

基于测绘数据构造三维地形表面*

张 蕾¹ 张 燕¹ 朱吉龙²

(¹辽宁石油化工大学 计算机与通信工程学院 辽宁 113001 ²抚顺师范高等专科学校 辽宁 113001)

摘要: 给出了传统几何建模理论与分形理论相结合的地形生成算法来进行地形绘制。分形理论中的随机中点位移法能够随着迭代深度的加大生成地形的细节,传统的三角剖分与高斯小波函数插值可以保证构造地形表面的真实感。将这两种方法结合,可以充分发挥这两种算法的优点,既可以控制地形的真实感,又能显示地形的细节。实验结果表明,该算法实现简单,真实度高,适用于大规模地形的三维可视化。

关键词: 三维地形 Delaunay三角剖分 小波 随机中点位移

Construction of 3D Terrain Surface Based on Mapping Data

¹ZHANG Lei ¹ZHANG Yan, ²ZHU Jibng

(¹Computer and Communication Engineering Institute, Liaoning Shihua University, Liaoning 113001, China ²Fushun Teachers College, Liaoning 113001, China)

Abstract Construction of 3D Terrain is an important part of the 3D scene. This paper introduces an algorithm for terrain generation which is based on perfect combination of traditional geometric modeling theory and fractal theory. By means of random midpoint displacement algorithm, the more iteration level is used, the more richer details of terrain surface can be displayed and traditional triangulation and Gaussian wavelet function interpolation can be used to control the reality of the terrain surface. According to this, the study based on the combination of the two methods establishes a model of terrain surface which can both control the macro-shape of terrain and represent abundant details of terrain surface. The experimental results show that the method is simple, realistic and suitable for the large-scale 3D terrain visualization.

Keywords 3D Terrain, Delaunay Triangulation, wavelet, Random midpoint displacement

构造三维地形有很多方法,但大致可分为传统几何学方法和分形几何学方法。传统几何学方法首先用光滑的曲面来刻画地形的大致形状,然后用纹理合成技术生成地形表面丰富的细节。分形几何学方法用随机方法生成的不规则曲面来描述地形。上述方法虽然为地形模拟提供了某种手段,但由于不同地理环境下地形形态各异,要真实地模拟出各类地形,满足一定的几何精度,保持各类地形的特征,使具有理想的可视化效果,单独用某一种方法描述很难做到。为了实现具备上述特点的地形可视化模型,本文对已知的一系列离散的测绘数据构造三维地形,分三步完成:①根据已知高程点生成一规则数据网格以控制地形轮廓。这主要通过插值方法完成,利用 Delaunay 三角剖分构建离散高程点的曲面,再由二维高斯小波函数插值方法将数据网格化。②利用这一数据网采用有效的技术展现丰富的地形特征和局部细节。主要通过分形的方法完成。③由于分形产生的地形具有随机性,将①、②两步融合来准确地控制地形宏观形状的总体轮廓和很好地反映地形的局部细节。

本文 2008-11-06 收到, 2008-12-04 收到修改稿。

* 辽宁省自然科学基金 (20052211) 资助项目。

1 规格化网格的生成

1.1 构建不规则三角网

地形模型主要使用数字高程模型 DEM (Digital Elevation Model) 表达。通过采集得到的 DEM 数据是由一系列离散的测绘数据点组成, 它表示的集合是区域 D 上地形的三维向量的有限序列 $\{V_i = (X_i, Y_i, Z_i), i = 1, 2, \dots, n\}$, 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。该数据点集已制作成 AutoCAD 的电子图形文件, 图 1 给出了辽宁石油化工大学校园景观局部的不规则分布的山坡的测绘点集 D 及其高程值。图中数字代表所在位置的高程值, 其位置数据可以通过应用程序获取, 从而构成一个完整的数据集。

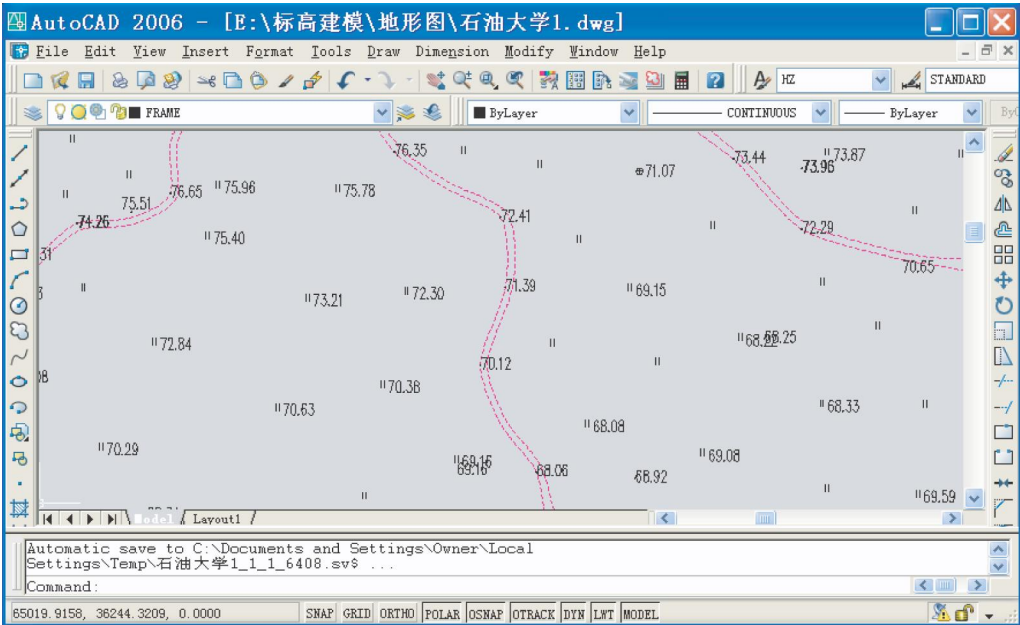


图 1 不规则分布离散测绘数据点

但三维空间中采集点的位置和密度往往不能满足实际应用的需要, 序列中各向量的平面点往往不形成规则网格排列, 即不落在 xy 平面上的矩形区域的格点上。为了近似, 需要对 DEM 数据内插值以生成更多的点, 为此可以构造一个曲面来逼近它。由于 TN (不规则三角网) 模型能够保留地形特征点, 也可以防止数据重采样时造成的失真。实践证明, Delaunay 三角面片具有较好的几何形态, 可以获得较好的插值效果。

Delaunay 三角剖分具有下列优良性质^[1]: 若点集 D 中的两点 d_i, d_j 确定 Delaunay 三角剖分的一条边, 则必定存在通过这两个点的一个圆, 在它内部不包含给定集合的任何点。如果无四点共圆, Delaunay 三角剖分是唯一的。Delaunay 三角剖分满足“最小角最大”准则, 具体的说是指在两个相邻的三角形构成凸四边形的对角线, 在相互交换后, 六个内角的最小角不再增大, 那么就可以获得等角性最好的三角形, 确保了生成的三角形尽量均匀, 从而避免了狭长三角形的出现。为此, 在地形拟合方面采用 Delaunay 三角剖分来构建三角网。

本算法依据 Delaunay 三角形的性质, 即在已知的 Delaunay 三角化的网格上加入一点 P, 只需要删除所有外接圆包含此点的三角形, 并连接 P 与所有可见的点 (即连接后不会与其他边相交), 则形成的网格仍然满足 Delaunay 三角剖分的条件。采用方法: ①构造超大三角形, 使得所有离散点均落在该三角形的内部; ②以该超大三角形作为 Delaunay 三角形集 D 的首个成员; ③对所有离散点集里的每个点, 搜索 D 中满足外接圆包含该点的三角形集 R; ④新点与 R 构成三角形集 N, 在 D 中删除 R, 并加入 N; ⑤重复第 ③、④步; ⑥删除 D 中所有与超大三角形有关的三角形。

1.2 规格化网格插值

对三维空间的测绘数据点集进行 Delaunay三角剖分后即可进行插值计算。使用高斯小波函数插值的算法,该算法优点是不需要定义权重或估计参数,同时也保证了重建的效果。

设点 $d(x_i, y_i, z_i)$ 为一个待插值的控制点,其 x, y 值已由规则的控制网格规定,可以看作已知量。它落在 Delaunay三角剖分的某一个三角形内,即指点 (x, y) 落在该剖分三角形在 xy 平面上投影的三角形内。该剖分三角形的三个顶点看作点 d 的型值点,设为 $d_i(x_i, y_i, z_i)$, $i = 1, 2, 3$ 。这样便可采用二维高斯小波函数进行插值,算法如下^[2,3]:

二维高斯小波函数

$$\varphi(x, y) = e^{-\left[\frac{(x-a)^2}{m^2} + \frac{(y-b)^2}{n^2}\right]^{1/2}} \quad (1)$$

把二维高斯小波函数作为插值函数,即

$$z = f(x, y) = k e^{-\left[\frac{(x-a)^2}{m^2} + \frac{(y-b)^2}{n^2}\right]^{1/2}} \quad (2)$$

式(2)中, x 和 y 为地形点的平面位置, z 为相应的高程, k 为小波系数, a 和 b 分别为 x 方向和 y 方向的平移因子, m 为 x 方向和 y 方向的伸缩因子,为了插值计算的简便,不妨先把 m 作为参数来处理。由式(1)和式(2)可以解得 a 和 b ,再将其代入式(2),可得

$$k = z e^{-\left[\frac{(x-a)^2}{m^2} + \frac{(y-b)^2}{n^2}\right]^{1/2}} \quad (3)$$

最后将求出的 k, a, b 值以及已知的 x, y 值代入插值函数式(3)中,即可求出该控制点的高程值。以此类推可求出其他控制点的高程值。从而建立了 D 域的规格化网格曲面 M 。图2给出了测绘点集 D 的规格化结果。

2 分形地形曲面的生成

地形具有两个基本特征:地形表面的每点处都有无限的细节及整体和局部特征具有自相似性,这两个特征恰好符合分形几何的特征。随机中点位移法利用细分过程中,在两个点或多个点之间进行插值的方法来进行地形建模,具有高速以及为已有形状增加细节的能力,是一种常用的分形算法^[4]。在一般的地理信息系统中,地形的数据量是很大的,但是利用分形地形模型,可以用少量的地形数据达到逼近真实地形的目的。这对于有效地处理地理信息系统中的地形数据具有很大的实用价值:一方面可以达到压缩大量的地形数据的目的,另一方面可以达到产生多分辨率层次的地形的目的。

2.1 分形地形生成原理

在原有网格地形数据的基础上应用随机中点位移法^[5]建立分形地形模型,生成具有不同分辨率层次的分形地形。此法是以四边形为图形基元的分形曲面生成法,通过对给出的角点数据进行线性插值,求出四边形中心点及各边中点的位移量,再对该四边形域进行四分割,并重复以上过程而得,算法步骤如下:

首先,从 xy 平面上的规则的控制网格开始,对网格的四个角点在 z 方向上分别给出初始高度值,该高度值由规格化网格曲面 M 得到,这是递归细分的起点,该过程分两步:

(1)求网格中心点的值:平均网格四个角点的值,并加上一个随机扰动值,该随机值沿铅垂方向(向上为正,向下为负),求出该点的高度值。

(2)求网格每条边中点的值:取得边中点周围的点,平均这些点的值再加上一个随机扰动值,计算出每

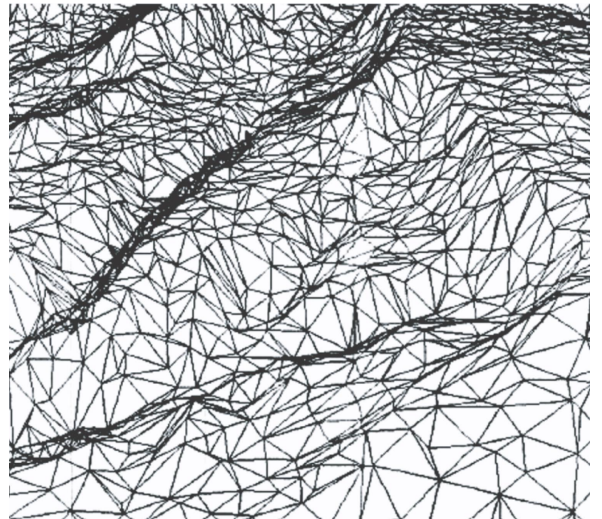


图2 测绘点集的规格化结果

条边中点的高度值。这样又得到四个网格。再对四个小网格重复 (1)和 (2)的过程, 使网格逐步细化, 直到达到预期的递归深度, 然后连接每个网格点。

2.2 基于分形的地形模拟

图 3 显示了应用随机中点位移法经五次迭代后生成的分形地形。迭代层次越高, 所反映的分形地形的结构越精细。用此方法, 建立了分形生成的地形曲面 T。

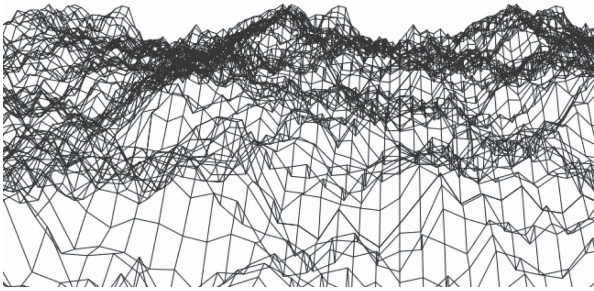


图 3 迭代 5 次的效果图

3 三维地形表面的生成

3.1 三维地形表面的生成原理

由规格化网格曲面 M 得到控制网格四个角点的初始高度值, 应用随机中点位移法^[5]迭代 2 次, 由生成的矩阵行列数 n 与总迭代层数 l 的关系式 $n = 2^l + 1$ 可得, 此时产生一个 5×5 的数据矩阵。由规格化网格生成的曲面 M 与随机中点位移法生成的曲面 T 产生的数据点一一对应的关系, 可以用 M 的数据矩阵去替代 T 所产生的数据矩阵来确定数据点的最终高程值。具体做法: 设 M 的数据矩阵为 Y , 其上某点为 $Y(x, y)$; 设 T 的数据矩阵为 Z , 其上某点为 $Z(x, y)$ 。则 $Y(x, y)$ 与 $Z(x, y)$ 存在一个差值, 设这个差值为 $offset$, 即

$$offset = Y(x, y) - Z(x, y)$$

决定数据点的最终高程值就由这个差值来计算得到。具体公式为^[6]:

$$X(x, y) = Z(x, y) + w \times offset$$

$X(x, y)$ 是数据点的最终高程值, w 是权因子。显然, 当 $w = 0$ 时, $X(x, y) = Z(x, y)$; 当 $w = 1$ 时, $X(x, y) = Y(x, y)$ 。而 w 在 0 和 1 之间变化时, 如果 $w \rightarrow 0$, 则 $X(x, y)$ 会更接近于 $Z(x, y)$, 也就是说最终得到的曲面会更接近于随机中点位移法生成的曲面 T; 如果 $w \rightarrow 1$, 则 $X(x, y)$ 会更接近于 $Y(x, y)$, 也就是说最终得到的曲面会更接近于规格化网格曲面 M。

然后, 在此基础上继续迭代, 直到达到满意的迭代深度为止。

3.2 地形模拟实例

在 VC++ 6.0 的开发平台上, 利用 OpenGL 三维绘图函数库进行三维地形的显示以及渲染^[7], 得到三维真实感地形。如图 4 所示。

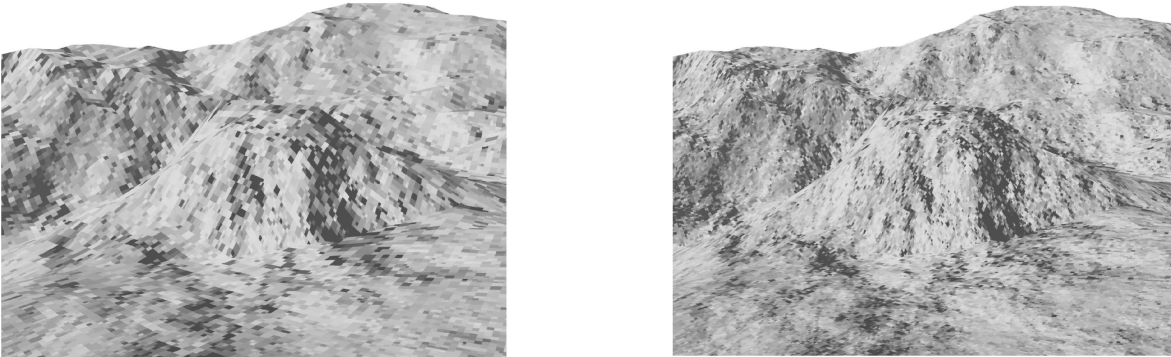


图 4 不同迭代深度的三维地形表面模拟效果

4 结束语

本文用真实的测绘数据来构造三维地形表面, 提出了一种传统几何建模技术与分形几何建模技术相结合的方法, 进行地形的模拟。实验表明, 利用分形的原理生成的地形表面的局部细节, 结合传统几何学中的曲面造型方法准确地生成宏观的地形轮廓, 能较好地模拟地形, 方便的获得三维真实感地形图, 结果令人

满意。

参 考 文 献

- 1 周培德. 计算几何—算法分析与设计. 北京: 清华大学出版社, 2000. 101~ 109
- 2 刘家胜, 邹道文 等. 基于 Delaunay 三角剖分和高斯小波函数插值的三维表面重建算法. 计算机工程与应用, 2003, 39 (23): 76~ 78
- 3 王媛妮, 葛非, 李向. 基于稀疏钻孔点的地层建模及可视化. 测绘信息与工程, 2008, 33(1): 18~ 20
- 4 胡瑞安, 胡纪阳. 分形的计算机图像及其应用. 北京: 中国铁道出版社, 1995. 61~ 63
- 5 梁俊, 蒋金龙 等. 随机中点位移法在三维地形插值显示的适用性分析. 测绘科学, 2007, 32(3): 44~ 46
- 6 许社教, 靳其宝. 基于散乱点网格化的可控地形图技术. 工程图学学报, 2005 (4): 119~ 123
- 7 靳海亮, 高井祥, 康建荣. 基于 VC 和 OpenGL 的地形三维可视化. 微计算机应用, 2006, 27(5): 577~ 581

作者简介

张蕾, 女, (1983—), 硕士研究生, 主要研究方向: 计算机图形学、计算机辅助设计。

张燕, 女, (1968—), 教授, 博士, 硕士生导师, 主要从事 CAD& CG 和产品信息建模方面的研究。