

文章编号: 1672-3031(2010)02-0128-05

强人类活动平原地区河网提取中的流路强化方法

刘家宏, 秦大庸, 李海红, 杨志勇

(中国水利水电科学研究院 水资源研究所, 北京 100038)

摘要: 我国北方强人类活动平原地区的水资源问题越来越严峻, 基于分布式水文模型的水循环模拟是流域水资源研究的基础, 其中基于DEM的河网水系提取是基础环节。平原地区由于沟谷发育不明显, 且人工河道和沟渠众多, 流域汇流结构支离破碎, 常用的河网提取模型往往很难得到正确的结果。本文借助已有的主要干流数字化河网水系, 提出了流路强化处理方法, 用于对平原地区的DEM进行预处理, 经过处理后的DEM输入河网提取模型, 可以得到流路正确、且河网密度更精细的河网水系拓扑结构, 为分布式水文模型的高精度水文单元划分奠定基础。该方法在强人类活动干扰的典型流域——海河流域进行了应用, 对比了流路强化处理前后的河网提取结果, 表明该方法是一种方便、快捷、高效的处理方法。

关键词: 数字流域; 河网提取; DEM; 海河流域

中图分类号: P339

文献标识码: A

1 研究背景

基于DEM的河网提取是分布式水文模型建立的基础环节, 提取河网的精度高低是影响水文模型模拟精度的一个重要因素。自Peucker^[1]开始, 河网提取的方法和模型已经研究了30多年, 主要形成了两种生成河网水系的方法: 一种是在一小窗口内对高程进行局部计算, 然后在DEM上移动该窗口来确定上凹面或V型面, 这些面底部的网格单元被视为水道或河网的组成部份, 这种方法的缺陷是生成的水系不连续, 需要重新连接和修整才能生成较合理的河网^[2]; 另外一种是由O'Callaghan和Mark^[3]提出的坡面流模拟方法, 它是依据水文学坡面流概念来判别水流路径, 根据每一栅格单元与相邻单元之间的最陡坡度识别水流路径, 再选择合适的水道集水面积确定河网, 该方法是目前应用最广泛的水系提取方法。O'Callaghan和Mark提出的提取河网的方法, 只有在DEM中每一个单元都确定了排水方向后才能自动生成连续的河网。围绕如何确定每个栅格单元的流向, Fairfield和Leymarie^[4]提出了D8方法、Rho8方法, 此外还有Lea^[5]方法、DEMON法^[6]、D ∞ 法^[7]等, 无论哪一种方法, DEM中的闭合洼地和平坦区域都会出现流路失真的问题, 尤其是在强人类活动下的平原地区, 往往由于人工河道(例如运河, 排水沟渠等)的影响, 改变了原有天然河道的流向, 使得提取的水系与实际情况大相径庭, 从而使得水循环模拟结果精度降低。许多学者研究了解决这个问题的办法, 总结起来主要分为两种思路: 一种是对河网提取模型进行改进, 例如Turcotte^[8]在模型进行流向和湖泊的判断时, 加入数字化河网和湖泊等辅助信息; 另一种是修正输入, 即DEM。后者认为之所以出现流路提取误差, 是因为DEM高程信息不足造成的, 与河网提取模型无关, 即错误的输出是由信息不全的输入造成的, 因此后者通过对DEM进行预处理, 增加DEM的高程信息来解决, 孔凡哲、芮孝芳^[9]提出的闭合洼地和平坦区域的处理方法以及杨传国、余钟波^[10]等提出的ZB算法即属于这一类。本文综合Turcotte方法和孔凡哲、芮孝芳方法的优点, 提出一种简单易行的平原河网流路强化方法, 该方法利用已有的主要干流数字化的水系蓝图, 将水系蓝图通过ArcGIS软件转换为与DEM网格尺寸相等的栅格图像, 将DEM图像

收稿日期: 2009-11-02

基金项目: 国家973项目课题(2006CB403401); 基金委创新群体科学基金项目(50721006)

作者简介: 刘家宏(1977-), 男, 博士, 高级工程师, 主要从事数字流域模型研究。E-mail: liujh@iwhr.com

与栅格化的水系图进行叠加分析,“挖深”位于水系河网上的DEM单元的高程值,从而强化河流的主槽,得到正确的河网提取结果。

2 流路强化方法

基于DEM的河网提取方法需要根据DEM的高程值来判定每个单元的流向。在山丘地区,河谷和两岸山丘的高差较大,在判定单元流向时比较容易;但在平原区,许多DEM并不能反映水下地形,DEM表示的常常是河流水面高程,由于平原河道的河流水面高程与两岸高程高差并不太大,在多沙河流的下游平原,两岸的地面高程甚至低于河流水面高程(例如黄河中游开封段就是“地上河”),低精度的DEM又不能反映堤防高程(堤防的宽度一般小于200m,栅格尺寸大于200m的DEM即难以反映河流两岸的堤防),这就造成平原区各DEM单元的高程值相差很小,甚至完全一样的情况,使得单元的流向很难判断,因而出河网提取中的“伪河道”和主流偏移等问题。

流路强化处理的基本思想是:人类活动主要干扰的是河道中下游,即干流流经的地区,在这些地区通过已有的较小比例尺的干流河道数字化地图,确定平原地区的河道覆盖的DEM网格单元集,将这个集合里的每一个单元的高程值减去一个值 h , h 取该地区河流的平均水深。通过这种处理,可以去掉河流水面的影响,基本反映河流的水下地形,使得DEM单元流向的判断不再模糊,直接从两岸指向河流主槽所在的低处。流路强化处理实质上是在平原地区本来平坦的DEM上人工开挖出了已知河流电子地图所反映的干流河槽,降低了平原区流向判断的不确定性,使得地表漫流尽数归槽。流路强化处理方法仅仅改变了与河流主槽重合的DEM单元的高程值,对流域整体地貌的影响小,不会影响其他地貌参数的正确提取,因而不会对流域的坡面产流造成影响,并且可以保证流域干流和主要支流河网与天然河网的一致性。

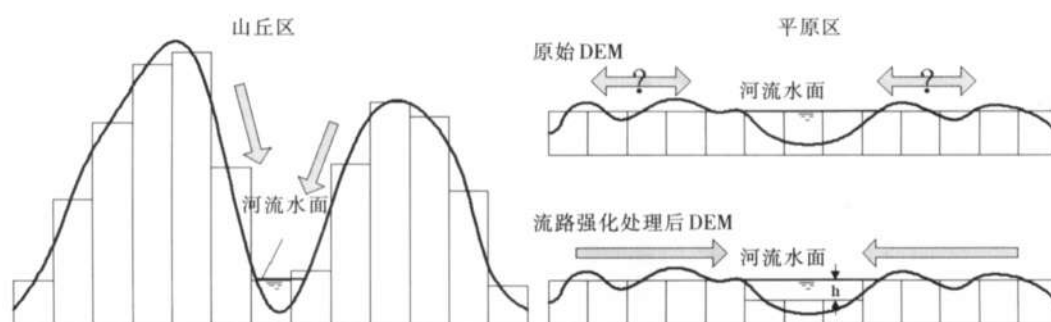


图1 流路强化方法的原理

流路强化的处理方法简单易行,完全可以通过常用的ArcGIS软件快速实现。处理过程分为如下4个步骤:

(1)为河网图层增加表示河流平均深度的属性字段Depth。在ArcGIS中打开河网电子地图,编辑图层属性表,增加表示河流平均深度的属性字段Depth,并给该字段赋值 h , h 取该地区河流的平均水深, h 的值也可以根据不同的河道级别分别赋值。

(2)河网电子地图栅格化。将河网地图的坐标转换为与DEM相同的投影坐标系,并将矢量格式的河网电子地图转化为与DEM栅格大小相同的栅格图层,转换的字段设定为Depth,即该区河道平均水深。转换过程直接利用ArcGIS的投影转换工具和文件格式转换工具。

(3)河网栅格图层与DEM栅格图层匹配处理。匹配处理包括两个方面:一方面需要将河网栅格图层的图幅范围与DEM栅格图层的图幅范围强制设定为一致,便于两图层的叠加分析,本操作通过ArcGIS的Export Data工具实现;另一方面需要将河网栅格图层的NULL值全部转化为0值,这是因为栅格化的河网图层除河流主流覆盖的栅格值是 h 外,其他网格数值是NULL,与DEM作加减处理时,得到的值也是NULL,会造成地形数据的大量丢失,因此需要将河网栅格图层的NULL值转化为0,

再作加减计算, 本操作通过 ArcGIS 的 Spatial Analyst 中的 Raster Calculator 工具实现, 计算公式为“con(isnull[河网栅格图层], 0, [河网栅格图层])”。

(4) DEM 栅格图层流路强化处理。将经过匹配处理的 DEM 栅格图层与河网栅格图层相减, 得到最终的 DEM 栅格数据, 用于河网水系的提取。本操作通过 ArcGIS 的 Spatial Analyst 中的 Raster Calculator 工具实现, 计算公式为“DEM 栅格图层—河网栅格图层”。

3 海河流域的应用

海河流域位于东经 $112^{\circ} \sim 120^{\circ}$, 北纬 $35^{\circ} \sim 43^{\circ}$ 之间, 流域面积 31.78 万 km^2 , 其中平原区面积 14.96 万 km^2 , 占流域总面积的 47% 。流域的平原区人口密度大, 人类活动强烈, 对河流的影响大, 还有著名的京杭运河纵贯流域东部平原, 河网水系极为复杂, 直接通过 DEM 提取河网水系, 通常存在较大的误差。本文通过流路强化方法来提取河网水系, 并给出直接提取和流路强化法取的对比结果。

3.1 数据准备 本文采用美国宇航局(NASA)2000年通过航天飞机雷达拓扑测绘(SRTM)得到的 $90\text{m} \times 90\text{m}$ 精度的 DEM 数据(图2)。数字化河网蓝图采用全国标准的5级河流电子地图, 在海河流域主要涉及3、4、5级河流, 由于第5级河流枝杈太密集, 本着河流强化主要是干流和主要支流的原则, 不考虑第5级河流, 海河流域的3、4级主要河流见图3。标准的河网图中包含了京杭运河, 由于京杭运河分割了海河原有的天然流域, 不利于流域划分, 因此在河网处理时去掉部分京杭运河连接线, 这样在流路强化处理时就不再强化切割天然流域的人工河道, 仅强化了原有的干流和主要支流河道。

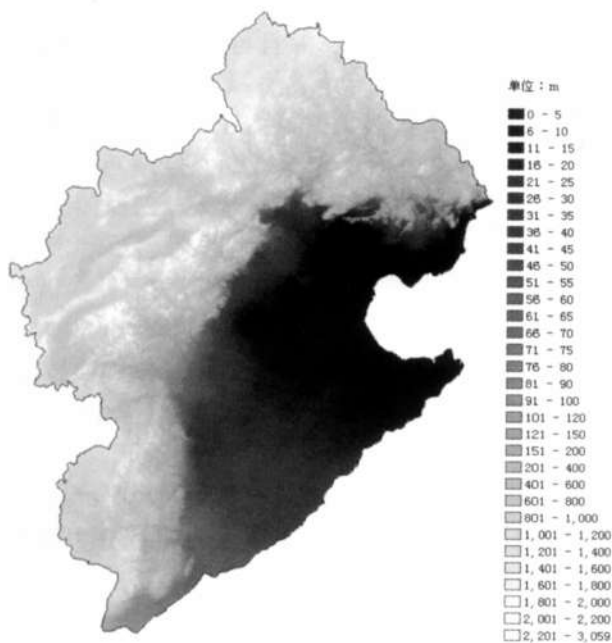


图2 海河流域 DEM

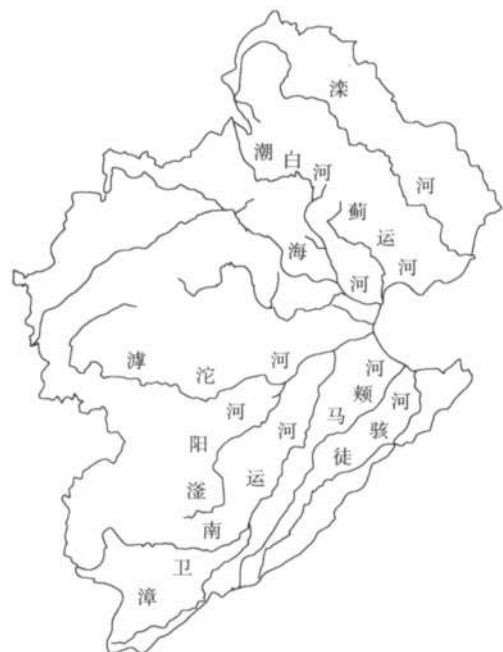


图3 海河流域主要河流分布

3.2 河网提取结果对比 本文利用 TOPAZ^[11] 模型, 分别对流路强化处理前和处理后的 DEM 进行了河网水系提取操作, 提取的主要河流结果见图4、图5。图中浅灰色的粗线是已知的主要水系数字化蓝图, 黑色细线是应用 TOPAZ 模型提取的主要河网。从图4中可以看出, 没有经过流路强化处理的 DEM 提取的河网与实际的蓝图河网差别较大, 尤其是在人类活动剧烈的平原地区, 个别主要河流的主流发生了明显的偏移, 例如流域南部的徒骇河和马颊河, 还有潮白河在下游直接袭夺了蓟运河的水道; 一些河流在下游入海口的的位置发生了明显的偏移, 例如滦河下游, 入海口向南偏移了约 30km 。经过流路强化处理的 DEM 提取的河网结果见图5, 可以看到提取结果(黑色细线)与实际河网(灰色粗线)基本一致, 提取河网由于临界给水面积(Critical Source Area, 简称 CSA)是统一设定的,

所以显示的流路长短与实际的数字化河网有些差异，这主要是显示，并不影响水系内部的汇流结构与天然河网的一致性。



图4 未经流路强化处理的DEM提取的河网



图5 流域强化处理后的DEM提取的河网

实际上，通过这种方法不仅可以保证干流和主要支流流路的正确性，而且可以得到比现有数字化河网更加细密的河网拓扑结构，方法就是在河网提取时减小CSA的设定值。基于细致的河网拓扑结构，可以进行分布式水文模型水文响应单元(Hydrological Response Unit, 简称HRU)的划分，图6、图7分别是海河流域加密的河网和相应的HRU的划分结果，以此为基础即可进行相关数据的空间展布，为流域水循环的精细模拟奠定基础。

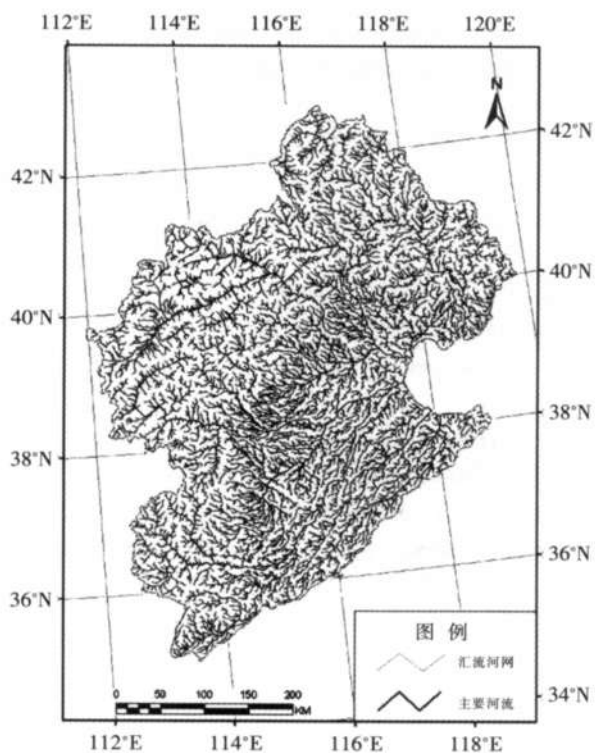


图6 海河流域加密的数字化河网

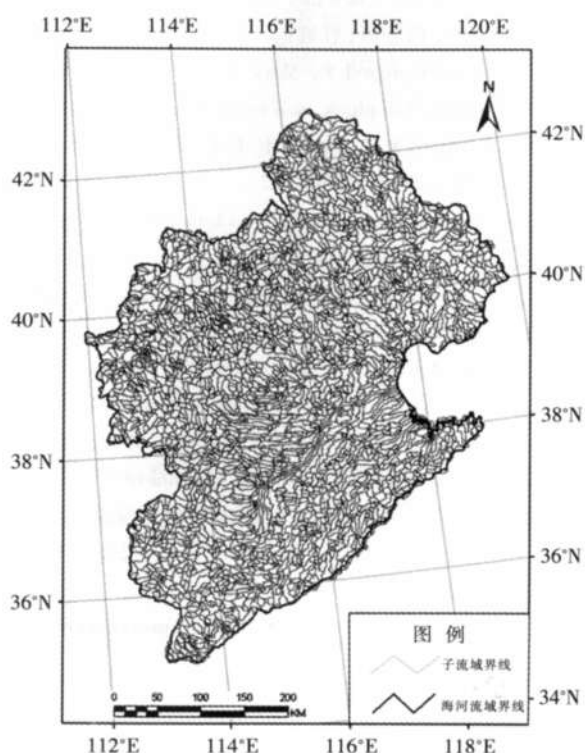


图7 基于加密河网划分的HRU

4 讨论和结论

平原地区地势平坦, 河道的沟谷形态不明显, DEM 高程值极为接近, 再加上平原区人类活动剧烈, 各种引水、排水沟渠密布, 常规的河网提取模型往往难以得到正确的河网提取结果, 给分布式水文模型在平原区的应用造成一定困难。而平原地区往往又是水循环、水资源研究的重点, 因此研究强人类活动平原地区的河网提取方法十分必要。本文提出的流路强化方法汲取了 Turcotte 方法和孔凡哲、芮孝芳方法的优点, 用已知的河道干流的数字化信息, 在 DEM 网格上沿正确的河道线进行人工“开挖”, 强化流路线, 然后用处理后的 DEM 作为输入, 提取河网水系, 能保证提取的河网与已知的数字化河网一致, 从而保证分布式水文模型汇流结构的正确性。流路强化方法操作简单, 完全可以通过 ArcGIS 软件实现, 不需要修改河网提取模型, 是一种方便、快捷的处理方法。通过流路强化法, 改变的只是河道所在的 DEM 网格的高程值, 在很大程度上是修正了原有 DEM 不能反映水下地形的缺陷(在河道网格单元上减去 h , 实际上是还原河底高程, 因为 h 取值为该河段的平均水深), 因此不会对模型的产汇流参数造成坏的影响。在还原河底高程时, 由于平均水深 h 是通过河段属性表添加设置的, 因此可以根据不同的河流级别分别设置, 对于干流河道, 可以设置得大一些; 对于主要支流, 可以适当设置得小一些, 避免支流挖得太深, 造成汇流坡度变异, 影响汇流计算精度。本文已知的干流河道数字化信息是指以往通过地理调查测绘出来的河流信息, 往往只有干流和较大支流的矢量图, 没有分布式水文模型要求的细密的河网拓扑信息; 其属性信息有限, 缺乏河道坡度、汇流面积等信息; 这些信息的获取一般通过基于 DEM 的河网提取模型提取, 为此本研究成果可望对分布式水文模型在高强度人类活动平原区的推广应用起到积极的推动作用。

参 考 文 献:

- [1] Andrea T. Automated recognition of valley lines and drainage networks from grid digital elevation models: A review and a new method[J]. Journal of Hydrology, 1992, 139: 263–293.
- [2] 晋华, 杨金海, 任焕莲, 等. 基于 DEM 的浊漳河南源水系研究[J]. 太原理工大学学报, 2006, 37(6): 646–648.
- [3] O' Callaghan J F, Mark D M. The extraction of drainage networks from digital elevation data[J]. Computer Vision, Graphics, and Image Processing, 1984, 28: 323–344.
- [4] Fairfield J, Leymarie P. Drainage networks from grid digital elevation models[J]. Water Resources Research, 1991, 27(5): 709–717.
- [5] Lea N L. An aspect driven kinematic routing algorithm in overland flow: Hydraulics and erosion mechanics[M]. New York: Chapman & Hall, 1992.
- [6] Costa-Cabral M C, Burges S J. Digital elevation model networks (DEMON): A model of flow over hillslope for computation of contributing and dispersal areas[J]. Water Resources Research, 1994, 30(6): 1681–1692.
- [7] Tarboton D G. A new method for the determination of flow direction and upslope areas in grid digital elevation models [J]. Water resources research, 1997, 33(2): 309–319.
- [8] 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]. J. Hydrol., 2001, (240): 225–242.
- [9] 孔凡哲, 芮孝芳. 处理 DEM 中闭合洼地和平坦区域的一种新方法[J]. 水科学进展, 2003, 14(3): 290–294.
- [10] 杨传国, 余钟波, 林朝辉, 等. 大尺度分布式水文模型数字流域提取方法研究[J]. 地理科学进展, 2007, 26(1): 68–76.
- [11] Garbrecht J, Martz L W. TOPAZ overview[R]. USA: USDA ARS, Grazinglands Research Laboratory, 1999.

(下转第 137 页)

An intensifying method for extracting drainage networks in a plain with violent human activities

LIU Jia-hong, QIN Da-yong, LI Hai-hong, YANG Zhi-yong

(Dept. of Water Resources, IWHR, Beijing 100038, China)

Abstract: The distributed hydrological model is an essential tool to simulate rain-runoff processes over plains in North China for solving the problem of water shortages. The extraction of drainage networks from digital elevation model (DEM) is a basic work to build the distributed hydrological model in a watershed. Many commonly used methods do not work properly when extracting drainage networks in flat areas with violent human activities. Two reasons for this situation are: the elevation of every DEM cell in this area is nearly the same so it is difficult to determine the flow direction; many man-made canals would disturb the flow direction. This paper puts forward an intensifying method to pre-treat DEM cells of the main stream. By using the proposed method, a topological structure of water system with more detailed and accurate river networks can be derived for dividing the hydrological response units in modeling. The result fits well with the natural stream networks, showing that the proposed method is a convenient, quick and easy method to solve the drainage network extraction problem in flat plains with violent human activities.

Key words: digital watershed; extraction of drainage networks; DEM; Haihe River Basin

(责任编辑: 王成丽)