

基于扩展关系模型的整体空间数据管理^{*}

黄 波 徐冠华 阎守邕

(中国科学院遥感应用研究所 北京 100101)

摘 要 空间数据模型和数据管理是地理信息系统 (GIS) 最重要的研究领域之一。该文介绍一体化的数据模型——扩展关系模型和以此为基础的, 由作者设计的 GIS 软件原型系统——GEODBMS。GEODBMS 使用统一的数据库管理系统 (DBMS) 同时管理图形和属性数据; 使用改进的四叉树——交叠四叉树索引空间目标; 使用扩展的 SQL 语言进行空间查询; 使用数据恢复和并发控制方法来加强分布式环境下数据的安全性和一致性维护。

关键词 扩展关系模型, 扩展 SQL, 交叠四叉树, 数据恢复, 并发控制

1 引言

目前, 最常见的 GIS 是使用分离方式处理空间数据的关系型 GIS, 即图形数据由专门的图形软件存贮和管理, 而属性数据则由商业化关系 DBMS 存贮和管理。这种 GIS 的最大优点是能充分发挥图形处理软件和商业化 DBMS 的各自优势, 图形处理的效率较高。但是, 一个空间实体既包含图形部分, 也包含属性部分, 两者的硬性分离势必带来数据综合管理和数据一致性方面的许多问题^[1], 例如: 空间查询只能分别查询图形和属性部分, 然后综合两者的结果, 因而降低了查询效率; 图形原封不动而属性可能已被更新, 导致了空间数据的不一致性。尤其随着信息高速公路的发展, 在分布式多用户环境下, 这些问题将愈发明显。

之所以产生以上问题主要是源于关系模型。关系模型由 IBM 公司的 E·F·Codd 于 1970 年提出, 它的最大特点是数学基础 (关系代数) 严密、结构简单。但是, 它在描述空间实体及其相互关系上却存在明显的不足, 如关系表达至少要满足第一范式的要求, 属性取值必须是原子的, 难于定义和操纵空间复杂目标, 缺乏语义表达能力, 模型扩充能力差等。这些不足直接导致了上述问题。

尽管如此, 关系数据库仍然活跃在数据库领域。20 多年来, 它得到了非常迅速的发展。目前, 世界上约有上百万个关系数据库系统在运行。而且基于关系模型的 SQL 标准已被广泛采用, 正在进

行的分布式数据获取标准也是以关系模型为基础的。所有这些标准对于建立开放式的 GIS 环境是非常重要的。因此, 以关系模型为基础, 并在此之上进行扩展是一种切实可行的方法。

近几年来, 国际上关于这方面的研究非常活跃, 已经出现了一批以扩展关系模型为基础的 DBMS 原型系统。尽管这些 DBMS (又叫扩展关系 DBMS) 或多或少具有面向对象的特征, 但是正如著名的数据库专家 Stonebraker 教授所说, 它们主要强调在原有关系模型基础上进行扩展, 以及模型的可扩充性, 而不在乎它们的名称是否是“面向对象的”。^[2]该文将以作者设计的试验系统 GEODBMS 为原型, 介绍它所基于的扩展关系模型和以此为基础的空间数据管理。

2 扩展关系模型

在 GIS 领域, 扩展关系模型主要从以下几方面进行扩展。^[1-3]

(1) 突破关系模型中关系必须是第一范式的限制, 允许定义层次关系和嵌套关系;

(2) 增加抽象数据类型如图形数据类型点、线、面、栅格、图象等和用户自定义数据类型;

(3) 增加空间谓词 (Predicate) 如表示空间关系的谓词包含相交等, 表示空间操作的谓词叠加、缓冲区等;

(4) 增加适合于空间数据索引的方法如 R-树、四叉树等。

由于以上扩展，使图形数据的存贮和管理也可以由一个扩展关系 DBMS 来实现。因此，具有以下优势：

(1) 可以用统一的 DBMS 来管理图形和属性数据，即建立了整体的 GIS 系统结构，可以克服由关系型 GIS 相分离的系统结构所带来的一系列问题；

(2) 图形数据管理也可以享用 DBMS 在数据管理方面带来的优越性如数据安全保障、数据恢复、并发控制等；

(3) 图形数据的关系化表达，使其能享用客户

机/服务器的优势。数据库服务器的主要优点是服务器只把处理后的记录集（而不是整个文件）传输给客户机，从而有利于缓解网络负载。

由于图形和属性皆可由同一个 DBMS 管理，因此，基于扩展关系模型的 GIS 如 GEODBS 通常是面向实体的 (Feature-oriented)。一个空间要素如点、线、面即为一个实体，每个实体有一唯一的标识 ID (图 1)。每个实体通过双重指针将图形和属性联接起来，其中一指针指向特征类的名称、类型数据精度等元数据，另一指针指向特征的属性表包括实体的标识号、面积、状态等属性。

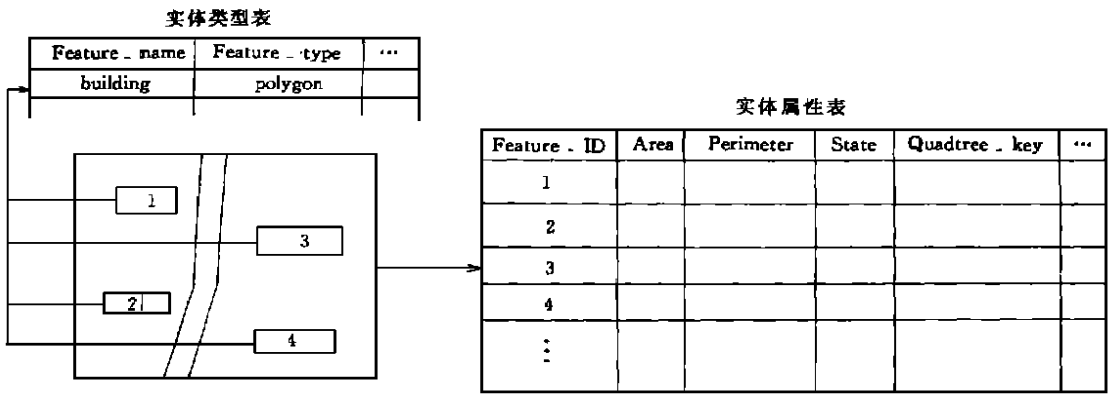


图 1 GEODBS 中图形与属性通过双重指针的联接

Fig.1 Linking of graphics and attributes via dual pointers in GEODBS

需要说明的是其一 GEODBS 中的不同实体通常存放于同一个数据库中，但系统内部即逻辑上，实体是分层的，如道路层、居民地层，其二尽管 GEODBS 的图形存贮与 ARC/INFO 有些相似，但是扩展关系模型支持变长数据类型，多边形包含的弧段、一个弧段包含的坐标串皆可由一个变长字段来表示，因而简化了数据存贮方式，也减少了表格数目。而且，GEODBS 的图形数据存贮于商业化关系数据库中，而不是象 ARC/INFO 式的特殊表格。

跨越多个网格，因而索引重复的现象较严重。四叉树，以多级格网划分技术索引空间特征，被证明是一种较理想的空间索引方法，但它的缺点是会造成如图 2 所示的无效索引（如物体 A）。因此，在

3 空间数据索引

在常规数据库中，一般使用 B 树或 B+ 树索引方法来提高数据查询效率。同样，在空间数据库中，也需要建立一定的索引结构。通常，空间数据索引有粗网格法 (tiles)、R-树、四叉树等。其中，粗网格和四叉树是目前 GIS 中较常用的方法。粗网格索引，方法简单，但一个空间实体一般

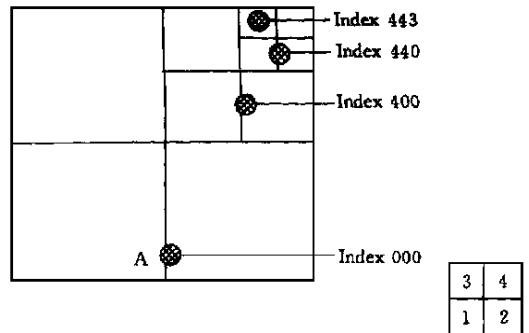


图 2 常规的四叉树索引

Fig.2 Conventional quadtree index

GEODBS 中，采用了一种改进的四叉树——交叠四叉树。

所谓“交叠四叉树”，是指以矩形的两条中心线向两边各平行延展距离“c”，以“d+c”作为第

一级网格的边长。显然，4 个第一级网格均有交叉部分，因而取名为“交叠四叉树”。交叠四叉树可以在一定程度上避免无效索引，如图 3 中的特征 A。Intergraph 公司的 MGE' GIS 所使用的域树 (Fieldtree)，实际上也是一种交叠四叉树^[4]。

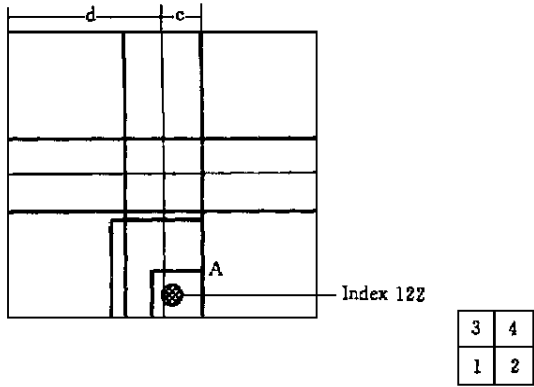


图 3 交叠四叉树索引

Fig.3 Overlapping quadtree index

空间特征经交叠四叉树索引后，每个特征除具有唯一特征号 ID 外，还具有唯一的四叉树索引标志即为所对应的四叉树结点的 Morton 码。也就是说，GEODBMS 中每插入一空间特征，该特征的交叠四叉树索引号也将计算出并插入相应的记录字段中。不难发现，在交叠四叉树索引中，每个空间特征只对应一个包含它的最小四叉树结点，而一个四叉树结点可能包含多个空间特征，因而可能对应多个空间特征。

建立空间索引后，尤其是在数据量比较大的情况下，GEODBMS 的许多操作将明显受益。例如用光标选择一多边形可以按如下步骤实现：首先计算出光标位置所对应的交叠四叉树结点号，然后查询出该结点号所对应的多边形（可能是多个），再按照一定的方法查出要找的多边形。增加四叉树索引的优点是迅速将所要查找的多边形缩小到最小范围内，从而提高了查询效率。

4 空间数据查询——扩展 SQL

结构化查询语言 SQL 是标准的数据库查询语言。由于它具有非过程化程度高、功能强和简单易学的特点，因而深受用户欢迎。这也是关系数据库具有生命力和不断向前发展的重要原因。

SQL 的基本结构是由“SELECT—FROM—WHERE”组成的查询块，其一般形式为：

```
SELECT < 字段名      (指出要查询的数据项)
FROM   < 表名 (关系) (给出要操作的关系表名)
WHERE  < 条件      (查询字段所组成的逻辑表达式)
```

由于标准 SQL 缺乏定义抽象数据类型和空间谓词的能力，因而不支持 GIS 中的空间查询。但是，它经过一定扩展后即可支持空间查询。实际上，SQL 的扩展是关系模型扩展的一种体现：

- (1) 字段名可以是抽象数据类型如点、线、多边形、栅格类型或自定义的图形数据类型。
- (2) 查询条件可以嵌入空间谓词如 Overlay (soil, landuse)、Buffer (road, 1000) 等。
- (3) 涉及到图形操作时调用交叠四叉树索引。

例如，要查询位于长江流域的、人口多于 50 万的城市名，可表示如下 (查询 1)：

```
SELECT city.name
FROM city
WHERE population > 5E+5
AND Inside (city.geometry, pol) (pol
为长江流域构成的多边形)
```

查询土壤类型是“A”，土地利用是“商业用地”的地块，可表示如下 (查询 2)：

```
SELECT * (所有属性)
FROM Overlay landuse, soil
WHERE soil.type = 'A'
AND landuse.type = 'Commercial'
```

以上两个查询中空间谓词 Inside 和 Overlay 是已定义好的函数，SQL 语句经编译后，可直接调用这两个函数。

扩展 SQL 不仅可以进行以上查询，也可以用来选择一空间特征，以显示其属性 (查询 3)：

```
SELECT *
FROM parcel
WHERE location = MOUSE (MOUSE 代表鼠标点的位置)
```

总之，在 GEODBMS 中，扩展 SQL 可实现以下功能。

- 常规的属性查询；
- 空间关系查询如拓扑关系；
- 图形和属性之间双向查询；
- 图形查询输出。

关于扩展 SQL 的优化问题，GEODBMS 采取的一个重要原则是“先属性，后图形”。例如，查

询1涉及一图形操作即判断点是否在多边形内(Inside),相对于属性条件“ $population > 5E + 5$ ”,这是一个复杂的操作。因此,在实现此查询时,系统首先判断每一实体记录是否满足此条件,若满足,则进一步判断该城市是否位于“长江流域”内;否则进入下一记录。另外,当判断空间关系时,系统将尽量利用已建立的交叠四叉树索引,来提高查询效率。

5 空间数据的获取(access)和更新

在集中式GIS中,数据的获取和更新并不复杂,因为事务(transaction)是串行进行的。但是,在一个分布式系统中,当多用户同时执行数据获取或更新时,由于这些操作互相干扰,因此,极可能产生数据的不一致性,为维护数据的一致性和安全性,GEODBMS一方面考虑了以下要求:

一数据库管理员(DBA)负责数据的分析、存储、维护和安全保障;

一只有经DBA授权,用户才能获取或更新数据;

一用户可在DBA分配的工作区中编辑修改所获取的工程(project)数据;

另一方面,主要是使用数据恢复和并发控制两种手段。

在GEODBMS中,数据恢复主要通过特制的复原程序(rollback)检查被撤消事务所引起的一切变化,使空间数据库恢复到事务执行前的状态。并发控制主要通过二段锁的方式,将并行问题转化为串行处理,也就是说,直到一个事务完成之后,后一个事务才能开始,因而不会造成多事务相互制约并互相等待的“死锁”问题。GEODBMS的两段锁的原理如下:

(1)在第1阶段,锁住一事务所需要的记录。这时,这些实体记录的状态设置为“L”(locked),该事务接着开始执行;

(2)在第2阶段,该事务完成后,所有锁将释放。这时,所涉及的实体记录的状态还原为“UL”(unlocked),其它事务可以进行。

例如,一空间数据获取和更新过程(图4)。

(1)一用户经授权,从主数据库中提取一窗口中的数据到自己的工作区(workspace)中,即建立一个工程(project),同时将这块数据包括图形和属性锁住,其它用户不能再进行写操作。

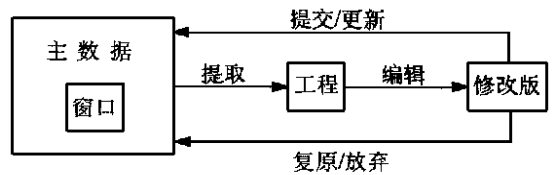


图4 多用户环境下一空间数据获取和更新过程
Fig.4 An illustration of spatial data access and update in multi-user environment

(2)用户在工作区中编辑这块数据,形成修改版(revision)。

(3)如果用户确认更新的结果,可将该结果(revision)提交(commit)给主数据库,覆盖掉主数据库中原来的部分;如果用户不需要更新的结果,可使用复原(rollback)操作,撤消所进行的更新,返回到主数据库原来状态。不管是提交还是复原,系统将释放所有锁,完成2段锁过程。

6 结论

(1)数据模型一直是数据库和GIS热门的研究领域。近年来,关于扩展关系模型和面向对象模型的研究同样得到重视。对现有关系模型进行扩展,可以保留关系模型在SQL标准、分布式数据管理等方面的优点,同时,也增加了它不具有的功能。

(2)对关系模型的扩展,使用统一的DBMS同时管理图形和属性数据成为可能,这样不仅有利于数据的整体管理,也有利于发挥DBMS在数据管理方面带来的优势。

(3)使用空间索引是提高大型空间数据库管理效率的有效途径。交叠四叉树是对传统四叉树索引的一种改进,它可以有效索引位于交叠区内的空间特征。

(4)扩展SQL在扩展关系模型基础上,实现了标准SQL不能实现的空间查询功能。利用它提取图形子集,有利于缓解网络负载。同时,它也为GIS界面设计提供了又一选择。

(5)利用DBMS提供的数据恢复、并发控制和授权控制等功能,有利于维护多用户环境下数据的安全性和一致性。

(6)扩展关系模型还有待进一步扩展。一是容纳时间属性,进行时空分析,二是可以处理模糊关系。

(7)如何进一步提高GEODBMS处理图形数据的效率,还有待今后不断研究。

参 考 文 献

- [1] 黄波. 地理信息系统的数据库模型与系统结构, 环境遥感, 1995, 10 (1) .
- [2] L.A.Rowe, M.R.Stonebraker.The POSTGRES Data Model, Proc.of the Intl.Conf.on Very Large Databases, Sep., 1987.
- [3] T.Vijbrief et al. The GEO ++ System; an Extensible GIS·EGIS' 92, 1992.
- [4] Wenke Lee·Data Modeling and Management of Large Spatial

Databases, Proc.of the 3rd Intl.Workshop on GIS, Beijing, 1993, 19-22.

作 者 简 介

黄波, 男, 1968年生。1990年毕业于武汉测绘科技大学计算机和城市规划专业。1993年于荷兰国际航天测量与地学学院获城市GIS专业硕士学位, 现为中国科学院遥感应用研究所在读博士生, 主要从事空间数据模型和分布式GIS方面的研究。

The Full Integrated spatial Data Management Based on Extended Relational Data Model

Huang Bo Xu Guanhua Yan Shouyong

(*Institute of Remote Sensing Applications, Chinese Academy of Sciences Beijing 100101*)

Abstract Data modeling and management are active areas in GIS research. This paper presents an integrated data model——extended relational model, which underlies the GIS software——GEODBMS is abased. GEODBMS manages spatial data including graphics and attributes through a single relational DBMS. Its storage model employs the overlapping quadtree, an improved quadtree, as the spatial index structure to facilitate spatial data querying with an extended SQL. GEODBMS' s data management functions ensure secure data access and provide recovery and concurrency control for transactions in multi-user environment.

Key Words Extended relational data model, Extended SQL, Overlapping quadtree, Data recovery, Concurrency control