

高等教育规划教材

免费提供
电子教案
案例教程

VIRTUAL REALITY TECHNOLOGY: FUNDAMENTALS AND APPLICATIONS

虚拟现实技术 基础与应用

主 编 李 建 王 芳
副主编 张天伍 杨爱云 李雨恒



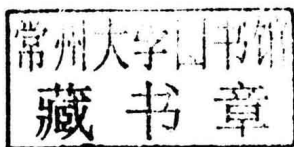
机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

高等教育规划教材

虚拟现实技术基础与应用

主编 李 建 王 芳

副主编 张天伍 杨爱云 李雨恒



机械工业出版社

本书力求全面系统地描述虚拟现实技术的概念、发展趋势、硬件设备、软件技术以及虚拟现实技术开发的基础知识等。全书共有7章,详细介绍了虚拟现实的概念和发展现状、虚拟现实的关键技术、虚拟现实系统的硬件设备和相关开发软件、三维全景技术、Unity 虚拟现实开发平台的基础知识和综合开发案例等。

本书既可以作为高等院校虚拟现实、数字媒体技术、计算机应用等相关专业的基础教材,又给所有对虚拟现实技术感兴趣的读者,提供了一本较为翔实的入门教程。

本书配有授课电子课件,需要的教师可登录 www.cmpedu.com 免费注册,审核通过后下载,或联系编辑索取(QQ: 2850823885; 电话: 010-88379739)。

图书在版编目(CIP)数据

虚拟现实技术基础与应用 / 李建, 王芳主编. —北京: 机械工业出版社, 2018.8
高等教育规划教材

ISBN 978-7-111-60162-3

I. ①虚… II. ①李… ②王… III. ①虚拟现实—高等学校—教材
IV. ①TP391.98

中国版本图书馆CIP数据核字(2018)第124199号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)

责任编辑: 胡静 责任校对: 张艳霞

责任印制: 张博

三河市国英印务有限公司印刷

2018年8月第1版·第1次印刷

184mm×260mm·15印张·365千字

0001—3000册

标准书号: ISBN 978-7-111-60162-3

定价: 49.00元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务

网络服务

服务咨询热线: (010) 88379833

机工官网: www.cmpbook.com

读者购书热线: (010) 88379649

机工官博: weibo.com/cmp1952

教育服务网: www.cmpedu.com

封面无防伪标均为盗版

金书网: www.golden-book.com

前 言

虚拟现实（Virtual Reality, VR）技术是指采用以计算机技术为核心的现代高科技手段生成一种虚拟环境，是一种多源信息融合的交互式三维动态视景和实体行为的系统仿真，使用户沉浸到该环境中，与虚拟世界中的物体进行自然的交互，从而通过视觉、听觉和触觉等获得与真实世界相同的感受。

自 20 世纪 50 年代起，虚拟现实技术从模糊的概念、缓慢发展、快速成长到产品落地，并运用到军事、工业、地理与规划、建筑可视化、教育文化等领域。头戴 3D 显示器是沉浸式 VR 设备的雏形，Nintendo、Olympus、Sony 相继推出过头戴 3D 显示器产品，但因软硬件、内容不成熟未能形成市场规模。2013 年以来，显示器分辨率、显卡 GPU 并行渲染和 3D 实时建模能力、网络速度等技术的快速提升带来了 VR 设备的轻量化、便捷化和精细化，大幅提升了 VR 设备的体验。2014 年 FaceBook 以 20 亿美金收购 Oculus，Samsung、Google、Sony、HTC 等国际消费电子巨头均加入 VR 设备研发，推出大量沉浸式 VR 设备，并不断更新换代，让电子科技公司、手机制造商、科技创业公司等看到市场前景，各大厂商和投资机构纷纷投资，各个领域都普遍看好 VR 产业的未来，VR 市场潜力巨大。2016 年初，全球领先的国际投资银行高盛集团发布了《VR 与 AR：解读下一个通用计算平台》的行业报告，全世界迎来了虚拟现实发展的新浪潮，于是 2016 年被专家和媒体称为 VR 元年。

面对硬件技术的日益成熟，在 VR 内容设计和产出方面的技术人才正在成为制约 VR 产业发展的重要瓶颈。据 LinkedIn 发布的《2016 全球 VR 人才报告》显示，中国 VR 行业人才需求占比高达 18%，成为全球第二大 VR 市场，但人才市场供给量只占全球的 2%。随着 VR 人才需求的增加，国内不少教育机构和高校也积极布局 VR 教育，把 VR 开发及相关课程纷纷列入人才培养和教学计划之中，并建立了虚拟现实技术相关的实验室。

为满足社会和高校对虚拟现实学科建设和教材的需求，以及广大虚拟现实爱好者的学习需求，我们编写了本书。本书较系统地介绍了虚拟现实技术的概念、发展历程、未来趋势、硬件设备、软件技术、开发平台及应用领域等，并通过实战案例，系统地介绍了虚拟现实应用开发的全过程。虚拟现实理论知识与实践经验耦合度高，在注重理论知识学习的基础上，应具备一定的实际操作能力。因此本书有以下突出特点：理论联系实际，理论、应用和案例相结合；由浅入深，图文并茂，易于理解；注重实践应用，包括应用开发环境、典型应用案例等，使读者能在短时间内全面了解虚拟现实应用开发的相关知识和实用技术。

本书能对立志于虚拟现实技术应用开发的读者起到引领入门的作用，既可以作为高等院校数字媒体技术（艺术）、计算机科学与技术、计算机应用等相关专业虚拟现实方向的基础教材，又能够给社会和高校中对虚拟现实技术感兴趣的读者，提供翔实的学习资料。编者期望通过本书的出版能够达到普及知识、掌握技术、面向应用、开阔思路等目的。

本书主要包括以下内容。

第 1 章，介绍了虚拟现实技术的概念、特性、发展历程，虚拟现实产业的发展现状和应用前景，分析了 VR、AR、MR 的概念、区别和联系。

第 2 章, 虚拟现实是多种技术的综合, 本章主要介绍了其关键技术, 包括立体高清显示技术、三维建模技术、三维虚拟声音技术、人机交互技术等。

第 3 章, 介绍了虚拟现实的硬件设备, 包括生成设备、输入设备和输出设备。

第 4 章, 介绍了虚拟现实开发的相关软件, 包括 3ds Max、Lumion 等三维建模软件, Unity、VRP、Unreal Engine 等虚拟现实开发平台, 以及 C#、OpenGL、C++等相关开发语言。

第 5 章, 介绍了三维全景的基本概念, 三维全景图及 VR 全景图的制作方法。

第 6 章, 介绍了 Unity 虚拟现实开发平台的基本开发流程, 包括 Unity 窗口界面组成、物理引擎和碰撞检测、各种资源 (3D 模型、Terrain 地形、材质贴图、灯光、音频、摄像机等)、UGUI 界面开发、Mecanim 动画系统等。

第 7 章, 以项目开发实战的形式, 详细介绍了 3 个综合案例的完整开发流程。从项目背景、策划与准备, 到项目架构、UI 设计、逻辑开发, 再到项目优化与发布等, 对虚拟现实项目开发的技术人员和初学者极有帮助。

本书由李建、王芳主编, 张天伍、杨爱云、李雨恒任副主编, 其中第 1 章、第 5 章由李建编写, 第 2 章由杨爱云编写, 第 3 章由张天伍编写, 第 4 章、第 6 章由王芳编写, 第 7 章由李雨恒编写。中原工学院信息商务学院郭欣、河南中医药大学闫培玲和王雨佳参与了部分章节的编写工作。书中综合案例由河南云和数据信息技术有限公司虚拟现实研发部经理李雨恒设计并实现, 李建对全书进行了统稿。

在本书编写过程中, 参阅了大量的书籍、文献资料和网络资源, 得到了河南云和数据信息技术有限公司领导的大力支持, 在此向所有资源的作者及相关单位的支持表示衷心感谢。由于作者水平和时间所限, 加之虚拟现实技术发展迅速、日新月异, 书中难免存在局限和错误等不足之处, 欢迎广大读者不吝指正, 沟通交流, 以促进我国虚拟现实产业和虚拟现实技术的不断发展和进步。

编 者

目 录

前言

第 1 章 虚拟现实技术概述 1	2.1.2 立体高清显示技术分类..... 27
1.1 虚拟现实概念..... 1	2.2 三维建模技术..... 30
1.1.1 基本概念..... 1	2.2.1 几何建模..... 31
1.1.2 虚拟现实技术的特性..... 4	2.2.2 物理建模..... 34
1.1.3 虚拟现实系统的组成..... 5	2.2.3 运动建模..... 35
1.2 虚拟现实技术的发展..... 6	2.3 三维虚拟声音技术..... 36
1.2.1 虚拟现实技术发展历程..... 6	2.3.1 三维虚拟声音的特征..... 36
1.2.2 国内外的虚拟现实技术研究..... 8	2.3.2 头部相关传递函数..... 36
1.2.3 虚拟现实技术发展趋势..... 11	2.3.3 语音识别与合成技术..... 37
1.3 虚拟现实技术的分类..... 12	2.4 人机交互技术..... 38
1.3.1 沉浸式虚拟现实系统..... 12	2.4.1 手势识别技术..... 38
1.3.2 增强式虚拟现实系统..... 12	2.4.2 面部表情识别技术..... 39
1.3.3 桌面式虚拟现实系统..... 13	2.4.3 眼动跟踪技术..... 41
1.3.4 分布式虚拟现实系统..... 13	2.4.4 其他感觉器官的反馈技术..... 42
1.4 虚拟现实产业发展现状与前景..... 13	2.5 虚拟现实引擎..... 43
1.4.1 国内虚拟现实产业发展情况..... 13	2.5.1 虚拟现实引擎概述..... 43
1.4.2 国外虚拟现实产业发展情况..... 14	2.5.2 虚拟现实引擎架构..... 44
1.4.3 虚拟现实产业链..... 15	小结..... 45
1.4.4 虚拟现实产业发展前景..... 15	习题..... 45
1.5 增强现实与混合现实技术..... 16	第 3 章 虚拟现实系统的硬件设备 46
1.5.1 增强现实与混合现实的概念..... 16	3.1 虚拟现实系统的生成设备..... 46
1.5.2 虚拟现实与增强现实、混合现实的 区别..... 17	3.1.1 高性能个人计算机..... 46
1.6 虚拟现实技术典型应用——虚拟 博物馆..... 18	3.1.2 高性能图形工作站..... 47
1.6.1 虚拟博物馆及其发展现状..... 18	3.1.3 巨型机..... 48
1.6.2 虚拟博物馆的特点..... 20	3.1.4 分布式网络计算机..... 49
1.6.3 虚拟博物馆的应用技术..... 21	3.2 虚拟现实系统的输入设备..... 50
1.6.4 虚拟博物馆的发展趋势..... 22	3.2.1 跟踪定位设备..... 50
小结..... 23	3.2.2 人机交互设备..... 55
习题..... 24	3.2.3 快速建模设备..... 56
第 2 章 虚拟现实的关键技术 25	3.3 虚拟现实系统的输出设备..... 58
2.1 立体高清显示技术..... 25	3.3.1 视觉感知设备..... 58
2.1.1 立体视觉形成原理..... 25	3.3.2 听觉感知设备..... 68

3.3.5 语言交互设备	75	6.2 Unity 窗口界面	136
3.3.6 意念控制设备	75	6.2.1 创建 Unity 项目	136
3.3.7 三维打印机	76	6.2.2 Scene 与场景漫游	136
小结	77	6.2.3 Hierarchy 面板与场景搭建	138
习题	77	6.2.4 Project 与资源管理	140
第 4 章 虚拟现实开发软件和语言	79	6.2.5 Inspector 与组件管理	140
4.1 三维设计软件	79	6.3 物理引擎和碰撞检测	142
4.1.1 3ds Max	79	6.3.1 碰撞器	142
4.1.2 Lumion	82	6.3.2 物理引擎和刚体	143
4.2 虚拟现实开发平台	84	6.3.3 碰撞检测	144
4.2.1 Unity	85	6.4 Unity 资源	147
4.2.2 VRP	87	6.4.1 Terrain 地形系统	147
4.2.3 Virtools	90	6.4.2 3D 模型对象	152
4.2.4 Unreal Engine	92	6.4.3 材质贴图	153
4.3 虚拟现实开发语言	95	6.4.4 灯光	155
4.3.1 OpenGL	96	6.4.5 摄像机	157
4.3.2 VRML	97	6.4.6 音频	159
4.3.3 C#	98	6.5 Unity 图形用户界面	162
4.3.4 C++	100	6.5.1 GUI 图形用户界面	162
小结	101	6.5.2 UGUI 图形用户界面	162
习题	102	6.5.3 常用输入类	165
第 5 章 三维全景技术	103	6.6 Mecanim 动画系统	165
5.1 三维全景概述	103	6.6.1 Unity 动画系统概述	165
5.1.1 三维全景的概念	103	6.6.2 动画剪辑	166
5.1.2 三维全景应用领域	105	6.6.3 动画状态机	167
5.2 全景照片的拍摄硬件	106	6.7 简单应用举例	171
5.2.1 全景制作常见硬件	106	6.7.1 创建地形	171
5.2.2 VR 全景视频设备	107	6.7.2 场景搭建	171
5.3 全景图的制作	111	6.7.3 获取能量和炮弹	172
5.3.1 制作流程	111	6.7.4 攻击敌方坦克	174
5.3.2 全景拼图软件 PTGui Pro 的基本操作	114	6.7.5 声音特效	175
5.3.3 手机端 360° 全景图制作步骤	118	6.7.6 发布测试	177
5.3.4 全景航拍及应用简介	121	小结	179
5.3.5 VR 全景图的制作	123	习题	179
小结	126	第 7 章 综合开发案例	183
习题	126	7.1 项目开发流程与组织	183
第 6 章 Unity 开发基础	128	7.1.1 项目开发流程	183
6.1 一个 Unity 简单案例	128	7.1.2 项目开发的组织	184

7.2 虚拟现实应用案例——虚拟 装修	184	7.3.5 应用的美术资源设计	209
7.2.1 应用的背景及功能概述	184	7.3.6 应用的逻辑开发	210
7.2.2 应用的策划及准备工作	185	7.3.7 应用的优化与改进	211
7.2.3 应用的架构	191	7.3.8 打包与发布	212
7.2.4 应用的界面设计	191	7.4 混合现实应用案例——虚拟 试衣间	212
7.2.5 应用的美术资源设计	193	7.4.1 应用的背景及功能概述	212
7.2.6 应用的逻辑开发	194	7.4.2 应用的策划及准备工作	213
7.2.7 应用界面的完善	204	7.4.3 应用的架构	215
7.2.8 应用的优化与改进	204	7.4.4 应用的界面设计	215
7.2.9 打包与发布	204	7.4.5 应用的美术资源设计	219
7.3 增强现实应用案例—— 涂涂乐	205	7.4.6 应用的逻辑开发	220
7.3.1 应用的背景及功能概述	205	7.4.7 应用界面的完善	229
7.3.2 应用的策划及准备工作	206	7.4.8 应用的优化与改进	229
7.3.3 应用的架构	206	7.4.9 打包与发布	229
7.3.4 应用的界面设计	207	小结	230
		参考文献	231

第 1 章 虚拟现实技术概述

学习目标

- 理解虚拟现实的概念
- 了解虚拟现实技术的特性
- 了解虚拟现实技术的发展历程
- 了解虚拟现实产业的发展现状与前景
- 能够区分 VR、AR 与 MR

虚拟现实技术是 20 世纪末逐渐兴起的一门综合性技术，涉及计算机图形学、多媒体技术、传感技术、人机交互、显示技术、人工智能等多个领域，交叉性非常强。虚拟现实技术在教育、医疗、娱乐、军事等众多领域有着非常广泛的应用前景。由于改变了传统的人与计算机之间被动、单一的交互模式，用户和系统的交互变得主动化、多样化、自然化，因此虚拟现实技术被认为是 21 世纪发展最为迅速、对人们的工作生活有着重要影响的计算机技术之一。

1.1 虚拟现实概念

1.1.1 基本概念

虚拟现实是从英文 Virtual Reality 一词翻译过来的，简称“VR”，是由美国 VPL Research 公司创始人 Jaron Lanier 在 1989 年提出的，Lanier 认为：Virtual Reality 指的是由计算机产生的三维交互环境，用户参与到这些环境中，获得角色，从而得到体验。

之后，许多学者对虚拟现实的概念进行了深入的探讨，Nicholas Lavroff 在《虚拟现实游戏室》一书中将虚拟现实定义为：使你进入一个真实的人工环境里，并对你的一举一动所做出的反应，与在真实世界中一模一样。

Ken Pimentel 和 Kevin Teixeira 在《虚拟现实：透过新式眼镜》一书中，将虚拟现实定义为：一种沉浸式体验，参与者戴着被跟踪的头盔，看着立体图像，听着三维声音，在三维世界里自由地探索并与之交互。

L. Casey Larijani 在《虚拟现实初阶》一书中认为，虚拟现实潜在地提供了一种新的人机接口方式，通过用户在计算机创造的世界中扮演积极的参与者角色，虚拟现实正在试图消除人机之间的差别。

我国著名科学家钱学森教授认为虚拟现实是视觉的、听觉的、触觉的以至嗅觉的信息，使接受者感到身临其境，但这种临境感不是真的亲临其境，只是感受而已，是虚的。为了使人们便于理解和接受虚拟现实技术的概念，钱学森教授按照我国传统文化的语义，将虚拟现实称为“灵境”技术。

我国著名计算机科学家汪成为教授认为，虚拟现实技术是指在计算机软硬件及各种传感器（如高性能计算机、图形图像生产系统、特制服装、特制手套、特制眼镜等）的支持下生成的一个逼真的、三维的，具有一定视、听、触、嗅等感知能力的环境；使用户在这些软硬件设备的支持下，以简捷、自然的方法与由计算机所产生的“虚拟”世界中的对象进行交互作用。虚拟现实技术是现代高性能计算机系统、人工智能、计算机图形学、人机接口、立体影像、立体声响、测量控制、模拟仿真等技术综合集成的结果，目的是建立起一个更为和谐的人工环境，如图 1-1 所示。

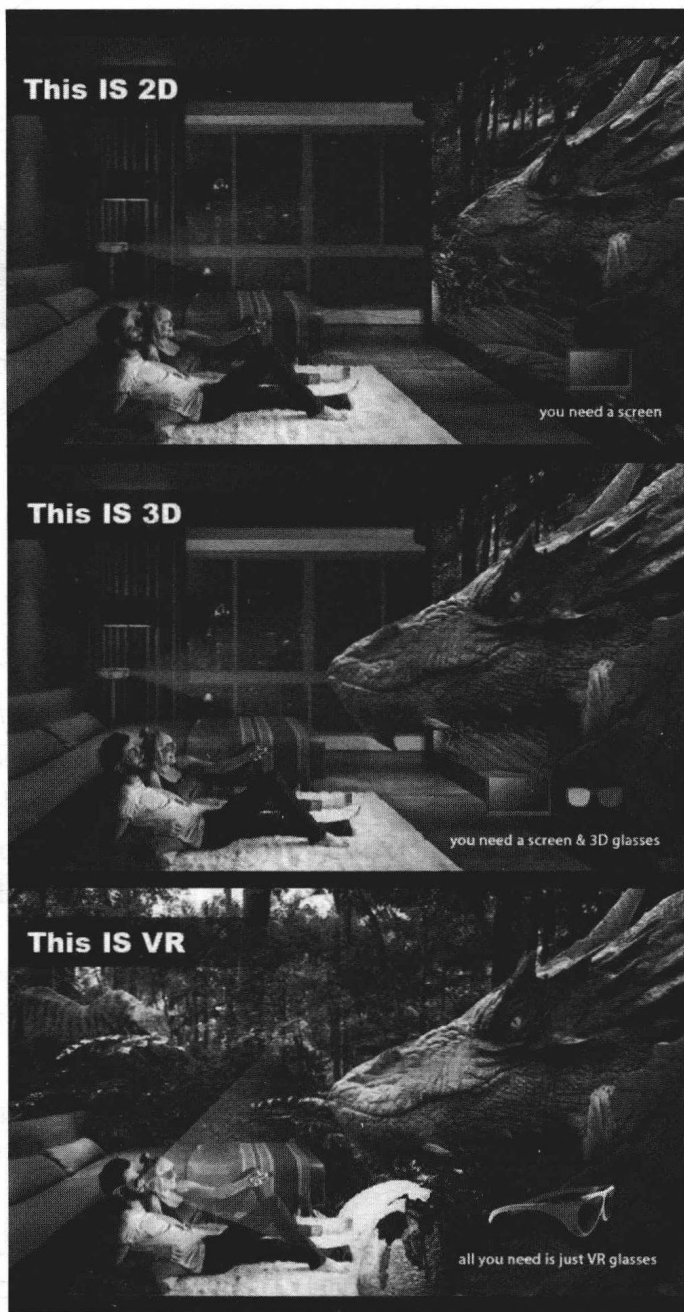


图 1-1 VR 场景示意图

我国虚拟现实领域的资深学者、工程院院士赵沁平教授认为,虚拟现实是以计算机技术为核心,结合相关的科学技术,生成一定范围内与真实环境在视、听、触感等方面高度近似的数字化环境。用户借助必要的装备与数字化环境中的对象进行交互作用、相互影响,可以产生亲临对应真实环境的感受和体验。

总之,目前学术界普遍认为,虚拟现实技术是指采用以计算机技术为核心的现代高新技术,生成逼真的视觉、听觉、触觉一体化的虚拟环境,参与者可以借助必要的装备,以自然的方式与虚拟环境中的物体进行交互,并相互影响,从而获得等同真实环境的感受和体验,如图1-2所示。

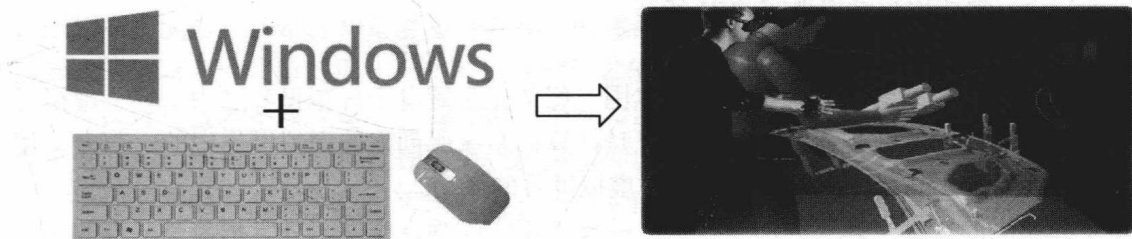


图1-2 交互方式的改变

虚拟现实系统中的虚拟环境,包括以下几种形式。

1) 模拟真实世界中的环境。这种真实环境可能是已经存在的,也可能是已经设计好但还没有建成的,或者是曾经存在但现在已经发生变化、消失或者受到破坏的。例如,地理环境、建筑场馆、文物古迹等。

2) 人类主观构造的环境。此环境完全是虚构的,是用户可以参与,并与之进行交互的非真实世界,如图1-3所示。例如,影视制作中的科幻场景,电子游戏中三维虚拟世界。

3) 模仿真实世界中人类不可见的环境。这种环境是真实环境,客观存在的,但是受到人类视觉、听觉器官的限制,不能感应到,如图1-4所示。例如,分子的结构,空气中的速度、温度、压力的分布等。



图1-3 影视制作中的科幻场景

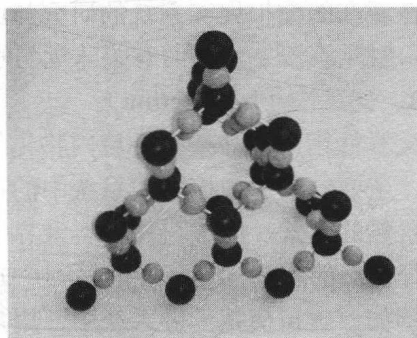


图1-4 模拟的分子结构

虚拟现实技术是仿真技术的一个重要方向,是仿真技术与计算机图形学、人机接口技术、多媒体技术、传感技术、网络技术等多种技术的集合,是一门富有挑战性的交叉技术前沿学科和研究领域。

1.1.2 虚拟现实技术的特性

虚拟现实技术基于动态环境建模技术、立体显示和传感器技术、系统开发工具应用技术、实时三维图形生成技术、系统集成技术等多项核心技术，主要围绕虚拟环境表示的准确性、虚拟环境感知信息合成的真实性、人与虚拟环境交互的自然性，通过实时显示、图形生成、智能技术等问题的解决，使得用户能够身临其境地感知虚拟环境，从而达到探索、认识客观事物的目的。

1994年美国科学家 G. Burdea 和 P. Coiffet 在《虚拟现实技术》一书中提出，虚拟现实技术具有以下 3 个重要特性，分别是沉浸感（Immersion）、交互性（Interaction）和构想性（Imagination），常被称为虚拟现实的 3I 特征。

1. 沉浸感（Immersion）

沉浸感是指用户感受到被虚拟世界所包围，好像完全置身于虚拟世界之中一样。虚拟现实技术最主要的技术特征是让用户觉得自己是计算机系统所创建的虚拟世界中的一部分，使用户由观察者变成参与者，沉浸其中并参与虚拟世界的活动。

与人们熟悉的二维空间不同的是，成熟的虚拟现实的视觉空间、视觉形象是三维的，音响效果也是精密仿真的三维效果。虚拟现实是根据现实世界的真实存在，由计算机模拟出来的。它客观上并不存在，但一切都符合客观规律。它所实现的是使用户进入到三维世界中，运用多重感受完全参与到构建的“真实”世界中去。

虚拟现实系统根据人类的视觉、听觉的生理和心理特点，通过外部设备及计算机产生逼真的三维立体图像，并利用头盔式显示器或其他设备，把参与者的视觉、听觉和其他感觉封闭起来，提供一个新的、虚拟的、非常逼真的感觉空间。参与者戴上头盔显示器和数据手套等交互设备，便可将自己置身于虚拟环境中，成为虚拟环境中的一员。当使用者移动头部时，虚拟环境中的图像也实时地随着变化，做拿起物体的动作可使物体随着手的移动而运动。这种沉浸感是多方面的，不仅可以看到，而且可以听到、触到及嗅到虚拟世界中所发生的一切，并且给人的感觉相当真实，以至于能使人全方位地临场参与到这个虚幻的世界之中。

虚拟现实系统应该具备人在现实世界中具有的所有感知功能，但鉴于目前技术的局限性，在现在的虚拟现实系统的研究与应用中，较为成熟或相对成熟的主要是视觉沉浸、听觉沉浸、触觉沉浸技术，而有关味觉与嗅觉的感知技术正在研究之中，目前还不成熟。

2. 交互性（Interaction）

交互性指用户对模拟环境内物体的可操作程度和从环境得到反馈的自然程度。交互性的产生，主要借助于虚拟现实系统中的特殊硬件设备，如数据手套、力反馈装置等，使用户能通过自然的方式，产生与在真实世界中一样的感觉。虚拟现实系统比较强调人与虚拟世界之间进行自然的交互，交互性的另一个方面主要表现在交互的实时性。

例如，虚拟模拟驾驶系统中，用户可以控制包括方向、挡位、刹车、座位调整等各种信息，系统也会根据具体变化瞬时传达反馈信息。用户可以用手直接抓取模拟环境中虚拟的物体，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。崎岖颠簸的道路，用户会感觉到身体的震颤和车的抖动；上下坡路，用户会感受到惯性的作用；漆黑的夜晚，用户会感觉到观察路况的不便等。

交互性能的好坏是衡量虚拟现实系统的一个重要指标。在虚拟现实系统中的人机交互是

一种近乎自然的交互，使用者不仅可以利用计算机键盘、鼠标进行交互，而且能够通过特殊的头盔、数据手套等传感设备交互。参与者不是被动地感受，而是可以通过自己的动作改变感受相应的变化。计算机能够根据使用者的头、手、眼、语言及身体的运动，来调整系统呈现的图像及声音。参与者通过自身的感官、语言、身体运动或肢体动作等，就能对虚拟环境中的对象进行观察或操作。

3. 构想性 (Imagination)

构想性指虚拟的环境是人想象出来的，同时这种想象体现出设计者相应的思想，因而可以用来实现一定的目标。虚拟现实虽然是根据现实进行模拟，但所模拟的对象却是虚拟存在的，它以现实为基础，却可能创造出超越现实的情景。所以虚拟现实技术可以充分发挥人的认识和探索能力，从定性和定量等综合集成的思维中得到感性和理性的认识，从而进行理念和形式的创新，以虚拟的形式真实地反映设计者的思想、传达用户的需求。

虚拟现实技术不仅仅是一个媒体或一个高级用户界面，同时还是为解决工程、医学、军事等方面的问题而由开发者设计出来的应用软件。虚拟现实技术的应用，为人类认识世界提供了一种全新的方法和手段，可以使人类跨越时间与空间，去经历和体验世界上早已发生或尚未发生的事件；可以使人类突破生理上的限制，进入宏观或微观世界进行研究和探索；也可以模拟因条件限制等原因而难以实现的事情。

例如，在一个现代化的大规模景观规划设计中，需要对地形地貌、建筑结构、设施设置、植被处理、地区文化等进行细致、海量的调查和构思，绘制大量的图纸，并按照计划有步骤地进行施工。很多项目往往已经施工完成后却发现不适应当地季节气候、地域文化、生活习惯，无法进行相应改动而留下永久的遗憾。而虚拟现实以最灵活、最快捷、最经济的方式，在不动用一寸土地且成本降到极限的情况下，供用户任意进行设计改动、讨论和呈现不同方案的多种效果，并可以使更多的设计人员、用户参与设计过程，确保方案的最优化。此外，在对未知世界和无法还原的事物进行探索和展示方面，虚拟现实有其无可比拟的优势。它以现实为基础创造出超越现实的情景，大到可以模拟宇宙太空，把人带入浩瀚无比的宇宙空间，小到可以模拟原子世界里的动态演化，把人带入肉眼不可见的微粒世界。

1.1.3 虚拟现实系统的组成

一套完善的虚拟现实系统，主要由以下几个部分组成，如图 1-5 所示。

1. 三维的虚拟环境产生器及其显示部分

这是虚拟现实系统的基础部分，它可以由各种传感器的信号来分析操作者在虚拟环境中的位置及观察角度，并根据在计算机内部建立的虚拟环境的模型快速产生图形，快速显示图形。

2. 由各种传感器构成的信号采集部分

这是虚拟现实系统的感知部分，传感器包括力、温度、位置、速度以及声音传感器等，这些传感器可以感知操作者移动的距离和速度、动作的方向、动作力的大小以及操作者的声音。产生的信号可以帮助计算机确定操作者的位置及方

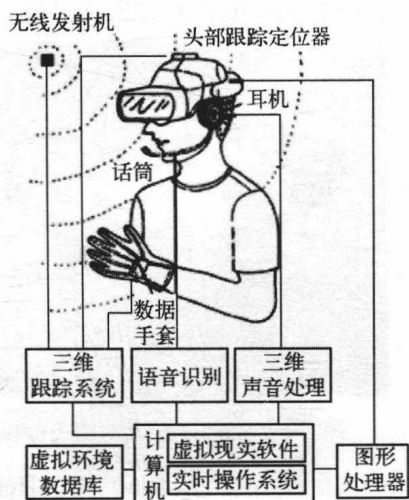


图 1-5 虚拟现实系统的组成

向,从而计算出操作者所观察到的景物,也可以使计算机确定操作者的动作性质及力度。

3. 由各种外部设备构成的信息输出部分

这是虚拟现实系统使操作者产生感觉的部分,感觉包括听觉、触觉甚至还可以有嗅觉、味觉等。正是虚拟现实系统产生的这些丰富的感觉,才使操作者能真正地沉浸于虚拟环境中,产生身临其境的感觉。

1.2 虚拟现实技术的发展

1.2.1 虚拟现实技术发展历程

虚拟现实技术并不是近几年才出现的新鲜事物,它从梦想到真正落实成产品的历史,几乎可以与电子计算机的历史相比肩。虚拟现实是一项跨学科的综合性技术,因此它的发展必然受到不同学科发展进程的影响。伴随着电子计算机技术、人机交互技术、计算机网络与通信等技术的发展,虚拟现实的发展走过了半个多世纪,期间经历了多次发展热潮。

1. 虚拟现实技术的探索阶段(20世纪初期—20世纪70年代)

人类对虚拟现实的探索是从各种仿真模拟器开始的。1929年 Link E. A 发明了一种飞行模拟器,让乘坐者可以体验飞行的感觉。可以说,这是人类模拟仿真物理现实世界的初次尝试,如图 1-6 所示。

1935年,小说家 Stanley G. Weinbaum 在小说中描述了一款虚拟现实眼镜,以眼镜为基础,包括视觉、嗅觉、触觉等全方位沉浸式体验的虚拟现实概念,该小说被认为是世界上率先提出虚拟现实概念的作品。

1962年,电影摄影师 Morton Heilig 构造了一个多感知、仿真环境的虚拟现实系统,这套被称为 Sensorama Simulator 的系统也是历史上第一套虚拟现实系统,如图 1-7 所示。Sensorama Simulator 能够提供真实的 3D 体验,例如,用户在观看摩托车行驶的画面时,不仅能看到立体、彩色、变化的街道画面,还能听到立体声,感受到行车的颠簸、扑面而来的风,还能闻到相应的芳香。Sensorama Simulator 还曾经被美国空军引进,用来进行飞行训练。



图 1-6 Link E. A 发明的飞行模拟器



图 1-7 Sensorama Simulator 系统

实际上,早在 1960 年,Heilig 还提交了一款虚拟现实设备的专利申请文件,这款设备不像 Sensorama Simulator 那样体积庞大,是一款便携式的头戴设备,专利文件上的描述是“用于个人使用的立体电视设备”。尽管这款设计来自于 50 多年前,但可以看出与 Oculus

Rift、Google Cardboard 之间有着很多相似之处，如图 1-8 所示。

1965 年，美国国防部高级研究计划署（Advanced Research Projects Agency, ARPA）信息处理技术办公室主任 Ivan Sutherland 发表了一篇题为“*The Ultimate Display*”的论文。文章指出，应该将计算机显示屏幕作为“一个观察虚拟世界的窗口”，计算机系统能够使该窗口中的景象、声音、事件和行为非常逼真。Sutherland 的这篇文章给计算机界提出了一个具有挑战性的目标，人们把这篇论文称为是研究虚拟现实的开端，他的工作场景如图 1-9 所示。

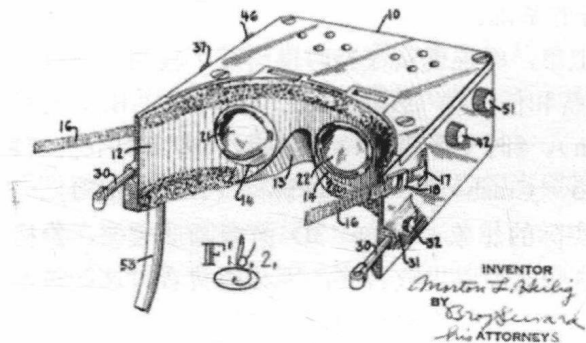


图 1-8 海力格头戴设备的设计图

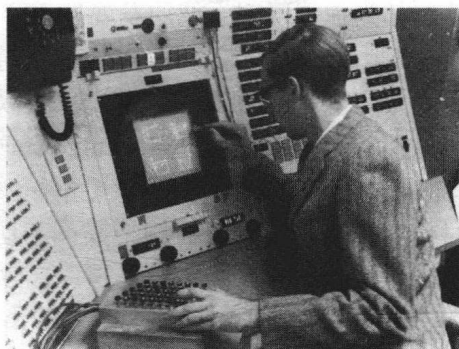


图 1-9 计算机图形学之父：Ivan Sutherland

在虚拟现实技术发展史上一个重要的里程碑是，在 1968 年 Ivan Sutherland 和学生 Bob Sproull 在麻省理工学院的林肯实验室研制出第一个头盔显示器（Head-Mounted Display, HMD），也被称为 *The Sword of Damocles*（达摩克利斯之剑），如图 1-10 所示。因此，许多人认为 Ivan Sutherland 不仅是“图形学之父”，而且还是“虚拟现实之父”。

这个采用阴极射线管（CRT）作为显示器的 HMD 可以跟踪用户头部的运动，当用户移动位置或转动头部时，用户在虚拟世界中所在的“位置”和应看到的内容也随之发生变化。人们可以通过这个“窗口”看到一个虚拟的、物理上不存在的，却与客观世界的物体十分相似的“物体”。

2. 虚拟现实技术基本概念的逐步形成阶段（20 世纪 80 年代初—20 世纪 80 年代末）

20 世纪 80 年代，Eric Howlett 发明了额外视角系统（缩写为 LEEP 系统），这套系统可以将静态图片变成 3D 图片。1987 年，另外一位著名的计算机科学家 Jaron Lanier，同样制造了一款价值 10 万美元的虚拟现实头盔，被称为第一款真正投放市场的虚拟现实商业产品，如图 1-11 所示。

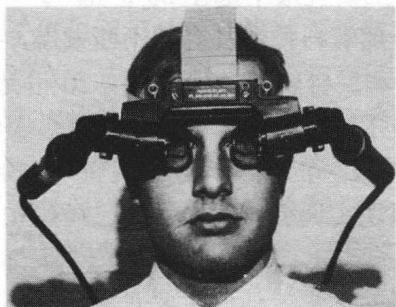


图 1-10 *The Sword of Damocles*（达摩克利斯之剑）

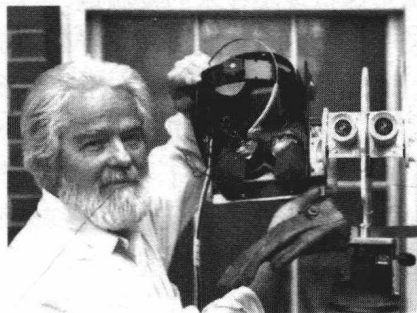


图 1-11 虚拟现实头盔

该阶段,虚拟现实进入快速发展期,虚拟现实的主要研究内容及基本特征初步明朗,在军事演练、航空航天、复杂设备研制等重要应用领域有了广泛的应用。

3. 虚拟现实技术全面发展阶段(20世纪90年代初至今)

这一阶段虚拟现实技术从研究转向了应用。进入20世纪90年代,迅速发展的计算机硬件技术与不断改进的计算机软件系统相匹配,使得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,新颖、实用的输入/输出设备不断地进入市场,这些都为虚拟现实系统的发展打下了良好的基础。

早在20世纪90年代,就已经有3D游戏上市,虚拟现实在当时也引发了较高关注度。例如,游戏方面有Virtuality的虚拟现实游戏系统和任天堂(Nintendo)的Virtual Boy游戏机,电影方面有《异度空间》(Lawnmower Man)、《时空悍将》(Virtuosity)和《捍卫机密》(Johnny Mnemonic),书籍方面有《雪崩》(Snow Crash)和《桃色机密》(Disclosure)。但是,当时的虚拟现实技术没有跟上媒体不切合实际的想象。例如,3D游戏画质较差,价格高,时间延迟,设备计算能力不足等。最终,这些产品以失败告终,因为消费者对这些技术并不满意,所以第一次虚拟现实热潮就此消退。

2014年,Facebook以20亿美元收购Oculus后,虚拟现实热潮再次袭来。虚拟现实技术成熟度已经达到市场爆发的临界点,消费级产品将会诞生。自2016年以来,虚拟现实技术已经度过了概念炒作的阶段,迎来大规模的商业化应用。虚拟现实技术已经达到推出消费级产品的程度。虚拟现实的具体技术指标体现在以下几个方面:GPU芯片运算能力、屏幕清晰度、屏幕刷新度、视场以及传感器,其中尤其关键的是屏幕清晰度以及产品刷新率。目前的主流手机厂商的高配手机都已经推出了2K屏幕,而三星推出的120Hz的显示器也即将量产。虚拟现实元器件综合技术水平的提升使得产品已经能够满足消费者的基本需求。

为促进虚拟现实“产、学、研、用”等协同发展,我国2015年12月成立了中国虚拟现实与可视化产业技术创新战略联盟。自2016年起,江西南昌、山东青岛、福建福州等政府部门,均开始筹备虚拟现实产业基地。虚拟现实研发热潮正在兴起,2016年更被称为“VR元年”。

1.2.2 国内外的虚拟现实技术研究

1. 国外虚拟现实技术研究

(1) 美国关于虚拟现实技术的研究

美国是虚拟现实技术的发源地,对于虚拟现实技术的研究最早是在20世纪40年代。一开始用于美国军方对宇航员和飞行驾驶员的模拟训练。随着科技和社会的不断发展,虚拟现实技术也逐渐转为民用,集中在用户界面、感知、硬件和后台软件4个方面。20世纪80年代,美国国防部和宇航局组织了一系列对于虚拟现实技术的研究,研究成果惊人。美国宇航局的Ames实验室正致力于一个叫“虚拟行星探索”(VPE)的试验计划。现在NASA已经建立了航空、卫星维护虚拟现实训练系统和空间站虚拟现实训练系统,并且已经建立了可供全国使用的虚拟现实教育系统。

北卡罗来纳大学是进行虚拟现实研究最早、最著名的大学。他们主要研究分子建模、航空驾驶、外科手术仿真、建筑仿真等。

洛马林达大学医学中心的David Warner博士和他的研究小组成功地将计算机图形及虚拟

现实的设备用于探讨与神经疾病相关的问题，首创了虚拟现实儿科治疗法。

SRI 研究中心建立了“视觉感知计划”，研究现有虚拟现实技术的进一步发展。1991年后，SRI 进行了利用虚拟现实技术对军用飞机或车辆驾驶的训练研究，试图通过仿真来减少飞行事故。

华盛顿大学华盛顿技术中心的人机界面技术实验室（HIT Lab）将虚拟现实研究引入到教育、设计、娱乐和制造领域。伊利诺斯州立大学研制出在车辆设计中支持远程协作的分布式虚拟现实系统。

乔治梅森大学研制出一套动态虚拟环境中的流体实时仿真系统；波音公司利用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的办公室中，设计了一项基于虚拟现实的窗口系统。传感器技术和图形图像处理技术是上述虚拟现实项目的主要技术，从目前来看，时间的实时性和空间的动态性是虚拟现实技术的主要焦点。

（2）欧洲关于虚拟现实技术的研究

在欧洲，英国在辅助设备设计、分布并行处理和应用研究方面处于领先地位。欧洲其他一些比较发达的国家，如德国以及瑞典等也积极进行了虚拟现实技术的研究和应用。德国将虚拟现实技术应用在改造传统产业方面，一是用于产品设计、降低成本，避免新产品开发的风险；二是产品演示，吸引客户争取订单；三是用于培训，在新生产设备投入使用前，用虚拟工厂来提高工人的操作水平。瑞典的 DIVE 分布式虚拟交互环境是一个基于 UNIX 的、在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。荷兰海牙 TNO 研究所的物理电子实验室（TNO-PEL）开发的训练和模拟系统，通过改进人机界面来改善现有模拟系统，以使用户完全介入模拟环境。

（3）亚洲关于虚拟现实技术的研究现状

在亚洲，日本是居于领先地位的国家之一，主要致力于建立大规模虚拟现实知识库的研究，另外在虚拟现实的游戏方面也做了很多工作。东京技术学院精密和智能实验室开发了一个用于建立三维模型的人性化界面。

NEC 公司开发了一种虚拟现实系统，它能让操作者都使用“代用手”去处理三维 CAD 中的形体模型，该系统通过数据手套把对模型的处理与操作者手的运动联系起来。

日本国际电气通信基础技术研究所（ATR）正在开发一套系统，这套系统能用图像处理来识别手势和面部表情，并把它们作为系统输入。东京大学的高级科学研究中心将他们的研究重点放在远程控制方面，最近的研究项目是主从系统。该系统可以使用户控制远程摄像系统和一个模拟人手的随动机械人手臂。东京大学原岛研究室开展了 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和动态图像的提取。富士通实验室有限公司正在研究虚拟生物与虚拟现实环境的相互作用。他们还在研究虚拟现实中的手势识别，已经开发了一套神经网络姿势识别系统，该系统可以识别姿势，也可以识别表示词的信号语言。值得一提的是，日本奈良先端科学技术大学院大学教授千原国宏领导的研究小组于 2004 年开发出一种嗅觉模拟器，只要把虚拟空间里的水果放到鼻尖上一闻，装置就会在鼻尖处放出水果的香味，这是虚拟现实技术在嗅觉研究领域的一项突破。

2. 国内虚拟现实技术的研究

与一些发达国家相比，我国虚拟现实技术的研究起步较晚，但已引起政府有关部门和科