

# 基于噪声的树叶自然运动模拟技术研究

林艳梅,何东健

(西北农林科技大学 信息工程学院,陕西 杨凌 712100)

**[摘要]** 为实现叶子在风中具有真实感的运动虚拟,探讨了叶子的几何模型和基于  $1/f$  噪声的单片树叶的自然运动模拟方法,即将叶柄和叶片分别近似为圆柱体和多边形,用实际叶面图像通过纹理映射得到叶子形态结构模型;在分析分形布朗运动的基础上,用  $1/f$  噪声模拟自然风,并因此控制叶柄与叶片的运动。虚拟结果表明,该技术很好地表现了树叶运动的整体性和真实感。提示基于噪声的模拟技术,可用于树叶自然运动的模拟。

**[关键词]** 树叶;运动虚拟; $1/f$  噪声;纹理映射技术

**[中图分类号]** TP391.9

**[文献标识码]** A

**[文章编号]** 1671-9387(2007)08-0193-04

## Research on natural movement simulation of leaf based on noise

LIN Yan-mei, HE Dong-jian

(College of Information Engineering, Northwest A & F University, Yangling, Shaanxi 712100, China)

**Abstract:** To simulate the real motion of leaf in the wind, this paper discussed the geometric model of leaf and the natural motion simulation method of individual leaf based on  $1/f$  noise, the morphological model of leaf was made by approximating leafstalk and laminae to cylinder and polygon and applying Texture Mapping to actual leaf image; the natural wind was simulated with  $1/f$  noise to control the motion of leafstalk and laminae based on analysis of fractal Brownian motion. The simulation result indicates that the technique displays the integrity and reality of leaf's motion nicely. It is show that the technique based on noise can be applied to natural morvment simulation of leaf.

**Key words:** leaf; motion virtual;  $1/f$  noise; texture mapping technique

虚拟树木是自然景物模拟中最诱人的研究领域之一。在园林景观设计、社区规划、城市建设中,若能逼真地实现自然效果的树木摆动虚拟,将使人置于较强真实感的虚拟环境中。但迄今为止,对树木虚拟的研究大多注重于树木形态结构的模拟<sup>[1-2]</sup>,而对树叶的模拟多集中在其静态形式的外形构造上,对树叶运动模拟的研究甚少。Feng J H 等<sup>[3]</sup>基于物理的方法,将叶子的运动分解为叶柄和叶面的旋转叠加,实现了树叶运动的模拟;Wejchert 和 Haurmann<sup>[4]</sup>也应用物理的方法,通过 4 种简单流体单元

设计并控制风的流动,模拟了树叶在风中的飘舞,但基于物理的方法使其的实现较为繁琐且耗时。Shio Ota 等<sup>[5]</sup>提出了一种基于噪声的运动模拟方法,通过随机和模拟相结合实现树木在风场中的摇曳,但其应用傅立叶变换产生噪声函数模拟风场,计算代价较大。为此,本文在文献[5]的基础上,应用 OPENGL 纹理映射技术构造叶片模型,采用计算代价较小的分形布朗运动模拟风场,研究实现较强真实感的树叶自然运动的模拟方法,从而为自然景物的动态模拟提供参考。

**[收稿日期]** 2006-08-29

**[基金项目]** 陕西省自然科学基金项目(2004D12)

**[作者简介]** 林艳梅(1982-),女,山西临县人,在读硕士,主要从事虚拟现实、生物图像处理与识别研究。

**[通讯作者]** 何东健(1957-),男,陕西西乡人,教授,工学博士,博士生导师,主要从事图像分析与识别、智能化检测与控制、多媒体技术网络应用及虚拟现实技术应用研究。

## 1 树叶的模拟

大自然中树叶的种类不计其数,在风场中的运动情况也不尽相同,因此,树叶模拟具有不确定性。但考虑到有些树叶相对于整棵树木甚至于整个森林是微小的,所以本文以叶面较大的山茱萸科的落叶乔木毛茛叶片为研究对象。如图 1 所示,毛茛叶片呈阔椭圆形至阔卵形,长 6~13 cm,宽 3~9 cm,灰绿色;叶柄长 2~6.5 cm。在实现过程中,将叶子分为叶柄和叶片两个部分,分别建立模型。

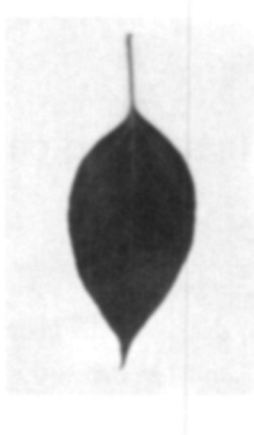


图 1 毛茛树叶的形态特征

Fig. 1 Leaf characteristic of cornus walteri

### 1.1 叶柄模拟

毛茛叶柄呈近似长圆柱体,由其尺寸可知叶柄的模拟不容忽略。对于叶柄的模拟,本研究采用 OpenGL 实用库中的二次曲面绘制工具——圆柱生成函数 gluCylinder (GLUQuadricObj \*qobj, Gdouble baseRadius, Gdouble topRadius, Gdouble height, Gint slices, Gint stacks) 来实现。其中,qobj 为二次对象;baseRadius 为圆柱底面圆半径;topRadius 为圆柱顶面圆半径;slices 和 stacks 为绘制的精度。

在具体的模拟过程中,将不与叶片相接的叶柄一端固定,而令其与叶片相接的一端随叶片一起运动,以实现叶片运动的形象模拟。

### 1.2 叶片模拟

叶片运动模型的建立采用边界描点和纹理映射相结合的方法。将采集的毛茛叶片放在坐标纸上描出边界点,得到边界点序列;用扫描仪扫描毛茛叶片得到叶片自然纹理图像。应用 OPENGL 纹理映射技术,将叶片的自然纹理图像映射到由叶片边界组成的封闭曲线中,便可得到叶片模型。

由于叶片表面的不规则性,可将其看作是  $N$  边形,对影响其外形的关键点进行采样,指定其几何坐

标并计算其所对应的纹理坐标,确定纹理和片元之间的对应关系<sup>[6]</sup>,即得到了较为逼真的叶片模型。

该建模方法对树叶的模拟具有广泛的适用性。与常用的加载 TGA 格式图像进行纹理映射的建模方法相比,该方法更加精确,模拟的效果更加逼真。

## 2 叶子运动模拟

### 2.1 分形布朗运动(Fractional brownian motion, FBM)

宇宙万物绝大部分不是有序的、线性的、稳定的和平衡的,而是混沌的、非线性的、非稳定和涨落不定的。也就是说,宇宙充满了分形。在大量自然现象和社会现象中存在着一类随机过程,它们具有如下特性:在时域或空域上有自相似性和长时相关性;在频域上,其功率谱密度在一定频率范围内基本符合  $1/f$  多项式衰减规律。功率谱密度函数是描述这些信号数据最重要的参数,不同频率  $f$  对应的功率谱密度大小反映了某一周期信号的强弱。利用快速傅立叶变换(FFT)即可得到离散信号的功率谱密度函数  $S(f)$ 。根据  $S(f)$  和频率  $f$  在双对数坐标上的  $S(f)$  图像,可将自然界中的噪声划分为白噪声、 $1/f$  噪声和布朗噪声 3 种。其中,布朗噪声(又称分形布朗运动)模型具有自相似性、非平稳性两个重要性质,是许多自然现象和社会现象的内在特性,故其应用最为广泛。因此,拟采用分形布朗运动模拟自然风实现树叶的自然运动。

2.1.1 分形布朗运动的定义 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。

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  $X(t) = X(t_1) - X(t_2)$ ,属于高斯分布,而且其方差与自变量之差的  $2H$  次幂成比例,即有式(1)成立:

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

式中: $H$  为 Hurst 指数,且  $0 < H < 1$ ;var 为方差。满足以上关系的随机过程,称为分形布朗运动。

在一维分形布朗运动中,分形维数  $D_H = 2 - H$ ,布朗系数  $= 2H + 1$ 。

2.1.2 分形布朗运动的生成方法 分形布朗运动的生成有多种方法,最具代表性的有泊松阶跃法(Poisson faulting, PF)、Weierstrass-mandelbrot 随机函数法(W-M)、逆傅立叶变换法(Inverse fourier transformation, IFT)、中点位移法(Mid-point dis-

placement,MPD)、逐次随机增加法(Successive random addition,SRA)等。其中泊松阶跃法、W-M法和逆傅立叶变换法由于计算代价太大而很少应用,目前应用较多的是中点位移法和逐次随机增加法等。

本文采用随机中点位移法来实现分形布朗运动,它实际上是一种直接模拟FBM曲线或者曲面的方法,计算量小并且易于实现。

随机中点位移法是对线段中点处高度进行位移,将位移的高度值作为该中点值,然后将分割的线段再细分出中点,并加以中点偏移,如此反复,直至达到预定的迭代层数。迭代第一步的计算概括为:

$$X(\frac{1}{2}) = \frac{1}{2} [X(0) + X(1)] + \epsilon_1; \tag{2}$$

则第  $n$  步为:

$$X(\frac{1}{2^n}) = \frac{1}{2} \left[ X(0) + X(\frac{1}{2^{n-1}}) \right] + \epsilon_n. \tag{3}$$

式(2)、(3)中: $X(t)$ 为某一均值为0,方差为 $c^2$ 的随机变量样本,且 $X(0) = 0$ ;  $\epsilon_1, \dots, \epsilon_n$ 为高斯随机扰动,即中点偏移量。

由式(1)可得:

$$\text{var}[X(t_2) - X(t_1)] = |t_2 - t_1|^{2H}. \tag{4}$$

其方差性质为:

$$\text{var}(cx) = c^2 \text{var}(x), \tag{5}$$

$$\text{var}(X + Y) = \text{var}(X) + \text{var}(Y). \tag{6}$$

式中: $c$ 为常数; $X, Y$ 为相互独立的随机变量。

根据以上方差性质,由式(3)得:

$$\epsilon_n = X(\frac{1}{2^n}) - \frac{1}{2} X(\frac{1}{2^{n-1}}). \tag{7}$$

由式(4)、(5)、(6)和(7)可得:

$$\begin{aligned} \text{var}(\epsilon_n) &= \text{var} \left[ X(\frac{1}{2^n}) - \frac{1}{2} X(\frac{1}{2^{n-1}}) \right] = \\ &= \text{var} \left[ X(\frac{1}{2^n}) \right] - (\frac{1}{2})^2 \text{var} \left[ X(\frac{1}{2^{n-1}}) \right] = \\ &= (\frac{1}{2^n})^{2H} (1 - 2^{2H-2}). \end{aligned} \tag{8}$$

由式(8)得到了中点偏移量的方差值在迭代的每一步中随分形参数 $H$ 的变化情况,即实现了分形布朗运动的模拟。

## 2.2 树叶的运动

树叶的运动包括叶片和叶柄的运动,两者的有效合成可以模拟树叶的实时运动。

2.2.1 叶片运动的模拟 叶片的运动可以分解为水平方向、垂直方向及绕叶柄旋转3种运动。本文应用 $1/f$ 噪声模拟自然风以实现对其运动的控制。

首先,在世界坐标系中给定叶子一个初始状态,包括位置和方向。再确定叶子的局部坐标系,为方便对叶片进行运动模拟,以叶柄的基部点作为其局部坐标系的原点,将与叶面垂直的方向作为 $Y$ 轴,将与叶面平行且垂直于叶柄的方向设为 $X$ 轴。

叶片水平方向和垂直方向的运动都进一步分为旋转和位移两类,可通过在初始状态下给定系列旋转角度、位移变化来实现。具体为:

旋转运动:设 $x(t)、y(t)$ 分别为 $t$ 时刻 $X、Y$ 方向的运动角度。则 $x(t)、y(t)$ 可表示为:

$$x(t) = W_x N_x(t); \tag{9}$$

$$y(t) = W_y N_y(t). \tag{10}$$

式中: $W_x、W_y$ 分别为 $X、Y$ 方向的最大运动角(rad); $N_x(t)、N_y(t)$ 分别为 $t$ 时刻 $1/f$ 噪声函数值。

位移运动:树叶在风中运动的位移是叠加在树枝运动基础上的,可以理解为树枝的位移与局部坐标系下树叶运动的总和。在此只讨论叶片在局部坐标系下 $X、Y$ 方向的位移 $S_x(t)、S_y(t)$ ,有

$$S_x(t) = D_x N_x(t); \tag{11}$$

$$S_y(t) = D_y N_y(t). \tag{12}$$

式中: $D_x、D_y$ 分别为 $X、Y$ 方向的最大位移, $N_x(t)、N_y(t)$ 分别为 $t$ 时刻的 $1/f$ 噪声函数值。

叶片绕叶柄的旋转运动在实际风场中是非常重要的,通过观察可以发现,叶片绕叶柄旋转时还与 $X$ 轴方向的运动有关联,即螺旋角度。在叶片绕叶柄旋转中加入螺旋角度,可以形象地模拟出叶片运动过程中的衰减(图2)。



图2 螺旋角度对叶片水平运动模拟效果的影响

a. 未加入螺旋角度;b. 加入螺旋角度

Fig.2 Simulation influence of helix angle on horizontal motion of leaf

a. Without helix angle ;b. With helix angle

所以,由以上分析可知,叶片绕叶柄的旋转运动 $R(t)$ 可以表示为:

$$R(t) = W_R N_R(t) + a_x x(t). \tag{13}$$

式中:  $R(t)$  为  $t$  时刻叶片绕叶柄旋转的运动角度;  $W_R$  为最大旋转角(rad);  $N_R(t)$  为  $t$  时刻的  $1/f$  噪声函数值;  $a$  为叶片绕叶柄旋转的方向与  $X$  轴的关联度<sup>[5]</sup>。

2.2.2 叶柄运动的模拟 在实时模拟中,叶柄与叶片协调一致的运动模拟是不容忽略的。在 OPENGL 中可以简单地实现叶柄与叶片的同步运动。设置了运动的语句之后所有的物体都将按指定的运动方式运动,直到再次调用模型变换函数重新设置变换模型为止。

### 3 模型相关参数的分析与验证

树叶的自然运动模拟与噪声函数及给定的最大旋转角度和最大位移量有关。对于由分形布朗运动生成的噪声函数,通过赋予不同的值及不同的周期与相位,可以得到不同的分形布朗运动,继而实现不同风力作用下树叶的自然运动。试验表明:

(1) 当值越大,分形布朗运动波动越平缓,树叶的自然运动模拟也就越缓和,反之则越激烈。当噪声函数的周期、相位越大,分形布朗运动的波动越大,树叶自然运动模拟的幅度就越大,反之则越小。

(2) 对树叶运动的 3 个方向的噪声函数,给定不同的值、周期与相位,树叶的自然运动模拟更接近于真实效果。

(3) 用给定的最大旋转角度和最大位移量,可以控制树叶自然运动模拟的极限值。

### 4 结论

(1) 应用 OPENGL 的纹理映射技术,将叶片的

自然纹理图像映射到由叶片边界组成的封闭曲线中,可得到较真实的叶片模型;

(2) 采用随机中点位移法,可方便、快速地产生  $1/f$  噪声函数;

(3) 树叶的自然运动模拟与噪声函数、给定的最大旋转角度和最大位移量有关。通过对树叶运动的 3 个方向的噪声函数给定不同的值、周期与相位值,可以实现更形象的树叶自然运动的模拟。

本文仅实现了阔叶树树叶的自然运动模拟,对于针叶树树叶运动的模拟尚待进一步研究。

致谢:在研究中,日本岩手大学的千叶则茂教授和藤本忠博副教授提供了宝贵资料,特表谢忱。

### [参考文献]

- [1] Mech R, Prusinkiewics P. Visual models of plants interacting with their environment[M]. Proceedings of SIGGRAPH '96, ACM SIGGRAPH Computer Graphics. [s. l.]: [s. n.], 1996: 397-410.
- [2] 严涛,陈彦云,吴恩华.一种基于单幅图像的树木深度估计与造型方法[J].计算机学报,2000,23(4):386-392.
- [3] Feng J H, Chen Y Y, Yan T, et al. Physically-based simulation of leaves' movement[M]. Proceedings of CAD/CG '99. Shanghai: [s. n.], 1999: 1229-1233.
- [4] Wejchert J, Haumann D. Animation aerodynamics[J]. Computer Graphics, 1991, 25(4): 19-22.
- [5] Shin O, Machiko T, Tadahiro F, et al. A hybrid method for real-time animation of trees swaying in wind fields[J]. The Visual Computer, 2004, 20: 613-623.
- [6] Dave S, Mason W, Jackie N, et al. OpenGL programming guide: the official guide to learning OpenGL [M]. 4Ed. MA: Addison-Wesley, 1999.