

8-7-2020

Research of Virtual Reality Technology in the Treatment of Anxiety Disorders and Autism

Cuijuan Liu

1. Faculty of Information Science and Technology, Ningbo University, Ningbo 315211, China;;2. Intelligent Control Research Institute, Zhejiang Wanli University, Ningbo 315101;

Liu Zhen

1. Faculty of Information Science and Technology, Ningbo University, Ningbo 315211, China;;

Tingting Liu

1. Faculty of Information Science and Technology, Ningbo University, Ningbo 315211, China;;

Lu Tao

1. Faculty of Information Science and Technology, Ningbo University, Ningbo 315211, China;;

See next page for additional authors

Follow this and additional works at: <https://dc-china-simulation.researchcommons.org/journal>



Part of the Artificial Intelligence and Robotics Commons, Computer Engineering Commons, Numerical Analysis and Scientific Computing Commons, Operations Research, Systems Engineering and Industrial Engineering Commons, and the Systems Science Commons

This Paper is brought to you for free and open access by Journal of System Simulation. It has been accepted for inclusion in Journal of System Simulation by an authorized editor of Journal of System Simulation.

Research of Virtual Reality Technology in the Treatment of Anxiety Disorders and Autism

Abstract

Abstract: The research of virtual reality technology in the adjuvant treatment of mental diseases has caused wide concern. Anxiety disorders and autism are two major mental diseases in today's society, which has been plagued by both adults and children. Conducting anxiety and autism's rehabilitation has important practical significance. *The research of virtual reality technology application in anxiety disorders and autism was reviewed, emotion regulation in the adjuvant treatment of mental diseases was discussed, emotion agents and emotion models were summarized, a technical roadmap of emotion adjuvant treatment for mental diseases was proposed, the architecture of emotion agent was constructed, and some research subjects were introduced in emotion agents, which can provide a new way for the adjuvant treatment of mental diseases.*

Keywords

virtual reality, anxiety disorder, autism, emotion agent

Authors

Cuijuan Liu, Liu Zhen, Tingting Liu, Lu Tao, Fang Hao, and Liangping Liu

Recommended Citation

Liu Cuijuan, Liu Zhen, Liu Tingting, Lu Tao, Fang Hao, Liu Liangping. Research of Virtual Reality Technology in the Treatment of Anxiety Disorders and Autism[J]. Journal of System Simulation, 2015, 27(10): 2233-2238.

虚拟现实在焦虑症和自闭症治疗中的应用研究

刘翠娟^{1,2}, 刘箴¹, 刘婷婷¹, 陆涛¹, 方昊¹, 刘良平¹

(1.宁波大学信息科学与工程学院, 宁波 315211; 2.浙江万里学院智能控制研究所, 宁波 315100)

摘要: 虚拟现实技术在精神疾病辅助治疗方面的研究已经引起了广泛的关注。焦虑症和自闭症是当今社会的两大主要精神疾病, 一直困扰着成年人和儿童。开展焦虑症和自闭症的康复治疗具有重要的现实意义。综述了虚拟现实技术在焦虑症和自闭症的研究成果, 讨论了情绪调节在精神疾病康复中的作用, 概述了情绪智能体和情绪模型, 给出了精神疾病调节治疗的技术路线图, 构造了情绪智能体的结构, 并介绍了情绪智能体的一些研究课题, 这将为精神疾病的辅助治疗提供了一种新途径。

关键词: 虚拟现实; 焦虑症; 自闭症; 情绪智能体

中图分类号: TP391.9

文献标识码: B

文章编号: 1004-731X (2015) 10-2233-06

Research of Virtual Reality Technology in the Treatment of Anxiety Disorders and Autism

Liu Cuijuan^{1,2}, Liu Zhen¹, Liu Tingting¹, Lu Tao¹, Fang Hao¹, Liu Liangping¹

(1.Faculty of Information Science and Technology, Ningbo University, Ningbo 315211, China;

2.Intelligent Control Research Institute, Zhejiang Wanli University, Ningbo 315101)

Abstract: The research of virtual reality technology in the adjuvant treatment of mental diseases has caused wide concern. Anxiety disorders and autism are two major mental diseases in today's society, which has been plagued by both adults and children. Conducting anxiety and autism's rehabilitation has important practical significance. *The research of virtual reality technology application in anxiety disorders and autism was reviewed, emotion regulation in the adjuvant treatment of mental diseases was discussed, emotion agents and emotion models were summarized, a technical roadmap of emotion adjuvant treatment for mental diseases was proposed, the architecture of emotion agent was constructed, and some research subjects were introduced in emotion agents, which can provide a new way for the adjuvant treatment of mental diseases.*

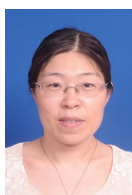
Keywords: virtual reality; anxiety disorder; autism; emotion agent

引言

随着人类物质文明的不断发展, 现代社会的生活节奏加快, 社会压力加大。城镇化进程的推进, 社会竞争的加剧, 加上自然环境的破坏。各种诱发

精神疾病的要素显著增加, 患有各种精神疾病的人数逐年攀升, 中国目前患有各类精神疾病的人数超过 1 亿, 其中焦虑症和自闭症是最常见的精神疾病。由于药物治疗精神疾病存在很多副作用, 如何研究用非药物方式治疗精神疾病具有重要的现实意义。

近年来, 虚拟现实技术在辅助治疗精神疾病的研究引起了国内外的广泛关注。采用虚拟现实技术, 可以为康复者创建一个逼真的治疗环境, 医生和患者通过虚拟环境进行交流互动, 可以帮助患者



收稿日期: 2015-06-13 修回日期: 2015-07-27;
基金项目: 国家自然科学基金(61373068); 宁波市科技计划项目(2015C50053, 2015D10011, 2014C50018);
浙江省教育厅科研项目(Y201431792); 宁波大学学科开放基金项目(xkx11518);
作者简介: 刘翠娟(1979-), 女, 山东烟台, 博士生, 研究方向为虚拟现实。

<http://www.china-simulation.com>

• 2233 •

纠正和改善感知能力,便于创建一种情感化的体验环境,在辅助精神疾病的治疗方面具有明显的优势。

莫海燕等从运动康复、认知康复和远程康复三方面分析了虚拟现实技术在医学康复中的重要性^[1]。现有的虚拟现实治疗方法采用的是暴露疗法,它集成传统的实体暴露法和想象暴露法的优点,避免了二者的缺点^[2]。主要是构建虚拟场景,通过人来控制场景中的交互情况,但大多缺乏情感沟通。而精神类疾病的治疗,情绪的调节是关键问题。

本文在综述相关研究工作的基础上,重点分析虚拟现实在焦虑症和自闭症治疗中的应用,讨论了运用虚拟现实技术进行情绪类疾病治疗的构想,为进一步深入研究虚拟现实技术应用精神疾病的辅助治疗提供参考。

1 情感调节与精神疾病的关系

精神病(psychosis)是指严重的心理障碍,患者的认识、情感、意志、动作行为等心理活动均可出现持久的明显的异常;不能正常的学习、工作、生活;动作行为难以被一般人理解;在病态心理的支配下,有自杀或攻击、伤害他人的动作行为。

例如焦虑症,主要发生于成年人,属于精神过度紧张引起的疾病,焦虑伴有明显的生理变化,尤其是植物神经活动的变化。需要通过情绪舒缓调节来治疗;而自闭症,主要发生在未成年儿童中,属于精神失调引发的疾病,需要情绪刺激。焦虑症和自闭症都属于精神类疾病,情感缺失是导致疾病爆发的主要因素。因此,调节情感是辅助治疗的关键所在。在虚拟环境中构建情感化虚拟人,可以辅助患者进行情绪调节,从而达到康复治疗的效果。

2 相关研究总结

国外对这类精神方面的疾病已经进行一定的研究,并进行相关实验。从相关文献报道中可以看出,通过对患者的情绪调节,虚拟现实技术可以有效辅助治疗。目前国内这方面的研究不多见,大

多停留在探讨和学习阶段,尚未有系统性的实验验证。

2.1 焦虑症方面

Viaud-Delmon 等研究特质性焦虑,根据焦虑值的高低分为两组志愿者,在虚拟现实环境下进行实验,探讨不同的焦虑值的影响,有助于理解焦虑症的机理^[3]。Anderson 等综述计算机技术支持的焦虑症治疗,包括掌上电脑、虚拟现实暴露疗法和个性计算机软件程序三方面^[4]。创伤后应激障碍(PTSD)是指个体经历、目睹或遭遇到一个或多个涉及自身或他人的实际死亡,或受到死亡的威胁,或严重的受伤,或躯体完整性受到威胁后,所导致的个体延迟出现和持续存在的精神障碍。部分学者在此方面进行研究,Rizzo 等详细分析了虚拟的伊拉克和阿富汗战争演示系统,通过构建虚拟的中东环境来进行暴露治疗,经临床试验,通过调节情绪,取得较好的效果^[5]。Rizzo 等研究虚拟现实技术用于延迟暴露治疗,开发了虚拟的伊拉克\阿富汗系统,有助于创伤后应激障碍的治疗^[6]。Bloch 等研究创伤后应激障碍,在虚拟环境下采用老年测试者进行实验,结果表明虚拟现实技术可以作为治疗创伤后应激障碍的一种方法^[7]。Motraghi 等研究虚拟现实来治疗创伤后应激障碍,识别和评价治疗结果,通过实验验证虚拟现实环境对这类疾病的治疗具有积极的意义^[8]。Rizzo 等研究创伤后应激障碍,采用虚拟现实暴露疗法来治疗战争或恐怖事件给人们带来的焦虑和创伤后应激障碍,并开发相应的系统进行试验,取得较好疗效^[9]。Duarte 等研究警告行为,虚拟现实技术可以克服现实研究中的关键限制^[10]。对于压力引起的焦虑,Kotlyar 等研究虚拟环境下人面对压力的生理反应,通过演讲和数学两种实验进行分析,虚拟现实技术的应用可以减少紧张的压力^[11]。Jo'nsson 等研究社会压力测试,在虚拟环境下进行实验,尝试分析压力和生理因素的关系,结果表明虚拟现实有望为社会压力感应提供支持^[12]。对于治疗效果,Alahmari 等研究前庭障

碍,对虚拟现实和传统物理疗法进行比较,实验结果表明,虽然两种方法的机理并不相同,但二者在治疗效果上没有明显区别,都达到较好的疗效^[13]。另外,Qu 等研究人对合成情感的响应,通过与虚拟人的对话,分析正负情感对谈话的影响,对虚拟现实暴露疗法有重要意思,有助于治疗焦虑症^[14]。

2.2 自闭症方面

自闭症(Autism)又称孤独症,被归类为一种由于神经系统失调导致的发育障碍,其病征包括不正常的社交能力、沟通能力、兴趣和行为模式。自闭症通常发生于三岁之前。这类儿童在情绪表达、社交互动、语言和非语言的沟通上都有问题,会常做一些刻板和重复性的动作和行为。目前,儿童自闭症在世界各地剧增。自闭症的诊断治疗的研究已经引起欧美国家的广泛关注,特别是英国在儿童自闭症的辅助治疗新技术方面已经开展过相关研究。现有的自闭症研究表明,自闭症儿童越早得到诊断和康复干预,自闭症的症状将得到很大的缓解,开展康复训练是拯救自闭症儿童的唯一有效手段。

目前虚拟现实在自闭症辅助康复的研究已经引起国外研究机构的重视,但目前不少面向儿童自闭症辅助治疗的软件大多采用二维图形技术,交互性多采用触摸屏等传统交互方式。一些典型的实验研究发展,采用三维虚拟角色是技术发展的方向。Hopkins 等研究了利用一个虚拟化身表情来辅助自闭症儿童是识别表情,提供眼神训练,改善社交能力,初步的实验结果十分令人鼓舞^[15]。对于低功能自闭症儿童,可以改善情感识别和社会互动;对于高功能自闭症儿童,可以改善面部识别、情绪识别和社会交往。Kandalaf 等通过构造模拟现实生活情景的严肃游戏,用来干预高功能自闭症患者的社会交往能力,对 8 个高功能自闭症患者的实验分析结果看,虚拟现实技术是一个很有前途的社交训练方法^[16]。Kim 等人的研究表明,采用人形机器人对于帮助自闭症儿童建立社交技巧具有巨大的帮助作用,这种方式要比传统的触摸屏方式要更为

有效^[17]。

近年来,随着微软 Kinect 设备的出现,用户可以在不穿戴任何外设情况下,通过身体动作实现自然人机交互的设备。体感识别主要是通过摄像设备检测到人体四肢躯干等的位置与运动信息,并对这些肢体信息做出判断与识别,从而实现人与计算机之间娱乐交互等功能。目前已经有一些国内外学者开始将 Kinect 应用于残疾人康复训练研究中,并在虚拟现实的应用开发中得到广泛应用。Cai 等人研制了一个三维虚拟环境,自闭症儿童通过 Kinect 与模拟海豚训练的虚拟游戏场景进行交互,不同的手势动作(挥手等)可以引起虚拟海豚的不同反应,通过这种交互情景使自闭症儿童的社交动作技能得到了训练。这些研究均表明,自然的体感交互有助于患者投入训练,提高康复训练效果^[18]。

2.3 情绪智能体研究

情绪智能体是虚拟环境中具有情绪表现力的智能体,情绪智能体可以用于建立自然和谐的人机界面,有效提高用户的交互乐趣,对于调节用户的情绪具有重要的作用。情绪智能体的研究主要涉及情绪模型的建立、动画实现和计算机视觉技术。限于篇幅,主要综述在情绪建模方面的工作。

情绪建模的工作大多源于 Ortony 等人创立的 OCC 情绪理论^[19],智能体的情绪可以认为是对环境的认知评价,这些评价可以结合不同的应用领域设置相应的评价标准和情绪类别。随着情感计算的研究工作的深入,OCC 情绪理论已经具体应用到人机对话和智能机器人中^[20],通过设置推理规则来驱动虚拟角色的情绪表现。例如,FLAME 是一个模糊推理系统^[21],该模型的不足是未能考虑智能体的个性化参数,只是通过规则驱动。针对此不足,Marsella 等结合情感认知评价的心理学研究成果,建立一套情绪认知框架 EMA^[22],该框架是一个闭环的体系结构,能够连续描述情绪从感知到行动中的作用,提出评价和应对的统一架构,给出了计算流程,解释了情绪的动态变化情况,该模型在

研制面向士兵战争焦虑症辅助治疗中得到应用。

构建个性化的虚拟智能体需要借鉴心理学个性理论, Sun 等人提出了一种基于 OCEAN 个性理论的虚拟智能体, 通过脚本控制个性化的运动^[23]。心理学中的 PAD 模型也可以用于建立智能体的情绪, 如 Arellano 构建了对话智能体的情绪模型^[24]。采用各种不确定信息处理技术, 可以充分描述智能体的情绪表现, 如 Eisman 利用基于概率的模糊推理规则来实现人机对话中的情绪化虚拟角色^[25]。此外, 为了充分描述智能体的情绪, 一些研究者构造了结构更为复杂的智能体。Mei 等提出了 FAiMA-PSI 结构来建立情绪智能体^[26], 考虑心理变量和生理变量。

3 情绪调节总体技术构思

3.1 技术方案

(1) 建立适合康复训练的虚拟环境: 结合国内外有关康复治疗的相关经验, 针对康复对象在言语表达、情感识别、社交困难等方面的康复需求, 建立一个三维虚拟社区场景交互剧情, 虚拟社区中的角色具有情感表达能力, 能够表现人类常见的面部情感如高兴、悲伤、恐惧、生气、吃惊、厌恶等, 提高康复训练过程的趣味性, 体现情感化设计的理念。

(2) 建立面向康复对象的行为感知方法: 通过摄像头、微软 Kinect 体感设备, 获取康复对象的当前状态信息, 通过情绪推理模型判断表情和姿态含义。体感交互手段可以大大减少用户的不适感, 提高他们的训练兴趣。在虚拟环境中增加情绪智能体, 智能体具有视觉和听觉两个通道的感知能力, 感知模块具有注意力机制, 能够对时间和空间进行有选择的感知能力。情绪模块包含情绪触发器, 根据用户的身体姿态判定是否触发何种情绪, 实现人机情感互动。

3.2 技术路线

采用虚拟现实技术进行康复治疗的总体技术

思路如图 1 所示。

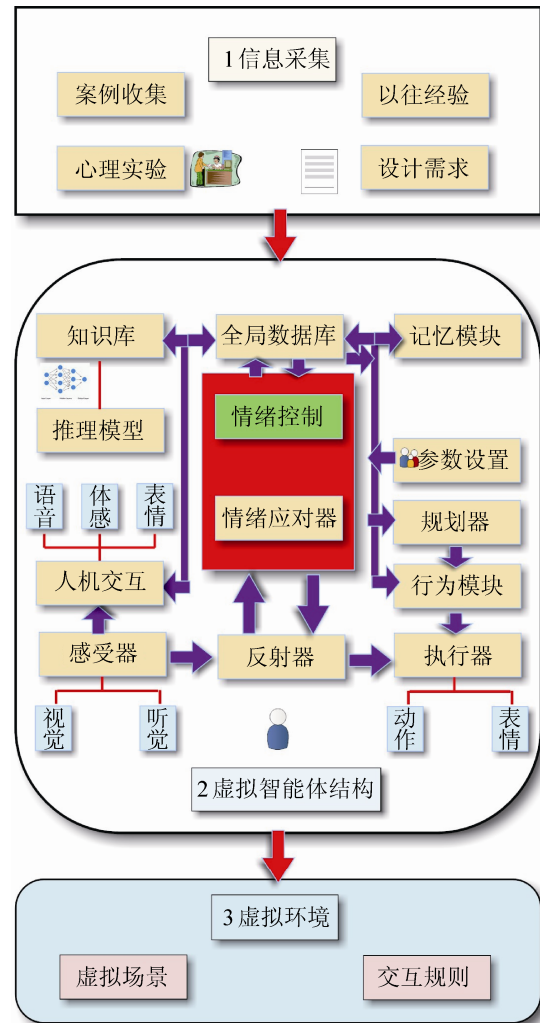


图 1 虚拟现实进行情绪调节的技术路线图

(1) 信息采集: 广泛收集焦虑症和自闭症患者的案例信息, 与相关的康复机构合作。采用心理测试量表, 收集相关的心理测试数据。结合以往的治疗经验设计和实验需求, 为康复治疗提供帮助。

(2) 虚拟智能体结构: 虚拟智能体具有情绪调控能力, 具有知识库和记忆模块, 能够进行情感交流, 是康复治疗的关键部分。智能体通过感受器接受外部信息, 通过情绪控制进行反射, 执行器调用其他参数来与环境进行交互。用户通过语音、体感和表情等能够对情绪智能体进行自然的交互操作, 情绪智能体能够持续通过表情和身体动作反馈用户的输入。

(3) 虚拟环境: 构建康复治疗的虚拟环境, 包括虚拟场景和交互规则。虚拟场景主要包括场景的建模设置、智能体的造型设置等, 交互规则包括一些脚本驱动的行为规则, 需要结合不同的领域来具体设计。

4 虚拟环境中的情感计算技术

通过以上的分析, 虚拟现实技术在辅助治疗焦虑症和自闭症方面具有很大的发展潜力, 通过创造人机互动的情景来帮助患者调整情绪, 达到治疗的效果。随着虚拟现实硬件技术的不断发展, 特别是各种穿戴设备的普及, 建立人机情感交流技术正成为可能。在虚拟环境中融合情感计算将成为技术发展的必然趋势, 这包括情绪智能体、情感化界面设计、多模态的情感交互和表达等。虚拟环境不再是几何造型, 而是具有情感表达的一些生命体, 这将极大提升用户的沉浸感, 对于精神疾病的辅助治疗尤为重要。从以下 3 个方面进行论述虚拟环境中的情感计算技术趋势:

(1) 情绪智能体可以提升用户的情感体验, 达到情绪调节的目的: 虚拟环境中不仅包括静态的场景信息, 还包括一些富有生命特征的智能体, 具有情绪表达能力的智能体能够通过身体姿态和表情来表达情感, 可以响应用户的输入信息。例如在前面的虚拟海豚辅助自闭症康复的例子中, 如果将海豚也赋予各种表情, 将极大提升互动的趣味性。拟人化的情感设计, 将有助于提高用户的情绪调节能力。此外, 在虚拟环境中增加一些 NPC 情感化角色, 也能提高培训的效果。

(2) 情绪智能体增强了虚拟现实界面的友好性, 方便了人机交互: 随着深度相机等新型交互设备的普及, 用户与虚拟环境的交互正逐渐过渡到自然交互方式, 例如, 基于体感的交互方式能够让让用户通过身体的运动来表达情感, 而情感化虚拟智能体能够通过理解用户的身体语言, 这些新的交互手段对于精神疾病的康复训练起到很大的帮助。

(3) 情绪智能体可以实现虚拟环境和现实环

境的无缝连接: 随着三维图形技术的发展, 高真实感的虚拟环境创建在技术上不存在问题, 情绪智能体完全可以模拟现实世界中各类情绪现象。对于用户而言, 虚拟世界不过是现实世界的延伸, 虚拟世界和现实世界不存在界限, 通过物联网技术, 将现实社会与虚拟社会相连接, 实现社会化的虚拟环境辅助治疗系统将成为可能。

5 结论

本文对虚拟现实技术在焦虑症和自闭症方面的研究成果进行分析总结, 虚拟现实技术已成功地运用于辅助康复治疗领域, 效果显著, 展现了虚拟现实技术来源于现实却又优于现实的特点, 能够很好地在各种康复治疗过程中节省人力及财力。鉴于精神类疾病主要是情绪失调引起的, 提出构建情绪智能体的技术方案和技术路线, 并对其在康复治疗中的前景进行展望, 虚拟现实技术必将在焦虑症和自闭症的康复治疗方面发挥更大的作用。

参考文献:

- [1] 莫海燕, 刘静, 曹慧. 虚拟现实技术在康复医学中的应用与发展[J]. 医疗卫生装备, 2014, 35(11): 100-103.
- [2] 王雪, 王广新. 虚拟现实暴露疗法在心理治疗中的应用研究综述[J]. 心理技术与应用, 2014, 12: 12-15.
- [3] Viaud-Delmon I, Ivanenko Y P, Berthoz A, Jouvent R. Adaptation as a Sensorial Profile in Trait Anxiety: A Study with Virtual Reality [J]. Journal of Anxiety Disorders (S0887-6185), 2000, 14(6): 583-601.
- [4] Anderson P, Jacobs C, Rothbaum B O. Computer-Supported Cognitive Behavioral Treatment of Anxiety Disorders [J]. Journal of Clinical Psychology (S1097-4679), 2004, 60(3): 253-267.
- [5] Rizzo A, Difede J A, Rothbaum B O, Reger G, Spitalnick J, Cukor J, Mclay R. Development and Early Evaluation of the Virtual Iraq/Afghanistan Exposure Therapy System for Combat-Related PTSD [J]. Annals of The New York Academy of Sciences (S0077-8923), 2010, 12(08): 114-125.
- [6] Rizzo, A, Hartholt, A, Grimani, M, Leeds, A, Liewer, M. Virtual Reality Exposure Therapy for Combat-Related Posttraumatic Stress Disorder [J]. IEEE Computer (S0018-9162), 2014, 47(7): 31-37.

- [7] Bloch F, Rigaud A S, Kemoun G. Virtual Reality Exposure Therapy in Posttraumatic Stress Disorder: A Brief Review to Open New Opportunities for Post-fall Syndrome in Elderly Subjects [J]. *European Geriatric Medicine* (S1878-7649), 2013, 4: 427-430.
- [8] Motraghi T E, Seim R W, Meyer E C, Morissette S B. Virtual Reality Exposure Therapy for the Treatment of Posttraumatic Stress Disorder: A Methodological Review Using CONSORT Guidelines [J]. *Journal of Clinical Psychology* (S1097-4679), 2014, 70(3): 197-208.
- [9] Rizzo A, Cukor J, Gerardi M, Alley S, Reist C, Roy M, Rothbaum B O, Difede J. Virtual Reality Exposure for PTSD Due to Military Combat and Terrorist Attacks [J]. *J Contemp Psychother* (S0022-0116), 2015, DOI 10.1007/s10879-015-9306-3.
- [10] Duarte E, Rebelo F, Wogalter M S. Virtual Reality and its Potential for Evaluating Warning Compliance [J]. *Human Factors and Ergonomics in Manufacturing & Service Industries* (S1090-8471), 2010, 20(6): 526-537.
- [11] Kotlyar M, Donahue C, Thuras P, Kushner M G, O'Gorman N, Smith E A, Adson D E. Physiological Response to a Speech Stressor Presented in a Virtual Reality Environment [J]. *Psychophysiology* (S0048-5772), 2008, 45(6): 1034-1037.
- [12] Jo'nsson P, Wallergård M, Österberg K, Hansen A M, Johansson G, Karlson B. Cardiovascular and Cortisol Reactivity and Habituation to a Virtual Reality Version of the Trier Social Stress Test: A Pilot Study [J]. *Psychoneuroendocrinology* (S0306-4530), 2010, 35: 1397-1403.
- [13] Alahmari K A, Sparto P J, Marchetti G F, Redfern M S, Furman J M, Whitney S L. Comparison of Virtual Reality Based Therapy with Customized Vestibular Physical Therapy for the Treatment of Vestibular Disorders [J]. *IEEE Transactions on Neural Systems And Rehabilitation Engineering* (S1534-4320), 2014, 2(2): 389-399.
- [14] Qu C, Brinkman W P, Ling Y, Wiggers P, Heynderickx I. Conversations with a Virtual Human: Synthetic Emotions and Human Responses [J]. *Computers in Human Behavior* (S0747-5632), 2014, 34: 58-68.
- [15] Hopkins I M, Gower M W, Perez T A, Smith D S, Amthor F R, Wimsatt F C, Biasini F. Avatar Assistant: Improving Social Skills in Students with an ASD through a Computer-Based Intervention [J]. *Journal of Autism and Developmental Disorders* (S0162-3257), 2011, 41(11): 1543-1555.
- [16] Kandalaf M R, Didehbani N, Krawczyk D C, Allen T T, Chapman S B. Virtual Reality Social Cognition Training for Young Adults with High-Functioning Autism [J]. *Journal of Autism and Developmental Disorders* (S0162-3257), 2013, 43(1): 34-44.
- [17] Kim E S, Berkovits L D, Bernier E P, Dan L, Shic F, Paul R, Scassellati R. Social Robots as Embedded Reinforcers of Social Behavior in Children with Autism [J]. *Journal of Autism and Developmental Disorders* (S0162-3257), 2013, 43(5): 1038-1049.
- [18] Cai Y, Chia N K H, Thalmann D, Kee N K N, Zheng J, Thalmann N M. Design and development of a Virtual Dolphinarium for children with autism [J]. *IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering* (S1534-4320), 2013, 21(2): 208-217.
- [19] Ortony A, Clore G, Collins A. *The cognitive structure of emotions* [M]. New York: Cambridge University Press, 1988.
- [20] Picard R W. *Affective Computing* [M]. Massachusetts: The MIT Press, 1997.
- [21] El-Nasr M S, Yen J, Ioerger T R. ME-Fuzzy Logic Adaptive Model of Emotions [J]. *Autonomous Agents and Multi-Agent Systems* (S1387-2532), 2000, 3(3): 219-257.
- [22] Marsella S, Gratch J. EMA: A Model of Emotional Dynamics [J]. *Journal of Cognitive Systems Research* (S1389-0417), 2009, 10(1): 70-90.
- [23] Sun W, Pham B, Wardhani A. Personality and Emotion-Based High-Level Control of Affective Story Characters [J]. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics* (S1077-2626), 2007, 13(2): 281-292.
- [24] Arellano D, Varona J, Perales F J. Generation and Visualization of Emotional States in Virtual Characters [J]. *Computer Animation and Virtual Worlds*. (S1546-4261), 2008, 19(3-4): 259-270.
- [25] Eisman E M, López V, Castroa J L. Controlling the Emotional State of an Embodied Conversational Agent with a Dynamic Probabilistic Fuzzy Rules Based System [J]. *Expert Systems with Applications* (S0957-4174), 2009, 36(6): 9698-9708.
- [26] Mei Y L, Aylett R. An Emergent Emotion Model for an Affective Mobile Guide with Attitude [J]. *Applied Artificial Intelligence Journal* (S0883-9514), 2009, 23(9): 835.