

本书获深圳大学教材出版基金资助

虚拟现实技术与应用

王贤坤 编著

清华大学出版社

北 京

内 容 简 介

本书是结合制造业工科类专业和电子商务类专业读者的特点与需求编写而成的。在内容上注重系统性、新颖性和先进性；在表述上注重通俗易懂、循序渐进；在虚拟现实应用开发软件选择上，着重考虑软件的先进性、成熟性和领域应用的广泛性，以满足不同起点和不同层次读者的需求。

全书共 8 章。第 1 章为虚拟现实技术概述，第 2 章介绍了虚拟现实系统的硬件设备，第 3 章介绍了虚拟现实系统的关键技术，第 4 章介绍了虚拟现实系统软件，第 5 章介绍了全景摄影和全息投影技术，第 6 章介绍了增强现实技术，第 7 章介绍了 Cult3D 软件与应用，第 8 章介绍了 EON Studio 软件与应用。

本书可作为高等院校制造业工科类、电子商务类专业的计算机辅助技术的教学用书，也可作为其他专业领域的虚拟现实技术爱好者的学习参考用书。

本书封面贴有清华大学出版社防伪标签，无标签者不得销售。

版权所有，侵权必究。侵权举报电话：010-62782989 13701121933

图书在版编目(CIP)数据

虚拟现实技术与应用 / 王贤坤 编著. —北京：清华大学出版社，2018

ISBN 978-7-302-50635-5

I. ①虚… II. ①王… III. ①虚拟现实 IV. ①TP391.98

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2018)第 156484 号

责任编辑：王 定

封面设计：周晓亮

版式设计：思创景点

责任校对：牛艳敏

责任印制：丛怀宇

出版发行：清华大学出版社

网 址：<http://www.tup.com.cn>, <http://www.wqbook.com>

地 址：北京清华大学学研大厦 A 座 邮 编：100084

社 总 机：010-62770175 邮 购：010-62786544

投稿与读者服务：010-62776969, c-service@tup.tsinghua.edu.cn

质 量 反 馈：010-62772015, zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn

印 装 者：三河市铭诚印务有限公司

经 销：全国新华书店

开 本：185mm×260mm 印 张：22 字 数：535 千字

版 次：2018 年 9 月第 1 版 印 次：2018 年 9 月第 1 次印刷

定 价：68.00 元

产品编号：076552-01

前言

源于科幻小说,融合光、机、电、人机工程学和信息技术(IT)及其相关技术的成果而发展起来的虚拟现实技术,如今已快速发展成新型信息技术产业。与此同时,虚拟现实技术也在各个领域得到重要的开发应用,其内涵与外延也在发展和变化着。

随着虚拟现实技术的迅速发展和广泛应用,各专业领域需要大量掌握虚拟现实技术理论知识和虚拟现实应用开发技能的人才。为此,许多专家学者编写出版了多种有关虚拟现实技术的图书,为推动我国虚拟现实技术人才的培养和促进虚拟现实技术发展做出了积极贡献。笔者在近十年来的教研实践过程中体会到制造业工科类专业(含工业设计专业)、电子商务类专业读者普遍存在软件编程基础弱等特点,有鉴于此,笔者试图面向这些专业的读者编写一本既可被用来系统学习虚拟现实概念、虚拟现实技术及其相关技术原理等理论知识,又能从中掌握几乎无须编程的开发领域虚拟现实应用技能的教学参考书。

在编写本书的过程中,笔者遵循普及与应用技能掌握的原则,注意在内容上力求严密性与系统性、新颖性与先进性;在表述上注重通俗易懂、循序渐进;在虚拟现实应用开发软件选择上,既考虑上述各专业读者的编程基础,又考虑了开发软件的先进性、专业领域应用的成熟性和广泛性。

全书共8章。第1章为虚拟现实技术概述,第2章介绍了虚拟现实系统的硬件设备,第3章介绍了虚拟现实系统的关键技术,第4章介绍了虚拟现实系统软件,第5章介绍了全景摄影和全息投影技术,第6章介绍了增强现实技术,第7章介绍了 Cult3D 软件与应用,第8章介绍了 EON Studio 软件与应用。

本书可作为高等院校制造业工科类、电子商务类专业的计算机辅助技术的教学用书,也可作为其他专业领域的虚拟现实技术爱好者的学习参考用书。若教学计划为40~50学时,建议学习第1章至第7章;若教学计划为60~70学时,建议学习第1章至第8章。

在编写本书的过程中,借鉴了国内外许多专家、学者的观点,参考引用了许多相关教材、专著、网络资料,在此向有关作者一并表示崇高的敬意和衷心的感谢。本教材得到深圳大学教材出版基金资助,谨此表示衷心感谢。

由于编者水平有限且时间仓促,书中难免有不足之处,恳请各位专家、读者批评指正。

本书学习素材下载:



王贤坤

2018年3月于鹏城

目 录

第 1 章 虚拟现实技术概述	1
1.1 虚拟现实	1
1.1.1 虚拟现实的人机交互原理	1
1.1.2 虚拟现实分类	2
1.1.3 虚拟现实特征	3
1.2 虚拟现实系统的组成与类型	3
1.2.1 虚拟现实系统的组成	3
1.2.2 虚拟现实系统的类型	4
1.3 虚拟现实技术的发展历程	8
1.3.1 探索阶段	8
1.3.2 走向实用阶段	10
1.3.3 理论的完善和应用阶段	11
1.3.4 进入产业化发展阶段	11
1.4 虚拟现实技术的应用	12
1.5 虚拟现实技术的研究方向 和现状	16
1.5.1 虚拟现实技术的研究方向	16
1.5.2 国外研究现状	16
1.5.3 国内研究现状	18
1.6 虚拟现实技术的局限性与 技术瓶颈问题	19
思考题	20
第 2 章 虚拟现实系统的硬件设备	21
2.1 典型虚拟现实系统的硬件 配置	21
2.2 虚拟现实系统的立体显示 设备	24
2.2.1 人眼立体视觉形成原理	24
2.2.2 视觉的感知设备	25
2.3 听觉感知设备	36
2.3.1 人类听觉模型	36
2.3.2 听觉感知设备特性与分类	37

2.4 触觉和力反馈设备	39
2.4.1 触觉感知	39
2.4.2 几种触觉反馈设备	40
2.5 位置跟踪设备	47
2.5.1 位置跟踪设备概述	47
2.5.2 几种位置跟踪设备	49
2.5.3 跟踪设备的性能比较	60
2.5.4 常见的 3D 位置跟踪设备	60
2.6 动作捕捉系统	64
2.6.1 动作捕捉系统的分类	64
2.6.2 不同动作捕捉系统间的特性 比较	68
2.6.3 动作捕捉系统实际应用的 技术参数	69
2.7 面部表情捕获系统	71
2.8 嗅觉和味觉感知设备	72
2.8.1 嗅觉感知设备	72
2.8.2 味觉感知设备	72
2.9 其他交互设备	73
2.9.1 脑机交互装置	73
2.9.2 体感交互设备	74
2.10 虚拟现实的计算设备	75
2.10.1 高性能个人计算机与图像 加速卡	75
2.10.2 高性能图形工作站	76
2.10.3 高度并行的计算机(超级 计算机)	77
2.10.4 分布式网络计算机	78
2.11 虚拟现实系统的系统集成 设备	78
2.11.1 主被动立体信号转换器	79
2.11.2 无线彩色触摸屏智能中央 控制系统	79

思考题	80	3.8 唇读识别技术	107
第3章 虚拟现实系统的关键技术	81	3.9 虚拟现实系统的集成技术	107
3.1 视觉信息的 3D 显示技术	81	3.9.1 图像边缘融合与无缝拼接技术	107
3.1.1 彩色眼镜法(分色法)	82	3.9.2 光谱分离立体成像技术	108
3.1.2 偏振光眼镜法(分光法)	83	3.9.3 图像数字几何矫正技术	109
3.1.3 串行式立体显示法(分时法, 快门式)	83	思考题	110
3.1.4 分波式立体显示法	84	第4章 虚拟现实系统软件	111
3.1.5 不闪式 3D 显示技术	85	4.1 构建虚拟环境的三维视觉建模软件	111
3.1.6 裸眼立体显示实现技术	85	4.1.1 实物虚化的 3D 视觉建模软件	111
3.1.7 全息摄影技术	87	4.1.2 虚构的虚拟环境的 3D 视觉建模软件	112
3.2 虚拟现实系统中的虚拟环境建模技术	87	4.1.3 3ds Max 建模软件	114
3.2.1 几何建模技术	88	4.1.4 Multigen Creator 建模平台	115
3.2.2 物理建模技术	90	4.2 虚拟现实开发软件	117
3.2.3 行为建模技术	90	4.2.1 虚拟世界工具箱 WTK	117
3.2.4 听觉的建模技术	91	4.2.2 虚拟现实软件平台介绍	118
3.2.5 气味的数字化技术	92	4.3 基于 Web 的 3D 建模技术平台	120
3.2.6 味觉的体验技术	93	4.3.1 Web3D 的起源	120
3.3 真实感实时绘制技术	93	4.3.2 Web3D 的发展	120
3.3.1 真实感绘制技术	93	4.3.3 Web3D 的应用	121
3.3.2 基于几何图形的实时绘制技术	94	4.3.4 Web3D 的典型开发技术	121
3.3.3 基于图像的实时绘制技术	97	4.3.5 Web3D 的未来	126
3.4 3D 虚拟声音的实现技术	98	思考题	127
3.4.1 3D 虚拟声音的概念与作用	98	第5章 全景摄影和全息投影技术	128
3.4.2 3D 虚拟声音的特征	99	5.1 全景摄影技术概述	128
3.4.3 语音识别技术	99	5.1.1 全景摄影技术的分类	129
3.4.4 语音合成技术	100	5.1.2 全景摄影的发展前景	129
3.5 人机自然交互与传感技术	100	5.2 全景摄影硬件要求	130
3.5.1 人机交互的经历	100	5.2.1 全景摄影器材的认识	130
3.5.2 手势识别技术	102	5.2.2 相机的节点位置	132
3.5.3 面部表情识别技术	102	5.2.3 有变焦数码单反相机的配置	134
3.5.4 眼动跟踪技术	103	5.2.4 无变焦数码单反相机的配置	135
3.5.5 触觉(力觉)反馈传感技术	104		
3.6 实时碰撞检测技术	104		
3.6.1 碰撞检测的要求	105		
3.6.2 碰撞检测的实现方法	105		
3.7 脑机交互技术	106		

5.2.5 胶片单反机的配置	135	6.4 增强现实技术应用领域	170
5.3 对象全景图制作软件	135	6.5 增强现实系统的软件平台	172
5.4 全景图拼接算法	139	6.5.1 增强现实软件	173
5.5 全息投影技术	144	6.5.2 EasyAR 应用	175
5.5.1 基本概念	144	6.6 增强现实系统的硬件	177
5.5.2 发展历史	145	6.7 增强现实应用开发案例	183
5.5.3 全息投影的技术原理	146	6.7.1 基于 ARToolKit 编写 AR 应用程序	183
5.6 伪全息、伪立体投影(幻影 成像)	149	6.7.2 样例程序分析	184
5.6.1 伪全息、伪立体投影(幻影 成像)原理	150	6.7.3 应用自己设计的模板图案标 识的 AR 应用程序开发	188
5.6.2 全息摄影技术设备	152	思考题	191
5.7 其他全息技术	154	第 7 章 Cult3D 软件与应用	192
思考题	154	7.1 Cult3D 概述	192
第 6 章 增强现实技术	155	7.1.1 Cult3D 的特点、授权与 组成	192
6.1 概述	155	7.1.2 Cult3D Designer 5.3 主界面 窗口简介	193
6.1.1 技术原理与特征	155	7.1.3 基于 Cult3D 的虚拟现实 模型的开发流程	198
6.1.2 增强现实、混合现实、虚拟 现实三者间的关系	156	7.2 基于 Cult3D 的物体虚拟现 实模型的开发实例	202
6.1.3 VR、AR、MR 之间的 区别	158	7.2.1 虚拟对象的三维展示	202
6.2 增强现实系统的组成形式	159	7.2.2 Cult3D 的综合应用	210
6.2.1 基于台式显示器的增强现实 系统	160	思考题	225
6.2.2 光学透视式增强现实系统	161	第 8 章 EON Studio 软件与应用	226
6.2.3 视频透视式增强现实系统	161	8.1 EON Studio 安装	226
6.2.4 基于手持显示器的增强 现实系统	161	8.1.1 系统基本配置需求	226
6.2.5 基于投影显示器的增强 现实系统	162	8.1.2 安装过程	227
6.3 增强现实系统的关键技术	162	8.2 基本概念	229
6.3.1 显示技术	163	8.2.1 功能节点说明	229
6.3.2 注册技术	164	8.2.2 基础功能节点及其构成	230
6.3.3 交互技术	166	8.2.3 常用节点介绍	231
6.3.4 虚实融合技术	167	8.2.4 节点的使用方法	231
6.3.5 增强虚拟环境技术	167	8.2.5 元件的使用方法	233
6.3.6 视频融合技术	168	8.3 创建应用程序	234
6.3.7 移动互联网上的相关技术 与应用	169	8.3.1 虚拟世界的坐标系统	234
		8.3.2 创建应用程序的流程	235

8.3.3 导入场景对象	235	8.6.4 更多的导入程序	267
8.3.4 物体表面的修改	235	8.6.5 缺口移除精灵	269
8.3.5 为物体添加动作	235	8.6.6 脚本编辑器	270
8.3.6 3D 编辑工具	236	8.7 EON 节点和元件使用实例	271
8.3.7 运行并保存应用程序	236	8.7.1 EON Studio 的基本节点	271
8.3.8 EON Studio 的文件格式	236	8.7.2 EON Studio 的代理节点	287
8.4 EON Studio 运行界面	237	8.7.3 EON Studio 5.2 的 GUI 控制节点	302
8.4.1 下拉式菜单	237	8.7.4 EON Studio 5.2 的传感器 节点	303
8.4.2 工具条	240	8.7.5 EON Studio 5.2 的运动模型 节点	304
8.5 EON Studio 视窗	240	8.7.6 EON Studio 5.2 的组合 节点	307
8.5.1 基础说明	240	8.7.7 EON Studio 5.2 的元件	309
8.5.2 EON Studio 视窗类型	240	8.8 EON Studio 的综合应用	311
8.5.3 模拟树状结构	243	8.8.1 互动虚拟现实场景的设计	311
8.5.4 逻辑关系定义视窗	245	8.8.2 翻盖手机的虚拟展示模型 设计	325
8.5.5 蝶状结构视窗	248	思考题	334
8.5.6 搜寻视窗	252	参考文献	335
8.5.7 事件记录视窗	253		
8.5.8 元件视窗	253		
8.5.9 标准元件编辑视窗	260		
8.6 导入 3D 物体	263		
8.6.1 EON 可支持的 3D 文件 格式	263		
8.6.2 导入场景模型数据程序	264		
8.6.3 导入 3D Studio 文件及其他 外挂程序转换格式	266		

第1章 虚拟现实技术概述

虚拟现实(Virtual Reality, VR),也称为灵境、幻真、赛博空间等,是一种可以创建和体验虚拟世界(或称虚拟环境)的计算机系统,可以形成一种“人既可沉浸其中又可超越其上、进出自如、相互交互的多维信息空间”。VR 技术利用计算机生成的交互式三维环境,不仅使操作者(或称参与者、用户、人类等)能够感到景物或模型十分逼真地存在,而且能对操作者的运动和操作做出实时准确的响应。虚拟现实技术是综合性极强的高新信息技术,在军事、医学、土木、建筑、工业设计、电子商务、艺术、娱乐等很多领域都得到了广泛应用。

【学习目标】

- 理解虚拟现实的基本概念
- 了解虚拟现实类型
- 了解虚拟现实技术原理、虚拟现实系统组成与分类
- 了解虚拟现实技术的应用领域
- 了解目前虚拟现实技术存在的局限性及其产业所面临的技术屏障
- 了解虚拟现实技术的发展趋势与研究方向

1.1 虚拟现实

虚拟现实是利用计算机模拟产生一个多维信息空间的虚拟世界,提供操作者关于视觉、听觉、触觉、嗅觉、味觉等感官的模拟,让操作者身临其境一般,可以实时、自由地感知三维空间内的一切事物。

1.1.1 虚拟现实的人机交互原理

基于虚拟现实的人机交互技术原理如图 1-1 所示。

从虚拟现实的概念可知:

- (1) 操作者需要借助于特殊的、必要的三维设备、传感设备来完成与虚拟环境的交互。
- (2) 操作者与虚拟环境之间采用自然的交互方式。

从交互方式来说,虚拟现实是人们通过计算机对复杂数据进行可视化操作与交互的一种全新方式,与传统的人机界面以及流行的视窗操作相比,虚拟现实在技术思想上有了质的飞跃。

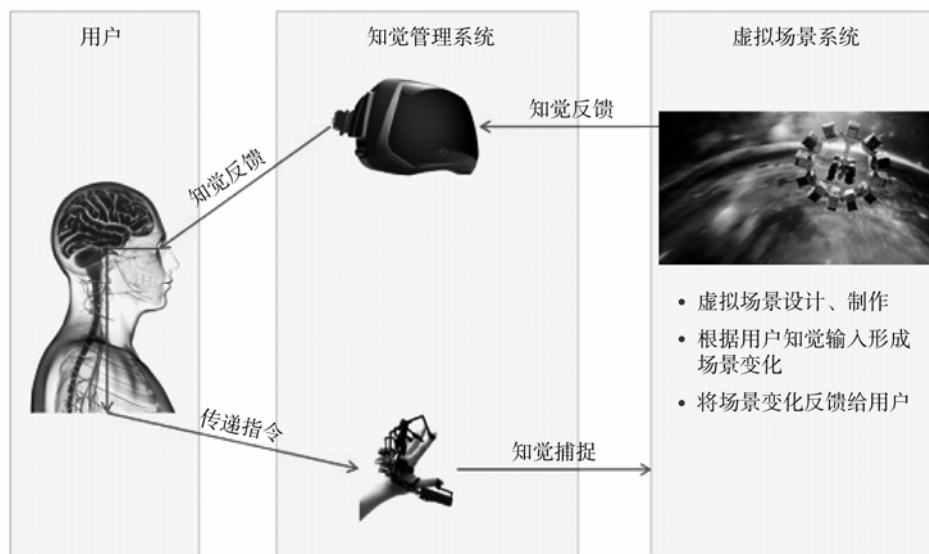


图 1-1 基于虚拟现实的人机交互技术原理图

1.1.2 虚拟现实分类

虚拟现实中的“现实”从广义上来讲，是指在物理意义上或功能意义上存在于世界上的任何事物或环境，它可以是实际上可实现的，也可以是实际上难以实现的或根本无法实现的。而“虚拟”是指用计算机模拟生成的任何事物或环境。因此，虚拟现实是指用计算机生成的一种特殊环境，人可以通过使用各种虚拟现实设备将自己与这种特殊环境连接起来，并操作、控制环境中的任何事物，实现与环境自然交互的目的。为此，可以将虚拟现实分为现实虚化、穿透现实、虚物实感三种类型。

现实虚化型的虚拟现实是指将现实世界真实存在的一切事物或环境，通过数字化技术手段进行数字化建模后，由计算机将其按照一切都符合客观规律的原则仿真出来。这样的虚拟现实有时也被称为仿真型虚拟现实，并已被广泛用于工业中，如“虚拟驾驶模拟器”等。学员坐在座舱里便可获得和真实驾驶中一样的感受，根据这种感受进行各种操作，并根据操作后出现的效果来判断这样操作是否正确。

穿透现实型的虚拟现实虽然也是根据真实存在进行模拟，但所模拟的对象或者是用人的五官无法感觉到，或者是在日常生活中无法接触到的。穿透现实型虚拟现实可以充分发挥人的认识和探索能力，揭示未知世界的奥秘。它以现实为基础，但可能创造出超越现实的情景。例如，模拟宇宙太空和原子世界，把人带入浩瀚无比或纤细入微的世界里，对那里发生的一切取得感性认识。还可用于虚拟旅游、虚拟维修核设施等。

虚物实感型的虚拟现实是指随心所欲地营造出现实世界不可能出现的情景或者不符合客观规律的现象。游戏、神话、童话、科学幻想在这个世界中可以轻而易举地化作“现实”。因此，虚物实感型虚拟现实给人带来广阔的想象时空，尽管有时不符合客观规律和逻辑性，但能促进人类想象和创造力的发展。

1.1.3 虚拟现实特征

1. 虚拟现实的基本特征

虚拟现实的 Immersion(沉浸感)、Interactivity(交互性)和 Imagination(构想性)是虚拟现实的三个基本特征, 也称 3I 特征。3I 是三个基本特征的英文单词的首字母的缩写。

(1) 沉浸感: 又称临场感, 指操作者感到作为主角存在于虚拟世界中的真实程度。理想虚拟世界应该使操作者难以分辨真假, 使操作者全身心地投入到计算机创建的三维虚拟世界中, 该虚拟世界中的一切看上去是真的, 听上去是真的, 动起来是真的, 甚至闻起来、尝起来等一切感觉都是真的, 如同在现实世界中的感觉一样。

(2) 交互性: 指操作者对模拟环境中物体的可操作程度和从环境得到反馈的自然程度(包括实时性)。例如, 操作者可以用手去直接抓取模拟环境中的虚拟物体, 这时手有握着东西的感觉, 并可以感觉物体的重量, 视野中被抓的物体也能立刻随着手的移动而移动。

(3) 构想性: 强调虚拟现实具有广阔的可想象空间, 可拓宽人类认知范围, 不仅可再现真实存在的环境, 也可以随意构想客观不存在的甚至是不可能实现的环境。

2. 虚拟现实的多感知性(Multi-Sensory)特征

虚拟现实系统虽然也是计算机系统, 但它除了具有一般计算机技术系统所具有的视觉感知功能外, 还具有听觉感知、力觉感知、触觉感知、运动感知、味觉感知、嗅觉感知等感知功能, 即理想的虚拟现实系统应该具有一切人类所具有的感知功能。因此虚拟现实系统除了 3I 特征外, 还具有多感知性特征。相信随着相关技术, 特别是传感技术的发展, 虚拟现实系统所具有的味觉感知、嗅觉感知功能也将被逐一实现。

此外, 虚拟环境中的物体还具有自主性。即在虚拟环境中, 物体的行为是自主的, 是由程序自动完成的, 且会让操作者感到虚拟环境中的物体(生物)是“有生命的”和“自由的”, 而各种非生物物体是“可操作的”, 对象的行为符合各种客观规律。

1.2 虚拟现实系统的组成与类型

虚拟现实技术是一种融合光、机、电、人机工程学和信息技术(IT)及其相关技术发展起来的新技术。是计算机技术一个新的分支。基于虚拟现实技术构建的、由处理虚拟现实的软件和硬件组成的系统称为虚拟现实系统(Virtual Reality System, VRS)。一般来说, 一个较理想的虚拟现实系统是由软件、硬件及操作者组成的以人为中心的人机系统(或称宜人化系统)。硬件部分包括: 生成和处理虚拟环境的处理器, 以头盔显示器为核心的视觉系统, 以语音识别、声音合成与声音定位为核心的听觉系统, 以方位跟踪器、数据手套和数据衣为主体的身体方位姿态跟踪设备, 以及味觉、嗅觉、触觉与力觉反馈系统等功能单元。软件部分包括操作系统、数据库系统、软件开发工具、应用软件等。这些软件可能是单机型、C/S 型或 S/B 型等。

1.2.1 虚拟现实系统的组成

图 1-2 所示是一个典型的虚拟现实系统的配置示意图, 它主要包括 5 大组成部分: 虚拟世界、计算机、虚拟现实系统软件、输入设备(头盔、含有各种跟踪器和传感器的手套和话筒等)和输出设备(头盔显示器、耳机、数据手套等)。

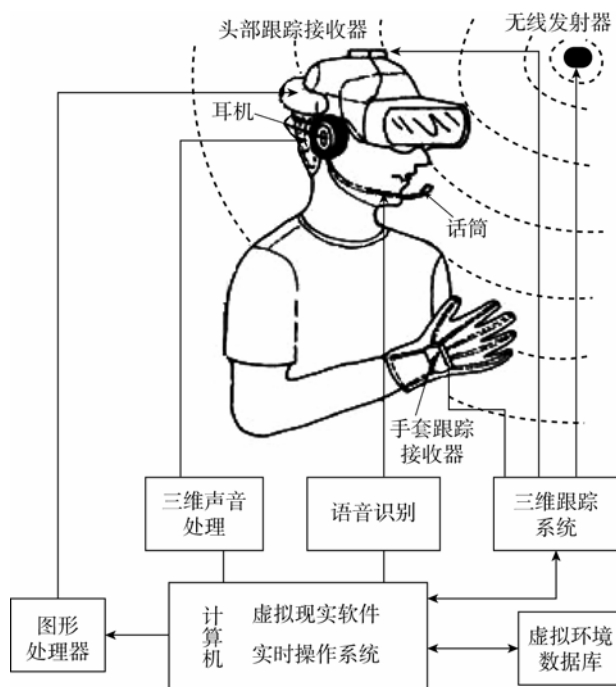


图 1-2 典型的虚拟现实系统的配置示意图

系统运行过程大致为：操作者先激活头盔、手套和话筒等输入设备为计算机提供输入信号，虚拟现实系统软件收到由跟踪器和传感器送来的输入信号后加以解释，然后对虚拟环境数据库进行必要的更新，调整当前的虚拟环境场景，并将这一新视点下的三维视觉图像及其他(如声音、触觉、力反馈等)信息立即传送给相应的输出设备，以便操作者及时获得多种感官上的虚拟效果。

1.2.2 虚拟现实系统的类型

在实际应用中，根据虚拟现实技术对沉浸程度的高低和操作者交互程度的不同，把虚拟现实系统划分为 4 种典型类型：桌面式虚拟现实系统(Desktop Virtual Reality System)、沉浸式虚拟现实系统(Immersive Virtual Reality System)、增强现实系统(Augmented Reality System)和分布式虚拟现实系统(Distributed Virtual Reality System)。

1. 桌面式虚拟现实系统

桌面式虚拟现实系统(见图 1-3)，是利用计算机或入门级工作站实现仿真，计算机的屏幕作为操作者观察虚拟环境的一个窗口，各种外部设备一般用来操控虚拟环境和虚拟场景中的各种物体。由于桌面式虚拟现实系统可以通过计算机实现，所以成本较低，但功能比较单一。该类虚拟现实系统主要用于计算机辅助设计(Computer Aided Design, CAD)、计算机辅助制造(Computer Aided Manufacturing, CAM)、建筑设计、桌面游戏等领域。

桌面式虚拟现实系统主要有以下 3 个特点。

(1) 操作者处于部分沉浸的环境。即使戴上立体眼镜，操作者仍会受到周围现实环境的干扰，缺乏完全身临其境的感觉。



图 1-3 桌面式虚拟现实系统

(2) 对硬件设备配置要求低。有的低配只需要计算机，或是增加数据手套、空间跟踪设备等，也能产生真实的效果。

(3) 性价比较高。

2. 沉浸式虚拟现实系统

沉浸式虚拟现实系统(见图 1-4)是一种高级的、较理想的虚拟现实系统。它提供了一种完全沉浸的体验，使操作者有身临其境的感觉。它主要利用头盔式显示器(Head Mounted Display, HMD)等设备，把操作者的视觉、听觉和其他感觉封闭在设计好的虚拟现实空间中，利用声音、位置跟踪器、数据手套和其他输入设备使操作者产生全身心投入的感觉。

常见的沉浸式 VR 系统有基于头盔式显示器系统、投影式虚拟现实系统(包括多通道的柱形幕、弧形幕的 Powerwall、CAVE 系统)和遥在系统。



(a) 沉浸式 VR 系统演示实例

(b) CAVE 沉浸式虚拟现实系统

图 1-4 沉浸式虚拟现实系统

基于头盔式的显示器系统是通过头盔式显示器来实现完全投入的。它把现实世界与之隔离，使操作者从听觉到视觉都能投入到虚拟环境中。

“遥在”技术是一种新兴的综合利用计算机、三维成像、电子、全息等技术，把远处的现实环境移动到近前，并对这种移近环境进行干预的技术。目前，遥在系统常用于 VR 技术与机器人技术相结合的系统。通过这样的系统，当某处的操作者操纵一个虚拟现实系统时，其结果却在另一个地方发生，操作者通过立体显示器获得深度感，显示器与远地的摄像机相连；通过运动跟踪与反馈装置跟踪操作员的运动，反馈远地的运动过程，并把动作传送到远地完成。

沉浸式虚拟现实系统具有以下 5 个特点。

(1) 具有实时性能。沉浸式虚拟现实系统中,要达到与真实世界相同的感受,必须要有高度实时性能。如在操作者头部转动改变观察视点时,系统中的跟踪设备必须及时检测到,由计算机计算并输出相应的场景,同时要求必须有足够小的延迟,且变化要连续平滑。

(2) 具有高度的沉浸感。由于沉浸式虚拟现实系统采用了多种输入与输出设备来营造一个虚拟的世界,产生一个看起来、听起来、摸起来都是真实的虚拟世界,同时要求具有高度的沉浸感,使操作者与真实世界完全隔离,不受外面真实世界的影响。

(3) 具有良好的系统集成性。为了使操作者产生全方位的沉浸感,必须要有多种设备与多种相关软件技术相互作用,且相互之间不能有影响,所以系统必须有良好的系统集成性。

(4) 具有良好的开放性。在沉浸式虚拟现实系统中,要尽可能利用最新的硬件设备和软件技术,这要求虚拟现实系统能方便地改进硬件设备、软件技术,因此必须使用比以往更灵活的方式构造系统的软硬件结构体系。

(5) 具有支持多种输入与输出设备的并行工作机制。为了使操作者产生全方位的沉浸感,可能需要多种设备综合应用,并保持同步工作,虚拟现实系统应具备支持多种输入与输出设备并行工作的机制。

3. 增强现实系统

虚拟现实技术建立人工构造的三维虚拟环境,操作者以自然的方式与虚拟环境中的物体进行交互作用、相互影响,极大地扩展了人类认识世界、模拟和适应世界的能力。虚拟现实的主要科学问题包括建模方法、表现技术、人机交互及设备这三大类。但目前普遍存在建模工作量大、模拟成本高、与现实世界匹配程度不够以及可信度不高等方面的问题。针对这些问题,已经出现了多种虚拟现实增强技术,将虚拟环境与现实环境进行匹配合成以实现增强,其中将三维虚拟对象叠加到真实世界显示的技术称为增强现实,将真实对象的信息叠加到虚拟环境绘制的技术称为增强虚拟环境。这两类技术可以形象化地分别描述为“实中有虚”和“虚中有实”。虚拟现实增强技术通过真实世界和虚拟环境的合成降低了三维建模的工作量,借助真实场景及实物提高了操作者的体验感和可信度,促进了虚拟现实技术的进一步发展。

增强现实系统(见图 1-5)是将操作者看到的真实环境和计算机所仿真出来的虚拟现实景象融合起来的一种技术系统,具有虚实结合、实时交互的特点。与传统的虚拟现实系统不同,增强现实系统主要是在已有的真实世界的基础上,为操作者提供一种复合的视觉效果。当操作者在真实场景中移动时,虚拟物体也随之变化,使虚拟物体与真实环境完美结合,既可以减少生成复杂实验环境的开销,又便于对虚拟试验环境中的物体进行操作,真正达到亦真亦幻的境界。

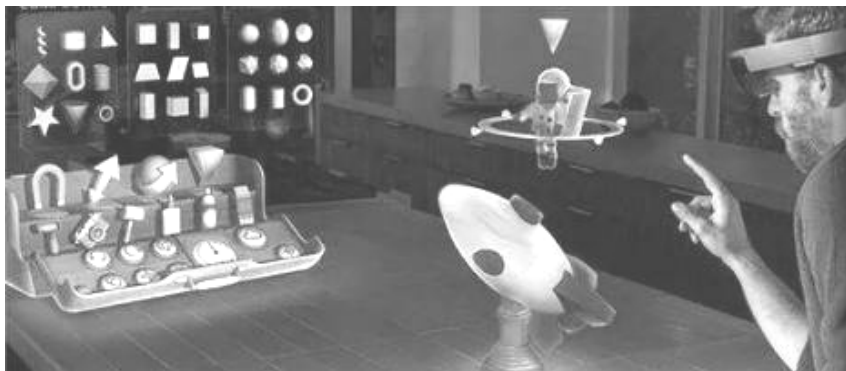


图 1-5 增强现实系统

该系统一般由头戴式显示器、位置跟踪系统与交互设备以及计算设备组成。有关增强现实技术的更多内容请阅第6章。

4. 分布式虚拟现实系统

分布式虚拟现实系统(见图1-6)是一种通过网络将多个虚拟环境连接而成的集成虚拟环境,这些虚拟环境可以分布在不同的空间位置。位于不同空间位置的多个操作者可以在这个集成虚拟环境中,通过该系统的虚拟现实设备进行交互,共享信息。系统中,多个操作者可通过网络对同一虚拟世界进行观察和操作,以达到协同工作的目的。简单地说,分布式虚拟现实系统是指一个支持多人实时通过网络进行交互的软件系统,操作者在一个虚拟现实环境中,通过计算机与其他操作者进行交互,并共享信息。



图1-6 分布式虚拟现实系统

(1) 分布式虚拟现实系统的体系结构。分布式虚拟现实系统有4个基本组成部分:立体图形显示器,网络通信和控制设备,处理系统,数据网络。分布式虚拟系统是分布式系统和虚拟系统相结合的产物,根据分布式系统环境下所运行的共享应用系统的数量,可分为集中式和复制式两种系统体系结构。

① 集中式结构是只在中心服务器上运行一个共享应用系统。该系统可以是会议代理或对话管理进程。中心服务器的作用是对多个操作者的输入/输出操纵进行管理,允许多个操作者信息共享。它的特点是结构简单、容易实现,但对网络通信带宽有较高的要求,并且高度依赖于中心服务器。

② 复制式结构是在每个操作者所在的机器上复制中心服务器,这样每个操作者进程都有一个共享应用系统。服务器接收来自于其他工作站的输入信息,并把信息传送到运行在本地机上的应用系统中,由应用系统进行所需的计算并产生必要的输出。它的优点是所需网络带宽较小。另外,由于每个操作者只与应用系统的局部备份进行交互,所以,交互式响应效果好。但它比集中式结构复杂,在维护共享应用系统中的多个备份的信息或状态一致性方面比较困难。

(2) 分布式虚拟现实系统的主要特点。

- ① 各操作者具有共享的虚拟工作空间。
- ② 伪实体的行为真实感。
- ③ 支持实时交互。
- ④ 多个操作者可以用各自不同的方式相互通信。
- ⑤ 资源信息共享, 允许操作者自然操纵虚拟世界中的对象。

(3) 分布式虚拟现实系统的主要应用领域。目前, 分布式虚拟现实系统主要被应用于远程虚拟会议、虚拟医学会诊、多人网络游戏、虚拟战争演习、制造业中的分布式设计等领域。

(4) 分布式虚拟现实系统与网络游戏。网络游戏, 也称在线游戏(On-Line Game, OLG), 一般指多名玩家通过计算机网络互动娱乐的视频游戏, 有战略游戏、动作游戏、体育游戏、格斗游戏、音乐游戏、竞速游戏、网页游戏和角色扮演游戏等多种类型, 也有少数在线单人游戏。这里要介绍的是虚拟世界型网络游戏, 主要由公司所架设的服务器来提供游戏, 而玩家们则是由公司所提供的客户端连上公司服务器以进行游戏, 如今称为网络游戏的大都属于此类型。此类游戏的特征是大多数玩家都会有一个专属于自己的角色(虚拟身份), 而一切文档以及游戏信息均记录在公司端。从目前的网络游戏发展来看, 现在主流的网络游戏具备了一些分布式虚拟现实的基本特点, 但这只是分布式虚拟现实的一种低级应用。因为在伪实体的行为真实感方面, 网络游戏远达不到虚拟现实级别, 在通信方式方面也不如分布式虚拟现实系统, 其通信方式过于单一, 多靠语言和文字通信, 缺乏动作手势等自然的通信方式。此外, 目前大多数的网络游戏并不能像虚拟现实那样允许操作者自然地操作环境中的对象, 操作者依然离不开鼠标等机械输入设备。

1.3 虚拟现实技术的发展历程

计算机技术的发展促进了多种技术的发展, 虚拟现实技术与其他技术一样, 其技术和市场的需求也随即发展起来。在虚拟现实技术发展的过程中, 科技界、产业界发生了一些标志性事件, 本节以此来划分虚拟现实技术(VRT)的发展历程。

1.3.1 探索阶段

20 世纪 30 年代至 60 年代, 是虚拟现实技术的探索阶段。在这个阶段, 产生了许多科幻文学作品, 其中隐含着 VR 的思想火花, 将这些作品搬到屏幕就需要发展相关技术来支撑, 由此于 20 世纪 50 年代推出立体电影以及各种宽银幕、环幕、球幕电影。这类屏幕作品具有深度感、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。因此, 一般认为, VR 技术思想在这个阶段形成并得以实践。但由于实现 3D 电影的技术复杂、投资大, 一些相关技术只能在美国军工领域进行研发应用与实践。此处列出几个标志性成果。

(1) 1929 年, 埃德温·林克(Edwin A.Link)发明了飞行模拟器, 使乘坐者有坐在真的飞机上的感觉。

(2) 1935 年, 科幻小说家斯坦利·温鲍姆(Stanley G.Weinbaum)在他的小说中首次构想了以眼镜为基础, 涉及视觉、触觉、嗅觉等全方位沉浸式体验的虚拟现实概念, 这是可以追溯到的最早的关于 VR 的构想。

(3) 1957 年,电影摄影师莫顿·海利(Morton Heilig, 见图 1-7)研制出了第一个多感知(视觉、听觉、触觉、味觉和震动感)仿真环境的原型 Sensorama Simulator, 这是第一个 VR 视频系统(一台能供 1~4 个人使用)的 3D 视频机器。事实上,在这之前,海利就已发明了 Telesphere Mask(个人用途的可伸缩电视设备, 见图 1-8)。



图 1-7 莫顿·海利(Morton Heilig)

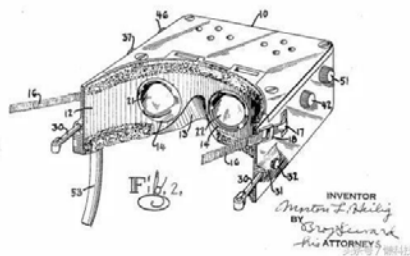


图 1-8 海利发明的 Telesphere Mask

(4) 1962 年,海利研制出一套 Sensorama 的立体电影系统(见图 1-9)——虚拟现实型拱廊(VR-type arcade), 海利把自己的最终产品称为“体验剧场”。人坐于虚拟现实型拱廊装置下,用手操纵摩托车把,仿佛穿行于纽约闹市,能看到立体、彩色、变化的街道画面,听到立体声响,感觉到行车的颠簸、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。为了展示 Sensorama 的效果,他总共拍摄了 5 部电影,基本以直升机、卡丁车、自行车和摩托车等骑行体验为基础。在海利的发明时代,美国没有一个人意识到这项技术革新所代表的技术进步。

(5) 1955 年在国际信息处理联合会(International Federation for Information Processing, IFIP)会议上,有 VR“先锋”之称的计算机图形学的创始人伊凡·苏泽兰(Ivan Sutherland)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,这一思想就是虚拟现实概念的雏形。基于此,目前普遍认为,世界上第一台 VR 头盔式显示器发明于 1966 年,发明者是伊凡·苏泽兰博士(见图 1-10)。



图 1-9 Sensorama 立体电影系统



图 1-10 伊凡·苏泽兰(Ivan Sutherland)

1968 年, 伊凡·苏泽兰使用两个戴在眼睛上的阴极射线管(Cathode Ray Tube, CRT), 研制了第一台头盔式显示器(见图 1-11), 并对头盔式三维显示装置的设计要求、构造原理进行了深入讨论, 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。

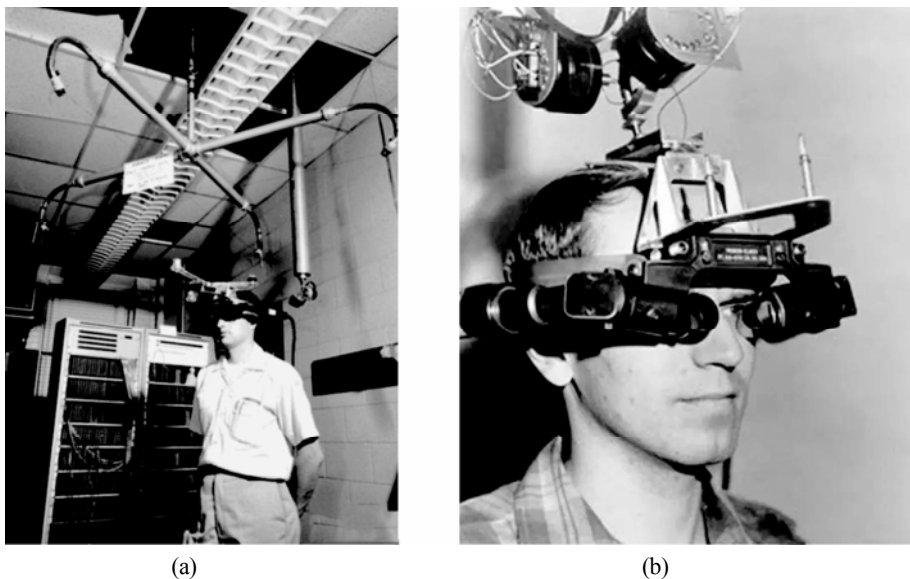


图 1-11 第一台头盔式显示器(HMD)

1.3.2 走向实用阶段

20 世纪 70 年代初期至 80 年代, 虚拟现实技术系统化, 从实验室走向实用阶段。

从 20 世纪 70 年代到 80 年代中期, VR 研究的进展是十分缓慢的, 直到 20 世纪 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, 这一阶段的标志性成果如下。

(1) 1971 年, 弗里德里克·布鲁克斯(Frederick Brooks)研制了具有力反馈的原型系统 Grope-II, 操作者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。

(2) 1975 年, 迈伦·克鲁格(Myron Krueger)提出“人工现实”(Artificial Reality)的思想, 展示了被称为 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。

(3) 1983 年美国国防部(United States Department of Defense, DOD)制订了 SIMENT 的研究计划; 1985 年 SGI 公司成功开发了网络 VR 游戏 DogFlight。

(4) 1985 年, 美国航空航天管理局 NASA 的司各特·菲舍(Scott Fisher)等开始研制著名的 VIEW(Virtual Interactive Environment Workstation, 虚拟交互环境工作站)。它是一种“数据手套”(Data Glove), 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”。

(5) 1986 年年底, 司各特·菲舍成功研制出第一套基于 HMD 和数据手套的 VR 系统 VIEW。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,被认为是当前 VR 技术的发源地。

(6) 1989 年, VPL 公司的创始人之一杰伦·拉尼尔(Jaron Lanier),创造了 Virtual Reality(虚拟现实)这一名词。从此, Data Glove 和 Virtual Reality 便引起新闻媒体极大的关注和人们丰富的想象。

1.3.3 理论的完善和应用阶段

20 世纪 90 年代至 2010 年是虚拟现实技术理论的完善和应用阶段。

VR 第一次展出是在 1990 年第 17 届国际图形学会议上,与会专家们报道了近年来输入/输出设备技术以及声、像等多媒体技术的进展,使得交互技术从二维输入向三维甚至多维的方向过渡,使三维交互取得了突破性的进展。随着新的输入设备的研制成功和微型视频设备的投入使用,再加上工作站提供了更强有力的图形处理能力,从而为构成“虚拟现实”的交互环境提供了技术条件。这个发展阶段的几个标志性成果如下。

(1) 1992 年,Carolina Cruz-Neira 等公司建立的大型 VR 系统 CAVE,在国际图形学会议上以独特的风貌展现在人们面前,标志着这一技术已经登上了高新技术的舞台。操作者置身于一个边长为 3m 的立方体房间,有 4 面投影屏幕,各由 1 台 SGI 工作站 VGX 控制的投影机向屏幕交替显示计算机生成的左、右眼观察图形,操作者佩戴一种左、右镜片交替“开”(透光)、“闭”(遮光)的液晶光闸眼镜,可看到环绕自身的立体景物,同时无妨于看见室内的起初物体。图形景物随着操作者在室内走动时的视线变化而变化。在这次会议上,SGI 和 Sun 等公司也展出了类似的环境和系统。

(2) 1993 年的 11 月,宇航员利用虚拟现实系统成功地完成了从航天飞机的运输舱内取出新的望远镜面板的工作。再如,用虚拟现实技术设计波音 777 获得成功。

(3) 1996 年 10 月 31 日,世界上第一个虚拟现实技术博览会在伦敦开幕,全世界的人们可以通过互联网在家中参观这个没有场地、没有工作人员、没有真实展品的虚拟博览会。

(4) 1996 年 12 月,世界上第一个虚拟现实环球网在英国投入运行。操作者可以在一个由立体虚拟现实世界组成的网络中遨游,身临其境地欣赏各地风光、参观博览会和在大学课堂听讲座等。

进入 20 世纪 90 年代以后,迅速发展的计算机硬件技术、计算机软件系统和民用化后的互联网技术,极大地推动了虚拟现实技术(含软件和硬件技术)的发展,使基于大型数据集合的声音和图像的实时动画制作成为可能,人机交互系统的设计不断创新,很多新颖、实用的输入/输出设备不断出现在市场上,为虚拟现实系统的发展打下了良好的基础。

1.3.4 进入产业化发展阶段

2012 年至今,虚拟现实技术进入产业化的快速发展阶段。在这期间,互联网普及、计算能力和 3D 建模等技术进步大幅提升 VR 体验,虚拟现实商业化、平民化有望得以实现。相比于 20 世纪 80 年代至 90 年代,显示器分辨率提升、显卡渲染效果和 3D 实时建模能力等原有技术的提升,带来了 VR 设备的轻量化、便捷化和精细化,从而大幅度提升了 VR 设备的体验。

2012 年,随着 Oculus Rift 开发项目开始众筹,虚拟现实迎来一个新阶段,即 2C 端的 VR 消费电子设备将登上历史舞台。2014 年 Facebook 耗资 20 亿美元收购 Oculus 成为行业内轰动

性的事件,标志着互联网巨头开始抢滩 VR 市场,如三星、谷歌、索尼、HTC 等国际消费电子巨头均宣布自己的 VR 设备计划。2014 年 Google 发布了 Google CardBoard,三星发布 Gear VR,2016 年苹果发布了名为 View-Master 的 VR 头盔。HTC 的 HTC Vive、索尼的 PlayStationVR 也相继出现。

1.4 虚拟现实技术的应用

虚拟现实的本质是先进的计算机接口技术,可适用于任何领域,主要用在工程设计、计算机辅助设计(CAD)、数据可视化、飞行模拟、多媒体远程教育、远程医疗、艺术创作、游戏、娱乐等方面。例如,较早的虚拟现实系统产品是图形仿真器,其概念在 20 世纪 60 年代被提出,到 80 年代逐步兴起,90 年代有产品问世。1992 年世界上第一个虚拟现实开发工具问世,1993 年众多虚拟现实应用系统出现,1996 年 NPS 公司使用惯性传感器和全方位的踏车将人的运动姿态集成到虚拟环境中。目前,虚拟现实技术在军事与航空航天、娱乐、医学、机器人等方面的应用占据主流,其次是教育及艺术商业方面。另外在可视化计算、制造业等领域也有一定的比重,并且应用越来越广泛。其中应用增长最快的是制造业。

1. 在军事与航空航天中的应用

军事应用是推动虚拟现实技术发展的原动力,直到现在依然是虚拟现实系统的最大应用领域。在军事应用中,采用虚拟现实系统不仅提高了作战能力和指挥效能,而且大大减少了军费开支,节省了大量人力、物力,同时公共安全等方面可以得到保证。与虚拟现实技术最为相关的两个应用方面是军事训练和武器的设计制造,其中 SIMNET 是最为典型的虚拟战场。在航空航天方面,美国国家航空航天局(NASA)于 20 世纪 80 年代初就开始研究虚拟现实技术,并于 1984 年研制出新型的头盔显示器。虚拟现实的研究与应用范围在不断扩大,宇航员利用虚拟现实系统进行了各种训练。美国航空航天局计划将虚拟现实系统用于国际空间站组装、训练等工作,欧洲航天局(EVA)利用虚拟现实系统开展虚拟现实训练,英国空军将其应用于虚拟座舱。

2. 在文化产业中的应用

娱乐业是文化产业的重要部分,是虚拟现实技术应用最广阔的领域。1991 年英国 W-Industries 公司开发出第一个基于 HMD 的娱乐系统,从此,不论是立体电影、电视还是沉浸式的游戏,均是虚拟现实技术应用最多的领域之一。由于在娱乐方面对虚拟现实的真实感要求不是太高,所以近几年来虚拟现实在该方面发展较为迅猛。丰富的感觉能力与 3D 显示世界使得虚拟现实成为理想的视频游戏工具。与此同时,艺术也是虚拟现实技术的重要应用领域。虚拟现实的沉浸性和交互性可以把静态的艺术(绘画、雕刻等)呈现为动态艺术。目前在艺术领域,虚拟现实技术主要用于开发虚拟博物馆、虚拟音乐、虚拟演播室、虚拟演员、虚拟世界遗产等。

3. 在医学领域中的应用

在医学领域,虚拟现实技术和现代医学两者之间的融合使得其已开始对生物医学领域产生重大影响。目前正处于应用虚拟现实的初级阶段,其应用范围包括从建立合成药物的分子结构模型到各种医学模拟,以及进行解剖和外科手术教育等。在此领域,虚拟现实应用大致上有两

类：一类是虚拟人体模型，基于这样的人体模型，使医生、学生更容易了解人体的生理构造和功能；另一类是基于虚拟人体模型的虚拟手术系统，可用于验证手术方案、训练手术操作等，尤其是通过网络实施远程手术。如英国 UK Haptics 公司研发的、用于护士专业训练的触摸式三维虚拟系统；丹麦奥胡斯大学高级视觉及互动中心(CAVI)的科学家研制成功的辅助儿科医生诊断新生儿心脏病的系统。在国家高技术研究发展计划(863 计划)支持下，我国于 2001 年由中国科学院计算技术研究院、首都医科大学、华中科技大学和第一军医大学 4 家单位协作攻关，共同承担了中国数字化虚拟人体中的“数字化虚拟人体若干关键技术”和“数字化虚拟中国人的数据结构与海量数据库系统”项目，旨在建立中国人种的“数字化虚拟人”(“虚拟可视人”“虚拟物理人”和“虚拟生物人”的统称)，其原理是通过先进的信息技术与人体生物技术相结合的方式，建立起可在计算机上操作可视的模型(从由几何图形的数字化“可视人”到真实感的数字化“物理人”，再到随心所欲的数字化“生物人”的模型)。“数字化虚拟人”在医学、航天、航空、建筑、机电制造、影视制作等领域有广泛的应用价值。

4. 在教育与培训方面的应用

基于虚拟现实技术开发的教学软件系统，可以实现对设备类、工程类对象的组成结构及其功能原理、操作流程进行真实模拟和仿真；还可从数据库中随机调出模拟对象相应的题目来培训与测试学员，同时系统自动记录学员的操作过程。这样的软件系统实行二、三维结合，并辅以立体环幕的展示，从而达到高度沉浸感、立体感的体验，增强了培训与学习效果。目前，VRT 在教育与培训方面的应用主要体现在虚拟校园、虚拟演示教学与实验、远程教育系统、特殊教育、技能培训等方面。在航天航空、重大装备领域，如神舟飞船操控模拟等模拟训练器训练工作中发挥重要作用，虚拟现实还可以应用于高难度和危险环境中的作业训练。

5. 在市政规划设计中的应用

市政规划设计也是虚拟现实技术广泛应用的领域之一。通过 VR 与建筑信息模型(Building Information Modeling, BIM)结合应用会带来巨大的经济与社会效益。

(1) 展现规划方案。虚拟现实系统的沉浸感和互动性不但能够给操作者带来强烈、逼真的感官冲击，获得身临其境的体验，还可以通过其数据接口在实时的虚拟环境中随时获取项目的数据资料，方便大型复杂工程项目的规划、设计、投标、报批、管理，有利于设计与管理人员对各种规划设计方案进行辅助设计与方案评审，从而规避规划与设计风险。

(2) 基于所建立的虚拟现实环境(基于真实数据建立的数字模型组合而成)，严格遵循工程项目设计的要求建立逼真的三维场景，对规划设计项目进行真实的“再现”。操作者在三维场景中任意漫游，人机交互，这样能暴露出很多不易察觉的设计缺陷，减少由于事先规划设计不周全而造成的无可挽回的损失与遗憾，大大提高了优化规划设计的方案。

(3) 缩短设计周期。因为不用基于实物模型来验证规划设计方案，可以比传统的数字化规划设计方法节省大量时间，从而提高了方案设计的速度和质量，也提高了方案设计和修正的效率，同时节省了大量制作实物模型的资金。

(4) 提升宣传效果。对于公众关心的大型规划项目，在项目方案设计过程中，虚拟现实系统可以将现有的方案发布为视频文件，制作为多媒体资料予以公示，让公众真正了解甚至参与到项目中来。当项目方案最终确定后，也可以通过视频输出制作多媒体宣传片甚至网页，进一步提升项目的宣传展示效果。

6. 用于虚拟样机的技术

虚拟样机技术以虚拟现实(VR)和仿真技术为基础,结合领域产品的设计制造理论与技术,对产品的设计、生产过程进行统一建模,在计算机里实现产品从设计、加工和装配、检测与评估、产品使用等整个生命周期的活动过程进行模拟和仿真的综合技术。

现在,利用VRT、仿真技术等可以在计算机里建立起一种接近人们现实进行产品设计制造“自然”环境。在这样的环境下,设计人员可以充分发挥想象力和创造力,相互协作、发挥集体智慧,从而大大提高产品开发的质量和缩短开发周期,并在产品的设计阶段就可在计算机里模拟出产品功能、性能和产品制造过程,以此来评估与优化产品的设计质量和制造过程,优化生产管理和资源规划,以达到产品开发周期和成本的最小化、产品设计质量的最优化、生产效率和产品的一次性成功率最高化,从而形成企业在T(时间)、Q(质量)、C(成本)、S(服务)、E(资源消耗与环境保护)等指标上的市场竞争优势。

美国波音公司基于虚拟样机技术环境实现波音777飞机的完全无纸化开发。该环境是一个由数百台工作站组成的虚拟环境系统。设计师带上虚拟现实系统中的头盔显示器后,可穿行于这个虚拟的“飞机”中,去审视“飞机”的各项设计是否合乎理想。过去要设计一架新型飞机必须先制造两架实体模型飞机,至少要花120万美元,虚拟现实技术不仅节约了这笔经费,而且节省了研发时间,波音787飞机只用2年多时间就研发成功,大大增加了其在时间上的市场竞争能力。我国也已经建立歼击机产品的完全数字样机技术平台。

美国通用、福特等汽车公司的虚拟现实技术工作室里,人们可以看到各种各样的新颖装备和制作工具,工程师们正在进行着试验性的工作,通过头盔和感应手套等工具,在工作站上生成立体的汽车原型图像,用1:1的大型屏幕,把立体图像的汽车完全与实体一样显示出来,并可以随意进行设计改进。

德国汽车业应用虚拟现实技术最快也最广泛。目前,德国所有的汽车制造企业都建成了自己的虚拟现实开发中心。奔驰、宝马、大众等公司的报告显示,应用虚拟现实技术、以“数字汽车”模型来代替木制或铁皮制的汽车模型,可将新车型开发时间从1年以上缩短到2个月左右,开发成本最多可降低到原先的1/10。目前,德国汽车制造企业已将虚拟现实技术应用到零部件设计、内部设计、空气动力学试验和模拟撞车安全试验等细小局部的工作中。汽车零部件的设计因为使用了虚拟现实技术,成本降低达40%。研究人员还计划将虚拟现实技术降低成本后进一步应用于销售、客户服务和市场调查。届时,客户可以先体验多媒体“数字汽车”之后再选择订购。虚拟现实技术的应用大幅度提高了德国汽车产业的竞争力。

国家超级计算深圳中心(深圳云计算中心)基于虚拟现实技术开发出一款机电产品虚拟样机技术云平台,该平台在企业中示范应用,获得令人满意的效果。

7. 在运动生物力学中的应用

运动生物力学仿真就是应用力学原理和方法,并结合虚拟现实技术和人体科学理论,实现对生物体中的运动力学原理进行虚拟分析与仿真研究。利用虚拟仿真技术研究和表现生物力学特性,不但可以提高运动体的真实感,还可以大大节约研发成本,提高研发效率,这点在竞技体育和艺术体操项目中的高难动作设计方面效果显著。

8. 在康复训练领域的应用

康复训练,包括身体康复训练和心理康复训练,是针对有各种运动障碍(动作不连贯、不

能随心所动)和心理障碍的人群。传统的康复训练不但耗时耗力,单调乏味,而且训练强度和效果得不到及时评估,很容易错失训练良机,而结合三维虚拟与仿真技术的康复训练就很好地解决了这些问题。

(1) 虚拟身体康复训练。身体康复训练是指操作者通过输入设备(如数据手套、动作捕捉仪)把自己的动作传入计算机,并从输出反馈设备得到视觉、听觉或触觉等多种感官反馈,最终达到最大限度地恢复患者的部分或全部机体功能的训练目的。这种训练省时省力,能提高治疗的趣味性和体验性,激发被训者的积极性,最终达到有效提高治疗效果的目的。

(2) 虚拟心理康复训练。狭义的虚拟心理康复训练是指利用搭建的三维虚拟环境治疗诸如恐高症之类的心理疾病。广义上的虚拟心理康复训练还包括搭配“脑机交互系统”和“虚拟人”等先进技术手段,并进行脑信号人机交互心理训练。这种训练采用患者的脑电信号控制虚拟人的行为,通过分析虚拟人的表现,实现对患者心理的分析,从而制定有效的康复课程。此外,还可以通过显示设备把虚拟人的行为展现出来,让被训者直接学习某种心理活动带来的结果,从而实现对被训者的有效治疗。

9. 在地球科学领域的应用

地球是目前人类唯一赖以生存的星球,合理开发与利用地球资源,有效保护与优化地球环境,是全人类共同的责任。为此,1998年1月31日美国副总统戈尔提出了数字地球的概念。基于数字地球,人类可以更深入地了解地球、保护地球。

数字地球是未来信息资源的综合平台和集成,现代社会拥有信息资源的重要性更胜于基于工业经济社会拥有自然资源的重要性。为此,“数字地球”战略成为各国推动信息化建设和社会经济、资源环境可持续发展的重要武器。

数字地球集诸如遥感、地理信息系统,全球定位系统,互联网、数字仿真与虚拟现实技术于一体,是人类量化研究地球、认识地球、科学利用地球的先进工具。

严格地讲,数字地球是以计算机技术、多媒体技术和大规模存储技术为基础,以宽带网络为纽带,运用海量地球信息对地球进行多分辨率、多尺度、多时空和多种类的三维描述,并利用它作为工具来支持和改善人类活动和生活质量。

显然,虚拟现实(含增强现实)技术是开发利用数字地球的有效技术手段。

10. 在电子商务领域的应用

虚拟现实技术在电子商务领域的应用主要是产品的3D虚拟展示与虚拟购物体验。阿里巴巴集团目前已应用增强现实技术开发了新型购物体验系统。虚拟购物体验包括商品的全方位观看,了解产品的外观、结构及功能,与商家进行实时交流等方面,如买家对一部手机感兴趣,他不但可以从不同的角度观看手机的外观(颜色、商标、材质纹理、外形、功能布局等),还可以通过鼠标模拟操作手机(使用手机、维护手机等)。例如,深圳大学成功开发出一款虚拟产品展示与电子商务云平台(面向消费者、商家、产品制造商),通过该平台,消费者可以用鼠标实现上述的购物体验;对商家来说,可以通过平台提供的产品立体显示模型的开发环境,制作出3D显示模型;而对于产品制造商来讲,完全可以通过该平台实现虚拟产品的网上交易和按订单生产的生产模式。

限于篇幅,本章仅介绍虚拟现实技术的部分应用领域。实际上VRT已在更加广泛的领域开发应用。

1.5 虚拟现实技术的研究方向和现状

源于美国的 VR 技术已得到全世界的广泛关注, VR 技术在当下甚至相当长的时间里将仍处于最前沿技术之列。基于 VR 技术的研究主要有 VR 技术与 VR+领域的应用两大类。在这两方面,总体上来说,美国、德国、英国、日本、韩国等国家处于领先地位。在国内,北京大学、北京航空航天大学、浙江大学等院校在 VR 方面的研究工作开展得比较早,取得了令人鼓舞的成果。

1.5.1 虚拟现实技术的研究方向

虚拟现实技术的研究包括以下方面。

(1) 动态环境建模技术。虚拟环境的建立是虚拟现实技术的核心内容,而动态环境建模技术的目的就是实际环境的三维数据进行获取,从而建立对应的虚拟环境模型,创建出虚拟环境。积极开发满足 VR 技术建模要求的新一代工具软件及算法、虚拟现实建模语言的研究、复杂场景的快速绘制,是重要的研究内容。

(2) 实时三维图形生成和显示技术。在生成三维图形方面,目前的技术已经比较成熟,关键是怎样才能够做到实时生成,在不对图形的复杂程度和质量造成影响的前提下,如何让刷新率得到有效的提高仍是今后重要的研究内容。

(3) 宜人化、智能化人机交互设备的研制。虽然手套和头盔等设备能够让沉浸感增强,但在实际使用当中效果并不尽如人意。交互方式最自然的方式是基于触觉和自然语言等的交互方式,因此加强更自然的交互技术与设备能够让虚拟现实的交互性效果得到有效提高。尤其是智能化的人机交互的设备开发与应用。

(4) 大型分布式虚拟现实系统的研究与应用。面向制造业的网络化虚拟现实系统研发与应用是重要的研究方向。面向各领域,逐渐建立基于 VRT 的产品虚拟样机技术平台。

(5) 感知研究领域。加强人类触觉、味觉、嗅觉系统的基础应用研究。味觉、嗅觉系统的研发与应用将促进餐饮业业态的变革,将有效减少人类入口物的浪费。

(6) 虚拟现实软件平台。建立统一标准,提高各软件间的集成性;加强领域基于 VRT 的应用开发;建立 VR 软件技术联盟,以支持代码共享、重用和软件投资;鼓励开发通用型软件与维护工具,尤其是虚拟现实软件云平台。

1.5.2 国外研究现状

1. 虚拟现实技术在美国的研究现状

VR 技术发明于美国,同其他先进技术一样,美国也是优先面向军事领域,开展了诸如航天、航空领域产品研发和适合产品运行维护人员(宇航员、飞行驾驶员、维修人员)的各种模拟训练系统(器)的研究开发,他们的研发工作几乎涉及虚拟现实技术软硬件的各个方面。20 世纪 80 年代,美国国防部和美国宇航局组织了一系列对于虚拟现实技术的研究,取得丰硕成果。在 20 世纪 90 年代初,伴随源于美国的互联网技术转为民用技术后,虚拟现实技术在民用的许多领域得到迅猛发展。到如今,已经建成了空间站、航空、卫星维护的 VR 训练系统,建立了可供全国使用的 VR 教育系统。例如,乔治梅森大学研制出了一套在动态虚拟环境中的流体实时

仿真系统；波音公司利用增强虚拟现实技术在真实的环境上叠加了虚拟环境，让工件的加工过程得到有效的简化；施乐公司主要将虚拟现实技术用于未来办公室上，设计了一项基于 VR 的窗口系统。

美国宇航局的 Ames 实验室是许多 VR 技术思想的发源地。早在 1981 年，他们就开始研究空间信息显示，1984 年又开始了虚拟视觉环境显示(VIVED)项目。后来，其研究人员司各特·菲舍还开发了虚拟界面环境工作站(VIEW)。Ames 完善了 HMD，并将 VPL 的数据手套工程化，使其成为可用性较高的产品。目前，Ames 把研究的重点放在对空间站操纵的实时仿真上。

北卡罗来纳大学(University of North Carolina, UNC)对 VR 的研究主要在 4 个方面：分子建模、航空驾驶问题、外科手术仿真、建筑仿真。他们解决了分子结构的可视化，并已用于药物和化学材料的研究。

洛马林达大学(Loma Linda University, LLU)医学中心是一所经常从事高难度或有争议医学项目研究的单位。他们成功地将计算机图形及 VR 的设备用于探讨与神经疾病相关的问题，巧妙地将 VPL 的数据手套作为测量手颤动的工具，将手的运动实时地在计算机上用图形表示出来，从而进行分析诊断。

SRI 研究中心主要从事定位光标、视觉显示器、光学部件、触觉与力反馈、三维输入装置及语言交互等研究。

2. 虚拟现实技术在欧洲的研究现状

在欧洲一些比较发达的国家，如德国、瑞典、英国等国家，均积极进行了虚拟现实技术的研究和应用。

在德国，以德国 FhG-IGD 图形研究所和德国计算机技术中心(GMD)为代表。它主要从事虚拟世界的感知、虚拟环境的控制和显示、机器人远程控制、VR 在空间领域的应用、宇航员的训练、分子结构的模拟研究等。德国的计算机图形研究所(IGD)测试平台，主要用于评估 VR 技术对未来系统和界面的影响，向操作者和生产者提供通向先进的可视化、模拟技术和 VR 技术的途径。此外，德国还将虚拟现实技术应用在了对传统产业的改造、产品的演示以及培训 3 个方面，可以降低成本、吸引客户等

瑞典的 DIVE 分布式虚拟交互环境，是一个基于 UNIX 的、不同节点上的多个进程可以在同一世界中工作的异质分布式系统。

英国在分布式并行处理、辅助设备(触觉反馈设备等)设计和应用等方面的研究，在欧洲处于领先的地位。

3. 虚拟现实技术在日本的研究现状

日本主要致力于建立大规模 VR 知识库的研究，另外在 VR 游戏方面的研究也做了很多的工作。东京大学的原岛研究室开展了 3 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达以及动态图像的提取。东京大学的广濑研究室重点研究 VR 的可视化问题。为了克服当前显示和交互技术的局限性，他们开发了一种虚拟全息系统。其成果有一个类似 CAVE 的系统，用 HMD 在建筑群中漫游，制造出飞行仿真器等。

筑波大学工程机械学院研究了一些力反馈显示方法。他们开发了 9 自由度的触觉输入器和虚拟行走原型系统，步行者只要穿上全方向的滑动装置，就能交替迈动左脚和右脚。

1.5.3 国内研究现状

我国对于虚拟现实技术的研究和国外一些发达国家相比还存在相当大的一段距离,但随着计算机系统工程以及计算机图形学等技术的高速发展,我国各界人士对于虚拟现实技术也越来越重视,积极进行虚拟环境的建立以及虚拟场景分布式系统的开发。国内许多高校和研究机构也在积极地进行虚拟现实技术的研究以及应用,并取得了不错的成果。

北京大学汪国平教授带领的团队成功研发了超大规模分布式虚拟现实综合集成支撑平台 ViWo(Virtual World 简写成 ViWo),它是一个可定制、易扩展、具有良好的二次开发接口的构件化大型应用软件系统。

2003 年,由浙江大学 CAD&CG 国家重点实验室牵头,由浙江大学、中科院软件研究所、清华大学、北京航空航天大学联合承担 2002 年度《国家重点基础研究发展规划》(即 973 计划)中的“虚拟现实的基础理论、算法及其实现”项目,旨在对虚拟环境的建立、自然人机交互、增强式 VR、分布式 VR、VR 在产品创新中的应用等技术进行联合攻关。

北京航空航天大学计算机系是国内最早进行 VR 研究的机构之一,他们首先进行了一些基础知识方面的研究,并着重研究了虚拟世界中物体物理特性的表示与处理,在 VR 中的视觉接口方面开发出了部分硬件,并提出了有关算法及实现方法。他们还实现了分布式虚拟世界网络设计,建立了网上 VR 研究论坛,可以提供实时三维动态数据库、VR 演示世界、用于飞行员训练的 VR 系统、开发 VR 系统的开发平台,并将要实现与有关部门的远程连接。此外,还开发了直升机虚拟仿真器、坦克虚拟仿真器、虚拟战场环境观察器、计算机兵力生成器。北京航空航天大学赵沁平院士团队研发的一个分布式虚拟现实应用系统开发与运行支撑环境(DVENET),可以全过程、全周期支持虚拟现实应用系统的开发,并稳定、可靠地支持较大规模跨路由分布交互仿真和分布式虚拟现实应用系统的运行。

清华大学计算机科学与技术系对 VR 和临场感的方面进行了研究,并在球面屏幕显示和图像随动、克服立体图闪烁的措施和深度感实验等方面具有不少独特的方法。他们还针对室内环境中水平特征丰富的特点,提出借助图像变换,使立体视觉图像中对应水平特征呈现形状一致性,以利于实现特征匹配,并获取物体三维结构的新颖算法。清华大学国家光盘工程研究中心采用了 QuickTime 技术实现了大全景 VR 布达拉宫。

北京科技大学开发出了实用纯交互式汽车模拟驾驶培训系统,基于该系统完全可以达到实训效果。

西安交通大学信息工程研究所对 VR 的核心技术——立体显示技术进行了研究。在分析人类视觉特性的基础上提出了一种基于 JPEG 标准(由联合图像专家小组 Joint Photographic Experts Group 制定的国际图像压缩标准)压缩编码的新方案,获得了较高的压缩比、信噪比以及解压速度,并且已经通过实验结果证明了这种方案的优越性。

2004 年南京大学成立了南京大学虚拟现实与教学媒体研究中心,对 VR 技术及应用进行研究,着重于虚拟体育仿真、数字文化遗产保护和自然人机交互等方面的研发。

哈尔滨工业大学计算机系成功解决了表情和唇动合成的技术问题等。

深圳大学联合国家超级计算深圳中心(深圳云计算中心)基于虚拟现实技术等对机电产品虚拟样机技术云平台 and 虚拟产品展示与电子商务云平台进行研发与示范应用,取得令人满意的效果。

国内在 VR 方面有较多研究成果的还有国防科技大学、天津大学、北京理工大学、中国科学院自动化研究所、西北大学、山东大学、大连海事大学、广东工业大学和香港中文大学等。

1.6 虚拟现实技术的局限性与技术瓶颈问题

虚拟现实技术发展已有几十年的历史,由于受相关学科的基础研究成果和技术的限制,目前虚拟现实技术还存在许多局限性。同时,在产业化过程中碰到许多技术瓶颈,这些问题也将直接影响虚拟现实技术的应用。

1. 虚拟现实技术存在的局限性

(1) 硬件设备的局限性。

- ① 相关设备普遍存在使用不方便、效果不佳等情况。
- ② 硬件设备品种有待进一步扩展。
- ③ VR 系统应用的相关设备价格昂贵。

(2) 软件的局限性。

从软件上来说,现在 VR 软件普遍存在语言专业较强、通用性较差等问题。同时,由于硬件设备的诸多局限性,使得软件的开发费用也十分巨大,并且软件所能实现的效果受到时间和空间的影响较大,很多算法及许多相关理论还不成熟。

(3) 应用的局限性。

从应用上来说,现阶段 VR 技术在军事领域、各高校科研方面应用得较多,但在教育领域、工业领域应用还远远不够。

(4) 效果的局限性。

- ① 缺乏逼真的物理、行为模型。
- ② 在虚拟世界的感知方面,有关视觉合成研究多,听觉、触觉(力觉),尤其在味觉、嗅觉方面关注较少,感知的真实性与实时性不足。
- ③ 在与虚拟世界的交互中,自然交互性不够,在语音识别等人工智能方面的效果还远不能令人满意。

2. 虚拟现实技术产业化中存在的技术瓶颈问题

(1) 无法完全消除眩晕感。

目前,虚拟现实体验上的最大问题之一是眩晕感。体验者在适应全新的感知环境时,可能会出现类似晕车的状况。虽然一些研究人员表示在虚拟影像中添加一个鼻部图像,可能会帮助体验者更好地适应虚拟环境,但这种技术方案目前尚未得到虚拟现实设备及软件商的支持。虽然一些高端设备在不同程度上解决了眩晕感的问题,但因体验者自身身体状况、适应能力的影响,还是无法完全避免眩晕感的产生,体验者连续佩戴的时间一般不能超过 30 分钟。

(2) “沉浸体验”和“真实感”难以兼得。

视觉沉浸体验常被作为衡量虚拟现实逼真度的一个重要指标之一,然而在当前的技术条件下,市面上各家 VR 头戴显示器公司所生产的产品很难达到既沉浸又真实的体验。因为,想要沉浸感强,画面就必须离人眼近点,但画面的清晰度就会降低,从而降低真实感的体验。这个矛盾主要是因为屏幕分辨率的限制所致。目前,市面上各家 VR 头戴显示器公司还在探索如何

在“沉浸体验感”和“清晰度”间找到更好的“平衡点”，以求得在相对好的沉浸体验下，不降低清晰度。

(3) 屏幕刷新率的提高。

120Hz 的屏幕刷新率是保证 VR 画面接近于现实的最低要求，当前手机屏幕的刷新率基本还停留在 60Hz 水平，PC 显示器可以满足。同时，刷新率的提升，会对芯片的计算、功耗造成很大压力，这对设备的硬件提出了更高的要求。

思 考 题

1. 什么是虚拟现实？它有几个重要的特性？
2. 什么是虚拟现实系统？由哪些部分组成？各组成部分有何功用？
3. 虚拟现实系统有哪几种类型？各有什么特点？
4. 虚拟现实技术对人类的生活、工作方式产生什么影响？
5. 虚拟现实技术融合了哪些技术成果？
6. 虚拟现实技术在医学领域中有何具体的应用？
7. 举例说明虚拟现实技术在工业领域中的具体应用。