

VIRTUAL REALITY SYSTEM

虚拟现实系统

张茂军 著



科学出版社
Science Press

虚拟现实系统

张茂军 著

科学出版社

2001

内 容 简 介

本书对虚拟现实系统的基础理论、开发环境、最新发展动向等作了较为系统的论述。书中的内容包括虚拟现实系统的外设、基于图形渲染的算法基础、基于图像渲染的理论与系统、虚拟现实引擎、虚拟现实建模方法、虚拟现实开发工具、分布式与协同虚拟现实系统、虚拟现实系统设计与评价方法以及虚拟现实发展趋势展望等。书中介绍的不少算法与验证系统凝聚了作者多年的研究成果。全书共 12 章，各章之后附有思考题。

本书适合研究生、高年级本科生教育中对虚拟现实教学的需要，也可供对虚拟现实系统感兴趣的大学教师、研究人员及工程技术人员参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

虚拟现实系统/张茂军著. -北京: 科学出版社, 2001

ISBN 7-03-009365-8

I. 虚... II. 张... III. 虚拟技术-研究 IV. TP391

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2001) 第 053622 号

科学出版社 出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

双青印刷厂 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2001年9月第一版 开本: 787×960 1/16

2001年9月第一次印刷 印张: 22 1/4 插页: 1

印数: 1—3 000 字数: 443 000

定价: 35.00 元

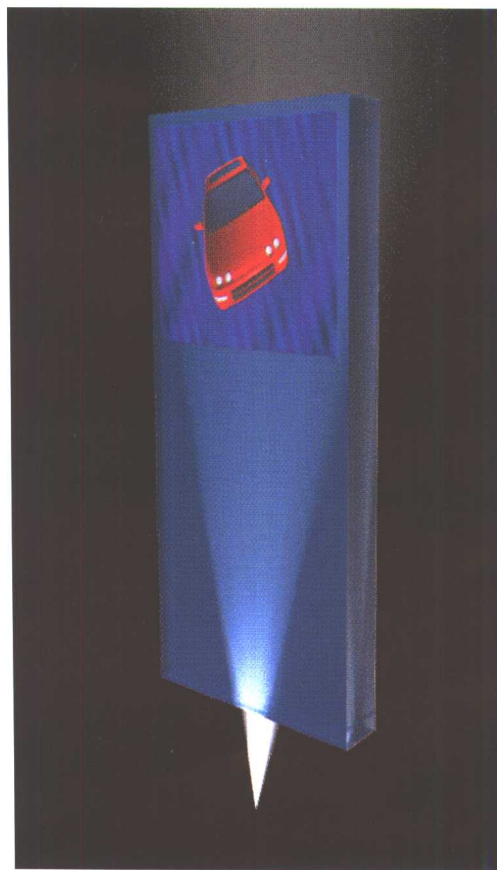
(如有印装质量问题,我社负责调换〈环伟〉)



彩图1 虚拟鱼缸（世嘉公司，2000）



彩图2 虚拟演播室系统产生的一幅画面
（DDG公司，1999）



彩图3 边光显示器（MIT 媒体实验室）



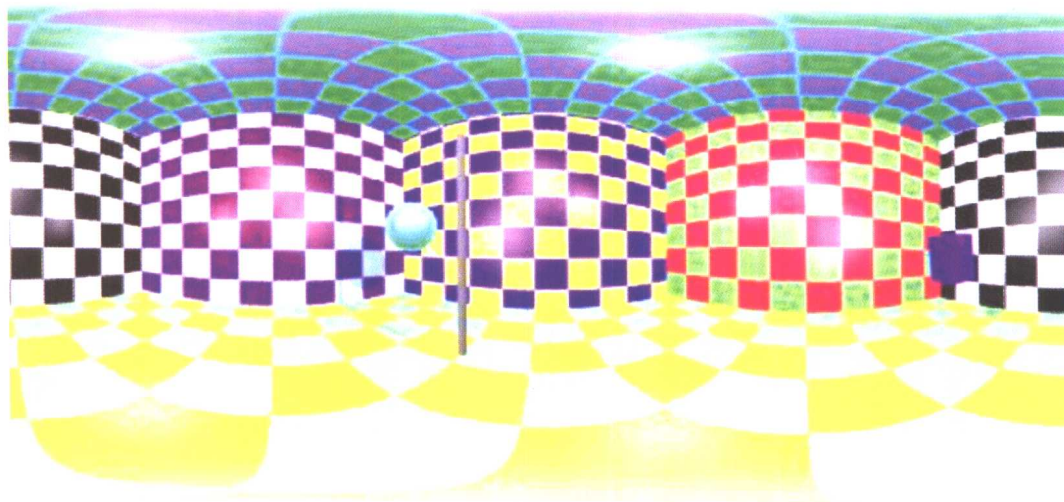
彩图4 Nikon FC-E8 鱼镜头拍摄的图像
（齐越，2000）



彩图5 纹理映射生成画面细节
（DDG公司，1999）



彩图 6 一幅柱面全景图像 (张茂军, 2000)



彩图 7 一幅球面全景图像 (李梦君, 2000)



彩图 8 虚拟空间会议系统 VST-1 中的凝视感知 (孙立峰, 1999)

此书献给我的妻子谢晶妮

和女儿张怡田

以及所有关心过我、支持过我的人们

前 言

“虚拟现实 (Virtual Reality)”一词始创于 20 世纪 80 年代。关于它的研究可以追溯到 60 年代，最初的研究主要集中在美国的军方与 NASA (国家航空和宇宙航行局)，用于各种武器系统操纵人员特别是飞机驾驶员与宇航员的模拟训练。随着冷战后美国军费的削减，这些技术逐步转为民用。由于虚拟现实技术能够借助计算机构建出一个与现实环境十分逼真的虚拟环境，且支持用户使用自然的技能亲身感受它，因而引起了人们的极大兴趣，曾经被誉为“梦幻般的技术”、“人机接口的最后一道障碍”。

当前，虚拟现实已远远超越了早期“训练模拟器”的范畴，也已不仅仅是用作改进现有信息系统中的人机交互方式的手段，它已影响到信息系统中信息的表现形态、信息的组织与管理方法，甚至改变着信息系统的设计原则，使之更能适应以用户为中心的应用需求。而且虚拟现实也只有突破航空航天、军事、娱乐等几个特定应用领域的局限，渗透到整个信息系统中去，才能发挥出其应有的作用，才能得到更健康更快速的发展。但要实现这一目标，还有大量的问题需要研究解决。首先是硬件上的支持，如不需要戴在头上的立体显示器，如果我们要求每一个使用计算机的人都戴上一个头盔式显示器工作，这几乎是不可能的事；再比如廉价的图形加速器，如果要求每个信息系统的用户都配上昂贵的图形工作站，也是难以想象的事。其次是软件上的支持，如能否不需要硬件加速便能实现虚拟环境的实时渲染？能否不需要手工绘制虚拟环境的三维几何模型而直接由图像生成虚拟环境呢？

为解决这些问题，人们发明了一些新设备（如 3D 显示器等），提出了一些新技术与方法（如基于图像渲染技术）。为此，我们急需总结现有的技术与应用状况，并对未来发展趋势作一些探讨。由于虚拟现实发展较快，而最新的研究成果又分散发表在多种外文期刊中，难以查找，广大初学者、工程技术人员、研究开发人员不得不费尽心思，从零星资料中寻找虚拟现实的最新研究成果。

国防科技大学多媒体实验室是国内最早开展基于图像的虚拟现实研究的单位之一。从 1994 年开始，我们研制第一个基于图像的虚拟信息空间生成平台 HVS，该系统已在几十家部队与地方单位得到成功的应用。1999 年，我们又成功地研制出一个协同虚拟现实系统——虚拟空间会议系统 VST，关于 VST 的论文发表在 1999 年度的国际 ACM 多媒体年会上，引起国内外专家的广泛关注。从 1998 年起，我们给博士生开设“虚拟现实技术”课程，主要讲述虚拟现实技术现有的理论基础，并贯穿虚拟现实最前沿的一些研究成果与研究思路，颇受学生欢迎。我们便产生了把这些教学内容整理成一本虚拟现实教材的想法，经过近 3 年的积累与反复试用、修改，最终撰写成稿。

本书系统地介绍了虚拟现实系统的理论基础、开发环境、最新发展方向。在第二章，我们介绍了早期的虚拟现实设备与工具，以及虚拟现实在硬件上的最新进展与发

明。第三章专门介绍基于图形渲染算法，是虚拟现实研究的基础之一，这部分是在参阅了一些国内外专著与论文的基础上提炼而成的。第四章论述了前沿性研究课题——基于图像渲染的理论基础，以我们自己的研究成果为主要内容，已毕业的博士研究生钟力博士、齐越博士参加了这一研究工作。第五章介绍了一种实用的基于图像的虚拟现实系统——虚拟全景空间的模型与算法，这章的大部分算法是我们自己提出并得到应用验证的，这里引用了我的同事或学生钟力博士、李云浩博士以及李梦君博士等人工作。第八章、第九章是分布式与协同虚拟现实系统，这部分内容也是对我们自己研究成果的总结，李云浩博士与孙立峰博士在这一研究工作中付出了大量的心血。

还有我的同事武德峰、王伟、杨冰、徐玮，我的研究生段晓鹃、胡少林、高宇、邓宝松等，他们为虚拟现实研究方向做了大量的工作，这些研究是本书的重要基础。在此，感谢他们的大力支持与协作。感谢一贯关心、支持我们工作的领导、专家张维明教授、吴玲达教授、李国辉教授、王晖副教授等。我还要特别感谢一直关心、培养我的恩师胡晓峰教授。

由于作者水平所限，书中的错漏在所难免，恳请读者批评指正，并可以通过电子邮件 zhangmaojun@yahoo.com.cn 与作者联络。

张茂军

作者简介



张茂军，1997年于国防科技大学系统工程与数学系获博士学位，现为国防科技大学多媒体研究开发中心副教授、硕士生导师，IEEE会员，ACM会员。长期从事虚拟现实系统与多媒体信息系统方面的研究工作。主持或参与国家自然科学基金项目、国家863项目、国防预研重点项目等10余项。先后获部委级科技进步一等奖2项，二等奖2项。有著作4本，发表论文60余篇。目前的研究方向为：基于图像渲染的算法与系统、增强现实系统、协同虚拟环境等。

2010/02

目 录

第一章 引 言	1
1.1 虚拟现实的基本概念	1
1.2 虚拟现实系统的特性	2
1.3 虚拟现实发展简史	3
1.4 虚拟现实应用	6
1.5 本书的组织	9
第二章 虚拟现实外设	11
2.1 3-D 位置跟踪器	11
2.1.1 3-D 电磁跟踪器	12
2.1.2 超声波跟踪器	15
2.2 传感手套	15
2.2.1 VPL 数据手套	15
2.2.2 PowerGlove	17
2.2.3 CyberGlove	17
2.3 立体鼠标	18
2.4 数据衣	19
2.5 触觉和力反馈的装置	19
2.6 立体显示设备	20
2.6.1 HMD	20
2.6.2 BOOM	22
2.6.3 立体眼镜	23
2.6.4 立体投影显示	23
2.6.5 3D 显示器	25
2.7 3-D 声音生成器	25
第三章 基于图形渲染的算法基础	28
3.1 几何造型	29
3.1.1 多面体造型	29
3.1.2 曲面造型	34
3.1.3 曲线、曲面表示的基础知识	34
3.1.4 二次曲面	38
3.1.5 超二次曲面	39

3.1.6	Bézier 曲线与 Bézier 曲面	39
3.1.7	B-样条曲线和曲面	43
3.1.8	有理样条与 NURBs 曲面	45
3.2	光照模型	45
3.2.1	Lambert 漫反射模型	46
3.2.2	Phong 模型	49
3.3	三维观察	51
3.3.1	观察坐标	51
3.3.2	投影	54
3.3.3	观察体	59
3.3.4	Z 缓存器算法	60
3.4	纹理映射	61
3.4.1	二维纹理映射的基本原理	62
3.4.2	建立纹理映射	63
3.4.3	Catmull 算法	64
3.4.4	Blinn 方法	67
3.4.5	两步法纹理映射	69
3.4.6	环境映射	72
3.4.7	三维纹理映射技术	73
3.4.8	MIPmap 技术	74
第四章	基于图像渲染的理论基础	81
4.1	什么是基于图像渲染	81
4.2	全光模型	82
4.3	光图函数	83
4.3.1	四维光图函数的定义	83
4.3.2	四维参数的离散化	85
4.3.3	光图系统	89
4.3.4	关于光图函数的讨论	93
4.4	同心圆拼图	94
4.4.1	概述	94
4.4.2	同心圆拼图	94
4.5	同心球拼图的构造	97
4.5.1	拍摄方法	97
4.5.2	同心球拼图的构造方法	98
4.5.3	自由漫游	99
4.5.4	压缩	107
4.6	基于部分几何信息的 IBR 技术	108
4.6.1	视图插值技术	108

4.6.2 图像变形技术	108
4.6.3 基于外极几何的方法 (Epipolar Geometry)	109
4.6.4 3D 折叠 (3D warp) 方法	110
4.6.5 层次深度图像 (LDI)	112
4.7 讨 论	112
第五章 虚拟全景空间的模型与算法	114
5.1 VPS 空间模型	115
5.1.1 视点空间	115
5.1.2 虚拟全景空间	115
5.1.3 空间操纵	116
5.2 VPS 系统的一般组成	117
5.2.1 全景图像生成器	117
5.2.2 空间编辑器	119
5.2.3 VPS 浏览器	120
5.3 全景图像生成的基本思想	121
5.3.1 柱面全景图像的拍摄方法	121
5.3.2 球面全景图像的拍摄方法	122
5.3.3 成像模型与像素坐标	122
5.3.4 估计像素焦距	125
5.4 柱面全景图像生成技术	126
5.4.1 柱面正投影算法	126
5.4.2 柱面全景图像的拼接算法	128
5.4.3 柱面全景图像的反投影算法	130
5.4.4 柱面全景图像的漫游	133
5.5 球面全景图像生成技术	135
5.5.1 球面正投影算法	135
5.5.2 鱼眼图像的校正算法	136
5.5.3 球面全景图像反投影算法	140
5.6 全景视频技术	143
5.6.1 摄像机运动简化模型	144
5.6.2 摄像机运动参数估计公式	145
5.6.3 实现中的一些问题	147
5.6.4 测试与评价	149
5.7 视点空间之间的操纵算法	150
5.7.1 简单的缩放实现	151
5.7.2 一种图像变形算法	152
第六章 虚拟现实引擎	157
6.1 帧速率与计算负载	158

6.1.1	图形性能与阴影模式	158
6.1.2	图形性能与场景复杂度	161
6.2	基于 PC 机的 VR 引擎	161
6.3	基于 SGI 工作站的 VR 引擎	163
6.3.1	InfiniteReality2 概述	164
6.3.2	分辨率与显示模式	165
6.3.3	颜色	166
6.3.4	纹理映射	167
6.4	高度并行的 VR 引擎	171
6.5	分布化 VR 引擎	173
6.5.1	基于超级服务器的系统	174
6.5.2	IBM 分布系统	176
第七章	虚拟现实建模	179
7.1	几何建模	180
7.1.1	造型工具	180
7.1.2	环境外观	180
7.2	运动建模	181
7.2.1	对象位置	181
7.2.2	碰撞检测	183
7.2.3	交互映射	183
7.2.4	对象层次	185
7.3	物理建模	186
7.3.1	表面变形	186
7.3.2	表面光滑程度	188
7.4	对象行为	189
7.5	模型分割	189
7.5.1	模型分割	189
7.5.2	LoD 分割	191
7.6	虚拟现实建模语言 VRML	192
7.6.1	VRML 简介	192
7.6.2	VRML 的特性	193
7.6.3	节点	194
7.6.4	场景图	195
7.6.5	漫游与用户交互	199
7.6.6	VRML 创作实例	200
第八章	虚拟现实开发工具	207
8.1	虚拟世界工具箱 WTK	207
8.1.1	WTK 概述	207

8.1.2	WTK 的结构和对象机制	209
8.1.3	WTK 的仿真流程管理	212
8.1.4	WTK 的窗口和视区	216
8.1.5	WTK 的视点	217
8.1.6	WTK 的场景结构	218
8.1.7	WTK 的几何场景构造	221
8.1.8	WTK 的光照处理	223
8.1.9	WTK 的材质	224
8.1.10	WTK 的纹理	226
8.1.11	传感器	227
8.1.12	三维立体声	228
8.2	Vega	229
8.2.1	什么是 Vega	229
8.2.2	场景图管理	230
8.3	MR: VR 应用工具箱	230
第九章	分布式虚拟现实系统	233
9.1	概念与特性	233
9.1.1	什么是 DVR	233
9.1.2	DVR 的特性	234
9.1.3	几个典型 DVR 系统与工具	235
9.2	DVR 的系统结构	236
9.2.1	集中式/复制式结构	236
9.2.2	统一的局部数据库/不同的局部数据库	236
9.3	DVR 模型	237
9.3.1	DS 模型	237
9.3.2	MPSC 模型	237
9.4	DVR 中的优先调度算法	238
9.4.1	概述	238
9.4.2	PRR 算法	239
9.4.3	结合可见性信息	243
9.5	分布交互仿真 DIS	245
9.5.1	概述	245
9.5.2	仿真实体	246
9.5.3	网络接口 NIU (network interface unit)	248
9.5.4	计算机生成兵力	249
9.6	高层体系结构 HLA	249
9.6.1	HLA 概述	249
9.6.2	HLA 框架	253

9.6.3	对象模型 OM 对互操作和可重用的支持	255
9.6.4	基于 HLA/RTI 的分布交互仿真体系结构	257
第十章	协同虚拟现实系统	260
10.1	CVR 的概念与特性	260
10.2	CVR 涉及的关键技术	262
10.3	虚拟空间会议系统	264
10.3.1	引言	264
10.3.2	VST 的概念	265
10.3.3	VST 需研究解决的问题	266
10.3.4	虚拟会议空间的结构与构造	268
10.3.5	虚拟空间会议合成计算模型	271
10.4	VST-1 原型系统介绍	274
10.4.1	系统运行环境	274
10.4.2	系统体系结构	275
10.4.3	MCS 设计与实现	277
10.4.4	会议管理子系统	280
10.4.5	虚拟对象管理子系统	282
10.4.6	数据分发管理子系统	283
10.4.7	基于 DirectPlay 的网络通信接口	284
10.4.8	虚拟会议环境构造	286
10.4.9	视音频采集与处理子系统	288
10.4.10	交互代理子系统	288
10.4.11	虚拟会场显示子系统	290
10.4.12	虚拟会场合成	291
第十一章	虚拟现实系统设计和评价方法	295
11.1	引言	295
11.2	两种开发领域	296
11.3	我们的方法	296
11.4	有效迭代	301
11.5	一个实例: Dragon 战场可视化虚拟环境	302
11.6	Dragon VE 的设计与评价方法	304
11.7	总结	306
第十二章	虚拟现实发展趋势展望	308
12.1	虚拟现实发展面临的三大障碍	308
12.2	“虚实结合”是虚拟现实技术发展的必然	309
12.2.1	概述	309
12.2.2	什么是“虚实结合”	310
12.2.3	为什么需要“虚实结合”	310

12.3 增强现实简介	313
12.3.1 基本概念	313
12.3.2 增强现实的应用	314
12.3.3 增强现实的特征	317
12.4 一个典型的 AR 系统：虚拟演播室	320
12.4.1 概述	320
12.4.2 数字视频技术	321
12.4.3 蓝室设计和光照	322
12.4.4 摄像机跟踪	322
12.4.5 绘制	323
12.4.6 合成	324
参考文献	325

Contents

1	Introduction	1
1.1	Concept of Virtual Reality	1
1.2	Property of Virtual Reality	2
1.3	A Short History of Virtual Reality	3
1.4	Application of Virtual Reality	6
1.5	The Contents of This Book	9
2	Virtual Reality Tools	11
2.1	3-D Position Trackers	11
2.1.1	Electromagnetic Trackers	12
2.1.2	Ultrasonic Trackers	15
2.2	Sensing Gloves	15
2.2.1	VPL DataGlove	15
2.2.2	PowerGlove	17
2.2.3	CyberGlove	17
2.3	3-D Mouse	18
2.4	Data Clothing	19
2.5	Touch and Force Feedback	19
2.6	Stereo Display Devices	20
2.6.1	HMD	20
2.6.2	BOOM	22
2.6.3	Stereo Glasses	23
2.6.4	Stereo Project Display	23
2.6.5	3-D Monitor	25
2.7	3-D Sound Generators	25
3	Algorithms of Graphics-Based Rendering	28
3.1	Geometry Modeling	29
3.1.1	Polygon Surfaces	29
3.1.2	Curved Surfaces	34
3.1.3	Basic Concepts of Curved Lines and Surfaces	34
3.1.4	Quadric Surfaces	38
3.1.5	Super-Quadric Surfaces	39
3.1.6	Bézier Curved Lines and Surfaces	39