

文章编号 1001-8166(2002)04-0497-06

流域地理景观的 GIS 数据三维可视化

袁艳斌^{1,2}, 张勇传¹, 王 乘¹, 袁晓辉¹

(1. 华中科技大学水电与数字化工程学院, 湖北 武汉 430074 ;

2. 中国地质大学资源学院, 湖北 武汉 430074)

摘 要 应用以“GIS”为核心的空间信息技术,是开展“数字流域”工程建设自然和最佳的选择。结合“清江流域水文水情与洪水演进仿真系统”的具体研制,分析流域地理数据特点及传统 GIS 在“数字流域”建设中的优缺点,在应用传统 GIS 二维方式展示形式管理和预处理先期各类基础流域地理空间数据及其相应属性数据的基础上,为满足仿真系统系列三维可视化要求,建立面向流域空间实体对象的数据模型,定义流域地理空间对象数据结构,将流域地理常规的 GIS 数据以三维形式展示,在实际的系统开发过程中,取得较好的三维可视化效果,并可满足“数字清江”建设各阶段综合处理、分析、评价、决策以及可视化等方面的需求。

关键词 数字流域;GIS;面向对象数据模型;三维可视化;清江流域
中图分类号 P208 TV122 文献标识码 A

地理信息系统(GIS)技术的发展,使得人们已经认知了GIS的巨大潜在作用,其应用领域正逐步扩大,对它的需求也随着专业领域的数字化要求而越来越高。正因为GIS是对地球空间数据进行采集、存储、检索、分析、建模和表示的计算机系统^[1],所以它为“数字流域”^[2]建设提供了在计算机辅助下对遥感、遥测、地理、水文、河网、交通等多源地表空间信息进行综合分析和解释的有力工具,是开展“数字流域”研究最自然的选择,特别是在数字流域建设中多源流域空间源数据的综合采集、管理及预处理初期阶段,主要是对原始二维数据的联机获取、分类及综合处理、一体化管理、检索及查询,GIS与其它DBMS、计算机辅助制图系统相比,存在显著的特点^[3]。随着行业服务的社会化及计算机可视化技术的发展,GIS传统的二维方式展示形式已不能满足“数字流域”工程建设后期阶段综合处理、分析、评价、决策以及可视化等方面的需求,特别是对于那些非专业用户,应用传统GIS符号表示法形成的二维图件,不仅理解困难,而且难以被接受,其结

果是很难将运用GIS技术开发的应用系统加以推广,这点已被广大GIS应用开发者所认识。目前,已有产品如用于Helava-Leica数字摄影测量工作站的软件包Socet-Set,能够让作业员在工作站上测量的同时,适时地将研究对象转换成三维模型;又如加拿大的Optech公司,利用激光技术,用飞行过程中获取的信息产生三维模型等。

1 流域地理数据源

作为“数字清江”工程建设基础内容的清江流域地理基础数据库,将大量依据历年来所测绘、测量及调查的数据,很大部分是通过遥感、遥测、地面测量(RS、GPS、DPS等)及调查所获取的基础地理空间数据及其相应的属性数据。数字地理环境的建立,所涉及的信息类型多,包括文字、数字、图形、图像,信息量大。各类数据都从不同的侧面真实反映了流域地理环境的客观性,具有强烈的空间性,这种空间性包括大量图形数据、图像数据等。获取的主要技术手段有遥感解译、航空测量、GPS接收、实地测绘

收稿日期 2001-05-28,修回日期 2001-08-29.

* 基金项目 清江开发总公司“十五”重点科技攻关项目资助.

作者简介 袁艳斌(1970-),男,湖北恩施人,博士后,主要从事地理信息系统和数字流域研究. E-mail: ybyuan@cug.edu.cn

等,数据来源有栅格地形图、遥感航测图像、前期各类比例尺地形、地貌、水文、土质及相关地质等图件。

流域地理源数据所涉及到的数据类型有图形型数据、字符型数据、数值型数据、日期型数据 4 类^[4],除此,流域地理环境的研究还涉及大量的图像数据。图形和图像型数据相辅相成,是建立流域地理景观的主要研究对象,所占比例最大,其中主要的图形数据是指对相应比例尺的地形底图进行数字化形成包含等高线信息的数字地图矢量数据(或直接采用遥感遥测影像进行立体相对,交互式提取地形等高线),以及用传统方法所绘制的各种成品图件,它们既非定量数据也非定性数据,但在一定条件下可以转化为定量数据(矢量化);而图像数据则是大量的遥感解译图片(TM、SPOT)和航拍照片等,它们既可以生成正射影像,快速通过立体相对提取地形等高线,为建立三维地形格架提供数据源,也可经计算机图像处理作为地貌纹理,贴到三维地形曲面上,构成真实生动的流域地貌景观,数值型数据包括地形控制点、不同级别的各类边界参数、GPS 接收数据、河道断面宽度、纵向河降比、枯水期水位等,是进行流域地理景观生成时必须具有的,而且有些流域地理空间数据的表示也必须通过这些数值型数据分析得到,如非纹理映射所需的特征控制点等,同时“数字流域”工程后期的分析、决策也是依据流域地理的数值型数据进行的;字符型数据主要包括城镇居民点、流域名及控制点的标注等,是一种辅助信息;日期型数据则是反映流域在不同时期及时间段的变化(如枯水期和洪水期等)。

2 流域地理数据源 2D GIS 管理

现今流行的 GIS 数据结构及数据展示形式基本上属于 2D GIS 范畴,2D GIS 在“数字流域”工程建设的某些环节(如虚拟流域场景、洪水演进立体动态仿真等)表现出明显的不足。尽管如此,地理信息系统在以空间信息为主要研究对象的行业领域所表现出的阶段性作用是具有普遍适应性的。

由于上述流域地理数据源在表现形式上多是(90%以上)二维的空间数据,因此,以 2D GIS 为主要技术手段来管理和预处理流域地理多源空间数据,是必要的和可行的。其核心就是:在参照国家标准和行业标准的的基础上,对各种技术手段所获取的上述流域数据类型按照不同级别精度要求,加以划分成类、子类,分别检查入库,达到在 GIS 中多源信息的联机管理目的,把所涉及的矢量图形及其属性

特征划分成面实体(polygon)、线实体(polyline)、点(point),并在预处理的各个环节逐步输入计算机,形成各类基础数字地理底图等图层,即多个面实体图层、线划图层及点数据库图层(点图层),除图像图层外,各图层均可以属性表的方式表示其图面要素的特征,不同图层按要求互相叠加,可以形成多种二维流域基础图件,如地形图、河网分布图、城镇居民点分布图、防洪及泄洪区分布图等。在此基础上,对不同图层进行解释、分析及叠合,开展综合研究工作,为三维流域地理景观的建立及模拟仿真提供基础数据源。这种应用型 2D GIS 展示形式可使数字流域建设的专业人员从资料收集到资料的管理更充分,内容表现的形式更丰富多样,利用程度更为广泛,并便于全流域的统一管理和社会服务。具体说,主要表现在以下几个方面:

(1) GIS 不仅可以像传统的 DBMS 那样,在流域数字地理环境建设的基础数据库中管理数字和文字(属性信息),而且可以管理流域地理大量的空间信息(图形、图像);同时,GIS 可提供多种空间分析的方法对多种不同的流域地理空间信息进行综合分析解释,解决流域各类实体之间的相互关系,分析在一定流域区段或区域发生的各种现象和过程,并提供快速一体化查询检索流域中空间和属性信息。

(2) 方便实时的流域动态数据更新,随着科学技术的进步,一些新理论、新认识、新技术不断出现,原有流域相关资料必须进行修改补充,利用地理信息系统在计算机上可很容易地对已有资料从空间和属性两方面进行联机修改、增删、位移等项编辑,而不需要重新从头做起。在 RS、GPS 等支持下可提供实时动态更新。

(3) 可拓展流域资料的二次开发利用,以原有各类流域资料为基础,按不同部分、不同用户要求可灵活地查询不同层次的内容。如流域数字地理底图的各个图层(河流、河网、行船河道、交通、行政区划界线、等高线、各种注记等),用户可根据自己的需要选择不同的图层,然后叠加自己的内容,如流域水文、环境、土地、林业、城市等,形成各种专题资料。

尽管数字流域中许多问题可以用地表二维图形来解决,但是针对地理景观及洪水运动的三维可视化有 3D GIS 支持提供综合分析流域三维问题的能力,是数字流域建设的最终需求。数字流域工程建设中的维数包括 2D、2.5D、3D 和 4D^[5],实际工作中,什么问题需要用三维问题来解决,存在一些模糊和混淆的概念。一些 GIS 将把地形高度作为一种特

定的空间类型来对待,也是随空间属性的变化而变化,这种方法作为 2.5D 来应用,呈现出了地形、地貌的三维效果(透视图)^[6],可以借鉴它来研究用于三维展示的流域地理 GIS 空间数据形式。

3 “数字流域”建设中 GIS 数据三维展示的必要性的必要性

我们知道任何复杂的数据如果以视觉的形式表现是最易理解的,可视化技术使人能够在三维虚拟世界中,对具有形体的信息进行操作和分析。“数字清江”工程建设内容要求必须在流域地理数据基础上应用三维可视化技术,具体包括对流域地形、河道和水体的色彩处理、光线处理、纹理映射、动画、雾化效果、透明处理,等等。但由于 2D GIS 将实际的三维事物采用二维的方式表示,具有很大的局限性,大量的多维地球表面空间信息(如地形起伏的椭球表面投影到二维平面)无法得到充分的利用^[7]。因此,“数字清江”要求对流域地理空间进行三维描述,使人类能够突破空间限制,共享流域地理空间的各种信息。2D GIS 在地质、水文等方面的应用面临严峻挑战。

在建立“数字清江”过程中去重点研究 3D GIS 的理论、实现方法和技术,是不可取的,我们知道,时间维在“数字流域”的研究中,也是极为重要的,是否又要去研究 4D GIS 呢? 3D GIS 研究对象是三维空间,必须能对与三维对象相关的信息建模、表示、管理、操作、分析和决策,3D GIS 所处理的对象是从二维到三维的转变,不只是意味着数据量的增大,更重要的是会导致出现很多不同的对象类型和空间关系。因此,3D GIS 的研究不是对 2D GIS 的简单扩展,而是从空间模型分析到空间数据库的结构直至三维数据的可视化,都必须进行系统的研究^[8],这种 3D GIS 的数据结构和数据模型是地理信息系统领域研究的瓶颈和难点,至今没有很好的解决方案和达成共识。“数字清江”研究的主要目标是对清江流域空间信息及其相应属性信息的数字化综合获取、管理、预处理、分析、评价、决策及可视化,GIS 是“数字流域”建设的重要技术手段,已承担并较好地胜任了从数据采集、综合管理及预处理阶段的任务,且提供多种支持三维可视化系统的数据接口,在没有真 3D GIS 的前提下,研究 2D GIS 的 3D 数据展示形式是必要的和可行的。

目前“数字流域”实验的部分阶段使用的某些 GIS 软件,采用建立数字高程模型的方法来处理和

表达地形的起伏(如应用 MapGIS、ARC/INFO、ER-DAS 等)通过研究用于三维可视化的数据转换形式,就能达到“数字流域”地理景观三维可视化的效果。一些商用 GIS 软件系统中,也加入了准 3D GIS 模块,如 ARC/INFO 的 IMAGINE VirtualGIS 模块,能在实时三维环境下,提供 GIS 分析和实时三维飞行方式的访问和漫游。但这些商业化的 3D GIS 软件系统主要集中于二维表面地形的分析,仅将数据在三维环境中进行显示,不是真正的三维 GIS 系统,李德仁等^[9]称之为 2.5D GIS 系统。在这点上,是“数字流域”工程建设的可视化解决方案的可取之处,在已进行的“洪水演进仿真系统”研制过程中取得较好效果。

4 流域地理常规 2D GIS 数据的 3D 展示

为了建立自然界复杂地形地貌的三维景观,GIS 应用研究部门通用的做法是寻找一种合适的数据结构 and 数据模型,建立 3D GIS 以解决自然地理空间实体的三维可视化。世界范围内对三维空间数据结构和数据模型进行了大量的研究,最初是集中在栅格或者说是体元方面(Goodchild,1990),结果在位置表达和实体间关系表达方面表现出明显的不足,继而开始三维的矢量数据模型研究^[10],扩充二维矢量数据结构,将点、线、面要素扩展到体,这种模型在表达规则的实体方面有实用价值,同时,它把三维实体假设成均值,导致对于如地质和水文这些复杂特殊的三维自然现象难于表达。目前 3D GIS 空间数据模型的研究主要是在二维空间数据模型和三维实体造型系统上发展起来的,主要有基于镶嵌数据模型中的八叉树及四面体网格表示法^[11]、基于矢量数据模型中的边界表示法和将上述几种方法相结合的混合模型^[12]。这些模型无论在理论研究还是实验技术上,都还存在着很多不足。所存在的主要问题是缺乏对三维空间实体内部的描述,难于表达不规则形状的空间实体并实现插值运算,缺乏具有互斥性与完备性的空间实体间拓扑关系定义及描述方法,在系统的一致性检验及空间实体的表达精度、数据的动态维护及存储空间等问题上均缺乏深入的研究^[13]。

我们的流域地理基础空间数据是用常规 2D GIS 所管理的,为了建立“洪水演进”仿真模拟系统所需的流域 3 维地理景观背景,针对 3D GIS 空间数据模型研究所存在的问题,我们在 2D GIS 成熟的数据模型和空间数据结构基础上,借鉴 3D GIS 空间数据模型和结构建立的成果^[14],根据流域地理源数据

类型 结合面向对象系统工程的理论和方法^[15],构造一个面向流域地理空间实体对象的空间数据模型。同时,定义一个称为空间地物的超类,将一些对流域地理相关实体的共性操作包含在里面,它是点状地物、线状地物、面状地物、体状地物、复杂地物的超类。为了便于表达和计算机编程语言处理,再设立 1 个数据结构——位置坐标(Location),它与定义的地物类不同,类中的对象必须有对象标识,位置坐标不带标识,在 2D GIS 中是两个浮点数,在此定义成 3 个浮点数(见表 1)。这样,对流域地理空间实体可抽象为类空间对象和一个数据结构,它们包括结点一点状地物、弧段、线状地物、面状地物、数字表面模型、断面、影像像素、体状地物、数字立体模型、体元、复杂地物和空间地物及位置坐标。为了减少数据冗余,采用以结点和弧段为基础的数据组织形式,即只有结点和弧段才包含空间位置信息,其他空间对象都是由这些基本结点和弧段构成的。他们之间的关系可以用图 1 所示的数据模型表示。

表 1 位置坐标结构(假定采用经纬度地理坐标系)

Table 1 Structure of locations' coordinate

字段名	字段类型	字段描述	字段域	字段特征	说明
X	浮点	经度	-180 ~180		如果是绝对地理
Y	浮点	纬度	-90 ~90		坐标,则在元数
Z	浮点	高程			据中说明

为此,在位置坐标基础上可定义流域空间数据如下 3D 展示形式的数据结构:

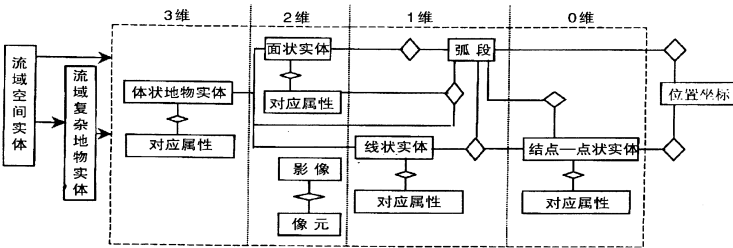


图 1 面向流域地理空间实体对象的数据模型

Fig.1 Object-oriented data model of spatial entities of valley

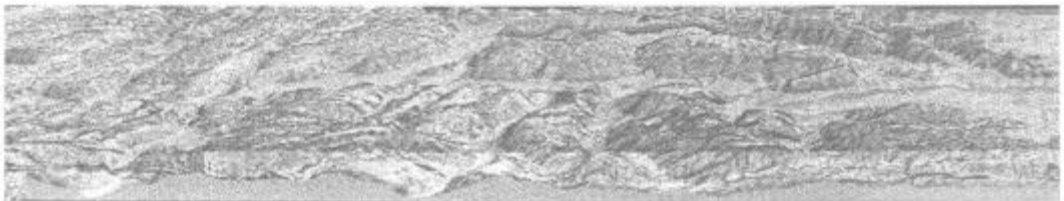


图 2 清江流域地理景观的三维可视化展示(带有洪水淹没模拟)

Fig.2 3 dimensional rendering of geographic sight of Qingjiang valley

结点一点状(Node-Point)地物对象是一个元组: [Point ,Nid ,UserID ,Location]

弧段(Arc)对象是一个元组: [Polyline ,Aid , UserID ,Location (i)]

线状地物对象(Line)是一系列结点一点状对象形成的一个元组: [Line ,Lid ,UserID ,Nid]

面状地物对象(Region)是在弧段对象上建立的一个元组: [Region ,Rid ,UserID ,Aid]

体状地物对象(Body)则是基于面状对象的一个元组: [Body ,Bid ,UserID ,Rid]

复杂地物对象则是基于系列网状弧段对象构成的元组: [Complex ,Cid ,UserID ,Aid ,ObjectID]

一个静态图像数据也可以看成是一个元组: [Pid ,Ft ,B₁ ,B₂ ,... ,B_n]

其中,*id 是对应于各类流域空间对象的标识码,它用来确定该实体所属类别;UserID 是用户给定的识别号,不给定则由系统顺序给定;ObjectID 是各个子对象标识,用于定义 Complex 对象中包含的各类子对象;Pid 是相应流域空间实体的静态图像数据标识(内定为 image),Ft 为其存储格式(系统支持的图像格式有 BMP、JPG、TIF);B₁、B₂、...、B_n 为图像的二进制内容。

5 结 语

所采用的这种复杂空间数据的定义形式,涉及

到大量的对象嵌套关系和变长记录,如果转化成关系数据模型,还要增加许多关系联接表,以符合范式的要求。结合流域地理对象实体及实体对象间的关系,采用的面向对象数据模型表明了一个显著的特点,即一个类使用一个相应的数据结构,无论多么复杂,包含多少对象的嵌套关系,都可以用一个元组(或结构表)来表示,一个对象对应于结构表中的一条记录,使得理解这一模型非常容易和自然。作者在“洪水演进仿真系统”研制过程中,用实际清江流域的地理空间数据,通过前述方法定义 3D 数据形式进行的清江流域地理景观三维可视化展示(如图 2)取得了较好效果。

参考文献(References):

- [1] Bian Fuling. Principle and Method of Geographical Information System [M]. Beijing: Surveying and Mapping Press, 1996. 279-282. [边馥苓. 地理信息系统原理和方法[M]. 北京: 测绘出版社, 1996. 279-282.]
- [2] Zhang Yongchuan, Wang Cheng. Digital valley—An important regional of digital Earth [J]. Sciences Journal Hydroelectric Energy, 2001, 19(3): 1-3. [张勇传, 王乘. 数字流域——数字地球的一个重要区域层次[J]. 水电能源科学, 2001, 19(3): 1-3.]
- [3] Yuan Yanbin, Jiang Yanhui, Wang Xinqing. Research into integrated development of engineering geological information system for Three Gorges Dam [J]. Earth Science—Journal of China University of Geosciences, 1999, 24(5): 540-542. [袁艳斌, 姜一晖, 汪新庆. 三峡坝区工程地质信息系统集成开发研究[J]. 地球科学—中国地质大学学报, 1999, 24(5): 540-542.]
- [4] Zhao Pengda, Hu W angjiang, Li Zijin. Statistics Prediction of Mineral Deposits [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1983, 27-30. [赵鹏大, 胡旺亮, 李紫金. 矿床统计预测[M]. 北京: 地质出版社, 1983. 27-30.]
- [5] Keith Turner A. Distinction with 2-dimension, 2.5-dimension, 3-Dimension and 4-Dimension [J]. GIS World, 1997, (3): 54.
- [6] Keithturner A. Three Dimensional Modeling with Geoscientific Information Systems [M]. New York: Kluwer Academic Publishers, 1992. 126-132.
- [7] Michael F. W orboys. GIS: A Computing Perspective [M]. New York: Taylor & Francis Ltd, 1995. 30-52.
- [8] Li Deren, Gong Jianya, Bian Fuling. Method of organization and disposal about GIS data. Enforcement of the course of household electrical appliances [J]. Bulletin of Surveying and Mapping, 1994, (1): 28-37. [李德仁, 龚健雅, 边馥苓. GIS 的数据组织与处理方法[J]. 测绘通报, 1994, (1): 28-37.]
- [9] Li Deren, Li Qingquan. The formation of geo-spatial information science [J]. Advance in Earth Sciences, 1998, 13(4): 319-326. [李德仁. 论地理信息科学的形成[J]. 地球科学进展, 1998, 13(4): 319-326.]
- [10] Molenaar M. A topology for 3-D vector maps [J]. ITC Journal, 1992, (1): 25-33.
- [11] Li Deren, Li Qingquan. Study on a hybrid data structure in 3D GIS [J]. Acta Eodaetica et Cartographica Sinica, 1997, 26(2): 128-133. [李德仁, 李清泉. 一种三维 GIS 混合数据结构研究[J]. 测绘学报, 1997, 26(2): 128-133.]
- [12] Shi W. An hybrid data model for three-dimensional GIS [A]. In: Proceeding of Geoinformatics 96 Wuhan—International Symposium [C]. Wuhan: Wuhan Technical University of Surveying and Mapping Press, 1996. 400-409.
- [13] Guo Wei, Zhan Ping, Guo Jing. 3D spatial data modeling for geographic information system [J]. Jiangxi Science, 1999, 17(2): 77-83. [郭薇, 詹平, 郭菁. 面向地理信息系统的三维空间数据模型[J]. 江西科学, 1999, 17(2): 77-83.]
- [14] Gong J, Li D. Object-oriented models for thematic data management in a GIS [J]. Australia Journal of Geodesy, Photogrammetry and Surveying, 1992, (56): 37-48.
- [15] Shao Weizhong, Yang Fufeng. Object-oriented system analysis [M]. Beijing: Tsinghua University Press, 1998. 1-41. [邵维忠, 杨芙清. 面向对象的分析[M]. 北京: 清华大学出版社, 1998. 1-41.]

THREE-DIMENSIONAL VISUALIZATION OF GIS DATA ABOUT VALLEY GEOGRAPHICAL SIGHT

YUAN Yan-bin^{1, 2}, ZHANG Yong-chuan¹, WANG Cheng¹, YUAN Xiao-hui¹

(1. College of Hydropower and Information Engineering, HUST, Wuhan 430074, China;

2. Faculty of Earth Resources, China University of Geosciences, Wuhan 430074, China)

Abstract: Spatial information technology based on the “geological information system (GIS)” is the natural and best way for building “Digital Valley” engineering. Aiming at study and development of simulation system of flood routing and regimen and hydrology in Qingjiang River, this paper analyses valley’s geological data feature and advantages and disadvantages of traditional GIS in “digital valley” engineering. In order to satisfy three-dimensional demands of simulation system, this paper addresses object-oriented spatial data model and data structure of valley’s geographical entities based on traditional GIS which manages and deals with various previous basic geographical spatial data and attributes of valley in two-dimensional format, which displays valley geographical sight according to three-dimensional format, and satisfactory effect can be achieved in real study. This three-dimensional data format can meet various demands of “digital Qingjiang” engineering at various stage, such as integrated transaction, analysis, evaluation, decision-making and three-dimensional visualization.

Key Words: Digital valley; Geological information system; Object-oriented data model; Three-dimensional visualization; Qingjiang valley.