

基于OSG数字林分景观可视化技术研究

淮永建 于鹏 黄友良 杨刚 罗岱

(北京林业大学信息学院)

摘要:大规模林分场景建模和实时绘制对于模拟林分生长具有重要意义。本文定义了一个基于树龄分枝的树木表达模型,该模型可构建形态结构不规则、灵活的树木模型;在林分场景绘制中,提出了一种基于OSG大规模林分场景的实时绘制技术,利用存储在XML文件中真实的林分调查数据可以实时绘制三维林分场景。林分树木场景数据量大,为了提高场景渲染的效率,利用OSG场景图来组织和优化场景数据;在林分单元格的绘制中引入3D树木的LOD网格简化和PageLOD数据库分页机制实现大规模数据调度。实例证明,所绘制的大规模林分场景能满足用户的实时交互需求。

关键词:林分场景;场景图;OpenSceneGraph;实时渲染

中图分类号:TP391.4; S792.117 文献标志码:A 文章编号:1000-1522(2009)06-0067-05

HUAI Yong-jian; YU Peng; HUANG You-liang; YANG Gang; LUO Dai · **Real-time rendering of large-scale forest scene based on OSG and GPU.** *Journal of Beijing Forestry University* (2009) 31(6) 67-71 [Ch, 11 ref.] School of Information, Beijing Forestry University, 100083, P. R. China.

It is a challenging work for stand growth simulation to render a large-scale forest scene in real time. In this paper, we present a hybrid rendering technology of large-scale forest scene based on OpenSceneGraph (OSG) and GPU. The realistic forest scene can be rendered according to the data of stands, which was stored in a XML file. A tree rendering model was described based on tree growth, which was composed of tree trunk, branch and leaves. In tree modeling, we can define different years of tree by using different layers of tree branch. An OSG scene management graph was used to organize and optimize the complicated virtual scene. In order to improve the interactive frame rates, a view-dependent LOD 3D model simplification algorithm and a PageLOD paging mechanism were proposed to achieve large-scale forestry data scheduling. Finally, the technique is proved to be valid in real-time rendering of large scale forest scene.

Key words forest scene; scene graph; OSG (OpenSceneGraph); real-time rendering

数字林分景观可视化是数字林业的重要组成部分,如何有效地进行林分景观可视化并指导森林培育、林业发展规划已成为林分景观可视化的研究热点。舒娱琴^[1]和李云峰等^[2]将位图纹理映射技术应用于树叶和树干的绘制中,提出了基于Billboard的树木绘制方法,但是当视点距离树木较近时利用图像绘制的树木缺乏真实感。Deussen等^[3]和权兵等^[4]提出了一种实时树叶简化算法对给定的目标帧速率的植被进行绘制。树叶由许多离散的小多边形组成,对于通用的拓扑结构保留的几何模型简化算法不适用。Lintemann等^[5]提出了一种基于参数化L-systems的多分辨率树木建模方法。算法基于距离

度量的原则来确保树分枝的视觉相关性。算法主要探讨了树分枝的构造,没有考虑树叶。Frederic等^[6]提出了一种基于L-system的植物细节的建模方法,通过给L-system的迭代序列指定动态的材质纹理属性描述树叶和花瓣。Przemyslaw等^[7]在L-system的树木建模和绘制中引入了GPU的图形硬件加速技术。尽管基于龟形迭代的L-system算法在模拟植物生长方面具有一定的优势,但所模拟树木的几何形态较规则,不符合树木随机生长的特征。

大规模林分场景的树木建模和实时绘制技术仍然是目前虚拟景观可视化的研究热点。本文定义一个基于树龄枝干特征的树木结构模型,定义的树木

收稿日期:2009-01-03

http://www.bjfujournal.cn, http://journal.bjfu.edu.cn

基金项目:国家自然科学基金项目(30872066)、“十一五”国家科技支撑计划项目(2006BAD10A03)。

第一作者:淮永建,博士,副教授。主要研究方向:虚拟现实与虚拟景观。电话:010-62336392 Email: huaiyj@163.com 地址:100083 北京林业大学193信箱。

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

形态结构模型具有通用性,可构建形态结构不规则的树木模型。在林分场景绘制中,提出了一种基于OSG的大规模林分场景的实时可视化绘制技术,利用存储在XML文件中真实的林分调查数据可以实时绘制三维林分场景。在树木建模时引入OSG节点结构,利用OSG场景图来组织和优化场景数据;在林分单元格的实时绘制中,引入3D树木的LOD网格简化,并运用PageLOD数据库分页机制实现大规模数据调度。本文最后利用该方法,使用开源图形渲染引擎OSG完成了对北京市八达岭地区林分景观可视化模拟。实验结果表明,模拟的林分场景逼真、自然,能满足用户实时交互的需要。从而提高了复杂林分场景的实时绘制速率。

1 林分景观的构建

1.1 林分景观数据来源及预处理

用于构造林分景观可视化的数据主要包括几何数据和纹理数据。几何数据主要有地形数据、林分调查数据等;纹理数据主要有地形遥感影像和林木植被纹理等。本文使用的地形数据为北京市园林绿化局提供的北京市八达岭地区数字高程图(DEM)。根据项目需要对获取的DEM数据利用Global Mapper和ERDAS遥感图像处理软件进行分割融和、锐化增强、切割断区、坐标校正等处理。地形纹理数据使用Google Earth卫星影像获取。树木的纹理数据主要包括树皮纹理和叶片纹理,树皮的纹理采用树木某段主干的纹理;叶片的纹理采用透明的纹理。为了避免贴图时出现裂口或走样,纹理的长度和宽度(以像素为单位)处理为2的N次方,否则会出现纹理拉伸或压缩纹理,失去真实感。

1.2 地形模型构建

由于OSG渲染引擎不能直接渲染DEM数据,首先使用osgdem对获取的DEM数据进行格式转换。osgdem是OSG处理地形的专用工具,它可以创建基于OSG二进制最高效的数据库,能够阅读各种地理图形和高程数据,并建立地形数据库。处理DEM数据时采用了分块调度、群拼接、四叉树数据结构管理、多重纹理等关键技术,便于提高场景绘制效率。本文将研究区域地形分为4级LOD,使用分页细节层次节点osg::PageLOD实现地形数据动态分页加载,根据视点位置实时加载需要的数据及卸载无用的数据。同时,为了加快模型导入和显示速度,选用OSG里的IVE格式文件存储地形数据。图1所示为研究区域地形模型效果图。

1.3 树木模型构建

树木模型是林分景观可视化的重要组成部分。

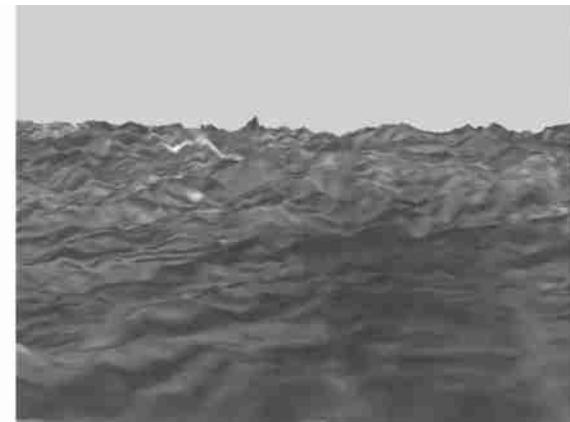


图1 地形模型

FIGURE 1 Terrain model

树木模型信息主要来自研究区域林相图和林分调查数据。从林相图中可以获取优势树种、龄组、平均胸径、树高、株数密度等参数信息,然后选用参数化建模工具Creator生成系统所需要的树木模型。本文的树木模型采用OpenFlight格式树状层次结构,参照树木结构,将树木模型分为主干、枝条和树叶3部分,模型结构如图2所示。根据树木结构引入OpenFlight内置节点(如Group、LOD、DOF等节点)构建不同树龄的树木模型。树木模型的几何描述是在模型的最顶层使用Group节点组织数据,它包含若干子节点,分别是树干、树枝和树叶,而树枝根据树叶数目的多少分为若干级别,树枝分枝角度采用常见的30°、45°、60°和90°。枝条上叶片大小、数量及排列次序和排列方式采用随机分布方法建模。图3为树木模型渲染效果图。

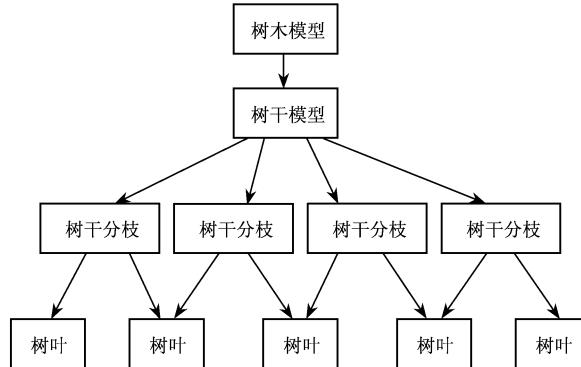


图2 树木模型结构图

FIGURE 2 Structure diagram of the tree model

2 林分调查数据表示

2.1 林分调查数据存储

林分景观可视化需要模拟林分生长信息和林分空间结构。林分生长信息主要指不同年龄林分的高度、优势树种等。林分空间结构主要指林分中树木特征因子,如树高、胸径、冠幅、树木空间位置上的分布等。本文利用XML文件记录树种信息、疏密度以

及不同林区的各个生长阶段的树高、胸径和分枝信息。XML 是一种通用的数据存储格式, 存储的数据文件小, 实用性强。不同的林分地形使用不同的 XML 文件存储林分信息。林分场景绘制时, 首先通过系统配置模块读取外部林分信息配置文件。先由 XML 解释器取得文档根节点, 从文档根节点开始处理, 由 Map 对象所提供的信息, 获取林分配置信息, 然后插入场景树中, 根据获取的林分配置信息, 通过林分配置文件中林分号找到相应的树木模型和地形模型, 实时绘制林分景观渲染输出。

林分调查数据的 XML 存储方法如下:

```
<? xml version = “1.0” encoding = “UTF-8”?>
>/<!--XML 信息
<Ground>
  <ground groundnum = “地形 001”>
    <ground border = “林分边界信息”>
  </Ground>
  <Treerange>
    <plantdensity = “林木密度”>
      <plant plantnum = “树种 001” layerLeaves = “叶片层级” bbSpring = “.. /Model/test03/bbSpring.png”
      leavesSpring = “.. /Model/test03/leaveSpring.jpg” //叶片
      模型和树模型/>
      <range startmonth = “0” endmonth = “12” height
      =“3.0” diameter = “0.5” //树龄、树高、胸径和模型
      信息 modelname = “.. /Model/test03/0010.ive”/> //树
      模型路径
      <range startmonth = “13” endmonth = “24” height
      =“6.5” diameter = “1.5” //不同树龄、树高、胸径和
      模型信息
      modelname = “.. /Model/test03/0011.ive”/> //树
      模型路径
    </Tree>
```

2.2 林分树木坐标计算

在虚拟林分场景中, 树木坐标的计算是一个关键问题。本文提出一种具有约束条件的树木坐标计算方法, 计算时通过附加约束条件保证树木坐标在林分边界内, 然后结合林分地形的高程信息计算树木在虚拟林分场景中的三维坐标。为了确定树木在地形上的分布范围及位置, 首先通过 XML 文件获取林分边界信息点来确定林分的地理位置。将树木坐标的 Z 向坐标值初始定为 0, 则树木的(x, y)坐标必须满足落在林分边界点组成的范围内。假设用六边形代替边界不规则林分边界, 先求出组成多边形的 6 个顶点 $\{P_1(x, y), P_2(x, y), \dots, P_6(x, y)\}$ 的最大值(X_{\max}, Y_{\max})和最小值(X_{\min}, Y_{\min})。由(X_{\min}, Y_{\min})、(X_{\min}, Y_{\max})、(X_{\max}, Y_{\min})和(X_{\max}, Y_{\max})可组成一个包含六边形的最小正方形, 然后取正方形任意点通过循环语句判断求出落在多边形内的点, 即树木初始坐标的取值集合(如图 4 所示)。

树木高程坐标 Z 的计算, 采用“射线/交”算法确定植被的高程坐标。利用 OSG 提供的 osgSim::LineOfSight 类, 一次性指定一组线段, 求出它们和林分地形的相交点坐标, 并将求得的结果放入容器对象。函数接口定义如下:

```
//定义函数接口
bool StandSceneBuilder::calculateintersectionposition
  (osg::Node * targetnode, osg::Vec3d& result,
   osg::Vec3d& end, osg::Vec3d& start)
{
  static osgSim::LineOfSight los; //定义射集合
  line对象
  los.clear();
  los.addLOS(start, end * 2); //定义相交射线两端点
  los.computeIntersections(terrainnode); //加载地形节点
  osgSim::LineOfSight::Intersections& intersections
  =los.getIntersections(0);
  //循环判定线段与地形节点的交点
  for (osgSim::LineOfSight::Intersections::const-
  iterator itr = intersections.begin();
       itr != intersections.end(); ++itr)
  {
    result = *itr;
    return true;
  }
  return false;
};
```

3 林分景观可视化

3.1 林分场景数据组织

一个好的场景管理可以极大地优化场景绘制并加速各种查询操作, 如碰撞检测、光线跟踪、视域裁剪等。常见的场景管理方法很多, 通常有包围球、四叉树、八叉树、BSP 等。本文采用场景树结构组织管理林分场景数据。通过场景树把林分场景及其属性组织在一起, 场景树中的根节点代表所要模拟的整个林分场景的缩影, 通过子节点模拟地形和不同林分集合, 利用叶子节点描述地形或林分的特性。林分场景结构如图 5 所示。



图3 树木模型效果图

FIGURE 3 Effective picture of the tree model

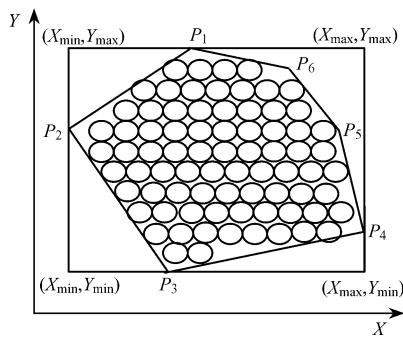


图4 林分边界外接矩形

FIGURE 4 External rectangular of stand boundary

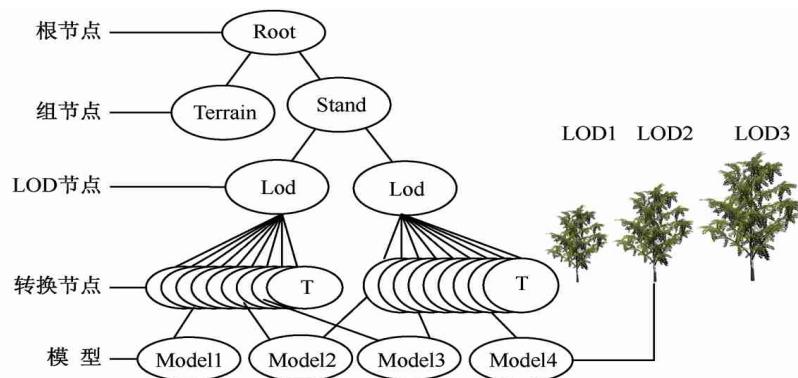


图5 林分场景树

FIGURE 5 Scene graph of stands



图6 单木和群柱毛白杨绘制结果

FIGURE 6 Rendering result of single and group of Chinese white poplar

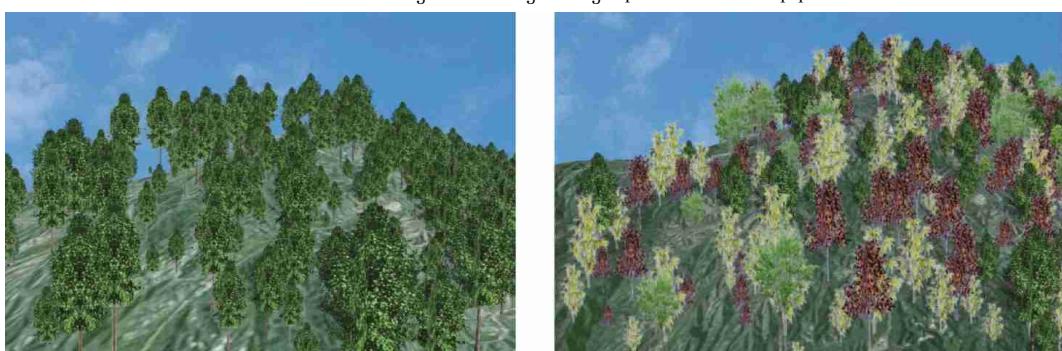


图7 单树种和混交林分景观绘制结果

FIGURE 7 Rendering result of pure and mixed forest landscape

3.2 林分季节变换模拟

通过 OSG 组织场景图可知, 只有叶子节点具有几何信息、状态信息及纹理信息等, 组节点和其他派生的节点类都不具备此特征。OSG 提供的节点访问控制类可以方便地找到指定的节点, 模型建立时使用树木上层节点的信息, 中间通过节点变换, 遍历场景树找到带有纹理信息的节点, 设置树木的纹理信息。在场景绘制时, 利用 OSG 内置 Switch 开关节点控制场景中树木模型的纹理变换。根据访问器设计模式中 Visitor 的设计思想, 通过 OSG::NodeVisitor 节点访问控制类实现树叶季节变换节点查找。对找到的相关季节名称节点, 通过设置子节点的开关实现指定纹理映射。树木建模时将叶子数量按春夏秋冬四季分开, 比如春天, 将层次结构春天节点打开, 渲染对应着春天的枝条和树叶信息。通过以上方法可以完成枝叶数量的变化和枝叶纹理特征的变化, 从而模拟四季的效果。

3.3 GPU 林分场景优化

在林分场景漫游中, 为了实时显示不同林分单元中的树木, 需要快速实现树木种植绘制算法。为了交互快速地绘制无限区域的树木, 需要平衡 GPU 的技术和绘制算法。

当视点远离林分单元(Grid Cell)时, 超出 LOD 绘制树的视距之外, 利用 Billboard 树木图像来渲染树木。但是大量树木的 Billboard 图像仍需要占用大量的内存空间。随着 GPU 图形卡渲染效率的提高, 可以基于 GPU 硬件加速来提高渲染效率。通过创建一顶点和索引缓冲器来填充大片树木 Billboard 图像, 通过一次调用绘制函数来实现所有图像的绘制, 从而实现不同空间和树木密度的快速 Billboard 图像渲染。

4 林分场景绘制结果及分析

本文对北京市八达岭地区常见树种栓皮栎(*Quercus variabilis*)、毛白杨(*Populus tomentosa*)、油松(*Pinus tabulaeformis*)、黄栌(*Cotinus coggygria*)进行林分景观可视化模拟。场景绘制结果如图 6、7 所示。为了提高场景渲染速率, 除采用视域裁剪和剔除等加速功能外, 对林分大地形的数据采用 OSG 数据分页机制 PageLOD 和多分辨率网格渲染技术; 利用 OSG 自带的优化节点 osgSim::Optimize 和 LOD 简化算法对树木模型进行优化。

单株和群柱树木的测试结果见表 1。单株树木精细建模后的多边形数为 10 000 个, 绘制的帧速率大约为 17 帧。对模型进行基于视点的 LOD 简化并利用 GPU 硬件加速后绘制速率平均在 90 帧以上。本算法测试了种植 500 棵树后的群柱场景渲染效果。离视点较近的树用几何模型表示, 离视点较远的树用 Billboard 图像渲染, 场景优化前的帧速率在 5 帧左右, 利用 LOD 对几何模型简化, 并对 Billboard

树木图像用 GPU 绘制管道进行加速处理。大面积林分场景优化后, 渲染的帧速率大约为 35 帧。试验结果表明, 提出的林分场景可视化方法是合理、有效的, 能满足实际大面积林分景观可视化的需要。

表 1 算法测试结果

TABLE 1 Results of algorithm test

树种	数量	多边形面片数	FPS(场景优化前)	LOD\Billboard 场景优化后 (LOD 多边形面片数)	FPS (GPU 优化后)
毛白杨	1	10 000	18	1 000	98
群柱	500	532 560	3	26 450	35
油松	1	10 000	20	980	102
群柱	500	493 726	5	29 738	32

5 结论与展望

数字林分景观可视化是数字林业的重要组成部分, 林分景观可视化的实现对森林经营、管理及规划具有重要意义。本文探讨了数字林分景观可视化的方法, 即按单树建模—林分场景—森林环境等三级尺度实现的技术体系, 提出了基于场景图管理的林分景观可视化方法。在进行树木建模时采用了 OpenFlight 格式的树状层次化结构, 较好地反映了林木的生态结构; 地形渲染时 osgdem 预处理, 并采用 PageLOD 数据库分页机制, 便于大规模场景数据调度。实验结果表明, 基于 OSG 的大规模林分场景可视化技术能有效地对林分景观进行可视化建模和渲染, 渲染的林分景观逼真、自然。如何将 OSG 引擎应用到林分景观可视化, 对森林植被在不同自然环境下进行动态模拟, 增加光影等真实感效果是数字林分景观可视化有待进一步研究的内容。

参 考 文 献

- [1] 舒娱琴. 基于林分生长规律的虚拟森林环境的构建研究[D]. 武汉: 武汉大学, 2004.
- [2] 李云峰, 朱庆生. 一种基于图像的快速虚拟植物可视化重建[J]. 计算机应用研究, 2005, 15(11): 425~430.
- [3] DEUSSEN O, COLDITZ C, STAMMINGER M, et al. Interactive visualization of complex plant ecosystems [OL]. [2008-10-10] <http://www-sop.inria.fr/reves/Basilic/2002/DCSD02/Vis2002Deussen.pdf>.
- [4] 权兵, 唐丽玉. 虚拟地理环境下的林分生长可视化研究[J]. 福建林学院学报, 2004, 24(3): 224~228.
- [5] LINTERMANN B, DEUSSEN O. Interactive modeling of plants[J]. *IEEE Computer Graphics and Applications*, 1999, 19(1): 56~65.
- [6] FREDERIC B. Interactive design of bonsai tree models [J]. *Eurographics*, 2003, 22: 591~599.
- [7] PRZEMYSŁAW P, MÜNDERMANN L, KARWOWSKI R, et al. The use of positional information in the modeling of plants[C]//ACM Special Interest Group on Computer Graphics and Interactive Techniques. *Proceedings of the 28th annual conference on computer graphics and interactive techniques*. New York: ACM, 2001: 289~300.

(责任编辑 冯秀兰)