

面向虚拟森林经营管理的树木交互式参数建模方法

舒娱琴, 李卫红*

(华南师范大学地理科学学院, 广东 广州 510631)

摘要: 从树木构筑概念出发, 将传统的几何建模技术与树木形态结构结合, 提出了一种交互式参数建模的方法。采用主干、枝条、叶片三类参数来描述和定义树木, 约定了一系列的建模规则和参数化调节方法, 并构建了一个树类。林业管理者通过输入熟悉的参数平台交互式地构建各种具有不同几何特征的树木, 并且能够建立不同生长阶段的三维几何树模型, 其模型简单且形态逼真, 能够充分地表现树木的空间结构。

关键词: 三维几何树模型; 交互式参数建模; 树木构筑

中图分类号: S751

文献标识码: A

Method of Tree's Interactive and Parameterized Modeling Based on Virtual Forest Management

SHU Yu-qin, LI Wei-hong

(School of Geographical Science, South China Normal University, Guangzhou 510631, Guangdong, China)

Abstract In view of tree architecture, the traditional geometric modeling technique was combined with tree's morphologic structure so that tree's interactive and parameterized modeling method was introduced in this paper. Three kinds of parameters, trunk, branches and leaves, were used to describe trees, then some modeling rules were put forward, and a tree classification system was built. Therefore, the forest manager could use their familiar parameters to construct three-dimensional geometric models of different tree species with different geometric characteristics, and the models for different growth stage were achieved. The model was simple and its appearance was lifelike, and it could express the spatial construction of the tree adequately.

Key words three-dimensional geometric model of tree; interactive and parameterized modeling; tree architecture

森林具有两个显著的特性, 一是时间跨度大, 二是空间尺度大。正是这两个因素使得森林的经营管理面临着非常大的难题, 因此森林经营管理迫切需要引入能够对林业信息进行准确、可靠、生动地描述, 表现和分析的技术。应用虚拟地理环境技术对森林进行模拟, 建立虚拟森林环境可以为森林经营管理提供一个新型的决策平台, 而单棵树木的三维建模正是建立虚拟森林经营管理系统的的前提。

20世纪60年代起, 人们在植物构造方面的研究有了长足的发展^[1], 植物造型的理论如L系统、迭代函数系统、扩散受限凝聚、粒子系统、交互式植物建模等日益成熟起来, 随之也开发许多植物建模的应用产品软件, 如基于L系统原理开发出来的AMAP^[2]系列软件、基于交互式植物建模原理开发出来的Xfrog软件、美国Onxy公司所开发的Tree Professional软件。这些产品的模型复杂、面片数量大, 主要应用领域仍在景观设计

收稿日期: 2006-04-08

作者简介: 舒娱琴(1977—), 女, 江西吉安人, 博士, 副教授, 主要从事林业GIS、虚拟地理环境的研究。

* 通讯作者, 李卫红, 高级工程师, 主要从事林业遥感研究。

方面。在林业领域或 GIS 中多数采用了数据量小的规则几何实体模型(如锥形体、球体、柱体等)表达树木的方法,失去了树木的空间特性,真实性较差。国内郝小琴^[3]提出了基于分形几何的 3D-IFS 建模法。宋铁英^[4]提出一种基于图像的林分三维可视模型,以一株典型形体的现实树木的图像为原型,应用图像重采样技术对该原型林木图像按比例缩放生成林分中各株林木的图像,但不能表现树的交错问题。孙敏^[5]提出了将树木的图像模型与分形模型相结合的建模与可视化方法,使用不同分辨率的图像,近距离用真三维分形模型,但没有和森林经营管理相结合。本文立足于虚拟森林经营管理的应用目的,在保证树木的空间结构下,从树木构筑出发,分析树木的形态结构,提出了一种交互式参数建模的方法。通过参数自定义平台,设置胸径、树高、冠幅、冠长、分枝级数、分枝角度、枝条长度等参数为不同树种造型,并能建立不同生长阶段的三维几何树模型。

1 树木的描述

1.1 树木构筑的概念

树木构筑是植物形态学的一个概念,指树木的形体建筑结构以及动态特点,是树木的总体外貌特征——包括冠形、分枝结构以及树木的组成部分(如枝、叶等)的空间排布格局,内在生物量构造组成及其配比结构和树木组成单位等方面的内容。

1.1.1 冠形 冠形能使人对一个树木的总体形象有一个最直观最明显的印象,因此冠形不仅是树木形态学的一个重要组成部分,也是构筑型分析中最常用的一个要素。自然界中的树木从外形上可以分为棕榈形、尖塔形、卵形、圆球形、平顶形、伞形、圆柱形 7 类。

1.1.2 分枝结构 分枝模式一般分为单轴分枝和合轴分枝两种。而枝条长度、分枝角度和分枝级别是形成树木的最基本要素,它对冠形和分枝结构的形成起着决定性的作用。不同树木的枝条长度是不一样的,而同一株树木的各枝条的长度也不尽相同。有时中间位置的侧枝长,上下位置的侧枝短;中间位置的侧枝短,上下位置的侧枝长;逐渐变长或者逐渐变短。不同的树木通过枝条与主干间存在着不同的分枝角度。常见的有 30° 、 45° 、 60° 和 90° 几种角度。有时在一株树

木上可以看到几种分枝角度的混合,如 60° 或 90° 的分枝角度在一种树木中常常同时出现,一般越靠近顶端,分枝角度越近于 60° ,而越靠近基部的老枝干则常是以近于 90° 的分枝角度来表现。分枝级数的多少对树木的总体构型也会产生一定的影响,一般高大通直的树木分枝级数较少,而主干矮小不明显的树木,一般分枝级数较多。

1.1.3 叶子 枝条上叶片大小、数量及其排列次序和排列方式也是构成树木形态的重要因素。

1.2 树木的定义

从树木构筑的概念出发,树木由主干、枝条和树叶构成。枝条在树干上的分枝模式、分枝角度、分枝长度、分枝级数等是决定分枝空间格局和树形的重要因素。其枝条形态结构是以分层规律为分枝结构的,由主干分生第一层分枝,再由第一层分枝分生第二层分枝,如此一层一层分生下去直至树叶,树木总是在前一层基础上复制与其相似的组织结构,呈现出一定的自相似的分形特征,如图 1 所示。并且约定一些相关参数的定义:

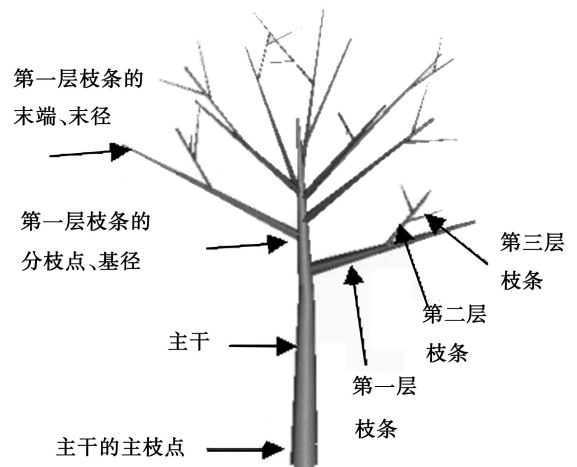


图1 分枝结构的定义

主枝点: 主干和枝条的出发点,主干的主枝点没有前驱的枝条;

分枝点: 树木的各枝条间的连接点,表现为该层枝条在上层枝条分枝位置,也是该层分枝的主枝点;

末端: 枝条的终止节点;

基径: 枝条主枝点的半径;

末径: 枝条末端的半径。

1.3 参数的确定

把影响树木形态结构和外观的因素主要分为下列 3 类:

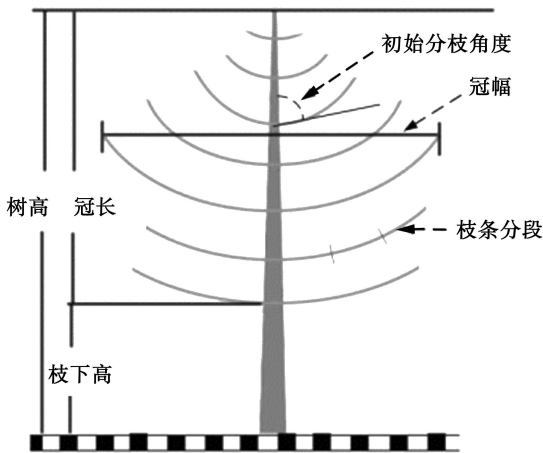


图 2 树冠的定义

主干: 主干类型 (单轴、合轴)、形数 (主干的直径变化)、树高、胸径、冠幅、冠长率、树皮。

枝条: 分枝点、分枝角度、枝条基径、枝条末径、枝条长度、枝条密度。

叶子: 叶形、叶子大小、叶数密度。

这些参数的数据来源于森林空间数据的分析与仿真结果及部分实地测量和拍摄, 具体仿真方法参见文献 [6]。

2 交互式参数建模

2.1 交互式参数建模规则

树木建模时遵循下列几个规则:

(1) 树的主干上分生出第一层分枝的主枝是主干, 第二层分枝的主枝是第一层分枝, 第三层分枝的主枝是第二层分枝, 依此类推。

(2) 分枝的基径是随分枝点到上一层的主枝点的距离增加而减小。

(3) 枝条的初始分枝角度是指该枝条与上一层枝条在分枝点处的夹角。

(4) 由于树木的枝条往往不是直线生长的, 而是呈现不同的曲线状, 对这样的枝条进行分段, 通过调节各段分枝角度来逼近, 见图 2 所示。

(5) 主干、枝条视为横截面直径变化的广义圆柱体。广义圆柱体是以三维空间曲线为轴的立体, 轴上任意一个点都定义着一个封闭的截面。

(6) 用简单四边形映射叶片纹理的方式表达一组叶片的集合以此减少面片数。

2.2 纹理的处理

树木纹理处理主要包括树皮纹理和叶片纹理的处理。树皮的纹理是采用某段主干的纹理; 叶片的纹理采用透明的纹理, 即滤掉背景颜色来显示出叶

子轮廓。但是要提取一组叶片的轮廓是非常繁琐的事情, 特别是针叶树的叶子。在拍摄叶片纹理的时候最好能摘下后, 在叶片后面布置一个红布背景。透明纹理可以在图像处理软件 Photoshop 中处理, 即建立一个 Alpha 通道, 使得能透过去的地方设置为黑色的, 反之, 不能透过去的地方设置为白色。为了便于纹理映射, 将纹理的尺寸要设置为 $2^n \times 2^n$ 像素大小。

2.3 树类 tree 的数据结构

基于这种交互式参数建模的前提就是要准确地定义树类 tree, 以便控制树的形态结构。树类的数据结构根据参数的分类也分为 3 大部分, 主干、枝条、叶子, 这 3 部分又细分为用户交互式设置的输入参数和参数设定及建模规则影响下输出的三维几何数据。

< 树 >:: = < 主干 > < 枝条 > < 叶子 >

< 主干 >:: = < 输入参数 > < 几何数据 >

< 输入参数 >:: = < 主干类型 > < 形数 > < 树高 > < 胸径 > < 冠幅 > < 冠长 > < 树皮 > < 主干分段数 > < 横截面的多边形边数 >

< 树皮 >:: = < 纹理由径 > / 采用纹理表示树皮的外观

< 几何数据 >:: = < 主干节点位置序号 > < 节点位置 > < 节点直径 >

< 节点位置 >:: = < x 坐标 > < y 坐标 > < z 坐标 >

< 枝条 >:: = < 输入参数 > < 几何数据 >

< 输入参数 >:: = < 枝条层数序号 > < 分枝长度变化 > < 沿主枝的枝条基径变化 > < 枝条直径变化 > < 初始分枝角度 > < 枝条角度变化 > < 枝条分段数 > < 横截面的多边形边数 > < 枝条分布密度 > < 下一层枝条或叶片分布范围 >

< 分枝长度变化 >:: = < 长度最大值 > < 长度最小值 >

< 沿主枝的枝条基径变化 >:: = < 基径最大值 > < 基径最小值 >

< 枝条直径变化 >:: = < 基径 > < 末径 >

< 初始分枝角度 >:: = < 角度最大值 > < 角度最小值 >

< 枝条角度变化 >:: = < 角度最大值 > < 角度最小值 >

< 下一层枝条分布范围 >:: = < 下一层分枝起点 > < 下一层分枝终点 >

<几何数据>:: = <主枝条序号> <枝条形状>
 <枝条形状>:: = <枝条序号> <节点位置>
 <节点直径>
 <节点位置>:: = <x坐标> <y坐标> <z坐标>
 <叶子>:: = <输入参数> <几何数据>
 <输入参数>:: = <叶子与枝条的距离> <叶形> <叶片大小> <叶子分布频率>
 <叶形>:: = <纹理路径> //一组叶片的纹理
 <几何数据>:: = <叶片四边形序号> <叶形中心位置> /四边形的中心位置
 <叶形中心位置>:: = <x坐标> <y坐标> <z坐标>

为了生成基本一致又略有差异的自然树木模型,对上述所有参数,我们都引入一定的随机量,这样就可以生成一批千姿百态而又具有同样的几何特征的树木。

2.4 三维几何树模型的简化

三维几何树模型的简化,是通过网格简化来生成树木的多个层次细节模型。网格简化的目的是把一个多边形网格表示的模型用一个近似模型表示,近似模型基本保持了原模型的可视特征,但多边形的个数少于原始网格的多边形个数。

对三维几何树模型的简化的关键在于对枝条重要性进行度量,我们认为:上一层枝条比下一层枝条重要;同一层枝条中,较长的枝条比较短的枝条重要。因此,在相应地对枝条进行简化时一方面删除不重要的枝条,另一方面减少枝条网格划分的精度。

由于树叶是均匀分布在枝条上的,对树叶的简化采用比例缩放的方法,当从较高分辨率 LOD 模型生成较低分辨率的模型时,我们减少树叶的数量。为了避免树叶看上去变得比原模型稀疏,同时按一定的比例增长叶子的尺寸。图 3 为三维几何树模型的简化的结果。显然,简化方法在大幅度降低三角形面片数量的同时,较好地维持了原模型的基本形态特征。

3 参数的调节方法

本文利用 Bezier 曲线来描述主干、枝条结构。



a 1 758 个三角形面片 b 372 个三角形面片 c 44 个三角形面片

图 3 三维几何树模型的简化结果

主干的粗细、主干倾斜角度、枝条长度、半径、起始角度以及树枝受到重力作用而产生弯曲的形态都用 Bezier 曲线控制。为了便于用户自定义三维几何树模型,采用了直接输入参数值、输入比例系数、调节参数化曲线来完成所有参数值的设置,各参数的调节结果实时显示,即能实现直观地可视化建模和修改。

3.1 直接输入

主干、枝条的分级数、各级枝条的分段数、构造的横截面多边形边数及其树木的胸径、树高等参数是直接输入的。

3.2 比例系数调节

比例系数的调节都是相对于某个变量或者上一级枝条对应变量而言的。例如,在确定了树木的高度、胸径的值后,对第一层枝条的长度、基径、分枝角度等的设置先是采用比例系数确定大小值,再通过参数化曲线来调整。

冠长 = 树高 × 冠长比例参数;

第一层枝条的基径最小值 = 胸径 × 最小比例参数;

第一层枝条的基径最大值 = 胸径 × 最大比例参数。

3.3 参数化曲线调节

由于树木上的所有枝条的长度、分枝角度、枝条基径都呈现一定规律变化,并不是单一的取定值,这些变化趋势难以用数学函数来刻画。本文给出了一种参数化曲线描述的方法,确定在某个范围内变量的变化情况。纵轴是变化量,横轴根据调整的对象来确定的,如对枝条的长度调整时,横轴代表上一层枝条的生长方向;如是枝条的直径变化的调整,那么横轴代表该层枝条的生长方向,见图 4-a 所示。曲线调节在最小值和最大值范围之内有线性增大、线性减小、常量、自定义 4 种调节方式。自定义方式是通过用户设置曲线的控制点。

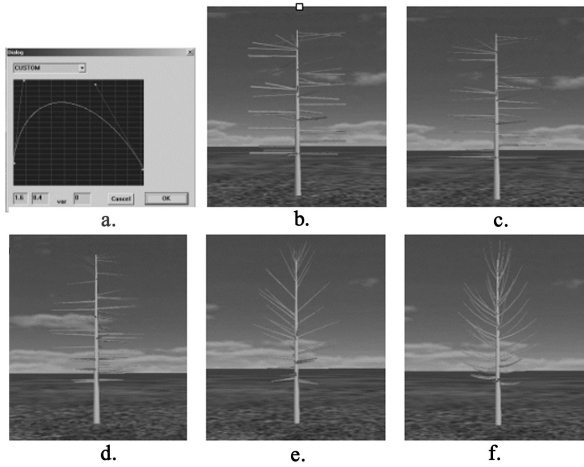


图 4 参数化曲线调节效果图

下面以圆柱形的树冠为例，在先设置了主干的高度 (6 m)、胸径 (10 cm)、冠长比例参数变化 (0.7 至 1)、主干分段级数 (3) 等参数后，通过这 4 种参数化的调节来获得圆柱形的树冠。

(1) 添加第一层枝条，首先对第一层枝条的基径进行调节，即枝条沿着主枝生长方向的所有枝条的基径变化。第一层枝条的基径的大小基本为常量，设定为分枝点直径的 0.5 倍，效果如图 4-b 所示。

(2) 第一层枝条的直径变化调节，即沿着第一层枝条自身生长方向的枝条的基径到末径的变化。枝条的直径大小从 1 到 0.3 线性减少，效果如图 4-c。

(3) 第一层枝条长度的调节，沿着主枝生长方向的第一层枝条的长度呈现主枝的上下位置短、中间位置长的现象。枝条长度最大值 1.6 m，最小值 0.4 m，曲线需要自定义，如图 4-a 所示，效果如图 4-d。

(4) 第一层枝条初始角度的变化，即第一层枝条与主枝的角度变化，圆柱形的树冠通常是沿着主枝条，第一层枝条的初始角度以 90° 到 20° 线性减少，效果如图 4-e。

(5) 第一层枝条各分段的分枝角度的调节，假设枝条分段数设置为 3 段，各段枝条的角度是在 0° 到 30° 线性增加。效果如图 4-f。

圆柱形的树冠的大体形状基本构成了，如要添加第二、或更多层枝条，参考以上步骤。图 5 是采用交互式参数建模方法建立的不同冠形 (尖塔形、圆柱形、卵形、圆球形、平顶形、伞形) 的分枝结构。

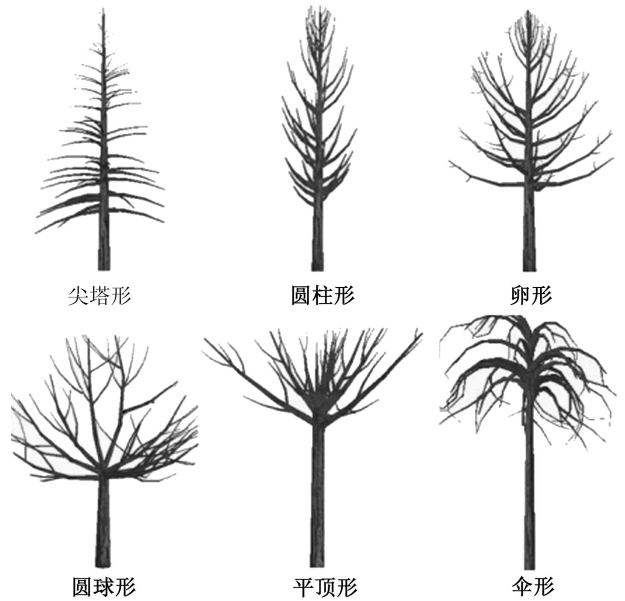


图 5 构建的不同冠形

4 三维几何树模型库的建立

根据上述方法，开发了交互式参数建模的设计工具 EasyTree，为用户提供一个好的交互界面，如图 6 所示。该工具具有主干、枝条、叶片、LOD 参数调节功能，还有叶片、枝条、草地、天空分类显示的辅助功能。

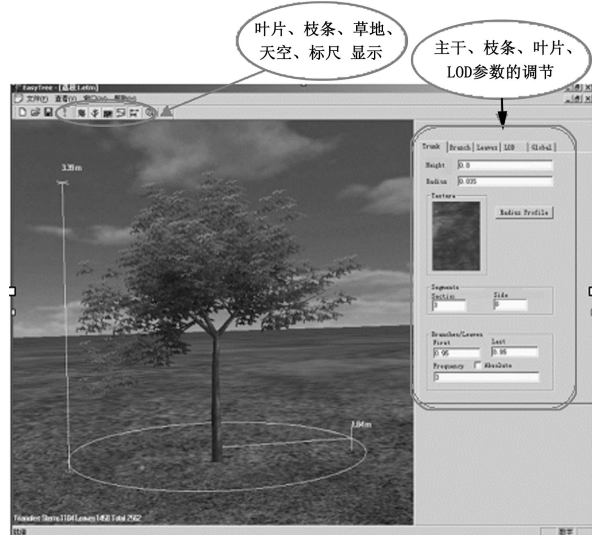
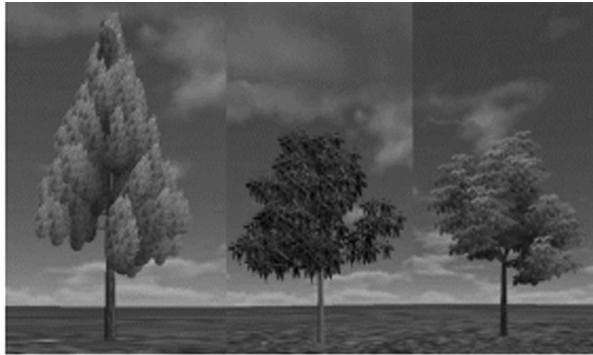


图 6 EasyTree 的主界面

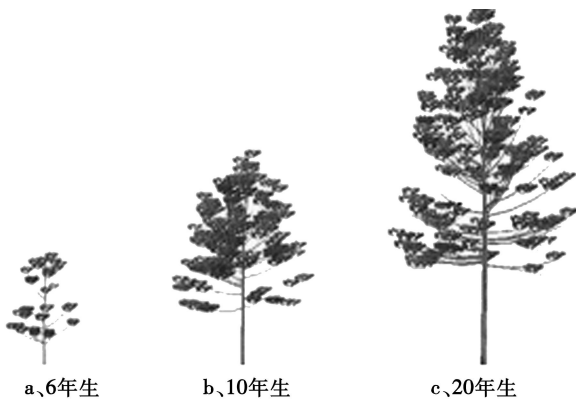
森林是一个生态系统，森林经营管理的树木对象的种类繁多，为了在绘制森林时能实时动态地调用三维几何树模型，我们可以事先收集这些树木生长模型，并采集各树种的树皮、叶片的纹理，及其获得树木的分枝长度、分枝角度、分枝级数、叶片分布

密度等树木常识, 通过 EasyTree 树木建模工具, 建立了不同树种的三维几何树模型, 如图 7 所示。此外还可以构建同一树种在不同生长阶段下 (即不同胸径、树高、冠幅、冠长率、分枝长度、分枝角度、分枝级数等几何信息) 的三维几何树模型。图 8 是马尾松 (*Pinus massoniana* Lamb.) 在不同生长阶段的三维几何树模型。



a、柏树 b、芒果树 c、荔枝树

图 7 不同树种的三维几何树模型



a、6年生 b、10年生 c、20年生

图 8 马尾松在不同生长阶段下的三维几何模型

5 结论

本文从树木构筑出发, 将传统的几何建模技术与树木形态结构结合, 提出了一种交互式参数建模

的方法, 能够很好地构建不同冠形的树木, 其模型简单且形态逼真, 能够充分地表现树木之间的空间结构, 该方法为虚拟森林环境的构建奠定了基础, 在森林经营管理领域具有广泛的应用前景。但该方法还存在一定的缺点, 目前对叶子排列对称性很明显的针叶树的三维模拟效果不太好, 而且还无法描述棕榈形树木, 需要对该交互式参数建模规则进一步地改进。

参考文献:

- [1] 胡包钢, 赵星, 严红平, 等. 植物生长建模与可视化——回顾与展望 [J]. 自动化学报, 2001, 27(6): 816~835
- [2] Muhar A. Three-dimensional modelling and visualisation of vegetation for landscape simulation [J]. Landscape and Urban Planning 2001, 54(1): 5~17
- [3] 郝小琴. 森林景物的三维迭代函数系统建模技术的研究 [J]. 计算机学报, 1999, 22(7): 768~773
- [4] 宋铁英. 一种基于图象的林分三维可视模型 [J]. 北京林业大学学报, 1998, 20(4): 93~97
- [5] 孙敏, 马蔼乃, 毛善君. 3D GIS 中树的表达与可视化研究 [J]. 计算机辅助设计与图形学学报, 2001, 13(10): 901~905
- [6] 舒娱琴, 兰樟仁, 陈崇成. 森林空间数据的时变性分析与仿真 [J]. 计算机工程, 2005, 31(6): 27~29
- [7] Kang Mengzhen, De Ruffe P, Hu Baogang *et al*. Fast construction of geometrical structure of plant with substructures algorithm [J]. Journal of Image and Graphics 2004, 9(1): 79~86
- [8] Karjalainen E, Tyrväinen L. Visualization in forest landscape preference research: a Finnish perspective [J]. Landscape and Urban Planning 2002, 59(1): 13~28
- [9] Luch J, Canahort E, Vio R. Procedural Multiresolution for Plant and Tree Rendering [C]. Proceedings of the 2nd International Conference on Computer Graphics, Virtual Reality, Visualization and Interaction in Africa, 2003
- [10] Mech R, Prusinkiewicz P. Visual Models of Plants Interacting with Their Environment [A]. In Computer Graphics Proceedings Annual Conference Series [C]. ACM SIGGRAPH, 1996: 397~410
- [11] Prusinkiewicz P, Mundermann L, Kawowski R, *et al*. The Use of Positional Information in the Modeling of Plants [C]. ACM SIGGRAPH, 2001: 289~300