

基于 DEM 和主干河网信息提取数字水系研究

王加虎 郝振纯 李 丽

(河海大学水资源环境学院,江苏 南京 210098)

摘要:为了弥补 DEM 中河道信息的缺失,从信息论的角度比较了引入矢量河网与栅格化河网各自在精度与效率上的优势,创建了一套通过“关系树”把 DEM 中隶属河道的栅格点群自动连接成水系的源头追索模型,把基于 DEM 和栅格化河网自动提取虚拟水系的方法推向实用.该模型能够充分利用目前各种电子地图中的水系图层,提高了虚拟河网的精度,而且可以在一定程度上解决传统方法中洼地与平原区的问题.该模型经过不同地区的多次验证,具有很强的实用价值.

关键词: 数字高程模型;栅格河网;虚拟水系;提取方法

中图分类号:P338

文献标识码:A

文章编号:1000-1980(2005)02-0119-04

近年来,随着计算机科学和信息技术的发展,与地理信息相结合的分布式水文模型已经成为研究重点,而基于 DEM 提取流域水文特征是该研究的关键^[1].最先出现的流域特征提取方法是 1975 年 Peucker 等提出的识别谷点法^[2],但是该方法即便经过改进后(Band 和 Donglas)仍然不能适用于大多数地貌类型^[3],所以目前应用广泛而且研究最多的是 O'Callaghan 等在 1984 年提出的坡面流累积方法^[4],该方法的基础是先从 DEM 中提取出虚拟水系.

虚拟水系必须与实际河流尽量接近,在此基础上提取出的各种流域特征才更具有实际意义.多年来,很多学者致力于这方面的研究,基本遵循两个原则:增加使用的信息量和完善信息的处理技术.由信息的通讯过程可以知道^[5]:一种分辨率的 DEM 资料对应着相应的精度和误差,处理技术的完善只能尽量减小解码过程中的信息损失.所以要想使提取出的虚拟水系精度有质的飞跃,必须依靠有效信息量的增加.

要增加有效信息量,除了选择更高分辨率的 DEM 资料以外,还可以通过局部加密、修改生成 DEM 时的数据源来解决问题^[4,6,7].这类方法认为 DEM 中闭合洼地和平坦区域是由于低质量资料的输入以及生成 DEM 时的内插误差引起的.通过人工判断和添加数据点重新生成 DEM 的方法,避免了 DEM 中平坦区域和闭合洼地的形成,从而使生成的河网与实际河网能够精确拟合.但这类方法仅适用于面积有限的确定区域,难以得到广泛使用.此外从信息的通讯过程来看也不尽合理:生成 DEM 时有内插误差,此前人工添加的控制点信息在生成 DEM 时无疑会被削减,导致部分人工添加过程无效.

有学者尝试在既定分辨率的 DEM 基础上输入矢量河道数据(vector data)来丰富虚拟水系的信息源.这类想法最早出现在 1989 年,由 Hutchinson 提出并经 Saunders 于 1999 年加以完善,其主要思路是通过河道烧录(stream burning)人工输入河道数字地图(stream lines of digital maps)来改善虚拟河网的精度^[8,9,10].2001 年 Turcotte 等人在此基础上加以发展,引入数字河流和湖泊网络(DELN:Digital River and Lake Network)来加强对湖泊、平原的处理能力^[10].该方法先根据 DEM 的栅格尺寸将实际河网分为若干折线段并人工输入各段的流向,以此确定部分 DEM 的栅格流向,其余的栅格流向按坡面流累积方法确定.该方法仍然依靠大量的人工输入来确定河道流向,同样只适用于面积有限的确定区域.

郝振纯等 2002 年提出的用数字化主干河道作为约束条件的河网生成方法^[11],旨在充分利用目前大量电子地图的水系图层作为 DEM 的附加信息,按照复合信息提取虚拟水系的方法来提高虚拟水系的仿真程度.本文以此为出发点,创建了一套把 DEM 中隶属河道的栅格点群自动连接成水系的源头追索模型,把基于

收稿日期:2004-05-14

基金项目:国家重点基础研究发展规划资助项目(G199043400);江苏省高等学校研究生创新计划资助项目(B04010)

作者简介:王加虎(1975—),男,江苏连云港人,博士研究生,主要从事水文水资源研究.

① SAUNDERS W. Preparation of DEMs for use in environmental modeling analysis. ESRI User Conference, 1999. 24—30.

DEM 和栅格化河网自动提取虚拟水系的方法推向实用.

此外,仅由 DEM 提取虚拟河网的两大难题也将在一定程度上随着河道信息的引入而解决.河道信息不仅能直接贯通、消除一部分原来需要处理的洼地,而且河道作为坡地水流的出口,将使洼地的处理更加快捷;平原区也因为有主干河道的控制,避免了虚拟水系中平行河道的出现^[10].

1 栅格化河网

由于 DEM“噪音”的影响,河道流向往往不能用 DEM 按照最陡坡度的原则生成,除非 DEM 分辨率小于河道最窄宽度的 1/2.严格按照水面海拔取值并且有足够的有效数字,但这样的 DEM 数据量非常大并且很难获得.造成 DEM“噪音”的因素很多,首先是长期培堤筑坝等人类活动的影响,使得实际河网与地形之间的脱节越来越明显;其次 DEM 的栅格高程是一定区域的均值,数据载有的河道信息在平均后常被削弱,加大了虚拟河网的偏差,分辨率越大这种影响越明显.此外 DEM 生成过程中可能存在的误差和错误也将直接影响虚拟河网的生成.

主干河道的误差,将直接导致其上游对应的汇流面积、汇流路径、坡度等流域特征的改变,比起坡地汇流部分的误差,其影响要严重得多,所以很有必要引入栅格化的主干河道,在生成虚拟河网的过程中以此为控制,提高虚拟河网的仿真程度.

基于 DEM 和栅格化河网自动提取虚拟水系的方法为:利用研究区域电子地图的水系图层,按照需要选取不同级别的河网,见图 1(a);把水系图层栅格化,注意栅格的尺寸和角点要与 DEM 相匹配,然后在 DEM 中把隶属于河道的栅格标注出来,见图 1(b);计算河道栅格的流向并连接成河网,见图 1(c).具体方法将在下文介绍.把河网栅格作为出口,按照坡面流累积方法确定研究区域内其余栅格的流向,完成整个区域虚拟河网的提取.

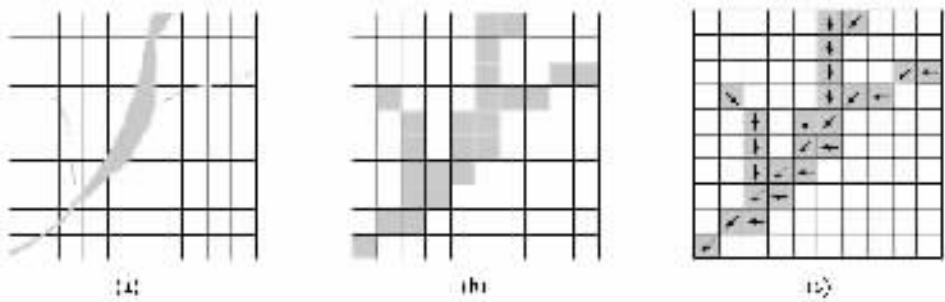


图1 DEM+栅格河网提取虚拟水系示意图

Fig.1 Sketch of extraction of drainage structure from DEM with raster river network

从信息论的角度来看,DEM 是传输河网信息的载体,提取虚拟河网的过程是在一定保真度的情况下再现原来的信息.由 DEM 提取虚拟河网时,使用矢量河网需要引入河网的位置和流向信息,而使用栅格化河网仅需要引入河网的位置信息.仅从信息量上比较,前者需要更多的人工输入,但生成虚拟河网精度的期望值(保真度)要高于后者.

然而矢量河网要在数字化水系时就确定河网的流向,这就大大增加了水系数字化的工作量,相比较而言,标量河网的方法更容易推广使用,因为目前各种比例尺的电子地图都包含有水系图层信息,例如全国 1:250 000 电子地图中包含了 1、2、3 级水系图层.利用水系图层配合相应的 DEM 数值,就可以自动计算并确定河网流向,不仅提高了信息的利用效率,而且简化了实际使用时的要求.

2 栅格河网矢量化方法

栅格河网矢量化是指确定隶属河网栅格点群流向的方法.实际使用中把距离河口的最远端作为河流的发源地,由此可以先寻找水系的源头,根据源头流下来的方向确定栅格河网的主干和沿途各栅格的流向,并定名为源头追索模型.因为该方法通过一定距离的坡度趋势来确定流向,避免了局部的资料“噪音”等高程波动对流向确定的干扰.

源头追索包括顺演和逆推两个阶段.顺演是指从某个起始河网栅格开始,把所有邻接的河网栅格都按照

“邻近优先”的规则存储在一个树形关系表中,称为“关系树”。为叙述方便,将图 1(b)的栅格编号,如图 1(a)所示。



图 2 源头追索模型顺演过程示意图

Fig.2 Appending stage in headstream seeking model

首先选择一个河网栅格点如 $P-2$ 作为起始点,分析 $P-2$ 周边栅格,把河网栅格 $P-1$ 、 $P-3$ 、 $P-4$ 作为次一级栅格连接到“关系树”上,其他非河网栅格不予考虑,如图 1(b)所示,然后按照高程由小到大的顺序在栅格 $P-1$ 、 $P-3$ 、 $P-4$ 中选择新的起始点,分析其周边的栅格,把栅格 $P-5$ 、 $P-6$ 、 $P-7$ 作为次二级栅格连接到“关系树”上,如图 1(c)所示。如此重复,直到遍历所有与起始点 $P-2$ 邻接的河网栅格,得到如图 1(d)的“关系树”,完成顺演过程。

顺演结束后,首先比较“关系树”各个“枝头”与起始河网栅格的高程差,以清除位于起始河网栅格下游的分枝,接着完成从“关系树”中寻找源头、分解主干以及确定流向等工作。在“关系树”中,最末一层的河网栅格距离起始栅格的路径最长,即图 1(d)中 $P-21$ 、 $P-22$ 、 $P-24$ 是当前研究区域可能的源头。 $P-21$ 、 $P-22$ 和 $P-24$ 都处于研究区域的边界上,因为 $P-21$ 、 $P-22$ 的前一级栅格 $P-20$ 有 2 个分枝,而 $P-24$ 的前一级栅格 $P-23$ 仅有 1 个分枝,于是认为 $P-21$ 、 $P-22$ 所处的河网宽度较大,为当前研究区域的源头。又因为 $P-21$ 、 $P-22$ 相邻,所以把 2 个栅格作为当前研究区域的并列源头。源头确定后,汇往起始栅格的路径就是一级水系,依次分解其他分支,直到确定全部的栅格流向,同时得出水系的格雷夫利厄斯(Gravelius)分级。

3 应用实例

根据全国 1/120 度(俗称 1 km)DEM 资料,和前期地理信息研究中完成的电子地图,对本文所述方法进行验证。首先以海河支流滦河上的潘家口附近区域为例,复合了河道位置信息的 DEM,如图 3(a)所示。通过模型,确定了各个河网栅格的流向并连接成河道,如图 3(b)所示。可以看出,源头追索模型能够实现自动确定栅格河网流向的要求。

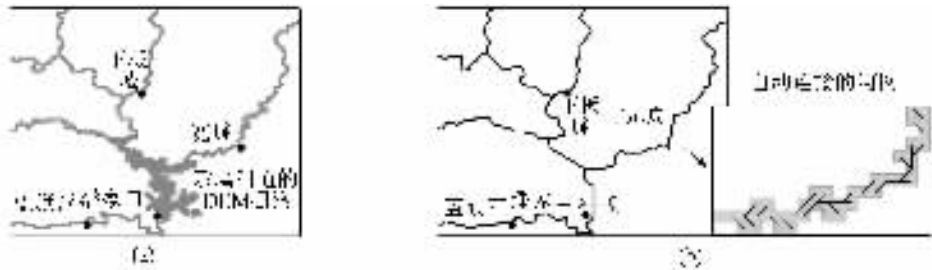


图 3 源头追索模型自动确定栅格河网的流向

Fig.3 Automatic determination of flow direction of raster river network with headstream seeking model

再以太湖西南的 1 个小支流为例,图 4(a)是仅使用 DEM 资料提取的虚拟河网,图中水系为阈值 40 的河道,在横塘村南部平原区出现了 3 条平行河道,并且有十几公里的干流河道位置比实际河道北移了约 5 km。使用本文方法后,生成的虚拟河网更接近于实际河网,尤其在横塘村南部平原得到了正确的树形虚拟河网,见图 4(b)。此外图 4(a)中有约 40 个洼地需要处理,引入栅格化河网直接贯通,消除了 20 多个洼地,加快了计算速度。

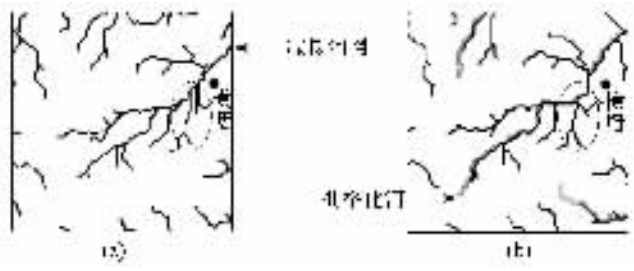


图 4 源头追索模型应用于横塘村附近

Fig.4 Example of present method—around Hengtang village

4 结 论

本文从实用角度出发,分析了增加有效信息量来提高虚拟水系精度的不同方法,建立了源头追索模型以实现栅格河道矢量化计算,完善了基于 DEM 和栅格化河网提取虚拟水系的方法,具有较好的推广实用价值.和其他方法相比,本文方法提高了虚拟河网的精度,只增加了有限的工作量.

源头追索模型仅使用了部分 DEM 高程信息,应该还有改善的余地.

参考文献:

[1] SINGH V P. Kinematic wave modeling in water resources ,environmental hydrology[M]. New York :John Wiley & Sons ,Inc. 1997. 1—10.
[2] 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.
[3] BAND L E. Topographic partition of watersheds with digital elevation models[J]. Water Resources Research ,1986 ,22(1) :15—24.
[4] O 'CALLAGHAN F ,MARK D M. The extraction of drainage networks from digital elevation data[J]. Computer Vision Graphics and Image Processing , 1984 ,28 :323—344.
[5] 傅祖芸. 信息论基础[M]. 北京 :电子工业出版社 ,1986. 131—150.
[6] 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.
[7] 陈永良 ,刘大有 ,虞强源. 从 DEM 中自动提取自然水系[J]. 中国图像图形学报 ,2002 ,7(1) :91—96.
[8] HUTCHINSON M F. A new procedure for gridding elevation and stream line data with automatic removal of spurious pits[J]. Journal of Hydrology , 1989 , 106 :211—232.
[9] SAUNDERS W ,MAIDMENT D R. Grid-based watershed and stream network delineation for San Antonio-Nueces coastal basin[A]. In :Proceedings of Texas Water '95 :A Component Conference of the First International Conference of Water Resources Engineering[C]. San Antonio :ASCE ,1995. 16—17.
[10] 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]. Journal of Hydrology , 2001 ,240 :225—242.
[11] 郝振纯 ,李丽. 基于 DEM 的数字水系的生成[J]. 水文 ,2002 ,22(4) :8—10.

Extraction of drainage structure from digital elevation model
by combination with raster river network

WANG Jia-hu , HAO Zhen-chun , LI Li

(College of Water Resources and Environment , Hohai Univ. , Nanjing 210098 , China)

Abstract :In consideration of the lack of river information in DEM , two methods , the vector river network and Raster River Network(R-RN) , which were introduced into the extraction of digital river system from DEM , were compared in precision and efficiency from the angle of informatics , and the latter was proved to be more efficient. Therefore , a new technique named Headstream Seeking Model(HSM) was developed to identify the drainage structure from DEM with R-RN. The present method improves the precision of virtual network because of its full use of river network charts in digital maps , and solves the problem of appearance of parallel river channels passing through plain and depression to a certain degree. The application of the method to different regions demonstrates its high applicability.

Key words :DEM ; raster river network ; virtual river system ; extraction method