

洪水演进模拟的三维可视化研究

韩敏, 陈明

(大连理工大学 电子与信息工程学院, 辽宁 大连 116023)

(minhan@dlut.edu.cn)

摘要:洪水资源利用的关键在于了解洪水的发生过程及其运动规律,再现洪水的演进状态。通过对流域三维地形仿真、洪水演进模拟的三维可视化研究,以GIS数据为基础,采用VC++结合OpenGL的可视化开发环境建立了洪水演进模拟系统,实现了以给定洪水水位的方式再现洪水演进的动态模拟,为洪水资源化的研究奠定了基础。

关键词:洪水资源利用;洪水演进模拟;GIS;可视化

中图分类号: TP311.52 **文献标识码:** A

Three-dimension visualization research of flood routing simulation

HAN Min, CHEN Ming

(School of Electronic and Information Engineering, Dalian University of technology, Dalian Liaoning 116023, China)

Abstract: The key of the utilization of flood resource is to know flood occurrence course and movement rule, and flood routing state can be reappeared. According to the research of three-dimension terrain simulation and visualization study of flood routing simulation, flood routing simulation system is established with GIS data, under VC++ and OpenGL program environment. Flood routing simulation dynamically under given water level is realized, and strong base for the research of flood resources is established.

Key words: utilization of flood resource; flood routing simulation; GIS; visualization

0 引言

洪水灾害既是一种造成灾害的自然现象,又是保持自然生态平衡所不可少的生态过程。现在水利科学、工程乃至社会各界都在从不同角度深入探讨利用现代高新技术及时、准确地预测、预报洪水演进行为。随着信息数字化技术研究的深入,洪水演进的推算必须上升到模拟仿真的高度,才能为洪水事件发生的时间、地点、范围和强度提供快速、准确和直观有效的预报手段^[1]。由于地理信息系统(GIS)具有独特的空间信息处理和分析功能,具有空间性和动态性,它可以为洪水演进模拟的研究提供对多源地表空间信息的综合分析和解释。可视化技术使人能够在三维虚拟世界中对洪水演进的现象和规律进行观察、操作和分析,更好地了解洪水发生的过程,因此它们是开展洪水演进模拟仿真研究的自然选择。

1 洪水演进模拟技术分析

洪水演进模拟应是一种基于三维的动态立体仿真模拟,而通用的GIS已经不能满足大量的对可视化技术的需求^[2]。因此,需要在GIS数据基础上开展包括流域地形仿真、洪水动态演进模拟等三维可视化研究。可视化技术作用于洪水演进研究的全过程,它从大量的原始数据中通过分析提取有效数据开始,映射生成绘制成图的几何原语,利用交互控制对几何原语选定帧合成、色彩、纹理和阴影等参数并完成绘制图像的过程,最终显示出所绘制的三维流域地形和动态洪水演进图像^[3]。

在三维地形仿真与洪水模拟显示方面,由于OpenGL提供了一种直观的编程环境,它提供的开放三维图形软件包及

其一系列函数可大大简化三维图形程序设计,是绘制真实感三维图形、建立三维交互场景、实现虚拟现实的高性能图形开发工具软件包,并且用OpenGL来绘制三维地形具有图形质量高、程序可移植性好等优点,完全可以满足洪水演进对于可视化的要求^[4]。

2 地形三维可视化

根据洪水演进模拟三维可视化研究的需求分析,三维真实感地形的生成是开展洪水演进模拟研究的基础,而数字高程模型(DEM)则是表现三维地形表面形态等多种信息的一种优越的表现形式。通常所说的数字高程模型有等高线、不规则三角网(Triangulated Irregular Networks, TIN)和规则矩形格网(Grid)三种不同的表示方法,其中后两种形式的地形模型,结构简单,易于建立拓扑关系,以及对模型进行可视化和分析。

2.1 构建TIN模型

由于狄洛尼(Delaunay)三角网在地形拟合方面表现最为出色,因此常常被用于TIN的生成。根据构建三角网步骤的不同,通常将狄洛尼三角网生成算法分为三类:1)分而治之算法;2)数据点渐次插入算法;3)三角网生长算法^[5]。

在本文中不规则三角网TIN的构建采用的是狄洛尼三角网生成算法之数据点渐次插入法,具体步骤如下:1)根据插入点的X和Y坐标,构造一个超三角形,此三角形可以把存在的数据点都包围在里面;2)判断插入点位于已生成的哪一个三角形的外接圆内,如果插入点只在一个三角形的外接圆内,那么就将插入点与此三角形的三个顶点相连,构造出新的三角形。如果插入点位于多个三角形的外接圆内,那么就将这

几个三角形的边存入一个缓冲区,如果存入缓冲区的某两条边的头尾互置,那么就将这两条边删除,删除这些边后再将插入的顶点与这几个三角形的顶点相连,构造新的三角形;3)按照插入点的数量进行循环,重复1)、2)步骤;4)删除所有包含一个或多个超三角形顶点的三角形。本文以扎龙湿地保护局1:1万地形图矢量化后所得的 shapefile 矢量文件为基础数据,并通过以上步骤构造的不规则三角网如图1所示。

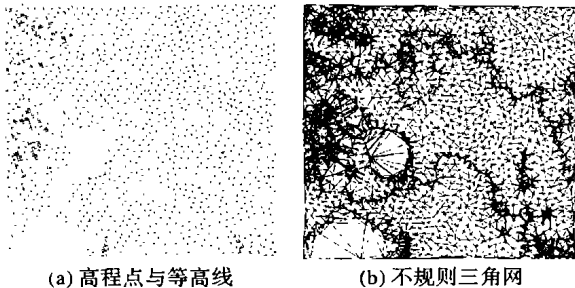


图1 不规则三角网的构建

2.2 构建 Grid 模型

DEM 最常见的形式是规则矩形格网 Grid,它可以由对不规则或规则的空间数据点进行内插值获得。它用一系列等间距地形的高程值表示,代表一方形格网地形,格网交叉点高程值就是对应地面某点的高程。

Grid 模型的构建是运用选定的 GIS 软件平台 ArcGIS 来完成的,将扎龙保护区区域的等高线和高程点数据加入到地理信息系统软件 ArcGIS 的 ArcScene 中,应用 ArcScene 的 3DAnalyst 模块将 Shapefile 格式的数据转换为 Grid 格式的数据,并将 Grid 数据输出转化为灰度图的形式。灰度图也是一种栅格格式的数据,特点是它的 R、G、B 值相同。灰度图上黑色部分 RGB 值都为 0,白色部分 RGB 值都为 255。中间过渡的灰度值在 0~255 之间变化,灰度图上的灰度信息所表示的就是三维空间的高程信息。

2.3 TIN 与 Grid 数据应用对比

TIN 与 Grid 数据相比,二者各有优缺点。TIN 模型能较好地顾及地貌特征,其数据冗余少,简化数据可能带来的失真也较小,它在地形显示优化方面更具优越性,但 TIN 计算麻烦,不便于计算机操作。Grid 数据结构简单、数据存储量小、各种分析和计算非常方便。不过在平坦的地区,由于格网大小固定,会出现大量的数据冗余。可以说双数据格式的三维地形仿真使洪水演进模拟系统在地形显示优化和分析计算方面更具灵活性。目前,由于 Grid 数据结构简单、利于计算的特点使得它在洪水淹没分析及演进模拟研究中得到了广泛的应用。因此在本文的研究当中,选用读取灰度图的方式来构建三维地形,作为洪水演进模拟的地形数据。

2.4 三维地形显示

OpenGL 绘制图形最基本的单位是点、线和多边形,在绘制地形时将灰度图上的灰度信息进行插值转变为真实空间数据点的三维坐标,每相邻的 3 个点组成一个三角形,再将所有的三角形联接成网状,形成反映高低起伏变化的地形三角网,从而为洪水模拟和分析过程提供了详实的依据。为改善地形仿真视觉效果,需要计算各点的法向量以产生真实的光照效果,更可以通过设置环境光、镜面反射光和漫反射光,增加地形明暗效果、光滑以及反混淆处理,为地形添加颜色材质和纹理贴图,加入天空、白云、雾效等来更真实的模拟自然世界。

3 洪水演进模拟研究

3.1 洪水演进模拟系统基本功能

通过对洪水演进模拟的三维可视化分析,为了能够在三

维虚拟世界中对洪水演进的现象和规律进行观察、操作和分析,可以改变参数来模拟不同情况下的洪水演进过程,更好的了解洪水的演进状态,为洪水资源化提供决策支持。本文以 GIS 技术为基础,采用面向对象的编程语言 VC++, 结合 OpenGL 的编程环境进行开发,建立了洪水演进模拟系统。系统的基本功能实现如下:

场景显示方式设置:场景可选择点、线、面、设置反走样和加阴影的显示方式,地形可选择单颜色、色阶梯度以及增加纹理贴图的显示方式。

场景效果设置:可以对场景的灯光、背景颜色进行设置,可导入 3dmax 软件制作的三维图形 *.3ds 文件,并可选择性加入雾效。

鼠标与键盘操作方式:鼠标左键实现场景缩放功能,中键实现场景平移功能,右键实现场景旋转功能;键盘的上下左右按键分别代表视点的前进、后退、左转和右转。

专用功能:洪水动态模拟演进,洪水淹没面积计算,洪水体积计算。

辅助功能:包括场景的 bmp 图像输出和显示过程的动画录制。

如图2所示为洪水演进模拟系统的功能结构图。

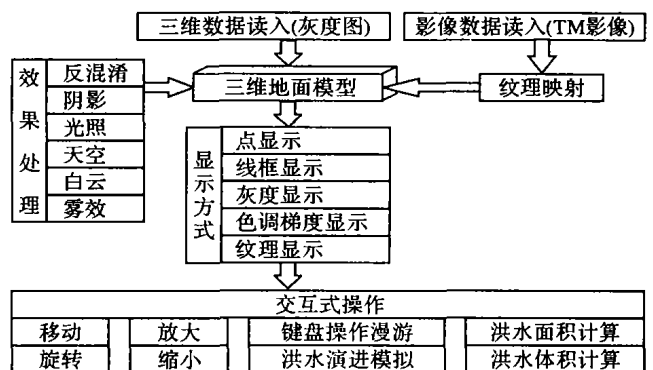


图2 洪水演进模拟系统功能结构

3.2 洪水演进模拟

洪水是指江河流流量迅猛增加及水位急剧上涨的自然现象。当降雨时间集中,降雨强度大时,雨水降落到下垫面,大量汇集到河流,使得河道的流量迅猛增加,水位急剧上涨,流量超过了河道的泄流能力,由此引起漫堤、决口等现象,形成洪水。而影响洪水演进状态的因素主要是地理高差和地表形态。地理高差就是根据物理规律地势高的地区安全系数高,流域内高差大的地段洪水的流速快。地表形态主要指洪水流经的区域是否有阻水的障碍物或阻水的地形如建筑物沼泽地等^[6]。

归根到底,洪水淹没的机理是由于洪水源区和被淹没区有通道(如溃口、开闸放水等)和存在水位差,就会产生淹没过程,洪水淹没最终的结果应该是水位达到平衡状态,此时的淹没区应为最终的淹没区^[7]。按给定水位进行洪水演进模拟的方法正是基于上面的思想来进行的,应当说按给定水位进行洪水模拟是一种近似的模拟方法,更精确的洪水演进模拟需要引入水动力学数值模拟。

按给定水位条件进行洪水演进模拟,就是求取满足淹没条件(地面高程小于洪水水位)、连通性要求的点的集合,该集合给出的连续平面就是我们所要求取的淹没区,即洪水演进模拟最终淹没区域^[8]。为了提高计算效率,计算时选用跳步方式,跳步值设为4,洪水流速按照跳步值随机产生(水流速度:0~4倍象元尺寸/时间段),将被淹没区域的各个点的

(下转第1912页)

表3 实验结果

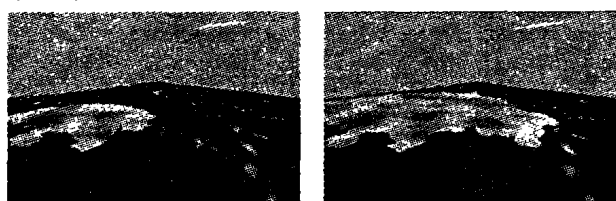
样本号	类别	样本的各信息素浓度
1	2 (良好)	$\tau_{11} = 52.4021, \tau_{12} = 77.53, \tau_{13} = 42.135, \tau_{14} = 11.24, \tau_{15} = 3.12$
2	5 (很差)	$\tau_{21} = 1.483, \tau_{22} = 5.52, \tau_{23} = 10.538, \tau_{24} = 47.83, \tau_{25} = 81.36$
3	3 (合格)	$\tau_{31} = 13.75, \tau_{32} = 35.01, \tau_{33} = 81.425, \tau_{34} = 20.36, \tau_{35} = 1.092$
4	2 (良好)	$\tau_{41} = 34.66, \tau_{42} = 78.62, \tau_{43} = 42.16, \tau_{44} = 12.64, \tau_{45} = 2.68$
5	3 (合格)	$\tau_{51} = 12.388, \tau_{52} = 26.57, \tau_{53} = 88.86, \tau_{54} = 13.279, \tau_{55} = 1.99$
6	2 (良好)	$\tau_{61} = 41.627, \tau_{62} = 80.102, \tau_{63} = 34.24, \tau_{64} = 10.279, \tau_{65} = 2.465$
7	4 (差)	$\tau_{71} = 2.011, \tau_{72} = 10.04, \tau_{73} = 40.253, \tau_{74} = 76.79, \tau_{75} = 3.12$
8	1 (优秀)	$\tau_{81} = 80.036, \tau_{82} = 43.69, \tau_{83} = 20.12, \tau_{84} = 5.046, \tau_{85} = 2.49$
9	3 (合格)	$\tau_{91} = 12.364, \tau_{92} = 35.76, \tau_{93} = 85.769, \tau_{94} = 19.89, \tau_{95} = 1.476$
10	1 (优秀)	$\tau_{101} = 83.68, \tau_{102} = 33.36, \tau_{103} = 20.2, \tau_{104} = 12.026, \tau_{105} = 1.002$

蚁种群的数量,能够很好地避免基本蚁群算法中出现停滞及陷入局部最优的情况,从而更好地达到全局优化的目的,由此也使算法的整体性能达到优化。进一步将其应用在 HRM 的员工绩效评估中,比原来的人为绩效评估更客观。改用现有的评估系统之后,该企业 80% 以上的员工都认为现有评估系统比以前更公正、更令人信服;同时对该企业的人事管理也起到了更加有效的作用,有利于发现以及提拔真正优秀的人才,淘汰不合格或不适合该企业的员工,也促进了该企业更好的发展。

(上接第 1907 页)

权值设为 1,并且每次计算的淹没区结果都会保存到一个以时间 T 作为参变量的时间栈数组内。

洪水演进模拟是一个基于时间栈的动态演示过程,洪水演进的全过程被分为 120 个时段(时段设定的多少是根据地域大小来确定的)进行模拟,每个时段程序的绘图函数都会重绘显示窗口,同时利用 OpenGL 提供的双缓存技术来实现连续的动画效果。如图 3 所示为洪水演进第 40 时段和第 80 时段的效果,从图中可以明显看出在绘制洪水的过程中,高于洪水面的地方将会改变洪水演进的方向。



(a) 洪水演进第40时段的效果 (b) 洪水演进第80时段的效果

图3 洪水演进分时段效果

3.3 洪水淹没区计算

按给定水位计算 T 时刻的洪水淹没面积,就是求洪水演进模拟到达 T 时刻时,满足三个点的权值都为 1 的三角形面积的累加和,其中这些三角形必须是具备连通关联性的。

计算 T 时刻的洪水

淹没区水量,就是计算 T 时刻的洪水淹没区每一三角形底面到水平面之间的体积累加和。每一个三角形淹没区的水容量计算方法如图 4 所示,由于三角形三个顶点的 Z 值不一定相等,无法直接算出这段水域的体积,因此将这段水域的容量划分为两个部分,一部分是求取一个三棱柱的体积,一部分是求

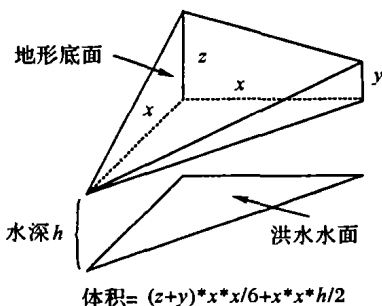


图4 洪水量计算方式

参考文献:

- [1] DORIGO M, MANIEZZO V, COLONNI A. Ant system: optimization by a colony of cooperative Agents[J]. IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, 1996, 26(1): 29-41.
- [2] LU Y, LU S, FOTOUHI F, et al. Fast genetic K-means algorithm and its application in gene expression data analysis[EB/OL]. <http://oldwww.cs.wayne.edu/%7eluyi/publication/tr0603.pdf>, 2003.
- [3] 罗鸿, 王忠民. ERP 原理·设计·实施[M]. 北京: 电子工业出版社, 2003. 208-217.
- [4] 朱剑英. 智能系统非经典数学方法[M]. 武汉: 华中科技大学出版社, 2001.
- [5] 中国人力资源网[EB/OL]. <http://hr.com.cn>, 2005-01.
- [6] 郝晋, 石立宝, 周家启. 具有随机扰动的蚁群算法[J]. 系统工程理论与实践, 1999, (3): 84-87.
- [7] 陈峻, 秦玲, 陈宏建. 具有感觉和知觉特征的蚁群算法[J]. 系统仿真学报, 2003, (11): 1418-1425.
- [8] 詹士昌, 徐婕, 吴俊. 蚁群算法中有关算法参数的最优选择[J]. 科技通报, 2003, (5): 381-386.

取四棱锥的体积。选取其中 Z 值最大的点, 根据该点的高程做一平行于水面的三角面, 此三角面应是地形三角面在 X/Y 方向上的投影, 这样把三角形区域化分为两个部分就可以分别求出。

4 结语

本文通过对流域地形仿真、洪水动态演进模拟等三维可视化研究, 建立了洪水演进模拟系统, 实现了按给定水位方式的三维洪水演进模拟, 可以通过改变参数观察洪水在不同状态下的淹没效果, 并提出了此种方式下的洪水量计算方法。应当说按给定水位方式实现洪水演进模拟只是模拟洪水过程的一种近似方法, 但它实用、便捷, 又能较快地与淹没区现状数据进行叠合分析, 例如应用遥感影像与数字高程模型的叠合来实现洪水状态的动态监测, 在洪水资源化的研究工作中有较大的实际意义。

参考文献:

- [1] 袁艳斌, 王乘, 杜迎泽, 等. 洪水演进模拟仿真系统研制的技术和目标分析[J]. 水电能源科学, 2001, 19(3): 30-33.
- [2] DOLLNER J, HINRICHS K. An object-oriented approach for integrating 3D visualization systems and GIS[J]. Computers and Geosciences, 2000, 26(1): 67-76.
- [3] 贾春华, 肖卫国, 贾霖. 可视化技术及研究方向[J]. 西安工业学院学报, 1997, 17(2): 114-116.
- [4] 薛安, 马嵩乃, 李天宏. 基于 OpenGL 实现真实感地形表现的研究[J]. 中国图象图形学报, 2001, 6(8): 800-805.
- [5] 李志林, 朱庆. 数字高程模型[M]. 武昌: 武汉大学出版社, 2001. 15-29.
- [6] YOUNG-JUNG YU, HO-YOULJUNG, HWAN-GUE CHO. A new water droplet model using metaball in the gravitational field[J]. Computers & Graphics, 1999, (23): 213-222.
- [7] 丁志雄, 李纪人, 李琳. 基于 GIS 网格模型的洪水淹没分析方法[J]. 水利学报, 2004, (6): 56-60.
- [8] 刘仁义, 刘南. 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), 2002, 29(5): 573-578.