

综合地形分析系统探讨

王 欢 陆宝宏 苏 柳 马乐军 王 维

(河海大学水文水资源及水利工程国家重点实验室 江苏 南京 210098)

摘要 介绍美国针对现行海量地形数据管理应用不足的特点所建立的综合地形分析系统(EDNA)。该系统在 ACR/INFO 平台上分 3 个阶段进行地形信息提取、水文信息提取和流域分析 ,并对水系节点、平原区、闭合流域等困难问题进行了梳理。经国家水文数据库矢量图和其他航测图片验证结果精度较高 ,为我国建立全国河流主要特征基础数据库和基于 GIS 的河流信息管理系统提供参考。

关键词 EDNA ;数字地形分析 ;水文分析 ;流域分析 ;数据空间库

中图分类号 :TV212 文献标识码 :A 文章编号 :1006-7647(2009)S1-0048-03

地形因素是影响环境变迁、水文过程、生物分布、地貌特征等的重要因素。地形属性的空间分布特征一直是人们用来描述这些空间变化过程的重要指标^[1]。地形信息的获取、表示、管理与分析技术对国防、灾害监测、资源调查和环境治理与保护等研究具有重要意义。美国于 19 世纪 70 年代开始地面测量制图 ,1879 年美国地质调查局(USGS)测量/绘制美国地形图 ,1975 年生产第 1 批数字高程资料(DEM) ,1990 年构建 1/24 000 的拓扑地图 ,1997 年形成国家高程数据集(NED) ,2000 年完成航测地形数据整合(USGS、EROS Data Center 1/24 000) ,2002 年初步完成 EDNA(elevation derivative of national application)系统第 1 阶段工作 ,2003 年建成多精度激光雷达国家高程数据库(Lidar) ,2005 年开始建立基于网络应用的地形数据信息库。

地形分析计算量大、复杂 ,由于洼地和平坦区域的大量存在 ,使得基于邻域栅格操作的提取方法效率低下 ,降低了提取结果的可靠性 ,同时由于算法自身的原因 ,使其难以处理大规模的 DEM 数据^[2]。虽然可以通过 DEM 分块处理 ,再以结果拼接的方法来实现对大规模 DEM 数据的处理 ,但因地形特征具有典型的邻近相关性 ,采用 DEM 分块处理方法会导致分析提取结果不一致和不相容^[3]。在 EDNA 完成之前 ,数据流域边界、参数缺乏 ,达不到小流域及中等流域的管理要求 ,进而也不满足区域和国家水资源的管理需求。

为解决上述问题 ,2000 年起美国地质调查局(USGS)、美国气象局(NWS)和美国环境总署(EPA)联合开发 EDNA ,使其成为高程应用领域研究的热点内容。EDNA 总共分为 3 个阶段 ,第 1 阶段已于 2002 年完成 ,第 2、第 3 阶段仍在进行。它是基于地形分析的美国国家水文应用系统 ,是在全国高程数据(NED)基础上衍生的多图层标准资料库。

1 资料和技术路线

EDNA 地形特征提取的基本路线为填洼 ;应用填洼后的矩阵确定每个格网的水流方向 ;利用水流方向计算每个网格上的水流累积 ;选择流量阈值 ,水流累积超过该阈值的网格作为汇水线(山脊线)。

EDNA 是在无缝滤波 NED 上提取赋予水文条件的衍生网格 ,并在此基础上进行地形特征提取、水文特征提取和流域分析的综合地形分析系统。在 EDNA 中 ,美国采用的数据包括全球 GTOPO30、全国 NED、区域激光雷达数据、1/250 000 的国家水文数据库矢量图和 1/100 000 的国家空间水文数据库。EDNA 栅格数据则采用 National Albers 投影的整数网格 ,网格单元间距 30 m ,垂直分辨率 1 cm。

1.1 EDNA 第一阶段概述

由于计算机水平和存储能力的限制 ,将全国的高程数据作为完整的块处理十分困难。为了解决海量数据分块处理的一致性和相容性问题 ,第一阶段采用半自动化将美国 2108 个编目单元整合成为全

基金项目 :国家自然科学基金(50379008)

作者简介 :王欢(1983—) ,女 ,安徽舒城人 ,硕士研究生 ,从事水文水资源研究。E-mail :jeuk_1226@126.com

通讯作者 :陆宝宏(1962—) ,男 ,安徽天长人 ,副教授 ,主要研究方向为水文水资源及水环境。E-mail :Lubaohong@126.com

国范围的无缝图层,用作后续分析的框架。图 1 为 EDNA 第 1 阶段处理过程的框架。

EDNA 第 1 阶段生成的格网图层:填注后的数字高程模型、立体阴影、坡度、流向、坡向、水流累积,矢量图层:洼地、等值线、河段集水区节点、集水区、生成的河网,见图 2。

首先获取研究区 1/100 000 国家空间水文数据(NHD,national hydrologic dataset)和 1/250 000 水文单元(hydrologic units)边界,切割出对应于 hydrologic units 边界的 NED,给定 1/25 000 的缓冲区,以减少边界效应。接着按照 Jensen 等人提出的标准 ARC/INFO 方法填注^[4],填注后的数字矩阵中洼地区域内的单元定义唯一数值,高地所在单元定义无数据。从填注后的矩阵中得出流向,赋值给每个用来确定水流流出的单元格,分东、南、西、北、东南、西南、东北、西北 8 个流向,称之为 D8 法^[5]。再由流向得出水流积累,每个单元定义的数值是贡献流量的单元数之和。生成阈值是 5 000 像素的水系格网,以及每

个河段相应的集水区格网。用 1/250 000 编目单元边界分割生成的水系,水系与编目单元的交叉点为节点,此时需要人工选择正确的节点位置。根据正确的节点生成类似于编目单元边界的流域面对象,再用它们分割栅格图层,分析、合并成无缝数据库,因此正确选择节点位置对于制作无缝数据集尤为重要。开始的误差会导致一系列不可避免的错误,使工作冗繁。完成上面的自动操作后,根据高程数据、现有的水文单元边界和 NHD 通过目测和统计粗略标定错误,在后期进一步处理。

1.2 EDNA 第 2 阶段概述

由于规则网格 DEM 水平和高程分辨率的限制,以及在 DEM 生产过程中系统误差的影响^[6],使得 DEM 并不能反映地势的轻微起伏。另外平坦地区的水流方向很难给出一个明确的数学定义,平坦地区河网提取误差大,如图 3 所示。

因此,第 2 阶段要识别和标记出第 1 阶段 EDNA DEM 上的潜在错误。某些地区第 2 阶段勾画了初

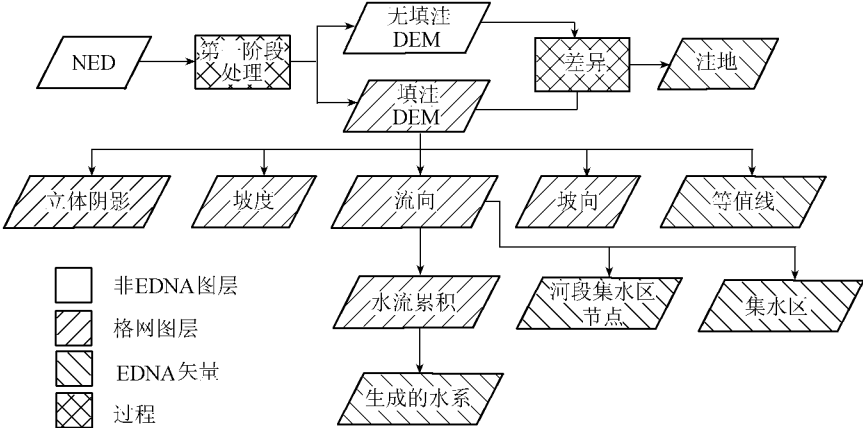


图 1 EDNA 第 1 阶段处理过程的框架

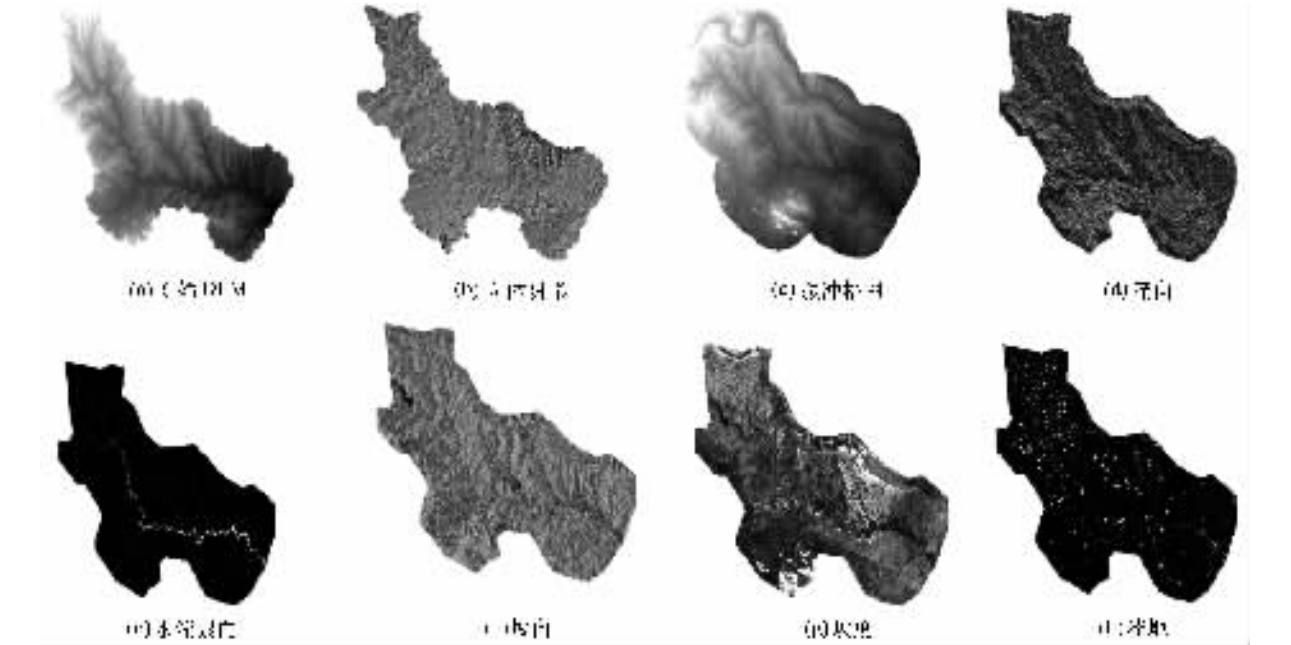


图 2 EDNA 第 1 阶段栅格

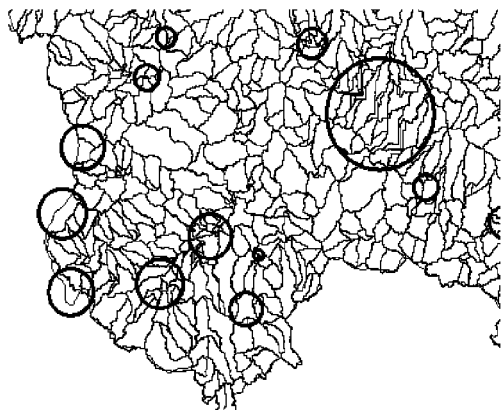


图3 5等级和6等级流域及误差标识

步的流域和子流域(图4),这些利于2004年完成的美国流域边界系统WBD(watershed boundary dataset),合理配置资源。EDNA在Arcview和ARC/INFO平台上自动提取理想的流域和子流域,且系统地分析了8-digit水文单元编码。在生成流域和子流域时,应分析它们于HUC(hydrologic unit code)流域间的差异,进一步识别、描述和更正数字化水系的错误,建立正确的水文图层。应用数字线划图辅助识别和修改差异。第2阶段5等级和6等级的流域在检查和纠正结束后生成。

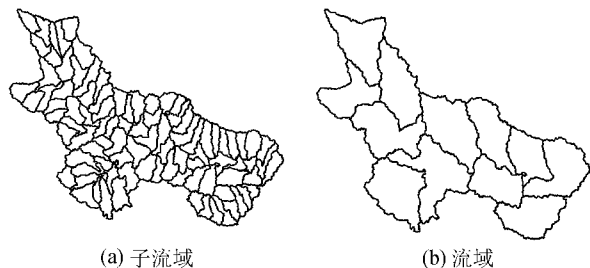


图4 子流域和流域

1.3 EDNA第3阶段概述

修改DEM,在第2阶段基础上通过编辑NED DEM,生成水文条件的DEM,再重新生成格网图层,如流向、流量汇集、水系等等。整合阶段2中的数据、信息,将NHD属性赋给生成的河网。

水系和流域中采用Pfaffstetter编码^[7]有利于快速追踪到上下游,并将结果数据保存在SDE中。美国水文单元编码体系已完成8位的编码,10和12位编码还在开展中,见表1。

表1 水文单元代码

等级	编码位数	编码区域	等级	编码位数	编码区域
1	2	区域	4	8	编目单元
2	4	子区域	5	10	流域
3	6	计算单元	6	12	子流域

2 数据管理、储存和获取

EDNA系统需要充足的空间储存兆兆字节的数

据,这些数据的储存和管理在Sun Ultra-Enterprise服务器5个独立的磁盘上运行。EDNA无缝数据库可以在ArcSDE上下载、储存和管理。关系数据库管理系统(RDMS)使用Oracle 8.1.7,使用者通过ArcExplorer, ArcView, ArcMap或ArcIMS平台查看数据。

EDNA由环境系统研究所(ESRI)合作研究、协议开发,通过自动化的汇编微程序库(AML)装载矢量图层。

3 难题和解决方案

理论上EDNA就是从具有水文条件的DEM上衍生的无缝地形数据集,但是它只能处理简单、面积小的区域,难以对海量数据进行统一处理。另外,河网和节点局部存在误差,平原和沿海地区流向精度低。同时,怎样定义缓冲区以提取更准确的流向和水流积累,怎样控制闭合区域的出入流,如何存储兆兆字节的数据等都是亟待解决的问题。

3.1 水系和节点

水系和节点在EDNA第1阶段的应用中十分重要,如果编目单元水系和邻近编目单元水系在交叉处即节点处不一致,那么就要移动节点,直到一致为止,这是生成统一的无缝数据库必不可少的重要环节。然而这会引起周边一系列编目单元的处理,过程很耗时。

3.2 沿海地区、平原、缓冲区

在平原和沿海地区有时不能生成与实际相一致的水系,即每个象元的流向找不到合理的路径,则导致一个编目单元到另一个编目单元的垂直水系、平行水系。这种情况下,通过移动节点可以保证水系图层的无缝,但另一方面会造成与1/250 000的水文单元的偏差。这一现象可通过给定较大的缓冲区(例如50 000,80 000)重新半自动化生成图层来解决,但效果不明显。

3.3 闭合流域

在开流域中填洼使得水流仅仅流向DEM的边界,而事实上水流除了向边界汇流,还可能向某些真实的洼地汇流。闭流域中用指定点防治真正的洼地被填掉,这样水流既汇向边界,也汇向这些指定点。

第1阶段在处理流域时,先细致研究以确定编目单元是做开流域还是闭合流域处理。通过一个小的连接显示一个编目单元质心到另一个编目单元质心的联系,分析编目单元是否闭合。水文单元地图法^[8]给出另一种有效的确定闭合流域的方法。

研究闭合流域十分重要,在处理编目单元前一定要先确定是否为闭合区域,混淆(下转第76页)

内侧养殖区鱼塘日换水深度 20 cm 的需求。可见 ,在现状保卫塘闸供水能力偏小的情况下 ,若要满足内塘养殖区换水需求需将保卫塘闸规模加大至 15 m。

5 结论和建议

5.1 结论

通过进行下洋涂围垦工程对内塘养殖纳潮能力的影响分析 ,认为采用河网非恒定流混合模型进行养殖纳排水分析 ,方法合理可行 ,成果精度较高 ,值得在类似围垦工程中推广应用 ,采用控制龙口宽度达到基本不影响内塘养殖的对策措施简单可行 ,龙口合龙前结合永久河道设置临时沟通河道连接新老纳排闸 ,确保整个工程施工过程不影响内塘养殖是必须的 ,必要时应考虑拓宽内塘纳排闸 ,达到纳排顺畅。

5.2 建议

a. 在围垦工程初步设计中应充分考虑围垦对

老海塘内原有养殖塘在施工期间的影响 ,并将补救措施纳入围垦工程概算中。

b. 围垦工程纳排水计算应充分考虑原有养殖纳排水的要求 ,而不是只考虑新围养殖区的纳排水要求。

参考文献 :

[1] 浙江省钱塘江管理局勘测设计院 . 宁海县下洋涂围垦工程初步设计 [R]. 杭州 : 浙江省钱塘江管理局勘测设计院 2006 .
[2] 国家海洋局第二海洋研究所 . 宁海县下洋涂围垦工程对周边水流及泥沙冲淤影响的研究报告 [R]. 杭州 : 国家海洋局第二海洋研究所 2006 .
[3] 宁波市水利水电规划设计研究院 . 下洋涂围垦区纳潮能力复核研究报告 [R]. 宁波 : 宁波市水利水电规划设计研究院 2008 .

(收稿日期 2008 - 08 - 21 编辑 : 高建群)

(上接第 50 页)

开流域和闭合流域在处理 DEM 时将损失许多数据或赋予错误数据。

4 结 语

随着计算机与航天测量技术的发展 ,多精度和不同格式的地形数据越来越容易获取 ,但是海量数据与当前信息处理分析和提取能力之间存在巨大反差 ,EDNA 有效地解决了这一难题 ,同时空间数据库的应用提高了数据的安全性、完整性和数据访问的便利性 ,更好地服务于水文、地貌、测绘和环境等其他行业 ,此外也给我我国建立全国河流主要特征 (水系特征、流域特征和水文特征) 基础数据库和基于 GIS 的河流信息管理系统提供了建设性的参考。

参考文献 :

[1] 郭伦 , 刘瑜 , 张晶 , 等 . 地理信息系统—原理、方法和应用 [M]. 北京 : 科学出版社 , 2001 .
[2] FREEMAN T G . Calculating catchment area with divergent flow based on a regular grid [J]. Computer & Geosciences , 1991 , 17 (3) : 413-422 .
[3] 朱庆 , 赵杰 , 钟正 , 等 . 基于规则格网 DEM 的地形特征提取算法 [J]. 测绘学报 , 2004 , 33 (1) : 77-82 .
[4] JENSON S K , DOMINGUE J O . Extracting topographic structure from digital elevation data for geographic information system analysis [J]. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing ,

1988 , 54 : 1593-1600 .

[5] SANTINI M , PETROSELLI A , NARDI F , et al . A review of DEM-based flow direction characterization methods for hydrogeomorphic applications [C] // American Geophysical Union , Fall Meeting 2006 , Abstract # H43E-0532 .
[6] MOORE I D , GRAYSON R B . Terrain-based catchment partitioning and runoff prediction using vector elevation data [J]. Water Resources Research , 1991 , 27 (6) : 1177-1191 .
[7] VERDIN K L , VERDIN J P . A topological system for delineation and codification of the Earth 's river basins [J]. Journal of Hydrology , 1999 , 218 : 1-12 .
[8] SEABER , P R , KAPINOS F P , KNAPP G L . Hydrologic unit maps [M]. United States : Government Printing Office , 1987 : 1-14 .

(收稿日期 2008 - 05 - 05 编辑 : 高建群)

· 简讯 ·

“ 全国城市水利学术研讨会暨工作年会 ”
将于 2009 年 11 月在深圳召开

为加强城市防洪 , 加快水生态治理 , “ 全国城市水利学术研讨会暨工作年会 ” 将于 2009 年 11 月初在深圳召开。会议由中国水利学会城市水利专业委员会主办 , 深圳市水务局、深圳市水利学会承办。会议的主题是“ 城市防洪和水生态治理 ”。

(编辑部供稿)