

虚拟森林场景的构建

舒娱琴¹ 祝国瑞¹ 陈崇成²

(1 武汉大学资源与环境科学学院, 武汉市珞喻路 129 号, 430079)

(2 福建省空间信息工程研究中心, 福州市工业路 523 号, 350002)

摘要: 解决了构建符合林分结构规律的虚拟森林场景的两个关键问题: ① 森林空间数据的分析与仿真, 主要研究林分中树木各特征因子如树高、胸径在林分空间位置上的分布状况; ② 在森林空间数据给定的情况下, 采用交互式参数建模方法构建三维几何树模型, 最后阐述了虚拟森林场景构建的具体流程。

关键词: 虚拟森林; 林分; 森林空间数据; 交互式参数建模

中图法分类号: P208; TP 391

森林动态变化具有时间跨度大和空间尺度大两个显著的特性^[1], 正是这两个因素使得林业研究面临着非常大的难题。而虚拟森林场景努力超越时间与空间的限制, 应用计算机模拟树木在三维空间中的生长状况, 为林业科学研究提供了一个新型的平台。与以往仅考虑零维、一维和二级的林业表达信息相比, 用真实的三维几何树木表达的虚拟森林场景更易于理解和分析。因此, 这种直观的虚拟森林场景在景观规划设计、森林经营决策、林业教学等方面具有实用价值。

虽然国内外在树木建模上有了较大的发展, 并陆续推出了一些较成熟的方法^[2], 如 L 系统、三维 IFS、体纹理等, 但这些方法重点在于从图形学角度出发对树木形态建模与绘制, 而从林业科研角度看, 这些方法理解困难、使用较复杂。且国内对森林中有哪些形态不同的树, 树模型又是怎样放置在森林中等森林空间数据问题研究较少, 因此, 目前从树木模型的构建、森林空间分布到整个虚拟森林场景的构建还不是很系统。在此基础上, 构建符合林分结构的虚拟森林。

1 森林空间数据的分析与仿真

为了揭示森林生成演替规律及科学经营、管理、利用森林, 将大片森林按其本身的特征和经营

管理的需要, 划成若干个内部特征相同且与四周相邻部分有显著区别的小块森林, 这块森林称为林分^[3]。将以林分空间尺度内树木生长分布为研究重点, 获得林分中各树木的空间位置和林分因子的分布信息, 从而产生一个符合森林生长规律的虚拟森林。

森林空间数据^[4]主要是指森林中树木特征因子, 如树高、胸径、冠幅等在森林空间位置上的分布。森林空间数据可以通过遥感影像并采取一定的信息提取方法来获取, 但其工作量及复杂度都很大。如果采取各林木实地测量的方法, 从个体到整体涉及到的人力也很大。考虑上述因素, 本文利用森林资源二类调查的林分整体信息, 应用林分结构规律获得林分的胸径分布; 在已知初植方式下计算空间位置信息; 采用随机分布特性将胸径和空间位置联系起来, 从而反演到林木个体。

1.1 林分结构规律

在未遭受到严重干扰的情况下, 即使林分内部的造林时间和生长环境基本相同, 但由于林木遗传性和林木个体之间相互竞争、相互作用, 也会产生某些差异。这些差异的特征因子如胸径、树高等表现出较为稳定的结构规律性, 在林学中称为林分结构规律^[3]。林分胸径分布是最基本的林分结构。根据林分胸径分布的具体形状特征和

变化规律, 选用不同的概率分布函数反推该林分区域的胸径分布。一般常用的分布形式有 Weibull 分布、正态分布、 Γ 分布、 β 分布等。

下面以 Weibull 分布为例, 通过式(1)求出各径阶(林分内从最小胸径到最大胸径之间分成若干个范围段, 这个范围段称之为径阶)的分布概率 $f(x_i)$, 然后带入式(2)求出各径阶的林木株数 n_i :

$$f(x_i) = \frac{c}{b} \left(\frac{x_i - a}{b} \right)^{c-1} \exp \left[- \left(\frac{x_i - a}{b} \right)^c \right] \quad (1)$$

$$n_i = N \cdot K \cdot f(x_i) \quad (2)$$

式中, x_i 表示径阶值; a 为位置参数 ($0 \leq a \leq x_i$), 标定为林分最小直径; b 为尺度参数 ($b > 0$); c 为形状参数 ($c > 0$); n_i 为每径阶的株数; K 为径阶距。参数 a 、 b 、 c 可以通过样地采样统计分析后获得。

一般地说, 林木胸径越大, 林木也越高, 两者之间存在着正相关关系。同样, 冠幅与胸径、冠长与胸径也存在着相关关系。林木中的树高、冠幅、冠长可以通过这些相关函数获得。

1.2 空间位置分布

1) 初植分布。采用一定的数学公式获得树木的平面位置, 在得到了树木的平面位置后, 需要找出相应的地形高程数据。不论地形是由规则网格构成或不规则三角网构成, 只要找到该树木的平面位置所在的网格或三角网, 就可以通过一定的数学运算求出树木所在的高程值了。

2) 自然稀疏分布。森林自疏过程^[3] 反映着不同年龄阶段的林分株数的结构动态规律。随着树木的平均大小的增大, 密度过于拥挤从而导致一些被压木死亡。也就是说, 在原来初植位置上的部分树木有可能得不到阳光和养分逐渐枯死, 在虚拟森林场景中应将这些树木剔除。

1.3 随机分布算法

在存贮了林分的各径阶值和对应林木株数及其在原来初植位置上部分枯死(径阶值设为0)的林木株数后, 采用随机分布的方式, 在空间位置上赋予径阶值等林木特征因子。为了便于在计算机上实现, 本文构建了一个基类为 recordset 的林分数据库类 standset。standset 类结构如下:

```
<standset>: := <树木序号 m-treeid> <X 坐标 m-posix>
<Y 坐标 m-posiy> <Z 坐标 m-posiz> <胸径 m-dbh> <树高 m-height>
<其他林木因子> <三维树模型序号>
```

随机分布具体实现算法如下。

- 添加 standset 的新记录;
- 写入林分内林木的几何信息, 在位置数组

中取出一个, 分别写入到 standset 的 X 坐标 m -posix、Y 坐标 m -posiy、Z 坐标 m -posiz 变量中;

◦ 在各径阶值和 0 径阶范围内随机产生一个值, 同时对 standset 的胸径变量赋值, 通过胸径和树高、冠幅、冠长的相关函数分别求出树高、冠幅、冠长等, 写入到 standset 中;

◦ 写入的径阶值对应的林木株数自动减 1;

◦ 判断各径阶值和 0 径阶范围内对应的林木株数是否大于 0, 如果大于 0, 可以在该范围内产生随机值; 如果等于 0, 则要将该径阶值去除, 然后在剩下的范围内产生随机值;

◦ 直到所有的林木的信息都写入。

2 树木的交互式参数建模

由于树木自身结构特征的任意性、不规则性和复杂性, 本文采用交互式的参数建模方法^[5], 通过调整树木的树高、胸径、冠形、分枝角度等林业熟悉的参数, 来建立三维几何树模型。

2.1 参数的确定

从树木的形态结构出发, 如封三彩图 1 所示, 可以知道各层枝条的数量、长度和分枝角度及其空间配置状态不仅影响着叶子的空间分布, 还决定了树冠的大小和形状。把影响树木形态结构的因素主要分为如下三类。

◦ 主干: 主干类型、形数、树高、胸径、冠幅、冠长率、树皮;

◦ 枝条: 枝条位置、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。

2.2 建模规则

◦ 树的主干上分生出第一层分枝, 再由第一层分枝上生出第二层分枝, 这样一层层分下去直至树叶;

◦ 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少的;

◦ 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;

◦ 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, 对这样的枝条采用分段逼近;

◦ 主干、枝条视为横截面直径变化的广义圆柱体;

◦ 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。

2.3 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〉:: = 〈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〉:: = 〈纹理路径〉 // 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

封三彩图 2 就是采用该方法构建的三维几何树模型, 是在构建了树木形态分枝结构(封三彩图 1)后, 增加叶片、树皮纹理映射后的效果图。为了生成基本一致又略有差异的自然树木模型, 对上述所有参数都引入一定的随机量, 这样就可以生成一批具有同样特征的树木。

3 虚拟森林场景的构建

以福建省漳浦地区的人工荔枝林为例, 介绍虚拟森林场景构建的流程。首先要获得需要模拟的林分区域的林分整体信息, 该林分区域上的树种是荔枝, 林分面积 8 亩, 林分密度 16 棵/亩, 立地质量指数 12(对影响森林生产能力的所有生境因子, 如地形坡度、坡向、坡位、土壤厚度及气候等

综合评价的一种量化指标), 平均树高 2.8m, 平均胸径 12dm, 初植方式是 6m×6m 的矩形排列。根据这些已知的林分信息, 通过分析获得该区域虚拟森林的林分信息 standset 中的仿真数据。另外, 通过实地测量测得荔枝树的枝条和叶子的分布密度, 并针对不同径阶的树木高度、冠幅、冠长率等参数, 建立相应的三维荔枝几何模型。由于森林空间数据的仿真结果已将三维几何模型和所在的具体位置联系起来, 因此在虚拟森林构建时, 通过 standset 类去调用树模型并对应地放置在地形上。其具体实现流程如图 1 所示。封三彩图 3 为福建省漳浦地区不同视点下的虚拟荔枝人工林。

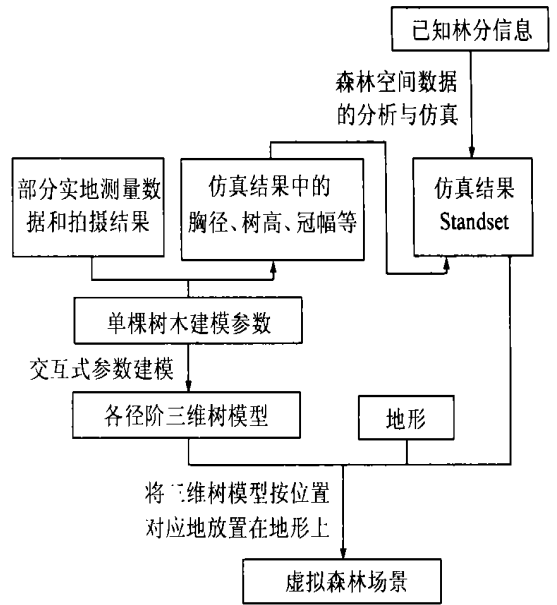


图 1 虚拟森林场景构建流程图
Fig. 1 Flow Chart of Generating Virtual Forest

参 考 文 献

- 1 Uusitalo J, Orland B. Virtual Forest Management: Possibilities and Challenges. International Journal of Forest Engineering, 2001, 12(2): 57~66
- 2 胡包钢, 赵 星, 严红平, 等. 植物生长建模与可视化——回顾与展望. 自动化学报, 2001, 27(6): 816~835
- 3 孟宪宇. 测树学. 北京: 中国林业出版社, 1995. 66~127
- 4 宋铁英. 森林空间数据的统计与仿真. 北京林业大学学报, 1997, 19(3): 74~78
- 5 Lintermann B, Deussen O. Interactive Modeling of Plants. IEEE Trans. on Computer Graphics and Applications, 1999, 19(1): 56~65

第一作者简介: 舒娱琴, 博士生. 主要研究方向为虚拟地理环境。

Generation of Virtual Forest

SHU Yuqin¹ ZHU Guorui¹ CHEN Chongcheng²

(1 School of Resource and Environment Science, Wuhan University, 129 Luoyu Road, Wuhan 430079, China)

(2 Spatial Information Research Center, Fujian Province, 523 Gongye Road, Fuzhou 350002, China)

Abstract: Virtual forest can provide a new way for forest management and research. Two key problems about generating virtual forest which is true of law of stand structure have been solved in this paper. One is to analyze and simulate forest spatial data, to research on how characters of tree such as height, diameter and so on were distributed in stand. The other is to construct three-dimensional geometric model of tree with the interactive and parameterized modeling method if forest spatial data are given. In last this paper expounds the generating process of the whole virtual forest.

Key words: virtual forest; stand; forest spatial data; interactive and parameterized modeling

About the first author: SHU Yuqin Ph.D candidate. Her main research interests include virtual geographic environments and 3D GIS.

(责任编辑: 平子)

(上接第 539 页)

Structured Design of Dendritic River Networks Based on Graph

ZHANG Yuanyu¹ LI Lin¹ JIN Yuping² ZHU Haihong¹

(1 School of Resource and Environment Science, Wuhan University, 129 Luoyu Road, Wuhan 430079, China)

(2 Hainan Fundamental Geo-Information Centre, State Bureau of Surveying and Mapping
53 South Bailong Road, Haikou 570203, China)

Abstract: This paper presents a new idea of automatic design of river networks according to its structure, then introduces algorithms about implementing the idea. It tests and symbolizes many river networks in DXF format. The algorithms is proved to be feasible and stable.

Key words: river networks; graph theory; structured design; symbolization

About the first author: ZHANG Yuanyu postgraduate majors in geo-information visualization, geo-information engineering and its application.

E-mail: yuanyu-zhang@163.com

(责任编辑: 晓平)

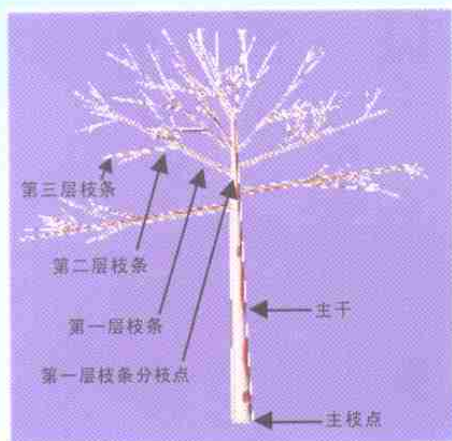


图1 树的定义
Fig 1 Tree's Definition



图2 三维几何树模型
Fig 2 3D Geometric Model of Tree



图3 不同视点下的虚拟森林场景
Fig 3 Virtual Forest in Different View