

基于 D8 算法和 Dinf 算法的水系提取研究

李宗梅, 魏锦旺, 满旺, 黄于同, 孙凤琴

(厦门理工学院 计算机与信息工程学院空间信息科学与工程系, 福建 厦门 361024)

摘要: 目前基于 DEM 提取水系研究较多, 采用的方法不同, 但对于对比不同方法的研究较少。以福建省为实验样区, 采用 SRTM DEM 高程数据, 对比分析了单流向算法 (D8 算法) 与多流向算法 (Dinf 算法) 提取水系结果。结果表明: Dinf 算法提取的水系质量优于 D8 算法, 但其计算过程较 D8 算法复杂; 在平坦区域和大河流域中, Dinf 算法改善了 D8 算法容易产生的“平行伪河道”问题, 生成的河网会比较圆滑、自然。

关键词: 遥感; DEM; 平行伪河道; 水系提取

中图分类号: P333 文献标识码: A 文章编号: 1672-643X(2016)05-0042-04

Extraction of river network based on D8 algorithm and Dinf algorithm

LI Zongmei, WEI Jinwang, MAN Wang, HUANG Yutong, SUN Fengqin

(Department of Spatial Information Science and Engineering, College of Computer and Information Engineering, Xiamen University of Technology, Xiamen 361024, China)

Abstract: The research on extraction of water system is more at present and the method is different, but the research on different methods is less. The paper took Fujian as an experimental region and used DEM elevation data to compare the results of water system extracted by single flow direction algorithm (D8 algorithm) and multiple flow direction algorithm (Dinf algorithm). The results show that the quality of river network extracted by Dinf algorithm is better than that of D8 algorithm, but the calculation process of Dinf algorithm is more complicated than that of D8 algorithm. Among the even and large river area, Dinf algorithm improved the problem of parallel pseudo channel which is easy extracted by D8 algorithm. The river channel extracted by Dinf algorithm is more smooth and natural.

Key words: remote sensing; digital elevation model; parallel pseudo channel; extraction of river network

1 研究背景

采用 DEM 提取水系是研究的热点, 主要研究集中在 DEM 不同数据源和分辨率提取水系^[1-2], 以及提取水系基于的算法和模型^[3-4]。采用的算法和模型较多, 所采用的主要模型可以分为单流向算法 (SFD) 和多流向算法 (MFD)^[5], 主要的单流向算法有 D8 算法^[6]、Rho4/Rho8 算法^[7]、Lea 算法^[8]等。基本思想是基于高程, 水流流向最低高程处。

多流向算法将径流按一定的比例流向基于 3×3 的 DEM 网格中若干相对较低的相邻单元格, 水流分配权重随局域地形特征变化。它的基本思想是水流分配策略应在空间上随着与下坡坡度相关的地形参数而变, 从而地形对水流分配的影响可以得到合

理、有效的建模^[9]。主要有 DEMON 算法^[10]、Dinf 算法^[11]、MFD (Multi-Flow Direction)^[12]等。

为了提高河网提取的精度, 一些辅助信息比如湖泊、水库等面状水体等信息和数字化的矢量河道被添加到 DEM 中, 更好地支持河网提取算法。如 Turcotte 等在数字河网基础上增加湖泊和水库等面状水体辅助信息, 即数字河流与湖泊网络信息 (Digital river and lake network, DRLN), DRLN 不仅用于对 DEM 进行融合, 而且还用于确定栅格流向^[13]。

本文以福建省为研究区域, 利用 SRTM DEM 高程数据, 比较基于单流向算法和多流向算法提取水系的结果分析。以便为利用 DEM 提取水系的方法做出参考, 指导流域水文研究。

收稿日期: 2016-05-11; 修回日期: 2016-06-13

基金项目: 国家自然科学基金项目 (41501448, 41501447, 41401475); 厦门理工学院高层次人才项目 (YKJ13025R); 厦门理工学院科研基金项目 (XYK201439)

作者简介: 李宗梅 (1985-), 女, 山东日照人, 讲师, 博士研究生, 研究方向为生态脆弱带的生态环境研究。

2 数据与方法

2.1 数据

(1) SRTM 3: 由美国太空总署 (NASA) 和国防部国家测绘局 (NIMA) 联合测量而得, SRTM 地形数据按精度可以分为 SRTM1 和 SRTM3, 分辨率精度分别为 30 和 90 m。目前公开的是 90 m 分辨率的数据 SRTM3, 修订版本为 V4.1 版。该版本是由 CIAT (国际热带农业中心) 利用新的插值算法得到

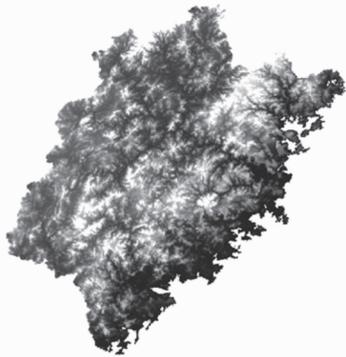


图 1 福建省 90m 分辨率 SRTM DEM



图 2 福建省实际数字化水系



图 3 校正后 2006 年福建省 90m TM 影像

2.2 Dinf 流向算法

Tarboton D G (1997) 综合 Lea 方法和 DEMON 方法的优点, 提出了 Dinf (D - Infinity) 算法。它也称作 $D\infty$ 算法 (an infinite number of possible single flow directions), 它是基于三角面坡向来确定流向的, 判断水流流向于最陡坡向所在的两个单元格, 流向可能从中心格网流至 0 到 2π 的任意角度。

Dinf 算法的基本思想是: 在 3×3 窗口中, 中心格网与其周围八个格网点形成八个平面三角形, 分别计算出每一个三角形的坡度, 然后以最大三角形坡度作为该格网点的坡度, 该三角形的坡向即为中心格网的流向。把包含最大坡度的三角形所确定的两个下游格网作为流量分配单元, 按其于最大坡向的接近程度进行分配流量^[14]。图 4 中, α 为流向角度; β_1 、 β_2 与 β 的比值用来确定中心格网该分配给格网 4 和格网 5 多少水量。

2.3 TAUDDEM 水系提取技术流程图

Tarboton D G (1997) 根据 Dinf 算法, 开发出 TAUDDEM (Terrain Analysis Using Digital Elevation Models) 地形分析软件, 安装于 ARCGIS 软件环境下。

采用 SRTM 数据基于 Dinf 算法来提取河网, 然后进行 D8 算法与 Dinf 算法的对比。利用 TAUDDEM 软件和 ARCGIS 软件提取河网的技术流程主要分为

的 SRTM 地形数据, 此方法更好的填补了 90m 分辨率的 SRTM 数据空洞。通过 3 幅影像拼接, 然后利用福建省省界进行裁剪而得的福建省 SRTM3 数据 (图 1)。

(2) 福建省实际数字化水系: 用于提取河网时所涉及的汇流累积量阈值设定作参照 (图 2)。

(3) 校正后的 2006 年福建省 90m 分辨率 TM 遥感影像: 用于对提取的河网精度分析时作参考 (图 3)。

五步, 分别为 DEM 填洼处理、Dinf 流向计算、Dinf 流量分配、设定阈值生成河网、河网矢量化 (图 5)。其中, DEM 填洼处理、设定阈值生成河网以及河网矢量化利用 ARCGIS 软件实现, Dinf 流向计算与 Dinf 流量分配利用 TAUDDEM 软件实现。

3 结果与分析

3.1 Dinf 算法水系提取的结果

SRTM 数据填洼处理后, 利用 TAUDDEM 软件, 输入填洼后的 SRTM 数据, 得到 Dinf 算法的流向数据、集水面积数据。然后以 SRTM 数据基于 D8 算法提取的河网作为参考河网, 设定好阈值, 得到栅格河网。将栅格河网进行矢量化, 最终得到 SRTM 数据基于 Dinf 算法提取的河网, 如图 6 所示。

3.2 与 D8 算法提取的水系对比

现已得到 SRTM 数据基于 D8 算法和 Dinf 算法提取的河网, 将两种河网叠加分析 (图 7)。从图中可以看出, 若以小比例尺显示, 两种算法提取的河网能够基本吻合。

若以大比例尺显示, 两种算法提取的河网还是存在较大差异, 主要差别集中在平坦区域 (图 8) 和大河流域 (图 9)。

以遥感图为背景, 白色河网代表 D8 算法提取

的河网,红色河网代表 Dinf 算法提取的河网。可以看出 D8 算法在平坦区域和大河流域中会生成“平行伪河道”问题,即一些河段接近直线,偏离真实河道;Dinf 算法在这些区域生成的河网则比较圆滑、自然,对“平行伪河道”问题改善许多。在其它地势起伏较大的小河流区域,两种算法生成的河网则极为相近(表 1)。

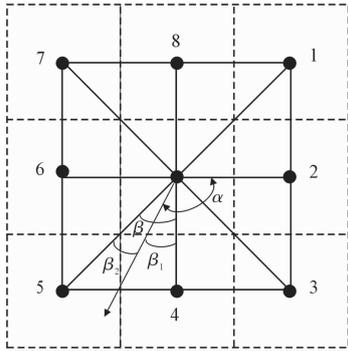


图 4 Dinf 算法图解^[14]

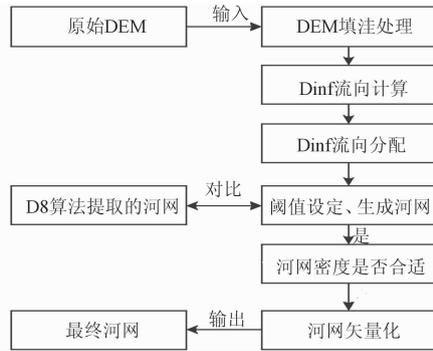


图 5 TAUDM 水系提取技术流程



图 6 基于 Dinf 算法提取的河网



图 7 SRTM 数据 D8 与 Dinf 算法提取的河网对比



图 8 D8(白色)与 Dinf(红色)算法提取的河网平坦区域对比



图 9 D8(白色)与 Dinf(红色)算法提取的河网在大河流域对比

表 1 D8 算法和 Dinf 算法提取水系的对比

算法	复杂程度	提取精度	运算时间
D8 算法	简单	平行伪河道	少
Dinf 算法	复杂	圆滑自然	多

总的来说,Dinf 算法生成的河网质量会优于 D8 算法。但是,D8 算法简单,计算效率较高;而 Dinf 算法比较复杂,计算流向和分配流量的过程会花费大量时间(表 1)。所以,在大范围区域河网提取过程中,需要高效率还是高质量,成为算法选择的主要因素。

4 结论与展望

本文以福建省为实验样区,采用 SRTM DEM 高程数据,在 ARCGIS 与 TAUDM 软件支持下,对比

Dinf 算法判断的水流方向为最陡坡向所在的两个单元格,一定程度上能较好地模拟水流在坡面等地形上的漫散流动,其确定的水流方向具有一定的物理意义。但也由于其仅仅考虑了两个方向,是对复杂实际情况的简化,因此不可能完全消除“平行伪河道”问题,生成的河网与实际真实水系也有一定的偏差^[3]。

分析了单流向算法(D8 算法)与多流向算法(Dinf 算法)水系提取的结果。结果表明,提取水系的技术流程主要包括 DEM 填注处理、Dinf 流向计算、Dinf 流量分配、设定阈值生成河网、河网矢量化;Dinf 多流向算法提取的河网质量优于 D8 单流向算法;在平坦区域和大河流域中,Dinf 算法改善了 D8 算法容易产生的“平行伪河道”问题,生成的河网会比较圆滑、自然;D8 算法简单,计算效率高;Dinf 算法较为复杂,计算效率较低,也无法完全消除“平行伪河道”问题,生成的河网与实际河网也有一定的偏差。这些成果可为以后流域单元划分及水文研究等方面提供参考。

本文中只比较单流向算法和多流向算法的经典算法-D8 和 Dinf 算法水系提取结果,还应该比较其

他方法,这在后续的工作中需要继续研究。单纯利用 DEM 数据具有一定的局限性,其地形模拟精度有限,提取的河网与真实河流存在偏差,尤其在平坦区域,偏离的误差较大,这就需要运用更多的手段来弥补 DEM 数据的不足,或者寻找更好的水系提取方法。

参考文献:

- [1] 高玉芳,陈耀登,蒋义芳,等. DEM 数据源及分辨率对 HEC-HMS 水文模拟的影响[J]. 水科学进展,2015,26(5):624-630.
- [2] 陈东风,巩伦宝,李振. 基于不同空间尺度 DEM 河网提取的阈值选取准则研究[J]. 水资源与水工程学报,2015,26(2):109-113.
- [3] 彭培,林爱文. 基于 AGREE 算法的河流水系提取[J]. 水电能源科学,2015,33(4):27-29.
- [4] 刘永和,张万昌. 基于 DEM 的流域河网信息自动提取算法[J]. 气象科技进展,2015,5(2):53-58.
- [5] 秦承志,朱阿兴,李宝林,等. 基于栅格 DEM 的多流向算法述评[J]. 地学前缘,2006,13(3):91-98.
- [6] O'Callaghan J F, Mark D M. The extraction of drainage networks from digital elevation data[J]. Computer vision, graphics, and image processing,1984,27(3):323-344.
- [7] Fairfield John, Leymarie Pierre. Drainage networks from grid digital elevation models [J]. Water Resources Research,1991,27(5):709-717.
- [8] Lea NL. An aspect driven kinematic routing algorithm, overland flow:Hydraulics and erosion mechanics aj parsons, ad abrahams[M]. New York, Chapman and Hall, 1992:130-133.
- [9] 孙崇亮,王卷乐. 基于 DEM 的水系自动提取与分级研究进展[J]. 地理科学进展,2008,27(1):118-124.
- [10] 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.
- [11] Tarboton David 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.
- [12] 宋晓猛,张建业,占车生,等. 基于 DEM 的数字流域特征提取研究进展[J]. 地理科学进展,2013,32(1):31-40.
- [13] 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.
- [14] 张维,杨昕,汤国安,等. 基于 DEM 的平缓地区水系提取和流域分割的流向算法分析[J]. 测绘科学,2012,37(2):94-96.
- [3] 蔡鹤生,刘存富,周爱国,等. 饮用水 NO₃⁻ 污染与食管癌发病率及死亡率相关性探讨——以河南省林州安阳地区为例[J]. 地质科技情报,2002,21(1):91-94.
- [4] 周迅,姜月华. 氮、氧同位素在地下水硝酸盐污染研究中的应用[J]. 地球学报,2007,28(4):389-395.
- [5] 朱亮,孙继朝,刘景涛,等. 兰州市城市化对地下水系统的影响研究[J]. 水资源与水工程学报,2014,25(3):111-115.
- [6] 李培月,吴健华,钱会. 内蒙古东胜煤田阿不亥普查区地下水水质评价及水化学形成机制[J]. 水资源与水工程学报,2010,21(1):38-41+45.
- [7] 刘艺芳,武强,赵昕楠. 内蒙古东胜煤田矿井水水质特征与水环境评价[J]. 洁净煤技术,2013,19(1):101-106.
- [8] 李培月,吴树宽. 基于模糊数学的内蒙古东胜煤田阿不亥普查区水质评价[J]. 水利科技与经济,2009,15(9):789-791.
- [9] USA Environmental Protection Agency. National primary and secondary drinking recommendations[R]. 1984,2:290-292.
- [10] Kikuo Kumazawa. Nitrogen fertilization and nitrate pollution in groundwater in Japan:Present status and measures for sustainable agriculture[J]. Nutrient Cycling in Agroecosystems, 2002(63):129-137.
- [11] 沈照理. 水文地球化学基础[M]. 北京:地质出版社,1993:136-141.
- [12] Edmunds W M, Smedley P. 2004. Geochemical Baseline As Basic for the European Groundwater Derective London [J], Taylor and Francis Group. 393-397.
- [13] Huang et al. Nitrate in groundwater and the unsaturated zone in (semi) arid northern China: baseline and factors controlling its transport and fate. Environmental Earth Sciences, 2013(70):145-156.
- [14] 张翠云,张胜,李政红,等. 利用氮同位素技术识别石家庄市地下水硝酸盐污染源[J]. 地球科学进展,2004,19(2):183-191.
- [15] 谭雪清. 城镇化对地下水影响数值模拟[D]. 南昌:南昌大学,2010.
- [16] 王滨,朱振亚,蔺文静,等. 泰安城市高速发展背景下地下水环境退化研究[J]. 水土保持通报,2010,30(1):210-213.
- [17] 郝永河. 阿克苏地区地下水化学特征及其形成原因分析[D]. 阿拉尔:塔里木大学,2010.
- [18] 周迅,朱春芳. 福建省晋江市浅层地下水硝酸盐含量特征及其水化学指示意义[J]. 地球学报,2014,35(2):177-182.

(上接第41页)