

一种基于 DEM 的洪水有源淹没算法的设计与实现

张东华, 刘 荣, 张咏新, 谢精华

(东华理工大学 地球科学与测绘工程学院, 江西 抚州 344000)

摘 要:洪水淹没范围的确定是洪灾损失评估和防洪决策的核心环节,现已成为 GIS 在水利应用领域的研究前沿。洪水淹没模拟分为有源淹没和无源淹没两种情形,针对有源淹没的递归算法占用计算机资源较多,容易造成系统堆栈溢出,导致程序崩溃等缺陷,文中提出了一种计算洪水有源淹没范围算法:堆栈节点遍历算法。其以 .NET 为编程基础平台,在 GIS 技术的基础上应用数字高程模型(DEM)的格网模型进行洪水淹没分析。通过与原有的递归算法对比,该算法在一定程度上提高了计算效率和稳定性,最后成功应用在“南昌洪水淹没分析系统”中,对促进防洪减灾的信息化建设有一定意义。

关键词:DEM;有源淹没;GIS;算法;淹没范围

中图分类号:P209 **文献标识码:**A **文章编号:**1674-3504(2009)02-181-04

随着社会的发展,洪水灾害对我国经济的影响已由过去的农业扩展到城市、工业、生态环境等诸多领域,对社会经济造成的损失日益严重。因此,研究利用新技术快速、准确、科学地模拟和预测洪水淹没范围,已成为一个重要而紧迫的课题(周品等,2007)。

近几年来,利用 GIS 强大的空间分析能力和可视化功能,模拟显示洪水淹没范围一直是一个研究热点,但具体讨论实现淹没范围计算和显示的算法文献并不多(刘仁义等,2001)。很多学者采用递归算法计算洪水有源淹没范围,递归算法有其固有优点,如以简单、直观的代码实现淹没分析的计算过程,容易理解实现(周品等,2007)。但是当递归深度过深时,其计算效率低和稳定性不高的缺陷是致命的。为了避免递归算法的缺陷,本文重点研究了在给定水位条件下,如何设计与实现基于数字高程模型(DEM)有源淹没区域算法,并在此基础上提出了堆栈节点遍历算法,最后在南昌市洪水淹没分析系统中进行了实践。

1 基于格网 DEM 的洪水淹没范围计算模型

1.1 数字高程模型(DEM)

数字高程模型(Digital Elevation Model,简称DEM),是以数字的形式按一定结构组织在一起,表

示实际地形特征空间分布的模型,也是地形形状大小起伏的数字描述。DEM 的核心是地形表面特征点的三维坐标数据和一套对地表提供连续描述的算法,最基本的 DEM 由一系列地面点 (x, y) 位置及其相联系的高程 Z 所组成,用数学函数式表达是: $Z = (x, y), (x, y) \in \text{DEM}$ 所在的区域。DEM 通常用地表规则网格单元构成的高程矩阵表示,广义的 DEM 还包括等高线、三角网等所有表达地面高程的数字表示(梁海勇等,2005;邬伦等,2002)。

1.2 给定水位条件下的洪水淹没范围计算模型

给定洪水水位,可以是现状的洪水水位,也可以是来自水力-水文模型计算预测的结果,并以理想水平面模拟洪水水面。此建模方法实际上是近似计算洪水淹没范围的方法,更精确的淹没范围计算还需考虑淹没过程的水动力参数和水面形状变化问题(刘仁义等,2001)。然而,“给定水位”近似方法实用、便捷、易实现,在抗洪应用中,有其实际意义。

基于 DEM 求给定水位条件下的洪水淹没范围,可分两种情况:无源淹没和有源淹没。无源淹没指,凡是高程值低于给定水位的栅格都计入淹没区域,不考虑地域连通性;而有源淹没则考虑地域连通性,即洪水只能淹没所能流经的区域。对于某些地形,例如:环形山,无源淹没可导致环形山内外都生成淹没区;而在有源淹没中,外来的洪水若未及山顶,只能在环形山外形成淹没区。这两种情形都有其实际意义,第一种情形相当于整个地区大面

收稿日期:2008-10-27

作者简介:张东华(1982—),男,硕士生,主要研究方向:GIS 软件开发。

E-mail:2327577@163.com

积均匀降水,所有低洼处都可能积水成灾;第二种相当于高发洪水向邻域泛滥,例如洪水决堤或局部暴雨引起的暴涨洪水向四周扩散(邓雪清等,2003;李春红等,2005;刘仁义等,2002)。

从计算机算法实现角度看,无源淹没实现较简单,基本不需要算法,只是遍历所有栅格单元,找出低于给定水位的栅格即可。本文主要研究有源淹没算法模型:种子蔓延法,通过指定一个源点,然后向其周围 8 个邻域栅格单元扩散,将高程低于给定水位的栅格计入淹没区域,当栅格遇到边界或高于给定水位的栅格便返回并标记为不可淹没栅格,这样最后提取的栅格区域便是有源淹没范围。

3 种子蔓延模型算法——堆栈节点遍历算法的设计与实现

模拟给定水位是 FloodLevel,淹没源点是 RasterPoint (x, y) 和其周围 8 个邻域栅格 RasterPoint (i, j), 其中 $x-1 \leq i \leq x+1; y-1 \leq j \leq y+1$, 见表 1。

表 1 规则二维栅格网数据

Tab.1 The scheme of two-dimensional grid raster data

$x-1, y+1$	$x, y+1$	$x+1, y+1$
$x-1, y$	x, y	$x+1, y$
$x-1, y-1$	$x, y-1$	$x+1, y-1$

堆栈节点遍历算法原理是:首先建立一个淹没区缓冲堆栈,然后从淹没源点,即栅格 RasterPoint (x, y) 开始判断,如果源点栅格水位 RasterPoint (x, y) \leq FloodLevel, 则将其放入到淹没区缓冲堆栈中,标记为可淹没栅格,然后搜索其周围 8 个邻域栅格 RasterPoint (i, j), 将符合条件的栅格放入淹没区缓冲堆栈中,同时弹出堆栈中的第一个元素 RasterPoint (x, y)。现在堆栈中的第一元素应该是 RasterPoint (x, y) 邻域栅格中的一个,假设此栅格单元是 RasterPoint ($x-1, y-1$), 第二次循环计算时候淹没源点便是 RasterPoint ($x-1, y-1$), 重复第一步运算。循环遍历堆栈所有节点,运算至淹没缓冲区堆栈为空,最终完成淹没范围计算(如图 1, 水位为 20 m 时提取的有源淹没范围)。

(1) 根据实际洪水动态过程,算法每次循环运算的源点应该是堆栈中高程最低的那个栅格元素,而不一定是堆栈中第一个元素。因为同一给定水位下最终淹没范围是确定的,为了提高运算效率,并未在堆栈中找出高程最低的栅格元素。

(2) 算法是收敛的,为确保不重复计算,堆栈中的新的淹没源点只向其邻域搜索没被访问过的

栅格单元,并标记可被淹没的栅格,然后将其放进堆栈中同时弹出此源点栅格,堆栈中元素个数会递减为空,最终完成运算。

下面有一段简短 C# 语言伪码表示上述堆栈节点遍历算法:

算法所需变量:栅格淹没缓冲区堆栈 llist < RasterPoint >; FloodList; 源点栅格的行列号: startX, startY; 二维淹没区域 bool 数组 isFlood[,], 用做标记淹没栅格。

Pre: 运算前初始化 bool 数组 isFlood 为 false。

//如果淹没源点栅格单元符合淹没条件,将其放入堆栈

```
if (RasterPoint (i, j) ≤ FloodLevel)
{ FloodList. Add (RasterPoint (startX, startY));
}
```

//判断堆栈是否有元素,若没有则表明计算结束

While (FloodList.Count! = 0)

//获取堆栈第一个元素坐标

int rowX = FloodList [0]. X

int colmY = FloodList [0]. Y

//标记可淹没

isFlood [rowX, colmY] = true;

//弹出堆栈第一个元素

FloodList. RemoveAt (0);

//向 8 个方向搜索连通域

for (int i = rowX - 1; i ≤ rowX + 1; i++)

for (int j = colmY - 1; j ≤ colmY + 1; j++)

{ if (i, j 下标没有越界)

//寻找可以淹没并且没有被标记过的栅格单元

```
if (RasterPoint (i, j) ≤ FloodLevel && isFlood [i, j] == false)
```

//将栅格单元 RasterPoint (i, j) 加入堆栈,标记为淹没,避免重复运算

isFlood [i, j] = true;

FloodList. Add (RasterPoint (i, j));

}}}}

最终数组 isFlood 中标记为 true 的栅格就是我们要求的洪水有源淹没范围。



图 1 南昌洪水淹没系统分析有源淹没范围

Fig.1 The source flood submerge area of Nanchang Flood Submerge analysis system

4 结论

本文研究的堆栈节点遍历算法,可用于对小范围 DEM 数据进行给定水位下的有源淹没范围分析计算。但在较大的范围 DEM 数据需要采用更完善的计算方法,才能快速、准确、科学地模拟、预测和显示洪水淹没范围,以便发挥防洪工程效益。

此算法较递归算法有一定的改进,不但不局限于递归深度,而且节省了系统资源,从而提高了算法的计算效率和稳定性。在实际的洪水淹没范围计算中还有很多因素需要考虑,如水动力因素、水面形状变化问题、数据精度、地面植被、天气状况等,因此还有很多条件需要考虑并改进,以达到更高的精度,为防洪抢险提供更科学有效决的决策依据。

南昌洪水淹没分析系统是用 C#语言,借助于 ESRI 的 ArcGIS Engine 平台,开发出来的用于抗洪分析决策系统(图 2)。此次实践表明,堆栈节点遍

历算法提高了系统的分析模拟性能,并达到较为满意的精度,显示出其在防洪抗洪工作中有一定的实际意义和较高的应用价值。

参 考 文 献

邓雪清,张永生,李波,等. 2003. 湖泊水下数字高程模型建模方法及应用模型[J]. 华东地质学院学报, 26(2): 95-99.
李春红,任立良,左振鲁,等. 2005. 基于 DEM 的三峡区间洪水淹没范围模拟[J]. 水文, 25(1): 1-4.
梁海勇,潘燕芳,刘少华,等. 2005. DEM 的建立及其在线路勘测设计中的应用[J]. 东华理工大学学报:自然科学版, 28(1): 96-98.
刘仁义,刘南. 2001. 基于 GIS 的复杂地形的洪水淹没区域计算方法[J]. 地理学报, 56(1): 1-6.
刘仁义,刘南. 2002. 基于 GIS 技术的淹没区确定方法及虚拟现实表达[J]. 浙江大学学报:理学版, 29(5): 573-578.
郭伦,张晶,赵伟,等. 2002. 地理信息系统[M]. 北京:电子工业出版社.
周品,李勇,谭建军,等. 2007. 基于 DEM 的洪水淹没计算机算法优化研究[J]. 微型计算机信息, 23(1-3): 196-198.



图2 南昌洪水淹没系统主界面

Fig.2 The interface of Nanchang Flood Submerge analysis system

The Design and Implement of a New Algorithm to Calculate Source Flood Submerge Area Based on DEM

ZHANG Dong-hua, LIU Rong, ZHANG Yong-xin, XIE Jing-hua

(Faculty of Geosciences and Survey Engineering, East China Institute of Technology, Fuzhou, JX 344000, China)

Abstract: Calculating flood area is the core part of flood hazard evaluation and flood protection, and it is being on the research front of GIS application in water conservancy. There are two different cases in flood simulation, the so-called “source flood” and “non-source flood”. There are many disadvantages of the recursion algorithm in “source flood” flood simulation method, such as taking up too much resource; causing system stack overflows and making system collapse. In order to overcome these shortcomings, an innovative algorithm based on visiting every node of the stack is put forward in this paper. In virtue of .NET software development platform and GIS technique, this new algorithm uses grid DEM model to analyses flood submerge. Compared with the original recursion algorithm, it has improved the calculating efficiency and running stability to a certain extent. Finally, the new algorithm has been successfully applied in the “Nanchang Flood Submerge analysis system”, which has contributed to the progress of informationization for flood protection and disaster reduction.

Key Words: DEM; source flood; submerge GIS; algorithm; submerge area