,人们对移动数据实时处理和管理要求的不断提高,嵌入式/微小型数据库技术越来越体现出其优越性。但移动设备所具有的计算能力小、存储资源不足、带宽有限以及闪存存储等特性,使得直接裁剪传统数据库系统而得到的嵌入式/微小型数据库并不能适用嵌入计算环境的需要。嵌入式/微小型数据库技术需要考虑诸如数据压缩、RAM 的使用、存取规则、基本操作系统和硬件的支持及稳定存储等因素。嵌入式/微小型数据库技术目前已经从研究领域向广泛的应用领域扩展,各种微小型数据库产品纷纷涌现。

上述两类技术有时合称为嵌入式移动数据库技术。随着移动计算的不断发展和对移动数据处理需求的不断提高,紧密结合各种智能设备的嵌入式移动数据库技术已经得到了学术界、工业界、军事领域和民用部门等各方面的重视并不断实用化。

第三是移动对象管理技术。移动对象/用户是移动计算环境下的运行主体,因而如何实施对移动对象/用户的有效管理便成为这一领域的研究热点,即移动对象数据库(moving objects databases, MOD)技术。移动对象数据库是指对移动对象(如车辆、飞机、移动用户)及其位置进行管理的数据库。移动对象管理技术在许多领域同样展现出了广阔的应用前景。在军事上,移动对象数据库可以回答常规数据库所无法回答的查询;在民用领域,利用移动对象数据库技术可以实现智能运输系统、出租车/警员自动派遣系统、智能社会保障系统以及高智能的物流配送系统等;此外,移动对象管理技术还在电子商务领域有着广泛的应用前景。

第四是基于位置的信息服务。在传统的数据处理中,数据对象的地理特性通常被人们忽略了,但在移动计算环境下,这种“位置透明”性则常常被“位置相关”的特性所取代。移动性是移动计算系统有别于传统分布式系统的最为重要的特征,而基于位置的信息服务则是移动信息系统最重要的功能之一。基于位置的服务(location-based services, LBS)是指系统能够根据用户当前位置的变化提供与其位置相关的信息。基于位置的服务已经在现实生活中扮演了重要的角色,并产生了一类令人耳目一新的实用系统,如军事指挥系统、警察自动派遣系统、智能运输系统以及电子导游系统等。

本书基于作者多年在移动数据管理方面的研究和教学成果积累而成,内容涵盖了移动数据管理的上述技术,即嵌入式移动数据库技术、移动对象管理技术和基于位置的信息服务。本书的目的是介绍移动数据管理研究领域的核心概念和技术。对概念方面的内容,辅以一些图表加以说明,对技术方面的内容,则给出精炼的实现算法。本书力求浅显易懂,不要求读者具有相应的背景知识,因此将会对初学者有很好的指导作用。

本书的内容和组织结构

本书分三个部分,共 18 章。

第 1 章是本书的总述,对移动数据管理的基本概念及技术沿革进行了综述。

第一部分嵌入式移动数据库主要讨论嵌入式移动数据库中涉及的许多关键问题,包括移动事务处理技术、移动复制与缓存技术、移动数据广播技术、嵌入式移动数据库系统实现等。具体包含 6 章内容。

第 2 章介绍了嵌入式移动数据库的概念,并介绍了其关键技术,如嵌入式数据库的存储、索引、查询、安全保护、事务处理、复制与缓存、数据广播、查询处理。

第 3 章对移动事务处理进行了阐述,分析了目前几种典型的移动事务模型,并在此基础上提出了一种乐观的两阶段提交移动事务处理模型。

第 4 章讨论了移动事务的转接问题,针对移动计算环境的异构特点,提出了三种移动事务转接模型,即基于区域的基本转接模型 ZMTHM、基于用户简档的扩展转接模型 PMTHM 和基于 GPS 实时处理的扩展转接模型 GRTMTHM。

第 5 章对移动复制的概念及关键技术进行了分析,并提出了两种新的移动复制模型:事务级结果集传递(TLRSP)移动数据库复制模型和基于双时间戳的事务级同步模型(DTSTLS),从而为移动数据库复制技术提供了实用的解决方案。

第 6 章对移动数据广播的概念及关键技术进行了阐述,分析了数据广播调协时间和访问时间的优化方法,介绍了移动数据广播中的索引技术。

第 7 章重点讨论了嵌入式移动数据库的实现技术,介绍了目前几种典型的商业系统,并重点分析了中国人民大学“小金灵”嵌入式移动数据库系统的实现技术。

第二部分移动对象管理主要从移动对象位置的表示与建模、移动对象索引技术、移动查询处理、移动对象聚类技术以及不确定性的表示与处理等 7 个方面对移动对象管理的主要研究领域进行阐述。具体包含 7 章内容。

第 8 章分析了移动对象数据库模型,并介绍了两种移动对象数据库模型——细胞自动机图(GCA)模型及离散时空轨迹移动对象数据库模型。

第 9 章讨论了移动对象的索引问题,给出了 3 种具体的移动对象索引方法——基于 GRID 文件的移动对象索引 GMOI、基于四叉树文件的移动对象索引 FT-四叉树以及基于道路网络的移动对象索引 ANR 树。

第 10 章介绍了移动对象的位置更新与跟踪技术,并对主动更新策略和分组更新策略进行了重点分析,通过利用交通网络中对象运动的特征,改进位置更新的性能。

第 11 章介绍了移动对象查询技术,并详细分析了两种移动对象查询,即相似轨迹查询和密度查询。

第 12 章对移动对象的聚类方法进行了研究,讨论了交通网络中静态对象的聚类和移动对象的聚类。

第 13 章阐述了移动对象的预测方法,结合路网上细胞自动机良好的模拟仿真功能,介绍相应的移动对象预测方法,包括边界预测、时间分段预测以及分组

预测等方法。

第 14 章对移动对象的不确定性处理进行了分析,给出了移动对象的不确定性表示模型,并介绍了一种适用于网络受限移动对象的不确定轨迹索引结构 UTR-tree。

第三部分基于位置的服务主要讨论位置相关的数据库和空间数据库、基于位置服务的中间件系统架构及模型、基于位置服务中的位置隐私保护等。具体包括 4 章内容。

第 15 章对位置相关数据进行了全面的分析,给出了相关的数据库模型(包括数据类型和查询操作),移动持续查询策略,并阐述了在 PostgreSQL 中的实现策略。

第 16 章对空间数据库技术进行了阐述,并对一种特殊的空间数据库——交通网络数据库进行了深入的分析,介绍了一种“基于网络受限移动对象数据库的交通流统计分析”模型。

第 17 章分析了基于位置服务的中间件技术,描述了其典型的逻辑架构和时序流程,并讨论了四类中间件模型及相关的实现技术。

第 18 章对基于位置服务中的隐私保护技术进行了分析,介绍了位置匿名系统的结构和相关的位置匿名技术。

全书每章均附参考文献,书末附有总参考文献。

全书综述	绪论
嵌入式移动数据库	嵌入式移动数据库概述 移动事务处理 移动事务转接 移动数据库复制 移动数据广播技术 嵌入式移动数据库系统
移动对象管理	移动对象模型 移动对象索引 移动对象位置更新技术 移动对象查询 移动对象聚类 移动对象预测 移动对象的不确定性处理
基于位置的服务	位置相关的数据库 动态交通网络数据库 LBS 中间件技术 位置隐私保护

章节结构图

本书的对象和使用

《移动数据管理：概念与技术》既综合覆盖了移动数据管理的概念，又详细描述了相关技术和算法。本书主要面向高年级本科生、研究生和研究工作者，它对学习者是很好的教材，对专业人士是很好的参考资料。基于本书有如下的课程建议：

面向高年级本科的基本课程：第 1～3 章，第 5 章，第 7～9 章，第 11 章，第 17～18 章

面向研究生的专业课：全书的内容，辅以空间数据库的教材作为参考

面向研究生的选修课：第 1 章，其余三部分各择所需部分章节

移动数据库专题：第 1 章，第一部分所有章节

移动对象数据库专题：第 1 章，第二部分所有章节

基于位置的信息服务专题：第 1 章，第三部分所有章节

致谢

本书的完成基于作者在这一领域多年的研究成果的积累，这些研究得到诸多国家研究计划的资助。因此这里首先要感谢国家自然科学基金和国家“863”高科技计划的支持，具体有如下项目的资助：

国家自然科学基金项目“基于受限网络的移动对象数据库关键技术研究”，编号：60573091，2006.1—2008.12

国家自然科学基金项目“基于动态交通网络的移动对象数据库系统”，编号：60573164，2006.1—2008.12

国家自然科学基金项目“嵌入式移动数据库系统”，编号：60073014，2001.1—2003.12

国家 863-306 项目“嵌入数据库系统”，编号：863-306-ZD12-12-1，1999.1—2000.12

本书凝聚了中国人民大学网络与移动数据管理实验室 (<http://idke.ruc.edu.cn>) 的集体智慧。衷心感谢实验室的博士研究生和硕士研究生陈继东、潘晓、周春姐、郝兴、丁锐、白云、郭研妍、李本钊、胡志智、尹少宜、赖彩凤等和中国科学院软件研究所博士研究生刘奎恩、郭黎敏等，特别是郝兴、潘晓、周春姐在资料收集和文献整理方面所做的大量工作。同时感谢王珊老师，张孝博士以及陈霞、周胜、周荣贵等。

本书涉及面广，内容丰富，涉及的文献众多。书中不当之处在所难免，敬请读者不吝赐教。如果有任何建议或意见，可发电子邮件至 xfmeng2006@gmail.com。

作者

2008 年 10 月于北京

目 录

Contents

第 1 章 绪论	1
1.1 引言	1
1.2 移动计算	2
1.3 移动数据库	4
1.4 嵌入式数据库	5
1.5 空间数据库	6
1.6 移动对象管理	7
1.7 基于位置服务技术	8
1.8 普适计算与数据管理	9
1.9 总结	10
参考文献	11

第一部分 嵌入式移动数据库

第 2 章 嵌入式移动数据库概述	15
2.1 引言	15
2.2 嵌入式数据库系统的关键技术	16
2.2.1 嵌入式数据库存储	16
2.2.2 嵌入式数据库索引	18
2.2.3 嵌入式数据库查询	19
2.2.4 移动存取控制和隐私保护	20

2.2.5 嵌入式数据库管理系统	20
2.3 移动信息访问的关键技术	21
2.3.1 移动事务处理	21
2.3.2 移动数据复制	23
2.3.3 移动数据缓存	24
2.3.4 移动数据广播	26
2.3.5 移动查询处理与优化	27
2.4 总结	30
参考文献	30
第3章 移动事务处理	32
3.1 引言	32
3.2 移动事务处理的概念及实例分析	33
3.3 移动事务处理的性质	35
3.4 典型的移动事务模型	37
3.4.1 移动事务处理模型 MDSTPM	37
3.4.2 移动事务处理模型 O2PL-MT	39
3.5 乐观两阶段提交移动事务处理模型	40
3.5.1 MSS 对 OPS 的接收与转发	41
3.5.2 MTMC 对移动事务的处理	42
3.5.3 MTMP 对移动事务操作的乐观执行方式	42
3.5.4 O2PC-MT 两阶段提交算法	44
3.6 总结	46
参考文献	46
第4章 移动事务转接	48
4.1 引言	48
4.2 基本事务转接模型 ZMTHM	51
4.3 扩展的事务转接模型	52
4.3.1 基于简档的数据发布型转接模型 PMTHM	53
4.3.2 GPS 导航的实时转接模型 GRTMTHM	57
4.4 总结	59
参考文献	59
第5章 移动数据库复制	61
5.1 引言	61

5.2 几种基本的移动数据库复制技术.....	64
5.2.1 两级复制算法	64
5.2.2 虚拟主副本方法	65
5.2.3 多版本冲突消解方法	65
5.2.4 三级复制机制	66
5.3 事务级结果集传递移动数据库复制模型.....	67
5.3.1 同步过程中的冲突处理	69
5.3.2 数据版本号及移动事务日志	72
5.3.3 TLRSP 移动复制算法.....	74
5.4 移动数据库系统的三级复制模型.....	75
5.4.1 DTSTLS 同步处理模型	75
5.4.2 DTSTLS 模型的时间戳处理策略及同步处理算法	77
5.5 总结.....	81
参考文献	81
第 6 章 移动数据广播技术	83
6.1 引言.....	83
6.2 数据广播访问时间的优化方法.....	84
6.3 数据广播调谐时间的优化方法.....	85
6.4 移动数据广播的索引方法.....	88
6.5 移动数据库环境下的数据广播技术.....	89
6.6 总结.....	90
参考文献	90
第 7 章 嵌入式移动数据库系统	92
7.1 引言.....	92
7.2 典型的嵌入式数据库产品.....	93
7.3 “小金灵”嵌入式移动数据库系统.....	95
7.3.1 小金灵三级体系结构	95
7.3.2 小金灵与其他嵌入系统的关系	96
7.3.3 同步服务器及后台数据库服务器	97
7.4 移动数据库的应用领域.....	98
7.5 总结	100
参考文献.....	100

第二部分 移动对象管理

第 8 章 移动对象模型	103
8.1 引言	103
8.2 基本概念	104
8.3 细胞自动机图(GCA)模型	105
8.3.1 细胞自动机.....	106
8.3.2 GCA 基本结构	107
8.3.3 GCA 的转换	107
8.3.4 GCA 的轨迹表示	109
8.4 离散时空轨迹移动对象数据库模型	110
8.4.1 DSTTMOD 位置表示模型	110
8.4.2 DSTTMOD 位置更新策略	112
8.5 总结	114
参考文献.....	114
第 9 章 移动对象索引	116
9.1 引言	116
9.2 基本概念	116
9.2.1 R 树.....	117
9.2.2 GRID 文件	118
9.2.3 四叉树.....	119
9.3 基于欧氏空间的移动对象索引	120
9.3.1 基于 GRID 文件的移动对象索引.....	120
9.3.2 基于四叉树的移动对象索引.....	123
9.4 基于道路网络的移动对象索引	128
9.4.1 自调整单元(AU)	128
9.4.2 ANR 树——移动对象将来轨迹索引	131
9.4.3 全时态索引.....	133
9.5 总结	135
参考文献.....	136
第 10 章 移动对象位置更新技术	138
10.1 引言	138
10.2 位置更新策略分类	139