



中国图形学象报

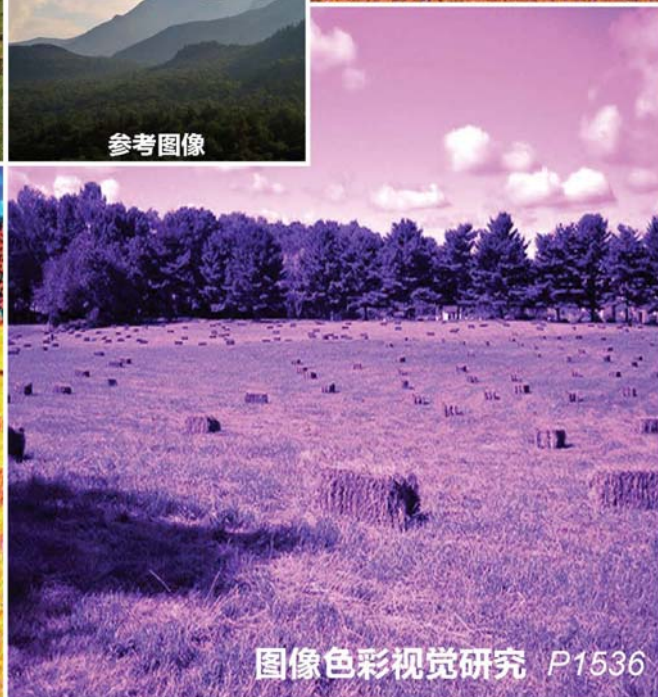
11

ISSN1006-8961  
CN11-3758 /TB



原始图像

### 参考图像



图像色彩视觉研究 P1536

# 中国图象图形学报

刊名题字：宋健 | 月刊（1996年创刊）



第18卷第11期（总第211期）

2013年11月16日

中国精品科技期刊  
中国国际影响力优秀学术期刊  
中国科技核心期刊

## 版权声明

凡向《中国图象图形学报》投稿，均视为同意在本刊网站及CNKI等全文数据库出版，所刊载论文已获得著作权人的授权。本刊所有图片均为非商业目的使用，所有内容，未经许可，不得转载或以其他方式使用。

## Copyright

2013 all rights reserved by Journal of Image and Graphics, Institute of Remote Sensing and Digital Earth, CAS. The content (including but not limited text, photo, etc) published in this journal is for non-commercial use.

主管单位 中国科学院

主办单位 中国科学院遥感与数字地球研究所

中国图象图形学学会

北京应用物理与计算数学研究所

主 编 李小文

编辑出版 《中国图象图形学报》编辑出版委员会

邮政信箱 北京9718信箱

邮 编 100101

电子信箱 jig@irsa.ac.cn

电 话 010-64807995 010-82614429

网 址 www.cjig.cn

广告经营许可证 京朝工商广字第0361号

总 发 行 北京报刊发行局

订 购 全国各地邮局

海外发行 中国国际图书贸易集团有限公司

（邮政信箱：北京399信箱 邮编：100048）

印刷装订 北京科信印刷有限公司

## Journal of Image and Graphics

Title inscription: Song Jian | Monthly, Started in 1996

Superintended by Chinese Academy of Sciences

Sponsored by Institute of Remote Sensing and Digital Earth, CAS

China Society of Image and Graphics

Institute of Applied Physics and Computational Mathematics

Editor-in-Chief LI Xiaowen

Editor, Publisher Editorial and Publishing Board of Journal of  
Image and Graphics

P.O.Box 9718, Beijing, P.R.China

Zip code 100101

E-mail jig@irsa.ac.cn

Telephone 010-64807995 010-82614429

Website www.cjig.cn

Distributed by Beijing Bureau for Distribution of Newspapers and Journals

Domestic All Local Post Offices in China

Overseas China International Book Trading Corporation

(P.O.Box 399, Beijing 100048, P.R.China)

Printed by Beijing Kexin Printing Co., Ltd.

CN 11-3758/TB

ISSN 1006-8961

CODEN ZTTXFZ

国外发行代号 M1406

国内邮发代号 82-831

国内定价 50.00元

## 综述

- 多媒体技术研究: 2012——多媒体数据索引与检索技术研究进展  
中国计算机学会多媒体专业委员会 ..... 1383

## 图像处理和编码

- 热扩散和整体变分模型自适应调整的图像放大模型  
王相海, 艾新南 ..... 1398
- 椒盐图像的方向加权均值滤波算法  
李佐勇, 汤可宗, 胡锦涛, 林亚明 ..... 1407
- 3维自适应最小误差阈值分割法  
刘金, 金炜东 ..... 1416
- 结构约束和样本稀疏表示的图像修复  
康佳伦, 唐向宏, 任澍 ..... 1425
- 结合小波变换和自适应分块的多聚焦图像快速融合  
刘羽, 汪增福 ..... 1435

## 图像分析和识别

- 飞行时间3维相机的多视角散乱点云优化配准  
张旭东, 吴国松, 胡良梅, 王竹萌, 邱维巍 ..... 1445
- 采用独立色素浓度分布分割皮损图像  
徐舒畅 ..... 1452
- 基于CUDA的并行加速渲染算法  
刘镇, 郝冬宁, 梅向东 ..... 1457
- 连续最大流图像分割模型及算法  
杨晓艺, 王小欢, 宋锦萍 ..... 1462
- 词袋特征压缩算法比较研究  
杨赛, 赵春霞 ..... 1468

## 图像理解和计算机视觉

- 融合对象性和视觉显著度的单目图像2D转3D  
袁红星, 吴少群, 朱仁祥, 安鹏 ..... 1478

## 计算机图形学

- 多风格融合的复杂森林场景自适应可视化  
董天阳, 夏佳佳, 范菁 ..... 1486

## 遥感图像处理

- 保留结构细节的遥感海表温度图像的采样与重构  
崔雪森, 杨胜龙, 伍玉梅, 戴阳, 范秀梅 ..... 1497
- 组合四相机拼接影像的颜色平衡  
任超锋, 姚娜, 林宗坚 ..... 1504
- 复杂背景下多样水体遥感自动解译  
夏列钢, 沈占锋, 李均力, 骆剑承 ..... 1513

## “第十届全国智能CAD与数字娱乐会议”专栏

- 3D树木建模技术研究进展  
谭云兰, 贾金原, 张晨, 李光耀 ..... 1520
- 网格分割的3维网格模型非盲水印算法  
杜顺, 詹永照, 王新宇 ..... 1529
- 基于放缩系数和均值的多参数颜色迁移  
王世亮, 徐岗, 储清林, 胡维华, 汪国昭 ..... 1536
- 基于参考图像的色粉画模拟  
郑智斌, 张岩, 孙正兴, 杨克微 ..... 1542



融合对象性和视觉显著度的单目图像2D转3D(第1478页)



网格分割的3维网格模型非盲水印算法(第1529页)



基于参考图像的色粉画模拟(第1542页)

# CONTENTS

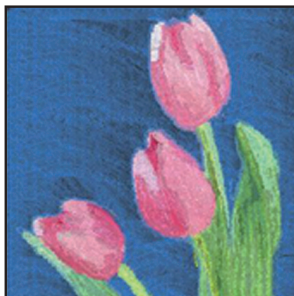
## JOURNAL OF IMAGE AND GRAPHICS



Single-view image 2D-to-3D conversion based on objectness and visual saliency(P1478)



Non-blind watermarking algorithm for 3D mesh models based on mesh segmentation(P1529)



Color transfer with multiple parameters by combining the scaling and mean values(P1542)

### Review

- Researches on multimedia technology, 2012  
Multimedia data indexing and retrieval technology: a review  
CCF Multimedia Technology Committee ..... 1383

### Image Processing and Coding

- Image magnification model based on adaptive adjustment of thermal diffusion and TV model  
Wang Xianghai, Ai Xinnan ..... 1398  
Directional weighted mean filter for image with salt & pepper noise  
Li Zuoyong, Tang Kezong, Hu Jinmei, Lin Yaming ..... 1407  
Three-dimensional adaptive minimum error thresholding segmentation algorithm  
Liu Jin, Jin Weidong ..... 1416  
Image inpainting by structural constraints and sample sparse representation  
Kang Jialun, Tang Xianghong, Ren Shu ..... 1425  
Multi-focus image fusion based on wavelet transform and adaptive block  
Liu Yu, Wang Zengfu ..... 1435

### Image Analysis and Recognition

- Multi-view scattered point cloud optimization registration using a TOF camera  
Zhang Xudong, Wu Guosong, Hu Liangmei, Wang Zhumeng, Di Weiwei ..... 1445  
Skin lesion segmentation by using independent pigment concentration distribution  
Xu Shuchang ..... 1452  
Based on the parallel rendering algorithm in CUDA  
Liu Zhen, Hao Dongning, Mei Xiangdong ..... 1457  
Image segmentation model and algorithm based on continuous max-flow approach  
Yang Xiaoyi, Wang Xiaohuan, Song Jinping ..... 1462  
Comparative research on compression algorithms of bag-of-features  
Yang Sai, Zhao Chunxia ..... 1468

### Image Understanding and Computer Vision

- Single-view image 2D-to-3D conversion based on objectness and visual saliency  
Yuan Hongxing, Wu Shaoqun, Zhu Renxiang, An Peng ..... 1478

### Computer Graphics

- Adaptive visualization of multi-style composition for complex forest scene  
Dong Tianyang, Xia Jiajia, Fan Jing ..... 1486

### Remote Sensing Image Processing

- Structural detail-reserving method of sampling and reconstruction of remote sensing SST image  
Cui Xuesen, Yang Shenglong, Wu Yumei, Dai Yang, Fan Xiumei ..... 1497  
Color balancing of the stitched images of a combined four-head camera  
Ren Chaofeng, Yao Na, Lin Zongjian ..... 1504  
Automatic interpretation of diverse water bodies from remotely sensed images in complex background  
Xia Liegang, Shen Zhanfeng, Li Junli, Luo Jiancheng ..... 1513

### Issum of CIDE' 2013

- Survey on Virtual 3D Tree Modeling Technologies  
Tan Yunlan, Jia Jinyuan, Zhang Chen, Li Guangyao ..... 1520  
Non-blind watermarking algorithm for 3D mesh models based on mesh segmentation  
Du Shun, Zhan Yongzhao, Wang Xinyu ..... 1529  
Color transfer with multiple parameters by combining the scaling and mean values  
Wang Shiliang, Xu Gang, Chu Qinglin, Hu Weihua, Wang Guozhao ..... 1536  
Image-based pastel simulation  
Zheng Zhibin, Zhang Yan, Sun Zhengxing, Yang Kewei ..... 1542

中图法分类号: TP399 文献标识码: A 文章编号: 1006-8961(2013)11-1457-05

论文引用格式: 刘镇, 郝冬宁, 梅向东. 基于 CUDA 的并行加速渲染算法[J]. 中国图象图形学报, 2013, 18(11): 1457-1461. [DOI: 10.11834/jig.20131109]

## 基于 CUDA 的并行加速渲染算法

刘镇, 郝冬宁, 梅向东

江苏科技大学计算机学院, 镇江 212003

**摘要:** GPU(图形处理单元)可以快速有效地处理海量数据,因此在近些年成为图形图像处理领域的研究热点。针对现有 GPU 渲染中处理含有大量相同或相似模型场景时存在资源利用率低下和带宽消耗过大的问题,在原有 GPU 渲染架构的基础上提出了一种基于 CUDA(统一计算设备架构)的加速渲染方法。根据现有的 GPU 渲染模式构建对应的模型,通过模型找出其不足,从而引申出常量内存的概念;然后分析常量内存的特性以及对渲染产生的作用,从而引入基于常量内存控制的方法来实现渲染的加速,整个渲染过程可以通过渲染算法进行控制。实验结果表明,该方法对解决上述问题具有较好的效果,最终实现加速渲染。

**关键词:** 渲染;GPU;并行计算;CUDA

## Based on the parallel rendering algorithm in CUDA

Liu Zhen, Hao Dongning, Mei Xiangdong

Jiangsu University of Science and Technology, Zhenjiang 212003, China

**Abstract:** GPUS can deal with massive data quickly and efficiently. Therefore, in recent years, it becomes a research hotspot in the field of images processing. The existing GPU rendering algorithms have a low utilization rate of resources and excessive bandwidth consumption in dealing with scene models containing a lot of the same or similar models. Therefore, a method of accelerated rendering based on CUDA is proposed on the basis of the original shader architecture in the GPU. In our method, building the corresponding model according to the existing GPU rendering model, and then finding out its deficiencies through model thus derivate constant memory concepts. Then analyzing the features of the constant memory and its effects on the rendering, thus deriving a method based on constant memory to accelerate rendering. The whole rendering process can be controlled by the rendering algorithm. The experimental results show that this method has a good effect to solve the above problems and accelerate rendering finally

**Key words:** render; graphic processing unit (GPU); parallel computing; compute unified device architecture (CUDA)

## 0 引言

随着画质要求的不断提高,渲染时间的逐渐增长,渲染的处理过程越加复杂。除此之外,计算机需要处理海量的渲染数据,复杂的材质贴图 and 灯光的

多次反射与折射等,这一系列特征均使得原本基于 CPU(中央处理单元)的渲染无法满足需求,与此同时 GPU(图形处理单元)渲染技术的迅速发展使得高质量的实时渲染变为可能,其自然逼真的渲染效果和更快的渲染速度已逐渐成为渲染业的首选。

目前, GPU 渲染技术仍存在不足之处,处理含

收稿日期: 2013-01-15; 修回日期: 2013-05-09

基金项目: 国家科技支撑计划基金项目(2012BAZ03935)

第一作者简介: 刘镇(1961—),男,1995年于西安交通大学获计算机科学硕士学位,主要研究方向网络技术、信息安全和物联网应用系统。E-mail: ecsilz@qq.com

有大量相同或相似模型的场景时,未能充分发挥 GPU 的性能,存在较为严重的带宽浪费和不必要的内存流量消耗,影响渲染速度的进一步提升,为此本文探究在原有 GPU 渲染技术的基础上充分发挥 CUDA(统一计算设备架构)架构中常量内存的特点,有效减少带宽损耗并提升渲染速度。

## 1 基于 GPU 渲染算法的改进

渲染的过程<sup>[1]</sup>主要包括顶点变换、裁剪、投影和光栅化,其中光栅化分为消隐、光照计算、纹理映射和颜色融合 4 个阶段。

GPU 渲染<sup>[2]</sup>是完成 3D 模型到图像的渲染工作,在 GPU 渲染过程中被分为几个可以并行处理的阶段,分别由 GPU 渲染流水线的不同单元进行处理。GPU 输入模型是数据结构定义的对 3D 物体的描述,包括集合、方向、光源所在位置以及物体表面材质等,GPU 输出图像则是从观察点对 3D 场景观测到的 2D 图像。

### 1.1 GPU 渲染

在 GPU 渲染的相应阶段,需要处理的对象分别为顶点、几何图元、片元、像素等。典型的 GPU 渲染过程<sup>[3]</sup>分为如图 1 所示几个阶段。

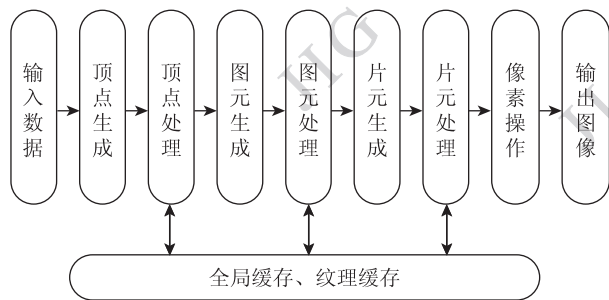


图 1 GPU 渲染流程图

Fig. 1 GPU render flow chart

在进行顶点处理的过程中,GPU 渲染采用了图形学中常用的构建三角形带和 LOD(多细节层次)技术减少 GPU 的固有渲染数据量,此时渲染的数据量可以表示为<sup>[4]</sup>

$$A = \sum_{y=1}^m (k_y N_y)^x k_b^x (n \times I \times k_f)^x \quad (1)$$

式中, $A$  为渲染的数据量; $k_y$  为  $N_y$  缩减的比例; $N_y$  为场景中单个模型的总顶点数; $k_b$  为在并行架构下顶点的冗余度系数(2~3 之间); $n$  为场景光源的个

数; $I$  为平均光强值; $k_f$  为材质种类所固有的反射系数; $x$  为反射次数; $m$  为场景模型的总数。

使用共享内存<sup>[5-8]</sup>进行线程块内部各线程之间的通信,同时使用全局内存进行线程块之间的通信,设  $t_y$  为同一线程块处理面片集合的平均时间, $A_b$  为同一批次处理的渲染数据量, $T$  为处理渲染数据消耗的总时间,则

$$T = \frac{\sum_{y=1}^m t_y (k_y N_y)^x k_b^x (n \times I \times k_f)^x}{A_b} \quad (2)$$

上述传统的 GPU 渲染充分发挥了共享内存的性能,使得处于同一线程块中的线程共享数据访问延迟远低于访问普通缓冲区的延迟。但共享内存的弊端在于其被划分为大小 4 字节的存储模块(SM),此时线程对 SM 的访问以 16 个线程(半个 warp)为单位同时进行,不需要对齐,但要求线程与 SM 一一对应,这种机制下渲染时易出现多个线程对同一个 SM 进行操作并产生冲突,此时访问时间将根据冲突的线程数量成倍增加。

### 1.2 改进的 GPU 渲染

为解决上述问题引入常量内存(CM)的概念<sup>[9-12]</sup>,CM 的作用在于节约内存带宽,对 CM 的任意单次操作可以广播到邻近的 15 个线程,简而言之只需要一次操作即可同时得到 16 个线程的响应,解决了 SM 在这种情况下的访问冲突同时节约 94% 左右的带宽。CM 将自身的数据以缓存的形式保存,对相同地址的连续操作将不会产生额外的内存消耗,同时缓存的数据在反复调用中具有不逊于 SM 的响应速度。存入常量内存后,不同片元只需要计算生成一次即可被频繁调用而不需要重复计算,这样极大地减少了计算量,从而提升了渲染速度。

如图 2 所示,解决了原有的 SM 带来的访问冲突之后,渲染的时间会有明显减少,设  $k'_y$  为因减少访问冲突而带来的性能优化系数,如前文所述,在充分调用常量内存的情况下可以减少 94% 的带宽消耗,可以将线程重复访问相同数据的程度降至最低,但此处的  $k'_y$  所包含的性能优化效果是在包括光照、材质、贴图和减少数据访问量等效果的集合,故而  $k'_y$  的值会随着场景中具体位置处的光照、材质等效果各自所占的权重总和而变化,所做的改进是针对减少数据量方面下手。

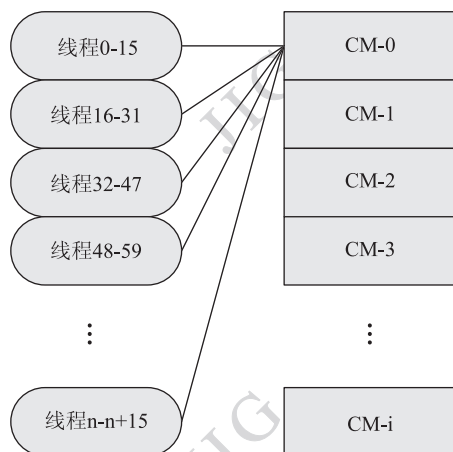


图2 常量内存访存模型

Fig. 2 Constant memory visit deposit model

综上所述,  $k'_y$  值的理论范围为 6% ~ 100%, 则改进后的时间为

$$T = \frac{\sum_{y=1}^m t_y k'_y (k_y N_y)^x k_b^x (n \times I \times k_f)^x}{A_b} \quad (3)$$

式中,  $T$  为经过改进后的渲染时间, 其余参数意义同上。

## 2 算法设计

利用 GPU 并行技术, 即 CUDA 来实现对现有 GPU 渲染的改进。CUDA 是一种由英伟达推出的通用并行计算架构, 通过该架构能够使 GPU 解决复杂的计算问题。

### 2.1 算法思想

本文渲染算法是基于具有基本功能的光线跟踪器<sup>[13-15]</sup>设计, 主要思想和步骤如下:

- 1) 使用 CUDA 技术构建光线跟踪器, 从每个像素发送一道光线并且持续跟踪这些光线命中模型表面的深度等情况;
- 2) 以数据结构的形式构建模型, 数据结构包含模型的中心坐标、半径和颜色值;
- 3) 分配显存将 CPU 上定义的数据传入 GPU 的常量内存中;
- 4) 使用迭代法判断光线与模型表面是否命中并且计算光线命中模型表面处到相机的距离;
- 5) 根据步骤 4) 中所述情况使用线程计算像素值;
- 6) 将计算所得具体位置的像素值保存在输出

图像的缓冲区;

- 7) 将计算结果传回 CPU。

### 2.2 基于 CUDA 的技术分析

CUDA 技术的基本框架分为以下 4 步:

- 1) 分配内存和显存空间;
- 2) 将需要计算的数据传入 GPU 中;
- 3) 利用 GPU 进行具体的计算;
- 4) 将计算得到的结果传回 CPU 中。

结合算法设计思想和改进的 GPU 渲染模型, 在使用 CUDA 技术时要充分考虑以下情况:

- 1) 针对常量内存只读不写的特点<sup>[16]</sup>, 不能用来保存输出图像的数据, 只能用来保存输入数据, 同时要保证分配给 16 个连续线程的数据存储地址要相同, 因此在数据的分配上呈现有序的顺序分割。在渲染数据分配后, 整个线程块保持着异步计算状态, 在处理数据的过程中时刻保持线程块之间的通信, 过程中注意到该通信频率低于 warp 中的通信频率。在同一批数据接近计算完成时, GPU 会通过 `__syncthreads()` 同步等待以防止数据出错, 同步完成后再进行下一批次的数据读入与计算。

- 2) 需要保证面片集合的有序性, 防止渲染场景失真, 此时以具体模型为单位, 逐一批次对其进行并行处理。

- 3) 在 GPU 的并行算法中, 分支结构会严重地影响渲染的性能, 在算法设计时需要尽量减少分支, 若需使用则应采用归约算法弥补分支结构带来的性能下降。

### 2.3 编码设计

结合 2.1 节和 2.2 节所述, 首先利用 CUDA<sup>[3]</sup> 技术在 Visual Studio 2010 开发平台上创建渲染器 (光线跟踪器), 其基本原理是采用逆向计算思维, 将 2 维平面划分为类似棋盘状的小方格, 每一格可以认为是一个光源直射进场景, 最终在 2 维平面上形成模型图像。

接着使用 OpenGL 技术构建测试模型, 采用数据结构方式进行调用:

```
Struct Sphere{
    float r,b,g;
    float radius;
    float x,y,z;
    __device__ float target(float sx, float sy, float *n){
        float dx = sx-x;
        float dy = sy-y;
```

```
if(dx * dx + dy * dy < radius * radius){  
    float dz = sqrtf(radius * radius - dx * dx - dy * dy);  
    *n = dz/sqrtf(radius * radius);}  
Return dz + z;}}
```

其中的 target(float sx, float sy, float \*n)用以计算从平面到光线命中模型表面处的距离,用于保证当多个模型表面重叠时,最接近平面的模型表面能被看见。接着对模型用 constant 内存进行定义,以球面模型为实例,即

```
__constant__ Spheres[ SPHERES];  
循环判断模型表面命中情况,并对命中表面的颜色赋值,使其呈现不同于默认的黑色背景色,便于模型与背景间的相互区分。  
__global__ void kernel(unsigned char *ptr){  
    int x = threadIdx. x + blockIdx. x * blockDim. x;  
    int y = threadIdx. y + blockIdx. y * blockDim. y;  
    int offset = x + y * blockDim. x * gridDim. x;  
    float ox = (x-DIM/2);  
    float oy = (y-DIM/2);  
    float r=0,g=0,b=0;  
    float maxx = -INF;  
    for (int i=0;i<SPHERES;i++){  
        调用 GPU 的核函数进行光线跟踪,最终决定画面的生成效果。
```

3 实验与结果分析

测试环境: CUDA 平台 GPU: Nvidia Geforce GT 320M CPU: Intel (R) Core (TM) i3 M 350 @ 2.27 GHz(4核)内存: 2 GB。

此处以具有相同构造的球面模型场景和具有近似构造的自由曲面模型场景为测试实例,测试数据结果如表 1 和表 2 所示。

表 1 球面模型渲染测试结果

Table 1 Spherical model rendering test results

| 模型个数  | 场景模型<br>总面数/万 | CUDA<br>加速/s | 非<br>CUDA/s | 加速比<br>/倍 |
|-------|---------------|--------------|-------------|-----------|
| 1 000 | 96            | 37           | 71          | 1.92      |
| 500   | 48            | 21           | 38          | 1.81      |
| 250   | 24            | 15           | 27          | 1.8       |
| 100   | 9.6           | 13           | 20          | 1.54      |

表 2 自由曲面模型渲染测试结果

Table 2 Free surface model rendering test results

| 场景模型<br>总面数/万 | CUDA<br>加速/min | 非 CUDA/min | 加速比/倍 |
|---------------|----------------|------------|-------|
| 1 768         | 59             | 97         | 1.64  |
| 848           | 34             | 52         | 1.53  |
| 474           | 19             | 28         | 1.47  |
| 188           | 10             | 13         | 1.3   |

由表 1 可知,在材质种类及灯光因素条件相同的情况下,使用常量内存减少数据的重复频繁调用能够较大地减少渲染时间,并且性能的提高程度随着场景总面数的增加会逐渐加大,实验效果如图 3、图 4 所示。

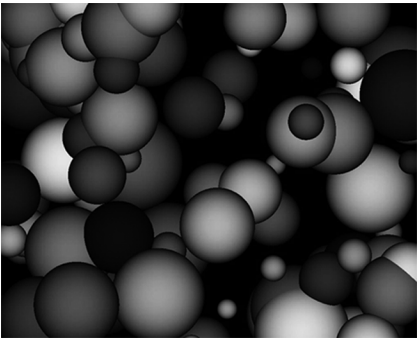


图 3 球面模型  
Fig. 3 Spherical model



图 4 自由曲面模型  
Fig. 4 Free surface model

4 结 论

基于 GPU 并行方法对渲染进行加速处理,采用 CUDA 架构中的常量内存(constant 内存)为切入点,与现有的 GPU 渲染所消耗的时间进行比较,证明在

一些特定条件下,根据场景的特点可以有效地通过节约带宽更好的加速渲染,实验结果表明该方法可以提供较为有效的加速效果。目前本文算法对于具有相同构造或相似模型的场景具有较好的加速效果。下一阶段,通过将不同构造模型分解成相似面片的方法进一步完善算法,使得此类模型场景也能得到较好的加速渲染效果。

## 参考文献(References)

- [1] Li J. 3D game engine of outdoor big scene rendering technology research and implementation [D]. Chengdu: Sichuan Normal University, 2008. [李均. 3D 游戏引擎中的室外大场景渲染技术与实现 [D]. 成都: 四川师范大学, 2008.]
- [2] Zhang Z, Zhu Y L, Zhao K Y, et al. The High Performance Computing of GPU in CUDA [M]. Beijing: China WaterPower Press, 2009: 8-9 [张舒, 褚艳丽, 赵开勇, 等. GPU 高性能计算之 CUDA [M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2009: 8-9.]
- [3] Jason S E K. GPU High-Performance Programming in CUDA [M]. Beijing: China Machine Press, 2011: 76-78 [Jason S E K 著, 聂雪军 译. GPU 高性能编程 CUDA 实战 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2011: 76-78]
- [4] Li B Y, Zhao C X. A GPU based run-time quad-tree construction method for fast terrain rendering [J]. Journal of Computer-Aided Design & Computer Graphics, 2010, 22(12): 2259-2264 [李白云, 赵春霞. GPU 实时构建四叉树的快速地形渲染算法 [J]. 计算机辅助设计与图形学报, 2010, 22(12): 2259-2264.]
- [5] Tang M, Dong J X. Non-invasive stylized rendering on GPU [J]. Journal of Computer-Aided Design & Computer Graphics, 2005, 17(12): 2613-2618. [唐敏, 董金祥. GPU 上的非侵入式风格化渲染 [J]. 计算机辅助设计与图形学报, 2005, 17(12): 2613-2618.]
- [6] Zhang Y Y, Jiang H Z, Han J W et al. Smooth Terrian rendering algorithm based on GPU [J]. Journal of University of Electronic Science and Technology of China, 2009, 38(6): 1006-1010. [张燕燕, 姜洪洲, 韩俊伟, 等. 基于 GPU 的平滑地形可视化算法 [J]. 电子科技大学学报, 2009, 38(6): 1006-1010. ] [DOI: 10.3969/j. issn. 1001-0548. 2009. 06. 024]
- [7] Wang D, Zhang Y N, Li H F, et al. Real-time visualization of dynamic terrain based on GPU [J]. Computer Engineering and Application, 2010, 46(14): 173-175. [王冬, 张豫南, 李瀚飞, 等. 基于 GPU 的动态地形实时可视化 [J]. 计算机工程与应用, 2010, 46(14): 173-175.]
- [8] Cao W, Duan G Y. Seamless terrain rendering method based on binary tree and GPU [J]. Journal of Computer Applications, 2012, 32(9): 2548-2552. [曹巍, 段光耀. 基于二叉树和 GPU 的无缝地形场景渲染方法 [J]. 计算机应用, 2012, 32(9): 2548-2552. ] [DOI: 10.3724/SP. J. 1087. 2012. 02548]
- [9] Wang X, Yang X, Wang Z M. Adaptive refinement for terrain rendering on GPU [J]. Journal of Computer-Aided Design & Computer Graphics, 2010, 22(10): 1741-1749, 1755. [王旭, 杨新, 王志铭. 在 GPU 上实现地形渲染的自适应算法 [J]. 计算机辅助设计与图形学报, 2010, 22(10): 1741-1749, 1755.]
- [10] Li B Y, Zhao C X. A GPU based run-time quad-tree construction method for fast terrain rendering [J]. Journal of Computer-Aided Design & Computer Graphics, 2010, 22(12): 2259-2264. [李白云, 赵春霞. GPU 实时构建四叉树的快速地形渲染算法 [J]. 计算机辅助设计与图形学报, 2010, 22(12): 2259-2264.]
- [11] Wang M Y, Wang B, Yong J H. Real-time watercolor illustrations and animation on GPU [J]. Journal of Graphics. 2012, 33(3): 73-80. [王妙一, 王斌, 雍俊海. GPU 上的水彩画风格实时渲染及动画绘制 [J]. 图学学报, 2012, 33(3): 73-80.]
- [12] Zhang B Q, Zhang L M, Ai Z L. Adaptive GPU terrain rendering based on synthetical LOD factor [J]. Computer Engineering, 2012, 38(12): 201-204. [张兵强, 张立民, 艾祖亮. 基于综合 LOD 因子的自适应 GPU 地形渲染 [J]. 计算机工程, 2012, 38(12): 201-204. ] [DOI: 10.3969/j. issn. 1000-3428. 2012. 12. 060]
- [13] Wang Z M, Wang X, Yang X, et al. Surface rendering technology based on GPU projected grid [J]. Computer Simulation, 2010, 27(11): 246-250. [王志铭, 王旭, 杨新, 等. 基于 GPU 投影网格的曲面渲染技术 [J]. 计算机仿真, 2010, 27(11): 246-250.]
- [14] Liu X C, Yang X. Ray casting based terrain rendering algorithm fully implemented with GPU [J]. Computer Simulation, 2010, 27(2): 226-230. [刘小聪, 杨新. 基于光线投射的全 GPU 实现的地形渲染算法 [J]. 计算机仿真, 2010, 27(2): 226-230.]
- [15] Wen Z Z, Liu Z F, Liang W. Real-time rendering of ocean special effects based on GPU [J]. Computer Engineering and Design, 2010, 31(20): 4426-4429. [文治中, 刘直芳, 梁威. 基于 GPU 的海浪特效实时渲染 [J]. 计算机工程与设计, 2010, 31(20): 4426-4429.]
- [16] Chen L. An envelope rendering methods on the GPU [J]. Science & Technology Information, 2010, (30): 17. [陈乐. 一种包络面的 GPU 渲染方法 [J]. 科技资讯, 2010, (30): 17.]