

参数化林木个体及林分场景可视化模拟技术

李永亮, 鞠洪波*, 张怀清, 蒋 娴, 刘 海

(中国林业科学研究院资源信息研究所, 北京 100091)

摘要:以湖南攸县黄丰桥国有林场为试验区,以1块林分边界规整的典型杉木人工同龄纯林为研究对象,测定林木胸径、树高、冠幅、冠高与活枝下高等测树因子及林木位置信息。研究冠形曲线函数,利用Direct 3D技术,实现冠形控制下的参数化林木模拟。研究林木模型格式转换方法,为林分场景构建提供模型数据,结合MOGRE技术,研究林分场景模拟技术方法,实现林分场景可视化模拟。结果表明:参数化林木个体建模算法简单适用,测树因子信息可直接用于林木个体可视化模拟,所建模型可体现林木个体差异,形态逼真;利用MOGRE技术可快速、有效模拟林分场景,所建场景真实感较强。此方法所需数据易于获取,适用性强,可对林木个体及林分场景进行逼真模拟,可为研究林木竞争关系、林分生长、林分结构与林分经营提供新思路。

关键词:参数化;林木;林分场景;MOGRE;可视化模拟

中图分类号:S711

文献标识码:A

Visual Simulation of the Parameterized Tree and the Stand Scene

LI Yong-liang, JU Hong-bo, ZHANG Huai-qing, JIANG Xian, LIU Hai

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

Abstract: The Huangfengqiao State-owned Forest Farm in Hunan Province was selected as a test area. A typical even-aged Chinese fir pure plantation with regular boundary was chosen as the research object. The tree height, DBH, crown width, crown height, under-branch height and the tree location information were measured. The parameterized tree controlled by the crown shape was simulated by researching the crown shape function and using the Direct 3D technique. The conversion method of the tree model format was studied in order to provide the model data to the stand scene. The simulation method of the stand scene was researched and the stand scene was simulated by using MOGRE technique. The results show that the simulation algorithms of the parameterized tree are simple and applicable, the tree-measuring factors can be directly used by the verisimilitude model of the tree which can describe the individual difference, and the verisimilitude scene can be quickly and effectively constructed with MOGRE technique. The data can be easily acquired and the methods which have strong applicability can realistically simulate the individual tree and the stand scene and provide new ideas for the study of forest competitive relationship, stand growth, stand structure and stand management.

Key words: parameterization; individual tree; stand scene; MOGRE; visual simulation

森林可视化模拟技术是当前林业科学研究与林业生产领域的热点研究内容。树木可视化建模技术

主要有:基于几何体的建模技术、基于过程的建模技术与基于图像的真实感建模技术^[1]。Deussen

收稿日期:2012-12-15

基金项目:国家高技术研究发展计划(863计划)(2012AA102002);林业公益性行业科研专项(201104028);国家自然科学基金项目(31170590)

作者简介:李永亮(1984—),男,河北赵县人,博士研究生,研究方向:森林可视化模拟技术与林业遥感。

*通讯作者:研究员,研究方向:林业信息技术。

等^[2-3]对使用相对少量原始要素(点、线)实时逼真绘制复杂场景进行了研究。吴谦^[4]、Oppenheimer^[5]通过分析各级枝条结构,利用分形算法建立了树木模型。宋铁英^[6]以现实树木图像为原型,采用计算机图形与图像技术,构建了林分中各株树木图像。Shlyakhter等^[7]利用相片与L-System相结合的方法,重建了树木三维模型。舒娱琴^[8]、石松^[9]和林定^[10]以贝塞尔曲线控制树木形态结构,建立了树木交互式建模方法。仲兰芬^[11]设定树冠形状来确定枝条生成范围,建立了由全局到局部的树木建模方法。董灵波^[12]通过定量分析单木形态数据,利用OpenGL构建了单木形态与生长可视化系统。以上针对单株树木的模拟方法或逼真程度不够、或算法复杂,又或者所使用的基础数据不易满足,并且都存在着不能直接利用简单林木测树因子实现树木形态模拟的问题。刘海^[13]将开源软件MOGRE作为场景渲染引擎,快速建立了森林环境可视化模型。朱磊^[14]、LI^[15]、吴学明^[16]采用已有的Mesh格式的树木模型,结合MOGRE进行林分场景模拟,以整个模型按比例缩放来表达林木个体特征的差异,此方法缺乏林木真实性。林木可视化模型先决数据应易于获取,算法应简单适用,模型应具备较高的真实性,才能为林分场景模拟提供多样化素材。树木分枝结构是单株木逼真模拟中的重要内容,但若为林分场

景模拟提供模型就显得不那么必要了,因为越详细的林木模型代表着越大的数据量,必然给林分场景渲染速度带来压力。鉴于冠形是表征一株树木的基本轮廓重要因素,本研究以杉木为例试图以林木测树因子为林木可视化模型参数,利用Direct 3D技术,实现冠形控制下的参数化林木模拟;结合MOGRE技术,建立以上述模型为数据源的林分场景模拟技术体系,实现林分场景逼真模拟。

1 材料与方法

1.1 试验材料

以湖南攸县黄丰桥国有林场为试验区。该林场呈带状横跨于株洲攸县东西部,位于113°04'~113°43' E, 27°06'~27°04' N之间,属亚热带季风湿润气候区,年平均气温17.8℃、降水量1410.8 mm、平均日照时间1612 h、无霜期292天左右。境内以中低山貌为主,森林覆盖率达90.07%。选择1块林分边界规整的典型杉木(*Cunninghamia lanceolata* (Lamb.) Hook.)人工同龄纯林为研究对象,林龄14年,面积2500 m²,林木总株数230株。测定每株林木胸径,树高,冠幅,活枝下高及冠高等林木测树因子,同时采用全站仪测定每株林木的位置坐标。样地林木调查因子统计信息如表1;林木空间分布格局如图1,图中空心圆位置代表林木位置坐标。

表1 样地林木调查因子统计信息

树种	林龄/a	平均胸径/cm	平均树高/m	平均冠幅/m	林地面积/m ²	株数/株	平均活枝下高/m	平均冠高/m
杉木	14	20.1	12.8	3.0	2500	230	7.1	8.3

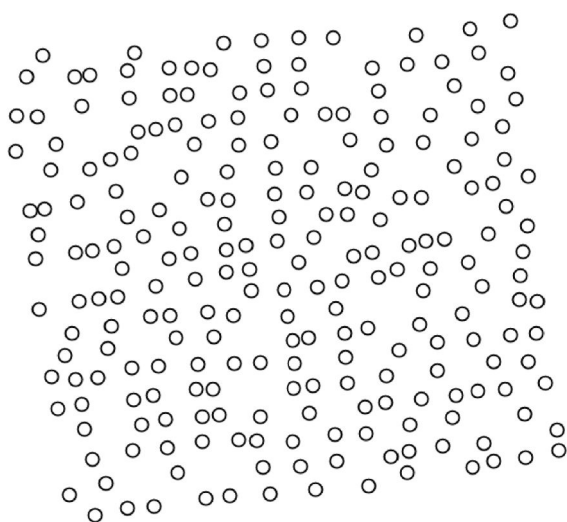


图1 林木空间分布格局示意图

选取树干纹理图片,并于林分内采集较有代表性的枝干与树梢纹理图片,为林木可视化模拟提供素材,图片经一定处理后依次如图2,3,4所示。

1.2 研究方法

1.2.1 冠形曲线 林木整体外形是构建林分场景所关注的内容,树冠的形状是一棵树整体外形的主要体现^[17]。在林分场景构建中,冠形描述决定着林木可视化模拟的质量。冠形通常可从横断面与纵断面两个方面来研究,大多数学者认为可用抛物线或非抛物线体等简单函数叠加来描述树冠纵断面。本研究将树冠分为上下两部分,以树高、冠幅、活枝下高和冠高为自变量建立幂函数形式的纵断面冠形曲线函数。假定树冠曲线以树干为对称轴,以沿冠幅右侧方向为例,上下部分曲线函数表达为^[18]:

上半部分($h \geq H_c$):



图2 树干纹理

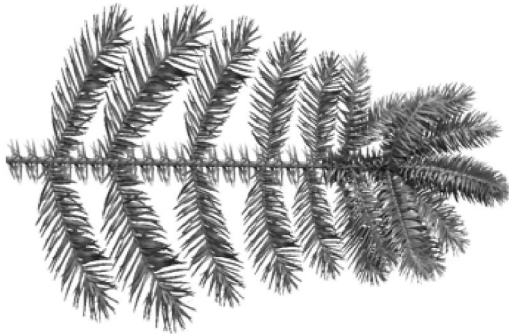


图3 枝干纹理



图4 树梢纹理

$$h = H - a_1 x^{b_1} \quad (1)$$

下半部分($h \leq H_c$):

$$h = H_b + a_2 x^{b_2} \quad (2)$$

根据式(1)、式(2)可得:

$$a_1 = \frac{H - H_c}{(0.5C_r)^{b_1}} \quad (3)$$

$$a_2 = \frac{H_c - H_b}{(0.5C_r)^{b_2}} \quad (4)$$

式中: C_r 为冠幅; H_b 为活枝下高; H_c 为冠高; H

为树高; a_1, a_2 为与 b_1, b_2 相关的参数; b_1, b_2 为冠形指数; x 表示沿冠幅右侧方向的数值,其取值范围在 $0 \leq x \leq 0.5 C_r$; h 为对应于 x 的冠幅高度。

应用此函数可实现以树高、冠幅、活枝下高和冠高为自变量的冠形参数化建模,此函数具有灵活性,可视冠形情况对冠形指数进行细微调整,但以上4参数信息仍可在林木模型中得以体现。

1.2.2 可视化模拟技术 在 VS2008 集成开发环境中,使用 C# 开发语言,结合 Direct 3D 和 MORGRE 技术是本研究中所采取的研究手段。

1.2.2.1 Direct 3D 技术 Direct 3D 是微软公司在 Microsoft Windows 操作系统上所开发的一套 3D 绘图编程接口,可绕过图形显示接口直接进行支持该 API 的各种硬件的底层操作,支持 2D、3D 图形程序开发,是 DirectX 的一部分,是最常用的绘图编程接口之一。Managed DirectX 是 DirectX 的托管版本,支持 C# 语言开发 DirectX 程序。本研究拟采用此项技术进行参数化林木可视化模型开发。

1.2.2.2 MORGRE 技术 图像渲染引擎 OGRE,全称 Object-Oriented Graphics Rendering Engine,可以在应用程序中采用面向对象的方式来表现复杂的 3D 空间,作为应用程序的中间件,支持多种模式的三维模型。OGRE 专注于处理三维空间场景的角色,允许更多关注应用程序细节而不是一个 3D 场景的渲染过程,可轻松实现三维场景的可视化模拟。MORGRE(Managed OGRE)是对 OGRE 的一个封装,使得其可以使用 C# 语言进行开发。本研究拟采用此项技术进行林分场景可视化模拟。

研究所采取的总体技术路线如图 5 所示。

2 结果与分析

2.1 林木可视化模拟

以下算法均在 Direct 3D 技术支持下完成,且所设定的规则参数均为示例,针对具体情况都可以进行适当参数调节。

2.1.1 冠形曲线模拟 以树高 15.5 m,活枝下高 3.8 m,冠高 4.9 m,冠幅 3.1 m 为例,根据冠形曲线函数,调节冠形指数 b_1 为 2.03, b_2 为 2.31,根据式(3)、(4)可知 a_1 为 4.35, a_2 为 0.40,利用 GDI+ 技术绘制冠形曲线,结果如图 6 所示(增加了 4 参数含义)。

2.1.2 树干几何体建模 圆柱体、圆台体、圆锥体、广义圆柱体等几何体常见于树干几何体建模。基于

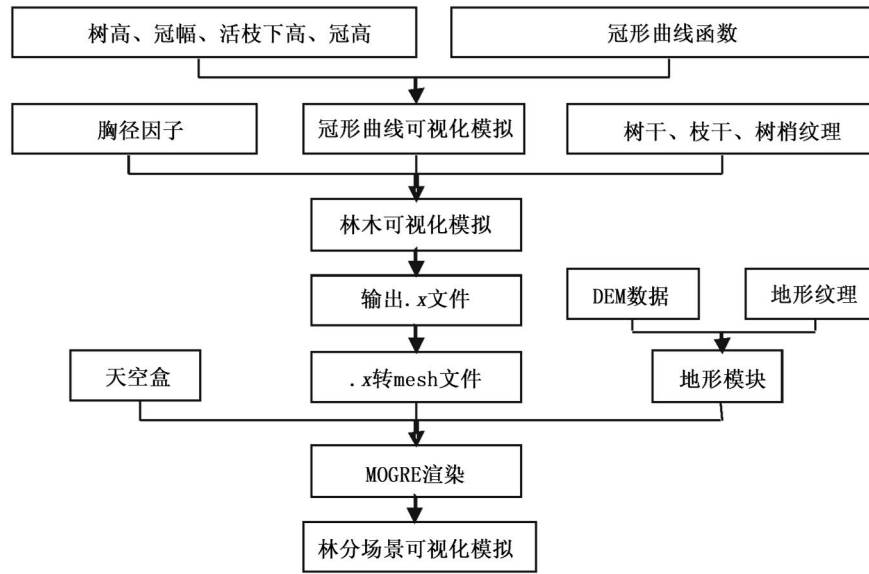


图5 技术流程图

树干粗度一般自下而上逐渐减小的规律,选取圆台体作为本研究中树干建模所用几何体。具体规则:在林木胸径高度(1.3 m)处划分出上下两个圆台体,上部分圆台体高度比树高小0.2 m(此部分用作树梢纹理贴图);下部分圆台体的下底面直径比胸径(26.4 cm)大5 cm,胸径作为上底面直径;上部分圆台体的下底面直径为胸径,上底面直径为2 cm;将两个圆台体的上、下底面按圆心角平分为50份,结合其各自直径与圆台体高度即可构建出圆台体3D模型。模拟效果见图7、8。

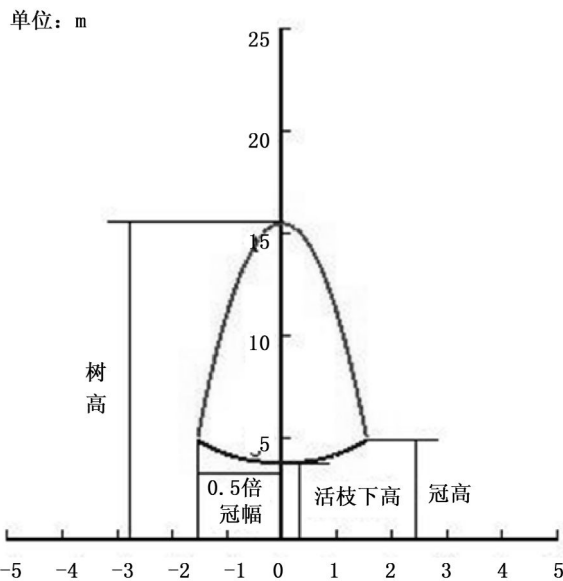


图6 冠形曲线模拟

2.1.3 枝干几何体建模 以长方形作为枝干几何

体进行建模。规则如下:以平行于 x 轴方向为例,在 x 轴正半轴上,冠高与活枝下高空间内均匀建立枝干几何体2个,冠高与树高空间内均匀建立枝干几何体8个,由此计算靠近树干处的长方形两顶点 y 坐标,可知 x 坐标同为0, z 坐标设定为30 cm、-30 cm,远离树干处此长方形两顶点 y 坐标为靠近树干处下一个长方形(往树梢方向)两顶点 y 坐标,同时设定 y 值在冠形曲线上,由此可求得对应的 x 坐标, z 坐标也同样设定为30 cm、-30 cm,至此长方形4个顶点坐标便可确定;同法确定 x 轴负半轴上各枝干几何体坐标;以上述同样规则确定平行于 z 轴方向的枝干几何体坐标;为增强枝干真实性,所有枝干 y 坐标均设定有一定的随机变化范围(y 值乘以一随机数,各个枝干的随机数不相同),由此便可完成枝干几何体建模。模拟效果见图7、8。

2.1.4 纹理贴图 纹理的本质是把平面图形贴到3D模型表面,增加物体的真实感。用自然界的真实纹理,可使3D物体显得更加逼真、自然。采用纹理贴图技术,为树干、枝干与树梢添加纹理。效果见图7(视点 x 坐标为0)、图8(原视点绕 y 轴顺时针旋转 45°)。

由图7、8可以看出此种方法可以较真实的描述林木形态。

林木胸径与树高参数控制树干几何体的生成,以树高、冠高、冠幅和枝下高为参数的冠形曲线控制枝干形态,由此实现了以测树因子为变量的林木参数化可视化模拟。本研究只在平行于 x 轴、 z 轴方向

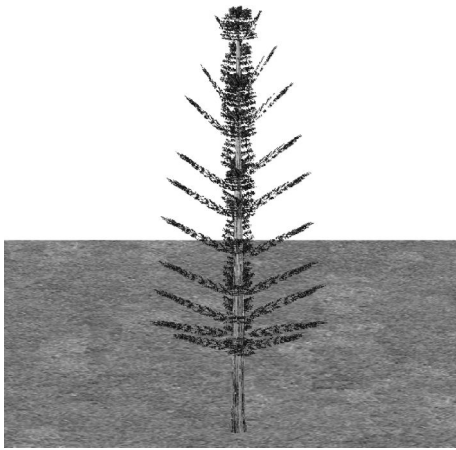


图7 林木模拟效果

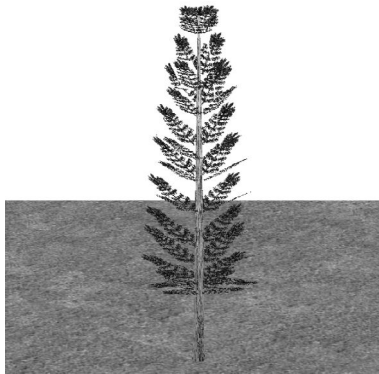


图8 林木模拟效果

上建立了枝干模型,林木冠形只有在视线与 z 轴、 x 轴平行的情况下才能表现的更加清楚,当视角产生变化后,林木展现出的冠形将稍有变化。如果沿不同方向增加枝干模型,将有效的避免此种情况,出于使林木个体数据量尽量小的考虑,本研究未增加枝干数量。

2.2 林木模型格式转换

.x文件可以用来存储网格数据、纹理、动画等数据。.x格式文件存储数据的格式是基于模板的,基于模板就是可以根据定义在文件中的模板来定义.x文件中的内容,此种文件格式结构自由,易应用,可移植性较高。依据.x文件结构,在Direct 3D中开发.x文件输出模块,将所生成的林木3D模型输出为.x文件进行保存。

.x文件不能直接应用于MOGRE渲染引擎,将.x文件转换为mesh格式文件,即可为林分场景构建提供模型素材。

2.3 林分场景可视化模拟

将试验调查数据全部转换为mesh格式文件;选取DEM高程图,将灰度拉伸到0~255之间,同时

设定最大高程;选取地形纹理并与高程灰度图构成地形模块;利用天空盒技术构建场景天空;设定光照;采用枝干、树梢背景透明技术为构建林分场景做准备。

根据调查数据 x, z 坐标,在MOGRE中,首先计算 x, z 位置处对应的地形高度,将其作为林木 y 方向上的坐标(避免林木置于地形之下,或浮于地形之上)。构建林分场景效果如图9、10所示。

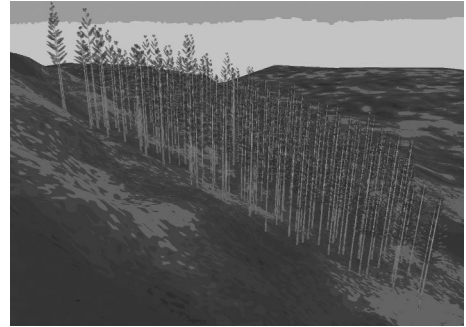


图9 林分场景示意图(侧视)

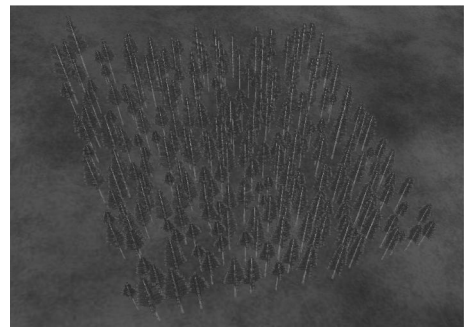


图10 林分场景示意图(俯视)

由图9、10可以发现:林木模型不再单一,参数化的林木个体建模使得林木个体差异得到了良好的表达,更加符合林分现状;天空盒、地形渲染技术极大地增加了场景的真实性,应用此种渲染技术可以较真实的快速构建林分场景。

观察者可以在所构建的场景中自动漫游,会有较好的真实感。但受林木模型的限制,不同的场景观察点会有不同的视觉体会。

3 结论与讨论

(1)参数化林木个体可视化模拟技术具有较好的适用与推广价值。树干、枝干几何体建模及其纹理贴图技术算法简单、灵活性强,所建模型可逼真表现林木形态。林分场景构建不需要了解每株林木的具体分枝结构,对林木冠形进行描述,就足以满足林分场景真实性的需求。冠形曲线可对林木冠形进行

有效表达,并且具有一定的灵活性。林木测树因子信息可代表林木个体特征差异,是林业科研与生产中常见数据,易于获取,将其结合冠形曲线,可直接用于林木个体可视化模拟。

(2)基于 MOGRE 渲染引擎建立的林分场景构建技术体系是实现林分场景可视化模拟的快速、有效模拟手段。MOGRE 类库隐藏了底层系统库(如:Direct 3D 和 OpenGL)的所有细节,提供了一个基于世界对象和其他直观类的接口,使得使用 MOGRE 渲染引擎构建林分场景省去了许多繁重的开发工作。地形、纹理、3D 模型、脚本文件等技术增强了 MOGRE 的使用性能,为搭建更加复杂的场景,实现更加多样化的场景渲染效果提供了有力的技术支持。

(3)森林可视化模拟技术是提高林业科研与生产水平有效途径。将林木或林分调查数据以可视化的方式进行展示可为探索林学规律、指导林业生产实践提供新的、直观的技术手段。对林木个体(差异)、林分场景进行准确模拟,使得确定林木竞争关系,改善林木竞争环境获得新思路;为调整林分结构、研建新形式的林木(林分)生长模型、研究林分结构与生长间的交互影响关系提供新信息;为实施林分经营措施,研究林分结构与经营间的关系,实现结构化经营提供新的技术指导与工作环境。森林可视化模拟技术可实现对森林的实时与预测模拟,将其应用于森林资源管理的各项科学研究和生产实践中必将推动林业信息化建设进程。

参考文献:

- [1] 赵庆丹. 树木三维可视化模拟研究与系统实现[D]. 哈尔滨:东北林业大学,2011
- [2] Deussen O, Colditz C, Stamminger M, *et al.* Interactive visualization of complex plant ecosystems [C]. Proceedings of the Conference on Visualization, Boston, USA, 2002: 219 - 226
- [3] Deussen O, Hanrahan P, Lintermann B, *et al.* Realistic modeling and rendering of plant ecosystems [C]. SIGGRAPH 98, Orlando, Florida, 1998: 275 - 286
- [4] 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
- [5] Oppenheimer P E. Real - time design and animation of fractal plants and trees [J]. Computer Graphics, 1986, 20(1): 55 - 64
- [6] 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
- [7] Shlyakhter I, Rozenoer M, Dorsey J, *et al.* Reconstructing 3D tree models from instrumented photographs [J]. IEEE Computer Graphics and Applications, 2001, 21(3): 53 - 61
- [8] 舒娱琴,李卫红. 面向虚拟森林经营管理的树木交互式参数建模方法[J]. 林业科学研究,2007,20(3):338 - 343
- [9] 石 松,陈崇成,王钦敏,等. 形态结构特征约束下的树木参数化建模研究[J]. 计算机工程,2008,34(24):250 - 252
- [10] 林 定,陈崇成,唐丽玉,等. 基于参数曲线及其包围面积的三维树木建模[J]. 福州大学学报:自然科学版,2011,39(3):367 - 374
- [11] 仲兰芬. 由树冠控制枝条生成树木的建模方法研究[J]. 阴山学刊,2008,22(3):41 - 44
- [12] 董灵波,刘兆刚. 基于形态结构特征参数的樟子松人工林单木可视化研究[J]. 北京林业大学学报,2011,33(5):20 - 27
- [13] 刘 海. 森林经营可视化模拟技术研究—以更新造林为例[D]. 长沙:中南林业科技大学,2010
- [14] 朱 磊. 杉木林分结构分布自适应可视化模拟方法研究[D]. 长沙:中南林业科技大学,2011
- [15] Li Y L, Zhang H Q, Jiang X, *et al.* Study on visual simulation of selecting trees based on triangle in thinning [C]. Proceedings of 2012 IEEE International Conference on Computer Science and Automation Engineering, Zhangjiajie, China, 2012: 697 - 701
- [16] 吴学明. 杉木人工林林分经营过程可视化模拟技术研究[D]. 长沙:中南林业科技大学,2012
- [17] 胡宝国,胡国宣. 植物学[M]. 北京:中国农业出版社,2002
- [18] 卢康宁. 基于生理生态模型的杉木形态结构变化可视化模拟研究[D]. 北京:中国林业科学研究院,2012