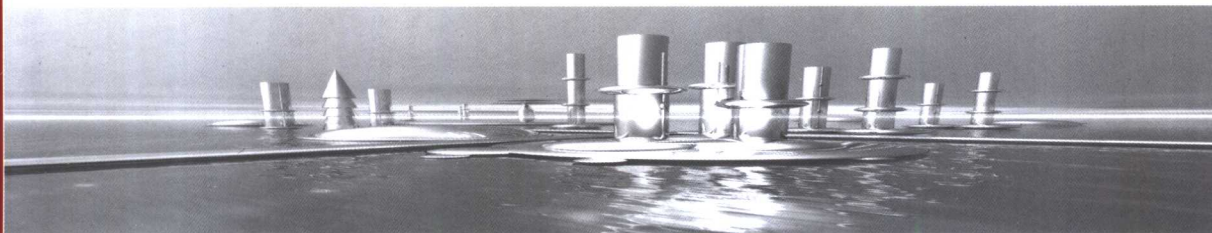


X u n i X i a n s h i J i q i Y i n g y o n g



虚拟现实及其应用

洪炳镕 蔡则苏 唐好选 编著

国防工业出版社

<http://www.ndip.cn>

X u n i X i a n s h i J i q i Y i n g y o n g

虚拟现实及其应用

洪炳镕 蔡则苏 唐好选 编著



国防工业出版社

•北京•

图书在版编目(CIP)数据

虚拟现实及其应用 / 洪炳镕等编著. —北京:国防工业出版社, 2005.5

ISBN 7-118-03868-7

I. 虚... II. 洪... III. 虚拟技术 IV. TP391.9

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005)第 024349 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)

腾飞胶印厂印刷

新华书店经售

*

开本 787×1092 1/16 印张 15½ 353 千字

2005 年 5 月第 1 版 2005 年 5 月北京第 1 次印刷

印数:1—4000 册 定价:25.00 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

内 容 简 介

虚拟现实技术是一种模拟人在自然环境中的视觉、听觉、触觉和力觉等行为的高度逼真的人机交互技术,是利用人类感知能力和操纵能力的新方法。它能使计算机从一种只用键盘、鼠标进行操作的设备变成可以进行自然交互的系统和环境,使操作者有一种身临其境的感觉。根据虚拟现实的研究内容本书分为虚拟现实的基础知识和虚拟现实的应用两大部分,系统介绍了虚拟现实系统的构成原理及相关的图形学知识,为了便于读者将虚拟现实的基本理论和实际应用相对照,书中详细介绍了虚拟现实在几个方面的应用。

本书可以作为计算机科学、机电一体化、人机交互、智能机器人、仿真技术等有关专业的大学高年级学生和研究生的教学和自学教材使用,也可以供以上领域中的科研工作者参考。

目 录

第1章 虚拟现实技术导论	1
1.1 引言	1
1.2 虚拟现实的概念	1
1.3 虚拟现实系统的构成及主要研究内容	2
1.4 人类的环境感知与虚拟环境	4
1.4.1 视觉	4
1.4.2 听觉	4
1.4.3 力觉反馈和触觉感知	5
1.5 虚拟现实技术的研究基础	7
1.6 虚拟现实技术的发展	8
1.7 虚拟现实的应用领域	10
第2章 虚拟现实系统的构成原理	12
2.1 引言	12
2.2 虚拟现实系统的构成	12
2.2.1 虚拟环境	13
2.2.2 计算机环境	19
2.2.3 虚拟现实技术	20
2.2.4 交互作用方式	22
2.3 虚拟现实的硬件系统	25
2.3.1 传感器	25
2.3.2 显示设备	28
2.3.3 三维声音设备	30
2.3.4 集成的虚拟现实系统	31
2.4 虚拟现实的软件系统	32
2.4.1 虚拟世界建模	33
2.4.2 虚拟环境物理仿真	34
2.4.3 虚拟现实工具箱	39
第3章 虚拟现实的图形学基础	47
3.1 引言	47
3.2 虚拟环境中视点的定位	48
3.2.1 方向余弦定位法	48
3.2.2 方位角定位法	50

3.2.3 欧拉角定位法	53
3.2.4 四元定位法	56
3.3 透视投影	61
3.3.1 透视控制	63
3.3.2 视场	63
3.4 人的视觉	63
3.4.1 空间视觉问题	63
3.4.2 立体观察	64
3.5 立体透视投影	65
3.6 三维裁剪	68
3.7 色彩理论	70
3.7.1 光线与颜色	70
3.7.2 三基色原理	70
3.7.3 色彩模型	70
3.7.4 基于颜色的算法	72
3.8 简单的三维建模	73
3.9 光照模型	76
3.9.1 点光源	76
3.9.2 无限远点光源	77
3.9.3 局部光源	77
3.9.4 环境光	78
3.9.5 阴影	78
3.9.6 透明度	79
3.9.7 增强真实感	79
3.10 反射模型	80
3.10.1 漫反射	80
3.10.2 镜面反射	81
3.10.3 一般的反射表达式	81
3.11 阴影算法	82
3.11.1 帧存储	82
3.11.2 投影到显示设备	82
3.11.3 Gourand 阴影算法	82
3.11.4 Phong 阴影算法	84
3.12 三维消隐	85
3.12.1 画家算法	85
3.12.2 Z 缓冲器算法	85
3.12.3 扫描线算法	86
3.12.4 区域采样法	86
3.13 真实感	87

3.13.1	纹理映射	87
3.13.2	走样	88
3.13.3	反走样	88
3.13.4	凸包映射	88
3.13.5	环境映射	88
第4章	虚拟现实的应用	89
4.1	引言	89
4.2	工程领域的应用	89
4.2.1	航空发动机设计中的应用	90
4.2.2	潜水艇设计中的应用	91
4.2.3	建筑设计中的应用	91
4.2.4	人体建模方面的应用	93
4.2.5	工业概念设计中的应用	94
4.2.6	虚拟空间辅助决策系统中的应用	94
4.3	艺术与娱乐领域的应用	95
4.3.1	计算机动画设计中的应用	96
4.3.2	游戏系统中的应用	97
4.3.3	电视方面的应用	97
4.4	科学领域的应用	98
4.4.1	计算神经科学中的应用	99
4.4.2	分子建模中的应用	100
4.4.3	恐惧表情的表现	100
4.4.4	透视操作中的应用	101
4.4.5	超声波反馈深度探测仪	101
4.5	虚拟训练	102
4.5.1	虚拟消防学院	102
4.5.2	飞行仿真	102
4.5.3	虚拟手术训练	104
4.5.4	虚拟军事训练	105
4.6	虚拟现实的应用前景	106
第5章	虚拟声音的合成及定位	107
5.1	引言	107
5.2	人类听觉系统结构和听觉特性	107
5.2.1	人类听觉系统结构	108
5.2.2	人类听觉特性	108
5.3	听觉定位机制	109
5.4	虚拟声音技术存在的问题	111
5.5	虚拟环境中虚拟声音技术的研究	112
5.6	基于小波变换结合矢量量化的声音数据压缩	114

5.7 基于小波神经网络的头部相关传递函数逼近	116
5.7.1 小波神经网络	116
5.7.2 基于小波神经网络的 HRTF 逼近	117
5.8 虚拟声音的合成	119
5.8.1 应用 HRTF 通过耳机合成虚拟声音	119
5.8.2 通过音箱合成虚拟声音	119
5.9 虚拟声音合成系统及听觉定位	121
第 6 章 虚拟人的运动控制技术	122
6.1 引言	122
6.2 虚拟人的建模技术	122
6.2.1 人体建模的基础	123
6.2.2 虚拟人的几何模型	125
6.3 虚拟人的运动建模	130
6.3.1 基于关节连接体的人体模型层次结构	130
6.3.2 人体坐标系的设定	131
6.4 基于雅可比矩阵的逆运动学控制算法	133
6.4.1 走步、跑步和踏步的运动学分析	133
6.4.2 雅可比矩阵及其伪逆	135
6.4.3 人体运动的约束关系	136
6.4.4 算法	137
6.4.5 特征参量	138
6.4.6 仿真实验与分析	138
6.5 虚拟人的运动拟合算法	141
6.5.1 算法的基本思想	141
6.5.2 算法的实现	141
6.5.3 仿真实验与分析	143
6.6 虚拟人的路径规划算法	144
6.6.1 虚拟环境的表示	144
6.6.2 路径搜索	146
6.6.3 仿真实验与分析	147
第 7 章 基于 VR 的遥控操作的研究	150
7.1 引言	150
7.2 空间机器人几何模型的建立	150
7.3 空间机器人运动建模	152
7.3.1 空间机器人抓取操作的运动合成	152
7.3.2 空间机器人抓取操作的碰撞检测	154
7.4 基于操纵杆人一机接口的遥控操作	155
7.4.1 操纵杆的功能	155
7.4.2 操纵杆遥控功能的实现	156

7.5 基于空间球人一机接口的遥控操作	158
7.5.1 空间球的工作原理	158
7.5.2 空间球人一机接口的设计	159
7.5.3 基于空间球的遥控操作	160
7.6 基于声控人一机接口的遥控操作	161
7.6.1 概述	161
7.6.2 基于过渡段+韵母段的识别基元	161
7.6.3 口令识别系统的组成	162
7.6.4 端点检测、音节识别及识别基元定位	162
7.6.5 简介其他各层	163
7.6.6 实验	164
7.7 基于手势人一机接口的遥控操作	164
7.7.1 虚拟手势姿态的确定	165
7.7.2 虚拟手与目标间的坐标变换	166
7.8 基于VR的空间机器人遥控操作仿真系统	168
7.8.1 仿真系统总体设计	168
7.8.2 仿真实验	169
第8章 可变形气流场生成算法及其在虚拟战场中的应用技术	171
8.1 引言	171
8.2 气流场扩散特性的数学描述	171
8.2.1 气流场扩散特性概述	172
8.2.2 气流场的扩散过程	173
8.2.3 气流场的扩散过程的解法	174
8.2.4 气流场对光线的扩散	175
8.3 基于分形迭代的云彩生成算法	176
8.3.1 算法的基本思想	177
8.3.2 云团基元的表示	177
8.3.3 IFS代码的生成	178
8.3.4 随机中点偏移算法	178
8.3.5 云块颜色和透明度的确定	179
8.3.6 云彩仿真结果及分析	180
8.3.7 关于云块运动问题的讨论	181
8.4 基于过程纹理的烟雾生成算法	182
8.4.1 算法的基本思想	182
8.4.2 烟雾的物理模型	183
8.4.3 烟雾模型的随机扰动	185
8.4.4 烟雾颜色和透明度的确定	185
8.4.5 烟雾仿真结果与分析	185
8.5 基于细胞自动机和旋涡场的火焰生成算法	187

8.5.1	细胞自动机的概念及其对气流场扩散特性的描述	188
8.5.2	基于细胞自动机的火焰生成算法	188
8.5.3	粒子系统和旋涡场相结合的火团生成算法	192
8.5.4	两种火焰生成算法的比较	199
8.6	可变形气流场仿真在虚拟战场平台中的应用	199
8.6.1	虚拟战场的整体框架和基本特点	200
8.6.2	地对空导弹视景生成系统的基本组成	202
8.6.3	导弹发射时的火焰及烟雾仿真	202
8.6.4	飞行中导弹的尾焰仿真	203
8.6.5	导弹击中目标时残骸的仿真	203
第9章	基于VR的月球车仿真技术	206
9.1	引言	206
9.2	虚拟月球车仿真系统开发环境简介	206
9.3	虚拟月球车的三维实体模型	207
9.3.1	HIT-1型月球车的三维实体模型	207
9.3.2	HIT-A型月球车的三维实体模型	207
9.4	虚拟月球车的运动学分析	209
9.4.1	正向运动学分析	209
9.4.2	车轮雅可比矩阵	210
9.4.3	月球车的位置和方向估计	213
9.4.4	反向运动学建模	215
9.4.5	月球车加速度建模	216
9.4.6	月球车的运动学分析仿真结果	221
9.5	虚拟月球车的动力学分析	223
9.5.1	轮—地相互作用机制研究	223
9.5.2	月球车动力学模型	224
9.5.3	仿真分析	226
9.6	虚拟月球的地形、地貌建模	227
9.6.1	地形数据	227
9.6.2	地形合成	227
9.6.3	模型表示	228
9.7	基于物理特征的月球车的运动规划的仿真结果	229
参考文献		233

第 1 章 虚拟现实技术导论

1.1 引言

我国古代著名诗人陶渊明曾在《桃花源记》一文中塑造了一个既有旖旎的自然风光,又充满“小桥流水人家”意境的世外桃园,诗人凭借丰富的想象力创造了一个虚拟的理想世界,表达了诗人对美好生活的向往。只可惜诗人所创造的这一美妙境界只能停留在想象之中,无法成为现实,而后人也只是从那些美文妙句之中去想象那种田园风光的美丽。随着现代科学技术的发展,特别是计算机技术的飞速进步,能否实现诗人的梦想,创造出诗人所想象的虚拟世界,让我们能亲眼目睹秀丽的湖光山色,亲耳聆听悠扬的鸟语和淙淙流淌的溪水,亲自体验那虚拟的田园生活呢?答案是肯定的,这一切均可以利用虚拟现实(Virtual Reality——VR)技术来实现。

虚拟现实可以把人们的想象和思想通过仿真的方法创造出一种虚拟境界和虚拟存在,而这些对于我们的感觉器官来说就如同真的客观存在一样,我们可以去感触和感知它们,甚至还可以去主动参与以改变它们。

其实虚拟现实技术早在 20 世纪 60 年代就已在美国出现,只是受当时计算机软硬件水平的制约,发展比较缓慢。到 20 世纪 80 年代末以来,随着计算机各项技术的飞速发展,虚拟现实技术也突飞猛进,成为当前最热门的研究课题之一。由于虚拟现实技术发展潜力巨大,前景诱人,应用范围广泛,许多权威专家认为:

- ① VR 是 20 世纪 90 年代最重要的思想之一;
- ② 21 世纪的计算机是 VR 计算机;
- ③ VR 是放大智慧的新工具;
- ④ VR 是亿万美元的产业。

目前 VR 一词十分流行,在报刊、杂志、广播电视中,甚至在目前倍受关注的 Internet 上,VR 都是一个随处可见的字眼。例如在发达国家,像《商业周刊》和《时代》这样的非科技杂志经常刊登有关 VR 的进展和科普方面的文章;CNN、NBC、CBS 等国际电视网也经常黄金时间介绍 VR 技术;而基于 WWW(World Wide Web)的虚拟现实语言 VRML 也已出现。商品化的各种 VR 系统也已在西方国家出现。

尽管人们对于虚拟现实有各种各样的看法,但有一点是共同的,即虚拟现实技术具有十分重要的应用价值,它对信息技术和人类的生活将产生难以估量的影响。

本书将对虚拟现实技术的基本理论、虚拟环境建模的关键技术及其应用作较为详细的介绍,以满足不同层次读者的需要。同时,该书的出版对于促进我国虚拟现实技术的发展也将起到抛砖引玉的作用。

1.2 虚拟现实的概念

虚拟现实这一名词是由美国 VPL Research 公司创始人之一 Jaron Lanier 于 20 世纪 80

年代初提出来的,这是他在计算机上建造这类环境时领悟并创造出的一个名词。这一名词日渐流行并被学术界所接受,现已替代其他相关名词,如人工现实(Artificial Reality)等。

Virtual Reality 直译为虚拟现实,其真正含义是:把客观世界中的某一局部用电子的方式模拟出来,并且能够让你进入这个局部世界,犹如身临其境;而且这种身临其境不是静态的,当你在该局部世界活动时,你会感到“境”的相应变化。例如,进入一个模拟的机场时,你会看到一排排停着的飞机和正准备起飞的飞机;走近这些飞机时,你会看到这些飞机的体形在变大,甚至可看出准备起飞的飞机机舱内驾驶员的面容,同时会听到正要起飞的飞机发动机的声音,如同真实情况一样。

虚拟现实(Virtual Reality)一词中同时包含“虚拟(Virtual)”和“现实(Reality)”两个相反的部分,“虚拟(Virtual)”两字说明利用 VR 技术所产生的局部世界并非是真实的,而是人造的、虚构的;“现实(Reality)”两字说明这一局部世界虽然是人造的,但对于进入这一局部世界的人来说在感觉上如同进入真实的世界一样,这种感觉可以包括视觉、听觉和触觉等。

虚拟现实技术是一种模拟人在自然环境中的视觉、听觉、触觉等行为的高度逼真的人机交互技术,是利用人类感知能力和操作能力的新方法。它使计算机从一种只用键盘、鼠标进行操作的设备变成了人处于计算机生成的环境中,通过感官、语言、手势等比较“自然”的方式进行“交互、对话”的系统和环境,即虚拟现实环境。操作者可以在其中“自由地”运动,随意观察周围的景物,并可与虚拟物体进行交互操作,操作者所看到的是逼真的三维立体景象,听到的是虚拟环境中的音响,手(或脚)可以感受到的是虚拟环境反馈给他的作用力,这是一种“完全的”身临其境的感觉。

VR 有两个主要特征:“沉浸感(Immersion)”和“交互性(Interaction)”。VR 的“沉浸感”是指计算机所建立的三维虚拟环境能使操作者得到关于该环境全身心的体验;VR 的“交互性”是指操作者能通过其自身的自然技能并通过专用的传感设备实现对虚拟环境中实体的考察并实施相应的操作。

1.3 虚拟现实系统的构成及主要研究内容

VR 系统大致可以分为两类:封闭式 VR 系统和开放式 VR 系统。封闭式 VR 系统与真实世界不产生直接交互,任何操作不对现实世界产生直接作用。封闭式 VR 系统由建模模块、三维模型库和交互模块 3 部分构成,其中建模模块可运用知识库、模式识别、人工智能等技术建立模型,通过三维动画实现虚拟环境的视觉模拟,通过音响制作进行声音模拟;三维模型库是现实世界各组成部分的三维表示,由此可构成对应的虚拟环境;交互模块包含传感器、信号检测和控制、信号反馈和控制等几个子模块。人的动作由传感器进行检测,然后通过控制子模块对虚拟环境进行操作,同时反馈给人以运动、触觉、力觉等感受。图 1.1 表示了封闭式 VR 系统的基本构成。

开放式的 VR 系统可以通过传感器与现实世界构成反馈闭环,从而可以达到利用虚拟环境对现实世界进行直接操作或遥控操作的目的。

用于检测的传感器主要有以下几种类型。

① 视觉。有足够分辨力的立体显示设备,例如头盔式立体显示器(HMD)或虚拟视网膜(VRD)。后者可以装在眼镜上,直接在视网膜上形成三维图像。

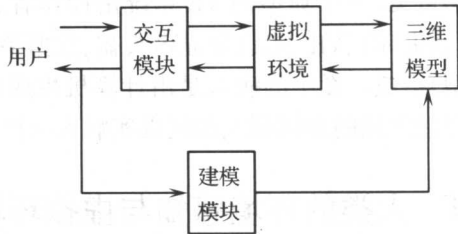


图 1.1 封闭式 VR 系统的构成

- ② 听觉。立体音响输出及定位装置,产生以用户本人为原点的立体声音响。
 - ③ 头、眼、手、身体定位与跟踪:确定用户头、眼、手和身体的位置与方向,例如数据手套、数据服等。
 - ④ 语言识别及合成。识别用户的语音命令甚至会话内容。
 - ⑤ 力反馈、触觉传感器。提供重力与压力的反馈。
- 目前,传感器存在的主要问题有:HMD 重量大(通常约 1.5kg ~ 2kg)、分辨力低、延迟时间长、刷新频率低、跟踪准确度低等;而数据手套、数据服也存在分辨力低、延迟大、使用不便的问题。至于分辨力究竟要达到多高为宜,一般应根据应用领域来确定。

目前对 VR 系统的研究包含很多领域,其主要研究内容有:

- ① 传感设备的研究。
- ② 方法的研究。包括视觉环境建模、人机交互模型、虚拟环境(VE)的快速生成与显示、用户心理学及系统分析等问题。
- ③ 系统开发及应用。包括开发平台的研究、分布式 VR 系统的研究、各种领域的应用系统开发等。

下面引用一个典型的 VR 系统来加深读者对 VR 系统的理解。图 1.2 表示的是一个



图 1.2 虚拟手术训练系统

虚拟的手术训练系统。由图可见,一个典型的 VR 系统由操作者、计算机硬件、软件(包括系统软件、VR 应用软件和数据库)、VR 工具(如显示头盔、数据手套等)以及虚拟环境中的其他实体(或者是物理模型)组成。图中的病人是由计算机生成的虚拟实体,操作者是被培训的医生,他所看到的和接触到的虚拟病人如同真实病人一样。

1.4 人类的环境感知与虚拟环境

大脑可以使人感受到现实存在的世界,而 VR 系统可以处理和显示一个虚拟环境,使人感受到虚拟世界的存在。VR 系统的输入输出设备可以提供大脑能解释的感觉数据。

人的感觉器官是外部世界与大脑之间的数据通道,所有感觉器官的作用依赖于各种特定的接收器,它们将各种物理现象(如声、光、热等)转变为神经脉冲,这些神经脉冲沿着神经系统的通道传送到大脑的特定区域进行处理。例如视觉皮层就是这样一种大脑区域,它实际上是一个复杂的信号处理器,其功能是将神经脉冲转换成大脑可以解释的信号。目前,就人类的环境感知而言,VR 系统在视觉和听觉方面的仿真比较成功,同时,视觉和听觉也是 VR 研究的重点所在。

1.4.1 视觉

当我们看到被太阳或人造光源所照射的物体时,实际上看到的是从被照射物体上反射的光波。眼睛的晶状体汇集这种反射光,并把它折射到眼球后面的视网膜。视杆和视锥是视网膜内的神经接收器,它们把接收的光转换成神经脉冲,进而通过视觉神经传送到大脑中的视觉皮层,在那里,神经脉冲变换成我们所看到的景物。

当我们看到物体时,同时看到了它的颜色和形状,也感受到了它的深度和运动。因此,在利用计算机图形学方法产生虚拟环境图像时,解释器应考虑这些因素。绝大多数人都具有立体视觉,也就是说,每一只眼睛从不同的观察点去观察一个物体从而形成一个视图,大脑将这些视图进行组合可生成一个立体视图,这种立体视觉有助于提供深度感受,对于用计算机图形学方法产生的一种具有真实感的物体来说,这是至关重要的。一个 VR 显示设备的基本任务就是用计算机所生成环境中的物体代替现实世界中所看到的物体。眼睛并不接收来自真实世界的反射光波,而是接收一种由 VR 设备产生的替代光波,人的大脑同时对它进行解释从而形成与参与者看到真实物体一样的感受。

1.4.2 听觉

人耳是将声波转换成大脑可以解释的信号的感觉器官。根据耳朵所接收到的声音,大脑能判断它的大致距离和方向,然后将它解释成一张与眼睛同时接收到的视觉图像相对应的思维图。声音的参与大大增强了虚拟现实系统的逼真度,使得参与者感受前所未有的临场感。声波由振动波组成,外耳收集声波并将它导入耳道,声波使得鼓膜产生振动,鼓膜与中耳和内耳连通。声波在内耳中转换成神经脉冲,并传送到大脑皮层。大脑皮层是大脑中的一个区域,可以将来自双耳的神经信号解释为噪声、语言、音乐或定位线索等,而这种定位线索有助于大脑将声音定位在一个特定的环境中。

一个 VR 系统可以产生双声道或多声道声音,以代替耳朵所听到的真实环境的声音。

这种声音仿真要求能精心地校准两耳的时间延迟,为此,高质量的声音定位系统是至关重要的。

VR 系统提供了一系列视听表示媒体,不再需要将所有信息都浓缩在很小的屏幕上了。信息可以从用户的整个工作空间中获得,甚至可以重叠到工作区域。视觉和听觉的正确使用可以极大地增强用户处理复杂事件的能力。

1.4.3 力觉反馈和触觉感知

科学家们通过对触觉领域的研究,成功研制了几种能够用在虚拟环境中的、提供一定程度模拟的反馈系统。其中的三种是力反馈(force feedback)、触觉反馈(tactile feedback)和热反馈(thermal feedback)。

(1) 力反馈

力反馈是能够传递重量感觉的系统。它的几种应用如下:

- ① 分子对接,其中用于感觉不同原子的重量;
- ② 确定物体的轻重;
- ③ 确定物体是柔软还是坚硬;
- ④ 提供在物质中的阻力,比如在水中;
- ⑤ 提供坚硬物体的阻力,比如墙。

一个力反馈系统可以具有以下结构。它是由多个发动机和一个外部构架组成的机械系统,外部构架是一种能够装配在人身体外部的结构,可以装配在胳膊和手上。正常运动时,系统不会阻碍你的运动,就好像并没有东西装配在身上一样。如果你需要确定一个立方体的轻重,通过手套和外部构架,你可以操纵虚拟手拿起虚拟立方体,你可以抓住立方体并试图把它提高。当你想提高该立方体以确定它的重量时,外部构架开始限制你的胳膊的运动。为了模拟一个很重的立方体,外部构架将使你的胳膊根本无法运动;如果虚拟立方体比较轻,外部构架给你的阻力刚好使你感觉到相应的重量。

对于上面列出的第3项应用,如果虚拟立方体是坚硬的,外部构架将使你无法压扁它;如果立方体是海绵类材料制成,外部构架将使你的手能够紧紧地握住它,但不能完全握成拳头,因为受到挤压的虚拟立方体仍要占据一定的空间。

在上面的情况中,当你想移动你所操纵的物体时,外部构架将产生一定程度的阻力。通过对力反馈的研究,开发出两种不同的系统:机械臂或 GROPE 和活塞。

GROPE 目前最著名的力反馈系统是北卡罗莱纳大学(UNC)教堂山分校的 GROPE。GROPE 是 Argonne 国家实验室研制的一种机械臂,工人可以利用它来操作放射性物质。机械臂如图 1.3 所示。在最初的应用中,工人操作位于玻璃箱一侧的夹钳,位于玻璃箱另一侧的一只机器人手臂将模仿工人的动作。所以它成了人的手臂的自然扩展。UNC 的 Frederick Brooks 对上述装置进行了改造,用一只虚拟机器人手臂代替了实际的机器人手臂。

另一个应用是化学方面的分子对接系统。化学家在研制新药时希望确定分子的对接点,这在以前是一件很棘手的工作,但现在在 GROPE 的帮助下变得容易了。现在,化学家可以抓住分子的一部分,使它与另一个分子在某一位置上对接。GROPE 系统使化学家在两个分子对接时能够感觉到它们之间的排斥力;感觉与两只手各拿着一根条形磁铁,并使

两个 N 极或两个 S 极相互接近很相似。排斥力可能比较强,如果是异性极接近,那力就表现为引力。是引力还是斥力由软件决定,而软件充分考虑了各个分子的化学特性。

活塞 另一类力反馈设备只对手产生反馈。如图 1.4 所示,用一组活塞来控制手指受到的阻力大小。尽管这种系统反馈范围受到限制,但它使用起来比较方便。另外还有一些其他力反馈系统。不过它们都依靠某些机械方法来限制手和胳膊的运动。这些系统比较昂贵和笨重。

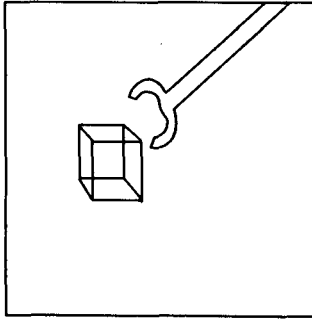


图 1.3 机械臂

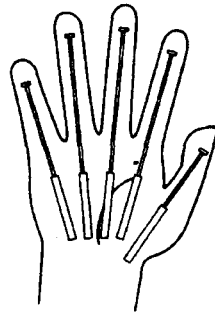


图 1.4 活塞系统

用软件形成虚拟现实的力反馈 现在我们对力反馈和它的应用已经有了一些了解,下面我们用最少的费用把一定程度的力反馈加到虚拟环境中去。首先是两种软件方法。

最简单的反馈形式之一是颜色变换,几乎用任何一种计算机程序都能实现。以软件提供力反馈的另一种方法是利用声音,我们对声音的反馈都很熟悉。如果你用力关门,那么就会听到一声响,这是门撞击门框的结果。如果你用电钻钻非常坚硬的材料,你可能会注意到它发出的摩擦声音。我们可以在虚拟环境中用声音做同样的事情。虽然这种技术给人的感觉不如真正的力反馈机械系统那么强烈,但也能给参与者一定程度上的真实感。

用硬件实现虚拟现实的力反馈 用软件实现力反馈,是依赖于各种暗示,它并没有产生实际的力。另一种方法就是制作能够产生实际力反馈的机械系统。

(2) 触觉反馈

现在我们已经能够确定一个物体的重量和密度了,下面来看看如何确定它的质地。触觉反馈将给大脑提供确定我们所触摸的物体的质地所需要的信息。由于力反馈是基于物理性质的,施加于一个物体上的外力或阻力可以通过数学方法计算出来。例如捡起一只铅笔所用的力在数值上比捡起一个保龄球所用的力小,但是保龄球的质地与铅笔的质地却相差甚远。各种不同物体的质地一般都不一样,怎样才能够模拟所有的物体并把必要的信息实时地传送给参与者呢?下面是触觉反馈的一些要求:

- ① 我们的皮肤与它所接触的任何物体的表面相适应;
- ② 反应机械刺激的感觉器官通过电量对接触作出反应;
- ③ 脉冲的范围从 50mV ~ 100mV;
- ④ 触觉反馈能够在 1s 内进行 500 次以上。

现在我们还无法产生每秒 30 帧的视频,那怎么能够产生每秒 500 次以上的脉冲呢?另外,研究人员已经发现模式识别技术能用来把模拟的质地传送给参与者。换句话说,如果你用虚拟手触摸上面撒了盐粒的镜子,计算机将把内部存储的脉冲模式输出,于是你就

有了触摸撒了盐粒的镜面的感觉。

虚拟砂纸 Margaret Minsky 已经开发了一个允许使用者通过一个操纵杆感觉到模拟质地(以及力反馈)的系统。一般情况下触觉反馈和力反馈是很难分开的。系统并不是向使用者施加某种质地,使得他好像用手触摸该物体一样;而是使得他好像握住了一只铅笔或某种操纵杆。在一个实验中,用户有一种用铅笔在一张砂纸上写字的感觉。模拟砂纸所用的技术与我们前面描述的盐粒和镜面所采用的方法一样,你的感觉是在有许多微凸和微凹的平面上用铅笔写字,采用许多不同大小的微小阻力就可以模拟这种触觉反馈。

最后,从事虚拟现实研究的人员所需要的是一个反馈响应数据库。例如当使用者捡起一块玻璃时,在力反馈和触觉反馈区将发生一种特定的行为。如果使用者放下玻璃时,又将采用另一种反馈结构。

空气 触觉反馈的另一种形式是在用户手套中装入一些小气囊。当使用者捡起一个物体时,气囊会膨胀成某种形状,以模拟捡起该物体的感觉。图 1.5 是这种手套的外形。

压电(Piezo) 反馈系统的另一种方法是采用由 AMP 公司的 Kynar 压电薄膜制成的传感器。薄膜有各种各样的尺寸,并对某些性质如压力发生反应,其方式为产生电流。这种薄膜最基本的应用之一是开关。如果你把万用表连在薄膜的触点上,并给它施加一个压力,万用表上将会测到一个信号。制作反馈系统的基本方法是把这些薄膜窄条粘在一只很薄的手套正面。当使用者接触到虚拟物体时,计算机将会启动某些放大器,于是它们就激活薄膜,使其对手产生微小的振动感。

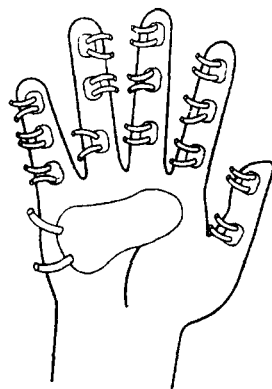


图 1.5 触觉手套

热反馈 当你开始考虑手和手指所提供的各种各样的反馈时,会发现还有一些基本的反馈信号,温度就是其中的一个。假设你处于一个野营地的虚拟环境中,野营地里到处都是活动房屋和帐篷,还有一些人或到处走动,或忙碌地干活。另外还有几堆篝火。当你走近一堆篝火时,如果你没有任何感觉;你伸出手想暖和暖和,结果还是冰凉的。这显然不是虚拟现实技术所具有的。实际上应该是你接近篝火时你的手指慢慢地暖和起来。位于德克萨斯州 League 城的 CM Research 开发了一种热反馈系统,它采用了一个小的 thermode,这种 thermode 由一个热泵、一个温度传感器和一个散热装置组成,这种系统能够对身体的任一部分进行加热。该系统在一个通过 RS-232 端口与计算机相连的控制单元的控制下工作。通过对该系统编程,它能提供 10℃ ~ 35℃ 的温度。控制单元激活热泵,热泵通过把热量送入或送出散热装置来达到所需的温度。传感器用来监视 thermode 是否达到了所需的温度。你在虚拟环境中通过对控制单元的编程,可以使用户的手指或身体的其他部位变热或变冷。

1.5 虚拟现实技术的研究基础

VR 技术涉及诸多领域,包括心理学、艺术、电子技术、通信技术、光学、声学、信息与计算机技术和控制技术等学科。