

现代军用 仿真技术基础

刘 忠 主编

张秀山 鄢来斌 林 华 刘高峰 编著



国防工业出版社

National Defense Industry Press

现代军用 仿真技术基础

李 强 主编

国防科技大学 廖明宏 清华大学 王德胜 编著



清华大学出版社
TSINGHUA UNIVERSITY PRESS

93

188714

海军级重点教材

内容简介

现代军用仿真技术基础

刘忠 主编

张秀山 鄢来斌 林华 刘高峰 编著



贵阳学院图书馆



GYXY107495

国防工业出版社

· 北京 ·

内 容 简 介

本书系统地介绍了以虚拟现实为核心特征的现代军用仿真技术基本概念、基本原理和方法。全书共分13章,第1章是概述;第2章和第3章介绍了现代仿真技术常用的硬件和软件体系结构,重点介绍了美国海军NRL实验室的Dragon体系结构;第4章和第5章介绍了基础的几何及行为建模技术;第6章介绍了作战模拟技术基础;第7章和第8章分别介绍了DIS和HLA仿真协议标准;第9章介绍了网络虚拟环境及Sextant平台;第10章介绍了基于OpenGL编程的三维程序设计基础技术;第11章和第12章为两个作战仿真系统应用开发实例;第13章对军用仿真技术进行了简要的回顾和展望。

本书的最大特色是基础性、实用性、系统性和完整性,并充分体现了海军特色,同时反映了先进仿真技术的新进展。本书可作为计算机科学与技术类、电子信息与控制系统类专业本科生和研究生的教材或参考书,也可供广大虚拟现实仿真工程技术人员及管理人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

现代军用仿真技术基础/刘忠主编;张秀山等编著. 北京:国防工业出版社,2007.8
ISBN 978-7-118-05140-7

I. 现... II. ①刘...②张... III. 军用计算机—计算机仿真 IV. E919

中国版本图书馆CIP数据核字(2007)第056282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)

天利华印刷装订有限公司印刷

新华书店经售

*

开本 787×1092 1/16 印张 19 字数 433 千字

2007年8月第1版第1次印刷 印数 1—3000册 定价 32.00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

系统仿真技术是以相似原理、模型理论、系统技术、信息技术以及仿真应用领域的有关专业技术为基础,以计算机系统、与应用有关的物理效应设备及仿真器为工具,利用模型(物理的、数学的、或非数学的)对系统(已有的或设想的)进行研究的一门多学科的综合性技术。

用于国防和军事领域的仿真技术,称为军用仿真技术,它是系统仿真应用领域的的一个重要分支。军用仿真技术是一门通用的支撑性技术,具有学科面广、综合性强、应用领域宽、无破坏性、可多次重复、安全、经济可控、不受气候条件和场地空间限制等十大独特优点,这是其他技术所无法比拟的。军用仿真技术能以其他方法无法替代的特殊功能,为决策者们在面对一些重大的、棘手的问题时,提供关键性的见解和创新的观点,高效地帮助人们理解事物的本质,进行科学的决策与推断。

军用仿真技术是一种现代化的设计技术和手段,在武器系统实物化之前,就可对其设计思想、潜在性能、军事价值、使用效能和适应性方面进行研究和评估,从而减少研制风险和周期,降低研制成本。军用仿真技术可实现技术人员和作战人员在研制过程中及早合作,使有实际经验的专家能直接参与武器系统评价,成为武器装备开发和采办过程中的重要技术工具。军用仿真技术的优良特性和巨大效益,将使它成为 21 世纪人们特别关注并优先发展的一门综合性科学技术。

军用仿真技术是作战任务规划和辅助决策的基础。指挥员可利用仿真工具,根据不断更新的情报数据,在很短时间内,从各种不同的作战预案中选取最佳作战方案,以获得最佳作战效果。军用仿真技术用于部队训练,使单兵和部队能快速有效地做好应付可能出现的各种冲突的准备工作。

军用仿真技术已广泛应用于教育、训练和军事行动,研究与发展,试验与鉴定,分析以及生产和后勤。世界发达国家把军用建模与仿真看做是“军队和经费效率的倍增器”,美国“五角大楼”更是视之为处理国防事务的核心方法和战略性技术。美国国防部自 1972 年以来就将建模与仿真技术列为重要的国防关键技术。1997 年制定的“美国国防技术领域计划”将建模与仿真列为有助于能极大提高军事能力的四大支柱(战备、现代化、部队结构、持续能力)的一项重要技术。同时,美国国防部(DOD)对国防建模与仿真实施强有力的领导,成立了国防建模与仿真执行委员会(EXCIMS)、国防建模与仿真办公室(DM-SO)、国防部建模与仿真工作组(MSWG),对美国的国防建模与仿真进行系统化、规范化的领导与管理。

全书共分 13 章。第 1 章论述了虚拟现实与军用仿真的关系;第 2 章介绍高级人机接口技术,重点介绍了视觉、听觉和触觉接口设备的基本结构和工作原理;第 3 章在介绍三

代虚拟现实软件体系结构的基础上,重点介绍了 Dragon 军用仿真系统的体系结构;第 4 章介绍几何建模技术,以及物体几何和形状的基本表示方法与技术,重点介绍了两种流行的过程化模型,即分形技术和粒子系统;第 5 章介绍行为建模技术,重点介绍了运动学方法、物理建模方法和行为动画技术;第 6 章介绍作战模拟技术,主要对作战模拟的概念、原理、地位作用、实现方法、系统建模等理论问题进行较深入的探讨和研究;第 7 章和第 8 章分别介绍了 DIS 和 HLA 仿真协议标准;第 9 章介绍了网络虚拟环境及 Sextant 平台,重点介绍了网络虚拟环境的基本概念、时空一致性技术、Sextant 平台软件体系以及可能遇到的技术挑战;第 10 章介绍了基于 OpenGL 编程的三维程序设计基础技术;第 11 章和第 12 章分别介绍了两个作战仿真系统应用开发实例;第 13 章对军用仿真技术进行了简要的回顾和展望。

本书由刘忠教授担任主编。第 1 章~第 5 章、第 9 章和第 10 章由张秀山、刘忠共同编写,第 7 章、第 11 章和第 13 章由鄢来斌、刘忠共同编写,第 6 章、第 8 章和第 12 章由刘忠、林华、刘高峰共同编写。全书由刘忠统稿。参加本书编写工作的还有徐春蕾、季利春、徐荣花、刘健、潘杰、余刚、钟何平和周东等。

最后,感谢国防科技大学计算机学院李思昆教授、姚益平教授、曾亮博士等的大力支持与指导,感谢国防工业出版社辛再甫主任和曲岩编辑等为本书出版所做的大量工作;另外,为体现本书的系统性和完整性,本书在编写过程中参阅和引用了大量中外文献,在此向相关作者和单位一并表示衷心的感谢!

本书的编写原则是在注重基础性、实用性、系统性和完整性以及体现海军特色的同时,尽量反映先进成熟技术的新进展,但由于军用仿真技术发展迅速,同时限于编者水平,本书疏漏之处在所难免,恳请读者不吝批评指正。

本书可作为计算机科学与技术、电子信息与控制系统类专业本科生和研究生的教材或参考书,也可供广大虚拟现实仿真工程技术人员和管理人员参考。

编者

2006.10

目 录

第 1 章 虚拟现实与军用仿真	1
1.1 虚拟现实与军用仿真	1
1.1.1 仿真基本概念	1
1.1.2 什么是虚拟现实	2
1.1.3 虚拟现实与军用仿真	6
1.1.4 现代军用仿真技术现状和发展趋势	7
1.2 虚拟现实系统组成及功能	9
1.2.1 虚拟环境	9
1.2.2 输入输出	11
1.2.3 虚拟现实软件环境	13
1.3 虚拟现实的基本特征	16
1.3.1 沉浸感	16
1.3.2 交互性	17
1.4 虚拟现实分类	17
1.4.1 非沉浸式虚拟现实系统	17
1.4.2 叠加式虚拟现实系统	18
1.4.3 沉浸式系统	18
1.5 主要应用领域	19
1.6 虚拟现实与军用仿真技术发展里程碑	20
思考题	23
第 2 章 高级人机接口技术	24
2.1 传感器硬件	24
2.1.1 跟踪传感器	25
2.1.2 力反馈传感器	26
2.2 显示技术	27
2.2.1 LCD 显示技术	27
2.2.2 PDP 显示技术	28
2.2.3 LCoS 显示技术	28
2.2.4 DLP 显示技术	30
2.2.5 OLED 显示技术	32
2.2.6 性能比较	32
2.3 立体视觉	33
2.3.1 双目立体视觉	33

2.3.2 立体显示原理	34
2.4 视觉显示器	36
2.4.1 基本光学系统方法	36
2.4.2 基本光学参数	37
2.4.3 常见视觉显示器	47
2.5 听觉显示器	55
2.6 触觉反馈手套	56
2.6.1 接触反馈手套	57
2.6.2 力反馈手套	58
2.7 集成系统	59
思考题	59
第3章 虚拟现实软件体系结构	60
3.1 VR 软件发展简史	60
3.2 VR 软件环境	61
3.3 经典 VR 软件体系结构	62
3.4 分布式 VR 软件体系结构	63
3.4.1 dVS 体系结构	64
3.4.2 Dragon 体系结构	65
3.5 VR 工具包	71
3.5.1 Sense 8 的 WorldToolKit(WTK)	72
3.5.2 Superscape 的 VRT	73
3.5.3 EON 仿真平台	75
思考题	78
第4章 几何建模技术基础	79
4.1 几何建模的技术指标	80
4.2 基本原理	80
4.2.1 层次建模方法	80
4.2.2 属主建模方法	81
4.3 基本体素	82
4.3.1 多边形	82
4.3.2 曲线与曲面	83
4.4 过程模型	84
4.4.1 分形技术	84
4.4.2 粒子系统	85
4.5 虚拟环境建模的特点	87
思考题	87
第5章 行为建模技术基础	88
5.1 运动学	88
5.1.1 几种典型的插值技术	89

5.1.2	物体的运动形式	91
5.1.3	形体内插	96
5.1.4	自由变形	97
5.2	动力学	100
5.2.1	动力学模型	100
5.2.2	动力学仿真	101
5.3	运动学与动力学的比较	107
5.4	行为动画技术	108
5.4.1	行为控制问题	109
5.4.2	行为控制方法	110
5.5	关系法	110
	思考题	111
第6章	作战模拟的基本理论	112
6.1	作战模拟的概念和作用	112
6.1.1	作战模拟的概念	112
6.1.2	作战模拟的作用	113
6.1.3	现代作战模拟的形式和种类	114
6.1.4	对作战模拟的基本要求	115
6.1.5	作战模拟的发展趋势	116
6.2	作战模拟系统的实现方法	117
6.3	作战模拟的建模	119
6.3.1	模型设计的一般原理	119
6.3.2	指数法建模	122
6.4	海军典型战斗行动模型描述	130
6.4.1	舰艇机动模拟模型	130
6.4.2	舰艇攻击模型	133
6.4.3	舰艇防御模型	135
6.4.4	舰艇武器射击控制模型	137
6.4.5	舰艇战术机动计算模型	138
6.5	海军典型战斗事件的模拟	141
6.5.1	观察发现目标的模型	141
6.5.2	目标识别	144
6.5.3	目标运动要素解算模型	145
6.5.4	武器射击效果模拟模型	146
6.5.5	战术辅助指挥决策模型	147
6.6	仿真实例——“潜艇战斗群对抗航母编队”仿真模型	149
6.6.1	航母编队的反潜作战体系	149
6.6.2	航母编队的反潜作战方式	149
6.6.3	潜艇反航母作战	150

6.6.4 仿真步骤	150
思考题	152
第7章 DIS 仿真基础	153
7.1 概述	153
7.2 IEEE Std 1278.1-1995	155
7.2.1 DIS 的基础结构	155
7.2.2 DIS 的坐标系统	155
7.2.3 DIS 中的 PDU	156
7.3 IEEE Std 1278.2-1995	158
7.3.1 概述	158
7.3.2 通信服务要求	159
7.3.3 性能要求	159
7.3.4 概要文件	160
7.4 IEEE Std 1278.3-1996	161
7.4.1 演练管理功能	161
7.4.2 DIS 演练开发和构建过程模型	161
7.4.3 确认和鉴定(VV&A)过程	162
7.4.4 会话管理	163
7.5 DIS 系统设计	165
7.5.1 DIS 系统设计原则	165
7.5.2 推算定位(DR)技术	166
7.5.3 一致性	168
7.5.4 虚拟作战自然环境的构建	170
7.5.5 计算机生成兵力(CGF)	171
7.5.6 数据库的设计与构建	173
7.6 DIS 的先进性及其不足	174
7.6.1 DIS 的先进性	174
7.6.2 DIS 的不足	174
思考题	175
第8章 高层体系结构 HLA	176
8.1 概述	176
8.1.1 定义	176
8.1.2 HLA 产生的背景	177
8.1.3 HLA 的组成	177
8.1.4 HLA 的基本思想	177
8.1.5 HLA 的主要特点	178
8.2 HLA 标准	180
8.2.1 HLA 规则	180
8.2.2 HLA 接口规范	181

8.2.3	HLA 对象模型模板 OMT	183
8.3	联盟开发和执行过程 FEDEP	186
8.3.1	定义联盟目标	186
8.3.2	开发联盟概念模型	186
8.3.3	设计联盟	186
8.3.4	开发联盟	187
8.3.5	集成和测试联盟	187
8.3.6	运行联盟并准备结果	188
8.4	联盟运行支撑平台 RTI	189
8.4.1	联盟管理服务	189
8.4.2	声明管理服务	190
8.4.3	对象管理服务	192
8.4.4	所有权管理服务	194
8.4.5	时间管理服务	196
8.5	HLA/RTI 在军事仿真演练中的应用	199
8.5.1	指挥与训练系统的结构	199
8.5.2	基于 HLA/RTI 的指挥与训练	199
8.5.3	一个例子的实现	201
	思考题	206
第 9 章	网络虚拟环境	207
9.1	网络虚拟环境概述	207
9.1.1	网络虚拟环境的概念	207
9.1.2	里程碑系统	207
9.2	网络虚拟环境构成	208
9.2.1	图像发生器	208
9.2.2	人机交互设备	209
9.2.3	处理器	209
9.2.4	网络系统	210
9.3	时空一致性管理	210
9.4	网络虚拟环境平台 Sextant	211
9.4.1	Sextant 背景简介	211
9.4.2	Sextant 软件体系	213
9.4.3	Sextant 的应用	216
9.5	网络虚拟环境面临的挑战	218
9.5.1	网络带宽	218
9.5.2	异构性	218
9.5.3	分布式交互	219
9.5.4	实时系统设计和资源管理	220
9.5.5	故障处理	220

9.5.6 规模可扩展性	221
9.5.7 部署和配置	222
思考题	222
第 10 章 三维程序设计基础	223
10.1 什么是 OpenGL	223
10.2 OpenGL 在 Windows NT 上的实现	224
10.2.1 OpenGL/NT 体系结构	224
10.2.2 渲染环境管理	225
10.2.3 像素格式管理	226
10.3 OpenGL 编程速成	228
10.3.1 辅助库编程方法	229
10.3.2 Windows 编程方法	231
10.3.3 MFC 编程方法	238
10.3.4 面向对象的编程方法	245
思考题	251
第 11 章 分布式虚拟海战环境	252
11.1 引言	252
11.2 分布式虚拟海战环境系统组成与结构	253
11.3 虚拟实体行为建模与描述技术	254
11.3.1 基于控制论的行为模型 ESCP	254
11.3.2 基于 ESCP 模型的舰队兵力生成	257
11.4 虚拟海战视景建模技术	257
11.4.1 虚拟海战场景需求	258
11.4.2 虚拟海战场景建模环境结构图	258
11.4.3 基于随机风场的海浪模型	258
11.5 虚拟战场的实时四声道立体声合成技术	264
11.5.1 声源的表示	264
11.5.2 声强的衰减	264
11.5.3 立体声化	265
11.5.4 评价混声效果的标准	265
11.6 指挥控制台建模环境	266
11.6.1 指挥控制层次结构	266
11.6.2 指控台软件结构	267
11.6.3 指控台功能	268
11.6.4 作战台位仿真器建模与仿真环境	269
11.6.5 演练管理子系统	273
11.7 虚拟海战异地演练实例	274
11.7.1 虚拟海战演练剧本	274
11.7.2 海战演练的环境配置	275

思考题.....	275
第 12 章 基于 HLA 的潜艇作战仿真系统	276
12.1 概述.....	276
12.2 功能.....	276
12.3 性能.....	277
12.4 环境.....	277
12.5 硬件方案.....	278
12.6 软件方案.....	279
12.7 运行过程.....	280
12.8 支持软件环境.....	280
思考题.....	282
第 13 章 军用仿真技术的发展与展望	283
参考文献.....	287

是计算机图形、虚拟现实和高级人机接口设备等。计算机图形为创造合成逼真效果、基础；复杂的仿真软件创造了生动的虚拟环境；高级人机接口设备为用户与虚拟环境提供了自然的人机交互手段。虚拟现实系统除了提供虚拟世界的虚拟景观之外，还可在虚拟环境中形成精确模拟的声音，提供触觉与力度感，为人们展现出高度逼真的动人景象。

1.1 虚拟现实与军用仿真

1.1.1 仿真基本概念

“仿真”一词源自英文“Simulation”和“Emulation”，按照 ISO《数据建模词汇》标准的解释是：“Simulation”指的是通过一个物理或抽象系统的某些行为特性，用另一个系统来表示它们的过程；“Emulation”指的是用另一个真实系统系统，或者用软件完全或部分模仿某一数据处理系统，以使模仿的系统能像被模仿的系统一样接受同样的数据，执行同样的程序，获得同样的结果。这两个术语一般分别译为“模拟”和“仿真”，但它们的含义略有差异，简言之，“Simulation”是求两个系统之间的相似，“Emulation”是求两系统之间的等价（等效）。鉴于目前学术上常将“Simulation”和“仿真”互换，因此，本书也取“Simulation”为“仿真”之义。

系统仿真技术是分析和研究系统运动行为，揭示系统动态过程和运动规律的一门学科。系统仿真技术是以相似原理、模型理论、系统技术、信息技术以及仿真应用领域的有关专业技术为基础，以计算机系统、与应用有关的物理效应设备及仿真器为工具，利用物理模型、数学模型或数学模型对系统已有的或预期的运行规律的一门多学科的综合技术。

系统仿真包括三个基本要素：系统、模型和计算机，开展这三者的基本活动是：建立系统模型、建立仿真模型和仿真实验，如图 1-1 所示。

根据被研究系统的特征可将系统仿真分为连续系统和离散事件系统仿真。连续系统是指数系统状态是随时间连续变化的系统。这类系统的数学模型包括连续模型，常以微分

第 1 章 虚拟现实与军用仿真

随着计算机科学与技术的迅速发展,以及军事需求的强大推动,虚拟现实技术应运而生。富有创造力和想象力的人们通过虚拟现实技术创造了大量生动的虚拟“现实世界”,甚至是“超级现实”,在这个虚拟的空间中,计算机使用的主体对象——人,可以在虚拟水平上与任何事物、任何人进行各种形式的交互。在这些虚拟的世界中,传统的时空法则不再起作用,任何事物只要可以编程,都可进行模拟。虚拟现实技术是一种包含有可交互虚拟对象的虚拟仿真技术,它是现代军用仿真中采用最多的技术,这些技术的核心是计算机图形、仿真软件和高级人机接口设备等。计算机图形为创造合成图像提供了基础;复杂的仿真软件创造了生动的虚拟环境;高级人机接口设备为用户与虚拟环境提供了自然的人机交互手段。虚拟现实系统除了提供虚拟世界的虚拟景观之外,它还可在虚拟环境中形成精确模拟的声音,提供触觉与力度感,为人们展现出高度逼真的动人景观。

1.1 虚拟现实与军用仿真

1.1.1 仿真基本概念

“仿真”一词源自英文“Simulation”和“Emulation”,按照 ISO《数据处理词汇》标准的解释是:“Simulation”指的是选取一个物理或抽象系统的某些行为特征,用另一个系统来表示它们的过程;“Emulation”指的是用另一个数据处理系统,主要是用硬件来全部或部分模仿某一数据处理系统,以使模仿的系统能像被模仿的系统一样接受同样的数据,执行同样的程序,获得同样的结果。这两个术语一般分别译为“模拟”和“仿真”,但它们的含义略有差异,简言之,“Simulation”是求两个系统之间的相似,“Emulation”是求两系统之间的等价(效)。鉴于目前学术上常将“Simulation”和“仿真”互换,因此,本书也取“Simulation”为“仿真”之义。

系统仿真技术是分析和研究系统运动行为、揭示系统动态过程和运动规律的一门学问。系统仿真技术是以相似原理、模型理论、系统技术、信息技术以及仿真应用领域的有关专业技术为基础,以计算机系统、与应用有关的物理效应设备及仿真器为工具,利用模型(物理的、数学的或非数学的)对系统(已有的或设想的)进行研究的一门多学科的综合技术。

系统仿真包括三个基本要素:系统、模型和计算机,联系这三者的基本活动是:建立系统模型、建立仿真模型和仿真实验,如图 1-1 所示。

根据被研究系统的特征可将系统仿真分为连续系统和离散事件系统仿真。连续系统是指系统状态量随时间连续变化的系统,这类系统的数学模型包括连续模型,常以微分

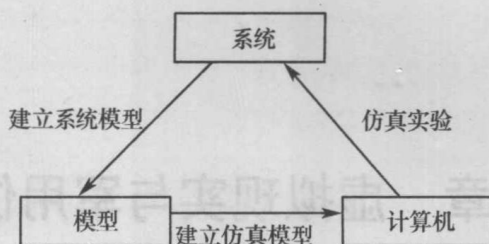


图 1-1 仿真三要素及其基本活动

方程表示；离散事件模型，常以差分方程表示，以及连续—离散混合模型。离散事件系统则是指系统状态随着随机事件的驱动而发生变化的系统，这类系统的数学模型常用流程图或网络图来描述。

根据仿真时间标尺(τ)与自然时间标尺(T)的比例关系，可将系统分为实时仿真($\tau/T=1$)和非实时仿真。非实时仿真又分为超实时仿真($\tau/T>1$)和亚实时仿真($\tau/T<1$)。

根据参与仿真的模型种类来分，可将系统仿真分为物理仿真、数学仿真和半实物仿真。物理仿真又称物理效应仿真，是指按照实际系统的物理性质构造系统的物理模型，并在物理模型上进行试验研究。物理仿真真实度高，但不够灵活，修改系统结构和参数困难。数学仿真是指利用系统的数学模型和仿真模型进行仿真。数学仿真在系统分析和设计阶段是十分重要的，通过它可以检验理论设计的正确性和合理性，数学仿真不仅成本较低，而且模型修改方便灵活。半实物仿真是指系统的一部分以数学模型和仿真模型来描述和计算，另一部分以实物或物理模型引入仿真回路。半实物仿真的主要优点是克服复杂系统的子系统数学模型和仿真模型难以建立的问题。

随着控制理论、计算技术、信息处理技术的发展，以及各领域对仿真技术的迫切需求，使得系统仿真技术取得许多突破性进展，目前，各种先进仿真技术已广泛应用在航空航天、信息、生物、材料、能源、先进制造等高新技术和工业、农业、商业、教育、军事、交通、社会、经济、医学、生命、娱乐等领域。

用于国防和军事领域的仿真技术，称为军用仿真技术，它是系统仿真应用领域的一个重要分支。现代军用仿真技术是以虚拟现实技术为其时代的显著特征，具有身临其境的虚拟性、人机和谐的交互性和规模可伸缩的分布性。虚拟现实技术在军事领域典型的应用就是构建合成战场，用以训练作战和指挥人员的战略战术，同时，它还可广泛应用于武器装备研制的全过程，包括分析、设计、制造、使用、维护、训练和采办管理等。系统仿真技术应用于人员训练可以提高训练科目、训练频度和训练效果，同时，降低人员和物资的损耗，应用于武器平台的研制则不仅能够大大缩短研制周期，而且也能提高装备质量和寿命。

1.1.2 什么是虚拟现实

目前，虚拟现实的概念和术语并不统一，如人工现实、增强现实、遥现和灵境等都是它的近义词，但这些术语内涵略有不同，这主要是由于观察者所站的角度和侧重点不同导致的。目前，“虚拟现实”这一术语已得到国际上广泛的认同。另外一个相关的常用术语是虚拟环境，虚拟环境不同于虚拟现实，虚拟环境是指完全存在于计算机内存中的世界(故此本书有的地方也称其为虚拟世界)，而虚拟现实则不仅包含这个虚拟环境，

而且也包含虚拟环境中的“人”及其与虚拟环境的各种接口，如头盔显示器、数据手套等。

本节将在通过综合分析一些典型的虚拟现实定义的基础上，试图给出一个比较客观的定义。在给出虚拟现实定义之前，先简要回顾一下虚拟现实产生的历史条件。

1.1.2.1 虚拟现实产生条件

其实，虚拟现实的技术和体验并不是近几年才突然出现的。早在 20 世纪 50 年代中期，数字式计算机在美国、英国的一些大学才相继出现，电子技术还仍以热离子阀为基础的时候，美国的莫顿·海利希的“拱廊体验”就利用电影技术向观众提供了沿曼哈顿的想象之旅。他创造性地利用振动把手及座位，让观众经历了一次妙趣横生的三维旅行，如图 1-2 所示。当观众在车流中改变速度时，风速甚至也跟着改变。为进一步增强现实感，汽车释放的烟雾及路过的比萨店的气味也会适时地释放出来。不管当时海利希是否意识到，事实上，他已成功地创造了一种被动式的“虚拟现实”体验，这也即是当今的所谓“动感影院”的一个原型。



图 1-2 莫顿·海利希的 Sensorama 模拟机

(美国专利号 3050870, 1962)

不过，真正充分利用计算机来实现交互式的虚拟现实体验还是近 20 年的事情。这主要是因为它对计算机生成图形有着十分苛刻的要求，它不仅要求有高度的真实感，还要求有严格的实时性。真实感和实时性一直是计算机图形学所追求的目标，但它们又是一对不可调和的矛盾，计算机图形学仍将致力于解决这一对主要矛盾。

1. 真实感计算机图形

计算机的一种重要用途是设计与图形。计算机图形技术已高度发展，我们所见的书报、影视、杂志的图文形成阶段都已由计算机完成。计算机图形技术可将三维物体用几何特征的描述方式存储起来，随后通过将物体色彩、位置及空间方向、视角离散化，将其转化为数字化图像。例如，在建筑设计中，将详细的几何特征输入计算机辅助设计系统（CAD），然后，由 CAD 系统渲染出逼真的透视图。该技术的益处是多方面的，这正是 CAD 对自动设计、民用工程、三维动画及分子造型等至关重要的原因。

2. 实时计算机图形

自从 1960 年波音公司创造性地提出“计算机图形学”一词以来,计算机图形学基本上是沿着绘图仪、矢量显示器、存储管显示器及光栅显示器方向发展的。光栅显示器仍然是图形显示的最常用设备。光栅技术是电视业发展的核心,它也对计算机图形学的应用产生了深远影响。不管是用于图形处理还是合成图像,显示速度都是计算机图形性能的最重要的标志。

在计算机图形学发展的早期,用户在形成一幅简单图像时,往往要忍受几分钟到数小时的延时,现在,借助于快速处理器、多处理器、流水线、数学协处理器等技术,复杂图形的生成可在十几毫秒内迅速完成。

虽然,在以超大规模数据库生成逼真图像时,计算机图形系统仍存在“瓶颈”,但是,现在一般的图形工作站都能以至少 10Hz 的帧速率显示详细的、高分辨率的彩色图像,图形工作站强大的图形处理能力无疑为我们与计算机进行交互提供了新的手段。随着计算机体系结构技术的迅速发展,现在,即使是带图形加速卡的个人计算机也能提供充分的图形性能来支持实时飞行模拟了。

既然计算机图形系统可在我们要求的时限内做出反应,新的人机界面就成为可能,虚拟现实技术也因此应运而生。

1.1.2.2 虚拟现实的定义

我们不妨先来分析一下设计一个飞行模拟器系统需要考虑的问题。

飞行模拟器是飞行员不在真实飞机或机场内就能获得飞行技能的训练系统。模拟器用于训练飞行员进行紧急情况或危险情况下的飞行或新机型的驾驶。

模拟飞行器的复杂行为需要对包括仪表、飞行动力学、航行、天气、液压系统、发动机及图形系统在内的几大实时系统进行精确建模和集成。这些系统是真实和模拟系统的混合。每一仪表均由仿真软件的输出信号实时驱动,液压塞用于使整个模拟器受重力影响,它通过飞行动力学模型计算出的线性加速度及角加速度来模拟,而实时图像发生器产生从真实驾驶舱看到的景象。

20 世纪 80 年代以来,实时图像发生器就已用于飞行模拟器中。首先,建立严格的比例模型描绘机场及其周边环境,然后,借助于一个小型摄像头,将模型的图像显示在固定于模拟器驾驶舱窗户上的监视器上。飞行员将模拟器置于起飞模式,计算描述飞行动力学的方程式以确定其新的空间位置,位置数据用于将摄像头移向新方位,按 30Hz 的频率重复此过程,飞行员便可经历飞行的视觉效应。

比例模型有许多缺陷:一是模型较大(50m^2),且需要多层次的照明,其尺寸及生产成本使其不能在世界各个国际机场拥有独立的模型。因此,单个综合的模型是解决问题的实际方法。此外,比例模型也不便于模拟不同的天气状况,如雨、雪、雾等,而这些对飞机起降时的安全状况有很大影响。

将三维模型从物理域移向虚拟域立即解决了存放和模拟问题,但这些虚拟模型仍需构筑,即使利用当今高效的建模工具和强大的图形工作站,构筑大型国际机场模型仍需数百小时的精细工作。

几何数据库加载至图像发生器后,可从空间任一位置对虚拟模型进行观察。但当图像发生器与虚拟飞机飞行动力学的实时计算机系统接口时,可用模拟器的位置及航向参