

文章编号:1001-4179(2011)24-0050-04

# 基于 DEM 的数字河网提取方法及应用研究

黄 娜 娜, 宁 芊

(四川大学 电子信息学院, 四川 成都 610065)

**摘要:**基于数字高程模型(DEM)提取水文和地形参数是水文模型与GIS应用集成的基础。运用生成河网所使用的洼地填平方法、高程增加法、D8算法,结合流域高程模型自动提取河网水系集水面积的方法,选取多个阈值进行分析比较,完成了岷江、沱江流域的数字河网提取应用研究。研究表明,该套方法提取的河网与实际河流接近,自动化提取程度较高,在分析流域的河网水系结构特征时具有一定的应用价值,提取结果也可以作为三维GIS应用中数字河网建模参考。

**关 键 词:**数字高程模型;河网提取;阈值;岷江;沱江

**中图法分类号:** TP391 **文献标志码:** A

## 1 研究背景

随着地理信息系统技术的广泛应用,流域的数字高程(DEM, Digital Elevation Model)模型目前已成为使用最方便的一种地形信息<sup>[1]</sup>,常用于提取流域的河道网络和分析地形对流域的影响。流域河网作为一种重要的地理要素,在数字流域表达中具有重要作用。数字高程模型是数字流域地形地貌特征呈现的常用表达形式。到目前为止,DEM的多种路径算法主要有D8, MFD, DEMON, Dinf等<sup>[2-5]</sup>,这些算法各有其优缺点,如D8算法流向只在8个相邻格网方向中进行,格网点的流向具有不连续性。MFD算法流量分配比较复杂,数据存储结构复杂。DEMON则算法比较繁琐,需要高精度的坡向计算,对DEM数据误差较敏感。Dinf具有一定的系统误差等。近些年来,国内外在DEM中提取河网信息的研究很多,但都是在以前算法的基础之上做出改进。不同的研究者也将这些方法应用到国内外不同的流域。研究表明,从DEM中直接提取流域信息是可行的<sup>[6-10]</sup>。在高程落差变化较大的地区,一般比较容易生成合理的数字水系;而在比较平坦的地区或在有洼地的地方,一般很难直接生成合理的数字

水系,往往事先要进行填洼技术处理。从DEM中提取水系的基本方法主要包括以下两类<sup>[11]</sup>,第一类是用一个矩形窗口扫描DEM矩阵来确定洼地,位于洼地内的栅格单元标记为水系的组成部分。第二类是基于地表径流漫流模型,模拟地表径流在地表的流动来产生水系。该方法简单,直接产生连续的流线段,由于基于一定的模型基础来模拟地表径流,因而被认为是较好的处理方法。

本文基于地表径流模型进行DEM数据预处理,确定流向,利用流域提取相关算法,以山地区域的岷江上游、平坦区域的沱江中部两个不同地貌的流域为例,进行流域数字河网提取的研究与探讨。

## 2 算法原理

DEM目前用于流域地形分析的主要数据有3种表示模型<sup>[12]</sup>:规格网格(栅格)型;等高线模型;不规则三角网模型。本文使用的是规格网格型。在DEM提取河网的过程中,由于资料输入误差、生成DEM时内插误差以及DEM分辨率等原因造成误差,往往会出现洼地和平坦区域<sup>[13]</sup>,如果不对其进行处理,会产生不连续的河网。洼地指的是DEM中某一点的八邻域点

收稿日期:2011-10-26

基金项目:四川省应用基础研究项目“灌区水资源系统建模与优化配置研究”(2011JY0014)

作者简介:黄娜娜,女,硕士研究生,研究方向为模式识别与智能系统。E-mail:287861322@qq.com

通讯作者:宁芊,女,副教授,博士,研究方向为智能控制。E-mail:ningq@scu.edu.cn

的高程都大于该点的高程。平坦区域指 DEM 中某一点的 8 个邻域点中至少有一个点的高程与该点相等。

## 2.1 DEM 预处理

基于地表径流模型的洼地,在自然条件下是局部的最低点,所以无法确定该点的水流方向。① 洼地填平处理:从 DEM 中扫描出洼地,对于单点洼地,将其高程填补为此洼地周围 8 个邻域里最小的一个,使其变成平坦区域,再对平坦区域进行处理<sup>[14-15]</sup>。② 平坦区域处理:高程增加法。采用填平的方法来处理流域中的凹陷区域。填平的处理方法来源于水流注满溢出的思想,即随着水流注入洼地,可认为洼地的底部高程随之抬升,直至与周围高地相平,能使水流溢出。具体步骤如下:首先扫描出 DEM 矩阵的所有平坦区域,设置一个增加量,它必须小于高程值的分辨率。然后将平坦区域中的中心格网 DEM 抬升至周围 8 个邻域里最小值加上增加量,使此中心格网水流能够流出。再将平坦区域中其他格网分别抬升至中心格网加上增加量的叠加值,使其找到出流点即可。

## 2.2 水流方向确定

水流方向指水流离开此格网时的指向,目前其确定方法有两种:① 单向流法;② 多向流法。本文采用第 1 种方法即 D8 算法<sup>[2]</sup>。依据最陡坡度法则,假定水流方向唯一,对每一格网,可以通过对其相邻的 8 个格网编号来得出水流方向数据,水流方向为相邻 8 个格网坡度最大的方向。本文采用逆时针编码法,水流方向编码如图 1 所示。如中心网格的水流流向矩阵左边,按照如下的编码方式,则水流方向代码为 2。

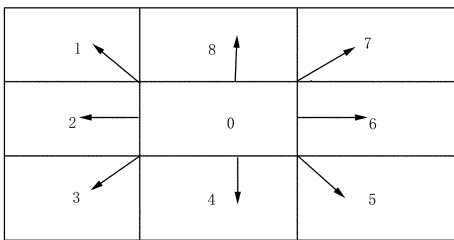


图 1 水流方向编码

最陡坡度的计算方法如下:假定地表坡度为  $S$ ,中心网格点的坐标为  $(i,j)$ ,则 8 个相邻点的坐标可以表示为  $(i+m,j+n)$ ,  $(m=-1,0,1;n=-1,0,1)$ ,  $m,n$  不同时为 0。

则坡度的计算公式为:

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

式中,  $S_{(i,j)}$  是中心网格高程;  $\Delta l$  是网格的宽度;  $Z_{(i,j)}$  为中心网格的高程;  $Z_{(i+m,j+n)}$  是相邻格网高程。中心网格的最大坡度指向为水流方向。

## 2.3 水流累积矩阵的计算

当所有的格网水流方向确定时,便可以对河网进行提取。水流累积矩阵值直观上表示区域地形给水点的水流累积量。其基本思想是:以规则网格表示的 DEM 的每一网格处有一个单位的水量,直接或间接流经某一个网格的所有单元格的总数构成该网格的水流累积值<sup>[16]</sup>。每一个网格的水流累积值乘以一个单元格的面积尺寸,就可以得到该单元格上的上游集水面积。水流累积矩阵算法的具有步骤为:先定义一个二维水流累积矩阵(行,列数与 DEM 相同),初始化每个网格的水流累积矩阵值为零,然后依次扫描水流方向矩阵,从每个单元格出发,通过正向追踪,沿着水流方向跟踪直至到达流域边界。每次扫描一个单元格,其水流方向确定,则相应的指向单元格的上游累积网格增加一个单位,当所有水流方向矩阵沿着追踪线扫描完毕后,才能获得所有单元格的累积矩阵。

水流累积矩阵值的大小反应了河流集水面积的大小,集水面积阈值的选取对基于栅格 DEM 提取的流域河网及其特征影响很大<sup>[17]</sup>,对数字流域水文分析和产汇流计算势必会带来很大的影响。集水面积阈值设定较小时,河网密度比较大,河网较密集。集水面积阈值设定较大时,河网密度相对减小,河网比较稀疏。因此,必须根据实际流域情况设定一个比较合理的集水面积阈值。

## 2.4 河网的提取

当水流累积矩阵生成之后,河网提取就很容易达到了<sup>[18]</sup>。以设定的阈值为标准,对水流累积矩阵进行处理。具体算法为: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。河网提取算法的流程图如图 2 所示。

## 3 应用实例

### 3.1 选取流域

综合上述河网提取步骤及方法,本文分别以岷江上游流域、沱江部分流域为例,用 Matlab 和 C++ 编程实现算法,对研究区域进行应用分析。DEM 数据源选择由 NASA 免费提供的 SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) 数据,空间分辨率为 90 m。DEM 数据划分到流域所处的经纬度,栅格数据分别为 221 行 × 221 列和 361 行 × 361 列,DEM 数据覆盖了本文整个研究

区域。岷江流域全长 735 km,流域面积 14 万  $\text{km}^2$ ,为都江堰灌区提供大部分水源,提取选择的研究区域为具有山地流域特征的岷江中上游,区域介于  $103^{\circ}20' \text{ E} \sim 103^{\circ}39' \text{ E}, 30^{\circ}57' \text{ N} \sim 31^{\circ}16' \text{ N}$ 。沱江流域全长 712 km,流域面积 3.29 万  $\text{km}^2$ ,中上游流经都江堰灌区,表现为平坦流域特征,区域介于  $104^{\circ}26' \text{ E} \sim 104^{\circ}56' \text{ E}, 30^{\circ}03' \text{ N} \sim 30^{\circ}33' \text{ N}$ 。

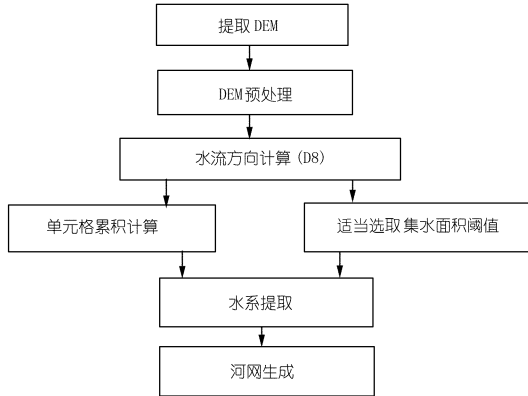


图 2 河网提取流程

### 3.2 提取结果

采用地表径流模型,即水流方向是由高处往低处流的不变思想。针对高程落差变化较大的岷江,比较容易生成合理的数字水系。而对于地势比较平坦的沱江流域,地表径流模型方法产生的河流与实际河流相差偏大,因此,对沱江流域的提取方法进行改进。本文在 DEM 预处理时,针对平坦区域处理采取不同的方法,对于岷江上游,其高程分辨率为 1 m,对于平坦区域,周围相邻的格网增量设定为一个定值,高程增量选取为 0.001 m。对沱江流域,其高程分辨率为 1 m,当出现大片的平坦区域,则对平坦区域整体进行抬升。对平坦区域每个网格相邻的格网增量以 0.01 m 递增,高程增量选取为 0.01 m。另外,沱江流域主干河道与周围地形区别不是很明显,在 DEM 预处理时,可以适当对主河道先进行标志,这样提取的河网离实际河流比较接近,减小了误差。河网的密度与上游集水面积阈值的选取有关,阈值越大,河网越稀疏,阈值越小,河网越密集。当集水面积阈值为某一个值时,其河网密度变化趋近于一个稳定值,则能提取出较为准确的河网。

多次的实验结果表明,岷江流域阈值(水流累积值)为 250,即集水面积阈值约为  $2.5 \text{ km}^2$ ,沱江流域阈值为 1 000,即集水面积阈值约为  $10 \text{ km}^2$  时能够较准确地提取出河网。以 GOOGLE EARTH 直接获取的岷江和沱江部分流域图片作对比,可以清楚地看到本文所采用的方法比较合理。图 3 为提取的岷江上游流域

水系,图 4 为沱江流域部分水系,图 5 为岷江上游流域卫星遥感图和高程图,图 6 为沱江流域卫星遥感图和高程图。

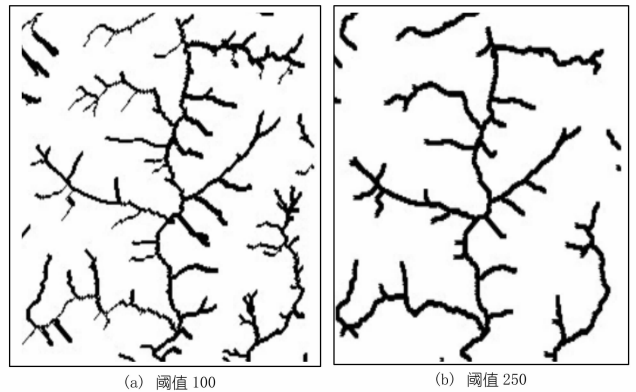


图 3 提取的岷江上游部分流域水系

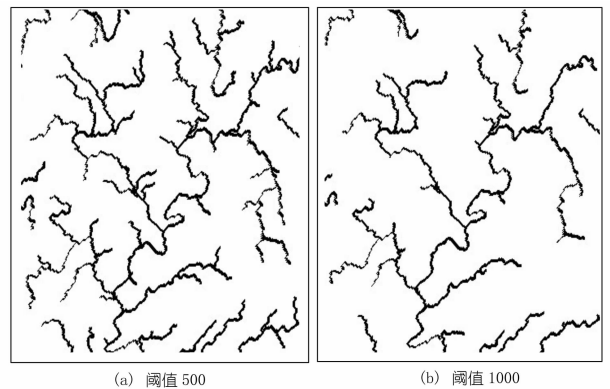


图 4 提取的沱江流域部分水系

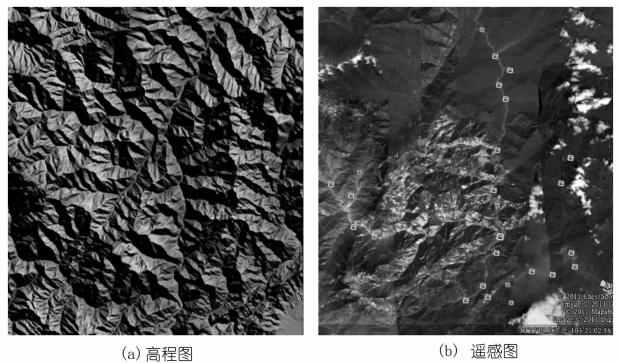


图 5 岷江上游部分水系高程和遥感图

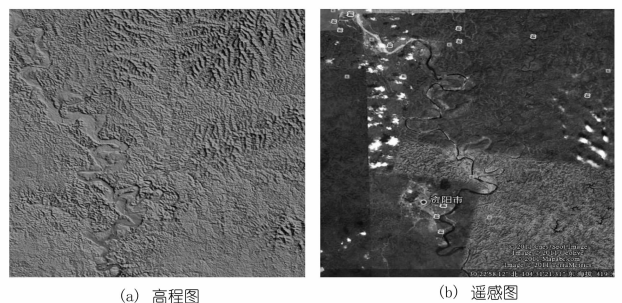


图 6 沱江部分流域高程和遥感图

另外选取以岷江流经的清水店(31°07'02" N, 103°28'37" E)为中心的遥感图和 DEM 数据,分别以传统的 DEM 提取河网方法和本文的方法做对比。结果表明,无论是山地流域特征,还是平坦流域特征,传统的 DEM 方法很容易出现河流断流或者提取效果不明显的现象,而本文所提出的方法可以针对具体的流域特征,并得到了较好的效果,对比结果如图 7 所示。

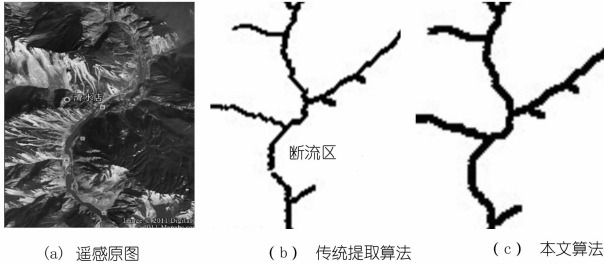


图 7 清水店附近流域对比

### 3.3 应用分析

由 DEM 数据产生河网的步骤比较多,从 DEM 预处理到河网生成的过程也比较复杂。在 DEM 预处理中,需要对洼地和平地进行处理,且平地填补过程比较麻烦,必须采取适当的增量进行填补,如果增量过大,就可能造成 DEM 原始数据无限增大,如果增量过小,会加重算法的循环次数,需要过多的时间。所以,对于平地填补,必须采用优化算法,使平地填补过程得到优化,节约 DEM 数据预处理的时间。

DEM 数据的空间分辨率是减小提取出的河网与实际河网误差的一个重要因素,因此要想得到更准确的河网,必须获取更高精度的 DEM 数据,30 m 精度的 DEM 可以更好地应用于研究。本文采取的河网提取方法还存在有待改进之处:在流域的产流区山谷比较多的河网提取过程中,也会将山谷误认为河流提取出来,在一定程度上给河网的提取造成了误差。要得到准确的河网,必须人工进行后期处理,根据实际河网进行标点定标,再用 Arcgis 进行图层叠加,才能得到更准确的河网。

### 4 结语

本文详细介绍了如何从 DEM 预处理到数字河流生成的相关算法。采用的 DEM 预处理方法防止了离散河流和平行河网的产生。在 90 m 分辨率 DEM 的基础上,对岷江上游水系、沱江中部水系进行提取并验证了该算法的可行性。结果表明,用此算法提取出的河网与自然河流相对误差比较小,可以满足水文相关应用需求,对水文模型的建立具有一定价值。

该方法完全建立在模拟地表径流而生成河网的基

础上,较好地适用于天然河流的提取,但目前还不适用于人工渠道和河流。利用 DEM 数据提取河网的研究仍然在不断改进与发展中,将有更多适合不同区域地形地貌的方法产生。同时,该方法在水文学上的应用也有待提高与发掘。

### 参考文献:

- [1] Fairfield J, Leymaire P. Drainage networks from grid digital elevation models[J]. *Water Resources Research*, 1991, 27(4): 29-61.
- [2] O Callaghan JF, Mark D M. The Extraction of Drainage Net - works from Digital Elevation data [J]. *Comput Vision, Graphics Image Process*, 1984, (28): 323-344.
- [3] Freeman T G. Calculating catchment area with divergent flow based on a regular grid[J]. *Computer and Geosciences*, 1991, 17(3): 413-422.
- [4] Costa Cabral M C, Burges S J. Digital elevation model networks (DEMON): A model of flow over hillslopes for computation of contributing and dispersal areas [J]. *Water Resources Research*, 1994, 30(6): 1681-1692.
- [5] Tarboton D G. A new method for the determination of flow directions and upslope areas in grid digital elevation models [J]. *Water Resources Research*, 1997, 32(2): 309-319.
- [6] 程根伟,舒栋材. 水文预报的理论与数学模型[M]. 北京:中国水利水电出版社, 2006: 90-104.
- [7] 郝振纯,李丽. 基于 DEM 的数字水系的生成[J]. *水文*, 2002, 22(4): 8-11.
- [8] 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.
- [9] 任立良,刘新仁. 数字高程模型信息提取与数字水文模型研究进展[J]. *水科学进展*, 2000, 11(4): 463-469.
- [10] 曹玲玲,张秋文. 基于 SRTM 的数字河网提取及其应用[J]. *人民长江*, 2007, 38(8): 150-153.
- [11] 沈中原,李占斌,李鹏,等. 基于 DEM 的流域数字河网提取算法研究[J]. *水资源与水工程学报*, 2009, 20(1): 20-24.
- [12] 李志林,朱庆. 数字高程模型[M]. 武汉:武汉测绘科技大学出版社. 2000.
- [13] 张敏,刘庆生,刘高焕. 基于数字高程模型的流域河网提取方法与应用分析[J]. *江苏农业科学*, 2011, 39(2): 5-9.
- [14] 刘学军,卢华兴,卞璐,等. 基于 DEM 的河网提取算法的比较[J]. *水利学报*, 2006, 37(9): 1134-1141.
- [15] 舒栋才,程根伟,林三益. 基于 DEM 的岷江上游数字流域的离散化[J]. *四川大学学报:工程科学版*, 2004, 36(6): 6-11.
- [16] 崔青春,吴孟泉,孔祥生,等. 一个基于 DEM 的数字河网体系提取算法的应用[J]. *计算机技术与发展*, 2011, 21(6): 204-207.
- [17] 易卫华,杨平. 基于 DEM 数字河网提取时集水面阈值的确定[J]. *江西水利科技*, 2008, 34(4): 259-262.
- [18] 朱超,于瑞宏,刘慧颖,等. 基于 DEM 的乌梁素海东部流域河网信息提取[J]. *水资源保护*, 2011, 27(3): 75-78.

(编辑:李慧)

(下转第 57 页)