

【水文·泥沙】

基于 DEM 的流域水文特征提取方法研究

原立峰^{1,2,3}, 周启刚¹

(1 中国科学院 成都山地灾害与环境研究所, 四川 成都 610041; 2 中国科学院 地理科学与资源研究所, 北京 100101;
3 中国科学院 研究生院, 北京 100039)

摘 要: 运用 GIS 软件 ArcGIS, 以黄土丘陵沟壑区小流域为例, 探讨了从数字高程模型 (DEM) 中提取流域水文特征的详细过程, 包括: DEM 的生成和预处理、水流方向的确定、流域汇流能力分析、河网的提取、流域边界的确定和子流域的划分。提出了基于 DEM 自动生成数字流域的一种方法, 并将自动提取的流域与从地形图和遥感影像相结合手工提取的流域做了对比分析。结果表明, 利用该方法提取的流域与利用手工方法提取的流域基本一致, 平均误差为 4.3%, 从而证明该方法具有较高的精度。

关 键 词: DEM; 栅格; GIS; 水文模拟

中图分类号: P334

文献标识码: A

文章编号: 1000-1379(2006)05-0020-02

20 世纪 60 年代以来, 在利用数字高程模型 (Digital Elevation Model, 简称 DEM) 提取流域水文特征, 模拟地表水文过程方面, 国内外都开展了大量的研究。笔者利用 GIS 软件 ArcGIS 9.0 中的水文分析模块, 在 1:50 000 DEM 的基础上, 对黄土丘陵沟壑区典型样区的水文特征进行了提取, 模拟了水流方向、流域的汇流能力、河网的提取、流域出水口的确定、流域边界的确定和子流域的划分。

1 试验基础和信息源

试验区位于陕北延安地区燕儿沟流域, 样区面积为 12 km² (3 km × 4 km), 最大高程 1 276.2 m, 最小高程 984.5 m, 平均高程 1 106.4 m, 沟谷密度 4.26 km/km², 地表平均坡度 21.8°, 流域大致呈东南—西北走向, 地表形态复杂, 以充分发育的梁峁地形为主, 属于典型的黄土丘陵沟壑区。

研究区域信息源主要包括: 1:50 000 地形图 (等高距为 20 m, 采用高斯克列格投影, 北京 54 坐标系, 地图单位为 m) 和以地形图为基础生成的 DEM (25 m × 25 m)。另外, 经过几何校正的 1:10 000 彩红外航空正射影像图作为流域特征提取的参照资料。

2 研究方法

2.1 DEM 的建立与预处理

考虑到地形图上表示山顶的等高线是闭合的, 以及在表示谷底时等高线分布稀疏, 这些特征导致生成 DEM 时会被处理为平地, 所以在矢量化地形图时, 加入了离散高程点图层, 利用该图层修改由等高线生成的三角形不规则网地形数据。

利用以上方法建立栅格 DEM 的具体过程和方法为: ①将流域 1:500 00 地形图作为底图扫描输入计算机, 利用 ArcGIS 软件进行配准和矢量化, 建立空间拓扑关系, 分别生成等高线和高程点两个图层; ②对等高线和高程点图层进行高程赋值; ③采用三角形不规则网, 即 TN (Triangulated Irregular Network) 方法, 将生成的等高线图层转化成 TN 数据结构; ④以高程点图层对 TN 进行编辑修改; ⑤将 TN 数据进行重采样, 转换为 Raster 数据格式, 生成 25 m 地表分辨率 DEM (GRID)。

然而, 这种方法生成的 DEM 并不能够完全消除洼地和平坦区域, 还需要通过一定的填洼和平地起伏算法进行 DEM 的改造, 生成无洼 DEM (Depressionless DEM)。

2.2 流向的确定

地表径流在流域内总是从地势高处流向地势低处, 最后经流域出口排出流域。流向的确定建立在流域 3 × 3 的 DEM 格网的基础上。目前, 确定流向的算法主要有单流向算法 (Simple Flow Direction, SFD) 和多流向算法 (Multiple Flow Direction, MFD) 两种^[1,2], 因单流向算法简单方便而得到广泛的应用。

单流向法假定一个格网中的水流只从一个方向流出格网, 然后根据格网高程判断水流方向。目前应用最广泛的单流向法是 D8 (Deterministic 8) 法, 也为本文所采用。此外, 还有 Rh8 法、DEMON 法、Lea 法和 D∞ 法等^[3]。D8 算法的基本原理是: 假设单个格网中的水流只有 8 种可能的流向, 分别定义为东北、

收稿日期: 2005-12-25

基金项目: 国家杰出青年基金资助项目 (40225004)。

作者简介: 原立峰 (1978-), 男, 山西太原人, 博士研究生, 主要从事水文模拟和 GIS 应用方面的研究。

东、东南、南、西南、西、西北和北,并用 128、1、2、4、8、16、32 和 64 这 8 个有效特征码表示,即流入与之相邻的 8 个格网中。它用最陡坡度法来确定水流的方向,计算中心格网与各相邻格网间的距离权重差,取距离权重差最大的格网为中心格网的流出格网,该方向即为中心格网的流向。被处理格网单元同相邻 8 个格网单元之间坡降的算法为: $S = \Delta Z / D$, ΔZ 为两个格网单元之间的高差, D 为两个格网单元中心之间的距离。

2 3 河网的提取和流域边界的划分

流域汇流能力分析是提取河流网络的前提和基础。流域内一个栅格的汇流能力反映了其汇聚水流能力的强弱程度,一个栅格的汇流能力特征值就表示水流能够流入其中的周围栅格的数目。因此,一个栅格的汇流能力特征值越大,表示水流能够流入其中的栅格数目越多,其汇流能力也就越强,该栅格所代表的地形特征就有可能是河谷;反之,汇流能力特征值为零的地方则可能代表流域的分水岭^[4],由此可以确定流域边界。流域汇流能力栅格分布图产生以后可以方便地提取流域的各种特征参数。河网的生成是通过设置栅格汇流能力特征值阈值来确定的,大于该阈值的栅格被看作是沟谷线上的点,连接各沟谷线上的点就形成了河流网络。

3 实例验证及精度检验

基于燕儿沟流域的 1 :50 000 精度为 25 m 的 DEM,运用 ArcGIS 软件对前文所提出的方法进行实例验证。

3 1 流域提取的操作流程

首先采用 FLOW DIRECTION () 函数从改造过的 DEM 中确定水流方向;在此基础上,利用 SNK () 函数标出 DEM 中的洼地单元;再利用 FILL () 函数进行填洼,生成无洼的 DEM,将其作为流域水文特征提取的基础。再次应用 FLOW DIRECTION () 函数生成最终的流向图并计算每一格网的上游控制面积,采用试错法确定流域汇流特征阈值为 100,利用 CON () 函数确定出流域的汇流栅格图。接着,利用 STREAM LINK () 函数来确定流域的出口,该函数利用已经建立的河流网络,将河流沟谷交叉点标记为流域出口;流域出口找到后,利用 WATERSHED () 函数在水流方向栅格图上可以很方便地确定出流域的所有子流域。

3 2 精度检验

为了检验计算机自动提取的流域和实际流域之间的误差,将地形图和遥感影像经过几何纠正配准到同一投影坐标系下,结合已有的 DEM 生成三维流域地貌图,以此为基础,手工提取了流域边界,划分了子流域,并将其与利用 DEM 自动提取的流域进行了空间对比分析,发现两者的边界吻合得很好。

为了定量分析提取误差,将自动提取得到的 31 个子流域的面积与结合手工量测的结果进行了对比分析,结果见表 1,发现自动提取的流域面积和实际流域面积非常接近,平均误差仅为 4.3%。证明利用该方法来提取小流域的水文特征不仅大大提高了工作效率,而且从提取的数据精度上来说是可以保证的。

表 1 自动提取流域面积与手工量测流域面积对比

子流域编号	自动提取的 流域面积	手工量测的 流域面积	误差 / %
1	0.225	0.214	5.14
2	0.280	0.272	2.94
3	0.246	0.228	7.89
4	0.107	0.109	-1.83
5	0.361	0.352	2.56
6	0.147	0.150	-2.00
7	0.374	0.388	-3.61
8	0.410	0.386	6.22
9	0.315	0.310	1.61
10	0.258	0.251	2.79
11	0.093	0.094	-1.06
12	0.244	0.261	-6.51

4 结 语

DEM 在水文模拟中的应用主要是描述流域地形,包括流域划分和子流域边界的确定、河网的识别和提取、坡度、坡向的确定等等,从而为流域分布式水文模型的构建提供下垫面参数。通过离散点数据修改 DEM 后,利用填洼算法再次对 DEM 进行修正,由此提取的流域特征比较符合实际。随着基于 DEM 提取流域特征技术的不断发展和完善,今后利用 DEM 提取流域特征的精度,尤其是在平坦地区的提取精度将会有进一步的提高。另外,利用 DEM 提取流域水文特征在充分提高工作效率的同时可以保证信息提取的精度,这对于数字流域建设、农业工程规划和水资源管理等都具有十分重要的意义。

参考文献:

[1] Quinn P, Beven K, Chevalier P, et al The prediction of hillslope flow paths for distributed hydrological modelling using digital terrain models [J]. Hydrological Processes, 1991, (5).

[2] Freeman T G Calculating catchment area with divergent flow based on a regular grid [J]. Computers & Geosciences, 1991, (17).

[3] 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, 18 (2).

[4] 梁天刚,张胜雷,戴若兰,等. 基于 GIS 栅格系统的集水农业地表产流模拟分析 [J]. 水利学报, 1998, (7).

【责任编辑 王 琦】

Abstracts

Study on Application of Neural Network to Prevention and Control of Discontinuous Flow of the Yellow River

CAI Wen - xiao^{1,2}, ZHANG Jian - wei³, LI Yue³, FENG Juan³ (1. Jilin University, Changchun, Jilin 130061; 2. Environmental Protection Bureau, Dezhou, Shandong 253013; 3. Qingdao University, Qingdao, Shandong 266071)

..... (1)

Ensuring continuous flow of the Yellow River is a new requirement and new topic put forward by the state for the adaptation of social and economic sustainable development. The discontinuous flow prevention and control technology under the conditions of dry season is an issue of extremely complicated, numerous affecting factors and high nonlinear cause - and - effect relationship. On solving this category issue, neural network has very strong capability to handle a large scale and complicated nonlinear dynamics system. It applies neural network theory to the study of discontinuous flow prevention and control for the purpose of distinguishing the relationship between flow variation process and affecting factors and providing solutions for the study on discontinuous flow prevention and control.

Key Words: the Yellow River, discontinuous flow, nonlinear, neural network

Characteristics of Flocculation Morphology of High Turbid Flow of the Yellow River

TAN Wan - chun¹, JIN Tong - gu², MEI Sheng¹, LI Dong - mei³ (1. Guangdong University of Technology, Guangzhou, Guangdong 510006; 2. Xi'an University of Architecture & Technology, Xi'an, Shaanxi 710055; 3. Changsha University of Science & Technology, Changsha, Hunan 410076)

..... (10)

During sedimentation tests of putting positive macromolecular polymers into high sediment concentrated suspension of the Yellow River, it approaches the variation rules of morphologic parameters of high suspension flocculation in different flocculation stages with the help of electron microscope observation, image analysis techniques and characteristic parameter of fractal dimension. The outcomes show that the particle size of fractal flock is in normal distribution; the variation rule of free subsiding velocity of flock can not be explained by traditional Stokes law; the development and variation rules of different sediment concentration corresponding to flocculation morphologic characteristic are similar and; the ideal flock fractal structure happens in the middle flocculation process when flock granularity distribution is concentrated, high degree of compactness, small porosity, quick subsiding velocity and the maximum value of fractal dimension.

Key words: fractal dimension, flocculation, sedimentation test, sediment, the Yellow River

Study on DEM - Based Basin Hydrologic Characteristic Extraction

YUAN Li - feng^{1,2,3}, ZHOU Qi - gang¹ (1. Institute of Mountain Hazards & Environment of CAS, Chengdu, Sichuan 610041; 2. Institute of Geographical Science and Natural Resources Research of CAS, Beijing 100101; 3. Graduate School of CAS, Beijing 100039)

..... (20)

The paper approaches the detailed process of hydrologic characteristic of the river basin extracted from digital elevation model (DEM), including DEM generating and pre - process, determination of flow direction, analysis of affluent capacity, extraction of hydrographic net, determination of river basin boundary and division of sub - basin by using ArcGIS software and taking small watersheds in gullied rolling boss area as an example. It puts forward a method of DEM - based automatic generating digital basin and conducts contrast and analysis between automatic extracted basin and manual extracted basin from the combination of topographic map and remote sensing images. The outcomes show that the river basin extracted by this method is basically the same as that manual extraction and the average error is 4.3%, showing high precision of the method.

Key words: DEM, lattice, GIS, hydrologic simulation

Main Chemical Constituent of the Yellow River Water and Characteristics of $\delta^{13}\text{C}$ Streamwise Variation

SU Xiao - si¹, WU Xiao - fang¹, LI N. Xue - yu¹, LAO Zi - sheng¹, WANG Jin - sheng² (1. Institute of Water Resources and Environmental Research, Jilin University, Changchun, Jilin 130026; 2. Beijing Normal University, Beijing 100875)

..... (29)

The paper comprehensively analyzes the main chemical constituent content of the Yellow River water and characteristic of isotope streamwise variation based on samples of the Yellow River, groundwater and surface water systematically collected from 17 valley sections from the river head to river mouth and the observation of its main chemical constituent content and $\delta^{13}\text{C}$ isotope component. The Yellow River water has the characteristics of overall variation of great hydrochemical variation and undulating fall of $\delta^{13}\text{C}$ proportionality from the river head to river mouth. It considers through study that the replenishment of surface runoff and karst groundwater to the river and irrigation return flow are the most important factors for conducting hydrochemical composition and isotope variation of the river.

Key words: hydrochemical streamwise variation, stable carbon - 13 isotope, the Yellow River

【翻译 郝凤华】