

GIS 与二维泥石流流数学模型集成系统研究*

刘学 王兴奎 王光谦

(清华大学水利水电工程系, 北京 100084)

摘要 针对栅格式 GIS-ERDAS 和二维泥石流流团模型系统 (DEBRIS), 从模型参数自动获取、数据处理、GIS 与模型系统的集成策略与操作机制、模型产生的多时相泥石流数据的 GIS 管理与可视化表达、泥石流模拟数据的深层次分析等多个方面探讨了两者之间的系统集成问题。依此为基础, 设计并实现了系统间的有效连接。

关键词 地理信息系统 (GIS), 泥石流, 集成, 流团模型, 过程模拟

1 引言

泥石流模拟数学模型系统的作用是推演整个泥石流灾害过程中任意给定时刻的泥石流状态。一个完善的泥石流数学模型系统必须具备参数自动获取、模拟计算、过程多时相数据管理、模拟过程可视化和空间分析等功能。这使得模型系统的研究与开发人员不堪重负。

新一代的地理信息系统 (GIS) 具有空间数据获取、处理、管理与更新、可视化表达和大规模宏观空间分析等功能, 是良好的空间信息应用开发平台。若能将模型系统与 GIS 集成起来, 充分发挥 GIS 在数据获取、管理、分析和可视化表达方面的优势, 必能大大减轻模型系统开发人员的负担, 以最快的速度建立更加完善的模拟模型系统。因此, 研究 GIS 与泥石流模拟数学模型系统之间的集成具有重要意义。本文将针对清华大学水电系研制开发的泥石流模拟流团模型系统 (DEBRIS) 与先进的栅格式 GIS-ERDAS, 从模型参数自动获取、系统集成模式与方法、操作环境、时间信息表达、多时相过程数据管理、过程可视化和空间分析等多方面探讨两者的集成问题。

2 二维泥石流流团模型系统 (DEBRIS)

泥石流过程模型描述的是泥石流发生发展的整个过程。二维模型描述泥石流在 (x, y) 二维空间中的表现形态。实验证明, 在各种二维模型中, 流团模型是一种新的模拟效果比较好的数学模型。模型的基本方程为

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \nabla \cdot (\delta \mathbf{v}) = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial \mathbf{v}}{\partial t} + (\mathbf{v} \cdot \nabla) \mathbf{v} = -g \nabla (z_0 + h) - g \mathbf{S}_f + \frac{u_m}{\rho_m} \nabla^2 \mathbf{v} \quad (2)$$

其中, z_0 为原始地形高程, \mathbf{v} 代表泥石流流体平面二维流速向量, \mathbf{S}_f 为泥石流流体二维摩擦阻坡降向量, ρ_m 与 μ_m 分别为泥石流流体密度及粘性系数, h 为泥石流深。

流团模型的特色是模拟计算是基于流团 (Particle) 的, 但流体状态信息的表达是网格的。流团是一种计算机制, 系统输入的和输出的信息 (I/O) 依然与一般的网格模型系统相同。

模型应用于不同区域泥石流的主要区别是模型的参数 (主要是区域原始地形高程 z_0 , 泥石流流体二维摩擦阻向量 \mathbf{S}_f , 泥石流流体密度及粘性系数 ρ_m 与 μ_m 等)

* 本文系国家自然科学基金资助项目 (No. 59525914)

收稿日期: 1998-06-05; 收到修改稿日期: 1998-07-03

不同,为了使该模型具有适合不同地区泥石流模拟与预报的普适性,设计了泥石流模拟模型系统 DEBRIS。该系统主要由参数库和模拟计算模块组成如图1。

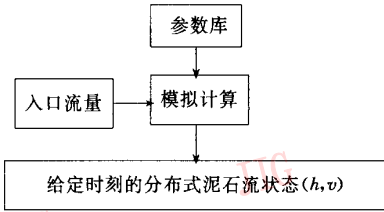


图1 DEBRIS 系统的结构

从图1中可以看出,DEBRIS 系统的运行需要如下条件

- (1) 计算域各网格节点上的原始地形高程 $\{Z_{ij}\}$;
- (2) 计算域各网格节点上的糙率系数 $\{n_{ij}\}$, 用于计算 S_f ;
- (3) 泥石流开始时刻 (t_0) 的总流量 Q 。

DEBRIS 系统的运行特点是只要给定区域泥石流模拟相关参数和初始流量,设定计算时间步长,给出被模拟的状态时刻,系统即可自动进行模拟计算。最后,以分布式网格形式输出所需时刻的泥石流状态模拟结果。

3 栅格式 GIS—ERDAS 系统

ERDAS 起初仅只是遥感图象处理系统(RS)。随着版本的不断升级和 RS 与 GIS 日趋集成化,新一代的 ERDAS 不仅完全支持著名的矢量 GIS—ARC/ INFO 的 Coverage 数据,更重要的是系统本身已内嵌众多 GIS 空间分析功能,如空间叠置(Overlay)等。因此,它已经成为名符其实的 RS 与 GIS 一体化系统。

新版本 ERDAS 虽然能够支持矢量和注记数据的创建与维护,但其数据管理和空间分析只支持栅格结构的数据。实质上,ERDAS 处理图象和 DEM 都使用相同的栅格数据结构形式,即 IMG。共同的栅格结构为 ERDAS 与 DEBRIS 集成准备了基础。此外,在目前各种栅格 GIS 系统中,ERDAS 提供了更加丰富的栅格结构空间分析、栅格数据管理、超波段数据处理(Hyperspectral)和三维可视化(3D Visualization)等功能(图2),从而使得集成系统的功能更加强大。

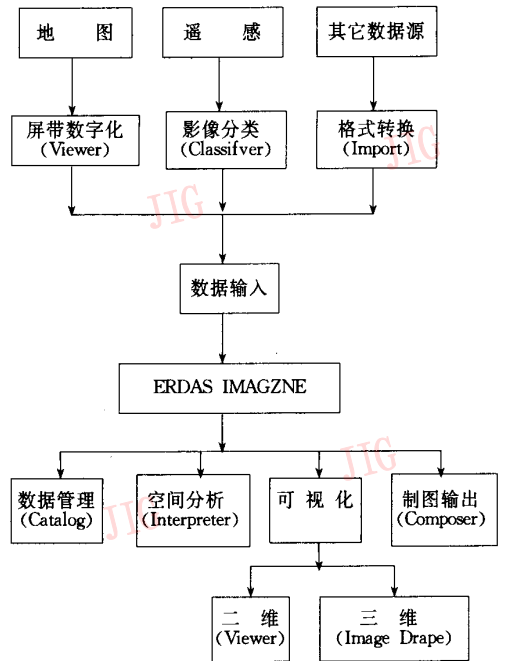


图2 与集成有关的 ERDAS 主要功能

虽然两个系统具有相同的空间数据结构(栅格形式的空间信息表达),但双方是完全独立建立的系统。ERDAS 以 IMG 方式压缩组织数据,而 DEBRIS 仅以普通的 ASCII 码方式(不压缩)组织数据。在不改变双方系统内部结构的前提下,建立两个系统之间的数据转换机制,实现双方信息的自由流动,是实现集成系统的必由之路。

4 ERDAS 与 DEBRIS 系统的集成

GIS 与模型系统的集成一般分为数据集成和功能集成。数据集成是指通过集成模型可以利用 GIS 提供的各种数据,功能集成则是指通过集成模型可以利用 GIS 空间数据管理、空间分析和可视化表达等功能。集成中两者的数据流方向正好相反(如图3)。因此,完整的集成系统应该同时实现数据集成与功能集成。

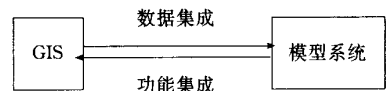


图3 集成中的数据流向

4.1 数据集成

(1) DEBRIS 所需原始地形数据 $\{Z_{ij}\}$ 的 ERDAS

产生。

DEBRIS 所需的地形数据是规则正方形网格分布的。利用 ERDAS 有两种方式可以产生这种数据:其一是基于离散分布的地形采样点数据,以普通的 ASCII 码文件结构进行组织,进而利用 ERDAS 的数字地形表面建模功能(3D Surfacing),可形成任意尺度的地形网格数据;其二是利用 ERDAS 的扫描地图数字化功能,将扫描的地形等高线进行矢量化;进而利用 ERDAS 的矢量一栅格转换工具形成网格地形 $\{Z_{ij}\}$ 。这样形成的网格地形的存储格式是 ERDAS 的 IMG 格式,DEBRIS 不能直接接受,利用 ERDAS 的 Pixels to ASCII 功能可以将 IMG 数据转换成如下的 ASCII 形式

$$\begin{aligned}
 &x, y, z \text{ (属性)} \\
 &\dots\dots\dots
 \end{aligned}
 \tag{3}$$

进而利用开发的 TRANSFORM 将其转换为 DEBRIS 能自动读取的数据格式即

$$\begin{aligned}
 &x \text{ 方向栅格数}, y \text{ 方向栅格数}, \text{栅格尺寸与单位} \\
 &z(0,0) \quad z(0,1) \quad \dots z(0,n) \\
 &z(1,0) \quad z(1,1) \quad \dots z(1,n) \\
 &\dots\dots\dots \\
 &z(m,0) \quad z(m,1) \quad \dots z(m,n)
 \end{aligned}
 \tag{4}$$

(2)DEBRIS 所需糙率系数 $\{n_{ij}\}$ 的 ERDAS 产生。

糙率系数 $\{n_{ij}\}$ 常常是地形坡度、覆盖、流动条件等多种因素的函数。由于一般无法获得令人满意的精确的糙率公式,所以常用经验的糙率表。糙率表实质上是一种 $\{IF < \text{条件}1 > \text{AND} < \text{条件}2 > \text{AND} \dots \text{AND} < \text{条件}N > \text{ THEN} \{ \text{糙率值} \}$ 的结构。这种求糙率的方式利用 ERDAS 以下述方式实现:先将有关的各种条件数据以与地形同样的方式网格化,并被 ERDAS 统一管理,进而利用 ERDAS-Spatial Modeler 中的条件函数

$$\begin{aligned}
 &\text{Conditional} \{ (\text{组合条件}1) \text{糙率}1, \\
 &\quad (\text{组合条件}2) \text{糙率}2, \\
 &\quad \dots\dots\dots \\
 &\quad (\text{组合条件}M) \text{糙率}m \}
 \end{aligned}
 \tag{5}$$

可产生网格化的糙率分布 $\{n_{ij}\}$ 。

同样,为了让 DEBRIS 系统可直接读取 $\{n_{ij}\}$, 必须借助 ERDAS 的 Pixels to ASCII 码功能转换数据格式。具体转换方式与(1)相同。

如果地形数据与糙率条件发生了显著的变化, ERDAS 可以快速实现数据更新,并能自动地形成新的糙率数据。

4.2 功能集成

DEBRIS 的核心是模拟计算,本身并没有数据管理、三维可视化、空间分析等功能,而这些功能对于泥石流过程模拟数据的深层次的分析很有价值。

为了利用 ERDAS 实现这些方面的功能,DEBRIS 产生的数据必须能为 ERDAS 接受。为此,

(1)设计了转换 DEBRIS 网格数据为 ASCII 码数据的方法。转换后的数据格式为

$$\begin{aligned}
 &x, y, z \text{ (属性)} \\
 &\dots\dots\dots
 \end{aligned}
 \tag{6}$$

(2)由 ERDAS 的数字地形建模工具 Surfacing-Read 工具读取这些数据,并根据不同的显示要求内插不同尺度或网格尺寸的 DEM 数据。这时的所有 DEBRIS 数据均可作为 ERDAS 的各种功能所接受统一管理。

DEBRIS 产生的是泥石流过程多时相数据,因此,必然涉及时间信息。若能明确的表示时间信息,对于变化过程分析来说显然是极其有利的。但 ERDAS 并没有提供时间维数据的表示方法,为此,

(3)DEBRIS 产生数据集的 ERDAS 超光谱组织。

利用 ERDAS 的超光谱(Hyperspectral)功能对 DEBRIS 产生的多时相数据进行统一组织,使得每一时刻的泥石流状态在超光谱中以一个波段数据层(layer)进行表示。集成中设计了一个包含数据层与时间对应的数据文件,该文件既可在可视化查询时间信息时打开,又可在分析中提取时间信息。

(4)泥石流过程模拟多时相数据的可视化表达与过程分析。

由于 DEBRIS 产生的泥石流过程数据已经在 ERDAS 中进行了统一的组织,因此可以直接利用 ERDAS 进行:

·不同时间二维泥石流边界动态变化过程表示(Viewer-Swipe)。每一时刻的泥石流图象中以不同颜色区分泥石流侵入区及非泥石流侵入区(如图4)。

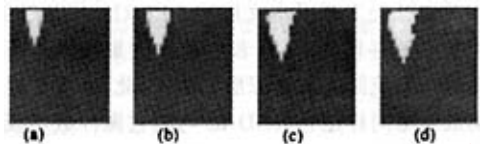


图4 不同时间泥石流边界变化

·以这种可视化为基础,可以统计泥石流侵入区的面积,平均深度统计,平均流速统计(Raster Attribute Editor-Statistics 和 Formula)。任意数目的多时段数据的统一剖面观察与分析(Raster-Spatial Profile)。

·系统产生的多时相数据可利用基于象元的 CONDITIONAL 分析产生变化数据集,进而可以对变化数据集进行宏观分析(哪些区域或哪些方向上

扩散快、深或浅等),找出该区域泥石流运动的宏观规律,实际上,观察是通过下述的三维动态进行的,相关的数据计算则是基于二维的图象数据进行的。在本文的实例中,在最陡的竖直方向上扩散最快,深度比两侧更深,与地形走势一致。此外,系统模拟的效应与精度与未集成时的 DEBRIS 完全相同。据资料[1]和[4],DEBRIS 具有先进的模拟效应和精度。

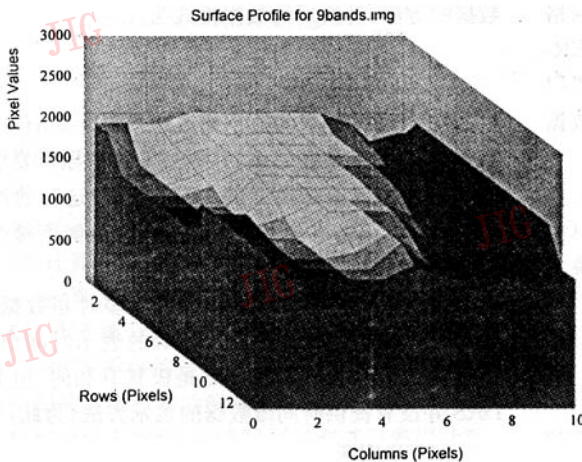


图5 泥石流过程模拟三维表达(云南某典型泥石流),白、灰区为泥石流体

·三维动态的泥石流过程表达(Surface Profile)。三维表达同样可区分泥石流区与非泥石流区。动态显示是通过方便的鼠标顺序切换不同图层(相当于不同时间)实现的。对任一泥石流频灾区,通过泥石流过程模拟(可有几百个时间段)的三维动态表达,使得泥石流的扩散与推移过程非常逼真地得到表现。因此,对于特定的泥石流区域,只要具有及时更新的地形数据和区域资源与居民地分布信息,就可以利用此系统预演特定泥石流流量(经验或假设)下的整个泥石流发生、发展直到消亡的过程,并进行各种危险性与损失评价,辅助相关部门进行防灾抗灾决策。运用此系统进行云南某典型泥石流模拟的三维表示如图5。

5 DEBRIS 与 ERDAS 的集成操作机制

DEBRIS 是用标准 C 开发的,ERDAS 也是 100%用标准 C 开发的,原则上两者可以完全联成一体,并在统一 ERDAS 界而下操作。但由于所用的 ERDAS 只具有 Professional 的使用版权,没有包含 C 语言开发工具辅加模块 TOOLKIT,因此,集成系统中设计了一个中间环节用于输通来自 ERDAS 的模型参数流和来自 DEBRIS 的过程模拟数据流,数据集成与功能集成都是通过这个中间数据转换软件实现的。

系统已经实现了本文所述 DEBRIS 与 ERDAS 之间集成的各种功能。作者正在改进集成操作环境以使两个系统间实现更深层的集成。此外,本文提出的集成策略同样适合 ERDAS 与其它泥沙数学模型系统的集成。

参考文献

- 1 Wang Guangqian, Shao Songdong, Fei Xiangjun. Particle Model For Alluvial Fan Formation. Debris-Flow Hazards Mitigation, Mechanics, Prediction and Assessment-Proceedings of First International Conference. Published by ASCE.
- 2 Dobson J E. Commentary: A Conceptual Framework for Integrating RS, GIS and Geography. PE&RS. 1993, 59 (10): 1491~1496.
- 3 Wheeler D J. Commentary: Linking Environmental Models with GIS for Global Change Research. PE&RS. 1993, 59(10): 1497~1501.
- 4 邵颂东,王光谦,费详俊.流团模型在洪水计算中的应用.水动力学研究与进展,1997(6).



刘学 清华大学水利水电工程系博士后,主要从事遥感与地理信息系统基础理论及其在水资源,水环境,水灾害中的应用研究。

王兴奎 清华大学水利水电工程系教授,博士生导师,主要从事河流流体力学研究。

王光谦 清华大学水利水电工程系教授,主要从事泥石流模拟,河流数学模型方面的研究。

Study on the Integraton between GIS and 2D Debris Simulation Models

Liu Xue, Wang Xingkui, Wang Guangqian

(Dept. Hydraulic Engineering, Tsinghua University, Beijing 100084)

Abstract GISs of new generation are very good tools for the management, Visualization thd analysis of spatial data. Integrating GIS and mathematical model systems for debris simulation is very helpful to model system in parameters aquisition, temporal data management, visudization and process analysing. Limited to the well-known raster GIS—ERDAS and DEBRIS (our own software system for debris simulation), a full integration policy, including automatic collection of model paramers, visualized representation of multi-temporal debris data, profile analysing, structure of the whole integration system, is detailed introduced and realized.

Keywords GIS, Debris, Integration, Particle Model, Process Simulation.

康柏支持中国首届青少年国际互联网络知识大赛

1998年9月28日,中国首届青少年国际互联网络知识大赛在北京拉开帷幕。全国各地的参赛选手,将在各自所在地区通过国际互联网络,进行为期4个月的竞技,争夺“中国电信杯”。为支持此项活动,美国康柏电脑公司特向大赛组委会提供了十余台康柏最新型服务器和台式机,并作为大赛的“特别协办单位”和“指定竞赛个人电脑提供单位”参与了此项活动。康柏公司大中国区总裁俞新昌博士出席了本次大赛开幕式。

本次大赛是1994年中国与国际互联网联结以来,首次举办的国际互联网络知识比赛,它不仅有助于普及中国青少年国际互联网知识,而且也充分地展示了中国互联网在实际应用中的整体水平,同时通过比赛可以充分了解中国网络用户的状况,了解用户对网上各类产品及服务的评价情况,为中国信息产业的发展提供依据。

当前,人类正在以前所未有的速度向信息时代迈进。与此同时,一场全球性的因特网革命正在蔚然兴起,它将更加深刻地改变我们的工作、生活、学习和娱乐方式。对此,中国政府以高瞻远瞩的战略眼光,对信息化建设予以了高度的重视和投入,中国的网络基础建设已经卓有成效,中国的网络市场也日趋繁荣。尽管如此,我们与发达国家相比,仍有较大的差距,这种差距尤其表现为国内青少年的电脑及因特网教育普及程度相对落后。

康柏此次向中国首届青少年国际互联网络知识大赛捐赠电脑设备,旨在鼎力支持国内青少年的电脑及因特网教育普及工作。俞博士认为,青少年是民族的希望,是21世纪的栋梁,熟练掌握网络这一信息社会最基本的工具,迫在眉睫。开展青少年计算机网络知识和技能的普及教育,激发青少年的信息化意识,是政府、社会以及IT行业龙头企业应尽的义务。

康柏此次的捐赠,是康柏在今年年初确立“共赢”目标的同时,提出为中国公益事业出力、树立康柏良好形象所做的一系列活动中的一部分。康柏在中国取得骄人佳绩的同时,不忘回报社会,自今年4月起,康柏就以各种形式连续向希望工程、西南交通大学、海南省、中科院等单位进行捐赠和资助。

此次对网络知识大赛的捐赠,只是康柏支持国内青少年电脑及网络普及教育工作的一个开端。康柏希望能够为中国的信息化建设发挥自己应用的作用,并在中国的公益事业中起到带头和典范作用,为国内的基础建设多做实事,实现真正意义上的“共赢”。