

文章编号:1671-4814(2012)03-206-05

# 两种不同 DEM 处理方法提取的水系比较\*

刘昱恒<sup>1</sup>,徐宏根<sup>2</sup>

(1 中国地质大学(北京)地球科学与资源学院,北京 100083)

(2 中国地质调查局武汉地质调查中心,武汉 430205)

**摘要:**水系不但是重要的自然地理要素,而且对防洪减灾、资源开发等有着重要意义。基于 DEM 的坡面径流法是最为常用的水系提取方法,其提取精度直接取决于 DEM 中洼地的处理方法。为了比较不同 DEM 处理方法对水系提取精度的影响,本文以江西省潦河流域为例,利用基于 DEM 数据的 J&D 算法及基于辅助数据的 AGREE 方法来处理实验区 DEM,然后利用坡面径流法提取水系。结果表明,经两种方法后均可以提取出连续的水系,且提取水系的等级、数量及长度相差不大;在提取精度上,在受人类活动影响较小的山地丘陵地区两种方法提取的水系比较吻合,而在平坦地区或受人类活动影响较大的地区提取的水系差异较大,且 AGREE 方法处理后提取的水系精度较高。

**关键词:**水系;坡面径流法;提取精度;辅助数据

**中图分类号:** TP753

**文献标识码:** A

数字水系是大多数地表水文分析模型的主要输入数据,在水资源开发利用、防洪减灾、水域污染监测及水土保持等诸多方面也得到了广泛的应用<sup>[1]</sup>。DEM 由于能够表达丰富地貌信息而被广泛的运用于数字水系的提取。目前,最常用的基于 DEM 水系提取方法是坡面径流法,其原理是从 DEM 中隐含的格点高程及地理信息,凭借地表径流在地形作用下的运动规律的特征表达,利用计算机自动实现流域河网水系的准确提取<sup>[2]</sup>。

目前,利用 DEM 提取水系主要有两种思路:其一是依靠单纯 DEM 数据的处理。这种方法由于插值误差、数据分辨率尤其是水平分辨率的影响,DEM 数据往往不能反映小于分辨率范围内的地形起伏,由此造成平地 and 洼地而影响水系提取的精度,因此,洼地和平地流向的确定成为水系提取研究的热点与难点。Jenson 和 Dominique 提出了一种洼地和平地的流向赋予算法(以下简称 J&D 算法),该方法首先寻找洼地或平地的流出点,然后根据流出点的高程对洼地或平地进行增高,最后从流出点附近的栅格开始从近及远赋予流向值<sup>[2]</sup>。由于该算法稳健且适应范围广而被广泛运用于一些商业软件,例

如 ERSI ArcGIS 等。该算法对山区或河流谷底存在小范围闭合洼地的情况较有效,但对于大范围的平原或水体区域内的洼地和平地进行处理时,所提取水系的效果和效率还不尽如人意<sup>[3]</sup>。其二是加入辅助数据进行处理。由于采用单一的 DEM 数据源很难判断出流域局部真实的地形特征和水流方向,因此在提取流域水系等信息时往往需要加入辅助数据进行修正。为此,Hutchinson 提出了“Stream Burning”方法,建议将河网辅助信息应用于 DEM 中,使通过网格的水流与真实河网相对应<sup>[4]</sup>。Saunders 等通过人工数字化水系图来提高虚拟河网精度<sup>[5]</sup>。Turcotte 等在 Saunders 等研究的基础上通过数字河流和湖泊网络 DRLN(Digital River & Lake Network)来提高湖泊和平原的水系提取精度<sup>[6]</sup>。在国内,王加虎等通过数字化不同比例尺的地形图水系等方式解决了 DEM 水系提取中的部分河道缺失的信息。此方法使提取出的河道流向更加准确,在水系提取方法上值得借鉴<sup>[7]</sup>。林凯荣等采用了目视解译遥感影像方法对提取出的河系进行修正,此方法虽然可以生成比较符合实际地形的河系,但目视解译受研究者经验的影响较大,而且花费大量时间<sup>[8]</sup>。郝

\* 收稿日期:2012-03-05

第一作者简介:刘昱恒(1989~)男,湖北钟祥人,在读研究生,中国地质大学(北京)地球科学与资源学院。

振纯等采用主干河道数字化方法,通过叠加处理,改变主干河道经过的格网内高程值,使河网生成在主干河道的约束条件下完成<sup>[9]</sup>。Ferdin 提出了 AGREE 算法,该方法根据输入的矢量水系数据来重新调整 DEM 中相应栅格的高程值<sup>[10]</sup>。该方法简单、易于实现,且配合 J&D 算法可以实现河网水系的准确提取,因此,该方法也作为 ArcGIS 水文分析的一个模块而得到了广泛的运用。

这两种思路中,前者以 J&D 算法因稳健可靠而被广泛应用;后者以 AGREE 方法较为代表。为了比较两种不同 DEM 处理方法对水系提取精度的影响,本文拟以江西省潦河流域为例,利用基于 DEM 数据的 J&D 算法及基于辅助数据的 AGREE 方法来进行实验区 DEM 填洼处理,然后利用坡面径流法提取水系,从而研究不同方法提取的精度及适用范围,为流域河网水系的计算机自动提取提供有益的借鉴。

## 1 研究方法

### 1.1 坡面径流法提取河网步骤

#### 1.1.1 无洼地 DEM 生成

实际地形存在真实的洼地,DEM 数据因精度不够或者数据异常会产生假洼地。假洼地导致在河网生成过程中可能会造成不合理的中断,降低了生成河网的准确性,所以应该在河网提取前对 DEM 数据进行填洼和平地抬升处理以生成无洼 DEM (Depressionless DEM)。洼地填充的简单方法是如果某一栅格单元的高程低于周围栅格单元的高程,则增加该栅格单元的高程,直到水流可以流到相邻单元。

#### 1.1.2 水流方向确定

通过对 DEM 数据预处理得到无洼 DEM 数据,然后确定各个栅格的水流方向。确定流向最常用的方法是 D8 算法。D8 算法假设单个网格中的水流只有 8 种可能的流向,即流入与之相邻的 8 个网格。它可用最陡坡度法来确定水流的方向,即在  $3 \times 3$  的 DEM 网格上,分别计算中心网格与各相邻网格间的坡降,具有最大坡降值的栅格便为流入栅格。

#### 1.1.3 流量累积矩阵计算

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,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。根据无洼 DEM 数据

生成的水流方向栅格逆向跟踪计算能够注入该栅格的所有栅格数目,并将其标注为该栅格的汇流特征值,生成水流集聚栅格。

#### 1.1.4 河网提取

在水流集聚栅格中,每一个栅格的汇流特征值代表着注入该栅格的所有栅格的数量。当栅格的特征值大于某一给定阈值时,认为该栅格为河网栅格,将这些栅格的值赋为 1,小于该阈值的栅格值赋为 0,即生成二值化的河网栅格。

### 1.2 基于 DEM 数据的洼地处理方法

在利用 D8 提取流域河网及其他流域参数时遇到的最大问题是在 DEM 中存在洼地。由于没有比洼地更低的高程,所以无法确定水流方向。J&D 算法主要思想是首先扫描洼地,找到洼地所在区域的出流点,将该区域内低于出流点的高程升到该出流点高程,然后修改平地(原来已存在的平地与经过填充后的平地)的水流方向,即从平地栅格单元指向平地周边最近的出流单元,使流域内每个网格的水流都能够流到流域出口<sup>[2]</sup>。

### 1.3 基于辅助数据的洼地处理方法

AGREE 方法是一种将矢量河网图层作为附加信息的 DEM 表面高程调整算法,目的是使得 DEM 和输入的矢量河网图层相一致<sup>[11]</sup>。该方法通过“burn-in”方式将矢量河网数据所在格网的高程值人为降低一定数值,从而将实际河网嵌入到 DEM 中。在运用 AGREE 算法处理 DEM 时,需要设置缓冲区(Buffer)、平滑(Smooth)、增益(Sharp)等 3 个参数,这 3 个参数代表了 AGREE 算法的 3 个组成部分。首先,根据设定的缓冲区参数确定在矢量河道两侧创建的缓冲区宽度,该宽度以 DEM 图层栅格的个数表示,也就是设定的缓冲区参数的大小。平滑参数表示缓冲区栅格(从缓冲区的边界到河道所处栅格之间的栅格)部分降低的总高度,平滑处理将缓冲区边界至河道栅格处的高程逐格降低,每个栅格降低的高度取决于缓冲区的宽度和平滑参数的大小,使得河道及周边的地势呈一个“V”字形,确保水流将汇到河道栅格处。最后,在平滑处理的基础上,根据设定增益参数的大小在河道所在的栅格再次将高程降低相应数值,达到根据矢量河道对 DEM 进行修正的目的<sup>[10]</sup>。

## 2 实验设计

本研究选择江西省潦河流域为实验区,面积为  $1560 \text{ km}^2$ ,最高海拔  $1790 \text{ m}$ 。流域内有 2 条支流几

乎平行流动,最后汇合后注入鄱阳湖。气候属亚热带湿润季风气候,光照充足,雨量充沛,年平均雨量约1500 mm,但季节分布不均匀,4~6月为雨季,降雨集中,多为暴雨,其降雨量占全年的50%以上,秋季干旱。土壤肥沃,优越的自然地理条件,适合水稻等多种高产作物生长,林地覆盖率达60%以上。

研究数据为30 m分辨率的ASTER GDEM、1:25万DLG水系数据及2005年4月27日获取的Landsat ETM+影像。对DLG水系数据进行编辑处理,提取单线的干流水系。分别利用基于DEM数据的J&D算法和整合DLG数据的AGREE方法对DEM中洼地及平地进行处理,利用坡面径流法进行水系提取,采用Strahler法对提取水系进行分级编码,然后提取出的结果分别与ETM+影像中的水系进行叠加比较,从而检验不同方法提取水系的精度。为了定量比较两种DEM处理方法提取的水系差别,本研究还计算了不同方法提取出的各级别水系数量及长度。

### 3 结果与讨论

#### 3.1 水系提取结果

将原始DEM和读入ESRI ArcGIS中的水文模块进行分析处理。ArcGIS水文模块利用J&D算法进行填洼处理,采用AGREE算法来整合矢量水系。本研究首先利用J&D算法对研究区洼地进行填洼处理后,采用D8单流向算法计算每个栅格的流向,

在此基础上计算各个栅格的累计流量,最后设置临界集水面积阈值为10 km<sup>2</sup>提取水系,所得结果如图1所示。在利用AGREE算法整合DLG水系时,缓冲区、平滑和增益值分别设为3、20和10,经过相应步骤处理后,仍设置临界集水面积阈值为10 km<sup>2</sup>来提取水系,结果见图1。

从图1中可以看出,两种DEM处理方法均可提取出流域水系。在受人类活动影响较小的山地丘陵地区,地形坡度较大,人为改造的河道较少,两种方法提取的结果比较一致,且精度较高(图1)。但在下游的平坦地区(如图1中的3个矩形框区域),两种方法提取的结果则存在较大差异,如图2。

图2中B、C区域位于流域下游的平坦地区,地形坡度小于3°。在这样的地区,河流流动的随机性比较大,自然水系往往是弯曲的,而DEM中有限的高程信息很难确定水流方向。因此,J&D方法处理的DEM提取的水系基本与实际存在较大差异,提取效果较差。第2种处理方法将DLG主干河网“烧录”到DEM后,根据实际河网信息,通过AGREE算法来修正相应的DEM高程值,将平坦地区栅格水流汇聚到附近的河道中来,提取的河网基本与实际吻合。总之,两种不同的DEM处理方法,在受人类活动影响较小的山地丘陵地区提取的水系比较吻合,而在平坦地区或受人类活动影响较大的地区提取的水系差异较大,且AGREE方法处理后提取的水系精度较高。

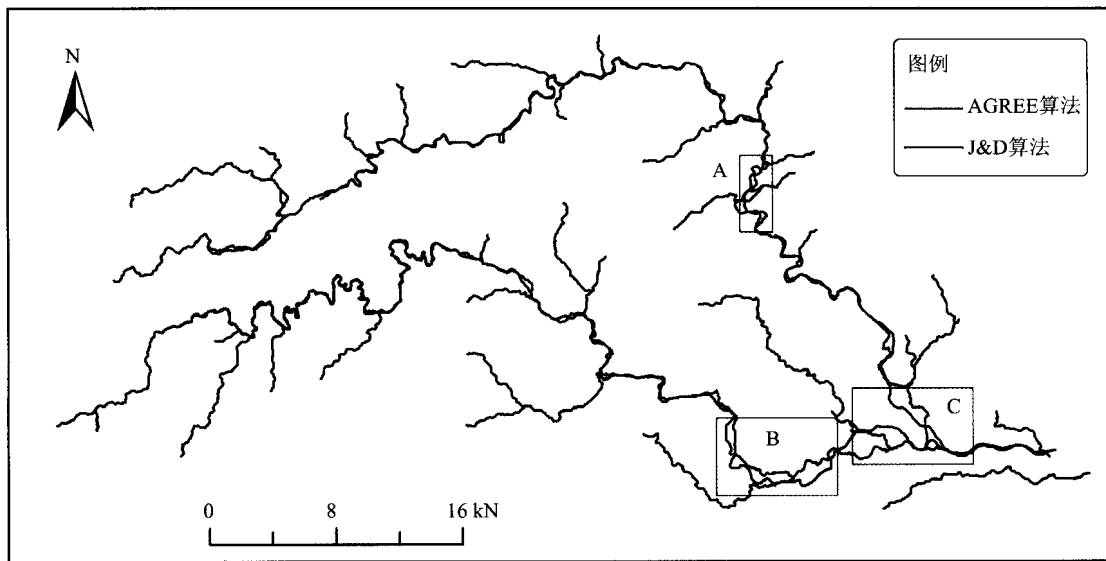


图1 两种不同DEM处理方法提取的水系比较(图中矩形框分别为图2中A、B、C的位置)

Fig.1 Comparison of water systems extracted from DEM based on two different preprocessing methods (the rectangles A,B and C represent respectively the locations of water systems showing in Fig.2 A, B and C)



## 参考文献

- [1] 李辉,代侦勇,张利华,等. 利用数学形态学的遥感影像水系提取方法[J]. 武汉大学学报信息科学版, 2011, 36(8):956-959.
- [2] Jenson S K, Dominique J O. Extracting topographic structure from digital elevation data for geographical information system analysis[J]. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 1988, 54(11): 1593-1600.
- [3] 李辉,陈晓玲,张利华,等. 基于三方向搜索的DEM中洼地处理方法研究[J]. 水科学进展, 2009, 20(4): 473-479.
- [4] Hutchinson M F. A new procedure for gridding elevation and stream line data with automatic removal of spurious pits[J]. *Journal of Hydrology*, 1989, 106(3-4): 211-232.
- [5] Saunders W, Maidment D R. Grid based watershed and stream network delineation for San Antonio-Nueces coastal basin [A]. In: *Proceedings of Texas Water'95: A Component Conference of the First International Conference of Water Resources Engineering*[C]. San Antonio: ASCE, 1995:16-17.
- [6] Turcotte R, Fortin J P, Rousseau A N, et al. Determination of the drainage structure of a watershed using a digital elevation model and a digital river and lake network[J]. *Journal of Hydrology*, 2001, 240: 225-242.
- [7] 王加虎,郝振纯,李丽. 基于DEM和主干河网信息提取数字水系研究[J]. 河海大学学报:自然科学版, 2005, 33(2): 119-122.
- [8] 林凯荣,郭生练,陈华,等. 利用遥感信息修正数字河网的研究[J]. 武汉大学学报:工学版, 2005, 38(6): 48-52.
- [9] 郝振纯,李丽. 基于DEM的数字水系的生成[J]. 水文, 2002, 22(4): 8-10.
- [10] <http://www.ce.utexas.edu/prof/maidment/GISHYDRO/ferdi/research/agree/agree.html>
- [11] 郑子彦,张万昌,邵庆国. 基于DEM与数字化河道提取流域河网的不同方案比较研究[J]. 资源科学, 2009, 31(10): 1730-1739.

## Comparisons of water systems extracted from DEM with two different processing methods

LIU Yu-heng<sup>1</sup>, XU Hong-gen<sup>2</sup>

(1 *School of the Earth Sciences and Resources, China University of Geosciences, Beijing 100083, China*)

(2 *Wuhan Center of Geological Survey, Wuhan 430205, China*)

### Abstract

Water systems are not only important natural details, but also critical data sources for flood prevention, disaster reduction and exploitation of natural resources. Water systems are usually extracted from DEM (digital elevation data) with slope-runoff method, the accuracy of which is determined by the processing method of depressions in DEM. In order to study the effect of different DEM processing methods on the accuracy of extracted water system, we compared water systems extracted from DEM with two processing methods. In this study, DEM data based on J&D algorithm and auxiliary data based on AGREE method were tested against 30 meter DEM for Liaohe River valley, Jiangxi Province. The results show that both of the methods are capable of extracting continuous drainage lines of similar orders, quantities and lengths. It revealed that the extracted water systems of two methods agree well in the steep mountainous region, but show large differences as for the well-populated flat area. Comparisons also demonstrated that the AGREE method enjoys high extraction accuracy than J&D methods as for the flat area.

**Key words:** water system; slope runoff method; extraction accuracy; auxiliary data