

# 合轴分枝树木可视化模拟系统设计与实现

白 静, 张怀清\*, 刘 闽

(中国林业科学研究院资源信息研究所, 北京 100091)

**摘要:**以槐树为例,构建了合轴分枝树木可视化模拟系统。根据可视化模拟的需要,指出了所需的形态结构因子及其与 IFS 因子的对应关系。以实测形态参数数据为依据,结合 Logistic 生长模型,基于 IFS 算法构建了槐树的三维模型。并以 DirectX9.0 为三维可视化平台,使用 C#语言,采用面向对象设计思想完成了合轴分枝树木可视化模拟系统开发,实现了合轴分枝树木形态参数、生长模型参数设置以及模型输出等系统功能,较好模拟出合轴分枝树木静态与动态的三维可视化模型。

**关键词:**可视化模拟;合轴分枝;IFS 算法;系统设计与实现

中图分类号:S711

文献标识码:A

## Design and Implementation of Sympodial Branching Tree Visualization System

BAI Jing, ZHANG Huai-qing, LIU Min

(Research Institute of Forestry Resource Information Techniques, Chinese Academy of Forestry, Beijing 100091, China)

**Abstract:** Taking *Sophora japonica* as an example, a visualization system of sympodial branching trees was developed. The morphological parameters needed and the corresponding relation with IFS factor on request of visual simulation were studied. According to the measured morphological parameters and Logistic growth model, the three-dimensional model of *S. japonica* was constructed based on IFS algorithm. With DirectX9.0 as three-dimensional visualization platform and C# as programming language, the development of sympodial branching trees visualization system which adopting the idea of object-oriented programming was completed. The system could set the morphological parameters of sympodial branching trees and Logistic growth model output. The model which could well simulate the static and dynamic three-dimensional visualization of sympodial branching trees was established.

**Key words:** visual simulation; sympodial branching; IFS algorithm; system design and implementation

树木具有丰富多样的外部形态结构,且生理过程和功能表达异常复杂<sup>[1]</sup>,因此树木可视化一直是林学界与计算机领域的研究难点与热点。树木按分枝模式划分主要可分为单轴分枝与合轴分枝。合轴分枝树木没有明显的主干,而是形成多个弯曲的主轴,整个地上部分呈开张状态,是一种进化的分枝方式<sup>[2]</sup>。合轴分枝树木现实世界中十分常见,但相关三维可视化的研究工作却相对较少。

国际上早在上个世纪 70 年代就开始了树木形

态建模的研究<sup>[3-5]</sup>,已经建立了很多虚拟植物软件,如德国的 Xfrog 软件,美国的 Tree professional 以及法国的 AMAP 等。我国虽然对虚拟树木的研究起步较晚,但近年来在树木三维建模方面发展迅速,取得了许多成果<sup>[6-12]</sup>,其中以中国科学院自动化研究所中法实验室与中国农业大学在 AMAP 基础上建立的 GreenLab 最具代表性。

随着科学技术的不断发展,对树木的模拟不仅要求外形的相似,还希望能够体现其自身的生长规

收稿日期:2013-12-26

基金项目:国家自然科学基金项目(31170590);国家 863 计划课题项目(2012AA102002)

作者简介:白 静(1988—),女,内蒙古乌海人,硕士研究生,研究方向:森林可视化模拟技术。

\* 通讯作者. 研究员,研究方向:森林可视化模拟技术。

律和形态结构。本研究以槐树 (*Sophora japonica* Linn.) 为例,结合实际测量的槐树形态结构数据与 Logistic 生长模型,在 DirectX 平台上,使用 C#语言,采用面向对象的方法建立了合轴分枝树木可视化模拟系统,实现了单株槐树静态和动态的三维可视化模拟。

## 1 合轴分枝树木形态结构模型的建立

### 1.1 合轴分枝树木形态

合轴分枝树木的形态结构是分层组织的,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,呈现出一定的自相似的分形特征<sup>[12]</sup>(图1)。

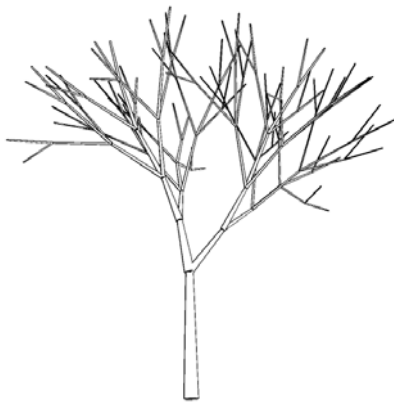


图1 合轴分枝形态

### 1.2 合轴分枝树木形态结构模型构建

采用迭代函数系统 IFS (Iterated Function System) 算法构建合轴分枝树木的三维形态模型。IFS 是 Barnsley 提出并发展起来的一种研究分形集的数学方法<sup>[13]</sup>。它以仿射变换为框架,根据几何对象具有的整体与局部自相似的结构,以一定的概率并按不同的仿射变换对总体形状进行迭代,直到生成满意的分形图形。由于合轴分枝树木整体形态的自相似性,IFS 算法在其形态模拟方面表现出了与其他方法相比更明显的优势。

根据可视化模拟的需要,构建合轴分枝树木模型所需的形态结构因子主要有:树高,胸径,冠幅,枝根直径,枝长,仰角,方位角,分枝级数等(表1)。

本研究以槐树为例,在中国林业科学研究院内选择若干株样木,实测了有关的形态结构参数。采用 IFS 算法建立合轴分枝树木形态结构模型。

表1 形态参数

参数名称	应用
树高	确定树木树高
胸径	确定树木胸径
冠幅	确定树木冠幅
枝根直径	确定子枝枝径
仰角、方位角	确定 IFS 旋转矩阵
枝长	确定 IFS 位移矩阵
分枝级数	确定 IFS 迭代次数

分析合轴分枝树木的形态特征,将树木分为枝干和树叶。分枝前的枝段作为 IFS 的基本形态单元,每一枝都由该枝段经过 IFS 变换得到。通过参数仰角、方位角确定 IFS 旋转矩阵,上一级分枝的枝长确定 IFS 位移矩阵,枝长比确定 IFS 缩放矩阵。即通过枝长、仰角和方位角来确定分枝的位置,通过枝长比来确定分枝的大小。

枝干由枝段组成,树叶为矩形,以实际拍摄的照片作为纹理进行贴图渲染。枝段的模型用广义圆柱体表示,应用 Direct3D 提供的顶点缓冲区技术保存树干模型中的各个顶点的数据,对树干进行建模。叶子的绘制采用 billboard 技术,设定叶子着生在最外层的分枝上,在最外层枝两侧生成相对排列的三维矢量矩形,在矩形贴上带有 Alpha 通道的真实叶子纹理。

## 2 合轴分枝树木可视化模拟系统设计

### 2.1 系统总体设计

合轴分枝树木可视化模拟系统采用 3 层架构设计。系统层是指软件开发所需要的系统和硬件支持;开发层建立在系统层之上,是系统的开发环境和开发工具层,主要负责合轴分枝树木模型的建立和程序的开发。应用层为系统运行以及用户操作层,用户可以设置系统所需要的参数,控制模型构建。系统框架图如图 2 所示。

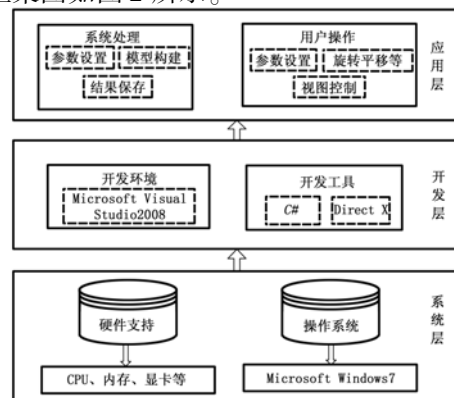


图2 合轴分枝树木可视化模拟系统框架图

## 2.2 系统功能设计

根据系统需求,系统功能主要有以下几部分,系统功能图如图3:

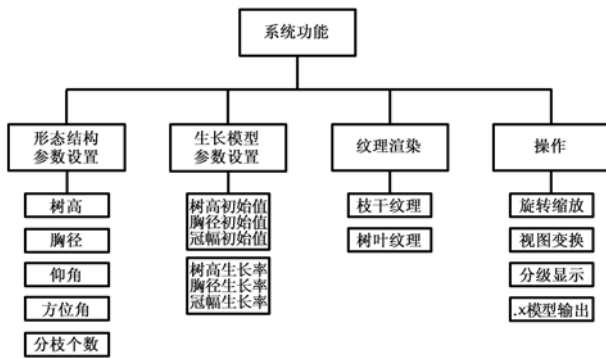


图3 系统功能结构图

形态结构参数设置:用户输入树高,胸径,仰角,方位角,分枝个数等参数。

Logistic 生长模型参数设置:对生长模型参数进行设置,预测生长后各参数值。

纹理渲染:对主干、分枝以及树叶进行纹理贴图,增强模拟真实感。

操作:包括对模拟结果进行旋转、平移、缩放等操作;视图变换主要有俯视图、正视图以及侧视图;分级显示包括主干、一级枝、二级枝等不同级数分枝和叶子的分别显示;生成的三维模型可以 .x 格式文件输出,增强了与其余软件的交互性。

## 2.3 形态结构模块与生长模块设计

2.3.1 形态模块设计 本模块供用户输入形态结构参数。根据用户输入的形态参数对树木分枝形态进行设置,分析合轴分枝树木的枝系结构,确定描述和控制树木三维形态的指标,如分枝级数控制分枝的层数,枝长比约束枝长等。根据参数构建三维可视化模型。

2.3.2 生长模块设计 本模块提供 Logistic 生长方程作为模拟的生长模型。树木的整个生长过程遵循一条“S”形曲线<sup>[14]</sup>,尽管会受到环境的影响出现一些波动,但是总的生长趋势是比较稳定的。通过数学形式的生长方程表示这种生长关系可以从理论上对未来生长趋势进行预测。给出初始值后,预测树木生长后每一年冠幅,树高,胸径等值,公式如式(1):

$$y = \frac{R/k}{1 + \left[ \frac{R/k - y_0}{y_0} \right] e^{-Rt}} \quad (1)$$

其中: $y$  为预测值, $y_0$  为初始值, $R$  为相对生长

率, $k$  为环境限制因子, $t$  为生长年限。

采用开放式设计,除 Logistic 生长模型,也提供树木其余生长模型接口,用户可根据实际需求选取合适的生长模型。

## 2.4 系统类结构设计

树木三维可视化模拟指运用计算机图形学中的科学可视化技术与方法模拟树木的形态结构、空间结构及动态生长过程<sup>[15]</sup>。本系统最主要的功能需求是将现实中合轴分枝树木的形态结构真实的在计算机上显示出来,采用面向对象设计方法据此设计系统主要类结构如下:

SymIFSTree 类的主要功能是利用 IFS 方法来创建树木模型,包括 IFS 旋转,收缩,位移矩阵的确定,建立树木模型主干和分枝的所有节点。

SymScene 类实现对枝干、树叶纹理的渲染,同时设置用户的交互信息:缩放,旋转等。

SymTreeNode 类定义数据结构,采用链表结构组织分枝数据,同一级的分枝做为单链表结构,每一个分枝做为一个节点。即每一个分枝为一个 SymTreeNode,所有分枝都建立好后,遍历所有的 SymTreeNode,得到该合轴分枝树木的枝系结构。

SymLeaf 类对树叶长宽,数量进行设置,实现绘制不同大小和类型的叶子。

## 3 合轴分枝树木可视化模拟系统实现

### 3.1 关键技术

本系统以 DirectX9.0 为开发平台,主要应用 DirectX 中的 Direct3D 组件进行模型的构建与渲染。

DirectX (Direct eXtension), 简称 DX, 运行于 Windows 操作系统,是微软公司推出的多媒体编程接口(API),它在硬件设备与程序之间提供了一套完整一致的接口,为设计人员提供了一个共同的硬件驱动标准,即提供了硬件无关性,便于开发人员最大限度的利用硬件的优秀特性。本系统中三维模型的显示主要借助的 Direct 3D 组件是一个接口和函数集,基于微软的通用对象模式 COM (Common Object Mode),目的是使 Windows 应用程序与计算机显卡能够直接对话,即图形处理时可不通过 GDI,直接调用显卡驱动程序,提高了图形处理速度。

### 3.2 系统实现

合轴分枝树木可视化模拟系统平台的主界面如图4所示,界面上部为菜单栏和工具栏,左边为三维显示区,右边为形态结构参数设置区与绘制纹理设

置区。通过设置不同的形态结构参数,选择相应树种纹理可以建立不同合轴分枝树种三维可视化模型。



图4 合轴分枝树木可视化模拟系统平台主界面

在建模时提供静态和动态两种建模方式,动态建模根据输入的树龄,通过形态和生长模型,可以计算出树高、胸径等预测值,绘制所输入年龄的合轴分枝树木可视化模型(图5)。



图5 参数设置

### 3.3 模拟结果

在中国林科院内选取槐树进行形态结构测量。一株槐树的形态结构参数如表2所示。

表2 槐树形态结构参数

调查指标	数值	调查指标	数值
树高/m	3.7	分枝级数	5
胸径/cm	8	仰角1/度	20
仰角2/度	15	冠幅/m	2.6

建立该模型耗时约5毫秒,导出.x格式文件后大小为382KB,模拟效果如图6。

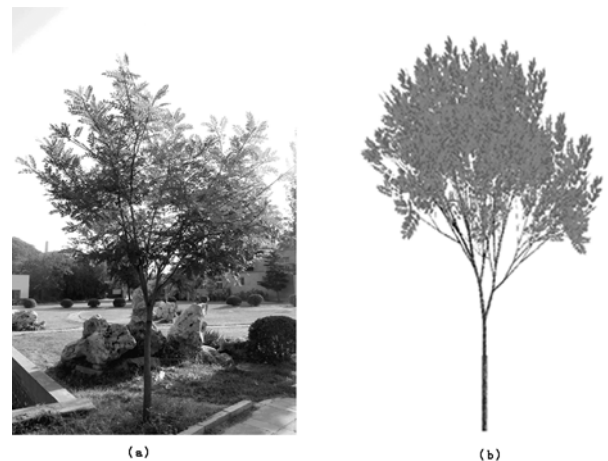


图6 槐树形态结构真实图与模拟图(a为真实图,b为模拟图)

通过生长模型控制槐树的生长,生长的模拟效果如图7:

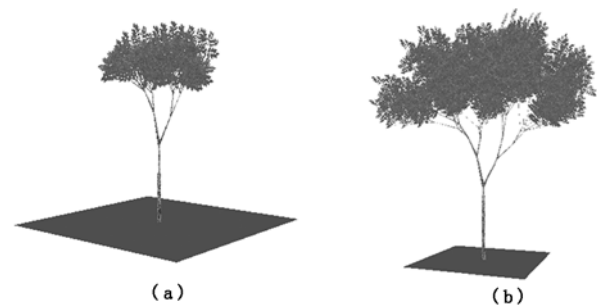


图7 槐树生长前后对比图(a为生长前,b为生长后)

## 4 结论与讨论

根据可视化模拟的需要,指出了构建合轴分枝树木模型所需的形态结构参数,并给出了这些参数与IFS因子对应关系。以槐树的实测形态参数数据为依据,结合Logistic生长模型,采用IFS算法构建了槐树三维可视化模型,实现了单株槐树静态和动

态的三维可视化模拟。采用面向对象方法设计系统主要类结构,使用 C#语言,基于 DirectX 平台完成了合轴分枝树木可视化模拟系统的开发,实现了形态结构参数,生长模型参数设置以及模型输出等功能,可以将生成的三维模型输出为 .x 格式,增强了与其余三维软件的交互性。且通过选择不同的树木纹理,可以生成不同的合轴分枝树种三维模型。

但是需要指出的是,本研究没有考虑环境因素和树木生理因素对树木生长的影响,这也是目前树木可视化研究的重点和难点,因此本研究在这一方面还有很大的探讨和研究空间,以后的工作可考虑树木生长与环境交互作用对合轴分枝树木的影响,进一步改进提高模拟效果。并且考虑到合轴分枝树木形态结构的复杂性以及计算机运算能力的有限性,建立更加完善与通用的合轴分枝树木可视化模拟系统也是本方向进一步研究的内容。

#### 参考文献:

- [1] 赵春江,陆声链,郭新宇,等. 数字植物及其技术体系探讨[J]. 中国农业科学,2010,43(10):2023-2030.
- [2] 胡宝国,胡国宣. 植物学[M]. 北京:中国农业出版社,2002.
- [3] De Reffye P, Edelin C, Fran on J, *et al.* Plant models faithful to botanical structure and development[C]. SIGGRAPH 88 Proceedings of the 15th Annual Conference on Computer Graphics and Interactive Techniques, 1988: 151-158.
- [4] Weber J, Penn J. Creation and Rendering of Realistic Tree[C]. SIGGRAPH 95 Proceedings of the 22nd Annual Conference on Computer Graphics and Interactive Techniques, 1995: 119-128.
- [5] Godin C, Costes E, Caraglio Y. Exploring plant topological structure with the AMAPmod software: an outline[J]. *Silva Fennica*, 1997, 31(3): 357-368.
- [6] 卢康宁,张怀清,刘 闽,等. 杉木单木生长可视化模拟系统设计与实现[J]. 林业科学研究,2012,25(2):207-211.
- [7] 吴 谦,张怀清,陈永富,等. 杉木形态三维可视化模拟技术研究[J]. 林业科学研究,2010,23(1):59-64.
- [8] 雷相东,常 敏,陆元昌,等. 长白落叶松单木生长可视化系统设计与实现[J]. 计算机工程与应用,2006,42(17):180-183.
- [9] Guo Y, Li B G. New advance in virtual plant research[J]. *Chinese Science Bulletin*, 2001, 46(11): 888-894.
- [10] Guo Y, Ma Y T, Zhan Z G, *et al.* Parameter optimization and field validation of the functional-structural model GREELAB for Maize [J]. *Annals of Botany*, 2006, 97: 217-230.
- [11] Hu B G, De Reffye P, Zhao X, *et al.* GreenLab: a New methodology towards plant functional-structural model-structural aspect [C]. Proceedings of Plant International Symposium on Plant Growth Modeling, Simulation, Visualization and Their Applications, Beijing, China, 2003: 21-35.
- [12] 唐丽玉,陈崇成,王钦敏,等. 马尾松的形态结构分析与三维可视化[J]. 系统仿真学报,2006,18(1):315-318.
- [13] Barnsley M F, Demko S. Iterated function systems and the global construction of fractals [C]. *Proc Roy Soc London*, 1985: 243-275.
- [14] 孟宪宇. 测树学[M]. 北京:中国林业出版社,2007.
- [15] 郝小琴. 林业科学与科学可视化[J]. 林业科学,2001,37(6): 105-108.