



新编高等院校计算机科学与技术规划教材

虚拟现实技术

XUNIXIANSHIJISHU

黄海 编 著



北京邮电大学出版社
www.buptpress.com

新编高等院校计算机科学与技术规划教材

虚拟现实技术

黄 海 编著



北京邮电大学出版社
www.buptpress.com

内 容 简 介

虚拟现实是利用计算机模拟产生一个三维空间的虚拟世界,提供使用者关于视觉、听觉、触觉等感官的模拟,可以直接观察、操作、触摸、检测周围环境及事物的内在变化,并能与之发生“交互”作用,使人和计算机很好地“融为一体”,给人一种“身临其境”的感觉,可以实时、没有限制地观察三维空间内的事物。在医学、娱乐、艺术与教育、军事及工业制造管理等多个相关领域有重要应用。根据虚拟现实系统的构成,本书共分5章,介绍了虚拟现实的基本概念、输入设备、输出设备和相关的计算技术,并对虚拟现实研究中的三维模型的检索技术进行了介绍。

本书可以作为高等院校计算机科学、信息与通信、电子科学、机械工程、控制科学等工科专业的教材,也可作为初学者和工程技术人员的参考书籍。

图书在版编目(CIP)数据

虚拟现实技术 / 黄海编著. --北京:北京邮电大学出版社, 2014.1

ISBN 978-7-5635-3830-0

I. ①虚… II. ①黄… III. ①数字技术—高等学校—教材 IV. ①TP391.9

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 320407 号

书 名: 虚拟现实技术

著作责任者: 黄海 编著

责任编辑: 张珊珊

出版发行: 北京邮电大学出版社

社 址: 北京市海淀区西土城路 10 号(邮编:100876)

发行部: 电话: 010-62282185 传真: 010-62283578

E-mail: publish@bupt.edu.cn

经 销: 各地新华书店

印 刷: 北京源海印刷有限责任公司

开 本: 787 mm×1 092 mm 1/16

印 张: 10.25

字 数: 236 千字

版 次: 2014 年 1 月第 1 版 2014 年 1 月第 1 次印刷

ISBN 978-7-5635-3830-0

定 价: 21.00 元

· 如有印装质量问题,请与北京邮电大学出版社发行部联系 ·

前 言

自 20 世纪 90 年代以来,随着计算机技术、网络技术等新技术的高速发展及应用,虚拟现实技术发展迅速,并呈现多样化的发展势态,其内涵已经大大扩展。它涉及计算机图形学、人机交互技术、传感技术、人工智能、计算机仿真、立体显示、计算机网络、并行处理与高性能计算等技术和领域,是一项综合集成技术。它用计算机生成逼真的三维视、听、触觉等信号,使人作为参与者通过适当的装置和设备,能够体验逼真的虚拟世界并与之进行交互。

中华人民共和国国务院 2006 年 2 月 9 日发布的《国家中长期科学和技术发展规划纲要(2006—2020 年)》中提到大力发展虚拟现实这一前沿技术,重点研究心理学、控制学、计算机图形学、数据库设计、实时分布系统、电子学和多媒体技术等多学科融合的技术,研究医学、娱乐、艺术与教育、军事及工业制造管理等多个相关领域的虚拟现实技术和系统。2009 年 2 月,美国工程院评出 21 世纪 14 项重大科学技术,虚拟现实技术是其中之一。某种意义上说它将改变人们的思维方式,甚至会改变人们对世界、自己、空间和时间的看法。它是一项发展中的、具有深远的潜在应用方向的新技术,正成为继理论研究和实验研究之后第三种认识、改造客观世界的重要手段。通过虚拟环境所保证的真实性,用户可以根据在虚拟环境中的体验,对所关注的客观世界中发生的事件做出判断和决策,虚拟现实开辟了人类科研实践、生产实践和社会生活的崭新图式。虚拟现实正逐步进入人们的生产和生活,掌握这一技术已经成为时代发展的需要。

目前,许多高等院校都成立了从事虚拟现实研究的实验室,在计算机专业和非计算机专业开设了计算机图形学和虚拟现实技术的有关课程。作者在近几年的教学过程中发现,将计算机图形学和虚拟现实结合在一起讲解能够取得良好的效果,因此将平时上课用的电子版讲义整理成书,期望为相关的科技人员和学生提供参考。鉴于计算机图形学方面的出版物已经比较多,读者可以容易地找到适合自己的计算机图形学书籍,因此,本书对计算机图形学方面的知识没有涉及。

由于编者水平有限、编写时间仓促,书中不足之处在所难免,恳请广大读者批评指正。

作者

目 录

第 1 章 虚拟现实技术概论	1
1.1 虚拟现实技术的概念及意义	1
1.2 虚拟现实技术的特征	3
1.2.1 沉浸性	4
1.2.2 交互性	4
1.2.3 构想性	7
1.3 虚拟现实技术的发展历程	7
1.4 虚拟现实系统的构成	13
1.5 虚拟现实系统的分类	16
1.5.1 桌面虚拟现实系统	16
1.5.2 沉浸虚拟现实系统	17
1.5.3 增强现实系统	21
1.5.4 分布式虚拟现实系统	23
1.6 虚拟现实在各领域中的应用	24
1.6.1 虚拟现实在推演仿真中的应用	24
1.6.2 虚拟现实在产品设计与维修中的应用	25
1.6.3 虚拟现实在城市规划中的应用	26
1.6.4 虚拟现实在娱乐与艺术方面的应用	27
1.6.5 虚拟现实在道路交通方面的应用	28
1.6.6 虚拟现实在文物保护方面的应用	29
1.6.7 虚拟现实在虚拟演播室中的应用	29
1.6.8 虚拟现实在教育培训中的应用	30
1.6.9 虚拟现实在医学中的应用	31
1.6.10 虚拟现实在康复训练中的应用	32
1.6.11 虚拟现实在地理中的应用	33
第 2 章 虚拟现实输入设备	35
2.1 虚拟物体操纵设备	35
2.1.1 数据手套	36

2.1.2	数据衣	46
2.1.3	三维鼠标	60
2.1.4	力矩球	63
2.1.5	操纵杆	65
2.1.6	笔式交互设备	66
2.1.7	视线跟踪设备	68
2.1.8	语音识别输入设备	71
2.1.9	基于视觉的输入设备	72
2.2	三维跟踪定位设备	73
2.2.1	电磁跟踪系统	74
2.2.2	声学跟踪系统	75
2.2.3	光学跟踪系统	78
2.2.4	机械跟踪系统	78
2.2.5	惯性位置跟踪系统	78
2.2.6	基于图像提取的跟踪系统	80
2.3	快速建模设备	80
2.3.1	三维扫描仪	80
2.3.2	基于视频图像的三维重建	85
第3章 虚拟现实输出设备		89
3.1	视觉感知设备	89
3.1.1	立体显示的原理	89
3.1.2	分光立体显示技术	90
3.1.3	分时立体显示技术	93
3.1.4	分色立体显示技术	95
3.1.5	视差屏障立体显示技术	96
3.1.6	双凸透镜立体显示技术	97
3.1.7	常见立体显示技术分析	97
3.1.8	头盔显示器	98
3.1.9	吊杆式显示器	99
3.1.10	洞穴式立体显示装置	100
3.1.11	响应工作台显示装置	101
3.1.12	墙式立体显示装置	102
3.1.13	三维打印机	105
3.2	听觉感知设备	106
3.3	触觉和力觉反馈设备	107
3.3.1	触觉反馈装置	108
3.3.2	力觉反馈装置	109

3.3.3 发展趋势总结	114
第4章 虚拟现实中的计算技术	115
4.1 GPU 并行计算技术	115
4.1.1 GPU 概述	116
4.1.2 CUDA 架构	117
4.2 基于 PC 集群的并行渲染	117
4.3 基于网络计算的虚拟现实系统	118
4.3.1 分布式仿真与仿真网格	119
4.3.2 仿真网格应用模式	120
4.3.3 网格调度算法	124
4.3.4 仿真网格负载均衡	127
4.3.5 任务分配问题	129
第5章 基于内容的三维模型检索技术	136
5.1 基于内容的三维模型检索总体框架	137
5.2 模型的预处理	137
5.2.1 平移不变性	138
5.2.2 缩放不变性	138
5.2.3 旋转不变性	139
5.3 特征提取方法	140
5.3.1 三维统计特征	140
5.3.2 基于体积的特征	141
5.3.3 频域空间特征	143
5.3.4 基于视图的特征	143
5.4 相似性匹配	144
5.4.1 距离度量法	144
5.4.2 分类学习法	145
5.5 查询方式与用户接口	145
5.6 标准测试数据库和评价指标	146
5.6.1 标准测试数据库	146
5.6.2 性能测试评价指标	147
参考文献	149

第 1 章 虚拟现实技术概论

1.1 虚拟现实技术的概念及意义

在《庄子·齐物论》中记载了“庄周梦蝶”的故事：庄周梦见自己变成蝴蝶，很生动逼真的一只蝴蝶，感到多么愉快和惬意啊！不知道自己原本是庄周。突然间醒过来，惊惶不定之间方知原来是我庄周。不知是庄周梦中变成蝴蝶呢，还是蝴蝶梦见自己变成庄周呢？“庄周梦蝶”是庄子借由其故事所提出的一个哲学论点，其探讨的哲学课题是作为认识主体的人究竟能不能确切地区分真实和虚幻。随着科学技术的发展，这种“虚”与“实”的辩证关系得到了进一步的诠释。虚拟现实(Virtual Reality, VR)是利用计算机模拟产生一个三维空间的虚拟世界，提供使用者关于视觉、听觉、触觉等感官的模拟，可以直接观察、操作、触摸、检测周围环境及事物的内在变化，并能与之发生“交互”作用，使人和计算机很好地“融为一体”，给人一种“身临其境”的感觉，可以实时、没有限制地观察三维空间内的事物。

虚拟现实是一项综合集成技术，涉及计算机图形学、人机交互技术、传感技术、人工智能、计算机仿真、立体显示、计算机网络、并行处理与高性能计算等技术和领域，它用计算机生成逼真的三维视觉、听觉、触觉等感觉，使人作为参与者通过适当的装置，自然地对虚拟世界进行体验和交互作用。使用者进行位置移动时，电脑可以立即进行复杂的运算，将精确的 3D 世界影像传回，产生临场感。中华人民共和国国务院 2006 年 2 月 9 日发布的《国家中长期科学和技术发展规划纲要(2006—2020 年)》中提到大力发展虚拟现实这一前沿技术，重点研究心理学、控制学、计算机图形学、数据库设计、实时分布系统、电子学和多媒体技术等多学科融合的技术，研究医学、娱乐、艺术与教育、军事及工业制造管理等多个相关领域的虚拟现实技术和系统。2009 年 2 月，美国工程院评出 21 世纪 14 项重大科学技术工程，虚拟现实技术是其中之一。

概括地说，虚拟现实是人们通过计算机对复杂数据进行可视化操作与交互的一种全新方式，与传统的人机界面以及流行的视窗操作相比，虚拟现实在技术思想上有了质的飞跃。虚拟现实中的“现实”是泛指在物理意义上或功能意义上存在于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。而“虚拟”是指用计算机生成的意思。因此，虚拟现实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，并操作、控制环境，实现特殊的目的。

的,即人是这种环境的主宰。虚拟现实不但在军事、医学、设计、考古、艺术以及娱乐等诸多领域得到越来越多的应用,而且带来巨大的经济效益。在某种意义上说它将改变人们的思维方式,甚至会改变人们对世界、自己、空间和时间的看法。它是一项发展中的、具有深远的潜在应用方向的新技术,正成为继理论研究和实验研究之后第三种认识、改造客观世界的重要手段,通过虚拟环境所保证的真实性,用户可以根据在虚拟环境中的体验,对所关注的客观世界中发生的事件做出判断和决策,虚拟现实开辟了人类科研实践、生产实践和社会生活的崭新图式。

虚拟现实概念和研究目标的形成与相关科学技术,特别是计算机科学技术的发展密切相关。计算机的出现给人类社会的许多方面都带来极大的冲击,它的影响力远远地超出了技术的范畴。计算机的出现和发展已经在几乎所有的领域都得到了广泛的应用,甚至可以说计算机已经成为现代科学技术的支柱。当人们对目前已取得的信息技术的成就进行分析时,既要充分肯定历史上的各种计算机所发挥过的重要作用,又要客观地认识到现有计算机应用的局限性和不足之处。人们目前使用冯·诺依曼结构的计算机,必须把大脑中部分属于并发的、联想的、形象的和模糊的思维强行翻译成计算机所能接受的串行的、刻板的、明确的和严格遵守形式逻辑规则的机器指令,这种翻译过程不仅是十分繁琐和机械的,而且技巧性很强,同时还要因不同的机器而异。机器所能接受和处理的也仅仅是数字化的信息,未受过专业化训练的一般用户仍很难直接使用这种计算机。因此,在真正向计算机提出需求的用户和计算机系统之间存在着一条鸿沟,被求解的问题越综合、越形象、越直觉、越模糊,则用户和计算机之间的鸿沟就越宽。人们从主观愿望出发,十分迫切地想与计算机建立一个和谐的人机环境,使我们认识客观问题时的认识空间与计算机处理问题时的处理空间尽可能地一致。把计算机只善于处理数字化的单维信息改变为计算机也善于处理人能所感受到的、在思维过程中所接触到的、除了数字化信息之外的其他各种表现形式的多维信息。

计算机科学工作者有永恒的三大追求目标:使计算机系统更快速、更聪明和更适人。硬件技术仍将得到飞速的发展,但已不是单纯地提高处理速度,而是在提高处理速度的同时,更着重于提高人与信息社会的接口能力。正如美国数学家、图灵奖得主 Richard Hamming 所言:计算的目的是洞察,而不是数据^①。人们需要以更直观的方式去观察计算结果、操纵计算结果,而不仅仅是通过打印输出或屏幕窗口显示计算结果的数据。另一方面,传统上人们通过诸如键盘、鼠标、打印机等设备向计算机输入指令和从计算机获得计算结果。为了使用计算机,人们不得不首先熟悉这些交互设备,然后将自己的意图通过这些设备间接地传给计算机,最后以文字、图表、曲线等形式得到处理结果。这种以计算机为中心、让用户适应计算机的传统的鼠标、键盘、窗口等交互方式严重地阻碍了计算机的应用。随着计算机技术的发展,交互设备的不断更新,用户必须重新熟悉新的交互设备。实际上,人们更习惯于日常生活中的人与人、人与环境之间的交互方式,其特点是形象、直观、自然,通过人的多种感官接受信息,如可见、可听、可说、可摸、可拿等,这种交互方式也是人所共有的,对于时间、地点的变化是相对不变的。为了建立起方便、自然的人

^① The purpose of computing is insight, not numbers.

与计算机的交互环境,就必须适应人类的习惯,实现人们所熟悉和容易接受的形象、直观和自然的交互方式。人不仅仅要求能通过打印输出或显示屏幕上的窗口,从外部去观察处理的结果,而且要求能通过人的视觉、听觉、触觉、嗅觉,以及形体、手势或口令,参与到信息处理的环境中去,从而获得身临其境的体验。这种信息处理系统已不再是建立在一个单维的数字化信息空间上,而是建立在一个多维化的信息空间中,建立在一个定性和定量相结合,感性认识和理性认识相结合的综合集成环境中。Myron Krueger 研究“人工现实”的初衷就是“计算机应该适应人,而不是人适应计算机”,他认为人类与计算机相比,人类的进化慢得多,人机接口的改进应该基于相对不变的人类特性。

目前 CPU 的处理能力已不是制约计算机应用和发展的障碍,最关键的制约因素是人机交互技术(Human-Computer Interaction, HCI)。人机交互是研究人(用户、使用者)、计算机以及它们之间相互影响的技术;人机界面(User Interface)是人机交互赖以实现的软硬件资源,是人与计算机之间传递、交换信息的媒介和对话接口。人机交互技术是和计算机的发展相辅相成的,一方面计算机速度的提高使人机交互技术的实现变为可能,另一方面人机交互对计算机的发展起着引领作用。正是人机交互技术造就了辉煌的个人计算机时代(20 世纪八九十年代),鼠标、图形界面对 PC 的发展起到了巨大的促进作用。人机界面是计算机系统的重要组成部分,它的开发工作量占系统的 40%~60%。在虚拟现实技术中,人机交互不再仅仅借助键盘、鼠标、菜单,还采用头盔、数据手套和数据衣等,甚至向“无障碍”的方向发展,最终的计算机应能对人体有感觉,聆听人的声音,通过人的所有感官传递反应。虚拟现实技术采用人与人之间进行交流的方式(而不是以人去适应计算机及其设备的方式)实现人与机器之间的交互,根本上改变人与计算机系统的交互操作方式。

自 20 世纪 80 年代以来,随着计算机技术、网络技术等新技术的高速发展及应用,虚拟现实技术发展迅速,并呈现多样化的发展势态,其内涵已经大大扩展。现在,虚拟现实技术不仅指那些高档工作站、头盔式显示器等一系列昂贵设备采用的技术,而且包括一切与其有关的具有自然交互、逼真体验的技术与方法。虚拟现实技术的目的在于达到真实的体验和面向自然的交互,因此,只要是能达到上述部分目标的系统就可以称为虚拟现实系统。

1.2 虚拟现实技术的特征

虚拟现实是人们通过计算机对复杂数据进行可视化、操作以及实时交互的环境。与传统的计算机人一机界面(如键盘、鼠标、图形用户界面以及流行的 Windows 等)相比,虚拟现实无论在技术上还是思想上都有质的飞跃。传统的人一机界面将用户和计算机视为两个独立的实体,而将界面视为信息交换的媒介,由用户把要求或指令输入计算机,计算机对信息或受控对象做出动作反馈。虚拟现实则将用户和计算机视为一个整体,通过各种直观的工具将信息进行可视化,形成一个逼真的环境,用户直接置身于这种三维信息空间中自由地使用各种信息,并由此控制计算机。1993 年 Grigore C. Burdea 在 Electro 93

国际会议上发表的“Virtual Reality System and Application”一文中,提出了虚拟现实技术的三个特征,即:沉浸性、交互性、构想性,如图 1-1 所示。

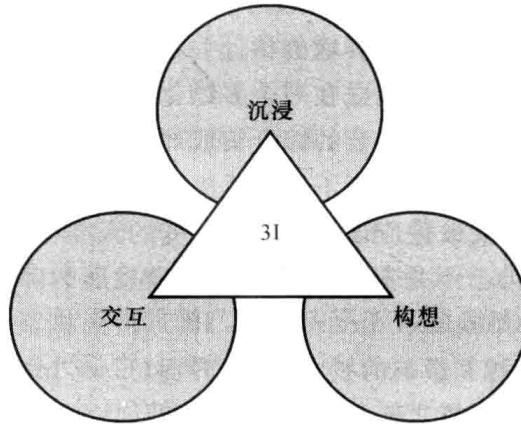


图 1-1 虚拟现实的 3I 特征

1.2.1 沉浸性

沉浸性(Immersion)又称临场感,指用户感到作为主角存在于模拟环境中的真实程度。虚拟现实技术根据人类的视觉、听觉的生理心理特点,由计算机产生逼真的三维立体图像,在使用者戴上头盔显示器和数据手套等设备后,便将自己置身于虚拟环境中,并可与虚拟环境中的各种对象相互作用,感觉十分逼真,就如同沉浸于现实世界中一般。理想的模拟环境应该使用户难以分辨真假,使用户全身心地投入到计算机创建的三维虚拟环境中,该环境中的一切看上去是真的,听上去是真的,动起来是真的,甚至闻起来、尝起来等一切感觉都是真的,如同在现实世界中的感觉一样。

1.2.2 交互性

交互性(Interactivity)是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(包括实时性)、虚拟场景中对象依据物理学定律运动的程度等,它是人机和谐的关键性因素。用户进入虚拟环境后,通过多种传感器与多维化信息的环境发生交互作用,用户可以进行必要的操作,虚拟环境中做出的相应响应,亦与真实的一样。例如,用户可以用手去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。

人机交互是指用户与计算机系统之间的通信,它是人与计算机之间各种符号和动作的双向信息交换。这里的“交互”定义为一种通信,即信息交换,而且是一种双向的信息交换,可由人向计算机输入信息,也可由计算机向使用者反馈信息。这种信息交换的形式可以采用各种方式出现,如键盘上的击键、鼠标的移动、现实屏幕上的符号或图形等,也可以用声音、姿势或身体的动作等。人机界面(也称为用户界面)是指人类用户与计算机系统之间的通信媒体或手段,它是人机双向信息交换的支持软件和硬件。这里的“界面”定义为通信的媒体或手段,它的物化体现是有关的支持软件和硬件,如带有鼠标的图形显示终

端。人机交互是通过一定的人机界面来实现的,在界面开发中有时把它们作为同义词使用。美国布朗大学 Andries van Dam 教授认为,人机交互的历史可以分为四个阶段,如图 1-2 所示:第一个阶段在 1950 年到 1960 年,计算机以批处理方式执行,主要的操作设备是打孔机和读卡机;第二个阶段从 1960 年一直到 20 世纪 80 年代早期,计算机以分时方式执行,主要的界面是命令行界面;第三个阶段大致从 20 世纪 70 年代早期直到现在仍然还在发展,主要的界面是图形用户界面,主要以鼠标操作那些使用桌面隐喻的界面,界面元素有窗口、菜单、图标等;第四个阶段除了有图形用户界面之外,如姿势识别、语音识别等的先进交互技术的广泛应用,实际上即为所谓的 Post-WIMP 界面。虚拟现实的交互性主要体现在对 Post-WIMP 界面的进一步发展上,是一种以人为中心,自然和谐、高效的人机交互技术。

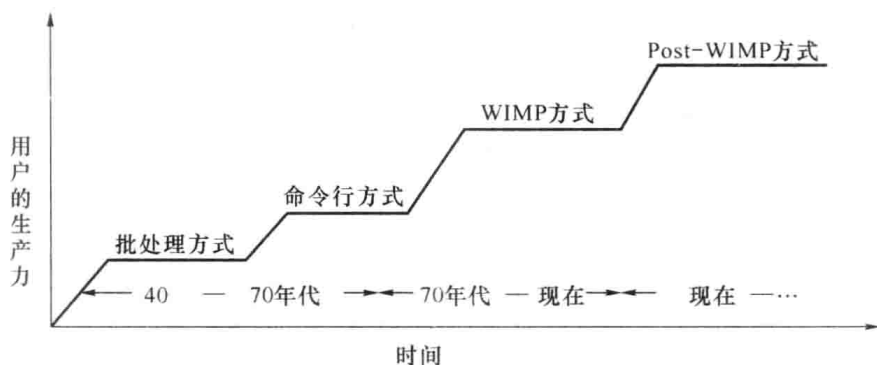


图 1-2 用户界面的发展

(1) 批处理方式

在计算机发展的初期,人们通过批处理的方式使用计算机,这一阶段的用户界面是通过打孔纸带与计算机进行的交互,输入设备是穿孔卡片,输出设备是行式打印机,对计算机的操作和调试,是通过计算机控制面板上的开关、按键和指示灯来进行。当时人机界面的主要特点是由设计者本人(或部门同事)来使用计算机,采用手工操作和依赖二进制机器代码的交互方式,这只是用户界面的雏形阶段。

(2) 命令行方式

20 世纪 50 年代中期,通用程序设计语言的出现为计算机的广泛应用提供了极为重要的工具,也改善了人与计算机的交互。这些语言中逐渐引入了不同层次的自然语言特性,人们可以较为容易地记忆这些语言。在人机界面上出现了用于多任务批处理的作业控制语言(JCL)。1963 年麻省理工学院成功地研发了第一个分时系统 CTSS,并采用多个终端和正文编辑程序,它比以往的卡片或纸带输入更加方便和易于修改。尤其是在出现交互显示终端后,广泛采用了“命令行”(Command Line Interface, CLI)作业语言,极大地方便了程序员。这一阶段的人机界面特点是计算机的主要使用者——程序员可采用正文和命令的方式和计算机打交道,虽然要记忆许多命令和熟练地敲键盘,但已经可用较多的手段来调试程序,并且了解计算机执行的情况。命令行界面概念模型如图 1-3 所示。

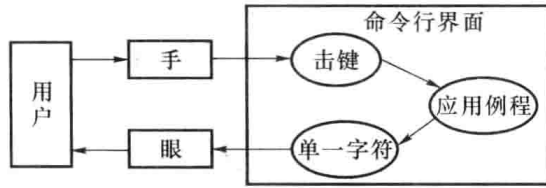


图 1-3 命令行界面概念模型

(3) 图形用户界面

为了摆脱需要记忆和输入大量键盘命令的负担,同时由于超大规模集成电路的发展、高分辨率显示器和鼠标的出现,人机界面进入了图形用户界面(Graphical User Interface, GUI)的时代。20 世纪 70 年代,Xerox 公司和 PARC 研究机构研究出第三代用户界面的雏形,即在装备有图形显示器和鼠标的工作站上采用 WIMP(Window, Icon, Menu, Pointing Device)式界面,通过“鼠标加键盘”的方式实现人机对话。WIMP 界面概念模型如图 1-4 所示。这种 WIMP 式界面以及“鼠标加键盘”的交互方式使交互效率和舒适性都有了很大提高,随后 Apple 公司的 Macintosh 操作系统、Microsoft 公司的 Windows 系统和 Unix 中的 Motif 窗口系统也纷纷效仿。由于图形用户界面使用简单,不懂计算机程序的普通用户也可以熟练地使用计算机,因而极大地开拓了计算机的使用人群,使之成为近二十年中占统治地位的交互方式。

图形用户界面的主要特点是桌面隐喻、WIMP 技术、直接操纵和所见即所得。

桌面隐喻(Desktop Metaphor):界面隐喻(Metaphor)是指用现实世界中已经存在的事物为蓝本,对界面组织和交互方式的比拟。将人们对这些事物的知识(如与这些事物进行交互的技能)运用到人机界面中来,从而减少用户必需的认知努力。界面隐喻是指导用户界面设计和实现的基本思想。桌面隐喻采用办公的桌面作为蓝本,把图标放置在屏幕上,用户不用键入命令,只需要用鼠标选择图标就能调出一个菜单,用户可以选择想要的选项。

WIMP 技术:WIMP 界面可以看作是命令行界面后的第二代人机界面,是基于图形方式的。WIMP 界面蕴含了语言和文化无关性,并提高了视觉搜索效率,通过菜单、小装饰(Widget)等提供了更丰富的表现形式。

直接操纵:直接操纵用户界面(Direct Manipulation User Interface)是 Schneiderman 在 1983 年提出来的,特点是对象可视化、语法极小化和快速语义反馈。在直接操纵形式下,用户是动作的指挥者,处于控制地位,从而在人机交互过程中获得完全掌握和控制权,同时系统对于用户操作的响应也是可预见的。

所见即所得(WYSIWYG):也称为可视化操作,使人们可以在屏幕上直接正确地得到即将打印到纸张上的效果。所见即所得向用户提供了无差异的屏幕显示和打印结果。

现有的 WIMP 界面完全依赖手控制鼠标和键盘的操作,手的交互负担很大,身体的其他部位无法有效参与到交互中来,而且交互过程仍然限制在二维平面,与真实世界的三维交互无法完全对应。随着计算技术的发展,人们对人机交互的方式不断提出更高的要求,希望以更自然舒适,更符合人自身习惯的方式与计算机进行交互,而且希望不再局限于桌面的计算环境。Andries Van Dam 于 1997 年提出了 Post-WIMP 的用户界面,他指

出 Post-WIMP 界面是至少包含了一项不基于传统的 2D 交互组件的交互技术的界面。基于以用户为中心的界面设计思想,力求为人们提供一个更为自然的人机交互方式。利用人的多种感觉通道和动作通道(如语音、手写、表情、姿势、视线、笔等输入),以并行、非精确的方式与计算机系统交互,可以提高人机交互的自然性和高效性,这种 Post-WIMP 界面更加适合人与虚拟环境的交互。目前,语音和手写输入在实用化方面已有很大进展,随着模式识别、全息图像、自然语言理解和新的传感技术的发展,人机界面技术将进一步朝着计算机主动感受、理解人的意图方向发展。以三维、沉浸感的逼真输出为标志的虚拟现实系统是多通道界面的重要应用目标。

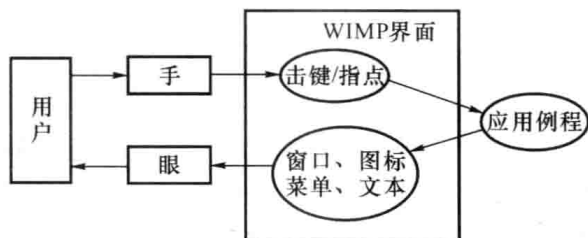


图 1-4 WIMP 界面概念模型

1.2.3 构想性

构想性(Imagination)是指强调虚拟现实技术应具有广阔的可想像空间,可拓宽人类认知范围,不仅可再现真实存在的环境,也可以随意构想客观不存在的甚至是不可能发生的环境。用户沉浸在“真实的”虚拟环境中,与虚拟环境进行了各种交互作用,从定性和定量综合集成的环境中得到感性和理性的认识,从而可以深化概念,萌发新意,产生认识上的飞跃。因此,虚拟现实不仅仅是一个用户与终端的接口,而且可以使用户沉浸于此环境中获取新的知识,提高感性和理性认识,从而产生新的构思。这种构思结果输入到系统中去,系统会将处理后的状态实时显示或由传感装置反馈给用户。如此反复,这是一个学习—创造—再学习—再创造的过程,因而可以说,虚拟现实是启发人的创造性思维的活动。

由于沉浸性、交互性和构想性三个特性的英文单词的第一个字母均为 I,所以这三个特性又通常被统称为 3I 特性。虚拟现实的三个特性生动地说明虚拟现实对现实世界不仅是在三维空间和一维时间的仿真,而且是对自然交互方式的虚拟。具有 3I 特性的完整虚拟现实系统不仅让人达到身体上完全的沉浸,而且精神上也是完全地投入其中。

1.3 虚拟现实技术的发展历程

虚拟现实的技术可以追溯到军事模拟,最初的模拟是用来训练飞行员能熟悉地掌握平时和紧急情况下的飞行环境,其实际的训练是通过将飞行员放在一个虚拟的环境中来完成的。这种模拟不仅用来培训喷气式飞机的飞行员,还可以用来培训操纵坦克、武器和

其他设备的军事人员。艾德温·林克(Edwin A. Link)是飞行模拟器的先驱。1904年出生,24岁时林克开始学习飞行,同期开始研制飞行训练器。他的家族工厂主要生产钢琴和管风琴。1929年,他运用相关技术制作了一台飞行训练器,可提供俯仰、滚转与偏航等飞行动作,乘坐者的感觉和坐在真的飞机上是一样的。这是世界上最早的飞行模拟器,因为模拟座舱被漆成蓝色,所以被称作“蓝盒子”。在第二次世界大战期间,Link公司生产了上万台的“蓝盒子”,大约每45分钟生产一架,被用来培训新飞行员,大约有30多个国家的50万名飞行员在林克机上进行过训练。如图1-5至图1-7所示为19世纪40年代,美国空军在C-3 Link Trainer中进行飞行模拟,教官通过电话发出指令,学员根据指令对模拟器进行相应的控制。



图 1-5 二战中美国空军基地的“蓝盒子”

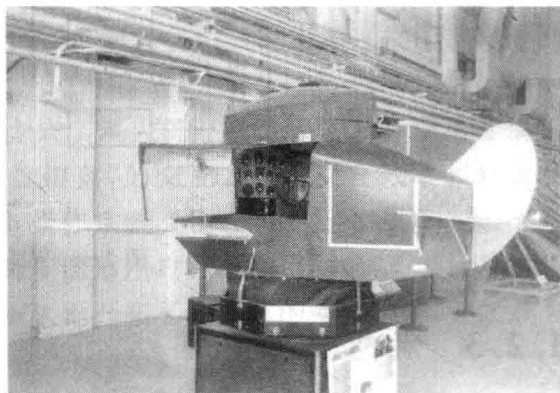


图 1-6 加拿大西部航空博物馆中的“蓝盒子”



图 1-7 C-3 Link Trainer

美国多媒体专家 Morton Heilig 在 1955 年发表论文“*The Cinema of the Future*”,认为电影院能够同时提供各种感知,使观众得到更真实的体验。1957年, Morton Heilig 研发了一种称为 Sensorama 的机器,内置 5 部较短的配套电影,是已知最早的沉浸式、多通道(multimodal)技术的具体应用之一,如图 1-8 所示。1992年 Howard Rheingold 在其“*Virtual Reality*”一书中描述了使用 20 世纪 50 年代生产的 Sensorama 机器的体验:骑车漫游纽约的布鲁克林区,不仅具有三维立体视频及立体声效果,还能产生振动、风吹的感觉及城市街道的气味,给人非常深刻的印象。1962年, Morton Heilig 的专利“全传感

仿真器”的发明,有振动、声的感觉。该专利也蕴涵了虚拟现实技术的思想,在一些文献中 Morton Heilig 也被称为虚拟现实之父。Sensorama 是机械式的设备,而非数字化系统,只允许一个观众观看,不能交互。

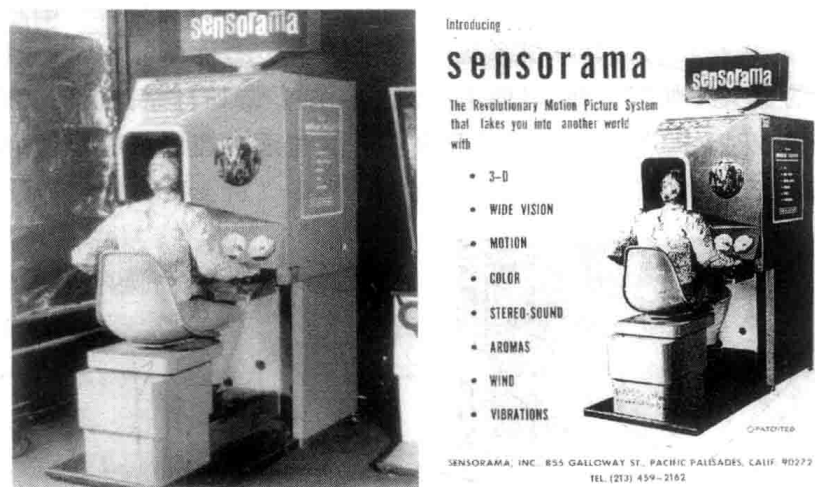


图 1-8 Sensorama 及其广告

1965年,由美国的计算机科学家、计算机图形学的奠基者苏泽兰(Ivan Sutherland)发表了一篇名为《终极显示》(The Ultimate Display)的论文。他认为,计算机生成的图像应该非常逼真,以至于计算机生成的场景与真实生活的场景毫无二致。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研究虚拟现实的开端,因此苏泽兰被称为计算机图形学之父、虚拟现实之父。1966年,苏泽兰在麻省理工学院的林肯实验室开始研制“达摩克里斯之剑”头盔显示器(给用户戴的头盔显示器由于过于沉重,不得不将其悬吊在天花板上,系统因此而得名),它被认为是世界上第一个头盔显示器(Head Mounted Display, HMD),如图 1-9 所示。它由六个系统组成:一台 TX-2 型电脑、一个限幅除法器、一个矩阵乘法器、一个矢量生成器、一个头盔和一个头部位位置传感器。为了使头盔显示器显示出图像,苏泽兰采用了阴极射线管。这个系统能够显示出具有简单 3D 几何形状的线框图,用户看到的线框图叠加在真实环境之上。1968年,苏泽兰在哈佛大学的组织下开发出第一个计算机图形驱动的头盔显示器,并且开发了与 HMD 相配的头部位位置跟踪系统。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。人们终于通过这个“窗口”看到了一个虚拟的、物理上不存在的,却与客观世界的物体十分相似的三维“物体”的线框图。1970年,美国的 MIT 林肯实验室研制出了第一个功能较齐全的 HMD 系统。

看到虚拟物体的人们进一步想去控制这个虚拟物体,去触摸、移动、翻转这个虚拟物体。1971年, Frederick Brooks 研制出具有力反馈的原型系统 Gropo-II,用户通过操纵一个机械手设备,可以控制“窗口”里的虚拟机械手去抓取一个立体的虚拟物体,并且人手能够感觉到虚拟物体的重量。1975年, Myron Krueger 提出“Artificial Reality”(人工现实)的概念,并演示了一个称为“Videoplance”的环境。用户面对投影屏幕,摄像机摄取的用户

身影轮廓图像与计算机产生的图形合成后,在屏幕上投射出一个虚拟世界。同时用传感器采集用户的动作,来表现用户在虚拟世界中的各种行为。以 VIDEOPLACE 为原型的 VIDEO-DESK 是一个桌面 VR 系统。用户坐在桌边并将手放在上面,旁边有一架摄像机摄下用户手的轮廓并传送给不同地点的另一个用户,两个人可以相互用自然的手势进行信息交流。同样,用户也可与计算机系统用手势进行交互,计算机系统从用户手的轮廓图形中识别手势的含义并加以解释,以便进一步地控制。诸如打字、画图、菜单选择等操作均可以用手势完成。VIDEOPLACE 对于远程通信和远程控制很有价值,如用手势控制远处的机器人等。

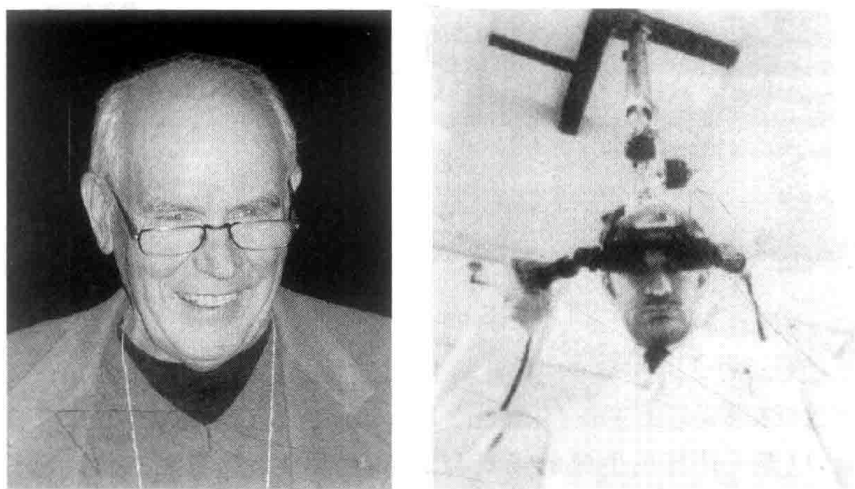


图 1-9 Ivan Sutherland 及其头盔显示器

1983 年,美国国防部高级研究计划局(Defense Advanced Research Projects Agency, DARPA)和美国军队联合实施了仿真网络(Simulation Networking, SIMNET)计划,通过网络把地面车辆(坦克、装甲车)等模拟器连接在一起,形成一个逼真的虚拟战场,进行队组级的协同作战训练和演习。这个尝试的主要动因是为了减少训练费用,而且也为了提高安全性,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)。这项计划的结果是产生了使在美国和德国的二百多个坦克模拟器联成一体 SIMNET 模拟网络。每个 SIMNET 模拟器是一个独立的装置,它复现 M1 主战坦克的内部,包括导航设备、武器、传感器和显示器等。车载武器、传感器和发动机由车载计算机动态模拟,该计算机还包含整个虚拟战场(最初模拟的是在德国和中欧的 $50\text{ km} \times 75\text{ km}$ 的战场,以后又增加了科威特战区)的数据库备份。所有这些数据库都准确地复现了当地的地形特点,包括植被、道路、建筑物、桥梁等。坦克乘员之间的通信是借助于车内通信系统实现的,而其他模拟器之间的通信则通过远程网络由语音和电子报文实现。到 1990 年,这个系统包括了约 260 个地面装甲车辆模拟器和飞机飞行模拟器,以及通讯网络、指挥所和数据处理设备等,这些设备和人员分布在美国和德国的 11 个城市。通过这个系统可以训练军事人员和团组,也可对武器系统的性能进行研究和评估。这就是早期的分布交互式仿真系统 Distributed Interactive Simulation, DIS)。分布交互式仿真也称为先进分布仿真,是指以计算机网络为支持,用网络将分布在不同地理位置的不同类型的仿真实体对象联结起来,