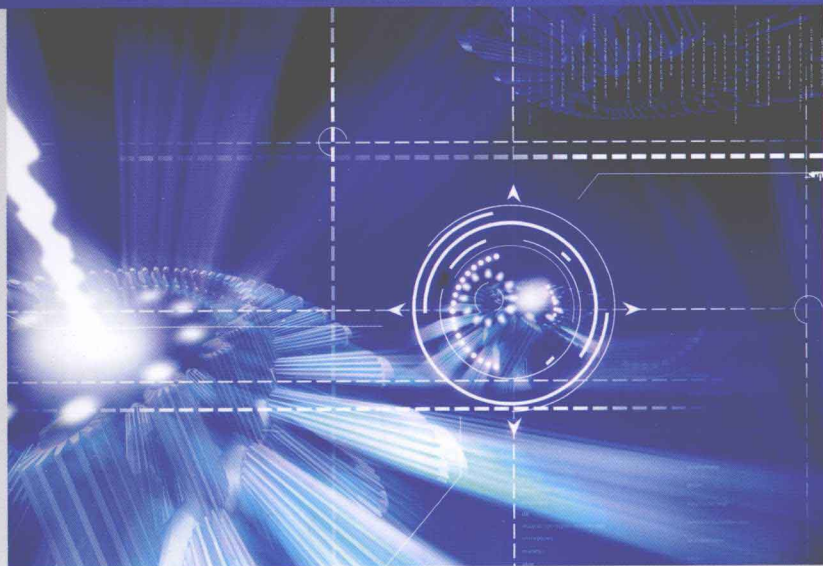


数据库应用理论系列图书

# 空间数据库 理论基础

郝忠孝 著



科学出版社

数据库应用理论系列图书

# 空间数据库理论基础

郝忠孝 著

科学出版社

北京

## 内 容 简 介

本书是作者在近十年进行空间数据库研究、教学的基础上撰写而成的,系统地论述和分析了空间数据库的查询设计优化、若干新的查询、空间数据推理等新的技术和理论。

本书共 13 章,主要介绍空间数据库的基本索引结构、查询优化、方向方位和连接查询、最近邻查询、反向最近邻查询、核心变体查询、一般变体查询,线段的最近邻查询和反向最近邻查询,空间填充曲线的空间查询,基于主存  $\Delta$ -tree 的高维数据查询,空间网络间的空间关系及推理和空间方向关系的关系推理基础等。

本书可作为计算机科学与技术、地理信息系统、机器人技术、人工智能、卫星遥感、气象分析、地质灾害分析等领域数据库相关专业高年级本科生和研究生的教材,也可供上述领域的科研人员和工程技术人员等参考。

### 图书在版编目(CIP)数据

---

空间数据库理论基础/郝忠孝著. —北京:科学出版社, 2013

(数据库应用理论系列图书)

ISBN 978-7-03-037258-1

I. ①空… II. ①郝… III. ①空间信息系统 IV. ①P208

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 066311 号

---

责任编辑:张 濮 陈 静 / 责任校对:张凤琴

责任印制:张 倩 / 封面设计:耕者设计工作室

科学出版社出版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

新科印刷有限公司 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

\*

2013 年 4 月第 一 版 开本:B5(720×1000)

2013 年 4 月第一次印刷 印张:26 3/4

字数:534 000

定价:88.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

## 作者简介



郝忠孝,教授,山东蓬莱人,1940年12月生,中共党员,曾任原东北重型机械学院副校长,齐齐哈尔大学副校长。现任哈尔滨工业大学博士生导师(兼)、哈尔滨理工大学博士生导师,曾任校学术委员会主席。原机械电子工业部有突出贡献专家、享受国务院政府特殊津贴、全国优秀教师、省共享人才专家、省级学科带头人。省计算机学会

副理事长。

主要研究领域:①空值数据库理论。在国内首次提出了空值数据库数据模型,完成一系列相关研究,形成了比较完整的理论体系,著有国内外第一部该方面的论著《空值环境下数据库导论》。②数据库 NP-完全问题的求解问题。首次基本解决了求全部候选关键字、主属性,基数为 M 的候选关键字,最小候选关键字等问题,著有《关系数据库数据理论新进展》。③数据库数据组织的无环性理论研究。在无  $\alpha$  环、无  $\beta$  环、无  $\gamma$  环的分解条件与规范化理论研究方面取得突破性进展,著有《数据库数据组织的无环性理论》。④时态数据库理论研究。系统提出并完成了时态数据库中基于全序、偏序、多粒度环境下的各种时态理论问题研究,著有《时态数据库设计理论》。⑤主动数据库理论研究。著有国内外第一部该方面的论著《主动数据库系统理论基础》。⑥不完全信息下 XML、概率 XML 数据库理论研究。首次解决了不完全信息下 XML 数据库部分理论研究问题,著有《不完全信息下 XML 数据库基础》。⑦空间、时空数据库理论研究。首次解决了空间数据库线段最近邻查询和其他多个问题等,出版了《时空数据库查询与推理》、《时空数据库新理论》、《移动对象数据库理论基础》、《空间数据库理论基础》等著作。

发表学术论文 230 余篇,其中,国家一级论文 160 余篇;在《计算机研究与发展》上发表个人学术论文专辑两部,被 SCI、EI 等检索 140 余篇。1991 年发表学术论文数居中国科技界第五位(并列)。著书 10 部。

## 前 言

数据库技术是在 20 世纪 60 年代末作为数据管理的最新技术登上数据处理舞台的。四十余年来,随着计算机应用范围的不断扩大和计算机硬件的快速发展,数据库技术也得到了迅速发展。数据库技术和计算机网络技术已成为当今世界计算机应用中两个最重要的基础领域。20 世纪 80 年代以来,由于非传统应用领域的不断扩大,针对一些特殊领域的应用提出了许多新的数据管理要求,传统数据库已经不具备这些能力。

随着越来越高的数据库应用要求和针对一些特殊领域的应用,空间数据库已经成为现代数据库的一个重要分支。特别是在空间导航和 Web 技术风靡全球的今天,一般的数据库系统已经无法满足其需求,在这种情况下,空间数据库的诞生成为必然。关系数据库虽然能够支持空间数据的存储,并能够较好地处理拓扑关系,但是由于空间数据的多维性与关系数据库中的二维表不相适应,无法支持对空间数据的高效访问,因此对表示横跨空间区域的复杂层次关系无能为力。面向对象的数据模型虽然能够处理拓扑关系和层次关系,但对空间中重要的连续性现象的处理却有些乏力。这些问题使研究人员必须考虑能够为空间数据处理服务的模型,这是产生空间数据库的原因。空间数据处理这一术语是在 1972 年开始使用的,在 2003 年由美国学者 Shekhar 和 Chawla 所著的 *Spatial Databases* 是国际上第一本论述空间数据库的著作,该书简洁地介绍了空间数据库的基本问题。

在关系数据库中,最主要的查询手段是由一组固定的基本操作构成的,这些基本的关系操作是构成复杂查询的基本构件。而空间数据库却没有这种规范的固定的基本操作,起码是到目前为止还没有能够实现满足所有应用要求的这种规范、固定的基本操作。

空间操作的算法有三个必须考虑的出发点:算法的正确性、CPU 的代价、I/O 代价。这就使得该算法的设计过程比关系数据库中的算法设计过程更为复杂。在关系数据库中,通常只考虑算法的正确性和时间复杂度。对于空间数据库则不仅需要考虑算法的正确性、时间复杂度,还要考虑 CPU 的代价、I/O 代价,即在设计的各个部分或环节上进行优化。

空间数据库及以空间数据库为基础发展起来的时空数据库、移动对象数据库和空间网络数据库,作为现代的面向对象的高级数据库技术,正广泛应用于与空间时间数据有关的许多领域,国内外学者对其理论、结构和实现技术等方面进行了广泛的研究。

空间数据库与传统关系数据库相比,具有更广阔的应用前景,它能够支持多种空间

数据模型、空间抽象数据类型,以及一种能够调用这些抽象数据类型的查询语言,并支持索引、查询、更新操作算法以及用于查询优化的特定领域规则。

有关空间数据库、时空数据库、移动对象数据库和空间网络数据库的轨迹、索引和查询问题是当今的研究重点。而空间数据库在这些方面的研究却是上述数据库相关研究的基础。

在时空数据库中,对移动对象(是指位置由于时间的变化而变化的对象)的相关信息数据进行描述、存储和处理。

在移动对象数据库中,移动对象与空间对象数据的不同之处就在于,它的任何一个数据项的时间戳的帧都是单调递增的,其数据处于不停的变化与更新中。

空间数据库系统是描述、存储和处理空间数据及其属性数据的数据库系统。空间数据库基本功能包括三个方面:①对空间数据的存储;②对空间数据查询的支持;③对空间数据的分析推理。

空间数据库必须具有和传统数据库一样的传统主题(查询语言、索引和查询处理),因为只有这样才能完成人们对空间数据进行必要的查询需求。

空间数据查询既有属性查询,也有空间查询,还可实现空间与属性之间的交叉查询。

空间查询与空间分析推理是最重要的功能,也是区别于其他数据库系统的本质特征。

数据库的应用按应用领域可分为两大类:

(1)面向实际工程应用。如应用于航天航空、火箭发射、军事系统、导弹系统、军事情报、卫星监测及图像处理、移动通信、多媒体数据库、地理信息系统和气象云图分析等多种领域。

(2)面向非实际工程应用。如广泛地用于人工智能、知识发现、数据挖掘、模式识别、CAD/CAM系统,具有很高的实用价值和经济价值。

查询的研究远未达到满意程度,特别是有些问题还刚刚起步,甚至远未达到解决实际问题的程度。本书将对空间各类索引、查询、优化与空间分析推理的理论问题所取得的部分成果分别作出讨论和详细介绍。

通过本书的讨论,希望能使更多年轻的同行进入这一领域,并使相应的研究得到更深入的发展,促进空间数据库在各个应用领域中得到更充分、更广泛、更可靠的应用。

本书以空间数据库各类查询方法和数据推理为主线,力求用通俗易懂的语言,较为全面、系统地进行介绍。主要内容包括:空间数据库的基本索引结构与查询优化,空间数据库方向方位和连接查询,空间数据库最近邻查询、反向最近邻查询、核心变体查询、一般变体查询,线段的最近邻和反向最近邻查询,基于空间填充曲线的空间查询,基于主存 $\Delta$ -tree的高维数据查询,空间网络间的空间关系及推理,以及空间方向关系的关系推理基础等。

本书的出版得到了哈尔滨理工大学、省教育厅领导和科学出版社林鹏、耿建业与陈静同志的大力支持和帮助。在此表示衷心的感谢。

我的学生李松、孙冬璞博士做了大量富有成效的工作。书中图表的绘制由张丽平、丁晓丽、陈亚涵、李萍萍和郝晓红等完成。在此书出版之际,向他们表示诚挚的感谢。

作 者

2012年10月于哈尔滨

# 目 录

## 前言

<b>第 1 章 空间数据库概述</b> .....	1
1.1 空间数据库基本功能.....	1
1.2 空间数据及空间对象.....	2
1.2.1 空间信息模型 .....	2
1.2.2 空间数据类型 .....	3
1.2.3 空间数据特征 .....	4
1.2.4 空间数据结构 .....	5
1.2.5 空间对象的特殊性.....	6
1.3 空间关系及表示.....	7
1.3.1 空间关系研究的意义 .....	7
1.3.2 确定性空间拓扑关系及表示 .....	7
1.3.3 不确定性空间拓扑关系及表示 .....	13
1.3.4 确定性空间方向关系及表示 .....	14
1.3.5 不确定性空间方向关系及表示 .....	19
1.3.6 空间距离关系表示 .....	19
1.4 空间数据查询 .....	20
1.4.1 空间查询的基本操作类型.....	20
1.4.2 空间查询的基本具体类型.....	22
1.4.3 变体查询的具体类型 .....	23
1.4.4 高维空间最近邻查询的具体类型 .....	25
1.5 空间数据索引及查询处理 .....	26
1.5.1 空间数据库索引技术 .....	26
1.5.2 空间索引的基本思想 .....	27
1.5.3 空间对象近似化 .....	30
1.5.4 空间查询优化处理步骤 .....	30
1.5.5 空间操作算法的性质和要求 .....	31
1.6 空间关系推理 .....	32
1.6.1 空间推理概述 .....	32
1.6.2 空间关系推理类型 .....	35
1.7 空间网络数据库概述 .....	36
1.8 本章小结 .....	37



<b>第 2 章 空间数据库的基本索引结构</b> .....	39
2.1 B-树及其变形树索引结构 .....	39
2.1.1 B-树索引结构 .....	5
2.1.2 kd-树 .....	
2.1.3 K-D-B 树索引结构 .....	12
2.1.4 B <sup>+</sup> 树索引结构 .....	12
2.2 R-树索引结构 .....	14
2.2.1 R-树索引结构 .....	44
2.2.2 R-树操作 .....	46
2.3 R* 树和 R <sup>+</sup> 树索引结构 .....	48
2.3.1 R* 树索引结构 .....	48
2.3.2 R <sup>+</sup> 树索引结构 .....	49
2.4 QR-树 .....	50
2.5 四叉树及四叉变形树索引结构 .....	52
2.5.1 四叉树索引结构 .....	52
2.5.2 变形四叉树索引结构 .....	53
2.5.3 R-树索引和四叉树索引的比较 .....	54
2.6 栅格文件索引结构 .....	54
2.7 Voronoi 图 .....	56
2.7.1 Voronoi 图的定义与性质 .....	56
2.7.2 基于 Voronoi 图的邻近关系类型 .....	59
2.7.3 Delaunay 三角网的定义与性质 .....	59
2.8 空间填充曲线 .....	60
2.8.1 基于空间填充曲线的网格划分 .....	62
2.8.2 Hilbert 曲线的映射方法 .....	62
2.8.3 Z 曲线的映射方法 .....	64
2.8.4 Gray 曲线的映射方法 .....	65
2.8.5 基于空间填充曲线索引结构 .....	67
2.9 $\Delta$ -tree .....	68
2.9.1 主成分分析 .....	68
2.9.2 $\Delta$ -tree .....	68
2.10 本章小结 .....	69
<b>第 3 章 空间数据库的查询优化</b> .....	71
3.1 空间数据库查询的优化技术概述 .....	71
3.2 基于空间索引结点的优化 .....	74
3.2.1 基于计算的索引结点的优化 .....	75
3.2.2 MBR 交叠区域计算 .....	77

3.3	基于聚类分析的结点优化	79
3.3.1	结点的紧致结构	80
3.3.2	聚类结点 MBR 交叠的判定	81
3.3.3	DLSP 判定算法实例分析	85
3.4	空间数据划分类索引的代价分析	86
3.4.1	基于 R-树的空间选择与连接代价分析	87
3.4.2	基于 QR-树的空间选择与连接代价分析	92
3.5	空间划分类索引的代价分析	96
3.5.1	空间划分类索引结构	97
3.5.2	动态更新的代价分析	98
3.5.3	索引动态更新代价模型	99
3.6	空间数据查询的其他优化技术	102
3.6.1	种子树连接模型	102
3.6.2	哈希分区连接模型	105
3.6.3	窗口缩减方法	107
3.6.4	空间连接索引技术	107
3.7	本章小结	108
<b>第 4 章</b>	<b>空间数据库方向方位和连接查询</b>	<b>110</b>
4.1	方向和方位上的运算	110
4.2	基于对象的方向方位模型设计	112
4.2.1	点对象的基于对象的方向模型	112
4.2.2	区域对象的基于对象方向方位的方向模型	114
4.2.3	开放区域的基于对象方向方位的方向模型	115
4.3	基于范围查询的对象方向方位的方向查询	118
4.3.1	基于范围查询策略的基本思想	118
4.3.2	基于范围查询策略的对象方向方位绝对方向查询算法	119
4.3.3	基于范围查询策略的对象方向方位方向查询算法	120
4.4	基于开放模型的对象方向方位的方向查询	122
4.4.1	基于开放模型查询策略的基本思想	122
4.4.2	基于开放模型策略的对象方向方位方向查询算法	122
4.5	本章小结	124
<b>第 5 章</b>	<b>空间数据库最近邻查询</b>	<b>125</b>
5.1	空间数据库最近邻查询概况	125
5.1.1	空间数据库最近邻查询的意义	125
5.1.2	空间数据库最近邻查询的研究现状	125
5.1.3	最近邻查询方法概论	126
5.2	基于 R-树的顺序最近邻查询	127

5.2.1	最近邻查询的定义	127
5.2.2	最近邻查询的测量距离	128
5.2.3	深度优先遍历 R-树的 DF 最近邻查询算法	131
5.2.4	宽度优先遍历 R-树的 BF 最近邻查询算法	133
5.3	静态环境下基于 V-树的最近邻查询	135
5.3.1	基于 Voronoi 图的 V-树结构	135
5.3.2	基于 Voronoi 图的 1NN 查询	137
5.4	基于 Voronoi 图的 $k$ NN 查询	138
5.5	静态环境下基于 Voronoi 图的 $c$ NN 查询	141
5.5.1	连续最近邻查询问题的定义和描述	142
5.5.2	基于 Voronoi 图的 $c$ NN 查询算法	142
5.6	动态创建局部 $k$ 阶 Voronoi 图的 $ck$ NN 查询算法	144
5.7	空间最近对查询概述	146
5.7.1	空间最近对查询定义	146
5.7.2	空间最近对查询方法	147
5.8	空间强邻近对查询	148
5.8.1	空间强邻近对查询的相关理论	148
5.8.2	无障碍的强邻近对查询算法	150
5.9	本章小结	153
<b>第 6 章</b>	<b>空间数据库反向最近邻查询</b>	<b>154</b>
6.1	反向最近邻查询概述	154
6.1.1	问题产生背景	154
6.1.2	反向最近邻查询研究现状	155
6.2	反向最近邻查询的定义与性质	156
6.2.1	反向最近邻查询的定义	156
6.2.2	反向最近邻查询的性质	156
6.3	基于 RNN-树的反向最近邻查询算法	158
6.4	基于 RDNN-树的反向最近邻查询算法	162
6.5	基于 Voronoi 图的反向最近邻查询	164
6.6	Delaunay 图的增量生成方法	165
6.6.1	基础定义与定理	166
6.6.2	Delaunay 图的增量生成算法	166
6.7	基于 Delaunay 图的反向最近邻查询	168
6.7.1	Delaunay-树	168
6.7.2	基于 Delaunay 图的反向最近邻查询算法	169
6.8	基于 Voronoi 图的连续反向最近邻查询	172
6.8.1	基本理论	172

6.8.2	基于 Voronoi 图的连续单色反向最近邻查询	173
6.8.3	基于 Voronoi 图的连续双色反向最近邻查询算法	174
6.9	布尔范围查询和高维反向最近邻查询分析	176
6.9.1	布尔范围查询	176
6.9.2	高维反向最近邻查询分析	178
6.10	本章小结	179
<b>第 7 章</b>	<b>空间数据库核心变体查询</b>	<b>181</b>
7.1	障碍物群中最优有序路径的查询	181
7.1.1	基本定义	181
7.1.2	$k$ 完全相异可视最优有序路径查询	184
7.1.3	障碍空间 $k$ 全局相异最优有序路径查询	190
7.2	空间障碍反向最近邻查询理论	194
7.2.1	可视性判断	194
7.2.2	障碍距离的计算	197
7.3	空间障碍反向最近邻查询	199
7.3.1	障碍反向最近邻查询定义	199
7.3.2	障碍反向最近邻查询点剪枝规则	199
7.3.3	障碍反向最近邻-过滤算法	200
7.3.4	障碍反向最近邻-精炼算法	202
7.3.5	障碍反向最近邻算法	203
7.4	有障碍的强邻近对查询算法	204
7.5	改进的有障碍强邻近对查询算法	206
7.6	本章小结	211
<b>第 8 章</b>	<b>空间数据库一般变体查询</b>	<b>212</b>
8.1	基于 Voronoi 图的组最近邻查询	212
8.1.1	基于 Voronoi 图的组最近邻查询基本理论	212
8.1.2	基于 Voronoi 图的组最近邻查询算法	216
8.2	范围约束的多类型最近邻查询	218
8.2.1	基本概念	218
8.2.2	满足范围约束条件的查询算法	219
8.2.3	单个数据集的处理算法	221
8.2.4	局部范围约束的多类型最近邻查询算法	222
8.2.5	Pcmt_NN 算法的剪枝规则及分析	223
8.3	基于 R-树的受约束空间连接查询算法	225
8.3.1	基于 R-树的受约束空间连接查询的直接方法	225
8.3.2	基于 R-树的受约束空间连接查询算法	225
8.4	基于 QR-树的受约束空间连接查询	227

8.4.1	基于 QR-树的结点匹配算法	228
8.4.2	基于 QR-树的受约束空间连接查询	229
8.5	基于 R <sub>av</sub> -树的索引结构及近似查询	233
8.5.1	VP 区域分析	233
8.5.2	基于 R <sub>av</sub> -树的近似最近邻查询算法	234
8.5.3	基于 R <sub>av</sub> -树的分域查询算法	236
8.5.4	基于 R <sub>av</sub> -树的反向近似最近邻查询算法	237
8.6	反向最远邻的过滤与查询	238
8.6.1	查询点的 RFN 过滤判断	239
8.6.2	过滤后给定点的 RFN 查询	241
8.6.3	RFF 查询及动态更新	243
8.7	动态数据集的反向最远邻	245
8.7.1	增加数据点的情况	245
8.7.2	减少数据点的情况	246
8.8	基于 Voronoi 图的有障碍道路网络最近邻查询	247
8.8.1	基于 Voronoi 图的有障碍的道路网络最近邻查询策略	247
8.8.2	基于 Voronoi 图的有障碍的道路网络最近邻查询算法	249
8.9	本章小结	250
<b>第 9 章</b>	<b>线段的最近邻查询和反向最近邻查询</b>	<b>252</b>
9.1	线段最近邻查询的基本理论	252
9.1.1	点与线段最近邻查询的相关定义	252
9.1.2	线段与线段不相交时的位置关系	254
9.1.3	基于两条线段不相交的有关定理	256
9.2	线段最近邻查询方法	258
9.2.1	R-树中 MBR 与线段的 MBR 的筛选规则	258
9.2.2	基于 Mindist 的筛选规则	259
9.2.3	判断线段与线段的位置关系的算法	259
9.2.4	线段与线段不相交时位置关系的确定算法	260
9.2.5	查询线段与被查询线段的最近距离的算法	260
9.2.6	查询线段在 R-树中的遍历算法	261
9.3	基于 Rcd-树的线段反向最近邻查询	262
9.3.1	平面线段反向最近邻的相关定义	262
9.3.2	基于 Rcd-树的平面线段反向最近邻查询算法	263
9.4	基于 Voronoi 图的线段反向最近邻查询	265
9.4.1	线段 Voronoi 图的定义和性质	265
9.4.2	基于线段的反向最近邻	266
9.4.3	线段的查询区域	267

9.4.4	判断线段与查询区域相交的方法	268
9.4.5	Voronoi 图的线段反向最近邻查询算法	268
9.5	基于 Voronoi 图的线段最近对查询	269
9.5.1	基于 Voronoi 图的线段最近对查询相关理论	270
9.5.2	基于 Voronoi 图的线段最近对查询算法	272
9.5.3	对数据集进行更新的处理	273
9.6	基于 Vague 集的平面线段不确定性区域	274
9.6.1	线段的模糊划分描述	274
9.6.2	平面线段的 Vague 区域描述	275
9.6.3	平面线段的 Vague 区域表示	276
9.6.4	平面线段的动态规律描述	277
9.7	平面动态线段的索引和查询	280
9.7.1	平面动态线段的索引	280
9.7.2	线段的近邻查询过程	281
9.8	本章小结	284
<b>第 10 章</b>	<b>基于空间填充曲线的空间查询</b>	<b>285</b>
10.1	基于空间填充曲线最近邻查询	285
10.2	高维空间基于 Z 曲线的近似 $k$ 最近对查询	294
10.2.1	基本定义	294
10.2.2	高维空间基于 Z 曲线的近似 $k$ 最近对查询算法	295
10.3	基于 Hilbert 曲线的高维 $k$ 最近对查询	299
10.3.1	网格划分	299
10.3.2	基于 Hilbert 曲线的高维 $k$ 最近对查询算法	302
10.4	基于 Hilbert 曲线的近似 $k$ 最近邻查询	304
10.5	基于 Z 曲线的高维空间范围查询	306
10.5.1	网格划分	306
10.5.2	分割规则	308
10.5.3	Z 曲线的高维空间范围查询算法	310
10.6	基于 $B^z$ 树的高维空间范围查询	312
10.6.1	$B^z$ 树索引结构	312
10.6.2	$B^z$ 树上的操作	313
10.6.3	$B^z$ 树高维空间范围查询算法	314
10.7	基于 Hilbert 曲线网格划分聚类	315
10.7.1	聚类	316
10.7.2	基于 Hilbert 曲线网格划分聚类算法	317
10.8	本章小结	324

<b>第 11 章</b>	<b>基于主存 <math>\Delta</math>-tree 的高维数据查询</b>	326
11.1	高维主存 $k$ NN 连接索引结构的基础算法	326
11.1.1	$\Delta$ -tree $R$ 的基础算法 $R\_insertR$	327
11.1.2	构建 $\Delta$ -tree $R$ 和 $\Delta$ -tree $S$ 算法	330
11.1.3	$\Delta$ -tree $S$ 的基础算法 $R\_insertS$	330
11.1.4	相关性质及定义	332
11.2	自底向上深度递归 $k$ NN 查询	333
11.2.1	理论基础	333
11.2.2	相关子算法	335
11.2.3	BU_DF_knn_Search 算法	338
11.3	自顶向下主存 $\Delta$ -tree 的高维数据相似连接	339
11.3.1	理论基础	340
11.3.2	自顶向下主存 $\Delta$ -tree 的高维数据相似连接算法	342
11.4	改进的基于 $\Delta$ -tree $R$ 的 $k$ NN 连接	345
11.4.1	基于 $\Delta$ -tree $R$ 的 $k$ NN 连接算法及其子算法	345
11.4.2	改进的基于 $\Delta$ -tree $R$ 的 $k$ NN 连接算法	350
11.5	基于 $\Delta$ -Rdnn-tree 的自连接	351
11.5.1	反向 $k$ 最近邻索引结构 $\Delta$ -Rdnn-tree	351
11.5.2	基于 $\Delta$ -Rdknn-tree 的 $k$ NN 自连接算法	353
11.6	基于 $\Delta$ -Rdnn-tree 的反向 $k$ 最近邻连接	355
11.7	基于 $\Delta$ -Rdnn-tree 的反向 $k$ 最近邻查询	357
11.8	本章小结	359
<b>第 12 章</b>	<b>空间网络间的空间关系及推理</b>	360
12.1	空间网络间的空间关系表示	360
12.1.1	基本概念	360
12.1.2	严格型的空间网络间的空间关系表示	362
12.1.3	扩展型的空间网络间的空间关系表示	364
12.2	空间网络间的空间关系的交集模型	367
12.2.1	空间网络间的空间关系的交集模型表示	367
12.2.2	空间网络间的空间关系的特征条件式和蕴涵条件式	369
12.3	空间网络间的空间关系推理	377
12.4	实例分析	379
12.5	本章小结	382
<b>第 13 章</b>	<b>空间方向关系的关系推理基础</b>	383
13.1	基于 MBR 的主方向关系的反关系推理	383
13.1.1	二维空间主方向关系	383

---

13.1.2	基于 MBR 的主方向关系的反关系推理 .....	385
13.2	区域对象间主方向关系的反关系推理 .....	386
13.2.1	矩形主方向关系的原关系 .....	386
13.2.2	主方向关系的反关系推理算法 .....	388
13.2.3	算法验证 .....	390
13.3	三维空间方向关系的表达与推理 .....	391
13.3.1	三维空间主方向关系模型 .....	391
13.3.2	三维空间方向关系推理 .....	394
13.4	本章小结 .....	403
参考文献 .....		405



# 第 1 章 空间数据库概述

## 1.1 空间数据库基本功能

随着 IT 技术的迅速发展,以地理信息系统(GIS)为代表的空间信息技术在各领域得到了应用。同时由于遥感等空间信息获取技术不断进步,现代社会对位置服务和分析决策的需要也日益迫切。因此,深入研究和掌握空间信息技术的理论与方法的重要性也日益凸显出来。空间信息,也就是在某个空间参考系(如地球表面)中对象的位置信息,长期以来被视为特殊的计算问题。

早在 1972 年,空间数据处理这一术语就开始使用,并且在高维结构中经常会用到空间信息。尽管在 20 世纪 60 年代就开始出现的每一个经典数据库管理模型都对空间应用领域有所考虑,但不管是关系模型还是面向对象的建模都不能完全适合这一领域。关系模型能够较好地处理拓扑关系,但对表示横跨空间区域的复杂层次关系却无能为力;而面向对象模型能够处理拓扑和层次关系,但难以处理空间中重要的连续性现象。

空间数据库的重要性日益增加,其中一个原因在于其应用范围已超出传统 GIS 领域。随着地理信息系统、计算机辅助设计与制造、多媒体系统、移动通信及定位服务等领域的发展,对空间数据库的研究越来越受到人们的重视。位置和时间是鉴别和刻画信息的强有力方法,因为许多数据集都具有空间和时间的痕迹。因此,位置信息成为在分布的信息源(如因特网)中搜索相关信息的强大基础。近年来,许多计算机应用领域通过扩充数据库管理系统的功能来支持与空间相关的数据。空间数据库管理系统研究是找到有效处理空间数据的模型和算法的重要步骤。

经过二十多年的发展,空间数据库已经成为一个热门研究领域,其研究成果(如空间多维索引)开始应用于许多不同领域。正是已有应用的需求推动了空间数据库管理系统的研究。

空间数据库与传统关系数据库相比,具有更广泛的应用前景,它能够支持多种空间数据模型、空间抽象数据类型以及一种能够调用这些抽象数据类型的查询语言,并支持索引、查询、更新操作算法以及用于查询优化的特定领域规则。

空间数据库正广泛地被应用到人类社会的各个方面。如今,对海量的复杂的空间信息进行集成、表示、存储、查询、检验、计算、加工和管理越来越需要空间数据库的支持。在面向实际工程的一些应用领域(如航天航空、火箭发射、军事系统、导弹系统、军事情报、卫星监测及图像处理、移动通信、多媒体数据库、地理信息系统和气象云图分析等多种领域)和面向非实际工程应用领域(人工智能、知识发现、数据挖掘、模式识别、