

计算机图形学

植物

三维建模

分形几何

⑨

计算机科学2000Vol 27No. 6

35-37

植物三维建模方法综述*

An Introduction to Plant's 3D Modeling Methods

毛卫强 潘云鹤

TP391.4

(浙江大学人工智能研究所 杭州 310027)

Abstract A series of plant's 3D modeling methods are introduced in this paper. They include fractal modeling method, A-system, particle system, L-system, layer based modeling method, modeling method faithful to botanical structure and development and interactive modeling method. This will be helpful in the future research of plant's 3D model.

Keywords Plant, Fractal, Particle system, A-system, L-system, 3D modeling

1 引言

自然景物形状最大的特点是其不规则性,比如山峰、树木、云彩、波浪等,而且它们的形状都具有丰富多彩的细节,因此很难用传统的计算机图形学建模方法进行真实感模拟。植物作为最常见的自然景观之一,还具有与其他自然景观不同的形状特点。首先植物是一种生物,植物的叶子通过光合作用从太阳光能中吸收营养,植物的根部在地下吸收地层表面的水份和土壤中营养,植物通过这些养分使自己茁壮成长,新的树枝在不停地生长出来,旧的树枝在逐步变得粗壮,每一种植物都有自己的生长方式,有自己特有的丰富复杂的三维结构。其次植物的形状特点是规则与不规则的综合体,很容易区分某一植物的类型,但对同一种类型的植物在自然界是找不出完全相同的两棵,而且在植物的生长过程中,还要受到各种环境因素的制约,比如太阳光能的强度,地心引力的作用,地面水份的不均匀分布,风雨雪等自然现象的影响,以及一些人为因素的作用,这些导致了植物形状模拟的复杂性。

许多学者已在植物的真实感三维建模领域作了大量的研究工作,本文将具体介绍国内外学者在这方面的一些研究成果,主要介绍基于分形的植物建模方法、植物建模的A-系统、粒子系统、L-系统、植物的分步生长建模的方法、忠实于植物生长结构的建模方法和交互的植物建模方法。

2 几种主要的植物建模方法

2.1 基于分形的植物建模方法

分形几何的核心思想是物体形状整体和局部的自

相似性,这个概念与自然界大量不规则事物的形状特征是吻合的,因此分形几何适合于描述自然界中的不规则物体。植物作为自然界中最常见的景观之一,其复杂形状也适合用分形理论进行模拟。

Oppenheimer^[1]提出了基于分形的植物的实时动画制作方法。植物的生长由一些基本参数控制,这些参数包括子树枝与母树枝的夹角,子树枝相对母树枝长度的收缩比例,树枝的半径收缩比例,子树枝相对母树枝的旋转角以及母树枝上生长的子树枝的数目。然后根据这些参数递归地生成新的子树枝,同时在植物的每一生长新的子树枝的结点处对树枝生长参数进行随机扰动,使生成的植物更真实,使它具有统计自相似的特点而不至于显得过分规则。

Barnaley^[2]提出了IFS系统。IFS由一组仿射变换组成,通过对这些仿射变换的重复叠代生成复杂的分形图,包括用IFS生成植物的形状,用IFS制作分形图的过程如下:

1. 确定IFS码。IFS码由一组压缩仿射变换组成。压缩仿射变换根据模拟物体大致形状确定。

2. 由IFS生成它的吸引子。输入一初始出发点,每次随机选择一个压缩仿射变换对该点进行仿射变换,获得点的新的位置,然后递归地进行上述操作,最后由所有这些点组成的图即是IFS生成的吸引子。

3. 进行测度处理。主要用来找到IFS的不变测度,即是求IFS生成的吸引子中各点的灰度值。

IFS是一套在理论上非常完美的系统,在植物的生成中,采用大量的空间点表示植物的形状,因此对生成植物的处理带来一定的难度。

2.2 A-系统

*)本文研究得到国家自然科学基金项目,浙江省科委项目资助。毛卫强 博士生,潘云鹤 工程院院士,浙江大学校长。

Aono^[1]提出的 A-系统是较早的一种对植物三维结构的真实感建模方法,该方法为植物建模研究提供了许多值得借鉴的思想和方法。该文主要做了以下部分工作:

1. 对植物的基本形状做了一个简单的分类:单轴型植物,类似于杉树的结构,由母树枝生长出大量的子树枝。二分型植物,类似于桃树和苹果树的结构,子树枝的生长在母树枝顶部一分为二。三分型植物,在灌木型植物中比较常见,树枝的生长在顶部一分为三。混合分叉型植物,树枝的分叉方式是上述三种形式的综合。

2. 从模拟植物的生长特性出发,文[3]中提出了一个植物树枝的生长算法,树枝生长由如下参数控制:树枝相对母树枝的夹角,树枝长度的收缩比例因子,树枝的生长方向规定为在母树枝的最大梯度平面内,另外还给定树枝生长方向相对母树枝的旋转变角。

3. 对树枝生长方向变化提出五类模式:树枝从底到高生长角度递减、开始慢慢递减然后快速递减、开始快速递减然后慢慢递减、开始慢慢递减然后快速递减然后又慢慢递减和开始慢慢递增然后慢慢递减。

4. 提出了对植物进行三维变形的一致偏离方法和非一致偏离方法,通过设置吸引因子和排斥因子控制对植物的三维变形,这是较早的一种模拟植物变形的处理方法,采用一致偏离方法和非一致偏离方法可以在一定程度上模拟风力对植物形状的改变和重力所导致的植物树枝形状的弯曲,但这只是对生成植物的简单变形处理。

2.3 粒子系统

Reeves^[4]提出的结构化粒子系统适合模拟整体的自然生态环境。粒子系统是一种随机建模算法,系统由大量的粒子组成,粒子之间是相互独立的,粒子随时间而移动并变化形态,粒子的位置、属性和动态性主要根据约束的随机过程定义,每一粒子有自己的产生,发展,直至死亡的整个过程,粒子系统适合模拟一些不规则的物体,比如云、雾、山等。在结构化粒子系统中,粒子不再是独立的,它们之间有复杂的联系,比如在模拟树群,草地等自然环境中,树枝,叶子,小草等是基本粒子,树枝与树枝之间、叶子与树枝之间有复杂的连接关系。通过随机递归算法,由一些简单的输入数据生成复杂的自然生态环境。

2.4 L-系统

L-系统是一个著名的植物建模系统,由 Przemyslaw 等学者对 L-系统做了大量的研究,对 L-系统功能进行了大量的扩展,使 L-系统能模拟很多种类的植物。

在文[5]中给出了一个用 L-系统对草本植物的三维建模方法,可以用来模拟真实的植物生长,同时该方法也可以用来模拟叶子和花的三维结构。在文[6]中提出了基于微分的 L-系统,他在 L-系统中加入了微分方

程,可用来模拟植物的动态生长过程。在文[7]中提出了对植物的综合裁剪方法,该方法在植物的生长过程中通过对植物生长空间的约束获得对植物三维形状的人为控制,是一种模拟植物形状与环境交互的方法。在文[8]中提出了一个基于环境交互的开放 L-系统,在 L-系统模拟植物生长的同时加入对环境因素的模拟,主要模拟了树枝空间竞争所导致的植物生长的变化。在文[9]中提出了一个基于 L-系统的模拟真实感复杂自然生态环境的建模方法,采用四个步骤来模拟自然生态环境:环境地形的设计,基于地形的生态系统的模拟,植物的三维建模和真实感处理,其中植物的模型由 L-系统实现。

L-系统是一种文法系统,由大量产生式和一个表示植物种子的简单字符串组成,从种子字符串开始,产生式通过并行回写方法生成表示植物三维模型的字符串,然后由字符串获得植物的结构。产生式具有以下形式:

$$id:lc\langle pred\rangle rc:cond\rightarrow succ:prob$$

其中 id 表示产生式的索引号,lc、pred 和 rc 分别是左相关字符串、前驱字符串和右相关字符串,cond 是替换条件,succ 是后继字符串,prob 表示该产生式发生的概率。如满足条件就把前驱字符串转化为后继字符串。最后生成的字符串就是由多个产生式共同作用的结果。然后把字符串中的字符转化为对植物三维结构的表示。

生成的字符串中的字符表示了特点的含义,比如 +, -, &, ^, /, \ 分别表示树枝在三个方向的六种不同的旋转方法,中括号 [] 里面表示植物从中括号前面的树枝开始的一路子树枝。对生成的字符串从左到右进行解释最后获得植物的三维结构。

L-系统中的产生式可以看作是植物的生长基因,种子字符串相当于植物的种子,因此用 L-系统模拟植物生长具有一定的方便之处,但 L-系统的缺点是设计比较困难,而且植物的字符串表示方法比较抽象,难以对植物进行交互的可视化设计。

2.5 分步生长系统

Weber^[10]提出了树木建模的一种分步生长方法,通过大量参数的控制,首先生成树木的主树枝,然后一层层生长树枝的子树枝,最后生长树木的叶子,该文主要做了如下工作:

1. 详细介绍了控制树枝生长的方法,包括树枝的生长模拟,树枝的分叉处理,树枝粗细的控制,叶子形状和生长方向的控制等。树枝的形状表示采用分段的圆锥表示,然后在衔接处用三角面片拟合。

2. 提供了对树木进行整体形状裁剪的方法。这通过对树木生长空间的约束完成。

3. 提供了对树木整体形状基于风力和重力的变形。风力和重力都会导致植物形状的改变,把树枝的弯

曲看作是一端固定的均匀的弹性棒位置的偏离,通过重叠两个不同周期不同相位的振荡器的建模方法获得树枝基于风力的弯曲模拟。

4. 提出了树木基于细节的分层表示方法。对不同观察位置树木有不同的细节描述方法,当观察者离树木比较近时,用比较多的面片表示树木的形状,当观察者离树木比较远时,就用比较少的面片表示树木的形状。

2.6 忠实于植物生长结构的系统

Reffye^[11]提出了一个比 A-系统更具一般性的植物三维建模模型,对植物生长模式做了更详细的描述。在植物的生长过程中,对生成新树枝的组织器官一蕾的行为做了详细的描述,文[11]中把蕾的形态分为三种:生长、分叉和死亡,通过两个随机参数控制蕾的行为,一个随机参数表示蕾的暂停概率,通过它控制蕾生长出新的树枝或暂停生长,另一个随机参数表示蕾的死亡概率,表示该蕾不能再生新的子树枝。对植物的生长由时间控制,在一个时间段内通过概率参数的设置决定树枝的生长方式。该方法对植物的模拟通过以下参数设定:植物的年龄、树枝的生长速度、树枝上蕾的数目、蕾的死亡概率、暂停生长概率、分叉概率的设置。

文[11]中另外还模拟了树枝的弯曲现象,并把树枝的弯曲分为两种类型:垂直弯曲型和水平弯曲型,用来模拟重力和太阳光能等环境因素对树枝生长的影响。

2.7 基于交互的植物建模方法

Lintermann^[12]提出了对植物三维结构建模的真实感交互设计方法,他们采用一系列包含几何形状信息和植物结构体系的组件组成,并用可视化的图表表示,植物的空间结构和形状信息由这些组件通过层次关系进行组织和管理。提供了三种类型的组件:几何体组件,组织组件和几何变换组件。

几何体组件用来生成树枝的几何形状,它有如下四个组件:

1. simple 组件。用来产生简单的几何体,如立方体,球,圆柱。
2. revo 组件。用来产生树枝表面的旋转。
3. horn 组件。用来产生弯曲的树枝。
4. leaf 组件。用来产生叶子,包括叶子的形状,叶子的纹理等。

组织组件用来重复和安排树枝的结构,它有如下四个组件:

1. tree 组件。是生成树的结构基本组件,包括生成树枝及它的子树枝的几何结构。
2. hydra 组件。把它的子组件均匀地放在一个圆上,方向与母组件垂直。
3. wreath 组件。把它的子组件均匀地放在一个圆

上,方向与母组件平行。

4. phiball 组件,按照黄金分割规则把子组件放在一个球的截面上。

几何变换组件用来实现对植物的几何变换操作和对树枝的变形处理,它有如下四个组件:

1. world 组件。增加对子组件的光线和重力场的作用。
2. pruning 组件。增加子组件的裁剪操作。
3. fld 组件。增加子组件的自由变形处理。
4. HyperPatch 组件。由提供的三维区域的变换对子组件进行变形处理。

这是一个很出色的植物三维交互设计系统,缺点是该系统缺乏对植物的三维可视化编辑,对植物的自由变形处理方法功能还不是非常强大,没有提供所见即所得的变形方法。

结论 植物的三维建模方法一直是计算机图形学领域里最活跃的研究分枝之一,本文具体介绍了近几年来一些著名的植物建模方法,可以作为借鉴,在它们的基础之上作更进一步的研究。

为达到对植物的真实感建模,多种模拟方法的综合使用是必要的,特别是模拟环境因素对植物模型的变形影响,我们认为对植物变形建模方法的研究是植物三维建模的发展趋势。

参考文献

- 1 Oppenheimer P. Real Time Design and Animation of Fractal Plants and Trees. In: Proc. of SIGGRAPH'86. 1986. 55~64
- 2 Barnsley M F. Harnessing Fractal for Image Synthesis. Computer Graphics, 1988, 22(4): 131~142
- 3 Aono M, et al. Botanical Tree Image Generation. IEEE Computer Graphics and Application, 1984, 4(5): 10~34
- 4 Reeves W T. Approximate and Probabilistic Algorithm for Shading and Rendering Structured Particle System. In: Proc. of SIGGRAPH'85. 1985. 313~322
- 5 Prusinkiewicz P, et al. Development Models of Herbaceous Plant for Computer Imagery Purposes. In: Proc. of SIGGRAPH'88. 1988. 141~150
- 6 Prusinkiewicz P, et al. Animation of Plant Development. In: Proc. of SIGGRAPH'93. 1993. 351~360
- 7 Prusinkiewicz P, et al. Synthetic Topiary. In: Proc. of SIGGRAPH'94. 1994. 351~358
- 8 Mech R, et al. Visual Models of Plants Interacting With Their Environment. In: Proc. of SIGGRAPH'96. 1996. 397~410
- 9 Deussen O, et al. Realistic modeling and rendering of plant ecosystems. In: Proc. of SIGGRAPH'98. 1998
- 10 Weber J, et al. Creation and Rendering of Realistic Trees. In: Proc. of SIGGRAPH'95. 1995. 119~128
- 11 Reffye P D, et al. Plant Models Faithful to Botanical Structure and Development. Computer Graphics, 1988, 22(4): 151~158
- 12 Lintermann B, et al. A Modeling Method and User Interface for Creating Plants. Computer Graphics Forum, 1998, 17(1): 73~78