

1-8-2019

Application of Virtual Reality in Rehabilitation of Special Populations

Tingting Liu

1. *College of Science and Technology, Ningbo University, Ningbo 315212, China;;*

Liu Zhen

2. *Faculty of Information Science and Engineering, Ningbo University, Ningbo 315211, China;;*

Ping'an Qian

3. *Ningbo No.9 Hospital, Ningbo 315020, China;;*

Rongrong Xuan

4. *The Affiliated Hospital of Medical School of Ningbo University, Ningbo 315000, 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.

Application of Virtual Reality in Rehabilitation of Special Populations

Abstract

Abstract: With the continuous development of urbanization and the trend of population aging, the number of people who need physical and mental rehabilitation continues to increase. Using information technology to assist the rehabilitation process has the important practical significance. The existing studies about the application of virtual reality (VR) technology in the rehabilitation, psychological problems and children with autism for stroke are reviewed. A framework for the intelligent rehabilitation system is proposed. Virtual agent, the technology of somatosensory and voice recognition are advised to be used. Based on the proposed framework, a prototype rehabilitation game for autism and an upper body extremities training system for the elderly are designed and discussed. This work provides a new perspective for the research and development of intelligent rehabilitation.

Keywords

virtual reality, virtual agent, stroke, psychological problem, autism

Authors

Tingting Liu, Liu Zhen, Ping'an Qian, Rongrong Xuan, Wang Jin, and Yanjie Chai

Recommended Citation

Liu Tingting, Liu Zhen, Qian Ping'an, Xuan Rongrong, Wang Jin, Chai Yanjie. Application of Virtual Reality in Rehabilitation of Special Populations[J]. Journal of System Simulation, 2018, 30(9): 3229-3237.

虚拟现实在特殊人群康复中的应用研究

刘婷婷¹, 刘箴^{2*}, 钱平安³, 宣荣荣⁴, 王瑾¹, 柴艳杰²

(1. 宁波大学科学技术学院, 浙江 宁波 315212; 2. 宁波大学信息科学与工程学院, 浙江 宁波 315211; 3. 宁波市第九医院, 浙江 宁波 315020; 4. 宁波大学医学院附属医院, 浙江 宁波 315000)

摘要: 随着中国城镇化的不断发展, 人口老龄化程度正呈现加剧上升趋势, 需要进行身体和心理康复的人群不断增多, 采用信息技术辅助康复过程具有重要的现实意义。综述了虚拟现实技术在特殊人群康复方面的研究成果, 针对该技术在脑卒中、心理问题和自闭症儿童三类人群中的应用做了系统梳理。提出了将虚拟智能体引入到康复治疗当中, 结合体感和语音技术建立情景化虚拟康复环境的构想。设计了一种基于虚拟智能体的康复技术方案, 并结合已完成的自闭症康复游戏原型系统和老年人上肢锻炼系统进行了讨论, 为智慧康复研发提供了一种新视角。

关键词: 虚拟现实; 虚拟智能体; 脑卒中; 心理问题; 自闭症

中图分类号: TP391.9 文献标识码: B 文章编号: 1004-731X (2018) 09-3229-09

DOI: 10.16182/j.issn1004731x.joss.201809001

Application of Virtual Reality in Rehabilitation of Special Populations

Liu Tingting¹, Liu Zhen^{2*}, Qian Ping'an³, Xuan Rongrong⁴, Wang Jin¹, Chai Yanjie²

(1. College of Science and Technology, Ningbo University, Ningbo 315212, China; 2. Faculty of Information Science and Engineering, Ningbo University, Ningbo 315211, China; 3. Ningbo No.9 Hospital, Ningbo 315020, China; 4. The Affiliated Hospital of Medical School of Ningbo University, Ningbo 315000, China)

Abstract: With the continuous development of urbanization and the trend of population aging, the number of people who need physical and mental rehabilitation continues to increase. Using information technology to assist the rehabilitation process has the important practical significance. The existing studies about the application of virtual reality (VR) technology in the rehabilitation, psychological problems and children with autism for stroke are reviewed. A framework for the intelligent rehabilitation system is proposed. Virtual agent, the technology of somatosensory and voice recognition are advised to be used. Based on the proposed framework, a prototype rehabilitation game for autism and an upper body extremities training system for the elderly are designed and discussed. This work provides a new perspective for the research and development of intelligent rehabilitation.

Keywords: virtual reality; virtual agent; stroke; psychological problem; autism

引言

中国人口老龄化趋势明显, 我国 60 岁以上的



收稿日期: 2018-07-28 修回日期: 2018-08-07;
基金项目: 浙江省医药卫生科技计划项目 (2017PY027), 宁波市医药卫生科技项目 (2016A07), 宁波市科技计划项目 (2016D10016, 2017A610113, 2017C50018), 宁波大学校科研基金 (XYL18026);
作者简介: 刘婷婷(1980-), 女, 浙江建德, 博士, 副教授, 研究方向为虚拟现实。

老年人已超过 2.3 亿, 其中脑卒中患者达到了 1 000 万。随着中国城镇化进程的推进, 现代社会的生活节奏加快, 各种诱发心理问题的要素显著增加, 我国有 1 亿多患有各类心理问题的人群, 尤其以焦虑和抑郁患者最为普遍。与此同时, 各种特殊儿童也引起普遍关注, 儿童自闭症患者数量近年来急剧上升, 全世界每 88 个孩子就有 1 个是自闭症儿童。

我国 0~14 岁的自闭症儿童超过 200 万。

虚拟现实是一种可以创建和体验虚拟世界的计算机技术,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。虚拟现实技术开始被越来越多地应用到了康复治疗领域。基于虚拟现实技术的康复系统往往具有反馈性、安全性、可控性等特征,能够为患者提供有趣的互动,鼓励患者积极主动地参与康复训练,进行重复性的锻炼,帮助患者成功完成各种枯燥的康复治疗。通过与人工智能结合,患者可以在虚拟环境中实现智慧康复,可节省大量的人力物力以及时间,化被动康复为主动康复,提高康复的效果。目前不少康复系统中还引入了虚拟智能体的概念,赋予虚拟智能体自主行为能力,能够按照用户的需求提供体验服务,兼顾用户的心理调节,符合人工智能 2.0 的市场需求。

本文对已有的虚拟现实技术在康复治疗领域的文献做了梳理,讨论了虚拟现实技术在身体康复和心理调节方面的应用。在此基础之上,引入虚拟智能体的概念,提出了依托于情感计算的人机互动,创建智能的自然交互环境,为进一步推进虚拟现实在智慧康复中的应用提供参考。

1 虚拟现实技术在脑卒中康复中的应用

脑卒中患者会遗留不同程度的功能障碍,以运动、感觉、认知、语言、心理等为主要表现。虚拟现实技术在脑卒中的康复应用主要集中在身体康复方面。患者可以在虚拟场景中进行运动技能的恢复,手眼协调、空间定位、日常任务等多种康复训练^[1]。为了获取用户的动作信息,许多康复系统使用了微软的 Kinect 作为动作捕获设备。通过 Kinect,用户可以使用各种手势和姿态与计算机进行自然的交互。Webster 等曾就 Kinect 在老年人护理和脑卒中康复中的应用做了归纳梳理。发现在近

几年的相关研究和应用中, Kinect 在老年人护理方面主要被用来做跌倒检测和降低跌倒风险。因为在脑卒中的康复训练要求动作的重复和到位,因此患者往往会产生运动的不耐受,不能准确完成运动甚至放弃运动。而 Kinect 则可以检测运动是否做到位,提高居家康复的效果。但是在应用 Kinect 的过程中也会有一些局限性,比如在老年人护理中, Kinect 因为检测范围的限制,只能检测到理想位置的用户行为。这与现实生活中老人需要在屋内四处行走的需求之间存在着一定的差距。因此,在脑卒中康复中, Kinect 只适合于大动作的评估和训练,在精细动作或内部关节运动检测中的效果不是很好。可以应用多种设备,结合相应的算法,设计合理的场景来提高康复训练的效果^[2]。目前虚拟现实技术在肢体康复中的应用主要分为上肢康复,下肢和平衡康复以及日常生活活动能力康复几个方面。

1.1 上肢康复

由于脑卒中会影响到上肢的运动能力,脑卒中病人在出院后需要持续地训练上肢能力以减少运动障碍,因此上肢康复在脑卒中病人中的应用比较普遍。Dhiman 等设计了一个虚拟的锻炼平台,能够实时监测患者的生理指标,根据患者的表现提供不同难度的任务,实现了个性化的上肢康复训练^[3]。Lupu 等设计了一个上肢康复系统帮助训练患者的前臂,手和拇指。患者通过使用 Leap Motion 与系统中的虚拟治疗师进行互动(如图 1 所示)^[4]。Pei 等提出了一种基于 Kinect 的自我运动训练与评估系统。患者可以跟随系统中的虚拟教练运动。系统可以做骨架模型匹配,虚拟角色控制和实时康复运动反馈。患者的动作会被映射到系统中站在虚拟教练身后的虚拟人身上,提高了虚拟康复训练的逼真度和交互性^[5]。Simonsen 等设计了一个基于 Kinect 的系统,能够为上肢训练中的脑卒中患者提供自适应的视觉反馈。训练目标会根据患者的表现变化并在视觉上显示出来。结果显示,该方法能够提高训练效果,适合于无监督训练^[6]。Xing 等则将机械臂

与虚拟系统相结合, 通过安装在康复机器人上的力传感器来识别用户的运动意图并让用户沉浸在虚拟系统中进行治疗练习, 刺激患者的运动神经。通过这种方法, 可以建立一种手臂运动意图和外骨骼康复机械臂的协同控制, 充分发挥人的认知能力和机器人的智能协同能力, 帮助患者取得想要的训练效果^[7]。王爽等设计了一个基于 Kinect 和 Moca 量表的上肢康复训练系统, 根据患者认知功能的受损程度, 设计不同难度等级的迷宫游戏来对患者的上肢功能进行锻炼^[8]。Sangwoo Cho 等设计了一个可以屏蔽视觉反馈的康复系统, 利用本体感觉反馈来对脑卒中患者的上肢进行康复训练。通过与视觉反馈比较, 显示本体感觉反馈的训练效果更优, 为虚拟现实在康复系统中的应用提供了另一种设计思路^[9]。Sungmin Cho 等尝试在虚拟环境中实现传统的用于手功能、协调能力以及大动作调节能力测试的盒子和木块测试法(BBT)。新的 VBBT 系统基于 Kinect, 能对手、手指和抓取功能的进行评估, 使得在虚拟环境中完成评估成为可能(如图2所示)^[10]。张桃等则提出运动想象也能激活大脑细胞, 修复外部肢体和大脑之间的功能控制连接。因此, 设计了一个通过想象来训练手功能的康复系统。患者可以通过想象来控制三维人物的手部运动^[11]。为了判断康复训练的有效性, 一些学者也对现有的系统或各项评估指标展开了研究, 给出了不同评估指标的使用建议。韩志峰等对所设计的基于体感技术的上肢康复游戏系统的评估模块做了测试, 对评估结果进行了分析, 验证了系统评估模块的一般有效性^[12]。Mobini 等使用了系统的方法来评估 Kinect 测量指标的可靠性, 显示了 Kinect 可以作为运动捕获设备在家用上身康复系统中使用^[13]。Holmes 等研究了各种版本的费茨法则(Fitt's Law)在构建三维环境中的手部运动模型中的应用, 通过实验验证了使用费茨法则的可行性^[14]。Veras 等则对目前在脑卒中远程康复和虚拟现实康复中使用的评估标准作了综述, 明确了评估脑卒中康复的常用指标和方法, 为康复系统的设计和评估提供了指导标准^[15]。



图 1 患者和虚拟治疗师在互动^[4]
Fig. 1 Interaction between the patient and the virtual therapist



图 2 患者在虚拟的盒子和木块中进行测试^[10]
Fig. 2 Patient is doing BBT in a virtual system

1.2 下肢和平衡康复

除了上肢康复之外, 也有许多研究利用虚拟现实技术开发了针对脑卒中病人的下肢和平衡康复系统。郭晓辉等构建了一个下肢康复训练系统。系统拥有主被动两种模式, 患者可以选择不同的模式在虚拟场景中行走。在主动模式下, 患者需要主动驱动双腿, 带动康复床运动。而在被动模式下, 则由仪器驱动患者行走^[16]。考虑到脑卒中患者通常会出现平衡功能障碍, 需要由他人搀扶进行活动, 否则跌倒的风险较高。一些系统也针对平衡功能障碍进行了康复训练。Verma 等设计了一个基于虚拟现实的自适应平衡训练平台, 患者需要在平衡板上完成与平衡有关的训练。在训练的过程中, 系统会根据患者的表现来提供不同难度级别的任务^[17]。为了验证虚拟现实系统的有效性, 王鑫等通过对比实验, 证明了加入虚拟现实技术之后, 患者能够在平衡训练方面取得比常规传统方法更好的康复效果^[18]。

1.3 日常生活活动能力康复

日常生活活动能力主要是对上肢活动能力的拓展,在训练的过程中不是强调单个动作的完成,而是强调在不同生活场景中日常生活行为的完成。康复系统通常需要构建不同的生活场景来训练患者的生活自理能力。为了测试虚拟现实系统的有效性,Adams 等对使用虚拟康复系统的患者进行了临床对照实验,发现患者在虚拟环境中进行日常生活活动能力训练的成效比较明显(如图 3 所示)^[19]。柏敏等通过几组康复训练对照实验,验证了虚拟康复系统的作用。在 2 周和 4 周的对比实验中,均能看出虚拟康复系统比传统方法具有更好的康复效果^[20]。



图 3 患者在虚拟的生活场景中进行喝水训练^[19]

Fig. 3 Patient is trying to drink water in a virtual scenario

1.4 肢体康复应用总结

目前的肢体康复应用主要分为两个方面:一个是使用虚拟现实技术开发相应的康复系统,帮助患者做康复训练;另一个是研究各种针对硬件或康复的测量指标,以帮助评估判断现有的各项技术、设备是否能帮助患者实现康复。在康复系统的应用中,又分为沉浸式系统和非沉浸式系统。沉浸式系统通常需要结合计算机、头戴式显示器(HMDS)、身体跟踪传感器、专用接口设备和实时图形显示,非沉浸式系统通常使用计算机和游戏系统。除此之外,不少系统中设计了虚拟角色,作为教练为用户示范动作,与用户交互。大多数的应用会比较有针对性,分别针对上肢和下肢作相应的康复训练,但也有一些应用会对全身作训练。Trombetta 等研发的系统就设计了不同的康复动作以训练患者的手、上肢、下肢和躯干^[21]。这些应用系统的出现,使

得患者能够在家中实现康复锻炼,取得较好的康复效果。但由于硬件的限制,许多系统在便利性方面还有待提高。

2 虚拟现实对心理问题的辅助治疗

随着社会经济的发展,人们进入了快节奏的生活。对生活要求的提高增加了现代人的压力。同时,心理学科的普及使越来越多的人开始关注心理健康问题,虚拟现实技术开始应用于心理问题的调节,目前比较普遍的应用是焦虑症和抑郁症。

2.1 焦虑症的辅助治疗

在人们被焦虑情绪困扰时,会产生担忧、紧张、不安、恐惧、不愉快等综合情绪体验。焦虑伴有明显的生理变化,尤其是植物神经活动的变化。表现为血液内肾上腺素浓度增加、心悸、血压升高、呼吸加深加快、肌张力降低、皮肤苍白、失眠、尿频、腹泻等。现在医学证明,情绪调节可以有效缓解焦虑症,是治疗焦虑症的有效手段。

为了了解焦虑症的机理,Viaud-Delmon 等在虚拟现实环境下对具有不同焦虑值的志愿者进行了测试^[22]。Jo`nsson 在虚拟环境下分析了压力和生理因素的关系^[23]。KOTLYAR 等研究了虚拟环境下人面对压力的生理反应^[24]。这些研究都表明,虚拟现实技术的应用可以帮助人们减少压力。Anderson 等对支持焦虑症治疗的计算机技术进行了总结。指出目前在用的主要有掌上电脑、虚拟现实暴露疗法和个性计算机软件程序三方面^[25]。除此之外,Qu 等通过在实验中设置虚拟人的不同情绪,分析了合成的正负情绪是否能引发用户的正负情绪。该研究能帮助分析哪些刺激源会引起焦虑,对虚拟人对话系统的设计具有指导意义^[26]。

2.2 抑郁症的辅助治疗

抑郁症的发病率在现代人中也比较常见。特别是产后抑郁,这几年出现的病症数呈上升趋势。产后抑郁的患者容易出现抑郁、悲伤、烦躁、哭泣等一系列负面情绪,影响家庭幸福和产妇的亲子行为。

对于产后抑郁根本的治疗方法还是通过精神抚慰, 及时监督和化解抑郁情绪。通过对话交流沟通, 缓解患者的心理压力, 让患者心理得到康复。这方面的研究还刚刚起步, 目前主要集中在结合计算机技术对文本做一些情感分析以帮助识别患者情绪, 给以正确反馈。Neviarouskaya 等介绍了文本中态度识别的组成语言方法, 采用句法分析, 考虑句中词语间的关系, 结合概念的层次结构, 能有效进行细粒度的态度识别^[27]。文本情感倾向分类可以分为基于机器学习和基于语义两种。机器学习分类方法主要是应用机器学习模型, 如朴素贝叶斯、K 最邻近、支持向量机、条件随机场等算法的分类器, 通过对训练集的特征进行学习, 构造模型, 从而应用于对测试集的文本进行分类判断, 其中基于支持向量机模型分类效果比较突出。任福继课题组试图引用一组向量来描述文本的情绪, 通过两个情感模型, 采用层次贝叶斯网络分析复杂的情感能揭示主题和情感的关系^[28]。但是基于机器学习的分类方法, 需要大量的训练样本, 可扩展性较差, 很难适应灵活的文本情感分析。基于语义理解的方法借助句法分析, 通过确定句子的句法结构, 分析词语间的语义关系, 以更加形象的形式反映语言情感。Loia 等提出一个提取情感的框架, 采用四维情感层次, 利用同义词集合计算情感的相似度, 结合模糊集的语义模式计算情感强度, 分析文本中的情感^[29]。基于语义理解分类方法, 在执行分类过程中, 需要反复调用相应词典来进行比较分析, 运行时间比较长。

虚拟现实技术在抑郁症辅助治疗是一个新的研究方向, 结合自然语言情感分析技术和对话智能体的虚拟现实系统, 可用于心理调节, 无疑在抑郁症治疗方面有着广泛的应用前景。

3 虚拟现实技术在自闭症治疗中的应用

近年来自闭症儿童的数量不断上升, 自闭症 (Autism) 是一种由于神经系统失调导致的发育障

碍, 通常发生于 3 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与正常儿童有所不同。医学研究表明, 早期的康复干预能极大提升自闭症儿童的生活质量。越来越多的家庭开始对自闭症儿童展开积极的康复治疗。近年来虚拟现实技术在自闭症辅助治疗方面也取得了不少新进展。

由于自闭症儿童个体差别较大, 不同的自闭症儿童的康复需求不同。低功能自闭症儿童, 需要改善情感识别和社会互动能力。高功能自闭症儿童需要改善面部识别、情绪识别和社会交往能力。虚拟现实在这方面大有可为。例如, Hopkins 等利用一个虚拟化表情来辅助自闭症儿童识别表情, 提供眼神训练, 改善社交能力^[30]。Kandalafi 等通过构造模拟现实生活情景的虚拟环境, 用来干预高功能自闭症患者的社会交往能力^[31]。Bernardini 等根据对自闭症儿童的真实调查结果, 设计了一个用于培养自闭症儿童社交能力的严肃游戏 ECHOES。用户可以在一个二维的花园场景中进行交互游戏^[32]。与肢体康复类似, Kinect 在自闭症康复中也有着一定的应用。Cai 等在所设计的三维严肃游戏中, 让自闭症儿童通过 Kinect 与虚拟海豚进行交互。让用户通过不同的手势动作(挥手等)对海豚进行训练, 锻炼自闭症儿童的社交动作技能^[33]。

4 虚拟现实技术的应用构想

在已有的技术应用中, 可以看出虚拟现实技术在特殊人群的康复治疗中有着积极的作用。但这些系统中的陪伴虚拟角色行为表现较为简单, 智慧程度不高, 只能做一些基于脚本驱动的任务, 交互效果有限, 不能满足复杂的康复训练系统的要求。为了提高康复系统的体验效果, 可以引入虚拟智能体的概念, 拓展康复训练的智能性。虚拟智能体是由计算机生成的图形实体, 包含自主性、主动性、反应性、可动性、社会性、移动性、理性、情绪性、适应性等属性, 虚拟智能体可以是虚拟角色, 也可以是拟人的物体, 引入虚拟智能体提升康复训练系统的趣味性, 提升用户的体验感。

4.1 总体构想

一个智慧的康复训练可以从以下几个方面进行设计:

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,针对康复对象在肢体动作、言语表达、情感识别、社交困难等方面的康复需求,建立相应的三维虚拟场景。

2. 建立面向康复对象的智能感知方法

通过摄像头、体感设备,获取康复对象当前的状态信息,并通过情绪推理模型判断表情和姿态的含义。减少穿戴设备的应用,降低用户的不适感,提高他们的训练兴趣。通过语音识别设备和技术识别用户的语音输入,将其转化为文本进行后期处理。

3. 使用虚拟智能体提升用户的情感体验,达到情绪调节的目的

虚拟环境不仅包括静态的场景信息,还应包括一些富有生命特征的虚拟智能体。Eisman 等针对人机对话中的虚拟角色,提出了一种基于概率的模糊推理规则的情绪模型^[34]。Becker-Asano 提出了 WASABI 结构来模拟角色的直接情绪和基于认知的情绪^[35]。

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,响应用户的输入信息,提高康复训练过程的趣味性,体现情感化设计的理念。

4. 通过物联网技术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。通过物联网技术,打破虚拟世界和现实世界的界限,将虚拟世界作为现实世界的延伸,创建社会化的虚拟环境辅助治疗系统。

4.2 技术路线

采用虚拟现实技术进行康复的辅助治疗的总体设计如图4所示。

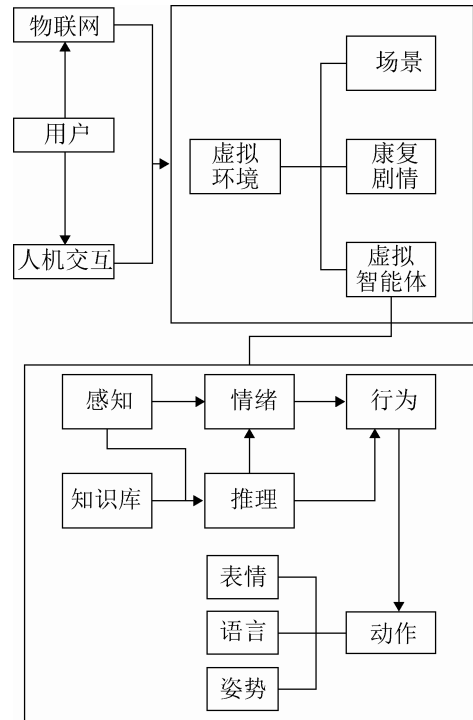


图4 使用虚拟现实技术进行康复治疗的框架设计
Fig. 4 Framework for rehabilitation with VR technology

(1) 虚拟环境: 康复治疗的虚拟环境中应包含场景、康复剧情和虚拟智能体。其中康复剧情应根据患者的康复需求进行编写。虚拟环境可以通过人机交互设备与用户进行交互,能够检测到用户的输入信息并对用户的操作作出反馈,根据不同的用户情况智能调取康复剧情。通过物联网,虚拟环境可以和现实环境相交互。

(2) 虚拟智能体: 虚拟智能体具有感知能力,通过感知到的信息产生相应的情绪,影响相应的行为。同时,结合知识库,智能体会对感知到的信息进行推理,调节情绪和行为。行为通过动作表现出来。这些动作包含表情、语言和姿势。

5 康复游戏原型

基于以上的构想,本文为自闭症儿童设计了一个社交能力训练的三维虚拟现实游戏原型,为老年人设计了一个上肢锻炼的虚拟乒乓球比赛体感游戏。

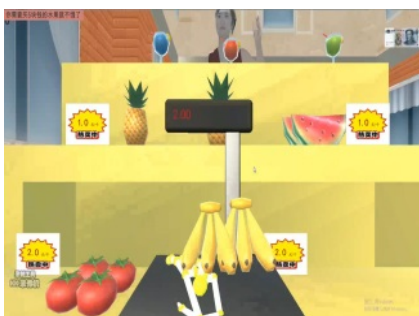
(1) 自闭症游戏原型

游戏包含一个虚拟社区以及陪伴的虚拟智能

体。在该虚拟社区中, 涵盖了日常生活中的典型场景, 如水果店、理发店、厕所等。图 5(a)、(b)是这些场景的屏幕截图。在玩游戏的时候, 用户可以在水果店买水果, 在理发店剪头发, 去找公共厕所(帮助用户识别男厕所和女厕所), 和社区里的其他人互动。游戏中设置了虚拟智能体来陪伴自闭症儿童进行场景探索, 完成任务, 并在适当的时候给予提醒, 如图 6 所示。所有游戏的互动信息将被记录下来, 并用于分析用户的康复训练效果。



(a) 虚拟化身走向理发店



(b) 在水果店中买水果

图 5 自闭症游戏原型截图

Fig. 5 Screenshots for the game prototype



图 6 虚拟智能体提醒用户完成任务

Fig. 6 Virtual agent reminds the user to complete the task

(2) 上肢锻炼虚拟乒乓球体感游戏

在该游戏中, 老年人可以通过挥动左右手击打

虚拟乒乓球来进行上肢运动。屏幕的右上方有一个虚拟智能体, 会根据用户的回球情况作出不同的表情, 提高游戏的趣味性, 如图 7 所示。



图 7 基于体感交互的虚拟乒乓球游戏

Fig. 7 Virtual table tennis game based on somatosensory interaction

上述两个游戏分别在自闭症康复机构和养老院进行了测试。结果表明, 在使用游戏进行康复训练时, 增加虚拟智能体能够为用户正确操作提供帮助, 便于为用户提供一种情景化的虚拟康复环境, 提升了用户的操作兴趣。

6 结论

康复不仅指的是身体机能的恢复, 还涉及到精神状态的恢复。信息技术的不断发展, 特别是虚拟现实技术的发展和应用, 极大地推动了康复医疗向智能化方向的转变。面向中国亟待康复的庞大人群, 如何研发利于普及的智慧康复技术具有重要的现实意义。本文对虚拟现实技术在脑卒中、心理问题和特殊儿童中的康复研究作了详细的归纳总结。基于人工智能技术, 引入了虚拟智能体, 构建了康复治疗框架。在此框架的基础之上, 设计了针对自闭症康复的游戏原型和针对上肢锻炼的乒乓球体感游戏。由于加入了虚拟智能体, 训练系统具有更强的吸引力和趣味性。用户具有更强的沉浸感, 能在与虚拟智能体的交互中能更好地完成相应的训练。本文的研究指出了未来的康复将更智能化, 通过物联网和人机交互技术, 整个康复系统将得到更广泛的普及。文章所总结的前人工作和所提出的康复治疗框架将为下一步工作的深入开展提供线

索和借鉴。

参考文献:

- [1] Vogiatzaki E, Krukowski A. Modern stroke rehabilitation through e-health-based entertainment[M]. Heidelberg: Springer International Publishing, 2015.
- [2] Webster D, Celik O. Systematic review of Kinect applications in elderly care and stroke rehabilitation[J]. Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation (S1743-0003), 2014, 11(1): 108.
- [3] Dhiman A, Solanki D, Bhasin A, et al. An intelligent, adaptive, performance-sensitive, and virtual reality-based gaming platform for the upper limb[J]. Computer Animation and Virtual Worlds (S1546-4261), 2018, 29(2): 1-14.
- [4] Lupu R G, Botezatu N, Ungureanu F, et al. Virtual reality based stroke recovery for upper limbs using leap motion[C]// proceedings of the 20th International Conference on System Theory, Control and Computing, ICSTCC 2016, F, Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc, 2016: 295-299.
- [5] Pei W, Xu G, Li M, et al. A motion rehabilitation self-training and evaluation system using Kinect[C]// proceedings of the 13th International Conference on Ubiquitous Robots and Ambient Intelligence, URAI 2016, F, Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., 2016: 353-357.
- [6] Simonsen D, Popovic M B, Spaich E G, et al. Design and test of a Microsoft Kinect-based system for delivering adaptive visual feedback to stroke patients during training of upper limb movement[J]. Med. Biol. Eng. Comput. (S0140-0118), 2017, 55(11): 1927-1935.
- [7] Xing L, Wang X, Wang J. A motion intention-based upper limb rehabilitation training system to stimulate motor nerve through virtual reality[J]. International Journal of Advanced Robotic System (S1729-8806), 2017, 14(6): 1-8.
- [8] 王爽, 于建发, 谭玉恩, 等. 构建基于 Unity3D 的脑卒中康复训练系统[J]. 电子世界, 2015(17): 183-185.
Wang S, Yu J F, Tan Y E, et al. Building a Stroke Rehabilitation Training System Based on Unity3D [J]. Electronics World, 2015(17): 183-185.
- [9] Cho S, Ku J, Cho Y K, et al. Development of virtual reality proprioceptive rehabilitation system for stroke patients[J]. Computer Methods Programs in Biomedicine (S0169-2607), 2014, 113(1): 258-265.
- [10] Cho S, Kim W S, Paik N J, et al. Upper-Limb Function Assessment Using VBBTs for Stroke Patients[J]. IEEE Computer Graphics and Applications (S0272-1716), 2016, 36(1): 70-78.
- [11] 张桃, 杨帮华, 段凯文, 等. 基于运动想象脑机接口的手功能康复系统设计[J]. 中国康复理论与实践, 2017, 23(1): 4-9.
Zhang T, Yang B H, Duan K W, et al. Development of Hand Function Rehabilitation System Based on Motor Imagery Brain-computer Interface[J]. Chinese Journal of Rehabilitation Theory and Practice, 2017, 23(1): 4-9.
- [12] 韩志峰, 曹磊, 杨文璐, 等. 基于体感技术上肢康复游戏系统的评价模块[J]. 中国康复理论与实践, 2017, 23(11): 1341-1345.
Han Z F, Cao L, Yang W L, et al. Upper Limb Rehabilitation Game System Based on Somatosensory Technique: Assessment Module[J]. Chinese Journal of Rehabilitation Theory and Practice, 2017, 23(11): 1341-1345.
- [13] Mobini A, Behzadipour S, Saadat M. Test-retest reliability of Kinect's measurements for the evaluation of upper body recovery of stroke patients[J]. BioMedical Engineering Online (S1475-925X), 2015, 14(1): 1-13.
- [14] Holmes D E, Charles D K, Morrow P J, et al. Using fitt's law to model arm motion tracked in 3D by a leap motion controller for virtual reality upper arm stroke rehabilitation[C]// proceedings of the 29th IEEE International Symposium on Computer-Based Medical Systems, CBMS 2016, F, Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., 2016.
- [15] Veras M, Kairy D, Rogante M, et al. Scoping review of outcome measures used in telerehabilitation and virtual reality for post-stroke rehabilitation[J]. Journal of Telemedicine and Telecare (S1357-633X), 2017, 23(6): 567-587.
- [16] 郭晓辉, 王晶, 杨扬, 等. 基于虚拟现实的下肢主被动康复训练系统研究[J]. 西安交通大学学报, 2016, 50(2): 124-131.
Guo X H, Wang J, Yang Y, et al. Active and Passive Training System of Lower Limb Rehabilitation Based on Virtual Reality[J]. Journal of Xi'an Jiaotong University, 2016, 50(2): 124-131.
- [17] Verma S, Kumar D, Kumawat A, et al. A low-cost adaptive balance training platform for stroke patients: A usability study[J]. IEEE Trans. Neural Syst. Rehabil. Eng. (S1534-4320), 2017, 25(7): 935-944.
- [18] 王鑫, 孟兆祥, 钱贞, 等. 丰富平衡训练对脑卒中偏瘫患者平衡功能的影响[J]. 中国康复, 2016, 31(6):

- 438-441.
- Wang X, Meng Z X, Qian Z, et al. Effects of enriched balance training on balance function in stroke patients with hemiplegia[J]. Chinese Journal of Rehabilitation, 2016, 31(6): 438-441.
- [19] Adams R J, Lichter M D, Ellington A, et al. Virtual Activities of Daily Living for Recovery of Upper Extremity Motor Function[J]. IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering (S1534-4320), 2018, 26(1): 252-260.
- [20] 柏敏, 田然, 杨倩, 等. 短期虚拟现实康复训练对脑卒中偏瘫患者上肢功能及日常生活活动能力的影响[J]. 中国康复医学杂志, 2017, 32(11): 1288-1291.
- Bo M, Tian R, Yang Q, et al. The Influence of Short-term virtual reality rehabilitation training for upper limb function and activities of daily living in stroke patients with hemiplegia[J]. Chinese Journal of Rehabilitation Medicine, 2017, 32(11): 1288-1291.
- [21] Trombetta M, Bazzanello Henrique P P, Brum M R, et al. Motion Rehab AVE 3D: A VR-based exergame for post-stroke rehabilitation[J]. Computer Methods and Programs in Biomedicine (S0169-2607), 2017, 151: 15-20.
- [22] Viaud-Delmon I. 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.
- [23] Jo`nsson P, Wallerga`rd M, O`sterberg K, et al. 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(9): 1397-1403.
- [24] Kotlyar M, Donahue C, Thuras P, et al. Physiological Response to a Speech Stressor Presented in a Virtual Reality Environment[J]. Psychophysiology (S0048-5772), 2008, 45(6): 1034-1037.
- [25] 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.
- [26] Qu C, Brinkman W P, Ling Y, et al. Conversations with a Virtual Human: Synthetic Emotions and Human Responses[J]. Computers in Human Behavior (S0747-5632), 2014, 34: 58-68.
- [27] Neviarouskaya Alena, Prendinger Helmut, Ishizuka Mitsuru. Attitude sensing in text based on a compositional linguistic approach[J]. Computational Intelligence (S0824-7935), 2013, 31(2): 256-300.
- [28] Ren Fuji, Kang Xin. Employing hierarchical Bayesian networks in simple and complex emotion topic analysis[J]. Computer Speech and Language (S0885-2308), 2013, 27(4): 943-968.
- [29] Loia Vincenzo, Senatore Sabrina. A fuzzy-oriented sentic analysis to capture the human emotion in Web-based content[J]. Knowledge-Based Systems (S0950-7051), 2014, 58: 75-85.
- [30] Hopkins I, Gower M, Perez T, et al. 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.
- [31] Kandalaf M, Didehbani N, Krawczyk D, et al. 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.
- [32] Bernardini S, Porayska-Pomsta K, Smith T J. Echoes: An intelligent serious game for fostering social communication in children with autism[J]. Information Sciences (S0020-0255), 2014, 264(20): 41-60.
- [33] Cai Y, Chia N K H, Thalmann D, et al. 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.
- [34] Eisman E M, Lópeza 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.
- [35] Becker-Asano C, Wachsmuth I. Affective computing with primary and secondary emotions in a virtual human[J]. Autonomous Agent Multi-Agent System (S1387-2532), 2010, 20(1): 32-49.