

DOI:10.3969/j.issn.1673-4785.201112011

网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/23.1538.TP.20120416.0847.002.html>

虚拟人情绪模型研究的现状和问题

刘箴, 柴艳杰

(宁波大学 信息科学与工程学院, 浙江 宁波 315211)

摘要: 情绪体验能够有效地提高虚拟现实系统用户的兴趣, 虚拟人的情绪设计正成为构建虚拟环境的一项核心技术, 目前的虚拟人情绪模型仍然处于初级阶段。综述了情绪模型的研究, 讨论了情绪模型尚未解决的问题。根据情绪模型相关研究和认知科学的成果, 提出了建立虚拟人情绪模型的一种新思, 其目标是提高虚拟人情绪设计的效率, 虚拟人的情绪状态通过情绪模型来控制, 虚拟人可以具有感知、动机、情绪、个性, 并可在虚拟环境中表现出恰当的自主情绪。情绪设计软件可以融合软计算理论和人机交互技术, 为建立人性化的图形界面提供一种高效工具。

关键词: 情绪; 虚拟人; 情绪模型; 认知科学

中图分类号: TP391.1 **文献标志码:** A **文章编号:** 1673-4785(2012)02-0095-07

The present situation and problems with research of a virtual human's emotion

LIU Zhen, CHAI Yanjie

(Faculty of Information Science and Technology, Ningbo University, Ningbo 315211, China)

Abstract: Emotion experience can effectively enhance the interest of users for virtual reality; emotion design for a virtual human is becoming a core technology in building a virtual environment, although the current emotion model of virtual humans is still in a preliminary stage. The previous research on emotion models was reviewed in this paper, and some unsettled problems of the emotion model were discussed. Based on the relative research on emotion models and the achievements of cognitive science, a new idea of building an emotion model was presented for the purpose of improving the efficiency of emotion design for a virtual human. A virtual human's emotion state can be controlled by an emotion model, which has perception, motivation, emotion, and personality while showing appropriate autonomous emotions in a virtual environment. Emotion design software can integrate the soft-computing theory and human-computer interaction technology, providing an efficient tool for the establishment of human-oriented graphics interfaces.

Keywords: emotion design; virtual human; emotion model; cognitive science

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4个人类的经济生活发展阶段, 或称为服务经济的延伸。它覆盖了从工业到农业、计算机业、互联网、旅游业、商业、服务业、餐饮业、娱乐业(影视、主题公园)等各行业^[1]。我国当前开展的智慧城市建设, 正顺应体验经济时代的发展要求。2010年的上海世界博览会, 体现了智慧城市

建设的新理念, 虚拟现实技术是世博会的一个突出亮点, 观众不仅可以现场参观, 也可以在网上参观虚拟三维展馆。采用虚拟现实技术实现的清明上河图, 使观众仿佛置身在远古时代。世博会向人们诠释的智慧城市, 不仅是网络互联的世界, 更重要的是, 可视化的图形界面将成为信息表现的主要手段。虚拟现实技术将梦想和现实相结合, 正逐步融入社会生活, 为人们的工作和生活提供直观便捷的体验方式。

虚拟现实是一种可以创建和体验虚拟世界的计算机系统, 它利用计算机技术生成一个逼真的、具有视觉、听觉、触觉等多感知的虚拟环境, 用户通过使

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的信息.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.为了增加用户的体验效果,要求创建的虚拟环境能够反映人类社会的局部景象,特别是引入具有自主情绪表现的虚拟人,能够极大提升虚拟现实系统的人机界面的友好性,使虚拟现实系统能够按照人的需求提供体验服务.随着中国社会老年人的逐渐增多和独生子女政策的继续实施,可以预见,人们对情绪交流的体验需求将迅速增多.建立具有情绪交互能力的虚拟人,将为人们的生活增添乐趣.

虚拟人的情绪模型是建立人性化虚拟人的关键技术,同时也是一个极具挑战性的研究课题.由于人类迄今为止对于情绪的认知过程仍缺乏深入的了解,而且在不同情境下所收集的各类情绪现象尚不足建立通用的情绪理论.本文在综述国内外相关研究工作的基础上,重点对虚拟现实应用中的动漫游戏领域,讨论了虚拟人情绪模型研究的问题和解决途径,为进一步深入研究虚拟人情绪模型提供参考.

1 国内外研究现状概述

心理学中有很多情绪理论,这些理论从不同的角度对人类的情绪过程给出了定性描述.从20世纪90年代开始,人们开始在教育娱乐领域中研究情绪模型,其中欧美等国家在教育软件方面的研究成果很多,而日本在机器人领域探索了情绪模型.心理学家 Ortony 等于1988年提出了一种情绪理论(即著名的 OCC 情绪理论),这是最早从人工智能的角度描述人类情绪的认知结构^[2],该理论提出了情绪类型的一种划分方法,但并未给出情绪具体的计算模型.Ortony 后来又对 OCC 情绪理论进行了补充说明,指出了情绪建模必须要考虑环境.近年来 OCC 情绪模型被广泛地应用于虚拟现实和电脑游戏领域,1977年,媒体实验室的 Picard 系统地阐述了人类情感计算的问题^[3].此后在智能机器人领域,人们开展了情感计算研究,如 MIT 实验室研制了情感机器人 Kismet,它能产生一组简单的情绪类型^[4].卡内基-梅隆大学开发的 Oz 项目,目标是建立具有高度可信性的虚拟人,Oz 项目的组最突出的贡献在于提出了可信智能体的概念,可信意味着角色的情绪和个性更加逼真.可惜 Oz 项目的早期工作缺乏生动

的演示作品,他们采用了 OCC 情绪理论构建角色的情绪结构,但是尚未建立一个可计算的情绪和个性模型,角色还缺乏有效的感知功能,仅能表现有限的个性和情绪特征^[5].美国 Pennsylvania 大学 Badler 领导的项目组开发了虚拟人动画软件 Jack,采用有限状态机来控制虚拟人的行为,他们提出了采用角色的运动参数来简单表现个性特征的方法.此外,他们还借鉴现代舞蹈艺术的动作分析方法,提出了增强角色运动表现力的 EMOTE 系统^[6-7].Badler 的项目组最近还探索了利用个性心理学中的 OCEAN 模型实现人群动画,每个个体虚拟人具有不同的个性,从而使创建的人群动画看起来更可信,显然,他们的工作尚未包括情绪,这也是他们希望努力的方向^[8].Ball 等提出了一种基于贝叶斯网络的个性化对话模型,但该模型仅仅涉及2个个性特征(严肃性和友好性)^[9].Perlin 使用周期性的噪声函数来增添个性表现力,采用脚本方法控制虚拟人的动作,由此生成的虚拟人更有情绪和个性^[10].Rousseau 等采用产生式规则来描述角色的个性^[11],但该模型只能描述简单的个性.瑞士专家 Thalman 夫妇领导的虚拟现实研究小组,在虚拟人行为动画方面做了大量的研究,近年来研究的重点正在从单一的人体动画转向考虑虚拟人心理因素的智能行为动画方面^[12].他们还提出了一种利用矩阵来表现个性的方法,从而可以模拟虚拟人在人机对话中情绪的变化,但是该模型没有和外部刺激联系起来^[13].

情绪和适应性模型(emotion and adaptation model, EMA),是由南加州大学的 Gratch 和 Marsella 共同提出的^[14-15],EMA 是基于 Smith 和 Lazarus 所提出的框架系统.它认为情绪是来自于对事件的评价,并且不同的虚拟人对情绪也能产生不同的反应效果.通过该模型更容易理解情绪是如何影响行为的,以及其中包含的潜在影响因素和过程.EMA 模型主要讨论的是情绪与认知是如何相互作用的,它是一种综合性的框架体系,这种体系充分地解释了情绪的动态变化情况,并提出评价和应对的一种统一标准化的观点.Read 等提出了采用神经网络构建个性的方法,他们认为人的个性是可以进化的,但该模型仅建立了一个简单的认知结构,缺乏感知、情绪、外部刺激、个性之间的有机联系^[16].Wen-PohSun 等利用模糊逻辑,提出了虚拟人的一种 OCEAN 个性(五大个性)模型,但他们的研究不包括角色的感知,角

色的个性仍是通过脚本来驱动的^[17]. Arellano 提出了人机对话虚拟人的情绪表现方法,他们采用了心理学中的 PAD 模型^[18]. Prada 等探索了虚拟智能体群体交互的模型,引入了智能体的社会吸引和影响参数^[19]. Lim 等提出一种紧急状态下的情绪模型,并用二维的虚拟人头像变化来表现情绪^[20]. Eduardo 等采用基于概率和模糊推理的方法构建了一种情绪模型,使虚拟人的对话行为更可信^[21]. 在人脸动画领域, Deng 等编辑了专题图书,综合地利用已有的人脸动画方法(物理模型和运动捕获),并关注人脸的整体信息成为研究趋势^[22]. 在角色动画领域,从近年来发表的 SIGGRAPH 文章看,角色动画技术的发展趋势正在不断借鉴生物力学和心理学的研究成果^[23-24]. Aylett 等一直在探索教育游戏中的情绪模型,该研究可以用来辅助儿童应对校园暴力,教会儿童理解如何表达正确的非言语情绪行为^[25]. Terzopoulos 等开展了基于神经动力学模型的虚拟人动画模型,这些工作极大拓展了“人工鱼”行为动画技术^[26].

近年来,情感计算的研究引起了我国学术界的广泛关注,特别是2005年第一届国际情感计算大会在北京召开之后,我国在情感计算领域陆续取得不少成果,如清华大学、中科院自动化所、厦门大学、北京航空航天大学、西南大学等单位都有专门从事情感计算问题的研究小组^[27-30]. 在虚拟人情绪建模方面,北京科技大学王志良教授提出了人工心理理论,并在人工情感方面开展了深入研究^[31-32]. 曾广平等建立了软件人的理论和方法^[33]. 刘烨等从情绪图片出发,分析了其 PAD 情感状态模型^[34]. 杨宏伟等提出了智能体的一种依赖上下文的情绪计算模型^[35]. 张冬蕾等提出一种情绪主体的形式化描述模型,包含情绪主体的心智状态、状态更新及模型的形式化定义这3个层次,能更合理地产生反应并作出更优化的智能决策^[36]. 曹存根等提出了通过知识库辅助创造智能动画的方法^[37]. 张迎辉等研究了情绪度量方法^[38]. 胡博超等提出了一种基于粒子系统和有源场的人工情感模型,将外界刺激转换为空间的有源场,当前的情感状态用粒子系统的运动状态来表示,有源场所产生的势能可以作用于粒子的运动,从而模拟情绪的生理本能反应^[39]. 刘箴等建立了一种动机驱动的虚拟人自主情绪模型^[40],并研究了虚拟人的自适应感知模型^[41].

2 情绪模型未解决的关键问题

综合国内外研究现状,有关虚拟人的情绪建模工作仍然是十分初步的,具体表现在以下几点:

1) 缺乏虚拟人自主情绪的控制方法. 所谓自主情绪是指虚拟人能够自主地根据环境信息表现类似人的情绪特征,虚拟人具有多通道的感知能力(如视觉和听觉等感知能力),虚拟人的情绪表现不是根据预先拟定的规则来控制的,而是完全依据感知来驱动的. 例如,在动漫游戏领域,不少虚拟人的情绪模型仍是基于脚本控制的^[10],还有一些是通过“虚拟视觉”或认知模型来控制的^[12,40],但这些模型仍不具有多通道的感知能力. 建立虚拟人的自主情绪表现模型可以有效地提高动漫游戏开发的效率. 虚拟人不仅要有外在的几何造型,更重要的是要具有内在的认知结构.

2) 缺乏对情绪表现的定量描述,情绪领域的研究仍缺少可操作的计算公式. 例如,如果在动漫游戏中实现虚拟人“微笑”,目前的技术水平大多能解决“为何笑”(笑的对象和原因),但对“笑多少”(笑的强度)问题仍没有满意的解决方案. 虚拟人的情绪表现主要靠美工依据剧情预先实现,这使得角色的情绪表现很生硬. 目前的表情动画技术所生成的表情仍不自然,人们经常使用几何插值技术或肌肉模型,但这些技术所生成的表情仍不够丰富,关键需要解决的是如何将情绪的高层语义信息和底层的情绪表现幅度建立联系.

3) 现有的情绪模型很多是基于 OCC 模型,在解释复杂的情绪表现方面有很多不足. 人类具有从不同“分辨率”看待同一个事物的能力,在数学上可以概括为软计算模式^[42-43]. 已有的情绪建模研究大多从情绪产生原因的某个侧面展开,难以准确描述情绪过程. 例如,现有的情感计算模型没有考虑外部刺激对虚拟人内心世界的定量影响,认知科学研究表明,人的情绪产生不仅和外部刺激有关,也和人的内部状态(如个性)密切相关,同样的外部刺激,不同个性的人常表现出不同的情绪反应.

4) 缺乏对虚拟人认知结构的清晰描述. 例如,目前的动漫游戏中的虚拟人缺乏完整的认知结构,角色行为大多采用有限状态机实现. 人的心理活动是一个整体过程,感知、情绪、个性、动机这些认知变量是不可分割的,现有的研究最多只局限在个性和

情绪之间的联系,如何将个性和其他认知模块建立联系,这是构建自主情绪模型的关键.已发表的虚拟情绪文献中,对虚拟人内部结构的描述大多借鉴BDI智能主体,难以描述情绪决策过程中生理和心理的相互关联性.近年来认知科学的最新研究(情绪的大脑机制)为构建虚拟人的认知结构提供了理论依据.如何选择合适的情绪和个性参数,如何将现有的人工智能成果和认知科学的最新进展结合起来,都是值得深入研究的课题.

5)有关情绪与环境之间的关系仍缺少研究.人的情绪是个体内部因素和外部因素共同作用产生的,研究情绪必须同时考虑情绪的环境背景信息.如果不考虑情绪的上下文条件,很难解释各种情绪现象.例如,当一个人面部呈现哭泣的表情,单独从面部表情很难推断人的内心情绪状态,因为此时人的情绪可能是“喜极而泣”,也可能是确实处于悲伤情绪状态,这就要看情绪的环境信息,而一个人的情绪也与其社会属性(如身份等参数)密切相关.由于环境信息的复杂性,如果没有面向领域的常识知识的辅助,试图建立通用的情绪模型几乎是不可能完成的目标.

6)缺乏对情绪互动现象的定量研究.社会心理学的研究表明,情绪交流是人类交往的重要手段.即便是非言语的情绪信息(如人的情绪化姿态和表情),也能对他人的情绪产生影响.在近距离条件下,人际间的情绪互动是一个有趣的研究课题,但之方面至今仍没有定量的研究成果.

7)尚无面向虚拟人情绪设计的软件工具.目前有不少动漫游戏编程工具(如游戏引擎),但至今尚没有虚拟人情绪设计方面的软件,目前虚拟人的情绪表现大多采用表情和身体姿态来表示,而人的情绪表现是十分丰富的(如眼泪、气色等),这使得情绪设计仍停留在手工阶段,研制情绪设计软件成为一项紧迫的任务.

3 情绪建模研究的建议

综上所述,可以将虚拟人视为一个自主的智能体,除了具有知识、信念、意图、承诺、情绪等心智状态外,虚拟人还应具有详细的认知结构.为了构建虚拟人自主情绪模型,针对上节所讨论的问题,对情绪建模的研究方法提出如下几点建议.

1)借鉴认知科学的最新成果,建立虚拟人的情

绪认知模型.虚拟人的认知模型是用来控制自主行为的“虚拟大脑”,它的建立需要借鉴认知科学的成果.人的大脑中,参与情绪认知过程的器官主要有杏仁体、下丘脑、边缘叶和皮层等,故可引入情绪产生器来模拟杏仁体功能,也可提出情绪调节器模拟下丘脑的情绪调节功能,并采用情绪中心来统一描述情绪产生器和情绪调节器.而感觉器和知觉器用来模拟皮层的感知功能和注意机制,具有多通道的感知能力,用生理调节来模拟皮层对环境生理的自适应,采用记忆变量来模拟边缘系统的记忆功能.此外,可以引入情绪变量、动机变量、个性变量和心境变量作为情绪过程中的心理变量.

2)采用软计算数学理论,建立虚拟人的情绪描述方法和情绪决策算法.由于情绪的产生是一个极其复杂的过程,是内部动机和外部刺激共同作用的结果,并与自主神经系统紧密联系在一起.因此可以采用软计算数学理论(随机过程、模糊集合、粗糙集合理论)来描述虚拟人的心理变量(包括情绪变量)^[42-43],可引入虚拟人的情绪变量,建立复合情绪的合成公式.建立主观感知强度函数表达式,用来描述外部刺激的强度分布,采用粗糙集合上的代数运算,建立情绪触发的一般性判断条件,从而在理论上解决情绪的形式化问题.

3)建立虚拟人情绪和个性之间的融合机制.为构建具有个性化情绪的虚拟人,也要研究个性.个性主要指气质、性格等比较稳定的心理特征.为了描述虚拟人的个性,需拓展心理学中原有的个性概念,个性内容不仅包括通常心理学含义中的个性,也应包括角色本能的一些属性.具体的研究内容可以包括:可以选择弗洛伊德的个性理论,对其中的重要概念“自我”、“本我”、“超我”建立算法模型,利用该理论可以很好地模拟虚拟人无意识的行为反映,并试图通过引入“力比多”非线性强度函数模拟本能的个性特征,从而可以模拟具有“七情六欲”的虚拟人;也可以借鉴艾森克的个性理论和卡特尔理论,构造角色的个性结构,个性结构必须考虑到个性的生物学基础,即每个角色可以具有一个内在的个性参数,这些个性变量对外部刺激的反应强度不同,从而造成行为方式的差异;对于马斯洛的需求层次理论,建立动机和个性之间的算法模型,利用米希尔的情感个性理论,将外部刺激和个性与动机建立数学关系式;此外,基于班杜拉的认知理论,把个性视为可

以演化的变量,建立个性的学习模型,通过环境刺激,个性结构也发生相应的变化.情绪和个性的融合机制包括在情绪的触发判别条件中,充分考虑个性对情绪表现的影响,通过建立个性影响函数来反映个性对情绪表现的影响.

4)建立虚拟人情绪变量与其他变量(感知和动机等)的联动机制.人的认知过程具有整体性,所以虚拟人的情绪变量和其他认知变量之间具有联系,建立他们之间的联动机制可以使情绪的表现更加自然可信.首先,建立情绪和感知系统(感觉器和知觉器)的联系,利用情景演算逻辑和开放逻辑作为描述手段^[29],可以建立主观感知函数,将外部刺激信息传入情绪中心处理,情绪中心通过情绪产生器和情绪调节器来候选出可能的情绪类型,通过拟建立的情绪推理算法(采用粗糙集合上的代数运算),并根据生理调节和动机变量的状态确定合适的情绪反映.其次,建立个性、动机变量和生理调节之间的联系,可引入个性生理影响函数模拟不同个性对生理调节的影响,采用个性动机影响函数来模拟个性对动机的影响.最后,建立情绪和个性的高层语义描述与底层运动数据之间的联系,通过个性化的情绪参数来控制虚拟人的情绪表现.

5)收集整理情绪知识库,建立虚拟人情绪的机器学习算法.通过文献和实际调研,收集整理人的情绪交互知识,特别是在考虑社会身份的前提下的情绪交互知识,并采用知识工程的原理对这些知识加以规范化处理,构建面向特定领域的情绪知识库.可采用人机交互的手段,利用增强学习算法实现对情绪触发判别界限参数的调整,利用神经网络实现对情绪推理规则强度的调整,利用遗传算法实现情绪和其他变量联动参数的调整.

6)建立虚拟人情绪互动计算研究.虚拟人的情绪互动包括虚拟人之间的情绪互动和虚拟人与用户的人机情绪互动.前者是建立虚拟人群中情绪互动的传播规律,后者是建立虚拟人和真人的情绪交流.因此,应赋予虚拟人感知情绪的能力,可以利用计算机视觉和情绪语义相结合的方法,对虚拟人赋予虚拟视觉能力,从而实现虚拟人对情绪的感知.

7)虚拟人情绪设计软件.基于上述理论和算法研究,完全可以研制虚拟人情绪设计软件.例如,该软件可以支持用户通过脚本或者可视化界面赋予虚拟人参数,在自主情绪模型的驱动下生成复杂的行

为动画.可以综合运用表情、姿态、眼泪、肤色、语音和虚拟镜头等多种形式表现角色的情绪.

4 结束语

本文回顾了虚拟人情绪研究的相关成果,指出了目前虚拟人情绪建模中一些尚未解决的问题,并给出了完善情绪模型的一些建议.尽管人们已经在情绪模型方面取得了一些成果,但情绪模型的理论研究仍不够深入,特别是建立具有多通道感知能力的自主情绪模型仍需要进一步研究,这方面的工作要吸收相关学科的最新成果,从情绪的数学描述到实验手段都需要有新的突破.例如,人的情绪采集一直是情绪模型研究中的突出问题,随着我国智慧城市建设中物联网技术的普及和应用,可以借助于物联网技术采集人体各种生理数据,为深入研究人类情绪数据提供了便捷的手段.从用户体验的角度看,物联网对信息处理智能化和可视化的需求日趋强烈,人性化的图形界面应该是物联网与用户沟通的主要途径.情绪模型将在构建物联网终端界面方面发挥重要作用,并最终融入社会生活.

参考文献:

- [1]派恩二世,吉尔摩. 体验经济(修订版)[M]. 夏业良,译. 北京:机械工业出版社, 2008: 1-10.
- [2]ORTONY A, CLORE G L, COLLINS A. The cognitive structure of emotions[M]. New York: Cambridge University Press, 1988: 18-19.
- [3]PICARD R W. Affective computing[M]. Cambridge, USA: The MIT Press, 1997: 1-20.
- [4]BREAZEAL C L. Designing sociable robots[M]. Cambridge, USA: The MIT Press, 2002: 157-185.
- [5]NELSON M, MATEAS M. Search-based drama management in the interactive fiction anchorhead[C]//Proceedings of Artificial Intelligence and Interactive Digital Entertainment 2005. Marina del Rey, California, USA: AAAI Press, 2005: 99-104.
- [6]BADLER N I, REICH B D, WEBER B L. Towards personalities for animated agents with reactive and planning behaviors[M]. Berlin, Germany: Springer-Verlag, 1997: 43-57.
- [7]CHI D, COSTA M, ZHAO L, et al. The emote model for effect and shape[C]//Proceedings of Special Interest Group for Computer GRAPHICS' 2000. New Orleans, USA, 2000: 173-182.

- [8] DURUPINAR F, ALLBECK J, PELECHANO N, et al. Creating crowd variation with the OCEAN personality model [C]//Seventh International Joint Conference on Autonomous Agents and Multi-Agent Systems(AAMAS'08). Estoril, Portugal, 2008: 1217-1220.
- [9] BALL G, BREESE J. Emotion and personality in a conversational agent [M]. Cambridge, USA: The MIT Press, 2000: 189-219.
- [10] PERLIN K, GOLDBERG A. Improv: a system for scripting interactive actors in virtual worlds [C]//Proceedings of Special Interest Group for Computer Conference. New Orleans, USA, 1996: 205-216.
- [11] ROUSSEAU D, HAYES-ROTH B. A social-psychological model for synthetic actors [C]//Proceedings of the Second International Conference on Autonomous Agents. Minneapolis, USA, 1998: 165-172.
- [12] MARIO G, VEXO F, THALMANN D. Stepping into virtual reality [M]. [S.l.]: Springer Press, 2008: 1-50.
- [13] EGGES A, KSHIRSAGAR S, THALMANN N M. Generic personality and emotion simulation for conversational agents [J]. Computer Animation and Virtual Worlds, 2004, 15(1): 1-13.
- [14] GRATCH J, MARSELLA S. A domain independent framework for modeling emotion [J]. Journal of Cognitive Systems Research, 2004, 5(4): 269-306.
- [15] MARSELLA S, GRATCH J. EMA: a model of emotional dynamics [J]. Journal of Cognitive Systems Research, 2009, 10(1): 70-90.
- [16] READ S J, MILLER L. Integrating emotional dynamics into the PAC cognitive architecture [C]//Proceedings of the 15th Annual Conference on Behavioral Representation in Modeling and Simulation. Orlando, USA, 2006: 06-BRIMS-058.
- [17] SU W P, PHAM B, WARDHANI A. Personality and emotion-based high-level control of affective story characters [J]. IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics, 2007, 13(2): 281-293.
- [18] ARELLANO D, VARONA J, PERALES F J. Generation and visualization of emotional states in virtual characters [J]. Computer Animation and Virtual Worlds, 2008, 19(3/4): 259-270.
- [19] PRADA R, PAIVA A. Teaming up humans with autonomous synthetic characters [J]. Artificial Intelligence, 2009, 173(1): 80-103.
- [20] LIM M Y, AYLETT R. An emergent emotion model for an affective mobile guide with attitude [J]. Applied Artificial Intelligence Journal, 2009, 23(9): 835-854.
- [21] EDUARDO M E, VICTOR L, JUAN L C. Controlling the emotional state of an embodied conversational agent with a dynamic probabilistic fuzzy rules based system [J]. Expert Systems with Applications, 2009, 36(6): 9698-9708.
- [22] LI Qing, DENG Zhigang. Orthogonal-blendshape-based editing system for facial motion capture data [J]. IEEE Computer Graphics and Applications, 2008, 28(6): 76-82.
- [23] Da SILVA M, ABE Y, POPOVIC J. Interactive simulation of stylized human locomotion [J]. ACM Transactions on Graphics, 2008, 27(3): 82.
- [24] DILORENZO P C, ZORDAN V B, SANDERS B L. Laughing out loud: control for modeling anatomically inspired laughter using audio [J]. ACM Transactions on Graphics, 2008, 27(5): 125.
- [25] AYLETT R, LOUCHART S, DIAS J, et al. Unscripted narrative for affectively driven characters [J]. IEEE Computer Graphics and Applications, 2006, 26(3): 42-52.
- [26] TERZOPOULOS D. Autonomous virtual humans and lower animals: from biomechanics to intelligence [C]//7th International Conference on Autonomous Agents and Multi-Agent Systems. Estoril, Portugal, 2008: 17-20.
- [27] 史忠植. 智能科学 [M]. 北京: 清华大学出版社, 2006: 372-386.
- [28] 周志华, 王珏. 机器学习及其应用 [M]. 北京: 清华大学出版社, 2007: 10-25.
- [29] 李未. 数理逻辑——基本原理与形式演算 [M]. 北京: 科学出版社, 2007: 139-161.
- [30] 周昌乐. 心脑计算举要 [M]. 北京: 清华大学出版社, 2003: 171-176.
- [31] 王志良, 孟秀艳. 人脸工程学 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2008: 15-16.
- [32] 王志良. 人工情感 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2009: 1-30.
- [33] 曾广平, 涂序彦, 王洪泊. “软件人”研究及应用 [M]. 北京: 科学出版社, 2007: 1-10.
- [34] 刘烨, 陶霖密, 傅小兰. 基于情绪图片的 PAD 情感状态模型分析 [J]. 中国图象图形学报, 2009, 14(5): 753-758.
- LIU Ye, TAO Linmi, FU Xiao lan. The analysis of PAD emotional state model based on emotion pictures [J]. Journal of Image and Graphics, 2009, 14(5): 753-758.
- [35] 杨宏伟, 潘志庚, 刘更代. 一种综合可计算情感建模方法 [J]. 计算机研究与发展, 2008, 45(4): 579-587.
- YANG Hongwei, PAN Zhigeng, LIU Gengdai. A compre-

- hensive computational model of emotions[J]. Journal of Computer Research and Development, 2008, 45(4): 579-587.
- [36] 张冬蕾, 史忠植, 潘瑜. 情感主体形式模型[J]. 模式识别与人工智能, 2009, 22(3): 381-387.
ZHANG Donglei, SHI Zhongzhi, PAN Yu. Formal model of emotional Agent[J]. Pattern Recognition and Artificial Intelligence, 2009, 22(3): 381-387.
- [37] 曹存根, 李良君, 李志豪, 等. 智能动画创作系统 PNAI 的研究进展[J]. 系统科学与数学, 2008, 28(11): 1407-1431.
CAO Cungen, LI Liangjun, LI Zhihao, et al, WANG Haitao. Progress in the development of intelligent animation production[J]. Journal of Systems Science and Mathematical Sciences, 2008, 28(11): 1407-1431.
- [38] 张迎辉, 林学问. 情感计算中的实验设计和情感度量方法研究[J]. 中国图象图形学报, 2009, 14(2): 292-301.
ZHANG Yinghui, LIN Xueyin. Investigation on experiment design and affect measure in affective computing[J]. Journal of Image and Graphics, 2009, 14(2): 292-301.
- [39] 胡博超, 陈海山. 基于粒子系统和有源场的情感建模研究[J]. 心智与计算, 2009, 3(1): 36-44.
HU Bochao, CHEN Haishan. Research of emotion model based on particle system and active field[J]. Mind and Computation, 2009, 3(1): 36-44.
- [40] 刘箴, 潘志庚. 虚拟人动机驱动的自主情绪模型研究[J]. 中国图象图形学报, 2009, 14(5): 773-781.
LIU Zhen, PAN Zhigeng. Research on motivation-driven based autonomous emotion model for virtual human[J]. Journal of Image and Graphics, 2009, 14(5): 773-781.
- [41] 洪渊, 刘箴. 基于Q学习的虚拟人自适应感知系统建模[J]. 计算机应用, 2011, 38(1): 78-81.
HONG Yuan, LIU Zhen. Modeling adaptive perception system of virtual human based on Q-learning[J]. Journal of Computer Applications, 2011, 38(1): 78-81.
- [42] 普拉蒂哈. 软计算[M]. 王攀, 冯帅, 张坚, 译. 北京: 科学出版社, 2009: 1-4.
- [43] 段海滨, 张祥银, 徐春芳. 仿生智能计算[M]. 北京: 科学出版社, 2011: 7-15.

作者简介:



刘箴, 男, 1965年生, 研究员, 博士生导师. 主要研究方向为计算机图形学、虚拟现实、情感计算等. 曾主持和参与国家自然科学基金项目、国家“863”计划项目和国家重大基础前期专项课题以及多项省部级科研项目.



柴艳杰, 女, 1968年生, 讲师, 主要研究方向为动漫游戏.