

基于 DEM 与遥感信息的秦淮河流域数字水系提取方法

许捍卫, 何 江, 余远见

(河海大学水文水资源与水利工程科学国家重点实验室, 江苏 南京 210098)

摘要 利用数字高程模型 DEM 提取流域数字水系的方法存在精度差、提取出的流域水系与平坦地区和山区流域实际情况差别较大等缺陷. 为了克服这一流域数字水系提取方法所存在的缺陷, 引入了利用遥感信息来弥补 DEM 缺陷的方法. 提出了一种利用遥感影像提取流域水系信息, 采用基于数字河流和湖泊网络(DRLN)的水流方向修正法修正 DEM 中平坦地区主干河流及湖泊地区栅格的水流方向的流域数字水系提取方法, 并以秦淮河流域数字水系提取为例对该方法进行了实验. 实验结果表明, 该方法能消除大量的平行河道, 修正与实际偏差较大的主干河流, 在平坦地区和山区均能提取出较符合实际情况的数字流域水系.

关键词 数字流域水系 数字高程模型 遥感 Delaunay 三角网

中图分类号 P338

文献标识码 A

文章编号 1000-1980(2008)04-0443-05

流域水文模型是研究水文自然规律和解决水文实践问题的主要工具^[1], 而流域水系这一地貌特征是流域水文建模的主要参数, 它所包含的水系信息是水文模型分析的基础数据, 因此流域水系特征的提取一直是水文科学研究中的热点.

传统的基于栅格 DEM 提取河网水系的方法一般有 2 种: (a) Puecker 等^[2]于 1975 年提出的局部方法. 该方法首先利用一小窗口进行高程的局部计算, 然后在 DEM 上移动该窗口并确定上凹面. 该方法的最大缺陷是生成的水系不连续, 水系需重新连接、修正后才能产生较合理的河网. 这种缺陷在地形复杂及平缓的情况下表现得尤为突出. 因此, 局部方法的应用范围受到较大的限制. (b) O'Callaghan 等^[3]于 1984 年提出的坡面流模拟方法. 该方法的缺陷是洼地和平坦地区栅格单元的水流方向无法确定.

1989 年, Hutchinson^[4]提出了利用在 DEM 基础上输入的河道矢量数据来丰富虚拟水系信息源的思想. 1999 年, Saunders 等^[5]完善了这一思想. 这一思想的要点是通过人工输入的河道数字地图来改善虚拟河网精度. 在此思想的基础上, Turcotte 等^[6]通过数字河流和湖泊网络 DRLN(digital river and lake network)来提高湖泊和平原的处理能力. 郝振纯等^[7]通过数字化主干河道的方法来解决平坦地区主干河道偏离其自然位置的问题. 王加虎等^[8]通过地形图数字化水系等方式引入矢量河网与栅格化河网信息, 从而弥补了 DEM 中部分河道的信息, 并且通过地图数字化得到的水系有较准确的位置, 选用不同的比例尺能够获得不同级别的水系. 但是, 这些方法仍然是通过大量的人工输入或大工作量的数字化方式来确定河道流向, 同样只适用于面积有限的区域, 且数据更新困难.

有些学者提出了利用在 DEM 基础上输入的遥感水体信息来丰富信息源的方法. 例如 林凯荣等^[9]采用植被指数计算和目视解译方法提取水系并对数字河网进行修正. 该方法的优点是可以生成较符合实际的连续数字河网, 缺点是自动化程度低、主观因素影响大、工作繁琐. 李栋梁^[10]采用形态学知识与地物光谱知识相结合的遥感影像方法提取主水系. 与遥感目视解译方法相比, 该方法提高了自动化程度, 但其实验区大部分位于山区, 水系光谱特征很容易与其他地物相混淆, 且其主水系修正实验仅在小块平坦区域进行. 关于水系的修正原理和修正过程, 文献^[10]也未进行详细的分析和叙述.

为了提高数字流域水系提取的精度, 使提取的流域水系更能反映平坦地区和山区流域的实际情况, 本文提出了一种利用遥感影像所提取的流域水系信息, 采用基于数字河流和湖泊网络(DRLN)的水流方向修正法

修正 DEM 中平坦地区主干河流及湖泊地区栅格的水流方向的流域数字水系提取方法,并以秦淮河流域数字水系提取为例对该方法进行了验证.

1 数字流域水系的提取思路

基于遥感信息修正 DEM 提取流域水系的技术路线如图 1 所示,其主要内容如下：

- a. 采用遥感影像数据预处理方法消除遥感影像成像过程产生的几何和辐射畸变,采用决策树方法进行遥感影像分类,提取出本文所需的流域水体信息.
- b. 利用由遥感影像提取的流域水体信息,采用基于 Delaunay 三角网的河流中线提取方法提取平坦地区主干河流及湖泊地区的数字河流和湖泊网络 (DRLN).
- c. 在利用 DEM 提取流域水系的过程中,利用提取的数字河流和湖泊网络分别确定其内、外部栅格水流方向,以达到修正 DEM 平坦地区主干河流及湖泊地区的每个栅格水流方向的目的.
- d. 利用由遥感影像提取的湖塘信息,修正基于 DEM 和 DRLN 所提取的数字流域水系中缺失的湖泊.

2 遥感水体信息的提取

本研究使用的 ETM+ 影像摄于 2002 年 8 月 21 日,太阳高度角为 59.0°,太阳方位角为 125.0°,分辨率为 30 m,覆盖了整个秦淮河流域.此外,本研究还使用了覆盖研究区的 1998 年 1:5 万 DEM 数据资料(分辨率为 25 m).

对 ETM+ 影像数据进行预处理后采用归一化差异水体指数 (NDWI)^[11] 对秦淮河流域 ETM+ 影像进行基于感兴趣区的决策树分类.归一化差异水体指数

$$NDWI = (Green - NIR) / (Green + NIR) \tag{1}$$

式中:Green——绿光波段,如 ETM 影像的 2 波段;NIR——近红外波段,如 ETM 影像的 4 波段.

由于水体的反射从可见光到中红外波段逐渐减弱,在近红外和中红外波长范围内吸收性最强,几乎无反射,因此用可见光波段和近红外波段的反差构成的 NDWI 可以快速地提取影像中的水体信息^[12].

利用式(1)对预处理后的秦淮河流域 ETM+ 影像进行波段运算,可得到归一化差异水体指数 (NDWI) 影像图.利用图像连接工具,便可结合地形图、归一化差异水体指数及遥感影像进行判读,在遥感影像上进行秦淮河流域水体、长江水体及非水体采样,即定义秦淮河水体、长江水体及非水体 3 类感兴趣区.根据人工采样的 3 类感兴趣区可归纳出决策树分类规则,并建立决策树.提取结果如图 2 所示.由图 2 可知,本文所需的秦淮河流域水体信息已较完整地提出.

3 数字流域水系的提取

3.1 基于 DEM 的数字流域水系的提取

基于 DEM 的数字流域水系提取可按 D8 方法^[3]进行.步骤如下:(a)对 DEM 中的洼地、平坦区域进行预处理;(b)确定 DEM 中每一个网格单元的水流方向;(c)确定流域边界;(d)提取数字流域水系.其中基于 DEM 生成的水系如图 3 所示.从图 3 可以看出,基于 DEM 提取的水系中平坦地区的主干河流位置与实际河流位置有较大偏差.

3.2 数字河流和湖泊网络 DRLN 的提取

由于 DEM 方法本身存在缺陷,由 D8 方法生成的河网水系会出现一系列与自然水系偏差颇大的情况,尤其是在洼地和平坦地区,仅仅经过填平、垫高处理的河网与自然水系的偏差最为明显,其最大问题是平坦区

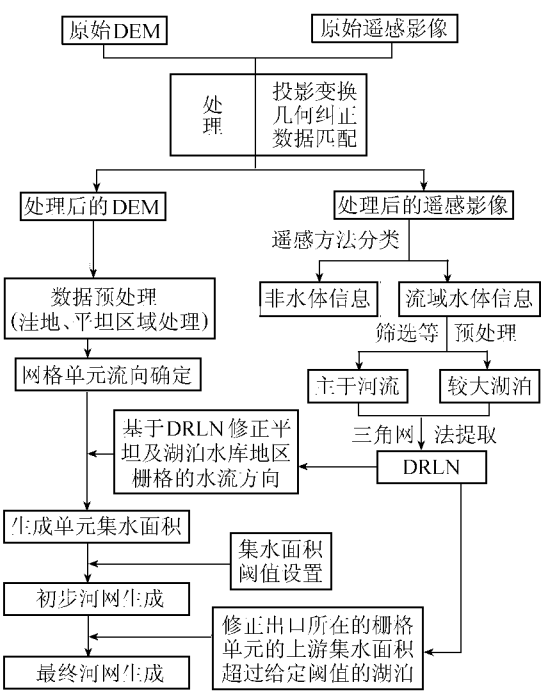


图 1 基于遥感信息修正 DEM 提取流域水系的技术路线

Fig.1 Technical procedure for extracting drainage network using DEM corrected by RS information

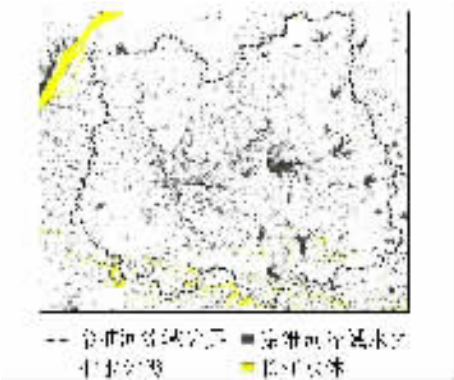


图 2 遥感影像分类

Fig.2 Classification of RS image

主干河流及湖泊位置偏离过大. 为了提高平坦区域和湖泊水库的处理能力,解决位置偏差过大的问题,本文从遥感影像水体信息中提取数字河流和湖泊网络 DRLN,利用 DRLN 修正 DEM 中相应平坦区主干河流及湖泊水库栅格的水流方向,从而消除了平行河道等伪河道,生成了比较符合实际的连续的数字流域水系,如图 3 所示.

3.2.1 DRLN 提取的数据预处理

将遥感方法提取的栅格格式遥感影像水体图转换成矢量格式的面状水体图,利用形态学原理对矢量水体进行 2 次分类筛选.其筛选原理如图 4 所示.

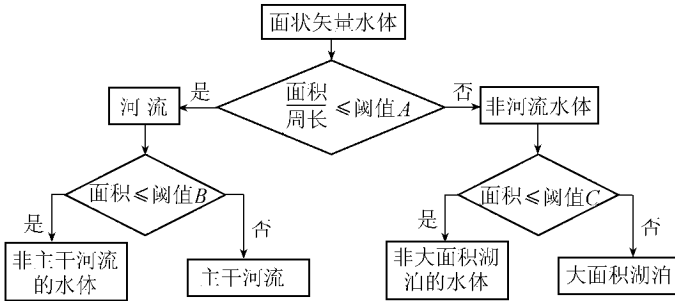


图 4 水体分类筛选原理

Fig.4 Schematic diagram of water classification screening

经过一系列数据预处理后,分类筛选出了平坦区主干河流和湖泊面状(图 5),为数字河流和湖泊网络(DRLN)的提取做好了数据准备.

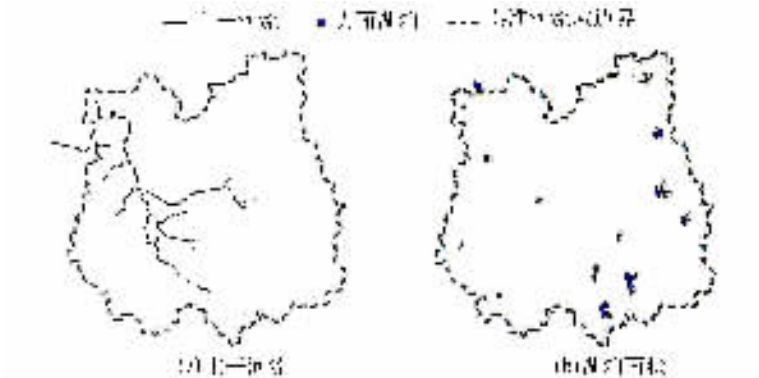


图 5 主干河流和湖泊面状

Fig.5 Main rivers and lakes

3.2.2 河流中轴线的提取

要精确地修正 DEM 中相应平坦区主干河流及湖泊每一栅格的水流方向,由主干河流和湖泊面状图提取的数字河流和湖泊网络必须具有以下性质:(a) DRLN 中主干河流应为单线状河流网络,湖泊为面状形式;

(b)DRLN 中单线状主干河流要尽可能穿过面状主干河流的中部;(c)DRLN 应保持原有主干河流和湖泊的拓扑架构。

由此可见,只需先提取河流面状要素的中轴线,然后将中轴线与湖泊面状图叠加就可以完成提取 DRLN 的任务。

面状要素中轴线提取所采用的 2 种传统方法为:垂线族法和栅格形态变换法^[12]。为了克服垂线族法和栅格形态变换法的缺陷,本文采用了基于 Delaunay 三角网的河流中轴线提取方法。

3.3 基于 DEM 及 DRLN 修正的数字流域水系提取

为了修正水流方向的需要,首先将提取出的 DRLN 栅格化,然后进行 DRLN 内外部栅格水流方向的确定。

3.3.1 DRLN 内部栅格水流方向的确定

将 DRLN 作为约束条件,降低 DRLN 位置的 DEM 高程,使主干河道的地势低于沿岸地势,修正沿岸 DEM 高程,模拟地表径流在地表从沿岸流向主干河道,从主干河道流向水系出口,以确保生成河网的主干河道与实际相符。

3.3.2 DRLN 外部栅格水流方向的确定

首先采用文献[8]的方法确定 DRLN 外部栅格的水流方向,修正 DRLN 缓冲区内的栅格单元高程,然后将二者叠加就可生成修正后的 DEM 栅格水流方向矩阵。

3.3.3 湖泊的修正

当 DRLN 内、外部栅格的水流方向确定后,流域 DEM 中的每一个栅格单元都指定了水流方向,便可以按照常用方法计算每一个栅格单元的上游集水面积。给出一个合理的最小水道集水面积阈值,生成一个由上游集水面积超过阈值的栅格单元所组成的河网栅格矩阵。由于流域内较大的湖泊往往比一个栅格单元面积还要大,可能包含有多个栅格,其上游集水面积会被湖泊包含的多个栅格单元所平摊,因而湖泊内的栅格单元的上游集水面积可能比给定的阈值要小,提取的流域水系会不连续。因此,需要对生成的流域水系再进行湖泊修正。

遥感影像经过水体提取、面积筛选、格式转换等一系列数据处理后,就可以得到大面积湖泊栅格矩阵。如果湖泊出口所在的栅格单元的上游集水面积超过给定的阈值,则把这个湖泊包含的栅格单元也作为河网栅格的一部分。

修正后的河流与主干河流吻合较好,如图 6 所示。

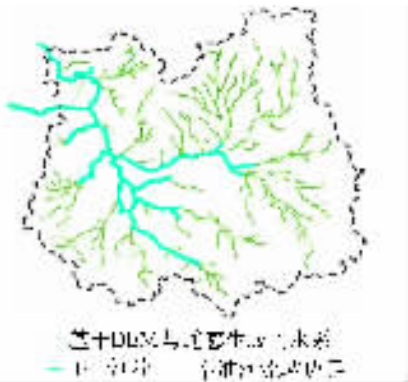


图 6 基于 DEM 与遥感信息提取的水系与主干河流的比较
Fig.6 Comparison of water system (extracted by using DEM and RS) and main rivers

4 结论与展望

本文采用基于 DEM 与遥感信息的数字流域水系提取方法,利用遥感影像信息与 DEM 数据互相弥补各自提取流域水系中的缺陷,从而使得提取的水系更能反映流域的实际情况。但是,本文采用的方法未考虑流域下垫面复杂程度对集水面积阈值选取的影响,应用于 2 类截然不同的地貌(如平原与山地)区域时,则会生成伪水道,因为它企图采用单一相同的水道给养面积阈值来描述 2 种完全不同的地貌类型。可以利用遥感影像中所提取的流域下垫面信息(地貌、地质、土壤和植被等关键地貌参数信息),考虑关键地貌参数的空间变化,在不同类型的区域设置不同的水道集水面积阈值。本次研究仅在秦淮河流域上进行了实验,为了验证方法的可靠性、有效性和实用性,还需要在更多具有不同条件的典型流域上进行方法的应用检验。

参考文献:

[1] 熊立华,郭生练. 分布式流域水文模型[M]. 北京:中国水利水电出版社,2004.
[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] 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] 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.
- [5] SAUNDERS W, MAIDMENT D R. Grid-based watershed and stream network delineation for San Antonior Nueces coastal basin[C]// Proceedings of Texas Water 95 : A Component Conference of the First International Conference of Water Resources Engineering. San Antonio : ASCE, 1995 :16-17.
- [6] 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.
- [7] 郝振纯,李丽. 基于 DEM 的数字水系的生成[J]. 水文,2002,22(4) :8-10.
- [8] 王加虎,郝振纯,李丽. 基于 DEM 和主干河网信息提取数字水系研究[J]. 河海大学学报 :自然科学版,2005,33(2) :119-122.
- [9] 林凯荣,郭生练,陈华. 利用遥感信息修正数字河网的研究[J]. 武汉大学学报 :工学版, 2005,38(6) :48-52.
- [10] 李栋梁. 基于 TM 影像的水系信息提取及变化制图研究[D]. 南京 :河海大学,2006.
- [11] MCFEETERS S K. The use of normalized difference water index (NDWI) in the delineation of open water features [J]. International Journal of Remote Sensing,1996,17(7) :1425-1432.
- [12] THOMAS F. Generating street center-lines from vector city maps[J]. Cartography and Geographic Information Systems, 1998, 25(4) :221-230.

Method for extraction of digital drainage network in the Qinhuai River basin based on DEM and remote sensing

XU Han-wei, HE Jiang, SHE Yuan-jian

(State Key Laboratory of Hydrology-Water Resources and Hydraulic Engineering,
Hohai University, Nanjing 210098, China)

Abstract : In order to overcome poor accuracy and a great difference between the extracted digital drainage network and the real situation in plains or mountainous areas of a watershed represented by a digital elevation model (DEM), remote sensing is introduced and a new method for extraction of the digital drainage network based on both the DEM and remote sensing is proposed. In this method, a remote sensing image is used to extract the drainage network and a digital river and lake network (DRLN) is adopted to correct flow directions of grids in the DEM. The proposed method is tested in the Qinhuai River basin. The results show that the method eliminates the parallel watercourse and solves the problem of the main channel departing its natural position, and that this method can extract digital drainage networks that more closely match the observations both in plains and mountainous areas.

Key words : digital drainage network ; digital elevation model ; remote sensing ; Delaunay TIN