

# “数字南海”空间关系数据库模型及传输协议设计与实现

马劲松, 徐寿成, 朱大奎, 黄杏元

(南京大学地理与海洋科学学院, 南京 210093)

**摘要:** 数字地球是当前网络 GIS 领域的研究与开发热点之一, 其中, 大量的空间数据在空间数据库中的组织和存储, 以及在网络上的传输是数字地球系统中的两个重要技术。本文通过“数字南海”的开发实践, 从国家信息安全角度出发探讨了自主设计与研发空间关系数据库模型和网络传输协议的若干技术方法。提出了以面向对象的 ORM 源模型设计空间数据库概念模型, 以擅长语义表达的 DEFIX 模型设计空间数据库逻辑模型和以关系数据库实现空间数据库存储模型的技术方案。并运用异步非阻塞套接字和多线程等技术在 TCP/IP 网络传输协议上, 设计并实现了空间数据应用传输协议, 使得空间数据在数字地球的客户端三维显示系统与服务器端的空间数据服务器系统之间能够高效安全地传输, 实现 Google Earth 类似的操作功能, 包括空间数据的流式传输和渐进式传输等, 适应了数字地球的要求, 并保证了空间数据的安全性, 可为我国数字地球系统的自主开发与研制提供参考和借鉴。

**关键词:** 网络 GIS; 空间数据库; 空间关系数据库模型; 传输协议; “数字南海”

## 1 引言

自 Google Earth 发布以来, 数字地球的研发进入了一个全面推进的阶段, 网络 GIS 得到越来越多的关注。由于数字地球系统需要在服务器端与客户端之间通过网络传输大量的空间数据, 因此, 空间数据库模型及其网络传输协议对数字地球的建设至关重要。本文通过“数字南海”开发中有关空间数据库模型和网络传输协议的研究, 阐述了实现数字地球系统开发的关键性技术。

“数字南海”建设的目标是运用数字地球技术把我国南海区域的自然、社会和经济等要素的数据存入空间数据库, 以利于对南海的空间查询和分析研究。

## 2 “数字南海”的结构与数据库模型设计

“数字南海”是建立在大型数据库系统和高速宽带网络之上的地理信息系统, 需要存储和传

输大量空间数据, 并能对数据进行三维显示和处理。因此, 一方面要求空间数据库模型满足空间数据的存储和管理的需求<sup>[1,2]</sup>; 另一方面, 要保证涉及国家机密的空间数据在存储和传输中的安全。因此, 我国开发自己的数字地球系统, 需要创新性地设计出具有自主知识产权的空间数据库模型和空间数据的网络传输协议。

### 2.1 “数字南海”的结构

鉴于上述要求, 在设计开发南海系统时, 采用了底层开发的方式, 整个软件系统具有完全自主知识产权。系统为三层结构 (如图 1)。

服务器端的数据逻辑层: 基于通用的关系数据库系统 (如 SQL Server 等), 自主设计了空间数据库模型 GeoDBM, 保证了空间数据存储的安全性。

服务器端的业务逻辑层: 使用多线程、异步非阻塞套接字技术, 结合 ADO 自主实现了空间数据库引擎 GIS Server。

客户端的应用逻辑层: 按照 Google Earth 的操

收稿日期: 2006-10-21; 修回日期: 2007-07-01。

资助项目: 测绘遥感信息工程国家重点实验室开放基金项目 (WKL(05)0302)。

作者简介: 马劲松 (1969-), 男, 江苏南京人, 博士, 副教授。主要研究方向: 地理信息系统理论与软件开发, 已发表论文 40 余篇。E-mail: majs@nju.edu.cn

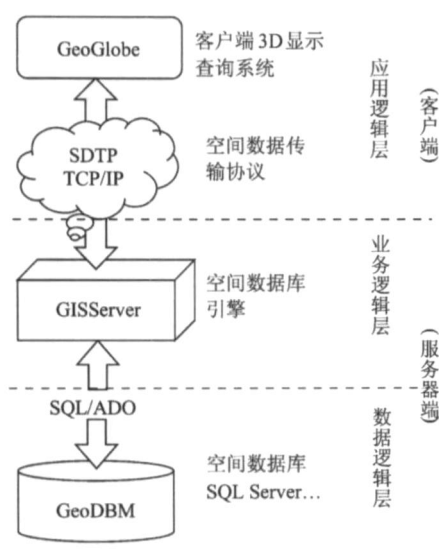


图 1 数字地球系统的三层结构

Fig. 1 Three-tier architecture of Digital Earth

作和表现模式，使用 OpenGL 技术实现了客户端三维显示查询系统 GeoGlobe。

在客户和服务端之间，基于通用的 TCP/IP 网络协议，设计了特定的空间数据传输协议 SDTP，保证了空间数据传输的安全性。

2.2 空间数据库模型 GeoDBM

地理几何数据模型是空间数据库模型最基础、最核心的部分<sup>[3]</sup>。几何数据关系数据库的存储方案有关系模型和对象关系模型两种<sup>[4]</sup>。其中，ESRI 的 SDE 主要使用关系模型<sup>[5]</sup>，而 Oracle 则使用对象-关系模型<sup>[6]</sup>。在数字地球系统设计与实现中，

顾及到通用性与可移植性，选择关系模型较为适宜。

(1) 空间数据库概念模型

空间数据库概念模型设计是空间数据库三个设计步骤的第一步<sup>[7]</sup>。我们选择 Visio 中最新的概念模型建模工具——ORM 源模型图来设计空间数据库的概念模型。该模型遵循 OpenGIS 的数据模型规范，从特征 (Feature) 中派生出简单特征 (Simple Feature) 和复杂特征 (Complex Feature) 两个基本子类型，如图 2 所示。在此集中讨论简单特征。

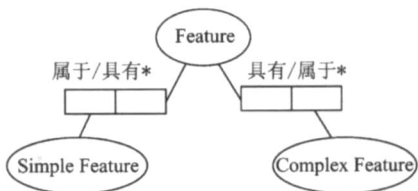


图 2 空间数据库 ORM 概念模型简图

Fig. 2 ORM diagram of spatial database conceptual model

空间简单特征子模型包含了点 (Point)、线 (Polyline) 和多边形 (Polygon) 等几何对象类型<sup>[8]</sup>，如图 3 所示。它们都是从特征对象 (Feature) 继承而来，除了都具有对象标识 (ID) 外，线和多边形可通过多重弧段 (Poly\_Arc) 对象与组成它们的弧段对象 (Arc) 形成聚集关系。弧段对象通过弧段坐标 (Arc\_Coord) 对象与组成它们的坐标对象 (Coord) 形成聚集关系。这样设计的简单特征子模型相对于 OpenGIS 的模型结构更为紧凑，系统开发者也更容易理解和使用。

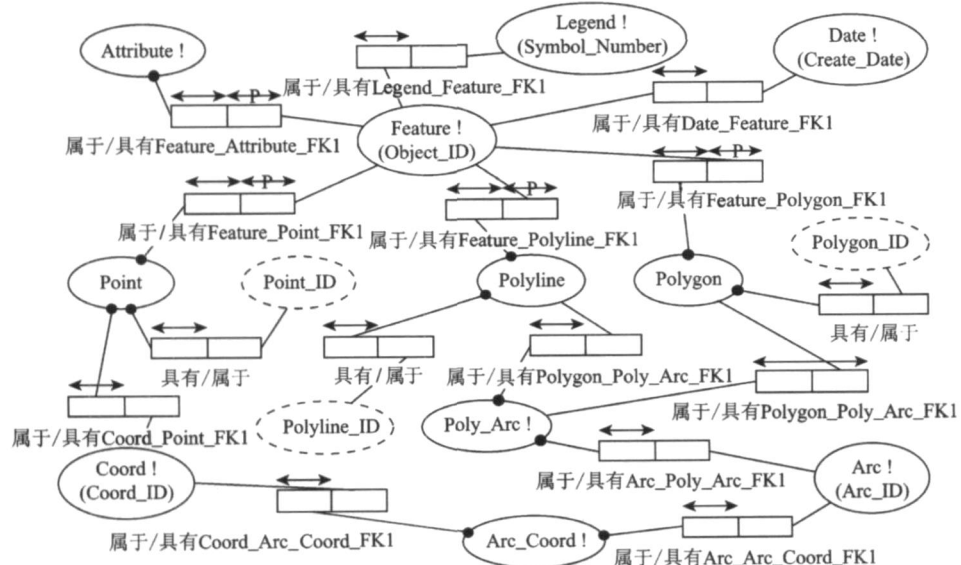


图 3 简单特征的 ORM 概念模型简图

Fig. 3 ORM diagram of simple features conceptual model

(2) 空间数据库逻辑模型

空间数据库的逻辑模型可以通过从上述 Visio 建立的 ORM 源模型映射得到。目前，使用 DEFIX模型来表达数据库系统的逻辑模型是最新的方法之一<sup>[9]</sup>。ORM 源模型可以映射到 DEFIX

模型。空间简单特征数据的逻辑模型如图 4所示，由相应的实体 联系组成。运用 DEFIX模型，与传统的实体 联系模型（E-R 模型）相比，具有语义更加丰富、可以很好地表达 Feature和各子实体之间的层次关系的优点。

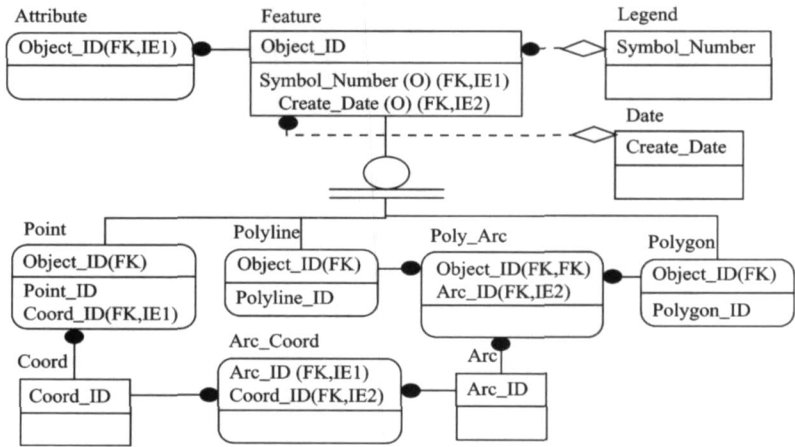


图 4 简单特征的 DEFIX逻辑模型简图

Fig. 4 DEFIX diagram of simple features logical model

(3) 空间数据库物理模型

建立好逻辑模型后，就可以通过数据库建模工具 Visio的正向工程技术，将逻辑模型转化为数据库的物理模型或称为存储模型<sup>[10,11]</sup>。图 5所示是空间简单特征的逻辑模型映射为 Access中的 11个关系数据表，其中，Feature表、Attribute表、Point表、Polyline表、Polygon表、Arc表、Coord表等等是实体表，Poly\_Arc表和 Arc\_Coord表是联系表。实体表之间的聚集关系通过关键字 Object\_ID来连接实现，实体表与联系表之间的多对多关系则通过基本表的组合关键字来实现。以这种方式存储的空间数据，结构较清晰简约，易于数据的维护和管理。实验性的数据是采用 Access数据库存储，而实际运行的系统采用了 Microsoft SQL

Server。在 Access和 SQL Server之间可以通过导入/导出的方法进行空间数据的转存。

3 空间数据网络传输协议 SDTP

3.1 空间数据传输协议

计算机网络通信中规定通信双方传递消息的格式以及消息触发的适当动作的一套规则称为网络传输协议。目前，论述空间数据网络传输协议的文献不多，通常建立的 WebGIS大多是采用 HTTP和 SOAP等协议。

对于数字地球系统的大量空间数据传输，运用上述常规协议既影响效率，又难以保证空间数据的安全性<sup>[12]</sup>。所以，在数字南海系统中的空间

数据库引擎服务器和客户软件之间，创新性地设计了一套空间数据网络传输协议 SDTP。

SDTP由于直接基于 TCP/IP协议，采用网络异步非阻塞套接字技术，通过打开计算机端口实现数据传输，空间数据使用自定义的二进制格式传输，数据量比采用 HTTP协议的文本格式小，传输数据的内容即使被网络上的程序侦听也不容易被破解。比常规的 WebGIS传输效率高，且安

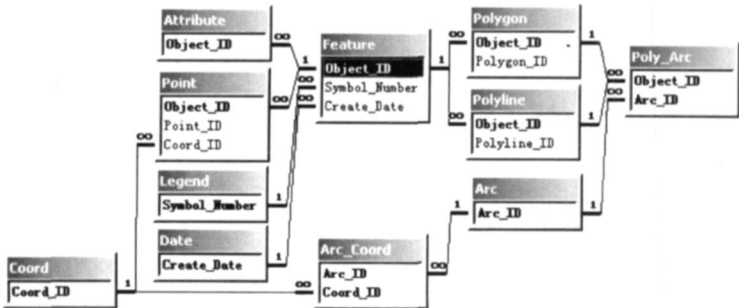


图 5 简单特征的关系数据库物理模型简图

Fig. 5 Relational database storage model of simple features

全性方面更有优势。同时，也易于实现空间数据流式传输和渐进式传输。

3.2 空间传输协议的消息模式

目前，数字南海系统中实现的基本协议消息有 60条左右。最常用的消息如表 1所示。其中，服务器向客户端发送空间数据的消息中，可以包含了点、线、面、栅格（含 DEM）和遥感影像等多种空间数据形式。客户端发送的消息可包含对空间数据库的查询条件。消息类结构如下所示：

class CMessage

{

int m\_ CmdType; //网络消息命令类型

int m\_ ErrorCode; //网络传输错误代码

int m\_ ThemeId; //空间数据专题

int m\_ DataType; //空间数据类型

int m\_ Continue; //续传标志

int m\_ Counts; //数据个数

CPtrArray m\_ Data; //数据项

void Decode (BYTE \* pBuffer); //解码

void Encode (BYTE \* pBuffer); //编码

};

表 1 数字南海系统网络传输协议的常用消息

Tab.1 Common messages of network transportation protocol for the Digital South China Sea system			
客户消息 (CmdType)	消息的说明	服务器消息 (CmdType)	消息的说明
CLIENT_ LOGN	客户申请登录服务器	SERVER_ LOGN	服务器确认客户登录
CLIENT_ LOGOUT	客户申请退出登录	SERVER_ LOGOUT	服务器确认客户退出登录
.....	.....	.....	.....
CLIENT_ DATABASE_ PARAM	客户查询空间数据库参数	SERVER_ DATABASE_ PARAM	服务器发送空间数据库参数
CLIENT_ OPEN_ DATABASE	客户申请打开空间数据库	SERVER_ OPEN_ DATABASE	服务器确认打开空间数据库
CLIENT_ OBJ_ COUNT	客户查询空间数据个数	SERVER_ OBJ_ COUNT	服务器发送空间数据个数
CLIENT_ WHOLE_ OBJ	客户查询所有空间数据	SERVER_ WHOLE_ OBJ	服务器发送所有空间数据
.....	.....	.....	.....
CLIENT_ ATTR_ OBJD_ OBJ	客户查询对象属性数据	SERVER_ ATTR_ OBJD_ OBJ	服务器发送对象属性数据

4 实验结果与讨论

“数字南海”实现了客户端、应用服务器端和

数据库服务器端的三层体系结构。既可以在 Intranet上也可以在 Internet上进行空间数据的发布和查询。客户端的三维数字地球显示系统 GeoGlobe完

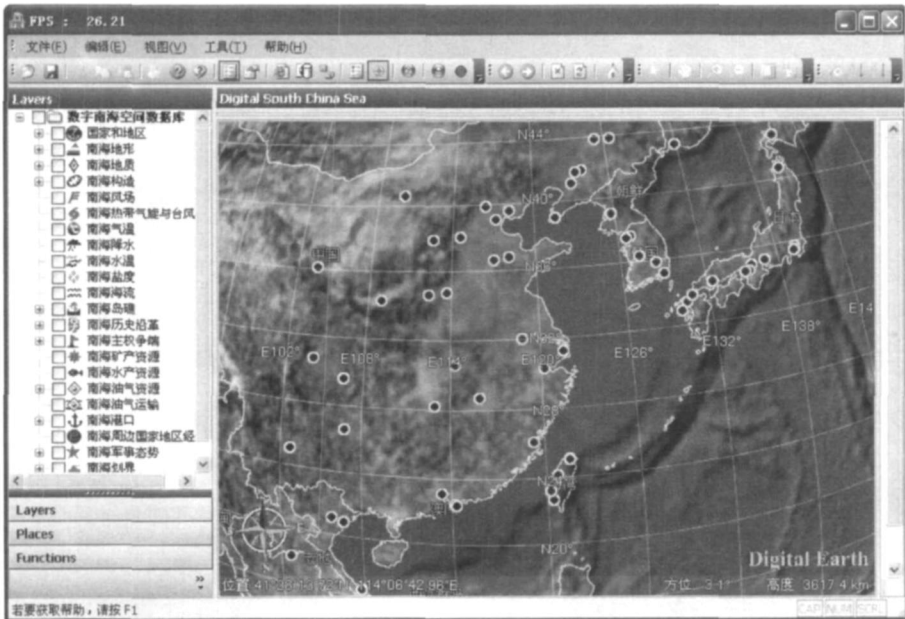


图 6 数字南海系统的客户端三维显示系统 GeoGlobe

Fig.6 Client system of the Digital South China Sea for 3D rendering

全具备 Google Earth 的操控功能，如图 6 所示。还增加了属性数据库查询功能、专题制图功能和二维地图显示功能。

应用服务器端的空间数据库引擎 GIServer 的

技术特色是使用多线程和异步非阻塞套接字实现流式和渐进式传输，实验表明，该技术能较好支持并发用户的查询和数据传输安全性，如图 7 所示。

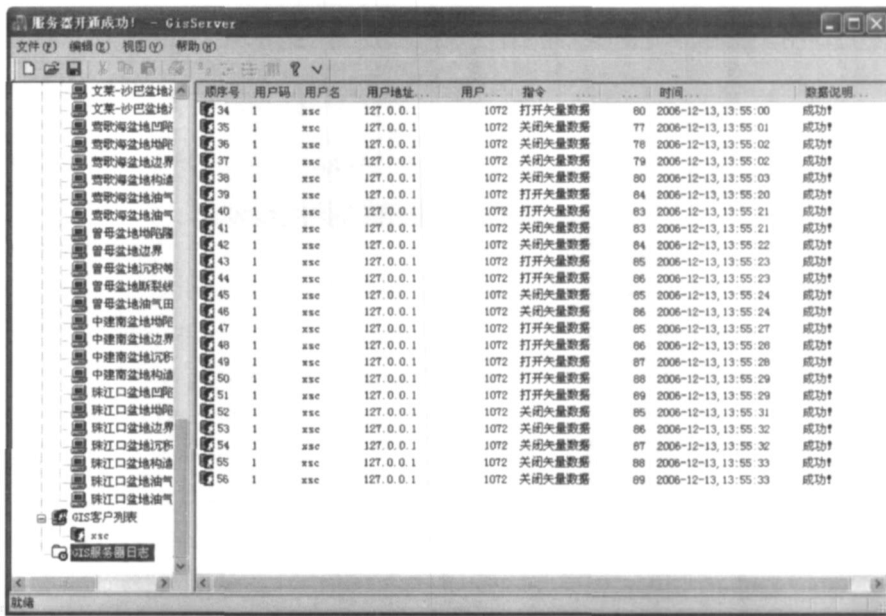


图 7 数字南海系统的空间数据库引擎 GIServer

Fig.7 Spatial database engine of the Digital South China Sea

数据库服务器端采用通用的关系数据库系统按自主设计的数据库模型组织空间数据，实验表明，该模型对各种类型的空间数据都能较好地支持存储和查询，结构清晰完整，易于使用。

“数字南海”系统的技术优势在于是完全自主开发、丝毫不依赖于国外商用 GIS 产品的网络 GIS 软件。作为对数字地球的探索性研发，“数字南海”系统可以为我国自己的数字地球建设在技术上积累有益的经验，具有较广阔的应用前景。

参考文献

[1] 申思, 马劲松. GIS关系数据库 SQL空间扩展算子的实现. 计算机工程与应用, 2005, (32): 164~166

[2] 赵博, 马劲松. 基于 XML 的地理数据模型设计. 测绘技术装备, 2005, (22): 9~12

[3] 程昌秀, 陆锋. 三种地理几何数据模型的应用分析. 地球信息科学, 2005, 7 (3): 12~15

[4] 宋平舰, 王瑞富, 黄建波等. “数字城市”中网络模拟实验系统建设研究. 地球信息科学, 2001, 3 (1): 54~58

[5] 程昌秀, 陆锋. 三种地理几何数据模型的应用分析. 地球信息科学, 2005, 7 (3): 12~15, 20

[6] 毛先成, 彭华熔. 关系数据库存储空间数据模型与结构分析. 地球信息科学, 2005, 7 (1): 76~79, 83

[7] Shashi Shekhar, Sanjay Chawla 著. 谢昆青, 马修君, 杨冬青等译. 空间数据库. 北京 机械工业出版社, 2004

[8] 毛先成, 彭华熔. 关系数据库存储空间数据模型与结构分析. 地球信息科学, 2005, 7 (1): 76~79

[9] Louis Davidson 著. 卞劲筠, 叶乃文译. SQL Server 2000数据库设计权威指南. 北京 中国电力出版社, 2003

[10] Hector Garcia-Molina, Jeffrey D. Ullman, Jennifer Widom 著. 岳丽华, 杨冬青, 龚育昌等译. 数据库系统全书. 北京 机械工业出版社, 2003

[11] Michael Zeiler 著. 张晓祥, 张峰, 姚静等译. 我们的世界建模: ESR I 地理数据库设计指南. 北京 人民邮电出版社, 2004

[12] 孙庆辉, 骆剑承, 赵军喜. 网络 GIS 数据传输机制与策略. 地球信息科学, 2005, 7 (1): 65~70

## Design and Implementation of Geo-relational Database Model and Transport Protocol for the Digital South China Sea

MA Jingsong, XU Shoucheng, ZHU Dakui, HUANG Xingyuan

*(Department of Coastal Ocean Sciences, School of Geography and Oceanography, Nanjing University, Nanjing 210093, China)*

**Abstract:** Digital Earth now is becoming one of the leading technologies in the Internet GIS research and development. In this area, there are commonly two of the key techniques that a Digital Earth software system's development process should deal with: one is the great amount of spatial data should be properly organized and stored in spatial databases, and the other is the spatial data should be effectively transported on networks such as Internet and/or Intranet. By the implementation of the Digital South China Sea (DSCS) system, this paper discusses several technical methods that can mainly be used for independently design and development of geo-relational database models and transport protocols on account of concerning the nation's information security issues. The resulting modeling solutions for the DSCS are: Firstly, the object-oriented ORM source model is adopted as a new spatial database data conceptual modeling technique. Secondly, the logical model of the spatial database is built by using the DEFIX model which is more effective in semantic description. And thirdly, the storage model of the spatial database is based on relational database. Besides, the spatial data transport protocol is designed and implemented using the asynchronous unblock socket method together with the multithreading method in C++ programming, and directly on the basis of the TCP/IP protocol. It is proved by testing the DSCS system on networks that these technologies can make the spatial data efficiently and safely exchange between the three-dimensional rendering client system and the spatial data server system that are a necessity for a Digital Earth. The DSCS also supports most of the functions and manipulations which are similar to the Google Earth, e. g. the database storage of spatial data such as points, curves, polygons and images, data streaming and progressive transportation etc. For the fully possessed proprietary intellectual property right to the database model and the transport protocol, the DSCS can improve the development of China's national Digital Earth system and provide more safety guarantee to the important spatial data of the nation when transporting on the Internet.

**Key words:** Internet GIS; spatial database; geo-relational database model; transport protocol; Digital South China Sea