

文章编号: 1007-4929(2007)02-0032-02

基于 GIS 的三江平原挠力河流域分析

朱伟峰, 马永胜

(东北农业大学水利与建筑学院, 黑龙江 哈尔滨 150030)

摘要:在 GIS 环境下采用美国 ESRI 提供的水文模块, 利用美国联邦地质调查局(USGS)提供的 SRTM 90m DEM 原始数据, 以三江平原挠力河流域为例, 进行了相关的流域分析, 包括水流方向模拟、河网提取、流域界线划定及子流域划分等多项内容, 为三江平原挠力河流域研究提供了基础的数据平台。

关键词: GIS; DEM; 流域分析

中图分类号: P33 **文献标识码:** A

Watershed Analysis of Naoli River Basin in Three Rivers Plains Based on GIS

ZHU Wei-feng, MA Yong-sheng

(College of Water Conservancy and Building Engineering, Northeast Agricultural University, Harbin 150030, China)

Abstract: Adopting the hydrology module, which was provided by American ESRI, under the GIS environment, using primary SRTM 90 m Dem data from USGS, taking Naoli river basin in three rivers plains as an example, this paper carried out relevant watershed analysis, including flow direction simulation, drainage network extraction, watershed boundary delimitation and subcatchment compartmentalization. The result provided a foundation data platform for the research on Naoli River basin in three rivers plains.

Key words: GIS; DEM; Watershed analysis

1 DEM 数据的建立与处理

1.1 DEM 数据采集方法

(1)地面测量。利用自动记录的测距经纬仪(常用电子速测经纬仪或全站经纬仪)在野外实测。这种速测经纬仪一般都有微处理器,可以自动记录和显示有关数据,还能进行多种测站上的计算工作。其记录的数据可以通过串行通讯,输入计算机中进行处理。

(2)现有地图数字化。利用数字化仪对已有地图上的信息(如等高线)进行数字化,目前常用的数字化仪有手扶跟踪数字化仪和扫描数字化仪。

(3)空间传感器。利用全球定位系统 GPS,结合雷达和激光测高仪等进行数据采集。

(4)数字摄影测量方法。这是 DEM 数据采集最常用的方法之一。利用附有的自动记录装置(接口)的立体测图仪或立体坐标仪、解析测图仪及数字摄影测量系统,进行人工、半自动或全自动的量测来获取数据。

1.2 DEM 数据的建立

①将采集到的矢量线图转换成 TIN 数据结构,并进行空间插值;②将 TIN 数据结构转换成格网结构(LATTICE);③对格网数据进行重采样,形成栅格 DEM(GRID)。

本研究采用美国联邦地质调查局(USGS)提供的 SRTM 90 m DEM 原始数据,在 ARC/INFO 系统中,经流域界线切边得到挠力河流域数字高程模型。

1.3 DEM 数据的处理

1.3.1 DEM 数据的预处理

从 DEM 中自动提取流域自然水系的前提条件是:在 DEM 中不能存在小平原和洼地,所有的复杂地形都必须由斜坡构成,否则,所提取的水系通道是断断续续的。然而,在实际的 DEM 中,小平原和洼地的存在是普遍现象。为了使提取的自然水系在流经小平原和洼地部位时,有一个明确的水系通道,因此在提取自然水系之前,需要对 DEM 中的小平原和洼地部位的高程数据进行改造,以使洼地和平原成为斜坡的延伸部分,经过这样的处理之后,DEM 数据中的所有地形都由斜坡构

收稿日期:2006-09-08

基金项目:黑龙江省教育厅科学技术研究项目(10541028)。

作者简介:朱伟峰(1977-),男,博士研究生,主要研究方向为 SWAT 模型及 GIS。

成。这样才能确保从 DEM 数据中提取的自然水系是连续的。

1.3.2 DEM 数据的水文分析

(1) 水流方向分析。经过预处理的 DEM 就可以用来计算格网内部的水流流向, 各个栅格单元的水流方向就是水体从其中流出的方向, 它是利用 DEM 进行地表水文分析的基础。水流流向的确定有多种算法, 如 D8、Rho8、FD8、Frho8、DEMON、TAPES2C、Lea 算法等, ESRI 提供的水文模块采用 D8 算法进行水流流向的计算, 这种算法首先计算单元格与周围 8 个单元格间的坡度, 按最陡坡度原则确定单元格的流向, 其原理如图 1 所示。其中, 最陡坡度原则为: 单元格坡度的最佳代表值是 8 个坡度中的最大数值, 水流方向就是其坡度最陡的方向。两个相邻单元格 i 和 j 之间的坡度计算公式为:

$$\theta_j = \arctan \left| \frac{h_i - h_j}{D} \right| \quad (1)$$

式中: h_i 和 h_j 为两个单元格的高程值; D 为两单元格中心之间的距离。

通过栅格单元 x 的 8 个邻域栅格编码, 水流方向便可以其中的某一值来确定, 有效的水流方向定义为东北、东、东南、南、西南、西、西北和北, 并分别用 128、1、2、4、8、16、32 和 64 这 8 个有效特征码表示。

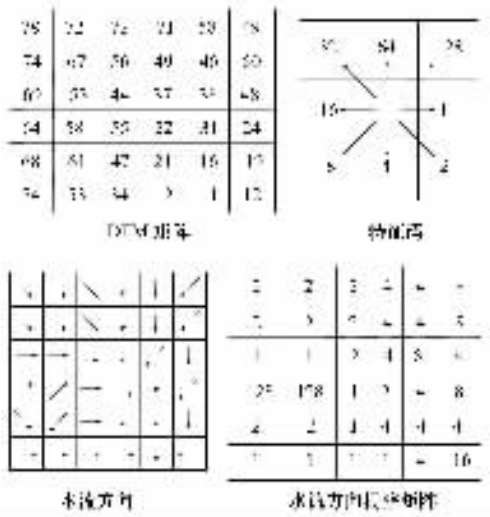


图 1 D8 方法原理示意图

(2) 水流集水区的划分与河流网络的确定。由水流方向栅格矩阵可以得到流域汇流能力的栅格矩阵分布图(如图 2), 格中每个单元格的值(NIP)代表上游汇流区内流入该单元格的栅格单元的总数, 也被称为集水能力特征值, 该值的大小代表汇流能力的强弱, 数值较大者汇流能力强, 所在的区域就是集水区, 可视为河谷, 数值等于零则是较高的地方, 可能为流域的分水岭, 据此可划分研究区内分水岭的空间分布和集水区的边界。流域汇流能力栅格分布图产生后就可以通过设置 NIP 阈值来确定河流网络, 将汇流能力超过一阈值(一般大于 100)的栅格作为河谷, 将小于该阈值的栅格作为产流区, 大于 NIP 值的单元格为沟谷线上的点, 连接各个沟谷线上的点就形成了河流网络。

2 应用实例

挠力河流域位于东经 $131^{\circ}15'20'' \sim 134^{\circ}9'38''$, 北纬 $45^{\circ}43'$

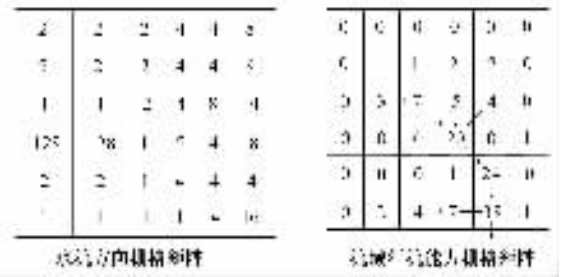


图 2 流域汇流分析示意图

$22'' \sim 47^{\circ}19'24''$, 流域南部为山区, 高程一般在 200~600 m, 北部为平原, 高程为 55~70 m, 地形自西南向东北倾斜, 流域总控制面积为 22 459 km²。

2.1 洼地及小平原填充处理与水流方向分析

对洼地进行填充处理时, 凹陷点的识别和去除是一个反复的过程, 即当一个凹陷被去除点后, 可能导致其周围又产生新的凹陷点。本文采用美国 ESRI 提供的水文模块的 Fill sink 函数进行填充处理, Fill sink 函数可自动寻找凹陷点, 并自动进行填充, 经过反复的运算, 最终可生成无洼地的数字高程模型, 保证水流畅通流至河口。再利用 Flow Direction 函数便可进行水流流向分析。

2.2 流水累积量计算与水网模拟分析

区域流水累积量表示区域地形每点的流水累积量, 它可以用区域地形曲面的流水模拟方法获得, 流水模拟可以利用区域的数字地面高程模型的水流方向栅格矩阵来进行, 流水累积量可用于提取地表水分布图, 是水网提取的基础。

水网密度根据地表的水流方向数字矩阵确定河流的最小长度, 显示出区域内水系分布的密集程度。给定河流的最短长度值越小, 水系分布越密集。在水流流向分析的基础上, 通过 ESRI 提供的水文模块中的 Flow Accumulation 函数计算水流累积量, 通过给定一阈值, 如 100, 1000, 10000 (其单位是栅格数), 可获得基于 NODATA 背景的水系栅格图, 本文根据能体现挠力河主要水系, 选定了阈值 1000 来模拟出水系栅格图。最后通过 Drainage Line Processing 函数生成水网。

2.3 流域划分与流域面积确定

水流方向提取后, 利用 ARC/INFO 的 BASIN 命令, 生成挠力河流域的集水区界线, 再根据水流方向、流水累积量和水网分布图层, 运用 ESRI 提供的水文模块的 Catchment Grid Delineation 和 Catchment Polygon Processing 进行子流域的集水网络描绘和集水多边形的生成。经分析共有 29 个子流域, 通过 ARC/INFO 工具计算出每个子流域占有的 DEM 栅格数, 最后乘以栅格的面积就得出每个子流域的面积, 如表 1。

3 结语

本研究成功地运用 ARC/INFO 的水文分析模块进行挠力河流域数字高程模型的处理及水文模拟分析, 其结果和讨论如下。

(1) 以上分析结果表明, 利用 DEM 模拟的河流水系的空间分布接近实际分布情况, 数字流域界线的确定及流域面积与水文部门基本相符, 流域面积误差仅为 2.1709%。产生误差的原

3 算例应用

以文献[5]中的实例为例,管网布置形式如图 1 所示,应用自适应惩罚遗传算法进行给水管网优化设计。在遗传算法进化过程中,采用如下的参数组合:群体规模 $popsize = 30$;最大遗传代数 $maxgen = 1000$;变异率 $p_m = 0.2$; $\beta_1 = 0.8$; $\beta_2 = 16$ 。

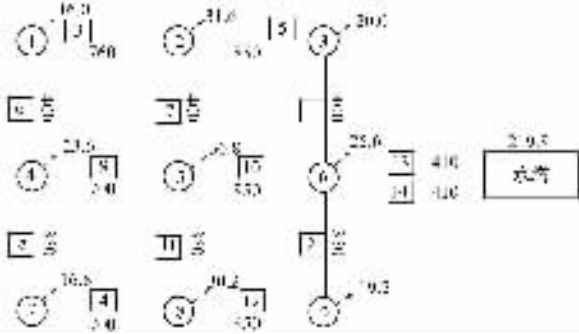


图 1 管网布置图

应用基于自适应惩罚函数的改进遗传算法进行优化设计得到的最优方案见表 1,其管网投资为 453 487 元,与文献[5]中的最优方案相比可节约费用 2.29%,与原始设计方案相比可节约投资 12.01%。

4 结 语

研究表明,采用自适应惩罚函数的遗传算法进行给水管网的优化设计是非常有效的。它不仅能够有效的保存可行解而且能够充分利用非可行解中的可行部分,能够更加有效的搜索可行的最优解。但是对于自适应惩罚函数中参数的确定还存在一定局限性,需要根据不同情况反复尝试才能达到最优。

表 1 最优设计方案

管道编号	管径/cm	流量/(m ³ ·h ⁻¹)	流速/(m·s ⁻¹)	水头损失/m	节点编号	节点自由水压/m
1	20.00	107.36	0.95	3.03	1	24.23
2	20.00	104.78	0.93	2.53	2	26.03
3	15.00	25.62	0.40	1.50	3	29.24
4	15.00	28.96	0.46	1.77	4	25.66
5	15.00	35.36	0.56	3.20	5	29.38
6	15.00	31.98	0.50	1.23	6	32.37
7	20.00	104.02	0.92	2.85	7	25.52
8	15.00	31.52	0.50	1.05	8	27.18
9	25.00	148.46	0.84	3.12	9	30.84
10	40.00	486.97	1.08	3.39	10	0.00
11	20.00	102.02	0.90	2.40		
12	15.00	35.66	0.56	3.26		
13	45.00	750.24	1.31	2.08		
14	15.00	41.04	0.65	2.08		

参考文献:

[1] 万年华,胡铁松,尹正杰.基于遗传算法的喷灌管网优化设计[J].节水灌溉,2005,(4):1-3.
 [2] 周荣敏,雷延峰.管网最优化理论与技术[M].郑州:黄河水利出版社,2002.
 [3] 张 华,吴普特,牛文全.灌溉管网优化研究进展[J].节水灌溉,2004,(2):24-25.
 [4] 潘正军,康立山,陈毓屏.演化计算[M].北京:清华大学出版社,1998.
 [5] 白 丹.重力单水源环状管网优化设计的遗传-线性规划算法[J].水利学报,2005,36(3):378-382.

(上接第 33 页)

表 1 挠力河流域面积表

子流域编号	子流域面积/km ²	子流域编号	子流域面积/km ²	子流域编号	子流域面积/km ²	流域面积合计/km ²	实际流域面积/km ²
1	2 724.281 0	11	1 310.523 0	21	1 525.538 0	21 971.440 0	22 459.000 0
2	499.689 0	12	2 007.593 0	22	672.113 7		
3	384.531 3	13	323.748 9	23	753.494 4		
4	523.559 7	14	1 325.913 0	24	631.289 7		
5	571.244 4	15	56.400 3	25	550.573 2		
6	469.014 3	16	168.787 8	26	87.390 9		
7	234.357 3	17	642.759 3	27	852.395 4		
8	1 008.644 0	18	1 035.164 0	28	469.621 8		
9	27.361 8	19	634.748 4	29	2 061.604 0		
10	401.047 2	20	18.054 9				

因是从 DEM 直接提取河网及相关流域信息,一个无法回避的问题是对平坦区域的处理,无论是 D8 方法,Rho8 方法,还是多方向法,所生成的河网与实际河道在平坦区域上均有所差别,差别的本质在于没有额外的空间信息对 DEM 修正,以使提取的河网与实际一致。这就需要除了选择更高分辨率的 DEM 资料以外,还需要增加空间信息量,例如将数字河流、湖泊与 DEM 融合,在融合多种信息的数据基础上,就可以提取更高质量的河网及相关流域信息。

(2)本研究可为三江平原挠力河流域的水质监测、土壤侵蚀、氮磷负荷空间分布以及流域农业非点源控制区划提供基础的数据平台。

参考文献:

[1] 梁天刚,张胜雷,戴若兰,等.基于 GIS 栅格系统的集水农地地表产流模拟分析[J].水利学报,1998,(7):26-29.
 [2] 李 丽,郝振纯.基于 DEM 的流域特征提取综述[J].地球科学进展,2003,(3):251-255.
 [3] 孙友波,宫辉力,赵文吉,等.基于 DEM 的数字河网生成方法的浅议[J].首都师范大学学报,2005,(6):106-111.
 [4] 谢顺平,都金康,王腊春.利用 DEM 提取流域水系时洼地与平地的处理方法[J].水科学进展,2005,(7):535-539.
 [5] 张 珂,郭 毅,李致家,等.基于 DEM 的流域信息提取方法及应用实例[J].水力发电,2005,(2):18-21.
 [6] Band L E. Topographical partition of watersheds with digital elevation models[J]. Water Resources Research,1986,(2):15-24.
 [7] Jenson S K. Application of hydrologic information automatically Extracted from digital elevation models[J]. Hydrological Process,1991,(5):31-44.
 [8] Jurgen Garbrecht, Lawrence W M. The assignment of drainage direction over flat surfaces in raster digital elevation models[J]. Journal of hydrology, 1997, 193: 204-213.