

虚拟现实技术概论

学习目标

- (1) 掌握虚拟现实技术的定义。
- (2) 掌握虚拟现实技术的分类、特性。
- (3) 掌握 VR/AR/MR 的异同。
- (4) 了解虚拟现实系统的组成。
- (5) 了解虚拟现实技术中人的因素。
- (6) 了解虚拟现实技术与其他学科的关系。
- (7) 了解虚拟现实技术的研究状况与应用状况。

虚拟现实 (Virtual Reality, VR) 技术又称虚拟环境、灵境技术、赛博空间等, 是一项起源于 20 世纪并发展起来的全新的计算机实用技术。虚拟现实技术是 20 世纪以来科学技术进步的结晶, 集中体现了计算机图形学、计算机仿真技术、多媒体技术、物联网技术、人体工程学、人机交互理论、人工智能等多个领域的最新成果。虚拟现实技术以计算机技术为主, 利用计算机和一些特殊的输入与输出设备营造出一个“看起来像真的、听起来像真的、摸起来像真的、嗅起来像真的、尝起来像真的”的多感官三维虚拟世界 (虚拟环境)。在这个虚拟世界中, 人与虚拟世界可进行自然的交互, 并能实时产生与真实世界相同的感觉, 使人与虚拟世界融为一体。在虚拟世界中, 人们可以直接地观察与感知周围世界及物体的内在变化, 并与虚拟世界中的物体进行自然的交互 (包括感知环境并干预环境)。

虚拟现实从 Virtual Reality 一词翻译而来, Virtual 可以理解为“这个世界或环境是虚拟的,不是真实的,是由计算机生成的、存在于计算机内部的世界”; Reality 的含义是真实的世界或现实的环境。把两者合并起来就是虚拟现实。也就是说,虚拟现实是采用以计算机为核心的一系列设备,并通过各种技术手段创建出一个新的虚拟环境,让人感到就如处在真实的客观世界一样。

虚拟现实技术的发展与普及,对我们有十分重大的意义。它改变了过去人与计算机之间枯燥、生硬、被动的交流方式,使人机之间的交互变得更人性化,为人机交互接口开创了新的研究领域,为智能工程的应用提供了新的界面工具,为各类工程的大规模数据可视化提供了新的描述方法,同时也改变了人们的工作方式、生活方式及思想观念。虚拟现实技术已成为新的一种媒介、一门艺术、一种文化、一个产业。

科学界普遍认为,在 21 世纪,人类将进入虚拟现实的科技新时代,虚拟现实技术将是信息技术的代表,虚拟现实技术、理论分析、科学实验将成为人类探索客观世界规律的三大手段。

近年来,虚拟现实技术发展迅猛,特别是自 2016 年虚拟现实元年以来,江西南昌打响了全球 VR 产业的“第一枪”,VR 产业应用成为全球的一大热点,各大公司相继推出与虚拟现实相关的硬件与技术。随着 HTC、Oculus、SONY(索尼)三大头盔显示器产品的发售,越来越多的软件硬件公司纷纷投身于 VR 产业大潮,进一步推动了虚拟现实技术高速发展。

展望未来,VR 市场有着广阔的发展前景。随着 VR 技术的日趋成熟和 VR 概念的普及,VR 市场的需求将不断提升,“VR+ 各领域”的应用也将逐步展开,人们对 VR 产品的消费支出也将保持增长态势。

1.1 虚拟现实技术概述

1.1.1 虚拟现实技术的定义

关于虚拟现实技术的定义,主要分为狭义和广义两种。

狭义的定义认为,虚拟现实技术是一种先进的人机交互方式。在这一定义下,虚拟现实技术被称为“基于自然的人机接口”。在虚拟现实环境中,用户看到的是彩色的、立体的、随视点不同变化的景象;听到的是虚拟环境中的声响;感受到的是虚拟环境反馈给用户手、脚等身体部位的作用力,由此使用户产生一种身临其境的感觉。换言之,虚拟现实技术就是让用户通过感受真实世界的方式来感受计算机生成的虚拟世界,具有与真实世界一样的感觉。

广义的定义认为,虚拟现实技术是对多感官的三维虚拟世界的模拟。它不仅是一种人机交互接口,更主要的是对虚拟世界内部的模拟,使用户产生身临其境的感觉。

综上所述,可将虚拟现实技术的定义归纳如下:虚拟现实技术是指采用以计算机技术为核心的现代高科技手段,生成逼真的视觉、听觉、触觉、嗅觉、味觉等多模态的虚



拟环境，用户可借助一些特殊的输入与输出设备，采用自然的方式与虚拟世界中的物体进行交互，相互影响，从而产生身临其境的感受和体验的技术。相比传统的计算机系统，虚拟现实技术主要有如下改进。

1. 人机接口设备的改进

传统的计算机系统通常采用键盘、鼠标、显示器、话筒、音箱等设备与人进行交互，这些接口设备能基本满足各种数据和多媒体信息的交互需求，以至于自计算机发明以来，人们一直采用以上设备进行人机交互，这类接口设备是面对计算机开发的，人们要操作计算机就必须学习这些设备的相关操作。而在虚拟现实系统中，强调基于自然的交互方式，采用的是三维鼠标、头盔显示器、数据手套、空间跟踪定位设备等，通过这些特殊的输入与输出设备，用户可以利用自己的视觉、听觉、触觉、嗅觉、味觉等来感知环境，用自然的方式与虚拟世界进行互动，这些设备不是专门为计算机设计的，而是专门为人设计的。这也是虚拟现实技术中最具特色的内容，充分体现了计算机人机接口的新方向。

2. 人机交互内容的改进

自从计算机于20世纪40年代被发明以来，最早的应用是数值计算。当时，计算机主要用来处理数值的计算。此后，计算机的功能扩大到处理数值、字符串、文本等各类数据。近二三十年来，计算机的功能进一步扩大到处理图形、图像、视频、动画、声音等多媒体信息。而在虚拟现实系统中，由计算机提供的不仅是数据和信息，还包括多媒体信息的“环境”，属于多模态数据，其以环境作为计算机处理的对象和人机交互的内容。人机交互内容的改进，开拓了计算机应用的新思路，体现了计算机应用的新方向。

3. 人机接口效果的改进

在虚拟现实系统中，用户通过基于自然的特殊设备进行交互，得到逼真的视觉、听觉、触觉、嗅觉、味觉等多模态的感知效果，使人产生身临其境的感觉，好像置身于真实世界中，这大大改进了人机交互的效果，同时也体现了人机交互的新发展要求。

4. 人机接口作用的变化

虚拟现实的人机接口有两个作用：一是给人类操作者提供环境信息（视觉、听觉和触觉等）；二是感知人类操作者的动作和响应（位置跟踪和映射）。前者包括视觉通道、听觉通道、触觉通道、运动接口和其他接口，后者包括位置跟踪和映射、语音识别等。

（1）位置跟踪和映射。位置跟踪和映射用于测量人体各部位的位置和姿态，分析判断人的面部表情，系统由此了解人的行为，然后做出适当的响应，实现交互。

这方面常用的技术包括机械链接、磁传感器、声传感器、光传感器和惯性传感器。系统通过这些传感器精确完成位置和姿态的测量。该功能对设备有三个主要的要求：大范围的线性响应、高带宽（1kHz）、捕捉头和身体的运动信息。

（2）视觉通道。视觉通道给人的视觉系统提供图形显示。为了提供身临其境的逼真

感觉，视觉通道应该满足如下要求：显示的像素应该足够小，使人感觉不到像素的不连续；显示的频率应该足够高，使人感觉不到画面的不连续；要给两眼提供具有双目视差的图形，使人形成立体视觉；应该具有足够大的视场，理想情况是显示画面能充满整个视场。

视觉通道的显示表面分为基于 CRT（阴极射线管）的表面和基于 LCD（液晶显示器）的表面。视觉通道的光学系统分为头盔显示器（Helmet Mounted Display, HMD）和非头盔显示器（Over Head Display, OHD）。

（3）听觉通道。为了提供身临其境的逼真感觉，听觉通道应能让人识别声音的类型和强度，判定声源的位置。

听觉通道的关键技术包括合成由接口提供的虚拟声音信号，声音在虚拟空间定位，以及发声设备。

（4）触觉通道。触觉通道给人体表面提供触觉和力觉。当人体在虚拟空间中运动时，如果接触到虚拟物体，虚拟现实系统应该给人提供相应的触觉和力觉的反馈。

触觉通道涉及操作及感觉，包括触觉反馈和力觉反馈。触觉通道的结构分为安装在身体上的设备和安装在地面的设备。

（5）运动接口。人体在环境中的运动包括身体的被动运动（如在车上的运动）和身体的主动运动（如漫游、散步等）。感知人体运动信息的系统包括前庭系统、运动系统、视觉听觉系统、本体感受系统、动觉和触觉系统。

1.1.2 虚拟现实技术的发展历程

像大多数技术一样，虚拟现实技术不是突然出现的。在美国，它经过军事、企业及实验室长时间的研制开发后才进入民用领域。虽然它起源于 20 世纪 80 年代，但其实早在 20 世纪 50 年代中期就有人提出了类似的构想。当计算机刚在美国、英国的一些大学相继投入使用，电子技术还处于以真空电子管为基础的时候，美国电影摄影师莫顿·海利希（Morton Heilig）就成功地利用电影技术，通过“拱廊体验”让观众经历了一次沿着美国曼哈顿街道的想象之旅。但由于当时各方面的条件制约，例如缺乏相应的技术支持、没有合适的传播载体、硬件处理设备缺乏等，虚拟现实技术没有得到很大的发展。直到 20 世纪 80 年代末，随着计算机技术的高速发展及互联网技术的普及，虚拟现实技术才得到广泛的应用。

虚拟现实技术的发展大致分为三个阶段：20 世纪 70 年代以前是虚拟现实技术的探索阶段；20 世纪 80 年代是虚拟现实技术开始系统化，从实验室走向实用的阶段；20 世纪 90 年代初期至今是虚拟现实技术的高速发展阶段。

1. 虚拟现实技术的探索阶段

1929 年，在多年使用教练机训练器（机翼短，不能产生离开地面所需的足够提升力）进行飞行训练之后，埃德温·林克（Edwin A.Link）发明了简单的机械飞行模拟器，如图 1-1 所示。模拟器可在室内某一固定的地点训练飞行员，使乘坐者的感觉和坐在真的飞机上一样，受训者可以通过模拟器学习如何操控飞机。

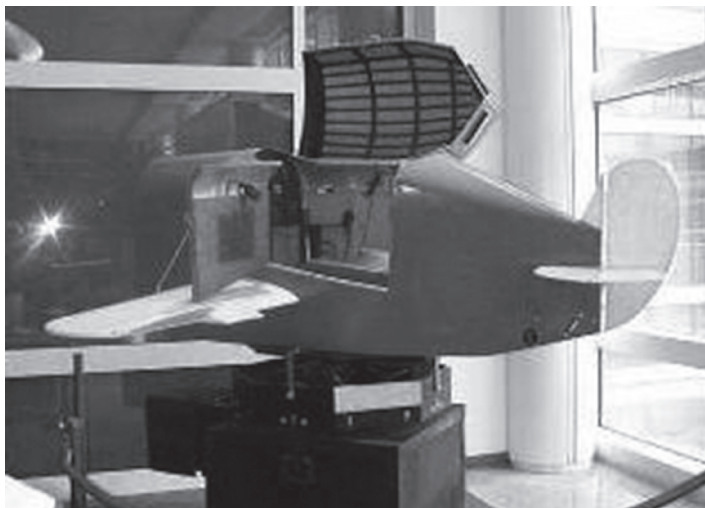


图 1-1 1929 年，埃德温·林克设计用于训练飞行员的模拟器

1956 年，在全息电影原理的启发下，美国摄影师莫顿·海利希研制出了一套称为 Sensorama 的多通道体验的立体电影系统，如图 1-2 所示。这是一套只供单人观看，具有多种感官刺激的立体显示装置，它是模拟电子技术在娱乐方面的首次具体应用。它可以模拟驾驶汽车沿曼哈顿街区行驶，生成立体的图像、立体的声音效果，并产生不同的气味，座位也能根据“剧情”的变化摇摆或振动，还能让人感觉到有风在吹动。这套设备在当时非常先进，但观众只能观看而不能改变所看到的和所感受到的世界。也就是说，这套设备没有交互操作功能。1962 年，莫顿·海利希获得了单人使用立体电视设备的专利，Sensorama 被誉为 VR 的原型机。

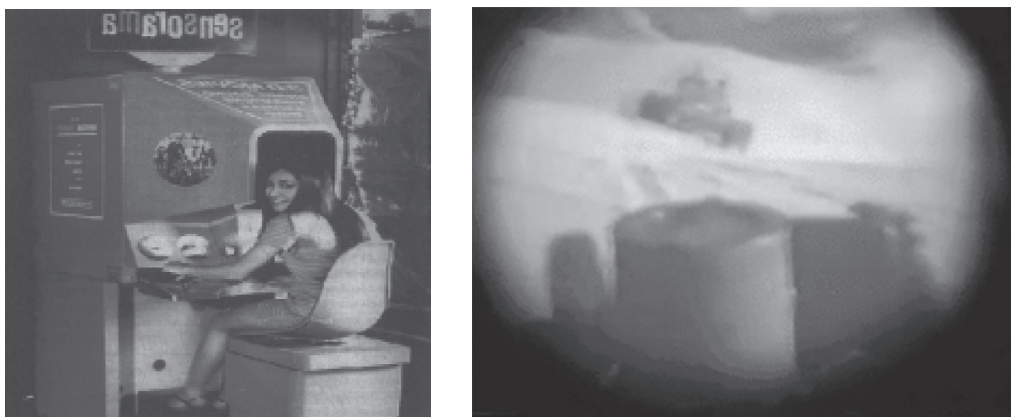


图 1-2 Sensorama 立体电影系统

1965 年，计算机图形学的奠基者，美国科学家伊万·萨瑟兰（Ivan Sutherland）在国际信息处理联合会大会上，发表了论文《终极的显示》（*The Ultimate Display*）。文中提出了一种全新的、富有挑战性的图形显示技术，即观察者不通过计算机屏幕这个窗口来观看计算机生成的虚拟世界，而是直接沉浸在计算机生成的虚拟世界之

中，就像我们生活在现实世界中一样：随着观察者随意地转动头部与身体（即改变视点），他所看到的场景（即由计算机生成的虚拟世界）也会随之发生变化。同时，观察者还可以用手、脚等部位以自然的方式与虚拟世界进行交互，虚拟世界会产生相应的反应，从而使观察者有一种身临其境的感觉。

后来这一理论被公认为在虚拟现实技术发展中起着里程碑的作用，伊万·萨瑟兰也因此被称为“计算机图形学之父”，又被称为“虚拟现实之父”。伊万·萨瑟兰与他设计的头盔显示器如图 1-3 所示。



图 1-3 虚拟现实之父伊万·萨瑟兰与他设计的头盔显示器

1966 年，美国麻省理工学院林肯实验室在海军科研办公室的资助下，研制出了第一个头盔显示器。

1967 年，美国北卡罗来纳大学开始了一项计划，研究探讨力反馈（Force Feedback）装置。该装置可以将物理压力通过用户接口引向用户，使人感到一种计算机仿真力。

1968 年，伊万·萨瑟兰在哈佛大学的组织下开发了头盔显示器，该显示器使用了两个可以安装在眼睛上的阴极射线管（CRT）。他还发表了论文《头盔式立体显示器》（*A Head-mounted 3D Display*），文中对头盔显示器装置的设计要求、构造原理进行了深入的分析，并描绘出这个装置的设计原型，成为三维立体显示技术的奠基性成果。

1973 年，迈伦·克鲁格（Myron Krueger）提出了“人工现实”（Artificial Reality）一词，这是早期出现的描述“虚拟现实”的词。

1929—1973 年虚拟现实技术的发展情况如图 1-4 所示。

2. 虚拟现实技术的系统化阶段

20 世纪 80 年代，虚拟现实技术的基本概念开始形成。这一时期出现了 VIEW 系统等比较典型的早期虚拟现实系统。

20 世纪 80 年代初，美国国防部高级研究计划局（DARPA）为坦克编队作战训练开发了一套实用的虚拟战场系统 SIMNET。其主要目标是减少训练费用，提高安全性，另外也可减轻训练对环境的影响（爆炸和坦克履带会严重破坏训练场地）。这项计划的成果是产生了能让美国和德国的 200 多个坦克模拟器联成一体的 SIMNET 模拟网络，坦克编队可在这个网络中进行模拟作战。

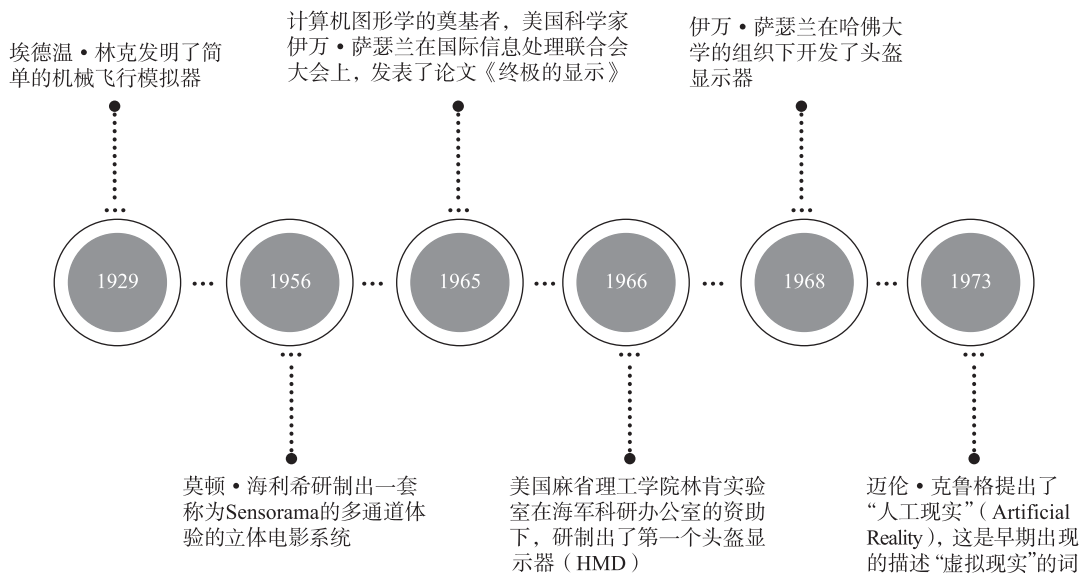


图 1-4 1929—1973 年虚拟现实技术的发展情况

1984 年，美国国家航空航天局（NASA）下属的艾姆斯研究中心虚拟行星探测实验室的麦格雷维博士（M.McGreevy）和汉弗莱斯（J.Humphries）博士组织开发了用于火星探测的虚拟世界视觉显示器，将火星探测器发回的数据输入计算机，为地面研究人员构造了火星表面的三维虚拟世界。在随后的虚拟交互世界工作站（VIEW）项目中，他们又开发了通用多传感个人仿真器和遥控设备。

1985 年，美国空军研究实验室和迪恩·科西安（Dean Kocian）共同开发了 VCASS 飞行系统仿真器。

1986 年，弗内斯（Furness）提出了一个叫作“虚拟工作台”（Virtual Crew Station）的革命性概念；罗比内特（Robinett）与合作者发表了早期的虚拟现实系统方面的论文《虚拟环境显示系统》（*The Virtual Environment Display System*）；杰西·艾森劳布（Jesse Eichenlaub）提出开发一个全新的三维可视系统，其目标是使观察者不使用那些立体眼镜、头部跟踪系统、头盔等笨重的辅助设备也能看到同样效果的三维世界。2D/3D 转换立体显示器的发明使杰西·艾森劳布的这一愿望在 1996 年得以实现。

1987 年，詹姆斯·芙雷（James D.Foley）教授在具有影响力的《科学美国人》（*Scientific American*）杂志上发表了文章《先进的计算机接口》（*Interfaces for Advanced Computing*）以及一篇报道数据手套的文章，这些文章在当时引起了人们对该技术的极大兴趣。

1989 年，基于 20 世纪 60 年代以来所取得的一系列成就，美国 VPL 公司的创始人杰伦·拉尼尔（Jaron Lanier）正式提出了“Virtual Reality”一词。在当时，研究这项技术的目的是提供一种比传统计算机更好的仿真方法。

1980—1989 年虚拟现实技术的发展情况如图 1-5 所示。

3. 虚拟现实技术的高速发展阶段

进入 20 世纪 90 年代后，迅速发展的计算机硬件技术与不断改进的计算机软件系

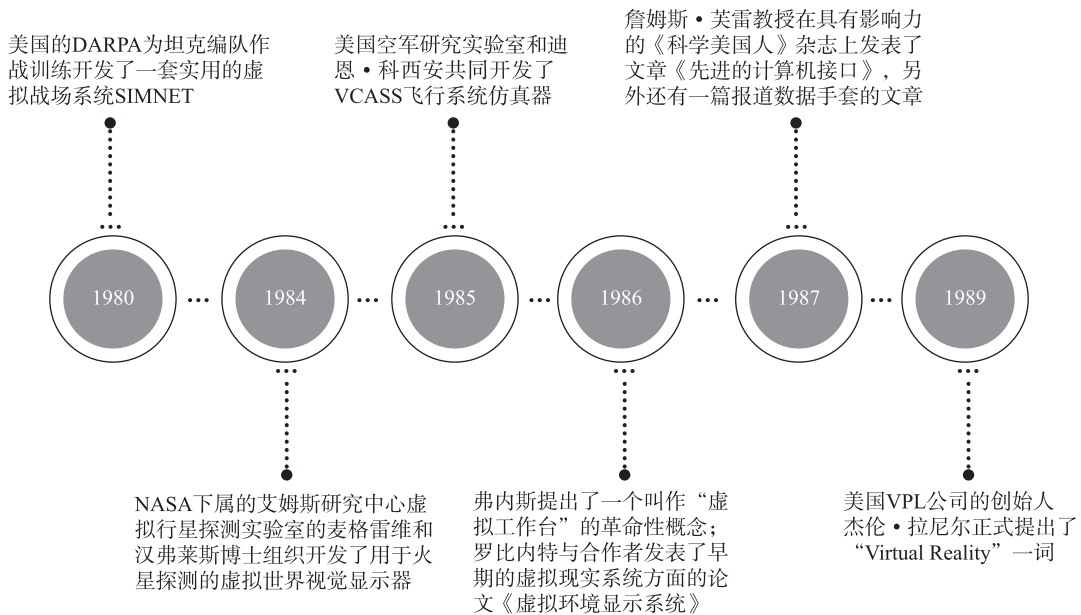


图 1-5 1980—1989 年虚拟现实技术的发展情况

统极大地推动了虚拟现实技术的发展，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，人机交互系统地设计不断创新，市场上不断地出现很多新颖、实用的输入/输出设备，所有这些都为虚拟现实系统的发展打下了良好的基础。

1992年，美国 Sense8 公司开发了 WTK (World Tool Kit) 开发包，让虚拟现实技术有了更高层次的应用。

1993年11月，宇航员通过虚拟现实系统的训练，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。波音公司在一个由数百台工作站组成的虚拟世界中，用虚拟现实技术设计出由300万个零件组成的波音777飞机。

1996年10月31日，世界上第一场虚拟现实技术博览会在伦敦开幕。全世界的人们都可以通过互联网坐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。

1996年12月，世界上第一个虚拟现实环球网在英国投入运行，互联网用户可以在一个由立体虚拟现实世界组成的网络中遨游，身临其境般地欣赏各地风光，参观博览会，到大学课堂听讲座，等等。

2012年，Oculus Rift 项目募集到了足够的资金，推出了价格低廉且具有广角和低延迟等沉浸体验的VR设备，迎合了市场的需求，拉近了设备和用户之间的距离。

2014年，谷歌(Google)公司发布了一款VR眼镜Google Cardboard，它可以让手机摇身一变，成为“VR查看器”，用户以非常低廉的成本就能通过手机体验VR世界。谷歌的这一举措随即引发了“移动VR”的爆发。

2014年3月，脸书(Facebook)创始人扎克伯格在体验过Oculus Rift后，坚定地认为其代表了下一代的计算机平台，用20亿美元收购了Oculus Rift VR公司。该收购案引爆了VR领域的科技热潮。

2016年3月,日本索尼公司宣布推出 PlayStation VR 套件;同年10月,该套件以比较低廉的价格开始销售。与 HTC Vive 和 Oculus Rift VR 套件相比,PlayStation VR 在硬件上没有优势,屏幕分辨率也不高,但价格更低。PlayStation VR 尽管不是最好的 VR 设备,却把 VR 带入了消费者的日常生活中。

21世纪以来,虚拟现实技术的研究在中国开始迅速开展,在国家高科技“八六三”计划的支持下,有关虚拟现实技术的研究取得了巨大的成就,并开始在不同领域得到应用。

我国在虚拟现实核心关键技术产品研发方面取得了多项突破,部分技术走在了世界前列。例如,在交互技术上,我国解决了 VR 头盔被线缆束缚的问题,开发出全球首款 VR 眼球追踪模组。在光场技术上,光场拍摄系统实现了高精度三维建模,精度达到亚毫米级。在终端产品上,国产 VR 眼镜已经成功应用在“太空之旅”中航天员的心理舒缓项目上。

世界 VR 产业大会是由我国的工业和信息化部、江西省人民政府主办的每年一度的大会,其永久落户在江西省南昌市。大会聚焦 VR 发展的关键和共性问题,探讨解决之道和产业发展趋势;展示 VR 领域的最新成果、前沿技术和最新产品,推动行业应用和消费普及;搭建 VR 国际交流平台,引导全球资源和要素向中国汇聚。

2018年10月,第一届世界 VR 产业大会以“VR 让世界更精彩”为主题,在江西省南昌市召开。大会活动包括开幕式、主论坛、平行论坛、产业对接等。主论坛以“虚拟现实定义未来信息社会”为主题。平行论坛围绕 VR 技术研究,包括产业生态、人工智能、IEEE 标准、5G 等主题论坛;围绕 VR 产业发展,包括投资路演、先进制造、动漫、文化旅游等主题论坛;围绕行业应用,包括教育培训、娱乐游戏、影视内容、新闻出版等主题论坛。

2019年10月举行的2019世界VR产业大会以“VR+5G 开启感知新时代”为主题。微软、HTC、中国电信等多家知名企业都设立了展馆。大会期间举办的VR/AR产品和应用展览会的布展面积从2018年的2万平方米扩展到6万平方米,分为VR/AR产品和应用展区及通信电子展区。其中,VR/AR产品和应用展区分别设置了教育图书、动漫卡通、影视应用、游戏体验、电子竞技五大应用展区及境外展团。通信电子展区主要展示了基于VR、物联网、5G等技术研发的产品。大会发布了《虚拟现实产业发展白皮书(2019年)》(以下简称《白皮书》)。《白皮书》认为,技术成熟、消费升级需求、产业升级需求、资本持续投入、政策推动是促进VR产业快速发展的五大因素。图1-6所示为2018和2019世界VR产业大会现场。

如今,在5G技术的推动下,VR/AR+5G发展迅速。作为第5代移动通信网络,5G的理论峰值速率可达10Gbit/s,比4G网络的传输速度快百倍。5G所带来的先进特性不仅可以赋能手机,还可以成为更多终端类型和更多行业发展的驱动力,支持更多应用落地。这种高带宽、高速率也会对人们的日常生活和娱乐产生影响。VR作为下一代移动计算平台,也将随着5G时代的到来迎来全面的发展和变革。图1-7所示为20世纪80年代末期至今虚拟现实技术的发展情况。



图 1-6 2018 和 2019 世界 VR 产业大会

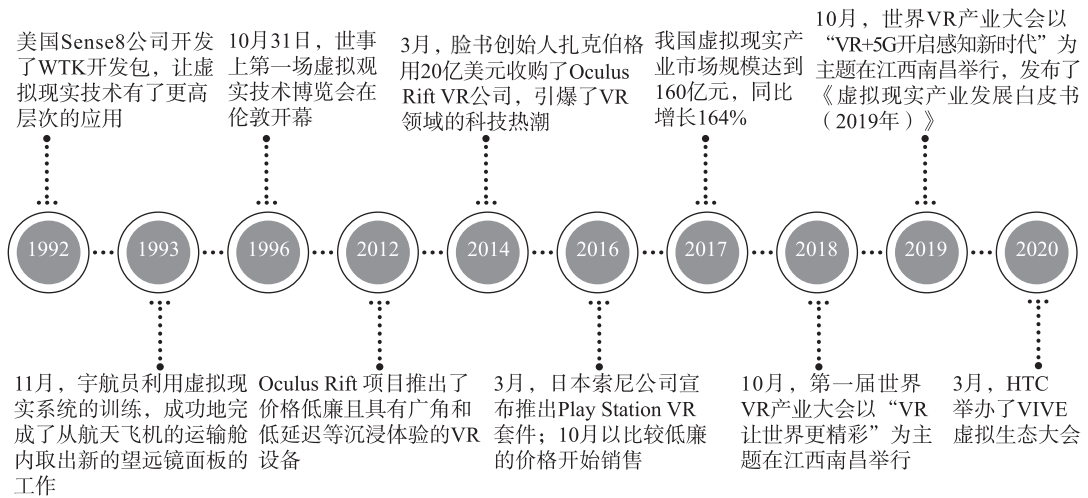


图 1-7 1990 年至今虚拟现实技术的发展情况

1.1.3 虚拟现实系统的组成

一个典型的虚拟现实系统主要由计算机、输入/输出设备、应用软件系统和数据库等组成，如图 1-8 所示。

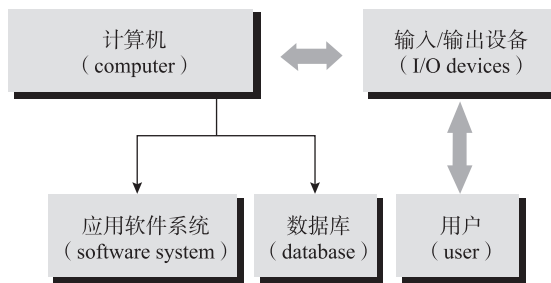


图 1-8 典型的虚拟现实系统

1. 计算机

在虚拟现实系统中，计算机是系统的核心，被称为虚拟世界的发动机。它负责虚拟世界的生成、人与虚拟世界的自然交互等功能的实现。由于生成虚拟世界本身具有高度