

文章编号:1672-058X(2012)11-0087-06

基于 Hydrology 的山区 1:1 万 DEM 水系提取研究*

安祺¹, 杨霏², 陈丹¹, 杨霜霜¹, 任苏敏¹

(1. 重庆工商大学 旅游与国土资源学院, 重庆 400067; 2. 重庆工商大学 长江上游经济研究中心, 重庆 400067)

摘要:利用重庆市万州区 4 幅比例尺为 1:1 万, 地面分辨率为 5 m 的 DEM 数据, 根据地表径流模型原理, 通过 ArcGIS 中的 HydrologyTools 模块进行 D8 算法提取流域水系, 计算汇流累积量, 并最终生成河网。结果表明:对 1:1 万 DEM 进行水系提取, 最小水道集水面积阈值设定为 50 000 个栅格较合理;对于山地地形, 基于 1:1 万 DEM 数据, 利用 ArcGIS Hydrology 模块提取河网的方法, 从提取的效率和结果的精度两方面看来都是切实可行的。

关键词:数字高程模型; 水系提取; Hydrology; 万州区

中图分类号:X824

文献标志码:A

数字高程模型 (DEM) 是描述地面高程值空间分布的一组有序数组^[1], 它反映区域地面高程的分布情况, 是分布式流域水文模型的基础数据。在 DEM 上自动划分流域, 提取水文网络, 已是数字地形分析的重点任务之一^[2,3]。DEM 数据主要包括正方形格网 (Grid)、不规则三角网 (TIN) 和等高线 3 种数据格式^[4], 其中 Grid 是流域水文模拟的普遍格式。

流域水文模型是水文科学中重要分支之一, 是研究水文自然规律和解决水文实践问题的主要工具^[2]。流域水系是流域水文建模的主要参数, 其包含的水系信息是水文模型分析的基础数据。目前, 提取流域水系的理论研究有很多, 但实证研究的基础数据主要偏重于低分辨率的 DEM。因此, 对高分辨率的 DEM 数据进行实证分析和确定其最小水道集水面积阈值就显得非常有必要。汇水区域及其子区域的提取, 往往是水文分析与环境分析的第一步^[5], 也是为下一步建立分布式水文模型及非点源污染模型提供水文参数的主要手段^[1]。提升河网的精度可以帮助提高水文模型的精度^[6]。

ArcGIS 的水文分析模块 (Hydrology Model) 有洼地的填充 (Fill)、流向运算 (Flow Direction)、汇流累积量计算 (Flow Accumulation) 等工具, 其操作简单易行。利用重庆市万州区 1:1 万 DEM 为基础数据, 采用 ArcGIS 的 Hydrology 模块实现流域河网特征的提取, 并结合 2009 年 1:1 万遥感影像为基础的数字化水系图, 确定 1:1 万比例尺下最小水道集水面积阈值, 得到符合现实的河网, 以此为高分辨率 DEM 下流域水系的提取提供参考。

1 研究内容与技术路线

研究的主要内容包括:对原始 DEM 数据进行处理, 判断是否存在洼地。如果存在, 通过计算洼地深度并结合流域地形情况, 进行洼地的填充, 生成无洼地 DEM; 基于无洼地 DEM, 利用 D8 算法计算每个栅格的水

收稿日期:2010-09-15; 修回日期:2010-09-28.

* 基金项目:国家自然科学基金(41101503); 重庆市教委科学技术研究项目(KJ100703).

作者简介:安祺(1990-), 女, 吉林白山人, 从事旅游与国土资源研究.

流方向。生成流向矩阵;基于水流方向,得到流过每个栅格的最终汇流累积量,并通过设定适合的阈值来提取初级河网;利用已有的数字化的河网与提取出的初级河网作对比,通过反复试验确定阈值以得到一个比较符合现实的河网水系。结合数字化水系图设定最小水道集水面积阈值来确定最适的河网。

针对 1:1 万的 DEM 数据进行水系提取研究,研究的具体技术流程如图 1 所示。

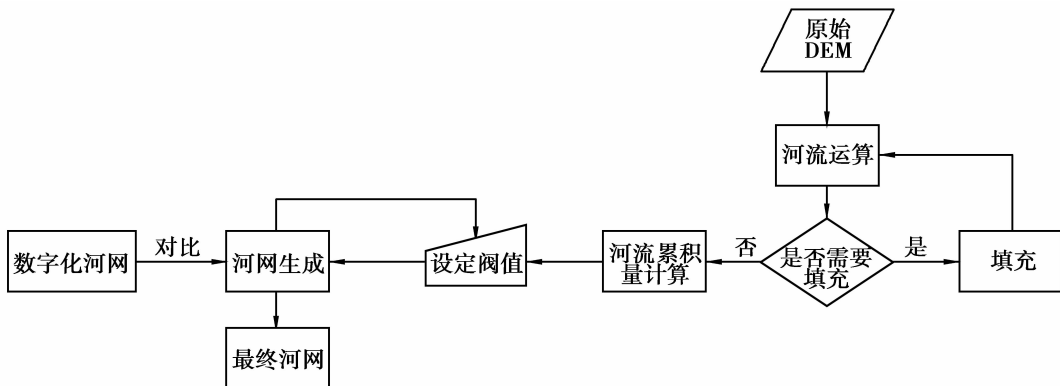


图 1 基于 DEM 流域水系提取

2 实例研究

2.1 研究区概况

万州区地处四川盆地东缘,重庆市东北边缘,位于东经 $107^{\circ}55'22'' \sim 108^{\circ}53'25''$,北纬 $30^{\circ}24'25'' \sim 31^{\circ}14'58''$ 。东与云阳县和湖北利川市相接,南靠石柱县,西与忠县、梁平县和四川省达州市毗邻,北与开县、城口接壤。区内山丘起伏,最高海拔 1 762 m,最低海拔 106 m,低山、丘陵面积约占 1/4,低中山和山间平地面积约占 1/4,极少平坝和台地,且零星散布。境内河流纵横,河流、溪涧切割深,落差大,高低悬殊,呈枝状分布,均属长江水系^[7]。总水域面积为 108.66 m^2 。多年平均年水面蒸发为 $620 \mu\text{m}$,年蒸发总量达 10.85 亿 m^3 ^[7]。

2.2 数据源与研究方法

所选用的实验区为重庆市万州区 1:1 万新图幅编号为 H49G030002、H49G030003、H49G031002、H49G031003 的 DEM 数据和 2009 年 1:1 万遥感影像为基础的数字化水系图。DEM 地面分辨率为 5 m,采用的 1954 年北京坐标体系,高斯—克吕格投影方式,中央子午线为 108°E 。1:1 万水系图为手工数字化得到,采用的 1980 年西安坐标体系,高斯—克吕格投影方式,中央子午线为 108°E 。

利用 ArcGIS 中 ArcToolbox 下的 Mosaic 工具将四幅 DEM 拼接成一幅 DEM 数据。并将 1980 年西安坐标体系的对比分析的数字化水系数据在 ArcGIS 变换成 1954 年北京坐标体系,使其与 DEM 数据源坐标体系相同。

2.3 流域特征提取

2.3.1 计算水流方向

在 ArcGIS Hydrology 模块下的 Flow Direction 工具,输入原始的 DEM 数据,通过 D8 算法得到水流方向。

D8 算法假设每个单元格的水流只有 8 种可能的流向并用最陡坡度法来确定水流的方向。为了方便表示水流方向,一般规定一个网格的水流方向用一个特征码表示。有效的水流方向定义为东、东南、南、西南、西、西北和北、东北,并分别依次用值为 2 的次幂的 8 个有效特征码表示(图 2)。

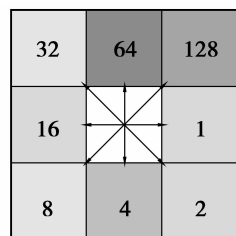


图 2 水流方向编码

中心网格单元同相邻 8 个网格单元之间坡度的公式为:

$$\text{Slope} = \frac{(h_i - h_j)}{D}$$

式中 h_i 是中心网格单元高程, h_j 是相邻网格单元高程, D 是 2 个格网中心点之间的距离。若为水平、垂直方向相邻 D 为格网分辨率;而在对角线方向上, D 为格网分辨率乘以 $\sqrt{2}$ 。

从水流方向数据的属性表中可以得到, 计算出的水流方向编码并不是只有这 8 个有效特征码, 还有很多其他代码值, 则说明此 DEM 数据需要进行填洼处理。

2.3.2 计算出洼地并填充

利用 ArcGIS Hydrology 模块下的 Sink 工具, 结合计算出的水流方向数据得到洼地区域。要对洼地进行填充就要计算出洼地的深度, 而计算洼地的深度首先要确定洼地的贡献区域, 然后在这个区域内计算洼地的确切深度。利用 ArcGIS Hydrology 下的 Watershed 工具可以得到洼地的贡献区域(图 3)。

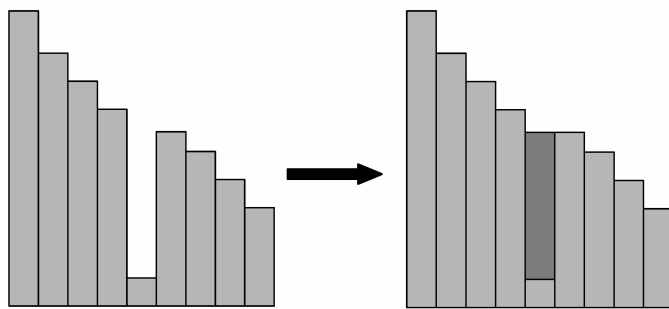


图 3 填洼前后的洼地剖面图

首先利用 ArcGIS 空间分析工具箱(Spatial analysis tools)下的 Zonal 工具集下的 Zonal statistic 工具可以统计出洼地贡献区域的最低高程;再利用 Zonal 工具集下的 Zonal fill 工具, 计算每个洼地贡献区域出口的最低高程即洼地出水口高程。这样后者减去前者就得到了每个区域的洼地深度。结合计算出的洼地深度数据, 利用 ArcGIS Hydrology 下的 Fill 工具对原始 DEM 数据进行填充。当一个洼地填平之后, 又会形成新的洼地, 这就要不断地重复水流方向的计算, 洼地的计算, 洼地贡献区域的计算, 洼地深度的计算, 洼地填充等步骤。

通过上述洼地填充过程, DEM 中所有栅格点的高程值均大于或等于最低出水口点的高程值, 这样就创建了一个具有“水文学意义”的 DEM, 从而保证了从 DEM 数据中提取的流域自然水系是连续的。

需要注意的是洼地的填充是一个迭代的过程, 因为在一次填充之后有可能产生新的洼地, 所以该过程需要花费较多的时间和精力。但是值得注意的是洼地的填充过程不是必须的, 这是由 DEM 数据精度决定。如果 DEM 精度足够高, 可以跳过这一过程^[1]。当利用填充后的 DEM 数据进行流向运算时不再出现除 8 个流向编码以外的数字时, 表示此 DEM 填洼完成。

2.3.3 计算汇流累积量

基于无洼地的 DEM 计算出的水流方向数据, 可以计算出地表径流通过每个栅格的汇流累积量的大小, 其值代表有最终流过该栅格的上游栅格数。汇流积的数值越大, 该区域越易形成地表径流。该函数通过流向栅格图搜索水流路径, 采用递归算法, 从流域出口栅格开始递归搜索, 计算出每一栅格单元的上游汇水面积, 即得到汇流栅格图, 只不过该汇水面积量值是以栅格数目表示的^[8]。此过程可以利用 ArcGIS Hydrology 下的 Flow Accumulation 工具实现, 其计算过程如图 4 所示。

汇流累积量是基于水流方向数据计算而来的。对每一个栅格来说, 其汇流累积量的大小代表着其上游有多少个栅格的水流方向最终汇流经过该栅格, 汇流累积的数值越大, 该区域越易形成地表径流。

2.3.4 确定阈值以及生成河网

最小水道集水面积阈值对河网的生成有很大影响^[9]。不同尺度下的 DEM 数据所确定的合适阈值是不

2	2	2	4	4	8
2	2	2	4	4	8
1	1	2	4	8	4
128	128	1	2	4	8
2	2	1	4	4	4
1	1	1	1	4	16

=

0	0	0	0	0	0
0	1	1	2	2	0
0	3	7	5	4	0
0	0	0	20	0	1
0	0	0	1	24	0
0	2	4	7	35	2

图 4 基于水流方向计算汇流累计量的计算过程

一样的。因为不同尺度下的 DEM 数据每个栅格所代表的集水面积是不一样的,1:1 万下的 DEM 数据,每个栅格大小为 $5 \times 5 = 25 \text{ m}^2$,而 1:5 万 DEM,每个栅格大小为 $25 \times 25 = 625 \text{ m}^2$ 。可以看出比例尺越大,每个栅格所表示的面积就越小,所以生成同样级数和详细程度的河网,1:1 万所需设定的最小阈值要比 1:5 万的要大。

阈值越大,提取出的河网越粗,可能只能提取出河流的主干;阈值越小,提取出的河网分级也就越多,但也可能提取出现实中不存在的支流。图 5 分别是最小水道集水面积阈值为 1.25 km^2 (50 000 个栅格)和 0.25 km^2 (10 000 个栅格)时自动生成的河网的截图。

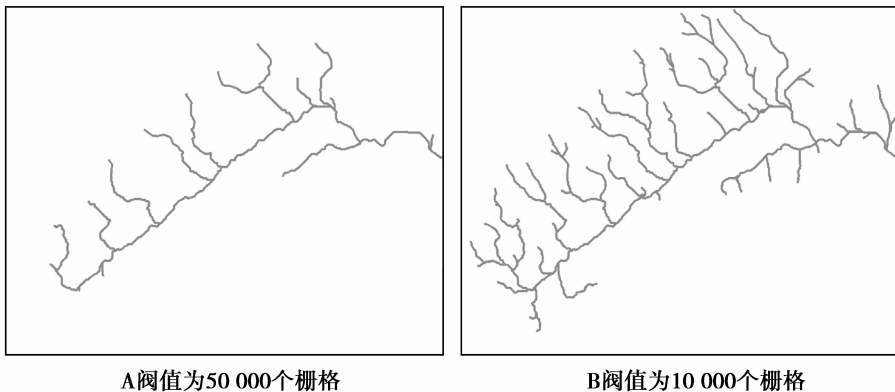


图 5 最小水道集水面积阈值的对河网的影响

阈值的确定需要借助地形图等其他辅助数据进行检验。将 2009 年的数字化河网作为参考,经过多次调整阈值大小,最终确定 1:1 万 DEM 下阈值为 50 000 个栅格。对于同样是 1:1 万的 DEM 数据,由于地形等其他因素的影响,其适合的阈值肯定会有偏差,但偏差不会太大,应在 50 000 个栅格左右进行调试。

3 精度验证

3.1 自动提取的河网与实际河网的比较

选取一段河网将基于 DEM 提取的河网与 1:1 万已有的数字化河网作对比分析(图 6)。

可以看出,二者总体上吻合较好,尤其是主干河道基本重合。但也有少数区域相差较大(图 6 所示),这些区域均为直流的末端,提取的河网支流要长(或多于)与已有的数字化河网。此外,总体上看,基于 DEM 提取的河网弧度不够圆滑,而数字化的河网是现实河流的真实反映,其弧度一般都比较圆滑,这也造成二者比较时会有较小偏差。

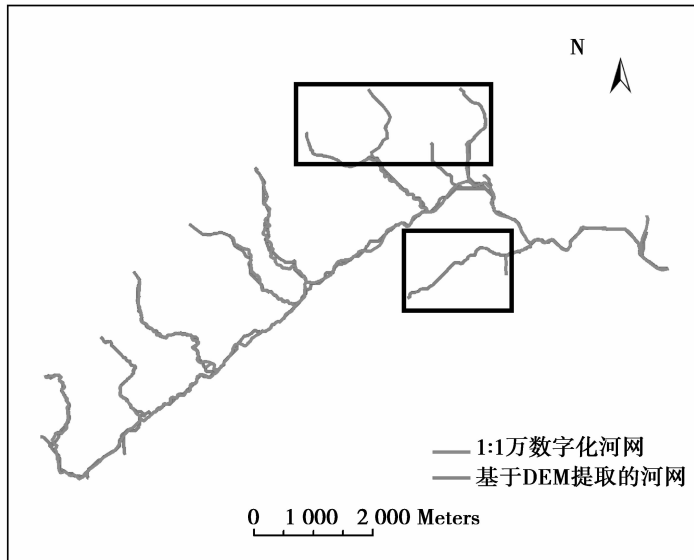


图 6 基于 DEM 提取的河网与 1: 1 万数字化河网的比较

3.2 算法精度分析

基于 ArcGIS Hydrology 模块提取流域特征的精度主要受 3 方面问题的影响。

(1) DEM 自身的精度:此次选用的 1: 1 万,地面分辨率为 5 m 的高精度 DEM 数据,精度上可以保证。

(2) DEM 内的平坦区域:DEM 中的平坦区域包括 DEM 本身存在的平坦区域和洼地填平后形成的平坦区域。利用 D8 算法,在平坦区域内部河道无法产生,而是通过连接平地两端边缘的水流汇流栅格点生成与实际不符的伪河道。由于平坦区河流流动的随机性大,自然水系一般是弯曲的,有些河道则呈辫状或不规则环状,这就意味着有些栅格点的水流流向是多流向的,而 ArcGIS 中 Hydrology 模块使用的 D8 算法是单流向算法,无法模拟多流向,提取的水系一般比较平直。对于洼地和平坦区的处理就成了一个影响最终河网的一个比较重要的因素。

(3) 人类活动的影响:由于 ArcGIS Hydrology 模块模拟的水流流向完全是依据自然地形,据此进一步模拟水流的汇聚地——河道,也就是说它所模拟是在人类活动没有改变自然水流流向条件下的河网。因此诸如开挖人工河流渠道或建造城市人工暴雨管网和排污管网等改变水流流向的人类活动都对 ArcGIS Hydrology 模块提取结果的精度产生很大的影响。

4 结 论

基于 DEM 提取水文信息,其中涉及多种原理与算法,主要以 ArcGIS 为工具,对万州区 1: 1 万 DEM 数据进行实例分析,得结论:

(1) 基于 ArcGIS 的 DEM 提取的流域特征,其河网水系特征可以作为流域水文建模的主要参数,这样可以大大提高水文建模的效率,降低成本。

(2) 选择不同的最小水道集水面积阈值将得到不同密度的河网,确定形成与自然水系吻合河网的最小水道集水面积阈值是研究的关键。采用地表径流模型原理,对 1: 1 万 DEM 进行水系提取,最小水道集水面积阈值设定为 50 000 个栅格比较合适。

(3) 对于山地地形,基于 ArcGIS Hydrology 对 1: 1 万 DEM 数据,模块提取河网的方法,总体上取得比较满意的效果,从提取的效率和结果的精度两方面来看都是切实可行的。

参考文献:

- [1] 唐从国,刘丛强. 基于 ArcHydroTools 的流域特征自动提取—以贵州省内乌江流域为例[J]. 地球与环境,2006,34(3): 30-37
- [2] 熊立华,郭生练. 分布式流域水文模型[M]. 北京:中国水利水电出版社,2004
- [3] 周启鸣,刘学军. 数字地形分析[M]. 科学出版社,2006
- [4] 朱庆,李志林. 数字高程模型[M]. 武汉:武汉测绘科技大学出版社,2000
- [5] 朱庆,田一翔. 从规则格网 DEM 自动提取汇水区域及其子区域的方法[J]. 测绘学报,2004,33(1):129-133
- [6] 林时君. 干旱区地表-地下水资源综合数据库的开发研究—以香日德柴达木河为例[D]. 北京:中国科学院地理科学与资源研究所,2009
- [7] 陈丹,周启刚,黄永安,等. 基于 RS 和 GIS 的三峡库区景观格局分析—以万州区为例[J]. 重庆工商大学学报:自然科学版,2012,29(1):69-75
- [8] 孔凡哲,芮孝芳. 数字高程模型在流域水文模型应用中的若干问题[J]. 水文,2002,22(5):1-4
- [9] 赵亚萍,黄岩,邱道持,等. 数字流域河网提取中的阈值问题研究[J]. 信阳师范学院学报:自然科学版,2008,21(2): 232-235

Research on Water System Extraction of 1:10,000 DEM in Mountain Areas Based on Hydrology

AN Qi¹, YANG Fei², CHEN Dan¹,
YANG Shuang-shuang¹, REN Su-min¹

(1. School of Tourism and Land Resources, Chongqing Technology and Business University,
Chongqing 400067, China;

2. Yangtze Upriver Economic Research Center, Chongqing Technology and Business University,
Chongqing 400067, China)

Abstract: DEM data of Chongqing Wanzhou District from four maps of 1:10,000 scale and 5m surface resolution are used to extract watershed network by D8 algorithm through HydrologyTools module in ArcGIS and according to surface runoff model principle and to calculate confluence accumulation amount in order to ultimately create a river network. The results show that it is relatively reasonable to set 50,000 grids as minimal flow accumulation water area threshold value for water system extraction of 1:10,000 DEM and that the accuracy of extracting efficiency and results by applying ArcGIS Hydrology module to extracting river network is feasible for mountainous area and based on 1:10,000 DEM data.

Key words: Digital Elevation Model (DEM); water system extraction; Hydrology; Wanzhou District

责任编辑:田 静