

基于 OGRE 引擎的牵引供电系统仿真模型加载优化研究

陈波, 刘志刚, 耿肖, 高松

(西南交通大学电气工程学院, 四川 成都 610031)

摘要: 为了提高基于 OGRE 三维仿真引擎对牵引供电系统进行三维仿真时的实时渲染效率, 从减少渲染批次的角度出发, 对仿真模型加载优化方法进行研究。通过分析普通模型加载方式(单个物体独立加载)、静态几何加载方式和实例几何加载方式的工作原理, 并以牵引供电系统绝缘子为实验对象, 分别采用三种加载方式加载不同数量的绝缘子进行对比分析, 结果表明静态几何和实例几何方法能够大幅地减少渲染批次, 相比于普通的加载方式可以大大地提高渲染效率。根据三种加载方式的特点, 设计了仿真系统的模型加载优化方案, 仿真结果表明提出的优化方案对牵引供电系统进行仿真可以减少实时渲染过程中的批次, 有效地提高场景的实时渲染效率。

关键词: 牵引供电系统; 三维仿真; 渲染效率; 静态几何; 实例几何

Optimization research of model loading for simulation of traction power supply system based on OGRE engine

CHEN Bo, LIU Zhi-gang, GENG Xiao, GAO Song

(School of Electrical Engineering, Southwest Jiaotong University, Chengdu 610031, China)

Abstract: In order to improve the real time rendering efficiency of three-dimensional simulation of traction power supply system based on the three-dimensional simulation engine of OGRE, from the perspective of reducing rendering batches, the simulation model loading optimization method is researched. Working principles of the normal model loading method (single object independent loading), the static geometry loading method and the instanced geometry loading method are analyzed. The three different loading methods are used to load amount of insulators of traction power supply system respectively, the result shows that compared with the normal loading method, the static geometry loading method and the instanced geometry loading method can significantly reduce the number of rendering batches and greatly improve the rendering efficiency. According to the characteristics of the three kinds of loading methods, model loading optimization scheme of the traction power supply system is designed, the simulation results show that the optimization scheme proposed here can reduce the number of batches in real time rendering and effectively improve the real time rendering efficiency.

This work is supported by National Natural Science Foundation of China (No. U1134205 and No. 51377136).

Key words: traction power supply system; three-dimensional simulation; rendering efficiency; static geometry; instanced geometry

中图分类号: TM922.3 文献标识码: A 文章编号: 1674-3415(2014)22-0124-06

0 引言

传统可视化仿真通常是基于二维的, 采用 AutoCAD^[1-2]和 PSCAD/EMTDC^[3]等。随着人们对电气化铁路牵引供电系统可视化需求不断提高, 基于二维平面的方法已不能满足要求。鉴于三维技术的日益成熟及诸多领域采用三维技术带来的优势^[4-7], 对电气化铁路牵引供电系统进行三维仿真是

非常必要和有意义的。

电气化铁路牵引供电系统主要包括牵引变电站、接触网、开闭所、分区所等众多设备, 对其进行三维仿真时场景海量, 规模巨大。因此, 考虑到目前三维技术引擎发展的特点, 本文采用 OGRE 引擎进行牵引供电系统的三维仿真建模。

在三维仿真中对海量场景进行渲染时, 渲染效率是一个非常重要的问题。文献[8]利用 GPU 的运算能力和编程性, 将渲染过程中的大量计算从 CPU 中分离出来, 实现大规模波动草叶的实时渲染, 该

基金项目: 国家自然科学基金(U1134205, 51377136)

方法编程极其复杂。文献[9]将三维可视地理信息系统应用于电厂的设计与管理中,采用多层次细节模型与空间二分树来实现电厂的室内室外的实时漫游,该文献没有深入讨论漫游时的场景渲染效率。文献[10]利用建筑物的航拍图及地面图片构造单体建筑物的几何模型与纹理,结合分页式场景剔除技术,绘制大规模复杂城市场景,该方法建立的建筑模型比较粗糙,且场景渲染速度不是很高。文献[11]设计了一个基于 PC 机集群的保留模式 Sort-first 并行渲染系统,分析了影响渲染性能的关键因素,给出提高性能的具体步骤,实现了系统的高效并行计算及虚拟现实应用中的复杂场景实时处理,但是该方法是基于 PC 集群的,研究开发成本高,难度大。文献[12]介绍了一种基于可扩展对象库建立三维仿真平台的方法,变电站的各种仿真对象都能通过复用对象库中的元素完成建模,以减少三维建模周期,但并未就大规模场景中模型对渲染效率的影响进行深入分析研究。

在面对电气化铁路牵引供电系统中的海量场景,本文通过优化模型加载过程以提高场景的实时渲染效,结合普通的加载方式(单个物体独立加载)、静态几何加载方式(Static Geometry)和实例几何加载方式(Instanced Geometry),设计电气化铁路牵引供电系统仿真的模型加载优化方案,并进行了实际开发验证。

1 三维仿真中渲染批次对渲染效率的影响

在三维仿真中渲染效率非常严重地影响到仿真系统的性能,而渲染批次是牵引供电仿真系统中最小的渲染单元,在供电系统的渲染当中又极大地影响渲染效率。例如:渲染 1 000 个单材质的绝缘子,若分 10 个批次,每批渲染 100 个,场景平均每秒渲染 80.2 帧图像;若分 100 个批次,每批渲染 10 个绝缘子场景平均每秒渲染 36.8 帧图像,可见渲染相同数量的物体,批次越少渲染速度越快,因此渲染批次应尽量少。

牵引供电系统在 OGRE 引擎里面可渲染的对象有两种:大的不可动的周围环境地形;小的或可活动的设备、铁轨、杆塔和其它各种元器件等。这些设备、建筑等拥有各自的骨骼、动画、材质等属性,这些属性必须由与之对应的实体(Entity)来维护。仿真中实体是对与之对应网格(Mesh)的封装。一个网格由多个子网格组成,实体由子实体组成,网格的细节部分由子网格管理。实体与网格,子实体与子网格之间是一一对应的,其对应关系如图 1 所示。

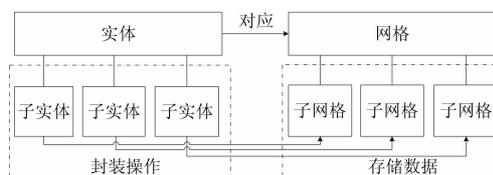


图 1 实体与网格关系图

Fig. 1 Relationship between entity and mesh

OGRE 引擎中对模型的加载一般采用单个物体独立加载的方式,这种普通加载方式可以根据场景中材质的多少生成渲染批次。一个物体有多少个材质,就对这个物体进行渲染就需要用多少个批次。因此,对电气化铁路牵引供电系统采用该方式进行模型加载将严重地影响渲染效率。

2 牵引供电系统仿真模型加载优化方案

为了优化模型的加载过程以提高渲染效率,本文结合普通加载方式、静态几何加载方式和实例几何加载方式,设计了一种牵引供电系统仿真模型的加载优化方案,如图 2 所示。

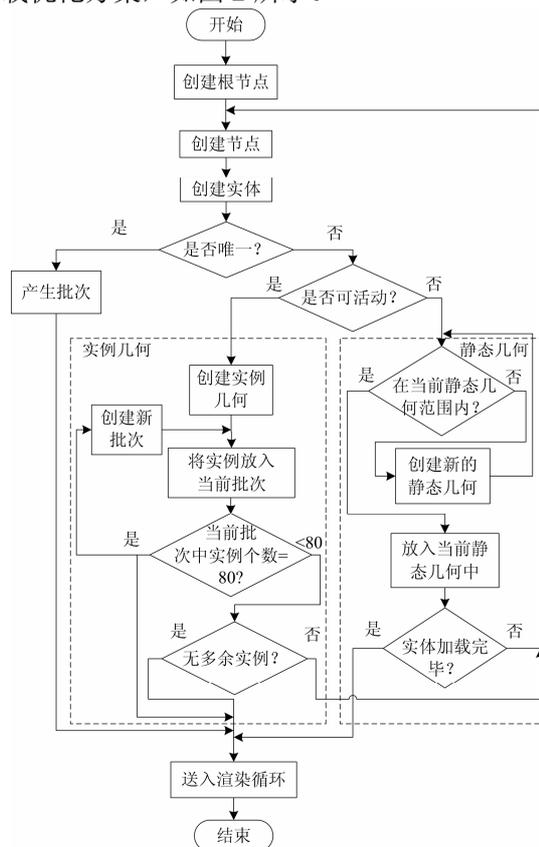


图 2 牵引供电系统模型加载优化方案

Fig. 2 Optimization program of loading model in traction power supply system

优化方案中对牵引供电系统中唯一出现的物体采用普通加载方式；对场景会多次出现的物体，如：相对不动的如钢轨、杆塔等物体，采用静态几何方式进行加载；对将来可能会活动的物体或是人们会对其进行操作的对象如变压器、开关等，采用实例几何方案进行加载。

该方案从根节点出发，首先创建子节点，调用 Entity 类来创建实体挂接到子节点上；接着判断这个实体在场景中是否唯一，若是则将这个实体作为一个批次送入渲染循环进行渲染；若否，再判断这个实体是否是可活动的物体，若是则将他以实例几何的方式进行加载；当实例几何中的实例达到 80 个时，把他们作为一个批次送入渲染循环进行渲染；若实体不可活动，判断实体是否在当前已有的静态几何体的范围之类，若是则将其加入到该静态几何体中，若不是则新建一个静态几何体，并将实体加入其中；等待物体加载完毕后，将每一个静态几何体作为一个批次加入渲染循环中进行渲染，完成渲染。

在该设计方案，静态几何加载和实例几何加载是牵引供电系统仿真模型加载优化中需要解决的两个关键问题。

2.1 静态几何加载

在牵引供电系统仿真模型加载优化方案中，静态几何把具有相同材质的物体合并成一个批次进行渲染，从而大大减少渲染的批次，提高渲染效率，静态几何的批次合并原理如图 3 所示。

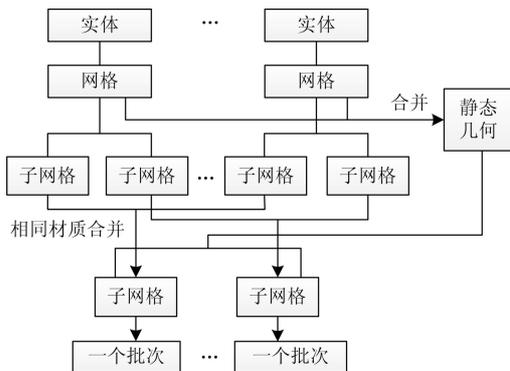


图 3 静态几何的批次合并

Fig. 3 Batch merger of static geometry

在图 3 中，若场景中包括 100 个相同的实体，对应需要 100 个网格来实现；假设每个网格有 5 个子网格，一共有 500 个子网格，采用普通加载方式需要 500 个批次，采用静态几何将具有相同材质的子网格合并成一个批次，只有 5 个批次，可以很大程度地提高渲染效率。牵引供电系统仿真中的静态几何体是在一个小范围内，可以把本来独立的设备、

器材集成为一个一起行动的静态几何体，几何体内部的物体相互之间不发生位移等动作。一起行动意味着位置、朝向、放大缩小的统一动作等，其实就可以看成是一个设备，认为只是把不同部位画在了不同的位置。

2.2 实例几何加载

在普通加载方式里面，一个材质渲染一次就产生一个批次，如系统中有多少个绝缘子渲染一幅画面就产生多少个批次，相当于程序向显卡连续传输同一份绝缘子顶点数据多少次。这些批次的不同之处在于顶点、法线等方面的不同。显卡不会对这种重复数据多次传输做任何优化，所以内存和 GPU 的数据传输负载随着可渲染对象的调用次数增多而增大。当程序效率更多地损失在数据传输上之时，会造成渲染瓶颈，即 FPS（每秒的渲染帧数）急剧下降。因此，普通加载方式将对牵引供电系统海量场景的加载造成窗口显示的卡滞。

针对该问题，本文采用实例几何方式加载模型，可以只用一个批次，把所有顶点数据传输到显卡，并通知显卡绘制次数。实例几何实现在一个批次中渲染模型的多个副本，难点在于如何确定现在渲染具体的实例（Instance），论文通过添加顶点缓冲的数据通道索引每个实例，实现当下现在渲染具体实例的判断。

OGRE 引擎中的模型网格由三角形拼装而成，例如：一个矩形有 2 个三角形，6 个顶点构成，如图 4 所示。

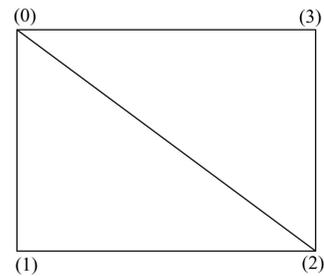


图 4 三角形组合的模型网格

Fig. 4 Triangle combination of mesh

若在程序中采用实例几何渲染两个矩形，需要进行相应的数据动作，其数据组织关系如图 5 所示。

在图 5 中，三角形 Triangle 0 和 Triangle 1 表示第一个矩形实例中使用的数据，三角形 Triangle 2 和 Triangle 3 表示第二个矩形实例中使用的数据，顶点缓冲区 (Vertex Buffer) 中包含的两个副本拥有相同的位置 (Position)、法线 (Normal) 和纹理数据 (Texture)，通过实例索引值 (Instance Index) 可

以对它们进行区别。该索引值用来指定每个实例的变换矩阵(Instance Transform Matrix)。将所有的实例放入一个批次, 通过变换矩阵重用顶点数据使用

不同的渲染参数进行渲染。采用此方法可以实现每帧调整实体的位置、方向、大小等功能。

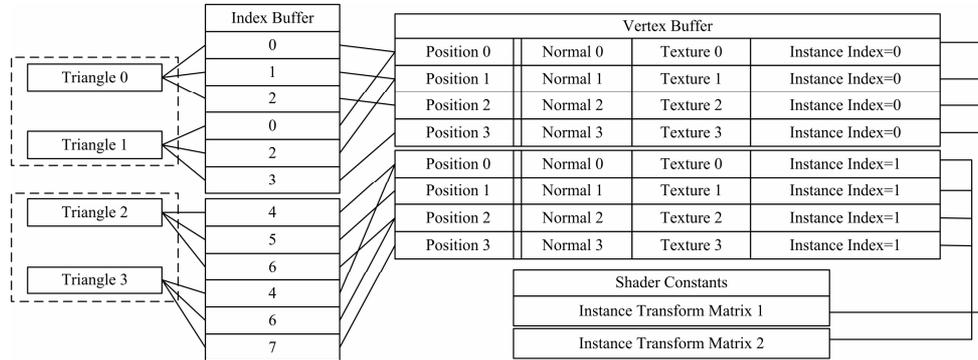


图 5 实例几何数据组织图

Fig. 5 Organization of instanced geometry

图 2 所示模型加载优化方案中实例几何的每一批次中最多只有 80 个实例, 是由于 GPU 中着色常量寄存器能装入的实例变换矩阵有限并且索引值是 16 位的, 太多了会产生溢出。

3 仿真实验

为了能够验证论文提出方案的可行性和有效性, 我们采用每秒渲染的帧数(FPS)作为评价标准, 以牵引供电系统中的绝缘子模型为对象进行实验, 分别采用三种方法加载模型, 计算机采用 AMD Athlon(tm) II Dual-Core M320 2.10 GHz 处理器, 2.00 GB 内存, 实验数据如表 1 所示。

表 1 三种加载方法渲染对比

Table 1 Rendering contrast of three loading methods

模型数量	Batch			FPS		
	普通	静态	Instance	普通	静态	Instance
1	1	1	1	89.5	89.5	88.9
10	10	1	1	82.7	89.1	89.4
80	80	2	1	54.3	86.8	90.3
160	160	3	2	38.1	85.0	84.9
240	240	3	3	28.4	85.3	82.3
320	320	4	4	25.0	84.7	80.9
400	400	5	5	21.5	85.7	81.0
480	480	5	6	18.7	85.1	80.8
1 000	1 000	10	13	9.9	82.9	70.3

表 1 中普通加载方式渲染批次与模型数量成线性增长, 渲染效率随着模型数量的增长快速下降, 当个数达到 1 000 的时候, FPS 降到 9.9, 并在大规模场景中屏幕显示出现严重的滞屏现象。静态几何与实例几何方式的渲染批次随着模型数量的增加也在增长, 但增长十分缓慢, 与模型的数量相比, 批

次仍然是相当少, 它们的渲染效率仍然很高, 当个数达到 1 000 的时候, FPS 能保持 80 左右的高效率。

图 6 为静态几何与实例几何在不同绝缘子模型数量下渲染批次相对于模型数量的百分比。

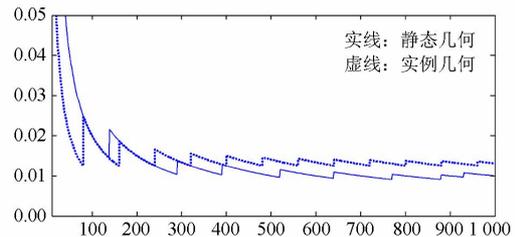


图 6 渲染批次与模型数量百分比

Fig. 6 Percentage between rendering batch and model numbers

从表 1 中可以看出, 普通加载方式的渲染批次始终都和模型数量一样, 这会导致渲染效率低下。图 6 中实线表示静态几何的批次与模型数量的百分比, 虚线表示实例几何的批次与模型数量的百分比, 从图中可以看到随着绝缘子模型数量的增多, 渲染批次与模型数量百分比会越来越小。当绝缘子个数为 150 时, 渲染批次与模型数量百分比小于 2%。图中的锯齿状突起是由于模型到一定数量时批次的增加所致。

图 7 为静态几何与实例几何渲染时的 FPS 相对普通加载方式 FPS 的倍数。

图 7 中实线表示静态几何相对普通加载方式的 FPS 的倍数, 虚线表示实例几何相对普通加载方式的 FPS 倍数。从图 7 中可以看出随着绝缘子模型数量的增加, 相对渲染倍数也增加, 当达到 1 000 个时, 静态加载方式比普通加载方式渲染速度快了

8.37 倍，而实例几何加载方式比普通加载方式的渲染速度快 7.1 倍。

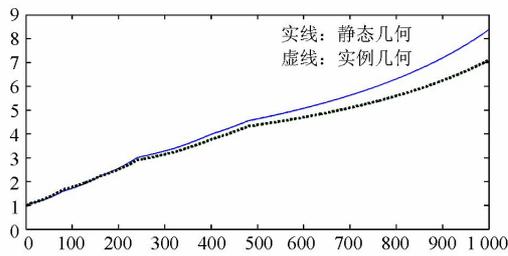


图 7 相对 FPS 倍数
Fig. 7 Relative FPS

若牵引供电系统仿真采用普通加载方式，渲染效率非常低，最大 FPS 将低于 5。本文采用图 2 所设计的模型加载方案对牵引供电系统进行三维仿真，图 8 和图 9 中所示为供电系统中的牵引变电站的内部场景。在这个仿真系统中，所有相对固定，没有动作的物体采用静态几何的方式加载，如绝缘子等；大型设备和可活动的物体采用实例几何的方式加载，如变压器等。

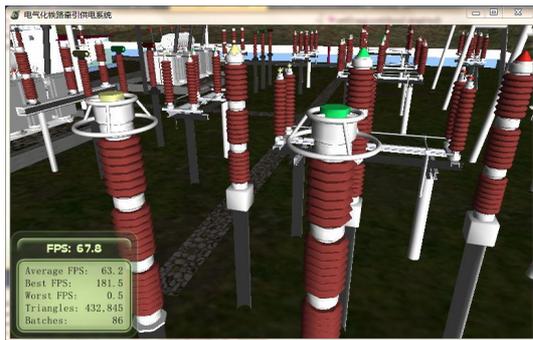


图 8 变电站仿真效果图

Fig. 8 Rendering of substation simulation

从图 8 中可以看出，整个牵引变电站视场中物体非常丰富，特别是绝缘子数量很多，而渲染批次仅有 86 个，平均 FPS 可以达到 63.2。

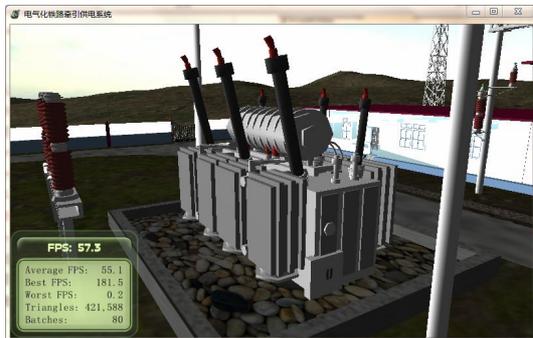


图 9 变压器仿真效果图

Fig. 9 Rendering of transformer

从图 9 中可以看出，对牵引变电站中以变压器为主要对象的场景进行渲染时，渲染批次仅有 80 个，平均 FPS 可以达到 55.1。因此，从实验结果来看，采用本文所设计的模型加载优化方案可以有效地减少对场景实时渲染时所使用的批次，实时地、有效地提高了渲染效率，使系统实时浏览流畅，操作反应迅速和高效。

4 结论

本文采用 OGRE 对电气化铁路牵引供电系统进行三维仿真，分析了普通的加载方式、静态几何加载方式和实例几何加载方式加载模型对仿真系统的渲染效率影响，并以绝缘子为对象进行实验，实验结果表明静态几何与实例几何加载式相比普通加载方式可以大幅地提高渲染效率。结合牵引供电系统的特点，本文设计了对牵引供电系统仿真模型加载优化方案，实验结果表明采用该设计方案可以大大优化电气化铁路牵引供电系统三维仿真系统的模型加载过程，提高渲染效率。

参考文献

[1] 张虹, 赵冬梅, 张旭. 电厂继电保护整定计算智能系统图模库一体化工具的研究[J]. 电力系统保护与控制, 2011, 39(12): 117-121, 139.
ZHANG Hong, ZHAO Dong-mei, ZHANG Xu. Research on integration tool of graph, model and database in power plant relay[J]. Power System Protection and Control, 2011, 39(12): 117-121, 139.

[2] 黄宇峰, 刘文霞, 盛洁, 等. 应用 ObjectARX 的中压配电网可靠性评估模块的设计与实现[J]. 电力系统保护与控制, 2010, 38(17): 70-75, 81.
HUANG Yu-feng, LIU Wen-xia, SHENG Jie, et al. Design and implementation of reliability evaluation module for medium voltage distribution networks by ObjectARX technology[J]. Power System Protection and Control, 2010, 38(17): 70-75, 81.

[3] 束洪春, 田鑫萃, 董俊, 等. 基于多重分形谱的高压直流输电线路区内外故障识别方法[J]. 电工技术学报, 2013, 28(1): 251-258.
SHU Hong-chun, TIAN Xin-cui, DONG Jun, et al. Recognition method of HVDC transmission line fault based on multifractal spectrum[J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2013, 28(1): 251-258.

[4] 冯岱鹏, 胡炎, 郇能灵, 等. 地下变电站虚拟现实仿真系统的研究[J]. 电力系统保护与控制, 2010, 38(11): 90-93, 103.

- FENG Dai-peng, HU Yan, TAI Neng-ling, et al. Research of underground substation simulator based on virtual reality[J]. Power System Protection and Control, 2010, 38(11): 90-93, 103.
- [5] 梁慧敏, 由佳欣, 叶雪荣, 等. 基于三维磁场仿真分析的含永磁继电器等效磁路模型的建立[J]. 电工技术学报, 2011, 26(1): 46-50.
LIANG Hui-min, YOU Jia-xin, YE Xue-rong, et al. Construction of equivalent magnetic circuit for permanent magnet relay based on 3-D magnetic field analysis[J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2011, 26(1): 46-50.
- [6] 周封, 李翠, 王晨光. 基于三维超声波阵列的风电场风力瞬变特性测量研究[J]. 电力系统保护与控制, 2012, 40(13): 127-134.
ZHOU Feng, LI Cui, WANG Chen-guang. Research on wind transient characteristics measurement based on 3D ultrasonic formation for wind farm[J]. Power System Protection and Control, 2012, 40(13): 127-134.
- [7] 朱少敏, 刘建明. 电力设备三维网格模型自适应鲁棒水印算法[J]. 电工技术学报, 2011, 26(12): 197-204.
ZHU Shao-min, LIU Jian-ming. Electric power equipment 3D mesh model adaptive robust watermarking algorithm[J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2011, 26(12): 197-204.
- [8] 刘明, 徐飞, 刘玉. 基于GPU的大规模波动草叶实时渲染技术[J]. 微计算机信息, 2008, 24(15): 293-295.
LIU Ming, XU Fei, LIU Yu. GPU-based real-time rendering techniques of massive waving grasses[J]. Microcomputer Information, 2008, 24(15): 293-295.
- [9] 田宜平, 张戈, 刘兴无, 等. 三维可视地理信息系统在禹州电厂的应用[J]. 电力系统自动化, 2005, 29(5): 88-92.
TIAN Yi-ping, ZHANG Ge, LIU Xing-wu, et al. Application of three-dimension visualization GIS in Yuzhou power plant[J]. Automation of Electric Power Systems, 2005, 29(5): 88-92.
- [10] 刘波, 王章野, 王丽英, 等. 大规模城市场景的高效建模及其实时绘制[J]. 计算机辅助设计与图形学学报, 2008, 20(9): 1153-1162.
LIU Bo, WANG Zhang-ye, WANG Li-ying, et al. Efficient modeling and real-time rendering of large-scale urban scenes[J]. Journal of Computer-Aided Design & Computer Graphics, 2008, 20(9): 1153-1162.
- [11] 汪伟, 范秀敏, 武殿梁. 虚拟现实应用中的并行渲染技术[J]. 计算机工程, 2009, 35(3): 282-285.
WANG Wei, FAN Xiu-min, WU Dian-liang. Parallel rendering technology in virtual reality applications[J]. Computer Engineering, 2009, 35(3): 282-285.
- [11] 谢成, 胡炎, 邵能灵, 等. 基于可扩展对象库的变电站三维仿真平台[J]. 电力系统自动化, 2009, 33(6): 90-94.
XIE Cheng, HU Yan, TAI Neng-ling, et al. A tri-dimensional substation simulation platform based on extensible object collection[J]. Automation of Electric Power Systems, 2009, 33(6): 90-94.

收稿日期: 2013-11-22; 修回日期: 2014-09-05

作者简介:

陈波(1986-), 男, 硕士研究生, 从事电气化铁路牵引供电系统仿真研究; E-mail: tiadyrobben@163.com

刘志刚(1975-), 男, 博士, 教授, 博士生导师, 从事信号处理与计算智能及在电力系统及轨道交通中的应用;

耿肖(1992-), 男, 硕士研究生, 从事电气化铁路牵引供电系统培训仿真研究。