

北京理工大学“双一流”建设精品出版工程

Virtual Reality Aided Mechanical Design  
**虚拟现实辅助机械设计**

姚寿文 王 瑀 姚泽源 © 编著

The old computing is about computers, the new computing is about users!

——美国马里兰大学教授 Ben Shneiderman

1962年，美国专业电影摄影师 Morton Heilig 公开了一项 Sensorama Simulator 的发明——世界上第一个虚拟现实视频设备。2014年，Oculus 被互联网巨头 Facebook 以 20 亿美金收购，该事件强烈刺激了科技圈和资本市场，沉寂了多年的虚拟现实终于迎来了爆发。计算机技术，特别是个人计算机，已经得到巨大的发展，从而为全球虚拟现实（virtual reality, VR）开发奠定了基础。

虚拟现实能够提供丰富的感官体验。多年来，虚拟现实的倡导者一直宣称 VR 具有无穷的潜力，能够超越以往的任何一种交互技术。虚拟现实的应用虽已经深入许多领域，包括教育、医学、娱乐等，然而基于虚拟现实解决实际工程问题的能力，如虚拟环境下交互设计、装配公差设计、摩擦润滑、动力学和强度等，目前尚缺少相关硬件设备支持，也亟须相关理论的研究。

虽然虚拟现实相关书籍随处可见，然而对于虚拟现实这一博大的系统，要想出一本书涵盖所有的知识是不现实的。作者在虚拟现实领域研究多年，虽技不精湛，然而为相关感兴趣的学生提供一本切实可行的教材一直是我们的夙愿，一直是我们编著教材的动力。

本书编写的主要动机是为机械工程学科的学生和研究人员提供一个严谨、完整的结构化教材，为对虚拟现实充满理想的学生以及专业技术人员提供一个较好的切入口，为虚拟现实应用方面的人才提供基础知识和理论。

本书由北京理工大学姚寿文等编著，参加编写的人员还有胡子然（第 2、3 章）、丁佳（第 5 章）、栗丽辉（第 6 章）、常富祥（第 8 章）等。由于作者水平有限，加之对虚拟现实领域博大理论的理解尚不深入，书中缺点、疏漏在所难免，敬请广大读者批评指正。

在这里，首先感谢国家自然科学基金项目的支持，还要感谢北京理工大学研究生院对虚拟现实教材出版的资助。最后，感谢我们的家庭，是他们的支持、鼓励和心甘情愿的付出，才使得本书最终付诸纸笔，使得我们的愿望成真，也使得本书从想象变为现实。

我们坚信，虚拟现实必将成为我们未来的生活方式。

作者

2019年8月

# 目 录

## CONTENTS

---

---

---

第 1 章 虚拟现实技术简介 .....	001
引言 .....	001
1.1 虚拟现实的 $F^3$ 特征 .....	002
1.2 虚拟现实的发展里程碑 .....	005
1.3 虚拟现实系统的典型组成及关键技术 .....	010
1.3.1 虚拟现实系统的典型组成 .....	011
1.3.2 虚拟现实的关键技术 .....	012
1.4 虚拟现实系统的分类 .....	014
1.5 虚拟现实仿真引擎 .....	017
1.6 虚拟现实辅助技术 .....	018
1.7 虚拟现实技术的典型应用 .....	019
1.8 虚拟现实的未来 .....	021
1.9 本书结构 .....	022
本章小结 .....	022
练习与思考 .....	022
参考文献 .....	022
第 2 章 虚拟现实输入技术 .....	024
引言 .....	024
2.1 手势识别设备 Leap Motion 传感器 .....	024
2.1.1 Leap Motion 概述 .....	024
2.1.2 Leap Motion 的硬件结构 .....	025
2.1.3 Leap Motion 的原理 .....	026
2.1.4 Leap Motion 检测的信息 .....	027
2.1.5 Leap Motion 采用的算法 .....	027

2.1.6 Leap Motion 的应用 .....	028
2.2 人体捕捉设备 Kinect .....	033
2.2.1 Kinect 概述 .....	033
2.2.2 Kinect V1 与 Kinect V2 硬件结构介绍 .....	033
2.2.3 Kinect 骨骼追踪原理 .....	036
2.2.4 Kinect SDK 的功能 .....	038
2.2.5 Kinect 的应用 .....	039
2.2.6 Azure Kinect .....	040
2.3 其他虚拟现实输入设备 .....	044
2.3.1 三维空间鼠标 .....	044
2.3.2 数据手套 .....	044
2.3.3 数据衣 .....	047
本章小结 .....	050
练习与思考 .....	050
参考文献 .....	050
<b>第3章 虚拟现实输出技术</b> .....	<b>052</b>
引言 .....	052
3.1 立体显示 .....	052
3.1.1 立体显示概述 .....	052
3.1.2 人眼视觉系统 .....	054
3.1.3 虚拟现实立体显示设备的发展 .....	056
3.1.4 虚拟现实立体显示设备 .....	058
3.2 HTC Vive 虚拟现实系统 .....	070
3.2.1 HTC Vive 构成 .....	071
3.2.2 HTC Vive 安装过程 .....	073
3.2.3 Lighthouse 定位系统 .....	076
3.3 触觉反馈 .....	081
本章小结 .....	083
练习与思考 .....	083
参考文献 .....	083
<b>第4章 虚拟现实建模技术</b> .....	<b>085</b>
引言 .....	085
4.1 3D 建模 .....	085
4.1.1 3D 建模基础知识 .....	086
4.1.2 3D 建模方法 .....	088
4.2 物理建模 .....	095
4.2.1 碰撞检测算法 .....	095

4.2.2 接触力模型 .....	102
4.3 行为建模 .....	103
4.3.1 虚拟控制手柄的行为建模 .....	103
4.3.2 徒手交互的行为建模 .....	105
4.4 动力学建模 .....	107
本章小结 .....	108
练习与思考 .....	109
参考文献 .....	109
<b>第5章 虚拟现实开发引擎 Unity3D</b> .....	<b>110</b>
引言 .....	110
5.1 Unity3D 简介 .....	110
5.2 Unity3D 开发架构 .....	113
5.2.1 软件安装 .....	114
5.2.2 Unity3D 编辑器 .....	118
5.2.3 资源导入 .....	124
5.2.4 创建工程和游戏场景 .....	127
5.3 渲染引擎 .....	129
5.3.1 Unity3D 中的自定义 Shader .....	130
5.3.2 相关编程接口介绍 .....	130
5.3.3 图形管线基本原理介绍 .....	133
5.3.4 渲染管线 .....	136
5.4 PhysX 物理引擎 .....	137
5.4.1 Rigidbody .....	137
5.4.2 Colliders .....	138
5.4.3 Character Controller .....	140
5.4.4 Joint .....	141
5.5 C#语言简介 .....	143
5.5.1 概述 .....	143
5.5.2 C#语言的编译和运行环境 .....	144
5.6 Unity3D 案例实解 .....	144
本章小结 .....	148
练习与思考 .....	148
参考文献 .....	148
<b>第6章 虚拟现实人机交互技术</b> .....	<b>150</b>
引言 .....	150
6.1 虚拟现实人机交互方式 .....	151
6.1.1 视觉交互 .....	151

6.1.2	HUD	153
6.1.3	语音交互	154
6.1.4	肢体运动交互	155
6.1.5	眼球追踪与面部表情捕捉	157
6.1.6	力反馈交互	158
6.1.7	脑机交互	159
6.2	虚拟手建模与交互	161
6.2.1	虚拟手建模	161
6.2.2	虚拟手模型驱动方式	162
6.2.3	虚拟手型模型	163
6.2.4	虚拟手碰撞检测	165
6.3	虚拟人体建模与交互	168
6.3.1	坐标标定	168
6.3.2	数据传输	169
6.3.3	数据融合	171
6.4	虚拟现实人机交互技术的应用	174
6.5	未来人机交互发展趋势	176
	本章小结	177
	练习与思考	177
	参考文献	178
<b>第7章 虚拟现实辅助产品设计技术</b>		<b>180</b>
7.1	产品设计	180
7.1.1	产品设计的开发模式变革	180
7.1.2	产品设计的要求	182
7.1.3	产品设计流程	183
7.2	计算机辅助设计	184
7.2.1	概述	184
7.2.2	产品设计的关键步骤	185
7.2.3	计算机辅助设计的不足	186
7.3	虚拟现实辅助设计	189
7.3.1	虚拟现实辅助概念设计	190
7.3.2	虚拟现实辅助布局设计	191
7.3.3	虚拟现实辅助装配设计	193
	本章小结	211
	练习与思考	211
	参考文献	212

第8章 虚拟现实辅助装配平台开发与实例 .....	213
引言 .....	213
8.1 开发架构 .....	213
8.1.1 什么是架构 .....	213
8.1.2 Simple GameManager 与 Manager of Managers .....	214
8.1.3 UI 框架 .....	215
8.1.4 MVC 框架 .....	216
8.2 虚拟现实辅助装配平台架构 .....	217
8.3 虚拟现实辅助装配的多层级零件建模 .....	219
8.3.1 零件层次结构模型 .....	219
8.3.2 几何外形属性 .....	220
8.3.3 物理属性数据 .....	221
8.3.4 几何装配特征数据 .....	222
8.3.5 碰撞包围盒数据 .....	222
8.4 基于自由度限制算法约束计算 .....	223
8.5 虚拟现实辅助装配的人机交互操作 .....	228
8.5.1 虚拟手无标记交互操作 .....	228
8.5.2 虚拟环境下实时信息显示界面 .....	231
8.5.3 虚拟环境下交互电子指导手册 .....	231
8.6 某综合传动装置装配实例 .....	232
8.6.1 某综合传动三轴的实际装配 .....	232
8.6.2 虚拟装配的虚拟环境搭建 .....	235
8.6.3 虚拟环境下传动轴的动态装配过程 .....	236
8.6.4 信息反馈辅助装配机制 .....	240
本章小结 .....	243
练习与思考 .....	243
参考文献 .....	244
附录 基于 VRduino 电路板介绍六自由度姿态跟踪 .....	245
后 记 .....	256

# 第1章

## 虚拟现实技术简介

### 引言

昔者庄周梦为胡蝶，栩栩然胡蝶也，自喻适志与，不知周也。俄然觉，则蓬蓬然周也。不知周之梦为胡蝶与，胡蝶之梦为周与？周与胡蝶，则必有分矣。此之谓物化。

——《庄子·齐物论》

在1962年之前，“虚拟现实”主要是以模糊幻想的形式见于各大文学作品中，其中最为著名的是英国著名作家阿道司·赫胥黎（Aldous Leonard Huxley）在1932年推出的长篇小说《美丽新世界》，其中提到“头戴式设备可以为观众提供图像、气味、声音等一系列的感官体验，以便让观众能够更好地沉浸在电影的世界中”。虽然书中并没有关于这款设备的具体称呼，但这篇小说是目前公认的对“沉浸式体验”的最初描写，里面提到的设备基本预言了今天的VR头显。

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，目前在学术界被广泛使用，钱学森院士翻译为“灵境”。virtual 是虚拟的、模拟的、接近实际的，本意是表现上具有真实事物的某些属性；但本质上是虚幻的。reality 意为现实、实际情况、事实、实际经历、见到的事物，其本意是“真实”而不是“现实”。

科学界对虚拟现实领域进行了多年的研究，认识到 VR 是一种非常强大的人机接口。然而，社会上大量的出版物、科普读物以及技术文献都有各种各样的定义。

定义一：虚拟现实技术，又称灵境技术，是20世纪发展起来的一项全新的实用技术。虚拟现实技术囊括计算机、电子信息、仿真技术于一体，其基本实现方式是计算机模拟虚拟环境从而给人以环境沉浸感（百度百科）。

定义二：虚拟现实是以计算机技术为核心，生成与一定范围真实环境在视、听、触感等方面近似的数字化环境（赵沁平院士在“虚拟现实技术研究进展”中的定义）。

定义三：虚拟现实技术是指采用计算机技术为核心的现代高科技手段生成一种虚拟环境，用户借助特殊的输入/输出设备，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。

还有一些人根据使用的设备来定义虚拟现实，而不是根据其目标和功能。一些出版物常把虚拟现实与头戴显示器、传感手套、数据衣等联系在一起，这是因为它们是仿真过程中使

用的重要设备。当然，这些和设备联系的定义都不是很好的定义。因为虚拟现实系统除了头戴显示器外，还有大型投影屏幕和台式 PC（个人计算机）。同时，传感手套也能用简单的跟踪球或手势捕捉传感器 Leap Motion 代替，数据衣可以用 Kinect 代替等。因此，根据设备来描述虚拟现实是片面的。

## 1.1 虚拟现实的 I<sup>3</sup> 特征

究竟什么是虚拟现实呢？从功能上讲，首先虚拟现实是用计算机图形学对真实世界的一种仿真模拟，而且这个世界不是静止的，它可以对用户的输入（手势、动作、声音、视线等）做出响应。这样定义了虚拟现实的关键特征——实时交互。实时指的是计算机捕捉到用户的输入并同时修改虚拟世界。用户也希望看到虚拟环境根据他们的命令发生变化，从而被整个仿真模拟所吸引，达到身临其境的感觉，即沉浸感。实时交互对用户产生沉浸感具有非常重要的作用，即让用户感觉置身于虚拟现实环境的情节中。图 1-1 所示人机交互的飞跃。



图 1-1 人机交互的飞跃

作为一种高级的人机接口技术，虚拟现实还应能解决实际工程、医疗和军事等问题的应用。那么，如何才能使虚拟现实能解决实际问题呢？众所周知，人类解决实际问题的能力很大程度上依赖于想象力。想象力是人在已有形象的基础上，在头脑中创造出新形象的能力。例如当说起汽车，人马上就想象出各种各样的汽车形象。因此，想象一般是在掌握一定的知识面的基础上完成的，是在人的头脑中创造一个念头或思想画面的能力。基于计算机图形学构建的虚拟现实环境，给人类提供了一种很好的想象力基础，即虚拟现实的构想性。当然，虚拟现实的构想性取决于虚拟现实的应用开发，也取决于强大的人机交互能力，才能把人类的构想通过可视化输出。

VR 技术使得人从被动转为主动接受事物，人们从定性和定量两者集成的环境中，通过感性认识和理性认识主动探寻信息，深化概念并进而产生认知上的新意和构想。

美国科学家 Burden 和 Philippe Coiffet 在 1993 年世界电子年会上发表了一篇题为 *Virtual Reality System and Applications* 的论文，在文中首次提出了虚拟现实技术的三大特征：Immersion（沉浸）、Interaction（交互）、Imagination（想象），简称 I<sup>3</sup> 特征，如图 1-2 所示。

沉浸感：计算机产生一种人为虚拟的环境，这种虚

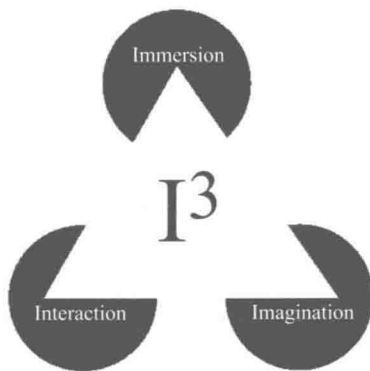


图 1-2 虚拟现实三角形

拟的环境是通过计算机图形构成的三维数字模型，编制到计算机中去产生逼真的“虚拟环境”，从而使用户在视觉上产生一种沉浸于虚拟环境的感觉，这就是虚拟现实技术的沉浸感或临场参与感。

**交互性：**虚拟现实与通常 CAD（计算辅助设计）系统所产生的模型以及传统的三维动画是不一样的，它不是一个静态的世界，而是一个开放、互动的环境，虚拟现实环境可以通过控制与监视装置影响使用者或被使用者影响，这是 VR 的第二个特征，即交互性。

**想象性：**虚拟现实不仅是一个演示媒体，还是一个设计工具。它以视觉形式反映了设计者的思想，如在盖一座现代化的大厦之前，首先要对这座大厦的结构、外形做细致的构思，为了使之量化，还需设计许多图纸，当然这些图纸只能内行人读懂，虚拟现实可以把这种构思变成看得见的虚拟物体和环境，使以往只能借助传统沙盘的设计模式提升到数字化的即看即所得的完美境界，大大提高了设计和规划的质量与效率。这是 VR 所具有的第三个特征，即想象性。

这三个特征都不是孤立存在的，它们之间相互影响，每个特征的实现都依赖于另外两个特征的实现。具备 I<sup>3</sup> 特征的虚拟现实技术，使参与者能在虚拟环境中沉浸其中、超越其上、进退自如并自由交互。它强调了人在系统中的主导作用，即人的体验在整个系统中最重要，是虚拟现实系统的核心。因此，交互性和沉浸感这两个特征是虚拟现实与其他相关技术（如三维动画、科学可视化、多媒体）的本质区别。简而言之，虚拟现实是人机交互内容和交互方式的革新。

逻辑上，交互是沉浸的手段，沉浸是想象的基础，想象是虚拟现实的目标。因为人可以和虚拟环境进行交互，有了置身于虚拟环境的感觉（沉浸），通过沉浸，才能更好地发挥想象力（想象）；有了想象力，才能利用虚拟现实去解决实际问题。例如，读者很容易看到图 1-2 中的三角形，但是它只存在于他们的想象中。再如，在虚拟环境中，在轴上装配一个齿轮时，若齿轮可以从轴的一端移动到轴的另一端，且齿轮可以在轴上转动，你就能知道轴上缺少齿轮的定位结构，便可以在轴上添加齿轮轴向定位结构（轴肩）和周向定位结构（平键或花键），这样就解决了齿轮在轴上的定位问题。

有些人也将虚拟现实划分为四大特征：多感知性（multi-sensory）、沉浸感、交互性、自主性，如图 1-3 所示。

**多感知性：**多感知是指除了一般计算机技术所具有的视觉感知之外，还有听觉感知、力觉感知、触觉感知、运动感知，甚至包括味觉感知、嗅觉感知等。理想的虚拟现实技术应该具有一切人所具有的感知功能。由于相关技术，特别是传感技术的限制，目前虚拟现实技术所具有的感知功能仅限于视觉、听觉、力觉、触觉、运动等。

从本质上看，虚拟现实的三大特征和四大特征没有本质区别，因为四大特征中的多感知性其

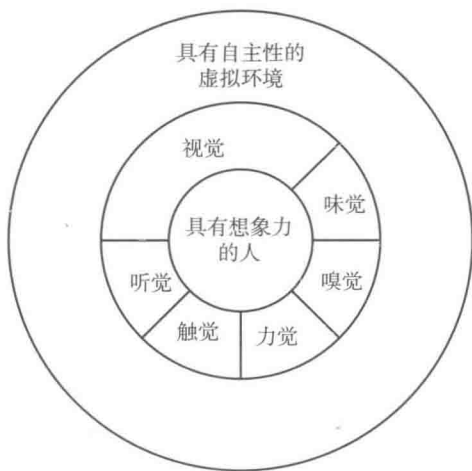


图 1-3 虚拟现实四大特征构成

实包含在三大特征中的交互特征中了。

本书采用的定义：虚拟现实是以计算机技术为核心的一种高端人机接口，包括视觉、听觉、触觉、嗅觉、运动等多感知性的实时交互和实时模拟，产生沉浸感，并提供人类认知和构想。

一般地，虚拟现实中的虚拟环境可以分为以下三种。

(1) 完全对真实世界中环境的再现。例如，地理环境、建筑场馆、文物古迹、工厂厂房、生产线、城市等。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、消失或受到破坏的。图 1-4 所示为真实的社区环境再现。



图 1-4 真实的社区环境再现

(2) 完全虚拟的，当前并不存在的环境。例如，影视制作中的科幻场景、电子游戏中的三维虚拟世界。此环境完全是虚构的，用户也可以参与，并与之进行交互的非真实世界。图 1-5 所示为完全虚拟的环境。



图 1-5 完全虚拟的环境

(3) 模拟真实世界中人类不可见的环境。例如，分子的结构，空气中的速度、温度、压力分布等。这种环境是真实环境，是客观存在的，但是受到人类视觉、听觉器官的限制而不能感应到。图 1-6 所示为某种分子结构。

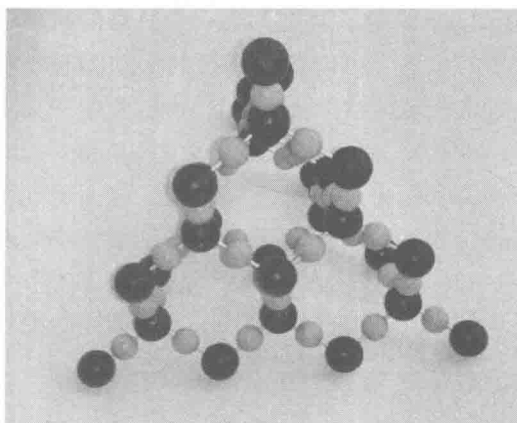


图 1-6 某种分子结构

## 1.2 虚拟现实的发展里程碑

由 1.1 节可知，虚拟现实虽然是人类创造的虚拟环境，但包含的内容浩瀚无边。从某种意义上说，人类所有的认知，无论是力学、电子、机械、建筑、人类本身等，只要你能想到的，无论过去的、现在的还是未来的，都可以包含在虚拟现实这一领域内。

本书从影响虚拟现实技术发展的角度，梳理 1916—2016 年虚拟现实技术在发展历程中的里程碑事件，这些事件可能是技术驱动、市场驱动、一个概念的驱动或市场的力量导致的，以使读者基本了解虚拟现实的发展历史。

20 世纪 90 年代，与虚拟现实相关的创新继续发展，不再仅仅是简单地呈现视觉图像。新的交互概念开始出现，即使在今天的虚拟现实系统中也被认为是新奇的。图 1-7 显示了阿尔伯特·普拉特在 1916 年获得专利的头戴式枪瞄准和射击装置。

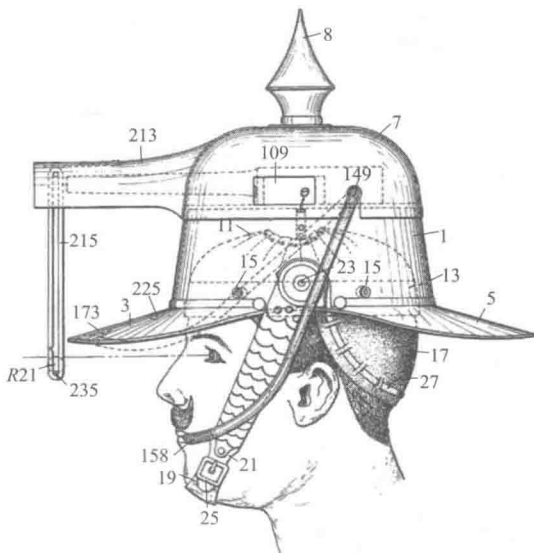


图 1-7 阿尔伯特·普拉特在 1916 年获得专利的头戴式枪瞄准和射击装置

1928年，美国的Edwin Link研制了世界上第一个简易的机械飞行模拟器，包括带有驾驶舱和控制装置的类似机身的装置，可以产生飞行的运动和感觉（图1-8）。令人惊讶的是，他的目标客户军方最初并不感兴趣，所以他转而卖给了游乐园。到1935年，美国陆军航空队订购了6套模拟器。到了第二次世界大战结束时，Link已经售出了10000个模拟器。Link模拟器最终演变成宇航训练和先进的飞行模拟器，包括运动平台和实时计算机生成的图像，即现在的Link Simulator & Training。自1991年以来，Link高级模拟和培训奖学金计划资助了许多研究生在改进VR系统方面的努力，包括在计算机图形学、延迟问题、立体音频、化身和触觉中的工作。

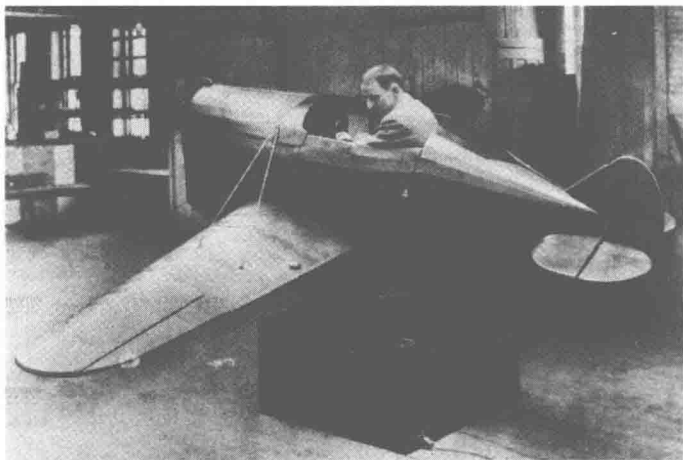


图1-8 Edwin Link发明的第一个飞行模拟器

20世纪50年代，Heilig设计了一种头戴式显示器和一种地面固定显示器。图1-9所示的头戴式显示器（head-mounted display, HMD）专利，能够提供140°水平和垂直视野的透镜、立体声耳机，不同温度下提供微风感觉的排气喷嘴和气味。他把固定显示装置称为Sensorama，如图1-10所示。Sensorama是用于观看沉浸式电影的，它提供了大视场的立体彩色视图、立体声、座椅倾斜、振动、气味和风。

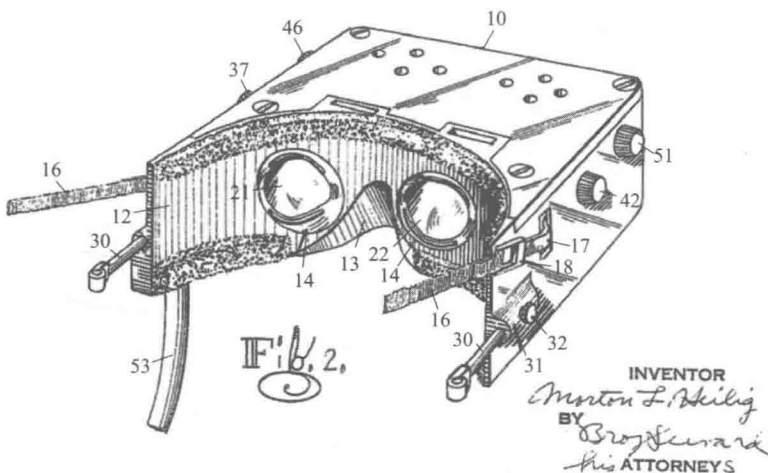


图1-9 头戴式显示器专利图



图 1-10 Sensorama 产生完全沉浸在电影中的体验

1962年,美国的 Ivan Sutherland 在他的博士论文 *SKETCHPAD: stereo HMD, position tracking, and a graphics engine* 中发明的电脑程序“画板”是人们“曾经编写过的程序中最重要的一份程序”。这是有史以来第一个交互式绘图系统,开创了新的人机交互手段,这也是交互式电脑绘图的开端,如图 1-11 所示。人们后来在此基础上相继开发了 CAD 和 CAM (计算机辅助制造),它们被称为 20 世纪下半叶最杰出的工程技术成就之一。

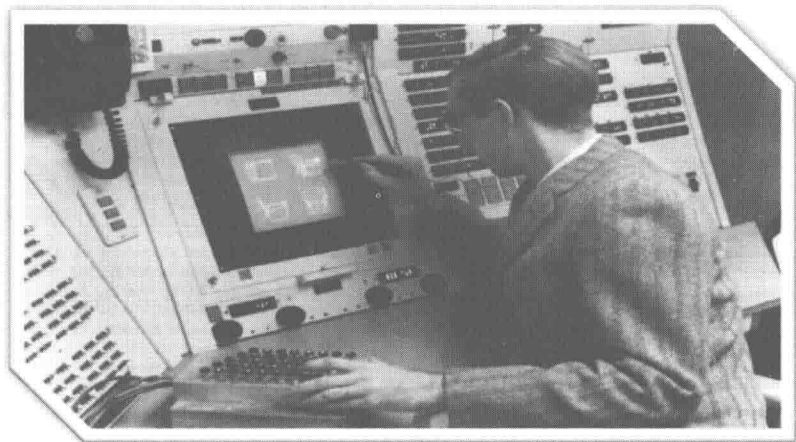


图 1-11 Ivan Sutherland 的交互式绘图系统

Ivan Sutherland 继承和发展了 Heilig 的头戴式显示器。1966年, Sutherland 在用户眼睛前绑上了两个 CRT (cathode ray tube, 阴极射线管) 显示器。现在的 HMD 在用户头部安装两

个微型 LCD (liquid crystal display, 液晶显示器), 从配置角度和 Sutherland 的 HMD 并没有太大区别。由于那时的 CRT 显示器很重, 所以 Sutherland 使用了一副机械臂来负担显示器的重力, 如图 1-12 所示, 该机械臂还有检测用户视线的功能。现有的 HMD 使用非接触式位置跟踪器, 如 HTC 的 Lighthouse 采用红外光学跟踪技术。

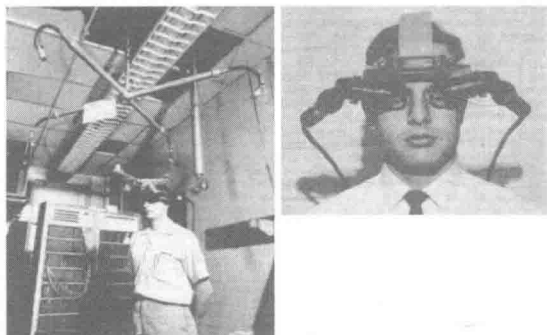


图 1-12 Ivan Sutherland 的头戴显示器

在研究头戴显示器的过程中, Sutherland 意识到可以用计算机生成的场景代替照相机拍摄的模拟图像, 并开始设计这样的“场景生成器”, 这是现代图形加速器的先驱。图形加速器已成为 VR 硬件的重要组成部分。早期的图形场景生成器大约于 1973 年由 Evans 和 Sutherland 研制成功, 但是只能显示 200~400 个简单多边形构成的场景。

1965 年, Ivan Sutherland 发表《终极显示》(Ultimate Display), 被誉为虚拟现实之父。在《终极显示》一文中, Sutherland 对虚拟世界的想法不仅局限于图形, 他预言触觉和力反馈将加入进来, 使用户能感觉到他们看见的虚拟对象。他认为可以把计算机显示器作为通往虚拟世界的窗口。对于这个概念, 他是这样描述的: “通过这个窗口, 人们可以看到一个虚拟的世界, 富有挑战性的工作是怎样使那个虚拟世界看起来更加真实, 在其中行动真实, 听起来真实, 感觉就像真实世界一样。” Sutherland 的设想是计算机构建一个虚拟的物理世界, 观众可以与其进行交互。

20 世纪 80 年代, 最为著名的莫过于 VPL Research。这家 VR 公司由 VR 先行者 Jaron Lanier 在 1984 年创办, 创立后推出一系列 VR 产品, 包括 VR 手套、VR 头显、环绕音响系统、3D 引擎、VR 操作系统等。尽管 VPL Research 公司开发的这些产品价格昂贵, 但它是第一家将 VR 设备推向民用市场的公司。1989 年 Jaron Lanier 正式提出了虚拟现实, 并得到公众的正式认可。虚拟现实技术是指采用计算机技术为核心的现代高科技手段生成的一种虚拟环境, 用户借助特殊的输入/输出(I/O)设备, 与虚拟世界中的物体进行自然的交互, 并通过视觉、听觉和触觉等获得与真实世界相同的感受。

美国军方非常热衷于开发新型的数字仿真器, 以取代昂贵的实物仿真器。一般的飞行仿真器都是为特定型号的飞机设计的, 一旦飞机过时, 仿真器也随之淘汰, 这就需要不断投入大量经费。

美国的 NASA (国家航空航天局) 是虚拟现实应用的急先锋。20 世纪 80 年代, NASA 研制了全球第一个基于 LCD 的 HMD 原型, 并命名为虚拟视觉环境显示器 (virtual visual environmental display, VIVED)。随后, NASA 的科学家集成了 DEC PDP 11-40 主计算机、

由 Evans 和 Sutherland 设计的 Picture System 2 图形计算机以及 Polhemus 非接触类跟踪器，研制出了第一个虚拟现实系统“virtual interface environment workstation”（VIEW）。图 1-13 所示为 1992 年 NASA VIEW 系统。在该系统中，跟踪器用于测量用户头部的运动，并把测量数据传送给 PDP 11-40。PDP 主计算机继而把数据传送给图形计算机，由图形计算机计算出新的图像，并立体显示在 VIVED 上。



图 1-13 1992 年 NASA VIEW 系统

1992 年 3 月，法国率先在蒙彼利埃举办了第一个虚拟现实领域的国际会议——Interfaces for Real and Virtual Worlds。1993 年 9 月，世界上最大的专业学会——电气和电子工程师协会（IEEE），在美国西雅图组织了第一次 VR 会议。

1992 年，Sense 8 公司开发 WTK 软件开发包，极大地缩短了虚拟现实系统的开发周期；1993 年，波音公司使用虚拟现实技术设计出波音 777 飞机；1994 年，虚拟现实建模语言出现，为图形数据的网络传输和交互奠定了基础；1995 年，任天堂推出了当时最知名的游戏外设设备之一 Virtual Boy，如图 1-14 所示。不过这款革命性的产品，由于各种原因，并没有得到市场的认可。

21 世纪的第一个十年被称为“VR 冬季”。虽然从 2000 年到 2012 年，主流媒体对 VR 的关注很少，但 VR 研究仍在世界各地的企业、政府、学术和军事研究实验室中得到深入研究。VR 社区开始转向以人为本的设计，强调用户研究，如果没有包括某种形式的用户评估，VR 方面的论文很难在学术会议被接受。在这个时代，VR 相关研究论文成千上万，包含了丰富的知识，遗憾的是，在很大程度上，如今的 VR 新手对这些知识是未知的，而且也忽视这些知识。



图 1-14 任天堂游戏外设 Virtual Boy

20世纪90年代,大视野是消费级HMD的一个主要缺失部分,没有它,用户就无法获得“神奇”的存在感。2006年,南加州大学MxR实验室的Mark Bolas和Fakespace实验室的Ian McDowall发明了一个具有150°视野的HMD,命名为Wide5。实验室后来用它来研究视野对用户体验和行为的影响。当用户有更大的视野时,用户可以更准确地判断到目标的距离。该团队的研究成果还包括低成本的Field of View To Go (FOV2GO)头戴显示器,并在加利福尼亚州奥兰治县的IEEE VR 2012会议上展出,获得了最佳演示奖,是当今大多数消费级HMD的先驱。在那个时候,一个名为Palmer Luckey的实验室的成员开始在Meant to be Seen (mtbs3D.com)上分享他的原型,他是一名论坛版主。在那里,他第一次见到了John Carmack(现在是Oculus VR的首席技术官)并组建了Oculus VR。

不久之后,Palmer Luckey离开了实验室,在众筹平台Kickstarter推出了Oculus Rift。短短的一个月,Oculus Rift就收获了243.7万美元众筹资金,使得这个初创公司能够顺利进入开发、生产阶段。黑客社区和媒体再次云集VR。从初创企业到财富500强企业都看到了VR的价值,并为VR开发提供支持。2014年,Oculus被互联网巨头Facebook以20亿美元收购,该事件强烈刺激了科技圈和资本市场,沉寂了多年的虚拟现实终于迎来了爆发。VR的新时代诞生了。

2014年,各大公司纷纷推出自己的VR产品,谷歌放出了廉价易用的Cardboard,三星推出了Gear VR等。消费级的VR在此阶段开始大量涌现。短短几年,全球的VR创业者迅速暴增,2014年VR硬件企业就有200多家。

2015年3月,HTC与Valve联合开发的一款VR头显(虚拟现实头戴式显示器)产品,如图1-15所示,在MWC2015上发布。由于有Valve的SteamVR提供的技术支持,在Steam平台上已经可以体验利用Vive功能的虚拟现实游戏。2016年6月,HTC推出了面向企业用户的Vive虚拟现实头盔套装——Vive BE(商业版),其中包括专门的客户支持服务。2016年11月,HTC Vive头戴式设备荣登2016中国泛娱乐指数盛典“中国VR产品关注度榜top10”。

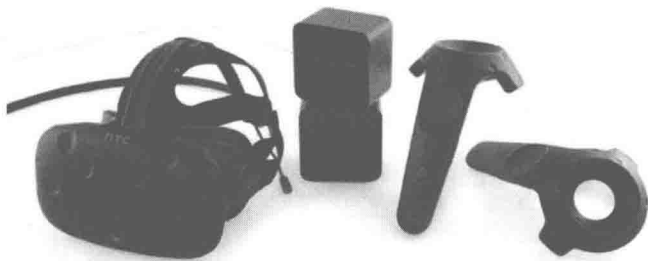


图1-15 HTC Vive 套装

### 1.3 虚拟现实系统的典型组成及关键技术

The screen is window through which one sees a virtual world. The challenge is to make that world look real, act real, sound real, feel real.

——Ivan Sutherland (1965)