



国外信息技术优秀图书选译

移动对象数据库

Moving Objects Databases

Ralf Hartmut Güting Markus Schneider 著

金培权 岳丽华 译

 高等教育出版社

国外信息技术优秀图书选译

移动对象数据库

Moving Objects Databases

Ralf Hartmut Güting Markus Schneider 著

金培权 岳丽华 译



高等教育出版社

图字:01-2008-5790号

© 2005 by Elsevier Inc. All rights reserved.

This **first edition** of **Moving Objects Databases** by **Ralf Hartmut Güting** is published by arrangement with **Elsevier Inc. of 200 Wheeler Road, 6th floor, Burlington, MA 01803, USA.**

Higher Education Press is authorized to translate and publish exclusively this simplified Chinese edition.

图书在版编目(CIP)数据

移动对象数据库/(德)古廷(Güting, R.H.), (德)施奈得(Schneider, M.)著; 金培权, 岳丽华译. 北京: 高等教育出版社, 2009. 10

书名原文: Moving Objects Databases

ISBN 978-7-04-027734-0

I. 移… II. ①古…②施…③金…④岳… III. 数据库系统—研究 IV. TP311.13

中国版本图书馆CIP数据核字(2009)第110896号

策划编辑	刘英	责任编辑	刘英	封面设计	刘晓翔
版式设计	陆瑞红 范晓红	责任校对	刘莉	责任印制	陈伟光

出版发行 高等教育出版社
社 址 北京市西城区德外大街4号
邮政编码 100120
总 机 010-58581000

经 销 蓝色畅想图书发行有限公司
印 刷 涿州市星河印刷有限公司

开 本 787×1092 1/16
印 张 21.25
字 数 420 000

购书热线 010-58581118
咨询电话 400-810-0598
网 址 <http://www.hep.edu.cn>
<http://www.hep.com.cn>
网上订购 <http://www.landaco.com>
<http://www.landaco.com.cn>
畅想教育 <http://www.widedu.com>

版 次 2009年10月第1版
印 次 2009年10月第1次印刷
定 价 48.00元

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题, 请到所购图书销售部门联系调换。

版权所有 侵权必究

物料号 27734-00

译者序

最近十年以来,交通管理、环境监测、森林火灾监测、目标跟踪等各种应用对数据管理技术提出了新的要求。这类应用中的大部分数据是随时间而演变的空间数据,或称为移动对象或移动数据。移动对象数据库是近年来新兴的一个研究领域,其主要研究目标是在数据库中建立移动对象的有效表示方法,并提供高效的查询处理机制。近年来随着 3S(GIS、GPS、RS)、RFID、无线传感网等技术的飞速发展,获取海量的移动数据已成为可能,因此如何对移动数据进行管理和分析已成为当前企业界和学术界共同关注的问题。对于广大从事移动数据管理、GIS 数据分析等工作的研究人员以及交通、环境等行业的专业开发人员而言,要研究移动对象数据管理技术或者开发相关的移动对象应用系统,必须学习移动对象数据库领域的基本概念和技术,了解移动对象数据库的数据模型、索引、查询处理等方面的最新进展。

本书是目前关于移动对象数据库的第一本系统性的专著,它不仅给出了移动对象数据库的基本概念和方法,也包括了这一领域当前最新的研究进展。书中对移动对象数据库的基本概念、与空间数据库/时态数据库之间的联系以及移动对象数据库系统的原理进行了深入阐述,因此无论是对于初学人员还是专家学者,它都是一本非常有价值的参考书。

本书的两位作者 Ralf H. Güting 和 Markus Schneider 是移动对象数据库领域著名的研究者,在移动对象数据库和时空数据库方面做出了许多开创性的工作。他们 2000 年发表在数据库领域顶级期刊 *ACM Transaction on Database Systems* 上的关于移动对象数据模型的论文(也是本书内容的主要来源之一)是目前该期刊上引用率第一的文章。Ralf H. Güting 于 1994 年发表在 *VLDB Journal* 上的关于空间数据库的论文是该期刊迄今引用率第二高的文章。他们都是著名的时空数据库项目(CHOROCHRONOS 项目)的核心成员。Ralf H. Güting 目前是德国哈根大学计算机系的全职教授,Markus Schneider 是美国佛罗里达大学计算机系的副教授。目前,本书已经在哈根大学和佛罗里达大学作为计算机专业研究生课程的教材使用,我们在中国科学技术大学计算机系研究生课程的教学中也使用了该书中的部分内容。

本书逻辑结构清晰,内容深入全面,技术实用且先进,叙述深入浅出,是一本难得的高层次的教科书。本书既可作为高等学校计算机专业研究生教材或本科生相关课程参考书,也可作为从事相关研究或开发工作的专业技术人员的高级参考资料。

金培权全面组织了本书的翻译,岳丽华在本书的翻译和审校中做了大量的工作。参加翻译的还有崔凯、李志、李筱文、刘彦宏、苏轩、文世挺和杨洋。

在本书的翻译过程中,译者对书中一些明显的笔误和排版错误做了订正。

限于译者水平,译文中疏漏在所难免,欢迎读者批评指正。

译者

2009年3月于中国科学技术大学

序

飓风在数据库中该如何表示？海浪和海流该如何表示？在海上作业的轮船又该如何表示？如果我们已经有了某种表示方法，那么它能回答一些我们感兴趣的复杂问题吗？比如，根据航海经验，海上的平均海流速度和风速是多少？……这些都是空间数据库中具有挑战性的问题。但是，空间数据库是静态的。现在我们考虑一个更现实的问题，就是飓风、海流以及轮船都是移动的对象。在这种情况下，我们应该怎样组织和索引数据库？应该提供什么样的查询语言来回答诸如“救援船只和直升机需要多久才能到达事故现场”这样的问题？

随着无线移动计算、RFID 以及传感器网络技术的发展，似乎我们所遇到的每一个问题都要求我们去处理四维时空中的移动对象。产品制造、环境监测、交通与分配、应急服务、电信等应用都面临着同样的挑战性问题，即如何表示和查询描述了移动对象的数据库。

在 15 年前^①，这些数据表示和数据查询的问题还很难处理——我们不得不用人工或者近似的方式来解决每一个问题。但是，在过去 10 年里，空间数据库、时态数据库、数据库索引、数据查询等领域取得了极大的进展。我们已经知道了应该如何去使用紧凑的结构表示一个三维对象，并且也知道了应该如何对时间和动态性方面的问题进行表达和推理。在最近 5 年里，空间数据库和时态数据库研究的集成促使了时空数据类型和处理方法的产生。

本书代表了时态和空间数据库概念和技术集成的一个里程碑。它将现有的研究成果统一组织成了一个有机的整体，同时也给出了多个研究领域中的新成果和新技术。针对每种情况，作者都从已有知识开始，然后借助抽象和一般化的模型介绍新的概念，最后将新的想法转换为实际的数据结构表示或者类 SQL 查询语言的扩展。同样通过这种方式，本书不仅给出了非常好的内容，也提供了很好的参考文献。它可以将你带领到研究的前沿。因此，对于一个想在这个领域里取得进展的新的研

① 译者注：此处以原书写作时间 2005 年为参照。本书后续内容中类似的时间均以 2005 年为参照。

究者来说,这本书是一个重要的起点。

Ralf Güting 和 Markus Schneider 是时空数据库研究领域中的领军人物。我本人也正在从事时空数据库外围领域的一些研究工作,也了解时空数据库的一些进展。但是,当我读到这本书的书稿时,随着一章一章内容的推进,我不得不一次又一次地发出惊叹。艾伦·凯(Alan Kay)曾经说过“正确的观点胜过 100 分智商”——意思是说如果你能用正确的方式看待问题,那么就很容易理解问题及其解决方法。这本书包含了许许多多的“正确观点”。现在我自己也迫不及待地想将这种观点应用到我自己的研究问题中。

Jim Gray

Microsoft 研究院

献给 *Edith, Nils David* 和 *Helge Jonathan*

R. H. G.

献给 *Annette, Florian Markus, Tim Christopher*
以及我的父母 *Hans* 和 *Christel Schneider*

M. S.

前 言

本书主要讨论移动对象数据库,这是近年来备受关注的—个相对较新的研究领域。移动对象数据库总的研究目标是允许用户在数据库中表示移动实体,并执行有关移动的查询。移动实体的一些例子,如汽车、卡车、飞机、轮船、手机用户、恐怖分子、北极熊等。对于这些例子来说,通常我们只关心对象随时间变化的空间位置,而不关心对象的空间范围。因此,我们可以将它们表示为移动点。但是,具有范围的移动实体也是存在的——例如飓风、森林火灾、石油泄漏、军队和流行病等。这些对象可以表示为移动区域。

移动对象本质上是随时间而变化的几何实体。支持移动对象的数据库是一种特殊类型的时空数据库。术语移动对象强调几何实体现在是随时间连续变化的,这一点与早期仅支持离散变化的时空数据库是不同的。需要注意的是,离散变化可以看成是连续变化的一种特殊情形,所以移动对象数据库可以同时支持两种变化。

移动对象数据库领域的一些研究方向是随目前电子消费品的发展趋势而产生的。支持无线网络和位置感知(即配备了 GPS)的设备价格已经相对比较便宜,例如个人数字助理(PDA)、车辆上的片上单元,甚至手机等,并且预计在不久的将来这些设备将大范围普及。这将带来许多新的应用,例如基于位置的服务等。类似地,大型零售企业也正在试图通过室内定位设备对它们的商品进行跟踪(例如使用 RFID 标签)。所有这些趋势意味着我们即将面临海量的移动信息(有时称为轨迹),而且需要在数据库中对这些信息进行管理和分析。

本书的重点即在于支持这类应用的底层数据库技术上。对于众多的非传统数据库应用来说,扩展数据库技术处理移动对象意味着需要在 DBMS 数据模型中提供相应的技术来描述移动实体,并且需要通过某种方式扩展查询语言来分析移动数据(例如提供相应的谓词表示)。另外,这意味着 DBMS 的内核也必须扩展。对于这一点,现在有两种主要的策略:一种是在一个已有的 DBMS 之上建立一个实现层,并将移动对象的表示和谓词等映射到底层 DBMS 已有的功能上;另一种是真正扩展 DBMS 内核,并为 DBMS 提供移动对象的数据结构、操作方法、特殊的索引以及连接算法等扩展。

对于数据库中的移动对象,目前存在两种主要视角:第 1 种视觉主要关心如何连续地维护移动对象的当前位置信息以及近期未来的位置信息;第 2 种视觉考虑将移

动对象的整个移动历史都存储在数据库中,并且可以执行针对过去任何时间的查询(也有可能针对未来时间,如果我们允许“历史”中也包括未来的话)。本书将对这两种方式都进行深入讨论。

目的与读者

本书主要有 3 个目的:

- 本书可以作为研究生和高年级本科生的教材。
- 本书提供了移动对象数据库这一新领域中主要概念和成果的清晰而具体的描述,这对于准备进入移动对象数据库领域的研究人员来说应当是有参考价值的。
- 工业领域专家,例如空间数据分析人员、GIS 专家以及软件开发人员等,可以通过本书了解移动对象数据库研究的基本现状。

结构和组织

第 1 章介绍了本书的主题,并简要描述了数据库管理系统、空间数据库系统以及时态数据库系统的本质特征。然后,我们说明了传统数据库技术不能用于实现移动对象的建模与实现,因此需要新的概念和技术。为此,该章给出了大量的应用例子,并以此说明了研究移动对象概念的必要性。

第 2 章综述了两种早期的时空模型。第一种模型基于单纯复形的时态扩展;第二种采用了基于事件的方法。

第 3 章主要讨论与当前以及近期未来位置相关的位置管理问题,并详细描述了目前最主要的 MOST 模型的主要概念及构成。此外,还包括基于时态逻辑的查询语言 FTL、更新代价与不精确性之间的平衡问题以及移动对象轨迹的不确定性问题等内容。

第 4 章介绍了本书作者提出的移动对象建模方法,它对空间对象随时间而发生的移动或演变历史进行建模。这一建模方法基于抽象数据类型的概念。抽象数据类型可以作为属性类型在数据库模式中使用。我们提出了两个不同抽象层次的模型:一个是包含时空数据类型和操作的抽象模型,另一个是为抽象模型中的类型提供了有限表示结构的离散模型。此外,我们引入了时空谓词的概念来增强抽象模型。时空谓词可以用于时空选择和时空连接的表示。

第 5 章给出了抽象模型中的数据类型和操作的数据结构和算法。根据数据库系统的需要设计数据结构,并为时态数据类型和提升操作设计相应的算法。移动对象上的提升操作是从相应空间对象的静态操作上系统导出的操作。

第 6 章讨论移动对象的约束表示方法。约束方法使用了无限关系作为 k 维空间中几何实体的抽象模型,并且使用约束关系来表示相应的离散模型。最后,该章还讨论了这一离散模型的实现。

第 7 章关注时空索引。该章首先讨论一些必要的几何学前提,这些前提保证本书可以独立于其他教材而自成体系。然后我们介绍了移动对象索引的要求。最后,给出了针对当前位置与近期未来位置的索引结构以及针对移动历史的索引结构。

第8章给出了移动对象数据库中另一些研究领域的简介。这些领域不在本书的讨论范围之内。

本书的内容是针对自学而设计的,目前本书已经在哈根远程教育大学(Fern-university Hagen)作为课程材料使用。在每一章的正文中我们都提供了一些练习。我们鼓励读者在遇到这些练习时努力去解答。书后也给出了习题的答案。进一步的练习放在每一章的最后,这些练习可以作为作业使用。每一章中也给出了参考文献注释,说明了该章内容主要的来源以及相关工作。

预备知识及课程设置建议

本书适合于任何具有一般性数据库系统概念和知识背景的学生或者研究人员。数据库系统实现方面的深层次知识对于本书的学习会有一定的帮助,但不是必需的。空间和时态数据库的背景知识也是有用的,但同样也不是必需的。本书的第1章中提供了对这些领域的几个简介。

在德国哈根远程教育大学,本书主要以如下两种方式使用:

- 在一门一学期的研究生课程中我们使用了本书全部的内容。该课程覆盖了建模和实现方面的问题。

- 在一门短期课程中,我们使用了第1章到第4章的内容。该课程只关注建模方面的内容。

在佛罗里达大学,本书目前在一门一学期的研究生课程中使用。该课程是以讨论班的形式开设的。授课教师首先会对移动对象数据库领域做一个全面的介绍,然后给研究生们分配某些章节,并要求他们做扩展性的独立研究。每一章后面的参考文献注释引领学生去找到其他的材料。学生们必须做一次详细的汇报,并写一份报告。此外,该课程同时使用了一个要求实现一个原型系统的课程项目。

对于短期课程,还有另外一些可能的内容选择:

- 一门关于建模的短期课程可以包括第1章到第4章,但是可以用6.1节和6.2节替换4.4节,从而可以将约束模型包含进来。

- 第3章、第4章和第6章的内容是同一问题的不同方案——因此我们可以按任意顺序安排它们或者也可以略掉这些内容。但是为了保持内容上的平衡,我们建议至少应包括第1章和第3章以及4.1节~4.3节。

- 第5章描述了第4章中模型的实现方法(4.1节~4.3节)。

- 7.3节介绍了当前和近期未来移动的索引技术——因此该节与第3章相关。7.4节内容覆盖了轨迹或者移动历史的索引,因此它与第4章中的模型相关。不过,你也可以不阅读这几章的内容而直接研究索引问题。

致谢

在一定程度上,写作本书是我们在移动对象数据库领域的研究工作成果之一。首先,非常感谢我们的一些同事,与他们一起工作是一种快乐。20世纪90年代后期

由欧盟资助的 CHOROCHRONOS 项目现在已经极具影响力,该项目是由 Timos Sellis 和 Manolis Koubarakis 领导的。我们感谢他们的卓越领导和项目组织,也感谢他们在项目初始就邀请我们参与了研究。我们非常喜欢与他们以及其他项目研究人员进行开会和讨论,他们是 Andrew Frank, Stéphane Grumbach, Christian Jensen, Nikos Lorentzos, Yannis Manolopoulos, Enrico Nardelli, Barbara Pernici, Hans - Jörg Schek, Michel Scholl, Babis Theodoulidis 和 Nectaria Tryfona。

本书第 4 章和第 5 章中所讨论的是我们自己的方法,源于我们与另外一些研究人员的合作以及一些共同完成的论文。我们向他们表示衷心的感谢。他们是 Martin Erwig, Luca Forlizzi, Enrico Nardelli, Christian Jensen, Jose Antonio Cotelo Lema, Mike Böhlen, Nikos Lorentzos 和 Michalis Vazirgiannis。与他们的合作是一件非常愉悦的事情,我们也为我们之间的合作成果感到自豪。

我们要特别感谢 Christian Jensen 的一贯支持和建议,还有特别感谢 Ouri Wolfson,感谢他与我们之间进行了多次很有意义的讨论,也感谢他在 Ralf 访问芝加哥大学时给予的热情接待。

我们还要感谢支持我们工作的一些研究机构。Ralf 的研究得到了 DFG (德国研究联合会)项目的支持(项目编号 Gu293/8 - 1)。Markus 的研究得到了 NSF (国家自然科学基金)项目的支持(项目编号 NSF - CAREER - IIS - 0347574)。

我们的书稿受到了 Jim Gray 以及 Morgan Kaufmann 出版社编辑 Rick Adams 和 Diane Cerra 的热烈欢迎,并且后来还得到了他们的真诚帮助。对此我们表示衷心的感谢。对于他们在确定评审专家委员会时所表现出来的工作效率和专业水平,我们也表示由衷的钦佩。我们要感谢所有的审稿人 Ouri Wolfson, Shashi Shekhar, Vassilis Tsotras, Max Egenhofer, Cyrus Shahabi 和 Agnès Voisard,感谢他们在如此短的时间里为本书提供了细致和严谨的意见,也感谢他们对本书的支持以及提供很多有用的建议,其中的某些建议我们只能在第二版中实现。我们也要感谢 Ouri Wolfson, Vassilis Tsotras 和 Agnès Voisard 对书稿的部分章节进行了第二轮审稿,并提供了详细的审阅意见。

我们感谢哈根远程教育大学的研究助理 Dirk Ansorge, Helge Bals, Thomas Behr 以及 Markus Spiekermann,感谢他们阅读了课程材料,并提供了修改意见,特别要感谢他们完成了所有的作业练习,他们做得非常好。

我们也要感谢哈根远程教育大学的学生们,他们努力学习课程并且为本书提供了反馈和错误改正意见,这里我们特别要感谢 Matthias Ruth, Stefan Schmidt 和 Marten Jung。

Ralf Hartmut Güting

德国哈根

Markus Schneider

美国佛罗里达州盖恩斯维尔

2005 年 2 月

目 录

前言	I
第 1 章 概述	1
1.1 数据库管理系统	1
1.2 空间数据库	3
1.2.1 空间概念建模	4
1.2.2 数据模型和查询语言扩展	5
1.2.3 实现策略	7
1.3 时态数据库	8
1.3.1 传统数据库中的时态信息管理	8
1.3.2 时间域	9
1.3.3 时间维	9
1.3.4 数据模型扩展	11
1.3.5 查询语言扩展:TSQL2	16
1.4 移动对象	18
1.4.1 位置管理视角	18
1.4.2 时空数据视角	19
1.4.3 移动对象以及相关的查询问题	19
1.4.4 时空数据分类	21
1.4.5 支持空间数据类型的时态数据库	22
1.4.6 时空数据类型	23
1.5 进一步练习	24
1.6 参考文献注释	25

第2章 早期的时空数据库	27
2.1 空间双时态对象	27
2.1.1 一个应用场景	27
2.1.2 双时态元素	28
2.1.3 空间对象的单纯复形建模	29
2.1.4 空间双时态对象	33
2.1.5 空间双时态操作	34
2.1.6 时空数据库查询	38
2.2 基于事件的方法	40
2.2.1 模型	40
2.2.2 查询处理算法	42
2.3 进一步练习	44
2.4 参考文献注释	45
第3章 当前移动的建模与查询	47
3.1 位置管理	47
3.2 MOST——针对当前和未来的移动的数据模型	49
3.2.1 基本假设	49
3.2.2 动态属性	49
3.2.3 对象位置表示	50
3.2.4 数据库历史	51
3.2.5 3种查询类型	52
3.3 FTL——基于未来时态逻辑的查询语言	53
3.3.1 查询例子	53
3.3.2 语法	55
3.3.3 语义	57
3.3.4 FTL查询求解	59
3.4 位置更新——平衡更新代价和不精确性	64
3.4.1 背景	64
3.4.2 运动过程的信息代价	65
3.4.3 基于代价优化的推测定位策略	66
3.4.4 推测定位位置更新策略	68
3.5 移动对象轨迹的不确定性	70
3.5.1 轨迹模型	70
3.5.2 轨迹的不确定性概念	71
3.5.3 移动对象的不确定性查询	73

3.5.4	时空操作算法与时空谓词算法	76
3.6	进一步练习	79
3.7	参考文献注释	81
第4章	移动历史的建模与查询	83
4.1	基于抽象数据类型的方法	83
4.1.1	类型和操作	83
4.1.2	抽象模型与离散模型	85
4.1.3	抽象数据类型的语言嵌入	87
4.2	抽象模型	88
4.2.1	数据类型	89
4.2.2	数据类型的形式化定义	90
4.2.3	操作概述	94
4.2.4	非时态类型上的操作	95
4.2.5	时态类型上的操作	102
4.2.6	对象集合上的操作	112
4.3	离散模型	114
4.3.1	概述	115
4.3.2	非时态类型	117
4.3.3	时态类型	121
4.4	时空谓词及其演变	126
4.4.1	动机	127
4.4.2	空间对象的拓扑谓词	128
4.4.3	拓扑谓词的时态提升问题	130
4.4.4	时态聚集	131
4.4.5	基本时空谓词	132
4.4.6	演变:时态谓词序列	133
4.4.7	演变的简明语法	136
4.4.8	时空谓词代数	139
4.4.9	例子	144
4.4.10	时空谓词的标准集合	146
4.4.11	STQL 中的演变查询	148
4.5	进一步练习	152
4.6	参考文献注释	155

第5章 移动对象类型的数据结构和算法	157
5.1 数据结构	157
5.1.1 一般性要求和策略	157
5.1.2 非时态数据类型	158
5.1.3 时态数据类型	160
5.2 时态数据类型上的操作算法	161
5.2.1 一般性考虑	161
5.2.2 投影到域/范围	164
5.2.3 与域/范围的交互	166
5.2.4 变化率	170
5.3 提升操作算法	172
5.3.1 谓词	172
5.3.2 集合操作	175
5.3.3 聚集	176
5.3.4 数值特性	177
5.3.5 距离和方向	178
5.3.6 布尔操作	180
5.4 进一步练习	181
5.5 参考文献注释	182
第6章 约束数据库方法	183
6.1 抽象模型:无限关系	184
6.1.1 平面关系	184
6.1.2 嵌套关系	188
6.1.3 结论	190
6.2 离散模型:约束关系	190
6.2.1 基于约束的空间模型	190
6.2.2 线性约束数据模型	193
6.2.3 约束关系上的关系代数	194
6.3 约束模型的实现	201
6.3.1 约束关系的表示	201
6.3.2 符号关系(约束公式)的表示	201
6.3.3 数据装载和转换	202
6.3.4 符号元组的规范化	210
6.3.5 代数操作的实现	213
6.4 进一步练习	217

6.5	参考文献注释	218
第 7 章	时空索引	220
7.1	几何学前提	221
7.1.1	基于 R 树家族的多维空间索引	221
7.1.2	对偶性	224
7.1.3	外部划分树	225
7.1.4	目录结构	227
7.1.5	外部优先搜索树	229
7.1.6	外部范围树	229
7.2	移动对象索引要求	231
7.2.1	时间索引结构的特殊性	231
7.2.2	时空索引结构的设计准则	233
7.2.3	已有时空存取方法综述	235
7.3	索引当前以及近期未来移动	237
7.3.1	一般性策略	237
7.3.2	TPR 树	238
7.3.3	对偶数据转换方法	245
7.3.4	基于多层划分树的时间无关索引	250
7.3.5	动态 B 树	252
7.3.6	动态外部范围树	252
7.3.7	基于多版本动态 B 树的时间敏感索引	254
7.3.8	基于多版本外部动态范围树的时间无关索引	255
7.4	轨迹索引(索引移动历史)	256
7.4.1	STR 树	257
7.4.2	TB 树	260
7.4.3	查询处理	262
7.5	进一步练习	266
7.6	参考文献注释	268
第 8 章	展望	270
8.1	数据获取	270
8.2	测试数据生成	271
8.3	网络中的移动	271
8.4	连续查询和基于位置的查询的处理	273
8.5	聚集操作与选择性估计	274