

Journal of Image
and Graphics

中国图象图形学报



ISSN1006-8961
CN11-3758/TB

2012 3
Vol.17 No.

中国科学院遥感应用研究所
中国图象图形学学会主办
北京应用物理与计算数学研究所

中国图象图形学报

Zhongguo Tuxiang Tuxing Xuebao

2012年3月 第17卷 第3期(总第191期)

目次

图像处理和编码

- 摄影测量共线方程的单位四元数描述 杨化超,卢晓攀,王永波,姚国标(301)
- 分形压缩感知高维信号重构方法 刘佶鑫,孙权森(309)
- 自适应子矢量划分的快速码字搜索算法 吴鑫鹏,潘志斌,李达(315)
- 基于人类视觉模型的各向异性扩散滤波方法 宋建军,侯志强,余旺盛(321)
- 整数提升小波多相矩阵分解系数的快速提取算法 王锋,赵志文,牟盛(329)
- 自适应样本块大小的图像修复方法 孟春芝,何凯,焦青兰(337)

图像分析和识别

- 改进FCM在交互式图像分割中的应用 依玉峰,高立群,郭丽(342)
- 输电导线图像目标识别方法 孙凤杰,杨镇浓,李媛媛,范杰清(349)
- 无表观特征小目标检测与跟踪 陶霖密,李亮,邸慧军(357)
- 应用改进频率调谐的海上小目标检测方法 任蕾,施朝健,冉鑫(365)
- 视觉注意原理局部特征的行人检测 刘俊涛,刘文予,吴彩华,李雄伟,冯镛(370)
- 尺度不变单样本人脸识别方法 王炜强,张晓阳,曹春芹,付奎生(380)
- 复杂交通场景中采用稀疏表示的车辆识别方法 李修志,吴健,崔志明,陈建明(387)
- 利用复合导数的边缘检测新算法 程金梅,叶永强,姜斌(393)

图像理解和计算机视觉

迭代分割逼近:新的基于局部响应显著度的角点检测 马丽红,谭幸均(402)

融合 SIFT 特征的熵图估计医学图像非刚性配准 张少敏,支力佳,赵大哲,林树宽,赵宏(412)

计算机图形学

面向非均匀采样点集的 3 维表面重建算法 刘晓平,段瑞青,余烨(419)

基于可编程图形管线的大规模流程工厂模型多分辨率绘制方法 周剑,唐卫清,朱耀琴,夏明,黄晓剑(426)

带有位置修正的环境映射 王晨昊,汤晓安,孙即祥,马伯宁(435)

遥感图像处理

海岸线遥感信息提取的元胞自动机方法及其应用 冯永玖,韩震(441)

中国图象图形学报

刊名题字: 宋 健

月刊(1996 年创刊)

第 17 卷 第 3 期

2012 年 3 月 16 日出版

主管单位 中国科学院

主 办 中国科学院遥感应用研究所

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

北京 9718 信箱 邮编 100101

电子信箱:jig@irsa. ac. cn

电话:010-68407995 010-82614429

网 址:www. cjig. cn

印刷装订 北京北林印刷厂

广告经营许可证 京朝工商广字第 0346 号

总 发 行 北京报刊发行局

订 购 全国各地邮局

国外发行 中国国际图书贸易总公司

(中国国际书店)

(北京 399 信箱 邮编 100044)

Superintended by Chinese Academy of Sciences

Sponsored by Institute of Remote Sensing Application,
CAS China Society of Image and Graphics
Institute of Applied Physics and Computational
Mathematics

Chief editor LI Xiaowen

Editor, Publisher Editorial and Publishing Board
of Journal of Image and Graphics
(P. O. Box 9718, Beijing 100101, China)
E-mail:jig@irsa. ac. cn

Distributed by Beijing Bureau for Distribution of Newspapers
and Journals

Domestic All Local Post Offices in China

Foreign China International Book Trading Corporation
(P. O. Box 399, Beijing 100044, China)

Printed by Beijing Beilin Printing House

Journal of Image and Graphics

(Monthly, Started in 1996)

Vol. 17 No. 3 March 2012

Contents

Image Processing and Coding

- Unit quaternion based description of collinearity equations Yang Huachao, Lu Xiaopan, Wang Yongbo, Yao Guobiao(301)
- Fractal compressive sensing for high-dimension signal recovery Liu Jixin, Sun Quansen(309)
- Fast codeword search algorithm based on adaptive subvector partitions Wu Xinpeng, Pan Zhibin, Li Da(315)
- Anisotropic diffusion image smoothing method based on human visual model Song Jianjun, Hou Zhiqiang, Yu Wangsheng(321)
- Fast extraction algorithm of the polyphase matrix decomposition coefficient based integer lifting wavelet
..... Wang Feng, Zhao Zhiwen, Mou Sheng(329)
- Image completion method with adaptive patch size Meng Chunzhi, He Kai, Jiao Qinglan(337)

Image Analysis and Recognition

- Application of improved FCM for interactive image segmentation Yi Yufeng, Gao Liqun, Guo Li(342)
- Methods of transmission line target recognition Sun Fengjie, Yang Zhenhuan, Li Yuanyuan, Fan Jieqing(349)
- Featureless small object detection and tracking Tao Linmi, Li Liang, Di Huijun(357)
- Small target detection method under sea surface environment using revised frequency tuned saliency detection
..... Ren Lei, Shi Chaojian, Ran Xin(365)
- Pedestrian detection method using local feature based on vision attention
..... Liu Juntao, Liu Wenyu, Wu Caihua, Li Xiongwei, Feng Bin(370)
- Scale invariant face recognition from single sample Wang Weiqiang, Zhang Xiaoyang, Cao Chunqin, Fu Kuisheng(380)
- Sparse representation method of vehicle recognition in complex traffic scenes
..... Li Xiuzhi, Wu Jian, Cui Zhiming, Chen Jianming(387)
- Novel edge detection algorithm using a composite derivative Cheng Jinmei, Ye Yongqiang, Jiang Bin(393)

Image Understanding and Computer Vision

- Iterative segment approaching: new corner detection based on local response saliency Ma Lihong, Tan Xingjun(402)
- Entropic graph estimation integrated with SIFT features for medical image non-rigid registration
..... Zhang Shaomin, Zhi Lijia, Zhao Dazhe, Lin Shukuan, Zhao Hong(412)

Computer Graphics

- Three-dimensional surface reconstruction algorithm for non-uniform sampling points Liu Xiaoping, Duan Ruiqing, Yu Ye(419)
- Multi-resolution rendering approach of large-scale process plant models based on programmable graphics pipeline
..... Zhou Jian, Tang Weiqing, Zhu Yaoqin, Xia Ming, Huang Xiaojian(426)
- Environment mapping with position rectification Wang Chenhao, Tang Xiao'an, Sun Jixiang, Ma Boning(435)

Remote Sensing Image Processing

- Cellular automata approach to extract shoreline from remote sensing imageries and its application
..... Feng Yongjiu, Han Zhen(441)

中图分类号: TP391.7 文献标志码: A 文章编号: 1006-8961(2012)03-0426-09

论文引用格式: 周剑, 唐卫清, 朱耀琴, 夏明, 黄晓剑. 基于可编程图形管线的大规模流程工厂模型多分辨率绘制方法[J]. 中国图象图形学报, 2012, 17(3): 426-434

基于可编程图形管线的大规模流程工厂 模型多分辨率绘制方法

周剑¹, 唐卫清^{1,2,3}, 朱耀琴¹, 夏明², 黄晓剑³

1. 南京理工大学计算机科学与技术学院, 南京 210094;

2. 中国科学院计算技术研究所, 北京 100190;

3. 北京中科辅龙计算机技术股份有限公司, 北京 100085

摘要: 针对流程工厂设计中3维校审的实际需求, 提出了基于可编程图形管线的大规模流程工厂模型多分辨率绘制方法。在分析了流程工厂模型特征的基础上, 通过基本体元多分辨率模板构建对象的多分辨率模型, 并在构建过程中保证低分辨率模型顶点集是高分辨模型顶点集的子集。因此, 每个对象只需保存其最高分辨率下的顶点信息及各分辨率下的顶点索引。在此基础上, 通过对显存中顶点缓冲、索引缓冲的有效管理, 不仅实现了在渲染过程中利用顶点索引的变换完成不同分辨率的切换, 还减少了内存与显存的数据交互。实验结果表明, 该方法在普通PC机上对具有21M左右面片的流程工厂模型, 能够在保证绘制质量的前提下取得31帧/s的平均帧速, 且预处理时间在10s以内并无需额外硬盘空间。

关键词: 多分辨率模型; 大规模复杂场景; 流程工厂; 可编程图形管线; 3维校审

Multi-resolution rendering approach of large-scale process plant models based on programmable graphics pipeline

Zhou Jian¹, Tang Weiqing^{1,2,3}, Zhu Yaoqin¹, Xia Ming², Huang Xiaojian³

1. School of Computer Science and Technology, Nanjing University of Science and Technology, Nanjing 210094, China;

2. Institute of Computing Technology, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100190, China;

3. Beijing Zhongke Fulong Computers Technology Co., LTD, Beijing 100085, China

Abstract: To satisfy the demands for 3-D reviewing in plant design, a multi-resolution rendering approach for large-scale process plant models based on programmable graphics pipelines is proposed. Based on the analysis of the characteristics of a process plant model, a multi-resolution model of the object is constructed according to the multi-resolution templates of the basic voxels. In the generation process of the multi-resolution, model the proposed approach can ensure that the vertex set of the low-resolution model is the subset of the vertex set of the high-resolution model. Therefore, only the vertex information of the highest resolution model and some of the vertex indexes need to be saved for every object. On this basis, with the effective management of the vertex buffer and the index buffer, a multi-resolution model transform can be implemented according to the vertex index transform in the rendering process. In addition, the data exchange between main memory and display memory can be reduced. Examples show that the approach presented in this paper can be implemented on a general PC and satisfy actual work demands from the designer. It can preprocess a 21 M triangles model

收稿日期: 2011-04-26; 修回日期: 2011-08-30

基金项目: 电子信息产业发展基金项目

第一作者简介: 周剑(1984—), 男, 南京理工大学计算机应用专业在读博士研究生, 主要研究方向为协同设计、计算机图形学、综合集成法及其应用。E-mail: lucifini919@126.com

within 10 and achieve 31 frame/s smooth frame rates on average, without using extra hard-disk space.

Key words: multi-resolution model; large-scale and complex scene; process plant; programmable graphics pipeline; 3D review

0 引言

流程工厂是指用来制造化学或物理制成品的反应容器、管线及其支撑的集合,存在于石油、化工、电力等诸多对国民经济具有重要影响的行业。校审是流程工厂设计质量控制体系中的一个重要环节,校审人员经常需要通过交互式漫游对整个3维模型进行设计审查,以便及时发现和报告模型中存在的设计错误,并提交给相关专业的设计人员进行修改。目前,国外著名的工厂设计CAD软件,如PDS、PDMS等虽然都提供了漫游功能,但只对规模较小的模型才有较好的效果,而且这些工厂设计CAD系统一般在工作站上运行^[1]。一方面,我国大部分的设计院所由于经济实力原因,在工作中大都使用的是普通PC机,与工作站相比性能有限。另一方面,随着协同设计技术被越来越多地应用于一些大规模流程工厂模型的设计之中,流程工厂模型的规模和复杂度快速增加,具有几百万甚至上千万面片的模型已较常见^[2]。总之,流程工厂模型数据的增长速度已经超过了硬件性能的增长速度。因此,研究大规模流程工厂3维模型的快速绘制技术,使校审人员能够在普通PC机上对流程工厂3维模型实时漫游,对于提高校审人员的工作效率、保障设计任务按时完成具有重要意义和 market 价值^[1]。

对于大规模复杂场景的快速绘制而言,为了提高人机交互的实时性,要在保证场景真实感的前提下尽可能地减少需要绘制的面片数量,层次细节法^[2-3]是一种行之有效的办法。通常,层次细节法分为静态层次细节法和动态层次细节法。虽然动态层次细节法可以生成较高质量的图像,但由于增加了绘制过程的计算开销,所以实际的大规模复杂场景实时绘制系统往往倾向于使用静态层次细节法预先构建模型的LOD^[4]。

一方面,大规模复杂场景LOD的构建需要很长的预处理时间,为此文献^[5]采用PC集群并行构建LOD,文献^[6]采用GPU加速构建LOD,然而大规模复杂场景的预处理时间仍以分钟甚至小时计算。为了提高流程工厂模型的校审效率,必须在普通PC

机环境有效缩短预处理时间。另一方面,多个LOD必然会造成数据量庞大所带来的内存负担。因此,国内外专家开始研究基于外存的多分辨率绘制方法,如文献^[7-9],通过有效的内外存调度解决了LOD数据量超过内存容量的问题。然而,对于流程工厂校审来说,基于外存的多分辨率绘制方法存在以下问题:1)多个LOD占用大量硬盘空间,如文献^[1]便将基于外存的多分辨率绘制方法应用于流程工厂模型,对于一个具有2千万左右面片的模型,需要900M以上的硬盘空间;2)当改变某个对象的渲染属性(比如改变颜色或纹理),不易及时反应到所有分辨率模型,从而影响校审效果。

近年来,GPU固定功能的图形处理流水线已被可编程的图形处理流水线取代,对显存中的顶点缓冲、索引缓冲也提供了灵活的控制接口^[10],为解决大规模复杂场景快速绘制问题提供了新的契机。为了满足流程工厂3维校审实际需求,在普通PC机上对大规模流程工厂模型进行快速绘制,本文提出了基于可编程图形管线的大规模流程工厂模型多分辨率绘制方法。在分析了流程工厂特征的基础上,先基于剖分数构建基本体元的多分辨率模板,再通过模板构建对象的多分辨率模型,在构建过程中保证所有对象的低分辨率模型顶点集是高分辨率模型顶点集的子集,因此内存中只需保存对象最高分辨率模型的顶点集以及各分辨率模型顶点索引。在此基础上,通过对显存中顶点缓冲、索引缓冲的有效管理,实现了在渲染过程中利用顶点索引的变换,从而在图形管线的装配阶段动态生成对象当前分辨率的面片。运用本文方法,首先极大缩短了预处理时间且无需额外的硬盘空间;其次在渲染过程中不同分辨率切换时既不需重新计算顶点坐标、顶点法向、纹理坐标,又减少了内存与显存的数据交互,从而提高了绘制速率;最后该方法能将渲染属性的变化及时反应到所有分辨率模型。实验证明了本文方法的有效性。

1 流程工厂模型的特征

图1为使用PDSOFT®软件设计的某乙烯工厂

模型示意图。对象为在流程工厂设计中,对于工程而言有意义的最小单位,如一段管子,一个设备,一个元件等。流程工厂中对象主要由圆柱体、球、长方体等基本体元根据一定的拓扑关系和工程约束组合而成^[11]。定义 G 为流程工厂中的基本体元集, $G = \{ \text{Cylinder(圆柱)}, \text{Scylinder(斜截圆柱)}, \text{Prism(多棱柱)}, \text{Econe(偏心圆台)}, \text{Concone(同心圆台)}, \text{Sqcir(天圆地方)}, \text{Squcone(矩形断面台)}, \text{Box(长方体)}, \text{Torus(圆形断面圆环)}, \text{Sqtorus(矩形断面圆环)}, \text{Sphere(球)}, \text{Wedge(直角楔形体)}, \text{Saddle}$

(马鞍形), Oval(椭球封头) \}, 如图 2 所示。



图 1 某乙烯工厂模型

Fig. 1 The instances of process plant model

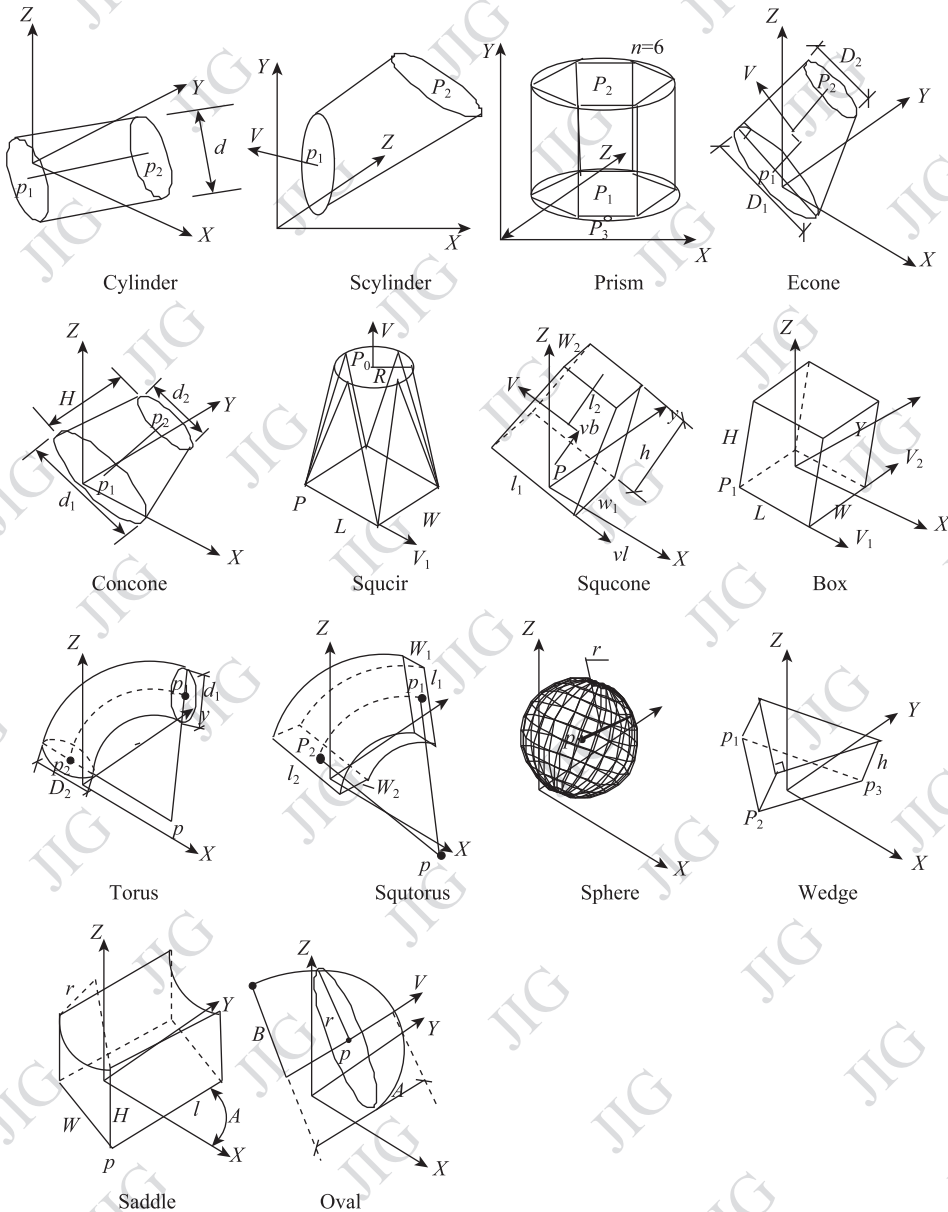


图 2 基本体元示意图

Fig. 2 The basic voxels used in process plant models

PDSOFT® 流程工厂模型采用参数化的图形描述语言,所有基本体元均采用参数形式描述^[12-13]。以 Sphere 为例,该体元图形描述为 Sphere:〈Center (圆心)〉,〈Radius(半径)〉。然而在图形显示系统中一般采用三角面片表示图形,因此需要根据基本体元的参数,生成其三角面片。把基本体元分为两类,一类为不包含曲面的体元,该类体元可以用三角面片精确表达, $G_E = \{Prism, Squcone, Box,$

Wedge}; 另一类为包含曲面的体元,该类体元只能用三角面片逼近, $G_F = \{Cylinder, Scylinder, Econe, Concone, Sqcirq, Torus, Sqtorus, Sphere, Saddle, Oval\}$ 。

以图 1 模型为例,对体元个数及三角面片数进行统计,结果如表 1 所示。从表 1 中可以看出, G_F 体元在体元个数与面片数上都远远超过 G_E 体元。在实际工程中,该结果具有普遍性。

表 1 各类体元个数与面片数

Table 1 The numbers of different voxels and the number of their triangles

分类	体元名称	体元数	面片数	类别体元数	类别面片数
G_E	Box	9 269	111 228	10 950	126 412
	Prism	134	2 808		
	Wedge	1 547	12 376		
	Squcone	0	0		
G_F	Cylinder	30 354	3 763 896	64 380	21 794 095
	Scylinder	12 638	1 567 112		
	Econe	3 624	449 376		
	Concone	6 030	747 720		
	Sqcirq	0	0		
	Torus	7 881	9 047 388		
	Sqtorus	528	73 920		
	Sphere	2 904	5 755 728		
	Saddle	32	3 456		
	Oval	389	385 499		

2 基于对象的场景组织

由于对象为具有工程意义的最小单位,而校审时是以对象为单位,因此本文同样以对象为单位组织场景。基于八叉树结构的场景树如图 3 所示。图 3 中场景节点记录一个 AABB 包围盒,其值是其子节点包围盒的并集。将底层的场景节点称为 LOD 场景节点,可以看作是空间相邻对象的一个聚集,其中所有对象保持同一分辨率。对象节点记录其 AABB 包围盒,并记录该对象所对应的工程属性数据存储地址以及该对象所包含的体元。

场景树的八叉树结构利于进行视域剔除与遮挡剔除,加快渲染速度。一方面,流程工厂模型中运动对象的数目不多,其运动路径呈现出一定的规律

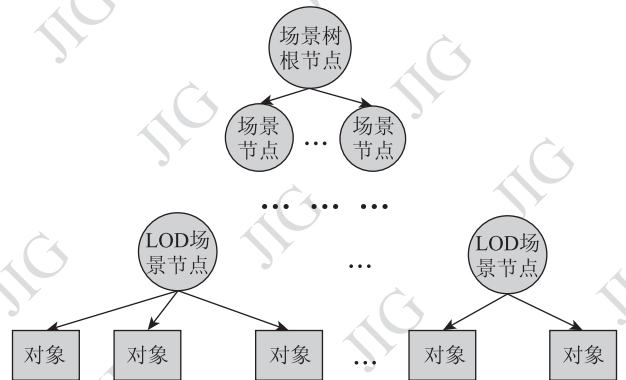


图 3 基于对象的场景树

Fig. 3 The scene tree composed of objects

性^[1],这为场景树结构保持稳定提供了前提条件。另一方面,如果为了简化模型,合并多个对象(如文

献[1,14]),虽然能有效减少面片数,却造成了对象的指代不清,不利于校审中对象的查找以及与工程属性的对应。因此本文在整个校审漫游过程中,保持场景树结构不变,变化的只是对象的渲染属性(纹理、颜色等)以及该对象所对应的面片信息。

3 对象多分辨率模型构建

为了减少多分辨率模型的存储空间,使其能一次性调入内存。本文在构建对象多分辨率模型时,保证低分辨率模型顶点集是高分辨率模型顶点集的子集。对象节点中只需保存最高分辨率模型的顶点集,而通过不同的顶点索引组织不同细节的面片。

由第1节可知,对象是由基本体元组成。因此为了减少预处理时间,我们先构建基本体元的多分辨率模型,形成基本体元多分辨率模板库。当流程工厂模型读入时,模型中各体元根据其参数一方面生成顶点坐标、顶点法向、纹理坐标,另一方面从模板库中搜索其对应的不同分辨率的顶点索引。

3.1 基于剖分数的基本体元多分辨率模型构建

从图2及表1可以看出, G_E 体元形状简单,体元个数及面片数都相对较少,因此本文不对 G_E 体元做简化,即 G_E 体元分辨率不变。 G_F 体元在流程工厂模型中个数及面片数最多,因而本文重点关注 G_F 体元的简化。

从图2中可以看出, G_F 体元表面一般是简单的二次曲面,具有简单、对称、曲率一致等特点。为了对其进行三角化,将其均匀剖分。下面以圆柱、圆环为例,介绍对 G_F 体元的剖分。

圆柱:将圆柱的上底圆和下底圆按相同方式 N 等分,则圆柱侧面为一个 $2 \times N$ 的矩形网格,上底与下底均为 N 边形,共 $4 \times N$ 个顶点。

圆环:首先对圆环所在的圆 N_1 等分,然后再对圆环截面 N_2 等分,形成一个 $N_1 \times N_2$ 的封闭网格,两个端面均为 N_2 边形。

为了保持体元各分辨率模型的几何、法向、纹理特征,我们通过控制体元剖分数 N 构建体元多分辨率模型。具体步骤如下:

1)根据体元的大小,确定最大剖分数 N_{\max} 及最小剖分数 N_{\min} ,为了使剖分规则、均匀,定义

$$\begin{cases} N_{\max} = 2^{n_{\max}} \\ N_{\min} = 2^{n_{\min}} \end{cases}, \text{其中 } n_{\max} \geq n_{\min} \geq 2 \text{ 且为整数。}$$

2)该体元第 i 级模型剖分数 $N_i = 2^{n_i}$,其中 $n_i = n_{\min} + i \frac{n_{\max} - n_{\min}}{L - 1}$ 且 n_i 为整数, L 为多分辨率模型个数。不同级别剖分的起始点一致。

体元的剖分数越大,其包含三角面片数越多,分辨率越高;体元剖分数越小,其包含的三角面片数越少,分辨率越低。以流程工厂模型中数量最多的体元——圆柱为例,其大小根据圆柱的直径/米(D)判定。当 $D \in [0, 1]$,取 $\begin{cases} P_{\max} = 2^5 = 32 \\ P_{\min} = 2^2 = 4 \end{cases}$ 。 $L=4$ 时,该圆柱各分辨率模型对圆面的剖分及圆柱图形如图4。

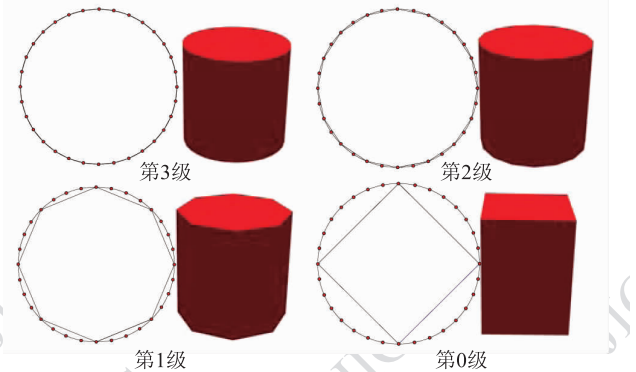


图4 圆柱不同分辨率模型对圆面的剖分及图形
Fig.4 The multi-resolution model of cylinder and the subdivision of its round face

从图4中可以看出,随着层次的降低,圆柱的剖分数减小,包含的三角面片数急剧下降,圆柱图形的分辨率逐渐减低。 G_F 中其他体元不同分辨率模型的构建过程与圆柱相似。

由于 G_E 体元具有对称性且高分辨率模型剖分数是低分辨率模型剖分数的 2^x 倍,所以该类体元低分辨率模型顶点集是低分辨率模型顶点集的子集 ($V_{L,G_F} \subseteq V_{H,G_F}$)。以体元最高分辨率模型的顶点集为基准,以体元大小为键,将不同分辨率模型的顶点索引数组保存至模板库。

3.2 基于基本体元的对象多分辨率模型构建

在3.1节的基础上,场景树中某对象的多分辨率模型构建方法如下:

1)在对象节点中建立该对象的顶点数组、法向数组、纹理数组,及多个索引数组 $Index_l, l \in \{0, 1, \dots, L-1\}$; 设 $N_{\text{start}} = 0$,用于记录各体元顶点的起始位置;对该对象所包含的每个体元,循环执行步

骤2)3);

2)根据体元名称及参数生成体元的各顶点几何坐标、法向坐标、纹理坐标,有序地加入到顶点数组、法向数组、纹理数组中,设生成的顶点数目为 N_{Vertex} ;

3)根据体元名称及参数从模板库中搜索其对应的各分辨率模型的顶点索引 $index_i$;对于每个 $index_i$,设 $\forall i \in index_i, i = i + N_{\text{Start}}$,形成 $index_i'$;将 $index_i'$ 加入 $Index_i$ 中; $N_{\text{Start}} = N_{\text{Start}} + N_{\text{Vertex}}$ 。

设对象高分辨率模型顶点集为 V_H ,低分辨率模型顶点集为 V_L ,由于对象由体元组成,且 G_E 体元在不同分辨率下顶点不变 ($V_{L,G_E} = V_{H,G_E}$),又 $V_{L,G_F} \subseteq V_{H,G_F}$,所以 $V_L \subseteq V_H$ 。

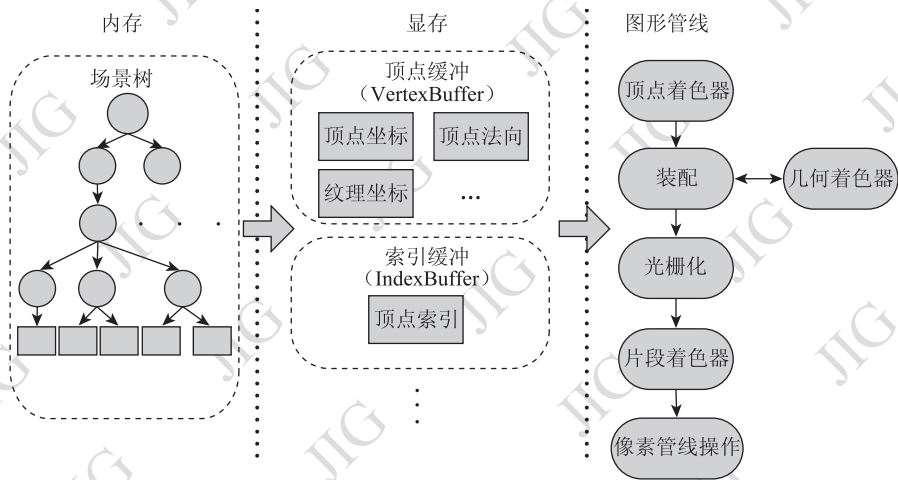


图5 本文场景树、顶点缓冲、索引缓冲及图形管线关系图

Fig. 5 Relationships among scene tree, vertex buffer, index buffer and graphics pipeline

具体步骤如下:

1)在预处理阶段构建场景树,生成各对象的顶点信息(顶点坐标、顶点法向、纹理坐标)及各分辨率的顶点索引,存于对象节点内,设所有对象顶点信息大小总和为 M 。

2)设 $S_{\text{VertexBuffer}}$ 为显存中顶点缓冲大小;若 $M < S_0 < S_{\text{VertexBuffer}}$ (由于顶点缓冲中不只包含顶点坐标、顶点法向、纹理坐标,因此为了防止溢出,设定了 S_0 阈值),在渲染开始前将所有对象的顶点信息由内存送入顶点缓冲并一直驻留其中;否则,在渲染过程中结合可见性判定及预取策略,将可见及可能可见对象的顶点信息由内存送入顶点缓冲,并设置一个计数器;若对象在当前帧中不可见,则计数器加一;若可见,则计数器清零;当顶点缓冲的可用大小不足时,移除计数器值最大对象的顶点

4 基于可编程图形管线的多分辨率模型快速绘制

将对象的顶点坐标、顶点法向、纹理坐标称为对象的顶点信息。根据第3节,场景树中每个对象节点保存了其最高分辨率模型的顶点信息以及各分辨率模型的顶点索引信息。本节提出了基于可编程图形管线的多分辨率模型快速绘制方法,通过对显存中顶点缓冲、索引缓冲的管理,实现了在绘制过程中通过顶点索引的变换,从而完成不同分辨率的切换,场景树、顶点缓冲、索引缓冲及图形管线的关系如图5所示。

信息。

3)在渲染过程中,根据视点到 LOD 场景节点包围盒中心的距离与包围盒体积的比值,判定该 LOD 场景节点下各对象应该使用的分辨率模型,设当前应该使用第 l 级分辨率模型;若当前分辨率不为 l ,则执行下步。

4)删除该对象在显存中的顶点索引及面片信息,并将对象节点中保存的 $Index_i$ 直接送至显存中的索引缓冲;在图形管线的装配阶段根据顶点缓冲中的顶点信息以及索引缓冲中新的顶点索引,组织当前分辨率的面片。

该方法有效减少了内存与显存的数据交互,更避免了与外存的数据交互。顶点缓冲足够大时所有对象的顶点信息在渲染开始前送入顶点缓冲并一直驻留其中。整个渲染过程中,虽然对象的分辨率动

态改变,但各对象的顶点、法向、纹理无需重新计算。因此,该方法提高了渲染效率。

5 实验及结果分析

以图 1 中流程工厂模型为例,对本文基于可编程图形管线的大规模流程工厂模型多分辨率绘制方法进行实验。实验平台为 Intel 双核 2.2 GHz CPU、GeForce9400(512 M)显卡、2 G 内存,操作系统为 Windows XP,开发环境为 VC.net 2005 和 OpenGL。每个对象有 4 个 LOD,对象由高到低分辨率模型的平均使用距离为[0 m,50 m],[50 m,75 m],[75 m,100 m],[100 m,+∞)。

5.1 绘制性能

为了进行比较,在相同的漫游路径下,采用不同方法对图 1 模型进行绘制,得到的绘制帧速与三角面片数如图 6 所示,实验结果分析如表 2 所示。

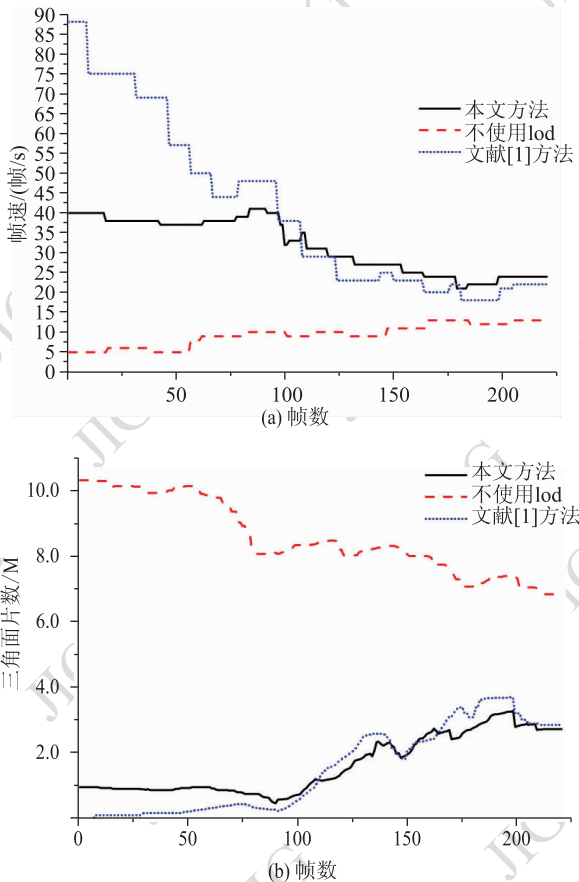


图 6 不同方法的绘制帧速与三角面片数

Fig. 6 The comparisons of the triangle numbers, frame rates using different methods

表 2 实验结果分析

Table 2 The result of comparisons

方法	平均绘制面片数/10 ⁷	平均绘制帧速/(帧/s)	预处理时间/s	额外硬盘空间/M
不使用 Lod	7 933 920.3	9.3	5	0
文献[1]	1 508 823.1	40.3	336	932
本文	1 643 694.6	31.7	7	0

从表 2 中可以看出,本文方法虽然在绘制性能上略逊于文献[1],但能够满足校审漫游的实时性要求。重要的是,本文方法预处理时间在 10s 以内,并且不需要额外硬盘空间,而文献[1]需要 5min 以上的预处理时间,900M 以上的硬盘空间。

5.2 绘制效果

以包含多个对象、多种体元的一段管线为例,其最高分辨率与最低分辨率模型比较如图 7(a)与图 7(b)所示,可以看出虽然模型简化导致对象外观变形,但图形特征及拓扑关系依然清晰。由于低分辨率模型是在远视点时使用(如图 7(c)所示),此时该部分模型已经不是校审人员关注的重点,所以简化引起的视觉误差可以接受。

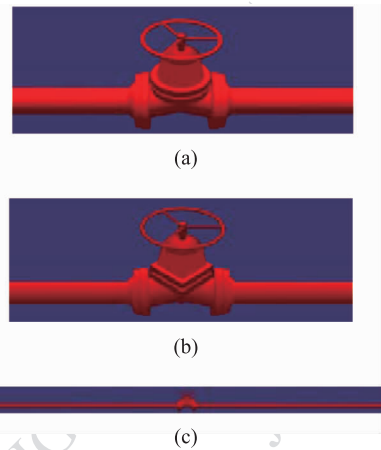


图 7 某管线的多分辨率显示

Fig. 7 The multi-resolution model of one particular pipe

图 8 所示为采用本文方法远距离观察模型,此时三角面片数为 2 901 302(原模型如图 1 所示,面片数为 21 920 507)。在校审漫游过程中,校审人员为了加强真实感对图 8 中某设备附加“电镀”纹理(如图 8 中红圈所示)。当近距离观察该设备时(由低分辨率模型变为高分辨率模型),如图 9 所示。本文方法能在保证校审所需图像质量的前提下,有效降低绘制的面片数量,还能将对象渲染属性的变化及时反应到所有分辨率模型中。

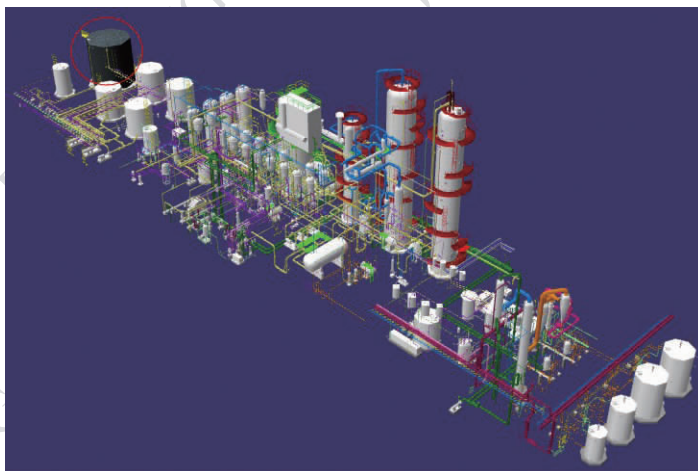


图8 远距离观察模型并对某设备加纹理

Fig. 8 The model is viewed in far distance and a texture is applied to one particular equipment

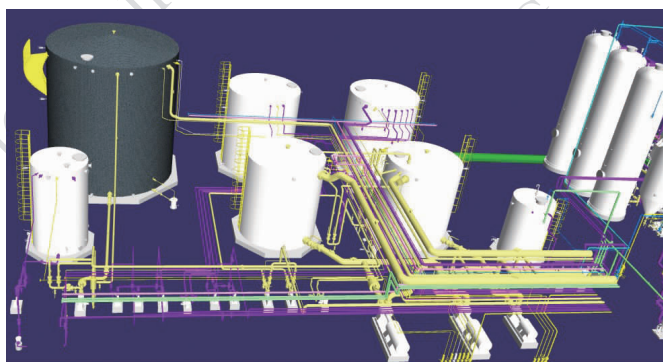


图9 近距离观察加纹理后的设备

Fig. 9 The textured equipment is viewed in near distance

6 结论

本文以流程工厂设计中的3维校审为应用背景,针对校审的实际需求,提出了基于可编程图形管线的大规模流程工厂模型多分辨率绘制方法。该方法根据流程工厂模型的特征,先基于剖分数构建基本体元多分辨率模型,形成模板库。当读入流程工厂模型时,通过基本体元模板构建各对象多分辨率模型,因而大大缩短了预处理时间。在所有对象多分辨率模型构建过程中均保证了低分辨率模型顶点集是高分辨率模型顶点集的子集。这样每个对象节点只需保存最高分辨率模型的顶点信息以及各分辨率模型的顶点索引,因而大大减少了存储空间。在此基础上,以对顶点缓冲、索引缓冲的有效管理为前提,实现了通过顶点索引的动态变换,从而在图形管

线的装配阶段生成该对象当前分辨率下的三角面片,以完成不同分辨率的切换。由于渲染过程中既不需要计算顶点相关信息,又减少了内存与显存的数据交互,因而提高了渲染效率。实验证明,该方法能够满足校审人员的实际工作需求,在无需额外硬盘空间、保证校审所需图像质量的前提下,在普通PC机上,对具有2.1千万左右面片的流程工厂模型能够取得31帧/s的平均帧速,且预处理时间控制在10s以内,并能将对象渲染属性的变化及时反应到所有分辨率模型。本文方法已成功应用于中科辅龙公司的流程工厂3维校审系统中,该方法的思想也可应用于非流程工厂模型的快速绘制。

参考文献(References)

[1] Su Z Y, Tang W Q, Li W Q, et al. A fast approach for

- constructing hierarchical levels of details of dynamic process plant model [J]. *Journal of Computer-Aided Design & Computer Graphics*, 2008, 20(8): 1038-1046. [苏智勇, 唐卫清, 李蔚清, 等. 面向动态流程工厂模型快速分层次细节法[J]. *计算机辅助设计与图形学学报*, 2008, 20(8): 1038-1046.]
- [2] Clark J. Hierarchical geometric models for visible surface algorithms [J]. *Communications of the ACM*, 1976, 19(10): 547-554.
- [3] Luebke D. A developer's survey of polygonal simplification algorithms [J]. *IEEE Computer Graphics and Applications*, 2001, 21(3): 24-35.
- [4] Luebke D, Reddy M, Cohen J, et al. Level of Detail for 3D Graphics [M]. San Francisco: Morgan Kaufmann, 2002: 12-13.
- [5] Cignoni P, Ganovelli F, Gobbetti E, et al. Adaptive tetra puzzles: efficient out-of-core construction and visualization of gigantic multiresolution polygonal models [J]. *ACM Transactions on Graphics*, 2004, 23(3): 796-803.
- [6] Hu L, Sander P V, Hoppe H. Parallel view-dependent refinement of progressive meshes [C]//*Proceedings of Symposium on Interactive 3D Graphics and Games*. New York: ACM, 2009: 169-176.
- [7] Shaffer E, Garland M. A multiresolution representation for massive meshes [J]. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, 2005, 11(2): 139-148.
- [8] Yoon S-E, Salomon B, Gayle R, et al. Quick-VDR: out-of-core view-dependent rendering of gigantic models [J]. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, 2005, 11(4): 369-378.
- [9] Zhang Y P, Xiong H, Jiang X H, et al. Parallel construction of multiresolution representation for massive meshes based on external memory octree [J]. *Journal of Image and Graphics*, 2010, 15(4): 650-657. [张亚萍, 熊华, 姜晓红, 等. 基于外存八叉树的大模型多分辨率并行构建[J]. *中国图象图形学报*, 2010, 15(4): 650-657.]
- [10] Richard S. Wright Jr, Nicholas Haemel, Graham Sellers, et al. *OpenGL SuperBible* [M]. 5th ed. Boston: Pearson Education, 2010: 321-537.
- [11] Huang X J. Research on fast rendering techniques in engineering CAD [D]. Beijing: Institute of Computing Technology, Chinese Academy of Sciences, 2002. [黄晓剑. 工程CAD中的快速绘制技术研究[D]. 北京: 中国科学院计算技术研究所, 2002.]
- [12] Yuan Z G, Wu X Q, Tang W Q, et al. A graphic library approach for AEC oriented CAD system [J]. *Journal of Computer-Aided Design & Computer Graphics*, 2001, 13(3): 197-201. [袁正刚, 吴雪琴, 唐卫清, 等. 面向工程CAD的图形库设计[J]. *计算机辅助设计与图形学学报*, 2001, 13(3): 197-201.]
- [13] Yuan Z G, Wu X Q, Tang W Q, et al. Graphic descriptive language for implementing graphic library in plant design system [J]. *Journal of Computer-Aided Design & Computer Graphics*, 2000, 12(9): 695-699. [袁正刚, 吴雪琴, 唐卫清, 等. 工厂设计系统图形库的图形描述语言设计[J]. *计算机辅助设计与图形学学报*, 2000, 12(9): 695-699.]
- [14] Baxter W, Sud A, Govindaraju N, et al. GigaWalk: interactive walkthrough of complex environments [C]//*Proceedings of the 13th Eurographics Workshop on Rendering*. Pisa: Eurographics Association Aire-la-Ville, 2002: 203-216.