

基于分形几何的空间多面体变形法 在三维地表插值中的应用

肖高逾 周源华

(上海交通大学图象通信与信息处理研究所, 上海 200030)

摘要 在由立体像对生成数字高程模型(DEM)的过程中, 由于匹配算法的限制和地物之间的相互遮挡, 经常不能直接恢复出所有点的高程数据, 因此采用某种插值算法由已有的数据点得到更为稠密的地表三维数据, 便成为建模过程中一个不可缺少的重要环节. 该文在分形几何学的基础之上, 提出了一个基于地表分形特性的空间多面体变形插值算法. 该算法的独特之处在于, 它可以在原始数据点杂乱和不规则分布的情况下得到接近于真实地貌的插值数据. 最终的实验结果令人满意.

关键词 表面插值 自然地貌 分形几何 空间多面体变形

中图分类号: P208 文献标识码: A 文章编号: 1006-8961(2000)03-0241-03

Fractal-Based Spacial Polyhedron Model Deformation Algorithm in Terrain Surface Interpolation

XIAO Gao-yu, ZHOU Yuan-hua

(Institute Image Communication & Information Processing, Shanghai Jiaotong University, Shanghai 200030)

Abstract In constructing Digital Elevation Model (DEM) from image pairs, often the elevation data of point cannot be directly recovered, due to the limitation of the mapping algorithm adopted and the mutual hiding of the terrain itself. Therefore it is very important to construct a dense terrain model from these sparse data by means of interpolation. In this paper, based on the fractal features of natural terrain, a Spacial Polyhedron Model Deformation algorithm is presented, which can generate realistic dense terrain model from sparse points that are irregularly distributed. The experimental results are satisfactory.

Keywords Surface interpolation, Natural terrain, Fractal, Spacial polyhedron model deformation

0 引言

在由立体像对生成数字高程模型(DEM)的过程中, 由于匹配方法的限制和自然物之间的相互遮挡, 初步恢复出的地表三维数据往往是较为稀疏的数据点, 因此通过插值由这些数据得到更为稠密的地貌形态就成为 DEM 建模过程中一个重要的环节. 由于目前许多现有的插值算法, 其应用背景多针对工程几何造型, 而且要求所得到的结果应尽量表

面光滑平整, 故它们不能如实地反映地表的真实自然形态. 随着分形几何理论的发展, 基于分形特征的自然地表插值技术日益受到人们的重视^[1-3]. Yokoya^[4]和 Arakawa^[5]都提出了基于分形维数的表面插值算法, 但是前者要求原始数据点为规则等间隔采样, 而后的计算过程则过于繁杂. 为此, 笔者曾对非均匀采样条件下的地表分形插值技术进行了研究, 并取得了较好的结果, 但这种插值技术, 对原始数据点的分布仍要求呈矩形网状结构. 为此, 本文就数据点非规则分布下的三维插值技术又进行了

研究,并提出了基于多面体变形技术的地表分形插值算法。

1 自然地表分形特征的提取

根据分形理论,一般认为,分形图形应具有如下的性质^[6]:

(1) 自相似性 即整体与局部有着严格或统计意义下的相似性;

(2) 无限可分性 即具有精细的结构,有任意小的比例细节;

(3) 分数维数 即分形的“分数维维数”(如 Hausdorff 维数)大于其拓扑维数;

(4) 一般的分形,用传统的几何语言难以描述,但往往可以由简单规则,用迭代方法产生。

基于以上分形图形的这些性质,可以认为,自然地表可以看成是一个满足分形布朗运动(fBm)特征的分形表面。分形布朗函数 $f(t)$ 满足

$$P\left|\frac{f(t+\Delta t)-f(t)}{\Delta t^H} < x\right| = g(x) \quad (1)$$

其中参数 H 为一常数,且与分形维数 D 的关系为 $D=3-H$ 。令随机变量 x 的积分分布函数 $g(x)$ 为均值0,方差 σ^2 的高斯分布函数为 $N(0, \sigma^2)$,根据分形布朗函数的定义,它的增量的方差应满足下式

$$E\left|f(t+\Delta t)-f(t)\right| \cdot \|\Delta t\|^{-H} = C \quad (2)$$

其中 $E[\cdot]$ 表示数学期望,常数 C 是随机变量 $|x|$ 的均值,且 $C = \frac{2}{\sqrt{2\pi}}\sigma$ 。由此可得

$$\log E\left|f(t+\Delta t)-f(t)\right| - H \cdot \log \|\Delta t\| = \log C \quad (3)$$

不难看出,分形布朗运动的参数 H 和 $\log C$ 即分别是点列 $\left\{\log \|\Delta t\|, \log E\left|f(t+\Delta t)-f(t)\right|\right\}$ 的斜率和截距。这样,只要先对原始数据统计出其在不同间隔上高程数据变化的数学期望值,再用线性回归法就可以得到该地表的分形特征参数 H 和 σ 。

2 基于分形特征的空间多面体变形算法

统计出原始数据的分形特征参数后,就可以用基于分形特征的空间多面体变形算法对这些数据进行插值了。该算法的基本思想是,先将由原始数据点构成的多面体分割成多个空间三角形,然后再将这些空间三角形进行随机细分,分割成多个空间子三

角形,如此递归细分,直至获得满意的细节。图1即是这一过程的图示,其中 $\triangle ABC$ 是某次细分得到的三角形,而 a, b, c 分别为各边的中点。借鉴 Yokoya 的思想^[4],对三角形各边的中点坐标叠加扰动 $\sqrt{1-2^{2H-2}}\|\Delta\|^H \cdot \sigma \cdot G$ (其中, H 和 σ 是经统计而得来的分形特征值, Δ 为最小采样间隔, G 为一服从正态分布 $N(0, 1)$ 的随机变量),使其分别偏移到 a', b' 和 c' 。这样由一个 $\triangle ABC$,就获得了 $\triangle Ab'c'$ 、 $\triangle Ba'c'$ 、 $\triangle Ca'b'$ 和 $\triangle a'b'c'$ 共4个子三角形。然后对这些新产生的三角形再做进一步的细分,反复迭代,就能够得到数据逐渐稠密的插值结果。

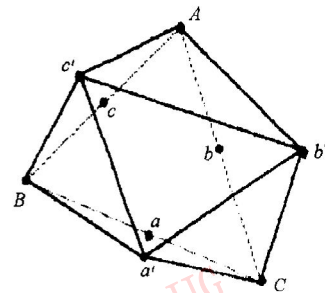


图1 空间多面体变形过程

在迭代分割的过程中,为了保证插值后图形的外部连续性,当某一条边被两个三角形所共有时,对这条边的分割只做一次,即经细分所得到的变形中点应为一个,而不是两个。另外,由于原始数据点在空间上分布的不规则性,可能会出现空间三角形大小相差悬殊的问题。为了避免这种现象的发生,在空间多面体变形的迭代过程中,当三角形的某一条边的长度小于给定的阈值时,则对这条边停止迭代分割。

需要指出的是,在本文中空间多面体的变形是通过三角形各边的迭代分割而实现的。但这并不意味着三角形分割是唯一可行的方法,实际上这种迭代过程还可通过对其它多边形进行同样的处理而实现。

3 实验结果与讨论

为了验证本文所提出的方法,先对一幅完整的自然地表三维数据进行随机采样(本实验从每一 10×10 的区域中随机删除84点),以得到数据点不规则分布的稀疏地表三维坐标值。再用本文的算法对这些原始数据迭代分割,经过三次迭代过程即可得到地表插值结果。图2为原始的地表三维数据;图3为随机采样后的稀疏数据形态;图4为用本文算法插值后所形成的地表三维数据。从中不难看出,

经空间多面体变形插值后的三维数据不仅能够如实地反映原数据的总体轮廓, 而且还可以较好地再现原始自然地表的粗糙起伏特性, 因而是一种切实可行的三维地表插值方法.

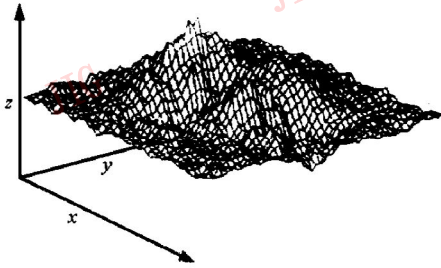


图2 未经采样的地表数据

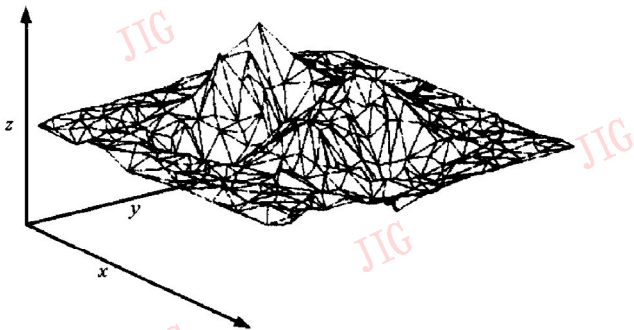


图3 采样后的稀疏数据

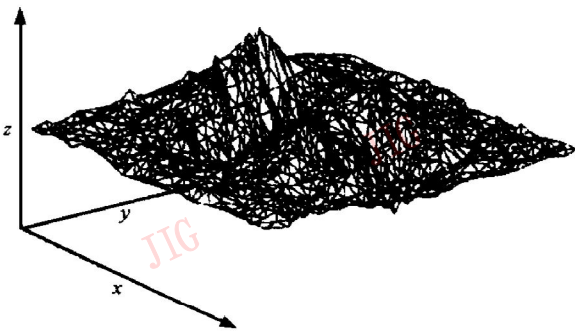


图4 经空间多面体变形后的地表数据

另外, 因为自然地表的分形特性主要表现在其高程数据的随机起伏和波动上, 所以在对稀疏数据进行空间多面体变形时, 仅对空间三角形每条边中

点的 z 轴分量叠加分形扰动, 而对其余两个分量则保留原值.

4 结束语

本文提出了一种基于自然地表分形特性的空间多面体变形插值算法. 该算法可以在原始采样数据呈现杂乱和不规则分布的情况下得到更为稠密的地表三维数据. 实验表明, 用本算法得到的地表不仅能够如实地反映原数据的总体轮廓, 而且还可以较好地再现原始自然地表的粗糙起伏特性, 结果令人满意.

参考文献

- 1 Mandelbrot B B. The fractal geometry of nature. Freeman, San Francisco, 1982.
- 2 Pentland A P. Fractal-based description of natural scenes. IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intell., 1984, (6): 661~ 674.
- 3 Kenton Musgrave F. The synthesis and rendering of eroded fractal terrains. Computer Graphics, 1989, 23(3): 41~ 50.
- 4 Yokoya N, Yamamoto K, Funakubo N. Fractal-based analysis and interpolation of 3D natural surface shapes and their application to terrain modeling. Comput. Vision Graphics Image Process. 1989, 46: 284~ 302.
- 5 Arakawa K, Krotkov E. Fractal modeling of natural terrain: analysis and surface reconstruction with range data. Graphical Models and Image Processing, 1996, 58(5): 413~ 436.
- 6 谢和平等. 分形几何—数学基础与应用. 重庆: 重庆大学出版社, 1991.

肖高逾 1994年毕业于西安电子科技大学通信工程学院, 1997年获西安电子科技大学工学硕士学位, 现为上海交通大学图象通信与信息处理研究所博士研究生. 主要研究方向为计算机立体视觉、计算机图形学及可视化.

周源华 1940年生, 上海交通大学图象通信与信息处理研究所教授, 博士生导师. 主要研究方向为目标识别、三维建模和多媒体与视频处理.