

基于不同空间尺度 DEM 河网提取的 阈值选取准则研究

陈东风¹, 巩伦宝², 李振³

(1. 镇江市城市水利管理处, 江苏 镇江 212000; 2. 镇江市水利局, 江苏 镇江 212000;
3. 扬州大学 水利与能源动力工程学院, 江苏 扬州 225127)

摘要: 利用卫星遥感地形资料进行水文分析是近些年来水文研究领域的一个热点。本文选取川西南彝族自治州区域的数字高程模型 DEM 数据进行河网的计算提取, 经过与川西南彝族自治州的标准河流水系对照, 认为基于 DEM 提取的川西南彝族自治州的河网信息比较合理, 能够作为更进一步水文研究的基础信息。分析了川西南彝族自治地区在 30 × 30 m 和 90 × 90 m 分辨率下的河网, 按照梯状分布的阈值进行河网的提取, 选取最佳河网后再进行不同地区最佳河网提取时阈值的横向对比, 最终得出的结论是提取出来的河网密度随着阈值的增加而减少, 并且在下限 100 和上限 50000 时基本达到临界值。

关键词: DEM; 洼地填平; 阈值; 水文分析

中图分类号: P333.1

文献标识码: A

文章编号: 1672-643X(2015)02-0109-05

Study on principle of threshold selection of river network extraction based on different DEM scales

CHEN Dongfeng¹, GONG Lunbao², LI Zhen³

(1. Water Conservancy Department of Zhenjiang, Zhenjiang 212000, China; 2. Bureau of Zhenjiang Water Resources, Zhenjiang 212000, China; 3. College of Water and Energy Power Engineering, Yangzhou University, Yangzhou 225127, China)

Abstract: Hydrologic analysis based on the data of remote sensing is a hot topic in the field of hydrology research in recent years. This article extracts the river network based on DEM in southwest area of western Sichuan Yi nationality autonomous region. Through comparing the system with standard river system, it showed that the method is reasonable and the result can be used as the basic information of hydrology research. It analyzed the river network under resolution of both 30 m × 30 m and 90 m × 90m DEM data, and abstracted river network according to threshold value of ladder distribution. The best river network was extracted. Finally it got the conclusion that extracted density of water network decreased with the increase of threshold and reached the critical value at lower limit 100 and upper limit 50000.

Key words: DEM ; depression filled; threshold; hydrologic analysis

随着信息时代的到来, 产生了各种各样的数字化工具, 如卫星遥感, 代替了人为模式的信息采集, 具有高效精确的特点, 用卫星遥感测量出来的地形数据叫数字高程模型, 简称 DEM^[1]。DEM 是单项数字地貌模型, 可以产生其他像坡向、坡度以及坡度的变化率等地貌特性。要计算和处理 DEM 数据, 就要用到 ArcGIS 空间信息分析软件的水文分析模块。

水文分析模块是 ArcGIS 空间分析中的一个功能模块, 它的功能主要是通过 DEM 提取相关水文数据最终完成水文分析, 如得到河网让其实现再次流动, 并进行流域的划分^[2]。

本文研究区为凉山彝族自治州, 其平均海拔 1 500 m, 坐落在云南省和四川省的交接处, 在川西南南地区。凉山有着东南偏低西北较高的地势, 其区

收稿日期: 2014-06-29; 修回日期: 2014-12-24

基金项目: 江苏省水利动力工程重点实验室开放课题(K12016)、江苏省高校自然科学研究面上项目(13KJB420005)

作者简介: 陈东风(1977-), 男, 江苏镇江人, 学士, 工程师, 主要从事水利工程建设与管理工。

通讯作者: 李振(1985-), 男, 山东枣庄人, 博士, 讲师, 研究方向为遥感信息处理与应用。

域内地貌特征多样化,雨水十分充足,热量也很饱满,具有明显的立体气候现象。本文利用了 $30\text{m} \times 30\text{m}$ 栅格 DEM 高程数据进行流域水文分析,以四川西南部凉山彝族自治州地区为例。通过计算分析,信息处理,对该地区流域信息进行采集。

1 河网的提取

河网的提取的技术网络图见下图 1。

1.1 洼地的提取

洼地是指一个栅格或空间上相互联系的栅格的集合,在水流方向计算式不能用流向的 8 个数值来表示。并且 DEM 是比较光滑的地形表面模型,由于 DEM 误差以及特殊地形的存在,在 DEM 数据形成的图层上产生坑洼的地方,对水流方向的计算就会出现错误,必须把应该填平的洼地填平,最后再进行河网的提取,才更精确更合理^[3]。

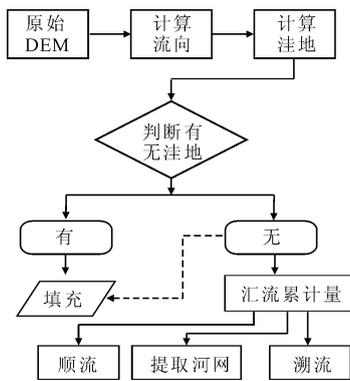


图 1 技术路线图

目前应用的方法主要有单流向算法和多流向算法。单流向算法假定水流只能从一个方向流出该单元,然后依据该网格的高程对比来确定水流方向。由于此方法应用广泛且原理简单,所以本文也采用单流向算法^[4]。给它相邻的格子编号,中间格子中的水流到哪里就可以用相邻 8 个值中的一个代表,中间格子与邻域栅格的高程相减除以他们的距离就得到距离权重落差,格子间的距离是和方向关系密切的,假如相邻的格子对中间格子的单元格与相邻 8

32	64	128
16		1
8	4	2

图 2 原理图

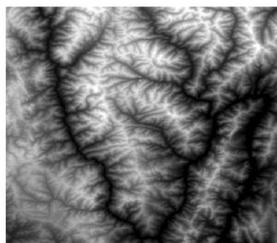


图 3 遥感 DEM 图

个网格单元之间坡降的算法为点 (i, j) 到它周围任何一相邻点的地表坡度 S 的值是 2, 8, 32 和 128, 那么格子间的距离为 $\sqrt{2}$ 倍的格子大小, 否则为 1。被计算的单元格与相邻 8 个网格单元之间坡降的算法为点 (i, j) 到它周围任何一相邻点的地表坡度 S :

$$S(i, j) \rightarrow (i + m, j + n) = \frac{Z(i, j) - Z(i + m, j + n)}{\sqrt{m^2 + n^2} \cdot \Delta l} \quad (1)$$

式中: S 为坡度; Z 为 DEM 数据的高程; Δl 为步长, $m = -1, 0, 1$; $n = -1, 0, 1$, m 和 n 不能同时为 0。单流向原理见图 2。

原始 DEM 数据是遥感卫星采集的地理数据,是地表形态的真实反映。根据航空或航天影像,通过摄影测量途径获取,经过数字化技术处理,得到的川西南彝族自治州区域 DEM 数据,以图片形式输出得到图 3。

研究发现,对原始数据进行水流方向的提取是不合理的,因为没有考虑到洼地的存在对水流方向的影响。获得的数据是所有地形表面高程,包括洼地地区的水面高程,但水流方向的单流向算法是依据洼地底部实际高程来计算的,所以有必要寻找洼地,对洼地进行相关计算,对某些区域进行洼地的填充,再计算出正确的水的流向如图 4。

洼地会造成假象的水流,就是错误的水流方向,反过来,逆向推倒,就可以找出洼地,将其填充。可是,造成洼地的又不全是错误的的数据或有误差的数据,也有的是真正的地形。所以要先仔细地计算洼地的深度,找出数据误差导致的洼地,找出真正的洼地,最后,根据实际情况,给出正确的阈值,对洼地进行填充,这样就避免了填充洼地时的片面性。

在图层上得到洼地区域之后^[5],可以进一步计算洼地的贡献区域,如图 5。所谓的贡献区域指的是在计算过程中结果会受到洼地影响的区域。洼地的存在对水流方向的判别起到了阻碍的作用,洼地连同其周边区域,都会影响这片区域的水流状态,诸如水流在此处的方向,在这些栅格内的汇流累积量等。

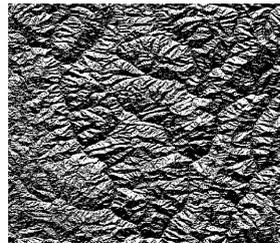


图 4 流向图



图 5 洼地贡献区域图

洼地区域的最低高程就是洼地的底端,遥感测量无法直接获得其数据。出水口高程通常情况下略高于最低高程,在图层上只有细微的差别,如图 6。

无洼地 DEM 生成的最后一步就是洼地填充,如图 7 洼地填充后的 DEM 图。要判断原来的 DEM 有没有洼地,第一次提取之后就知道了。然后就要对有洼地的区域进行填充,计算洼地深度如图 8 洼地深度图,是填充阈值前的一项铺垫工作^[6]。

1.2 汇流累积量的计算

汇流累积量在计算了水流流向以后才能得到,是一种累积量。如果将研究区域划分成很多格子,而水流又是从高往低,那么水流就会经过这些格子,每一个格子又都携带一个单位的水量,当格子经过某个格子时,这个格子就有了一个固定的水流量,而经过格子的单位水量又不止一个,并且每个格子都不一定相同,于是有了累积起来的水流量,这些水流量的和就是该区域的汇流累积量^[7]。

1.3 水流长度

沿着水流的方向,地面上的一点距离它的起点

或是终点间的最大地面距离在水平面上的投影长度叫做水流长度。在水土保持领域中,对水流长度的分析和研究有着相当重大的意义,也是后续研究的一个基础^[8]。水流长度计算方式包含溯流和顺流,如图 9。

沿着水流方向,地面上每一点到该点所在流域出水口的水平投影距离叫做顺流长度。逆着水流方向,地面上每一点到其流向起点的水平投影距离叫做溯流长度^[9]。

1.4 河网的提取

当填充得到无洼地的 DEM 后,运用最大坡降法计算出每个格子的水流流向。根据汇流累积量的计算方法,流过格子的单位水量都会成为这个格子的水流累积量,当格子上的水流累积数量到达一定值的时候,就会有地表水流出现^[10]。地表水流源源不断地出现,形成了河流,河流数量繁多纵横交错后就呈现出了河网,如图 10。有的地方稀疏,有的地方密集。稀疏和密集代表不了水量的大小,线的宽度可以代表水量的多少。

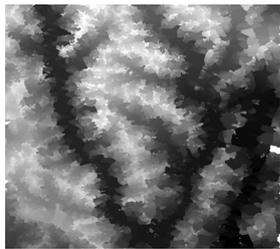


图 6 贡献区域最低高程图

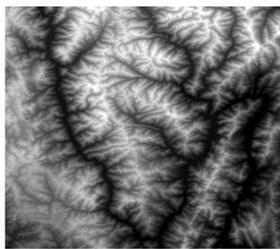


图 7 洼地填充后的 DEM 图

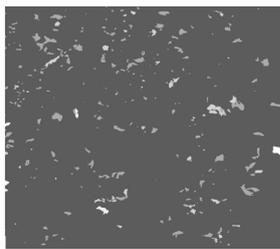


图 8 洼地深度图



图 9 顺流长度图

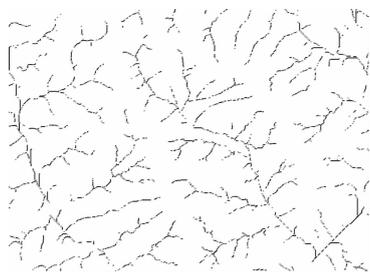


图 10 河网图

2 30m × 30m 分辨率下凉山不同阈值下河网的提取对比

河网的提取是在一定的阈值标准下进行的,在这个阈值下对汇流累积量进行计算处理,是至关重要的。定义一个二维河道标志矩阵,行,列数与 DEM 相同,给定一个河道面积阈值,当水流累积值小于该阈值时,则河道标志矩阵标记为 0,表示为产

流区,当水流累积值大于该阈值时,河道标志矩阵标记为 1,表示为河道;再扫描水流方向矩阵,将具有拓扑关系的河道连接起来,则连续的河网便生成了^[11]。

河网的计算从流域出口沿着河流向上游渐进搜索,计算出水流累积量最大的点就是流域的出口,标记出来后寻找所有流入该点的网格。

如果计算出水流累积值大于设定的阈值则加入河网中,成为组成整个河网的一个要素点,直到某一个网格有一个以上水流累积值大于阈值的入流网格为止。

如果有两个或两个以上水流累积值大于阈值的入流网格,则表示该编号的河道结束,让每个水流累积值大于阈值的入流网格开始新的河道编号。

如果没有水流累积值大于阈值的入流网格,则表示该段河道结束,当所有编号的河段的最后一个网格都没有水流累积值大于阈值的入流网格时,表

示河网提取完毕。各种阈值下的河网图见图 11 ~ 图 19。

阈值的选取对河网的提取有着最直接的影响,分别选取两个极值,100 和 50000,然后再按一定的梯度选取了 500、1000、2000、3000、5000 和 10000,从陈列的图组中可以明显地观察到,当阈值减少时,水流方向累计矩阵中数据比这个阈值高的格子全部连接后得到河网密度增大。

在原来的 100、500、1000、5000、10000 和 50000 的阈值实验后,发现在 1000 左右提取的河网较为合适,阈值又在此基础上增加了 1500、2000 和 3000 来进行更进一步的细化对比分析,得出的结论是当阈值设定在 1000 到 1500 时,提取的河网是最合理的。

3 90m × 90m 分辨率下凉山不同阈值下河网提取对比

结合相应阈值下生成的河网相比较而言,90 m × 90 m 分辨率下川西南凉山彝族自治州地区在设定阈值不同时提取的河网图见图 20 ~ 图 28,经水文分析,得到在设定阈值为 1000 时的河网比较合适。应用 30 m × 30 m 分辨率下榆林地区阈值的分布规律和 90 m × 90 m 分辨率下榆林地区阈值的分布规律讨论,通过以上两组比较,不难发现,阈值是随着研究地区的实际特征情况变化的,与采取多大的分辨率无关。通过不同分辨率下河网提取时的最佳阈值对比得出结论:同一地区,不同分辨率的采用使得最佳阈值普遍降低。

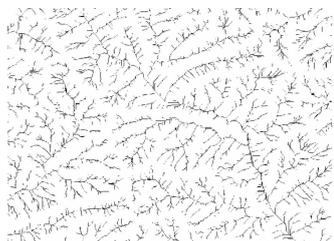


图 11 设定阈值为 100

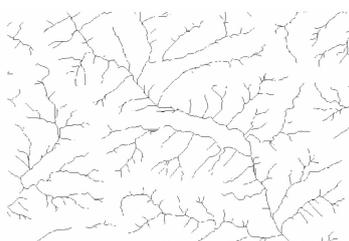


图 12 设定阈值为 500

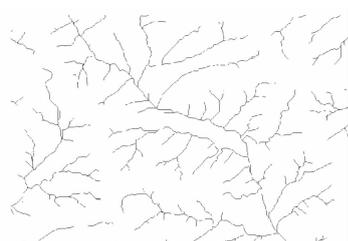


图 13 设定阈值为 1000

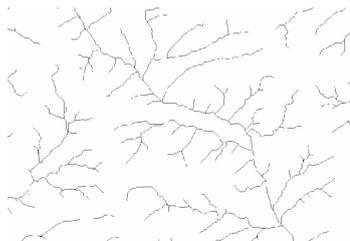


图 14 设定阈值为 1500

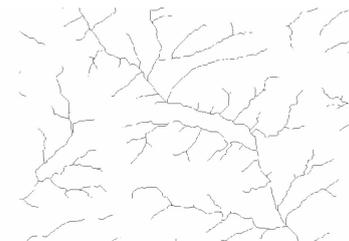


图 15 设定阈值为 2000

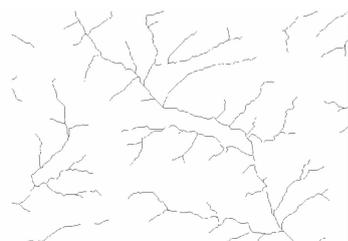


图 16 设定阈值为 3000

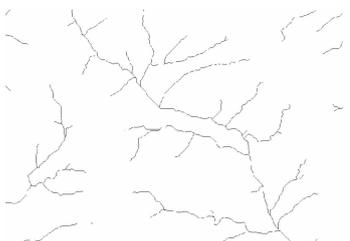


图 17 设定阈值为 5000



图 18 设定阈值为 10000

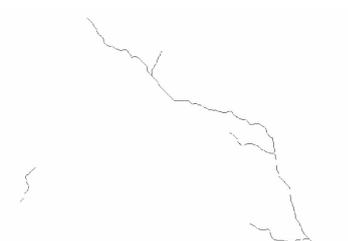


图 19 设定阈值为 50000

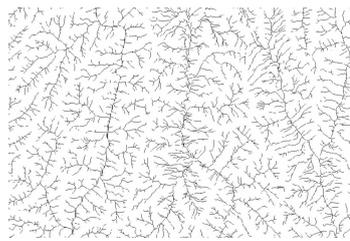


图 20 设定阈值为 100

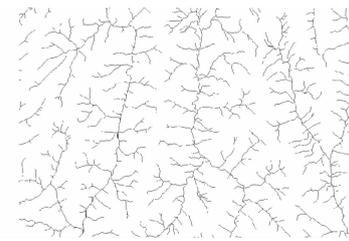


图 21 设定阈值为 500

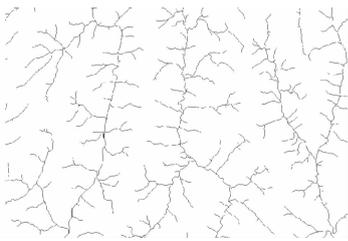


图 22 设定阈值为 1000

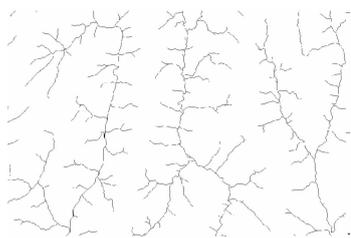


图 23 设定阈值为 1500

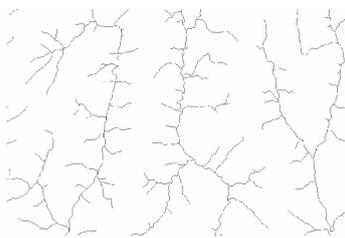


图 24 设定阈值为 2000

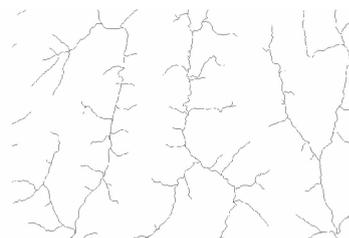


图 25 设定阈值为 3000

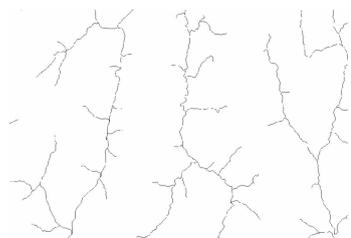


图 26 设定阈值为 5000



图 27 设定阈值为 10000



图 28 设定阈值为 50000

4 结 语

通过对各个研究地区的河网提取,进行洼地的寻找、填洼、汇流累积量等计算最终得到了该地区的河流网络图。

经与四川省水系分布图和陕西水系分布图对比,结果真实可靠。并仔细分析了四川省西南部凉山彝族自治州地区不同阈值下的河网提取,得出的结论是提取出来的河网密度随着阈值的增加而减少,并且在下限 100 和上限 50000 时基本达到临界值。

总体看来,整个实验过程仍有一些不足之处,诸如实验采用的原始信息量不够庞大,不能进行全面的反映,或实验设备软件等不能代表国际最先进的水平。这些问题将在以后的学习中加以克服,希望本文能为以后的水文信息的处理打下基础。

参考文献:

- [1] 秦福来,王晓燕,王丽华,等. 基于 DEM 的流域特征提取及应用[J]. 河北师范大学学报(自然科学版),2006,30(1):109-112.
- [2] 高鑫磊. GIS 环境下基于 DEM 的流域自动提取方法

[J]. 北京水务,2009(2):46-48.

- [3] 黄娜娜,宁芊. 基于 DEM 的数字河网提取方法及应用研究[J]. 人民长江,2011,42(24):50-53+57.
- [4] 熊立华,郭生练. 基于 DEM 的数字河网生成方法的探讨[J]. 长江科学院院报,2003,20(4):14-17.
- [5] 原立峰,周启刚. 基于 DEM 的流域水文特征提取方法研究[J]. 人民黄河,2006,28(5):20-21.
- [6] 汤国安. ARCGIS 地理信息系统空间分析实验教程[M]. 北京:科学出版社,2010.
- [7] 陈闻晨. 泾河流域 DEM 流域信息提取[J]. 水资源与水工程学报,2010,21(3):111-114.
- [8] 雷晓辉,田雨,白薇,等. 基于 DEM 的子流域划分方法改进与应用[J]. 人民黄河,2011,33(2):32-33+36.
- [9] 汪世国,熊英. 基于 DEM 的新疆玛纳斯河流域南山洼地水系提取及分级研究[J]. 安徽农业科学,2010,38(31):17955-17956.
- [10] 张占阳. 基于格网 DEM 的水流路径算法及其应用研究[D]. 西安:长安大学,2012.
- [11] Smirnoff A, Paradis S J, Boivin R. Generalizing surficial geological maps for scale change: ArcGIS tools vs. cellular automata model [J]. Computers & Geosciences, 2008, 34(11):1550-1568.