

基于三维虚拟环境的林分结构调整可视化模拟技术

邓 强^{1,2}, 张怀清¹, 李永亮¹, 袁晓红²

(1. 中国林业科学研究院资源信息研究所, 北京 100091; 2. 中南林业科技大学计算机与信息工程学院, 湖南 长沙 410004)

摘要: [目的]以真实林分三维场景为模型,结合计算机虚拟现实技术,实现对真实林分结构的调整优化可视化模拟。[方法]以湖南攸县黄丰桥国有林场杉木与鹅掌楸人工混交林为研究对象,采用可视化模拟技术,基于三维虚拟环境建立林分结构调整可视化模拟系统,实现对林分结构的优化调整进行可视化模拟。通过对林分的角尺度、大小比、混交度、开阔比等结构的计算分析,结合公告板显示技术和射线查询算法,在 MOGRE 构建的林分三维场景中对林分结构调整过程进行可视化模拟。[结果]样地林分结构经过调整后,平均树高由 12.8 m 变成 13.6 m,平均胸径由 17.1 cm 变成 18.6 cm;林分平均角尺度由 0.449 变为 0.481,分布格局由调整前的均匀分布变成随机分布;林分平均大小比由 0.511 变为 0.519,样地内林木生长更具有优势;林分平均混交度由 0.093 变为 0.129,林分结构更加稳定,林分的整体质量也得到了提高。[结论]本研究采用可视化模拟技术和样地调查数据,构建虚拟三维森林环境,在三维场景中,森林经营者不仅能查看样地中每株林木构筑性属性,观察林分样地的整体状态,还能对林分结构进行优化调整,实现在虚拟森林环境中对样地林分结构调整进行可视化模拟。

关键词: 三维虚拟环境;林分结构;可视化;结构调整

中图分类号:S718.54

文献标识码:A

Visualization Simulation Technique of Stand Structure Adjustment Based on 3D Virtual Environment

DENG Qiang^{1,2}, ZHANG Huai-qing¹, LI Yong-liang¹, YUAN Xiao-hong²

(1. Research Institute of Forest Resource Information Techniques, Chinese Academy of Forestry, Beijing 100091, China; 2. College of Computer Science and Information Technology, Central South University of Forestry and Technology, Changsha 410004, Hu'nan, China)

Abstract: [Objective] To realize optimal visual adjustment of real stand structure based on the modeling of 3D stand scenes, which adopt the technology of visual simulation. [Methods] Taking the *Cunninghamia lanceolata* and *Liriodendron chinense* mixed plantation planted in the Huangfengqiao State-owned Forest Farm, Youxian County, Hu'nan Province were used as samples, the virtual simulation adjustment system was developed by virtual simulation technique, based on the 3D virtual environment. By calculating and analysis of stand angle scale, size ratio, mingling, open index and competition index, the simulated process of adjustment the stand structure in 3D stand scene based on the bulletin board display technology, ray query algorithm and MOGRE, was implemented. [Results] After adjustment of the stand, the average heights of tree changed from 12.8 m to 13.6 m, DBH changed from 17.1 cm to 18.6 cm; the average angle scale from 0.449 to 0.481. The distribution pattern of the stand changed to random pattern from average one. The growth of the stand had a huge advantage as the average size of the stand became 0.519 from 0.511. The average mixture degree of the stand changed to 0.129. After apply the adjusted methods, the stand structure became more stable, the quality of the stand improved a lot. [Conclusion]

收稿日期: 2016-03-15

基金项目: 中央级公益性科研院所基本科研业务费专项资金(IFRIT201503);国家自然科学基金(31170590);“十二五”国家 863 计划课题(2012AA102002)

作者简介: 邓 强(1990—),男,在读硕士研究生。研究方向:森林三维可视化。

The visual simulate technology and field investigation data were applied to from the virtual 3D forestry environment. In the 3D scenes, forest managers can not only view the property of every single tree in the stand, but also be able to observe the whole state of the stand. The optimal adjustment of stand structure in virtual forest environment is realized.

Keywords: 3D virtual environment; stand structure; visualization; structure adjustment

林分结构的分析与调整,是恢复森林功能和结构,实现森林可持续经营的重要部分。如何科学合理地利用采伐来调整优化林分结构一直是困扰森林经营者的难题,相关方面的研究目前还处于起步阶段。2006年胡艳波等^[1]提出基于空间结构分析经营方案的优化设计;汤孟平等^[2]提出了基于空间分布格局、空间大小分布和空间隔离程度3个空间结构参数为目标,非空间结构为主要约束条件的林分择伐空间优化模型;Courbaud^[3]等对法国阿尔卑斯山挪威云杉(*Picea abies*(L.) Karst)异龄林采用单株择伐和团状择伐方法进行模拟;安惠君^[4]以大小比、混交度和角尺度等空间结构指标对吉林省蛟河林业局阔叶红松(*Pinus koraiensis* Sieb. et Zucc.)林进行调整优化。上述研究为现实林分结构调整提供了一定的参考和借鉴,但总体缺乏调整过程的直观性。随着计算机可视化模拟技术的不断发展,可视化技术运用到林业实践中成为处理林业问题的重要方法。尤其以虚拟现实为技术手段,实现将虚拟森林和真实森林相结合,是解决虚拟森林经营的一条重要途径^[5-8]。刘海等^[9-10]运用开源软件Mogre作为开发引擎,构建了森林环境可视化模型;朱磊^[11]、Li^[12]在已构建好的三维可视化森林环境中通过缩放比例加入Mesh格式的树木模型,对森林进行可视化模拟。董灵波,刘兆刚^[13]以帽儿山樟子松(*Pinus sylvestris* var *mongolica* Litvin.)人工林为研究对象,利用大小比、角尺度、混交度等空间结构参数,建立了樟子松人工林三维可视化经营模拟系统。尽管可视化技术在林业领域得到了广泛的应用和发展,但在林分结构调整方面的应用还比较欠缺,尤其缺乏

对林分样地内林木所处环境等因素的考虑。因此林分结构调整可视化模拟是森林三维可视化模拟的重要研究方向。本研究以真实林分三维场景为模型,结合计算机虚拟现实技术,实现对真实林分结构的调整优化可视化模拟。

本研究根据样地每木调查数据,基于MOGRE渲染引擎,结合Mesh格式的树木模型,对三维场景内的地形、树木坐标以及树木状态进行可视化模拟,以实现高真实感的林分三维场景。通过对样地内林木信息以及周边环境信息的实时获取,运用采伐手段对样地林分结构调整进行可视化模拟。通过分析对比调整前后林分状态,确定采伐木,模拟现实中的采伐作业过程。相比传统的林分结构调整,可视化手段能够更直观更准确。

1 材料与方法

1.1 试验材料

本研究以湖南攸县黄丰桥国有林场为试验区,选择试验区内杉木(*Cunninghamia lanceolata*(Lamb.) Hook.) 鹅掌楸(*Liriodendron chinense*(Hemsl.) Sarg.)混交林分样地为研究对象,样地大小为50 m × 50 m,杉木于1995年造林,鹅掌楸于1996年补植。对样地内进行每木检尺,每木检尺方法为:胸径用围尺测量,精确到0.1 cm;树高、枝下高以及冠高用激光测高测距仪测量,精确到0.1 m;东西南北4个方向冠幅用塔尺测量,精确到0.1 m;同时用全站仪测量每棵树木的相对坐标。共调查了367株树,样地基本信息见表1。

表1 样地基本信息

编号	树种	年龄	状态	胸径/cm	树高/m	枝下高/m	冠高/m	冠幅/m	X坐标	Y坐标
1	杉木	20	健康	15.1	11.4	2.9	6.9	3.3	780624.7	3020602.0
2	鹅掌楸	19	健康	22.7	21.3	7.5	15.0	8.5	780623.2	3020606.1
...
365	杉木	20	死亡	9.7	8.5	3.5	8.0	2.1	780604.2	3020604.8
366	杉木	20	断梢	9.5	5.8	2.6	5.4	2.4	780602.9	3020602.4
367	杉木	20	健康	17.8	12.9	3.5	8.9	4.2	780601.1	3020602.7

1.2 改进开阔比数

开阔比数表示空间结构单元中参照木不受相邻

木遮蔽的程度。在林分样地中若参照木高于相邻木,则相邻木无法遮蔽参照木。若相邻木高于参照

木,但两者之间的水平距离远大于两者之间的高度差,则相邻木的高度优势会因水平距离而削弱。改进前的开阔比数仅仅考虑水平地面上参照木与相邻木之间的树高差,忽略了两之间的高程,容易产生较大的误差,与实际情况不符。改进后的开阔比数综合了参照木和相邻木之间的树高差与高程差,弥补了这一不足,公式表示如下:

$$OP_i = \frac{1}{4} \sum_{i=1}^n t_{ij} \quad (1)$$

其中:当 $l_{ij} \geq (h_j + g_j - h_i - g_i)$ 时, $t_{ij} = 1$; 否则, $t_{ij} = 0$ 。 h_i 为参照树 i 的树高; h_j 为相邻木 j 的树高; g_i 为参照木 i 的高程; g_j 为相邻木 j 的高程; l_{ij} 为参照树 i 与相邻木 j 的水平距离。

1.3 采伐强度

为了保留生长良好的株木,并为更新的幼苗幼树创造良好的生长发育生态环境,采伐时一定要掌握一定的采伐强度^[14]。根据永续利用的原则,采伐总量不应该超过该时期的林分的生长量。考虑到采伐对森林的干扰,按株数计算的采伐强度不应该超过 30%。按株数计算的采伐强度公式表示如下:

$$In = \frac{F}{Sum} \quad (2)$$

其中, F 为砍伐的林木株数, Sum 为林分样地内的林木总株数, In 为采伐强度。

1.4 公告版显示技术

公告板显示技术是基于 Mogre 三维渲染引擎的场景实体信息显示。公告板能够跟随 Mogre 中相机的视角方向进行旋转,且始终保持与相机视线对齐。因此不论公告板放在场景中任何位置,其方向都会朝向相机的视角。在三维场景中使用公告板显示技术不仅能够直观地观察林分三维场景中树木的形态及所处环境,而且能够快速获取每株树木的详细信息,例如胸径、树高及相邻 4 株木距离等。

2 结果与分析

2.1 虚拟森林环境的构建

虚拟森林环境的构建是林分结构调整可视化模拟的基础^[12],将不同树种的树木 Mesh 模型和其他实体模型根据森林空间数据拓扑关系映射到三维场景中,以还原出真实的森林环境。系统将地形 DEM 图、地形纹理以及天空盒技术结合 Mogre 搭建真实的林分三维场景,通过数据库将样地每木调查数据加载到系统中,根据调查数据中每株木的树种、坐标、直径和树高等,以及杉木和鹅掌楸的 Mesh 模型,

构建出真实的林分场景效果图(如图 1 所示)和林分结构状态(如图 2、表 2 所示)。

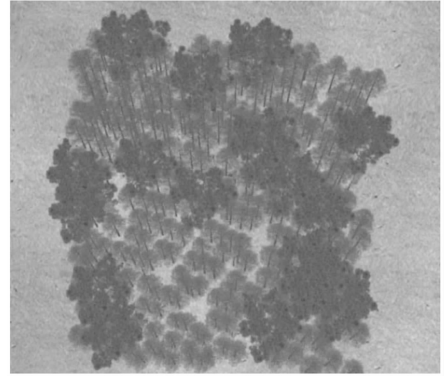


图 1 林分样地场景

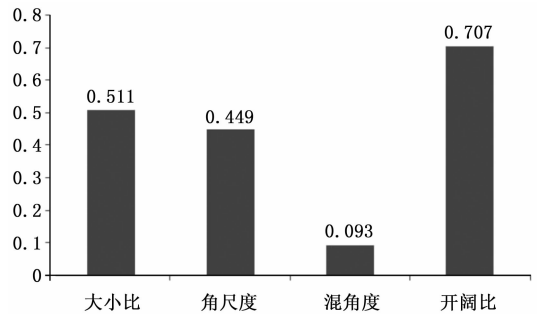


图 2 林分结构状态

表 2 林分状态

采伐量/m ³	剩余量/m ³	采伐强度/%	平均树高/m	平均胸径/cm
0	63.747	0	12.8	17.1

系统通过已加载的每木调查数据,计算出林分的平均胸径、平均树高等参数;林木的树种、大小以及状态之间的差异也得到了较好的体现,结合天空盒和地形渲染技术,极大地增强了林分三维场景的真实感,有利于森林经营者直观、全面地了解林分的空间与非空间结构。

2.2 林分结构调整可视化模拟

通过自由漫游在所构建的虚拟林分三维场景中,森林经营者能够即时获取林分中林木的相关信息。任意选取林木后,场景中公告板不仅能显示所选树木的属性状态,如胸径、树高、开阔比数等,还能直观地显示所选树木最近相邻 4 株木,以及与最近相邻 4 株木之间的距离(如图 3 所示)。通过了解所选树木的属性状态以及所处环境来决定是否需要进行调整。

依据构建的杉木与鹅掌楸混交林分,可以将样地内的枯死林木(如图 4 所示)、弯曲林木(如图 5

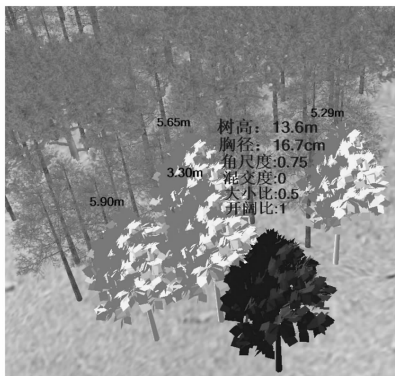


图3 观察林木属性

所示)以及断梢的林木(如图6所示)初步选出来作为备选采伐木,以便为其他健康树木提供更好的生长空间等。

经过初步采伐后的林分样地三维场景(如图7所示)和林分结构状态(如图8、表3所示)。

表3 初步采伐后林分状态

采伐量/m ³	剩余量/m ³	采伐强度/%	平均树高/m	平均胸径/cm
1.714	62.033	7.0	13.1	17.4

通过观察采伐后林分三维场景及林分状态图,样地中某些区域的林木过于密集且存在小树被大树



图4 枯死林木



图5 弯曲林木



图6 断梢林木

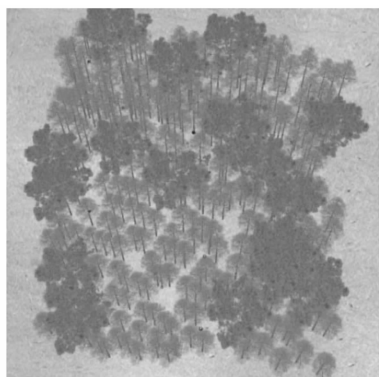


图7 初步采伐后林分样地场景

<0.475,水平分布格局表现为均匀分布,林分的平均混交度较低,林分的采伐强度为7%,据此可以通过观察样地内杉木的胸径、树高、角尺度、大小比、开阔比以及所处环境等因素来选取采伐木,进而对林分样地进行可视化调整,以提高林分的整体质量。若砍伐后的林分状态对比砍伐前效果更差,则可通过系统撤销砍伐操作,返回砍伐前的林分状态,重新选取林木进行采伐。按照采伐强度为30%左右对林分样地进行调整,采伐后不会造成林分空间结构的剧烈变化,采伐后的林分样地三维场景(如图9所示)和林分结构状态(如图10、表4所示)。

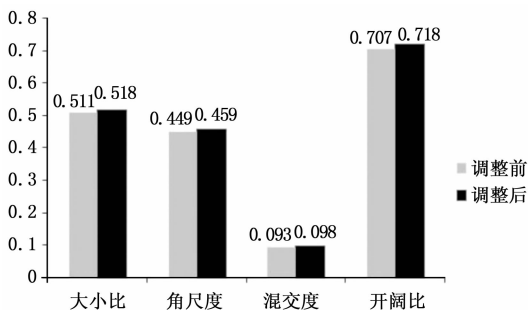


图8 初步采伐后林分状态

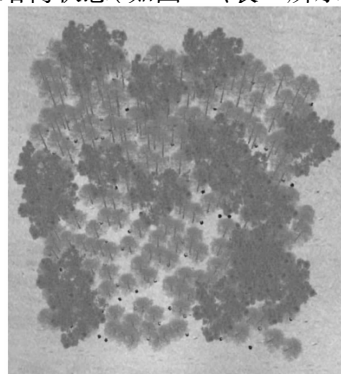


图9 调整后林分样地场景

遮挡不易存活的情况,林分的平均角尺度 $W = 0.459$

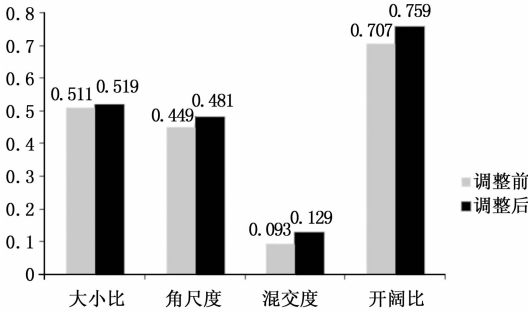


图10 调整后林分状态

表4 初步采伐后林分状态

采伐量/m ³	剩余量/m ³	采伐强度/%	平均树高/m	平均胸径/cm
8.158	55.589	28.3	13.6	18.6

林分结构调整经过可视化模拟后,按株数计算的采伐强度为28.3%,符合实际砍伐作业中所要求的采伐强度30%内。林分结构调整过程中所采伐的树木均为树高、胸径偏小且与相邻木距离近以及林木状态不好的单株,调整后林分整体的平均树高和平均胸径以及平均开阔比增大,林分的平均角尺度由0.449变为0.481,林分的分布格局由之前的均匀分布变为随机分布,林分的混交度也得到相应的提高。综上所述,林分结构调整可视化模拟不仅能够直观的显示整个调整过程以及林分的状态,模拟现实中的采伐作业过程,而且调整后的林分空间状态得到了很大的优化,林分质量也得到了提高。

3 讨论

目前国内外普遍以混交度、大小比、角尺度为空间结构参数,通过目标函数对林分样地进行调整。但在实际采伐调整过程中,需综合考虑林木周围生长环境,如图11黑圈内的林木,其生长空间足够大,且相邻木距离较远,不需要进行采伐。在可视化模拟过程中,森林经营者能够直观地观察图11中林木周围生长环境情况,并模拟林分结构调整实际过程,进而根据林木周围的实际情况,对林分进行适当调整。

本研究首次结合林木胸径、树高、开阔比等属性以及林木的周围环境,更直观更准确地对林分样地进行调整。且经过可视化模拟后,林分结构状态得到了明显的优化,达到了预期的目的。但是,本文的研究也存在一些缺点和不足:林木可视化模型太过单一且缺乏真实感。林分场景中所需的树木模型虽不用全面考虑具体分枝的详细结构形态,但不同年

龄、大小以及不同环境的树木模型应该具有差异性,整片林分样地中的单株木模型不能千篇一律,否则林分虚拟三维场景缺乏高度真实感。

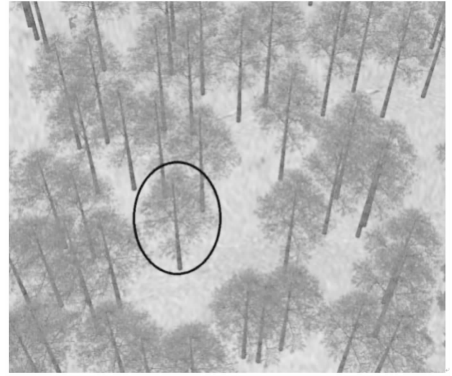


图11 虚拟林分结构调整示意图

林分结构调整可视化模拟研究还处于起步阶段,国内外对这方面的研究还比较少,其内部机制也不够完善。将林分结构调整与三维可视化技术结合,应用于林业的各项科学研究和生产实践中,必定推动林业信息化建设进程。

4 结论

本研究采用可视化模拟技术和样地调查数据,构建虚拟三维森林环境,在三维场景中,森林经营者不仅能查看样地中每株林木构筑性属性,观察林分样地的整体状态,还能对林分结构进行优化调整。样地林分结构经过调整后,平均树高由12.8 m变成13.6 m,平均胸径由17.1 cm变成18.6 cm,所采伐树木都为样地内较小林木。林分平均角尺度由0.449变为0.481,分布格局由调整前的均匀分布变成随机分布;林分平均大小比由0.511变为0.519,样地内林木生长更具有优势;林分平均混交度由0.093变为0.129,林分结构更加稳定。通过林分结构调整可视化模拟后可知林分空间结构状态得到了很大的优化,且林分质量也得到了提高,增强了森林经营者与环境之间的交互力,推进了森林经营的发展。

参考文献:

- [1] 胡艳波,惠刚盈. 优化林分空间结构的森林经营方法探讨[J]. 林业科学研究, 2006, 19(1): 1-8.
- [2] 汤孟平. 森林空间结构分析与优化经营模拟研究[D]. 北京: 北京林业大学, 2003. 6.
- [3] Courbaud B, Goreaudb F, Dreyfusc P, et al. Evaluating thinning strategies using a tree distance dependent growth model: some exam-

- ples based on the CAPSIS software“uneven-aged spruce forests” module[J]. *Forest Ecology and Management*,2001,145(1):15-28.
- [4] 安慧君. 阔叶红松林空间结构研究[D]. 北京:北京林业大学,2003.
- [5] 张 敏,张怀清,陈永富. 杉木人工林抚育间伐可视化模拟技术研究[J]. *林业科学研究*,2009,22(6):7-10.
- [6] 贺姗姗,张怀清,彭道黎. 林分空间结构可视化研究综述[J]. *林业科学研究*,2008,21(增刊):100-104.
- [7] 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.
- [8] 蒋 娴,张怀清,贺姗姗,等. 林分可视化模拟系统的设计[J]. *林业科学研究*,2009,22(4):597-602.
- [9] 刘 海,张怀清,林 辉. 森林经营可视化模拟研究[J]. *世界林业研究*,2010,23(1):21-27.
- [10] 李永亮,鞠洪波,张怀清. 基于WF的杉木人工林交互式疏伐可视化模拟技术[J]. *林业科学研究*,2014,27(3):329-334.
- [11] 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.
- [12] 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.
- [13] 董灵波,刘兆刚. 樟子松人工林空间结构优化及可视化模拟[J]. *林业科学*,2012,48(10):77-85.
- [14] 郝月兰,张会儒,唐守正. 基于空间结构优化的采伐木确定方法研究[J]. *西北林学院学报*,2012,27(5):163-168.

(责任编辑:彭南轩)