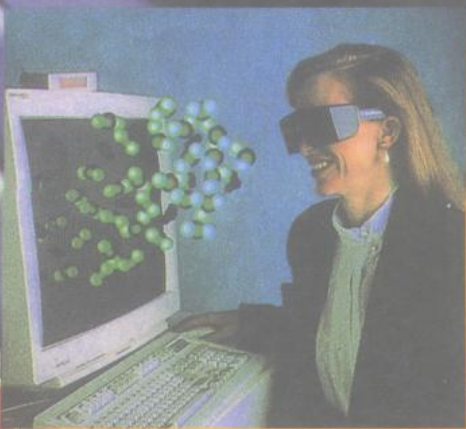




虚拟 现实 技术



主编 曾芬芳

上海交通大学出版社

73.968

397

虚拟现实技术

曾芬芳 主编

JS97/08

上海交通大学出版社

K 436

内 容 简 介

虚拟现实是一种综合计算机图形技术、多媒体技术、传感器技术、显示技术以及仿真技术等多种学科而发展起来的90年代计算机领域的高新技术。

本书介绍虚拟现实的概念、特点、短暂发展史、三维交互工具和基于人的自然技能的交互技术,以及提供视、听、摸等感知的三维建模、实时显示、虚拟声音显示、触摸和力量反馈等概念和技术,介绍了虚拟现实系统的组成、开发环境、系统集成的协调与评估,同时也介绍了国际上几个具有影响的虚拟现实系统,并就虚拟现实技术在船舶虚拟原型设计、仿真和医学等方面的应用作了介绍。

虚拟现实技术

上海交通大学出版社出版、发行

上海市番禺路 877 号 邮政编码 200030

全国新华书店经销

昆山亭林印刷总厂·印刷

开本:787×1092(毫米)1/16 印张:16.5 字数:407 000

版次:1997年6月 第1版 印次:1997年6月 第1次

印数:1—3 000

ISBN 7-313-01858-4/TP·340 定价:34.20元

前 言

1989年,美国VPL Research公司的奠基人Jaron Lanier提出了Virtual Reality一词,用以统一表述当前纷纷涌现的各种借助计算机技术及最新研制的传感装置所创建的一种崭新的模拟环境的概念,目前大家都称它为虚拟现实。这是一种综合计算机图形技术、多媒体技术、传感器技术、显示技术以及仿真技术等多种学科而发展起来的90年代计算机领域的最新技术,它以模拟方式为使用者创造一个实时反映实体对象变化与相互作用的三维图形世界,在视、听、触、嗅等感知行为的逼真体验中,使参与者可以获得直接参与和探索虚拟对象在所处环境中的作用和变化,使参与者仿佛置身于一个虚拟的世界中,产生沉浸感。

近10年来,多媒体技术、并行处理技术、开放系统以及面向对象技术等计算机技术的进展缩小了人与计算机之间的距离,但这些技术还未从根本上改变人机之间的隔阂。人们习惯了日常生活中使用的人与人、人与环境之间的交互方式,其特点是形象、直观、自然,如可见、可听、可说、可摸等符合人的感知和认知过程的方式,虚拟现实技术就是这样一种在思维方式上有质的飞跃的计算机技术,它是一种以全新的概念、全新的技术进入21世纪的高新技术。

作者从1992年开始,就注意虚拟现实技术的发展状况,并收集国内外资料,在相关课程上给高年级本科生和研究生介绍这一技术,同时在虚拟现实技术的视觉建模及其成像方面开发了一些子程序,进行了一些初步的尝试,本书就是在此基础上编写而成。

本书的第1章主要介绍虚拟现实(以下简称VR)的概念、特点及其与传统图形系统的区别,还介绍了它短暂的发展历史,以及目前国际上从事该领域研究的情况;第2章主要介绍虚拟现实系统的组成,并介绍了国际上几个具有影响的虚拟现实系统;第3章主要介绍VR系统中的传感技术、三维交互工具及其特点;第4章主要介绍基于人的因素的三维自然交互技术的概念模型、多通道用户界面、手模型及交互技术,如手势识别、抓取、碰撞等等;第5章主要介绍VR系统的实时显示技术,包括实时处理方法以及VR对图形加速处理器的要求;第6章主要介绍虚拟触摸和力量反馈的概念,它们的区别以及触摸和力反馈工具及显示设备;第7章主要介绍虚拟声音显示和它的作用、功能以及基于人耳传输函数(HRTF)的声音的定位、产生、表示、同步的结构化方法;第8章主要介绍三维视觉建模的原理、方法以及快速成像的几种算法;第9章主要介绍了VR系统的开发环境以及系统集成的协调和评估;第10章主要介绍了VR技术在虚拟原型、仿真和医学等方面的应用。

该书由曾芬芳主编,参加编写和资料翻译工作的同志有李琪、焦圣品、王建华、赵建立、何祖军、归宝琪、虞平良、邓志良、刘镇、袁立建、田炜、徐姝青等同志。本书还得到了清华大学唐泽圣教授,浙江大学石教英、彭群生教授,上海交通大学白英彩教授,SGI公司的王积杰先生以及北京黎明电子公司的廖朵朵女士等专家的帮助和支持,在此表示衷心的感谢。

由于VR是一门新兴的高技术,正处于飞速发展阶段,限于作者的水平和能力,有些理论难于全面理解和掌握,再加上时间仓促,书中内容难免存在不足或错误之处,恳请读者给予批评指正。

编者 1997年5月8日

目 录

第1章 绪论	1
1.1 虚拟现实的基本概念	1
1.1.1 什么是虚拟现实	1
1.1.2 虚拟现实的特征	4
1.1.3 VR系统与传统计算机图形系统的区别	6
1.2 虚拟现实的发展史	7
1.2.1 虚拟现实的发展	7
1.2.2 虚拟现实的商品化	9
1.3 虚拟现实对传统产生的冲击	11
1.3.1 VR技术对人类生活带来的冲击	11
1.3.2 VR技术对教育带来的冲击	12
1.3.3 VR对社会伦理道德带来的影响	12
1.4 发展中的VR技术研究	13
1.4.1 VR技术的研究课题	13
1.4.2 各国研究VR技术的状况	14
第2章 虚拟现实系统的组成	21
2.1 虚拟现实系统的分类	21
2.1.1 VR的分类	21
2.1.2 桌面VR系统	22
2.1.3 沉浸式VR系统	23
2.1.4 遥现VR系统	25
2.1.5 分布式VR系统	28
2.1.6 扩展现实VR系统	29
2.2 VR系统的体系结构	30
2.3 几个典型的VR系统的介绍	33
2.3.1 VIDEOPLACE系统	33
2.3.2 VIEW系统	34
2.3.3 Dialogue系统	36
2.3.4 SuperVision系统	37
2.3.5 CAVE系统	39
第3章 虚拟现实的三维交互工具	44
3.1 传感器技术	44
3.1.1 跟踪技术实现的基础——传感器技术	44
3.1.2 三维位置传感器	47
3.1.3 三维电磁传感器	48
3.1.4 超声波三维传感器	49

3.2 跟踪探测设备.....	51
3.2.1 跟踪器.....	51
3.2.2 跟踪球.....	53
3.2.3 三维探测器.....	54
3.3 手数字化设备.....	54
3.3.1 数据手套.....	55
3.3.2 电子手套和功率手套.....	58
3.3.3 其他手数字化设备.....	59
3.4 立体视觉设备.....	62
3.4.1 头盔显示器.....	63
3.4.2 立体眼镜.....	68
3.4.3 其他三维显示器.....	70
第4章 虚拟环境中的自然交互技术.....	72
4.1 自然交互的概念模型.....	72
4.1.1 概述.....	72
4.1.2 感知与行为概念模型.....	73
4.1.3 二维和三维交互概念模型.....	75
4.2 手势识别.....	77
4.2.1 基于手势语言的手势识别.....	78
4.2.2 基于手模型的手势识别.....	78
4.3 碰撞检测.....	86
4.4 自动抓取.....	89
4.4.1 手的抓取分类.....	89
4.4.2 自动抓取系统.....	90
4.5 多通道用户界面模型.....	92
4.5.1 多通道用户界面的概念模型.....	93
4.5.2 自然交互方式的多通道用户界面模型.....	94
4.5.3 多通道整合软件结构.....	94
第5章 实时显示处理技术.....	97
5.1 影响实时显示的因素.....	97
5.2 三维图形的实时显示技术.....	99
5.2.1 减少负载计算量.....	99
5.2.2 基于图像的实时动态显示技术.....	103
5.2.3 恒定帧频率的自适应显示.....	104
5.3 实时图形加速器.....	106
5.3.1 图形卡性能与图像画面复杂度.....	106
5.3.2 基于PC的VR产生器.....	107
5.3.3 基于工作站的图形加速器.....	110
5.3.4 高度并行VR引擎.....	111

5.4 大视场双眼体视显示技术.....	113
5.4.1 立体视觉.....	113
5.4.2 大视场角头盔显示器.....	116
5.4.3 新式显示器.....	117
5.5 分布式实时处理技术.....	118
第6章 触摸和力量反馈.....	123
6.1 触摸和力量反馈的概念.....	123
6.1.1 概述.....	123
6.1.2 触摸/力量反馈的概念及其区别.....	124
6.1.3 虚拟触摸/力量反馈的要求.....	125
6.2 “砂纸”系统.....	125
6.2.1 建立模拟纹理.....	126
6.2.2 实时力量显示处理的物理过程.....	127
6.2.3 力量显示的控制.....	127
6.3 触摸/力量反馈技术及工具.....	130
6.3.1 触摸反馈技术及工具.....	130
6.3.2 力量反馈技术及反馈装置.....	133
6.3.3 触摸反馈和力量反馈的结合的设备.....	138
6.4 基于物理模型的力量反馈.....	139
6.4.1 基于物理模型的力量反馈.....	139
6.4.2 新式触觉显示器.....	143
第7章 三维虚拟声音显示.....	144
7.1 三维声音的概念及作用.....	144
7.1.1 三维声音的概念及其特征.....	144
7.1.2 三维虚拟声音的作用.....	145
7.1.3 虚拟声音显示的研究目标.....	147
7.2 人类的听觉模型.....	148
7.2.1 概述.....	148
7.2.2 混响时间差和混响压力差.....	148
7.2.3 头部传递函数.....	150
7.2.4 声音合成技术的验证.....	152
7.2.5 三维合成声音定位的实验.....	155
7.3 虚拟声音显示.....	157
7.3.1 概述.....	157
7.3.2 虚拟声音显示的建模.....	157
7.3.3 合成声音跟踪的过程.....	160
7.3.4 虚拟声音提示.....	161
7.4 声音传播.....	162
7.4.1 距离和方向的影响.....	162

7.4.2	声音跟踪模型.....	163
7.4.3	声音描述的再现和处理过程.....	164
7.5	三维声音产生器.....	165
7.5.1	实时数字信号处理器.....	165
7.5.2	THE BEACHTRON 和 THE ACOUSTETRON.....	168
第 8 章	三维视觉建模及视觉成像.....	169
8.1	三维视觉的显示原理.....	169
8.2	虚拟世界中对象的定义.....	171
8.2.1	几何对象的描述.....	172
8.2.2	动态建模.....	173
8.2.3	对象特征定义.....	177
8.2.4	柔韧性物体及其变形.....	178
8.2.5	数据库模式及主要技术特点.....	181
8.3	细节层次模型分割及自动生成.....	182
8.3.1	单元分割法.....	183
8.3.2	细节层次分割.....	184
8.3.3	多细节层次模型自动生成算法.....	185
8.4	三维立体图的视觉成像方法.....	188
8.4.1	基于投影变换原理的立体图生成算法.....	189
8.4.2	基于相关性原理的立体图光线跟踪算法.....	190
8.4.3	快速全息图像的成像方法.....	193
8.5	三维场景装配技术.....	198
第 9 章	虚拟现实系统的开发环境及系统评估.....	199
9.1	虚拟现实系统开发的支撑软件.....	199
9.1.1	WTK 工具软件.....	200
9.1.2	MR 工具箱.....	202
9.1.3	VR 编辑器.....	203
9.1.4	虚拟现实造型语言 VRML.....	206
9.1.5	分布式虚拟环境创建工具 dVS.....	208
9.2	VR 系统开发的软硬件平台.....	210
9.2.1	基于工作站的开发环境.....	211
9.2.2	基于 PC 的系统开发平台.....	211
9.3	系统集成的协调和评估.....	216
9.3.1	视觉和图形反馈的评估.....	217
9.3.2	听觉和声音反馈的评估.....	220
9.3.3	触觉和力量反馈的评估.....	222
9.3.4	系统集成的协调评估.....	223
第 10 章	虚拟现实技术的应用.....	227
10.1	虚拟原型用于船舶设计.....	227

10.1.1	概述.....	227
10.1.2	舰船虚拟原型系统的开发.....	229
10.1.3	基于虚拟环境的舰船设计实例.....	235
10.2	军事仿真模拟.....	236
10.2.1	概述.....	236
10.2.2	实时分布仿真系统(SIMNET).....	238
10.2.3	飞行模拟器.....	240
10.3	虚拟现实技术在工程中的应用.....	241
10.3.1	虚拟空间决策支持系统在商业中的应用.....	241
10.3.2	机器人和生产制造.....	244
10.4	医药和治疗.....	248
10.4.1	外科手术.....	248
10.4.2	治疗.....	251
	参 考 文 献.....	252

第 1 章 绪 论

当您看到电影《侏罗纪公园》中逼真得令您毛骨悚然的恐龙时，当您看到《阿甘正传》中美国前总统约翰·肯尼迪是那样栩栩如生地再现在今天的屏幕上，并与约翰·列侬的扮演者亲切握手交谈时，您一定会发愣，是什么使这些不可能在今天复活的人和物显得那么逼真，令人可信呢？这就是 90 年代出现的高新技术——虚拟现实技术所创造出来的这些过去的、现在的、将来的、真实的或梦幻般的模拟世界。

虚拟现实(Virtual Reality)是近年来十分活跃的技术研究领域，是一系列高新技术的汇集，这些技术包括计算机图形学、多媒体技术、人工智能、人机接口技术、传感器技术以及高度并行的实时计算技术，还包括人的行为学研究等多项关键技术。虚拟现实是多媒体技术发展的更高境界，是这些技术的更高层次的集成和渗透；它能给用户以更逼真的体验，它为人们探索宏观世界和微观世界以及由于种种原因不便于直接观察事物的运动变化规律，提供了极大的便利。由于它的诱人前景，一经问世就立即受到了人们的高度重视。有关人士认为，80 年代是个人计算机的年代，90 年代是多媒体计算机的年代，21 世纪初将是 VR 技术的时代。为了在下世纪把握 VR 这一新技术，美、英、日等国政府及大公司已不惜投入巨额资金进行该领域的研究与开发工作，并在许多应用领域显示出良好的应用前景。

本章将给出 VR 的含义及其历史回顾、VR 与传统图形系统的区别，以及目前从事 VR 研究的机构所从事的各种研究，以供参考和借鉴。

1.1 虚拟现实的基本概念

1.1.1 什么是虚拟现实

1. 与“Virtual Reality”类似的概念及译意

“Virtual Reality”一词始于 1989 年，由 VPL Research 公司的奠基人 Jaron Lanier 在有关杂志和报刊上使用，从此引起了公众和媒介的重视。这对 VR 的发展具有重大意义，Lanier 本人也因此于 1991 年 5 月成为第一个在美国年会进行有关 VR 技术听证的人。

在 Jaron Lanier 提出 Virtual Reality 一词之前，已有不少类似的概念。M.W.Krueger 曾在 70 年代中提出了“人工现实”(Artificial Reality 简称 AR)一词，它用来说明由 Ivans Sutherland 1968 年开创的头盔式三维显示技术以来的许多人工仿真现实。美国科幻作家 William Gibson 1984 年提出了另一个词“电脑空间”(CyberSpace)，它是指可以在世界范围内同时体验的人工现实。同义词还有人工环境(artificial environments)，人工合成环境(synthetic environments)，虚拟环境(Virtual Environment)等。

在对 VR 下定义之前，我们应该首先辨别什么不是 VR。一些学者说它是“电子空间”(现在称为遥现技术)，使用者沉浸于一毫不相干的图像环境。由于机器人周围所发生的事情是危险的，利用电子空间可远程控制机器人(VR 对远距离控制危险作业的机器人

是很有用的)。另外有人称之为“增强的现实”，把一定的计算机图形或文本覆盖在真实的图像上面。“电子空间”和“增强的现实”中提到的图像都是真实的，因此从严格意义上讲，它们都不是VR，而是称之为遥现技术或临场感(TP——Telepresence)技术。1995年9月在日本岐阜市召开的“虚拟现实和多媒体国际会议”上，美国MIT的T.B.Sheridan教授区分了虚拟现实(VR)与临场感(TP)技术的概念。

有些人用虚拟现实所使用的工具来取代它，而不用它的目的和功能。例如，有些人趋向于把虚拟现实同头盔显示器和数据手套联系起来，只是因为它们是在模拟中首次使用的传统工具，但这也不是一个好的定义。因为VR也可以不用HMD来实现，而是使用大投影屏幕或是分布式图形工作站；同样，数据手套也可用更简单的跟踪仪或游戏棒来代替。相反，数据手套也可用于其他不是VR的任务中，比如电子机器人。因此用VR所使用的工具来定义它不是一个充分的定义。

我国有人建议把“Virtual Reality”译成为“灵境”，灵，是指“神”，灵境乃是虚幻之所在，所以也有人译为“幻真”、“临境”，这是一种意译。近来有人建议译成“虚拟实在”，因为“实在”在不同的条件下和场合下将展开为不同的现实。大至虚拟世界、虚拟城市、虚拟企业、虚拟图书馆，小至虚拟分子、虚拟细胞等等。只有把现实理解为等同于实在的极端情况下，虚拟实在也就是虚拟现实。上述各译法也各有其妙处，鉴于一些著名的刊物和书籍，如1995年出版的比尔·盖茨的“未来的路”和迈克尔·沙利文·特雷纳的《信息高速公路透视》中译本和计算机世界报等，大多数人将它译为“虚拟现实”。本书仍沿用此意，将“Virtual Reality”译为“虚拟现实”。

2. 虚拟现实的概念

虚拟现实是一种由计算机和电子技术创造的新世界，是一个看似真实的模拟环境，通过多种传感设备，用户可根据自身的感觉，使用人的自然技能对虚拟世界中的物体进行考察或操作，参与其中的事件；同时提供视、听、摸等直观而又自然的实时感知，并使参与者“沉浸”于模拟环境中。尽管该环境并不环绕我们，但它作为一个“逼真”的三维环境，仿佛就在我们周围。从这里可以看出，虚拟现实的概念包括了以下含义：

(1)“模拟环境”就是由计算机生成的具有双视点的、实时动态的三维立体逼真图像，逼真就是要达到三维视觉，甚至包括三维听觉、触觉及嗅觉等的逼真；而模拟环境可以是某一特定现实世界的真实实现，也可以是虚拟构想的世界。

(2)“感知”是指理想的虚拟现实技术应该具有人所具有的感知，除了计算机图形技术所生成的具有视觉感知以外，还有听觉、触觉、力觉、运动等感知，甚至还包括嗅觉和味觉等，也称为多感知(Multi-Sensaton)。由于相关技术受到传感器的限制，目前所具有的感知功能仅限于视觉、听觉、触觉、力觉、运动等，嗅觉方面也已有新的进展。但无论从感知的范围和精确程度都无法与人相比拟。

(3)“自然技能”指的是人的头部转动、眼睛、手势或其他人体的行为动作，由计算机来处理与参与者的动作相适应的数据，并对用户的输入(手势、口头命令等)作出实时响应，并分别反馈到用户的五官，使用户有身临其境的感觉，并成为该模拟环境中的一内部参与者，还可与在该环境中的其他参与者打交道。

(4)“传感设备”是指三维交互设备(如图1.1所示)，常用的有立体头盔、数据手套、三维鼠标、数据衣等穿戴于用户身上的装置和设置于现实环境中的传感装置(不直接戴



图 1.1 具有典型三维交互设备的系统

在身上),如摄像机、地板压力传感器等。

从上述的描述可知,VR并不是真实的世界,也不是现实,而是一种可交替更迭的环境,人们可以通过计算机的各种媒体进入该环境,并与之交互;从而也可以看出,虚拟现实技术是在众多相关技术(如计算机图形学、仿真技术、多媒体技术、传感器技术、人工智能等等)基础上发展起来的,但它又不是这些相关技术的简单组合。从技术上看,VR与各相关技术有着或多或少的相似之处,但在思维方式上,VR已经有了质的飞跃。由于VR是一门系统性技术,所以它不能像某一单项技术那样只从一个方面考虑问题,它需要将所有组成部分作为一个整体去追求系统整体性能的最优。

超脱不同的应用背景看,VR技术是把抽象、复杂的计算机数据空间表示为直观的、用户熟悉的事物。它的技术实质在于提供了一种高级的人与计算机交互的接口。

从下述几方面,不仅可以说明虚拟现实技术与传统接口技术的区别,而且也是对各种虚拟现实系统或装置性能水平的评价的一种三维评价尺度。

1) 控制交互作用的人—机共享性 早期的计算机系统中,用户发出指令,机器执行指令,控制权完全归于人。之后,人机之间可以会话,特别是人工智能专家系统设计的方法,它可使机器拥有一定的知识,并据此对用户作出反应,于是,机器与人共享控制权。VR技术为人机交互提供的是某种特定的直观环境,用户的作用仅是一个数据源,而不再是控制的主角。

2) 通过交互作用表示事物的现实性 传统的计算机应用方式中,人机交互的媒介只是真实事物的符号表示,是对现实的抽象替代,而VR技术则可以使这种媒介成为真实事物的复现,模拟甚至想象和虚构。用户并非感到他是在使用计算机,而是在直接与应用对象打交道。

3) 人机交互方式的自然性 Myron Krueger 研究“人工现实”的初衷就是“计算机应该适应人,而不是人适应计算机”,他认为人类与计算机相比,进化慢得多,人机接口的改进应该基于相对不变的人类特性。在VR技术中,人机交互不再借助键盘、鼠标、菜

单,而是头盔、手套,甚至向“无障碍”的方向发展。

3. 虚拟现实技术的意义

虚拟现实技术作为一项计算机技术,引起科学界、政府部门乃至每个人如此兴趣,充分说明了它对现代社会带来的轰动影响。我们都很清楚,计算机的出现给人类带来的不仅是一项新技术,它的影响力已远远超过了技术的范畴,它的出现和发展已经在几乎所有的领域得到了广泛的应用,甚至可以说,计算机已经成为现代科学技术的支柱。

计算机的使用离不开人与计算机之间的交互,人们通过诸如键盘、鼠标器、打印机等交互设备向计算机输入指令和从计算机获得计算结果。为了使用计算机,人们不得不首先熟悉这些交互设备,然后将自己的意图通过这些设备间接地传给计算机,最后以文字图表的形式得到处理结果。随着计算机技术的发展,交互设备在不断更新,因此当新的计算机出现时,用户必须重新熟悉新的交互设备。这种以计算机为中心,让用户适应计算机的传统交互方式严重阻碍了计算机的普及和应用,使人们有一种可望而不可及的感觉。随着社会和科学技术的发展,以及人们对计算机需求的日益增加,这种交互方式的问题显得越来越严重,人们渴望着有更方便、更实用的计算机出现。

让计算机代替人类完成所有的工作,这是人们所期望的,但是在目前的技术发展水平下,使计算机具有和人一样的智能是不现实的。因此,人与计算机的理想而又可能的交互方式应该是:扬长避短、优势互补。一方面,人们习惯于日常生活中的人与人、人与环境之间的交互方式,其特点是形象、直观、自然,通过人的多种感官来接受信息,如可见、可听、可说、可摸、可拿等,而且这种交互方式是人类所共有的、对于时间和地点的变化是相对不变的。另一方面,计算机有着很强的计算能力,随着图形生成、图像处理、语音处理、传感器以及多媒体等技术的发展,计算机处理视觉、听觉、触觉、力觉等信息的能力大大增强,而且这种能力是随着技术的发展而不断提高的。虚拟现实技术正是基于这种指导思想而产生的,即为了建立起方便、自然的人与计算机的交互环境,就必须适应人类的习惯,实现人们所熟悉的形象而直观的交互方式。虚拟现实为此创造了极好的条件。

虚拟现实技术的出现为计算机的推广应用提供了强大的技术支持,从这个意义上讲,虚拟现实技术是计算机技术及其发展过程中的一次飞跃,它所带来的变革将会产生巨大的社会和经济效益。

1.1.2 虚拟现实的特征

Grigore Burdea和Philippe Coiffet在他们的著作“*Virtual Reality Technology*”一书中指出,VR具有三个最突出的特征,也是人们熟称的VR的三“*I*”特性,因而可以用此来区别相邻技术,如多媒体技术、科学计算可视化技术等。

三个特征包括交互性(interactivity)、沉浸感(Illusion of Immersion)和想象(imagination)。交互性主要是指参与者通过使用专用设备,用人类的自然技能实现对模拟环境的考察与操作的程度,例如用户可以用手去直接抓取模拟环境中的物体,且用户有抓取东西的感觉,还可感觉到物体的重量(其实这时手里没有实物),视场中被抓起的物体也应立刻随着手的移动而移动。由于VR并不只是一种媒介或一个高层终端用户界面,它的应用能解决在工程、医学、军事等方面的一些问题,这些应用是VR与设计者并行操作,为发挥它们的创造性而设计的。这极大地依赖于人类的想象力。这就是VR的第二个特性——想

象(imagination)。

VR 的最主要的技术特征是沉浸感也有人称为“临境感”，“投入”，或“存在感(Presence)”等。VR 的追求目标是力图使用户在计算机所创建的三维虚拟环境中处于一种“全身心投入”的感觉状态，有身临其境的感觉，即所谓“沉浸感”。在该环境中的一切，看上去是真的、听起来是真的、动起来也是真的，一切感觉逼真。用户觉得自己是虚拟环境中的一个部分，而不是旁观者。他感到被虚拟景物所包围，可以在这一环境中左顾右盼、自由走动，与物体相互作用，如同在已有经验的现实世界中一样。这种使用户感到作为一个主角沉浸于模拟环境中的真实程度，对理想的模拟环境应该达到使用者难辨真假的程度。如可视场景应随着视点的变化而变化，有比现实更逼真的照明和音响效果等，甚至比真的还“真”。

导致“沉浸感”的原因是用户对计算机环境的虚拟物体产生了类似于对现实物体的存在意识或幻觉。为此，必须具备3种基本的技术要素(如图1.2所示)：

(1) 图像(imagery) 虚拟物体要有三维结构的显示，其中包括主要由以双目视差、运动视差提供的深度信息；图像显示要足够大的视场，造成“在图像世界内观察”而不是“窗口观察”的感觉；显示画面符合观察者当前的视点，能跟随视线变化；物体图像能得到不同层次的细节审视。

(2) 交互(interaction) 虚拟物体与用户间的交互是三维的，用户是交互作用的主体；用户能觉得自己是在虚拟环境中参与对物体的控制；交互是多感知的，用户可以使用与现实生活不同的方式(例如手语)与虚拟物体交互。

(3) 行为(behavior) 虚拟物体在独自活动时、或相互作用时、或在与用户的交互作用中，其动态都要有一定的表现，这些表现或者服从于自然规律，或者遵循设计者想象的规律，这也称之为VR系统的自主性(autonomy)。自主性是指虚拟环境中物体依据物理定律动作的程度。如当受到力的推动时，物体会向力的方向移动、翻倒或从桌面落到地面等等。虚拟物体对用户作用的不平凡反应往往能令人增加信任感。

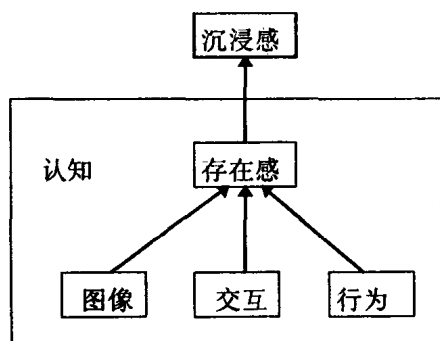


图 1.2 虚拟现实的技术要素

上述技术要素之间是相互关联的，它们对于用户的“存在”意识的影响、进而导致“沉浸感”的过程实际上基于人的认知(human cognition)机理，所以有人认为：“心理学是虚拟现实的物理学”(Psychology is the Physics of Virtual Reality)。

VR的“沉浸感”特性使它与一般的交互式三维计算机图形有较大的不同：用户可以沉浸于数据空间，可以从数据空间向外观察，从而可以使用户能以更自然、更直接的方式与数据交互。利用沉浸功能，使用户暂时与现实环境隔离，投入到虚拟环境中，从而能更真实地注视数据。VR界面也可以给技术人员及创作人员提供真实数据，以便正确地创建虚拟环境，这样有助于用户更快、更全面地分析理解数据。因此，VR技术将从根本上改变人与计算机系统的交互操作方式。

不过, 从现在对 VR 的研究来看, 人们还未完全理解使某人产生沉浸感的所有因素及它的作用, 这种经历对于另一个人来说也许就不是沉浸。因此科学家也无法提供计算某人沉浸度的计算公式。这就是今天 VR 技术的研究者致力于人的心理学研究的原因。

1.1.3 VR 系统与传统计算机图形系统的区别

计算机实时三维图形学是 VR 技术最重要的技术基础之一, 任何复杂的虚拟环境的创建, 都离不开三维造型以及对这些造型的各种实时处理。然而 VR 系统和传统计算机图形系统在许多方面还存在质的区别, 主要表现在:

1. 三维实时动态显示的功能不同

在人的感觉中, 视觉摄取的信息量最大, 反应最敏感, 因而模拟环境的实时动态显示是虚拟现实技术中的首要问题之一。VR 系统要求实时动态逼真地模拟环境, 这就要求立体视觉和深度线索。因此模拟环境是通过以左、右眼为视点分别生成图像, 眼睛的转动要随之生成新的画面, 以达到动态实时响应。为了实时运行三维模型, 其建模方法与以造型为主的建模方法有很大的区别。VR 系统的建模大都采用模型分割、纹理映射等其他技术, 而不是以增加几何造型复杂度的方法来提高逼真度。

三维立体显示器通常提供双视点线索的电子设备, 它们具有双目相异和汇聚功能, 并能提供深度线索, 还具有运动视差和视觉调节等功能。能显示三维全彩色的、有明暗的、有纹理和阴影的图像, 这就要求极高的三维图形显示系统, 才能实现。最早的 VR 三维显示系统是头盔显示器, 利用两幅稍有差别的图像分别显示在两个小屏幕上, 造成两眼的视差, 使在视觉效果上有一种深度感。如果观察者头部转动时, 显示的图形也随之更替, 给人一种身临其境的感觉。

在三维图形显示效果的处理方面, 传统图形系统的三维图形生成是以透视投影、隐藏面消除以及光线和阴影来达到三维显示视觉效果的, 它没有景深。它与 VR 相比, 正如立体电影与普通电影的区别一样。

2. 人机交互能力和交互设备不同

人机交互方式是当前计算机系统研究的关键, VR 系统与传统图形系统的人机界面相比, 也存在着差别。VR 界面的概念不是用键盘、鼠标及监视器, 而是允许用户更直接地利用数据交互。例如用手(通过传感器或数据手套)或其他三维工具来操作数据, 那么用户就可以更自然地观察数据并和数据交互。

在通信方式上, VR 技术本质上是采用人与人之间进行通信的方式(而不是以人去适应设备的方式)实现人与设备之间的交流。虚拟现实强调的是一种身临其境的交互方式, 设想这样一个虚拟现实系统的情景: 用户在戴上头盔显示器和数据手套后, 不仅可以看到一个排球, 而且还可以摸到它, 并能得到触觉反馈。用户还可以拍动排球, 拍球的时候, 不仅能感受到排球对手的反作用力, 还能听到拍球发出的“嘭嘭”声。为了使用户产生这种身临其境的感觉, 虚拟现实系统必须具备一些不同于传统计算机系统的人机交互技术。这些能使人身临其境的交互技术主要有: 实时的三维计算机图形、大视角的立体显示、头部跟踪、手及姿势跟踪、三维声音、触觉反馈和力反馈等等。而传统计算机图形系统进行人机交互最常用的设备是键盘和二维鼠标, 人们通过它们与三维环境中的物体进行通信, 这与我们在自然世界中的通信方式相距甚远。

虚拟现实技术是在三维空间中与人交互的技术，为了能及时、准确地获取人的动作信息，需要有各类高精度、高可靠的三维人机交互设备和传感设备。目前实现这些交互技术的设备主要有：三(六)维鼠标器、定位装置、数据手套、数据衣服、跟踪设备等。而传统的图形系统只需要二维交互设备。

3. 人的因素

真实世界是人类生活的世界，而 VR 通过计算机生成的世界是真实世界的仿真，即虚拟世界，在这个虚拟世界里的一切，看上去像真的，听起来像真的，动起来也像真的。这些都是通过人的感知而获得的，所以 VR 技术与人的关系极为重要。

(1) 人可以与虚拟世界进行对话。在虚拟世界中，人可以从数据空间向外观察。VR 具有从外到内或从内到外地观察数据空间的特征，而在传统计算机图形系统中，人们只能通过计算机屏幕(监视器)这个有限的小窗口，从外向内观察数据空间。

参与者可以沉浸到数据空间中。我们知道，虚拟现实系统就是由计算机处理与参与者的动作相适应的数据，并分别反馈到用户的五官，使参与者沉浸到这样的一个数据空间中，并成为合成环境中的一个内部参与者。参与者可对这个环境中的数据进行修改、增加、删除，任何改变都将保存在数据库中。VR 系统不只是一个比传统的图形系统更大、更快、更好的图形系统。在 VR 系统中，用户不再是观众，他主动参与系统，是系统内部的一个参与者，而且是其中的主人。在传统的图形系统中，用户像一个局外的观察者，只能通过一个窗口观看这个合成环境。

(2) 人能够体验虚拟世界，并具有沉浸感。由于人是 VR 环境中的核心，所以模拟的情况必须反馈给人，这主要是通过将临场感的显示、视觉、触觉以及味觉，以综合的、和谐的形式反馈出来。

(3) “虚拟环境创建技术”是按照人的意图将虚拟人沉浸到模拟环境，并使虚拟人在模拟环境里行动的技术。VR 技术可以以“这是我所想象的世界”的形式来表现人类的内心世界，可以以写真的方式或抽象的方式提供迄今所不能创建的事物。

1.2 虚拟现实的发展史

1.2.1 虚拟现实的发展

VR 技术的渊源可以追溯到 50 年代开始产生的立体电影以及各种宽银幕、环幕、球幕电影。具有深度感、大视野、环境感的电影图像加上声响的配合，使观众沉浸于屏幕上变幻的情节场景之中。这种使人置身于图像环境的方式也一直用于几十年以来的飞行模拟训练系统中，航空、航天飞行员在训练舱中面对屏幕进行各种驾驶操作，模拟舱外场景的屏幕图像随之变化，飞行员可得到仿真的训练感受。

一般认为，研究目标明确的 VR 技术是从 60 年代开始形成的。但由于技术复杂、投资太大、除了少数军工方面的研究之外，几乎很少被大家注意。

60 年代初，电影摄影师 Morton Heiling 构造了第一个多感知仿真环境的原型 Sensorama simulator，这是第一个 VR 视频系统。人坐于拱顶装置下，手操纵摩托车把，仿佛穿行于纽约闹市，能看到立体、彩色、变化的街画面，听到立体声响，感到行车的颠簸、扑面的

风，甚至能闻到相应的芳香，创建了一个能向观众提供完全真实感受的剧院。在 Heilig 的发明时代，美国没有一个人意识到这项技术的革新所代表的技术进步，更不用说对此发明进行投资。不难想象在 30 年后的今天，他看到每个人都想在这项技术上投资时会有多么兴奋。

1965 年，在 IFIP 会议上，有 VR “先锋”之称的计算机图形学的创始人 Ivan Sutherland 作了题为“*The Ultimate Display*”的报告，提出了一项富有挑战性的计算机图形学研究课题。他指出，人们可以把显示屏当作一个窗口观察一个虚拟世界，使观察者有身临其境的感觉。这一思想提出了虚拟现实概念的雏型。1968 年，他使用两个戴在眼睛上的阴极射线管(CRT)，研制了第一台头盔式显示器 HM。并发表了题为“*A Head-Mounted 3D Display*”的论文，对头盔式三维显示装置的设计要求、构造原理进行了深入的讨论，并绘出了这种装置的设计原型，成为三维立体显示技术的奠基性成果。几乎 30 年之后的今天，HMD 用同样的配置也还是使用 CRT。不过 1966 年的 CRT 比今天的要重得多，Sutherland 不得不使用一个机械手臂来支持显示器的重量，这个机械手臂上有测量使用者观察方向的电位器。在研究 HMD 的同时，Sutherland 认识到他可使用计算机产生的画面来代替摄影机拍摄的模拟图像，并开始设计这种“画面产生器”。

1971 年，Frederick Brooks 研制了具有力反馈的原型系统 *Grope - II*，用户通过操纵一个实际的机械手，来控制屏幕中的图形机械手去“抓取”一个立体图像表示的物体，而且人手能感觉到它的重量。

1975 年，Myron Krueger 提出“人工现实”(Artificial Reality)的思想，展示了称之为 *Videoplace* 的“并非存在的一种概念化环境”。实验者面对投影屏幕，摄像机摄取他的身影轮廓图像，与计算机产生的图形合成，由投影机投射在屏幕上，室内的传感器识别实验者的动作，屏幕上可显示诸如实验者在游泳、爬山等情景。

VR 研究的进展从 60 年代到 80 年代中期是十分缓慢的。直到 80 年代后期，VR 技术才得以加速发展。这是因为图形显示技术已能满足视觉耦合系统的性能要求，液晶显示(LCD)技术的发展使得生产廉价的头盔式显示器成为可能。

1985 年，美国航空航天管理局 NASA 的 Scott Fisher 等研制了著名的 *VIEW* 一种“数据手套”(Dataglove)，这种柔性、轻质的手套装置可以量测手指关节动作、手掌的弯曲以及手指间的分合，从而可编程实现各种“手语”。与“数据手套”原理类似的还有“数据衣”(Data Suit)。

NASA 科学家又继续制成第一套 VR 系统，由一台 DEC PDP 11-40 主机、一个图形系统及图形计算机和一个 Polhmus 非接触式跟踪仪组成。用跟踪仪检测用户的头部运动并把数据传送给 PDP，然后主机把这些数据重新排列传递给图形计算机，由它计算出图像，并在 *VIVED* 上立体显示出来。

在 1985 年，Scott Fisher 加入了此项研究工作，他在模拟中又增加了一种新的传感手套。早期这种手套被 Thomas Zimmerman 和 Jaron Lanier 用来作为非程序员的一个虚拟编程界面。Fisher 用 *VIVED* 系统作实验。1986 年终研制成功了第一套基于 HMD 及数据手套的 VR 系统 *VIEW*(Virtual Interactive Environment Workstation)。这是世界上第一个较为完整的多用途、多感知的 VR 系统，使用了头盔显示器、数据手套、语言识别与跟踪技术等，并应用于空间技术、科学数据可视化、远程操作等领域，被公认为当前 VR 技术的发源地。