

虚拟现实技术应用和


KINECT


开发

——基于煤层气仿真训练系统

VIRTUAL REALITY TECHNOLOGY APPLICATION AND KINECT DEVELOPMENT

曹林 朱希安◎著

 中国工信出版集团

 电子工业出版社
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY
<http://www.phei.com.cn>

虚拟现实技术应用和 Kinect 开发 ——基于煤层气仿真训练系统

曹 林 朱希安 著

電子工業出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京 · BEIJING

内 容 简 介

本书依托国家科技重大专项项目——煤层气田地面集输信息集成及深度开发技术(2011ZX05039-004-02),借助于虚拟现实技术,开发一套专门应用于煤层气集输系统安全操作的仿真训练系统。本书详细介绍了虚拟现实技术以及煤层气产业的研究现状、煤层气仿真训练系统的应用与需求分析,然后介绍煤层气仿真训练系统的开发平台、总体设计、系统模型的构建,以及系统的演示模式、向导模式和人机交互,最后还介绍了数据手套在系统的研究与应用、Kinect的开发及应用。

本书内容新颖、层次清晰,适合从事相关理论研究及应用的专业人士和高校师生参考使用。

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。
版权所有,侵权必究。

图书在版编目(CIP)数据

虚拟现实技术应用和 Kinect 开发:基于煤层气仿真训练系统 / 曹林, 朱希安著—北京:电子工业出版社, 2015.6

ISBN 978-7-121-25979-1

I. I 虚... II. I 曹... ②朱... III. I 数字技术—计算机仿真—应用—煤层—地下气化煤气—地下开采
IV. I P618.11-39

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 089310 号

责任编辑:董亚峰 特约编辑:王 纲

印 刷:涿州市京南印刷厂

装 订:涿州市京南印刷厂

出版发行:电子工业出版社

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编 100036

开 本:787×1092 1/16 印张:20 字数:487 千字

版 次:2015 年 6 月第 1 版

印 次:2015 年 6 月第 1 次印刷

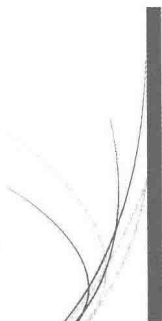
定 价:49.00 元

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题,请向购买书店调换。若书店售缺,请与本社发行部联系,联系及邮购电话:(010)88254888。

质量投诉请发邮件至 zllts@phei.com.cn, 盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

服务热线:(010)88258888。

前言



随着计算机和信息技术的日新月异，以微电子技术为基础的信息技术迅猛发展，由此带来了多媒体技术的突飞猛进和广泛应用，人们不再从事枯燥乏味的数据输入，而是进入了丰富多彩的图形世界。但目前这种二维图形接口存在严重的局限，与人的自然感知习惯有本质区别，因而仍被称为以计算机为中心的接口技术。

虚拟现实技术是对现实世界进行多维时空的仿真技术，除了对三维空间和一维时间仿真外，还包含对自然交互方式的仿真。是可以模拟人类视觉、听觉、触觉等感知行为的高度逼真的人机交互技术。是计算机图形学、多媒体技术、人机接口技术、计算机仿真技术及传感器技术等多种信息技术的基础上发展起来的一门多学科的交叉技术。虚拟现实技术具有以下几个特征。

1. 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。在虚拟现实的环境中，用户能感到自己成为了一个“发现者和行动者”。
2. 交互性（Interaction），是指用户可以对虚拟环境中的物体进行操作，并得到即时的反馈。
3. 想象性（Imagination）指虚拟的环境是人想象出来的，同时这种想象体现出设计者相应的思想，因而可以用来实现一定的目标。

从虚拟现实的特点可以看出，虚拟现实技术给人提供了一个类似真实的虚拟环境，在这个虚拟环境中，人们可以借助交互技术像在现实世界中一样进行活动。在煤层气行业，由于工作环境复杂，利用虚拟现实技术进行煤层气作业培训具有明显的优势。相对传统的培训方式，在煤层气行业中运用虚拟现实技术具有如下优势。

1. 提供逼真的虚拟场景，使受训者不必亲到现场而能经历真实环境的体验。



2. 提供清晰的画面，使受训者能全方位清晰的了解作业环境。
3. 不受训练环境的限制，受训者可以在任何复杂、危险的环境中接受训练。
4. 避免误操作造成的人员伤亡和设备损坏，能有效地降低培训成本。

在煤层气的工业生产中，工作环境相对比较复杂，对矿工的安全教育和技术训练也相对困难，由于新技术、新设备的不断引进，训练方式也越来越复杂。传统的教育模式很难适应现代化工业安全生产的要求，而随着虚拟现实技术的迅猛发展以及在许多领域的成功应用，将该技术引入工业生产中可以解决许多问题。利用虚拟现实技术虚拟出井上和井下各种复杂的作业环境，真实还原地形地貌、管线与设备等情况，实现三维虚拟场景的虚拟漫游、勘察和生产作业相关的人机交互功能，使训练者身临其境去体验和感受，并从中学会如何采取有效的应急措施去处理各种险情，排除隐患。由于“虚拟环境”所具有的交互性，使得受训者能够迅速理解和掌握那些在书面资料上很难理解的内容，操作方法的学习、工作技巧的掌握等也变得非常简单和容易。与传统的训练模式相比，效果明显而且节约成本，可以更快提高训练者的作业素质，促进企业生产效益的提高。

本书依托国家科技重大专项专题项目——煤层气田地面集输信息集成及深度开发技术(2011ZX05039-004-02)，借助于虚拟现实技术，开发一套专门应用于煤层气集输系统安全操作的仿真训练系统，该系统通过为受训者提供逼真的煤层气集输工作的虚拟场景，使受训者能够在视、听、触觉多维空间中接受类似实地的作业训练。本书共分 10 章，其中第 1、3、4、5、9、10 章由曹林撰写，第 2、6、7、8 由朱希安撰写，全书由曹林统稿。各章节主要内容如下。

第 1 章介绍了虚拟现实技术的研究现状及技术特征分类，分析了虚拟现实技术的主要特性，重点介绍了虚拟现实系统的硬件设备和人机交互技术，并探讨了煤层气行业的发展状况以及该行业发展信息技术的进程。

第 2 章介绍了煤层气仿真训练系统的开发平台。包括统一建模语言(UML)及其应用；系统所使用的编程语言 C#及其开发工具 Visual Studio 2010；Unity3D 开发平台特点和 Unity3D 在本系统中的应用；最后，介绍了 3ds Max 建模工具及其特点与应用，以及本系统中运用 3ds Max 所构建的几个典型的 3D 模型。

第 3 章给出了煤层气仿真训练系统的设计原则、定位、技术指标以及模块设计方法，并详细阐述了系统模块的设计方案、设计图及一些重要功能。该系统共分为 6 个模块，分别是任务系统模型、设备操作系统模块、仿真系统模块、流程演示系统模块、文字语音系统模块以及输入输出系统模块。

第 4 章提出了系统模型的构建方法，包括场景模型和实体模型。用图像和几何相结合的方法构建了煤层气集输现场各种设备仪器的模型，如压缩机、稀油站、空冷器、分离器等。在建模的基础上，根据实际采集到的场景数据对系统的五大基站进行了还原。

第 5 章开发了一套系统的演示模式，旨在全面立体地向用户展现煤层气行业的主要流

程, 让用户快速了解整个煤层气环境和基础知识。在全景演示模式中, 用户可以观察煤层气集输过程中气体在设备间的流向。在第三人称演示模式中, 用户以第一视角跟随气体流动, 每经过一处设备就会围绕该设备旋转并以语音的形式给出该设备的信息与简单原理, 使用户得到该设备的更多细节信息。

第 6 章以增压站为主要场景介绍了系统的向导模式。使用者在向导模式中跟随 NPC 完成场景任务, 熟悉各种仪器设备的作用及其操作流程。此外, 本章还给出了向导模式中设备操作模块、文字语音模块及面板模块的核心代码。

第 7 章以单井、集气站和加压站等场景为基础, 讨论系统的人机交互。在系统的人机交互过程中, 提供了可自由移动、自由旋转视角的虚拟人物, 由用户独立完成任务, 既没有向导带领, 也没有提示面板。此外, 本章还详细讨论了煤层气仿真训练系统中人机交互的任务设计、设备操作以及仿真系统, 不仅有详细的功能介绍, 而且提供了完整的脚本代码。

第 8 章主要研究数据手套在系统中的应用, 实现数据手套控制场景中的虚拟手进行抓取、旋转等操作。本章重点讨论了虚拟现实中的碰撞检测问题, 概述了包围盒算法的原理和类型, 并通过分析碰撞检测在虚拟手交互过程中的重要性, 结合系统提出了一种基于射线的虚拟手的碰撞检测算法, 可以利用射线的特性来解决虚拟手因无力反馈设备而经常出现的穿透现象。

第 9 章介绍了微软 Kinect 传感器的相关应用。首先对 Kinect 的结构和硬件设备做了全面的剖析, 然后重点分析了 Kinect 的工作原理、深度图像成像原理和骨骼追踪原理, 并为后续的应用开发提供了重要的支撑。

第 10 章对人机交互技术中关于 Kinect 的应用开发做了较为深入的扩展, 研究了 Adaboost 算法与 Kinect 相结合的人体动作识别算法, 提出了基于 Kinect 传感器骨骼信息的人体动作识别算法和基于 Kinect 骨骼关节空间位置的动作识别算法。

本书所涉及的主要内容来源于煤层气田地面集输虚拟现实仿真系统的相关实现, 同时广泛参考了国内外同行的研究成果。本书的出版得到了国家科技重大专项——煤层气田地面集输信息集成及深度开发技术(项目编号: 2011ZX05039-004-02)和北京市属高校青年拔尖人才培养计划——智能视频行人检测与异常行为识别研究(项目编号: CIT&TCD201304119)等科研项目的资助, 在此一并表示感谢。

由于时间仓促, 书中难免存在不足, 欢迎读者对本书批评指正。

作者

2015 年 4 月 28 日

中国北京

目 录



第 1 章 概述	1
1.1 虚拟现实概念与研究现状	1
1.1.1 虚拟现实技术的概念	1
1.1.2 虚拟现实研究领域的形成	2
1.1.3 国外虚拟现实技术的研究现状	5
1.1.4 国内虚拟现实技术的研究现状	7
1.1.5 虚拟现实技术的应用领域	8
1.2 虚拟现实技术的特征与分类	12
1.2.1 虚拟现实的 3I 特征	12
1.2.2 虚拟现实系统的分类	14
1.3 虚拟现实系统的硬件设备	16
1.3.1 立体显示设备	16
1.3.2 人机交互设备	19
1.3.3 位置跟踪设备	20
1.3.4 声音输出设备	21
1.4 虚拟现实的相关技术	22
1.4.1 虚拟现实建模技术	22
1.4.2 虚拟现实人机交互技术	23
1.5 煤层气产业的发展状况	24
1.5.1 国外煤层气产业的发展状况	25
1.5.2 国内煤层气产业的发展状况	27
1.5.3 虚拟现实技术在煤层气产业中的应用	28
1.6 煤层气仿真训练系统的应用与需求分析	29

1.6.1	煤层气仿真训练系统的应用概述	29
1.6.2	煤层气仿真训练系统的核心系统	29
1.6.3	煤层气仿真训练系统的特色功能	31
1.7	本章小结	33
第 2 章	系统的开发平台	34
2.1	UML	34
2.1.1	UML 概述	35
2.1.2	UML 的应用	35
2.2	C#编程语言	36
2.2.1	C#概述	36
2.2.2	Visual Studio 2010 开发环境	37
2.3	Unity3D 开发平台	38
2.3.1	Unity3D 概述	38
2.3.2	Unity3D 在煤层气仿真训练系统中的应用	42
2.4	3ds Max 虚拟建模工具	43
2.4.1	3ds Max 概述	43
2.4.2	3ds Max 的应用	45
2.5	本章小结	48
第 3 章	系统的总体设计	49
3.1	系统定位	49
3.2	系统设计原则	50
3.3	系统模块设计	50
3.3.1	任务系统模块	50
3.3.2	设备操作系统模块	57
3.3.3	仿真系统模块	58
3.3.4	流程演示系统模块	60
3.3.5	文字语音系统模块	62
3.3.6	输入、输出系统模块	62
3.4	本章小结	63
第 4 章	系统模型的构建	64
4.1	三维建模基础知识	64
4.1.1	几何建模	64
4.1.2	图像建模	66
4.1.3	物理建模	66
4.1.4	运动建模	67
4.1.5	行动建模	68
4.2	实体模型的构建	68
4.2.1	实体建模软件	69

4.2.2	图像与几何相结合的建模方法	69
4.2.3	设备建模	70
4.3	场景模型的构建	73
4.3.1	分场景与模块设计	74
4.3.2	主场景	74
4.3.3	增压站	74
4.3.4	加气站	75
4.3.5	集气站	76
4.3.6	电潜泵单井	76
4.3.7	磕头机单井	77
4.4	模型真实感处理	77
4.4.1	纹理映射	77
4.4.2	细节等级技术	78
4.4.3	光照和着色	78
4.5	用户界面	79
4.5.1	界面设计的必要性	79
4.5.2	任务提示面板	80
4.5.3	操作界面可变图标	80
4.5.4	操作界面固定图标	80
4.5.5	实体模型指示物	81
4.5.6	文字描述框	81
4.6	本章小结	81
第 5 章	系统的演示模式	82
5.1	演示模式简介	82
5.2	演示模式的设计思路	83
5.3	全景演示模式	86
5.3.1	系统核心模块代码	86
5.3.2	点击操作与按钮操作示例	89
5.4	第一人称视角演示模式	90
5.4.1	系统核心模块代码	90
5.4.2	第一人称视角演示模式操作示例	101
5.5	演示模式在 Unity3D 中的实现	102
5.5.1	全景演示模式的配置	102
5.5.2	第一人称视角演示模式的配置	104
5.6	本章小结	107
第 6 章	系统的向导模式	108
6.1	向导模式简介	108
6.2	向导模式的任务设计	108
6.2.1	任务系统核心模块代码	108



6.2.2	老工人 NPC 的控制代码	117
6.2.3	路径代码	126
6.2.4	avatar 跟随 NPC 代码实现	127
6.3	向导模式的设备操作	129
6.3.1	InteractiveObject	129
6.3.2	avatar 的控制脚本	134
6.3.3	可交互物体的控制脚本	141
6.4	向导模式的文字语音	151
6.4.1	背景音乐控制	151
6.4.2	语音系统	152
6.4.3	文字系统	153
6.5	向导模式的面板设计	155
6.5.1	MsUi	156
6.5.2	UIButtonMessage	161
6.6	本章小结	164
第 7 章	煤层气仿真训练系统的人机交互	165
7.1	人机交互简介	165
7.2	人机交互的任务设计	166
7.3	人机交互的设备操作	172
7.3.1	抽油机单井场景中可交互物体的控制脚本	173
7.3.2	电潜泵单井基站场景中可交互物体的控制脚本	176
7.3.3	加压机场景中可交互物体的控制脚本	185
7.4	人机交互的仿真系统	198
7.5	本章小结	202
第 8 章	数据手套相关技术的研究与应用	203
8.1	数据手套简介	203
8.2	数据手套的工作原理和功能	204
8.2.1	数据手套的原理概述	204
8.2.2	SDT 数据手套的原理和功能介绍	204
8.3	数据手套在系统中的应用	206
8.3.1	DataGloveContent	206
8.3.2	DataGloveSupport	215
8.4	数据手套碰撞检测	221
8.4.1	层次包围盒	222
8.4.2	基于虚拟手的运动方向的动态碰撞检测算法	225
8.5	本章小结	230
第 9 章	Kinect 初探	231
9.1	Kinect 硬件设备	232

9.1.1 核心芯片	234
9.1.2 摄像头	234
9.1.3 麦克风阵列	236
9.1.4 传动马达	236
9.1.5 其他部件	237
9.2 Kinect 工作原理	239
9.2.1 深度图像成像原理	239
9.2.2 骨骼追踪原理	240
9.3 Kinect 底层开发接口	242
9.3.1 Kinect SDK 系统架构	243
9.3.2 数据流处理	244
9.3.3 骨骼追踪	248
9.3.4 坐标变换	252
9.4 本章小结	254
第 10 章 Kinect 开发与应用	255
10.1 结合 Kinect 和 Adaboost 算法的动作识别开发	255
10.1.1 人体动作识别的系统构架	255
10.1.2 动作特征曲线的获取	257
10.1.3 动作特征集与强分类器的获取	260
10.1.4 动作识别与结果分析	262
10.2 基于 Kinect 骨骼空间几何角度的动作识别开发	264
10.2.1 基于 Kinect 获取骨骼数据及骨骼拓扑结构	264
10.2.2 提取感兴趣骨骼关节点及定义骨骼向量	265
10.2.3 提取骨骼向量的方向余弦特征	266
10.2.4 采用支持向量机 (SVM) 训练	267
10.2.5 动作识别结果分析	268
10.3 基于 Kinect 骨骼关节点空间位置的动作识别开发	271
10.3.1 动作的分类	271
10.3.2 单个动作识别算法	272
10.3.3 动作识别的系统实现	277
10.4 Kinect 在煤层气仿真训练系统中的应用开发	284
10.4.1 Kinect 插件使用说明	284
10.4.2 Kinect 输入系统设计思路	285
10.4.3 Kinect 输入系统具体设计	286
10.4.4 Kinect 用户操作说明	302
10.5 本章小结	303
展望	304
参考文献	306

第 1 章

概 述

随着计算机和信息技术的日新月异，以微电子技术为基础的信息技术迅猛发展，由此带来了多媒体技术的突飞猛进和广泛应用，人们不再从事枯燥乏味的数据输入，而是进入了丰富多彩的图形世界。但目前这种二维图形接口存在严重的局限，与人的自然感知习惯有本质区别，因而仍被称为以计算机为中心的接口技术。

近年来在计算机技术迅速发展的同时，人们开始感到一种困惑：人认识世界的原本方式是通过自身的各种感官和认知能力来获取信息。这样的信息是多维的、形象的，甚至是模糊的。但目前通用的冯·诺依曼式计算机处理的仅仅是单维的数字化信息。在自己的数字计算机面前，人们不得不按照严格、刻板的规则把这些信息编译成单维的抽象的数字信息，人们从计算机中获取的也是单维的信息，从而造成了人去适应计算机，人围着计算机转的状况。而人们往往擅长并习惯于通过视觉、听觉、触觉、嗅觉、味觉以及形体、手势或口令这种多维的形式，参与到信息处理的环境中去。现在人们难以将自己感知的多维信息化空间与数字计算机的单维信息化空间融合起来，人机间有一道很深的隔阂。人们希望未来的人机接口以人为中心，且具有多模输入、输出，即对应人的多种自然感知模式，例如视觉、听觉、触觉，并能以自然语言对话。“需求牵引，技术推动”，由于有上述需求以及信息技术、传感技术、计算机仿真学、生理学、心理学等科学技术的发展与推动，虚拟现实技术应运而生。

1.1 虚拟现实概念与研究现状

1.1.1 虚拟现实技术的概念

虚拟现实（Virtual Reality, VR），又称灵境、幻真，是以计算机技术为核心，结合相关科学技术，生成与一定范围真实环境在视觉、听觉、触感等方面高度近似的数字化三维

环境，用户借助必要的装备与数字化环境中的对象进行交互并相互影响，从而产生置身于相应的真实环境中的虚幻感和沉浸感。虚拟现实是人类在探索自然、认识自然的过程中创造的一种用于认识自然、模拟自然，进而更好地适应和利用自然的科学方法和科学技术。

从某种角度而言，虚拟现实可看做以人为主体的更高层次的接口技术，通过视觉、听觉、触觉等信息渠道来感受用户的思想，它包含以下几层含义。

1. 虚拟环境

虚拟现实最重要的是虚拟环境，或者说虚拟世界的搭建，它不仅重视文本、图像、声音、语言、动画等多种媒体元素，更重要的是强调综合各种媒体元素构成一个与真实环境高度近似的三维感官世界，如图 1.1 所示为一个虚拟社区。

2. 自然人机交互

系统的人机交互功能是决定该系统“友善性”的一个重要因素。传统的人机接口以计算机为主体，人通过传统的键盘、鼠标等被动地与计算机进行交互，这使得人的感知与数字化世界有着很深的隔阂。而虚拟现实的交互方式强调以人为主体，通过专业的传感设备，例如立体显示器、数据手套、立体眼镜、Kinect 传感器等，实现人的视觉、听觉、触觉等感知参与虚拟世界的自然人机交互（图 1.2）。



图 1.1 虚拟社区

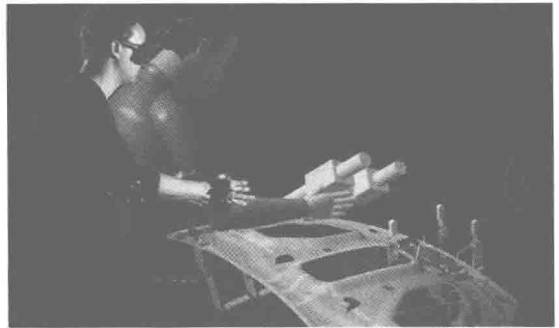


图 1.2 用户通过专业传感设备与虚拟系统交互

3. 身临其境感

传统的交互方式使得人们只能按照一定的操作被动、非感知地与计算机互动，从而导致用户产生约束感、疲倦感。而虚拟现实技术旨在给用户带来一种犹如身处真实环境的虚幻感，用户在虚拟世界中能够非常自然、和谐地参与其中的各种互动，能够消除用户的枯燥、乏味和被动感，带给用户非凡的体验。

1.1.2 虚拟现实研究领域的形成

随着人们不断探索自然、推动科技发展，虚拟现实技术逐渐兴起，它的发展与相关科

学技术，特别是计算机技术的发展密切相关，其发展过程大体分为萌芽阶段（20 世纪 70 年代以前）、初步形成阶段（20 世纪 70~90 年代）、技术与应用飞速发展阶段（20 世纪 90 年代至今）。

1. 萌芽阶段（20 世纪 70 年代以前）

1929 年，具有 27 项专利的发明家 Link E. A. 发明了一种飞行模拟器，如图 1.3 所示，使乘坐者实现了对飞行的一种真实体验感。可以说这是人类模拟仿真物理现实的初次尝试。随后由于控制技术的不断发展，各种仿真模拟器陆续问世。

1956 年，Morton Heilig 开发了一个摩托车仿真器 Sensorama，如图 1.4 所示。其具有三维显示及立体声效果，并能产生振动感觉。1962 年，他在美国获得的名为“Sensorama Simulator（全传感仿真器）”的专利中已蕴涵了虚拟现实技术的思想。

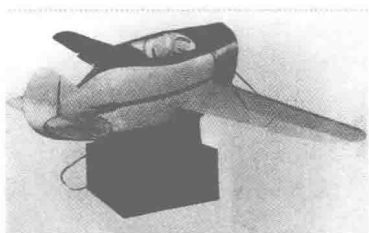


图 1.3 Link E. A. 发明的一种飞行模拟器 图 1.4 Morton Heilig 开发的摩托车仿真器 Sensorama

微电子技术的快速发展及计算机逐渐小型化，推动了仿真技术的发展，逐步形成了计算机仿真技术学科，这也被认为是虚拟现实技术的前身。

1965 年，计算机图形学的奠基者、美国著名的科学家 Ivan Sutherland 教授在国际信息处理联合大会上提出了“*The Ultimate Display*（终极的显示）”的概念，他以独特的见解和丰富的想象力描绘了一种新的图形显示技术，他设想的该技术不需要借助计算机屏幕这个窗口来观察生成的虚拟世界，观察者可以直接沉浸在计算机控制的虚拟环境中，犹如置身在日常生活的真实世界之中。而且，随着观察者在虚拟环境中任意转动身体，其所见的场景便会相应改变。同时，观察者还能以自然的方式与虚拟世界中的对象进行交互，例如用手、脚等身体部位去触摸感知和控制虚拟世界中的对象等。Sutherland 教授描绘的这种模拟现实世界的思想推动了计算机图形学的发展，也给后续头盔显示器等新型人机交互设备的研究带来了启发。

1966 年，Sutherland I. E. 等开始研究头盔式显示器（*Head Mounted Display, HMD*），如图 1.5 所示，它利用两个可以戴在眼睛上的阴极射线管研制而成。随后又将模拟力和触觉的反馈装置加入系统中，研制出一个功能较为齐全的头盔式显示器。该显示器为人的每只眼睛显示独立的

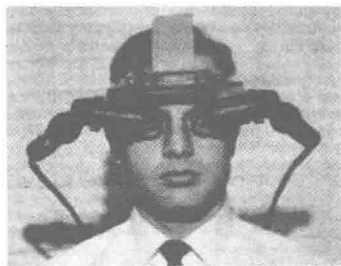


图 1.5 头盔式显示器

图像，并提供与机械或超声波跟踪器的接口。

1973 年，Krueger M. 提出了“Artificial Reality”一词，其中蕴涵了虚拟现实的含义。

由于受到计算机技术等相关学科技术发展的限制，大体上说，20 世纪 70 年代之前，虚拟现实技术的发展处于思想萌芽阶段。

2. 初步形成阶段（20 世纪 70~90 年代）

1976 年，Myron Krueger 完成了 Videoplace 的原型，他使用摄像机和其他输入设备创建了一个由参与者动作控制的虚拟世界。

进入 20 世纪 80 年代后，随着计算机技术和计算机网络的快速发展，虚拟现实技术也加快了前进的步伐，这一时期出现了典型的虚拟现实系统。

1983 年，美国陆军和美国国防部先进研究项目局(DARPA)共同制定并实施了 SIMNET (Simulation Networking) 计划，开创了分布交互仿真技术的研究和应用。SIMNET 的一些成功技术和经验对分布式虚拟现实技术的发展有着重要影响。

1984 年，美国国家航空航天局(NASA)研究中心虚拟行星探测实验室的 McGreevy M. 和 Humphries J. 开发了用于火星探测的虚拟环境视觉显示器，将火星探测器发回的数据输入计算机，为地面的研究员构造了三维虚拟火星表面环境。

1986—1987 年间，诸多学者发表了许多虚拟现实系统研究方面的论文，具有代表性的有 Foley 在颇具影响力的《Scientific American Magazine》杂志上发表的题为“Interfaces for advanced computing”的文章。而且该杂志还刊登了有关数据手套研究的论文，引起了人们的关注。

1989 年，美国 VPL 公司创始人 Jaron Lanier 正式提出了“Virtual Reality”一词，这一词语很快被研究人员普遍接受，迅速成为该学科领域的专用名词。

3. 技术与应用飞速发展阶段（20 世纪 90 年代至今）

进入 20 世纪 90 年代以后，随着高性能计算机技术、个人计算机、计算机网络与通信、自然人机交互设备等新型技术的不断突破和高速发展，以及军事、医疗、航空航天等复杂环境领域对虚拟现实技术应用的巨大需求日益凸显，促使虚拟现实技术及其应用进入了飞速发展阶段。

1990 年，SIGGRAPH 会议在美国 Dallas 召开，该会议对虚拟现实技术展开了讨论，并且提出了该技术的主要研究内容是实时三维图形生产技术、多传感器交互技术、高分辨率现实技术等。

1993 年，Heim 提出了一种观点，即“虚拟现实是一种在效应上而不是事实上真实的事件或实体”，他还提出了虚拟现实的 7 个特征：模拟性、人工现实、沉浸性、遥在、交互作用、全身沉浸和网络通信。

1996 年，世界上第一个虚拟现实博览会在伦敦开幕。全世界的人们都可以通过 Internet 坐在家中参观一个没有场地、没有工作人员、没有真实展品的虚拟博览会。这一博览会是由英国虚拟现实技术公司和英国《每日电讯报》电子版联合举办的。它是世界上率先使用



虚拟现实技术实现的博览会，开辟了高新科技应用的新天地，具有广阔的市场前景。

1.1.3 国外虚拟现实技术的研究现状

1. 美国

美国是虚拟现实技术的发源地，它在该领域的研究一直处于世界领先地位。最初的研究应用主要集中在美国军方对飞行驾驶员与宇航员的模拟训练。然而，随着冷战后美国军费的削减，这些技术逐步转为民用。目前美国在该领域的基础研究主要集中在感知、用户界面、后台软件和硬件4个方面。

美国国家航空航天局(NASA)成立于1958年，是世界上最大的空间开发机构。NASA已经建立了航空、卫星维护VR训练系统，空间站VR训练系统，以及可供全国使用的VR教育系统。NASA下辖10个研究中心，其中支持VR技术研发最多的是艾姆斯研究中心(ARC)。艾姆斯研究中心是美国信息技术的领先研究机构之一，其研究重点是高性能计算、网络技术和智能系统。其中与VR关系最为密切的是中心下设的探索技术理事会下的人机综合处(HSID)，该处主要研究领域为虚拟航空建模仿真、平视显示器、虚拟环境界面等。艾姆斯研究中心开展了一系列的虚拟现实研究项目，如“虚拟行星探索(VPE)”的实验计划，设立未来飞行中心(Future Flight Central)，利用VR技术评估跑道安全等。

美国国防部(DOD)非常重视VR技术的研发和应用。VR技术在武器系统性能评价、武器操纵训练及指挥大规模军事演习等方面发挥着重要作用。除DARPA以外，美国军方的VR技术研究机构还有美国空军技术学院、美国海军研究生院、美国陆军研究所等。美国空军技术学院主要研究人类因素的检测、计算机图形学，以及与大规模分布综合环境应用有关的人机交互问题。美国海军研究生院下属的图形和图像实验室进行了大规模虚拟环境的开发与应用研究。其研究目标是为基于网络化虚拟环境的交互仿真开发低价格模拟器。美国陆军研究所从事与虚拟环境相关的行为科学和计算机科学两方面的研究，在用于战斗训练的仿真电子战场的应用中发挥着重要作用。

北卡罗来纳大学(UNC)的计算机系是进行VR研究最早且最著名的单位之一。他们主要研究分子建模、航空驾驶、外科手术仿真、建筑仿真等。

Loma Linda大学医学中心的David Warner博士和他的研究小组成功地将计算机图形及VR设备用于探讨与神经疾病相关的问题，首创了VR儿科疗法。

麻省理工学院(MIT)是研究人工智能、机器人和计算机图形学及动画的先锋，这些技术都是VR技术的基础，1985年MIT成立了媒体实验室，进行虚拟环境的正规研究。

密歇根大学(University of Michigan)在20世纪80年代成功开发了基于符号表示和规则推理的Agent建模环境Soar项目，后来被广泛应用于人工智能、行为建模和人机接口等方面的研究。Soar项目通过提供改进了的空军仿真兵力来扩充LORAL MODSAF。这一计划使美国国防部在虚拟仿真战役中具有智能化的时态推理能力、多目标管理和传感能力，



使管理和操纵敌方兵力的人员减至最少。

华盛顿大学 (UW) 的人机界面技术实验室 (HITLab) 在新概念的研究中处于领先地位, 同时也在进行感觉、知觉、认知和运动控制能力的研究。HIT 将 VR 研究引入了教育、设计、娱乐和制造领域。

伊利诺伊州立大学 (UI) 研制出支持远程协作的车辆设计分布式 VR 系统, 不同国家和地区的工程师们可以通过计算机网络进行实时协作设计。

乔治梅森大学 (GMU) 研制出一套在动态虚拟环境中的流体实时仿真系统。

加州大学伯克利分校 (UC Berkeley) 的远程沉浸实验室采用实时建模和远程传输共享的方法开发了远程沉浸式交互系统。

微软公司开发了诸多 VR 技术: Photosynth 软件能够让用户使用一组有相似性的照片生成一个 3D 场景; Silverlight 插件支持 3D 效果, 并能使用显示卡的 GPU 硬件加速功能来提高显示质量; 3D 体感摄影机 Project Natal 导入了即时动态捕捉、影像辨识、麦克风输入、语音辨识、社群互动等功能; World-Wide Telescope 基于 Web 2.0 可视化环境, 是 Internet 上的一个虚拟望远镜, 用户可以对图像进行无缝缩放和平移; Virtual Earth 3D 的使用者可以浏览美国主要城市的全方位 3D 图片。

2. 欧洲

英国在 VR 开发的某些方面, 特别是在分布并行处理、辅助设备 (包括触觉反馈) 设计和应用研究方面, 在欧洲来说是领先的。英国 Bristol 公司发现, VR 应用的焦点应集中在整体综合技术上, 他们在软件和硬件的某些领域处于领先地位。英国 ARRL 公司关于远地呈现的研究实验, 主要包括 VR 重构问题。他们的产品还包括建筑和科学可视化计算。

瑞典的 DIVE 分布式虚拟交互环境, 是一个基于 UNIX, 不同节点上的多个进程可以在同一世界中工作的异质分布式系统。

荷兰海牙 TNO 研究所的物理电子实验室 (TNOPEL) 开发的训练和模拟系统, 通过改进人机界面来改善现有模拟系统, 以使用户完全介入模拟环境。

德国在 VR 的应用方面取得了出人意料的成果。在改造传统产业方面, 一是用于产品设计, 降低成本, 避免新产品开发的风险; 二是用于产品演示, 吸引客户, 争取订单; 三是用于训练, 在新生产设备投入使用前用虚拟工厂来提高工人的操作水平。

2008 年 10 月 27~29 日在法国举行的 ACM Symposium on Virtual Reality Software and Technoogy 大会, 从整体上促进了虚拟现实技术的深入发展。

3. 日本

日本虚拟现实技术的发展在世界相关领域的研究中同样具有举足轻重的地位。它在建立大规模 VR 知识库和虚拟现实的游戏方面取得了很大的成就。

东京技术学院精密和智能实验室研究了一个用于建立三维模型的人性化界面, 称为 SpmAR; NEC 公司开发了一种虚拟现实系统, 用代用手来处理 CAD 中的三维形体模型, 通过数据手套把对模型的处理与操作者的手联系起来; 日本国际工业和商业部产品科学研