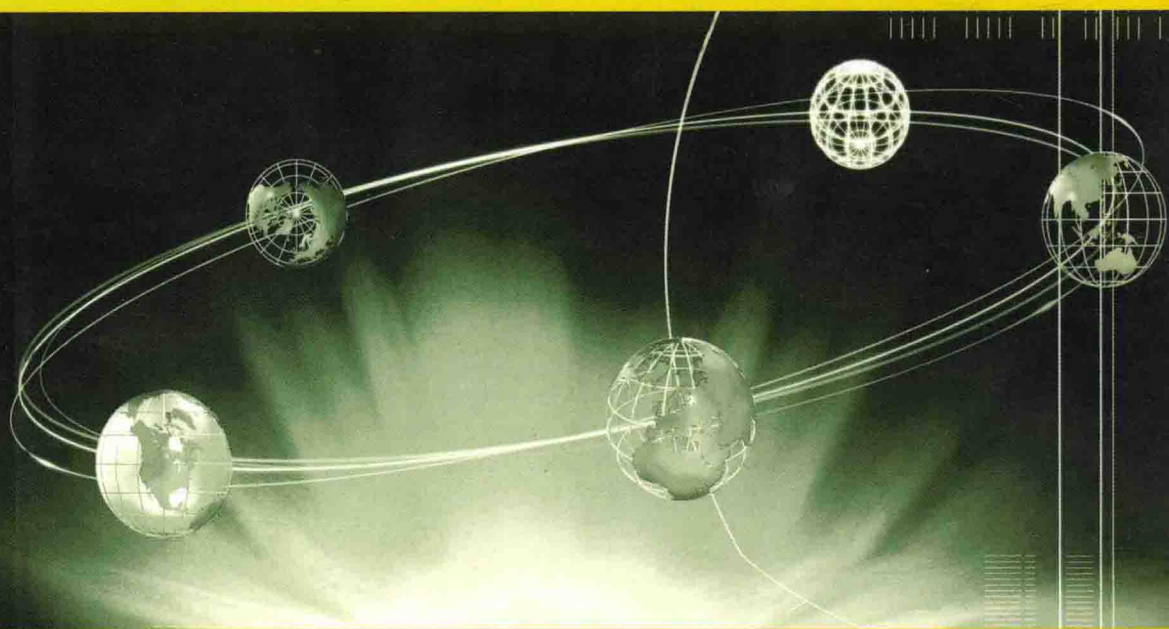


军队院校“2110工程”专著建设项目

# 虚拟现实技术 及其在飞行仿真中的应用

马登武 叶文 于凤全 周洪庆 编著 孙隆和 主审



国防工业出版社

National Defense Industry Press

# 虚拟现实技术 及其在飞行仿真中的应用

马登武 叶文 于凤全 周洪庆 编著  
孙隆和 主审

国防工业出版社

·北京·

图书在版编目(CIP)数据

虚拟现实技术及其在飞行仿真中的应用/马登武等编  
著.—北京:国防工业出版社,2005.9

ISBN 7-118-04073-8

I. 虚... II. 马... III. 飞行模拟—计算机仿真  
IV. V211.73

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005)第 086343 号

国防工业出版社出版发行  
(北京市海淀区紫竹院南路 23 号)

(邮政编码 100044)

国防工业出版社印刷厂印刷

新华书店经售

\*

开本 787×1092 1/16 印张 14 319 千字

2005 年 9 月第 1 版 2005 年 9 月北京第 1 次印刷

印数:1—2500 册 定价:23.00 元

---

(本书如有印装错误,我社负责调换)

国防书店:(010)68428422

发行邮购:(010)68414474

发行传真:(010)68411535

发行业务:(010)68472764

## 前 言

虚拟现实技术是近年来十分活跃的技术研究领域,它汇集了计算机图形学、多媒体技术、人工智能、人机接口技术、传感器技术、高度并行的实时计算技术和人的行为学等多项关键技术,是这些技术高层次的集成和渗透。虚拟现实是多媒体技术发展的更高境界,它给用户更逼真的体验,为人们探索宏观和微观事物的运动变化规律提供了极大便利。借助于虚拟现实,人们可以尽情地体验自己的梦想,实现自己长年向往的心愿。

虚拟现实是一门实用性技术,它的系统工作环境包括头盔式显示装置、数据手套、数据衣以及其他传感装置。由于该工作环境非常直观形象,所以甚至有人将虚拟现实简单理解为头盔和数据手套,这无疑是一种误解,它只注意了表面形式而没有理解虚拟现实的深刻内涵。“虚拟现实”一词中的“现实”是泛指在物理意义上或在功能意义上存在的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;“虚拟”一词是指用计算机生成的意思。因此,“虚拟现实”一词是指用计算机生成的一种特殊环境,人可以通过使用各种特殊装置将自己“投射”到这个环境中去操作、控制环境,实现特殊的目的,即人是这种环境的主宰者。

虚拟现实在军事、教育、航天、航空以及娱乐等领域有着极其广阔的应用前景,因此,在世界各国尤其是发达国家受到高度重视,并相继研制出一些实际应用系统。由于虚拟现实技术可以解决许多至今无法解决的困难问题,所以由此带来的影响将是极其深刻的。在我国,由于虚拟现实方面的研究起步晚,存在许多急待解决的问题。我们编写此书的目的就是为了借鉴国内外在研究上的经验,促进我国在该领域的研究和应用,使更多的读者能够将虚拟现实技术向深度发展和广泛应用。本书涉及的内容,有直接可应用的,也有属于探索性的,由于虚拟现实技术涉及的范围很广,这里不可能一览概全。本书在内容取舍、文字描述方面力求面向实践、重在应用、便于教学为原则,努力做到概念引出自然、内涵与外延适中、寓深奥于浅显,使读者能够遵循指导,由浅入深地了解、认识、掌握虚拟现实技术,并最终达到熟练运用虚拟现实开发工具进行设计的能力。本书中引用的主要参考资料已在参考文献中详细注明,在此对各参考文献的作者表示崇高敬意。

本书由马登武副教授主编,参加编著的有马登武、叶文、于凤全、周洪庆等同志。中国航空工业第一集团公司第 613 研究所总工程师、西北工业大学教授孙隆和同志

仔细审阅了全稿,并提出了许多宝贵意见,在此表示衷心感谢。

限于编著者水平有限,书中难免会有不当之处,敬请读者批评指正。

## 目 录

编著者

2005.06.20

# 目 录

第1章 虚拟现实概述	1
1.1 虚拟现实的基本概念	1
1.1.1 什么是虚拟现实	2
1.1.2 虚拟现实的基本特征	3
1.1.3 虚拟现实技术的发展概述	6
1.2 虚拟现实的分类	9
1.2.1 透过窗口系统	10
1.2.2 浸入式虚拟现实系统	10
1.2.3 分布式虚拟现实系统 <sup>[7]</sup>	12
1.2.4 扩展现实虚拟现实系统	12
1.2.5 遥现虚拟现实系统	12
1.3 虚拟现实系统的基本组成结构	14
1.3.1 虚拟环境	14
1.3.2 计算机	16
1.3.3 虚拟现实软件	18
1.3.4 输入设备	23
1.3.5 输出设备	24
1.4 虚拟现实的主要应用领域 <sup>[4]</sup>	25
1.4.1 工程应用	25
1.4.2 影视娱乐	28
1.4.3 科学研究和科学计算可视化	30
1.4.4 在医学上的应用	31
1.4.5 教育培训	32
1.4.6 军事上的应用	32
第2章 视觉生理感知与立体显示	34
2.1 视觉系统	34
2.1.1 眼睛	34
2.1.2 视觉神经系统	34
2.2 视觉深度感知	35
2.2.1 双眼视轴的辐合	35

2.2.2	双眼视差深度感知	36
2.3	视觉颜色感知	37
2.3.1	颜色模型	38
2.3.2	明暗效应模型及其算法	39
2.4	立体显示算法	42
2.4.1	基于投影变换的立体显示算法	42
2.4.2	基于相关性理论的立体显示算法	44
2.4.3	基于计算机生成全息体的立体显示算法	45
2.5	立体显示装置	46
2.5.1	基于 LCD 的头盔显示器	47
2.5.2	基于 CRT 的头盔显示器	48
2.5.3	双目全方位显示器	49
2.5.4	立体眼镜	50
<b>第 3 章</b>	<b>虚拟现实开发环境</b>	<b>51</b>
3.1	开放性图形库 OpenGL	51
3.1.1	OpenGL	51
3.1.2	OpenGL 编程概念 <sup>[4]</sup>	54
3.1.3	OpenGL 命令分类	58
3.2	虚拟现实开发环境 Vega	66
3.2.1	Vega 的组成及工作原理分析	67
3.2.2	Vega 基本类	68
3.2.3	应用 Vega 进行视景仿真	70
3.3	三维建模软件 MultiGen Creator	72
3.3.1	MultiGen Creator 的构成	72
3.3.2	OpenFlight 数据结构 <sup>[119]</sup>	73
3.3.3	建立模型关键技术和需要注意的问题 <sup>[119]</sup>	74
3.4	其他开发环境 <sup>[4]</sup>	75
3.4.1	Sense 8 公司的 World Tool Kit	75
3.4.2	MR 工具包	79
3.4.3	Division 公司的 dVS 和 dVISE	79
3.4.4	Superscape 公司的 VRT	81
3.4.5	SGI 公司的 Sky Writer 和 Reality Engine	82
<b>第 4 章</b>	<b>虚拟场景中物体碰撞检测</b>	<b>84</b>
4.1	碰撞检测的概念	84
4.1.1	三维建模技术	84
4.1.2	碰撞检测的基本概念	89
4.2	碰撞检测的典型算法分析	90



4.2.1	空间分解法	91
4.2.2	包围盒层次法	91
4.2.3	基本结论	95
4.3	基于混合包围盒的碰撞检测	96
4.3.1	算法的基本思想	96
4.3.2	算法的基本步骤	101
4.3.3	算例:虚拟场景中导弹与目标的碰撞检测	107
<b>第5章</b>	<b>虚拟场景中自然景物的模拟</b>	<b>112</b>
5.1	虚拟场景中的自然景物	112
5.2	基于分形迭代的地形模拟	113
5.2.1	分形及其特征	113
5.2.2	布朗运动及其性质	115
5.2.3	分数布朗运动及其性质	117
5.2.4	分形地形模拟算法	118
5.3	基于粒子系统的模糊景物的模拟	127
5.3.1	粒子系统的基本原理	127
5.3.2	OpenGL中的纹理映射	129
5.3.3	基于粒子系统的导弹尾焰模拟 <sup>[116]</sup>	130
<b>第6章</b>	<b>人与虚拟场景的适应性分析</b>	<b>135</b>
6.1	虚拟现实系统中的人机交互	135
6.1.1	人的感知与行为模型	135
6.1.2	人机交互的层次结构	137
6.1.3	虚拟现实系统中的人机交互	139
6.2	虚拟现实系统中的仿真病现象	142
6.2.1	仿真病的表现形式	143
6.2.2	仿真病的理论解释	143
6.3	虚拟现实系统中的视觉延迟	145
6.3.1	视觉延迟产生的原因	145
6.3.2	视觉延迟的组成	146
6.4	视觉延迟的克服方法	149
6.4.1	视觉延迟克服方法概论	149
6.4.2	基于卡尔曼滤波的视觉延迟克服算法	150
<b>第7章</b>	<b>基于虚拟现实技术的飞行仿真系统设计</b>	<b>166</b>
7.1	飞行仿真技术	166
7.1.1	飞行仿真技术的概述	166
7.1.2	飞行仿真技术的发展历程	170



10	7.1.3 飞行仿真技术的应用现状 .....	171
10	7.2 飞行仿真系统的总体设计 .....	172
20	7.2.1 飞行仿真系统的任务分析 .....	172
20	7.2.2 总体设计的功能及技术要求 .....	173
20	7.2.3 飞行仿真系统的总体设计 .....	176
101	7.2.4 总体设计实例 .....	180
101	7.3 基于 HLA 的飞机任务模拟器视景仿真系统 <sup>[120]</sup> .....	183
111	7.3.1 飞机任务模拟器视景仿真系统 .....	183
111	7.3.2 基于 HLA 模拟器引擎的视景系统仿真 .....	186
111	7.3.3 大视场角视景仿真的实现 .....	189
111	7.3.4 视景仿真软件系统 .....	192
111	7.4 虚拟场景的绘制 .....	199
111	7.4.1 虚拟场景的加速绘制措施 .....	199
111	7.4.2 虚拟场景的绘制实例 .....	201
111	参考文献 .....	211

# 第 1 章 虚拟现实概述

虚拟现实(Virtual Reality, VR)是 20 世纪末才兴起的一门崭新的综合性信息技术。它融合了数字图像处理、计算机图形学、人工智能、多媒体技术、传感器、网络以及并行处理技术等多个信息技术分支的最新发展成果,为我们创建和体验虚拟世界提供了有力的支持,从而大大推进了计算机技术的发展。VR 技术的特点在于,由计算机产生一种人为虚拟的环境,这种虚拟的环境是通过计算机构成的三维空间,或是把其他现实环境编制到计算机中去产生逼真的“虚拟环境”,从而使得用户在多种感官上产生一种沉浸于虚拟环境的感觉。

VR 技术实时的三维空间表现能力、人机交互式的操作环境以及给人带来的身临其境的感受,将一改人与计算机之间枯燥、生硬和被动的现状。它不但为人机交互界面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的数据可视化提供了新的描述方法,同时,它还能为人们探索宏观世界和微观世界以及由于种种原因不便于直接观察的事物的运动变化规律,提供极大的便利。

VR 技术一经问世,人们就对它身临其境的真实感和对超越现实的虚拟性的追求,以及建立的个人能够沉浸其中、进出自如并具有交互作用的虚拟世界,产生了浓厚的兴趣。近几年,VR 技术不但已开始在地产、军事、医学、设计、考古、艺术、娱乐等诸多领域得到越来越广泛的应用,而且还给社会带来了巨大的经济效益。因此,有关人士认为:20 世纪 80 年代是个人计算机的时代,90 年代是网络、多媒体的时代,而 21 世纪初则将是 VR 技术的时代<sup>[10]</sup>。

## 1.1 虚拟现实的基本概念

20 世纪 80 年代的计算机能处理文本、图形等数据,可用于管理市场动向、人事档案信息等,因此主要是作为办公自动化的工具。20 世纪 90 年代多媒体技术的出现使计算机具有了综合处理声音、文字、图像等多种媒体信息的能力,使计算机有可能以人们所习惯的声音和图像等进行信息交流。因此人们可以通过计算机以及计算机网络进行信息交流,这时计算机就成为人们交流信息的媒介。但是目前的计算机技术还不能处理知识,也就是说计算机还缺乏理解和推理的能力。所以虽然计算机的广泛应用减轻了人的负担,但是在绝大多数情况下,计算机系统还只是起着辅助作用,最终的理解和决策要由人来完成。例如,计算机集成制造系统(CIMS)通过计算机技术极大地提高了企业的生产管理水平,但本质上讲它是一个人的系统和计算机系统共栖的复杂环境。有研究表明,在集成制造自动化系统的实施中,70% 的障碍来自人的因素,其中包括人机系统体系结构和人机交互等。此外,计算机的广泛应用使各个领域每天都在产生大量的数据和信息,例如地球人

造卫星获取的地球表面数据,使人们能每隔 16 天~20 天就可以更新一次地球表面的数字地图。除了科学计算和测量以外,现代化企业的管理和市场分析也在产生大量的数据。这些大量的数据只有经过处理和理解才能成为有用的信息,但是目前的计算机技术还不能自动地理解。研究表明,人具有很强的在三维空间中进行形象思维的能力,如果把这些计算机收集或产生的数据转换成可视化的直观对象(如形状、符号等),就可以借助人的形象思维能力来快速地理解这些数据,得到有用的信息。例如,复杂的地面坐标数据难以为人所理解,但如果把它们转换成表示高度的地形地图,人就可以一目了然地从中找到有用的信息,如可通行的道路等。这就转换成如何使用户与三维空间中的可视化对象进行交互操作的问题。

从以上分析可看到,计算机的应用增强和扩大了人们认识世界和改造世界的能力,提供了前所未有的信息服务。但是计算机并不能代替人的角色,计算机要发挥更大的作用,其关键是以更自然和有效的方式与人进行信息交流,也就是要以人所习惯的方式与计算机进行通信。人与人之间通信的特点可归结如下。

(1) 它是利用视觉、听觉、触觉、力觉、嗅觉等多种感觉在多种媒体空间中的通信,其中最重要的是视觉和听觉。视觉不但是人类最主要的信息获取手段,而且还是一种思维手段,这就是形象思维。

(2) 它是实时交互的通信,除了要求信息的实时交流以外,手势对引导对方的注意力、说明讨论的对象也起很重要的作用。

计算机的应用离不开人的智能,人机交互技术是发展计算机应用的关键,虚拟现实就是探讨理想的人与计算机通信方式的技术。

### 1.1.1 什么是虚拟现实

从本质上说,VR 就是一种先进的计算机用户接口,它通过给用户同时提供诸如视、听、触等各种直观而又自然的实时感知交互手段,最大限度地方便用户的操作,从而减轻用户的负担,提高整个系统的工作效率。根据 VR 所应用的对象的不同,VR 的作用可以表现为不同的形式,例如将某种概念设计或构思可视化和可操作化、实现逼真的遥观效果、达到任意复杂环境下的廉价模拟训练目的等。

VR 的定义可以归纳如下<sup>[1,2]</sup>:VR 就是采用计算机技术生成的一个逼真的视觉、听觉、触觉及嗅觉等的感觉世界,用户可以用人的自然技能对这个生成的虚拟实体进行交互考察。这个概念包含 3 层含义:第一,虚拟实体是用计算机生成的逼真实体,“逼真”就是要达到三维视觉,甚至包括三维听觉及触觉、嗅觉等;第二,用户可以通过人的自然技能与这个环境交互,这里的自然技能可以是人的头部转动、眼动、手势或其他的身体动作;第三,VR 往往要借助于一些三维传感设备来完成交互动作,常用的如头盔立体显示器(Head Mounted Display)、数据手套(Data Glove)、数据服装(Data Suit)、三维鼠标等。

与 VR 相类似的概念是“人工现实”(Artificial Reality)和“遥现”(Telepresence)。人工现实是 VR 发展过程中的早期用语,由 Myron Krueger 于 1975 年提出。根据 Krueger 提出并证实的原始含义,人工现实不需要给用户提供任何特殊装置,只是人可以活动于一个人造的空间中,该空间的物体用可视化技术生成,但是物体的控制方法就像物体在现实空间中一样,所以就称为人工现实。而遥现是一种基于 VR 的遥控制、遥操作或遥显示

技术。

VR 技术越来越受到广泛重视,其原因可归纳如下。

(1) 相关技术日趋成熟,为 VR 的研究提供了基础,如:

① 实时三维图形生成与显示技术。

② 三维声音定位与合成技术。

③ 传感器技术,如视觉、触觉、力觉传感器等。

④ 识别定位技术,如语音、三维景物、表情、手势等。

⑤ 环境建模技术,如视觉建模、行为建模、CAD 技术等。

(2) 各种传感设备以及计算机价格不断降低,使实现 VR 的应用成为可能。

(3) VR 提供了别的技术难以实现的巨大可能性,从降低成本、减少危险、提高效率克服物理条件限制、拓宽应用领域等方面都极具吸引力。

(4) 在商业性、实用性以及技术创新上都富有巨大的潜力。

可以预料,VR 技术可能改变人们的思维方式和生活方式,导致一场重大的技术革命。

### 1.1.2 虚拟现实的基本特征

G. Burdea 和 P. Coiffet 在“Virtual Reality Technology”一书中,提出了一个“VR 三角形”,如图 1-1 所示,它较简洁地说明了 VR 的基本特征,即 VR 的三个“I”:Immersion - Interaction - Imagination(沉浸—交互—和构想)<sup>[3]</sup>。

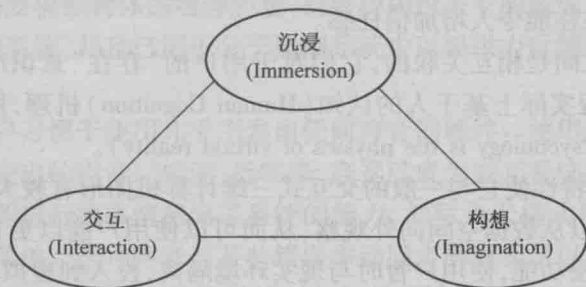


图 1-1 VR 的特征三角形

交互性是指用户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,用户可以用手去直接抓取模拟环境中的物体,这时手有握着东西的感觉,并可以感觉物体的质量(其实这时手里并没有实物),视场中被抓的物体也立刻随着手的移动而移动。

由于 VR 并不只是一种媒介或一个高层终端用户界面,它的应用能解决在工程、医学、军事等方面的一些问题,这些应用是 VR 与设计者并行操作,为发挥它们的创造性而设计的,这极大地依赖于人的想像力。这就是 VR 的第二特性——构想(Imagination)。

VR 的最主要的技术特征是沉浸感(Immersion),又称“存在感(Presence)”、“临场感”或“投入”等。VR 的追求目标是力图使用户在计算机所创建的三维虚拟环境中处于一种“全身心投入”的感觉状态,有身临其境的感觉,即所谓“沉浸感”。在该环境中的一切,看上去是真的、听起来是真的、动起来也是真的,一切感觉逼真。用户觉得自己是虚拟环境

中的一个部分,而不是旁观者。他感到被虚拟景物所包围,可以在这一环境中左顾右盼、自由走动,与物体相互作用,如同在已有经验的现实世界中一样。这种使用户感到作为一个主角沉浸于模拟环境中的真实程度,对理想的模拟环境应该达到使用者难辨真假的程度。如可视场景应随着视点的变化而变化,有比现实更逼真的照明和音响效果等,甚至比真的还“真”。导致“沉浸感”的原因是用户对计算机环境的虚拟物体产生了类似于对现实物体的存在意识或幻觉。为此,必须具备3种基本的技术要素。

### 1) 图像(Imagery)

虚拟物体要有三维结构的显示,其中包括主要由以双目视差、运动视差提供的深度信息;图像显示要有足够大的视场,造成“在图像世界内观察”而不是“窗口观察”的感觉;显示画面符合观察者当前的视点,能跟随视线变化;物体图像能得到不同层次的细节审视。

### 2) 交互(Interaction)

虚拟物体与用户间的交互是三维的,用户是交互作用的主体;用户能觉得自己是在虚拟环境中参与对物体的控制;交互是多感知的,用户可以使用与现实生活不同的方式(例如手语)与虚拟物体交互。

### 3) 行为(Behavior)

虚拟物体在独自活动时,或相互作用时,或在与用户的交互作用中,其动态都要有一定的表现,这些表现或者服从于自然规律,或者遵循设计者想像的规律,这也称之为VR系统的自主性(Autonomy)。自主性是指虚拟环境中物体依据物理定律动作的程度。如当受到力的推动时,物体会向力的方向移动、翻倒或从桌面落到地面等。虚拟物体对用户作用的不平凡反应往往能令人增加信任感。

上述技术要素之间是相互关联的,它们对于用户的“存在”意识产生影响,进而导致“沉浸感”的这个过程实际上基于人的认知(Human Cognition)机理,所以有人认为:心理学是VR的物理学(Psychology is the physics of virtual reality)。

VR的“沉浸感”特性使它与一般的交互式三维计算机图形有较大的不同。用户可以沉浸于数据空间,可以从数据空间向外观察,从而可以使用户能以更自然、更直接的方式与数据交互;利用沉浸功能,使用户暂时与现实环境隔离,投入到虚拟环境中,从而能更真实地注视数据;VR界面也可以给技术人员及创作人员提供真实的数据,以便正确地创建虚拟环境,这样有助于用户更快、更全面地分析数据和理解数据。因此,VR技术将有望从根本上改变人与计算机系统的交互操作方式。

## 1. 浸入性

浸入性可分为视觉浸入、听觉浸入、触觉浸入、嗅觉浸入和味觉浸入等。这里只简要介绍一下常用的视觉浸入、听觉浸入和触觉浸入。嗅觉浸入只是最近才开始研究的,而味觉浸入目前尚未开始。

### 1) 视觉浸入

虚拟环境的浸入感强烈地依赖于使用者与合成图像的集成。例如,在飞行模拟器中,驾驶员及副驾驶员坐在仿制的驾驶舱内,通过窗口注视一个由计算机生成的200°的环境,产生一种在真正飞机中飞过一些三维地形的真实感。然而,不允许他们离开驾驶舱对虚拟世界进行探索。

另一方面,利用同真实世界视觉隔离的头盔,一些VR系统给每个使用者提供虚拟环



境的个人视图,使用者可获得浸入虚拟环境的感觉,加入触觉及声音信号后,浸入感更强。两种方法的重要性在于使用者亲身体验了虚拟环境的视景,打开了全新的交互模式。

尽管飞行模拟器的全景显示系统不包括立体的信息,然而图像经校准以及使用者被周边视图刺激的事实产生了浸入三维世界的强烈感觉。另一方面,头盔可为左右眼提供两个包含平行视差的独立的图像,在正确条件下,产生真实的立体感视景。

以使用者头部运动控制合成图像的视线方向可增强浸入感,这样给大脑提供了运动视差信息,以补充其他视觉感受。自然,这要求对使用者头部进行实时跟踪,如果使用者的头部运动与图像不同步,结果则可能是混乱的。

因此,任何向使用者提供虚拟世界逼真的、直观的视图,并直接受使用者控制的显示系统,在创造浸入感或参与感中都是至关重要的。

### 2) 触觉浸入

交互模式的明显扩展将允许使用者接触并感觉虚拟物体——从某种程度上讲,这已成为可能。然而,目前还不可能提供我们在真实世界的触觉反馈水平,未来也不可能,除非技术发展到可同人脑直接交流。如果我们想要提供某种简单形式的触觉刺激,靠启动沿手指方向的小垫来模拟接触感的触觉手套已经存在了,当探查到使用者虚拟手与虚拟物体间有碰撞时,启动手套,模拟接触状态。然而,使用者不会突然感觉到物体的质量,因为没有让使用者手臂肌肉参与的机制。

如果有必要将力量从虚拟域传出,就需要相应的硬件,使用户能抓握或佩戴。例如,飞行模拟器的操纵负载系统就使用了力反馈,以便驾驶员能体验到在真正的飞机上会感到的力。然而,如果要模拟物体的物理质量,就要使用带关节的操纵器来产生这种力。目前,确实存在这样的系统,并且已用于分子造型系统中以提供力反馈。

### 3) 听觉浸入

多数计算机用户习惯于使用几乎不发出任何声音的硬件。使用者真正意识到的声音也许是打字时键盘发出的声音。然而,近年来,声音已成为交互系统中的有益属性。声音可提醒我们正在试图进行的事情超出了系统的能力,如写入未格式化磁盘或在不知目的的情况下已选中了菜单。这种声音与某些错误举动同步的事实足以提示我们出了错。

在VR系统中,声音成为补充交互性视觉与触觉领域的自然属性。例如,我们可以模拟大范围的声音效应,如碰撞声、擦刮声以及雷鸣、波涛拍岸及泼水等自然现象发出的声音。在浸入式三维虚拟世界中,两个虚拟物体碰撞时,相应的声音自然地应从同一地点发出,现在的硬件已能够提供两路立体信号,用它们能模拟进入使用者耳道的压力波衰减,从而模拟人耳感受声音的方式,这为大脑提供了有价值的声音信号,使其能给声源定位。

立体声技术为VR系统开辟了广阔的应用领域,因为模拟多声源受反射物体影响已成可能。更进一步,已有技术来支持静止及运动声源,如不均匀发声器及多普勒效应。不管其头部处于什么位置,所有这些都将被使用者体验到。

## 2. 交互性

想像一下下面的情景。你现在佩戴着头盔,图像发生器实时地将立体图像送到你的头盔。随着你头部的活动,计算机随之出现包含桌椅的想像房间的新场景,你的手上戴有数据手套以监视你的手指活动及手的方向,手指活动及手的方向控制着虚拟手的运动,如果你的手伸向虚拟椅子,则看到虚拟手也在移动。当你做出探寻性移动时,虚拟手与虚拟

环境间的状况可被感知,例如,系统可监视虚拟手是否触及到环境中的物体,如果触及情况出现,按系统程序设置,可有几种不同反应。首先,椅子可被移动,就像受到推动一样,并且手的运动可使椅子向不同方向运动。第二,虚拟手可抓住椅子,不管你怎样移动自己的手,椅子都会随之移动。第三,椅子会随着接触状况的不同而改变颜色。当然,你还可以对此做其他不同的想像,但目前,重要的是与虚拟物体的交互能力。

尽管头盔及数据手套已成为虚拟现实的两大重要属性,但指望所有未来 VR 系统都按此框架构筑是不现实的。首先,有些应用可能不要求使用者从视觉上同真实世界隔离开来。例如,建筑师在观察虚拟建筑物时就可能不想长时间佩戴头盔,这时,悬挂式显示器就足以提供这种方式下的交互水平,再如,桌上虚拟现实系统也将继续提供一般使用,其虚拟环境可在不需浸入体验的情况下进行构筑和可视化。另外,虚拟现实游戏者将不受真实世界的干扰而全身心浸入在其乐无穷的交互虚拟世界中。

根据 VR 的概念及其基本特征,我们不难将 VR 与相关技术区分开来,例如仿真技术、计算机图形技术以及多媒体技术等。

仿真(Simulation)是一门利用计算机软件模拟实际环境进行科学实验的技术,从模拟实际环境这一特点看,仿真技术与 VR 技术有着一定的相似性。但是,仿真技术更强调数字上的精确性;在浸入性方面,仿真基本上将用户视为“旁观者”,可视场景既不随用户的视点变化,用户也没有身临其境之感;在交互性方面,仿真一般不强调交互的实时性。

计算机图形技术(Computer Graphics, CG)是一门实时图形生成与显示的技术,它具有好的实时交互性和一定的自主性。但是,在多感知和存在感方面与 VR 有较大差距。CG 主要依赖于视觉感知,虽然生成的图形可以具有三维立体数据,但由于感知手段的限制,用户并不能感到自己和生成的图形世界融合在一起,比如场景不能随自己的视线改变而改变等。

多媒体技术(Multimedia)是利用计算机综合组织、处理和操作多种媒体信息(如视频、音频、图像、文字等)的技术。虽然具有多种媒体,但是在感知范围上仍没有 VR 广泛,例如多媒体并不包括触觉、力觉等感知。另外,多媒体处理的对象主要是二维的,因此在存在感知交互性方面与 VR 有着本质的区别。

尽管 VR 与上述相关技术有较大差异,但是 VR 又与它们密切相关。VR 是在众多的相关技术基础上发展起来的,但它又不是相关技术的简单组合。从技术上看,VR 与各相关技术有着或多或少的相似之处,但是在思维方式上 VR 已经有了质的飞跃。由于 VR 是一门系统性技术,因此它不能像某一单项技术那样只从一个方面考虑问题,它需要将所有组成部分作为一个整体,去追求系统整体性能的最优。

有一种称为“虚拟环境创造”的技术,即按照人的意图将虚拟人沉浸到模拟环境,并使虚拟人在模拟环境里行动的技术。VR 技术可以以“这是我想像的世界”的形式来表现人类的内心世界,可以以写真的方式或抽象的方式提供迄今所不能创建的事物。

### 1.1.3 虚拟现实技术的发展概述

像大多数技术一样,VR 也不是突然出现的,它是经过企业界、军事界及众多学术实验室相当长时间的研制开发后才进入公众领域的。VR 的出现与其他技术的成熟密切相关,如实时计算机系统、计算机图形、显示器、光纤及三维跟踪技术等。当各个技术都能提



供自身的输入性能之后,VR系统便出现了。从诞生至今,伴随着计算机技术的飞跃,VR系统的发展及完善在不断地继续,其应用领域也在不断地扩大。这也进一步证实了作为一种更强大、更富创造性的人机交互系统,VR系统将有着非常广阔的发展前途。

下面,我们回顾一下VR技术数十年来的发展历程<sup>[3]</sup>。

VR技术研究从20世纪60年代就已经开始了。1965年,美国ARPA信息处理技术办公室(IPTO)主任、计算机图形学之父Ivan Sutherland发表了“终极的显示”(The Ultimate Display)的论文。在该论文中,Ivan Sutherland描述了如何把计算机显示屏幕作为一个通过它观看虚拟世界的窗口,提出了使计算机屏幕成为观察客观世界的“窗口”的设想。Sutherland的这篇文章向计算机世界提出了挑战,人们把这篇论文称为是研究VR系统的开端。

紧接着需解决的问题是如何使这个“窗口”能随着观察者的头部及身躯的转动以及眼睛注视点的调节而改变其“视角”和“景深”。为了达到这一目的,用户必须穿戴上一些特殊的设备,以便能将他物理方位输入到计算机中,再由计算机针对用户所在的方位对“窗口”做相应的调节。

1968年,Ivan Sutherland使用两个可以戴在眼睛上的阴极射线管(CRT),研制出了第一台头盔式立体显示器(HMD),并发表了题为“A Head - Mounted 3D Display”的论文,对头盔式三维显示装置的设计要求、构造原理进行了深入的讨论,并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。他曾经写道:“如此显示出的东西可以让它悬在空间,也可以让它和地图、书桌桌面、墙壁或者打字机键盘相吻合”。该头盔显示器很重,Sutherland不得不使用一个机械手臂来支持显示器的重量。该机械手臂由一对可以沿着它们的公共轴自由滑动的筒组成,它通过多个万能关节,一头固定在头盔上,一头固定在天花板上,这样通过机械手臂的电位器可以测量使用者的观察方向。不久,他们也试用了超声波位置传感器,由于它比较轻巧,用户可以自由地移动,并在40°的范围内做转头、抬头或低头的动作。在整个试验过程中,用户可以在直径6英尺和高3英尺的范围内活动。

在第一个HMD的样机完成不久,研制者又把能模拟力量和触觉的力反馈装置加入到这个系统中。第一个力反馈操纵杆是由Bell Labs的Michael Noll在20世纪60年代研制成功的,当用户与一个由计算机所创建的物体发生碰撞时,用户会感到某种程度的“振动感”,并能做出相应的反映。

1970年,Ivan Sutherland到犹他州大学继续研制头盔式立体显示器(HMD)。第一个功能较齐全的HMD系统研制成功,为了改进这个HMD的三维图形的质量,为该系统设计了几个专用的硬件加速器。

为了进一步提高仿真系统的逼真性,美国麻省理工学院的Negroponte在1970年提出了把电影院的演示功能和计算机的信息处理与控制功能结合起来的设想。他想把数字计算、声音、电视、广播和通信网络进行有机地融合,成为一种集成的“媒体技术”。

为了使仿真系统能提供一种在虚拟环境中的真实感受,必须使仿真系统能提供高质量、实时、交互作用的三维图形,那就需要使用有很高处理速度、很大存储容量、很高图形分辨率和很强交互能力的计算机。20世纪70年代,这曾是一个很难克服的困难,随着计算机芯片能力的增强以及浮点处理器和图形加速器的引入,生成高质量的三维图形逐渐

变得比较容易了。

为了使用户在新型的仿真系统中具有沉浸感, Andrew Lippman、Scott Fisher 和 Arch - Mac 等人试验了 Aspen Movie Map, 它是一部描述美国 Colorado 的 Aspen 城风光的电影。Aspen 城的景像是用一个架在汽车顶上的特殊的摄像系统拍摄的。城市的每一条街和每一个角落都被摄了进去, 再把这些画面与从起重机、飞机和直升飞机上拍摄的画面结合在一起(甚至很多建筑物的内部也被拍摄进去了)。当观察者观看这部电影时, 他能以前视、侧视和后视等各种角度去观察图像, 观察者不必戴头盔显示器就可以选择走哪条路, 看哪个角落, 进哪座建筑物等。所有这些都是通过观察者的手势控制的。如果观察者对某一栋房子感兴趣, 在屏幕的上方还可显示出介绍这栋房子的文字信息, 操作者甚至可以在时间上“前推”或“后拉”, 观察者还可观看这所房子在不同季节时的环境。这个项目的最重要的意义是提出了一个“个人模拟装置”的概念, 它使观察者沉浸在一种又像现实、又像虚拟的感受之中。

1975 年, Myron Krueger 提出“人工现实”(Artificial Reality)的思想, 展示于称为 Videoplace 的“并非存在的概念化环境”。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, 由投影机投射到屏幕上, 室内的传感器识别实验者的动作, 屏幕上可显示实验者在游泳、爬山等情景。参与者可以是一个, 也可以是多个。有多个参与者时, 屏幕上会在不同位置投影出各个参与者的真实图像。由于受当时技术条件的限制, Videoplace 的结构比较简单, 也没有现在流行的头盔显示器和数据手套等交互设备。

VR 研究的进展从 20 世纪 60 年代到 80 年代中期是十分缓慢的。到了 20 世纪 80 年代后期, 因为图形显示技术已经能够满足视觉系统的基本性能要求, 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, 所以 VR 技术得以加速发展。

1985 年, 美国航空航天管理局(NASA)的 Scott Fisher 等研制了著名的称为 VIEW 的一种“数据手套”(Data Glove), 这种柔性、轻质的手套装置可以测量手指关节动作、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“数据服装”(Data Suit)。

1985 年, 研制成功第一套商用 VR 硬件——Intel 386, 以及第一套商用 VR 软件——美国空军的 Supercockpit 飞行模拟器。

1986 年, 研制成功了第一套基于 HMD 及数据手套的 VR 系统——VIEW(Virtual Interactive Environment Workstation)。这是世界上第一个较为完整的多用途、多感知的 VR 系统, 它使用了头盔式显示器、数据手套、语言识别与跟踪等技术, 并应用于空间技术、科学数据可视化、远程操作等领域, 被公认为当前 VR 技术的发源地。目前大多数 VR 系统的硬件体系结构都由 VIEW 发展而来, 可见 VIEW 在 VR 技术研究开发的历史上起着举足轻重的作用。

1987 年, 美国科学杂志发表论文, 报道了 VPL 公司研制一种光学传感数据手套, 手套的背面安装有三维跟踪系统, 这种手套可以确定手的方向以及各手指的弯曲程度。该文引起了公众的极大兴趣。

1989 年, VPL 公司的创始人 Jaron Lanier 提出了“Virtual Reality”这个名词, 意指“计算机产生的三维交互环境, 在使用中用户是‘投入’到这个环境中去的”。根据他提出的