

21世纪高等学校规划教材 | 计算机科学与技术

虚拟现实技术 及其应用

安维华 编著

清华大学出版社



第①部分

- 第1章 虚拟现实技术概论
- 第2章 虚拟现实系统的交互设备
- 第3章 虚拟现实系统的关键技术及软件

第1章

虚拟现实技术概论

虚拟现实技术是 20 世纪以来科学技术进步的结晶,它集中体现了计算机技术、计算机图形学、多媒体技术、传感技术、显示技术、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。它的研究目标是:以计算机技术为主,利用计算机和一些特殊的输入/输出设备来营造出一个“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。在这个虚拟世界中,人与虚拟环境可进行自然交互(包括感知环境并干预环境),能实时产生与真实世界相同的感受。

虚拟现实技术包括两层含义。“虚拟”的含义是指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;“现实”的含义是指真实的世界或现实的环境。两个词语的结合则表明,通过各种技术手段创建出一个新的环境,让人感觉如同处在真实的客观世界中一样。

虚拟现实技术现在已成为信息领域中继多媒体技术、网络技术之后被广泛关注及研究、开发与应用的热点,也是目前发展最快的一项多学科综合技术,它的发展具有十分重大的意义。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加人性化,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和生活方式,改变了人们的思想观念。所以,虚拟现实技术已经逐渐成为一门艺术、一种文化,深入到我们的生活中。

1.1 虚拟现实技术概述

1.1.1 虚拟现实技术的发展历程

虚拟现实技术的发展,经历了军事、企业界以及学术实验室长时间的研制开发后才进入了公众领域。它的发展与成熟也与其他相关学科的进步密不可分,例如实时计算机系统、计算机图形学、显示技术、传感技术等。

虽然虚拟现实技术在 20 世纪 80 年代后期才引发人们关注,但其实早在 20 世纪 50 年代中期就有人提出这一构想。由于当时各方面的条件限制,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原因,虚拟现实技术并未获得很大发展。直到 20 世纪 80 年代末,随着计算机技术的高速发展和互联网技术的普及,虚拟现实技术才得到广泛

应用。

虚拟现实技术的发展可大致分为 3 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 年代初到 80 年代中期，是虚拟现实技术从实验室走向系统化实现的阶段；20 世纪 80 年代末到 21 世纪初，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，在长期使用教练机训练器（机翼变短，不能产生离开地面所需的足够提升力）进行飞行训练之后，Edwin A. Link 发明了简单的机械飞行模拟器，如图 1-1 所示。它在室内某一固定地点训练飞行员，使乘坐者的感觉和坐在真的飞机上一样，从而受训者可以通过模拟器学习如何进行飞行操作。

1956 年，美国电影摄影师 Morton Heileg 开发了一个名为 Sensorama 的多通道体验的立体电影系统，如图 1-2 所示。这是一套只供一人观看、具有多种感官刺激的立体显示装置。它模拟观看者在曼哈顿街区上行走的效果，为观众生成立体图像、立体声音，并产生不同的气味，座位也能根据场景的变化产生摇摆或震动，观众还能感觉到风在吹动。在当时，这套设备非常先进，但观众只能观看，而不能改变所看到的场景，也就是说，无交互操作的功能。1960 年，Morton Heileg 获得了单人使用立体电视设备的美国专利，该专利蕴涵了虚拟现实技术的思想。

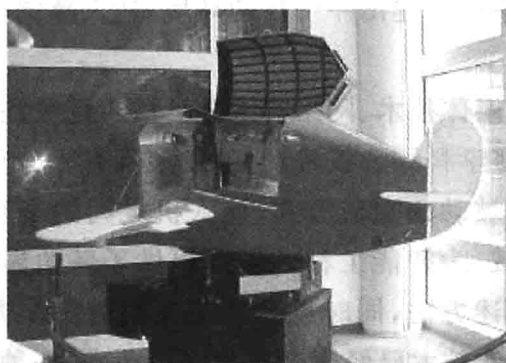


图 1-1 Edwin A. Link 发明的飞行模拟器



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 Ivan Sutherland 在国际信息处理联合会大会上发表了一篇名为“The Ultimate Display(终极显示)”的论文，提出了感觉真实、交互真实的人机协作新理论，即能否不通过计算机屏幕这个窗口来观察计算机生成的虚拟世界，而是使观察者直接沉浸在计算机生成的虚拟世界中，就像我们生活在客观世界中一样：随着观察者随意的转动头部和身体（即改变视点），其所看到的场景（即由计算机生成的虚拟世界）就会随之发生变化，同时，观察者可以用手、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，从而使观察者产生身临其境的感觉。这一理论后来被公认为在虚拟现实技术中具有里程碑的意义，所以 Ivan Sutherland 既是“计算机图形学”之父，也是“虚拟现实技术”之父。

为了实现“终极显示”的目标，Ivan Sutherland 在随后几年一直致力于头盔显示器（Helmet Mounted Display, HMD）的研制。1966 年，世界上第一个头盔显示器试验模型在林肯实验室面世，Ivan Sutherland 为它取名为“临头的危险”。1968 年，Ivan Sutherland 在

哈佛大学的组织下开发成功了一个完整的头盔式立体显示器及头部位置跟踪系统。它使用两个可以戴在眼睛上的阴极射线管作为显示屏幕,由电脑软件分别为两个显示器生成两幅基本相似、但角度略有差异的图像,通过光学透镜的反射,将其在观察者眼前就合成为一个立体影像。这样,借助于头部位置跟踪系统,用户不仅可以看到三维物体的影像,还可以确定三维物体在空间中的位置,并通过头部运动从不同视角观察三维场景。

在当时的计算机图形技术水平下,Ivan Sutherland 取得的成就是非凡的。基于该研究工作,Ivan Sutherland 在 1968 年发表了名为“A Head-Mounted 3D Display”的论文。论文对头盔显示器的设计要求、构造原理进行了深入分析,并描绘出了这个装置的设计原型,这成为三维立体显示技术的奠基性成果。

在 HMD 样机完成后不久,研制者们通过反复研究,在此基础上把能够模拟力量和触觉的力反馈装置加入到这个系统中,并于 1970 年研制出了一个功能较齐全的头盔式显示系统,如图 1-3 所示。

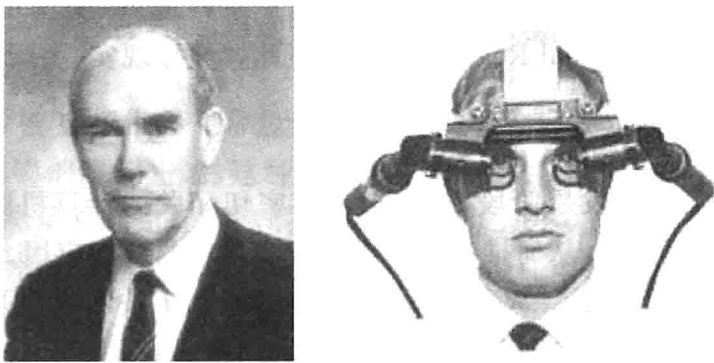


图 1-3 Ivan Sutherland 与他设计的头盔显示器

除了关于上述视觉沉浸感的交互设备的研究以外,人们也在探索触觉沉浸感的交互设备。1967 年,美国北卡罗来纳大学开始了 Grup 计划,研究力反馈(Force Feedback)装置的实现技术。

1973 年,Myron Krurger 提出了“Artificial Reality”的概念,这是早期出现的虚拟现实词汇。

2. 虚拟现实技术的系统化实现阶段

从 20 世纪 80 年代初至 80 年代中期,虚拟现实技术的基本概念开始逐渐形成和完善。这一时期出现了一些比较典型的虚拟现实应用系统。

20 世纪 80 年代初,美国的 DARPA(Defense Advanced Research Projects Agency,国防先进研究项目局)为坦克编队作战训练开发了一个实用的虚拟战场系统 SIMNET,以减少训练费用,提高安全性,另外也可减轻对环境的影响(爆炸和坦克履带会严重破坏训练场地)。这一系统通过计算机网络将美国和德国的两百多个坦克模拟器联为一体,并在虚拟场景中模拟协同作战。

进入 20 世纪 80 年代,美国宇航局(National Aeronautics and Space Administration, NASA)组织了一系列有关虚拟现实技术的研究。1984 年,NASA Ames 研究中心虚拟行星探索实验室的 M. McGreevy 和 J. Humphries 博士组织开发了用于火星探测的虚拟环境视

觉显示器,它能够将火星探测器发回的数据输入计算机,并构造火星表面的三维虚拟环境。

1985年,WPAFB和Dean Kocian共同开发了VCASS飞行系统仿真器。

1986年,国际上的研究成果可谓硕果累累。Furness提出了一个“虚拟工作台”(Virtual Crew Station)的革命性概念;Robinett与多位合作者发表了早期的虚拟现实系统方面的论文“The Virtual Environment Display System”;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要那些立体眼镜、头跟踪系统、头盔等笨重的辅助东西也能看到同样效果的三维逼真的虚拟世界。这一愿望在1996年得以实现,当时人们研制出了2D/3D转换立体显示器。

1987年,James. D. Foley教授在颇具影响力的《科学美国人》(Scientific American)杂志上发表了一篇题为《先进的计算界面》(Interfaces for Advanced Computing)一文;另外,该杂志上还发表了一篇报导数据手套的文章,这篇文章以及后续在各种报刊上发表的有关虚拟现实技术的文章引起了人们的极大兴趣。

1989年,基于20世纪60年代以来所取得的一系列成就,美国的VPL公司创始人Jaron Lanier正式提出了“Virtual Reality”一词。至此,“虚拟现实”一词被正式认可和使用。

3. 虚拟现实技术的高速发展阶段

在虚拟现实技术的高速发展阶段,与虚拟现实密切相关的计算机图形学、数字图像处理、传感技术等学科迅速发展,从而推动了虚拟现实技术的广泛应用。

1992年,Sense8公司开发了“WTK”开发包,为虚拟现实技术提供更高层次上的应用。软件开发包的出现,极大缩短了虚拟现实系统的开发周期。

1993年11月,宇航员利用虚拟现实系统的训练成功完成了从航天飞机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。

1994年3月,在日内瓦召开的第一届“WWW”大会上,首次正式提出了“VRML”(Virtual Reality Modeling Language,虚拟现实建模语言)的概念。此后又陆续出现了大量虚拟现实建模语言,如:X3D,Java3D等。这些都为图形数据的网络传输和交互奠定了基础。

1994年,Burdea G.和Coiffet P.出版了《虚拟现实技术》一书,书中使用了3I(Imagination、Interaction、Immersion)来概括虚拟现实技术的三个基本特征。

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Internet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。人们可以从不同的角度和距离观看虚拟展品。

1996年12月,世界上第一个虚拟现实环球网在英国投入运行。这样,Internet用户就可以在一个由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、参观博览会等。输入英国“超景”公司的网址后,显示器上将出现“超级城市”的立体图像。用户可以从“市中心”出发,参观虚拟超市、游艺室、图书馆和大学等场所。

在此阶段,迅速发展的计算机软件、硬件系统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,越来越多的新颖、实用的输入输出设备相继进入市场,而人机交互系统的设计也在不断创新,这些都极大推动了虚拟现实系统在工程设计、教育、医学、军事、娱

乐等方面的深入应用。

1.1.2 虚拟现实技术的定义

关于虚拟现实技术的定义,目前尚无统一的标准,主要分为狭义和广义两种观点。

狭义的观点认为,虚拟现实技术就是一种先进的人机交互方式,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、随视点不同而变化的景象,听到的是虚拟环境中的声响,手、脚等身体部位可以感受到虚拟环境反馈给用户的作用力,由此使用户产生一种身临其境的感觉。换言之,也就是说人以与感受真实世界一样的(自然的)方式来感受计算机生成的虚拟世界。

广义的观点认为,虚拟现实技术是对虚拟想象(三维可视化)的或真实的、多感官的三维世界的模拟。它不仅仅是一种人机交互接口,更重要的是对虚拟世界内部的模拟。人机交互接口采用虚拟现实的方式,将某个特定环境呈现给用户后,用户通过自然的方式接收和响应虚拟环境所提供的各种感官刺激,与虚拟世界中的人和物进行思想和行为等方面的交流,从而产生身临其境的感觉。

在虚拟现实系统中,虚拟世界通常包含两种情况。一种情况是真实世界的再现,如文物古迹保护中真实建筑物的虚拟重建,这种真实建筑物可能是已经建好的;或是已经设计好但尚未建成的;也可能是原来完好的,现在被损坏了的。另一种情况是完全虚拟的人造世界。如借助可视化技术构造的虚拟风洞,或在三维动画设计中人工构造的虚拟场景。

综上所述,虚拟现实技术的本质可以归纳如下: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、味觉等一体化的虚拟环境,用户借助一些特殊的输入/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,从而产生亲临真实环境的感受和体验。其中,虚拟环境是指计算机生成的、色彩鲜明的立体图形,它可以是现实世界的真实体现,也可以是纯粹构想的虚拟世界;特殊的输入/输出设备是指如立体头盔显示器、数据手套、数据衣等穿戴于用户身上和设置于现实环境中的传感设备;自然的交互是指,用户采用自然的方式对虚拟物体进行操作并得到实时立体的反馈,如手的移动、头的转动、脚的走动等。

从上述虚拟现实技术的定义可以看出,其在水机交互方面有了很大的改进,具体包括如下3点。

1. 人机接口形式的改进

传统的计算机通常使用显示器、键盘、鼠标等接口设备进行交互。这些设备基本能满足各类数据和多媒体信息的交互,但是它们是面向计算机而开发出来的,人们需要学习这些设备的操作方法。而虚拟现实系统采用头盔式显示器、数据手套、空间跟踪装置等设备与虚拟场景进行交互。通过这些设备,人可以利用自己的视觉、听觉、触觉来感知环境,用自然的方式实现与环境的互动。这些设备不是特别为计算机设计的,而是为用户专门设计的。这一点充分体现了人机接口的新方向。

2. 人机交互内容的改进

计算机从发明以来,最早的应用就是数值计算。随着计算机性能的发展,它的处理也扩

大到字符串、文本、图像、声音等多种媒体的信息。而在虚拟现实系统中,由计算机提供的不仅是数据和信息,而且还包括多种媒体信息的“环境”,它以环境作为计算机处理的对象和人机交互的内容。

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、嗅觉的感知效果,使人产生身临其境的感觉,如同置身于真实世界一样。这大大改进了人机交互的效果,同时也体现了人机交互的一个发展要求。

基于虚拟现实技术的虚拟世界,使人机交互界面更加形象和逼真,激发了人们对虚拟现实技术的兴趣。近年来,国内外对虚拟现实技术的应用更加广泛,并取得了巨大的经济效益与社会效益。

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、应用软件和数据库等部分组成,其模型如图 1-4 所示。

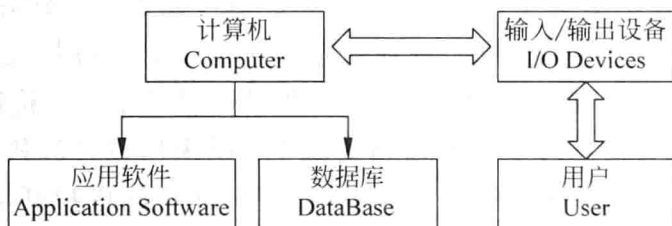


图 1-4 虚拟现实系统模型

1. 计算机

在虚拟现实系统中,计算机起着至关重要的作用,可以称之为虚拟现实世界的核心。它负责整个虚拟世界的实时渲染计算,用户和虚拟世界的实时交互计算等功能。由于计算机生成的虚拟世界具有高度复杂性,尤其在大规模复杂场景中,渲染虚拟世界所需的计算量极为巨大,因此虚拟现实系统对计算机配置的要求非常高。

2. 输入/输出设备

虚拟现实系统要求用户采用自然的方式与虚拟世界进行交互,传统的鼠标和键盘是无法实现这个目标的,这就需要采用特殊的交互设备,用以识别用户各种形式的输入,并实时生成相应的反馈信息。目前,常用的交互设备有用于手势输入的数据手套、用于语音交互的三维声音系统、用于立体视觉输出的头盔显示器等。

3. 应用软件

为了实现虚拟现实系统,需要很多辅助软件的支持。这些辅助软件一般用于准备构建虚拟世界所需的素材。例如:在前期数据采集和图片整理时,需要使用 AutoCAD 和 Photoshop 等二维软件和建筑制图软件;在建模贴图时,需要使用 3DMax、MAYA 等主流

三维软件；在准备视音频素材时，需要使用 Audition、Premiere 等软件。

为了将各种媒体素材组织在一起，形成完整的具有交互功能的虚拟世界，还需要专业的虚拟现实引擎软件，它主要负责完成虚拟现实系统中的模型组装、热点控制、运动模式设立、声音生成等工作。另外，它还要为虚拟世界和后台数据库、虚拟世界和交互硬件建立起必要的接口联系。成熟的虚拟现实引擎软件还会提供插件接口，允许客户针对不同的功能需求而自主研发一些插件。

4. 数据库

虚拟现实系统中，数据库的作用主要是存储系统需要的各种数据，例如地形数据、场景模型、各种制作的建筑模型等各方面信息。对于所有在虚拟现实系统中出现的物体，在数据库中都需要有相应的模型。

如图 1-5 所示为基于头盔显示器的典型虚拟现实系统。它由计算机、头盔式显示器、数据手套、力反馈装置、话筒、耳机等设备组成。该系统首先由计算机生成一个虚拟世界，由头盔式显示器输出一个立体显示的景象；用户可以通过头的转动、手的移动、语音等与虚拟世界进行自然交互；计算机能根据用户输入的各种信息实时进行计算，即时地对交互行为进行反馈，由头盔式显示器更新相应的场景显示，由耳机输出虚拟立体声音、由力反馈装置产生触觉（力觉）反馈。

虚拟现实系统中应用最多的交互设备是头盔显示器和数据手套。但是如果把使用这些设备作为虚拟现实系统的标志就显得不够准确。这是因为，虚拟现实技术是在计算机应用和人机交互方面开创的全新领域，当前这一领域的研究还处于初步阶段，头盔显示器和数据手套等设备只是当前已经研制实现的交互设备，未来人们还会研制出其他更具沉浸感的交互设备。

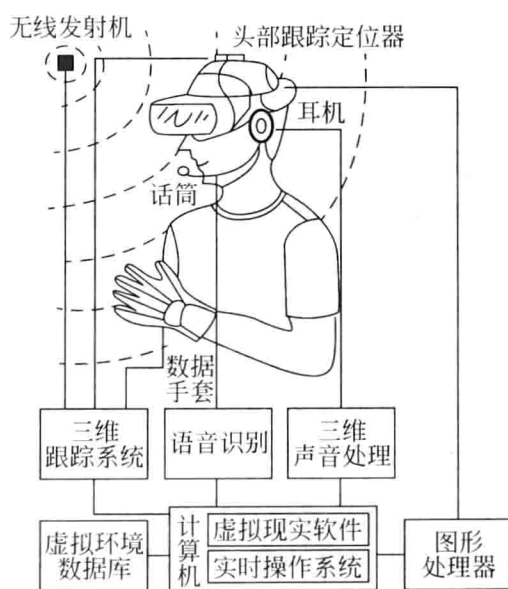


图 1-5 基于头盔显示器的典型虚拟现实系统

1.1.4 虚拟现实技术与其他相关技术的关系

1. 虚拟现实技术与计算机图形学

计算机图形学(Computer Graphics, CG)是利用计算机研究图形的表示、生成、处理和显示的学科。它研究的基本内容是如何在计算机中表示图形，以及如何利用计算机进行图形的生成、处理和显示的相关原理和算法。目前，计算机图形学领域已经积累了很多研究成果。在三维模型的表示方面，人们提出了各种实体造型技术、曲线曲面造型技术等；在三维模型的显示方面，人们提出了光栅图形生成技术、真实感图形绘制技术；此外，图形硬件、图形标准、图形交互技术等方面也有众多成果。

计算机图形学是虚拟现实系统的最重要的技术保证。为了使人们在计算机创造的虚拟

世界中产生身临其境的感受,就需要利用计算机图形学中的相关技术生成真实的虚拟世界,这就不可避免地涉及三维模型表示方法、真实感图像的绘制算法以及最新的图形硬件技术等。

虚拟现实系统为计算机图形学提出了新的挑战和研究课题。为了实现人和虚拟世界的实时自然的交互,计算机图形学需要深入研究如下问题:高质量的、实时的图形绘制技术;高分辨率的图形显示技术;高精度的碰撞检测技术等。

尽管虚拟现实技术的发展离不开计算机图形学的支持,但是计算机图形学并不体现虚拟现实技术的全部特征。计算机图形学专门研究图形的视觉效果,而虚拟现实系统是一个综合系统,需要研究多种感知方式。它不仅包括图形学的内容,还涉及机械、电子、人工智能等多学科的综合,并借助这些学科的发展成果来推动虚拟现实技术的发展。

2. 虚拟现实技术与多媒体技术

所谓媒体,通常认为包括两种含义:一种是指存储信息的实体,如纸张、磁带、磁盘、光盘和半导体存储器等;另一种含义是指信息的表现形式,如文字、图形、图像、声音、视频等。在计算机多媒体技术中所说的媒体一般是指后者。所以多媒体技术的主要研究内容包括:各种媒体信息的获取、表示、处理和压缩技术,多媒体数据的实时交互技术,多媒体通信技术,多媒体数据库技术;各种媒体之间的转换技术,多媒体集成电路芯片技术等。

多媒体技术与虚拟现实技术有很多类似之处,但两者之间的关系一直存在争论。一些学者认为,多媒体技术包括虚拟现实技术。这是因为:虚拟现实技术是一种通过多学科交叉技术表现出来的仿真产品,它着重于用数字模仿真实世界;多媒体技术则是一种综合的表现形式,只要是把多种媒体信息组合在一起进行表现的系统,就可以称为多媒体系统。所以,虚拟现实只是多媒体系统的一种表现形式。

另一些学者认为,虚拟现实技术应该包含多媒体技术。这是因为:多媒体技术的初衷是改善计算机的交互方式和处理内容,使计算机能够交互式的处理文字、声音、图形、图像等媒体信息。而虚拟现实技术的处理内容和交互方式更为广泛,不但包括了视觉、听觉、触觉、嗅觉、味觉等媒体感觉,还包括了各种交互设备。所以就其应用范围而言,多媒体技术应该是虚拟现实技术的一个应用子集。

其实,二者之间的包含关系并不重要,它们之间在研究内容上的交叉是必然的,只是应用形式上略有区别而已。

3. 虚拟现实技术与系统仿真技术

系统仿真技术是一种实验技术,它为一些复杂系统创造了一种计算机实验环境,使系统的未来性能测试和长期动态特性能在相对极短的时间内在计算机上得到实现。从实现过程来看,它是通过对所研究系统的认识 and 了解,抽取其中的基本要素的关键参数,建立与现实系统相对应的仿真模型,经过模型的确认和仿真程序的验证,在仿真实验设计的基础上,对模型进行仿真实验,以模拟系统的运行过程,观察系统状态变量随时间变化的动态规律性,并通过数据采集和统计分析,得到被仿真的系统参数的统计特性,根据推断和估计系统的真实参数和性能指数,为决策提供辅助依据。

由此可见,在表现形式上,系统仿真侧重于真实复杂世界的科学抽象,真正反映出现实

世界的运行规律；虚拟现实系统则可以表现任何形式的虚拟世界,它可以与客观世界相同,也可以与客观世界不同。虽然表现形式不同,但二者可以使用相同的实现技术,所以利用虚拟现实技术可以更好地帮助系统仿真验证模型的有效性,并可以直观有效地表现仿真结果。

4. 虚拟现实技术与传统三维动画技术

传统的三维动画技术是由计算机预先渲染好的静态图片的连续播放形成,不具有任何交互性;而虚拟现实技术可以根据用户的需要把整个空间中所有的信息真实地提供给用户,用户可根据自己的路线行走,计算机会产生相应的场景。所以,是否具备交互性是两者最大的区别。

1.2 虚拟现实技术的特性

美国科学家 Burdea G. 在 1993 年世界电子年会上发表了一篇题为“Virtual Reality Systems and Applications”(虚拟现实系统与应用)的文章,在该文章中首次提出了虚拟现实技术的三个特性,即:沉浸性、交互性和想象性。这三个特性不是孤立的,它们之间是相互影响的,每个特性的实现都依赖于另两个特性的实现。所以,我们可以将这三个特性表示为如图 1-6 所示的三角形,它们也被称为“虚拟现实技术的三角形”。

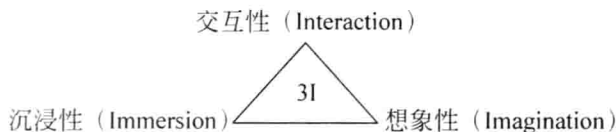


图 1-6 虚拟现实技术的三个特性

1.2.1 沉浸性

沉浸性(Immersion)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特征是,让用户觉得自己是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。理想的虚拟世界应该达到使用户难以分辨真假的程度,甚至超越真实,实现比现实更逼真的照明和音响效果。

沉浸性来源于对虚拟世界的多感知性,除了常见的视觉感知外,还有听觉感知、力觉感知、触觉感知、运动感知、味觉感知、嗅觉感知等。理论上来说,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技术、听觉沉浸技术、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,目前还很不成熟。

① 视觉沉浸。视觉沉浸性的建立依赖于用户与虚拟世界的集成。所以,虚拟现实系统必须向用户提供三维立体的画面及较宽的视野;同时随着人的运动,所得到的场景画面也应随之实时地改变。较理想的视觉沉浸环境是洞穴式显示设备。这种设备采用多面立体投影系统,因而可得到较强的视觉效果。另外,这种设备可以让用户与真实世界完全隔离,避免受到外面真实世界的影响,从而获得完全沉浸于虚拟世界的感觉。

② 听觉沉浸。为了实现听觉沉浸,虚拟现实系统主要让用户感觉到的是三维空间中的

虚拟声音。这与普通立体声有所不同。普通立体声可使人感觉声音来自于某个平面,而三维虚拟声音可使听者能感觉到声音来自于一个围绕双耳的球形空间的任何位置。它可以模拟大范围的声音效果,如闪电、雷鸣、波浪声等自然现象的声音。在沉浸式三维虚拟世界中,两个物体碰撞时,也会出现碰撞声音,这种声音可以让用户能根据声音效果准确判断出碰撞发生的位置。

③ 触觉沉浸。在虚拟世界中,人们可以借助于各种交互设备,体验抓、握等操作的感觉。然而,现在的技术水平还不能达到与真实世界完全相同的触觉沉浸效果,只是能够实现简单的力反馈效果。例如:使用充气式手套,当用户在虚拟世界中与物体相接触时,能产生与真实世界相同的感觉。

沉浸性还来源于虚拟世界的自主性。自主性是指虚拟环境中的物体依赖物理学定律运动的程度。虚拟对象在独立活动、相互作用或与用户的交互作用中,其动态表现都应该服从于自然规律或者设计者想象的规律。

1.2.2 交互性

交互性(Interaction)主要是指交互的自然性。虚拟现实系统强调人与虚拟世界之间进行自然的交互,如人的走动、头的转动、手的移动等。为此,主要借助于特殊的硬件设备(如数据手套、力反馈装置等)完成交互。这些设备使用户能通过自然的方式,产生在真实世界中的感觉。例如,用户可以用手直接抓取虚拟世界中的物体,这时手有触摸感,并可以感觉到物体的重量,能区分所拿的是石头还是海绵,并且场景中被抓取的物体也能立刻随手的运动而移动。

交互性的另一个方面是指交互的实时性。例如:头转动时能立即在所显示的场景中产生相应的变化,并且能得到相应的其他反馈;用手移动虚拟世界中的一个物体,物体位置会立即发生相应的变化。

1.2.3 想象性

想象性(Imagination)是指,用户在虚拟世界中根据所获取的多种信息和自身在系统中的行为,通过逻辑判断、推理和联想等思维过程,对系统的状态和进展进行想象的能力。也就是说,用户可以根据在虚拟世界中的一系列交互行为和反馈结果,认识系统深层次的运动机理和规律性。

综上所述,虚拟现实系统的3个特性是互相支撑的,任何一个特性的实现都依赖于其他两个特性的实现。这3个特性保证了参与者能够真正置身于虚拟世界之中。

1.3 虚拟现实系统的分类

虚拟现实技术的目的在于达到真实的体验和自然的交互,而一般的单位或个人不可能承受昂贵的硬件设备和开发软件,因此可以说只要能达到上述部分目的的系统就可称为虚拟现实系统。在实际应用中,根据“沉浸性”程度的高低和交互自然程度的不同,虚拟现实系统可以分为4种类型:沉浸式虚拟现实系统、桌面式虚拟现实系统、增强式虚拟现实系统、

分布式虚拟现实系统。

1.3.1 沉浸式虚拟现实系统

沉浸式虚拟现实系统是一种较理想的虚拟现实系统。它提供完全沉浸的体验,使用户有一种仿佛置身于真实世界之中的感觉。它通常采用头盔式显示器、洞穴式立体显示等设备,把参与者的视觉、听觉和其他感觉封闭起来,并提供一个新的、虚拟的感觉空间,同时利用各种自然的交互设备使得参与者产生一种完全投入并沉浸于其中的感觉,如图 1-7 所示。

沉浸式虚拟现实系统包括如下两个特点:

① 高度的沉浸感。沉浸式虚拟现实系统采用多种输入设备与输出设备来营造一个虚拟的世界,并让用户沉浸于其中;同时还可以使用户与真实世界完全隔离,不受外面真实世界的影响。



图 1-7 沉浸式虚拟现实系统

② 高度实时性。在虚拟世界中要达到与在真实世界中相同的感受,就要求三维跟踪定位设备及时检测用户的运动数据,计算机需要快速运算,并实时输出相应的场景变化。

1.3.2 桌面式虚拟现实系统

桌面式虚拟现实系统也称窗口虚拟现实系统。它是利用个人计算机或初级图形工作站等设备,以计算机屏幕作为用户观察虚拟世界的一个窗口,采用立体图形技术,产生三维立体空间的交互场景;用户通过包括键盘、鼠标和力矩球等各种输入设备操纵虚拟世界,实现与虚拟世界的交互,如图 1-8 所示。

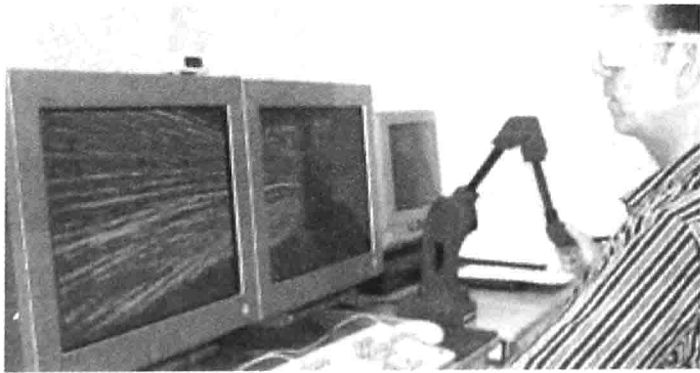


图 1-8 桌面式虚拟现实系统

在桌面式虚拟现实系统中,计算机屏幕是用户观察虚拟世界的窗口。用户使用的硬件设备主要是立体眼镜和一些桌面交互设备。立体眼镜用来实现立体的视觉效果,它能够使用户产生一定程度的沉浸感;桌面交互设备用于改变用户的观察方位,便于观察 360° 范围内的虚拟世界。

为了改善桌面式虚拟现实系统的应用效果,还可以使用专业投影设备,从而增大屏幕的

观看范围。桌面式虚拟现实系统的特点包括：可以在一定程度上实现部分沉浸效果；对硬件要求较低；应用比较普遍，常见于建筑设计、桌面游戏等领域。

1.3.3 增强式虚拟现实系统

增强式虚拟现实系统简称增强现实，它既允许用户看到真实的世界，同时也能看到叠加在真实世界上的虚拟对象。它是把真实环境和虚拟环境结合起来的一种系统，既可减少构成复杂场景的开销，又可对实际物体进行操作，真正达到了亦真亦幻的境界，如图 1-9 所示。

在增强式虚拟现实系统中，虚拟对象和真实场景不是无序叠加的，而是具有一定的对应关系。也就是说，虚拟对象所提供的信息往往是用户无法在真实世界中直接获取的深层信息，用户可以利用虚拟对象所提供的信息来加强对现实世界的认知。

增强式虚拟现实系统的实现方式包括：基于通用显示器和通用摄像头的系统、基于单眼显示器的系统、基于透视式头盔显示器的系统。

1.3.4 分布式虚拟现实系统

分布式虚拟现实系统是虚拟现实技术和网络技术相结合的产物，它的目标是将地理分布不同的多个用户通过网络连接在一起，使这些用户同时加入到一个虚拟空间里；每个用户都可以与其他用户进行交互，共同体验虚拟效果，从而达到协同工作的目的，如图 1-10 所示。

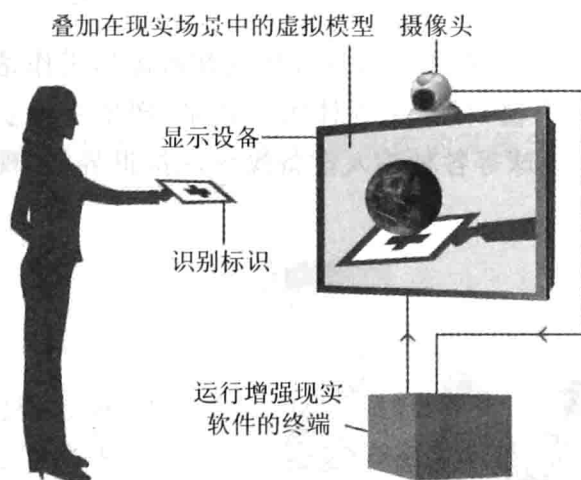


图 1-9 增强式虚拟现实系统



图 1-10 分布式虚拟现实系统

分布式虚拟现实系统的优点在于：一方面，可以充分利用分布式计算机系统提供的强大计算能力，提高计算速度和交互的实时性；另一方面，满足了多用户在协同工作上的需求，如多人通过网络进行游戏和虚拟战争模拟等。

1.4 虚拟现实系统中人的感知因素

人的感觉器官是外部世界与大脑的数据通道。在虚拟世界中，所有感觉器官的交互都依赖于各种特定的传感装置，这些装置使用各种物理现象（如声、光、热等）刺激人体的感觉

器官：感觉器官将刺激信号转变为神经信号，这些神经信号沿着神经系统的通道传送给大脑，经过大脑的分析，最终得出正确的人体感觉。因此，对人的感觉器官进行生理解剖和研究，有助于发现人体的感知规律，从而设计出人性化的传感装置和交互设备。表 1-1 列出了人体的各种感觉器官以及相关的交互设备。

表 1-1 人体的各种感觉器官以及相关的交互设备

人体的感觉器官	说 明	显 示 设 备
视觉	感受可见光	显示器、投影仪等
听觉	感受声波	耳机、喇叭等
嗅觉	感受空气中的化学成分	气味生成装置
味觉	感受液体中的化学成分	—
触觉	皮肤感受温度、压力、纹理等	触觉传感器
力觉	肌肉感受力度	力觉传感器
身体感觉	感知肢体或躯干的位置和角度	数据衣等
前庭感觉	平衡感觉	动平台等

1.4.1 人的视觉

视觉是人类感知世界的最重要通道。目前，人们对视觉器官的研究比较深入，现有的虚拟现实系统也能够实现非常逼真的视觉沉浸感。

1. 视觉系统的生理结构

视觉系统的生理结构如图 1-11 所示，它主要由角膜、前房、后房、晶状体、玻璃体及视网膜等部分组成。除视网膜外的其他部分共同组成一套光学系统，使来自外界的光线发生折射，在视网膜上形成倒立的影像。

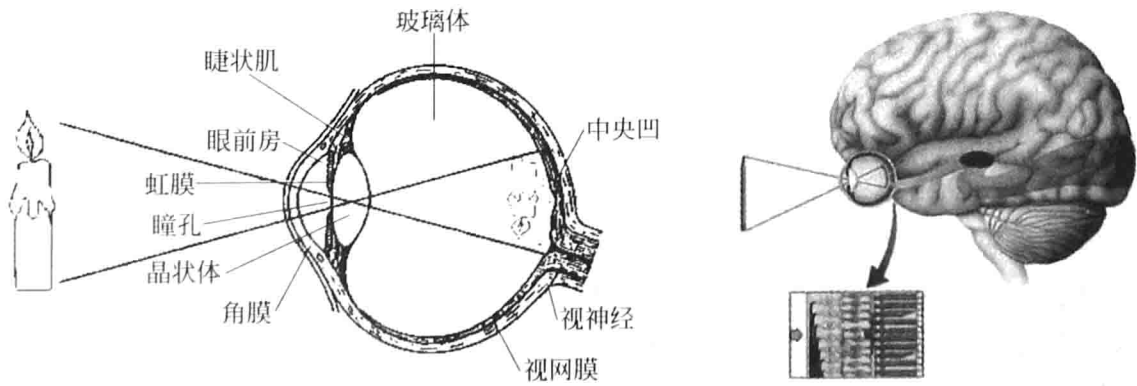


图 1-11 视觉系统的生理结构

视网膜是处于眼睛背部的多层神经细胞，这些细胞中包含了一定数量的光感受器。这些光感受器在受到特定波长的光的刺激时，会通过神经网络向大脑发出电信号。大脑通过电信号的分析，最终感受到视网膜上的影像。脊椎动物的视网膜中有两种光感受器：视杆

细胞负责低分辨率的、单色的、夜间的视觉；视锥细胞负责高分辨率的、彩色的、白天的视觉。

2. 视觉的感知参数

一般认为,人的视觉器官包含如下 8 种感知参数。

① 立体视觉。人眼在现实世界中观察到的物体是立体的,这样人们才能区分出目标物体的远近。立体视觉的原因在于,人的两只眼睛相距 $6\sim 8\text{cm}$ 。这样在观察同一物体时,两眼得到稍有差别的视图。大脑通过同时分析这两个视图,最终获得目标物体的立体效果。这一原理告诉我们,如果想要实现立体的视觉沉浸感,虚拟现实系统就需要分别为用户的两只眼睛提供不同的视觉图像。

② 屈光度。光线由一种物质射入到另一种光密度不同的物质时,其传播方向会产生偏折,这种现象称为屈光现象。人们一般用焦距(单位为“米”)的倒数表示屈光的程度,即:有 1 个屈光度的镜头,可以聚焦平行光线在 1 米的距离处。人眼的聚焦能力约 60 屈光度,这表明将平行光聚焦在 17mm 的距离处,这就是眼球尺寸,即晶状体和视网膜的距离。

人的屈光度是可以改变的,这样能够保证观察者集中关注视场中的部分区域,以得到清晰的影像。在注视运动物体时,人眼会自动调节屈光度。年青人可以连续改变 14 个屈光度,年长后调节能力减弱。

③ 瞳孔调节。瞳孔是晶状体前的孔,直径可以变化。瞳孔的作用有两个:瞳孔放大时,可以增加眼睛的敏感度,便于观察光线较暗的场景;瞳孔缩小时,可以增加近视觉的视距,便于观察近处的物体。

④ 分辨力。分辨力是人眼区分两个点的能力。在距离 2m 的远处,人们可以区分出相距 0.4毫米 的两个点。目前,计算机显示器和高清电视机都达到了这样的分辨力。

⑤ 明暗适应。人眼可以自动调节对亮度的感觉,从而适应环境中光线的明暗变化。当人们从阳光下进入暗室时,人眼一般需要花费约 40 分钟才能适应,这种现象称为暗适应,它反映了视杆细胞的适应能力;当人们从暗室进入阳光下时,人眼的适应速度会很快,这种现象为亮适应,它反映了视锥细胞的适应能力。

⑥ 周围视觉和中央视觉。距离视网膜焦点约 1mm 的范围称为中央凹区域,该区域的视觉称为中央视觉。该区域中分布有高密度的视锥细胞,用于表现彩色的、白天的视觉。视网膜周围区域的视觉称为周围视觉,这些区域中分布有低密度的视杆细胞和视锥细胞,用于表现单色的、夜间的视觉,以及对运动物体的注意。

⑦ 视觉暂留。人眼在观察景物时,光信号传入大脑神经需经过一段短暂的时间。所以,当光线的作用结束后,视觉形象在大脑中并不会立即消失,这种残留视觉称为“视觉暂留”。视觉暂留时间约为 $0.05\sim 0.2\text{s}$ 。视觉暂留是电影电视的显示基础,为了达到流畅的视觉效果,一般的影视文件都需要达到 24 帧/秒的速率。

⑧ 视场。视场是指人眼能够观察到的最大范围,通常以角度来表示。一般来说,一只眼睛的水平视场大约为 150° ,两只眼睛的水平视场大约为 180° 。人眼的垂直视场大约为 120° 。

对于上述 8 种感知参数,现在的虚拟现实系统还不能完全模拟。现有系统已经能够处理立体视觉、分辨力、视觉暂留、以及视场参数,其他参数还没有充分考虑到。