

## 基于 GPU 和场景分页的森林可视化模拟

李长银, 陈永富\*, 张怀清

(中国林业科学研究院资源信息研究所, 北京 100091)

关键词: 森林生长模拟; 可视化; 分页调度; GPU

中图分类号: S771

文献标识码: A

### Visual Simulation of Forest Growth Based on GPU and Terrain Paging

LI Chang-yin, CHEN Yong-fu, ZHANG Huai-qing

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

**Abstract:** A GPU-based visualization method of large forest scenarios simulation was proposed by using Cg language balance between scheduling CPU and GPU load. A scene roaming method based on pre-partition paging algorithms effective balanced the system consumption. On this basis, the visual simulation of Huangfengqiao Forest Farm achieved good results.

**Key words:** forest growth simulation; visualization; scene paging algorithm; GPU

森林地域分布广阔,森林中植被众多、光影分布复杂。在森林可视化模拟时巨大的场景,场景中大量的模型,复杂的光线和阴影给真实感绘制带来了很大的困难<sup>[1]</sup>。特别是在基于单木生长模型的森林生长可视化模拟中,由于要对每一棵树的生长进行计算,同时还要渲染三维场景中大量的模型,计算光照阴影等,CPU的计算量很大。一般的森林场景都是通过离线生成场景然后再加载的方式来制作的,不能动态模拟森林的一些状态<sup>[2]</sup>。传统的3D场景加速方法一般都着眼于快速剔除不可见多边形,同时根据摄像机位置选择合适的LOD<sup>[3-4]</sup>,尽量减少渲染的多边形个数,以此减轻CPU的负担,加速渲染速度,而在这个过程中GPU(Graphics Processing Units<sup>[5]</sup>,图形处理单元)只是用来负责绘制三角面片,浪费了GPU计算资源。在地形渲染方面,对于大量的需要渲染的地形和场景数据,一次性加载会极大影响程序的响应时间,消耗大量的内存资源,增

加CPU的等待时间<sup>[6]</sup>。地形分页技术可以很好的减少CPU的等待时间,减少内存占用,提高效率的同时又能保证渲染效率<sup>[7-8]</sup>。传统的地形分页调度策略是对海量地形数据进行空间页面(page)划分,把page作为地形数据的基本调度单位,在场景漫游时动态的加载<sup>[9]</sup>。这类算法一般只着重于地形的分页,没有考虑场景中的内容,对于具有大量细节的森林场景来说,各种模型和特效的动态加载没有考虑。

文中针对GPU的特点提出了一种将部分CPU计算转移到GPU中的渲染方案,利用GPU的可编程特性,将纹理渲染和阴影计算转移到GPU中来,有效地均衡CPU和GPU的负载,使具有大量细节模型的森林生长场景的渲染更加流畅。对于森林可视化模拟中的场景渲染,提出了基于视域的预分页场景调度算法,将场景和场景上的各种实体分成两个线程独立调度。组成一个可漫游的、可交互查询的森林三维可视化场景。

收稿日期: 2010-09-26

基金项目: 中央级公益性科研院所项目(IFRIT200904)、国家林业局948引进项目(2008-4-61)

作者简介: 李长银(1986—),男,硕士研究生。主要从事林业虚拟现实技术研究。E-mail:oklcy@163.com.

\* 通讯作者: 研究员,硕士生导师。研究方向为森林经营管理与信息系统。E-mail:chenyf@caf.ac.cn

# 1 森林场景可视化构建技术

## 1.1 基于 GPU 的场景渲染

1.1.1 GPU 渲染材质排序 在 GPU 硬件渲染过程中相同渲染状态的物体可以在一个批次中一次完成,但是渲染不同的模型或者材质的时候,需要绘图状态的改变。而在图形硬件上改变渲染状态是一个耗费比较高的过程<sup>[10]</sup>。森林场景中模型很多,不同模型之间渲染状态的改变是影响渲染效率的重要因素。为了减少渲染状态改变带来的影响,在 GPU 渲染流水线中对需要渲染的材质进行排序。排序时遵从切换次数最少的原理,各个状态的切换优先级从纹理-灯光-Alpha 的顺序来排列。

具体的排序如下例。整个渲染周期最复杂的材质包括以下 3 部分:纹理贴图,光照,Alpha 混合。需要渲染的物体为 4 个:A、B、C、D。它们的材质分布如图:



图 1 4 种不同的材质

其中:纹理有 3 种,灯光有 3 种,Alpha 有 2 种。按照切换次数最少且效率最高的原则,排序的渲染结果应该是:C-B-D-A。在森林场景渲染的时候,按照以上原则对 GPU 中需要渲染的材质进行排序。

1.1.2 森林场景中的阴影渲染 阴影是渲染一个真实场景的重要组成部分,它们可以给场景中的物体提供更加真实的感觉,同时还可以帮助用户更好的了解对象间的空间关系<sup>[11]</sup>。

森林场景中,由于树冠的遮蔽作用,各个林层中的光线分布极其复杂,不同林分之间阴影分布差异性也很大。阳生树种组成的林分透光性比较好,林分比较明亮,林分中的光线以直射光和散射光为主,林下的阴影比较明显。阴生树种组成的林分透光性差,林下阴暗,光的分布主要以散射光为主,阴影较淡。

在 3D 场景渲染中,实时动态阴影的渲染是一个 CPU 耗费较高的过程, GPU 的的图形运算性能可以很好的完成复杂的光影计算<sup>[12]</sup>。本文中,阴影采用

纹理阴影来实现,使用 Cg 语言编写的顶点程序和片段程序来进行绘制,纹理阴影的所有计算都在 GPU 中完成,充分利用了 GPU 的并行性实现绘制加速。

## 1.2 场景调度算法

在场景中实体加载时候建立一个专门的实体加载器算法,对场景中的树木、灌丛、草等不同物体按类别分开加载,在这个基础上分别进行相应的优化,提高了场景加载和渲染速度。

对于包含大量细节模型的森林场景渲染,通常的做法是将场景中的模型和地形分开渲染,这样能很好的管理渲染调度。但是这样会导致一个问题,那就是在场景漫游的时候有时候会出现场景中地形和物体出现次序问题。例如在场景的远处,模型已经被渲染出来了,而地形还没有渲染出来的情况。

本文场景调度算法把场景中的地形和场景中的实体统一调度,在提高整体渲染速度的基础上避免了场景中实体和地形渲染次序的问题。

具体的渲染技术如下:

1.2.1 高度图分割预处理 地形信息存储在一张 16 位的高度图(height map)里边,高度图是一张记录高度信息的图片,它可以记录 0 ~ 655 35 的高度差范围。其长和宽表示了所要渲染地形的长和宽。在渲染前应该对高度图进行分割,以便于渲染时进行动态的加载。整个灰度图被分割成多个 page,每个 page 作为场景树上的节点,为提高效率,每个 page 大小为  $2^m + 1$  ( $m > 6$ ),每个 page 可以划分为 4 个 tile,在实际渲染时 tile 是具体的渲染单位。划分方法如图 2。

1.2.2 基于摄像机场景渲染分页调度算法 为了实现场景漫游,系统需要根据摄像机的位置和朝向动态加载和卸载不同的 page 和相应 page 上的实体。基于摄像机位置的动态场景加载算法如下:

a. 新建一个页面加载队列 pageload 和一个已加载队列 pageloaded。并为每一个加载的 page 建立一个引用计数 nCount 并初始化为 0。

b. 根据摄像机的位置选取当前 page。

b<sub>1</sub>)同时根据摄像机的最远裁剪面与当前位置的距离 D 在当前 page 的相邻 page 中进行判断,比较那些页面处于摄像机的可视范围之内。将可视范围内的页面加入 pageload 队列,同时用实体加载器加载相应的实体。

b<sub>2</sub>)根据 D 判断 pageloaded 中的页面是否处在可视范围内,若不在可视范围内则从 pageloaded 中

Page 0, 0。		Page 1, 0。	Page 2, 0。
Tile 0,0。	Tile 1,0。		
Tile 0,1。	Tile 1,1。		
Page 0, 1。	Page 1, 1。	Page 2, 1。	
Page 0, 2。	Page 1, 2。	Page 2, 2。	

图2 地形分页算法示意图

清除掉页面索引并释放占用的内存,删除相应的实体。

c. 加载 pageload 队列中的页面。并将已加载页面加入到 pageloaded 队列中。

d. 判断当前页是否改变,每一帧重复以上过程。

### 1.3 模型

森林场景中存在大量对象,为了准确地表达森林场景,需要相应场景中的模型。主要包括以下各种不同的模型:

在森林模拟中常见的单株木模型有基于图像的和基于图形的建模方法<sup>[13]</sup>。其中基于图像的建模方法主要是利用公告板(billboard),即通过将树木的纹理贴在与地面垂直的多边形上来表达树木的形状,漫游时,多边形转动以保持和视线相垂直的状态。这种方法具有节约资源的优点,但是由于纹理单一,缺乏真实的阴影,在近距离的时候缺乏真实感<sup>[14]</sup>。基于图形的单木模型需要在建模工具中根据实际的树木特征建立三维模型,在表达森林场景的时候比较细腻,具有较高的真实感。

在森林场景中,采用基于图形的建模方法。每种树建立4个年龄段的不同模型:幼龄,中龄林,成熟龄,过熟龄。以增加模拟不同年龄的林分时的真实性和表现力。每个模型建立5个不同的LOD(层次细节模型)以供在不同距离时加载,减少总体渲染计算量。

### 1.4 场景组织

场景以xml的方式组织.xml文件将场景中的

地形分页配置大小、地形大小、地形渲染高度图配置、地形渲染纹理源文件、每株树坐标,水体道路等位置用xml格式的配置文件存储。便于对场景进行配置,减少编译的次数,以增加系统的灵活性。

## 2 模拟数据收集整理

用于模拟的数据主要有地形环境和林分信息两种。地形环境数据用于渲染地形相关部分,如地表起伏、道路河流、建筑等等。林分信息主要用于表达林分特征。

### 2.1 地形数据

湖南省攸县1:500 00的数字高程模型,用于渲染地形。不同林种的地表纹理,道路河流的纹理。

### 2.2 林分信息

黄丰桥林场的林相图,分布在黄丰桥林场的6块固定样地的观测数据。观测数据主要包括:林分的起源、下木的种类、多度、坡度、坡向。每株树的树种、年龄、胸径、树高、GPS(X、Y、Z)坐标位置、东西冠幅、南北冠幅。收集了湖南省攸县黄丰桥镇黄丰桥林场的2006、2007、2008年的林相图。以及3年的固定样地观测数据。

## 3 系统实现和模拟结果

系统采用C++语言和OGRE渲染引擎在Virtual Studio环境下编程实现主体框架,用Cg语言编写Shader着色脚本。系统对湖南省攸县黄丰桥林场进行生长可视化模拟,实验环境为: Pentium IV 3.05 GHz, 2 G内存 NVIDIA FX570 512 M显存显卡,操作系统为 windows XP。整个林场场景的面积为7 800 hm<sup>2</sup>,图形绘制效果可达到35 帧·s<sup>-1</sup>左右。在场景漫游时各个分页过度平滑。系统可以对林场的生长过程进行模拟,系统的模拟场景如图3和图4:



图3 15年生杉木林



图4 20年生杉木林

帧频和渲染的三角形数目如表1:

表1 性能数据统计

场景中树木/ 株	平均帧率 (FPS)	渲染三角形	渲染批次
10 000	45.7	45 000	15
500 000	32.5	225 000	81
2 000 000	27.9	340 000	93

## 4 小结

本文提出了一种基于分页调度技术的林分生长可视化方法,该方法将大地形分页技术和林分生长模拟技术集合起来,实现了大范围的林分生长可视化模拟,具有一定的实用价值。在以后的研究将继续将森林经营、辅助决策加入,并进一步完善森林环境构建。

## 参考文献:

- [1] 舒娱琴. 虚拟森林经营管理系统的设计与实现 [J]. 林业科学, 2007, 43(10): 138 - 144
- [2] 诸峰. 大规模三维地形与天空场景的实时渲染 [J]. 计算机应用与软件, 2009, 26(5): 74 - 76
- [3] 陈启祥, 陈小磊. 基于 LOD 的大规模地形渲染技术研究 [J]. 软件导刊, 2007, 52(3): 90 - 92
- [4] 张桀宁, 李帅. 一种基于顶点纹理的 lod 地形渲染算法 [J]. 系统仿真学报, 2008, 20(7): 1758 - 1764
- [5] Erik L, Kilgard M J, Henry M. A User Programmable Vertex Engine Proceedings of the Computer Graphics [C]. Proceedings of SIGGRAPH2001, Annual Conference Series, ACM SIGGRAPH, Los Angeles, F, 2001
- [6] 高宇, 邓宝松, 杨冰, 等. 基于外存的大规模虚拟环境交互漫游 [J]. 系统仿真学报, 2006, 18(10): 2988 - 2991
- [7] 林继承, 万旺根, 崔滨, 等. 一种超大规模地形场景的实时渲染算法 [J]. 计算机仿真, 2009(11): 224 - 277
- [8] 施松新, 叶修梓, 张三元, 等. 基于分块的大规模地形实时渲染方法 [J]. 浙江大学学报: 工学版, 2007, 41(12): 2002 - 2006
- [9] 周珂, 陈雷霆, 何明耘. Pc 平台下海量地形的分页调度和实时渲染 [J]. 计算机应用研究, 2009, 26(9): 3575 - 3577
- [10] 程甜甜, 陈阁, 陈新, 等. 基于 gpu 的大规模地形场景实时渲染 [J]. 苏州大学学报: 工科版, 2008, 28(3): 1 - 5
- [11] Erik L. Effect of Shadow Quality on the Perception of Spatial Relationships in Computer Generated Imagery [J]. Computer Graphics, 1992, 25(2): 39 - 42
- [12] 杨兵, 李凤霞, 战守义, 等. GPU 在复杂场景的阴影绘制中的应用 [J]. 计算机工程, 2006, 32(2): 220 - 222
- [13] 张敏, 张怀清, 陈永富. 虚拟森林环境构建研究 [J]. 林业科学研究, 2008, 21(增刊): 55 - 59
- [14] 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, 11: 123 - 131

(正文见第 454 页 Refer to P454)