

地理信息系统与数据库结合研究

丁力 汪小林 罗英伟 张颖 曲磊 许卓群

(北京大学计算机系, 北京 100871)

摘要 鉴于地理信息系统需要对外提供灵活高效的地理信息访问途径,因此采用数据库管理地理信息是发展趋势。目前存在关系型、对象-关系型、面向对象型3类数据库产品,在讨论它们与地理信息系统结合可行性的基础上,重点介绍了纯关系模型、空间扩展模型、包装模型3种结合方案,还通过对这3种方案实现原理的分析及其优缺点的比较,指出了各方案的应用前景,并由此归纳出,在GIS与数据库结合中需要注意的问题及解决这些问题的关键技术。

关键词 地理信息系统 关系数据库 面向对象数据库 对象-关系数据库

中图法分类号: P208 TP311 **文献标识码:** A **文章编号:** 1006-8961(2001)11-1101-06

Study on Combination of GIS and Database

DING Li, WANG Xiao-lin, LUO Ying-wei, ZHANG Ying, QU Lei, XU Zhuo-qun

(Artificial Intelligence Lab. Department of Computer Science, Peking University, Beijing 100871)

Abstract Managing geospatial information is an important part of geographical information system (GIS). Database system can help GIS designers separate data management task from the huge systems. However, different database systems, such as relational database (RDB), object-relational database (ORDB) and object-oriented database (OODB), have their native advantages and pitfalls. This paper firstly discussed why database system but not file system is chosen to manage geospatial information, and now there are three major kinds of database systems can be used to manage geospatial data. Then, three typical models—pure relational model, spatial extension model and wrapped model, are introduced, analyzed and compared. The key implementation issues and technologies of wrapped model, which is the most competitive solution, are discussed in details. As a result, ORDB is thought as a more practical way due to current databased technologies, and OODB still remains in prototype step.

Keywords Geographical information system (GIS), Relational database (RDB), Object-relational database (ORDB), Object-oriented database (OODB)

0 引言

随着人类对世界的不断探索,如今已积累了大量关于周围环境的信息,如土地、大气、矿产、交通等信息。这些信息既包括它们自身的特性信息,也有它们空间特征的信息,而人们不但关心它们自身的特性,如土地肥力、大气污染情况等,而且也需要了解它们的空间特性,如所在位置、邻接关系等。这类信

息通常被称为地理信息(Geospatial Information),相应地,它们的自身特性一般被称为属性数据,而空间特性则一般被称为空间数据。地理信息系统(Geographical Information System, GIS)就是用于存储、检索、操作、分析和显示地理信息的计算机系统^[1]。它是应社会对信息管理的需要而产生的,它涵盖地理学、测绘学、制图学、电子工程和计算机科学等多门学科^[2]。

如何灵活高效地管理地理信息是GIS的核心

基金项目:国家自然科学基金重点项目(60073016)及国家自然科学基金重大项目(69999610)

收稿日期: 2000-01-28; **改回日期:** 2001-01-16

问题,而这恰恰依赖于计算机数据管理技术。一般看来,计算机数据管理的发展经历了人工管理阶段(50年代中期以前)、文件系统阶段(50年代后期到60年代中期)、数据库系统阶段(60年代后期至今)^[3]等3个阶段。相应地,从GIS诞生以来,也依次出现了基于文件系统的GIS和基于数据库的GIS。

其中,文件系统结构简单,在数据存取过程中几乎没有额外开销,并可以按照用户需求任意定制数据存储格式或存储复杂数据结构,但其缺点也很明显,即数据冗余度大、难于共享数据、容易造成数据不一致性、程序与数据缺乏独立性、系统不易扩充^[2]等。另外,不同文件与操作系统结合紧密,而不同的操作系统则可能使用不同的文件系统。

在计算机在各行各业的日益广泛的应用中,人们对数据管理的要求也逐渐从单一的数据存取,扩展到数据安全性、数据完整性和数据并发访问能力等众多方面,且很多应用都需要同时具备上述几种数据管理特性。显然,以简单的文件系统为起点来开发这样的应用是不实际的,因为其不但缺乏可靠性保障,而且开发成本也过高,而数据库系统恰好能有效地支持这些应用。

为了解决多用户、多应用共享数据的需求,数据库系统已做了很多工作,如①减少数据冗余,提高扩充能力;②支持数据与程序的独立性;③提供数据控制功能,如数据的安全性控制、数据的完整性控制,并发控制^[4]等;④提供网络功能,支持网络数据传输,如ODBC、WEB服务。当然,为提供这些服务的额外开销,也会在一定程度上影响数据库系统中的数据访问效率。

纵观GIS的发展趋势,一方面地理信息从内容上、数量上、类型上以及关系上都在高速增长着;另一方面,用户对GIS的功能要求也不断增加,如从最初的数据管理、数据分析,到如今的网络GIS、信息安全、可互操作性和智能搜索等。由此可以看出,GIS多元化的趋势需要强大可靠,且低成本的数据管理支持,若采用单纯的文件系统,则不仅缺乏灵活性,且开发维护成本过高,可见,GIS与数据库结合势在必行。

1 GIS与数据库的结合

当前主流数据库产品主要有关系型、面向对象型、对象-关系型3类,它们与GIS结合的方法也各

具特色。

其中,关系型数据库(RDB)有强大的关系理论支持,无疑是数据库产品中最成熟的。由于它是基于几种简单的基本类型和简单的二维表,因此它能完成非常复杂的关系操作,并能得到几乎任何期望的信息组合。它的优点也是很明显的:首先,物理数据存储与逻辑数据库结构的独立性;其次,多样、简明的数据访问能力,从而提供了高效数据访问的可能性;第三,相当灵活的数据库设计;第四,数据存储和冗余的减少^[5]。

采用关系数据库来管理地理信息是GIS与数据库结合的初步尝试,但其中存在两个难题:首先,难以在关系数据库中存储空间数据,为了存储和表示结构复杂多变的空间数据,需要设计复杂的ER模型,并在数据库中存放大量的表,这样会增大系统的复杂性,而且还无法利用数据库提供的索引机制;其次,难以保持地理信息的数据一致性,由于地理信息的空间数据和属性数据通常不能存放在一张表里,因此这样会割裂逻辑上为一个整体的地理信息,而且拓扑关系也难于维护。

由于上述难题,虽然关系数据库在与GIS的结合中做出了有益的尝试,但最终还是没能成为主流,因此,随着面向对象型数据库(OODB)的出现与发展,人们提出了用面向对象型数据库与GIS进行结合的方案。

面向对象型数据库(OODB)是面向对象思想与数据库管理系统相结合的产物。由于它摒弃了原有的关系理论,具有完全面向对象的特征,这些特性包括抽象、继承、封装、重载、多态等,因此从理论上来说,它可以很好地解决关系型数据库碰到的两个难题。

但面向对象数据库管理系统商业化产品的侧重点是程序设计语言对复杂数据的访问,还缺乏足够丰富的查询语言来表达用户查询,相比之下存在查询效率低下的问题^[6]。目前虽然出现了一些探索性的实验模型,但距离成熟还有一定距离。可见,作为非主流数据库产品,OODB还难以用于GIS应用开发。

对象-关系型数据库(ORDB)是面向对象思想与数据库管理系统相结合的一个折中产物,它与OODB的区别在于,它没有抛弃关系理论,而是在关系模型的基础上,进一步支持了面向对象思想。这样不但继承了关系模型的优良特性,并兼容了原有的使用关系数据库的软件系统;而且提供了支持面向对象的类型与接口,也满足了面向对象软件系统

的要求,不论在科学研究中,还是实际应用中,它都占有重要的地位,是当前数据管理技术的中流砥柱。

ORDB 在与 GIS 结合的过程中,具有如下明显的优势:①支持基本类型扩充;②支持复杂对象;③支持继承;④支持规则^[4]。这样,通过对对象存储访问的支持,不仅解决了关系型数据库所面临的难题,同时通过兼容关系数据库系统,保证了对现有运行系统升级的可能性,而最为重要的是,ORDB 已经拥有比较成熟的商业化产品,这为它与 GIS 的结合打下了良好的基础。

下面介绍几种常见的 GIS 与数据库结合的方案。

1.1 纯关系模型

此方案是基于关系型数据库的,它通过关系模型来描述空间对象,其中,空间对象都被分解成一组相关的简单类型的组合,例如,在 Oracle8i 中^[5],空间对象可以用一个表中的预先定义的一列或多列存储,空间对象的实例可以占一行(例如点)或多行(例如多边形)。每个空间对象都具有唯一的 ID,以便与属性数据关联。图 1 描述了一条铁路在纯关系模型下是如何存储的。

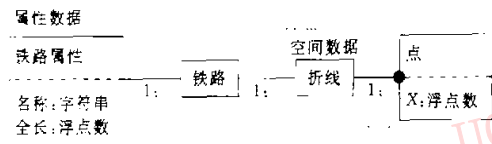


图 1 用纯关系模型存储一条铁路的信息

此方案的特点在于,存储空间对象时,只使用数据库所支持的简单数据类型,用户只需要用 SQL 语言就可以完成数据访问。这样,当需要存储空间数据结构比较简单时,则性能很好,例如只存储点对象时,不但节省空间,而且效率也高。可是,当遇到结构比较复杂的空间数据时,用该方案存储一个对象将要涉及成百上千条记录,则可能出现空间对象访问效率低下的问题,或出现空间数据和属性数据不一致等问题。

1.2 空间扩展模型

此方案是基于对象-关系型数据库而建立的,它通过建立一个空间对象表达模型,把空间数据和属性数据存储统一在 DBMS 之下,从而把 GIS 的数据管理部分的功能统一到 DBMS 之中。目前已有的数据库系统 Oracle8i、DB2 以及 INFOMIX 等都支持空间扩展方案。下面以 DB2 Spatial Extension^[6]为例来介绍空间扩展方案的具体实现。

DB2 Spatial Extension 支持 GIS 相关的抽象数据类型,也即空间对象,其包括:①所有空间对象的基类 Geometry;②基本空间对象,如 Point、LineString、Polygon;③复杂空间对象,如 MultiPoint、MultiLineString、MultiPolygon。另外,在定义抽象数据类型的时候,可以控制数据存储管理,如用户可以决定是否将数据存放在表的行内,还是存储在其他地方。空间对象通过继承关系形成树型系统,如 Geometry 是一个抽象类,它只提供空间对象的基本访问接口,而所有空间对象类都要从该类中派生出来。该系统支持在表的同一列中同时保存有相同基类空间对象的数据,这样就提高了对表操作的灵活性,也有助于提高操作的性能,以避免过多连接。

在支持空间对象表示的同时,DB2 Spatial Extension 还支持 SQL3 语法,即允许用户使用统一的 SQL 语句来操作空间数据或属性数据,以提供无缝访问地理信息的接口。为了方便处理地理信息,它也提供了一些预定义的函数,如空间计算、比较、数据交换等函数。

DB2 Spatial Extension 还支持用户定制操作,即用户可以添加自定义数据类型,并在其上自定义操作。另外,用户也可以自定义索引,如索引的类型、索引建立在什么类型上、索引项如何从列上产生等。目前 ERSI 已经利用此项功能实现了网格索引(Grid Index)。

目前已有两个基于 DB2 Spatial Extension 的应用系统,其中一个应用系统是由 IBM 与 ESRI 联合完成的“精确农业系统”。大家知道,土地状况受到很多因素影响,如降水量、土壤酸性等。相关信息不易管理,而该系统可以通过高精度设备采集到各种因素的分布图存入数据库中,再通过 DB2 Spatial Extension 提供的叠加分析功能来精确计算每一小块土地的特性,并由此决定在这块土地种植什么农作物;另一个是由 IBM 协助升级的“复杂网络的自动制图与设施管理(AM/FM)系统”,该系统的早期版本中,空间数据是存储在数据库以外,而属性数据则存储在关系数据库之中,二者需要通过外码关联,很不方便,在 DB2 Spatial Extension 的支持下,该系统的新版本将空间数据和属性数据统一到对象-关系数据库中进行存储管理,这样加上对象-关系数据库对复杂对象的支持,不但可以显示网络连接情况,还可以播放网络中设备的图片或录像。

在上述例子中,体现出空间扩展模型的两个优势:①由数据库厂商支持的数据分析操作可以得到数据库系统内部优化机制的支持,因而效率较高;②该模型提供了对SQL3的支持,并在DBMS层为访问空间对象提供了统一接口,也方便了系统从RDB到ORDB的移植。

1.3 包装模型

此方案也是基于对象-关系型数据库而建立的,其本质就是在数据库和最终用户之间增加包装层,以消除二者间接口的差异,这一方面能充分利用数据库提供的功能,另一方面也能满足最终用户的需求。包装层的主要任务就是解释,并分解执行对空间对象的访问操作。

包装模型一般包括用户、包装层、数据存储层3个层次。其中,用户使用地理信息;数据存储层负责存储地理信息;而包装层则负责用户与数据库之间的数据访问管理。

早期的对象-关系数据库只提供了长二进制字段(LOB)的存取接口,当时的包装模型是将图层文件直接存储在数据库的长二进制字段中,即一个图层对应一条记录,这样就可以充分利用数据库的数据管理和网络传输等功能,这种方法虽然把空间数据存入了数据库中,但在空间数据访问上,却存在很大的局限,例如,要查询图层中的一个空间实体,就需要把整个图层从数据库中取出,故效率低下。由于这种以图层为粒度的空间数据存储方案局限性很大,因此不可取。

随后,以空间对象为粒度的存储方案出现了。它类似于空间扩展模型,其包装层也向用户提供了一组空间对象,以表示地理信息。这样用户就可以单独或同时存取空间对象的任意部分(空间数据或属性数据)。这种方案中,包装层负责解释用户查询,并将其转化为对数据库的操作指令。它与空间扩展模型不同之处在于,众多的实现方式使它能提供除SQL3之外的接口,如可编程构件接口ActiveX,JavaBean。这里,包装层一般只利用数据库的数据存储功能来存放空间数据,但它也可以利用对象-关系数据库的特性来实现空间对象的无缝存储,即把一个空间对象作为一条记录存储在表中,其中一个长二进制字段负责存储空间数据,其他字段则存储属性数据。

包装模型可以为GIS应用提供一个稳定的接口,即它可以支持GIS在不同厂商、不同版本的对

象-关系数据库系统之上的实现。另外,包装模型在内部实现时,可以采用当前的先进技术,以改善空间数据处理效率。与空间扩展模型相比,其可剪裁的特性使得包装模型极富竞争性。

1.4 各种结合方案的比较

以上介绍的3种方案各具特色,其中纯关系模型比较适合于空间信息不太复杂的应用,对象-关系模型比较适合于空间信息比较复杂的情况;而包装模型则适用于用户需求灵活多变的情况。在数据表示方面,3者虽都能够表示一般的空间数据,只是纯关系模型的表达能力比后面两种方案要差一些,即有些复杂对象还难以表示。

纯关系模型与早期的包装模型是GIS与数据库结合中的有益尝试,它为确定地理信息的存储粒度提供了依据。作为一种实用性很强的系统,空间扩展模型和后期的包装模型是当前被广泛采用的,这说明目前GIS与对象-关系数据库结合是最理想的模式。

本文已注意到,数据库管理系统(DBMS)的发展与程序设计语言的演变存在着很多相似性,表1对此作了比较。

表1 程序设计语言与数据库管理系统的类比

| 程序设计语言 | 数据库管理系统 | 特点 |
|------------|---------|--|
| C语言 | RDBMS | ①从以前到目前一直被广泛应用 ②效率比较高 ③目前遇到信息表达上的困难 |
| Small Talk | OODBMS | ①纯面向对象,完全支持面向对象理论 ②解决了信息表达上的困难 ③实现比较困难,目前没有得到广泛认可及应用 |
| C++ | ORDBMS | ①将原有的系统与面向对象结合,取长补短 ②很大程度上支持了面向对象概念 ③解决了信息表达上的困难 ④目前得到广泛认可及应用 |

这种相似性从另一个侧面证明了选择对象-关系数据库是符合信息技术发展趋势的。作为基于对象-空间数据库的方案,空间扩展模型与包装模型各具特色。

其中,空间扩展模型是数据库厂商提供的解决方案,它希望通过增强数据库的空间功能来从根本上解决问题。由于该方案是由数据库厂商开发的,因此能够比较充分地利用底层数据库,从而达到比较好的性能,但是,数据库的空间扩展毕竟是数据库系统的附属产品,它不但继承了底层数据库的优势,也受到底层数据库的制约。例如,只有几个大的数据库

厂商提供对空间扩展模型的支持,而这些数据库产品又只能应用于比较大的应用系统中,这样空间扩展模型也就难以投入到中小应用中去。

包装模型则是 GIS 厂商提供的解决方案,它希望通过提供灵活方便的接口来适应多变的应用需求,即通过设计包装层来封装数据管理部分,以提供对多种类型数据源的支持。这虽然降低了 GIS 应用开发的复杂度,但是,增加包装层也势必在空间数据存取中增加了额外开销,从而影响系统的整体效率,另外,构造并维护包装层的人力物力投入也不容忽视。

从本质上看,包装模型和空间扩展模型的目的都是一样的,即都要为 GIS 应用提供方便高效的服务,都要提供一个空间对象的统一访问接口,而它们的区别在于,包装模型是对应用需求的直接响应,也是空间扩展模型的基础,而空间扩展模型则是包装模型的总结与改进。

相比之下,由于包装模型具有灵活的结构,它不但在应用领域具有很大优势,而且在研究方面也很有潜力,另外,在包装模型中还可以方便地实验各种数据管理技术,因此,非数据库厂商通常选择包装模型来实现 GIS 数据管理部分。

2 GIS 与数据库结合存在的问题及关键技术

以上 3 种结合方案中,由于纯关系模型缺乏表现力,也少见用于 GIS 应用中;空间扩展模型本身就是由数据库厂商实现的,其中的实现与数据库系统内部实现密切相关,一般人很难深入分析研究;而包装模型则具有深厚的应用背景,且其设计与实现与实际的 GIS 系统密切相关,因此,在这里只讨论包装模型中存在的问题与解决问题的关键技术。事实上,这些问题在另外两种模型中也同样存在。

2.1 存在的问题

(1) 表达问题,即如何定义一个空间对象系统,以便用来表达并存储地理信息。这需要系统能够较好地实现空间对象从逻辑结构到物理存储的映射;同时还能管理好空间对象的数据一致性,以确保空间数据与属性数据的对应关系;另外,空间拓扑关系的维护也很重要。

(2) 效率问题,即如何改善在数据库中访问空间对象的效率。这主要包括如何减少用户查询的等待时间,如何避免不必要的计算等。效率问题是 GIS

应用的关键问题,这是因为用户评判一个系统是否实用,看重的是它能否高效而优质地完成工作。效率问题与表达问题是相辅相成的,因表达方法是提高效率的基础,而提高效率也不应牺牲表达能力。换言之,好的表示方法确保了 GIS 的易用性,而较高的效率又保证了 GIS 的可用性。

(3) 事务管理问题, GIS 中存在一些比较复杂的事务,例如空间数据更新操作问题,由于这种事务通常持续时间比较长,涉及对象比较多,尤其是两个事务在时间和数据上发生重合时,情况又比较复杂,仅依据数据库提供的事务机制是难以管理这样事务的,因此在包装模型中需要在包装层考虑事务管理。

2.2 关键技术

为了解决在结合过程中所出现的问题,还需要进一步研究一些关键技术,以便通过它们来改善系统的功能与性能。

(1) 优化技术

优化技术主要考虑的是优化的时机与方法,一方面要在空间对象表示模型中考虑优化,即合理设计空间对象存储模式,以减少费时的数据库表操作;另一方面,也要在系统运行时考虑优化,即用户可以定义操作量预测函数,以帮助系统来动态地优化查询要求。

(2) 空间索引技术

空间索引技术主要考虑的是空间索引的选择与维护问题,引入空间索引的目的就是为了提高空间数据的访问效率。另外,空间索引在辅助空间计算方面也有很大的作用。

常规数据库产品通常均使用 B+ 树索引,由于这是一种一维索引,因此只能建立在一维数据(基本数据类型)上,但由于空间数据是二维,甚至是多维的,因此需要引进二维索引,如 R 树索引、网格索引、PK 树索引等。由于这些索引算法不一,且性能上也有差异,因此选择一个合适的索引方法很重要。

另外,索引由谁来维护也是一个问题,或者 DBMS 自身提供这些索引,或者 DBMS 允许用户自定义这些索引,或者由用户在数据库外部的包装层中自行维护索引。

(3) CACHE 技术

CACHE 技术来源于硬件,其主要目的就是支持复用数据,以减少不必要的取数据操作,从而提高效率。由于同一份地理信息可能会被用户们经常性

地访问,而每次都把它从数据库中取出是不合算的,因此可以把取出的数据临时存放在高速缓存中,如果数据没有被修改,那么下次使用该数据就可以直接访问高速缓存,以避免再从数据库中取出数据,目前 DBMS 自身已具备 CACHE 机制,也可以在数据库外的包装层中实现面向应用的 CACHE 机制。

(4) 版本管理技术

版本管理技术是用于维护数据一致性的,即通过向分布在网络中的空间对象附加版本信息,就可以确定其新旧关系,从而为 Cache 的淘汰算法提供依据。

3 总结

数据库技术的发展直接推动了 GIS 数据管理技术的发展。在 GIS 的数据管理的实现方案中,基于 ORDB 的包装模型在应用与研究方面都具有很重要的意义。当然,在研究和设计包装模型的过程中,还存在一些需要考虑的问题,如表达、效率、事务管理等。为了让 GIS 在数据库的支持下更好地投入广阔的应用领域中,还需要对这些问题作深入研究。

参考文献

- 1 Mark David M. Nicholas Chrisman, Frank Andrew U *et al.* The GIS history project [A]. In: UCGIS Summer Assembly [EB/OL]. <http://www.geog.buffalo.edu/ncgia/gishist/barharbor.html>. 1997
- 2 宋小东,叶嘉安.地理信息系统及在城市规划与管理中的应用[M].北京:科学出版社,1995.
- 3 萨师煊,王珊.数据库系统概论[M].北京:高等教育出版社,1997.
- 4 Michael Stonebraker, Dorothy Moore 著.对象关系数据库管理系统——下一个浪潮[M].杨冬青,唐世渭,裴芳等译.北京:北京大学出版社,1997.
- 5 Jeff Hebert. Oracle8i spatial user's guide and reference [EB/CD]. Part No. A67293 01-Release 8.1.6, 1999.
- 6 Davis Judith R. IBM's DB2 spatial extender; Managing geo-spatial information within the DBMS[EB/OL]. <http://www-4.ibm.com/software/data/pubs/papers/spatial/>. 1998.5



丁力 1975年生,现为北京大学计算机系硕士研究生,主要研究领域为地理信息系统、数据库技术及软件 Agent 技术等。



汪小林 1972年生,1996年、2001年先后获北京大学计算机系学士学位、博士学位,主要研究领域为地理信息系统、构件技术及 Agent 技术等。



罗英伟 1971年生,1999年获北京大学博士学位,目前在北京大学计算机系从事博士后研究,主要研究领域为分布式地理信息系统、分布式计算技术及 Agent 技术等。



张颖 1976年生,现为北京大学计算机系硕士研究生,主要研究领域为地理信息系统、元数据及 Agent 技术等。



曲磊 1975年生,现为北京大学计算机系硕士研究生,主要研究领域为地理信息系统、网络技术及 Agent 技术等。



许卓群 1936年生,北京大学计算机系教授,博士生导师,国家教委高校“计算机科学”教学指导委员会副主任。