

SRTM DEM 数据提取河网方法及影响因素研究

杨 勇^{1,2}, 徐 恺^{1,2}, 杨静学^{1,2}, 王云鹏¹

(1. 中国科学院 广州地球化学研究所 有机地球化学国家重点实验室, 广东 广州 510640;

2. 中国科学院 研究生院, 北京 100049)

摘 要:从数字高程模型(Digital Elevation Models, DEM)直接提取河网及相关流域信息,是分布式水文模型开发与应用的的基础。珠江三角洲地区是中国经济最发达的地区之一,是世界上公认范围最大、结构最复杂的网河流域。研究该地区河网分布及流域特征,对于流域的整体规划和水资源的有序配置具有重要意义。文中首先讨论了基于栅格 DEM 取流域河网水系特征信息的基本方法;然后基于 SRTM DEM 数据,以珠江三角洲地区为例给出了利用 Arc/Info 实现河网提取的具体步骤,实现了大范围区域内的流域特征信息的快速提取;最后对比分析珠江三角洲分流域河网特征。

关键词:河网;数字高程模型;珠江三角洲;SRTM

中图分类号:TP31

文献标识码:A

文章编号:1673-629X(2010)01-0001-04

Method and Study of Impacting Factors for Extracting River Channel Network from SRTM DEM Data

YANG Yong^{1,2}, XU Kai^{1,2}, YANG Jing-xue^{1,2}, WANG Yun-peng¹

(1. State Key Laboratory of Organic Geochemistry, Guangzhou Institute of Geochemistry,

Chinese Academy of Sciences, Guangzhou 510640, China;

2. Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

Abstract: River network and related watershed information directly derived from DEM is the basis of development and application of distributed hydrological models. The Pearl River Delta area is one of the most developed economy area of China, and one of the largest net-river areas with complex structure in the world. The studies of distributed river network and watershed are very important to the watershed plan and water resource optimization and utilization. Firstly discussed the basic method of extracting river channel network of watershed based on grid DEM data, then introduced the detailed procedures of river channel network extraction by using a GIS software Arc/Info and presented a case study in Pearl River Delta area for rapid extracting river channel characteristic information in large-scale areas. Finally, the characteristics of river channel network at sub-watersheds of Pearl River Delta area were compared.

Key words: river channel network; digital elevation model; pearl river delta; SRTM

0 引 言

流域河网水系是重要的基础地理要素之一,也是一个基本的水文参数,是描述一个地区地理地貌和水文特征不可获取的条件。珠江三角洲是中国经济最活跃的地区之一,如何能够快速有效地获得该地区的流域河网水系特征信息,对流域的整体规划,水资源的有序配置、水利水电开发利用及防洪抗旱、航运、养殖、灌

溉、旅游和建立数字水系等都具有十分重要的意义。

一般来说,主要有两种方法获取流域河网水系:

① 通过对流域进行野外实地测量获取河网水系;② 通过在地形图上进行量测和分析获取河网水系。显然,这两种方法都十分复杂,不仅要耗费大量的人力、物力和财力,而且保存和更新都比较困难^[1]。随着地理信息技术和空间信息技术的广泛应用,数字高程模型(Digital Elevation Model, DEM)目前已成为操作和存储最为方便的一种地形信息表达方式,常被用来提取流域的河道网络和分析地形对流域径流响应的影响。

文中采用的 DEM 数据为 SRTM 90m DEM 数据作为珠江三角洲河网信息提取的基本数据。SRTM 数据主要是由美国太空总署(NASA)和国防部国家测绘

收稿日期:2009-04-27;修回日期:2009-07-18

基金项目:国家 863 重大专项(2006AA06A306);广东省自然科学基金项目(8151064004000013)

作者简介:杨 勇(1982-),男,陕西人,硕士研究生,研究方向为遥感 GIS 技术与应用;王云鹏,研究员,研究方向为资源环境遥感与 GIS。

局(NIMA)联合测量的,SRTM的全称是 Shuttle Radar Topography Mission,即航天飞机雷达地形测绘使命。美国“奋进”号航天飞机自 2000 年发射以来,其搭载的 SRTM 系统共计进行了 222 小时 23 分钟的数据采集工作,获取北纬 60 度至南纬 56 度之间,面积超过 1.19 亿平方公里的 9.8 万亿字节的雷达影像数据,覆盖全球陆地表面的 80% 以上,经过两年多的处理,制成了数字地形高程模型,该数据覆盖中国全境。SRTM 数据每经纬度方格提供一个文件,精度有 1 弧秒和 3 弧秒两种。目前能够获取到中国境内 SRTM3 文件是 90m 的数据。

1 基于 DEM 提取流域河网的基本方法

1.1 DEM 数据进行预处理

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也会产生假洼地。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。

1.2 确定水流方向

通过对 DEM 数据预处理得到无洼 DEM 数据,根据数据确定水流方向,生成流向栅格图层。

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 3×3 的 DEM 网格上,计算中心网格与各相邻网格间的距离权落差(R),即网格中心点落差(H)除以网格中心点之间的距离(L),计算公式如下:

$$R = H/L \quad (1)$$

假设格网单元为 1,如果相邻格网中心线为水平或垂直的,则 $L = 1$,如果格网中心线为对角斜线则 $L = 1.414$ 。取距离权落差最大的网格为中心网格的流出网格,该方向即为中心网格的流向。该方法对自然状态的水流方向进行了极大的概括,认为网格的产流是点源(即网格中心点),河道则用一维的线来描述,也删掉了水流方向的无穷多种可能性,概括为 8 种可能流向,所以称之为 D8 法。由于该法对 DEM 的处理和应用简单,故而实用性强,应用范围也很广^[2~4]。

1.3 计算流向累积栅格

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 数据的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。

1.4 流域河网栅格的提取及集水区阈值的确定

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,即汇流面积大于某一定面积时,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。

1.5 矢量河网的提取

根据流向累积栅格图,将生成的河网栅格图上的栅格值为 1 的栅格单元连接起来即可得到该阈值下的矢量河网。

2 珠江三角洲地区河网特征信息的提取

2.1 研究区域概况及数据

珠江三角洲位于大约广东省中南部,东经 112° 至 $115^{\circ}24'$,北纬 $21^{\circ}34'$ 至 $23^{\circ}56'$,属于亚热带气候,终年温暖湿润,河网发育,水道纵横交错,是典型的网河三角洲,面积大约 4 万多平方公里。

数据资料:珠江三角洲行政区划矢量图及用矢量图叠加得到的珠江三角洲地区的 SRTM 90m DEM 数据。

2.2 流域河网的提取方法

以 ARC/Info 的水文分析模块(Hydrology)为例说明:

① 为了避免因 DEM 精度不够高所产生(假的)水流集聚区,使用 Fill 工具对 DEM 洼地进行填平,生成无洼地的 DEM(Depressionless, DEM)。

② 利用 Flow Direction 工具操作无洼 DEM 生成河流流向栅格数据。

③ 利用 Flow Accumulation 工具,根据流向栅格数据得到水流集聚栅格,生成的水流集聚栅格已经可以看到一些河网信息了(见图 1)。

④ 利用 ArcGIS 提供的栅格计算器(Raster calculator)将水流集聚栅格中大于某一阈值(这里确定的栅格值为 90,集水区临界支撑面积为 0.729km^2 ,见表 1)的所有栅格单元提取出来,并赋值为 1,小于阈值的栅格单元赋值为 0。生成只有 1,0 值的栅格数据,其中 1 代表河网,0 表示非河网。该阈值取河道临界支撑面积。

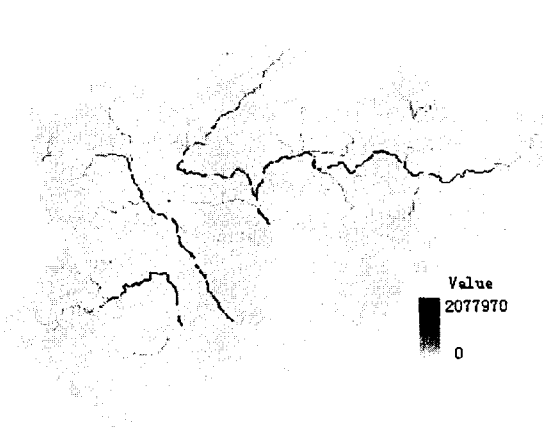


图 1 水流集聚栅格

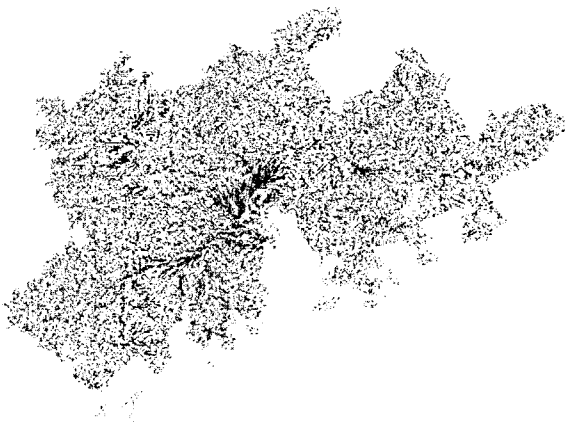


图 2 基于 SRTM 90m DEM 提取珠江三角洲河网

表 1 不同阈值(即栅格单元数目)所对应的
临界支撑面积(CAS,单位:km²)

| 阈值 | CSA | 阈值 | CSA |
|----|-------|-----|-------|
| 20 | 0.162 | 90 | 0.729 |
| 30 | 0.243 | 100 | 0.81 |
| 40 | 0.324 | 110 | 0.891 |
| 50 | 0.405 | 120 | 0.972 |
| 60 | 0.486 | 130 | 1.053 |
| 70 | 0.567 | 140 | 1.134 |
| 80 | 0.648 | | |

河道临界支撑面积(CSA)一般定义为支撑一条河道永久性存在所需要最小集水面积。具有临界支撑面积的地方,通常就被认为是河流的发源地。根据 DEM 来提取流域河网水系时,一般假定临界支撑面积是一个常数,即在流域内任何地点都相同。

确定一个流域河流地貌发育的临界支撑面积的一般方法如下:首先给定临界支撑面积的取值范围;在各个不同的临界支撑面积取值下,计算所对应的数字水系总长度以及平均坡降;做出数字水系总长度与临界支撑面积关系曲线以及平均坡降与临界支撑面积关系曲线;平均坡降与临界支撑面积关系曲线的转折点处所对应的临界支撑面积即可被视为流域河流地貌发育的临界支撑面积^[5,6]。

⑤ 最后运用水文分析模块的 Stream to Feature 工具将上面生成的二值河网栅格数据转化为河网矢量数据。将河网矢量数据中属性字段 GRID-CODE 等于 1 的所有线状要素选择出来,导出后就得到了由 DEM 生成的河网矢量图层(见图 2)。

2.3 珠江三角洲河网特征信息的提取与分析

根据提取的河网推求流域其他特征信息。

由于所用的 DEM 数据的分辨率为 90m,则每一栅格单元的面积为 0.0081km²,下面给出不同阈值所对应的临界支撑面积(见表 1)。

2.3.1 不同阈值下珠江三角洲河网密度分析

河网密度是流域结构特征的一个重要指标,其大小说明水系发育的疏密程度。受到气候、植被、地貌特征、岩石土壤等因素的影响。早在 1894 年,人们就试图确定一个指标来表示河网密度。当时 Penk 提出用主流长度(l)与汇入主流的支流数目(n)之比来表征河网密度(D);其后,Feldner 提出用流域面积与河网的数目之比表示河网密度;1953 年 Chebotarev 认为:流域河网密度可用平均河长(l)和平均相邻面积(a)之比表示。若面积为 A 的流域有 n 条河流或河段,总长度为 L ,则 $L = L/n, a = A/n$,河网密度方程可表示为:

$$D = \frac{L}{A} = \frac{nl}{na} = \frac{l}{a} \tag{2}$$

这一定义目前被普遍接受,即认为河网密度为单位面积内河道的总长度^[7,8]。

图 3 及图 4 表明临界支撑面积对所提取河网有着明显的影响。临界支撑面积越大,越能够表现流域河网的概况,所提取的河网总长度越小,流域河网密度就越小;临界支撑面积越小,越能够表现流域河网的细部特征,所提取的河网总长度越大,流域河网密度就越大。

2.3.2 不同地形坡度下河网长度与河网密度

地面坡度(简称坡度)是对地面倾斜程度的定量描

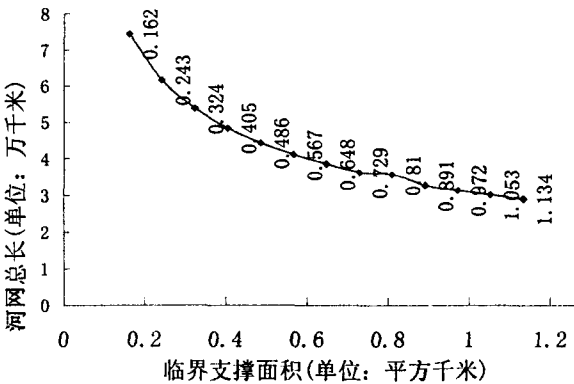


图 3 临界支撑面积与河网总长关系曲线

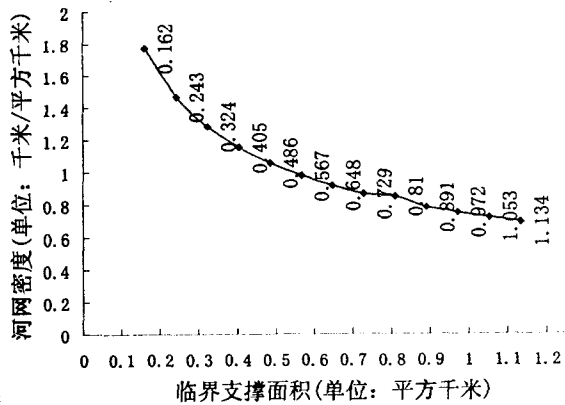


图 4 临界支撑面积与河网密度关系曲线

述,也是一个基本的地貌形态指标。坡度通过影响重力作用,影响地表径流和土壤侵蚀发生和侵蚀强度、影响水土保持措施布设。对于大中流域和区域尺度的分布式水文和土壤侵蚀模型而言,坡度表面是最基本的模型参数^[7]。当地面坡度 $<3^{\circ}$ 时,无论是土地利用方式、土壤条件、植被状况如何,所产生的水土流失一般在允许的范围以内(见表 2)。

表 2 坡度分级标准(坡度单位:°)

| 等级 | 坡度 | 等级 | 坡度 |
|-----|------|-----|-----------|
| 1 级 | <3 | 4 级 | 8-15 |
| 2 级 | 3-5 | 5 级 | 15-25 |
| 3 级 | 5-8 | 6 级 | ≥ 25 |

可以明显看出珠江三角洲地区坡度小于 3° 的地区占整个区域相当大的比重,且基本上集中在河口区和三江汇流区域。整个流域内随着坡度的增大,河网长度迅速降低。

珠江三角洲地区地形坡度与河网的关系见表 3。

表 3 珠江三角洲地形坡度与河网关系

| D | S | Ps | L | Pl | ρ |
|-----|---------|-------|----------|-------|--------|
| 1 级 | 21090.8 | 50.37 | 21972.39 | 78.95 | 1.38 |
| 2 级 | 3710.90 | 8.94 | 3874.25 | 9.63 | 1.04 |
| 3 级 | 3810.59 | 9.18 | 2228.21 | 5.62 | 0.58 |
| 4 级 | 6608.75 | 15.85 | 1680.42 | 4.63 | 0.25 |
| 5 级 | 5279.66 | 12.68 | 257.30 | 0.71 | 0.05 |
| 6 级 | 1200.87 | 2.96 | 166.88 | 0.46 | 0.14 |

注:D为坡度等级($^{\circ}$),S为流域面积(km^2),Ps为占整个流域面积比例(%),L为河网长(km),Pl为占总河网长度(%), ρ 为河网密度(km/km^2)。

2.3.3 流域平均宽度及流域形状系数

流域平均宽度定义为流域面积与流域长度的比值,比值越小,流域越狭长。比较狭长的流域,水的流程长,径流不易集中,洪峰流量较小;反之,径流容易集中,洪水威胁大。流域形状系数定义为流域平均宽度与流域长度的比值,比值越小,则流域成长条形,流域

汇流时间较长,洪水过程一般比较平缓。计算公式:

$$B = F/L$$
 (3)

$$R = B/L = F/L^2$$
 (4)

其中 B 为流域平均宽度(km), F 为流域面积(km^2), L 为流域长度(km), R 为流域形状系数。

珠江三角洲流域平均宽度及形状系数见表 4。

表 4 珠江三角洲流域平均宽度及形状系数

| 特征信息 | 特征值 |
|-----------------------------|----------|
| 流域长度(km) | 1182.23 |
| 流域面积(除去岛屿)(km^2) | 40935.37 |
| 流域平均宽度(km) | 34.63 |
| 流域形状系数 | 0.029 |

2.4 珠江三角洲分流域特征信息对比分析

珠江水系主要有东江水系、北江水系、西江水系及珠江三角洲诸河组成。北江与西江在三水系的广东省三水市的思贤滘交汇,流入珠江三角洲河网区,东江在广东省东莞市石龙镇汇入珠江三角洲河网,构成珠江独特的“三江汇集,八口分流”的水系特征。故可将珠三角划分为西江水系流域、北江水系流域、东江水系流域、珠江三角洲水系流域,珠江三角洲水系流域河网密度最大,其次是北江水系、西江水系,东江水系最小。经计算流域形状系数从小到大依次为珠江水系、东江水系、西江水系、北江水系。由于珠三角水系和北江水系地形平均坡度较小,坡度小于 3° 的区域占整个地区的比例均小于东江水系与西江水系。区域地形坡平坦,地表径流丰富,水系发达,容易产生支流从而使得流域河网长度增大,河网密度相应增大;而东江水系和西江水系地形平均坡度较大,坡度大于 25° 的区域占这个地区的比例几乎是前两者的两倍,表明这两个地区地形比较复杂,河网水系受地形起伏影响大,不易产生支流,河网增长困难,相应河网密度必然减小。

3 结束语

① 基于 DEM 数据提取流域河网过程中,集水区阈值的确定十分关键,是数字水系一个十分重要的参数。阈值的选取直接影响整个流域河网特征统计特征。

② 基于 DEM 数据提取的流域河网与研究区的地形特征密切相关。由于所采取的算法的局限性与真实水系河网存在比较大差异,生成的河网在地形起伏比较明显的区域,尤其是在山区能够比较好地模拟实际水系,而在地势比较平坦的区域,会出现明显的误差。

③ 受 DEM 水平分辨率和垂直分辨率的影响,以及 DEM 生成过程中的误差,生成的流域河网难免会



(a) 优化前 (PPBM)

(b) 优化后

图3 插入帧的图像(Wheel)

视频序列 Wheel 其中的一帧,它是经过运动补偿后,重新建立的插入帧的图像。如图所示,在优化前,因为运动估计的错误,在车轮的辐条处有许多明显的缺陷。优化后,这些缺陷就少了很多,这间接说明了优化之后的运动矢量具有更好的质量。

4 结束语

文中分析了基于三维递归搜索算法和并列预测块匹配搜索算法所得到的运动矢量的不足,提出了一种优化方法,利用了分水岭算法对视频图像的物体进行正确分割,得到了被识别物体的最优的运动矢量。实验结果表明,该优化方法能够优化所有基于时空相关性预测的运动估计的算法的运动矢量,从而得到更高质量的插入帧图像,因而具有较强的实用性。

(上接第4页)

出现一些干扰和错误。所生成的河网与真实自然水系相比,它所描述的是一种概化了的現象,会出现很多伪特征。

④分析表明,基于 90m DEM 数据提取的整个珠江三角洲地区流域河网,当阈值取 90(0.729km²)时,生成的流域河网能够较好地反映该地区水系河网。该阈值下计算得到珠江三角洲的平均河网密度大致为 0.86,属于中等偏上。占总整个珠三角面积的 50% 左右的坡度小于 3 的地区,主要集中在三江交汇区域和河口地区,平均坡度较低,水量丰富,容易形成支流,其河网密度更是达到了 1.38,属于稠密区。由于珠江三角洲地区河网发达,水系复杂,地势平坦,使得提取的水系河网与实际流域河网难免存在差异,特别是在河口区存在着明显的错误;又由于珠江三角洲地区经济活动剧烈,修建水电站、水库、公路、铁路等人工干预对自然河流的影响相当大,致使所提取的河网在某些地区与实际河流和自然水系不相符合,但是对于整个大区域来说,数字水系能够在一定程度上反映整个珠江三角洲地区流域河网的基本特征。

参考文献:

- [1] 李 淳,马力妮.基于菱形搜索的改进的运动估计算法研究[J].计算机技术与发展,2008,18(11):117-119.
- [2] de Haan G. Progress in motion estimation for video format conversion[J]. IEEE Transactions on Consumer Electronics, 2000,46(3):449-459.
- [3] 王建国,周源华.应用于格式转换的三维递归搜索块匹配算法[J].计算机工程与应用,2003(20):102-104.
- [4] Blume H. Bewegungsschaetzung in Videosignalen mit oertlich-zeitlichen Praediktoren[M]. Dortmund: Tagungsband 5. Dortmunder Fernsehseminar,1993:220-231.
- [5] De Smet P, Pires R. Implementation and analysis of an optimized rainfalling watershed algorithm[C]//Proc of the SPIE, Image and Video Communications and Processing IVCP'2000. [s.l.]:[s.n.],2000:759-766.
- [6] 徐庆伟,李春雷.基于小波变换的图像分割研究刘洲峰[J].计算机应用与软件,2009,26(4):62-64.
- [7] 卢官明.区域生长型分水岭算法及其在图像序列分割中的应用[J].南京邮电学院学报:自然科学版,2000,20(3):51-54.
- [8] 巩 萍,潘冬明.小波分析及其在图像处理中的应用[J].长沙大学学报,2005,19(2):52-54.
- [9] de Haan G. Video Processing for Multimedia Systems[M]. Eindhoven: University Press,2000.

参考文献:

- [1] 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):150-152.
- [2] 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):251-256.
- [3] Tarboton D G. A new method for the determination of flow directions and upslope areas in grid digital elevation models[J]. Water Resources Research,1997,33(2):309-319.
- [4] Fairfield J, Leymarie P. Drainage networks from grid digital elevation models[J]. Water Resources Research, 1991,27(5):709-717.
- [5] 孙友波,宫辉力,赵文吉,等.基于 DEM 的数字河网生成方法的浅议[J].首都师范大学学报:自然科学版,2005,26(2):106-111.
- [6] Band L E. Topographic partition of watersheds with digital elevation models[J]. Water Resources Research, 1986,22(1):15-24.
- [7] 黄诗峰,徐 美,陈德清. GIS 支持下的河网密度提取及其在洪水危险性分析中的应用[J].自然资源学报,2001,10(4):129-132.
- [8] 张行南,叶丽华,井立阳.基于 DEM 的流域流水网对比分析[J].水利水电科技进展,2004,24(2):1-4.