

文章编号 0494-0911(2002)11-0025-03

中图分类号 :P208

文献标识码 :B

# 基于 DEM 的洪水淹没分析

郭利华, 龙毅

(武汉大学 资源与环境科学学院, 湖北 武汉 430079)

## Analysis of Flood Submerging Based on DEM

GUO Li-hua, LONG Yi

**摘要** DEM 是地表或空间现象起伏变化的数字表示, 包含了地球表面上许多有用的地理信息, 其中就包括水文信息。通过 DEM 来生成集水流域和水域网络是大多数地表水文分析模型的数据来源。在用 DEM 数据生成 3 维地面模型的基础上, 重点介绍与洪水淹没分析有关的一些技术问题。

**关键词** DEM; 伪洼地; 有源淹没; 无源淹没

### 一、引言

我国是一个洪水多发性国家, 每年因洪水淹没造成的损失难以估计。近年来, 洪水淹没模拟分析和预测得到很多相关专家的重视, 成为重要的研究课题之一<sup>[5~9,11]</sup>。随着 GIS 技术的日趋成熟, 许多研究者将 GIS 空间分析技术与水文分析模型相结合, 开始了一个新的研究领域。不过, 不同的研究者研究洪水淹没的角度不同, 则重点也不同。有的研究者从矢量数据出发, 分析地表径流; 有的则从栅格数据出发, 通过模拟 3 维地形, 分析地貌关系来进行洪水淹没的计算和预测。但是这些研究都只是从某一点来进行研究, 不能对整个淹没区域进行全面的模拟和分析, 因此, 提出一个较为全面的洪水淹没模型系统有着十分重要的现实意义。

洪水淹没由多种因素造成, 降雨、上游来水都可以造成淹没。按照洪水淹没的成因, 我们可以将洪水淹没分为两大类: 无源淹没和有源淹没。所谓无源淹没, 就是只考虑因降水而造成的水位抬升, 不考虑地表径流水的汇入。有源淹没则是在无源淹没的基础上, 考虑到地表径流水造成的淹没情况。本文在 Grid 正方形格网 DEM 数据建模的基础上, 分析 3 维地表的洪水淹没情况。其中包括 DEM 数据的预处理、无源淹没分析及模拟、有源淹没分析等研究工作。

### 二、DEM 数据预处理

用 DEM 数据做各种分析运算的时候, 经常会发现某些异常点, 这些点与周围点构成的地貌形态

与实际的地貌形态并不相符, 甚至产生矛盾的情况。这是因为采集 DEM 数据时, 由于选取精度的影响, 忽略了许多中间地貌形态, 从而造成这种异常现象。这些数据的出现常常会影响正常的分析, 特别是在判别地表中洼地的时候, 时常会出现许多异常的洼地, 我们称这种洼地为伪洼地。伪洼地的出现会误导水流方向, 因此, 在进行洪水淹没分析之前, 必须找出这些伪洼地并且将其去除。

#### 1. 寻找洼地底点

洼地底点具有这样的特性: 该点 4 周的点(可从 4 方向邻域或 8 方向邻域来判断)的高程大于或等于该点的高程。例如, 我们从 8 方向邻域来判断时, 要根据以下条件来判断:

如果  $\text{Height}(i, j) < \text{Height}(k, m)$  其中,  $i - 1 \leq k \leq i + 1$  且  $k \neq i, j - 1 \leq m \leq j + 1$  且  $m \neq j$

则 点  $(i, j)$  可以放入洼底点栈中(图 1)

$i - 1, j - 1$	$i - 1, j$	$i - 1, j + 1$
$i, j - 1$	$i, j$	$i, j + 1$
$i + 1, j - 1$	$i + 1, j$	$i + 1, j + 1$

图 1 洼底点的判断

现实地貌中, 满足洼地判断条件的区域有可能是平原地区或小平地, 在这里不考虑这种情况, 即所有相连切高程相等的最低点均视作可盛水区域的洼地处理。

#### 2. 剔除伪洼地点

##### (1) 伪洼地的判断

由于 DEM 数据误差的影响, 满足上述条件的点并非都是真正的洼地底点。DEM 分辨率的影响或者采集时所产生的误差的影响, 使得某单个点或

某连续的几个点的高程低于周围点的高程,但并不是真正意义上的“洼底点”,形成伪洼地。对于这些伪洼地,我们要引入一个面积阈值或洼地容积阈值对其进行去除。即当洼地面积或容积小于某一阈值时,将它视为伪洼地,不会产生淹没后果,当大于这一阈值时,则认为该洼地当蓄水达到某一程度时,会产生洪水淹没现象并会产生淹没后果。

此处引入的面积并不是我们平时所指的地形表面的面积,而是指当洼底被水填满后的水面面积。在规则格网的 DEM 数据上,不同高程的点映射到 X-Y 平面上以后形成的面都规则的矩形格网,所以算被淹地的水面面积就简化为求所淹没的三角形在 X-Y 面上投影的面积。而每个格网三角形投影到 X-Y 平面上的面积都是相等的(以  $S_{\Delta}$  表示),所以被淹没的洼地的水面面积  $S$  为

$$S = S_{\Delta} \times N = 1/2 \times D_x \times D_y \times N$$

其中,  $D_x$  为格网  $X$  间隔,  $D_y$  为格网  $Y$  间隔,  $N$  为洼地内所淹没的三角形的个数。

计算洼地容积的思路为:每一点的容积是以该点所在的洼地高度减去该点的值为高度、以某值为边长、底面为正方形(或矩形)的柱体的容积。将洼地中高度值小于洼地溢口点的高度值的点的容积累加后,就得到洼地的容积。

### (2) 伪洼地的去除

伪洼地的去除可通过修正 DEM 数据来实施,具体方法有多种:将伪洼地底点高程赋以该点周围点的最低点高程,或者取周围点的平均值,或者通过某一种差分算法获得高程值均可。在此试验中,笔者是通过取该点周围点平均高程值作为该点新的 DEM 高程值来实现的,见图 2,图 3。

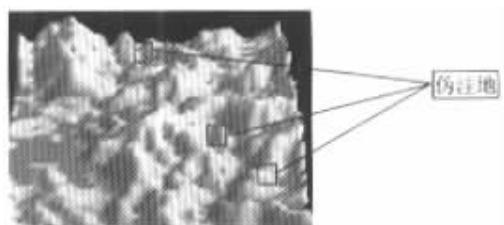


图 2 剔除伪洼地前

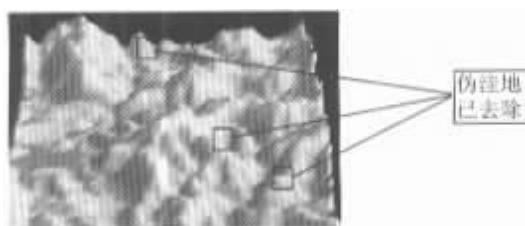


图 3 剔除伪洼地后

以下数据均为经过预处理的 DEM 数据。

### 三、无源淹没分析

无源淹没中,凡是高程低于给定水位的点都记入淹没区,算作被淹没的点,这种情形相当于整个区域大面积均匀降水,所有低洼处都可能积水成灾。从算法分析上看,这种情况分析起来比较简单,因为它不涉及到区域连通、洼地合并、地表径流等复杂问题。

如图 4,假设区域降水量为  $D$  毫米,洼地摄雨口的面积为  $S$  平方米,洼地当前水位表面积为  $s$  平方米,则洼地水位上涨高度  $\Delta h$  可近似表示为

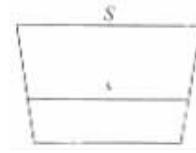


图 4 洼地某一纵切面近似图

$$\Delta h = \frac{S \times D \times 10^{-3}}{s} (\text{m})$$

由上式可以看出,当洼地上下底面相差不大时,水面上涨高度  $\Delta h$  只与降水量  $D$  相关。因此,如果从粗略的计算来看,在区域大面积降水的无源淹没情况下,每个洼地水面上涨的幅度基本上是一致的,也就是整个区域洼地水面均匀抬高。产生淹没时,只要是低于水位高度的点都记入淹没点,都会被淹没掉,见图 5,图 6。



图 5 洪水淹没之前地表形态

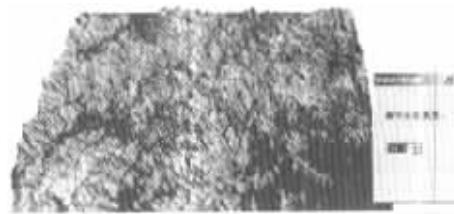


图 6 无源淹没中某一水位高度淹没后的情况

#### 四、有源淹没分析

有源淹没情况下,水流受到地表起伏特征的影响,在这种情况下,即使处在低洼处,也可能由于地形的阻挡而不会被淹没。造成的淹没原因除了自然降水外,还包括上游来水、洼地溢出水等。在实际情况中,有源淹没更为普遍也更为复杂。有源淹没涉及到水流方向、地表径流、洼地连通等情况的分析。

##### 1. 水流方向的判断

自然地表水流总是由高处向低处流动,又总是沿着坡度最陡的方向流动。依据这个规律,要判断 DEM 区域内某一点的水流方向,我们可以从与此点相邻的 8 点来判断。具体的判别方法如下:从水平、垂直 4 个方向上找出最大高程点  $h_{1_{\max}}$  和最小高程点  $h_{1_{\min}}$ ,再从对角线的 4 个方向上找出最大高程点  $h_{2_{\max}}$  和最小高程点  $h_{2_{\min}}$ ,然后按以下式子判断。式中,  $d$  为正方形格网间距,  $h$  为 DEM 中当前点的高程。

$$\text{MAX}\left(\frac{h_{1_{\max}} - h}{d}, \frac{h_{2_{\max}} - h}{\sqrt{2}d}\right) \text{ 满足此条件的点为}$$

当前点的上游点,即入水点;

$$\text{MAX}\left(\frac{h - h_{1_{\min}}}{d}, \frac{h - h_{2_{\min}}}{\sqrt{2}d}\right) \text{ 满足此条件的点为}$$

当前点的下游点,即水流方向点。

##### 2. 地表径流的形成

地表径流形成情况与该地区的谷脊分布有关,所以在判断地表径流之前要先判别出该区域的谷脊点。谷是地势相对最低点的集合,脊是地势相对最高点的集合。在栅格 DEM 中,可按照下列判别式直接判定谷点和脊点。

1. 当  $(h_{i(j+1)} - h_{i,j}) * (k_{i(j+1)} - h_{i,j}) > 0$  时,

若  $h_{i(j+1)} > h_{i,j}$  则  $V_R(i,j) = -1$ ;

若  $h_{i(j+1)} < h_{i,j}$  则  $V_R(i,j) = 1$ 。

2. 当  $(h_{(i-1),j} - h_{i,j}) * (h_{(i+1),j} - h_{i,j}) > 0$  时,

若  $h_{(i+1),j} > h_{i,j}$  则  $V_R(i,j) = -1$ ;

若  $h_{(i+1),j} < h_{i,j}$  则  $V_R(i,j) = 1$ 。

3. 在其他情况下,  $V_R(i,j) = 0$ 。

其中,  $V_R(i,j) = \begin{cases} -1 & \text{表示谷点} \\ 1 & \text{表示脊点} \\ 0 & \text{表示其他点} \end{cases}$

这种判定只能提供概略的结果。当需要对谷脊特征作较精确分析时,应由曲面拟合方程建立地表单元的曲面方程,然后通过确定曲面上各种插点的

极小值和极大值,以及当插值点在两个相互垂直方向上分别为极大值或极小值时,则可确定出谷点或脊点。

能够形成地表径流的地貌形态包括河流以及当洪水发生时可形成水流的山谷沟渠,根据几何学和地貌学原理及 DEM 的特征,河流、山谷均属于谷地地貌,所以均可使用获取山谷线的方法获得。我们可以在通过上述方法判断出谷点的情况下,再根据山谷线的如下特征进行判别,从而获取山谷线,得到地表径流路径:  
① 每一条山谷线均由连续的局部极小值构成;  
② 对于每一特定的山谷线来说,从其最高点(即山谷线的最上游)开始往下游延伸的其余各山谷线特征点的高程值应该越来越小;  
③ 山谷线遇到以下情况之一都将终止:连接另一条山谷线,汇入湖泊或海洋,到达 DEM 的边缘。

从山谷点数组中找出高程最大的点作为当前山谷线的起始点(上游特征点),从此点开始,沿着水流方向点往下游跟踪,直到遇到另一条山谷线或者汇入湖泊海洋或者到达 DEM 的边缘终止。

##### 3. 洼地连通情况分析

有源淹没有两种情况:一种是河流沟谷本来就终止于该洼地;另一种情况就是当无源淹没中洼地水位到达一定程度的时候,水从洼地边缘漫出,流向其他较低地区,这时候较低地区的淹没就属于有源淹没。第一种情况可以通过以上沟谷判断方法,得出沟谷线,再根据水流方向直接往下游追踪,到最后就能得到由该沟谷或河流连接的洼地,得到他们的连通关系。第二种情形下,则要先分析找到洼地边缘以及溢口,然后才能确定流水的溢出点并判断流水的流向。

对于 DEM 数据,判断洼地的边缘有多种方法。

1. 射线法。该方法常用平行线扫描和铅垂线扫描。从洼地点数组中取一点,分别沿平行于 X、Y 轴线方向扫描,判断扫描到的点的  $V_R(i,j)$  值。若碰到  $V_R(i,j) = 1$  且是从此方向上扫描到的第一点,则此点为洼地边缘点,将其赋予边缘点标志。

2. 扩散法(种子法,8 方向邻域判断)。将洼地底点中的一个点作为种子点,然后向其相邻的 8 个方向扩散。被扩散的点如果其  $V_R(i,j)$  值为 1,就不再作为种子点向外扩散,该点纪录为边缘点,否则就继续作为种子点向外扩散。重复上述过程直到所有种子点扫描为止。

从洼地所属的边缘点中找出高程值最小的点,则该点即为该洼地的溢口点。从洼地溢口点出发,

(下转第 30 页)

组 10 天就完成了外业数据采集工作。

## 六、结束语

一套精确可靠的水库库容表和库容曲线图等基础性资料,是各水库科学地进行防洪和营运管理的重要依据。目前各大、中型水库都正在或逐步建立基于 GIS 的防洪调度和营运管理系统。近年来,我们应用基于 GIS 的水库库容测量方法成功地进行了黄河故县水库、河南省白沙水库、昭平台水库等水库的库容测量和数据库建设工作,收到了良好的社会效益和经济效益。

(上接第 27 页)

依照水流方向进行判断,就能得出溢出水的流向,从而得到洼地间的连通情况。

## 五、试验和结论

本文的实验数据分别采用  $55 \times 80$  和  $500 \times 375$  的 DEM 数据,其格网间距为 4.01 m。程序部分通过 OpenGL 图形库基于 Visual C<sup>++</sup> 6.0 平台实现。该实验中的洪水淹没分析只是单纯从地形表面地貌进行分析,并没有考虑山洪暴发中常见的泥土塌方、风向对水流方向的影响、人工建筑对水淹的影响等因素。在此提出这些问题,权且起到抛砖引玉的作用,希望有更多的研究者来从事这项工作,提高洪水淹没分析的精度和质量,真正为防灾减灾决策提供科学、有效的预测支持。

## 参考文献:

- [1] 祝国瑞,王建华,江文萍.数字地图分析[M].武汉:武汉测绘科技大学出版社,1999.
- [2] 李志林,朱庆.数字高程模型[M].武汉:武汉大学出版

## 参考文献:

- [1] 刘志章.工程测量学[M].北京:水利电力出版社,1992.
- [2] 梁洪有,张育民等.以 3S 技术为代表的新科学技术推动下测绘学的发展趋势[J].焦作工学院学报,2001,(1).
- [3] 李德仁.GPS 用于摄影测量与遥感[M].北京:测绘出版社,1996.
- [4] 龚健雅.地理信息系统基础[M].北京:科学出版社,2001.

社,2001.

- [5] 郭达志,等.地理信息系统基础与应用[M].北京:煤炭工业出版社,1997.
- [6] 祝国瑞,张根寿.地图分析[M].北京:测绘出版社,1994.
- [7] 刘仁义,刘南.基于 GIS 的复杂地形洪水淹没区计算方法[J].地理学报,2001(1).
- [8] 常燕卿,张福浩.采用矢栅一体化技术的实时洪水淹没模拟分析系统[J].中国测绘,1999(6).
- [9] 向素玉,陈军,魏文秋.基于 GIS 城市洪水淹没模拟分析[J].地球科学,1995(5).
- [10] 覃士欢,袁艳斌,杜迎泽,刘吉平.洪水演进仿真系统河道边界搜索模型及算法分析[J].水电能源科学,2001,(9).
- [11] 刘仁义,刘南.一种基于数字高程模型 DEM 的淹没区灾害评估方法[J].中国图像图形学报,2001,6(2).
- [12] 陈永良,刘大有.一种新的山脊线和山谷线自动提取方法[J].中国图像图形学报,2001,6(12).
- [13] 李本纲,陶澍.用数字高程模型进行地表径流模拟中的几个问题[J].水土保持通报,2000(6).
- [14] 李清河,李昌哲等.流域降雨径流的数字模拟技术[J].地理研究,2000,(6).