

数字流域构建的理论、技术及方法研究

李壁成^{1,2}, 李晓燕³, 李世华⁴, 阎慧敏⁵, 安韶山^{1,2}, 郝仕龙^{1,2}, 全 斌^{1,2}

(1. 中国科学院水利部水土保持研究所; 2. 西北农林科技大学, 陕西 杨陵 712100;

3. 中国科学院东北地理与农业生态研究所, 吉林 长春 130012;

4. 中国科学院遥感应用研究所遥感科学国家重点实验室, 北京 100101;

5. 中国科学院地理科学与资源研究所, 北京 100101)

摘 要: 论文对构建数字流域的理论、技术方法进行了分析与探索, 集成本课题组多年研究成果, 在高空间分辨率遥感数据处理模式、流域空间数据库等方面进行了研究。根据用户需求分析及计算机软硬件等信息技术发展, 作者认为“数字流域”可分为初级、中级和高级 3 个发展阶段, 这将是不断发展和完善的过程。

关键词: 数字流域; 数字地球; 理论与技术; 方法研究

中图分类号: S157.1; TP79

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2005)03-0095-04

Research on Theory, Technology and Method of Construction of Digital Watershed

LI Bi-cheng^{1,2}, LI Xiao-yan³, LI Shi-hua⁴, YAN Hui-min⁵,

AN Shao-shan^{1,2}, HAO Shi-long^{1,2}, QUAN Bin^{1,2}

(1. Institute of Soil and Water Conservation, CAS & MWR;

2 Northwest Sci-tech University of Agriculture and Forestry, Yangling, Shaanxi 712100, China;

3 Northeast Institute of Geography and Agricultural Ecology, CAS, Jilin, Changchun 130012, China;

4 The State Key Laboratory of Remote Sensing Science, Institute of Remote

Sensing Applications, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China;

5 Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, CAS, Beijing 100101, China)

Abstract: The authors analysed and explored the theory, technology and method of construction of digital watershed, which integrated the result of research group, including high resolution remote sensing data settlement model, watershed special database, etc. According to analysis on user needs and the development of computer software and hardware, the evolution of digital watershed can be divided into three stages: initial stage, middle stage and high stage, which is a gradual and ameliorative processing.

Key words: digital watershed; digital earth; theory and technology; method

1 从“数字地球”到“数字流域”

1994 年 4 月美国总统克林顿发布了 12906 号总统令: “协调信息获取和建立国家(地球)空间数据基础设施(NSDI)”^[1], 耗资上千亿美元实施“信息高速公路”计划。在此基础上, 1998 年美国副总统戈尔提出了“数字地球”(Digital Earth)的概念, 即一种可以嵌入海量地理数据、多分辨率和三维的地球表示。“数字地球”是对真实地球及其相关现象的统一的数字化认识, 是以因特网为基础, 以空间数

据为依托, 以虚拟现实技术为特征, 具有三维界面和多种分辨率浏览器的面向公众开放的系统。“数字地球”的兴起, 标志着以数字化为核心的信息技术社会化、全球化, 对政府决策、电子商务、国防军事及资源环境和区域可持续发展等领域产生了巨大的影响。

“数字地球”概念的提出, 受到全世界的广泛关注。我国政府和科技界对此高度重视, 一致认为: 加快发展中国的信息产业, 建设国家信息基础设施, 构建中国的“数字地球”, 是跨入 21 世纪知识经济时代的发展战略。对此国家有关部门和学者

举行了多次咨询会和学术研讨会。1999 年 11 月底召开了首届“数字地球国际会议”,通过了“‘数字地球’北京宣言”^[21],这标志着我国“数字地球”研究与规划进入一个新的阶段。

数字地球(DE)、数字中国(DC)的提出,加速了中国的数字化进程,继数字城市之后,“数字黄河”、“数字黄土高原”的研究相继展开。黄土高原以其深厚的黄土沉积和强烈的水土流失对我国甚至东亚地区环境变化产生强烈影响。同时黄土高原又以其十分丰富的能源及自然资源,在西部大开发中占有重要地位。建国以来,黄土高原经过了多次科学考察和深入系统的试验研究,积累了丰富的遥感地理数据,1 250 000 DEM 已经覆盖了整个黄土高原,部分小流域已经编制了 1 5 000 和 1 10 000 正射影像图,5 m × 5 m 和 10 m × 10 m 格网的 DEM 数据。这些都为“数字黄土高原”的建立提供了全方位的数据支持。“数字流域”是“数字黄土高原”的缩影,是把数字地球的理论、技术和战略应用到流域的信息化、智能化建设和可持续发展的具体体现。

2 构建“数字流域”的理论与关键技术

2.1 “数字地球”的概念与理论

“数字地球”是从更高层次、系统论和一体化的角度来组合和应用已有和正在发展的理论、技术、数据和能力(含人员、软件、硬件),从而更广泛、更深入、更有效地为社会发展和经济建设服务。“数字地球”从空间数据的组织、管理和位置查询方面为不同的地学应用提供了保证,并可满足空间数据的采集、转换、存储、检索、处理、分析、产生和显示等要求,是一种特殊的信息系统。它伴随地学研究的飞速发展和 IT 技术的突飞猛进,正在从网络共享、虚拟现实、数字化生存、数字经济等模糊概念向一个以三维空间和多维信息处理为目的、能够真正共享与处理实时地球信息概念体系过渡。“数字地球”一经提出,就与可持续发展战略密不可分,已经演进为国家的可持续发展战略的重要内容和保障。“数字流域”是“数字地球”的微观化与精细化的应用和发展。

2.2 “数字流域”的关键技术

2.2.1 数字摄影测量与“3S”技术

全数字摄影测量系统 DPS (Full Digital Photogrammetry System) 是基于摄影测量学原理,应用计算机技术模式识别等理论和方法,从影像提取所摄对象用数字方式表达的几何与物理信息的综合测绘处理系统。近几年来全数字摄影测量系统已由军事应用逐步向民用发展,以全新的视觉效果,应用于立体摄影定位、三维立体测图、影像地图制作和三维真实感景观的生成等。

近一二十年来,“3S”技术高度发展,并与数字摄影测量系统(DPS)相结合,即通过全球定位系统(GPS)进行导航、定位获取高精度的控制点三维坐标,遥感技术(RS)实现了全数字化与自动、半自动化获取空间信息,地理信息系统(GIS)与网络技术(INTERNET)的发展使空间信息走向电子化、网络化,反映了现代测绘领域高新技术的集成与相互渗透。全数字摄影测量系统生成的产品主要是“4D”产品和三维透视景观图(3D perspective scenes)等。以“4D”产品为

代表的数字空间信息产品将逐步成为国家基础地理数据库的重要组成部分,在美国、中国等国家,DEM 作为数字地形模拟的重要成果已经成为国家空间数据基础设施(NSDI)的基本内容之一,并被纳入数字化空间数据框架(DGDF)进行规模化生产。数字摄影测量技术的发展为三维流域数据的获取提供了最经济、便捷的方法。随着全数字摄影测量与 3S 空间信息从宏观到微观的精确化、实用化趋势,为构建“数字流域”的三维空间信息基础提供了平台。

2.2.2 “4D”技术

20 世纪 60 年代美国建立了世界第一套全数字摄影测量系统 DAMCS (digital automatic map compilation system),标志着测绘产品模式开始由传统模拟产品转向数字化产品。90 年代末产生的“4D”技术,即指 DEM (Digital Elevation Model 数字高程模型)、DOQ (Digital Orthophotoquad 数字正射影像图)、DRG (Digital Raster Graph 数字栅格图)、DLG (Digital Linear Graph 数字线划图)或 DTI (Digital Thematic Image 数字专题图)4 种数字产品的开发与生产技术,它集合了“3S”技术、数字摄影测量等技术,正在发展成为现代测绘产品的基本模式。中国国家测绘局已将“4D”产品纳入规模化生产并在全国范围推广。这为“数字流域”的数据采集与框架构建提供了理想的技术支撑。

2.2.3 虚拟现实(灵境)技术

虚拟现实(VR—Virtual Reality)是 20 世纪末发展起来的高新技术综合集成技术,涉及计算机图形学、人机交互技术、传感技术、人工智能等领域。VR 通过计算机生成逼真的三维视、听、嗅等感觉,使佩带各种设备参与者在虚拟现实环境中感受与交互,犹如身临其境,是人类的自然技能与计算机的完美结合。OpenGL 图形标准的引入以及微机三维图形加速卡的出现,极大地推动了三维图形编程和研究的发展。目前,虚拟飞行、虚拟路径徒步穿行等在一些软件上已能方便实现,这为“数字流域”景观全景模拟提供了条件。

2.2.4 海量数据存储与处理

海量数据泛指巨量的事务性数据,目前已发展到专指巨量浩瀚的空间数据。随着激光全息存储等技术开发的巨大进展,存储千万亿字节级的数据技术日趋成熟;新的压缩技术和激光技术可在光盘上空纳数个 Gb 的数据。先进的压缩技术也将使在网络上移动海量数据、图像数据成为可能。处理巨量空间数据的空间数据仓库技术正在研发之中。因此,数字流域将在处理海量空间数据集、更高空间分辨率的遥感图像、更复杂的空间和地学分析模型等得到更好的显示和可视化输出。

2.2.5 通讯、网络技术

随着通讯、网络的发展,电话通讯网、计算机网络和有线电视网络将逐渐融合而“三网合一”,同时与卫星通讯系统、移动通讯网等构成的天地空一体化网络,并向高带宽、多媒体方向发展,提供了“数字流域”的外部网络环境。随着千兆以太网 ATM 以及第三层交换技术从实验室走向应用,将解决空间数据及多媒体海量数据传输的带宽和延迟的问题。

2004 年 12 月 25 日,我国第一个全国性的下一代互联网

建成开通,并将首先在科研和教学领域应用。这也是迄今为止世界上规模最大的下一代互联网。这个网络是采用的最先进的网络协议版本 6-IPv6,可以连接全国 20 个城市、100 多所高校和科研单位,主干网传输速度可以达到每秒 10 G 字节,也就是说理论上的一部 DVD 电影可以在 4 s 的时间里传输完成。与现在普遍使用的互联网相比,传输速度提高 1 000 倍以上。同时通过下一代互联网还可以将家中的每件电器连接到网上,在未来可能我们仅用一部手机就可以随时随地控制家中的一切了。IPv6 将把地址长度扩展至 128 位,共计约 3.4×10^{38} 个地址,是 IPv4 地址空间 (2^{32}) 的近 1 600 亿倍 (2^{96})。

3 “数字流域”的信息源与高空间分辨率遥感信息处理模式

3.1 “数字流域”的信息源

在信息资源中,地理信息是最重要的资源,据有关资料指出,目前世界上 80% 以上的信息为地理空间信息或与之有关的信息,1998 年 9 月 12 日,戈尔在美国 Brookings 研究院的一次讲演中,反复提到要广泛应用地理信息。目前遥感卫星数据已达到亚米级的高空间分辨率水平(高空间分辨率为优于 5 m 以上的全色或多光谱遥感数据),1994 年 3 月 10 日美国克林顿政府颁布了关于商业遥感数据新政策,解禁过去不准 10~1 m 级分辨率图像商业销售,使得高分辨率卫星遥感成像系统研发迅速发展。这不仅为遥感应用提供了新的高质量信息源,开创了遥感工程化应用的广阔前景,而且也“数字流域”的构建,提供了前所未有的理想信息源。

表 1 三种高空间分辨率遥感卫星技术参数表

卫星名称	QuickBird (以色列)	Konos (美)	SPOT-5 (法)
发射时间	2001-10-18	1999-09-24	2001 年底
轨道高度/km	450	681	832
回访时间/d	1~3.5	1 m 分辨率 2.9 1.5 m 分辨率 1.5	1~5
图像分辨率/m	全色 0.61~0.72 多光谱 2.44~2.88	全色 1 多光谱 4	全色 2.5/1.5 多光谱 10
成像波段/ μm	蓝 0.45~0.52 绿 0.52~0.60 红 0.63~0.69 近红外 0.76~0.90	全色 0.45~0.90 蓝 0.45~0.53 绿 0.52~0.61 红 0.64~0.72 近红外 0.77~0.88	PA: 0.49~0.69 BO: 0.43~0.47 BI: 0.49~0.61 B2: 0.61~0.68 B3: 0.78~0.89 SWIR: 1.58~1.75

3.2 高空间分辨率遥感信息处理模式

传统的遥感卫星影像信息处理是建立在基于像素级别的光谱信息分析基础上的,而对于高分辨率遥感影像的理解和处理应是图像数据与目标特性之间的物理—机理联系,不仅仅是统计联系。充分挖掘高分辨率遥感影像信息的处理方法,是发挥其优势的关键。如适普公司开发的从影像几何纠正、DEM 提取、匀光镶嵌、图像融合,到矢量测图、信息自动提取、三维地理信息应用的整套方案,为高分辨率卫星遥感数据的处理与工程化应用,提供了较好的处理模式和解决方案,可供“数字流域”的构建参考与借鉴。

4 “数字流域”的发展阶段

根据“数字地球”的基本理论、计算机软硬件等信息技术

的发展情况,特别是用户需求分析,“数字流域”的发展过程可分为初级、中级和高级三个阶段。

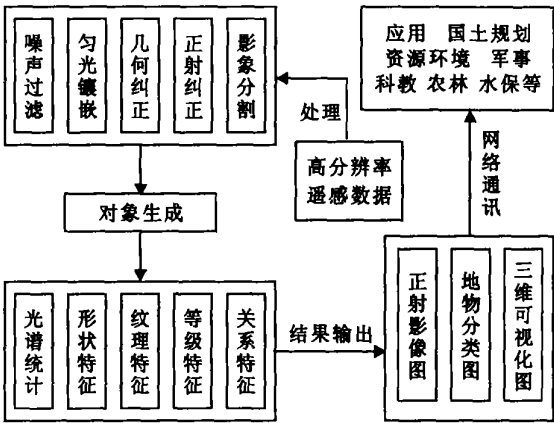


图 1 高分辨率遥感数据处理流程图

4.1 初级阶段

起步探索阶段。主要是依据用户需求分析,进行“数字流域”总体设计,研究拟定标准化体系,以 3S 为主要手段,建立流域基础数据库,并以 DEM、DOQ 为基础数据建立流域三维虚拟模型;根据空间信息基础框架的理论及规范,构建流域空间信息基础框架,为专题数据的加载提供统一的数据基础;并在土地资源、水土保持与土壤侵蚀等相关领域进行应用研究。

目前比较成熟的虚拟技术存在的主要问题是地理分析功能差,大多数 GIS 只能提供一些较为简单的三维显示—操作功能,这与真三维表示和分析还有很大差距,真正三维 GIS 必须支持真三维的矢量和栅格数据模型及以此为基础的三维空间数据库,解决三维空间操作和分析问题,因此在初级阶段基于 GIS 虚拟仿真模拟的技术尚处于探索之中。由于 GIS 带有空间位置特征的图像、图形数据和与此相关的文本数据,在互联网环境下,地理信息(图像、图形和与此相关的文本数据)的模型、传输、管理、分析、应用的理论与技术还处于发展阶段。虽然现在国内外 GIS 厂商争相发布各自的 WebGIS 产品,如 Map Info 公司的 Map Info ProServer、Intergraph 公司的 GeoMedia Web Map、ESRI 的 Internet Map Server (MS)、Autodesk 公司的 MapGuide。近年来 Bentley 公司和 Map Info 公司又相继推出了 Mode Server/Discovery 和 MapXtreme,国内 WebGIS 软件技术及新产品也取得了长足的进步,如:武汉奥发科技工程有取胜公司开发的 AF Internet GIS、国家遥感应用工程技术研究中心网络与运行工程部独立开发的地网 GeoBeans、武汉吉奥信息工程技术有限公司的 GeoSurf 等;CGI Server API Plug-in、ActiveX control、Java Applet 等主要 WebGIS 构建技术也发展起来,但实际操作中 GIS 网络化仍存在数据格式不兼容、已有 Web Server 价格昂贵、维护费用高、用户互操作性差等问题,使基于 GIS 的网络化数字流域现阶段难以实现。

4.2 中级阶段

“数字流域”试运行与完善阶段。在虚拟流域信息源上实现动态实时获取数据,在数据处理分析、管理方面实现计算机人工智能,在虚拟流域的应用上,实现基于网络的交互式

操作,智能化、交互性是该阶段的最大特点。专家系统、人工智能、神经网络等被融入到数字流域中,使流域在数据获取、分析、管理、应用方面实现高度智能化,自动化程度将大大提高。建立基于Java分布式服务系统,通过Java Applet构建用户端请求图形元素方式的系统体系结构,用户可以对所得到的图形元素或地图图像进行浏览、查询、并编辑生成新的图形,实现信息的智能化获取与交互性操作。管理上,分布式虚拟管理系统可以将平面管理的信息延伸至任意想象空间,流域虚拟再现成为现实。

4.3 高级阶段

“数字流域”全面网络化、社会化服务阶段。建成以各种高新技术集成于一体为特征的先进、便捷、实用化系统。数据

获取(包括空间信息的自动提取、基于特征的专题属性的知识挖掘技术、GPS、DOQ对流域空间信息和动态更新、图形的智能化生成等)、数据分析处理(包括各类叠加分析、统计分析、专题模拟、缓冲区分析、DTM模型分析等)、数据管理(包括基于纯面向对象数据库OODB的对象与底层表示分离、空间属性与非空间属性平等定位、实现属性数据和空间数据一体化管理体制)、数据应用(实现网络虚拟地理环境,让用户从不同应用角度的视点出发,利用自然的技能和某些设备对这一生成的虚拟世界客体进行浏览和交互考察、提供优化实施方案和动态模拟等)实现一体化。真正实现定位需求、定位感知、最优决策的个性服务,整个流域形成一个开放的、规范的、虚拟的、网络化的系统。

参考文献:

- [1] 陈述彭. 数字地球百问[J]. 北京: 科学出版社, 2000
- [2] 第一届国际数字地球会议“数字地球”北京宣言[J]. 遥感信息, 1999, (4): 9- 10
- [3] 李德仁. 国家信息技术设施、国家空间数据基础设施与“数字地球”[J]. 测绘学报, 1999, 12(1): 13- 16
- [4] 林宗坚. 关于构建数字地球基础框架的思考[J]. 测绘软科学研究, 1999, (4): 2- 4
- [5] 徐冠华. 构筑“数字地球”, 促进中国和全球可持续发展[J]. 遥感信息, 1999, (4): 10- 12
- [6] 张书煌, 吕良寿, 等. 全数字摄影测量与4D技术探讨[J]. 遥感信息, 2000, (4): 12- 17
- [7] 杨勤科, 李锐. 论数字黄土高原建设的若干问题[J]. 水土保持通报, 2000, 20(1): 33- 36
- [8] 李壁成. 小流域水土流失与综合治理遥感监测[M]. 北京: 科学出版社, 1995
- [9] AL Gore. The Digital Earth Understanding Our Planet in the 21st Century[R]. Los Angeles CA: the California Science Center (CSC), 1998
- [10] National Academy of Public Administration. Federal Government's Needs and Programs for Geographic Information [J]. Surveying and Land Information System, 1997, 57(4): 110- 115

(上接第94页)

- [22] Zhang J S. Plant physiology[M]. Xi'an: World Books Press Co, 2000
- [23] Leshem Y Y, Wills R B H, Ku V V V. Evidence for the function of the free radical gas nitric oxide (NO) as an endogenous regulating factor in higher plants[J]. Plant Physiol Biochem, 1998, 36: 825- 33
- [24] Leshem Y Y, Pinchasov Y. Noninvasive photoacoustic spectroscopic determination of relative endogenous nitric oxide and ethylene content stoichiometry during the ripening of strawberries *Fragaria ananassa* (Duch) and avocados *Persea Americana* (mill) [J]. J. Exp. Bot, 2002, 51: 1471- 73
- [25] Leshem Y Y, Wills R, Ku V. Application of Nitric Oxide (NO) for postharvest control[C]. Proc 4th Int Conf on Postharvest, 2001. 571- 575
- [26] Tu J, Shen W - B, Xu L - L. Regulation of Nitric Oxide on the aging process of wheat leaves[J]. Acta Botanica Sinica, 2003, 45: 1055- 1062
- [27] Nortake T, Kawakita K, Doke N. Nitric oxide induces phytoalexin accumulation in potato tuber tissues[J]. Plant and Cell Physiology, 1996, 37: 113- 116
- [28] Laxalt A, Beligni M V, Lamattina L. Nitric oxide preserves the level of chlorophyll in potato leaves infected by *Phytophthora infestans*[J]. European Journal of Plant Pathology, 1997, 73: 643- 651
- [29] Durner J, Wendehenne D, Klessig D F. Defense gene induction in tobacco by nitric oxide, cyclic GMP, and cyclic ADP-ribose[J]. Proceedings of the National Academy of Sciences USA, 1998, 95: 10328- 10333
- [30] Levin A, Tenhaken R, Dixon T, et al. H₂O₂ From the oxidative burst orchestrates the plant hypersensitive disease resistance response[J]. Cell and Developmental Biology, 1994, 79: 583- 593
- [31] Van Camp W, Van Montagu M, Inzé D. H₂O₂ and NO: redox signals in disease resistance[J]. Trends in Plant Sciences, 1998, 3: 330- 334
- [32] Beligni M V, Fath A, Bethke P C, et al. Nitric Oxide acts as an antioxidant and delays programmed cell death in barley aleurone layers[J]. Plant Physiology, 2002, 129: 1642- 1650