

THEORY AND TECHNOLOGY OF INTELLIGENT
VIRTUAL AGENTS

**虚拟智能体
理论与技术**

刘 箴◎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>

UNIVERSITY OF TORONTO LIBRARY
UNIVERSITY OF TORONTO LIBRARY

虚拟智能体 理论与技术

第二版

清华大学出版社

虚拟智能体理论与技术

刘 箴 著

電子工業出版社·

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

内 容 简 介

虚拟智能体是虚拟现实系统中具有感知和行为特征的图形实体,在电子教育、数字娱乐、军事仿真、医疗等很多领域有着广泛的应用。本书阐述了虚拟智能体的理论、方法和实现技术,书中内容反映了虚拟现实和人工智能交叉领域的研究现状,对于深入开发虚拟现实系统具有很好的参考价值。

本书可作为高年级本科生、研究生、工程技术人员的教材或参考书。

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

虚拟智能体理论与技术/刘箴著. —北京:电子工业出版社,2018.2
ISBN 978-7-121-33624-9

I. ①虚… II. ①刘… III. ①虚拟现实 IV. ①TP391.98

中国版本图书馆CIP数据核字(2018)第021889号

责任编辑:杨秋奎 特约编辑:丁福志

印 刷:三河市双峰印刷装订有限公司

装 订:三河市双峰印刷装订有限公司

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:710×1000 1/16 印张:10.75 字数:206千字

版 次:2018年2月第1版

印 次:2018年2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)88254888,88258888。

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

本书咨询联系方式:(010)88254694, liuxl@phei.com.cn。

Preface 前言

近年来，人工智能和虚拟现实技术受到学术界和产业界的广泛关注，人们已经开始运用人工智能技术来描述虚拟现实系统中具有自主行为的对象，虚拟智能体是虚拟现实系统中具有感知和行为特征的图形实体。虚拟智能体的理论和方法发展迅速，目前已成功应用于电子教育、数字娱乐、军事仿真、医疗等领域。

本书主要结合作者在虚拟智能体方面的部分研究工作，重点介绍了虚拟智能体的行为和情绪建模，给出了具体的实现案例，期望对推动虚拟现实技术的应用开发有所帮助。全书共5章，第1章主要介绍虚拟智能体的概念和技术，第2章介绍虚拟智能体的感知和行为建模，第3章介绍虚拟智能体的情绪模型，第4章介绍虚拟智能体的群体行为建模，第5章介绍虚拟智能体应用案例。

本书得到了国家自然科学基金（61373068，60973099）的资助，在此表示衷心的感谢。

本书可以作为计算机科学技术、自动化和其他工科专业高年级本科生、研究生的参考书，也可以作为工程技术人员开发虚拟现实系统的参考用书。

由于作者水平所限，书中难免存在疏漏和不妥之处，旨在抛砖引玉，望请专家学者和广大读者不吝赐教。

著者

2017年12月

目 录

Contents

第 1 章 虚拟智能体概述	1
1.1 虚拟现实技术发展趋势	1
1.2 虚拟智能体概念的提出	2
1.3 国际国内研究状况和进展	4
1.4 虚拟智能体认知模型	8
1.4.1 认知模型概述	8
1.4.2 具有社会性的认知结构设计	9
1.4.3 本书提出的虚拟智能体的认知结构	10
1.5 虚拟智能体的可信性	12
1.5.1 虚拟智能体的感知可信性	13
1.5.2 虚拟智能体的情绪可信性	15
1.6 本章小结	17
参考文献	18
第 2 章 虚拟智能体的感知和行为建模	21
2.1 虚拟智能体的感知概述	21
2.2 虚拟智能体的视觉感知建模	22
2.2.1 虚拟视觉	22
2.2.2 基于场景语义的视觉感知	24
2.2.3 可见性测试	25
2.2.4 视觉注意机制	26
2.3 虚拟智能体视觉范围动态调节方法	27
2.3.1 视觉感知简化描述	27
2.3.2 Q 学习概述	28
2.3.3 基于 Q 学习的感知模块自适应	29

2.3.4	实验	31
2.4	虚拟智能体的运动路径规划	33
2.4.1	运动路径规划模型	33
2.4.2	运动路径规划实验	36
2.5	虚拟智能体的行为建模	39
2.5.1	行为规划	39
2.5.2	行为描述	40
2.5.3	动机和行为	43
2.6	本章小结	46
	参考文献	46
第3章	虚拟智能体情绪模型	48
3.1	虚拟智能情绪模型概述	48
3.1.1	情绪概述	48
3.1.2	情绪模型研究综述	48
3.2	情绪认知评价模型	50
3.2.1	OCC 模型	50
3.2.2	EMA 模型	52
3.2.3	CogAff 模型	56
3.2.4	基于社会心理学框架下的认知模型	57
3.2.5	情绪的数学描述	58
3.3	基于推理规则的情绪模型	60
3.3.1	虚拟智能体认知结构的设计	60
3.3.2	情绪推理规则的构建	63
3.3.3	实验原型	66
3.4	虚拟智能体的情绪决策模型	70
3.4.1	情绪、个性和动机的描述	70
3.4.2	情绪决策算子的构建	71
3.4.3	实验原型	76
3.5	人一机交互中的虚拟智能体情绪设计	82
3.5.1	人一机交互的虚拟智能体设计	82

3.5.2	情绪交互规则的设计	83
3.5.3	人一机交互中虚拟智能体不确定信息处理	84
3.5.4	实验原型	86
3.6	本章小结	88
	参考文献	88
第4章	虚拟智能体群体行为建模	93
4.1	虚拟智能体群体行为建模概述	93
4.2	人群行为模拟相关概念	95
4.2.1	虚拟智能体的感知	95
4.2.2	人群碰撞检测方法	95
4.2.3	虚拟智能体的个性	100
4.2.4	虚拟智能体的群体行为	101
4.3	考虑个性参数的人群逃生行为仿真模型	103
4.3.1	人群个性对逃生的影响分析	103
4.3.2	人群个体的碰撞检测	105
4.3.3	实验结果分析	106
4.4	基于虚拟智能体的群体对抗仿真模型	108
4.4.1	群体对抗仿真设计	108
4.4.2	虚拟智能体的情绪决策	111
4.4.3	仿真实验	112
4.4.4	实验分析	114
4.5	情绪驱动的人群跟随运动仿真	114
4.5.1	人群情绪和运动模型	114
4.5.2	人群跟随运动实验分析	117
4.6	人群拥挤事件中的情绪感染仿真模型研究	119
4.6.1	人群拥挤和情绪感染	119
4.6.2	人群情绪感染模型	120
4.6.3	人群情绪感染假设	121
4.6.4	人群避碰和跌落行为	124
4.6.5	人群情绪感染实验	125

4.6.6	实验讨论	135
4.7	本章小结	136
	参考文献	137
第5章	虚拟智能体的应用案例	140
5.1	虚拟智能体应用开发概述	140
5.1.1	智能体的开发要求分析	140
5.1.2	虚拟智能体计算模型的设计	142
5.2	虚拟智能体在康复领域的应用	145
5.3	虚拟智能体在体感康复训练中的构想	146
5.3.1	体感康复游戏技术现状	146
5.3.2	虚拟智能体在康复训练中的构想	148
5.4	人体动作和表情的信息采集	148
5.4.1	光学的动作捕获设备介绍	148
5.4.2	表情采集设备	150
5.5	Unity 开发环境下的编程概述	151
5.6	康复训练虚拟现实系统设计	154
5.6.1	虚拟康复训练虚拟现实系统概述	154
5.6.2	虚拟智能体的设计	155
5.6.3	体感交互设计	157
5.6.4	虚拟乒乓球运动的控制	159
5.6.5	实验结果分析	160
5.7	本章小结	162
	参考文献	162

第1章 虚拟智能体概述

1.1 虚拟现实技术发展趋势

随着信息技术的飞速发展，体验经济将成为未来经济活动的主流。体验经济是继农业经济、工业经济和服务经济阶段之后的第四个人类经济生活发展阶段。体验经济或称为服务经济的延伸，覆盖了工业、农业、计算机、互联网、旅游业、商业、服务业、娱乐业（影视、主题公园）等各行业。当前我国的人工智能和虚拟现实研发热潮，正顺应了体验经济时代的发展需求。

虚拟现实技术是一种可以创建和体验虚拟世界的计算机技术，利用计算机技术可生成一个逼真的，具有视觉、听觉、触觉等多通道感知的虚拟环境（Virtual Environment）。用户可通过使用各种交互设备，同虚拟环境进行实时互动，身临其境地体验虚拟环境所展现的空间和逻辑关系。目前，构造具有几何外形真实感的虚拟环境已经不存在技术上的困难了。为了增加用户的体验效果，更多的是要求创建的虚拟环境能够反映人类社会的局部景象。将人工智能技术引入虚拟现实领域，能够极大地提升虚拟现实系统人一机界面的友好性，使虚拟现实系统能够按照人的需求提供体验服务^[1]。

迄今为止公认的虚拟现实系统应包括以下几部分：

- (1) 人。人是虚拟现实系统的主体，包括人力开发资源的投入、用户的体验等相关信息。
- (2) 机。机是虚拟环境的创建工具和载体，包括虚拟现实的硬件和软件系统。
- (3) 境。境是虚拟环境，是由虚拟环境生成工具建构的一种具有沉浸感的人工现实场景。

在一定的开发成本约束下，虚拟现实系统的设计必须综合考虑人、机、境之间的融合关系。融合意味着要综合考虑虚拟现实系统开发所涉及的各个要素，既要有所取舍，也要兼顾各项因素的制约。

这三者之间的关系概括如下：

- (1) 在人—机—境的融合中，人是第一位的，机和境始终受到人的控制。

虚拟现实系统必须明确为谁设计和由谁设计。人善于感知模糊的形象事物，而机善于感知精确的逻辑事物。人一机融合的关键是要设计适应人类感知特点的显示和交互技术，这对虚拟现实技术的软硬件技术发展提供了方向性的指导。例如，如何解决头盔显示眩晕问题，如何研发便于使用的人—机交互技术，这些都是目前本领域的热点问题。同时，虚拟现实系统的开发急需大量人才，这对虚拟现实领域的人才培养也提出了新要求。虚拟现实的用户群也需要开发，随着计算机技术的普及，人们也越来越接受虚拟现实技术，这是构建和谐的人—机—境融合的有利外部环境。

(2) 在人—机—境的融合中，机的进展是最快的。随着信息技术的进步，机的功能将会得到更大的提高。目前，在硬件方面，可供选择的设备有高性能计算机网络系统、声音合成系统、跟踪系统、图形生成系统、触觉系统、嗅觉系统等；在软件方面，有图形显示引擎、人工智能中间件系统等。机是由人设计的，人的先验知识是设计软件算法的基础。机是境的载体，境的复杂程度影响机的设计。因此，在满足人使用的前提下，力求制作性价比高的机。最理想的状态是，机具有多感知性能能够感知视觉、听觉、力觉、触觉、运动、味觉、嗅觉等。

(3) 在人—机—境的融合中，境越来越逼真，也越来越能反映现实社会生活景象。人通过机和境进行交互，境的设计和交互尽量满足人的需求，丰富的交互式剧情技术能有效提升对境的体验感，体感和语音交互将成为主流的人—机交互方式。人的先验领域知识是构成境的基础，人也可在境中增加知识，从而达到提高人素质的作用。境是现实客观世界运动规律的反映，经过人的加工，能为更多的人提供服务。

目前，虚拟现实系统根据人一机交互的方式不同可以划分为桌面虚拟现实系统、坐舱式虚拟现实系统、头盔式虚拟现实系统、环景虚拟现实系统等。但是从上述人一机—境融合的观点出发，没有必要一味追求高档的虚拟现实系统硬件，应根据虚拟场景（境）的需要，建立一个人—机—境融合的系统，特别是随着计算机硬件性能价格比的不断提高，开发桌面型虚拟现实系统仍具有重要的现实意义。虚拟现实系统的开发是一个不断完善的过程，以人为本，分别建立人一机，人一境，机—境的融合，最后达成人一机—境的融合。

1.2 虚拟智能体概念的提出

近年来，虚拟现实技术受到国际学术界和产业界的广泛关注。虚拟现实系

统（虚拟环境）集中体现了计算机科学与其他学科的交叉渗透。虚拟现实技术的应用开发，有效融合了计算机图形学、人工智能、心理学、机器人技术、生命科学等多学科思想和方法，源源不断地创造出新的概念和技术，是计算机科学最具生命力的研究领域之一。

人工智能技术（Artificial Intelligence, AI）的目标是构造具有一定智能行为的智能体^[2]。目前，AI 技术的研究主要是建立于智能体和多智能体框架之上的，智能体是人工智能领域的一个核心概念，智能体技术是继面向对象的建模方法之后出现的又一个功能强大的建模方法。智能体具有自主性、反应性、社会性以及推理能力等特点，已经成为人工智能领域描述行为模型的通用技术框架^[3]，能够用来解决传统人工智能不能解决的环境适应性、信息不完全性以及实时性等问题。

智能体有多种表现形式，随着人工智能 2.0 时代的到来，智能体开始向具身转化^[4]。建立具有自主运动的智能型实体，具有重要的应用价值。1990 年，钱学森等人提出“开放复杂巨系统”的概念，认为思维科学是人工智能和计算机科学发展的重要理论基础，要发展人工智能，必须走“人一机结合”的道路^[5]。建立人一机互补的智能系统具有现实意义。在用新技术提升机器智能的同时，机器也能协助人、拓展人的智能。建立适应人类需求的智能系统能更好地为人类服务。智能虚拟环境（Intelligent Virtual Environment, IVE）是人工智能与虚拟环境融合的产物^[6-7]。在 IVE 中，所有生命的对象用虚拟智能体（Intelligent Virtual Agent）描述。虚拟智能体完全是由计算机生成的图形实体，其属性包括自主性（Autonomy）、主动性（Activity）、反应性（Reactivity）、可动性（Mobility）、社会性（Sociality）、长寿性（Longevity）、移动性（Mobility）、理性（Rationality）、情绪性（Emotional）、适应性（Adaptability）等。如果用虚拟环境模拟社会景象，则模拟人的虚拟智能体应该具有和人类似的属性，除了具有知识、信念、意图、承诺等心智状态外，还应具有情绪和个性。开展虚拟智能体研究有助于开发新一代具有行为真实感的复杂虚拟环境，支持分布式虚拟环境中的交互协同工作，在教育、体育、娱乐、军事等多个领域具有广泛的应用。

虚拟智能体可以用来模拟现实世界中真实的人或其他有生命物体的行为和动作（由人操作的物体也可视为虚拟智能体，如运动的车辆），可以作为真人的替代者用于产品计算机辅助设计评价。例如，车辆、装配线等在实际构造前要进行人一机一环境工程评估，在真人无法到达的环境中进行各种精密甚至危险的试验，在军事上代替真人和武器系统接受各种训练情景推演，在医学上代替

■ 虚拟智能体理论与技术

真人接受一些矫形手术，在航空航天上代替真人从事太空作业，在娱乐领域开发情节逼真的三维游戏，在电视节目中担当虚拟节目主持人等。虽然早在 20 世纪 80 年代对虚拟智能体的研究就已经开始了，但是限于当时的计算机硬件水平，虚拟智能体的几何模型比较简单，也未考虑高级的智能行为。近年来，虚拟智能体技术正在吸收人工智能的最新研究成果，并取得了一些初步的研究成果，预示了广泛的应用前景。

一个虚拟智能体应该包含三个基本要素：

(1) 领域需求。虚拟智能体的设计需要结合领域需求，随着技术的进步，人们对虚拟智能体的需求越来越多，虚拟智能体的设计需要跨学科知识，除了计算机领域知识，艺术设计、心理学等人文领域的知识对设计也具有很好的帮助。

(2) 图形实体。虚拟智能体以图形实体呈现，及时响应人一机交互操作，动画算法要兼顾需求。人们对图形实体的视觉要求越来越高，建立类似真人外观和行为的虚拟智能体能更好地满足人们的体验需求。

(3) 计算模型。虚拟智能体的智能行为由计算模型控制，随着对虚拟智能体智能性要求的提升，人们还需要采用虚拟智能体仿真人类社会群体景象，同时虚拟智能体还需要有情绪表现力和学习能力。

1.3 国际国内研究状况和进展

1. 虚拟智能体技术研究的主要内容

虚拟智能体是智能体理论在虚拟现实领域的延伸^[8]，目前，虚拟智能体技术研究可以概括为以下几个方面：

(1) 几何建模。尽管已经有许多建立人体模型的方法，但虚拟智能体往往具有复杂的表面，如何在有限的计算机资源前提下产生逼真的智能体三维模型，一直是人们探索的课题，在许多情况下，人们需要在模型的精度和显示速度方面进行折中。

(2) 运动控制。虚拟智能体是一个复杂的生命体，从生理解剖的角度来分析，它可以划分为骨架、肌肉和皮肤三层，骨架基本上决定了身体的姿态。关于骨架的逼真运动生成方法主要有关键帧方法、运动捕捉、正向和逆向运动学方法、动力学方法等，为了达到比较好的控制效果，一般需要综合地运用这些

方法。对于肌肉和皮肤层次，则需要考虑几何的变形。

(3) 路径规划。研究虚拟智能体如何在虚拟环境中避障，选择优化的移动路径。

(4) 交互技术。研究如何有效地控制虚拟智能体的行动，如采用语音或体感交互的方式。随着虚拟智能体复杂程度的提高，人们希望用自然语言指令控制虚拟智能体。

(5) 高级智能行为。将真实人具有的高级智能行为引入虚拟智能体，模拟人类的思考动机，甚至包括动机和情感。

2. 国内外虚拟智能体的应用领域

(1) 虚拟培训和教学。虚拟智能体在电子教育领域取得了很大的应用进展。例如，美国加州大学洛杉矶分校的研究人员在 PC 平台上开发了一个支持网络虚拟世界的软件系统^[9]，系统可以对虚拟智能体的行为关系进行描述，多个图形对象可以进行基于物理行为模型的交互；南加州大学的 Johnson 把具有教学辅助功能的虚拟智能体引入虚拟环境，从而使得系统能有效地指导参加训练的人员^[10]，经过 20 多年的技术发展，已经证明虚拟智能体对于提升学习兴趣和改善学习效果具有重要的意义，可用于创建情景教学环境^[11]。Nadia Magnenat-Thalmann 等提出了虚拟智能体的情感学习模型，并用于人一机交互领域^[12]。

(2) 军事仿真。采用仿真技术辅助军事训练，可以有效地降低训练成本和训练伤亡风险。在国内外以往的作战仿真训练系统研究和开发中，对虚拟环境中的生命主体 (Agent) 的高级智能行为考虑得不多。现代战争理论指出战争的主体，即人是战争的关键，要赢得战争，重要的是抑制和消灭敌方的战争主体。对于军事应用来说，最重要的是如何模拟敌我交战的战场情况、指挥员如何决策以及各军种士兵如何协同作战。因此，营造逼真的虚拟战场环境，迫切需要在虚拟环境中加入有生命的对象 (虚拟人或动物)。目前，国外开展了计算机生成兵力 (Compute Generated Forces, CGF) 研究，即利用计算机实现对武器装备和人员的行为模拟，从而提高仿真训练效果^[13]。Gratch 等提出了一种情感认知框架，并用于创建模拟战场环境下士兵的情感，通过人一机情景对话模拟训练，应对战场环境^[14]。

(3) 人一机—环境工程学仿真。人一机—环境工程学是研究人、机 (工具)、环境之间关系的一门科学。人们一直希望用虚拟智能体代替真人预先对设计进

行人—机—环境工程学的评估，从而节省设计经费，提高设计的合理性和科学性。一个典型的例子是美国宾夕法尼亚大学（Pennsylvania）开发的著名的虚拟人动画软件 Jack^[15]，该软件旨在解决工业工程领域中的人—机工效仿真。Jack 采用了一个多边形模型，具有刚性的分段，精确的关节运动和约束，使用参数行为表示（Parameterized Action Representation, PAR），从而使虚拟人具有一定的智能性。此外，瑞士 Thalman 夫妇领导的虚拟现实研究小组一直在从事虚拟人的研究工作^[16]，主要的研究包括三维人脸的实现、手的变形、人体模型的建立、身体的变形和运动控制（如行走、跑动和用手抓取物体等运动）。他们认为，虚拟人不仅要可视，还应该具有行为、感知、记忆和一些智能推理的功能。为了表现虚拟人与环境中物体的相互作用，他们还提出了智能物体（Smart Object）的概念^[17]，采用一个脚本文件描述智能物体的特性，并建立了 AGENTlib 运动控制结构软件。

（4）体育与舞蹈仿真。比赛、运动和舞蹈涉及对人类运动潜能的挖掘。通过虚拟人进行仿真，有助于指导运动员提高比赛技能，比较著名的工作是 Hodgins 等研究的虚拟运动员^[18]。国内较早开展虚拟人用于体育仿真的研究工作参见文献^[19]。

（5）城市规划和人群动画。采用虚拟现实技术辅助景观规划，目的是在计算机系统中创造“身临其境”的虚拟景观。操作者可以对虚拟景观进行操作和漫游，从不同的角度感受虚拟建筑景观。目前，大多数的虚拟建筑景观主要模拟无生命的物体，对场景中动态的物体和人的行为缺乏描述。规划的目的是从整体上评价建筑和人之间的融合关系，静态的虚拟景观无法全面反映真实的建筑环境。为了理解人类在建筑环境中的行为反应和感知外部世界的能力，有必要通过人群的运动仿真研究分析景观的设计效果。

人群动画的开发具有挑战性，采用几何模型构造虚拟人物，渲染一个场景中大量的人群个体几乎是不可能的。目前面临的一个挑战就是许多城市有极为详细的几何模型外观，需要一些可信的虚拟居民来加强它们的真实性。为此，伦敦大学计算机系采用基于图像的方法巧妙地实现了人群动画，每个人采用一个多边形描述，从不同的视角点取人的图像，以纹理贴图的形式贴在单独的多边形上，从不同的视觉角度描绘人群。数千个人体模型在一个虚拟城市中都有他们的运动方向，基于图像的系统能实时渲染密集人群^[20]。

中东技术大学采用 LOD 和 GPU 并行计算方法，用模糊逻辑驱动虚拟智能体的行为^[21]，与采用 CPU 的技术架构相对比，显著提升了计算性能，实现了

大型马拉松比赛现场的虚拟仿真。模糊逻辑推理能够增加仿真的真实感。在马拉松比赛中,虚拟观众站在道路侧面,在运动员跑过来时欢呼。运动员的次序和观众的兴奋程度决定了观众的欢呼风格和水平。例如,观众对第一行运动员的欢呼声要大于其他运动员,这种推理估计了观众对特殊运动员(如朋友、亲戚)的支持。运动员跑过去之后,观众就会变得安静,推理输出也会随之发生动态变化。类似地,运动员会根据自己的目标、周围的环境、自己的身体条件提高或降低自己的速度。大部分推理输入是动态的,在仿真过程中都可能改变,但是,有些却是固定的,如运动员的目标,可以是打破世界纪录、打破自己的纪录、完成全程或娱乐。

(6) 虚拟主持人。随着互联网技术的发展,虚拟智能体将在线咨询、销售、教学方面具有广泛的应用前景。虚拟主持人是采用计算机图形合成出来的担任主持人的虚拟智能体。虚拟主持人已经开始出现在网站和电视中,如英国广播公司于2000年5月20日正式发布了第一个网上虚拟主持人 Ananova,此后,我国也于2001年推出了电视节目虚拟人比尔·邓。虚拟主持人可以分成实时和非实时两种类型。其中,非实时虚拟主持人的节目可以通过后台制作完成之后作为普通的电视节目播出,技术难度不大,目前大部分虚拟主持人都属于这种类型。而实时虚拟主持人需要由运动跟踪设备实时驱动虚拟人关节运动,并采用人工智能技术实时驱动文本实现朗读,系统具有良好的适应性。

实时虚拟主持人研究方面比较著名的是中科院计算技术所开发的一种中国手语合成系统^[22],该系统实现了从文本到中国手语的自动翻译,并使用虚拟人合成技术,实现了中国手语的合成与显示,以此帮助聋哑人与听力正常人之间实现自然交流。该系统采集了中国手语中收录的5596个手语词,可以合成一般生活与教学用语。经聋哑学校的老师和学生确认,合成手语准确逼真,可以广泛应用于教学、电视、互联网等多种大众媒体,帮助聋哑人参与正常人的活动。

(7) 严肃游戏。严肃游戏(Serious Games)强调了游戏设计的目标是面向教育或培训,通过引入虚拟智能体提升游戏的趣味性。严肃游戏可用来辅助心理治疗、火灾逃生培训等^[23,24]。例如,在火灾逃生严肃游戏中,采用建筑信息模型(BIM),能够建立准确的建筑空间场景,可以准确模拟火场中逃生的三维空间^[25]。随着近年来头盔式显示器的流行,严肃游戏场景越来越逼真,Chittaro等最近研制了一款基于头盔显示器的严肃游戏原型,用来模拟飞机乘客应对劫机犯的情景,画面非常逼真,增强了用户的体验感,可以用于反恐教育^[26]。

1.4 虚拟智能体认知模型

1.4.1 认知模型概述

虚拟智能体可以沿用智能体的理论框架。目前，智能体的各种形式化模型各有侧重，或是强调知识表示，或是建立一个逻辑框架，或是建立一个行动的描述理论。虚拟智能体模型应能够反映人的认知过程，包括对环境的信息采集加工过程。虚拟智能体主要有以下三种类型^[3]：

(1) 认知型虚拟智能体。认知型虚拟智能体是决策基于历史信息和内部状态的智能体。虚拟智能体基于物理符号系统假设，一个物理符号系统可以由一组物理符号组成，任务可以通过符号内部表示进行操作的推理过程实现，推理过程以及内部表示构成了虚拟智能体的基本框架。构建认知型虚拟智能体需要解决两个问题：一是转换问题，即把虚拟世界映射成为一个准确而完全的符号描述，并保证这种描述的有效性；二是知识表示和推理问题，即用符号表示复杂的虚拟世界的实体和过程，并依据这些符号系统进行快速推理，以得到有效的结论。这类智能体比较有代表性的模型是，逻辑模型（Beliefs Desires Intentions, BDI）。信念（Belief）表示智能体对环境和自身所持的观点，与智能体的感知有关。愿望（Desires）和意图（Intentions）都是智能体希望做某事的状态。其中，意图推动智能体去行动，对智能体未来所作的行为进行引导，也就是说：一个智能体可能有某种愿望，但有可能永远不去履行它；而一旦智能体有某种意图，则这种意图将导致智能体寻求合适的手段达到这一意图，直到这个意图结束为止。认知型虚拟智能体涉及知识表示和学习、自动推理、自动规划等，目前仍有许多问题尚未能得到圆满解决。

(2) 反应式虚拟智能体。由于符号运算仍有许多问题没有解决，许多研究者开始怀疑符号运算的可行性，开始建立一种新的智能体系结构。机器人专家 Brooks 最先提出了基于行为的人工智能体系结构，他认为智能体行为是主体与它周围环境交互的结果。反应式虚拟智能体不包含用符号表示的世界模型，不使用复杂的符号推理，其行为取决于感知和行动。智能体行为的复杂性可以是智能体运行环境复杂性的反映，而不是智能体内部复杂设计的反映。反应式虚拟智能体对环境迅速反应，但智能性较低，难以解决复杂问题。

(3) 混合式虚拟智能体。上述两种类型的智能体的优势可以互补，因此，