



人工心理与数字人技术丛书

# 人机交互中的 情感虚拟人技术

○ 谷学静 王志良 郭宇承 编著



 机械工业出版社  
CHINA MACHINE PRESS

人工心理与数字人技术丛书

# 人机交互中的情感虚拟人技术

谷学静 王志良 郭宇承 编著

机械工业出版社

本书从人机交互和虚拟现实、虚拟人技术的基本概念入手,介绍了虚拟人机交互中的虚拟人三维人脸建模技术、行为控制技术、语音交互技术、Agent 技术的基本概念和原理,论述了情感计算在虚拟人中应用的必要性,分析了虚拟人情感建模技术国内外的研究现状并探讨了普适性虚拟人情感模型的构建方法。结合基于虚拟人的人机交互案例说明了情感虚拟人的主要技术实现方法和艺术表现形式。

本书可供认知科学、心理科学、计算机科学、工业设计、智能科学与技术、人机交互、社会科学等领域的科研、技术与管理人员,以及高等院校相关专业的教师、研究生和本科生参考。

## 图书在版编目(CIP)数据

人机交互中的情感虚拟人技术/谷学静,王志良,郭宇承编著. —北京:机械工业出版社,2015.7

(人工心理与数字人技术丛书)

ISBN 978-7-111-51504-3

I. ①人… II. ①谷… ②王… ③郭… III. ①人-机系统-虚拟技术-研究 IV. ①TP391

中国版本图书馆CIP数据核字(2015)第215106号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)

策划编辑:顾谦 责任编辑:顾谦

责任校对:张征 封面设计:陈沛

责任印制:李洋

三河市国英印务有限公司印刷

2015年10月第1版第1次印刷

184mm×260mm·12印张·290千字

0 001—3000册

标准书号:ISBN 978-7-111-51504-3

定价:45.00元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务

服务咨询热线:010-88361066

读者购书热线:010-68326294

010-88379203

封面无防伪标均为盗版

网络服务

机工官网:www.cmpbook.com

机工官博:weibo.com/cmp1952

金书网:www.golden-book.com

教育服务网:www.cmpedu.com

# 丛书序言

在2006年1月26日公布的《国家中长期科学和技术发展规划纲要（2006—2020年）》中，指出了信息技术将继续向高性能、低成本、普适计算和智能化等主要方向发展，寻求新的计算与处理方式和物理实现是未来信息技术领域面临的重大挑战。纳米科技、生物技术与认知科学等多学科的交叉融合，将促进基于生物特征的、以图像和自然语言理解为基础的“以人为中心”的信息技术发展，作为信息学科前沿技术要研究个性化的智能机器人和人机交互系统。在国家科技发展纲要中如此描述信息技术的发展方向，这表明新世纪科学发展的特征是对人的研究、对人与自然和谐相处的研究；其表现是纳米-生物-信息-认知（Nano-Bio-Info-Cognition, NBIC）多学科交叉、多技术融合研究的突起；是数字人（物理机器人与虚拟软件人的总称，数字人与数字社会的关系研究）技术的趋于热门化和普遍化。

以人为本，以人与自然的和谐相处为研究目标；多学科交叉结合为研究手段，以人工科学为主要研究领域，将是未来若干年科学技术研究的主要特征。

为了响应执行国家《科技发展纲要》，顺应科学技术潮流，我们萌生了编写“人工心理与数字人技术丛书”的想法，希望能够对国家的科技进步有所贡献。

“人工心理与数字人技术丛书”选题主要包括以下范围（不局限于这些范围）：

- 1) NBIC 技术；
- 2) 广义人工智能技术；
- 3) 生物特征识别技术；
- 4) 虚拟现实技术；
- 5) 机器人技术；
- 6) 虚拟人技术；
- 7) 人机交互技术；
- 8) 普适计算。

“丛书”的选题是开放的，我们殷切希望国内外同行专家学者一起来撰写此领域的学术著作，为中华民族的科学技术事业共同努力。

本丛书有如下特色：

- 1) 本丛书主要是前沿技术专题论著，选题内容新颖；
- 2) 选题主要是前沿技术，重点在于紧跟世界科技发展新趋势；
- 3) 内容深入浅出，便于自学。

本丛书以科研人员及大专院校师生为主要读者，也可供工程技术人员学习前沿技术时作为参考。

丛书主编 王志良

# 前 言

虚拟人是一种基于真实人体数据构建的计算机模型，外观和行为均具有类人特征的虚拟主体。虚拟人是信息科学、心理科学、生物科学、社会科学和艺术美学高度融合的产物，是多学科交叉的人机交互研究领域。情绪是认知不可缺少的一部分，随着情绪心理学和信息科学的发展，情感虚拟人也成为了一个快速发展的领域。在服务相关的人机交互技术中，如在线学习、游戏角色或陪伴等应用领域，赋予没有灵魂的虚拟人以识别和适应用户的情感的能力来进行适当的情感交流，可以使得虚拟人系统、化身等技术更加符合市场需要，使相关产品具有良好的用户体验。

本书以情感虚拟人相关应用为研究背景，以良好的用户体验为设计目标，以人工智能和人工心理理论为指导，以虚拟人为交互平台，主要探讨虚拟人三维人脸建模、行为控制、智能化、情感化及个性化的实现方法和技术，以提高人机交互效率和品质。介绍了情感虚拟人系统的设计方案，包括三维人脸建模技术、行为控制技术、语音交互技术、Agent 技术和情感建模方法。

本书共分 6 章，第 1 章为绪论，介绍了虚拟现实技术、人机交互技术的基本概念和研究内容，重点介绍了虚拟人的定义及相关技术、主要研究内容与应用领域；第 2 章结合虚拟人语音交互系统、虚拟人中医诊断教学系统和虚拟人美容系统等实例说明了三维人脸建模技术和动画技术的原理及实现方法；第 3 章在综述虚拟人行为控制技术国内、外研究现状的基础上，分别结合智能家居和紧急事件响应人群运动仿真系统等实例，探讨了情感虚拟人行为表达研究方法；第 4 章全面介绍了语音交互的相关技术和方法。第 5 章介绍了 Agent 技术及其在情感虚拟人英语教学系统中的应用；第 6 章探讨了普适性虚拟人情感模型的构建方法。本书运用了基本原理、方法与实例说明相结合的形式，并附有大量的图表，以便于读者理解。

本书是由华北理工大学谷学静、北京科技大学王志良和华北理工大学郭宇承三位老师撰写完成的。参考了相关的国内外有关虚拟人及人工心理的研究理论，在此谨向参考文献的作者表示感谢。本书的出版得到了国家自然科学基金面上项目（61170117）、河北省高等学校科学技术研究重点项目（ZD2014074）、河北省高等教育教学改革研究与实践项目（2015GJJG288）、唐山市数字媒体工程技术研究中心的支持。

由于作者水平有限，书中不妥之处在所难免，衷心希望同仁和读者批评指正。

谷学静

2015 年 4 月于华北理工大学

## 作者简介

谷学静，女，博士学位，华北理工大学副教授。主要研究方向为数字媒体技术、人机交互、虚拟人及智能 Agent、人工心理和人工情感。2010 年曾在加拿大多伦多大学智能辅助技术及系统实验室 (Intelligent Assistive Technology and Systems Lab, IATSL) 进行虚拟人智能辅助系统的访学研究。现任国际期刊《International Journal of Kansei Information》编委、中国人工智能学会人工心理与人工情感专业委员会委员、中国心理学会工程心理学分会会员、唐山市数字媒体工程技术研究中心副主任。近年来主持及参与国家自然科学基金项目、河北省自然科学基金项目，河北省科技计划项目、河北省高等学校科学研究重点资助项目、河北省高等教育教学改革研究与实践项目等 10 余项。在国家级核心期刊、国际期刊及省级以上优秀刊物共发表学术论文 20 余篇，出版著作 2 部。

王志良，男，博士学位，北京科技大学教授。在国内率先开始人工心理和情感计算的相关理论及技术应用研究。1998 年，所提出的人工心理的概念，受到了国、内外的关注。1999 年，所写论文“人工心理学”被 IPMM99、ICAI99 两个国际会议接受为大会主题发言。现任中国人工智能学会人工心理与人工情感专业委员会主任。近年来主持完成国家 863 计划项目、973 计划子项目、国家自然科学基金项目、国家攻关项目、教育部重点科研项目等多项国家级项目，发表 SCI、EI 收录论文 60 余篇，出版著作 15 部。

郭宇承，男，硕士学位，华北理工大学讲师。主要从事数字媒体艺术、产品可视化、虚拟交互技术等方面的研究。曾先后去韩国、德国的高校和公司就影视动画制作技术、艺术设计等领域进行访学交流。现任唐山市数字媒体工程技术研究中心主任。在国家级核心期刊及省级以上优秀刊物共发表学术论文 20 余篇，获得实用新型专利 10 项，出版著作 2 部，完成横、纵向课题 30 余项。

# 目 录

## 丛书序言

## 前言

## 作者简介

## 第1章 绪论 ..... 1

### 1.1 虚拟现实技术 ..... 1

#### 1.1.1 虚拟现实技术概述 ..... 1

#### 1.1.2 虚拟现实系统的构成 ..... 3

#### 1.1.3 虚拟现实系统的关键技术和主要 研究内容 ..... 4

#### 1.1.4 虚拟现实系统的研究现状及发展 ..... 6

#### 1.1.5 虚拟现实系统的应用领域 ..... 9

### 1.2 人机交互技术 ..... 11

#### 1.2.1 人机交互的发展历史 ..... 12

#### 1.2.2 人机交互的研究内容 ..... 13

#### 1.2.3 人机交互模型和设计方法 ..... 14

#### 1.2.4 人机交互的相关学科 ..... 16

### 1.3 虚拟人概论 ..... 19

#### 1.3.1 虚拟人定义 ..... 19

#### 1.3.2 虚拟人相关技术 ..... 21

#### 1.3.3 虚拟人技术与数字化艺术 ..... 25

#### 1.3.4 虚拟人的主要研究内容 ..... 26

#### 1.3.5 虚拟人技术的应用领域 ..... 27

#### 缩略语 ..... 29

#### 思考题 ..... 29

#### 参考文献 ..... 30

## 第2章 三维人脸建模 ..... 32

### 2.1 相关理论与技术基础 ..... 33

#### 2.1.1 三维人脸动画技术 ..... 33

#### 2.1.2 OpenGL 技术 ..... 34

### 2.2 三维人脸建模研究 ..... 35

#### 2.2.1 人脸的特征 ..... 35

#### 2.2.2 人脸模型的建立 ..... 36

#### 2.2.3 人脸模型数据的获取 ..... 38

### 2.3 三维人脸动画研究 ..... 39

#### 2.3.1 人脸动画实现方法 ..... 39

#### 2.3.2 MPEG-4 人脸动画标准 ..... 41

### 2.4 三维人脸动画应用实例 ..... 43

#### 2.4.1 虚拟人语音交互系统 ..... 43

#### 2.4.2 虚拟中医诊断教学系统 ..... 48

#### 2.4.3 虚拟人美容系统 ..... 55

#### 缩略语 ..... 58

#### 思考题 ..... 58

#### 参考文献 ..... 58

## 第3章 虚拟人行为控制 ..... 60

### 3.1 虚拟人行为控制技术概述 ..... 60

### 3.2 国内、外发展现状 ..... 62

#### 3.2.1 行为动画的发展 ..... 62

#### 3.2.2 行为建模的研究目的 ..... 62

#### 3.2.3 虚拟人行为模型研究 ..... 63

### 3.3 基于情感的虚拟人行为表达研究 ..... 64

#### 3.3.1 智能交互层的情感决策 ..... 64

#### 3.3.2 情感驱动的虚拟人行为表达 ..... 71

#### 3.3.3 虚拟人路径规划 ..... 74

### 3.4 虚拟人行为控制应用实例 ..... 76

#### 3.4.1 智能家居中的虚拟人仿真 ..... 76

#### 3.4.2 紧急事件响应人群运动仿真 系统 ..... 80

#### 缩略语 ..... 84

#### 思考题 ..... 84

#### 参考文献 ..... 84

## 第4章 语音交互技术 ..... 86

### 4.1 语音识别技术 ..... 86

#### 4.1.1 语音识别发展与现状 ..... 86

#### 4.1.2 语音识别基本原理 ..... 87

#### 4.1.3 语音识别的分类 ..... 88

#### 4.1.4 语音识别算法——HMM ..... 89

#### 4.1.5 语音识别软件介绍 ..... 90

### 4.2 语音合成技术 ..... 92

#### 4.2.1 语音合成研究的发展历史 ..... 92

#### 4.2.2 语音合成的技术分类 ..... 93

#### 4.2.3 语音合成系统 ..... 93

### 4.3 语音交互技术应用实例 ..... 94

#### 4.3.1 语音识别过程 ..... 94

#### 4.3.2 语音合成过程 ..... 96

#### 4.3.3 实验效果 ..... 96

### 4.4 说话人识别 ..... 97

#### 4.4.1 说话人识别的分类 ..... 97

#### 4.4.2 说话人识别的方法 ..... 97

#### 4.4.3 应用实例 ..... 98

### 4.5 自然语言理解 ..... 101

4.5.1 NLP 技术简介 .....	101	<b>第6章 情感模型</b> .....	145
4.5.2 国内、外关于自然语言理解技术 的研究 .....	102	6.1 国内、外研究现状简述 .....	145
4.5.3 自然语言处理相关成果和工具 .....	105	6.2 普适性研究 .....	148
缩略语 .....	107	6.2.1 HMM 情感模型的推广 .....	149
思考题 .....	107	6.2.2 变阈值处理溢界问题 .....	150
参考文献 .....	107	6.3 个体情绪差异性研究 .....	153
<b>第5章 Agent 技术及其应用</b> .....	109	6.4 智能家居个性化交互机器人情感模型的 构建 .....	158
5.1 Agent 技术概述 .....	109	6.4.1 个性化情感模型研究基础 .....	159
5.1.1 Agent 的定义描述 .....	109	6.4.2 心境自发转移 .....	161
5.1.2 Agent 的结构 .....	109	6.4.3 心境刺激转移 .....	163
5.2 多 Agent 系统 .....	110	6.4.4 针对特定用户的个性化情感 .....	165
5.3 Agent 的研究内容 .....	112	缩略语 .....	166
5.4 基于模糊认知图的情感 Agent 模型 研究 .....	117	思考题 .....	167
5.5 虚拟人英语教学系统整体设计 .....	123	参考文献 .....	167
5.5.1 设计目标 .....	123	<b>附录 思考题答案</b> .....	168
5.5.2 整体设计 .....	123	附录 A 第1章思考题答案 .....	168
5.5.3 功能模块设计 .....	125	附录 B 第2章思考题答案 .....	171
5.5.4 开发环境与工具 .....	141	附录 C 第3章思考题答案 .....	172
缩略语 .....	142	附录 D 第4章思考题答案 .....	173
思考题 .....	143	附录 E 第5章思考题答案 .....	176
参考文献 .....	143	附录 F 第6章思考题答案 .....	178



# 第1章 绪论

21 世纪人类社会的重要特征之一就是数字化，数字化正在引发一场影响人类生活各个方面的信息变革，带领人们进入了一个“虚拟的世界”。“虚拟”一词广义上是泛指与计算机和网络相关的活动，甚至可以扩展为任何一种计算机现象；狭义上是特指“虚拟现实”计算机系统。虚拟是人类认知的延伸，它使感知延伸到更宽广和更深刻的世界，使人能够具体地省察人所理解的世界，使人得以体味主体在人所欲求的世界中的生活。“虚拟”既可能形成相对独立的生活世界，也可能与现实共存而拓展真实世界。借助“虚拟”，人类可以更加自由地摆脱物理属性的束缚而便捷地拓展自身的创造性，并将最终极大推动人类向更高层次发展。数字化时代“虚拟”系统的重要特性之一就是要具有良好的交互性（Interactivity），在数字计算机构造的虚拟世界，人必须仍然作为积极行动者的角色存在，因为，一个人类毫无作为的领域对于人类是毫无意义的。因此“虚拟”系统的精髓在于如何通过数字化中介与人的友好互动关系，来实现人与环境之间的相融与互动，甚至是交流与沟通，从而更好地满足人的需求。

## 1.1 虚拟现实技术

### 1.1.1 虚拟现实技术概述

虚拟现实技术的历史可追溯到 20 世纪 50 年代开始出现的立体电影以及各种宽银幕、环幕、球幕电影。1965 年，有虚拟现实“先锋”之称的计算机图形学创始人 Ivan Sutherland 博士在国际信息处理联合会大会上发表了题为“The ultimate display（终极的显示）”的论文，提出了如何把计算机显示屏作为“一个通过它观看虚拟世界的窗口”，使观察者有身临其境感觉的人机协作新理论。这被认为是虚拟现实概念的开端。

从 20 世纪 60 ~ 80 年代，由于受计算机技术的限制，虚拟现实技术发展十分缓慢，其研究内容也主要集中在美国军方和美国国家航空航天局（NASA），用于各种武器系统或飞行系统的模拟训练。1989 年，VPL 公司的创始人之一 Jaron Lanier 先提出“虚拟现实（Virtual Reality, VR）”这一概念，从而成为社会广泛关注和研究的重点课题。

进入 20 世纪 90 年代后，迅速发展的计算机硬件技术与不断改进的计算机软件系统极大地推动了虚拟现实技术的发展，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，人机交互系统的设计不断创新，商家纷纷推出的各种新颖、实用的输入和输出设备，这些都为虚拟现实的发展打下了良好的基础。近年来虚拟现实技术不仅是信息领域科技工作者和产业界的研究、开发和应用的热点，而且也是多种媒体竞相报导的热点。图 1-1 展示的是在虚拟现实技术飞速发展的今天，现实世界与虚拟世界的融合示例。

“虚拟现实”，又译为临境、灵境、拟境。与“虚拟现实”这一术语同义的还有“虚拟环境”（Virtual Environment）、“人工现实”（Artificial Reality）、“遥在”（Telepresence）、



图 1-1 虚拟与现实的融合示例

“赛伯空间”（Cyber Space）等。“虚拟现实”一词中同时包含“虚拟（Virtual）”和“现实（Reality）”两个相反的部分，“虚拟（Virtual）”两字说明利用虚拟现实技术所产生的局部世界并非是真的，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世界一样，这种感觉可以包括视觉、听觉和触觉等。关于“虚拟现实”的定义，目前尚无统一的标准，一般认为虚拟现实是利用计算机生成的一种模拟环境，通过多种传感设备使用户“投入”到该环境中，实现用户与该环境直接进行自然交互的技术，国家 863 计划信息领域首席科学家、中国科学院院士汪成为给出的定义是：“虚拟现实就是在计算机软、硬件及各种传感器（如高性能计算机、图形图像生成系统，以及特制服装、特制手套、特别眼镜等）的支持下生成一个逼真的、三维的，具有一定的视、听、触、嗅等感知能力的环境，使用户在这些软、硬件设备的支持下，能以简捷、自然的方法与计算机所生成的‘虚拟’世界中的对象进行交互。它是现代高性能计算机系统、AI（Artificial Intelligence，人工智能）、CG（Computer Graphics，计算机图形学）、CHI（Computer Human Interaction，人机交互）、立体影像、立体声响、模拟仿真等技术综合集成的成果。目的是建立起一个更为和谐的人工环境”。虽然各种定义表述方式不同，但是都反映出其在人机交互方面突出的改进方向：

### 1. 人机接口形式的改进

在虚拟现实系统中，强调基于自然的交互方式，采用三维鼠标、头盔式显示器、数据手套、空间跟踪设备，通过这些特殊的输入与输出设备，用户可以利用自己的视觉、听觉、触觉（力觉）、嗅觉等来感知环境，用自然的方式来与虚拟世界进行互动。人机接口形式的改进，体现了人机接口的新方向。

### 2. 人机交互内容的改进

虚拟现实系统中，由计算机提供的不仅是“数据、信息”，而且还包括多种媒体信息的“环境”，以环境作为计算机处理的对象和人机交互的内容。人机交互内容的改进，体现了计算机应用的新方向。

### 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、嗅觉等感知效果，使人产生身临其境的感觉，好像人置身于真实世界中一样。人机接口效果的改进，体现了人机交互的一个发展要求。

如图 1-2 所示，虚拟现实系统具有三个“1”特性：沉浸性（Immersion）、交互性（Interaction）及想象性（Imagination）：

- 沉浸性要求系统能使用户真切地感受到进入到虚拟环境之中，已感觉不到身体所处的外部环境，真正地“融合”到了虚拟世界之中。理想的情况下虚拟环境应该达到用户难以分辨真假的程度。

- 交互性是指系统能提供方便、丰富、自然的人机交互手段，使用户能对虚拟场景中的景物以自然和谐的方式进行交互操作，直接控制虚拟世界中的对象，并能从虚拟环境中得到反馈信息。它是人机和谐的关键性因素。

- 虚拟现实一般是针对某一特定领域解决某些问题的应用，为了解决这些问题，不仅需要了解应用的需求，而且还需要有丰富的想象力，使人沉浸其中并且获取新的知识，提高感性和理性认识，从而深化概念并萌发新意。因此，虚拟现实能够启发人的创造性思维。

### 1.1.2 虚拟现实系统的构成

一个典型的虚拟现实系统主要由计算机、输入/输出（I/O）设备、应用软件和数据库等组成，其模型如图 1-3 所示。

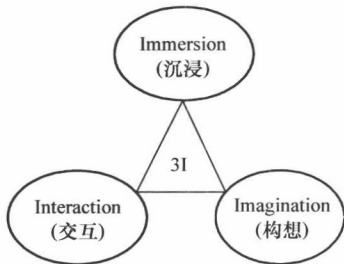


图 1-2 虚拟现实技术的 3I 特性

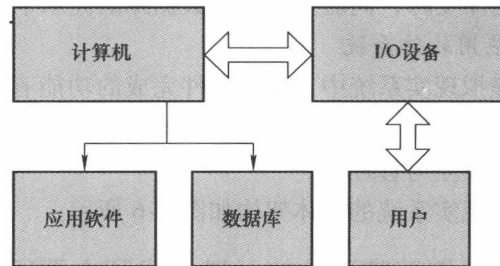


图 1-3 虚拟现实系统模型

#### 1. 计算机

在虚拟现实系统中，计算机是系统的核心，是虚拟世界的“发动机”。它负责虚拟世界的生成、人与虚拟世界的自然交互等功能的实现。由于所生成的虚拟世界本身具有高度复杂性，尤其在大规模复杂场景中，生成虚拟世界所需的计算量极为巨大，因此对虚拟现实系统中计算机的配置提出了极高的要求。通常可分为基于高性能个人计算机、基于高性能图形工作站及超级计算机系统等。

#### 2. I/O 设备

在虚拟现实系统中，用户与虚拟世界之间要实现自然的交互，就必须采用特殊的输入与输出设备，以识别用户各种形式的输入，并实时生成相应反馈信息。常用的输入设备有数据手套、数据衣、三维鼠标、三维摄像头、视线跟踪设备等（见图 1-4），常用的输出设备有立体眼镜、专业显示头盔、立体显示屏等（见图 1-5）。

#### 3. 数据库

虚拟世界数据库主要存放的是整个虚拟世界中所有物体的各方面信息。在虚拟世界中含



图 1-4 输入设备



图 1-5 输出设备

有大量的物体，在数据库中就需要有相应的模型。如在显示图像前，需要有描述虚拟环境的三维数据库支持，同时要注意与数据库的高水平的交互。

#### 4. 应用软件系统

在虚拟现实系统中，应用软件完成的功能有：虚拟世界中物体的几何模型、物理模型、运动模型的建立，三维虚拟立体声的生成，模型管理技术及实时绘制技术的实现，虚拟世界数据库的建立与管理等。

虚拟现实系统的整体架构如图 1-6 所示。

### 1.1.3 虚拟现实系统的关键技术和主要研究内容

虚拟现实涉及计算机图形技术、多媒体技术、传感器技术、并行实时计算技术及仿真技术等领域，是这些技术在更高层次的集成和渗透。

虚拟现实的关键技术包括：

1) 动态环境建模技术。虚拟环境的建立是虚拟现实技术的核心内容，动态环境建模技术的目的是获取实际环境的三维数据，并根据应用的需要，利用获取的三维数据建立相应的虚拟环境模型。三维数据的获取可以采用 CAD 技术（有规则的环境），而更多的情况则需采用非接触式的视觉建模技术，两者的有机结合可以有效地提高数据获取的效率。

2) 实时三维图形生成技术。三维图形的生成技术已较成熟，关键是如何“实时生成”。为了达到实时的目的，至少要保证图形的刷新频率不低于 15 帧/s，最好高于 30 帧/s。在不降低图形质量和复杂程度的前提下，如何提高刷新频率将是该技术的研究内容。

3) 立体显示和传感器技术。虚拟现实依赖于立体显示和传感器技术的发展，现有的设备还不能满足虚拟现实系统的需要。例如，头盔式三维立体显示器有以下缺点：过重（1.5~2kg）、分辨率低、刷新频率慢、跟踪精度低、视场不够宽、眼睛容易疲劳等；同样，数据手套和数据外衣等都有延迟大、分辨率低、使用不便等缺点。因此，有必要开发新的三

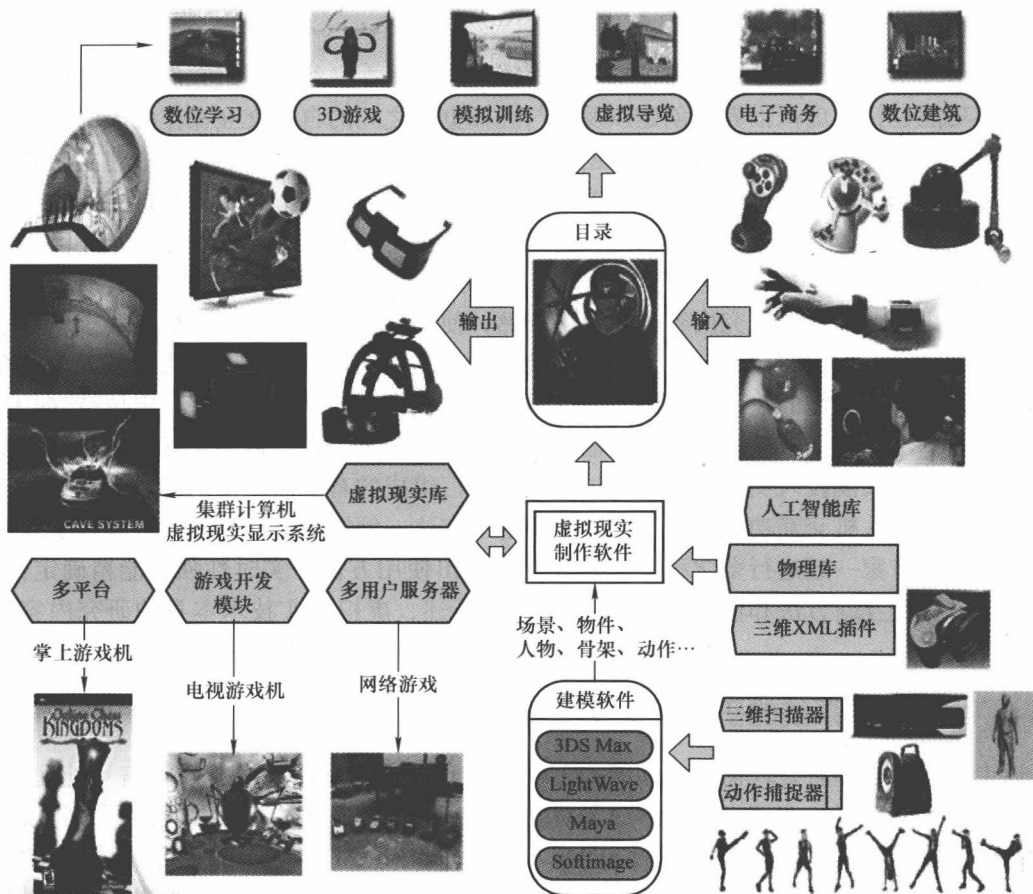


图 1-6 虚拟现实系统架构图

维显示技术。

4) 多维人机交互技术。对人体各部位的跟踪定位是为了与三维虚拟世界交互，因此，必须感知参与者的视线。为了在虚拟世界中移动物体甚至移动参与者的身体，必须跟踪观察者的手位和手势，甚至全身各肢体的位置。触觉/力反馈系统生成的参与者除接收虚拟物体的视觉和听觉信号外，同时，还能接受其触觉刺激，如纹理和质量感，感觉虚拟物体对人体的反作用力。运动感生成技术使参与者产生飞行、失重、摇摆等感觉。

5) 语言处理技术。在虚拟环境中，声音不仅是多维人机交互的方式之一，也是仿真用户产生身临其境的“沉浸”感的重要手段之一。其比较常用的是语言识别、语言合成和三维立体定域技术。

6) 应用系统开发工具。虚拟现实应用的关键是寻找合适的场合和对象，即如何发挥想象力和创造性。选择适当的应用对象可以大幅度地提高效率，减轻劳动强度，提高产品质量。为了达到这一目的，必须研究虚拟现实的开发工具。例如，虚拟现实系统开发平台、分布式虚拟现实技术等。

7) 系统集成技术。由于虚拟现实系统中包含了大量的感知信息和模型，因此，系统的

集成技术起着至关重要的作用。集成技术包括信息的同步、模型的标定、数据转换、数据管理模型、识别与合成等技术。

从虚拟现实系统的基本功能出发来分析虚拟现实技术本身的主要研究内容。虚拟现实系统的基本功能包括：虚拟世界的创建以及人与虚拟世界之间的自然交互操作两大部分。虚拟世界是针对人的感知功能而创建的，而创建功能又应该包括针对各类感知通道建立感知模型以及将各类感知模型显示出来的转换装置（用以将各类感知模型转换为能接受各类刺激信号）两大部分，目前相对成熟的感知建模和显示技术仅仅局限于视觉、听觉和触（力）感知模型，相对应的显示装置为立体显示器、空间声播放系统和触（力）觉反馈装置。虚拟现实中人机自然交互的研究内容仍然很不成熟，使用较普遍的是基于手势和姿态、基于自然语言理解、三维抓取和指点，以及三维导航等几种交互操作，可以说方法较贫乏。至今可用作人机自然交互操作的输入硬件还十分有限，通常操作不便、实时性差、定位/定向困难、精度较低等。例如基于自然语言理解的输入装置应是最理想的人机自然交互操作，然而受到技术的限制，今天能投入实际应用的仅仅是有限词汇组成的有限命令识别器，离真正的基于自然语言理解的人机交互功能有很长一段路要走。在这一领域需要计算机界、心理学界和人机工程学界等专家一起进行多学科交叉研究，开发出使用方便、实时性强、能精确定位/定向的自然人机交互新方法和输入/输出装置。综上所述，虚拟现实技术本身的研究内容如图 1-7 所示。

#### 1.1.4 虚拟现实系统的研究现状及发展

近十几年来，随着处理器技术性能的大幅度提升以及传感器技术、数字信号处理技术、图形绘制技术的发展，在国内、外形成了对虚拟现实的研究高潮。特别是美国军方将模拟器进行关联，用以完成战术协同训练的 SIMNET（SIMulation NET working，仿真网络）系统、波音 777 客机管线系统的虚拟组装与虚拟设计等虚拟现实应用所获得的巨大成功，使世界各国逐渐认识到虚拟现实技术的巨大发展潜力。虚拟现实技术的研究内容如图 1-7 所示。

美国是虚拟现实技术的发源地，其研究时间早、范围广，目前处于世界领先地位。美国虚拟现实研究技术的水平基本上就代表国际虚拟现实发展的水平。美国的大学和研究机构对虚拟现实技术研究的范围，几乎覆盖了虚拟现实技术的每一个领域。目前美国在该领域的基础研究主要集中在感知、用户界面、后台软件和硬件四个方面。其中主要的研究成果有：为作战部队提供一个动态及交互交战环境的战术作战训练（The Battle Force Tactical Training, BFTT）系统、美国军方开发的可用于军事战场演习的大规模分布式交互仿真系统 NPSNET、利用真实地形数据构建虚拟战场环境的面向高级概念技术演示的战争综合演练场 STOW，以及芝加哥伊利诺大学开发的完全沉浸式 CAVE 环境、麻省理工学院的人工生命交互视频环境、北卡罗来纳大学的大规模场景实时绘制算法、NASA 的虚拟风洞实验、宾夕法尼亚大学的用于人机工效分析 JACK 系统、卡内基梅隆大学的多通道人机交互界面、美国国家标准和技术研究院开发的面向虚拟设计与虚拟制造的开放式虚拟现实测试平台等。

欧洲各国如德国、英国等也积极进行了虚拟现实的研究与应用。其中以英国最为突出，其在虚拟现实的分布式并行处理、应用研究方面和辅助设备的设计方面在世界上处于领先地位。在英国从事虚拟现实研究的主要有：British Aerospace（英国航空）公司的 Brough 分部正在利用虚拟现实技术设计高级战斗机座舱，开发了一个高级测试平台 VECTA（Virtual En-

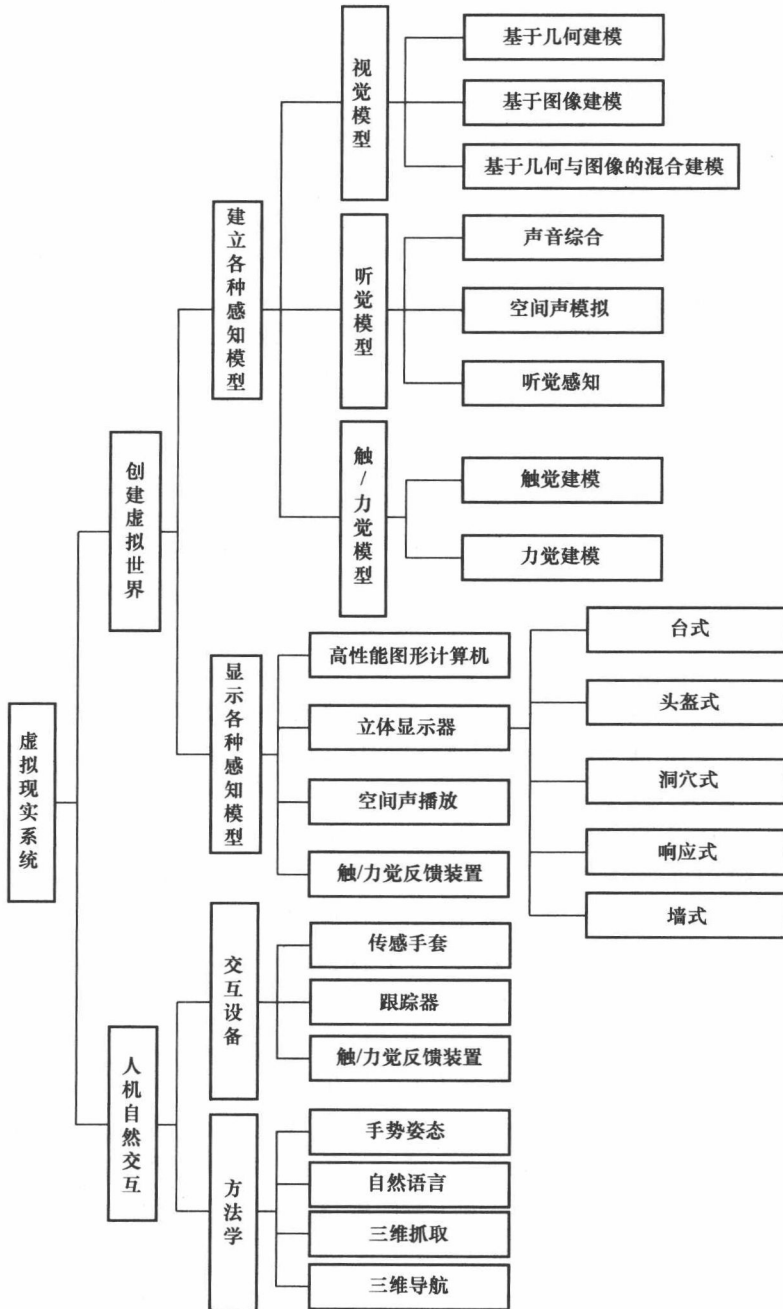


图 1-7 虚拟现实技术的研究内容

vironment Configurable Training Aid, 虚拟环境可配训练设备), 研究用虚拟现实技术替代传统模拟器方法; Windustries (工业集团) 公司是国际虚拟现实界著名的开发机构, 在工业设计和可视化等领域占有一席之地; Division 公司使用 Transputer 和 1860 技术开发 Vision、Provision 和 Supervision 系统/模块化高速图形引擎。德国研究机构以德国 FHG - IGD 图形研究所

和德国国家计算机技术中心（GMD）为代表，主要从事虚拟世界的感知、机器人远程控制、虚拟环境的控制和显示、虚拟现实在空间领域的应用等方面的研究工作。美国福特公司成功地将虚拟现实技术应用于辅助新车的设计与装配，使其新车的设计周期从 36 个月降低到 24 个月，年均节约的生产成本约 2 亿美元。荷兰应用科学研究组织（TNO）的物理与电子实验室（FEL）有一个仿真训练组，将一些仿真问题集中在该训练组进行研究。其中之一是通用导弹发射点火仿真装置，另一个是太空工作站工作。

在亚洲，日本是虚拟现实技术开发和研究中处于领先位置的国家之一，同时韩国、新加坡等国家也在积极开展虚拟现实技术方面的研究工作。日本虚拟现实研究主要致力于建立大规模虚拟现实知识库的研究，另外在虚拟现实游戏方面的研究也做了很多工作。东京大学的学者主要对远程控制、人类面部表情特征提取、虚拟现实可视化、三维形状和三维结构的判定表示、动态图像的提取和人类辅助工程等方面的虚拟现实技术进行了深入探索。京都的先进电子通信研究所正在开发一套系统，它能用图像处理来识别手势和面部表情，并把它们作为信源输入计算机。日本的松下电子产品有限公司日前也研制出了一些引人注目的虚拟现实应用系统，如“虚拟厨房”。富士通实验室有限公司正在研究虚拟环境与虚拟生物的相互作用，同时在研究手势识别时，开发出一套神经网络姿势识别系统。但日本大部分虚拟现实硬件是从美国进口的。

与一些发达国家相比，我国虚拟现实技术虽然起步比较晚，但由于受到政府有关部门和科学家们的高度重视，国内一些重点院校也积极投入到了虚拟现实领域的研究工作中，因此近些年来发展迅猛。北京航空航天大学计算机系是我国最早进行虚拟现实研究，也最有权威的单位之一，其虚拟现实技术国家重点实验室建立了我国第一个用于分布式虚拟现实应用研究的广域专用网络 DVENET，目前主要研究虚拟现实中的建模理论和方法、分布式虚拟现实方法与技术、增强现实与人机交互机制、虚拟现实的集成环境与工具等。浙江大学 CAD&CG 国家重点实验室开发了一套基于桌面的虚拟建筑环境实时漫游系统，该系统采用了层面叠加绘制技术和预消隐技术，实现了立体视觉，同时还提供了方便的互动工具，使整个系统的实时性和真实性都达到了较高的水平。哈尔滨工业大学计算机学院已经成功地虚拟出了人的高级行为中特定人脸图像的合成、表情的合成和唇动的合成等技术问题，并正在研究人说话时头的姿势和手势动作、语音和语调的同步等。北京科技大学虚拟现实实验室多年来一直从事虚拟现实研究，成功开发出了纯交互式汽车模拟驾驶培训系统。开发出的三维图形非常逼真，虚拟环境与真实的驾驶环境几乎没有什么差别，使用效果良好。同时清华大学计算机科学与技术系、北京化工大学智能工程实验室、西安交通大学信息工程研究所、北方工业大学 AD 研究中心、武汉大学虚拟现实研究室、国家体育总局体育科学研究所体育系统仿真开发实验室、国防科技大学、中国科学院自动化研究所、大连海事大学、天津大学、香港中文大学等单位对虚拟现实技术的相关领域也都进行了较多的研究工作。

虚拟现实技术要获得非常理想的实现，目前还存在着一些巨大的障碍，从硬件上讲，数据存储设备的速度、容量还十分不足，而显示设备的昂贵造价和它显示的清晰度等问题也没能很好地解决，为虚拟现实制造的大部分专用设备不但造价高、使用起来很不方便、效果有限，而且局限性很大，还不能达到人们的要求，更不能达到虚拟现实所定义的那种环境。从软件上讲，由于硬件的诸多局限性，使得软件的开发费用十分惊人，而且软件所能实现的效果受到时间和空间的很大影响，算法和许多相关理论也很不完善。另外，人们对大脑和人类



行为的认识还需进一步提高。从实现效果方面看虚拟世界的表示侧重几何图形表示，缺乏逼真的物理、行为模型，虚拟世界的感知方面有关视觉的研究较多，听觉、触（力）觉关注较少，真实性与实时性不足，在于虚拟世界的交互中，自然交互性不够，基于自然的交互效果还远远不能令人满意。在应用方面，虽然虚拟现实技术目前在很多领域中的实际应用已有很大进展，例如虚拟现实技术已经广泛地应用于军事、医学和商业等领域，但还没有涉及教育系统、如何帮助残疾人克服其现有环境障碍等方面的领域。它在实际应用领域仍然处于初级阶段，在很多方面，它仍然是一种刚开始研究如何实际使用的技术，还存在着很多尚未解决的理论问题和尚未克服的技术障碍。

客观而论，目前虚拟现实技术所取得的成就，绝大部分还仅仅局限于扩展了计算机的接口能力，仅仅是刚刚开始涉及人的感知系统和肌肉系统与计算机的交互作用问题，还根本未涉及“人在实践中所得到的感觉信息是怎样在人的大脑中存储和加工处理成为人对客观世界的认识”的过程。只有当真正开始涉及并开始找到对这些问题的技术实现途径时，人和信息处理系统之间的隔阂才有可能被彻底地消除。只有到那时，信息处理系统就再也不只是一个只能处理数字的计算装置或信息处理装置了，它将成为人类对他们已有的概念进行深化和获得新概念的有力工具。需要特别强调的是，即使到那时，人类仍将是多维信息空间的主体。

虚拟现实的发展方向是很明确的：更快、更高质量的图形；更便宜、设计得更完善的头盔式显示器和其他输入、输出设备；更快的计算机处理能力。这些方面的改进将会影响到虚拟现实在实际应用中的各个方面，包括虚拟环境内的视、听觉质量，而且还会影响到虚拟现实在各个新领域内的广泛应用。此外，各种新技术的出现将会引起虚拟现实的革命性变化，如在触觉学领域内，研究人员正在探索如何将触觉感觉用于虚拟现实中。

很多用户共享全球规模的虚拟环境的能力将在计算机控制的空间内形成一个虚拟团体，这类实时性的交互有可能为不同文化阶层的人相互交流思想和汇集他们的集体智慧提供无穷的机遇。在虚拟现实技术的未来发展中，虚拟现实和真正现实之间的界线会变得越来越模糊。虚拟现实的研究内容很广，但是在面向家庭的实际应用方面的研究大致可以分为两个方面：一是硬件的研制与开发，硬件方面的研究内容很多，仅观察设备就包括计算机上的观察设备、电视机上的观察设备和简单的图片观察设备等；二是软件的研制与开发，这方面涉及的内容也很广，包括实用虚拟现实图像的生成算法，以及高效、快速生成体视图的技巧与方法等。另外，智能虚拟环境是虚拟环境和人工智能、人工生命、人工心理与人工情感技术的结合，它涉及计算机图形、虚拟环境、人工智能、人工生命、人工心理与人工情感、机器人等领域，该项技术的研究将有助于开发新一代具有行为真实感的实用的虚拟环境，支持分布式虚拟环境中的交互协同工作。

### 1.1.5 虚拟现实系统的应用领域

虚拟现实技术的发展与普及，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为人性化，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，也同时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。虚拟现实技术已成为一门艺术、一种文化，深入到我们的生活中。其应用领域如图 1-8 所示。