

人工混交林的林分可视化研究

高广磊^{1,2}, 丁国栋^{1,2}, 肖萌^{1,2}, 张琳琳^{1,2},
吕仁猛^{1,2}, 张雪^{1,2}, 李文叶³, 刘昀东¹

(1. 水土保持与荒漠化防治教育部重点实验室, 北京 100083; 2. 北京林业大学 水土保持学院, 北京 100083; 3. 中国科学院 地理科学与资源研究所, 北京 100101)

摘要: 随着计算机科学与图形学的快速发展, 林分可视化技术已经成为 21 世纪数字林业和精准林业的重要支撑。以林分可视化系统(stand visualization system, SVS)基本原理为切入点, 利用木兰围场国有林场森林植被调查数据, 详细介绍了该模型的使用方法, 展示了研究区内华北落叶松(*Larix principis-rupprechtii*)—白桦(*Betula platyphlla*)单木树形设计与人工混交林林分可视化的基本流程, 并对模拟结果进行了分析与讨论。研究结果表明, 林分可视化系统可生成直观、立体、精美的林分可视化效果图, 并提供林分树种分布、胸径分布、垂直结构、郁闭度等大量林分基础数据信息; 可在虚拟森林环境中设计或调整森林经营方案, 模拟森林经营的全过程, 是实现森林经营可视化的理想工具; 最后, 讨论了林分可视化系统现阶段应用的局限性与未来的发展方向。

关键词: 混交林; 林分可视化系统; 森林经营

文献标识码: B

文章编号: 1000-288X(2012)06-0158-05

中图分类号: S757

A Study on Stand Visualization of Artificial Mixed Forests

GAO Guang-lei^{1,2}, DING Guo-dong^{1,2}, XIAO Meng^{1,2},

ZHANG Lin-lin^{1,2}, LÜ Ren-meng^{1,2}, ZHANG Xue^{1,2}, LI Wen-ye³, LIU Yun-dong¹

(1. Key Laboratory of Soil and Water Conservation and Desertification Combating, Ministry of Education, Beijing 100083, China; 2. College of Soil and Water Conservation, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China; 3. Institute of Geographic Science and Natural Resources Research, CAS, Beijing 100101, China)

Abstract: With the staggering development of computer and graphics sciences, stand visualization technology has become a solid foundation and guarantee for digital and meticulous forestry in the 21st century. Beginning with the basic principles of stand visualization system(SVS), we demonstrated the operation and outputs of SVS based on the forest survey in Mulan Weichang state-owned forest farm. In addition, we illustrated the technical process of individual tree simulation and mixed plantation visualization via SVS. The simulation outcomes were analyzed and discussed as well. The results of the this study indicated that SVS could provide successfully an intuitive, three-dimensional picture with substantial statistical data of forest stands, including species and DBH distribution, height structure and forest canopy. In the fictitious forest environment, SVS can be used to design and modify various forest management plans, and to simulate the entire process of forest management. We concluded that SVS is an ideal tool for visualize forest management. In the end, the paper discussed the current limitations and possible future needs in development.

Keywords: mixed forest; stand visualization system(SVS); forest management

林分可视化研究源于 20 世纪 70 年代北美地区森林采伐作业的景观视觉评价^[1], 是以森林经营技术为指导, 以林业空间数据为依托, 以虚拟现实技术为支撑, 在虚拟森林环境中进行与森林生长及相关问题

定性与定量分析, 以解决复杂森林管理规划问题的森林经营管理方法^[2]。通过虚拟林分视图, 森林经营和研究人员可以直观、便利地了解林分结构特征, 在虚拟场景中模拟森林经营全过程, 揭示森林结构与功能

收稿日期: 2011-12-07

修回日期: 2012-01-21

资助项目: 国家林业局公益性行业科研项目“典型区域森林生态系统健康维护与经营技术研究”(200804022A)

作者简介: 高广磊(1986—), 男(汉族), 吉林省延边州人, 博士研究生, 主要研究方向为森林健康。E-mail: gaoguanglei@bjfu.edu.cn

通信作者: 丁国栋(1963—), 男(汉族), 内蒙古自治区赤峰市人, 博士, 教授, 研究方向为水土保持与荒漠化防治、森林健康。E-mail: dch1999@263.net。

的内在规律,预测森林经营活动对森林的影响,并进行森林经营方案的评估和优化^[3-4]。林分可视化技术开辟了获取营林信息的新渠道,大幅降低了经营成本,有效规避了经营风险,为林业经营管理者 and 科研人员提供了全新的林业管理、研究和决策平台^[5]。

研究初期,国内外学者基于点的绘制算法,多面体及其他简单几何体的绘制技术、图像可视化法和纹理的森林景观可视法提出了众多面向森林结构的林分可视化模型^[6];而后,模拟森林植被碳平衡、营养循环等生理过程的面向森林功能的林分可视化模型相继出现。但这两种模型皆存在一定的缺陷与不足,前者常常缺少与生理生态过程的必要联系,后者则强调与环境有关的植物功能和树木生长的驱动过程,简化了树木的结构^[7]。因此,研究探讨林分可视化模型的原理与应用,不仅有助于森林经营活动的开展,还对推动即包括树木形态结构,又可模拟林木生理过程、生态功能以及其与自然环境之间相互作用的林分可视化模型的发展具有十分重要的理论和现实意义。本研究对代表性林分可视化模型——林分可视化系统(stand visualization system, SVS)做了简要介绍,并以河北省木兰围场国有林场管理局域内华北落叶松(*Larix principis-rupprechtii*)—白桦(*Betula platyphlla*)人工混交林为例,对其应用进行了初步探讨,以期为相关研究者提供参考和借鉴,并为当地森林经营管理和生态环境建设提供科学支撑。

1 模型简介

林分可视化系统是由美国农业部林务局太平洋西北研究站与华盛顿大学森林资源学院和耶鲁大学全球可持续林业研究所联合研发的景观管理系统(landscape management system, LMS)的5个核心模块之一,是LMS模型功能的高度表达与集中体现。以描述样地林分类型、林木规格和位置的林分组成数据和描述林木几何形态和外貌特征的林木形态定义数据为基础,SVS模型可以实现林分结构的三维图像表达,展示林木个体与林分空间格局,并将可视化结果作为林分模拟经营的初始条件,通过人工选择林分经营管理措施,SVS模型可动态、可视化地展现林木的生长及林分的演替过程,直观地展示林分经营措施的效果,使森林经营者和科研人员明确林分格局的现状与可能的发展趋势,根据林分经营管理目标,适时调整林分经营方案,确定合适的经营密度与混交度,实现对现实林分的科学经营^[5,8-9]。目前,SVS模型已经成为国际上比较成熟的林分可视化模型,已被美国国防部国家能源与环境防卫中心、华盛

顿大学、耶鲁大学、缅因大学和乌克兰国立农业大学等机构广泛应用于森林生态系统管理、生物多样性(野生动物)保护、森林健康经营(火险、风灾控制)等领域^[10-14]。

2 研究区概况

研究区位于河北省木兰围场国有林场管理局北沟林场(41°50'N, 117°35'E),地处滦河上游地区,属于中温带向寒温带过渡、半干旱向半湿润过渡、大陆性季风型高原山地气候。年均降水量380~560 mm,年均蒸发量1462.9~1556.8 mm,年平均气温-1.4~4.7℃,≥0℃的年积温2180℃,无霜期67~128 d。土壤主要为天然次生林下发育的山地棕壤,土层深厚,自然坡度1/150~1/350,海拔750~1829 m。该区域属温带草原地带高原东部森林草原区与暖温带落叶阔叶林地带燕山山地落叶阔叶林温性针叶林区的交接带,主要包括:针叶林、落叶阔叶林、落叶阔叶灌丛和亚高山草甸4种植被类型,人工林主要乔木树种:华北落叶松、油松(*Pinus tabulaeformis*)、山杨(*Populus davidiana*)和白桦^[15-16]。木兰围场国有林场管理局南临京津地区,北接内蒙古浑善达克沙地,不仅是下游潘家口水库的水源涵养地和滦河主要发源地,同时也是北京地区的上风区和影响北京生态环境质量重要的风沙通道。

3 研究方法

3.1 数据采集与处理

2009年7月,在河北省木兰围场国有林场管理局北沟林场域内设置固定标准地,标准地规格50 m×50 m。

标准地内乔木种群主要包括:华北落叶松、白桦;灌木种群主要包括:土庄绣线菊(*Spiraea pubescens*)、金银木(*Lonicera maackii*)和锦带花(*Weigela florida*)等,乔木林龄40 a。按照SVS模型数据类型与格式要求,测定标准地经纬度、海拔、坡度、坡向等立地因子;调查群落内乔灌木胸径、树高、冠幅、枝下高、优势度、干形质量和坐标等指标;定义树种代码、树木级、树冠级、树木状态;计算各径阶乔灌木的平均树高、平均胸径、冠高比、树冠半径、扩增因子(林分内各径级乔灌木林分密度)。

3.2 树形设计

树形设计是为了生成与树种代码相对应的单株林木图像。

SVS模型内嵌树形设计(tree designer)工具模块,可按照林木形态特征进行树形设计与存储,同时

该模块包涵植物形态定义库,对已经定义好的植物形态,可以直接以代码形式调用^[17]。利用 Tree De-

signer 模块对标准地内华北落叶松、白桦进行树形设计,单株林木图像由图 1 所示。

表 1 华北落叶松—白桦混交林 SVS 模型必选数据

序号	树种代码	胸径	树高	冠高比	树冠半径	状态代码	树木级	树冠级	扩增因子
1	LYS	20.7	21.0	0.62	2.3	1	0	0	1
2	LYS	14.4	0	0	0	2	0	0	1
3	LYS	12.9	12	0	0	3	0	0	1
4	BH	18.5	19.0	0.68	3.0	1	0	0	1
5	BH	10.3	0	0	0	2	0	0	1
...

注:树种代码;LYS为华北落叶松,BH为白桦;状态代码:1为立木,2为伐桩,3为枯倒木;树木级、树冠级;自定义。

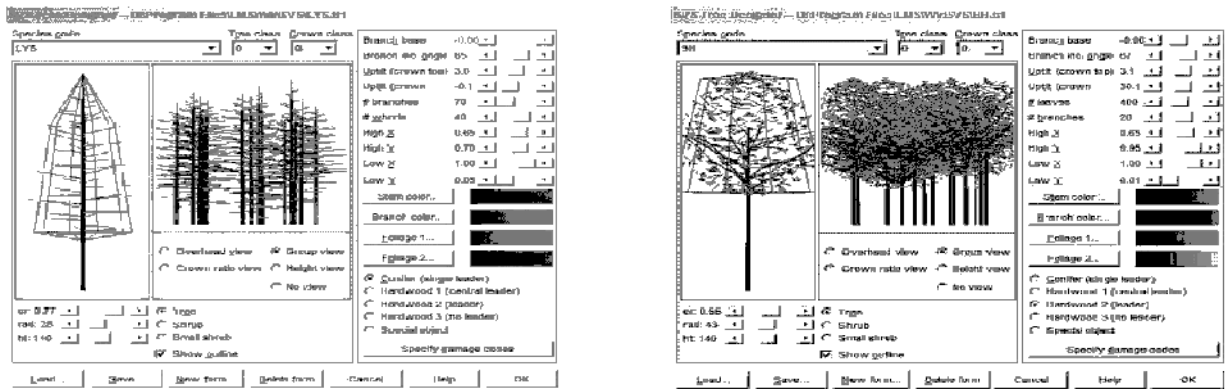


图 1 华北落叶松、白桦树形设计窗口

4 林分可视化与信息统计

4.1 林分可视化效果

基于林分组成数据和林木形态定义数据,SVS 模型 Screen Layouts 模块可生成透视图、俯视图和侧视图 3 种林分可视化效果图,并可根据用户需求调节视距、视角等参数,以调整可视化视图与显示方式;同时,SVS 模型可采用不同植物形态特征、颜色或其他特征区分林分不同组分间的差异,形象生动地展示了林分结构多样性的整体信息,使森林经营者和相关研究人员明确林分结构的动态变化。研究区内华北落叶松—白桦混交林可视化效果由图 2 所示。

4.2 林分数据统计分析

(1) 林分信息摘要。SVS 模型输出的林分信息摘要主要包括:样地原点、规格、形状、度量衡(英制单位或公制单位),样地内乔灌植物种群数、株数、胸径(均值、最值、标准差)、树高(均值、最值、标准差)、胸高断面积,林分可视化渲染效果定义等。

(2) 林分树种分布。人工林树种组成较为单一,由林分树种分布图(图 3)可以看出,标准地内仅包括两个乔木种群:华北落叶松与白桦;其中,华北落叶松种群数量占有明显优势,其株数比例约为 59.3%,白

桦株数比例约为 41.7%,针阔混交比约为 1.42,这与该林分造林树种保持一致,与造林时针阔混交比例也基本一致。此外,混交林群落内还存有少量枯倒木,且华北落叶松种群枯倒木数量略多于白桦种群。

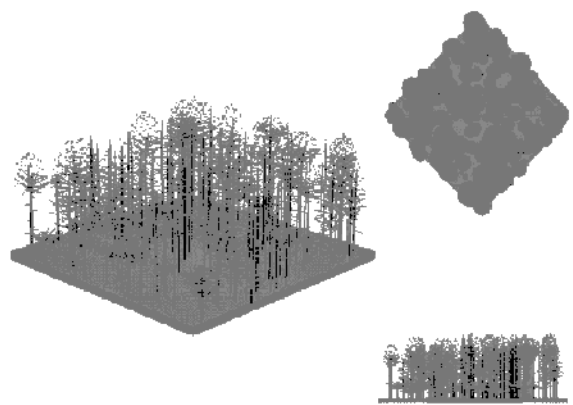


图 2 华北落叶松—白桦混交林林分可视化效果图

(3) 林分胸径分布。标准地内林木胸径分布并不连续,而较为集中呈显著双峰状(图 4),波峰分别为 DBH=22 cm 和 DBH=6 cm,且大径级林木数量明显多于小径级林木;标准地林木胸径分布在 DBH=12 cm 处出现断层,DBH≥32 cm 以上林木较少。

标准地内林木胸径的双峰分布和断层与林木的生长与更新关系密切,其中以 DBH=22 cm 为核心的大径级林木起源于人工栽植,而以 DBH=6 cm 为核心的小径级林木则起源于人工林的自我更新。同时,群落内枯倒木主要为小径级林木,这主要是因为小径级林木竞争能力和抗性较差,在生长过程中易受自然环境影响、附近大径级林木抑制和病虫害感染,最终导致死亡、倒伏。

(4) 林分垂直结构。经过 40 a 的发展、演替,标准地内林分垂直结构已初步呈现复层林特点,林木株数比例随树高的降低而减少(图 5)。绝大多数林木高度分布在 15~25 m,这是标准地林分的主林层;高度小于 5 m 的林木个体比例较小,但包括绝大部分枯倒木,这与小径级枯倒木产生的原因基本类似。

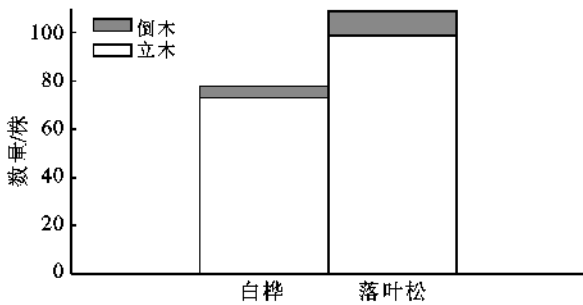


图 3 林分树种组成分布图

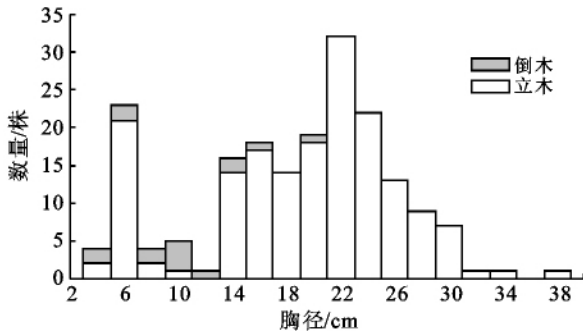


图 4 林分胸径分布图

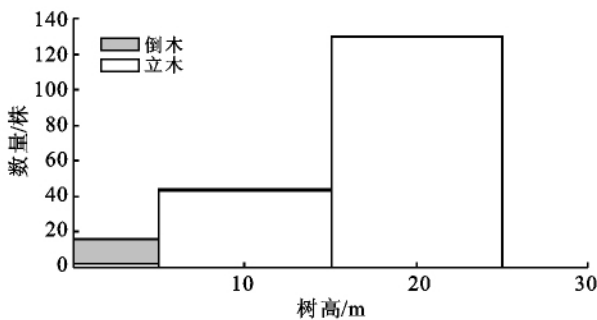


图 5 林分树高分布图

(5) 林分冠干比。所谓冠干比是指林木冠幅与树干高度的比例关系,是林木构筑型的重要参数之

一,SVS 模型提供了这一重要林分结构的比例关系图。由图 6 可以看出,样地内林木冠干比随着林木高度的增加表现出波动性变化规律,但总体呈增大趋势。这主要是因为随着林木高度的增加,林木的冠幅一般也呈增大趋势,最终导致冠干比增大。

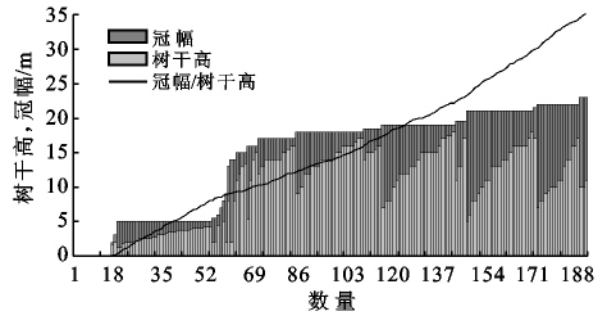


图 6 林分树干高与冠幅关系

(6) 林分郁闭度。SVS 模型还提供了 2 种计算林分郁闭度的方法。① 绘图法。样地俯视图中树冠投影面积与样地面积之比;② 数学法。样地内所有林木树冠面积之和与样地面积之比。一般来说数学法计算结果要大于绘图法的计算结果,以本研究为例,两种算法标准地郁闭度分别为 78% 和 100%。

4.3 林分可视化经营

以林分可视化视图和统计数据信息为初始条件,根据林分经营管理目标,在 SVS 模型 making and treatment 模块提供的虚拟环境中,用户可以通过“标记”林分组成成分获取林木信息,并指定某一种作业方式来设计或调整森林经营方案,以确定合适的经营密度与混交度,实现对现实林分的科学经营。具体包括:控制林木树种、DBH、树高、胸高断面积和林分密度等因子,标记林木进行疏伐作业;控制树种、DBH、树高、冠高比和树冠半径等因子,模拟林分补植作业。研究区华北落叶松—白桦混交林可视化经营效果由图 7 所示。

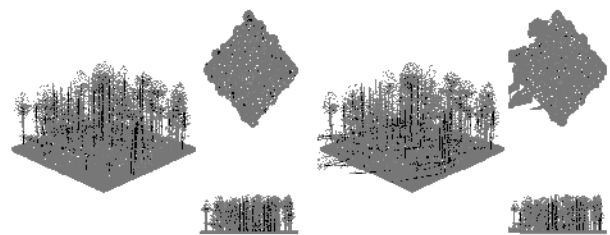


图 7 华北落叶松—白桦混交林可视化经营效果

5 结论

SVS 模型在研究区的应用表明,以林分组成数据

和林木形态定义数据为基础,SVS 模型可以生成立体、美观的林分可视化效果图,直观、多角度的展示标准地或森林小班的林相图和林分结构;输出林分树种组成、胸径分布、树高分布直方图与树高、冠幅关系图谱,提供了大量林分数据信息;在虚拟环境中设计或调整森林经营方案,模拟实现森林经营的全过程。基于 SVS 模型林分虚拟经营管理可以有效提高森林经营管理与研究的效率,规避森林经营风险,节约了大量的人力、物力和财力,是实现科学可视化森林经营的理想工具,为我国新型数字林业和精准林业的发展提供了新的思路与方法。

以 SVS 模型为基础,构建一个完善、精确的树形设计、林分可视化与森林可视化经营模型需要大量、细致的林木结构数据与林分调查资料,以确定系统参数及维持系统运行,这也是制约 SVS 模型应用的重要因素之一;在利用传统方法获取相关数据的同时,必须有效利用 3S 技术等先进的科学技术手段,采用计算机图形学和人工智能等方法,快速、精确地获取、处理与利用数据,并加强基础数据的共享。同时,作为一个面向森林结构与功能的林分可视化模型,SVS 仍以林木形态为核心,强调森林经营措施对林分结构的影响,而缺乏对森林生态系统功能的表达,以及林分对自然环境变化的响应;因此,优化构建林分可视化“结构—功能”模型,研究森林生态系统功能与林分结构间的耦合关系与可视化表达方法,实现自然环境对林分结构影响的可视化,是未来林分可视化模型研究的重要发展方向。此外,要加强国外先进模型软件的引进与本地化,加强自主知识产权模型软件的研发力度,强化专业人才的培养以及基层林业工作者的培训,最终实现林分可视化在森林经营管理与研究领域的应用与推广。

致谢:在论文撰写过程中得到 Ms. Merisha Enoe(Yale University, USA)的支持和帮助,谨致谢意。

[参 考 文 献]

- [1] 廖邦洪,陈东至. 北美地区森林景观可视化的研究与应用[J]. 世界林业研究,2005,18(5):57-64.
- [2] 张敏,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.
- [3] 肖化顺,王佳,曾思齐. 科学计算可视化及其在林业中的应用[J]. 世界林业研究,2005,18(4):18-22.
- [4] 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):813-818.
- [5] 高广磊,丁国栋,张佳音,等. 林分结构可视化模型的原理、应用与展望[J]. 世界林业研究,2011,24(3):42-46.
- [6] 高桂桂,苏喜友. 森林景观三维建模技术研究进展[J]. 世界林业研究,2008,21(2):22-25.
- [7] 雷相东,常敏,陆元昌,等. 虚拟树木生长建模及可视化研究综述[J]. 林业科学,2006,42(11):123-131.
- [8] Baker P, Wilson J. A quantitative technique for the identification of canopy stratification in tropical and temperate forests [J]. Forest Ecology and Management, 2000, 127(1/3):77-86.
- [9] 国庆喜,杨光,孙龙. 林分可视化系统在帽儿山地区的应用[J]. 东北林业大学学报,2005,33(6):100-101,112.
- [10] Zobrist, McCarter, Hanley. Inventory Wizard: A New Tool that Makes it Easy to Get Started with the Landscape Management System[M]. WA:Washington State University Press, 2004:1-8.
- [11] Roth P, Finley J, Zobrist K. Computer technology helps family forest owners in Pennsylvania and Washington[J]. Journal of Forestry, 2006, 104(3):132-135.
- [12] Soott I. Sylview: A visualization system for forest management[D]. Columbia: University of Missouri, 2006:278-287.
- [13] Ceder K. Using silviculture to sustain wildlife habitat: Assessing changes and trade-offs in forest habitats using a habitat evaluation procedure within the landscape management system[D]. Seattle: University of Washington, 2002:62-71.
- [14] Mason C, Lippke B, Zobrist K, et al. Investments in fuel removals to avoid forest fires result in substantial benefits[J]. Journal of Forestry, 2006,104(1):27-31.
- [15] 赵建成,孔照普. 河北木兰围场植物志[M]. 北京:科学出版社,2008:2-20.
- [16] 高广磊,丁国栋,张佳音,等. 华北土石山区天然次生林空间结构特征分析[J]. 水土保持通报,2011,31(6):81-85.
- [17] Gao Guanglei, Ding Guodong, Zang Yintong, et al. Individual tree simulation and stand visualization of *Pinus tabulaeformis* plantation[J]. International Journal of Emerging Sciences, 2011, 1(4):649-658.