

# 空间分析数据库的研究方法及技术

秦小麟

(南京航空航天大学计算机科学与工程系, 南京 210016)

**摘要** 通过大量文献研究, 分析了空间分析数据库的研究平台、研究方法和技术, 以及各种研究平台的优缺点. 重点讨论了基于 Realms 的空间数据类型、ROSE 代数、基于可扩展 DBMS 的空间分析数据库的研究方法和技术, 以及同类系统的不足和需研究解决的问题, 并指出 Realms 可以有效地表示二维的空间数据及支持空间拓扑操作算法. 文中还分析研究了基于主存数据库技术和 ROSE 代数的空间存储管理子系统, 并指出把它与可扩展数据库管理系统或具有 ADT 机制的 DBMS 进行集成, 是研究空间分析 DBMS 的有效途径.

**关键词** 空间数据库 ROSE 代数 空间数据类型 空间分析操作

中图法分类号: TP392 TP311.132.3 文献标识码: A 文章编号: 1006-8961(2000)09-0711-05

## The Research Methods and Techniques of Spatial Analysis Databases

QIN Xiao-lin

(Dept. of Computer Science and Engineering, Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, Nanjing 210016)

**Abstract** This paper analyses the research platforms, methods and techniques of spatial analysis databases, as well as the advantages and disadvantages of various research platforms. And it discusses emphatically the spatial data types based on the Realms, ROSE algebra, and the research methods and techniques of spatial analysis databases based on extensible DBMS as well as the disadvantages and problems of the systems based on the principles. The Realms can be used to represent spatial data of two dimensions and to implement the spatial topological algorithms efficiently. First, the spatial subsystem based on the techniques of main memory databases and the ROSE algebra is designed and implemented. Then it is integrated into extensible DBMSs, or DBMSs with the ADT mechanism. And it is an efficient approach to develop spatial analysis database management systems.

**Keywords** Spatial databases, ROSE algebra, Spatial data types, Spatial analysis operators

## 0 引言

进行空间数据库研究的目的是为了解决如何对空间数据进行有效的表示、存储和处理等问题, 而且它是 GIS(地理信息系统)、CAD/CAM 数据库、VLSI 等系统的核心支撑软件, 因此研究它有十分重要的意义. 空间数据指的是由点、线、区域、面、体积等构成的空间对象, 其中典型的空数据实例有如城市、河流、道路、山区及 CAD、VLSI 数据等. 而

且作为一个空间数据库系统应该<sup>[1]</sup>具有如下特征: (1) 是一个数据库系统; (2) 具有处理空间数据的空间数据类型(SDT)和查询语言; (3) 支持空间索引和有效的空间连接. 实际上它就是一个能有效地处理空间数据和非空间数据的数据库系统.

由于空间分析数据库强调对空间对象的分析操作功能, 而目前, 在 GIS 应用中, 简单的空间数据查询已不能满足需求, 因此必须研究能支持复杂空间分析功能的空分析 DBMS.

# 1 空间分析数据库的研究方法

## 1.1 基于关系数据库的方法及问题

空间数据库一般应用于 GIS 中,如今已经历了几代的发展.最早的 GIS 系统是直接建立在文件系统之上,但自从关系 DBMS 出现以来,就一直作为研究空间数据库的平台,它主要有两种结构:

(1) 分层(Layered)结构:其方法是直接在关系 DBMS 之上,加一个处理空间数据的模块——空间支持层,然后把空间数据分解成元组数据直接存储在关系数据库中,其缺点是系统必须在空间支持层来处理空间数据,这意味着,首先需把关系数据库中的元组数据转换成空间数据,这样将导致系统的低效率,也制约了复杂空间操作的实现.目前其典型的原型系统有 Geo-QUEL、GEOVIEW 和 SIRO-DBMS.

(2) 对偶(Dual)结构:其方法是用 DBMS 存储、处理非空间数据,即用一个独立的空间子系统来存储空间数据,然后,在其上进行集成.在这种结构中,任一个空间对象由两部分组成,一部分是存储在 DBMS 中的非空间数据;另一部分是直接建立在空间子系统中的有它自己数据结构的空数据.其空数据和非空数据通常通过系统内部的指针联系,其优点是存在两个存储管理器,从而避免了把空间数据直接存储在关系数据库中,对空间数据可以采用合适的的数据结构和算法,以提高系统的效率.但其缺点是一个查询必须分解成两部分,然后由 DBMS 和空间子系统分别处理非空间数据和空数据,因而这将影响系统的查询效率,同时也导致难以进行全局查询优化<sup>[2]</sup>.目前其典型的原型系统有 ARC/INFO、SICAD 等.

## 1.2 基于可扩充 DBMS 的空间数据库

由于可扩充 DBMS 具有用户可扩充新数据类型和操作的功,使得运用其抽象数据类型(ADT)机制能更好、更容易地实现空间数据库,因而立刻成为研究空间数据库的主流平台.其系统主要采用集成(Integrated)结构,方法是运用可扩充 DBMS (OODBMS 或 O-R DBMS)的可扩充性来建立一个能够支持空间数据类型和空间分析操作的 ADT 机制,然后与可扩充 DBMS 集成为空间(分析)DBMS.

这种方法具有如下的优点:(1)由于可扩充 DBMS 的可扩充性,在 DBMS 中,可直接定义空间数据类型和空间分析操作,并能达到尽可能的无缝

集成;(2)空间 DBMS 能够像处理 DBMS 固有数据类型(如 String)一样来处理空间数据类型(如 Region);(3)对空间数据类型的操作与对固有数据类型的操作一样,即求两个 Region 的并,与求两个 String 的并,在原理上是一样的;(4)由于将空间子系统集成到可扩充 DBMS 中,因而 DBMS 能够直接存取和处理存储在空间子系统空间数据;(5)根据应用的需要,可利用其可扩充性来增加新的空间分析操作;(6)缩短了研制周期.

其典型的原型系统有:基于 DBMS-DASDBS (支持 NF2 关系)的 Geo-Kernel、基于 POSTGRES 的 GEO<sup>++</sup>、基于 Sabrina 的 GeoSabrina、Proble 和 Gral 等.

## 1.3 可扩充 DBMS 构造空间数据的能力

为了研制基于可扩充 DBMS 的空间分析 DBMS,我们应该了解可扩充 DBMS 的本身定义、管理和处理空间数据的能力.下面以对象-关系 DBMS-AMOS<sup>[3]</sup>作为讨论对象,其中 AMOS 是在 OODBMS-Iris 基础上研制的一个对象-关系主存 DBMS,其主存特性是,能有效地提高复杂空间分析操作的效率.另外,它还具有丰富的数据类型:如 integer、real、number、boolean、charstring、date、time、timeval、bag、vector、list 等,同时也允许用户定义新的数据类型.而且其查询语言 AMOSQL 是对 Iris 的面向对象说明性查询语言的扩充.

它可用如下语句定义新的空间数据类型: POINT、基于 POINT 的 SEGMENT、由 POINT 或 SEGMENT 的向量构成的 LINE、由 POINT 或 SEGMENT 向量构成的 REGION.

```
create type point (key id integer, xc integer, yc integer);
```

```
create type segment (key id integer, from-p point, to-p point);
```

```
create type line (key id integer, vertices vector);
```

```
create type region (key id integer, vertices vector);
```

由于其属性 vertices 的类型是 VECTOR,而其值是由一个同一数据类型的值序列(如 point 类型值序列或 SEGMENT 类型值序列)构成的向量,故据此可产生由若干个,如: P1、P2 和 P3(POINT 类型),或由若干条线段,如 S1{P1, P2}、S2{P2, P3} 和 S3{P3, P1}(SEGMENT 类型),组成的区域对象存储于类型 REGION 中.但两者的区别是由点序列组成的 REGION 对象不能表示具有空洞(HOLE)的区域.

问题: 由于可扩充 DBMS 中定义的新数据类型是建立在基类型和已定义的新类型上, 而且其所定义的空间数据类型的数据结构难以有效支持空间数据间的拓扑关系和空间数据集合上的操作, 如 INSIDE、MEET 等, 因此 DBMS 对上述的空间数据只能实现一些简单的返回空间对象本身性质的操作, 如求线的长度  $LENGTH(L)$ 、区域的面积  $AREA(R)$ 、点到线的最近距离  $DISTANCE(P, L)$  等的操作。

解决方法: 空间数据应该有它自己的存储结构和存储空间, 即同样需要把一个空间对象分成非空间数据和空间数据来存储。

## 2 Realms 和 ROSE 代数

在空间数据库和 GIS 的研究中, 空间数据的表示、存储、管理和处理一直是个瓶颈问题, 即使在基于可扩充 DBMS 的集成结构中, 也必须为空间数据设计专用的存储结构, 以保证能够有效地对空间数据进行查询和分析操作, 也就是说, 作为一个空间分析 DBMS, 应同时能有效地支持空间数据的存储、管理和复杂的空间分析操作。因而如何设计与实现能够支持空间分析操作的空间数据的存储结构, 一直是 GIS 和数据库界致力研究的课题。Güting 教授提出了基于 Realms 的空间数据类型<sup>[4]</sup>。该 Realms 实际上是一个结构, 它是由建立在离散网格(Grid)上有限的点和非相交线段的集合构成。也就是说, Realms 中的对象(点和线段)不是建立在欧几里德空间上, 而是建立在离散网格(Grid)上。Realms 有如下的性质: ① 每一个点和每一条线段的端点都是 Realms 中的一个网格点; ② 没有一个 Realms 点位于任一条 Realms 线段的中间; ③ 除了端点外, 任何两条 Realms 线段都不相交。但在具体的应用中, 一个空间对象的所有空间线段不可能不相交, 这就需要解决如何把具有线段相交的实际空间数据映射到无线段相交的 Realms 中的问题。具体的解决方法是以线段交点(端点除外)为参考点来分解线段, 即把一个长线段, 以交点为界, 分解成两段线段, 如果这两个短线段的任何一个线段还与其它的线段相交, 则需继续分解, 直至无交点为止。这工作可以通过在向 Realms 中插入点或线段时完成。通常交点  $D$  并不落在 Realms 的网格点上, 解决的方法是调整交点  $D$  的位置, 使之移到最靠近实际交点的一个网格点  $D'$  上, 但这样可能导致空间对

象间的拓扑错误, 故必须研究能保证空间操作拓扑正确性的算法。

根据 Realms 中所有线段的非相交性, 可以用计算几何中的一些算法<sup>[5]</sup>(如 Plane Sweep) 来有效地构建一些反映空间对象间拓扑关系的算法, 如两区域的相交、相邻、包含等。

在 Realms 中, 所有的空间数据都由建立在 Realms 上的点 (Points)、线 (Lines) 和区域 (Regions) 组成, 如图 1 表示了一个 Realm, 图 2 则是与部分数据对应的空间对象:  $A$  和  $B$  是两个区域对象 (Regions 类型)、 $C$  是一个具有分支的线对象 (Lines 类型)、 $D$  是一个点对象 (Points 类型)。

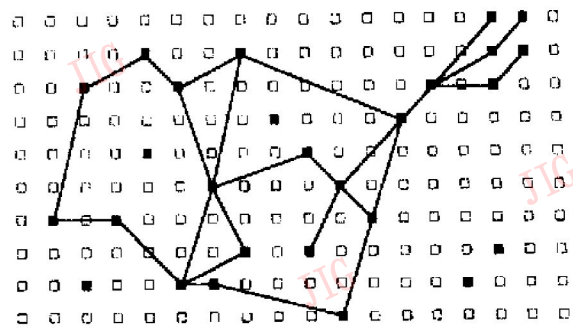


图 1 一个 Realms

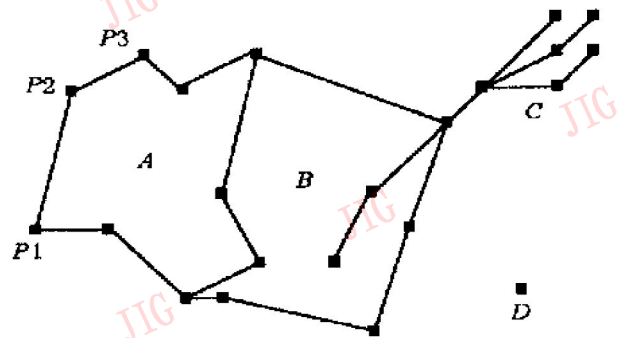


图 2 部分数据对应的空间对象

在 Realms 的基础上, 文献[6]提出了 ROSE 代数, 即基于 Realms 的空间数据类型和相应的空间分析操作集, 它可作为研究空间分析数据库的基础。由于在 ROSE 代数中, 空间操作能够映射到一个网格上, 而转换为整数的操作, 从而为空间操作的数值健壮性提供了保证。由此可见, 基于 Realms 的方法能有效地表示空间数据和支持复杂的空间分析操作, 并能克服在空间分析数据库系统中的数值健壮性和拓扑正确性问题。

## 3 基于 ROSE 代数和可扩充 DBMS 的空间分析数据库研究

对于基于 ROSE 代数的空间数据库, 文献[7]

作了最初的尝试,即试图在 OODBMS-O<sub>2</sub> 中,利用其可扩充功能来调用 ROSE 代数的操作.国外正在研究的项目有,英国 Manchester 大学和 Heriot-Watt 大学在演绎面向对象 DBMS-ROCK&ROLL<sup>[8]</sup>上集成 ROSE 代数,而研制的面向对象演绎空间系统结构-ODESSA;有欧共体一些机构在对象-关系 DBMS-AMOS 上集成 ROSE 代数,而研制的对象-关系空间分析 DBMS-ORSA.它们所采用的方法都是将 ROSE 代数直接集成到 DBMS 中,但两者采用了不同的集成策略.

### 3.1 ODESSA

ODESSA 是一个正在研制的面向对象的演绎空间系统,方法是在演绎面向对象 DBMS-ROCK&ROLL 中集成 ROSE 代数,以致能够处理空间数据.具体做法是在 ROCK&ROLL 的核心层集成 ROSE 代数,即把 ROSE 代数的数据类型 Points、Lines 和 Regions 作为 ROCK&ROLL 的数据类型,用户可以在 ROCK&ROLL 的程序中像基本类型一样,使用这些空间数据类型.例如,可用如下的语句表示图 1 和图 2 中的区域 A 和区域 B,设左下角网格点的坐标为 (0, 0):

```
Var R1: = regions{1: 3- 2: 7, 2: 7- 4: 8, 4: 8- 5: 7, 5: 7- 7: 8, 7: 8- 6: 4, 6: 4- 7: 2, 7: 2- 5: 1, 5: 1- 3: 3, 3: 3- 1: 3}
```

```
R2: = regions{5: 1- 7: 2, 7: 2- 6: 4, 6: 4- 7: 8, 7: 8- 12: 6, 12: 6- 11: 3, 11: 3- 10: 0, 10: 0- 6: 1, 6: 1- 5: 1}
```

其中,点 P1 坐标为 (1, 3)、点 P2 坐标为 (2, 7)、点 P3 坐标为 (4, 8),则 {1: 3- 2: 7} 表示线段 {P1, P2}, {2: 7- 4: 8} 表示线段 {P2, P3}.这样,在 ROCK&ROLL 的语言中就能够直接使用 regions 类型的变量,因而能够表示空间数据.同时,把 ROSE 代数的函数操作作为 ROCK&ROLL 的操作,就能对上述的空间对象进行空间分析操作,如调用 MEET (R1, R2) 来判断区域 R2 是否在区域 R1 中.

### 3.2 AMOROSE

瑞典皇家理工学院、Linkoping 大学、瑞典国防研究院、法国凡尔塞大学、芬兰大地测量学院及一些欧盟国家从事 DBMS 和 GIS 的公司(如 ADB、Apic、Sysdeco)等已在对象-关系 DBMS-AMOS 上开发了基于 ROSE 代数的对象-关系空间分析 DBMS-ORSA,其核心子项目是空间 DBMS-AMOROSE<sup>[9]</sup>.AMOROSE 项目的研究

目的,一是深入研究、完善与实现 ROSE 代数;二是在对象-关系 DBMS-AMOS 中集成 ROSE 代数,以生成一个原型空间分析 DBMS.作者在瑞典期间曾参与了 ORSA 的研制,并独立承担完成了 AMOROSE 的第一个原型系统版本<sup>[9]</sup>.

AMOROSE 最初的设计是在 AMOS 的核心层上集成用 Modula 2 实现的 ROSE 代数,但为了研究可扩充 DBMS 作为空间分析 DBMS 开发平台的能力,而开发的第一个原型系统版本,就实现了利用 AMOS 的 ADT 机制集成的 ROSE 代数函数库,但进一步就必须解决 DBMS 如何存取 ROSE 数据(即空间数据)的问题.为此,我们把整个 AMOROSE 空间分成 AMOS 空间和 ROSE 空间,AMOS 空间由 AMOS 产生,用于存储所有的程序(包括 AMOS 系统、ROSE 代数的操作及用户的应用程序)和由 AMOS 建立的数据;ROSE 空间则由 AMOS 调用 ROSE 代数的函数产生,用于存储空间数据.采用前向连接(即据一个空间对象的非空间数据来查询其空间数据)的方法来连接非空间数据和空间数据,AMOROSE 能够通过存储在 AMOS 空间中的某一空间对象的内部指针来直接存取 ROSE 空间中的空间数据,并提交给查询语言处理.实际上,一个空间 DBMS 对空间数据的处理能力主要体现在 ROSE 代数的函数上,关键的问题是 DBMS 的查询语言应能够直接调用这些函数.目前,在 AMOROSE 的查询语言中,已能够处理 ROSE 代数中一些函数(因尚未完全实现),从而用 SQL 语句就能完成一些空间分析操作.

假设建立了类型 city 和 highway,并建立了相应的数据库:

```
create type city (name charstring, population integer, municipal- area regions)
```

```
create type highway (number charstring, class integer, way line);
```

其中, municipal- area 和 way 是空间数据类型,其值分别表示城市的区域和高速公路.

例 1: 查询所有与其邻接的人口大于 1 000 000 的城市,并显示该城市名和人口数.

```
select name(c1), population(c1)
for each city c1, city c2
where population(c2) > 100 000 0 and
rr- adjacent(municipal- area(c1),
municipal- area(c2));
```

例 2: 查询什么一级高速公路穿过什么城市,显

示其公路名和城市名.

```
select number(h), name(c) for each highway h, city c
where lr- intersects( way(h), municipal- area(c)) and
class(h) = 1;
```

这是两个典型的空间连接操作. 由于 AMOS 采用主存数据库技术, 在 ROSE 空间中的数据装入内存情况下, 经测试, 其查询效率非常令人满意. 当前, AMOROSE 仅实现了一个初步的版本, 但已证明, 在下一代 DBMS 中集成 ROSE 代数是一种行之有效的办法.

### 3.3 存在的问题及进一步的工作

目前的 ROSE 代数函数库所产生的空间数据是基于主存的, 这意味着空间数据不能存于外存数据库中, 这将直接影响到空间 DBMS 处理空间数据的效率. 而对于 Realms 和 ROSE 代数, 从理论上和实现技术上都需进一步研究, 其中主要包括: (1) 基于主存数据库技术的 ROSE 代数实现技术, 因主存数据库技术为空间操作的效率提供了保证; (2) 由于 Güting 教授研制的下一代 DBMS-Gral 是用 Modula 2 实现的, 故而在实现 ROSE 代数时, 仍采用 Modula 2. 但由于大多数 DBMS 是用 C 语言编程, 因而导致集成时语言的不匹配, 因此应研究用 C 语言来实现 ROSE 代数的技术; (3) 由于 Realms 只是一个结构, 它是否能有效地支持空间分析操作需取决于具体的数据结构, 因此基于 Realms 的空间数据的数据结构是一个关键问题, 而且由于它决定了空间分析操作算法的效率, 故仍需进行深入的研究; (4) 完善 ROSE 代数的空间分析操作集; (5) ROSE 代数一些操作算法的研究; (6) 基于 Realms 空间数据的可视化输入和输出; (7) ROSE 代数与 DBMS 的接口; (8) 基于 Realms 结构的索引技术; (9) 由于文献[6]、[7]的方法并不能完全保证拓扑正确性, 因此需要研究一种既能保证 Realms 的概念, 又能消除拓扑异常情况的方法. (10) 基于 Realms 的三维空间数据的表示及操作算法.

## 4 结束语

本文主要分析了不同研究平台对研究空间分析数据库的影响, 并介绍了 Realms 和 ROSE 代数, 还重点讨论了基于可扩充 DBMS 和 ROSE 代数的空间分析 DBMS 的研究方法和技术. 作者认为, 这是一条非常有效的研究途径, AMOROSE 就是一个成功的

例证. 针对国外同类研究项目的不足, 作者正在深入研究 ROSE 代数的理论和实现技术, 以及研究一个基于 Realms、主存数据库技术和可扩充 DBMS 的空间分析 DBMS 原型系统. 可以预见, 随着下一代 DBMS 的不断成熟和一些关系 DBMS(如 Oracle)引入抽象数据类型机制, 将使 ROSE 代数可以被集成到这些 DBMS 中, 以生成空间分析 DBMS, 可并缩短研制空间分析 DBMS 的周期, 因而 ROSE 代数具有非常好的应用前景. 除此之外, Realms 还可作为时空数据库中表示移动空间对象的基础<sup>[10]</sup>.

本文的另一目的是强调 Realms 和可扩充 DBMS 在研究空间分析 DBMS 中的作用, 以期引起国内同行的关注.

感谢瑞典国防研究院和皇家理工学院的 Per Svensson 教授为作者提供了进行空间分析 DBMS 研究的机会.

## 参考文献

- Güting R H. An introduction to spatial database systems, VLDB Journal, 1994, 3(4): 357~ 399.
- Ooi B C *et al.* Extending a DBMS for geographic application, In: Proc. 5th Intl. Conf. On Data Engineering, Los Angeles, U. S. A, 1989, 590~ 597.
- Karlsson J S *et al.* AMOS user's guide, Linköping University, Sweden, 1996.
- Güting R H, Schneider M. Realms: a foundation for spatial data types in database systems, In: Proc. 3rd Intl. Symposium on Large Spatial Databases, Singapore, 1993, 14~ 35.
- Mehlhorn K. Data structures and algorithms 3: multi-dimensional searching and computational geometry, Springer-Verlag, Berlin, 1984.
- Güting R H *et al.* Implementation of the ROSE algebra: efficient algorithms for realm-based spatial data types, In: Proc. 4th Intl. Symposium on Large Spatial Databases, Portland, U. S. A, 1995: 216~ 239.
- Schneider M. Spatial data types for database systems, Ph. D Dissertation, Fernuniversität Hagen, Germany 1995.
- Barja M L *et al.* Design and implementation of ROCK & ROLL: a deductive object-oriented database system, Information Systems, 1995, 20(3): 185~ 211.
- QIN Xiao-lin, AMOROSE Guide. Royal institute of technology, Sweden, 1998, 10.
- 秦小麟. 移动空间数据类型和操作的初步研究. 计算机科学, 2000, 27(1): 75~ 79.



秦小麟 教授, 计算机应用工学硕士. 1997~ 1998年在瑞典皇家理工学院从事空间分析 DBMS 研究. 正在进行实时数据库、空间分析数据库和时空数据库项目的研究工作.