

曾鸿 张均东 著

船舶机电系统 虚拟仿真研究

U664
29

HEUP 哈尔滨工程大学出版社

船舶机电系统虚拟仿真研究

曾 鸿 张均东 著



 哈尔滨工程大学出版社

内容提要

本书主要介绍虚拟现实技术和数学建模技术在船舶机电系统仿真中的相关理论和应用开发过程,包括船舶机电设备建模与渲染、船舶机电虚拟场景漫游与交互、船舶机电虚拟仿真视景系统设计、船舶机电系统虚拟仿真集成等内容,重点研究了机电三维场景实时渲染、复杂场景的三维漫游与操作、推进系统数学建模与实现等关键技术。

本书对从事轮机工程虚拟仿真、船舶自动化与信息化等领域的科技人员具有较高的实用价值,也可供高等院校相关专业师生阅读参考。

图书在版编目(CIP)数据

船舶机电系统虚拟仿真研究/曾鸿,张均东著. —
哈尔滨:哈尔滨工程大学出版社,2015.6
ISBN 978-7-5661-1048-0

I. ①船… II. ①曾…②张… III. ①船舶机械—
系统仿真—研究 ②船用电气设备—系统仿真—研究
IV. ①U664②U665

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 126839 号

出版发行 哈尔滨工程大学出版社
社 址 哈尔滨市南岗区东大直街 124 号
邮政编码 150001
发行电话 0451-82519328
传 真 0451-82519699
经 销 新华书店
印 刷 黑龙江省地质测绘印制中心印刷厂
开 本 787mm×1 092mm 1/16
印 张 6.5
字 数 165 千字
版 次 2015 年 6 月第 1 版
印 次 2015 年 6 月第 1 次印刷
定 价 17.00 元

<http://www.hrbeupress.com>

E-mail:heupress@hrbeu.edu.cn

前 言

在当今的航海教育领域,基于系统仿真技术的轮机模拟器已得到了广泛的应用。由于轮机模拟器的仿真对象是各种机电设备和管系,其运行规律抽象而复杂,对应的表现形式和交互方式一直以来没有较大变化。虚拟现实技术的发展为轮机模拟器的技术革新提供了机遇。笔者所在单位持续致力于轮机模拟器的开发与应用,本书的研究基于近年来运用虚拟现实技术对轮机模拟器进行的技术改造和升级工作。书中涵盖的内容主要包括船舶机电设备建模与渲染、虚拟机舱场景漫游与交互、视景仿真系统设计、虚拟仿真集成几个方面。

本书的研究工作得到了中央高校基本科研业务费专项资金(3132013030)、国家自然科学基金(51479017)的资助,以及相关横向研究课题的支撑,在此表示感谢。

由于轮机工程和虚拟现实涉及的理论宽广,相关的技术手段更新换代较快,加上作者水平所限,书中错误和缺点在所难免,欢迎广大读者不吝赐教。

著 者
2015 年 5 月

目 录

第1章 绪论	1
1.1 船舶机电系统虚拟仿真的研究意义	1
1.2 研究现状	2
1.3 本书研究内容	6
第2章 船舶机电设备建模与渲染	7
2.1 虚拟机舱场景建模	7
2.2 考虑衰减的 Blinn-Phong 光照模型	11
2.3 环境映射及凹凸映射技术	14
2.4 基于着色器的机舱场景实时渲染与对比分析	15
2.5 本章小结	20
第3章 船舶机电虚拟场景漫游与交互	21
3.1 路径规划与相关算法	21
3.2 虚拟机舱中的路径规划	26
3.3 场景漫游的实现	34
3.4 交互点的三维拾取	36
3.5 交互点行为建模	39
3.6 本章小结	42
第4章 船舶机电虚拟仿真视景系统设计	43
4.1 系统设计	43
4.2 多通道投影画面融合算法	47
4.3 双目立体成像技术	57
4.4 本章小结	62
第5章 船舶机电系统虚拟仿真集成	63
5.1 数学模型	63
5.2 数值仿真实验与分析	69
5.3 系统功能与重点场景展示	72
5.4 本章小结	75
第6章 结论与展望	76
附录 A: 部分机舱三维场景	77
附录 B: 着色器代码	79
附录 C: 柴油机仿真相关数据	82
参考文献	88

第1章 绪 论

1.1 船舶机电系统虚拟仿真的研究意义

1.1.1 行业发展需求

在当今的航海教育领域,基于系统仿真技术的模拟器已成为必备的船员培训及考核的设施,轮机模拟器也在船舶轮机教学及培训中得到了广泛的应用。2010年6月在菲律宾首都马尼拉通过了国际海事组织 STCW 公约和 STCW 规则 2010 修正案(也称马尼拉修正案)^[1]。马尼拉修正案与 1995 年修正案相比,在教学与培训方式上,最明显的变化是准予使用远程教学(distance learning)和电子教学(E-learning),并且更加强调模拟器的使用。STCW 公约采用相当大的篇幅描述使用模拟器进行训练和考核的有关规则,建议采用“认可的模拟器培训”进行评估,模拟器的使用已成为航海教育的必要手段之一。

目前轮机模拟器的仿真方式多为半物理仿真或二维软件界面仿真^[2-7]。半物理仿真通常采用控制台、配电板、图解屏、物理模型等与实船相一致的盘台来模拟设备的控制面板,而主机、发电机、系统管路等控制对象采用计算机仿真技术模拟。这种结构,一方面通过对人机交互装置的实物模拟,构建出尽可能真实的操纵训练环境,有利于提高训练行为的真实感;另一方面,通过计算机仿真技术模拟的控制对象可以设置各种实船难以出现的故障,从而达到安全、经济和高效的目的。二维界面仿真方式就是用计算机二维界面仿真模拟所有设备及管路,由于训练时只需要计算机,因此较经济。

由于轮机模拟器表现的主体是各种机电设备和管系,仿真训练的过程是通过操纵和查看各种控制面板,研究机电设备的运行规律,而这些规律只能通过温度、压力和功率等物理量来反映,因此轮机模拟器的表现形式与人机交互方式一直是普及过程中的难点。现行的船舶轮机模拟器仿真系统在实际应用中还存在过于专业化、缺乏动态展示、人机交互不够友好、无法看到机舱真实画面等不足。这些不足影响了教学和培训效果,制约了轮机模拟器应用价值的发挥。

1.1.2 应用前景

虚拟现实技术从外部表现形式上来看,与三维动画差别不大,然而二者却有着本质的区别。三维动画技术是依靠计算机预先处理好的含有某些场景或物体等的静态图片连续播放实现的,不具有任何交互性,用户无法根据自己的意愿去查看信息,只能按照设计师预先固定好的一条线路去看场景,系统给用户提供的信息很少,用户是被动接受信息^[8]。而虚拟现实技术是通过计算机实时计算场景,根据用户的需要把整个空间中所有的信息真实提供给用户,用户可以根据自己的路线行走,计算机会产生相应的场景。

将虚拟现实技术应用于仿真最早出现在军事领域^[9]。在 20 世纪 80 年代初,美国国防部高级研究计划局(DARPA)和美国陆军于 1983 年共同制订了一项合作研究计划,即 SIM-

NET 研究计划。该计划想要将分散在不同地点的地面车辆(坦克、装甲车)模拟器用计算机三维视景来表现,并通过计算机网络联系起来,形成一个整体虚拟战场,进行各种复杂任务的训练和作战演习^[10]。SIMNET 计划是虚拟现实仿真技术运用的雏形。在虚拟仿真系统中,多个相互关联的系统形成体系,一个或多个体系被放置在一个整体的虚拟环境中,各体系之间相互对抗,或与虚拟环境相互作用,以探求体系的运行规律^[11]。

应用虚拟现实的仿真技术包含对现实世界的逼真模拟和推理的过程。它包含了两个方面:一是观察仿真对象的三维模型,二是从虚拟环境的交互中和仿真结果的可视化中提取仿真的知识模型。前者体现实体建模,后者反映行为建模和数学建模。虚拟现实系统侧重于表现形式,而系统仿真则侧重于真实复杂世界的科学抽象,真正反映出现实世界的运动规律。利用虚拟现实技术可以更好地实现系统仿真验证模型的有效性,并可以更加直观、有效地表现仿真结果,两者相辅相成。

在轮机模拟器中实现虚拟仿真,使学员在没有到实际船舶实习以前就可以对实船机舱进行漫游查看,熟悉设备结构,了解设备工作原理、操作步骤、操作规程,模拟操纵设备。由于采用虚拟机舱代替实际机舱,轮机设备的操作、应急训练、故障设置也是在虚拟机舱上进行,出现问题时,可以反复训练,节约了教学成本,这也是实船上做不到的。

本书研究内容是轮机工程学科的一项应用基础研究,它的研究成果必将促进轮机仿真技术的发展,具有重要的学术价值和广阔的应用前景。

虚拟仿真技术在轮机模拟器上的成功应用,将为开展其他相关研究提供一个方便的可扩展的研究平台。这些可能的研究包括基于 WEB3D 的船舶机舱虚拟漫游、船舶机电设备虚拟拆装、船舶设备虚拟操纵,集成轮机仿真技术、三维数据可视化、分布式仿真、人机交互技术的轮机分布式虚拟网络仿真实验室,基于 WEB 的船舶机舱三维综合监管系统和远程维修决策支持系统等。

以高品质的船舶机舱视景系统为依托,应用先进的轮机仿真成果、虚实人机交互技术、网络技术,可开发出先进的轮机模拟器,代替国外进口产品,推动国内轮机仿真技术整体水平的上升。

1.2 研究现状

1.2.1 虚拟仿真

Grigore Burdea 和 Philippe Coiffet 在其著作^[12]中指出虚拟现实技术的三个特性:交互性(interactivity)、沉浸性(immersion)和想象性(imagination)。交互性是指参与者通过交互设备对虚拟环境的考察与操作的程度;沉浸性是指参与者对虚拟环境的投入程度;想象性是指在虚拟环境下,对抽象概念具体化认识的程度。虚拟现实不仅是一个人机界面,它可以辅助解决军事、工程、医学等领域的问题,逼真地模拟或再现设计者的思想。

当今虚拟现实已经被许多院校广泛地应用到教育培训、科学研究及船舶设计的各个环节,它对增强教学效果、加强科研实力、提高生产效率起到重要的作用。杨艳春搭建了一个模拟月球复杂地形用于探测的月球车虚拟仿真试验系统^[13]。该系统使用 Multigen Creator 软件建立了月面、陨石坑、石块的三维模型,开发了月球车多体系统动力学数学模型,并在 OpenGL Performer 虚拟仿真软件中渲染虚拟环境,对月球车的运动过程进行仿真。苑严伟

研究了典型智能化农业机械的虚拟仿真试验方法^[14],建立了各种农业机械的三维模型并开发了虚拟农田漫游软件,使用粒子系统模拟喷洒过程,并研究了碰撞检测、三维拾取等虚拟漫游交互应用的关键技术。周德闯搭建了一个三通道的火灾虚拟现实平台^[15],使用粒子系统模拟火焰燃烧过程,并基于人工神经网络对大空间火灾烟气层的特性做了预测研究,取得了很好的效果。大连海事大学航海学院金一承教授、尹勇教授等^[16, 17]采用分布交互仿真、计算机成像和无缝拼接宽视场角环幕投影技术开发的航海模拟器,场景真实感强,具有较强的沉浸性和视觉冲击力,可以进行良好的交互操作,是虚拟现实技术在船舶驾驶领域的成功应用。上述研究都成功地将虚拟现实技术应用于各自的专业领域,取得了较好的效果,创造了可观的经济价值。

文献[18]至[20]设计了多投影面虚拟现实环境,实现了虚拟场景高度沉浸感的漫游,但其采用商用融合机实现画面的几何校正与边缘融合,因此没有涉及几何校正与融合算法。Raskar 等人^[21-23]对投影仪的几何校正做了较多工作,实现了基于相机-投影仪的小型投影系统校正,但没有涉及边缘融合算法。王胜正^[24]通过投影变换矩阵计算得到了投影图像的双3次几何变形曲面,进而反算控制点实现对投影图像的非线性几何变形,并给出了图像边缘亮度融合算法。但其几何校正仍需借助相机摄取的标准网格图像进行,校正过程仍偏复杂,且其亮度融合算法基于幂函数,因此算法的融合能力有限,无法适应复杂的工程环境。文献[25]和[26]对立体显示环境下的边缘融合技术进行了研究,给出了融合环境下立体视差调节的指导性原则。随着可编程图形硬件时代的到来,着色器替代了传统的固定渲染管线以实现更加逼真的图像效果,使用了着色器技术渲染的场景比传统固定渲染管线渲染的场景的实时性和真实感都有很大提高。当前着色器已用于阴影绘制^[27-29]、海浪仿真^[30-32]、特效渲染^[33, 34]等方面,但在大型机械场景实时仿真过程中利用着色器做大规模渲染还未有应用。交互性是虚拟现实系统的重要特征,虚拟现实场景中的自动漫游是一种高级交互模式,续爱民^[35]等人根据自动漫游过程中通道宽度的变化采用不同的分辨率来构造虚拟机舱场景中的漫游路径,但该方法需要已知地图的通道形状,不适用任意形状的自由空间。陈勇等人^[36]设计了一种基于橡皮筋算法的三维虚拟场景的自动漫游方法,但该方法得到的路径是沿着障碍物边缘行进的,这会导致场景漫游时摄像机画面被大量遮挡。史红兵^[37]在基于路径规划的自动漫游算法中考虑了摄像机画面的美学原则,但没有涉及角色移动过程中的实时避障。上述文献在虚拟现实系统的沉浸式环境搭建、真实感图形生成及虚实交互技术方面做了较多工作,为虚拟现实在轮机系统仿真中的应用提供了有益的启发。

1.2.2 轮机模拟器

航海技术先进的国家在20世纪70年代就开始研究使用模拟器^[38-41]。如挪威 Kongsberg 公司早在20世纪70年代初就开始了模拟器的研发,其产品具有世界领先水平,遍及世界各地。英国 Transas 有限公司生产的 ERS 系列轮机模拟器应用也较广。除 Kongsberg 公司和 Transas 公司外,国外的大型船舶自动化产品制造商,在造船和出售主机遥控及检测报警系统时,也少量生产配套的单一功能模拟器。国外研制开发的轮机模拟器一般硬件水平较高,但价格也较贵。我国在这方面起步较晚,但研究起点高,发展很快^[3]。近年来,许多航海院校在自行设计研制远洋船舶轮机模拟器方面做了大量工作,具有代表性的国内研制单位有武汉理工大学、上海海事大学、大连海事大学和海军工程大学等高校。

近年来国内外相关研究机构与企业都考虑将视景系统引入轮机模拟器中。波兰 UNIT-

EST 公司研发了一套基于三维图像的轮机模拟器仿真软件^[42, 43], 如图 1.1 所示, 实现了轮机各系统及控制盘台的三维模拟与操作, 二维原理图展示的界面与三维界面在仿真过程中可以较方便地切换, 提升了轮机模拟器的培训效果, 为虚拟现实在轮机模拟器中的应用做了有益的尝试。但其仿真的物理量较少, 多为控制逻辑仿真, 缺乏详尽的数学模型, 训练效果有限。视景内容较为简单, 虽然采用了计算机三维手段来绘制视景, 但只能在几个固定视角之间切换, 限制了用户与三维场景的交互内容, 无法实现虚拟环境中的漫游。挪威 Kongsberg 公司也在其网站上公布了与轮机模拟器配套的三维虚拟机舱软件^[44], 如图 1.2 所示, 仿真训练时可以在虚拟机舱内漫游并操作虚拟设备, 允许学员通过视景通道开关阀门、查找故障、处理各种常规和应急情况。英国 Transas 公司最新的轮机模拟器包含了主柴油机及发电机的三维视景^[45], 如图 1.3 所示, 在操作二维控制面板的同时提供三维画面供用户查看, 但这两个公司的三维产品在国内还未见有应用。

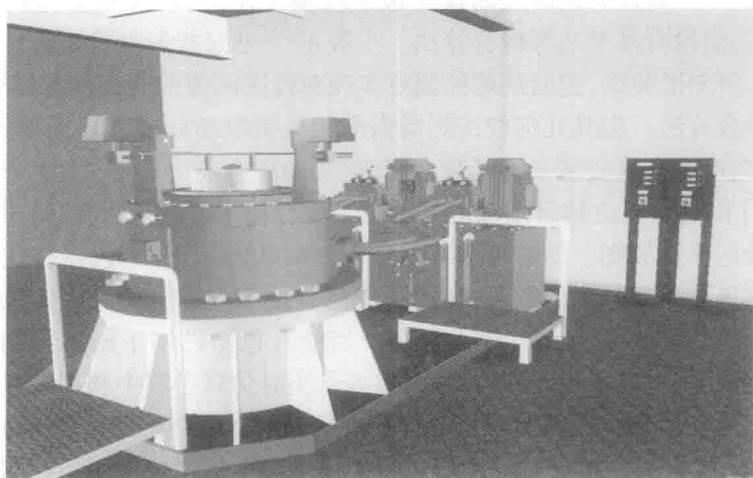


图 1.1 Unitest 轮机模拟器虚拟场景图

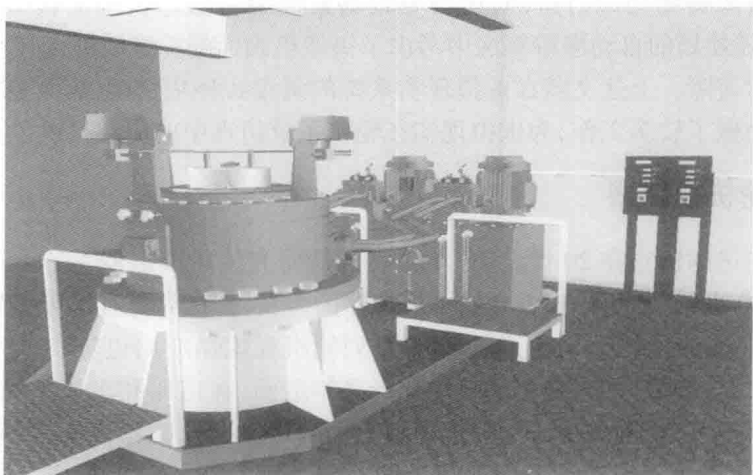


图 1.2 Kongsberg 轮机模拟器虚拟场景图



图 1.3 Transas 轮机模拟器虚拟场景图

国内方面,文献[46]较早提出了将虚拟现实技术引入轮机模拟器,设计了系统的总体结构,使用 WTK 三维图形引擎初步实现了机舱漫游。但由于当时虚拟现实技术在国内发展还未成熟,没有涉及理论研究,而且场景大量使用照片来表现细节,缺少真实的光照与明暗效果。文献[47]至[49]分别使用 Vega, Quest3D 等三维图形引擎实现了人在虚拟机舱环境中的漫游。文献[50]和[51]提出使用 Web3D 技术实现基于因特网的机舱三维仿真,是虚拟现实在轮机应用中的有益探索。然而,上述工作大多还停留在三维视景漫游阶段,展示的视景内容简单,交互操作少,而且建立的三维场景画面真实感也不足,在大规模场景下,由于模型缺乏合理的优化与场景管理,无法满足实时漫游要求。

上述文献为虚拟现实在轮机仿真领域应用做了大量的工作和有益的探索。通过分析不难发现,船舶机舱实现虚拟仿真的困难主要有以下几个方面:首先,机舱场景设备繁多,管路交错,舱内空间狭小,要保证近距离观看虚拟场景时的真实感,必须建立精细的设备及管路几何模型,实现逼真的光照和阴影效果,而这通常与视景系统的实时性相矛盾。模型精度的提高和实时光照计算都将影响画面的流畅性,因此需要充分发挥图形处理器的特性,尽可能将计算负载转移到图形卡上进行,并对场景做尽可能的优化。其次,由于在虚拟场景中进行仿真训练时,需要频繁地与场景中的三维实体进行交互,因此虚拟仿真系统还应当能实现高效的场景切换与漫游、具备方便的三维拾取功能和逼真的行为建模。另外,要实现真正的轮机虚拟仿真,必须有精确的轮机设备及管路数学模型作为支撑。

系统的数学模型是轮机模拟器的核心,也是虚拟现实 3 个特征中“想象性”的前提条件。轮机系统的数学模型涵盖内容很广,包括设备数学模型、管网数学模型、控制系统数学模型及各种控制逻辑等。本书仅以船舶推进系统作为研究对象,在视景系统中实现其可视化仿真。船舶推进系统数学模型的核心是柴油机数学模型。柴油机的数学模型多种多样,可以是最简单的稳态平均扭矩查表模型,也可以是考虑了深入细节的燃烧模型和时变转动惯量的复杂模型^[52]。早期的模型包括 Flower 等人^[53]得到的传递函数模型及 Kamei 等人^[54]实现的线性模型。容积法模型通过模拟缸内的工作过程来获得柴油机整机热力过程的各参数,由于将各工作容积进行了合理简化,可以达到较高的实时性,因此在轮机模拟器中具有较高的实用价值。Watson 等人实现的柴油机模型^[55-57]是应用最广泛的一类容积法

模型。容积法模型应用的难点在于变工况下燃烧放热规律难以确定。黄宜谅等人^[58]使用双韦伯曲线模拟燃烧过程的放热规律,但没有给出双韦伯曲线上各参数的计算方法。李彬轩等人^[59]采用零维单区燃烧模型,在实时仿真系统中将基于双韦伯曲线的模型和 Watson 的燃烧模型结合用于变工况性能预测,但其单缸循环模拟耗时为 35 ms,无法用于实时仿真。变工况下燃烧模型的准确性成为容积法模型在应用中的关键,本书拟对基于双韦伯曲线的柴油机变工况燃烧模型进行改进。

1.3 本书研究内容

本书通过分析现有轮机模拟器的特点与虚拟现实在轮机领域的应用现状,建立完整的虚拟机舱几何模型并提供高度真实感场景画面,提升机舱视景系统的沉浸感;研究轮机模拟器的视景系统中与参与仿真人员的交互方式,提供一种更易于操纵、训练和研究的视景,提升轮机模拟器的真实感与交互性。

章节安排如下:

第一章,绪论。阐述课题研究的背景、意义和前人所做的工作。总结出课题的主要研究目标、内容。

第二章,船舶机电设备建模与渲染。建立虚拟机舱场景的三维模型,总结建模的流程与优化准则;建立场景的光照模型,研究特效的实现原理,使用着色器在场景的实时渲染中实现光照模型和特效,通过实验说明开发的着色器可模拟出机电设备表面的各种材质。

第三章,船舶机电虚拟机舱场景漫游与交互。研究路径规划算法,并对算法的几个环节做了改进,使之可用于虚拟场景的自动漫游;研究不同漫游模式下的摄像机控制方法并予以实现;改进了交互点三维拾取操作的有效性,建立了交互点的行为模型。

第四章,船舶机电虚拟仿真视景系统设计。搭建了多通道立体投影的沉浸式仿真环境,使之用于轮机模拟器的虚拟仿真;研究并改进了多通道投影系统的软几何校正与边缘融合算法,在虚拟仿真程序中实现了双目立体成像。

第五章,船舶机电系统虚拟仿真集成。以船舶推进系统为研究对象,建立了推进系统的数学模型,改进了柴油机的燃烧过程模型,通过数值仿真验证了模型的准确性,在可视化仿真环境中实现了调距桨船舶推进系统的实时渲染、自动漫游与交互,提升了仿真系统的真实感。

第六章,结论与展望。概括总结了主要研究内容和研究成果,指出研究成果的应用前景;对虚拟仿真技术及其在轮机仿真领域的应用与发展进行了探讨和展望,提出了应努力的方向。

第2章 船舶机电设备建模与渲染

虚拟环境是否逼真,是否能使用户产生沉浸感,取决于人的感官对环境的主观感受。虚拟环境的视觉效果是影响用户沉浸感的关键因素之一,这是因为人的信息感知约有80%是通过视觉通道获取的^[11]。真实感图形学是计算机图形学中的一个重要组成部分,它的基本要求就是在计算机中生成逼真的三维图形图像。为船舶机舱场景实时绘制真实感三维图像的主要困难在于机舱内部结构及设备较复杂,要实现高品质的视景系统必须建立完整的几何模型,表达足够的细节信息并保证场景漫游的实时性。本章建立了全船机舱的几何模型,并总结了建模方法与优化准则,利用图形处理器的最新特性,在着色器中实现基于Blinn-Phong的光照模型、环境映射、凹凸映射、噪声贴图等特效,提高了船舶机舱视景系统的实时性与真实感。

2.1 虚拟机舱场景建模

船舶机舱是典型的复杂室内环境,内部管路设备繁多,新学员对其非常陌生,在船舶机电系统仿真程序中引入视景内容是提高训练效果的重要手段。要提供一个逼真的视景,首要的是建立详尽的机舱管路、设备、舱室结构的三维模型。

2.1.1 基础数据准备

本过程的主要任务是为几何建模进行数据搜集和处理,为后续部分准备制作依据和素材。主要工作有:

(1)设备外形图的处理。在造船过程中,大部分设备厂家都提供设备的外形图,部分厂家还提供剖面图,这些图纸有CAD格式的,也有PDF格式的。我们需要将这些图纸进行简化处理,提取具有尺寸信息的部分,将其导入3d Max,作为制作设备几何模型的原始依据。

(2)建模素材搜集。根据几何建模的要求,搜集建模素材。机舱中各种标识、铭牌、操作规程等是形成虚拟机舱真实感的重要组成部分,这些素材可通过拍照、摄像、扫描等手段采集到。

(3)船舶舱室结构建模。舱室结构的建模依据是船舶的总布置图,总布置图上有各舱室尺寸、相对位置信息。该图一般按甲板分层绘制,格式为CAD图纸。需要将实船各舱室在总布置图上的位置对应起来,以保证各舱室模型的匹配。

2.1.2 机舱几何建模

开发机舱视景系统的主要工作集中在几何建模。由于三维场景漫游的真实感与模型的精度直接相关,要想绘制得非常逼真,建模时就需要构造高精度的模型,但如果这样建模,工作量将增加,而且更重要的是将严重影响漫游的实时性。因此,在建模过程中需要在模型的精度和绘制的速度方面折中,既要保证较好的画面质量,又要保证绘制速度。

2.1.2.1 机舱几何建模的几条准则

使用的建模软件为 3d Max。虚拟仿真应用中的模型需要满足实时渲染要求,因此,其建模要求与一般动漫产业的建模要求不完全一样,有其特殊之处。下面给出在建模过程中总结出的几条建模准则。

(1) 尽量做简模

虚拟仿真中的场景画面每一帧都是靠显卡和 CPU 实时计算出来的,如果模型面数太多,会导致软件运行速度太低,甚至无法运行,还会导致文件容量增大,系统加载时间也将加长。因此,应当尽量模仿游戏场景的建模方法,制作面数较低的简模,设备表面的细节尽可能通过法线映射和凹凸映射来表现。对螺丝、阀件、管路等需要用圆形表现的模型,圆的分段数控制在 8~12 之间。

(2) 细长形状物体尽可能用贴图表现

细长条形的物体会增加当前场景文件的模型数据量,而对场景细节表现的帮助非常有限。在实时渲染时,还容易出现锯齿与闪烁现象。因此,对这些物体,如栏杆、钢格栅板、置物架等,可以利用贴图的方式来表现,也能达到真实细腻的效果。图 2.1 为使用带 alpha 通道的贴图来表现的钢格栅板地面,实时渲染时,只需耗费少量的显存资源加载贴图,运行效率非常高。

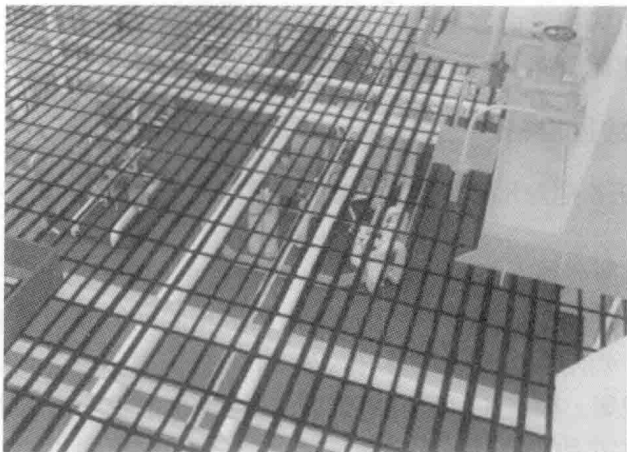


图 2.1 使用带 alpha 通道的贴图表现的钢格栅板模型图

(3) 合理分布模型密度

模型的密度分布不均会造成视锥体裁剪时计算量突变,从而影响场景渲染速度,导致画面变化时快时慢。对面数非常多而很少能完整进入视锥体范围内的模型(如船舶主柴油机),可按照最经常使用的观察位置,将模型分割成若干小模型,这样在场景渲染时会大大减少视锥体裁剪的时间。

(4) 合并相同材质模型

在组织场景数据库时,结构相同的三维实体应当尽可能共用网格(mesh)、材质(material)、纹理(texture),以减小内存占用,节省显存与系统内存之间的传输带宽。

(5) 避免出现两个面片间距过近

两个面片距离过小时,由于浮点数精度误差,会出现 Z-buffer 争夺现象,造成画面闪烁或出现条纹。推荐最小间距为当前场景最大尺度的两千万分之一。

(6) 删除不可见的面片

虽然在视景驱动部分,通过可见性裁剪可以剔除看不见的三角形,但该过程也将耗费一定的计算资源。在建立模型时,对于看不见的面可以预先删除以减少实时渲染的计算量,如舱柜内部、设备的内部结构等。

2.1.2.2 机舱场景模型的渲染与烘焙

模型建好以后要对其进行烘焙,烘焙的主要目的就是使模型看上去更加真实。它是通过对模型预先进行渲染,将物体的原始纹理和全局光照及阴影效果渲染到一张特殊的纹理上,并作为图片存储起来,通过烘焙后的物体模型在实时视景渲染时具有静态的光照及阴影效果,不需要计算机重新计算,减少了实时运算量。图 2.2 为在几何建模软件中为柴油发电机主体部分预先烘焙的贴图,可以看出,该贴图上有较明显的明暗效果。实时渲染时,柴油发电机使用该贴图。如图 2.3 所示,即使没有灯光照射,也能表现出全局光照的明暗效果。

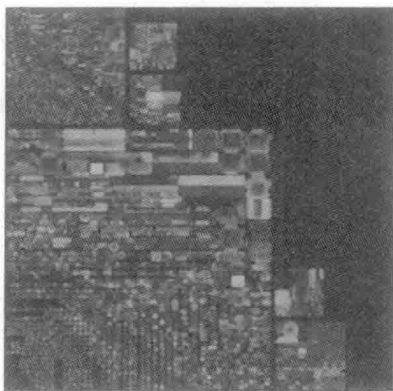


图 2.2 柴油发电机烘焙贴图

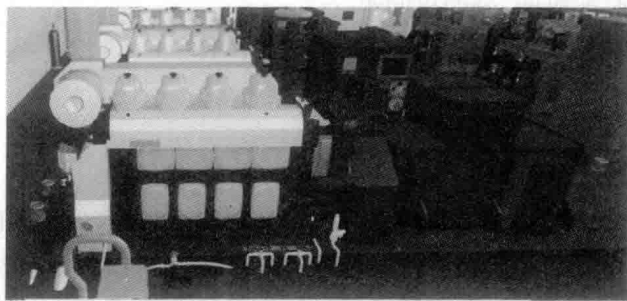


图 2.3 柴油发电机实时渲染截图

需要指出的是,使用烘焙的方法虽然可以预先生成光照及阴影效果,但该方法工作量较大,而且烘焙得到的贴图资源在实时漫游时也将占用较大的显存空间。另外,该法产生

的光照效果是静态的,若在漫游时希望有动态的光照效果,还需在图形引擎中实现局部光照。在 2.2 节中使用着色器实现了一个像素级的动态局部光照效果。

2.1.3 机舱三维场景的层次结构

大规模场景的虚拟现实应用系统中,场景内容的构成往往比较复杂,整个场景一般由多个部分组成,每个部分又由若干局部场景和对象组成。据此,可将场景划分为一个树形结构。在船舶虚拟机舱场景中,我们首先按照船舶结构将其分为多个舱室,如主机舱一层、副机舱一层、集控室等。然后每个舱室中,按照设备及管系功能进一步分区,如主机舱一层中,可分为中央冷却水系统、污水系统、主机曲轴箱、压缩空气系统等。每个系统又包含若干设备,如中央冷却水系统包括中央冷却器、低温淡水泵、主海水泵等。每一个设备又包含若干个零件。图 2.4 描绘了船舶虚拟机舱场景的层次结构图。

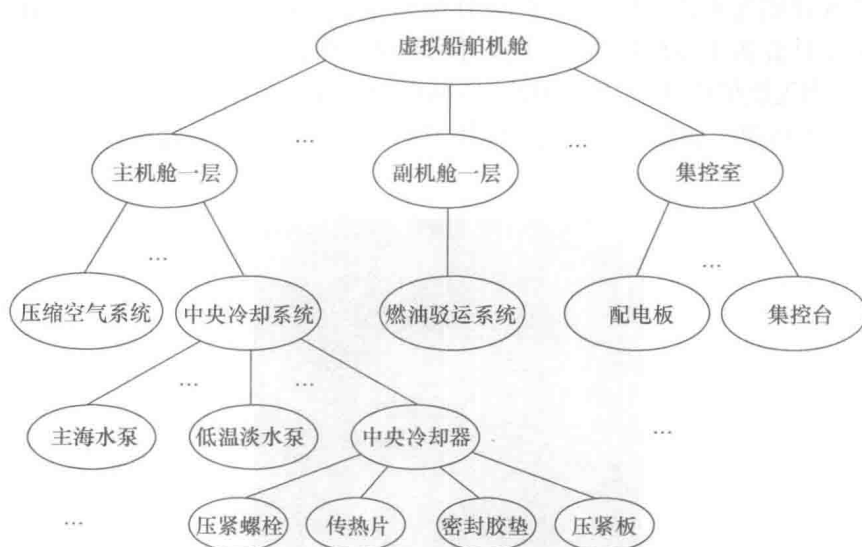


图 2.4 虚拟机舱场景的层次结构图

根据实船舱室结构,我们将模型划分成若干个分区,如主机舱底层、主机舱二层、主机舱三层、应急发电机间、舵机间、分油机间等。

附录 A 为建立的机舱三维模型部分分区的渲染图像。

2.1.4 拆装设备建模几何建模

(1) 模型优化与着色

在保留轮机设备的主要组成零件基本形状特征和材质特征的前提下,对模型要进行合理简化。一般采用三角面片对模型进行表达,这种方式在模型显示和碰撞检查方面具有处理简单、计算量小的优点。在制作模型的过程中,应该尽可能控制三角面片数,对一些次要零件的表面结构进行合理的简化处理,尽量减少曲面建模。在三维建模软件中,可以对面片数进行优化和精简。另外,对于设备中用到的标准件,如螺钉等应采用统一的模型。

为使轮机设备中各零件即使处于装配位置时也能反映出其内部零件连接情况,可以在材质编辑器中调整其不透明度,以使此类零件呈现半透明的状态。为实现被拾取零件的高

亮显示,可以应用模板缓存技术。

(2) 动画生成与导出

运用动画来表现零件的拆装过程,可以避开虚拟装配中零件的碰撞检测、运动路径规划、位姿规划等问题。因此,动画的制作是建模过程的一项重要工作。

在三维建模软件中可以采用设定关键帧方法自动生成零件的拆装过程动画。制作动画前,所有零件的几何模型应已建立完毕。此时,根据实船的拆卸过程,应先编写出动画的脚本。脚本中应包含拆装运动信息、零部件之间的配合约束关系(如定位关系、运动关系、连接关系等)。根据运动的类型,可以将动画分为螺旋运动、直线运动及空间运动。螺旋运动常用于表现采用螺纹的拆装过程,直线运动用于表现零件拆装过程中的分离活动,空间运动用于表现拆装过程中零部件在虚拟场景中空间位置变换的运动。脚本中的关键信息包括零件名称、初始位姿、起始关键帧、结束关键帧、结束位姿、时间缩放倍率等。

2.2 考虑衰减的 Blinn-Phong 光照模型

在 2.1 节中提到在建模阶段使用烘焙方法制造全局光照效果,本节将探讨局部光照模型。光照效果是影响场景真实感的重要因素,通常固定渲染管线使用标准的局部光照模型,这些模型集成于 OpenGL 和 Direct3D 为代表的标准图形接口中。船舶机舱是一个复杂室内场景,为满足日常工作需要,机舱内部灯光较为复杂,与普通的室外场景有较大不同,要实现灵活的光照效果,必须对标准的光照模型进行扩展和改进。

局部光照只考虑光线与模型表面的直接光照,通过光源的位置、光源本身的属性和光线照射到模型表面所在区域的材质来计算模型表面上点的颜色,而不考虑场景中的其他物体的影响^[60]。如图 2.5 所示,图中虚线所代表的场景中的其他物体,在局部光照条件下完全被忽略,光线直接从光源出发经模型表面反射后进入视点。做出这样的处理可以大大简化光照模型的计算复杂度,所以非常适合于实时计算。局部光照条件下通常还进一步假定场景中的模型对象均为不透明的,所以可以不考虑透射光线的计算,也就是说模型对象的颜色完全由反射光的亮度决定。

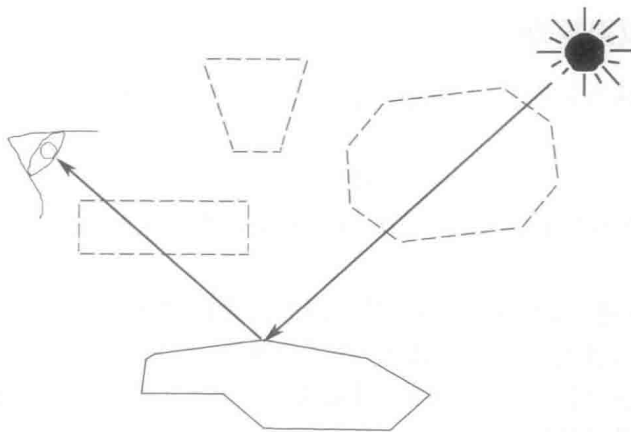


图 2.5 局部光照示意图

最早的局部光照模型为 Lambert 光照模型,它较好地表现了粗糙表面上的光照现象,如石灰粉刷的墙壁、纸张等,但在用于诸如金属材质制成的物体时,则会显得呆板,表现不出光泽,主要原因是该模型没有考虑这些表面的镜面反射效果^[61]。因此,Phong Bui Tuong^[62]提出一个计算镜面反射光强的经验模型,称为 Phong 模型。船舶机舱内的设备多为金属或塑料材质,表面较光滑。当设备被光照射时,可以在某个方向上看到很强的反射光,Phong 光照模型可以较好地模拟这种光照效果,在此基于 Phong 光照模型实现局部光照效果。

2.2.1 光照模型的向量

图 2.6 为 Phong 光照模型的向量示意图, N 为物体表面法向量; L 为灯光的方向向量; α 为 N 和 L 间的夹角; R 为反射向量,指入射光在物体表面完全反射时的方向,可以通过入射光方向 L (从顶点指向光源) 和物体法向量 N 求出,见式(2.1); V 为视线方向,由摄像机位置指向物体表面; β 为 V 与 R 的夹角。

$$R = 2(N \cdot L)N - L \tag{2.1}$$

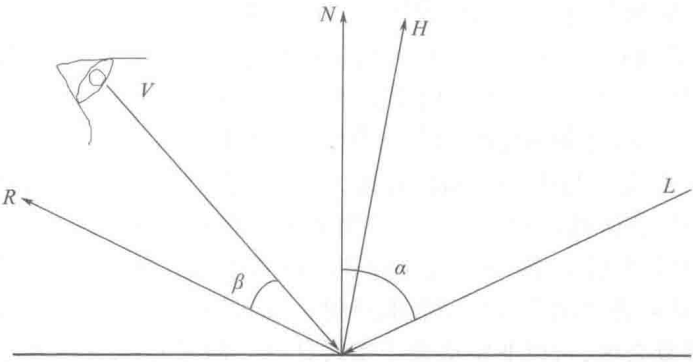


图 2.6 Phong 光照模型的向量图

2.2.2 高光效果原理

Phong 光照模型认为镜面反射的光强与反射光线和视线的夹角相关,其数学表达如式(2.2)所示

$$I = I_s \cdot C_s \cdot (\|R\| \cdot \|V\| \cdot \cos(\beta))^n \tag{2.2}$$

式中, I_s 表示材质的镜面反射强度,介于 0~1 之间; C_s 为镜面反射颜色; n 为高光指数,表示物体的光泽度。

如图 2.7 所示, n 越小,曲线越靠上,观察到的高光区域越分散且强度越弱,对应的物理意义是物体越粗糙,反射光越分散; n 越大,曲线越靠下,反射光越集中,只有当 V 与 R 夹角非常小时才能看到镜面反射的高光现象,当偏离反射方向时,光线衰减很快,对应的物理意义是物体越光滑,反射光越集中。