

电子战视景仿真技术与应用

汪连栋 张德锋 著
聂孝亮 马孝尊



国防工业出版社
National Defense Industry Press

E919

5

2007

电子战视景 仿真技术与应用

汪连栋 张德锋 著
聂孝亮 马孝尊

国防工业出版社

·北京·

图书在版编目(CIP)数据

电子战视景仿真技术与应用 /汪连栋等著. —北京:国防工业出版社,2007.2

ISBN 978-7-118-04977-0

I. 电... II. 汪... III. 电子战-视景模拟-计算机仿真
IV. E919

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 012571 号

※

国防工业出版社 出版发行

(北京市海淀区紫竹院南路 23 号 邮政编码 100044)

国防工业出版社印刷厂印刷

新华书店经售

*

开本 850 × 1168 1/32 印张 8 1/8 字数 229 千字

2007 年 2 月第 1 版第 1 次印刷 印数 1—4000 定价 26.00 元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

国防书店: (010)68428422

发行邮购: (010)68414474

发行传真: (010)68411535

发行业务: (010)68472764

前 言

电子战系统建模仿真大都涉及多武器平台的联合作战与电子信息对抗,战场环境复杂,数学模型规模庞大,输入输出数据繁多。而基于传统型构造仿真方法分析手段很抽象,对于繁杂的数学公式和大量的数据,除了建模仿真人员了解其真实情况外,很难知其所以然。一般的参试人员、决策分析人员和决策者,会感到无所适从,难以迅速准确地做出判断,这就需要有一种全新的手段和研究分析环境,将数学模型和数据转变成视觉、听觉和触觉效果,使分析的过程和结果变得看得见和听得到,既有抽象的理性的定量分析,又有形象的感性的定性分析,使数据分析与形象描述相结合。这样的分析手段不仅更加直观,而且可以提高仿真的真实性。在这样的研究分析环境中,人机界面更加和谐,研究分析更加透明,沟通和理解更加容易,可以为系统研究人员、试验训练人员和决策分析人员创造一个共享的视听环境,用共同的语言来研究、分析和探讨问题,提高电子信息武器装备试验训练的质量和水平。这里涉及很多技术问题,但核心技术是视景仿真技术。

视景仿真技术是近几年随着计算机技术与仿真实理论的发展而发展起来的一门新兴学科,其采用计算机图形图像技术,根据仿真的目的,构造仿真对象的三维模型并再现真实的环境,达到非常逼真的仿真效果。由于视景仿真具有表现的直观性、逼真性,越来越受到重视。如何准确、形象、全面地表达电子战系统的作战态势、进程以及对抗效果正是电子战视景仿真研究的主要内容,也是本书阐述的主要内容。

全书共分七章。第1章为电子战视景仿真,主要内容包含视景仿真概述、电子战仿真、电子战视景仿真系统和视景仿真系统开

发环境;第2章为视景仿真系统基础理论,主要内容包含视景仿真概述、三维视景生成原理、视景模型组织与实时场景调度算法和三维视景仿真技术;第3章为视景仿真建模技术,主要内容包含实体的建模方法、实体建模的一般过程、LOD模型构建、大场景建模技术、基于MultiGen Creator的三维建模技术和基于CTS的大场景建模技术;第4章为Vega Prime视景仿真驱动技术,主要内容包含位置、姿态和坐标系、碰撞检测技术、特效技术、三维场景观察技术、OpenGL在Vega Prime中的应用、基于VSG的动态模型生成技术和Vega Prime内核;第5章为电子战视景仿真系统设计与开发,主要内容包含系统模型需求分析、三维视景模型建立、三维视景开发和系统开发关键技术;第6章为电子战视景仿真系统开发应用,主要内容包含电子战视景仿真系统开发过程、电子战视景仿真系统运行结构、电子战视景仿真中的典型表现效果和电子战视景仿真系统开发实例;第7章为三维电子沙盘系统设计与开发应用,主要包含概述、三维电子沙盘系统设计和三维电子沙盘系统开发实践等。

本书是电子战系统视景仿真的一本专著,是作者多年理论研究成果和工程实践经验的总结。本书全面而系统地论述了电子战视景仿真建模和实时驱动的理论及视景仿真系统的设计与开发方法,并介绍了这一领域的最新研究成果。本书内容新颖,系统性强,理论联系实际,具有很强的实际应用背景,基本反映了近年来视景仿真技术研究领域的新理论、新方法和新成果,具有较高的学术技术水平和应用价值。

本书可供视景仿真尤其是电子战视景仿真等领域研究工作的科学工作者使用。也可作为高等院校虚拟现实技术、计算机应用、电子工程等专业的教师和研究生进行有关课题研究实践或课程学习时的参考书。

在本书的撰写出版过程中,得到了许多同志的大力支持与帮助,在此向他们表示深深的感谢并致以崇高的敬意。首先要感谢王国玉博士研究员,他对本书的内容做了严格的审查,并提出大量

宝贵意见;其次要感谢陈永光、王国良、王华兵、薛原和郭金良同志,他们曾经指导或直接参与了书中大量例子的实践工作,在本书编写的过程中,他们提出了很多宝贵的意见和建议,并参与了全书的修改与修订工作;另外,还要感谢崔文惠、朱利晶、申绪洞、戚宗锋、蒙洁、狄东宁、孔德培、冯涛、胡煜、彭燕、王伟、曾勇虎、李永祯、周颖、冯润明等同志,他们给本书的编写提出了很多宝贵的建议。在这里要特别感谢多名同志撰写的论文和专著,我们从中得到很大的启发和借鉴,参考的各类文稿我们尽量都列到参考文献之中,但还有遗忘或遗漏,在这里也一并感谢那些无名的英雄。最后还要感谢所有关心和帮助过本书出版的家属、编辑和单位的各级领导。

由于本书内容涉及领域较新,有些问题还在进一步深入研究,加之作者水平有限,书中定有缺点与不足之处,恳请读者不吝指教。

作者

2006年11月

目 录

第 1 章 电子战视景仿真	1
1.1 视景仿真概述	1
1.1.1 视景仿真定义和功能	1
1.1.2 视景仿真发展动态	5
1.1.3 视景仿真在军事领域中的应用	7
1.1.4 视景仿真关键技术	9
1.1.5 视景仿真系统组成	10
1.2 电子战仿真	11
1.2.1 电子战	11
1.2.2 电子战仿真	15
1.2.3 基于 HLA 的电子战仿真	22
1.3 电子战视景仿真	26
1.3.1 电子战视景仿真特点	26
1.3.2 电子战视景仿真组成	27
1.4 视景仿真系统开发运行环境	29
1.4.1 视景仿真典型开发环境简介	30
1.4.2 视景仿真典型运行环境	39
第 2 章 视景仿真系统基础理论	40
2.1 概述	40
2.2 三维视景的生成原理	41
2.2.1 视景生成过程	41
2.2.2 视景内部表示	42
2.3 视景模型组织与实时场景调度算法	45

2.3.1	场景数据模型的组织和管理的	46
2.3.2	大场景的分步调入算法	51
2.3.3	小场景的分区漫游算法	52
2.4	三维视景仿真技术	56
2.4.1	视点选取与变换	56
2.4.2	大场景地形建模与显示	58
2.4.3	实例技术	59
2.4.4	纹理映射技术	61
2.4.5	单元分割技术	63
2.4.6	天空、地物和地貌构造	64
2.4.7	自然现象的模拟实现技术	66
2.4.8	音效技术	66
2.4.9	三维实时显示技术	67
第3章	视景仿真建模技术	71
3.1	实体的建模技术	71
3.1.1	几何建模	72
3.1.2	运动建模	73
3.1.3	物理建模	74
3.1.4	对象行为建模	75
3.2	实体建模的一般过程	75
3.3	LOD 模型构建	76
3.3.1	静态 LOD 模型构建	77
3.3.2	动态 LOD 模型构建	78
3.4	大场景建模技术	89
3.4.1	概述	89
3.4.2	大场景建模原理	90
3.4.3	纹理数据的组织	90
3.4.4	三维地形的建模	92
3.4.5	以卫星影像为纹理的大场景模型生成技术	98
3.5	基于 MultiGen Creator 的三维建模技术	111

3.5.1	基于 Multigen Creator/CTS 的建模流程	112
3.5.2	基于 MultiGen Creator 的三维场景建模技术	113
3.6	基于 CTS 的大场景建模技术	136
3.6.1	构建纹理 LOD	136
3.6.2	构建地形 LOD	140
3.6.3	人文特征添加	143
3.6.4	生成 MetaFlight 数据库	144
3.6.5	实例效果	145
第 4 章	Vega Prime 视景仿真驱动技术	147
4.1	位置、姿态和坐标系	147
4.1.1	坐标系及坐标转换	148
4.1.2	仿真物体姿态角	151
4.1.3	仿真对象驱动	157
4.1.4	Vega Prime 中的运动模型	160
4.2	碰撞检测技术	162
4.3	特效技术	164
4.4	三维场景观察技术	167
4.4.1	三维观察的过程	168
4.4.2	视点变换和模型变换	170
4.4.3	Vega Prime 中的三维观察	173
4.5	OpenGL 在 Vega Prime 中的应用	179
4.5.1	原理方法	179
4.5.2	在 Vega Prime 场景中显示汉字	181
4.6	基于 VSG 的动态模型生成技术	184
4.6.1	几何图元及其数据结构	185
4.6.2	几何图元的动态创建	187
4.7	Vega Prime 内核	189
4.7.1	基本工作流程	189
4.7.2	场景图系统	190
4.7.3	服务管理器、服务和帧循环	196

4.7.4	场景遍历	202
第5章	电子战视景仿真系统设计与开发	208
5.1	系统模型需求分析	209
5.2	三维视景模型建立	211
5.3	三维视景开发	220
5.3.1	三维视景系统开发框架	220
5.3.2	配置文件结构	226
5.4	系统开发关键技术	227
5.4.1	模型格式转换	227
5.4.2	节点访问	230
5.4.3	场景显示	231
5.4.4	场景对象	232
5.4.5	运动模型	232
5.4.6	环境构成	233
5.4.7	大场景管理	234
第6章	电子战视景仿真系统开发应用	236
6.1	电子战视景仿真系统开发过程	236
6.2	电子战视景仿真系统运行结构	237
6.3	电子战视景仿真中的典型表现效果	237
6.4	电子战视景仿真系统开发实例	241
6.4.1	视景仿真系统组成和工作流程	242
6.4.2	视景仿真系统设计	244
6.4.3	效果与关键技术分析	246
第7章	三维电子沙盘系统设计与开发应用	250
7.1	概述	250
7.2	三维电子沙盘系统设计	251
7.2.1	三维电子沙盘系统体系设计	251
7.2.2	三维电子沙盘主要功能设计	253
7.3	三维电子沙盘系统开发实践	256
7.3.1	系统分析与设计	256

7.3.2 投影方式的选取	256
7.3.3 三维场景通视分析、编辑与视点控制	257
7.3.4 三维电子沙盘系统开发实践效果	265
参考文献	268

第 1 章 电子战视景仿真

电子战视景仿真的目的是为全面表现电子战系统的作战和试验态势、进程以及对抗效果等,因此,电子战视景仿真不仅要表现出电子战试验的整个战场或对抗态势,又要表现电子战试验环境下电子信息装备、电子信息对抗装备以及各种电子作战装备的状态及状态变化的过程,同时也要表现出各装备的对抗效果,从而能够直观地反映出电子战对抗的整个过程。

本章主要从视景仿真定义与功能、发展动态、在军事领域中应用、关键技术和系统组成等方面进行了概述,在此基础上阐述了电子战仿真和电子战视景仿真,最后介绍了视景仿真典型开发运行软硬件环境。

1.1 视景仿真概述

1.1.1 视景仿真定义和功能

视景仿真技术是以相似原理、信息技术、系统技术、多媒体技术、虚拟现实技术及与其应用领域相关的专业技术为基础,以计算机和多种物理效应设备为工具,利用系统模型对实际的或设想的系统进行试验研究的一门综合性技术。视景仿真是实现信息的多维化、人机多维交互的最佳途径,为用户创造了一个实时反映实体变化与相互作用的多维图形世界。

视景仿真是虚拟现实技术的重要表现形式,它使用户产生身临其境感觉的交互式仿真环境,实现了用户与该环境直接进行自

然交互。视景仿真采用计算机图形图像技术,根据仿真的目的,构造仿真对象的三维模型或再现真实的环境,达到非常逼真的仿真效果。它可分为视景仿真建模和视景仿真驱动。视景仿真建模主要包括:模型设计与实现、场景构造与生成、纹理设计制作、特效设计等,它要求构造出逼真的三维模型和制作逼真的纹理和特效;视景仿真驱动主要包括:场景驱动、模型调度处理、分布交互、实时大场景处理等,它要求高速逼真地再现仿真环境,实时响应交互操作等。

视景仿真综合应用计算机技术、图形处理与图像生成技术、立体影像和音响技术、信息合成技术、显示技术等诸多高新技术。应用视景仿真有利于缩短电子信息装备的试验和研制周期,提高试验和研制质量,节省试验和研制经费。视景仿真已经在许多领域得到了广泛应用,如城市规划、大型过程漫游、交互式战斗仿真等。特别是,它十分适合应用在军事领域的作战训练和武器研制与采办,例如,运用视景仿真技术建立起一个虚拟的、非常逼真的电子战场环境,使攻防双方的作战人员沉浸在由计算机产生的作战环境中,它为武器装备研制、战术训练和演练提供了非常有效、经济的手段和途径,具有十分显著的经济效益并已成为军事领域里重要的高科技手段之一。目前,在很多领域,视景仿真技术已成为支撑仿真系统软件的一个重要技术组成部分,它也是虚拟现实技术、分布式交互仿真技术研究的主要内容之一。

1. 实时应用与三维动画

实时和动画应用都是模拟真实和想象的世界,用高度细节模型,产生平滑连续的运动,并以一定的帧速率(帧/秒,F/S)进行绘制来达到无缝的演示。动画主要用于电影、印刷以及其他预先设计好的演示。实时应用主要用于仿真,需要对用户输入做出反应,如军事交互仿真、飞行训练、影视游戏、城市交互漫游等。

2. 实时应用与动画的区别

实时应用:每帧都是实时绘制,这意味着当用户改变方向以及从何处穿越场景、如何观看时,帧是连续地重新计算并绘制。

动画:每帧是预先绘制好的,即动画设计师设置帧绘制顺序并选择要观看的场景。每一帧甚至要花上数小时来进行绘制,而在实时应用中,每帧通常要在 $1/30\text{s}$ 内完成。

实时应用是高交互的,用户控制场景中物体的运动;动画没有用户交互,用户只是被动的观察者。

实时应用的重点是交互性和意图实现。实时应用中的模型与动画模型相比较,通常有较少的细节,以提高绘制速度并减少“滞后时间”(指用户输入和应用程序做出相应反应之间的时间)。为了达到真实的实时仿真效果,滞后时间要尽可能短到用户无法发觉。

动画的重点是非交互的美学和视觉效果。在动画中的模型常有很多细节,因为每帧都是预先绘制的,绘制速度的效果就能被预先决定。

实时应用可以用多种帧速率来显示,取决于应用的目的和屏幕场景的复杂性;动画常以固定的帧速率(如 24 帧/s)来显示预先绘制好的影像序列,是既定的。

一般来讲,实时仿真系统具有如图 1-1 所示的总体框架。

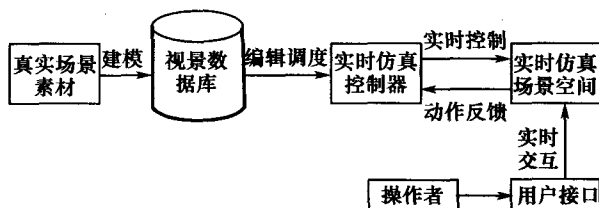


图 1-1 实时仿真系统总体框架

近年来,随着 CAD(Computer Aided Design)技术的普及,使得设计者可以用计算机进行三维建模,利用效果图和三维动画来表现真实世界的三维空间。然而,效果图只能提供静态局部的视觉体验;动画虽然有较强的动态三维表现力,但不具备实时的交互性,观察者是被动的,而且对方案的修改以及观察者路线的变化需要重新计算,几天甚至几周才能看到结果,需要相当高的投入,而且只能实现简单、固定的演示功能,因此也未能在设计领域被广泛

应用。实时仿真系统则可以很好地解决上述问题,它将以前的平面设计变成具体形象的三维场景,没有时间限制,并且场景中三维景观具有实时交互性。

在设计成果的展示方面,实时仿真系统更具有传统技术不可比拟的优势,系统中的沉浸感和互动性不但能够让用户获得身临其境的直观体验,同时还能随时获取项目的数据资料,而且更可以导出视频文件用来制作多媒体宣传资料,进一步提高项目的宣传展示效果。

实时仿真系统不仅对传统的平面设计图纸具有比较优势,而且在诸多方面也远胜于近年来使用较多的效果图与三维动画。从表 1-1 所列的对照不难看出,实时仿真系统必将成为继 CAD 之后普遍应用的一种重要的辅助设计和终端表现工具。

表 1-1 实时仿真系统与三维动画的区别

比较类型	实时仿真系统	三维动画
作品范畴	仿真环境由基于真实数据建立的三维数字模型组合而成,严格遵循工程项目设计标准和要求,属于科学仿真系统	场景画面由动画制作人员根据材料或想象直接绘制而成,与真实的环境和数据有较大的差距,属于演示类艺术作品
功能	操纵者亲身体验虚拟三维空间,身临其境。操纵者可以实时感受运动带来的场景变化,步移景异,并可以亲自布置场景,具有双向互动的功能	预先假定的观察路径,无法改变。只能如电影一样单向演示,场景变化、画面需要事先制作生成,耗时、费力、成本较高
效果	支持立体显示和 3D 立体声,三维空间更真实。在实时三维环境中,支持方案调整、评估、管理、信息查询等功能,适合较大型复杂工程项目的规划、设计、管理等需要,同时又具有更真实和直观的多媒体演示功能	不支持立体显示和 3D 立体声,只适合简单的演示功能

1.1.2 视景仿真发展动态

随着各项技术的发展和计算机图形功能的增强,国内外越来越多的研究人员将采用视景仿真技术来探索自然的奥妙,如进行战术仿真模拟、设计并组装虚拟样机等方面的研究。

1. 国外发展动态

美国是虚拟现实(Virtual Reality, VR)技术的发源地,美国视景仿真研究技术的水平基本上就代表国际发展的水平。现在美国宇航局(NASA)已经建立了航空、卫星维护 VR 训练系统,空间站 VR 训练系统,并且已经建立了可供全国使用的 VR 教育系统。

美国 MultiGen - Paradigm 公司开发的三维实体建模/三维视景运动控制工具 MultiGen/Vega,被公认为当今最优秀的软件之一。MultiGen - Paradigm 公司提出的 OpenFlight 数据组织标准,成为事实上实时动态交互视景工业标准。其软件底层采用美国 SGI 公司提供的 OpenGL 接口标准。

美国 CG2 INC 公司也推出强有力的实时三维图形开发工具 Vtree,实现视觉仿真、实时场景生成、娱乐冒险环境模拟、任务训练、事件重现等应用。

美国 MAK Technologies 公司开发出著名的 VR - Link,用于利用 MAK 公司的 VR - Link 网络工具包,可以很容易地快速地利用美国国防部(DoD)的 DIS(Distribute Interface System)协议或新的 HLA(High Level Architecture),通过连接网络上成百上千个三维仿真器,来模拟多武器系统之间的协同或对抗。

加拿大 Virtual Prototypes(VPI)公司推出的实时仿真与训练环境 STAGE 平台主要用于大型航天、航空、国防、作战实时动态交互仿真支撑。

土耳其 Infotron INC. 公司的 VSI(Vega Stage Interface)是一个自动把 Vega 和 Stage 集成在一起的软件。它极大地减少了可视化战场环境所需的源代码的开发。

英国在视景仿真开发的某些方面在欧洲是领先的。Dimen-

sion Interational 公司是桌面视景仿真的先驱。目前,许多学术界和工业界的用户喜欢该公司基于 PC486 系统提供的优质图像和实时交互特性开发工具。

日本也是目前实时视景仿真技术的研究与开发中居于领先的国家之一,主要致力于建立大规模视景仿真知识库的研究。另外在 VR 游戏方面的研究也做了很多工作。东京大学的原岛研究室开展了三项研究:人类面部表情特征的提取、三维结构的判定和三维形状的表示和动态图像的提取。东京大学的广濑研究室重点研究 VR 的可视化问题。为了克服当前现实和交互作用技术的局限性,他们正在开发一种虚拟全息系统。

2. 国内发展动态

和一些发达国家相比,我国视景仿真技术还有一定的差距,但已引起政府有关部门和科学家们的高度重视。根据我国的国情,制定了开展视景仿真技术研究的计划,例如,“十五”及“十一五”规划、国家自然科学基金会、国家高科技研究发展计划等都把 VR 技术列入在研究项目计划之内。在紧跟国际新技术的同时,国内一些重点院校、科研院所和部队研究单位已积极投入到这一领域的研究工作中。

北京航空航天大学计算机系是国内较早进行 VR 技术研究的单位之一,他们进行了一些基础知识方面的研究,实现了分布式虚拟环境网络设计,可以提供实时三维动态数据库和开发 VR 应用系统的开发平台,并与有关单位实现远程链接。

浙江大学 CAD&CG 国家重点实验室开发了一套桌面型虚拟建筑环境实时漫游系统,该系统采用了层面叠加的绘制和预消隐技术,实现了立体视觉,同时还提供了方便的交互工具,使整个系统的实时性和画面的真实感都达到了较高的水平。另外,他们还研制出了在虚拟环境中一种新的快速漫游算法和一种递进网格的快速生成算法。

哈尔滨工业大学计算机系已经成功地虚拟出了人的高级行为中特定人脸图像的合成、表情的合成和唇动的合成等技术问题,并