

基于分形技术的多分辨率三维地景建模方法研究

齐敏 郝重阳 佟明安

(西北工业大学电子信息学院, 西安虚拟现实工程技术研究中心, 西安 710072)

摘要 介绍了多分辨率分形地景生成方法, 以及地景的不同区域具有不同细节层次特点的研究成果. 其基本思想是以视点在水平面的投影为参考起点, 来生成一个很小的原始数据集, 进一步构成多分辨率三角形网格, 用以确定地形基座的形状. 并用分形技术中的中点位移法及三角形边线细分方案对地形进行递归细分, 从而生成自然的地形景观. 其多分辨率基座的构造方法在不需要额外开销的情况下, 解决了不同细节层次区域间的空间连续性和时间连续性的问题, 从而避免了空洞、缝隙的出现. 此外, 基座可以根据具体情况扩展成所需要的形状, 因而具有较强的可扩展性. 实验结果说明, 该方法是一种简单快速、适于实时显示的地形景观生成方法.

关键词 分形地景 实时显示 多分辨率模型 中点位移法 LOD

中图分类号: TP391 文献标识码: A 文章编号: 1006-8961(2000)07-0568-05

Research of Modeling Method to 3D Multiresolution Terrain Based on Fractal

QI Min, HAO Chong-yang, TONG Ming-an

(Electronics & Information College of Northwestern Polytechnical University,
Xi'an Tech. Rsch. Center of Virtual Reality, Xi'an 710072)

Abstract The real-time terrain generation techniques based on Digital Terrain Model (DTM) have a high requirement to hardware. And in many practical applications there is no need to simulate the terrain of certain area. Also people want to generate various terrain with different shape characters in order to meet different requirements flexibly. At this time it is obviously uneconomical to still use the method based on DTM. For this reason, the paper studies the modeling approach to 3D fractal terrain using data as little as possible for the PC. The terrain belongs to the multiresolution model that has several levels of detail coexisting. The projection of viewpoint is regarded as reference point from which a small primitive data set is generated, and forms multiresolution triangle meshes which define the shape of terrain base. Then, iteration is done by midpoint displacement and triangle edge sub-division method. It can produce natural terrains with different shapes. The construction method of multiresolution base has solved "spatial continuity" and "temporal continuity" between areas with different level of detail and avoids holes and seams, at the same time it does not need extra computing works. Additionally, the base has a expansibility and can be expanded to needed shapes. The experimental results show that the method is simple, rapid and suitable for real-time display.

Keywords Fractal terrain, Real-time display, Multiresolution model, Midpoint displacement, LOD

0 引言

对于计算机图形技术而言, 生成地形、云烟、植

物及叶貌等一类具有真实感的自然景物比人造物体的仿真要复杂得多, 分形技术的出现对这一领域的发展注入了强大的动力. 由于分形关注的是物体的随机性、奇异性和复杂性, 因而具有细节无限以及统

计自相似性的典型特征,而且它用递归算法可使复杂的景物用简单的规则来生成。

地景建模是自然景物建模中很重要的一类。目前分形地景建模的方法有多种,如:泊松阶跃法、傅立叶滤波法、中点位移法、逐次随机增加法和带限噪声累积法等等^[1]。其中,中点位移法是标准的分形几何方法,它用作快速地景生成,也是一种常用的随机分形算法。

1 问题的提出

目前,实际应用中使用最多的方法是基于DTM(Digital Terrain Model)真实地形数据的地形实时生成技术,但是由于真实地形的原始数据集庞大,因而实现实时显示对硬件要求很高。另一方面,有许多应用并不需要针对某个特定地区的地形来进行仿真,而是希望可以灵活地生成不同特征的地形,以满足不同的要求。或者是为了保证整个虚拟环境的真实感,因而需要一个具有良好视觉效果的地形作为辅助环境建模。这时如果仍然采用基于DTM数据的地形生成方法显然是很不经济的。针对应用中大量存在的上述情况,本文就是研究如何利用分形技术在较高配置的微机上以尽量少的数据量,来实现具有真实感虚拟地形的生成方法。

分形地形由于具有递归细分的特性,因而可以通过控制迭代次数,用极小的数据集来生成适当数据量的形态自然的地形,而且能灵活地适应应用的需求和硬件水平的限制,故有其独特的优势。但这仅是一种离散LOD模型的方式,数据仍有大量的冗余,因而研究多分辨率的分形地形将进一步地减少数据量,对地形的实时显示具有积极的作用。

在依据真实数据的地形生成方面,已有许多关于多分辨率模型的算法。在这种模型中,通常不同的细节区取自不同的LOD版本,因此要求算法必须将不同区域的模块“缝合”到一起,使其连续且接合处没有接缝,这就存在一个“空间连续性”(spatial continuity)和“时间连续性”(temporal continuity)的问题^[2]。这里空间连续性是指不同细节层次之间的连接应当是连续的、没有缝隙或空洞,而时间连续性是指所绘制的地景在不同细节层次之间的变化不应当引起视觉上的突跳感。因而我们需将真实地形数据中的多分辨率模型的思想^[3]引入到分形地形的生成中。

2 多细节层次分形地形建模算法研究

2.1 多细节层次地景基座设计

一般来说,一个地景模型的理想情况应该是距离视点近的地方细节多,以产生逼真的视觉效果,远视点处的地景作为背景只需要一个粗略的框架即可。因此我们希望根据模型的不同区域距视点的远近程度来完成对其不同细节层次的建模,从而达到减少不必要的计算量和提高实时显示性能的目的。

为了实现这一目标,首先以视点在 XOZ 面的投影为参考起点,建立一个具有不同细节层次的地景基座。这里以三维图形标准OpenGL为建模工具,其世界坐标系的 X 轴水平向右, Y 轴垂直向上, Z 轴垂直屏幕向外。基座的构成方法如下:

① 首先将视点投影到 XOZ 平面,设为 $V(x, 0, z)$ 。

② 设划分的细节级别的单位长度为 l (图1), $l = 2^k(k = 1, 2, \dots)$,用于生成具有不同细节级别的区域。

③ 以视点 V 为起点,沿其观察方向(Z 轴负方向)进行三角形网格扩展,来构造基座。其中 $\Delta 0 \sim \Delta 10$ 构成的区域称为第1级细节区(图1),这是细节最丰富的区域; $\Delta 11 \sim \Delta 16$ 共同组成第2级细节区的6个最初分形三角形。第3级细节区包括 $\Delta 17$

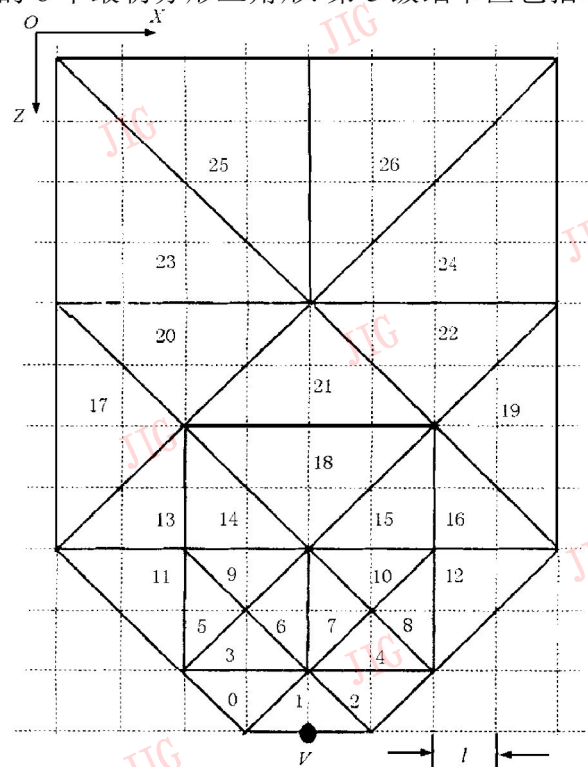
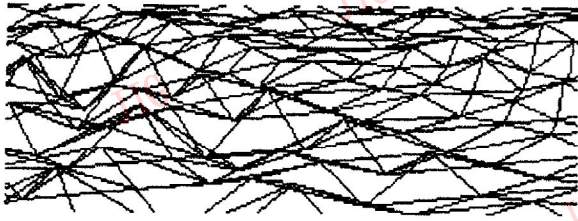
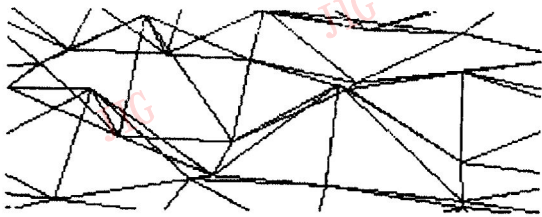


图1 具有不同细节级别的地景基座构成方法

~ $\Delta 22$, 共 6 个三角形; 第 4 级细节区包括 $\Delta 23 \sim \Delta 26$ 等 4 个三角形(图 1), 最后的两个区域一般为远景, 是细节较少的区域. 到此为止, 具有不同细节级别的地景基座建立完毕, 生成结果如图 2 所示.



(a) 高细节层次网格



(b) 低细节层次网格

图 2 不同细节层次的网格

基座的这种构造思路有以下优点:

① 具有多分辨率的性质. 第 n 级细节区的三角形直角边边长为 $L(n) = |\sqrt{2}|^n l$, 如第 1 级细节区的 $L(1) = \sqrt{2}l$, 第 4 级的为 $L(4) = 4l$, 那么在相同的面积条件下, 第 1 级细节区的三角形数必然比第 4 级的多, 这就相当于在近视点处具有较多的细节层次, 远视点处框架粗略, 从而尽可能地减少三角形的数目.

② 具有良好的空间连续性. 在前后相继的两个细节区交界处, 低细节区三角形的直角边与高细节区三角形的斜边相连接, 共享同一边. 这种结构保证了在中点位移法细分过程中, 不同细节层次区域间有良好的衔接性, 从而避免了经常存在的误差面现象, 在不需要额外的开销(消除误差面)的情况下解决了空洞问题.

③ 具有时间连续性. 相邻两个细节区的三角形直角边边长以 $\sqrt{2}$ 倍的关系递增, 这种关系保证了高细节向低细节变化的区域在绘制效果上, 没有视觉上的突跳感.

④ 基座的构造具有较大的灵活性. 可以根据具体需要向外围任意地扩展出若干层次, 也可形成不同的形状, 还可以通过调节 l , 以及控制某个细节区面积的大小等措施, 来适应不同复杂程度的对象. 此外还可通过相邻细节区的过度, 使同一细节区可以分布在不同的地形区域. 图 1 仅是一个用来说明多

分辨率基座基本构造思想的示例.

2.2 分形地形迭代生成

2.2.1 快速分形算法

地形的生成采用中点位移法对上述三角形网格进行递归细分. 所谓中点位移法就是在细分过程中, 在两个点或多个点之间进行插值, 其细分的方式有多种, 如三角形细分、方形细分、菱形细分等. 这里采用一种典型的三角形边线细分法(如图 3 所示).

这种细分方法是先对三角形各边进行等分, 即先求取各边中点, 再将各边中点连接起来, 这样一个三角形就变成了 4 个小三角形, 然后在各中点上增加一个随机变量即可实现细分. 这种中点位移法以其诱人的速度以及为现有形状增加“细节”的能力, 使其成为一个面向某些应用的很有用的分形算法.

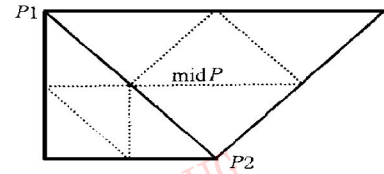


图 3 三角形边线细分法

2.2.2 中点位移量的确定

以图 3 所示两个相邻的不同细节层次的三角形为例, 设有 $P1, P2, midP$ 三个点, 且定义点结构为

```
struct point {
    int x; double y; int z;
};
```

```
struct point P1, P2, midP;
```

其中, 中点 $midP$ 的三个坐标值分别为

$$midP.x = \frac{1}{2}(P1.x + P2.x)$$

$$midP.y = \left[\frac{1}{2}(P1.y + P2.y) + rnd \right] \times K$$

$$midP.z = \frac{1}{2}(P1.z + P2.z)$$

其中 K 为缩放因子, rnd 为随机位移量. 这里 rnd 可以用高斯分布随机数和指数型分布随机数两种方法确定. 其中, 对高斯分布方法来说

$$rnd = gauss() \times k \times 2^{-id}$$

式中, $gauss()$ 为高斯随机数发生器; $k \times 2^{-id}$ 为调整每轮迭代产生的高斯随机数标准偏差^[4], 其中, i 为迭代次数, k 是一个比例因子, D 为分形维数, 对于自然景物地形而言, D 的取值在 2.0~3.0 之间比较合适.

对指数型分布^[5]方法来说

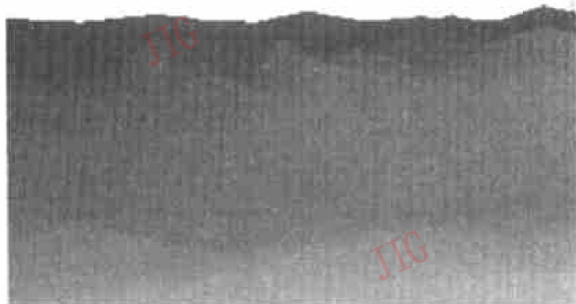
$$rnd = (-\ln(rand()) \times ex + 1.0) + add) \times delta \times frc^i$$

式中, ex 、 add 为修正参数; $delta$ 为初始方差; frc 为方差的缩放因子; i 为迭代次数; $rand()$ 是伪随机数发生器, 而 $(-\ln(rand()) \times ex + 1.0) + add$ 的结果即为指数型分布的随机数。

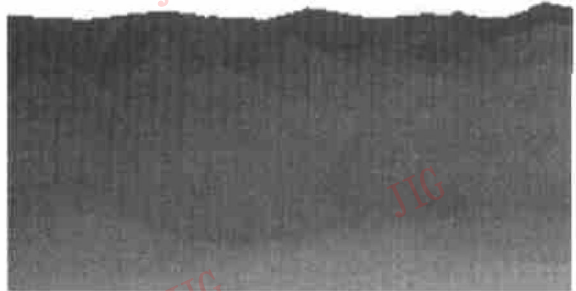
由于三角形在不同的时间, 以不可预知的顺序进行细分操作, 为了保证三角形间良好的衔接性, 必须使相邻的两个三角形的公共边在高程上具有相同的位移量, 这个问题的解决需从伪随机数种子值的确定上入手. 而种子值是由相关的两个三角形顶点在 XOZ 平面的投影坐标值确定, 即

$$seed = a \times P1.x + b \times P2.x + c \times P2.y + d \times P1.y$$

式中, a 、 b 、 c 、 d 为常数. 在求随机数之前, 对伪随机数发生器用种子值 $seed$ 进行初始化, 这样, 由于两个三角形的公共边为相同的起点和终点, 因而伪随机数发生器由相同的种子值初始化, 从而保证了两个三角形的中点位移量相等, 从而也就避免了由高程值不同而产生的空洞或细缝. 用指数型分布和高斯分布随机数产生的三维地形如图 4 所示, 其迭代次数均为 3 次.



(a) 指数型分布

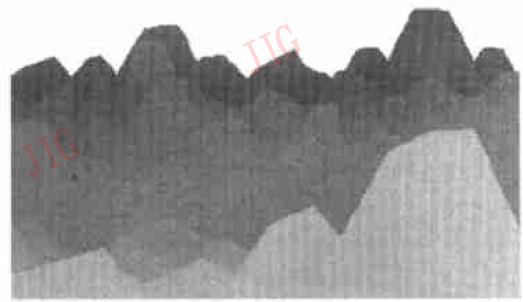


(b) 高斯分布

图 4 由高斯和指数型分布随机数产生的三维地形

另外, 如何实现对地形形状的控制, 在宏观上可以随机地产生或指定某些值作为基座各初始点的高程值, 也可以通过改变 $midP.y$ 中的缩放因子 K , 来产生不同形态的地形(如图 5 所示), 其中初始点具有不同的随机高程值, 为了增加图 5(a) 山体的真实感, 可以进一步增加迭代次数; 在微观上, 高斯分布

中的比例因子 k 、分形维数 D , 指数型分布中的 $delta$ 、 frc 、 add 等参数, 以及迭代次数的变化都会引起地形表面相对的细微变化.



(a)

$K = 1.5, i = 4, rnd$ 由高斯随机数产生, 其中 $D = 2.5, k = 0.1, a = 25, b = pow(25, 2), c = pow(5, 3), d = pow(25, 4)$



(b)

$K = 1.3, i = 4, rnd$ 由高斯随机数产生, 其中 $D = 2.5, k = 0.1, a = 25, b = pow(25, 2), c = pow(5, 3), d = pow(25, 4)$

图 5 不同形态的地形

3 小 结

算法实现的硬件平台是 Pentium 200 及一块图形加速卡, 软件平台为 WindowsNT/98/95、Visual C++ 5.0 和三维图形标准 OpenGL, 运用这些设备可以创建出接近光线跟踪的高质量三维彩色图形. 当迭代次数 i 低于 4 次时, 在图 1 所示的基座上建立起的地形, 还可以实现平滑的动画效果.

本文提供了一种计算简单的适于实时显示的地景生成算法. 由于其地景基座具有多分辨率的特性, 因而大大减少了三角形的绘制量, 并且在无额外开销的情况下, 解决了地景表面空间连续性和时间连续性的问题. 另外对三角形的共享边, 可用生成相同种子值的方法来保证相同的中点位移量, 同时, 地形的形状可以通过相关参数进行一定的控制. 由于分形递归自身的特点, 尚可以控制迭代次数, 以便在多分辨率基座的基础上进一步生成不同 LOD 的模

型,从而数据简化的灵活性较大.实验结果显示了视觉上的逼真性,并证明了该方法在在虚拟仿真、驾驶培训、娱乐等领域的可应用价值.

参考文献

- 1 F. Kenton Musgrave *et al.* The synthesis and rendering of eroded fractal terrains. *Computer Graphics*, 1989, 23(3): 41~ 50.
- 2 Daniel Cohen-Or, Yishay Levanoni. Temporal continuity of levels of detail in delaunay triangulated terrain, In: *Proc. Visualization'96*, Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc., 1996, 37~ 42.
- 3 Mark Duchaineau *et al.* ROAMing Terrain: Real-time optimally adapting meshes. In: *Proc. Visualization'97*, Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc., 1997, 81~ 88.

- 4 Gavin S P Miller. The definition and rendering of terrain Maps. *Computer Graphics*, 1986, 20(4): 39~ 47.
- 5 Michael Gervautz, Christoph Traxler. Representation and realistic rendering of natural phenomena with cyclic CSG graphs. *The Visual Computer*, 1996, 12: 62~ 74.



齐敏 1968年生,1997年西北工业大学获信号与信息处理学科硕士学位,现为该校博士研究生.感兴趣的研究领域为虚拟现实技术及应用、图形图象工程等.发表论文多篇.



佟明安 西北工业大学电子信息学院教授,博士生导师.中国航空学会理事,兼航空武器系统专业分会主任、部重点实验室主任.研究领域有控制理论在航空火力控制系统中的应用、大系统理论与应用、飞机武器系统作战效能评估等.



郝重阳 西北工业大学教授,博士生导师.现任西北工业大学电子与信息工程研究所所长,兼中德联合信息技术实验室(筹)中方负责人、西安虚拟现实工程技术研究中心主任.感兴趣的研究领域为信号与信息处理、图象图形工程与模式识别、虚拟现实技术等.

质量保证,永不褪色

——惠普大幅面专用防紫外线墨水又有新突破

在现代大都市中,昔日很少与普通大众接触的大幅面打印正悄悄向人们走来,现在无论是路旁绚丽夺目的大型广告画,还是居室里清新典雅的风景画,很可能就是大幅面喷墨打印机的杰作.

虽然各式各样的大幅面喷墨打印作品常能给人以美的享受和心灵的熏陶,然而日光中的紫外线则会使这些作品(尤其是户外广告宣传画)发生褪色或色彩剥落,使宣传效果大打折扣.因此,能否提供防紫外线的高性能专用墨水已成为性能优异的大幅面喷墨打印机的一个重要指标.

作为领袖全球大幅面喷墨打印市场的惠普公司则专门为其大幅面喷墨打印机 CP 系列配备了高性能的防紫外线专用墨水,这种墨水经国外权威检测机构 Wilhelm Imaging Research 测试后证明,在配备了专用墨水后,HP DesignJet 2500CP/3500CP 打印机打印出来的普通作品在以 450 伦琴照射量(近似为典型博物馆照射条件)的照射下,每天照射 12 小时,可以保持 200 年不出现明显的颜色脱落,而用这种墨水打印出来的油画可以保持 140 年不变色,这是户外展示领域的重大突破,它势必推动大幅面喷墨打印技术在图形图象领域更广泛的应用.

另外,惠普还在这种墨水的基础上研制了具有同样性能的打印染料,用这种染料打印出来的美术作品在博物馆照射条件下能保质 14 到 16 年.这一系列的专用防紫外线墨水无疑能大大增强各种打印作品的抗紫外线能力,在阳光明媚的户外,在天气多变的环境里,使用专用防紫外线墨水的作品将永葆青春.