

文章编号:1001-9081(2005)01-0202-04

OpenGL 在自然对象真实感图形生成中的应用

秦忠宝^{1,2}, 石怀宇³, 何卫平¹, 房亚东¹, 赵 锋^{1,4}

- (1. 西北工业大学 现代设计与集成制造教育部重点实验室, 陕西 西安 710072;
2. 第二炮兵工程学院 基础部, 陕西 西安 710025; 3. 成都飞机工业公司 职业技术学院, 四川 成都 610092;
4. 西安建筑科技大学 理学院, 陕西 西安 710055)
(zhongb_qin@263.net)

摘 要:针对自然对象不规则的几何形状,介绍了分形几何在其数据建模方面的优势和基本思想,并以山脉地形为中心阐述了以 fBm 方法为基础的几何数据模型生成算法。探讨了 OpenGL 在以山脉地形为代表的自然对象真实感图形生成过程中的基本用法。对于在分形几何对象图形渲染过程中,OpenGL 默认的法向量计算函数无法正常运行的问题,引入了行之有效的求取算法。最后通过计算机模拟实验对整个过程算法过程予以验证。

关键词:分形; fBm; 山脉地形; OpenGL; 真实感图形

中图分类号: TP391.41 **文献标识码:** A

Methods of building the realistic graphics of natural objects with fractal feature using OpenGL

QIN Zhong-bao^{1,2}, SHI Huai-yu³, HE Wei-ping¹, FANG Ya-dong¹, ZHAO Feng^{1,4}

- (1. Key Laboratory of Contemporary Design and Integrated Manufacturing Technology, Ministry of Education of China, Northwest Polytechnic University, Xi'an Shaanxi 710072, China;
2. The second Artillery Engineering College, Xi'an Shaanxi 710025, China;
3. Technological Institute, Chengdu Aeroplane Corporation, Chengdu Sichuan 610092, China;
4. Xi'an University of Architecture & Technology, Xi'an Shaanxi 710055, China)

Abstract: The advantages of fractal geometry in representing natural objects with scrambling features and building their geometric models were introduced and the methods of producing the geometric data models of the natural objects based on fBm with mountain were exemplified. Then, how OpenGL was applied to display and render the realistic graphics of the mountain terrain was investigated. Because of the fractal features of the mountain terrains, the default function of OpenGL that could be used to compute the normals of the surfaces of the fractal models was ineffective. Thus, an effective method to remedy the flaw above was suggested. In the end, in order to prove the validity of the methods above, a prototype program was developed and a few vivid graphics produced by the program were displayed.

Key words: fractal geometry; fBm; mountain terrain; OpenGL; realistic graphics

0 引言

用计算机生成具有高度真实感的自然场景一直是计算机图形学的重要研究课题。然而,构成自然场景的基本要素如山脉、树木、云彩等,大多呈现出各不相同的不规则几何形状。正是由于这种形状上的不规则性,我们无法写出其准确的描述方程。这使得现有的以欧几里得几何为基础的造型技术,在处理自然场景时只能采取拟合、逼近等近似的方法,其效果往往不尽如人意,且运算效率也有待提高。为了突出这些自然形体与人造形体的不同,强调其形状上的不规则性,本文统称其为自然对象。具体而言,自然对象就是天然形成的具有无法用欧几里得方程准确描述的不规则形状的客观几何对象。

分形几何(Fractal Geometry)的提出为解决这类自然对象的造型和真实感图形生成问题提供了新的思路和方法。分形几何从自然对象形状的不规则性入手,在不规则中探寻其“规则”的一面,提出了许多针对自然对象特征的行之有效的造型方法,如 fBm 法、IFS 法和 L 系统法等^[1,2]。目前,对自然对象数据模型的可视化仍然沿用的现有的真实感图形显示技术的思路,然而,由于自然对象形状上的特殊性,许多显示环节都需要从底层开始进行全新的开发,影响了系统的效率。OpenGL 作为目前被普遍认可的三维图形软件包,为数据模型的可视化提供了高效、可靠的支持平台。本文以山脉、云彩等自然对象为目标,探讨了借助 OpenGL 生成其真实感图形过程中所遇到的技术问题,给出了有针对性的处理方法,并通过计算机模拟予以验证。

收稿日期:2004-06-23;修订日期:2004-12-17

基金项目:国家“十五”科技攻关计划重大项目(2001BA201A05);国家自然科学基金资助项目(69973037)

作者简介:秦忠宝(1969-),男,讲师,博士研究生,主要研究方向:知识工程、创新设计; 石怀宇,女,教师; 何卫平,男,教授,博士生导师,主要研究方向:CIMS、工业设计、知识工程; 房亚东,男,博士研究生; 赵锋,男,讲师,博士研究生。

1 基于fBm方法的自然对象数据模型

1.1 自然对象的分形特性

自然形体最显明的形状特征就是无法用代数方程准确描述的不规则性。从分形几何的角度来看,不规则的形状只是自然形体的外在表现,其本质特性是结构上的无限细分和形状上的自相似性^[1-3]。这使得与欧几里得形体(能用欧几里得方程准确描述其形状的形体)相比,自然对象不具有绝对的尺度特征,例如,当用不同尺寸基准度量海岸线的长度时,所得的结果是完全不同的。

基于对自然对象形状特征本质的认识,分形几何提出了以迭代和递归调用为特征,以简单规则的动态执行为核心的过程性几何形状描述方法,即通过若干迭代规则的定义及执行,构造一个反映自然对象分形特点的动态过程,从而生成外观极为复杂的几何形体。

1.2 基于fBm的几何造型方法

分形布朗运动(fractal Brown motions, fBm)是通过对布朗运动数学模型的扩展得到的一种自然形体造型方法。1923年德国数学家 N. Wiener 利用统计学规律建立了布朗运动的数学模型^[2,3]和统计自相似性等^[3],它认为布朗运动是在某地连续时间内若干个高斯分布的随机事件累积形成的。1968年 Mandelbrot 和 Van Ness 通过对该模型的分析认为布朗运动具有统计自相似性,并通过引入分形参数 H 将其扩展为分形布朗运动。

设 $X(t)$ 为一维空间上的随机过程,对于任意自变量 t_1, t_2 , 该过程的增量 $\Delta X(t) = X(t_1) - X(t_2)$ 具有高斯分布,而且其方差与自变量之差的 $2H$ 次幂成比例,即有,

$$E(\Delta X(t)) = E[|X(t_1) - X(t_2)|] \propto |t_2 - t_1|^{2H} \quad (1)$$

成立,式中 H 为分形参数,且 $0 < H < 1$,特殊地,当 $H = 0.5$ 时,即为普通的布朗运动。满足以上述关系的随机过程即为分形布朗运动,它具有普通布朗运动的基本属性,如数学模型^[2,3]和统计自相似性等^[3]。

按照 fBm 的定义,若取任意值 t_0 和 $r > 0$, 则随机变量

$$X(t_0 + t) - X(t_0) \quad \text{和} \quad \frac{1}{r^H}(X(t_0 + rt) - X(t_0)) \quad (2)$$

同样具有自相似性,式中 H 为参数,且 $0 < H < 1$ 。为简便起见,令 $t_0 = 0$ 且 $X(0) = 0$, 相应地,有如下两个随机变量:

$$X(t) \quad \text{和} \quad \frac{1}{r^H}X(rt) \quad (3)$$

它们是统计自相似的。其几何意义可以解释为,对随机函数 $X(t)$,用系数 r 进行放缩变换后,再对其振幅用 $\frac{1}{r^H}$ 进行调整,

所得到的新的随机函数 $\frac{1}{r^H}X(rt)$, 与原函数 $X(t)$ 具有相同的

随机分布。这就是说,二者在统计意义上是没有区别的,后者只是对初始函数 $X(t)$ 进行等价变换的结果,它并不改变其几何对象原有的形状特征。利用 fBm 的这一特性,人们构造了多种不同的自然对象生成算法,如白噪音积分法、随机行走法、中点偏移法等,其核心思想就是利用了 fBm 在递归调用过程中的几何不变性。

1.3 用fBm方法生成山脉地形的数据模型

为了构造具有真实感的山脉地形的,本文采用以高维 fBm 方法^[1,2]为基础的空间中点偏移法来构造其几何数据模型。

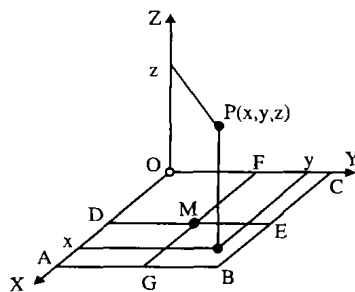


图1 三维中点偏移法原理

如图1所示,在三维空间 $O-XYZ$ 中,选择 XOY 平面上的正方形 $OABC$ 为基平面,设空间点 $P(x, y, z)$ 的水平投影在基本平面内,则其高度坐标 z 即可以用中点偏移法生成。设正方形基平面 $OABC$ 的四个角点处的高度值已知,其值分别为 $Z_{00}, Z_{01}, Z_{11}, Z_{10}$, 则该正方形中心 M 处的高度值 Z_m 可以由四个角点处高度值的平均值加上一个随机扰动求出。即有:

$$Z_m = \frac{Z_{00} + Z_{01} + Z_{11} + Z_{10}}{4} + D_0 \quad (4)$$

式中: Z_m 为正方形基平面中心处的高度值; $Z_{00}, Z_{01}, Z_{11}, Z_{10}$ 分别为基平面四个角点处的高度值; D_0 是中心点处的随机偏移量,其值可按高维 fBm 方法,以迭代方式由式(5)求得,此处 D_0 表示迭代初始值。

$$D_n^2 = \left(\frac{1}{2}\right)^{n \cdot H} \cdot \sigma^2 \quad (5)$$

式中 n 为迭代次数, H 和 σ^2 均为给定参数。

过中心点 M 分别作两组对边的平行线 DE, FG , 即可把正方形等分成四个较小的正方形。为了确定每个小正方形的四个角点处的高度值,还要求出正方形基平面四条边的中点处的高度值 Z_D, Z_E, Z_F, Z_G , 方法与上述过程类似。

经过以上过程,原来的正方形基平面被等分成四个更小的正方形,即在原有的四个已知高度值的基础上,又新生成了五个高度值,这样不仅对基平面进行了细化,同时也增加了三维点元素的密度。多次迭代之后就可以生成具有一定密度、能够反映山脉地形特征的空间点集合,这就是山脉地形的数据模型。

2 用 OpenGL 生成真实感图形的基本方法

2.1 用 OpenGL 生成真实感图形的基本流程

几何对象数据模型真实感图形的显示流程包括了从用户空间到屏幕显示的坐标变换过程,以及为增强真实感效果而采取的消息隐及图形渲染技术。概括来说,坐标变换过程可以划分为从用户坐标系到观察坐标系的变换、剪裁空间的定义及其规格化以及从规格化剪裁空间到规格化图像空间变换等三个主要的环节。OpenGL 提供了一系列库函数来完成数据模型的几何变换过程,只要在程序中调用相应的库函数,并设置适当的参数,就可以方便地完成所需要的变换过程。本文的演示实例中的所有变换过程都是借助 OpenGL 的相应库函

数完成的。详见相关文献[1, 5]。

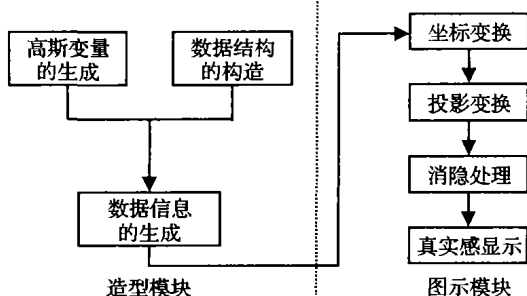


图2 自然对象真实感图形的生成流程

2.2 山脉地形表面法矢的计算

在真实感显示技术中,局部光照模型的建立离不开物体表面的法向矢量,因此,要进行山脉模型的光照模拟必须确定其表面的法向矢量。对于连续可微的表面,欧几里得几何按照微分几何原理已经给出了比较成熟的法向矢量的求取方法,而且 OpenGL 也据此内建了相应的库函数。但是,对于用 fBm 方法生成的山脉地形,由于其表面“处处连续,处处不可微”的分形特性,决定了它是不可微的。因此 OpenGL 内置的法矢计算方法在此不适用,导致光照计算不能正常进行,模拟实验也证明了这一推论。

实际上,在计算机模拟实现的过程中,分形布朗运动所生成的山脉的几何模型,是由三维空间中大量的离散点阵组成的,基于此,本文引入了如下的计算法向量的方法^[2,6]。

设山脉表面上一点为 $P(x_i, y_j, z_{i,j})$, $M(x_{i+1}, y_j, z_{i+1,j})$, $N(x_i, y_{j-1}, z_{i,j-1})$ 分别是与它相邻的点,若令:

$$\left. \begin{aligned} dx &= z_{i,j} - z_{i+1,j} \\ dy &= z_{i,j-1} - z_{i,j} \\ dz &= \frac{1}{N-1} \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

$$r = \sqrt{dx^2 + dy^2 + dz^2} \quad (7)$$

式中, $0 \leq i, j < N$, N 为表示山脉数据模型的二维数组的最大行数,程序中 N 取 256。于是,山脉表面 P 点处的法向量 \vec{n} 为:

$$\vec{n} = \left(\frac{dx}{r}, \frac{dy}{r}, \frac{dz}{r} \right) \quad (8)$$

显然, \vec{n} 为单位向量。用这种方法求出的是每一个顶点处的法向量,据此,可以利用 OpenGL 所支持的光照模型,计算出相应顶点处的光照效果,然后对于相邻的三个顶点所构成的三角形平面,采用线性插值技术进行平滑着色处理,从而生成具有光照效果的山脉地形图。经验证,这种方法用于山脉表面的光照计算其效果较为理想,如图 3 所示。

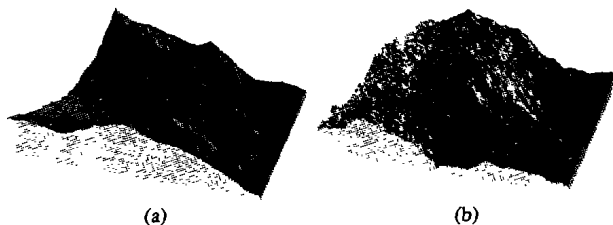


图3 在不同材质、光照参数下的山脉地形对比

2.3 山脉地形的材质定义和光照处理

消隐、材质和光照处理是真实感显示技术的核心,对此

OpenGL 都给出了相应的实现函数。对于消隐处理 OpenGL 采用了常用的 Z-buffer 技术,其调用过程较直观,此处不再赘述。仅对材质定义和光照处理作详细说明。

在图形的真实感显示技术中,材质和光照是相对应的,前者反映了几何对象对光的反射特性,后者则代表了投射到相应表面上的光的特征。对具体的计算过程 OpenGL 已经给出了相应的函数实现,用户只需进行简单的参数设定和函数调用即可。这一过程对于材质定义和光照设置是基本相同的。

OpenGL 对于材质的属性定义用数组表示,在本文的山脉地形显示中其默认值如下:

```
GLfloat m_materialAmb[4] = {0.2, 0.2, 0.2, 1.0};
GLfloat m_materialDif[4] = {0.8, 0.8, 0.6, 1.0};
GLfloat m_materialSpe[4] = {1.0, 1.0, 0.0, 1.0};
GLfloat m_matShininess = 10.01;
```

其中,前三个为数组,每个数组对应着一种光照类型,每个数组中的前三个元素分别规定了物体对该类型光照中红、绿、蓝三种分量的反射率,第四个元素反应了材质的透明度。变量 $m_matShininess$ 则说明了物体的反光度。完成材质属性定义之后,通过调用相应的函数将其赋予相关的表面,具体如下:

```
glMaterialfv(GL_FRONT, GL_AMBIENT, m_materialAmb);
//环境光的反射率
glMaterialfv(GL_FRONT, GL_DIFFUSE, m_materialDif);
//漫反射光的反射率
glMaterialfv(GL_FRONT, GL_SPECULAR, m_materialSpe);
//镜面反射光的反射率
glMaterialfv(GL_FRONT, GL_SHININESS, m_matshininess);
//反光度的设定
```

函数 $glMaterialfv()$ 有 3 个参数,第一个参数指定材质的表面类型,第二个参数表明与材质相对应的光源类型、反光度等,第三个参数指定相应材质的反射率,即上述的材质参数值及反光度等。

与材质定义类似,光照设置也是从属性设定开始的。其定义数组及默认值如下:

```
GLfloat m_lightAmb[4] = {0.2, 0.2, 0.2, 1.0};
GLfloat m_lightDif[4] = {0.8, 0.8, 0.7, 1.0};
GLfloat m_lightSpe[4] = {1.0, 0.5, 0.5, 1.0};
GLfloat m_lightPos[4] = {1.0, 1.0, 1.0, 1.0};
```

上述前三个数组,分别定义了三种不同的光照类型,其中数组的前三个分量分别表示红、绿、蓝三种颜色的分量,第四个元素表示该光照的 Alpha 值。第四个数组则定义了光源的方向/位置矢量(前三个分量)和光源类型(第四个分量)。详见文献[4]。

光源属性设定完成后还要通过调用函数 $glLight()$ 和 $glEnable()$ 来进行光源的生成和激活操作。格式如下:

```
glLightfv(GL_LIGHT0, GL_AMBIENT, m_lightAmb);
//定义第 0 号光源的环境光部分
glLightfv(GL_LIGHT0, GL_DIFFUSE, m_lightDif);
//定义第 0 号光源的漫反射光部分
glLightfv(GL_LIGHT0, GL_SPECULAR, m_lightSpe);
//定义第 0 号光源的镜面反射光部分
glLightfv(GL_LIGHT0, GL_POSITION, m_lightPos);
//定义第 0 号光源的位置或方向
```

函数 `glLight()` 带有三个参数,第一个参数代表光源序号,第二个参数说明了光照类别,第三个参数是一个数组的地址,与上述的光源属性信息相对应。

光源的激活由 `glEnable()` 函数完成,它只有激活和关闭两个状态,由其布尔型的参变量控制,即:

```
glEnable( GL_LIGHTING);           //激活光照系统
glEnable( GL_LIGHT0);             //关闭光照系统
```

3 实例验证

本文开发了一个基于VC++ 6.0平台和OpenGL的MFC应用程序,实现了山脉地形和云彩图案的生成和显示过程。为了考察材质、光照等因素对山脉地形真实感显示效果的影响,程序采用了交互式参数设置模式。

对比研究表明,山脉地形的形状主要由fBm算法中的分形因子H决定,而材质和光照参数的改变则可生成具有不同色调和植被效果的场景,如图3所示。

借助OpenGL的图形显示功能,本文还探讨了以fBm为基础,生成二维云彩图案的技术。通过将高度坐标直接映射成颜色值的方法,我们得到了形态自然的云彩图案,如图4所示。具体过程见文献[1]。

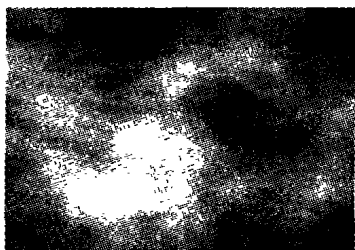


图4 云彩图案示例

4 结语

自然对象形状的不规则性,一直是真实感图形显示技术致力模拟的基本对象之一,同时也是其所面临的技术难题之一。分形几何为描述这种不规则的几何对象开辟了新的思路,也为其真实感图形的生成提供了新的契机。这方面的研究已经成为计算机图形学研究的新热点,本文仅是在这一方面所做的初步尝试,下一步工作是在图形的可控性和动态化进行研究,使其能够直接服务于工程应用之中。作为图形显示技术经年研究的重要结晶,OpenGL为生成几何对象的真实感图形提供了坚实的平台,本文的实践证明,尽管它在用于具有分形特征的几何对象的真实感图形生成过程中会遇到一些技术问题,但通过相应的处理是可以解决的,OpenGL同样可以为分形对象的真实感图形生成提供强有力的支持。

参考文献:

- [1] 秦忠宝. 用fBm方法生成自然对象真实感图形的研究[D]. 西北工业大学硕士学位论文, 2001.
- [2] BARNESLEY MF, DEVANEY RL, MANDELBROT BB. The Science of Fractal Images[M]. Springer-Verlag, 1988.
- [3] 谢和平, 薛秀谦. 分形应用中的数学基础与方法[M]. 北京: 科学出版社, 1998.
- [4] 向世明. OpenGL编程与实例[M]. 北京: 电子工业出版社, 1999.
- [5] 彭群生, 鲍虎军, 金小刚. 计算机真实感图形的算法基础[M]. 北京: 科学出版社, 1999.
- [6] MUSGRAVE FK, KOLB CE, MACE RS. The Synthesis and Rendering of Eroded Fractal Terrains[J]. Computer Graphics, 1989, 23(3).
- [7] 李旭涛, 曹汉强, 赵鸿燕. 分形布朗运动模型及其在地形分析中的应用[J]. 华中科技大学学报(自然科学版), 2003, 31(5).
- [8] 胡泊, 吴慧中. 虚拟场景中自然景物的真实感与实时性的研究[J]. 系统工程与电子技术, 1999, 21(7).

(上接第198页)

于HTTP内容的缓存和服务。因此在遇到需要加速网页内容时,需要部署专用的缓存服务器;

2) 在流媒体服务过程中,缓存服务器支持“部分缓存功能”,并且能支持“存储转发”方式,即在从源服务器获得内容存储本地硬盘的同时,向用户提供服务。

4.2 基于PC服务器的软件内容引擎的特点

1) 目前,受Windows Media、Real的限制,软件加PC服务器实现的内容引擎在内容不命中情况下,可以采取将服务重定向回源服务器;或采用“pass-through”方式,再开启一条连接到源服务器获得内容存储于本地;

2) 软件加PC服务器实现的内容引擎无法支持“部分缓存”,因此需要配置较多的存储空间保证服务的效率;

3) 软件加PC服务器实现的内容引擎具有优秀的性价比;

4) 软件加PC服务器实现的内容引擎对网络状况的适应性更好,提供质优价廉的服务;

5) 软件加PC服务器实现的内容引擎能针对不同的应用提供边缘服务的资源控制(服务能力、存储空间)能力;

6) 软件加PC服务器实现的内容引擎能够提供完善、方便的内容/应用访问状况、实时用户控制等服务状况的查询、监控以及控制能力。

5 结语

CDN技术大大提高了终端用户的访问速度。基于CDN网络基础上的宽带服务平台实现了3个核心功能:用户就近访问、授权内容控制、全局负载均衡。作为一个完整的系统,其提升访问速度,提高服务质量的空间还很大,还有待进一步完善和发展。

参考文献:

- [1] 赵问道. 基于网络拓扑的CDN内容路由技术研究[J]. 浙江大学学报, 2004, 38(4): 414-419.
- [2] Hosanagar K, Krishnan R, Smith M, et al. Optimal Pricing of Content Delivery Network (CDN) Services[R]. Hawaii: Proceedings of the 37th Hawaii International Conference on System Sciences. IEEE 2004
- [3] RIZZO L, VICISANO L. Replacement Policies for a Proxy Cache[M]. IEEE/ACM Transactions on Networking, 2000, 8(2).
- [4] 李子木, 吴建平, 李星. Internet高速内容分送网络的研究[R]. 北京: 清华大学, 2000.
- [5] 谢希仁. 计算机网络[M]. 大连: 大连理工大学出版社, 2000.
- [6] 上海信息产业有限公司. 宽带内容平台技术基础[J]. 电信建设, 2002, (3).