

黄土高原地貌形态分形算法三维表达应用

纪翠玲^{1,3}, 池天河¹, 齐清文²

(1 中国科学院遥感应用研究所, 北京 100101; 2 中国科学院地理科学与资源研究所, 北京 100101;

3 中国科学院研究生院, 北京 100039)

摘要:黄土高原是我国乃至全世界的一个十分独特的地貌单元,对其复杂多样的地貌形态的研究和可视化表达一直备受关注。本文概述了地形地貌的传统表达方法,之后介绍了曲面建模、DEM模型和分形技术等常用的三维地形地貌建模方法,重点介绍了分形技术。并使用分形地形建模算法中最常用的随机中点位移法模拟生成了几类主要的黄土高原地貌形态,取得了较好的效果。

关键词:黄土高原地貌形态; 三维可视化; 分形算法

中图分类号: P231.5

1 前言

黄土高原地貌具有深厚、集中、连续分布的黄土层特征,是我国乃至全世界的一个十分独特的地貌单元。在活跃的现代外应力的侵蚀作用下,黄土高原的地貌类型复杂多样,分类系统详细而齐全。根据个体形态,可以分为三大类:(1)黄土正地貌:包括黄土塬(完整塬、破碎塬、台塬)、黄土梁(平梁、斜梁、峁梁)和黄土峁(连续峁、浑圆峁、破碎峁、三角峁等)。(2)黄土负地貌:包括纹沟、细沟、浅沟、切沟、冲沟、干沟、河沟。它们形成树枝状、梳状、放射状、方格状、平行状、羽毛状沟谷地,交错于正地貌之间,共同组成了沟壑纵横的黄土地貌。(3)黄土负地貌中的高地:包括涧地、土丈地、撑地和淤地等。其中,黄土塬、梁、峁和沟是黄土高原的主体地貌;沟壑纵横、地形破碎、沟深坡陡和水土流失是黄土高原最主要的地貌特征^[1]。

长期以来,许多地理学家和地貌学家采用了等高线、晕渲法、分层设色法等方法,用以表达黄土高原的地貌形态,试图平衡抽象与直观的矛盾。近年来,随着人们对三维立体感的追求和相关技术的发展,三维地形地貌的表达方法不断涌现,例如,运用分形技术表达黄土地貌特征与规律,达到了较好的显示效果。

2 三维地形地貌建模技术与应用

对地形最早期的表达方式是采用半符号、半写景的方法。直到19世纪,才出现以等高线表示地貌。由于二维介质平面图在表达三维复杂地形时存在着不直观的缺点,所以地图学者一直探究地形图的立体表示,先后运用了写景法(Scenography)、地貌晕渲法(Hachure)、地貌晕渲法(Shading)、分层设色法(Layer tinting)等方法。但它们缺乏数学的严密性、绘制的量测性等,难以得到广泛的应用。后来出现的地形沙盘模型法,也由于制作成本高、费时费力、只能一次性制作和使用、不具有量测性,而只作为直观地形图的一种补充手段^[2]。因此,开发新型的地形三维可视化技术成为发展的必然需求和趋势。

随着数字摄影测量技术、地理信息系统、遥感、计算机图形学、计算机科学和现代数学的发展,地形三维可视化的概念在20世纪60年代开始出现,并经历了线划三维地形图、实体型(模拟灰度型)三维地形图和高度真实感三维地形图三个发展阶段。特别是近年来,随着计算机图形学及其显示设备性能的改善,许多性能极强的图形工作站的出现,以及高度真实感图形建模方法和生成算法的不断涌现和完善,高度真实感的三维地形显示技术日趋成

收稿日期:2005-04-29; 修回日期:2005-06-20.

资助项目:中国科学院知识创新工程领域前沿项目(CXIOG-D001-01)和国家“863”信息领域探索性项目(2001AA135140)。

作者简介:纪翠玲,女,博士生,主要从事地理信息共享与服务、三维可视化、地学信息图谱等方面研究。Email: jicl@igsrr.ac.cn

熟发展。

三维数据模型分为面三维模型和体三维模型。体三维模型主要有三维栅格模型、线性八叉树模型、四面体格网模型、面向对象模型等。它不仅可以表示实体的外形,而且可以表达实体的内部属性信息,多用于建筑物、矿体等地物。对于复杂的地形地貌来讲,体三维建模的难度较大,且需求不大。因此,目前采用的三维建模方法通常是面三维法。面三维模型也即 2.5 维表面模型,主要有曲面建模、DEM 模型和分形方法建模等。

(1) 曲面建模

利用曲面来生成三维地形是一种传统的地形生成方法。它根据计算几何的基本原理,使用一些常用的参数曲面,如 Bezier 曲面、Coons 曲面、有理 B 样条曲面,通过插值、曲面拟合来生成所需要的三维地形^[3]。这种方法实际上采用的是欧氏几何的方法,欧氏几何所能描述的物体需要具有光滑的表面和规则形状,使得物体的形状可由方程来描述。由于地形的不规则性和复杂性,使用这种方法得到的地形真实感效果往往不能令人满意。

(2) DEM 模型

即数字高程模型,它以离散分布的平面点 x, y, z 值来模拟连续分布的地表或空间现象,主要有两种表示和建立方法,即基于规则格网的高程矩阵 (GRID) 法和不规则三角网 (TIN) 法。这两种方法的不同之处是 TIN 能随地形起伏变化的复杂性而灵活地改变采样点的密度和确定离散采样点的位置,同时还能按地形特征点,如山脊、沟谷线、地形变换线等来获取 DEM 数据。具有高效存储,数据结构简单,可以表示纤细的功能特征和叠加任意形状区域边界的优点,但是与 GRID 相比实现起来更加复杂^[4]。总的来讲,DEM 这种模型数据结构精度非常高,但是比较复杂。

当前,地理信息系统的 DEM 建模已经相当成熟,几乎所有重要的 GIS 与遥感处理软件都具有通过 DEM 生成三维地貌影像图的模块,如 ESRI ArcInfo 3DAnalyst、ArcView GIS、ERDAS Imagine、PCI EASI/PACE、ER Mapper、ENVY、IDRISI for Windows、GeoStar 和 CityStar 等。

(3) 分形方法建模

如上所述,欧氏方法不能逼真地描述大自然中不规则的物体,而分形几何学则是一门以不规则几何形态为研究对象的几何学。它具有无限以及统计

自相似的规律,用递归算法使复杂的景物以简单的规则来生成,可以产生任意水平的细节,显示的自然景物极其逼真,对自然现象的真实绘制和建模起着重要作用^[5]。

大量研究表明,现实世界中的地形具有分形的特征,使得分形技术成为地貌学研究的一种重要、崭新的方法。分形技术可以进行一般地貌景观形态的数学生成,以便发现传统上认为复杂无序的地貌现象的新的尺度定量特征。分形地形虽然不是现实地形的再现,但由于其图形生成速度快、可变性强,生成的地形复杂美观,效果良好。

3 黄土高原地貌形态分形算法的三维表达

地形建模是自然景物建模的一个很重要的分支。目前,许多分形地形建模方法都与分数维布朗运动 (fBm) 这一数学模型有关。fBm 能有效地表达自然界中许多非线性现象,也是迄今为止能够描述真实地形的最好的随机过程。分形地形建模的算法有很多种,大致可分为泊松阶跃法、傅立叶滤波法、随机中点位移法、逐次随机增加法和带限噪声累加法等 5 类。泊松阶跃法很适合于用球面生成类似星球的物体,算法的主要缺点是时间复杂度达到了 $O(n^3)$;傅立叶滤波法的缺点是不具有递归性质,最终形成的地表结果具有周期性,并且缺少细节的局部控制以及难以改变采样的精细程度,实际应用较少。随机中点位移法是标准的分形几何法,算法复杂度较低而且能快速生成自然景物图形,非常适合生成三维地形,应用最为普遍^[6]。

常用的随机中点位移算法有两种:一种是三角形边界细分法,它是将随机中点位移程序用于三角形地平面而生成地面特征。这种方法容易产生所谓的“折痕”问题,即地形表面留有不自然的线形轨迹,并且不能通过局部平滑去除。另外一种“菱形-正方形”细分法,它以一维中点位移算法为基础,将随机中点位移程序用于正方形地平面生成地面特征,是一种较为常用的中点随机位移算法。如图 1 所示,根据“新生成正方形的面积是已存在正方形面积一半”的原则,产生插值点的位置坐标,其高程值由权重比 9:3:3:1 决定,距离最近点具有最大的权系数,其地形表面的法线是连续的,所以消除

了三角形细分法中的折痕现象,而且该算法构造的地形轮廓比较柔和。它可以通过调整系数值来决定表面粗糙度和山峰的陡缓,从而使三维地形地貌更加逼真^[7]。虽然,中点位移法简单、快速,但通常难以预测所生成结果的大致形状。一些改进的算法通过给定初始迭代次数和初始迭代数据来控制生成图形的基本形状和轮廓。

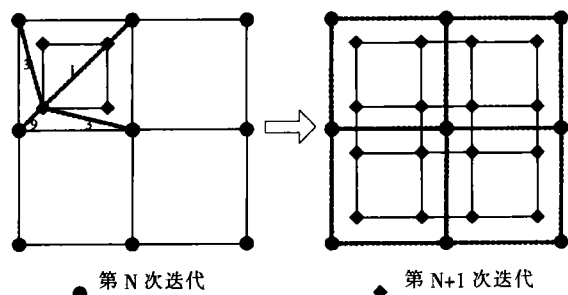


图 1 菱形-正方形细分法
Fig.1 Diamond-square algorithm

3.1 黄土高原地貌三维形态的分形生成

上述随机中点位移法中的“菱形-正方形”细分法具有很多优点,是目前用来构建地形的最常用的分形方法。因此,本文也采用该算法模拟黄土高原的地貌形态。为了逼真显示黄土地貌特征,本文也使用此算法来增加地形纹理和天空纹理。即用一个大数据组依据“菱形-正方形”算法进行定位及拼嵌,然后采用平行投影变换,并进行从顶向下的渲染。另外根据数组中各点地形高度的不同,分别赋以不同的颜色,就可以生成二维的纹理图。针对黄土高原的地貌形态,高的地形赋予黄色表示真实的黄土颜色,低的地形赋予绿色代表植被,两者之间为灰色。

本文建立了一个基于该算法的用于生成黄土高原三维分形地形的系统^[8],如图 2 所示。

在参数对话框中,可以对算法中的各项参数,包括瓦片数、随机种子数、地形迭代次数、地形粗糙度,以及地形纹理进行操作,来实现黄土高原地貌形态的生成和显示。其中,瓦片数控制拼接面片数,随机种子数和地形迭代次数控制地貌的基本形状和轮廓,地形粗糙度控制黄土地貌表面的粗糙程度。

当上述参数取值不同时,会随机生成各种各样的地形。彩图 1~6 是采用“菱形-正方形”细分法生成的几类黄土地貌形态(见图版 II)。当参数设置为

瓦片数=4、随机种子值=1000、地形迭代次数=2、地形粗糙度=0.7 时生成如彩图 1 所示的黄土近圆岭;参数设置为瓦片数=4、随机种子值=3、地形迭代次数=2、地形粗糙度=0.7 时生成如彩图 2 所示的黄土连续岭;当参数设置为瓦片数=4、随机种子值=3、地形迭代次数=3、地形粗糙度=0.7 时生成如彩图 3 所示的黄土破碎岭;当参数设置为瓦片数=4、随机种子值=85、地形迭代次数=2、地形粗糙度 H=0.7 时生成如彩图 4 所示的黄土斜梁;当参数设置为瓦片数=4、随机种子值=2000、地形迭代次数=2、地形粗糙度 H=0.7 时生成如彩图 5 所示的黄土崩梁;参数设置为瓦片数=4、随机种子值=85、地形迭代次数=2、地形粗糙度 H=0.7 生成如彩图 6 所示的侵蚀沟。

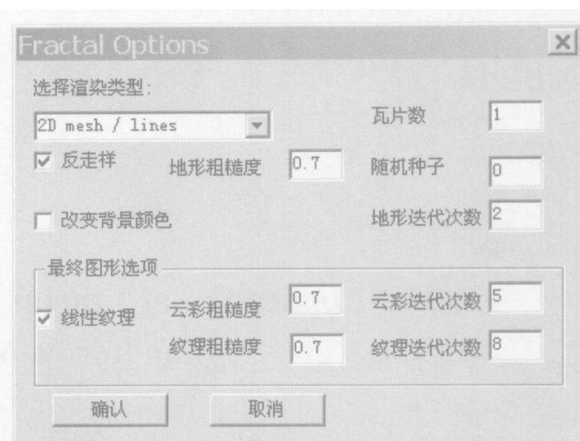


图 2 黄土高原三维分形地形生成系统参数对话框

Fig.2 Parameters dialogue for fractal landform generation of the Loess Plateau

3.2 黄土高原地形生成效果分析

从图版 II 中彩图 1~6 的效果来看,图形生动、逼真,可以通过修改分形参数对其形态进行改造,例如,通过修改地形粗糙度参数可以改变粗糙程度特征,因此具有灵活可变的优点。此外,这种修改并没有失去对黄土高原地貌类型形似和神似模拟的特点,这在参数修改的对比试验中已得到证实。

当然,这种方法由于分形方法的随机特点也存在一定的不足,所以,只能采用尝试选取种子的方法,使模拟结果尽量与真实情况相似,而不能预先确定所使用的参数能否精确地描述某种特定的黄土地貌。

4 结论

地形三维可视化表达对于直观和逼真地反映地貌形态特征具有重要的意义。目前,地学研究和应用中,比较常用的三维地形建模方法仍是采用 DEM 模型,而采用分形方法则不多。分形方法的优点在于能够很好地描述事物的自相似性。黄土高原地貌类型多种多样,属于同一类型的众多地貌单元都具有自身相似的特点,因此我们能够应用此方法来对黄土高原地貌形态进行模拟。本文将分形方法用于地学研究,表达黄土高原地貌取得了较好的视觉效果,所以,对黄土高原地貌形态的三维表达是图谱展示的一新技术途径。

参考文献

- [1] “中国地貌图集”编辑组. 中国地貌图集. 北京:测绘出版社,1985.
- [2] 徐 青. 地形三维可视化技术. 北京:测绘出版社,2000.
- [3] 唐译圣. 三维数据场可视化. 北京:清华大学出版社,1995, 340~350.
- [4] 柯正谊, 何建邦, 池天河编著. 数字地面模型. 北京:中国科学技术出版社,1993.
- [5] Barnsley,M.F.等著,和风译. 分形图形学. 北京:海洋出版社,1995.
- [6] 何方容, 戴光明. 三维分形地形生成技术综述. 武汉化工学院学报, 2002, 24(3).
- [7] 齐 敏, 郝重阳, 佟明安. 三维地形生成及实时显示技术研究进展. 中国图象图形学报, 2000, 5(4).
- [8] <http://www.gameprogrammer.com/fractal.html>

The Application of Fractal Technique to 3D Visualization of Landforms of the Loess Plateau

Ji Cuiling^{1,3}, CHI Tianhe¹, QI Qingwen²

(1 Institute of Remote Sensing Applications, CAS, Beijing 100101, China;

2 Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, CAS Beijing 100101, China;

3 Graduate School of the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China)

Abstract: Loess Plateau is a kind of peculiar relief unit in China and in the world, attracting strong attentions for its various and complex morphologies. This paper firstly presents several traditional methods to express landforms, and then introduces three main methods to model 3D landforms, namely, the surface modeling, the DEM modeling and the fractal technique, the latter is especially described in detail. Finally, some kinds of landform morphologies of the Loess Plateau are generated with the most commonly used two dimensional midpoint displacement algorithms of fractal technique. The results show that we can acquire a satisfying visual effect.

Key words: landforms of Loess Plateau; 3D visualization; fractal algorithm



彩图 1 黄土近圆峁
Fig.1 Near-round loess knolls



彩图 2 黄土连续峁
Fig.2 Loess continuous knolls



彩图 3 黄土破碎峁
Fig.3 Broken loess knolls



彩图 4 黄土斜梁
Fig.4 Inclined loess ridges



彩图 5 黄土梁峁
Fig.5 Loess ridges and knolls



彩图 6 黄土侵蚀沟
Fig.6 Eroded ravines