

# X-2000空间数据库系统的设计和实现\*

陈晟 景宁 孙茂印 赵万里

(国防科技大学电子工程学院 长沙 410073)

**摘要** 空间数据库技术是地理信息系统 (Geographic Information System, 简称 GIS) 的核心技术。我们设计和实现了一个新型的空间数据库系统——X-2000空间数据库系统, 它综合利用了空间数据库的新技术, 提出了新的空间数据库的组织方法。本文重点介绍该空间数据库系统的设计思路 and 实现方法。

**关键词** 地理信息系统, 空间数据库, 空间数据模型, 空间查询, 空间索引

**分类号** TP392

## Design and Implementation of X-2000 Spatial Database System

Chen Sheng Jing Ning Sun Maoyin Zhao Wanli

(Institute of Electronic Engineering, NUDT, Changsha, 410073)

**Abstract** Spatial database is the core technology of Geographic Information System (GIS). On the X-2000 three dimensional electronic map we developed a spatial database system with new architecture and technology. This paper introduces the design and implementation of this spatial database system.

**Key words** geographic information system, spatial database, spatial data model, spatial query, spatial index

处理地理相关信息的地理信息系统 (Geographic Information System, 简称 GIS) 是当前计算机领域的一个研究热点。空间数据库系统作为 GIS 的核心, 是 GIS 发展的技术支柱, 同时也是数据库领域的前沿研究课题, 它突破了传统的数据库系统主要基于文字和数字信息的应用, 可以用以存储和分析大量的具有复杂结构的信息。空间数据库系统在军事和民用两方面都有着良好的应用前景, 尤其在辅助决策指挥、电子战及实战模拟、电子地图和电子沙盘系统中都是不可缺少的部分。

## 1 空间数据库及空间数据模型

空间数据库系统是一个存储空间和非空间数据的数据库系统, 其数据模型和查询语言能提供空间数据类型, 可以进行空间索引, 并且提供空间查询和其它空间分析的方法<sup>[1]</sup>。空间数据库的研究内容包括: 空间及属性数据的分析, 空间模型分析, 空间数据库的设计, 空间数据查询及空间数据索引, 以及其它一些技术问题。本文主要研究空间数据库的设计思想并结合实例展开讨论。

我们在分析现有空间数据库技术的基础上设计并实现了一个新型的空间数据库系统, 该空间数据库系统是八五重点课题——X-2000三维电子地图系统中的一个重要组成部分, 文中称该空间数据库系统为 X-2000空间数据库系统。X-2000空间数据库系统主要用以存储二维和三维地理信息, 并提供空间查询和空间分析的功能。X-2000空间数据库系统中综合利用多种空间数据模型, 一体化的数据组织, 并对不同空间类型的对象进行分别存储和索引, 是一种新型的空间数据库系统。

\* 国防预研基金项目资助

1997年12月6日收稿

第一作者: 陈晟, 男, 1972年生, 博士生

经典的空间数据模型可以分为两大类,即基于区域的模型和基于对象的模型<sup>[2]</sup>。

基于区域的模型  $M = \{f_i: 1 \leq i \leq n\}$ , 其中

$f_i (1 \leq i \leq n)$  为一个从空间分布  $F$  到某一特定的属性上的可计算函数。

这种空间数据模型将信息空间视为在空间结构上一定空间分布的集合体,每一个空间分布可以被规则化成一个从空间结构框架到空间属性的数据函数。例如,空间高程分布、降雨量分布和气温分布等。

基于对象的模型  $O = \{o_i: 1 \leq i \leq n\}$ , 其中

$o_i (1 \leq i \leq n)$  为离散的,可标识的与空间相关的实体。

这种空间数据模型将信息空间视为离散的,可标识的和与空间相关的实体或对象的集合体。实体或对象有若干类属性,包括空间的,几何的,时间的,文字/数字的。如建筑物、道路等空间实体有多种属性,其中部分属性为区域、弧、点等空间对象。

一般说来,基于区域的模型在处理上比基于对象的模型简单,但需要大量的存储空间。其于区域的模型适于进行图层覆盖及空间相关性等空间操作和分析,而且这种模型适于进行三维显示和分析。基于对象的模型以带有属性数据的点、直线、曲线或区域等来显示地理数据,这种模型可以方便地存储空间拓扑关系,也适用于方位、距离和点分析,相对基于区域的模型要求较少的存储空间,但要求复杂的数据结构。目前空间数据库系统一般采用基于对象的模型。

## 2 X-2000空间数据库系统设计思想

### 2.1 设计原则和特点

综合采用基于对象的和基于区域的空间数据模型。

由于三维电子地图系统中需要显示和处理二维和三维地形信息,在 X-2000空间数据库中综合采用了基于区域和基于对象的数据模型。利用基于区域的模型表示高程信息,而利用基于对象的模型表示二维信息。而目前的空间数据库系统一般基于二维信息进行显示与处理,很少涉及三维信息。

一体化的空间数据和属性数据组织方法。

X-2000空间数据库中采用一体化的空间数据和属性数据组织方法,使空间数据也被纳入数据库管理系统的管理中,可以更好的保证数据完整性和一致性。

按图幅进行水平方向的数据组织,分图层进行垂直方向的数据组织。

根据国内电子地图系统的使用情况,X-2000空间数据库采用按图幅的方式进行水平方向的数据组织,在垂直方向上采用分层的方法,按国标将垂直方向划分为11个图层。

新型的空间数据组织方法。

X-2000空间数据库在空间数据的存储中,将点目标和扩展目标相分离,并采用不同的空间索引方法,提高了数据库的空间利用率和查询效率。

良好的可扩展性。

X-2000空间数据库系统中在空间数据库与前端应用之间设计应用接口作为中间层,增加了系统的可扩展性。并且可以通过 INTERNET 访问空间数据库。

### 2.2 空间数据库基本结构

X-2000空间数据库中存储的内容包括:DEM 高程数据、分层矢量数据、位图数据和影像数据。其中 DEM 数据按基于区域的模型表示,矢量图层中的数据按基于对象的模型表示,每个对象的空间数据和属性数据置于同一记录中。空间数据库系统的层次关系是:

某一比例尺的地图 该地图中的图幅 该图幅上的图层。

即某一地图可由多个图幅组成,而每一图幅上又有多个图层。

整个系统由四类表结构组成:地图表存储整个地图的信息;图幅表存储单个图幅的信息;图层表存储图幅中的图层信息;空间对象表存储每一图层中的对象,每一个图层对应单独的表。DEM 数据、位图及影像数据作为单独的图层存储在图层表中。

空间数据库内部的层次关系结构如图1所示。

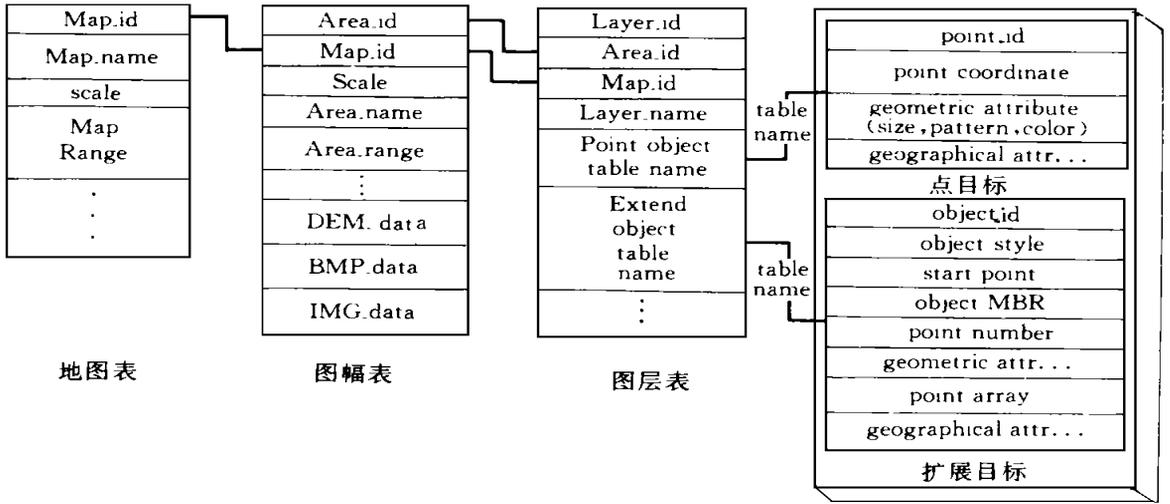


图1 X-2000空间数据库层次关系图

在 X-2000 空间数据库系统中，地图信息、图幅信息和图层信息作为系统的元数据。同一图幅中不同层次的矢量数据按图层存储，每一图层中的对象为同一地理属性的对象（道路、水系、等高线等，但同一个图层中可能有点，线，多边形等多种几何形状的对象）。每一个矢量图层用两个表进行存储，分别存储点目标和扩展目标（折线和多边形等）

### 2.3 应用接口

X-2000 三维电子地图系统中采用 Client-Server 结构，二维、三维地图显示及处理作为前端 Client，通过应用接口与空间数据库（Server）进行数据交换。应用接口作为中间层将前端应用与空间数据库相隔离，增加了系统的灵活性和可扩展性。

应用接口的功能在于使上层应用可以处理空间数据库系统的数据，包括

- 访问空间数据库中的元数据。
- 访问空间数据库中的空间数据。
- 设定查询条件进行数据查询，包括空间查询和属性查询。
- 对空间数据库进行空间数据及属性数据的刷新。

### 2.4 基于区域模型和基于对象模型之间的数据转换

从 DEM 数据到基于对象模型等高线数据的转换。

我们基于网格无关步进法<sup>[3]</sup>的思想，设计了一种高效的等高线生成方法。其基本思想是首先确定当前高程等高线的起始点，根据该点附近的高度变化情况，搜索后继点；然后利用已经求出的新点，重复搜索下一点，直至到达区域边界或回到原起始点；重复以上过程开始下一条等高线的搜索。该算法关键在于如何表达和动态更新网格点的几何状态特性，起始点的求取，后继点方向的确定以及处理后继点搜索中的二义性问题。

从等高线数据到 DEM 数据的转换。

等高线是地形的特征表示，在相邻等高线为一对多时，内部等高线间由于外等高线的存在，隐含了沟岭的地形特征。因此在由等高线数据生成 DEM 数据时，先要根据已有的等高线数据的拓扑关系，将表现隐含的等高线数据加入到原等高线数据中。我们进行的实验证明：对于一些航测和实测数据较为有效的开窗加权法不适于进行从等高线到 DTM 数据的转换，而插值的方法是比较合适的。

为了有效的利用等高线数据间的拓扑信息，我们首先将等高线按照其拓扑关系进行重新组织；然后利用图像处理中的减薄算法，对等高线间区域进行区域减薄，将得到的收缩线进行分解，赋值为内外等高线高程值的平均，作为新生成的等高线加入到原等高线数据中，将相邻等高线为一对多的复杂马

鞍形地形降解为一对一的简单情况。经过以上处理,剩下的在一对一的等高线间区域进行插值的工作可以采用线性扫描等算法进行。

### 3 X-2000空间数据库系统的实现

X-2000空间数据库系统结构如图2所示

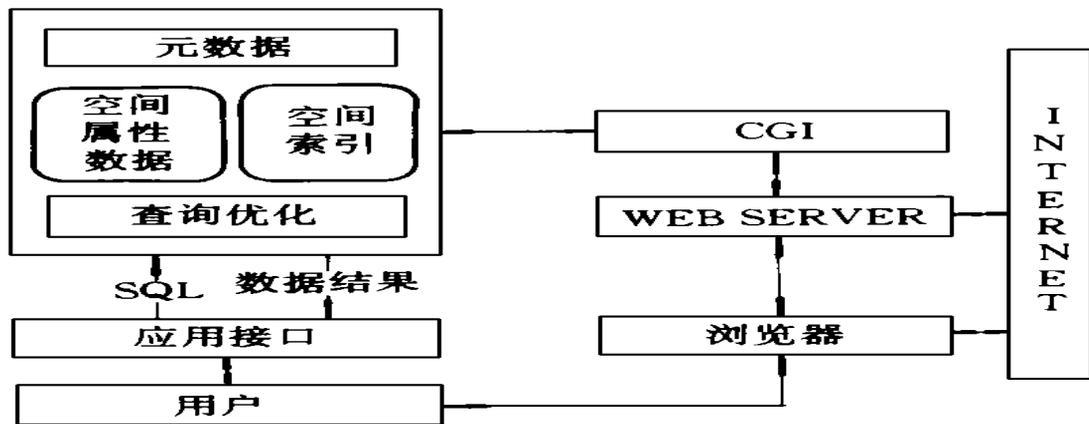


图2 X-2000空间数据库系统结构

#### 3.1 空间数据库的实现

X-2000空间数据库在关系型数据库的基础上实现,通过预定义的关系模式,将系统中的元数据、空间数据和属性数据存储于关系表中。其中每一图层中的扩展目标和点目标分别用不同的表进行存储。各表的关系模式可如图1所示。

#### 3.2 空间索引的实现

在X-2000空间数据库的设计中,每一图层的点目标和扩展目标分别存储在不同的表中,可以对两种空间类型的数据分别建立索引。目前点目标空间数据访问方法和扩展目标空间数据访问方法各有优缺点,因此我们对两种目标分别进行索引,可以提高数据检索的效率。

点目标表建立的空间索引采用 grid file<sup>[4]</sup>。

扩展目标表建立的空间索引为 R-tree<sup>[5]</sup>,在R-tree的生成过程中,以目标最小包含矩形 MBR (Minimum Bounding Rectangle) 的中心点为参考点,采用 Hilbert 空间填充曲线对目标的最小包含矩形进行排序,这样生成的 R-tree 对于基于点的查询和基于区域的查询都有较高的效率<sup>[6]</sup>。在 R-tree 的分裂算法中,综合考虑待分裂节点的近邻节点,减少 R-tree 的分裂次数,提高空间数据更新的效率。

#### 3.3 空间数据库应用接口的实现

##### 3.3.1 系统元数据操作接口

GetMapInfo () 读取当前空间数据库中所存储的所有地图信息。

GetSheetInfo (mapId) 读取某一地图中包含的图幅信息。

GetLayerInfo (mapId, sheetId) 读取某一图幅中的图层信息及点和扩展目标对应的数据表。

CreateNewMap (mapInfo) 在空间数据库中加入新地图, mapInfo 包含图幅及图层信息。

##### 3.3.2 二维、三维地形的显示和数据更新接口

GetObjectsInALayer (mapId, sheetId, layerId) 读取某一图层的空间数据,首先根据图层确定数据库表,然后分别读取点目标和扩展目标表中的数据。

PutAnObjectInALayer (mapId, sheetId, layerId, object, editFlg) 保存某对象的空间数据,首先确定相应的数据库表,并视编辑标志参数将对象插入(更新)到数据表中。

##### 3.3.3 空间目标属性数据的查询与更新接口

GetAttrOfAnObject (mapId, sheetId, layerId, objectId) 在数据库中查询某对象的属性数据。

PutAttrOfAnObject (mapId, sheetId, layerId, objectAttr) 在数据库中保存某对象的属性数据。

### 3.3.4 综合查询接口

QueryByAttr(mapId, sheetId, layerId, attr) 进行基于属性的查询, 首先将查询条件转化成 SQL 语句, 提交给数据库服务器进行处理。

QueryByPoint (mapId, sheetId, layerId, point), QueryByRect (mapId, sheetId, layerId, rect) 分别进行基于点和区域的空间查询, 首先应用接口先通过空间索引进行查询, 再从数据库中查询满足条件目标的详细数据。

### 3.4 通过 INTERNET 访问空间数据库

通过在数据库服务器上建立通用网关接口 (CGI) 程序, 接收浏览器发出的查询请求, 进行相应的空间数据库查询, 并将结果以图形的方式返回给浏览器。这样在任何一个 INTERNET 上的浏览器中都可以访问空间数据库的内容。

## 4 结论及进一步研究内容

我们设计和实现的空间数据库系统综合采用基于区域和基于对象的空间数据模型, 具有一体化的空间数据和属性数据组织方法、分离的空间索引技术、与 INTERNET 相结合等特点。目前该空间数据库已在 X-2000 三维电子地图系统中实际应用, 效果良好。但在空间数据库的设计和实现中, 还有很多问题有待进一步深入研究, 如空间查询中对传统 SQL 语言进行扩展, 空间索引机制在多用户环境下的并发控制, 更有效的空间查询算法等。

## 参考文献

- 1 Gueting R H. Invited Contribution to a Special Issue on Spatial Database Systems, VLDB Journal 3, 1994: 357 ~ 399
- 2 Worboys M F. GIS: A Computing Perspective. London: Taylor & Francis, UK. 1995
- 3 吴敏金. 图像形态学. 上海: 上海科学技术文献出版社, 1991
- 4 Knuth D. The Art of Computer Programming, volume 3: Sorting and Searching, Reading, MA: Addison-Wesley. 1973
- 5 Guttmann A. R-Tree: a dynamic index structure for spatial searching, Proceedings of 13<sup>th</sup> ACM SIGMOD Int. Conf. on management of Data, Boston 1984: 47 ~ 57
- 6 Kamel I. Hilbert R-tree: An Improved R-tree Using Fractals, Proceedings of the 20<sup>th</sup> VLDB Conf. 1994