

控制四点法“形状参数”实现地景仿真*

骆岩林

(北京师范大学计算中心, 北京 100875)

汪国昭

(浙江大学应用数学系, 杭州 310027)

摘要 将满足插值和离散性质的“四点法”运用于地景仿真,调整其“形状参数”可产生所期望的地形形状。为了产生丰富的地貌特征,一方面,用几何纹理生成法;另一方面,在定义场景的GL光照中,通过更新材质、光源和光照模型属性,真实感显示地表细节。实验表明,该方法能简单、快速模拟一些受环境、树木、土壤、气候等影响的地景,为自然景观仿真提供了一种有效手段。

关键词 地景仿真 四点法 形状参数 真实感显示

0 引言

地景仿真一直是图形学和地理信息系统(GIS)等领域研究的重要内容。在实时飞行仿真等虚拟现实,地景是一种最基本的虚拟环境景物。地景的模拟和三维显示给从事自然景观仿真和研究地貌形态、构造以及地形演变规律的专家们,提供了一种直观、简便的观察和分析工具。

地景仿真的主要问题是:

- (1) 控制整体形状。
- (2) 描述地貌特征。

前者涉及地形造型,其常用的方法有两种,曲面造型方法和高度场方法。曲面造型方法^[1,2]即首先用几何造型方法生成的曲面刻画地形的大致形状,然后用纹理合成技术生成地表丰富细节。高度场方法基于一种思想,即认为地域是一个高度场,因此可以采用高度场生成地域的三维模型。

描述地貌特征主要指生成地表纹理。目前常用方法有两类,即基于图象处理方法和几何纹理生成法。其中,几何纹理生成法可概括分为两种:①对景物模型进行随机扰动,从而获得不规则的表面形状,如可用高斯随机变量对表面法矢进行扰动;②分形方法,即根据分形理论来构造一种递归模式,辅之以相关的形状参数模拟不规则物体表面。

本文用曲面造型方法。首先,选用“四点法”及相关的“形状参数”对初始控制网格不断加密,使产生的曲面网格逼近所希望形状。其次,通过以下步骤产生地表细节:①使用几何纹理生成法将高斯随机变量对表面法矢进行扰动;②在定义场景的GL光照中,通过更新材质、光源和光照模型属性控制网格曲面的显示精度,真实感显示。

该方法有效、实用且简单。其优点是地形容易控制,模拟地表纹理较为真实、丰富,可得到具有不同地貌特征的地景,如起伏的沙丘、生长植被等地形。效果是令人满意的。

1 用四点法“形状参数”实现地景仿真

1.1 四点法“形状参数”的几何意义

四点法最早由 Dyn^[3]提出,用于自由曲线、曲面拟合简单而有效,适当选取其“形状参数”可得到连续或参数光滑(等距参数化意义下)的曲线、曲面。很多计算几何专家从四点法生成光滑且形状容易控制的曲线、曲面方面作了详细研究,并给出了它在几何造型领域的许多应用和推广^[4]。本文选用四点法,主要利用其插值性质、离散性质以及“形状参数”的几何意义,探讨它在计算机图形学领域——自然景观仿真中的应用。

* 受国家自然科学基金(No.19571071)和浙江省自然科学基金及国家博士点基金资助
收稿日期:1998-10-05

设 $\{V_i\}_{i=0}^n$ 为初始控制顶点集, 记 $J_0 = \{0, 1, \dots, n\}$ 为其有限下标集。顺次连接控制顶点的折线段称为控制多边形, 记为 $V = [V_0, V_1, \dots, V_n]^T$ 。记 $V^0 = V$, 以 $V^k = \{V_i^k\}_{i \in J_k}$ 表示经四点法 k 次加密所得点集, J_k 为相应的有限下标集。以下是四点法对应的递归格式:

$$\begin{cases} V_{2i}^{k+1} = V_i^k \\ V_{2i+1}^{k+1} = \left(\frac{1}{2} + \frac{1}{2}\omega\right)(V_i^k + V_{i+1}^k) - \frac{1}{2}\omega(V_{i-1}^k + V_{i+2}^k) \end{cases} \quad (1)$$

其几何意义, 如图 1 所示:

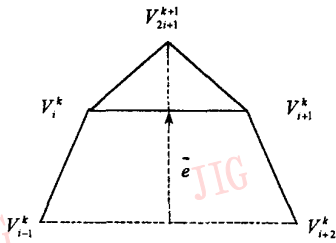


图 1

本文称式(1)中 ω 为四点法的“形状参数”。易知, 四点法每次计算是在原点列每两点间插入新点, 故满足插值性质。该性质能够保证最终产生曲线、曲面插值初始控制顶点。“形状参数” ω 的大小一定程度上反映了四点法生成的曲线、曲面和原控制多边形相比较整体“波动”的大小。另外, 四点法产生曲线、曲面的过程是从离散的初始点列到逼近极限曲线、曲面的离散点列, 本文称这种递归生成曲线、曲面的性质为离散性质。该性质适用于计算机递归、快速生成。

关于四点法无限细分下去得到曲线的收敛性和光滑性的充要条件, 已经由 Dyn 给出。由文献[2]可知:

- (1) 当 $|\omega| < \frac{1}{2}$ 时, 四点法收敛到 C^0 。
- (2) 当 $0 < \omega < \frac{(-1+\sqrt{5})}{8}$ 时, 收敛到 C^1 。

本文主要利用上述“形状参数” ω 的正收敛性范围, 递归产生曲面, 用曲面网逼近地形的整体形状, 然后控制最终曲面网格的显示精度, 结合有效的纹理生成技术, 真实感显示地表细节, 从而产生具有不同地貌特征的地景。

1.2 地景仿真算法的实现

算法实现的基本步骤可概括为以下 4 步:

(1) 标准化初始数据。

将离散采样点(原始数据点)转化为控制地形初始形状的矩形拓扑网格上的点列, 即得到初始控制顶点集 $\{V_{ij}\}_{i=0,1,\dots,n, j=0,1,\dots,m}$ 按 i 方向和 j 方向顺次连接, 构成初始控制网。

原始数据如果是等高线数据, 则将等高线上的离散采样点在地平面上投影, 以实现网格化。限于篇幅, 原始数据网格化的过程, 本文将不讨论其细节。

(2) 选取合适的“形状参数” ω , 将网格不断加密。

根据最终要求, 选取“形状参数” ω (保证在正收敛性范围内), 用四点法将初始控制网不断加密。对初始控制顶点集的细分可采用先对 i 方向细分, 再对 j 方向细分; 或先对 j 方向细分, 再对 i 方向细分的原则。可以证明, 通过以上加密过程得到的曲面与细分方向的顺序无关。细分到一定深度为止, 得到产生地形整体形状的加密控制网。

ω 的大小应根据地形的整体起伏程度选取。对于变化平稳的地形, ω 相对小一些; 变化起伏大的地形, 则 ω 取得相对大一些, 可能超出 C^1 的收敛性范围。

考虑到最终逼近地形产生的曲面网格数据量比较大, 我们将加密的深度控制在合适的范围内。本文所附各例其离散层次均低于七层。

实现该步所采用的数据结构, 用数组即可。

(3) 网格面局部细化。

将以上加密得到的控制网调整细化, 使其每一网格面最终满足某一精度 ϵ 要求。对每一网格面, 定义其度量 ρ 为各边长的最大值。设每一网格面 $P_1 P_2 P_3 P_4$, 如图 2 所示。

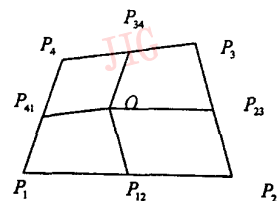


图 2

当 ρ 大于给定精度 ϵ 时, 则加入新的数据点

——中心点 $O = \frac{1}{4}(P_1 + P_2 + P_3 + P_4)$, 将每一网格面 $P_1 P_2 P_3 P_4$ 分为 4 个小的空间 4 边 $P_1 P_{12} O P_{41}$, $P_{12} P_2 P_{23} O$, $O P_{23} P_3 P_{34}$, $P_{41} O P_{34} P_4$, 其中 P_{12} , P_{23} , P_{34} , P_{41} 分别为各边的中点。然后将其中每一网格面递归采用以上局部细化方法, 直到其度量 ρ 满足精度 ϵ 要求。

对于地表平稳的沙丘, 其最终曲面网格的精度 ϵ 要求较小, 彩色图版 I 图 3 中 $\epsilon = 2$, 以表现其表面细碎的质感。其它起伏的地表, 则 ϵ 取得相对大些, 如所附彩色图版 I 图 3、彩色图版 I 图 4、彩色图版 I 图 5、彩色图版 I 图 6, $\epsilon = 3$ 。

(4) 真实感显示。

当每一网格面定义的 ρ 满足精度 ϵ 要求时, 用高斯随机变量对表面法矢进行不同程度的扰动, 然后将对应多边形进行消隐处理, 利用光照模型真实感显示。

真实感显示技术的关键是 3D 成像与投影、材质模型、光照模型、光源模型和真实感图形显示算法。我们在 SGI 工作站上, 通过 C 语言设置 GL, 真实感显示地表细节, 使问题得到简化。其基本步骤为:

- ① 定义场景中地形所需材质的性质、光源及光照模型;
- ② 激活定义;
- ③ 将高斯随机变量对表面法矢进行扰动, 画出场景。

2 实例

仿真沙漠地景, 如彩色图版 I 图 3。取“形状参数” $\omega = 0.10$ 在产生其起伏形状的基础上, 一方面, 调整材质属性使其颜色接近真实; 另一方面, 将法向进行较小扰动并修改光源、光照模型属性从而得到沙漠地景。

模拟那些有植被效果的地形首先调整“形状参

数” ω , 其大小视地形起伏程度而定。比如, 取 $\omega = 0.18$ 。再仔细修改材质、光源和光照模型等属性, 可产生如彩色图版 I 图 4 效果。

另外, 要模拟那些变化起伏比较大且具有特殊纹理、颜色的山体, 则选择比较大的“形状参数”, 如彩色图版 I 图 5, 对应的“形状参数” $\omega = 0.20$; 彩色图版 I 图 6, $\omega = 0.25$ 。特殊纹理、颜色的产生, 可通过调整材质、光源和光照模型参数, 达到所期望的效果。

3 结束语

地景仿真作为自然景观模拟的重要研究内容, 多年来引起了很多领域的学者和专家们的兴趣。本文给出了一种简单、有效模拟地景的方法。首先, 利用四点法且选用其适当的“形状参数” ω , 将初始控制网格加密一定深度, 产生起伏程度各不相同的地形形状; 其次, 控制最终曲面网格的显示精度, 结合有效的纹理生成技术, 真实感显示丰富的地表细节, 产生质感迥异的地形表面。该方法适用于初始网格为矩形拓扑网格的情形。如果初始控制网为任意拓扑网格, 则应选用与其相适应的细分法, 这需要进一步研究。

参考文献

- 1 Kelly A D, Malin M C, Nielson G M. Terrain simulation using a model of stream erosion. *Computer Graphics*, 1988, 22(4): 263 ~ 268.
- 2 Kaneda K, Kato F, Nakamae E *et al.* Three dimensional terrain modeling and display for environmental assesment. *Computer Graphics*, 1989, 23(4): 207 ~ 214.
- 3 Dyn N, Geogory J A, Levin D. A 4-point interpolatory subdivision schemes for curve design. *CAGD*, 1987, 4(4): 257 ~ 268.
- 4 Cavaretta A S, Dahmen W, Micchelli C A. Stationary subdivision, *Mem. Amer. Math. Soc.*, 1993, 453: 1 ~ 186.



骆岩林 1997年毕业于浙江大学应用数学系, 获博士学位。主要研究领域计算机图形学, 计算机辅助设计和计算机辅助教学。

汪国昭 浙江大学应用数学系教授, 博士生导师。主要从事计算机辅助几何设计, 计算机图形学, 医学图象三维重建等方面的研究。

Topography Simulation by Controlling Parameters of Fourinterpolatory Scheme

Luo YanLin

(Computer Center, Beijing Normal University, Beijing 100875)

Wang GuoZhao

(Department of Applied Mathematics, Zhejiang University, Hangzhou 310027)

Abstract In this paper, the four-interpolatory scheme is applied in simulating topography. In order to control the form of topography, the proper "control-parameters" are chosen. For the sake of getting variant ones, geometric texture-rendering methods are applied. In the meantime, patches are really displayed in GL environment by modifying the property of the material, the light and the light model. The experimental results show that the algorithm offers an efficient means for simulation of natural scene which effected by the surrounding, the trees, the climate and so on.

Keywords Topography simulation, Four-interpolatory scheme, Shape parameters, Really display

(上接第 302 页)

A Method for Union, Intersection and Trim of Closed Contours

Yuan Dengshan, Wu Jiang

(National Key Laboratory of Text & Graphics Processing Institute of Computer Science & Technology, Peking University, Beijing 100871)

Abstract This paper discusses the method for counting the union, intersection and trim of closed contours. The "reason" for bringing up the question is introduced. The theory and implementation of the algorithm are described detailedly. The algorithm is simple which combines the three counting operations in one. And the differences among the three counting operations are given.

Keywords Closed contour, Intern point, External point, Intersect, Point segment



图3

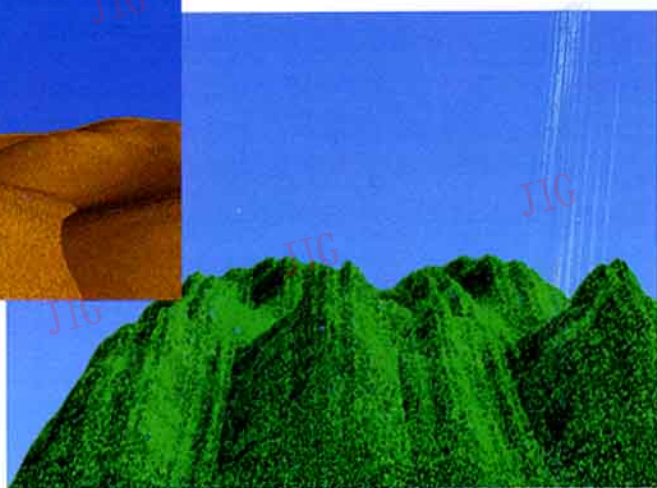


图4

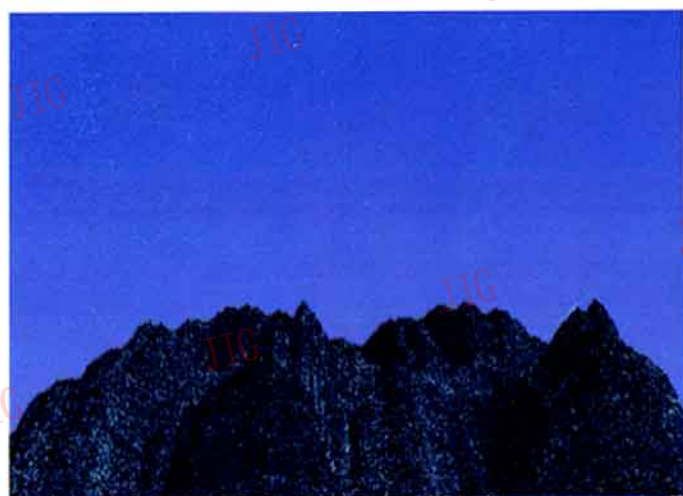


图5



图6