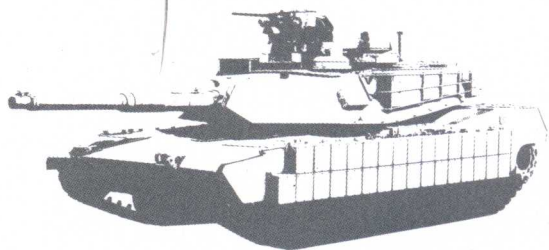




■ 贾连兴 朱英浩 张江 等编著

# 三维可视化仿真

## 3D Visual Simulation



國防工業出版社

National Defense Industry Press

# 三维可视化仿真

主 编	贾连兴		
副主编	朱英浩	张 江	刘德祥
编著者	贾连兴	朱英浩	张 江
	刘德祥	汪 霖	靳 焰
	曾广军	王梦兰	鲁云军
	李 强		

国防工业出版社

·北京·

## 内 容 简 介

本书主要包括三维可视化仿真的相关理论以及基于多种典型平台的三维可视化仿真。前4章为第一部分,主要介绍了三维可视化仿真的相关概念、三维模型的构建、现代仿真技术、三维可视化仿真系统平台等。后7章为第二部分,介绍了基于 OpenGL、DirectX、Vega、STK、VR-Platform、OSG、Web 等开发平台的三维可视化仿真系统开发的理论基础、技术、程序设计和实例。

本书可作为从事虚拟现实、作战仿真、城市规划、虚拟医疗、模拟驾驶、展览展示等方面研究人员的参考书。

### 图书在版编目(CIP)数据

三维可视化仿真 / 贾连兴等编著. —北京:国防工业出版社,2017.3

ISBN 978 - 7 - 118 - 11152 - 1

I. ①三… II. ①贾… III. ①三维 - 可视化仿真  
IV. ①TP391.92

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第 035821 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 100048)

腾飞印务有限公司印刷

新华书店经售

\*

开本 787 × 1092 1/16 印张 19 1/4 字数 438 千字

2017 年 3 月第 1 版第 1 次印刷 印数 1—2000 册 定价 88.00 元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

国防书店:(010)88540777 发行邮购:(010)88540776

发行传真:(010)88540755 发行业务:(010)88540717

# 前 言

三维可视化仿真是当今作战仿真、科研教学、城市规划、旅游景观、虚拟医疗、模拟驾驶、展览展示等方面的重要组成部分和关键技术。围绕作战行动三维可视化仿真、通信系统三维可视化仿真、战场态势三维可视化仿真、战场三维实体模型管理、电子沙盘、三维地形仿真、航道仿真、数码城市仿真、虚拟公园构建和网上三维虚拟展览等内容,20 余年来我们先后采用 SGI 图形工作站、高性能 PC 图形工作站,基于一些典型软件平台进行三维可视化仿真系统开发,很好地完成了军队和地方相关课题 10 余项,并成功地应用在军队重大科研项目、重大军事演习、国际航空展、城市规划展等方面,相关内容进入课堂教学,培养的硕士、博士、博士后围绕这些领域进行了深入研究,在国内外刊物和全国性学术会议论文集上发表了相关研究成果。为了进一步提高应用效益,我们在这些成果的基础上,吸收、总结国内外相关专家学者和公司的成果编著了本书。

本书的主要内容包括:

- (1) 概论:介绍三维可视化仿真的相关概念、发展和主要应用的基本情况。
- (2) 三维模型构建:介绍三维实体模型的构建和管理、三维地形建模以及利用三维地形模型制作沙盘。
- (3) 现代仿真技术:主要介绍仿真基础、高层体系结构 HLA 和仿真技术的应用。
- (4) 三维可视化仿真系统平台:主要内容包括硬件平台、软件平台和典型运行环境。
- (5) 基于 OpenGL 的三维可视化仿真:在介绍开放图形库(OpenGL)发展的基础上,介绍基于 OpenGL 的三维模型构建、程序设计和三维可视化应用。
- (6) 基于 DirectX 的三维可视化仿真:在介绍微软公司的多媒体编程接口(DirectX)发展的基础上,介绍基于 DirectX 的模型构建、程序设计和无人机起降可视化仿真应用。
- (7) 基于 Vega 的三维战场仿真:在介绍 Vega 概述和基础开发技术的基础上,介绍基于 Vega 的三维模型构建、集成编程和分布式兵演三维态势显示。
- (8) 基于 STK 的三维战场仿真:在介绍卫星仿真工具(STK)软件的基础上,介绍基于 STK 的三维模型、三维场景构建及优化和 STK 与 VC 联合编程。
- (9) 基于 VR-Platform 的三维可视化仿真:在介绍虚拟现实平台(VR-Platform)的基础上,介绍 VR-Platform 系统使用和基于 VR-Platform 的虚拟可园。
- (10) 基于 OSG 的三维可视化仿真:在介绍虚拟现实平台(OSG)的基础上,介绍基于 OSG 的三维场景及模型构建、交互功能实现和我建我家园三维可视化仿真应用。
- (11) 基于 Web 的三维可视化仿真:在介绍基于 Web 的三维图形技术基础上,介绍基

于 Web 的三维编程工具及其程序设计、三维仿真系统开发、三维虚拟军史展览馆。

本书共分 11 章,贾连兴教授主要编写了第 1~4 章和第 9 章,朱英浩教授主要编写了第 5、11 章,张江博士后主要编写了第 6、8 章和第 10 章,其他编著者参加了相关章节的编写,全书由贾连兴教授统稿。

本书的基础是 20 年来十几项相关课题的支持。感谢先后参加课题研究工作的韩世刚博士、裴波博士后、寇净磊硕士、林植博士、邝沈卿讲师、杨萍讲师、周明副教授等同仁、学生及相关人员。

我们希望本书的出版能够对相关领域感兴趣的科技人员提供良好的帮助,并进一步推动和促进三维可视化仿真的研究、开发和应用。

由于三维可视化仿真技术发展很快,部分内容可能难以满足读者需求,加上我们水平有限,不足之处请读者多提宝贵意见。

作者

2016 年 9 月于武汉

# 目 录

第 1 章 概论 .....	1
1.1 三维可视化仿真的相关概念 .....	1
1.1.1 仿真 .....	1
1.1.2 可视化 .....	2
1.1.3 三维可视化仿真 .....	3
1.2 三维可视化仿真的发展 .....	4
1.2.1 三维可视化仿真的发展历程 .....	5
1.2.2 三维可视化仿真的研究状况 .....	6
1.3 三维可视化仿真的主要应用 .....	7
1.3.1 三维可视化仿真应用分析 .....	7
1.3.2 模拟训练应用 .....	8
1.3.3 战场态势可视化应用 .....	8
参考文献 .....	9
第 2 章 三维模型构建 .....	10
2.1 三维实体模型构建 .....	10
2.1.1 三维实体模型构建概述 .....	10
2.1.2 三维实体建模关键技术 .....	11
2.2 三维实体模型管理 .....	14
2.2.1 模型的检测与重组 .....	14
2.2.2 模型的标准化处理 .....	15
2.2.3 模型内码信息编辑 .....	16
2.3 三维地形建模 .....	18
2.3.1 基本流程 .....	18
2.3.2 虚拟纹理数据库 .....	18
2.3.3 数字地形模型数据库 .....	19
2.3.4 人文特征数据库 .....	21
2.3.5 生成 METAFLIGHT 数据库 .....	22
2.3.6 实例效果 .....	22
2.4 利用三维地形制作沙盘 .....	23
2.4.1 沙盘制作概述 .....	23
2.4.2 利用三维地形制作沙盘的设计 .....	24
2.4.3 利用三维地形制作沙盘的过程 .....	25

参考文献	26
<b>第3章 现代仿真技术</b>	<b>28</b>
3.1 现代仿真基础	28
3.1.1 仿真的分类	28
3.1.2 仿真的一般步骤	29
3.1.3 仿真技术的发展	29
3.2 高层体系结构	31
3.2.1 基本概念	31
3.2.2 RTI 服务简介	32
3.2.3 HLA 规则	34
3.2.4 对象模型模板	35
3.2.5 联邦开发和执行过程	35
3.2.6 联邦成员的执行流程	36
3.3 现代仿真技术的应用	38
3.3.1 现代仿真技术应用分析	38
3.3.2 现代仿真技术典型应用	39
参考文献	41
<b>第4章 三维可视化仿真平台</b>	<b>42</b>
4.1 三维可视化仿真硬件平台	42
4.1.1 图形卡	42
4.1.2 图形显示设备	43
4.1.3 多通道投影系统	47
4.2 三维可视化仿真软件平台	48
4.2.1 3D API	48
4.2.2 三维可视化开发引擎	49
4.2.3 三维可视化开发应用平台	51
4.3 三维可视化仿真典型运行环境	56
参考文献	56
<b>第5章 基于 OpenGL 的三维可视化仿真</b>	<b>58</b>
5.1 OpenGL 概述	58
5.2 OpenGL 功能	59
5.2.1 OpenGL 命令功能	59
5.2.2 OpenGL 命令基本流程	60
5.2.3 模型对象的 OpenGL 描述	61
5.2.4 OpenGL 的模型显示	64
5.3 基于 OpenGL 的程序设计	70
5.3.1 OpenGL for VC++	70
5.3.2 SharpGL for VC#	71
5.3.3 OpenGL ES for C	71

5.4	基于 OpenGL 的三维可视化应用	81
5.4.1	三维河道动态模拟	81
5.4.2	基于线划图及摄像机的三维校园模拟	86
	参考文献	90
<b>第 6 章</b>	<b>基于 DirectX 的三维可视化仿真</b>	<b>91</b>
6.1	DirectX 概述	91
6.1.1	DirectX 的特性	91
6.1.2	DirectX 驱动解决方案	92
6.1.3	DirectX 组件	92
6.2	基于 DirectX 的模型构建	94
6.2.1	L 文件格式	95
6.2.2	3DS Max 导出插件	97
6.2.3	DirectX 读取 L 文件函数	100
6.2.4	L 文件渲染绘制	101
6.2.5	基于 L 文件的绘制效果	102
6.3	基于 DirectX 的可视化仿真基础	102
6.3.1	DirectX3D 坐标系	102
6.3.2	DirectX3D 图元及顶点	103
6.3.3	3D 图形的成像过程	104
6.3.4	纹理映射技术	105
6.3.5	广告牌技术	105
6.4	基于 DirectX 的无人机起降可视化仿真系统	106
6.4.1	系统框架	106
6.4.2	系统软件结构	107
6.4.3	起飞和着陆的程序流程	108
6.4.4	三维仿真地形建立	109
6.4.5	无人机起飞着陆控制模块实现	110
6.4.6	无人机数学模型模块实现	110
6.4.7	无人机起降的三维可视化效果	111
	参考文献	112
<b>第 7 章</b>	<b>基于 Vega 的三维战场仿真</b>	<b>113</b>
7.1	Vega 概述	113
7.1.1	Vega 的发展	113
7.1.2	Vega 的基本功能和特点	114
7.1.3	Vega 的核心功能模块	115
7.1.4	Vega 的类及其基本功能	116
7.1.5	Vega 的图形界面——LynX	118
7.2	Vega 的基础开发技术	119
7.2.1	应用程序开发流程	119



7.2.2	基于 Windows 的开发方式	120
7.2.3	Vega 的应用程序框架	121
7.2.4	Vega 的图形渲染	123
7.3	三维模型构建	124
7.3.1	大地形建模	124
7.3.2	三维军标构建	134
7.3.3	三维实体建模	137
7.4	基于 Vega 的集成编程	141
7.4.1	Vega Prime 视景开发	141
7.4.2	Vega Prime 与 OpenGL 结合	143
7.4.3	特殊视景仿真	144
7.4.4	中文字符显示	145
7.5	基于 Vega 的分布式兵演三维态势显示	149
7.5.1	三维态势表现模式	149
7.5.2	三维态势实现流程	149
7.5.3	三维地形分析	150
7.5.4	实体模型配置	150
7.5.5	战场特效	152
7.5.6	系统三维态势	154
	参考文献	163
<b>第 8 章</b>	<b>基于 STK 的三维仿真</b>	<b>165</b>
8.1	STK 软件概述	165
8.1.1	STK 主要功能	165
8.1.2	STK 套件模块介绍	166
8.1.3	STK 界面	177
8.2	STK 三维场景构建及优化	183
8.2.1	STK 三维场景构建	183
8.2.2	STK 三维场景优化	193
8.3	STK 三维模型	197
8.3.1	模型浏览	197
8.3.2	模型高级应用	200
8.3.3	模型制作方法	202
8.3.4	模型优化方法	203
8.4	基于 STK 与 VC 联合编程的三维仿真系统	206
8.4.1	系统需求分析	207
8.4.2	系统方案设计	208
8.4.3	系统实现	210
8.4.4	仿真系统运行效果	219
	参考文献	219

<b>第 9 章 基于 VR-Platform 的三维仿真</b> .....	221
9.1 VR-Platform 概述 .....	221
9.2 VR-Platform 系统使用 .....	222
9.2.1 3DS Max 中的处理 .....	222
9.2.2 VRP-Builder 中的处理 .....	225
9.3 基于 VR-Platform 的虚拟可园 .....	229
9.3.1 “虚拟可园”初步设计 .....	229
9.3.2 “虚拟可园”系统实现 .....	229
参考文献 .....	231
<b>第 10 章 基于 OSG 的三维可视化仿真</b> .....	232
10.1 OSG 概述 .....	232
10.1.1 OSG 起源及特点 .....	232
10.1.2 OSG 的场景图形概念 .....	233
10.1.3 OSG 的体系结构 .....	234
10.2 OSG 三维场景及模型构建 .....	237
10.2.1 三维场景构建 .....	237
10.2.2 静态场景与运动物体建模 .....	241
10.3 OSG 的交互功能实现 .....	246
10.3.1 场景漫游 .....	246
10.3.2 碰撞检测 .....	249
10.4 基于 OSG 的“我建我家园”三维仿真应用 .....	253
10.4.1 系统界面介绍 .....	253
10.4.2 系统操作 .....	254
参考文献 .....	255
<b>第 11 章 基于 Web 的三维可视化交互仿真</b> .....	257
11.1 概述 .....	257
11.2 基于 Web 的三维编程工具 .....	258
11.2.1 VRML .....	258
11.2.2 X3D .....	265
11.2.3 Java3D .....	271
11.2.4 Unity3D .....	271
11.2.5 WebGL .....	273
11.3 基于 Web 三维编程工具的程序设计 .....	274
11.3.1 VRML 分割场景的调度 .....	274
11.3.2 X3D 分块场景的调度 .....	276
11.3.3 Java3D 编程中装载 X3D 文件 .....	278
11.3.4 WebGL 的 3D 开发 .....	279
11.4 基于 Web 的三维仿真系统开发 .....	286
11.4.1 Unity3D 引擎的开发框架 .....	286

11.4.2	基于 HLA 的 3D 实现	287
11.4.3	在 Web 页面中的 3D 实现	290
11.5	基于 Web 的三维虚拟军史展览馆	291
11.5.1	文件目录编码管理	291
11.5.2	元素生成功能	292
11.5.3	平面设计功能	292
11.5.4	版面设计功能	292
11.5.5	场景生成功能	293
11.5.6	网页生成功能	293
11.5.7	网上三维场景交互关键技术	293
	参考文献	296

# 第 1 章 概 论

本章介绍三维可视化交互仿真的相关概念、发展及其主要应用。

## 1.1 三维可视化仿真的相关概念

随着仿真技术的发展,实时、立体显示仿真过程得到了同步发展。本节从仿真、可视化、三维可视化来探讨三维可视化仿真的相关概念。

### 1.1.1 仿真

1961年,G. W. Morgenthater首次对“仿真”进行了技术性定义,即“仿真意指在实际系统尚不存在的情况下对于系统或活动本质的实现”。1984年Oren在给出了仿真的基本概念框架“建模—实验—分析”的基础上,提出了“仿真是一种基于模型的活动”的定义,被认为是现代仿真技术的一个重要概念。随着科学技术的不断发展,“仿真”的定义不断地得到发展和完善。尽管“仿真”有众多不同的定义,但仿真基于模型这一基本观点是共同的。

系统、模型和仿真,三者之间有着密切的关系。系统是研究的对象,模型是系统的抽象,仿真是通过对模型的实验以达到研究系统的目的。系统仿真实质上包括了3个基本要素:系统、模型和计算机。联系这3个要素的基本活动是系统建模、仿真建模和仿真实验。这些关系可用图1.1描述。

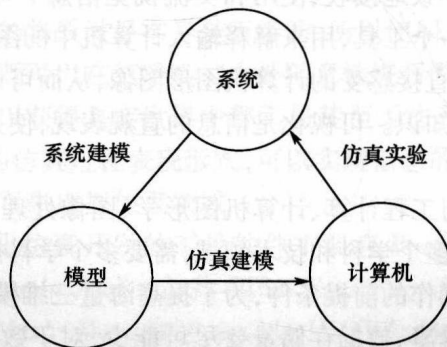


图 1.1 仿真三要素及 3 项基本活动

综合国内外仿真学者对系统仿真的定义,可对系统仿真做出如下的定义:

系统仿真是建立在控制理论、相似理论、信息处理技术和计算技术等基础之上,以计算机和其他专用物理效应设备为工具,利用模型对真实的或假想的系统进行实验,并借助专家经验知识、统计数据和信息资料对试验结果进行分析和研究,进而做出决策的一门综

合性的和试验性的学科。

上述定义中的计算技术,除了包含通常意义下的计算理论和技术,还应该包括现代运筹学的绝大部分内容。另外,“模拟”是一个与“仿真”意思相似的词,它们都译自英文的 Simulation。一般来说,早期称模拟的多,近期称仿真的多;俄译称模拟的多,英译称仿真多;在我国军界称模拟多,民用称仿真多;侧重技能训练的称模拟,侧重系统环境的称仿真。现在的趋势是,越来越普遍地将 Simulation 翻译为“仿真”。

### 1.1.2 可视化

可视化是利用计算机图形学和图像处理技术,将数据转换成图形或图像在屏幕上显示出来,并进行交互处理的理论、方法和技术。它涉及计算机图形学、图像处理、计算机视觉、计算机辅助设计等多个领域,成为研究数据表示、数据处理、决策分析等一系列问题的综合技术。目前正在飞速发展的虚拟现实技术也是以图形图像的可视化技术为依托的。可视化包括二维可视化和三维可视化。二维是平面维度,二维可视化也称平面可视化。三维通常是空间维度,一般指长、宽、高。三维可视化也称立体可视化。

#### 1. 科学计算可视化和信息可视化

科学计算可视化(Visualization in Scientific Computing)是指运用计算机图形学和图像处理技术,将科学计算过程中及计算结果的数据转换为图形和图像在屏上显示出来,并进行交互处理的理论、方法和技术,其核心是三维数据场的可视化。也可认为,可视化技术是一种计算方法,它将不可见的或抽象的过程或结果转化为形象直观的符号、图形或图像,它可以在人与数据、人与人之间实现图像通信,以利于人们发现、分析、理解和把握所研究对象的总体状态和变化趋势,从而在更深层次上认识事物。

可视化技术具有视觉交流传输和视觉认知分析特征,而且带有浓厚的计算机技术特征。无论是科学计算可视化还是信息的可视化,归结起来,都是一种将抽象符号(信息)转化为几何图形的计算方法,以便研究者能够观察其模拟和计算的过程和结果。它主要研究人和计算机怎样协调一致地接收、使用和交流视觉信息。可视化包括图像的理解和综合,也就是说,可视化是一个工具,用来解释输入计算机中的图像数据,并根据复杂的多维数据,生成人的视觉可以直接感受的计算机图形图像,从而可以进行数据关系特征探索和分析,以获取新的理解和知识。可视化是信息的直观表现,使人们能更容易地理解数据和信息的意义。

可视化技术涉及科学与工程计算、计算机图形学、图像处理、网络技术、视频技术、计算机辅助设计、人机界面等多个学科和技术领域,需要多个学科推动其进一步的发展。如快速漫游是进行实时交互操作的前提条件,为了提高海量三维模型数据的漫游速度,必须使三维数据模型存储结构紧凑、数据存储量要尽可能少,对于数据库管理技术、空间索引技术、并行计算技术、复杂模型的简化技术等方面都有很高的要求。另外,可视化技术对计算机硬件设备也提出了一定的要求。实时交互三维显示的速度是由机器的内存、显示卡以及三维图形的渲染方法等软硬件设备条件共同确定的。当给出模型的数据量超出了机器内存所能处理的最大量时,不能一次把所有的模型数据都装入内存进行操作和显示,从而需要硬件设备能够提供快速的内存交换机制以及内存页面交换技术。此外,由于还需要处理大量的影像用于几何模型表面的纹理贴图,因此对于显示卡也提出了更高的要

求,从而能够进行纹理数据压缩处理。

## 2. 战场可视化

战场可视化(Battle field Visualization)是指通过可视化、虚拟现实等技术,利用数字化战场环境数据和实时获取的战场态势信息,构造的战场态势详图或虚拟战场。战场可视化重点研究和实现战场环境可视化和战场态势可视化。

实现战场可视化需要有以下几方面的基础:

(1) 需要数字化战场建设系统的成果基础,为可视化系统提供战场环境信息数据源。战场环境信息包括战场地理环境、战场气象环境、战场电磁环境等信息,其中又以战场地理空间信息最为重要,是整个战场可视化系统的基础。

(2) 需要先进的战场探测感知系统的支持,为可视化系统提供战场态势信息。战场探测感知系统包括专用侦察系统、武器平台系统甚至单兵侦察设备等各级各类战场态势感知系统,战场态势信息包括敌我友军位置、作战企图、作战方案、交战过程等要素。

(3) 需要纵横交错的数字化通信网络支持,实现并确保战场信息的共享和快速传递。保证战场态势感知信息能实时、准确地进入可视化系统,不仅使上级可以了解敌我友的位置、态势、集结、部署、机动、损耗及战果情况,而且所有作战单元甚至单兵也同样可以获得一致的战场详细信息。

### 1.1.3 三维可视化仿真

#### 1. 三维可视化仿真的概念

三维可视化仿真(3D Visual Simulation)是综合计算图形学技术、多媒体技术、数据库技术等为一体的一门新兴技术,它采用三维图像、三维声响以及友好的人机交互界面,使参与仿真的人员获得与实际物理参与联试相同或相似的感受,给人以超乎曲线、表格、文本等传统形式以外更直观和身临其境的体验。三维可视化仿真也称视景仿真,具体而言就是实现三维空间信息的可视化。三维可视化仿真的目标是使用户能够与真实三维世界的可视化模型进行实时的可控制的交互,即在虚拟环境中体验真实世界。这里强调的是三维模型,是因为我们生活的物质世界本身是三维的,所以使用三维图形会比使用二维图形具有更高的真实感,这样既可以在三维模型内外随意地进行漫游,又可以在虚拟三维空间中充分发挥想象,从而可以获得真实世界中都不易甚至无法获得的各种体验。三维可视化仿真作为一种最直观的仿真过程表现形式,可以实现信息的多维化和人机多维交互,其应用日益广泛,尤其是在军事虚拟仿真领域。

目前用于三维可视化仿真开发的工具软件主要有 Presagis 公司的 MultiGen Creator (简称 Creator)、Creator Terrain Studio(简称 CTS)、Vega Prime(简称 VP),Autodesk 公司的 3DStudio Max(简称 3DS Max)、Maya 和 AutoCAD,DSITI 公司的 GL Studio,Quantum3D 公司的 OpenGVS,中视典数字科技公司的 VR-Platform(简称 VRP),AGI 公司的 Satellite Tool Kit(简称 STK),CG2 公司的 VTree 以及 Web3D 联盟提出的 Virtual Reality Modeling Language(简称 VRML)和 eXtensible 3D Specification(简称 X3D)等。三维可视化仿真开发函数库主要有 SGI 公司的 OpenGL 和 Microsoft 公司的 DirectX。

#### 2. 三维可视化仿真与三维动画的关系

三维可视化仿真不同于三维动画。两者之间从表面上看有许多共同点,比如都使用

三维模型表现虚拟环境,都通过渲染技术来再现真实世界等,实际上它们之间有着本质的区别。

(1) 三维可视化仿真的画面是“实时”生成的,而三维动画的画面是预先渲染好的。三维可视化仿真的画面都是根据仿真的执行状态在十几秒甚至几十分之一秒的时间内即时渲染出来的;三维动画虽然在屏幕上显示出来的效果是连续的,但它可以事先设置用几个小时来渲染一帧画面。

(2) 三维可视化仿真具有高度的交互性,用户可以主动参与到仿真的过程中,仿真系统还可以对用户各种输入进行实时的响应;而三维动画因为只是连续播放渲染好的画面帧序列,所以不具备任何的交互性,用户只能被动参与或者欣赏。

(3) 三维可视化仿真的帧频率一般是变化的,从 15 帧/s(低于这个帧频率时,视觉上就会感到不连贯)到每秒几十帧甚至上百帧不等,这与仿真运行过程中的画面复杂度有直接的关系;而三维动画的帧频率是事先设定好的,画面始终保持设定的帧频率,通常为 25 帧/s 或 30 帧/s。

(4) 三维可视化仿真强调实时的交互性,而三维动画强调视觉效果。三维动画主要用于电影特效、电视广告和各种效果演示中,而可视化仿真多应用于模拟训练系统、三维游戏和各种交互展示中。值得注意的是,并不是说可视化仿真不强调真实性和视觉感受,但这种真实感必须建立在能够保证实时渲染的前提之上。

### 3. 三维可视化仿真与虚拟现实的关系

虚拟现实(Virtual Reality, VR)技术是在综合计算机图形技术、计算机仿真技术、传感技术、显示技术等多种学科技术的基础上发展起来的,它以实时的、逼真的感官接触给用户创造一个反映实体对象变化与相互作用的三维图形环境,是实时可视化仿真技术中最令人瞩目的研究和应用领域。VR 环境需要通过头盔显示器、数据手套等外部设备,使人可以“进入”这种虚拟的环境直接观察事物的内在变化,并与事物发生相互作用,给人一种“身临其境”的真实感。而 VR 技术就是采用以计算机技术为核心的现代高科技,根据仿真的目的,构造仿真对象的三维模型,生成逼真的视觉、听觉、触觉、嗅觉和空间体感五位一体的虚拟环境,用户借助必要的设备以自然的方式与虚拟环境中的对象直接进行交互作用并相互影响,从而产生“沉浸”于真实环境的感受和体验。

三维可视化仿真是虚拟现实技术的最重要的表现形式之一,是一种基于可计算信息的沉浸式交互环境。它以相似原理、信息技术、计算机技术、图形技术、信息合成技术、现实技术赋予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系统进行试验研究的综合技术。它使用户产生身临其境感觉的交互仿真环境,实现了用户与环境之间直接、自然的交互。通过高精度建模和图形渲染技术,构造仿真对象的三维模型或环境,达到非常逼真的仿真效果。同时,对三维可视化仿真技术中人体高级感官模拟的不断追求,又推动了虚拟现实的发展。三维可视化仿真着重解决虚拟现实中最重要视觉模拟的问题,是虚拟现实的基础。

## 1.2 三维可视化仿真的发展

本节包括三维可视化仿真的发展历程和三维可视化仿真的研究状况。

### 1.2.1 三维可视化仿真的发展历程

1965年计算机图形学的奠基者 Ivan Sutherland 发表了“The Ultimate Display”论文,提出了一种全新的图形显示技术,他提出能否使观察者直接沉浸在计算机生成图像构成的虚拟世界之中,犹如我们生活在真实世界中一样:观察者自然地转动头部和身体(即改变视点),他看到的场景(即计算机生成的虚拟世界)就会实时地发生改变;观察者还能够以自然的方式直接与虚拟世界中的对象进行交互,实现感觉、触摸和操作。在今天看来,Sutherland 的描述事实上是虚拟现实概念的经典描述,其中对视景的描述正是今天视景仿真/虚拟现实技术的起源。

视景仿真技术的产生源于军事仿真需求,其目的是为综合军用仿真系统提供大规模分布式的虚拟战场环境,并借助这一仿真的综合作战环境来完成对作战人员的训练,对武器装备的效能评估,以及对作战方案的验证和演练。发达国家十分重视作战建模与仿真的超前智能较量,并将其作为国防建设和军事改革重大决策过程中必不可少的环节。美国已将发展“合成仿真环境”作为国防科技发展的七大科技推动领域之一,其基础技术之一就是视景仿真,模拟和仿真技术已被列为关键技术之一。如美国国防部的先进研究计划署(ARRPA)配备的仿真网络(SIMNET),就是战场虚拟现实仿真应用中的一种,它将分布在世界各地的200多个模拟舱连接在一个实时的虚拟环境中进行合成训练。目前,已经连接了50多个地区的1000多个仿真器,并计划把其他盟国的兵力仿真系统聚合在一起,提供诸军兵种联合的综合虚拟战场。

英国研制成功的“近战环境”城市战模拟系统是世界上首次成功模拟城区环境的作战模拟系统,此系统可模拟在 $30\text{km}^2$ 的区域内进行连级规模作战对抗的仿真环境,是视景仿真技术在城区军事行动中的典型实例。

我国在这方面也正在大量的研究,随着各项技术的发展,视景仿真技术在兵器虚拟仿真器、武器对抗仿真平台、模拟军事演习等方面显示出越来越不容忽视的作用。“九五”攻关计划、国家“863”计划、国家自然科学基金会等都把视景仿真列入了资助范围。我国对分布交互式视景仿真技术的发展关注较早,而且支持研究开发的力度也越来越大。国内一些院校和科研单位,陆续开展了分布交互式视景仿真技术的研究,已经实现或正在研制的分布交互式仿真系统和视景仿真系统也不少,如:国防科技大学计算机学院设计并实现的高性能分布仿真系统;浙江大学开发的虚拟故宫,计算机辅助设计与计算机图形(CAD&CG)国家重点实验室开发出桌面虚拟建筑环境实时漫游系统。另外西安交通大学、哈尔滨工业大学、装甲兵工程学院、信息工程大学测绘学院等单位也进行了不同领域、不同方面的视景仿真研究工作,并取得了一定的研究成果。国防科技大学计算机学院并行与分析处理国防科技重点实验室于1999年11月自行设计并实现了我国第一个基于HLA的分布交互式仿真环境——银河高性能分布仿真系统,在国内首次实现了HLA/RTI规范。20世纪90年代,我国开始对分布交互仿真、虚拟现实等先进仿真技术及其应用进行研究,开展了较大规模的复杂系统仿真,由单个武器平台的性能仿真发展为多武器平台在作战环境下的对抗仿真。此后建立了分布式虚拟环境网络(Distributed Virtual Environment Network, DVENET),并在此基础开发了直升机虚拟仿真器、坦克虚拟仿真器、军事三维地理信息系统等。目前,正在开发单兵虚拟仿真器,总体设计目标是为我国军事训练与



演习提供一个多武器、多兵种协同作战及对抗的作战仿真系统。

视景仿真技术的发展与计算机软硬件技术紧密相关。从硬件平台来看三维可视化的发展,首先是基于 SGI 图形工作站的三维可视化交互仿真的发展,随着 PC 机的广泛应用,基于 PC 机图形卡的三维可视化交互仿真得到发展,目前基于高性能图形工作站的三维可视化交互仿真得到了广泛的应用。

从仿真结果输出形式的角度,主要经历了以下几个发展阶段:数值输出阶段、多媒体输出阶段、交互式实时输出阶段、分布式综合输出阶段。

**数值输出阶段。**早期仿真技术的结果是以数据的方式存在,并先后发展为纯数据、定性的自然语言、数据-二维图形、数据-三维微缩模型/沙盘等多种方式。纯数据通过屏幕或者打印的方法提供给用户,完全是抽象的数据;定性的自然语言能够用文字的形式形象地描述仿真结果;数据-二维图形方式能够提供静态、平面的仿真描述;数据-三维微缩模型/沙盘方式利用前几种数据建立实体的三维微缩模型。这一阶段的仿真输出中,以数据和数据的简单应用为主要特征。

**多媒体输出阶段:**20 世纪末多媒体技术得到迅猛发展,可以通过多媒体将仿真所得信息和数据转换成可被感受的场景。例如当前普遍应用的战场环境动画/电子沙盘系统,充分利用文本、图形、二维/三维动画、影像和声音等多媒体手段,产生一种很强的沉浸感,使可视化仿真从理论走到了实用。但是这种三维显示不具备实时性与交互性,人员只能被动地了解预先设计好的内容,无法参与其中;而且战场环境变化无响应能力,对其修改需要重新设计、建模和计算,显然不能满足瞬息万变的实际需要。

**交互式实时输出阶段:**随着 21 世纪以来图形硬件、计算机图形技术、显示技术、计算技术和 VR 外设的突飞猛进,可视化技术日益走向成熟,出现了当前普遍认同的视景仿真/虚拟现实技术。它以仿真的形式给用户实时地计算并生成一个反映实体对象变化与相互作用的三维图形环境,通过计算机外设等设备,使人可以“进入”这种虚拟环境(主要是视觉、听觉环境),直接观察事物的内在变化并与其发生相互作用,给人以“身临其境”的真实感。

当前有许多实时三维视景仿真软件可以完成视景仿真场景的生成,它们的底层一般都是基于图形应用程序接口 OpenGL 或 DirectX。国内使用较多的是:SGI 公司的 IRIS Performer、Paradigm 公司的 Vega Prime,CG2 公司的 Vtree 和 Quantum3D 公司的 OpenGVS。美国 Presagis 的 Vega 被公认是优秀的仿真软件,而且在持续升级其功能和渲染效果。国内部分大学和公司也推出各具特色的视景仿真软件和硬件。

### 1.2.2 三维可视化仿真的研究状况

20 世纪末以来,随着计算机技术、计算机图形学、网络技术、多媒体等技术的迅速发展,计算机仿真技术也得到了长足发展。从纯数字仿真,经历半实物仿真到虚拟环境仿真的新阶段。功能方面,由单一的计算机系统发展为多个计算机系统。体系结构方面,由 Client/Server 结构发展到分布式结构。在分布仿真领域,从分布式交互仿真(Distributed Interactive Simulation, DIS)规范发展到高层体系结构(High Level Architecture, HLA),并且 HLA 成为各种类型仿真系统实现互操作和重用的框架。

美国是视景仿真的发源地,美国在视景仿真方面的研究技术水平可以代表世界视景