

虚拟现实三维仿真地形的生成

Generating of Simulate 3D Terrain of Virtual Reality

(河北建筑工程学院) 李耀辉, 周丽莉

LI Yaohui, ZHOU Lili

摘要: 本文讨论了基于分形布朗运动的地形生成算法, 根据此算法编制程序绘制了三维真实感图形, 并实现了虚拟漫游。应用该算法生成的地形, 具有较好的真实感, 绘制速度较快, 适用于虚拟现实中各种虚拟场景的创建。

关键词: 虚拟现实; 分形布朗运动; 地形

中图分类号: TP391

文献标识码: A

Abstract: This paper discussed an algorithm of generating 3D terrain based on the Fractional Brownian Motions. The computer program based on this algorithm render the real sense 3D image and the way of virtual tour in 3D terrain is built. The algorithm can render terrain image quickly, meeting the construction of virtual scene.

Keywords: virtual reality; fractional brownian motions ; terrain

一、引言

虚拟现实(Virtual Reality, 简称VR)^[1]是在信息科学的飞速发展诞生的, 是一种高度逼真地模拟人在自然环境中视、听、动等行为的人机界面技术, 是一种可以创建和体验虚拟世界的计算机系统。虚拟现实是一种由计算机和电子技术创造的新世界, 是一个看似真实的模拟环境。尽管该环境并不真实存在, 但它作为一个逼真的三维环境, 仿佛就在我们周围。它融合了数字图像处理、计算机图形学、多媒体技术、传感器技术等多个信息技术分支, 从而大大推进了计算机技术的发展^[2]。虚拟现实技术在各行各业的应用具有很大的潜力和十分广阔的前景。

随着仿真技术和虚拟现实应用需求的不断提高, 具有真实自然视觉效果的虚拟环境建模技术将变得越来越重要。实体建模是虚拟现实技术的核心内容。其中, 自然景物的建模, 如生成地形、植物、云、火、海浪等, 比人造物体的仿真要复杂得多。自然景物的建模与绘制便成为计算机图形学中的一个研究热点和难点。欧氏几何建模方法是最常用的方法, 但它仅适用于表面平滑、形状规则的物体, 对于自然景物无法进行真实的描述和模拟。自然景物具有两个基本特征, 即景物表面的每点处都有无限的细节; 物体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。分形集合具有细节无限以及统计自相似性的典型特性, 它用非线性函数的迭代算法使复杂的景物可用简单的规则来生成^[3]。在现代的计算机图形学中, 分形几何在对自然现象的真实绘制和建模方面起着重要作用。

在模拟飞行器的视景仿真、三维游戏等系统中, 三维地形的生成和显示是非常重要的。本文利用分形几何中分形布朗运动理论, 生成了具有分形特性的三维仿真地形模型, 并在VC6.0平台上结合OpenGL实现了该模型, 并且实现了对地形的虚拟漫游, 模拟运动时前进、后退、左转、右转、上升、下降等视景的变化。

二、分形布朗运动

分形几何学是一门以非规则几何形态为研究对象的几何学。分形几何关注的是物体的随机性、奇异性和复杂性。分形是通过变换与迭代的过程得到描述自然形态的有效的方法, 是当前描绘不规则几何形态的有力工具之一。传统建模方法需要大量的存储空间, 而分形建模可用少量简单的指令集生成复杂图像, 保存建立图像的递归指令而不是保存图像本身, 可以

大大节省存储空间。

地形建模是自然景物建模中很重要的一类，许多分形地景建模都与分形布朗运动（Fractional Brownian Motions, 简称 FBM）这一数学模型有关。分形布朗运动是现代非线性时序分析中的重要随机过程，它能有效地表达自然界中许多非线性现象，也是迄今为止能够描述真实地形的最好的随机过程。

布朗运动是以英国植物学家布朗（Robert Brownian）命名的。布朗在 1827 年发现浮在液面上的微粒产生极不规则的运动。这种运动是一种随机运动，微粒的运动方向是随时改变的，其运动轨迹是一条无规则的折线，不受什么约束和支配。1923 年，德国数学家 N. Wiener 通过统计学规律分析，认为布朗运动是一个随机过程。它可以分解成一系列相互独立的高斯随机变量的累加。在某一连续时间范围内，若干个高斯分布的随机事件的积累可以形成布朗运动，从而建立了布朗运动的数学模型。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的差成比例，即有下式成立：

$$E(\Delta X(t)) = E(X(t_1) - X(t_2)) \propto |t_1 - t_2|$$

这就是布朗运动数学模型。

20 世纪 60 年代，Mandelbrot 和 Ness 通过对布朗运动的扩展，提出了分形布朗运动的概念和模型，从而为分形理论的产生奠定了基础。分形布朗运动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。

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，即有下成立：

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

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。满足上述关系的随机过程即为分形布朗运动。

上述分形布朗运动的模型也可以扩展到高维的空间。设多维随机过程 $X(t_1, t_2, \dots, t_n)$ ，其中 $t_i (i=1, 2, \dots, n)$ 为自变量。如果它具有以下性质：

(1) 增量 $\Delta X = X(t_1, t_2, \dots, t_n) - X(s_1, s_2, \dots, s_n)$ 是服从高斯分布的随机变量，且均值为零。其中 $t_i, s_i (i=1, 2, \dots, n)$ 为自变量。

(2) 增量的标准偏差 σ_X 、点对间的距离 T_s 满足关系： $\sigma_X \propto T_s^{2H}$ ，其中 $T_s = \sqrt{\sum_{i=1}^n (t_i - s_i)^2}$ ，

H 为分形参数， $0 < H < 1$ 。

满足以上两点的随机增量 ΔX 构成的随机过程就是多维分形布朗运动。函数 $X(t_1, t_2)$ 可被用来逼真地模拟自然场景。

三、地形生成算法

由于现实自然景物的复杂性，真实模拟自然景物的计算量还是很大的，因此特别需要探索出一些高效的算法，尤其在虚拟仿真系统中，通常希望产生实时动画的效果，因此算法的效率更显重要。中点位移法易于实现，且运行速度较快，是一种常用的分形算法。此方法常用的细分方案是三角形边线细分法。该细分法就是将三角形各边中点连接起来，这样一个三角形就变成了四个小三角形。三角形边线细分法后在各中点上增加一个高斯随机变量。由于各相邻三角形间没有信息传递，因此这是一种与细分操作前后无关的方法。这就导致了地景表面留有不自然的线型轨迹，并且不能通过局部平滑去除，即所谓的“折痕问题”。为了消

除折痕，我们提出了改进的随机中点位移法。

为模拟随机地形，根据二维分形布朗运动的思想，我们需要一个二维数组 $array[i, j]$ ，按分形方法对数组赋值，此数值用来表示高度值，它是将水平面坐标 (x, y) 映射为高度 z 。数组只需保存高度值 z 。水平面坐标 x 和 y 可以在分析数组时即时生成。

假定数组为空，首先对数组四个角的元素赋值，即给 $array[0, 0]$ 、 $array[0, i-1]$ 、 $array[i-1, 0]$ 、 $array[i-1, i-1]$ 赋值，这是初始高度值。然后执行下列过程：

1. 产生一个随机量。

2. 对所有赋过值的相邻四个点组成的正方形，对正方形的中心元素赋值，所赋的值为正方形四个顶点元素的平均值加上随机量。

3. 对每个正方形每条边的中点元素赋值，所赋的值为与此元素相邻已赋过值的数组元素的平均值加上随机量。

4. 让随机量乘以 2^{-H} ， $0 < H < 1$ 。

5. 重复执行2, 3, 4，直到数组所有元素均被赋值。

算法中的 H 可以决定分形结果的粗糙程度。如果需要，可以通过减小 H ，使表面更粗糙。数组中的值可看作是高度值，用这些高度值就可以绘制地形。通过后面的实例验证，用上述算法生成的地形可以有效的消除折痕问题。

四、实现过程

本论文的程序是在 VC6.0 下调用 OpenGL 实现的。OpenGL (OpenGraphicLibrary, 开放性图形库) 是目前比较完善的三维图形标准，已被广泛的用于可视化技术、实体造型、C A D / C A M、模拟仿真等诸多领域。OpenGL 是一个包含 120 多个图形函数的图形库，并没有窗口函数，它缺乏面向对象能力，不符合当前流行的软件设计思想。因此我们需要借助一个“窗口”系统来完成 OpenGL 三维图形的制作^[4]。VC++ 中的 MFC 包含了强大的基于 Windows 的应用框架，提供了丰富的窗口和事件管理函数，已经成为当前一种比较流行的工作平台。于是我们使用 MFC 调用 OpenGL 函数来实现三维图形的制作。

在 OpenGL 支持下，经过分形模型构造、消隐、设置光照模型等一系列函数的调用，即可模拟出具有初步真实感的地形，与现实世界中的真实地形相比，其表面细节带有很大的手工痕迹，真实感有待提高。为使图形更加生动、逼真，在此基础上，本程序通过 OpenGL 提供的纹理映射技术功能把数字化图像与地形模型进行融合，对表现物体的颜色、质感起了关键性的作用，进一步提高了地形的表现力，增强了地形的真实感。纹理映射是一个相当复杂的过程，最基本步骤有定义纹理、控制滤波、说明映射方式、绘制场景，给出顶点的纹理坐标和几何坐标^[5]。生成的效果图如图 1 所示。

很多系统需要对生成的场景进行虚拟漫游，就是对三维场景进行实时的浏览。人可以利用人机交互设备不受限制的控制漫游方向和角度。实现虚拟漫游的关键技术就是坐标变换技术。在三维分形地形中的虚拟漫游实际上就是坐标平移与坐标旋转的有机结合^[6]。每一个动作，如前进、后退、左转、右转、上升、下降等，都是当前坐标矩阵



图 1 分形地形

与平移或旋转矩阵相乘的结果。本程序用键盘的光标键表示各种动作。按 left 键、right 键时，表示左转、右转；按 up 键、down 键时，表示前进、后退；按 home 键、end 键时，表示上升、下降。在绘制场景时，改变函数 `glTranslatef()`、`glRotatef()` 的相应参数，实现坐标变换。OpenGL 支持双缓冲区，一个显示缓冲和一个非显示缓冲，双缓冲使图象转换更平滑。所有的 OpenGL 绘制命令在非显示缓冲中绘制，绘制完成后，使用 `SwapBuffers()` 函数将其内容拷贝到显示缓冲区中。当用光标键控制运动时，本程序可以实现非常流畅地动画效果。

五、结束语

本论文的研究侧重于虚拟现实中的图形图像处理，对三维地形的自动生成和绘制技术做了有益的探索。本文分析了分形布朗运动的数学模型，提出了一种改进的随机中点位移法，消除了折痕问题。根据此算法，我们在 windows 操作系统下，用 VC6.0 平台结合 OpenGL 图形库绘制了三维地形场景。本文的创新之处在于对传统的随机中点位移法进行改进，结合纹理贴图技术，将位图贴于地形表面，使图形渲染速度快，输出的场景真实感更强，并通过键盘模拟各种动作，实现了对此三维场景的虚拟漫游，使整个地形场景更富于沉浸感和真实感，仿真效果非常好。

参考文献

- [1] 黄心渊 编著. 虚拟现实技术与应用. 北京: 科学出版社, 1999, 7
- [2] 刘浩, 戴居丰, 杨磊等. 虚拟现实技术及其应用研究. 微计算机信息, 2005, 21 (1): 200-201
- [3] 谢和平, 薛秀谦. 分形应用中的数学基础与方法. 北京: 北京科学出版社, 1997
- [4] 匡天君, 滕远道, 王乘, 徐明毅. 基于 MFC 和 OpenGL 三维图形的开发. 微计算机信息, 2004, 20 (6): 115-116
- [5] 吴斌, 段海波, 薛凤武. OpenGL 编程权威指南. 中国电力出版社, 2001, 8
- [6] 张鑫, 王琰. 三维地形的分形构造及其虚拟漫游. 沈阳工业学院学报, 2002, 21 (4): 25-27

作者简介: 李耀辉, 男(1971-), 硕士研究生, 讲师, (河北建筑工程学院计算机系, 075000), 主要研究方向: 虚拟现实, 人工智能. E-mail: lyhfirst@163.com。

Author brief introduction: Li Yaohui, Male(1971-), Postgraduate, instructor, (Computer Science Department, Hebei Institute of Architecture & Civil Engineering, Zhangjiakou, China, 075000), majoring in virtual reality, artificial intelligence. E-mail: lyhfirst@163.com. Tel: 0313-2018146.