

基于GIS和流团模型的泥石流模拟系统的研究

杨雪,管群

(四川大学计算机学院,四川成都610065)

摘要:自然灾害长期以来严重威胁并阻碍着人类的生产和生活,特别是近年来由于山洪和地震等诱发的泥石流次生灾害,造成了大量的人员伤亡与财产损失。但随着人们对灾害研究的深入和计算机学科的发展,面对此类灾害人们不再被动。为实现对泥石流自然灾害的虚拟重现和分析预测,以计算机仿真为手段,GIS技术和流团模型为基础实现泥石流模拟系统。通过用户提供的地形数据,根据流团模型对泥石流进行仿真。利用GIS技术获得泥石流运动范围内的相关信息,并且对泥石流数据的动能、动量、流速、泥深的染色进行分析。系统对云南东川地区的泥石流流域进行仿真测试,得到了较好的仿真效果,可为实际应用提供依据。

关键词:地理信息系统;泥石流;流团模型

中图分类号:TP391.9

文献标识码:A

文章编号:1673-629X(2013)03-0152-04

doi:10.3969/j.issn.1673-629X.2013.03.038

Debris Flow Simulation System Research Based on GIS and Flow Group Model

YANG Xue, GUAN Qun

(College of Computer, Sichuan University, Chengdu 610065, China)

Abstract: Natural disasters have always threatened the security of life and fortune of humanity. Particularly in recent years, such secondary disasters like debris flow caused by waterflood and earthquake have caused large casualties and property losses. But with the development of disaster research and computer technology, people are not passive when facing disasters. In order to achieve the natural disasters of debris flow's virtual reproduction and analysis forecasts, with the core of computer simulation technology, debris flow simulation system based on GIS technology and flow model is implemented. Topographic data provided by the user, according to the flow model to simulate the debris flow. By GIS technology, access to information in the debris flow within the range of motion, and analyze the debris flow data of the kinetic energy, momentum, velocity, deep mud stained. System is used in Dongchuan, Yunnan and has obtained good simulation results.

Key words: geographic information system (GIS); debris flow; flow model

0 引言

泥石流一直以来是人类与之不懈努力抗争的自然灾害之一,近些年来备受关注,特别在汶川地震后的甘肃舟曲特大泥石流以及云南贡山泥石流都给人们留下了惨痛的记忆。在科学不断发展的今天,学者对泥石流进行了深入系统的研究,将其与多门学科结合,如地质、数值计算科学以及计算机科学。如今面对灾害人类不再被动抗灾,通过提前对灾害数据收集和分析,不

仅可以预警灾害,还可以科学地指导灾后重建。文章致力于从计算机学者的角度运用GIS技术研究了泥石流灾害的计算机模拟及灾害数值分析,对计算机学科研究成果进行了实践,同时也为计算机更好地服务于人类生产及其他学科研究进行了探究。

所谓泥石流灾害的模拟,实际上是一个地质科学、数值计算科学以及计算机科学相融合的课题,目的是通过对灾害发生的地质原理分析,用数值模型的形式表示,最后通过计算机的处理进行虚拟重现及分析预测。泥石流数值模拟的数学模型目前一般采用的是流体力学模型法,通过分析研究泥石流涉及参数来建立运动方程,然后求解微分方程近似解,得到泥石流的灾害系数,如动能、动量、流速、泥深等。与此同时伴随着计算机科学技术的不断发展,地理信息技术(GIS)的出现使得泥石流等地质灾害的计算机模拟越来越精

收稿日期:2012-06-25;修回日期:2012-09-28

基金项目:国家自然科学基金资助项目(40771026)

作者简介:杨雪(1986-),女,云南昭通人,硕士,研究方向为计算机软件与应用、计算机网络及GIS等;管群,博士,副教授,硕士生导师,研究方向为AI、ICAI、GIS、网络信息技术和智能化信息处理等。

确、方便,结果的呈现也变得多样化合理化,为灾害的后续分析提供了强有力的结果数据支持。国内也已经有许多科研院所,通过泥石流模型的研究成果,将计算模型通过编程,进行了成功的灾害模拟,且通过模拟所得到的灾害系数,成功地预测了泥石流灾害同时科学地指导了一些地区的建设。

1 泥石流运动模型分析

1.1 现有模型分析

(1) 碰撞模型:由于泥石流流体内部固体颗粒在运动过程中是较分散的,颗粒间的接触也是短暂的,能量的交换也是通过互相间的碰撞完成,其模型核心的剪应力和切变率关系式如公式1所示:

$$\tau = \alpha \left(\frac{du}{dy} \right)^2 \tag{1}$$

系数值 α 受颗粒的大小、密度以及流体浓度等因素影响而确立。

(2) 摩擦模型:该模型假设流体内部的颗粒间是一直互相接触的,能量交换在颗粒运动过程中相互挤压摩擦完成。剪应力可用 Mohr – Coulomb 理论表示,颗粒接触并传递剪切面之上的流体颗粒压力及互相间的摩擦力,模型核心关系式如公式2所示:

$$\tau_c = C + p \tan \varphi_0 \tag{2}$$

其中系数 C 是粘结力、 P 是摩擦力。

(3) 粘塑性模型:泥石流运动过程中的剪应力要克服粗颗粒内部摩擦和由细颗粒的絮网结构而产生的屈服应力,此模型主要适用于流体粘性随沙水流浓度增大而增加的模拟研究,其剪应力的计算如公式3所示:

$$\tau = \tau_y + \eta \frac{du}{dy} \tag{3}$$

其中 η 为宾汉流体刚度系数, τ_y 为宾汉屈服应力。

(4) 碰撞与粘塑性混合模型:该模型考虑到了以上几种模型中考虑到的阻力情况,既考虑到固体粗颗粒间的碰撞阻力又考虑到液相阻力。是以上模型的发展,且相对精确,适用于含有大量粗颗粒,且流体浓度较高的泥石流模拟。也是如今重点研究的泥石流类型。其剪应力计算公式如公式4所示:

$$\tau = \tau_y + \mu_d \frac{du}{dy} + (\mu_c - \mu_l) \left(\frac{du}{dy} \right)^2 \tag{4}$$

式中 μ_c 为离散参数; μ_d 为粘度。

1.2 流团模型分析

流团模型是把泥石流流体视为由许多体积相同,性质及形状完全一致的小流团构成,且流团间连续无空隙,流团之间唯有力和动量的相互传递并不会发生

物质交换^[1]。通过计算流团离散运动方程,可得出各流团在每一个时间步长内的空间分布坐标和运动速度,在计算出大量流团的信息后,根据这些信息统计整个泥石流流域内的泥石流分布情况^[2]。

1) 流团的运动属性计算。

流团的运动属性主要指的是流团在每个 Δt (时间步长)后的流速和在空间坐标的位置^[3],具体计算方法如下:

(1) 流团的速度计算。

由于模型将泥石流看做是由大量等体积小流团组成,实际上泥石流的运动就是许多小流团的运动,并且计算所设流团体积越小,结果就越精确,当然计算量也就越大,根据模型理论,流团在坡面上的 X 、 Y 方向的速度计算公式如公式5所示:

$$\begin{aligned} \mu_k^{n+1} &= (g S_{sx}^{n,k} - g S_{fx}^{n,k}) \Delta t + \mu_k^n \\ \nu_k^{n+1} &= (g S_{sy}^{n,k} - g S_{fy}^{n,k}) \Delta t + \nu_k^n \end{aligned} \tag{5}$$

其中 μ 和 ν 分别表示流团在 x 和 y 方向的速度分量, μ_k^n 和 ν_k^n 是某个流团 k 在当前时刻 n 时 x 、 y 方向上的速度分量, μ_k^{n+1} 、 ν_k^{n+1} 则表示在下一时刻 $n+1$ 时, x 和 y 方向上的速度分量, S_{sx} 和 S_{sy} 则表示在当前时刻,流团在 x 和 y 方向上的底面坡降值, S_{fx} 和 S_{fy} 表示在当前时刻,流团在 x 方向和 y 方向上的摩阻坡降数值, g 表示重力加速度值^[3]。

(2) 流团的坐标位置计算。

流团的运动在模型定义中是按确定的时间步长一步步前进的,即位置是迭代改变的^[4],当前的位置是与上一步的位置以及两个方向的速度大小相关的,具体计算方法如公式6所示:

$$\begin{aligned} x_k^{n+1} &= x_k^n + \frac{\mu_k^{n+1} + \mu_k^n}{2} \Delta t \\ y_k^{n+1} &= y_k^n + \frac{\nu_k^{n+1} + \nu_k^n}{2} \Delta t \end{aligned} \tag{6}$$

其中 x_k^n 、 y_k^n 、 x_k^{n+1} 、 y_k^{n+1} 分别表示某个流团 k 在当前 n 和下一个 $n+1$ 步长时在 x 和 y 方向的坐标值, μ 和 ν 则表示在两时刻在 x 和 y 方向的速度分量。

2) 网格的运动属性计算。

(1) 网格速度。

网格速度是指所有在某个时刻处于此网格中的所有流团在 X 和 Y 方向的速度和^[5,6],具体计算方法如公式7所示:

$$V_k = \sqrt{\left(\sum_{i=1}^w vx_i \right)^2 + \left(\sum_{i=1}^w vy_i \right)^2} \tag{7}$$

其中 V_k 表示某个网格 k 在某个时刻的速度值, vx_i 、 vy_i 分别表示在该网格内第 i 个流团在 x 方向和 y 方向的速度, w 为该网格内的流团总数。

(2) 网格泥深。

网格泥深则非常容易理解,即总体积除以底面积的基本原理,而总体积则为所有流团体积的和,且模拟过程约定流团体积大小一致,故具体计算方法如公式 8 所示:

$$h_k^n = \Delta c * w / s \tag{8}$$

式中 h_k^n 为某个网格在某个时刻泥深, Δc 表示单个流团的体积大小, w 为处于该网格中的流团总个数, s 表示网格底面积。

(3) 网格动能及动量。

这是泥石流模拟计算的重要属性,其衡量泥石流的危险程度,其基本原理还是动能等于 1/2 乘以质量和速度的平方,动能则为 1/2 乘以质量和速度,其具体计算方法如公式 9 所示:

$$E_k^n = \frac{1}{2} \rho C (V_k^n)^2 \tag{9}$$

$$P_k^n = \frac{1}{2} \rho C V_k^n$$

式中 E_k^n 和 P_k^n 分别表示某个网格 k 在某个时刻 n 的动能、动量值, C 为该时刻网格内的泥石流体积,可根据公式 8 中的流团体积乘以流团总数求得, ρ 为泥石流流体的密度(地质采集参数), V_k^n 表示该网格在该时刻泥石流的速度,由公式 7 计算求得。

2 GIS 技术

2.1 GIS 技术及特征

GIS(Geographic Information Systems, 地理信息系统)是以计算机科学技术为基础,且与制图和地图学相交叉的学科,美国联邦数字地图协会对它的定义为“地理信息系统是由计算机软硬件和其他的一些方法共同组成的系统,系统支持空间数据的采集、处理、管理、分析、建模和显示,以解决复杂的管理和规划问题”^[7]。

地理信息系统具有以下三个特征^[8]:

(1) 支持于计算机系统的开发是 GIS 的重要特征,计算机系统能使得地理信息系统能准确、快速、综合地对复杂的地理信息进行有效的过程动态分析和空间定位;

(2) 地理信息系统具有采集、分析、管理和输出等多种的功能,而且具有动态性和空间性;

(3) GIS 在计算机系统支持下能有效地管理空间地理数据,还可用计算机程序模拟地质类的分析方法,基于空间数据及相应模型,产生有用信息和完成人类难以实现的处理工作。

2.2 基于 GIS 的开发方法

由于 GIS 具有获取、处理、管理、可视化及分析空间数据功能,是较好的空间信息应用开发平台,所以可

将数值计算模拟与 GIS 集成开发,增强系统的开发效率。

现有的 GIS 开发方式有^[9~11]:

(1) 独立开发方式:该方式不依赖于任何 GIS 软件,从空间数据采集到处理分析以及结果输出,所有过程仅由开发人员通过某种计算机程序语言编写来自己独立设计实现;

(2) 二次开发方式:二次开发方式则完全依赖于现有的 GIS 软件所提供的开发包来进行地理信息系统具体应用的开发;

(3) 集成式二次开发方式:该方式是把 GIS 控件及开发包加入到其他程序设计语言开发平台上,来实现融合性的开发,可用其他语言来调用 GIS 所提供的各种方法。比如 Visual Studio 2008 开发运行窗体,引入 GIS 软件开发包提供的功能函数库,实现与基础计算机语言和方法的集成融合开发。

3 系统总体与仿真实例

系统主要分为三个模块,即数据初始模块、数据处理模拟模块以及数据分析及显示模块,如图 1 所示:

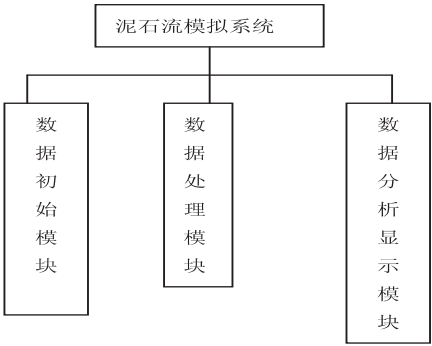


图 1 GIS 系统模块

(1) 数据初始模块:主要完成原始数据的预处理,最为关键的是实现地图数据信息的转换,将 GIS 格式的高程数据地图. shp 文件用 supermap 面向对象的开发结构实现打开、转入、插值提取地图高程信息等功能。除此之外该模块涉及大量的窗体设计、用户对话框和地理信息数据的处理。

(2) 数据处理模块:系统的核心,主要是根据流团模型方程,建立相应对象类和计算公式的函数代码,然后代码构建流程控制,进行模拟计算,获得结果数据存储于计算机数据结构中,为后续的数据分析及显示做好准备。

(3) 数据分析显示模块:主要是根据计算结果进行结果分析,将计算机数据结构的结果数据转换为 GIS 格式数据,然后用 GIS 开发的方式进行泥石流数据的动能、动量、流速、泥深的染色分析,同时提供结果数据的 GIS 格式(如 DEM)的保存、导出以及 3D 效果

的生成。

3.1 数据初始化模块与数据分析显示模块

地图数据处理、从地图选取断面、初始化流团、结果数据的染色显示,每一项操作都涉及大量GIS处理,需要GIS开发包辅助完成。所以首先要引用supermap object 面向对象开发包,即 SuperWorkspace 控件、SuperMap 控件和 Super3D 控件来构建GIS数据处理工作结构,如图2所示:

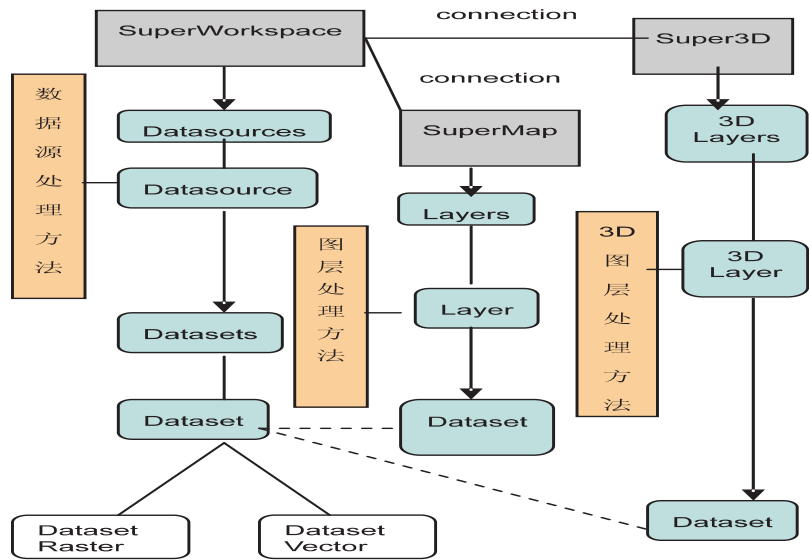


图2 GIS处理框架

SuperWorkspace 构建:SuperWorkspace 是GIS架构核心,负责数据源的管理和对地图数据的处理如打开、格式转换以及保存等工作,因此也可称其为GIS数据管理中心,一个数据管理中心可以建立多个数据源,实现对多种数据的分类管理,每一个数据源下可包含多个数据集。首先建立一个workspace,而后在其下建立数据源 Datasource,最后再数据源下建立数据集 Dataset,调用 Function 库函数代码实现对地图数据的处理。

SuperMap 构建:SuperMap 控件实现二维显示的处理,以图像的形式直观地展现出来,该空间实际上为一个显示窗体,并且后台提供显示处理方法函数。它并不建立自己的数据源和数据集,其对应的是数据中心 workspace 的数据集 Dataset 来完成显示处理。

Super3D 构建:Super3D 控件实现三维显示的处理,主要构建实现方式与 Supermap 控件相似,只是显示的场景不同。

3.2 数据处理模块

(1)流团的运动属性计算。

根据流团模拟计算公式5、6以及当前流团的速度和位置信息,计算出流团在下一个时间步长的速度和位置,如图3所示的流团在一个时间步长前后的变化。

(2)网格的运动属性计算更新。

根据每个时间步长后所有流团的属性信息,用计

算公式7、8、9来不断更新网格的流速、泥深、动能和动量等信息,并且仅保存最大值。

3.3 仿真实例

测试地图是云南省东川地区的一个深沟图,在选定发生断面和设置流量等信息后经后台计算得到的直观的泥石流的泛滥效果。图4所示的就是对后台返回的计算结果进行GIS图层染色和叠加的效果。

4 结束语

文中设计并实现了以流团模型作为核心算法的模拟系统,使得系统仿真效果更加逼真。为进一步满足基础地图数据获取以及结果数值直观表现的需要,研究了GIS技术的 Supermap object5 组建,并成功搭建了GIS构架,实现了二次融合开发,为系统实现了地图数据处理功能以及结果的可视表现和存储。

因目前进行一次模拟计算需要耗费相当长的时间,所以下一步研究的重点将是提高效率,引进分布式的处理方式。

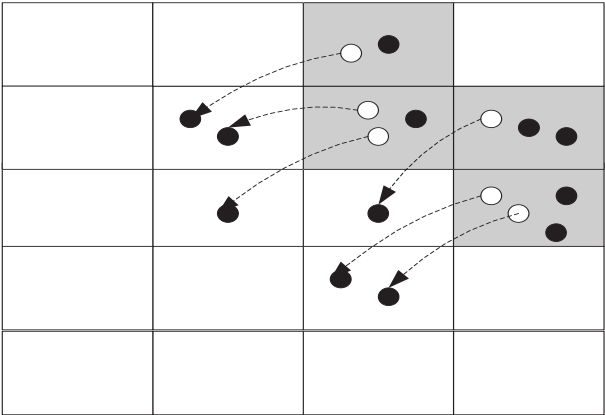


图3 一个时间步长前后流团的位置变化

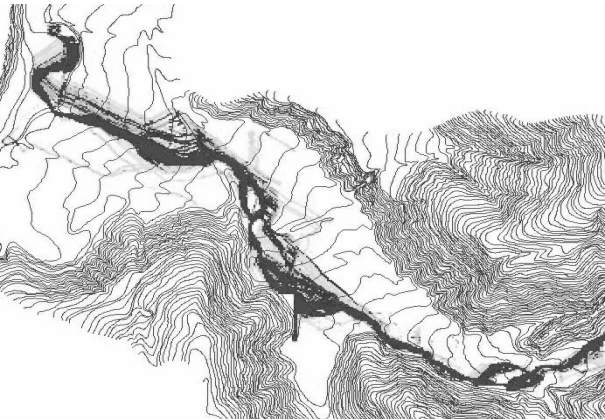


图4 模拟计算结果的染色效果图

End

● Sendto_HostCPU(将报文发送到 Host CPU)

1)将 ViX-v3 的头设置为 Host CPU 的 Flow_id;

2)发送 IP 头和 Param 到 Host CPU;

3)发送报文到 Host CPU。

End

考虑到模块的独立性,方便 CAM 的更新换代,可将路由查找写成宏的形式。

4.1 路由表的定义

路由表的结构定义如图 6 所示。

31bit			16	15	0 bit
L	B	Reserved		RT_FLAG	Port
Next_hop					
ip_dest					
Reserved					

图 6 路由表结构

字段说明:

1)L WORD0<31> 网元标志,1:本网元,0:外部网元;

2)B WORD0<30> 广播标志;

3)RT_FLAG WORD0<15:8> 路由标志字段;

4)Port WORD0<7:0> 外部接口板的端口号;

5)Next_hop WORD1<31:0> 外部下一跳 IP 地址;

6)ip_dest WORD2<31:0>内部目的单板 IP 地址。

4.2 路由表的存储

路由表的存储采用两级存储,路由表的索引放置在 CAM 当中,采用 CAM 存储器特有的检索方式实现路由条目的快速检索^[9],路由索引当中有指向 SRAM 当中对应路由表项的指针,直接定位到相应的路由表

项地址。

5 结束语

通过全 IP 的开放融合通信体系架构,可以在融合的 IP 网络上运行语音、消息、会议、数据等多种通信应用,基本的多业务接入、多设备集成,逐步发展到支持各种标准化接口,打造一个全新的一体化集成通信平台,满足应用交互通信的需求^[10]。

参考文献:

[1] 郭晓军. 构建全 IP 的开放融合通信平台[J]. IP 领航, 2009,12(4):22-25.

[2] 高文. 运用无线通信网络构建现代化企业信息化平台[J]. 计算机技术与发展,2010,20(11):221-225.

[3] 贺冰琰,姜帅. 基于 MPC8260 与 NP7250 微码通信模块的设计与实现[J]. 海南师范大学学报,2011,24(3):274-278.

[4] AMCC. NPX5700 Network Processor Program Manual and Application Note[M]. American:AMCC,2004.

[5] AMCC. NPX5800 Network Processor User's Guide[M]. American:AMCC,2004.

[6] AMCC. NP7250-BA1 OC-48 Network Processor Datasheet[M]. American:AMCC,2004.

[7] AMCC. NP7250 OC-48 Network Processor Program Manual[M]. American:AMCC,2004.

[8] 杜秀娟,金志刚. MPLS VPN 功能的微码设计与实现[J]. 计算机应用研究,2008,25(12):3770-3772.

[9] 徐荣国. 基于 CAM 存储器的高速路由搜索引擎设计[J]. 柳州职业技术学院学报,2008,8(1):59-62.

[10] 龙夫军. 平台与应用的融合[J]. 中国计算机技术用户, 2009,20(11):34-36.

(上接第 155 页)

参考文献:

[1] 管群,卢晃安. 面向对象流团模型的研究[J]. 计算机技术与发展,2007,17(12):184-186.

[2] 刘明德,林杰斌. 地理信息系统 GIS 理论与实物[M]. 北京:清华大学出版社,2006.

[3] Takahashi T, Tsujimoto H. Delineation of the debris flow hazardous zone by a numerical simulation method[C]//Proc. of Int Symp. on Erosion, Debris Flow and Disaster Prevention. Tsukuba, Japan: [s. n.], 1985:457-462.

[4] Wang Guangqian. Particle Model for Alluvial Fan Formation[J]. Debris Flow Hazards Mitigation, ASCE, 1997(2):143-152.

[5] 管群,韦方强. 基于实时数值模拟的泥石流危险性分区

系统研究[J]. 计算机应用研究,2006(12):126-132.

[6] 邬伦,刘瑜,张晶,等. 地理信息系统原理、方法和应用[M]. 北京:科学出版社,2001.

[7] 赵林度,林冲. 基于 GIS 的城市重大危险源应急管理协同机制[J]. 城市技术,2007(6):51-57.

[8] 罗元华. 泥石流堆积数值模拟及泥石流灾害风险评估方法研究[D]. 武汉:中国地质大学,1998.

[9] 费祥俊,舒安平. 泥石流运动机理与灾害防治[M]. 北京:清华大学出版社,2004:104-108.

[10] 马宗源. 泥石流流场的三维数值模拟研究[D]. 西安:长安大学,2006.

[11] Brooks S, Whalley J L. Multilayer hybrid visualizations to support 3D GIS[J]. Computers, Environment and Urban Systems, 2008,32(4):278-292.

基于GIS和流团模型的泥石流模拟系统的研究

作者: [杨雪, 管群](#)
作者单位: [四川大学 计算机学院, 四川 成都 610065](#)
刊名: [计算机技术与发展](#)
英文刊名: [Computer Technology and Development](#)
年, 卷(期): 2013(3)

本文链接: http://d.g.wanfangdata.com.cn/Periodical_wjtz201303040.aspx