

# 杉木单木生长可视化模拟系统设计与实现

卢康宁<sup>1</sup>, 张怀清<sup>1</sup>, 刘 闽<sup>1</sup>, 欧阳国良<sup>2</sup>

(1. 中国林业科学研究院资源信息研究所, 北京 100091; 2. 湖南省攸县黄丰桥国有林场, 湖南 攸县 412300)

**摘要:**以杉木为例,采用从可视化模拟角度设计的调查参数调查杉木形态结构,根据实际调查数据对杉木形态结构特征进行了分析。结合生长曲线控制下的迭代函数系统方法,采用面向对象的设计方法,根据 DIRECTX9.0 提供的 API 及模型渲染技术,在 .NET 和 DIRECTX9.0 平台上,使用 C#语言建立了杉木单木生长可视化模拟系统,实现了单株杉木静态和动态的三维可视化模拟。

**关键词:**杉木;三维可视化模拟;形态结构;迭代函数系统

中图分类号:S791.27

文献标识码:A

## Design and Implementation of Individual Tree Growth Visualization System of *Cunninghamia lanceolata*

LU Kang-ning<sup>1</sup>, ZHANG Huai-qing<sup>1</sup>, LIU Min<sup>1</sup>, OUYANG Guo-liang<sup>2</sup>

(1. Research Institute of Forestry Resource Information Techniques, Chinese Academy of Forestry, Beijing 100091, China;

2. Huangfengqiao Forestry Farm of You County, Hunan Province, You County 412300, Hunan, China)

**Abstract:** Along with the development of computer techniques, the application of computer in three-dimensional visualization simulation of plant growth process has been paid more and more attention. Taking *Cunninghamia lanceolata* as an example, the morphological parameters from the perspective of the visual simulation were designed and the trees' morphological characteristics were analyzed based on the survey data. Combined with IFS (Iterated Function System) under the control of the growth curve, by using Object-oriented design methods, and according to API and model rendering technology provided by DIRECTX9.0, a three-dimensional visualization system on the growth and development of *C. lanceolata* individual tree were developed on the .NET and DIRECTX9.0 platforms, which realized the static and dynamic three-dimensional visualization simulation.

**Key words:** *Cunninghamia lanceolata*; three-dimensional visualization simulation; morphology; Iterated Function System (IFS)

随着计算机技术的不断进步,对植物生长的三维可视化模拟正受到越来越多的学者重视,近年来更是取得了长足的发展。植物的可视化模型按照建模方法和目的的不同分为静态结构模型和动态结构模型。静态结构模型是利用三维可视化的方法对植物的形态结构进行重建。如:郭焱等<sup>[2]</sup>建立了玉米

(*Zea mays* L.)的静态结构模型,分析了玉米冠层的三维结构特征。动态结构模型主要研究植物形态结构的变化规律,是目前比较流行的建模方法。在当前研究中最具代表性的是法国农业发展国际合作中心(CIRAD)建立的 AMAP 方法<sup>[3]</sup>以及加拿大的 L 系统方法<sup>[4]</sup>。目前国外已经建立了许多虚拟植物软

收稿日期:2011-05-20

基金项目:林业公益性行业科研专项(201104028)、中央级公益性科研院所项目(IFRIT200904)、国家林业局 948 引进项目(2008-4-61)

作者简介:卢康宁(1983—),男,河北任丘人,博士研究生,主要从事林业虚拟现实技术研究。

\* 通讯作者:张怀清(1973—),男,湖南宁乡人,研究员,硕士生导师,主要从事林业可视化模拟技术研究。

件,如法国的 AMAP、芬兰的 LIGNUM<sup>[5]</sup>、加拿大的 VLAB 以及美国的 SpeedTree 等软件。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 的基础上建立的 GreenLab 模型<sup>[6]</sup>在植物模拟中也有广泛的应用。

依据林业可视化技术应用范围及其复杂程度,可以将林业可视化技术分为单木可视化技术、森林场景可视化技术和森林景观系统可视化技术 3 个层次<sup>[7]</sup>。其中,单木可视化是指利用科学的计算方法,将自然界中千变万化的树木形态转换为直观的几何图形,并将描述其生理结构、生长过程的复杂数据在计算机中进行直接的计算和模拟,以达到研究树木生长趋势和木材的收获评价等目的<sup>[8]</sup>。树木模拟理论是和树木结构理论、树木三维可视化研究并行交替发展的<sup>[9]</sup>。本文以杉木(*Cunninghamia lanceolata* (Lamb.) Hook.) 为例,结合实际测量的杉木形态结构数据,采用面向对象的设计方法,根据 DIRECTX9.0 提供的 API 及模型渲染技术在 .NET 和 DIRECTX9.0 平台上,使用 C# 语言建立了杉木单木生长可视化模拟系统,实现了单株杉木静态和动态的三维可视化模拟。

## 1 杉木形态结构

从杉木可视化模拟的角度,结合模拟所需要的参数设计了杉木形态结构调查因子,主要包括:年龄、分枝个数、根径、胸径、树高、枝下高、枝下径、东西冠幅、南北冠幅、枝根直径、枝下距、枝长、仰角、方位角等。调查因子的确定及具体调查方法详见文献[10]。

对实测得来的杉木一级枝仰角、方位角,二级枝仰角、方位角应用统计软件进行分析得出,一级枝仰角基本符合正态分布,主要集中在 $50^{\circ}\sim 80^{\circ}$ 之间,方位角垂直分布,基本符合均匀分布;二级枝仰角基本符合正态分布,主要集中在 $50^{\circ}\sim 100^{\circ}$ 之间,方位角主要集中在 $(135^{\circ}, 225^{\circ}]$ 和 $(315^{\circ}, 45^{\circ}]$ 区间内,分布在水平方向上。具体分析详见文献[11]。

## 2 杉木形态结构模型的建立

本研究采用 IFS 和冠形曲线相结合的方法来建立杉木的形态结构模型。设有  $N$  个三维仿射变换为:

$$W_n(X) = A_n X + B_n = \begin{pmatrix} a_n & b_n & c_n \\ d_n & e_n & f_n \\ g_n & h_n & i_n \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} u_n \\ v_n \\ w_n \end{pmatrix}$$

其中: $X$  为三维欧氏空间的一个点集, $n=1,2,3,\dots,N$ ;  $A_n$  为压缩矩阵,表示绕  $Y$  轴旋转  $\gamma_n$  角,绕  $Z$  轴旋转  $\alpha_n$  角的两个旋转矩阵和一个收缩矩阵( $X, Y, Z$  3 个方向的收缩率为  $S_n$ ,取值范围为  $0 < S_n < 1$ )的乘积;  $B_n$  为位移矩阵, $u_n, v_n, w_n$  为  $X, Y, Z$  上的位移。

通过胸径、根径和树高,应用削度方程来建立主干的形状;枝下高(枝下距)、仰角和方位角来确定分枝的位置;枝根枝径和枝长来确定分枝的大小。根据 IFS 本身的特点以及调查参数的意义,应用分枝个数来控制 IFS 的迭代次数;仰角、方位角来控制旋转矩阵;枝下高(枝下距)来控制位移矩阵。通过树高、胸径和冠幅的生长曲线数据来反演不同年龄的冠形,如图 1 所示,每个一级枝的年生长量就是代表一级枝的斜线在与冠形的交点所形成的各个线段长度。加入影响树木生长的环境因素,通过设定环境影响率来调整生长模型。树木建模过程如图 2 所示。

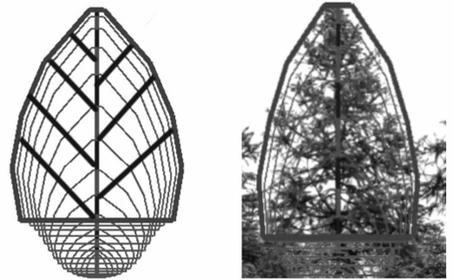


图 1 冠形及分枝结构图

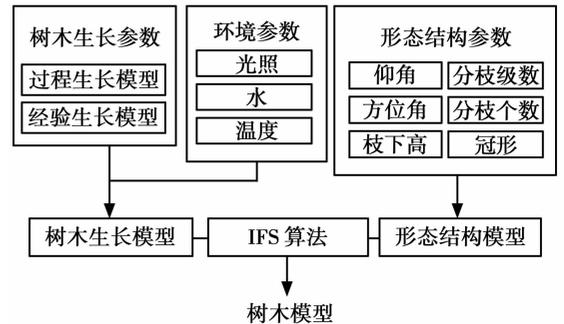


图 2 杉木建模流程图

## 3 杉木单木生长可视化模拟系统设计

### 3.1 杉木形态结构模块设计

根据调查参数以及杉木形态结构模型建立的方法来设计杉木形态结构模块。基于树木形态特征的分析,采用面向对象的建模方法,将树木主要构件主干和分枝作为矢量模型,树叶、树枝纹理、树干纹理

作为栅格模型处理,如图3所示。

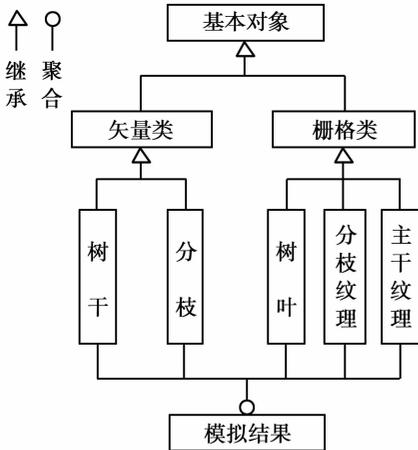


图3 面向对象的树木模型

模型中的基本对象是一个基类,由基类派生出矢量类和栅格类,其中,树叶、树枝纹理、树干纹理继

承于栅格类,主要利用图像的形式来描述其相应的外观特征。树木模型的主要定义如下:

- (1)树模型: {[主干,分枝],[分枝级数、分枝类型,树高],[纹理]}
- (2)主干: {[根径、胸径、高度]}
- (3)分枝: {[仰角、方位角、枝径、枝长、枝下距(枝下高)]}
- (4)纹理: {[树叶],[分枝纹理],[主干纹理]}

### 3.2 杉木动态生长模块设计

根据前面提到的杉木形态结构模型建立的方法,选择树高、胸径和冠幅生长模型作为驱动杉木生长的模型。本模块采用开放性设计,用户可以选择模块提供的常见树木生长模型,也可根据实际情况输入生长模型。选取 Gompertz、Mitscherlich、Logistic、Richards、Korf 和 Weibull<sup>[12]</sup> 作为供用户选择模型。其形式如表1所示。

表1 常见的树木生长模型

名称	Gompertz	Mitscherlich	Logistic
形式	$y = k \cdot \exp(-e^{-b \cdot x})$ $k, a, b$ 为参数, $k > 0, b > 0$	$y = A \cdot (1 - l \cdot e^{-m \cdot x})$ $A, m, l$ 为参数, $A > 0, m > 0, 0 < l \leq 1$	$y = \frac{C}{1 + e^{p-q \cdot x}}$ $C, p, q$ 为参数, $C > 0, q > 0$
名称	Richards	Korf	Schumacher
形式	$y = A \cdot (1 - b \cdot e^{-k \cdot x})^{\frac{1}{1-m}}$ $A, b, k, m$ 为参数, $A > 0, k > 0, m > 0$	$y = A \cdot e^{-b \cdot \frac{1}{x^c}}$ $A, b, c$ 为参数, $A > 0, b > 0, c > 0$	$y = k \cdot \exp\left(\frac{-b}{x^c}\right)$ $k, b, c$ 为参数, $k > 0, b > 0, c > 0$

### 3.3 杉木单木生长可视化模拟系统总体框架设计

杉木单木生长可视化模拟系统通过给定的参数和模型应用计算机模拟出杉木的静态以及动态的三维形态。其系统框架如图4所示。系统层是指系统开发与运行的硬件和操作系统;开发层是系统的开发环境以及开发工具,建立在系统层之上,主要负责模型的建立与程序的开发;应用层是系统的运行层,也就是提供给用户使用的层次。在应用层用户可以观察和控制运行结果以及场景。

## 4 杉木单木生长可视化模拟系统实现

### 4.1 关键技术

计算机图形学在本系统的开发中起着举足轻重的作用。Microsoft DirectX 旨在使基于 Windows 的计算机成为运行和显示具有丰富多媒体元素(例如全色图形、视频、3D 动画和丰富音频)的应用程序的理想平台。其中 DirectX3D 是负责三维图形的一个组件,集成开发了 DirectX 程序三维部分的所有 API (Application Programming Interface) 函数,也是 Di-

rectX 的最重要、最复杂的组成部分。本系统中的三维图形显示都是借助于 DirectX3D 的功能来实现的。

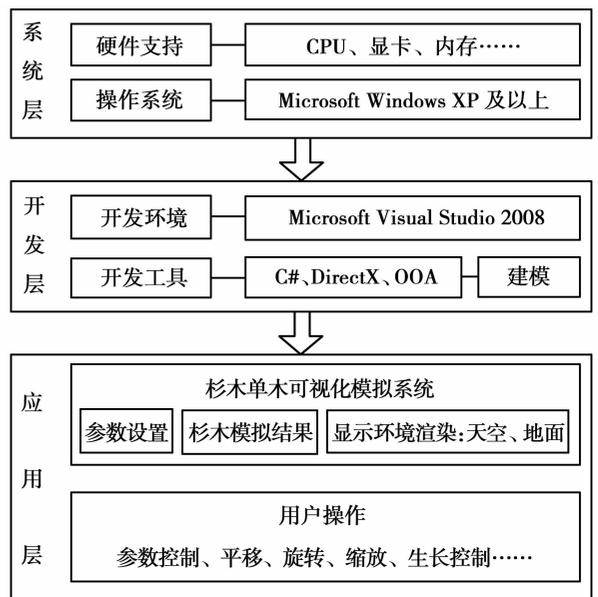


图4 杉木单木生长可视化模拟系统框架

**4.1.1 Direct 3D** Direct 3D 是基于微软的通用对象模式 COM(Common Object Mode)的 3D 图形 API。可绕过图形显示接口(GDI)直接进行支持该 API 的各种硬件的底层操作,大大提高了图形处理速度。D3D Device 分为硬件抽象层设备(HAL Device)和参考设备(REF Device),主要提供矩阵变换、三维图像渲染和三维图像光栅化显示等功能。Direct3D 在完成坐标变换、光照处理和纹理映射后,将绘制结构的值存储于颜色缓冲区中,最后通过图形刷新,颜色缓冲区的内容显示在屏幕上。本系统的三维显示部分正是利用 Direct3D 提供的图形操作技术来实现的。

**4.1.2 纹理贴图技术** 用真实的自然界中的纹理来表现模型的表面,可以使三维图形显得更逼真、更自然。DirectX 提供相应的函数对纹理进行控制,如贴图的方式,纹理坐标的转换等。在 DirectX 中使用关键色透明技术,通过设置渲染状态 ALPHATESTABLE 和参考值 ALPHAREF 进行 Alpha 测试。程序根据 Alpha 测试函数比较当前像素的 Alpha 值与 ALPHAREF 的值,由比较结果决定是否绘制该像素,如果返回 TRUE,则通过测试并绘制像素,反之则不予绘制<sup>[13]</sup>。本系统中主干、分枝以及树叶的纹理都是基于这种技术实现的。

**4.2 系统功能简介**

系统主界面如图 5 所示。主要分成菜单栏、工具栏、控制面板和显示区 4 个部分。控制面板包括 4 个选项卡,分别用来控制树木的整体信息,如胸径、树高、年龄、冠幅等;形态结构信息,如主干、分枝、叶子以及相应的纹理设置等;生长模型选择以及模拟结果的环境状况,如天空、土地等。工具栏包括最常见的操作命令,如新建、保存、放大、缩小、平移、旋转、节点显示、网格显示等。生成结果可以通过图片的形式或者点文件的形式输出保存。

**4.3 模拟结果**

在湖南省黄丰桥国有林场广黄分场选取具有代表性的杉木进行形态结构测量。通过对 1 株 13 年生的杉木调查得出其形态结构参数如表 2 所示。

表 2 13 年生杉木形态结构调查

调查指标	取值	调查指标	取值
树高/m	9.2	一级枝个数/个	64
胸径/cm	18.4	枝下高/m	1.78
根径/cm	23.2	仰角/°	45°~80°
东西冠幅/m	4.3	南北冠幅/m	4.2

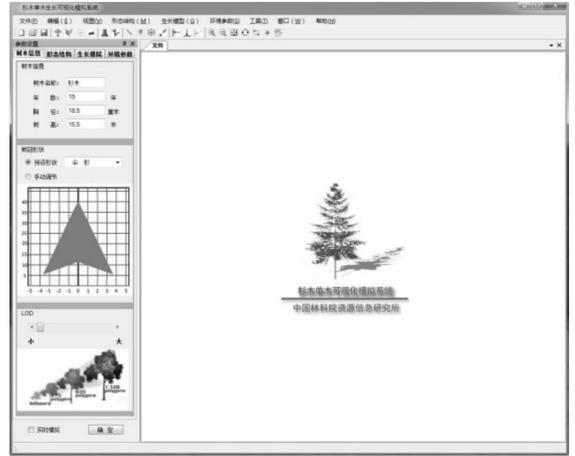


图 5 杉木单木生长可视化模拟系统主界面

其中,顶端很小的一级枝并没有计算在内,一级枝方位角基本上符合正态分布。将调查的参数输入到系统,模拟得到杉木形态结构和实际杉木形态结构对比如图 6 所示。

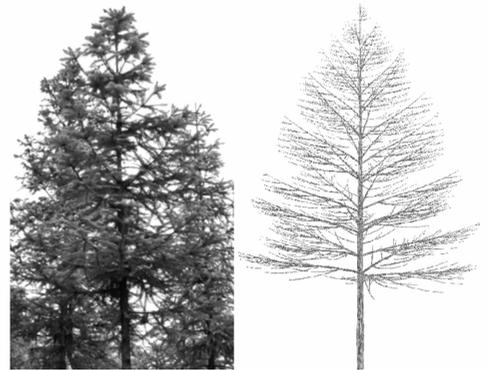


图 6 杉木形态结构模拟图和真实图的对比

采用生长模型来控制杉木树高、胸径和冠幅的生长情况,应用环境因子来简化环境因素对树木生长的影响,通过调整环境因子大小来改变树木的生长率和生长曲线的形状,如图 7 所示。

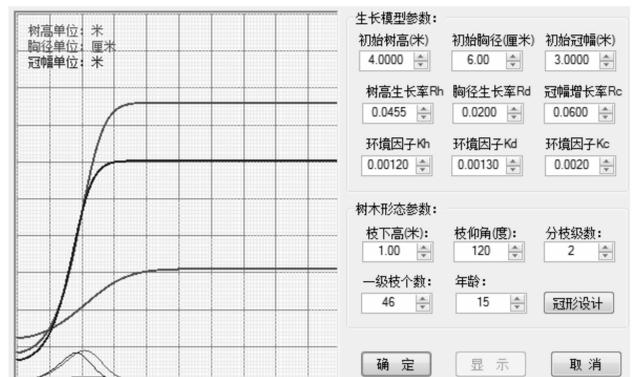


图 7 树高、胸径和冠幅的生长曲线图

图8为10年生和15年生杉木的模拟图和真实图的对比。

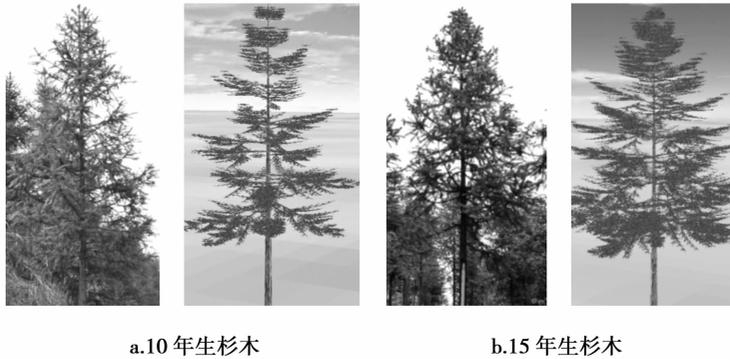


图8 模拟生成的杉木与真实杉木的对比

## 5 结论与讨论

在本研究中应用调查得到基础数据做为系统模拟的入口参数,使用树木生长曲线改善传统的IFS方法进行形态结构建模,通过计算机技术完成了杉木单木生长可视化模拟系统的设计与开发,实现了单株杉木静态和动态的三维可视化模拟。纹理贴图技术,环境渲染技术的使用大大提高了本系统的模拟效果。选取调查的杉木为例,应用建立的系统进行了树木三维形态结构模拟。通过设定生长曲线的参数以及环境影响因子来实现杉木动态生长变化。

环境因素和树木生理因素对树木生长的影响是目前树木研究的重点和难点。在本研究中需要进一步的改进。从生物量生产和分配的角度来研究树木生长与环境交互的作用是本研究的发展方向。另外,本系统的输入输出功能有待进一步加强,在以后的工作中将实现本系统输入输出obj等格式的文件,提高与成熟三维软件的交互性,把系统产生的树木模型导出到3D MAX等行业软件中进一步操作。由于树木形态结构的差异性、生长的随机性以及计算机运算的有限性,建立通用的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] 郭焱,李保国. 虚拟植物的研究进展[J]. 科学通报,2001,46(4):273-280
- [2] 郭焱,李保国. 玉米冠层三维结构研究[J]. 作物学报,1998,

24(6):1006-1009

- [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, 1988,22(4):151-158
- [4] Lindenmayer A. Mathematical models for cellular interactions in development II. Simple and branching filaments with two-sided inputs [J]. Journal of Theoretical Biology, 1968,18(3):300-315
- [5] Perttunen J, Sieva Enen R, Nikinmaa E. LIGNUM: a model combining the structure and functioning of trees[J]. Ecological Modelling, 1998,108:189-198
- [6] 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
- [7] 侯军岐,杨静. 林业可视化技术推广路径选择研究[J]. 林业经济问题,2010,30(3):211-214
- [8] 龙洁,苏喜友. 国内树木三维可视化研究进展[J]. 林业调查规划,2007,32(6):44-47
- [9] 景向欣. 樟子松人工林单木动态生长三维可视化模型的研究[D]. 哈尔滨:东北林业大学,2007
- [10] 卢康宁,张怀清,刘闽. 杉木形态结构可视化模拟调查方法研究[J]. 中南林业科技大学学报:自然科学版,2010,30(1):34-40
- [11] 卢康宁,张怀清,刘闽. 基于实测数据的杉木构筑型研究[J]. 林业科学研究,2011,24(1):132-136
- [12] 张建国,段爱国. 理论生长方程直径结构模型的研究[M]. 北京:科学出版社,2004
- [13] 吴谦,张怀清,陈永富. 基于生长规律与图像相结合的树木叶片动态模拟[J]. 林业科学研究,2008,21(增刊):122-125