

滑坡可视化地面模型

田金华¹ 池秀文¹ 夏元友²

(1. 武汉理工大学资源与环境工程学院, 湖北武汉 430070; 2. 武汉理工大学土木工程与建筑学院, 湖北武汉 430070)

【摘要】 简述了滑坡可视化地面模型的构建及可视化方法。介绍了可视化软件 IDL 的功能和特点。利用 IDL 中的 TRIANGULATE 函数和 TRIGRID 函数相结合, 建立了基于 Delaunay 三角网的规则格网地面模型。最后, 论述了滑坡可视化地面模型研究的意义。

【关键词】 滑坡; 可视化; 地面模型; IDL; Delaunay

【中图分类号】 TU 413.62

Visual Terrain Model of Landslide

Tian Jingua¹ Chi Xiuwen¹ Xia Yuanyou²

(1. School of Resource and Environmental Engineering of Wuhan University of Technology, Hubei Wuhan 430070;

2. School of Civil Engineering and Architectural of Wuhan University of Technology, Hubei Wuhan 430070 China)

【Abstract】 Introducing the techniques of digital terrain model of landslide visualization and the main functions and features of the visual software IDL. Combining TRIGRID function with TRIANGULATE function in IDL, the regular network terrain model based on Delaunay triangular network is set up. Finally, the significance of the research on visual terrain model of landslide is discussed.

【Key Words】 landslide; visualization; terrain model; IDL; Delaunay

0 引言

滑坡是自然界中常见的地质灾害之一, 因其分布广泛、发生频繁、危害性大, 造成国民经济和人民生命财产的重大损失^[1]。对滑坡地质灾害的研究, 人们逐步将传统静力学、近代岩体力学、现代数理力学及非线性科学理论等引入应用, 主要集中在滑坡的力学和物理过程的分析上, 以数学物理为基础, 借助二维平面图和简单的三维模型及二维地形来对滑坡分析研究, 而对滑坡的可视化研究甚少^[2]。

可视化是 20 世纪 80 年代后期提出并发展起来的一种计算机实用技术, 它使科学计算的输入过程和计算过程拟人化和形象化, 再采用计算机图形图像处理技术将计算结果直观形象地显示出来并进行交互处理, 使研究人员能以更直观和客观的方式发现隐藏在数据中的科学规律^[3]。可视化目的在于解决海量数据的处理和信息的综合表示问题, 提高信息利用的效率。可视化技术的研究和利用以及可视化软件的研制和开发, 给地球科学带来了根本性变革, 同时, 也极大地促进了滑坡研究的发展。滑坡可视化已成为目前国内外滑坡研究领域的前沿、热

门课题。但在国内, 尚处于起步阶段, 还有许多问题有待于解决。本文将探讨滑坡地面模型的三维构建及可视化方法, 简要介绍国内外最新可视化软件 IDL, 并讨论滑坡可视化地面模型研究的意义。

1 数字地面模型简介

在各种地形表达方式中, 数字地面模型是最直观、最精确可靠的表达方式。地理空间实质是三维的, 但人们往往在二维地理空间上描述并分析地面特性的空间分布。数字地面模型是对某一种或多种地面特性空间分布的数字描述, 是叠加在二维地理空间上的一维或多维地面特性向量空间, 是 GIS 空间数据库的某类或所有这些实体的总和。

数字地面模型 DTM (digital terrain model) 是在 1958 年美国麻省理工学院米勒 (Miller) 教授为了高速公路的自动设计提出来的^[4]。它是地形表面形态等多种信息的一个数字表示, 是一个地理信息数据库的基本内核。对滑坡研究而言, 一般只考虑 DTM 的地形分量, 即数字高程模型 DEM。DEM 是表示区域 D 上地形的三维向量有限序列 $\{V_i = (X_i,$

$Y_i, Z_i), i=1, 2, \dots, n$, 其中 $(X_i, Y_i \in D)$ 是平面坐标, Z_i 是 (X_i, Y_i) 对应的高程。与传统地形图比较, DEM 具有容易以多种形式显示地形信息、精度不会损失、容易实现自动化、实时化以及便于修改、更新、复制和管理等诸多优越性。

DEM 有多种表示形式, 主要有规则矩形规则格网与不规则三角网等。此外, 德国埃伯诺(Ebner)教授等提出了 Grid-TIN 混合形式的 DEM^[5], 即一般地形使用矩形格网数据结构, 沿地形特征则附加三角网数据结构。目前, 最常用的是不规则三角网(TIN)模型, 因其能较好地顾及地貌特征点、线, 表示复杂地形表面更精确, 且由于大部分三维显示设备的显示速度只与三角形数量有关, 几乎与三角形大小无关, 从而大幅度提高了显示的速度。

2 滑坡可视化地面模型的构造

数字地面模型建立的过程是: 原始数据通过人工输入或扫描仪、数字化仪输入到系统中, 经数据处理(过滤、细化、内插), 转换为三维矢量数据, 进一步生成表面模型, 然后把表面模型内插, 生成高精度DTM。DTM再经纹理、光照等图像渲染操作, 生成形象逼真的滑坡数字地形模型。

数据预处理是整个数据处理的一部分, 一般包括数据格式的转换、坐标系统的变换、数据的编辑、栅格数据的矢量化转换及数据分块等内容。

不规则三角形格网 TIN 是用一系列的互不交叉、互不重复的三角形逼近地形表面。它直接利用测区内野外实测的地形特征点(离散点)构造出邻接的三角形而组成的格网结构。TIN 构造的过程是将邻近的三维离散点连接成初始三角形, 再以这个三角形的每个边为基础连接邻近离散点, 组成三角形, 新的三角形的边又是作为连接其他离散点的基础, 如此下去, 直到所有的三角形的边都无法再扩展成新的三角形, 且所有离散点都包含三角形的顶点中。对于 TIN 模型, 一般具有三点基本要求: ① TIN 是惟一的; ② 力求最佳的三角形几何形状, 每个三角形尽量接近等边形状; ③ 保证最邻近的点构成三角形, 即三角形的边长之和最小。

在所有可能的三角网中, 狄洛尼(Delaunay)三角网在地形拟合方面最优^[6], 因此常被用于 TIN 的生成。狄洛尼三角网由对应 Voronoi 多边形共边的点连接而成, 它由三个相邻点连接而成, 这三个相邻点对应的 Voronoi 多边形有一个公共的顶点, 此顶点同时也是狄洛尼三角形外接圆的圆心。当互不相交的断裂线与扩展边界加入到三角网时, 狄洛尼三

角网能自然地扩展为带约束条件的三角网。带约束条件的狄洛尼法则: 只有当三角形外接圆内不包含任何其他点, 且其三个顶点相互可视时, 此三角形才是一个带约束条件的狄洛尼三角形; 带约束条件的狄洛尼交换: 只有在满足带约束条件的狄洛尼法则的条件下, 由两相邻三角形组成的凸四边形的局部最佳对角线才被选取。

内插是数字高程模型的核心问题, 它贯穿在 DEM 的生产、质量控制、精度评定和分析应用等各个环节。DEM 内插就是根据若干相邻参考点的高程求出待定点上的高程值。任意一种内插方法都是基于原始地形起伏的连续光滑性。内插方法主要有: 多项式内插、样条函数内插、双线性内插、最小二乘配置内插和多层叠加面内插等。

3 滑坡地面模型的可视化

对一个三维地面模型进行可视化应主要具有以下功能: 多角度多方位观察、缩放、漫游、旋转、任意选定路线的飞行或地面行驶效果的动态显示等。其次是用一定的光照模拟光线射到地面产生形象逼真的视觉效果, 经明暗处理将经过细分的 DEM 描绘成具有深度质感的灰度浓淡图像, 使得实际地形的各种起伏特征一目了然。

真实感可视化模型的生成需要根据光源的位置和颜色、地形的形状和方位、地面的光谱特性等计算画面中每一点的颜色灰度。通常包括以下步骤:

- 1) 将地面模型分割为三角形面片的镶嵌;
- 2) 确定视点位置和观察方向, 对地面进行图形变换;
- 3) 可见面识别;
- 4) 根据光照模型计算可见表面的高度和色彩;
- 5) 显示所有可见的三角形面片;
- 6) 纹理映射。

4 可视化软件 IDL 简介

在国内, 目前最通用的可视化软件有 VC 和 SGI 公司开发的 OpenGL^[7], 而最新可视化软件 IDL 刚停留在市场启动阶段。由于 IDL 面向矩阵的特性以及相对于同类软件的诸多优越性, 将会成为未来国内可视化开发和应用的通用软件。

美国 RSI(Research System Inc.)公司研制和开发的最新可视化软件 IDL (Interactive Data Language)交互式数据而言, 是进行数据分析、可视化和跨平台应用开发的最佳选择, 它集可视、交互分析、大型商业开发一体, 为用户提供了完善、灵活、有效的开发环境^[8]。与同类软件相比, IDL 语言面向矩

阵的特性具有快速分析超大规模数据的能力、高级图像处理能力、交互式二维和三维图形技术、面向对象的编程方式、OpenGL 图形加速功能、量化可视化表现、可对任意数据实现可视化及分析、集成数学分析与统计软件包、完善的信号处理和图像处理功能以及强大的外部语言接口等诸多优越性。IDL 为用户提供了可视化数据分析的解决方案,既可以让科学研究人员交互浏览和分析数据,又为程序员提供了快速程序原型开发并跨平台发布的高级编程工具^[9]。IDL 使科学家无需写大量的传统程序就可直接研究数据,且容易被新手或专家使用。IDL 还广泛用于地球科学、医学影像、图像处理、软件开发、测试技术、防御工程及数学分析等诸多领域。

在国外 IDL 已经被列为大学的标准课程,而在国内 IDL 要比国外滞后,刚停留在市场启动阶段。目前,IDL 已成为国内外最新最先进的可视化分析和应用开发的软件工具。

IDL 在滑坡可视化方面的应用,将为滑坡地质模型和地面模型的可视化建模和分析提供一个最先进、灵活、方便、有效的软件工具。随着滑坡可视化技术研究的不断发展,IDL 在滑坡可视化方面的开发将会对滑坡可视化研究起到极大的促进作用,它将会弥补国内滑坡可视化研究在软件开发方面的不足和缺陷,促进国内这一领域的研究更快发展。

5 实例分析

本实例基于某滑坡的原始资料,利用 IDL 中的 TRIANGULATE 函数和 TRIGRID 函数相结合,建立了基于 Delaunay 三角网的规则格网地面模型。其生成步骤主要为:将经预处理后的数据利用 TRIANGULATE 函数生成基于 Delaunay 三角网的不规则三角网面片,再利用 TRIGRID 函数插值生成规则格网地面模型,然后应用可视化技术进行可视化处理。

建立滑坡体地面模型的部分程序如下:

```
triangulate, jbsjdataascii - ascii . x, jbsjdataascii -
ascii . y, tr
```

```
griddata = trigrid ( jbsjdataascii - ascii . x, jbsj-
dataascii - ascii . y, jbsjdataascii - ascii . z, tr, /quintic,
nx = 101, ny = 101, max - value = 340, min - value = 64)
```

```
surface, griddata, az = 210, ax = 45, xst = 4, yst =
4, zst = 4
```

由上述程序建立后的滑坡体地面可视化模型见图 1、图 2、图 3、图 4。

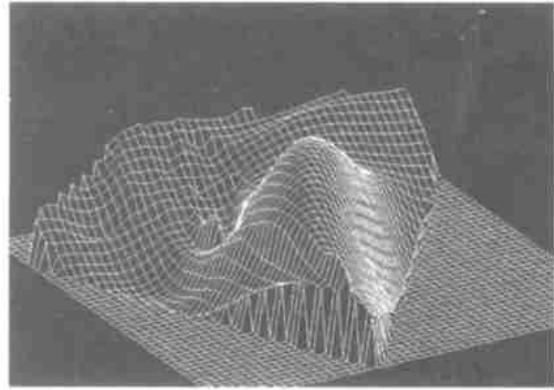


图 1 原始三维地面模型

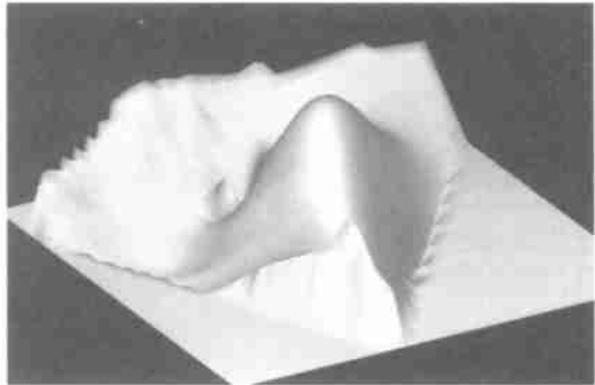


图 2 地面模型的可见面识别

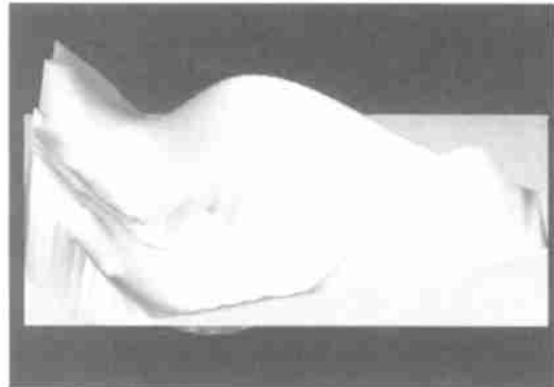


图 3 三维地面模型实时旋转

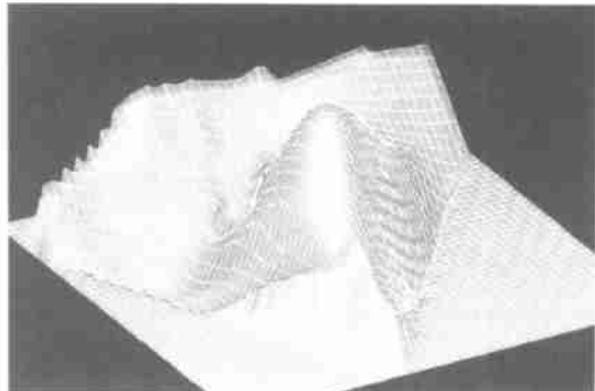


图 4 地面模型的网格化表示

9.0 m 深,未出现流沙和边坍塌现象。

3.3 实例 3 深圳人民银行地下金库防水堵漏工程^[2]

深圳人民银行地下金库的渗漏水病害发生在 1989 年 7 月,该大楼交验之后,已有数年之久。建成的银行大楼共有 15 层,其中地下室为两层,负二层(既金库)底面海拔高度为 -0.2 m,基础为人工挖孔灌注桩,桩顶地面和地下室四周均系钢筋混凝土浇筑而成,并设有“必坚定”防水层。

金库内共有渗漏水点 29 处,1994 年现场测得一处渗水量达 200 L/h 左右。有 8 处水流成线,其余均为渗水或发霉潮湿状。

渗漏水原因主要是直埋管线漏水和大楼背后的海鲜市场污水渗入地基土中,造成建筑物四周地基土上层滞水,沿负一层墙与楼板间渗漏流入金库。

治水时,采用 NHC 硅化法注入大楼四周地基土中,以封堵外界水源和上层滞水,再配合室内墙面和地面做整片内防水层。工程完工至今已八年之

久,再未发现新的渗漏水病害。

4 结 论

1)NHC 硅化法用于加固地基,可消除地基土的湿陷性和欠压密状态,有效地改善土的力学性质,提高地基承载力。本法施工工艺简单,材料造价便宜,与 CO₂ 硅化法相比,可降低工程造价 40 % 以上。

2)该法用于加固流沙,固结性好,结石率高,可配合喷锚解决深基坑开挖时的坍塌事故。

3)该法所用材料均水剂,可灌性好,渗透性强,胶凝时间可以人为控制,用于地下构筑物外围堵漏水,是一种理想的方法。

参 考 文 献

- 1 中铁西北科学研究院.一种硅化加固湿陷性黄土地基的方法.中国专利证书号:62212,2000
- 2 尚继红,魏佳中,张怀洲.外截内堵法在地下建筑物渗漏水病害治理中的应用.路基工程,2000(5):51~53

收稿日期:2004-03-29

(上接第 146 页)

6 滑坡可视化地面模型的研究意义

1)滑坡可视化地面模型的建立,不仅可以直观地模拟滑坡形态,还可以进行与滑坡相关的数值分析以提高滑坡研究的智能化、自动化和定量化,使滑坡地质灾害研究达到数字化、信息化水平。

2)通过滑坡地面模型除进行可视化分析研究外,还可派生出水平剖面图、纵(横)剖面图、斜剖面图、坡度图、等高线图以及通视图、三维立体图、透视图和纵投影图等各种产品。

3)功能强大的可视化软件 IDL 在滑坡可视化研究领域的开发,将会极大地促进国内这一领域的发展,以弥补目前国内在可视化软件开发中的不足。

滑坡可视化技术是目前国内滑坡研究的前沿、热门课题,它对滑坡机制研究、滑坡过程模拟和控制、以及滑坡治理和防御等方面都有重大意义。滑坡可视化技术有可能将滑坡准确、生动地移到实验室,在计算机前观察和研究滑坡的任意部分。因此,大大改善了滑坡的研究条件,节约了资金和时间。随着计算机软硬件的不断发展,滑坡可视化技术将是未来滑坡地质灾害研究和施工组织设计发展的一个重要方向。滑坡可视化地面模型的构建技术还可应用于地理信息系统、虚拟现实、战场环境仿真、土

地管理与利用等领域。

参 考 文 献

- 1 牟会宠.滑坡.北京:地震出版社,1987.1
- 2 李先华,管群,等.数字地形图上滑坡动态方向稳定性系数的计算与滑坡滑动方向的确定.岩石力学与工程学报.1999,18(3):308~311
- 3 石教英,蔡文立.科学计算可视化算法与系统.北京:科学出版社,1996
- 4 张祖勋,张剑清.数字摄影测量学.武汉:武汉大学出版社,1997
- 5 刘学军.三角网数字地面模型的理论、方法现状及发展.长沙交通学院学报.2000,17(2):24~31
- 6 TSAL VJD. Delaunay Triangulation in TIN Creation. An overview and a linear-time Algorithm. Int. J. of GIS. 1993, 7(6):501~524
- 7 孙国庆,施木俊,等.三维工程地质模型与可视化研究.工程勘察,2001(5):34~37
- 8 R. Marschallinger. Three-dimensional reconstruction and visualization of geological materials with IDL-examples and source code. Computers & geosciences. 2001. 27(4):419~426
- 9 闫殿武.IDL 可视化工具入门与提高.北京:机械工业出版社,2003.2

收稿日期:2004-02-28