

数字湖泊空间分析模型与多尺度数据组织

赵俊三¹, 龚纯伟¹, 严泰来², 许文胜³, 赵胜恩³

(1. 昆明理工大学, 云南 昆明 650093; 2. 中国农业大学, 北京 100094; 3. 昆明云金地科技有限公司, 云南 昆明 650106)

摘要: 在数字湖泊系统建设中存在着大量的综合应用和决策分析问题, 而空间分析模型和算法是开展上述工作的基础. 本文首先分析了数字湖泊地理空间分析的特性和基本方法, 研究了紧耦合和松耦合两种建模方式, 然后对湖泊区域数字地形的多尺度表达问题进行了研究, 最后提出了湖泊区域不同尺度空间数据的组织方式和数据库建立的方法与技术路线.

关键词: 湖泊管理; GIS; DEM; 空间分析

中图分类号: X21 **文献标识码:** A **文章编号:** 1007 - 855X (2007) 03 - 0091 - 05

A Study on the Modeling and Multi - Scale Data Organization of the Geo - Spatial Analysis for Lake Digitalizing Management

ZHAO Jun-san¹, GONG Chun-wei¹, YAN Tai-lai², XU Wen-sheng³, ZHAO Shen-gen³

(1. Kunming University of Science and Technology, Kunming 650093, China; 2. China Agriculture University, Beijing 100094, China; 3. Kunming Yunjindi Geo-Information Co Ltd, Kunming 650106, China)

Abstract: Many problems concerning the specialized and decision-making models exist in the lake digitalizing management information system, of which the spatial analysis models and algorithms are the foundation. The characteristics and the principles of the digitalizing lake geospatial analysis are outlined first. Then the tight and loose coupling models between the specialized and geospatial data are issued. Furthermore, the demonstrations of the digital topography of the lake watershed in multiple scales are discussed. Finally, the methods of the data organization and the database generation of the multiple scale geospatial data for the lake watershed are expressed.

Key words: lake management; GIS; DEM; spatial analysis

0 引言

在湖泊区域管理过程中地理空间分析的主要内容是围绕湖泊区域的生态环境变化及其影响因素、水量分析模型与应用、水质分析模型、社会经济发展与湖泊区域的空间关系及相互作用等问题展开的. 因此, 湖泊区域的空间分析将主要包括以下内容: 湖泊区域的地理位置与分布特征, 如面积、距离、方位等测算分析; 湖泊区域的地形地貌特征分析, 如坡度坡向分析、垂直断面分析、三维地表面积测算等; 湖泊区域的主要地理空间关系分析, 如最短路径分析、插值分析、缓冲区分析等; 湖泊区域的空间相互作用分析, 如图形叠加分析; 通过 GIS 与湖泊区域管理专门知识结合所实现的专业模型分析^[1].

1 湖泊区域管理空间分析模型的主要特征

数字湖泊系统建立过程中需要建立的模型主要分为两类, 一类是分析湖泊区域地理空间位置、特征和形态的空间分析模型, 另一类是通过专业知识方法与 GIS 及空间数据的结合所形成的专业分析模型, 主要包括数字湖泊中需要的水质、水量模型, 水资源管理模型, 生态环境模型等^[2]. 这些模型的建立是一个比较复杂的问题, 它需要熟悉湖泊区域管理的相关专业知识和业务, 同时能与 GIS 技术有机地结合起来. GIS

收稿日期: 2007 - 01 - 11. 基金项目: 云南省信息科技专项重点资助项目 (项目编号: 2002 II02).

第一作者简介: 赵俊三 (1964 -), 男, 博士, 教授. 主要研究方向: GIS/LIS 理论与开发应用. E-mail: jzhao@yjdgis.com

与专业模型的结合有多种方式,按照从松散到紧密耦合的关系进行分类.松散的模式是数据在模型和 GIS 之间传递,各自拥有独立的数据管理能力和系统.紧密的结合是在 GIS 和模型中实现数据管理,它们共享一个统一的数据库.紧密的耦合是一种嵌入式的系统,模型和数据被嵌入到一个单一的操作框架中,紧耦合模式见图 1.是把 GIS 空间分析模块作为一个高级应用模块嵌入到湖泊区域管理专业分析系统软件包中, GIS 不仅可以为湖泊区域管理专业分析提供图形显示、空间分析功能,而且 GIS 功能模块及空间数据直接参与专业模型分析和计算.在松耦合模式中见图 2, GIS 模块及空间数据与专业分析模型相对独立,其间通过增加数据交换接口实现两者的信息交互和通信,使湖泊区域管理专业模型分析数据及相关的影响因素和分析结果能够在 GIS 中以各种简单的或复杂的图形可视化方式显示出来^[3].

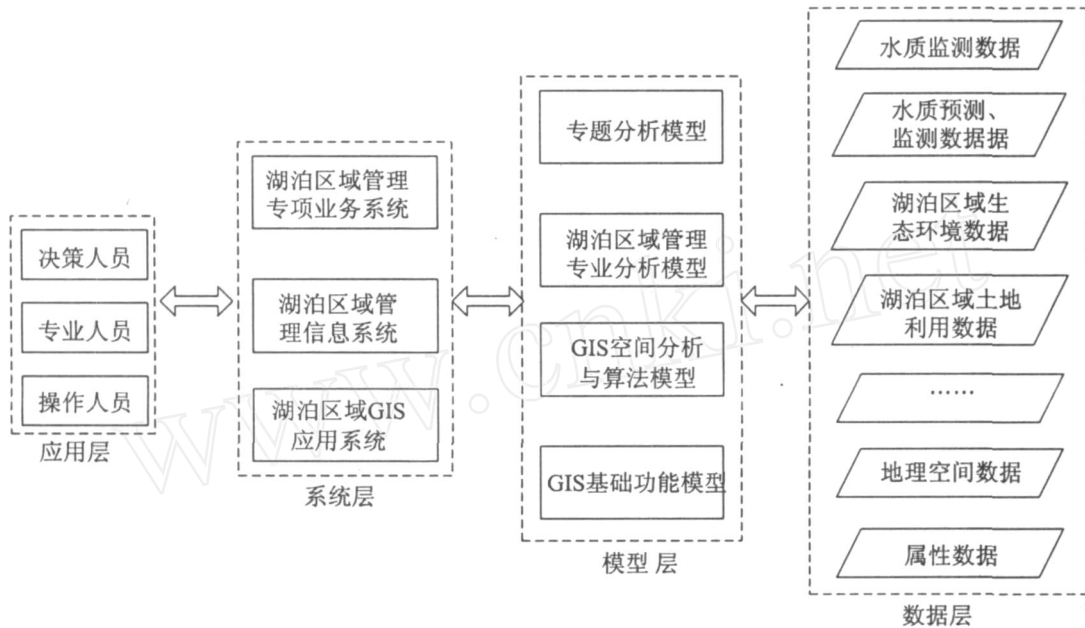


图1 GIS与湖泊区域管理专业分析的紧耦合模型

Fig.1 Tight coupling analysis models of the GIS and lake catchments management

2 湖泊区域数字地形表达

2.1 问题概述

数字高程模型 (DEM) 在数字湖泊中的主要作用是为构建地理信息的基础数据与框架数据设置的一种模型,支持系统进行流水线分析、可视性分析;生成坡度坡向图、剖面图;辅助地貌分析,侵蚀和径流矢量图等常规性的分析研究,并且作为背景在其上面叠加各种专题信息(如污染源、土壤、土地利用以及植被等)进行显示与分析;与 GIS 联合进行空间分析,建立虚拟地理环境,汇水面积的分析,地貌特性分析等.

为建立数字地形 DEM 数据库,需要采集样本数据,目前有 3 种不同观点的采样方法即基于统计学观点的采样、基于几何学观点的采样和基于地形特征的采样.采样策略与采样方法有沿等高线采样、规则格网采样、剖面法、渐进采样、选择性采样、混合采样等.

2.2 数字高程模型的多尺度表达

多尺度表达的理论基础是按照自然法则,即在一定的尺度中,如果基于空间变换的地理目标的大小低于最小规定尺寸,那么它就会被忽略而将不再被表达.多尺度数字高程模型的表达方法为层次结构^[4].在大范围 DEM 的实施可视化过程中,为了适应场景的复杂性、加快图形描绘速度,广泛使用细节层次模型,即 LOD 模型. LOD 模型是指对同一个区域或区域中的局部使用具有不同细节的描述方法得到的一组模型.

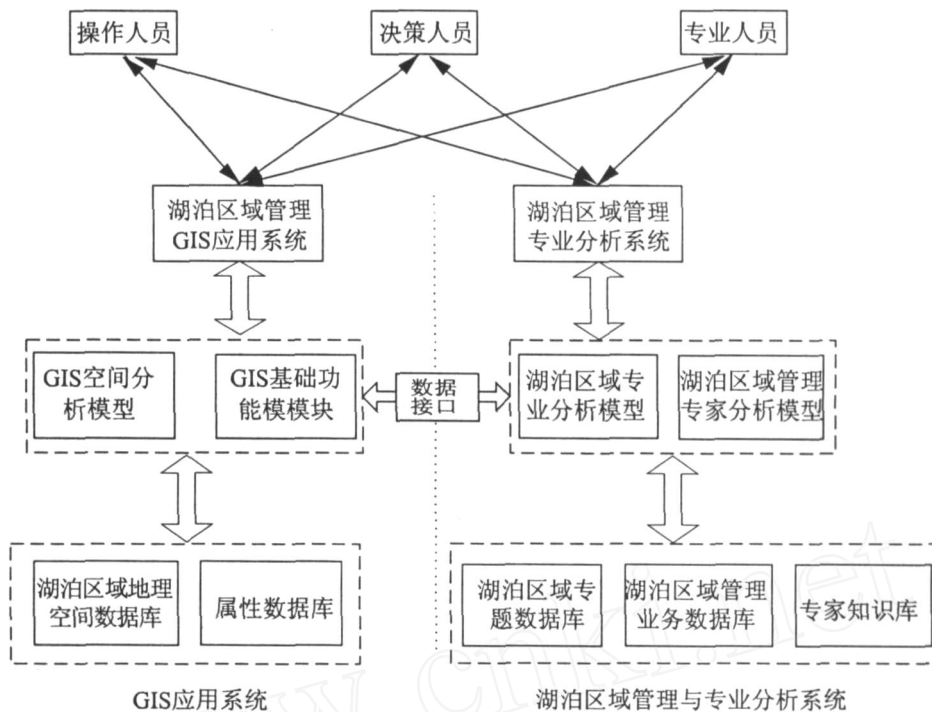


图2 GIS与湖泊区域管理专业分析的松耦合模型
 Fig.2 Loose coupling analysis models of the GIS and lake catchments management

在 LOD 模型下,通常利用“金字塔”型的数据组织结构,金字塔概念强调格网大小(尺寸)的层次,即不同的比例尺的表达.对于数据库级的多尺度表达,一般直接将不同分辨率的规则格网 DEM 数据通过一体化管理建立金字塔数据库.其中关键在于不同分辨率 DEM 数据的自适应度和数据融合.

实施金字塔概念可以使用四叉树结构,即用大格网来表达简单的地形,而用小格网来表达复杂地形,以达到保持复杂地形起伏的高度逼真表达.为此,DEM 数据的单元尺度呈 2 的倍数增加,即 1m, 2m, 4m, 8m, ..., 相应的图件比例尺逐级减小.之所以这样,是为了便于用四叉树结构进行数据管理.当然,这是一种理想情况下的设计,因为这样连续的多比例尺数字图件一体化存储,一个数据库的数据量无疑是很大的.

3 湖泊区域不同尺度空间数据的组织

3.1 多尺度地理空间数据库建立

建立多尺度或多比例尺空间数据库的目的主要有两个:其一,是从地图可视化的角度考虑,提供变焦数据处理能力,即随着观察范围的缩小,系统应提供类别更多、数量更大和细节更详细的信息;其二,是根据不同的应用和专业分析的需要,空间数据在纵向上或横向上均具备不同的空间分辨率,以满足不同精度空间量算和空间分析的要求.

1)在系统中建立与多个比例尺相对应的多个空间数据库,需要哪个比例尺的数据,就调用相应的空间数据库.其缺点:各比例尺数据独立采集,造成人力、物力和财力的浪费;图形显示时不同比例尺的切换会出现明显的不协调和不连续现象;更新数据麻烦,保证数据的总体一致性较困难.

2)在数据库中最大比例尺的数据作为主导数据,基于这个数据版本,采用人机交互或自动的方法进行制图综合,派生出其他比例尺的数据版本,在一个数据库中形成多个比例尺的版本,各版本的同一地理要素之间有专门的联系.优点:节省重复采集数据所需的人力、物力和财力;在比例尺转换显示时不会出现不协调和不连续的现象;数据更新容易和易于保证系统数据的一致性;缺点:将多个版本的数据存放在一个数据库有时是难以实现的;各个版本有相当多的数据是重复的,造成大量数据冗余.

3)在数据库中按照一种称作反应数据结构的存贮结构存放系统中最大比例尺的数据,其他比例尺的数据隐含在存贮结构中,需要哪个比例尺的数据就从存贮结构中实时提取,不必另存这些数据.其具体做法:用线综合二叉树(BLG-tree)存贮线状对象(链或环),用反应树(Reactive-tree)存贮面状对象,用综合面分区树(Generalized Area Partitioning tree, GAP-tree)来防止反应树提取的数据出现空洞的现象.该方案的优点是数据的关联特性比较好,其缺点是只适合地图综合中的简化和选择两种方法综合的结果,对其它综合方法得出的结果无法存取;另外致使一个数据库中存储的数据过于庞大.

3.2 湖泊区域多尺度空间数据组织与管理

湖泊区域的多尺度空间数据问题,不仅体现在对同一区域的不同尺度表达上,而且还体现在同一区域内不同子区域采用不同空间尺度表达的问题,如整个湖泊区域的数据采集方法和尺度上表现为:湖泊水底的地形采用格网法测量,按照 1 5 000 的比例尺成图;沿湖泊周围或湖滨带则按照 1 500 的大比例尺进行数据采集和成图,而在湖泊流域则按照 1 1 万的比例尺成图,这样在整个湖泊流域存在不同比例尺的接边问题.处理方式采取:对于不同尺度的数据按照通用的模型如 GRD、TN 进行 DEM 的构建,这样在选择分辨率或格网大小时,势必造成大比例尺细部信息的丢失,生成的 DEM 模型在需要较高分辨率的湖滨带显得较粗糙,满足不了水资源管理(水资源调度和洪水淹没分析的需要),优点是简化了处理的步骤.我们按照 GRD 和 TN 两种模型组合方式分析,GRD 模式表达地形相对平坦地区,而 TN 模型能较好的顾及地貌特征点、线,逼真地表示复杂地形的起伏特征,三角形的大小、粒度可以调整.两者的结合可以适应地形多变的情况,而数据量可以适当控制.对于不同尺度区域采用不同的格网尺寸规定,在边界处,注意处理好接边问题,必要时采取人机对话方式,逐幅图件、逐一地区进行接边数据编辑,以不同的空间分辨率来表现地表信息,实现不同比例尺的数据接边吻合,以满足不同应用的需要.

4 数字高程模型的数据组织方法

数字高程模型数据组织的目的是要将所有相关的 DEM 数据通过数据库有效地管理起来,并根据其地理分布建立统一的空间索引,进而可以快速调用数据库中任意范围的数据,实现对整个研究区域 DEM 数据的无缝漫游^[5].数据库的功能首先取决于数据模型即库存数据的结构.为构建数据库,需要实现 3 种结构的转换,即:现象结构—概念结构—数据库结构.

数据结构研究的是数据逻辑关系的数据表示.它的抽象定义为:数据结构 B 是一个二元组 $B = (E, R)$,其中 E 是实体或称结点的有限集合, R 是集合 E 上关系的有限集合,两者的有机结合就是数据结构.

TN 模型是一种典型的矢量拓扑结构. TN 与 GRD 的存储方式有很大的不同,需要同时存储网点的高程值和网点的位置坐标 (X, Y) 以及描述网点之间拓扑关系的信息.采用点、线、面链表形式进行数据的存储和拓扑关系描述.

由于格网(Grid)模型在数据的组织方式的不同,它是以规则格网进行数据的采样,不同尺度下的空间数据的高程点取样差距非常大,因此生成的 DEM 会与实际有较大的差别,特别在不同尺度数据的接边处,很难实现平滑连续.按照 Grid 模型的 DEM 生成要求,由于不同尺度的数据采样方法不同,湖底采用的是格网数据,湖滨带和流域区(原数据)采用的是等高线采样,首先需要把等高线数据按照一定的格网单元(格网大小)进行格网的划分和格网点高程的内插,然后才能按 Grid 方法生成 DEM 模型.为了分析 Grid 和 TN 两种方法所生成的 DEM 的差异,可以采用反演的方法进行实验,即在用 Grid 和 TN 生成 DEM 后,再按照内插等高线的方法,重新生成等高线,然后再与原等高线进行比较,由此可以看出两种方法所建立的 DEM 的差异.通过分析比较可以看出,在地形比较复杂的区域用 TN 方法产生的 DEM 比较接近实际的地形,而用 Grid 方法生成的 DEM 的精度差,纹理较为粗糙.

5 结语

地理空间分析模型及专业分析模型的建立是数字湖泊系统建立必须解决的关键理论技术问题,同时涉及到多源、多尺度地理空间数据的组织、管理和应用问题.论文以数字洱海为例,通过对数字湖泊区域地

理空间分析内容和主要特征的分析,提出了相应的数字湖泊区域管理系统专业模型与地理空间数据结合的建模方式.同时对湖泊区域数字地形多尺度空间数据表达问题进行了探讨,分析并提出了数字高程模型的多尺度表达的方法和湖泊区域不同尺度空间数据的组织模式.通过这些问题的研究和解决,以期数字湖泊系统的研究和开发实施提供理论技术支撑.

参考文献:

- [1] 金腊华,徐峰俊.水环境数值模拟与可视化技术[M].北京:化学工业出版社,2004.
- [2] Daene CM, Ximing CL. GIS and Water Resources Management: Models an Object-oriented Method[J]. Environmental Modelling & Software, 2002, 17(5): 413 - 425.
- [3] Goodchild M F. A Spatial Analysis Perspective of Geographical Information System[J]. International Journal of Geographical Information Systems, 1987(4): 327 - 334.
- [4] Zhou Qiming, Yang Xihua, Melville, et al. GIS Networks Model for Floodplain Water Resource Management[C]. Proceedings of GIS AM/EM ASA '97 & Geo-Infomatics, Taipei, Taiwan, 1997, 26 - 29: 821 - 830.
- [5] Makarovic B. Progressive Sampling for DEMs[J]. IIC Journal, 1973, 4: 397 - 416.
- [6] 姚圣华,方源敏.利用凸壳建 TN 的算法研究[J].昆明理工大学学报:理工版,2006,31(2): 8 - 13.

(上接第 90 页)

4 结论

采用由含 Cu^{2+} , Fe^{2+} , Al^{3+} , Ca^{2+} 4 种金属离子的无机化合物按比例混配而成的新型除藻剂,对滇池富营养化水体进行除藻净化扩大试验.研究结果表明,应用新型除藻剂对滇池富营养化水体进行工程规模除藻净化是可行的.按常规方法向污染水体中投加新型除藻剂,在 5~8 天后即可获得较好的除藻净化效果.扩大试验期间,试验水体中藻类去除率大多保持在 70% 以上,最高可达 96.92%,能够达到迅速、持久、安全地从富营养化水体中去除蓝藻水华的目的.

与此同时新型除藻剂对污染水体中的总氮、总磷、高锰酸盐指数也具有一定的去除效果,投药 76 天后去除率都能达到 60%~90%;而且还可使水体澄清,改善水体的感观状况,有助于水生生态系统的恢复与重建.相反,这些污染物的去除与生态系统的恢复又促进了水体除藻过程.

由于自然系统的复杂与多变,水中金属离子浓度可能会低于新型除藻剂的设计浓度,使水体出现藻量反弹的情况.此时可以适量补投新型除藻以达到良好的除藻效果.

使用本研究的新型除藻剂对富营养化水体进行除藻净化,不仅效果显著、方法简单、对水生生物安全,而且成本较低,每处理 1 m^3 含藻污水仅需 0.19 元,是一种有着很好应用前景的水体除藻剂.

参考文献:

- [1] 徐旌. “富营养化湖泊治理及湖泊管理昆明国际研讨会”综述[J].云南地理环境研究,2002,14(2): 94 - 98.
- [2] 黄永泰.滇池污染状况及其治理[J].环境污染与防治,1999,21(4): 28 - 31.
- [3] 李小平.美国湖泊富营养化的研究与治理[J].自然杂志,2002,24(2): 63 - 68.
- [4] 孙珮石,许晓毅,毕晓伊,等.滇池水体除藻材料的除藻作用试验研究[J].安全与环境学报,2004,4(6): 3 - 6.
- [5] 孙珮石,许晓毅,刘竹仙,等.滇池富营养化水体新型除藻材料的试验研究[J].环境科学与技术,2004,27(5): 65 - 66.
- [6] 孙学习.新型湖泊除藻剂对滇池富营养化水体的应用基础研究[D].昆明:昆明理工大学,2005.