

文章编号: 1001-2486 (2000) 03-0001-05

## 集成型空间数据库技术分析\*

李军, 景宁, 孙茂印

(国防科技大学电子科学与工程学院, 湖南 长沙 410073)

**摘要:** 空间数据库是 GIS 的核心。在介绍空间数据库的基本概念的基础上, 着重分析了广为应用的空间数据库系统 SDE, 它能够将空间数据和属性数据集成在数据库中。目前已提出的空间信息模型可分为基于域的模型和基于对象的模型, 各有其优点和局限。由于许多应用中需要这两种模型, 因此本文提出了我们自行设计的一种能够集成域和对象的面向对象空间数据库模型。

**关键词:** 空间数据库; 地理信息系统; 面向对象数据库; SDE

中图分类号: TP392 文献标识码: A

### Analysis of Spatial Database System with Integrated Architecture

LI Jun, JING Ning, SUN Mao-yin

(College of Electronic Science and Engineering, National Univ. of Defense Technology, Changsha 410073, China)

**Abstract:** Spatial database is the core of GIS. First, we introduce the basic concepts of spatial database, and then analyze SDE, a spatial database which can integrate spatial data and attribute data. Currently proposed spatial information model can be divided into field-based model and object-based model. Each model has its advantages and limitations. Since both models are needed in application, we thus propose our object-oriented model, which integrates field-based and object-based model.

**Key words:** spatial database; GIS; object-oriented database; SDE

当前, 处理地理相关信息的地理信息系统 (Geographic Information System, GIS) 技术正在不断的发展和成熟, 成为一个研究和应用热点。GIS 是一个基于计算机的信息系统, 主要功能为采集、模型化、处理、检索、分析和再现空间相关数据。目前, GIS 的理论和各项技术都已基本成熟, 其研究和应用水平不断提高。尤其是一些商用的 GIS 基础软件, 如 MapInfo、ARC/INFO 等, 已经成功地实现了 GIS 的许多先进技术, 使得 GIS 真正得到广泛应用。

GIS 的核心是空间数据库。空间数据库系统是一个存储空间和属性数据的数据库系统, 其数据模型和查询语言能支持空间数据类型和空间索引, 并且提供空间查询和其它空间分析的方法<sup>[5]</sup>。由于关系数据库不能支持对空间数据的管理, 传统的 GIS 软件都只是将属性数据存储于数据库中, 而将空间数据存放在文件系统中。这种采用混合体系结构的 GIS 软件, 有着以下几个缺点: (1) 空间数据无法获得数据库系统的有效管理; (2) 空间数据采用各个厂商定义的专用格式, 通用性差; (3) 在 Client/Server 横向体系结构中, 文件服务器支持的用户数量少, 而且空间数据文件的传输对网络的要求高, 通常要求对整个文件进行传输, 不支持只对某些空间对象的存取。

因此, 现在的 GIS 软件都在朝集成结构的空间数据库技术方向发展, 将空间数据和属性数据全部存储在数据库中。在目前的采用集成结构的商用空间数据库软件中, 应用最广泛的当属 ESRI Spatial Database Engine (SDE), 它能够将各种数据存放在关系数据库或对象关系型数据库管理系统中<sup>[1]</sup>。另外, 由于面向对象数据库更适用于存储多维的空间数据和多媒体数据, 并适合各种数据的复杂表示<sup>[3]</sup>, 许多科研机构都在进行将所有数据集成于面向对象数据库的研究<sup>[4]</sup>。

\* 收稿日期: 1999-06-04  
基金项目: 国家 863 高技术计划资助项目 (863-306-ZD09-02-4)  
作者简介: 李军 (1973), 男, 博士生。

### 1 空间数据库的基本概念

空间数据库是用来存储和管理空间数据和属性数据的，根据两种数据的数据库管理方式，空间数据库可以分为集成结构和混合结构。对于混合结构，非空间数据一般存储在关系数据库中，空间数据存放在系统文件中。目前一些 GIS 开发平台就是采用这种结构，如 MapInfo Professional。对于集成结构，所有的数据都存储于一个数据库中。

空间数据库是以一些通用的数据库管理系统 (DBMS) 为基础，对 DBMS 进行数据类型、查询方法以及索引方法等的扩展，使 DBMS 能够进行空间数据的管理。而一般的关系数据库可扩展性差，能进行的操作不多，提供的索引机制也不适合空间数据，因此，采用一般的关系数据库集成空间数据困难较大，性能也较差。在学术研究中，对采用面向对象数据库的集成结构进行了大量研究，许多实验系统都采用了这种集成结构<sup>[4]</sup>。但由于面向对象数据库自身仍存在许多缺陷，因此不为商业厂家看好。目前，由于对象关系型数据库系统的出现，它具有一些面向对象的特性，如数据类型的可扩充性等，又保持了关系数据库在数据查询方面的优势，因而许多采用集成结构的 GIS 软件开始集成于对象-关系型数据库中，如 Mapinfo SpatialWare, ESRI SDE 等。

在空间数据库中，数据模型可以分为基于域的模型和基于对象的模型<sup>[1]</sup>。基于域的模型将信息空间视为一定空间分布的集合体，每个空间分布可以视为一个从空间网格到空间属性的数据函数，这种模型适合表示连续的空间特征，例如降雨量分布和气温分布等。基于对象的模型将信息空间视为离散的可标识的对象的集合，每个对象各带一个与空间数据相关的空间参数对象，这种模型适合表示离散的、不连续的空间特征。

### 2 ESRI Spatial Database Engine (SDE) 的核心技术

SDE 是美国著名的地理信息研究机构 ESRI 推出的空间数据库解决方案<sup>[2]</sup>，它在现有的关系或对象关系型数据库管理系统的基础上进行空间扩展，可以将空间数据和非空间数据集成在目前绝大多数的商用 DBMS 中。SDE 的开放式数据访问模型，支持最新的标准 (OpenGIS, SQL 3, SQL Multimedia)，提供快速的、多用户的数据存取，提供开放的应用开发环境，是目前非常成功的空间数据库系统<sup>[2]</sup>。

#### 2.1 SDE 的体系结构

空间数据库的应用系统通常可分为三层结构。SDE 就是处于中间层的空间服务器，它在用户和所有的数据之间提供接口，使得用户能通过 SDE 获得空间数据和属性数据，以及其它的传统的数据数据库管理系统 (DBMS) 的数据。

如图 1 所示，SDE 本身并无专用数据库，而是通过与其它通用的 DBMS 的集成来管理空间数据。根据 DBMS 的类型，SDE 与 DBMS 的集成方式可分为两种 (图 1)：

(1) 与传统的关系数据库管理系统 (RDBMS) 的集成。传统的 RDBMS 不支持数据类型的扩展，无法管理二维的空间数据，只能通过空间服务器对空间数据和空间操作进行解释和管理。

(2) 与对象关系数据库 (ORDBMS) 的集成。在提供第一种集成方式的同时，由于对象关系数据库支持新的数据类型和函数的扩展，SDE 可以直接在数据库中定义空间数据类型和空间函数。于是可以通过基于 SQL 的函数对空间数据进行操作，并在数据库层次建立空间索引。

SDE 采用 Client/ Server 结构，服务器和客户端异步协同工作。服务器执行所有的空间查找和检索，并将结果返回给客户端。为了充分利用服务器和客户端的资源，一些耗费 CPU 资源较多的操作，如

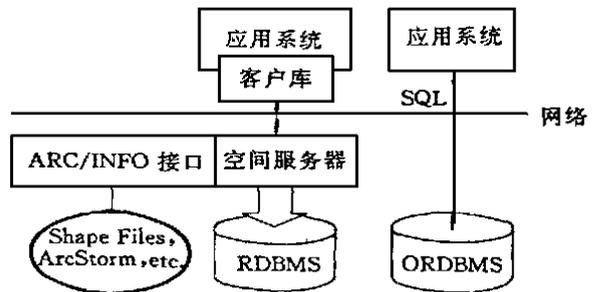


图 1 SDE 与 DBMS 的集成模型  
Fig. 1 Model integrated SDE and DBMS

缓存计算、多边形覆盖, 则在客户端运行。

## 2.2 空间数据在 DBMS 中的组织方式

SDE 采用连续的、不含拓扑逻辑的对象数据模型。它采用基于对象的模型, 将每一个空间物体视为一个对象。SDE 在纵向上采用层次结构, 将地图按属性分层, 如交通层、水系层等。

传统的 GIS 软件采用基于图幅的数据组织方式, 将地图分成若干图幅存储在若干文件中。这将导致在进行跨图幅的空间查询时严重影响系统效率。由于利用数据库技术对空间数据进行管理, SDE 将每一连续层上的所有数据全部存储在一起, 真正实现了无缝集成的数据组织方式。

SDE 在空间数据中没有存储任何拓扑信息。这样就可以将空间对象作为一个完整的多边形存储, 而不需将它分解成若干线、点的表示, 从而减少了磁盘存取时间, 提高了系统效率。这种数据表示方式虽然简化了数据的存储, 但由于对拓扑信息必须全部实时计算, 必将增加空间操作的时间, 又影响了系统的查询和分析性能。

SDE 对空间数据建立了空间索引, 采用的是比较简单的固定栅格结构。一个地图层分为固定的若干栅格。当一个空间对象占有某些栅格时, 在索引表中对被占有的每个栅格建立一个指针指向该空间对象。

将空间数据加入数据库时, 必须实现空间数据和属性数据的关联。如图 2 所示, 在 Layers 表中, 对每一层空间对象的属性表, 都有相应的存储空间信息的空间数据表与之关联。而且对每个空间对象都建立了相应的索引。例如, 我们从 Layers 表中可以查找到表 River 和表 Shape1 相关联, 分别存储第三图层 (ID 为 3) 上河流对象的属性数据和空间数据。从表 River 中根据 Shape 字段, 在表 Shape1 可以找到空间对象 104 (ID 为 104) 的几何形状描述。另外, 由于 SDE 为每个几何对象建立了固定栅格索引, 而空间对象 104 占据了栅格 (2, 24) (3, 24), 因此, 在索引表存在两个指针指向 Shape1 表中的 104 记录。

在 DBMS 中, SDE 将空间几何数据存储在一个 BLOB (Binary Large Object) 类型的字段中, 每种形状 (如点、线、面) 的对象组成一个形状表, 在表中每个空间对象以记录的形式存储 (图 2)。这样, 只需一次磁盘存取就能检索出空间对象的几何数据。

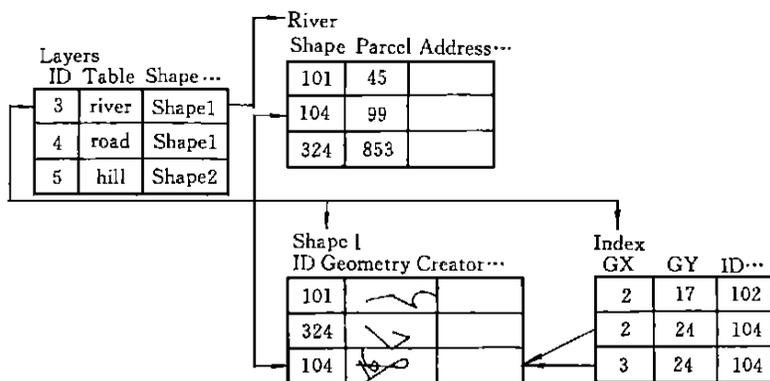


图 2 SDE 表结构

Fig. 2 Table structure of SDE

## 2.3 SDE 总结

SDE 是目前应用最为广泛的空间数据库软件, 它将空间数据和非空间数据集成在通用的 DBMS 中, 使得空间数据得到有效的管理。SDE 中的数据采用无缝数据连接方式, 使得数据的检索效率大大增强。SDE 采用的先进技术, 对我们开发自己的空间数据库系统是很好的借鉴。但是, 在有些方面 SDE 也还存在许多不足: (1) 索引方法只采用了固定栅格模型, 索引效率较低, 而在目前的学术研究中, 基于 R 树的空间索引方法已广为应用且技术成熟, 是以后的发展方向。(2) 空间数据中不含拓扑逻辑, 这虽然减轻了空间数据存储的复杂度, 但也降低了空间查询和空间分析的性能。(3) 空间数

据类型中尽管有了三维数据类型,但空间操作函数中针对三维对象的操作很少,对三维GIS的支持有限。(4)由于SDE的数据模型采用基于对象的模型,对基于域的模型支持有限,这也限制了SDE的应用领域。

### 3 面向对象空间数据库模型

尽管一些商用的空间数据库系统具有强大的功能和适应性,但其应用范围仍有很大的局限。对于较为复杂的应用系统,商用空间数据库系统无法完全满足要求,需要开发自己的空间数据库系统。

例如,在空间数据库系统中存在着基于域(Field-based)和基于对象(Object-based)两种模型,域和对象在某种程度上应可以共存。如在数字城市信息系统中,我们需要以基于域模型的三维地形为基础,在三维地形上分布各种地物,这些地物需要采用基于对象的模型。通过建立这两种模型共存的GIS系统,我们可以检索各种地物设施的信息,根据地形的匹配确定最佳的行进路线,并进行仿真。

为此,我们进行了集成基于域和基于对象这两种模型的研究,并以面向对象数据库管理系统Jasmine为基础,创建了一种集成这两种模型的面向对象数据模型,将所有数据无缝地集成在面向对象DBMS中。

#### 3.1 基于域的模型和基于对象的模型的集成原理

面向对象数据模型采用目前广为应用的层次体系结构。将地图定义为整个体系结构的最底层,每个地图又可以分为许多图层。对于基于域的模型和基于对象的模型来说,图层的划分规则是截然不同的。对于基于域的模型,图层根据需要测量的属性划分,每个图层表示该属性的分布。对于基于对象的模型来说,图层则根据对象的类型划分。在域和对象的集成过程中,通常我们需要存储每个图层的空间数据和属性数据,所以我们将遇到根据哪种模型来划分图层的问题。

基于域的模型和基于对象的模型的集成应包含两种情况:

- A. 在一幅地图中,既包含根据基于对象的模型划分的图层,又包含根据基于域的模型划分的图层。根据两种模型划分的图层应共存,并能共同进行操作,如不同图层的联合查询。
- B. 在同一图层中,既包含根据基于对象建模的空间对象,也包含根据基于域模型建模的空间对象。在同一图层中的各个对象应能进行同一操作,如在以基于域的模型划分的图层中,所有空间对象,包括采用基于对象模型建立的空间对象,都必须能共同进行基于域的操作。

因为面向对象方法是集成这两种模型的最佳途径,我们需要把所有数据存储在面向对象数据库中。在面向对象数据库中,所有的自然实体都以对象的形式存储在数据库中。采用基于域的模型时,我们将自然对象作为数据库中的对象,其在某一区域的每个属性的分布当成数据库中该对象的一个属性。对于基于对象的模型,自然对象作为数据库中的对象,而其形状的描述和该自然对象的整体性质作为数据库该对象的属性。

由于两种模型的对象可能属于同一图层,我们首先应该确定该图层是根据哪种模型划分的,然后我们的工作将集中在该图层中基于另一种模型的对象的操作上。也就是说,当一个图层中存在两种模型的对象时,我们需要确定哪一种模型为主要模型,这可以根据该图层的划分标准确定。因此,我们将两种模型在同一图层中的集成分为两种情况:

- A. 基于域的模型是主要模型。重点放在处理采用基于对象的模型上,对于以基于对象的模型建立的对象,对象的边界信息应当作为一个特殊的栅格,该对象的与该图层相关的属性应看成是该栅格的属性。
- B. 基于对象的模型是主要模型。我们应把重点放在处理基于域的模型上,对于以基于域的模型建立的对象,空间网格应当成一个整体的形状描述,其属性的平均值当成该对象的一个整体属性。

#### 3.2 集成模型的面向对象数据库结构

整个集成模型分成四个层次:Map层、Subject层、Geo-object层和Geometry层。

Map层中描述的是整个地图对象的属性。Subject层的结构如图3所示,描述地图中根据两种模型

划分的图层。在该层中, 首先定义一个超类 Subject, 然后定义两个子类 Field-primarily 和 Object-primarily, 分别表示两种分层的情况。当两种模型共处于一个图层时, 由于两种模型涉及的空间操作截然不同, 我们需要确定根据哪一种模型来进行分层。如果基于域模型为主要模型, 则该图层定义为 Field-primarily 的实例, 反之定义为 Object-primarily 的实例。

Geo-object 层结构如图 4 所示, 描述各个图层中的具体地理对象及其各种属性。在超类 Geo-object 中, 属性 subject 表示该对象属于哪一个图层。两个子类 Field-obj 和 Object-obj 分别表示基于域模型和基于对象模型的空间对象。在 Field-obj 中, 属性 attr1、attr2 分别表示该属性在对象区域的分布。在 Object-obj 中, 属性 attr1 和 attr2 是对象的平均属性, 当该对象处于根据基于域模型分层的图层中时, 则该属性就是该对象在所占空间的平均分布。根据实际对象的空间形状, 类 Object-obj 又有三个子类 Point-obj、Line-obj 和 Polygon-obj 分别表示点状物体、线状物体和面状物体。

Geometry 层用来存储各个地理对象的具体几何数据, 四个子类 Points、Lines、Polygons 和 Distribution 分别存储点状物体、线状物体和面状物体的几何数据以及基于域模型中属性的空间分布数据。

这种集成了域和对象的面向对象模型, 便于实现基于域和基于对象两种模型的共存, 实现两种模型的操作和相互转换。采用这种集成模型的空间数据库系统, 可以应用于更多、更复杂的应用领域, 在军事、气象预报、资源管理等方面都有广阔的应用前景。

## 4 结束语

本文对现有的空间数据库系统 SDE 的核心技术和自行设计的面向对象数据模型的结构进行了详细的分析。SDE 是目前得到成功应用的空间数据库系统, 它采用的空间数据库技术在一定程度上代表了目前的发展方向, 对我们开发自己的空间数据库系统是很好的借鉴。自行开发的面向对象数据库系统, 目标是将基于域和基于对象模型集成于面向对象数据库系统中, 有着广阔的应用前景, 但集成模型还只是这方面研究的开端, 要真正实现这种集成模型, 还需参考目前流行的空间数据库系统, 如 SDE, 在数据表示、索引方法等各方面进行深入研究。

## 参考文献:

- [1] ADAM N R, Gangopadhyay A. Database Issues in Geographic Information Systems [M]. Kluwer Academic Publishers, 1997.
- [2] ESRI White Paper. Spatial Database Engine [R]. 1998.
- [3] Blaha M, Premerlani W. Object-Oriented Modeling and Design for Database Applications [M]. Prentice Hall, 1998.
- [4] Roberts S A, Gahegan M N. An Object-oriented Geographic Information System Shell [J]. Information and Software Technology, 1993, 35 (10): 561- 572.
- [5] 陈晟. GIS 空间数据库基础技术研究 [D]. 博士学位论文, 长沙: 国防科技大学电子工程学院, 1998.

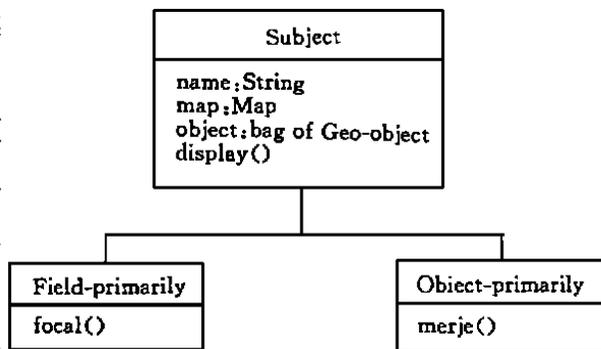


图 3 Subject 层  
Fig 3 Subject level

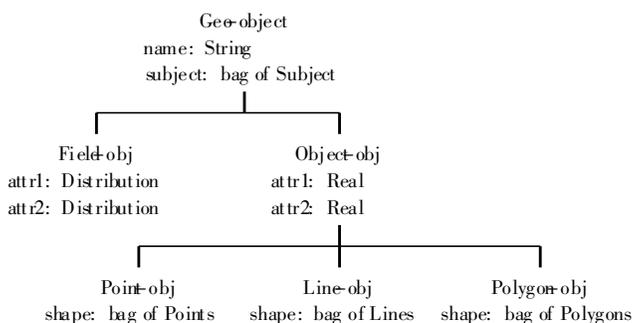


图 4 Geo-object 层  
Fig 4 Geo-object level