

基于 B 样条曲线的植物模型建立方法

周文利

(台州职业技术学院 台州 318000)

摘 要 本文分析了植物模型的结构,尝试通过 B 样条曲线曲面来描述植物的终端节点,并分析了采用这种描述结构时的植物生长模型和 wind 模型的可能性,植物的生长模型主要通过模拟生态过程,即植物的终端节点通过光合作用产生的能量和能量对植物生长的影响等关系来建立了这些行为模型,最后提供了这种算法的验证结果。

关键词 B 样条,植物建模,植物生长模型,植物风动模型

Basic Spline Based Reasoning for Plant Modeling

ZHOU Wen-Li

(Taizhou Technical College, Taizhou 318000)

Abstract The paper illustrates the infrastructure of plant modeling, attempts to describe termination node of plant by constructing basic spline, and analyzes plant modeling which the description infrastructure is adopted and possibilities of wind-moving modeling, growth modeling of plant built behavior modeling through simulating zoology course. That is to say, energy which produce by photosynthesis on the termination node of plant, and the effect of energy to plant growth, and so on. In the end, provides the validating result of this arithmetic.

Keywords Basic spline, Plant modeling, Plant growth modeling, Plant wind-moving modeling

1 引言

在虚拟环境中涉及到许多自然景物的几何建模,图形生成需要兼顾实时性与真实感,故采用了降低造型复杂度与增强纹理显示的方法,它包括:规则物体的几何建模、不规则物体的几何建模以及不规则模糊物体的几何建模。规则物体的几何建模已比较成熟,只要选用合适的建模工具加以构造即可,现在的研究关键是模型的简化 LOD 层次细节及参数库模型构造;不规则物体的几何建模,如虚拟环境中的自然景物、云彩、山脉、树木有较大的随机性和不规则性难以采用传统的几何建模工具描述^[1],一般采用随机的分形建模方法,Alain Fournier 早已于 1993 年就采用分形布朗运动构造了复杂的地形,但分形建模还依赖于复杂的数学模型,必须研究一种简化的模型研究,如何选择合适的自相似集以及研究快速的分形生成和绘制算法等;不规则模糊物体的几何建模,虚拟环境由于其表面具有不光滑性、不确定性和不规则性甚至运动变化性,目前一般采用粒子系统来描述它,目前还需讨论的问题如抽象出合适的粒子参数和运动模型研究粒子系统的快速显示等。

植物的建模属于不规则物体的建模,今天已经采用了许多的方法来实现,主要是以分形技术为主,像基于分支矩阵的计算机生成树^[2],基于分形技术构建的生成树^[3],分形技术主要用来产生植物的拓扑结构,为了更丰富植物的信息,通常采用各种方式来产生植物的叶枝结构^[4],样条曲线曲面属于计算几何的内容,分形技术属于分形几何,如何将分形几何和计算几何合理结合起来建模是一个难点^[4],在本文中我们采用 B 样条曲线曲面来描述叶枝结构,同时为了模拟植物的行为模型,如生长模型的模拟^[1],风动行为的模拟^[5],本文分析了

用 B 样条曲线曲面描述的叶枝的生长和风动模型。

2 植物模型的结构

一个植物的结构可以通过层次机构来描述(图 1):

(1)根

植物的根节点,其他结构从这个节点进行延伸,直到终结节点,形成植物的所有枝节路径。

(2)中间节点(包括直枝和旁枝)

在结构生成过程中,连接根与终端节点的节点。这些节点至少有一个后继的节点。在根和终端节点之间通过直枝和旁枝连接起来,这些直枝和旁枝便是对应着实际的树的主干和分支。

(3)终端节点

由所有的叶子节点构成的集合,这些节点没有后继节点,是树的端点。

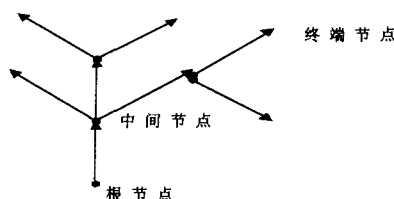


图 1 植物模型的结构

3 植物模型的实现

对于植物模型的建立分为两个部分:几何模型,主要是植物结构的建立过程,也就是静态的模型描述;行为模型,主要是植物形态变化过程,也就是动态的模型描述。

3.1 几何模型的建立

根据植物层次结构的描述(上面 2 部分),本文将植物的几何模型分为两个部分:骨架和枝节。骨架包括根和中间节点,就是一种拓扑结构的建立过程,这种拓扑结构的构造主要通过分形技术来实现,枝节主要是终端节点,主要通过图形学等计算几何的算法来实现。

3.1.1 骨架结构的建立

植物的骨架结构的构造是根据植物枝节的生长和死亡的模拟算法来实现的,具体可参见文[4]。

3.1.2 枝节结构的建立

植物具有自相似性,枝节和枝节之间具有相似性,树木和树木之间具有的相似性。这样可以通过一些少量的描述性结构来描述植物的结构。一个枝节结构的形状如图 2 所示。

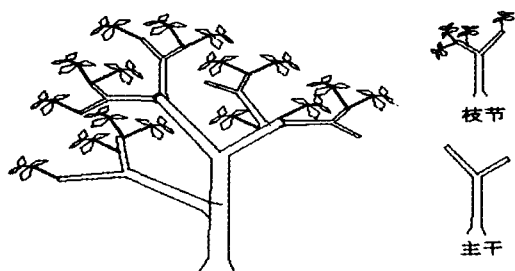


图 2 植物的几何模型结构

枝节的构建包括细枝和叶片。细枝的数据结构定义为旋转曲线构成的旋转体,这样细枝的结构为:

$$\text{twin} ::= \{\text{shape}, \text{radixlist}, \text{basepoint}\}$$

其中 shape 是通过 3 次 b 样条曲线构成的细枝的形状线, radixlist 是旋转体的半径数列, basepoint 是基点坐标。

叶片的主要生理结构为:叶面和叶柄。我们只在图形中反映叶面的结构,数据结构为:

$$\text{leaf} ::= \{\text{shapeofleaf}, \text{thickness}, \text{basepoint}\}$$

其中 shapeofleaf 是指叶面的形状描述曲面, thickness 是指叶面的厚度信息, basepoint 是指基点坐标。

叶面的形状通过均匀双三次 B 样条曲面来构建,我们通过均匀双三次 B 样条曲面来模拟。这样叶面表示的曲面可以通过 $(m+1)(n+1)$ 个控制点 $p_{i,j}$ ($i=0,1,\dots,m; j=0,1,\dots,n$) 来控制叶面的形状和轮廓。

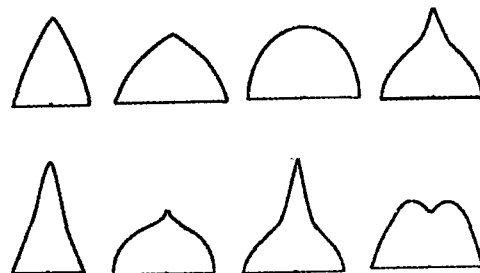
$$s(u,w) = UM_B PM_B^T W^T,$$

其中 $U = [u^3 u^2 u 1]$, $W = [w^3 w^2 w 1]$

$$M_B = \frac{1}{6} \begin{bmatrix} 1 & 3 & -3 & 1 \\ 3 & -6 & 3 & 0 \\ -3 & 0 & 3 & 0 \\ 1 & 4 & 1 & 0 \end{bmatrix},$$

$$P = \begin{bmatrix} p_{00} & p_{01} & p_{02} & p_{03} \\ p_{10} & p_{11} & p_{12} & p_{13} \\ p_{20} & p_{21} & p_{22} & p_{23} \\ p_{30} & p_{31} & p_{32} & p_{33} \end{bmatrix}$$

这样通过局部坐标系和控制点列可以建立起植物的枝节结构。对于叶面的形状进行分析可以将叶面分为叶头和叶体。叶头的形状比较多,叶体可有可无,一般定义为规则的双边平行结构,根据 B 样条曲线和曲面可以建立起一些植物的枝节模型,例如我们通过控制点而建立的几种叶头模型为:



这些形状皆可以通过 B 样条曲线来拟合,算法不一详述,这样通过联接叶头和叶体的 B 样条曲线可以建立起拟合曲线。下图为叶面在空间坐标系中的描述。

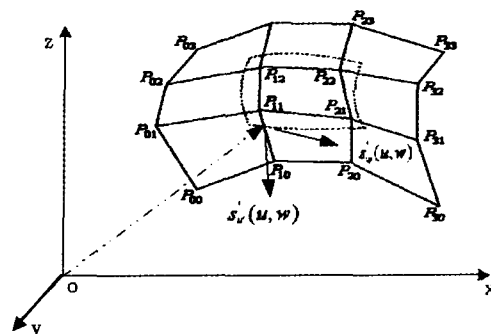


图 3 植物叶面的 B 样条曲面描述图

3.2 行为模型的建立

植物的行为主要是来自外界和自身的作用,外界的主要为风力作用或者人力作用,主要通过动力学模型来处理,对于自身的作用,主要是生物的生长过程模拟。

3.2.1 风力模型的计算

对于风力模型的处理,涉及枝叶的波动模型^[5],这个波动模型主要是构造了两种风力模型:阵风模型,稳定风模型,这些模型参数决定了风力的大小,可以建立起不同的风力大小。

$$F_1 = \begin{cases} at+b & 0 \leq t \leq t_c \\ c-d(t_n-t)/t_c & t_c \leq t \leq T_{\max} \end{cases}$$

$$F_2 = \begin{cases} at+b & 0 \leq t \leq t_c \\ c+d \sin(t) & t_c \leq t \leq T_{\min} \\ e-f(t_c-t)/t & T_{\min} \leq t \leq T_{\max} \end{cases}$$

这样通过风力和叶片的变形,根据文[5]中的公式推导,可以求出平衡方程,在根据 B 样条曲面的特点,设其中枝条的切线向量是 $s'_u(u,w)$, $s'_w(u,w)$,则点 $s(u,m)$ 处的法向量为: $N(u,w) = s'_u(u,w) \times s'_w(u,w)$,这样可以建立起风力模型。

3.2.2 生长模型的计算

植物的生长取决于周围的环境,这些环境的因素包括:水资源的获取,环境的温度,环境光线,植物自身的因素(植物的大小,植物的密度和相互之间的影响)。

对于计算机模拟的植物,主要侧重于表现植物的形态和行为,侧重于视觉的效果,并不追求实际的植物生理状况的真实反映。

1) 生态过程的建模。物质的生产过程中植物的能量主要是通过叶子来进行光合作用而产生,通过分析知道植物的主要成分是水 and 碳水化合物,水的成分占 95%,所以分析水成分很重要。

对于植物的生长周期设为 T ,在时刻 t 植物产生光合作用的叶子器官数量为 $n(t)$,则产生的能量为:

$$Q_i(t) = \sum_{i=1}^{n(t)} E(x,t) / (\frac{r_1}{S(x,t)} + r_2)$$

其中 $E(x, t)$ 是第 x 个叶子在生长周期 t 时刻产生的潜在的物质, $S(x, t)$ 是第 x 个叶子在生长周期 t 时刻对能源的阻碍, r_1 是单位叶片面积的抵抗系数, r_2 是单位叶柄, 叶脉等抵抗系数。一般的取值为 $r_1 = 800000$, $r_2 = 0.96$ 。

$$E(x, t) = \begin{cases} E_m \frac{\phi(x, t)}{\phi_m} & \phi(x, t) < \phi_m \\ E_m & \phi(x, t) \geq \phi_m \end{cases}$$

其中 ϕ_m 是阈值, E_m 是生产物质的经验值, $\phi(x, t)$ 是吸收的光能量。

2) 光线模拟。设 E_j 是光源 j 对叶片的光照能量, $I(E_j)$ 是光源 E_j 对于叶片的能量的贡献系数, $b_i = \sum_{E_j \in p_j} I(E_j) E_j$, b_i 是叶面 i 的光接收能量。这样光接收的能量将决定于叶片的面积的大小。叶片的面积大小计算为: 通过由 B 样条控制点构成的四边形网格, 我们取由四边形网格构成的面积来代替叶片的面积, 这样只要求得每一个四边形网格的法向量, 并计算出四边形的面积, 就可以得出垂直光线方向的面积。通过累加可以得到叶片的面积接收到光能量:

$$E_i = \sum_{k=1}^n n_k(u, w) \times n_i s_k$$

其中 $n_k(u, w)$ 是曲面控制点四边形的对称中心法向量, n_i 是第 i 个光源与控制点四边形对称中心的连线方向矢量, s_k 是控制点四边形构成的面积。

高精度的情况下, 每个叶子的产生的能量不仅取决于叶的面积, 同时涉及到叶片的反射和透射程度^[1]。

4 实验结果

在 java3d 软件包的基础上通过程序实现来验证上述算法的可行性, 我们模拟一种花树的不同成长过程的几幅图像

如下列出。

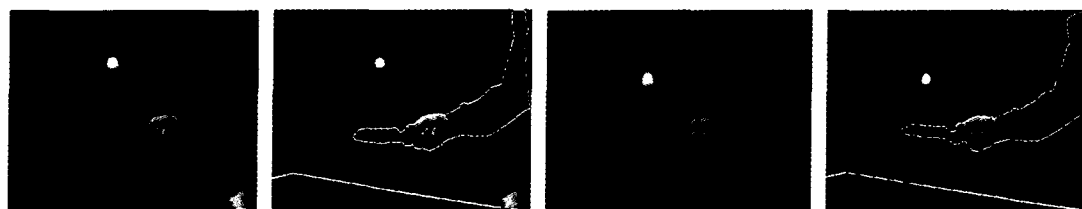


图4 花树的生长过程模拟

参考文献

- 1 Soler C, Sillion F, Blaise F, et al. A physiological plant growth simulation engine based on accurate radiant energy transfer: [Rapport de recherche n° 4116]. Fevrier 2001
- 2 范惠琳, 等. 基于分支矩阵的计算机生成树. 华侨大学学报, 1994, 15(2)
- 3 张有会, 等. 自然树木形状的分形模拟. 计算机工程, 2000, 26(9)
- 4 齐东旭. 分形及其计算机生成. 科学出版社, 1996
- 5 Hammel M S, Prusinkiewicz P, Wyvill B. Modelling Compound Leaves Using Implicit Contours
- 6 赵星, 熊范纶, 等. 虚拟植物生长的双尺度自动机模型. 计算机学报, 2001, 24(6)
- 7 de Reffye Ph, Edelin C, Françon J, et al. Plant models faithful to botanical structure and development. Computer Graphics (Proceedings of SIGGRAPH 88), 1988, 22(4): 151~158
- 8 冯金辉, 陈彦云, 等. 树在风中的摇曳—基于动力学的计算机动画. 计算机学报, 1998, 21(9)
- 9 张丽艳, 周来水, 周儒荣. 裁剪 NURBS 曲面面积计算的扫描分片积分法. 工程图学学报, 1997(2-3)

(上接第 241 页)



(a) 第 2 帧的初始运动对象

(b) 第 2 帧精确化后轮廓

(c) 第 13 帧初始运动对象

(d) 第 13 帧精确化后轮廓

图5 Table tennis 序列实验结果

总结 本文提出了一种基于显著性测试及改进活动轮廓的运动对象分割算法。首先通过直方图拟合获取背景噪声方差, 再基于显著性检测、对称差分以及形态学处理获取初始运动对象及轮廓。但是此时获取的运动对象轮廓与实际轮廓还有一些误差。为了提高分割准确性, 我们对原始图像检测出边缘图像, 并计算出边缘图像的梯度向量流场, 使用梯度向量流场为外力的改进活动轮廓算法对轮廓进行修正。由于运动对象初始轮廓曲线的确定比较准确, 而且改进的活动轮廓算法能够收缩于轮廓的凹边界, 因此得到了更准确的运动对象轮廓曲线。本算法的计算可以采用并行的机制来完成, 算法的运行速度不与帧数成正比, 提高了分割效率。从试验来看, 我们的方法可以实现单个运动对象以及多个运动对象的分割, 结果令人基本满意。本文中的实验都是静态背景的视频序列, 对于有些动态背景的视频序列, 进行全局运动补偿后也可用本算法进行分割。但是对于复杂背景序列, 如何加强边缘图像中的对象轮廓以及去除背景边缘, 从而减少背景边缘

在轮廓精确化过程中的影响, 是我们需要进一步研究的问题。

参考文献

- 1 刘志, 杨杰, 彭宁嵩. 基于假设检验和区域合并的视频对象分割. 数据采集与处理, 2004, 19(2): 124~129
- 2 Mezaris V, Srinivas M G. Video object segmentation using Bayes-based temporal tracking and trajectory-based region merging. IEEE Trans. Circuits and Systems for Video Technology, 2004, 14(6): 782~795
- 3 Kim C, Hwang J N. Fast and Automatic Video Object Segmentation and Tracking for Content-based Application. IEEE Trans on Circuits and Systems for Video Technology, 2002, 12(2): 122~129
- 4 杨莉, 张弘, 李玉山. 视频运动对象的自动分割. 计算机辅助设计与图形学学报, 2004, 16(3): 301~306
- 5 Aach T, Kaup A, Mester R. Statistical model-based change detection in moving video. Signal Processing, 1993, 31(2): 165~180
- 6 Kass M, Witkin A, Terzopoulos D. Snakes: Active contour models. International Journal Computer Vision, 1988, 1: 321~331
- 7 Xu C Y, Prince J L. Snake, shapes and gradient vector flow. IEEE Trans. Image Processing, 1998, 7(3): 359~369
- 8 蒋晓悦, 赵荣椿. B-样条子波在图象边缘检测中的应用. 中国电视学与图象分析, 2002, 7(4): 198~201