

智能家居场景下的儿童游戏交互设计研究

李萌^{1,2}, 贾云鹏¹

(1. 北京邮电大学 数字媒体与设计艺术学院, 北京 100876;

2. 中国传媒大学 动画与数字艺术学院, 北京 100024)

摘要: **目的** 智能家居环境为家庭中的游戏设计提供了新的可能性。探讨在新场景下面向儿童的智能家居游戏交互设计策略, 展示设计案例和实践。**方法** 简要概述智能家居的含义, 说明游戏作为家居活动对家庭成员的重要性。之后引入智能家居场景下和儿童游戏设计紧密相关的3种交互技术, 分析了该环境为儿童游戏设计带来的改变。最后依据相关案例推导出设计策略, 展示了一个设计实践。**结论** 智能家居中可交互的表面和沉浸式空间体验, 为儿童游戏机制和体验带来了拓展空间。新场景下的儿童游戏设计需要考虑并充分利用家居空间中的可交互表面, 同时根据儿童用户的行动特征选择交互空间, 规避杂物造成的空间交互障碍, 为儿童和家庭成员提供具身性、可协作、更自然的家居游戏体验。

关键词: 智能家居; 儿童游戏; 游戏设计; 交互设计; 自然人机交互

中图分类号: TB472 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2022)16-0068-08

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2022.16.007

Interaction Design of Children's Games in Scenarios of Smart Homes

LI Meng^{1,2}, JIA Yun-peng¹

(1.School of Digital Media & Design Arts, Beijing University of Posts and Telecommunications, Beijing 100876, China;

2.School of Animation and Digital Art, Communication University of China, Beijing 100024, China)

ABSTRACT: The smart homes environments provide new possibilities for home game design. This paper is to explore design strategies for smart home game interactions for children in the new scenario. First, present a brief overview of the meaning of smart home and explain the importance of game as a home activity for family members. Then introduce three interactive technologies closely related to children's game design in the smart home scenario, analyze the changes brought by smart homes to children's game design. And finally propose design strategies based on relevant design cases and show a design practice. The interactive surfaces and immersive spatial experiences in smart homes provide room for expansion of children's game mechanisms and game experiences. The design of children's games in the new scenario needs to consider and make full use of the interactive surfaces in the home space, while choosing interactive space according to the action characteristics of children users, avoiding the spatial interaction barriers caused by fragmented furniture, and providing children and family members with an embodied, collaborative, and more natural home game experience.

KEY WORDS: smart home; children's game; game design; interaction design; natural human-computer interaction

随着智能技术在居家场景中的广泛应用, 智能家居为用户带来了更具自动化和便利性的生活。2019

年新冠疫情席卷全球, 儿童在家庭场景中的游戏时间也因为居家生活而不断增加。游戏是儿童生活中的重

收稿日期: 2022-03-12

基金项目: 北京市社会科学基金青年项目(21YTC037)

作者简介: 李萌(1983—), 女, 中国传媒大学动画与数字艺术学院博士生, 北京邮电大学数字媒体与设计艺术学院讲师, 主要研究方向为儿童绘本的交互叙事设计和信息设计。

通信作者: 贾云鹏(1976—), 男, 博士, 北京邮电大学数字媒体与设计艺术学院教授, 主要研究方向为数字影像设计和虚拟现实影像设计。

要组成部分,也是儿童探索世界、和他人建立联系的重要活动。在家居智能化的背景下,儿童的游戏形态发生了变化,也因此带动了这一场景下游戏设计策略的迭代和更新。

针对用户在智能家居场景中的游戏设计,学术界近年来已有相当数量的前沿研究案例散落在设计学、游戏学、计算机科学等领域的国际会议和重要期刊中,但这些案例大多为面向某一具象的智能家居场景,或某一具体游戏机制的案例设计,鲜有针对新场景下新变化、新策略的梳理。在此背景下,本研究除了梳理面向儿童用户的智能家居场景下游戏的新形态和新变化,还归纳相关案例并提出设计策略,最后展示了一个原创设计实践,为设计师和相关研究者提供新思路。

1 智能家居的含义及游戏活动在其中的重要性

1.1 智能家居的含义

在早期研究中,智能家居是一个相对宽泛的概念集合。这一名词往往和全家自动化、智慧家庭、可被感知的房屋等名词混用^[1]。此前,智能家居的定义等同于自动化住宅,这一概念忽略了家庭环境中人与机器之间的交互^[2]。Frances Aldrich 认为智能家居是能够响应并预测居住者需求的住宅,它能够通过技术提升居住的舒适性、安全性、便利性和娱乐性^[3]。Kirsten Hanssena^[4]的研究将“家”的含义从居住场所拓展到物理和精神层面的活动空间,使居住者感到家庭关系的连续性,并提供身份和价值认同。这一观点因为将“家”的含义进行了延伸而颇具启发性。在上述研究的启发下,本研究提到的智能家居场景既包含与外界连通的家居空间,还涵盖了居住者在家庭环境中进行的一系列智能活动。智能家居由灯光和设备控制、安全报警控制、娱乐系统控制、远程医疗控制等模块组成^[5-6],具有环境智能化、服务智能化和沟通智能化的特点^[7]。

1.2 游戏活动在智能家居中的重要性

游戏是 3~6 岁学龄前儿童的主要活动类型。研究表明,学龄前儿童在玩电子游戏上花费了大量的时间,游戏除了为孩子们提供有趣味性的互动体验,还能促进幼儿的认知发展、社交互动、体育活动和健康行为^[6]。在居家生活中,儿童的游戏行为大多需要家庭成员的陪伴,因此游戏还起到了充实家庭活动、提升家庭成员运动或学习能力的作用,是增强家庭成员关系的纽带。

电子游戏对儿童的影响是一个在学术界引起诸多争议的话题。现在主流的儿童电子游戏以屏幕交互为主,有研究认为,这些电子游戏导致儿童养成久坐

不动的生活方式,阻碍了孩子们和家庭成员、同伴之间的社交生活^[7]。不过,设计得当的电子游戏能够为儿童带来更好的情感和社交体验。因此,如何化解电子游戏导致孩子久坐不动与游戏能够带来认知和情感提升的这对矛盾,近年来成为研究者关注的焦点。智能家居作为普适计算的应用,其中包含的自然交互界面能够为用户带来多模态、自适应的反馈,为以家居中实体物为游戏对象或界面、全家协同参与的电子游戏形态提供了诞生的土壤。遗憾的是,当前研究探讨智能家居中儿童游戏文章较少。因此,本研究探讨的范围,主要为学龄前儿童及其家庭成员共同在智能家居环境中进行的协作性亲子游戏。

2 智能家居环境下的儿童游戏人机交互技术

人机交互是电子游戏技术中的重要部分,面向不同类型的玩家,交互方式直接影响游戏机制和游戏体验。在降低认知负荷的前提下,更加自然的交互技术能够降低儿童用户的学习成本,为他们带来更真实的游戏体验。在智能家居环境中的游戏交互技术有很多,其中空间增强现实、语音交互、实体交互是其中的代表(见图 1)。本章节概述了当前智能家居环境下的儿童游戏人机交互技术,为下一章节中对新场景下儿童游戏新变化的论述作准备。需要说明的是,本部分内容并非遍历了所有的电子游戏人机交互技术,而是选择适用于智能家居场景下的相关技术进行阐述。

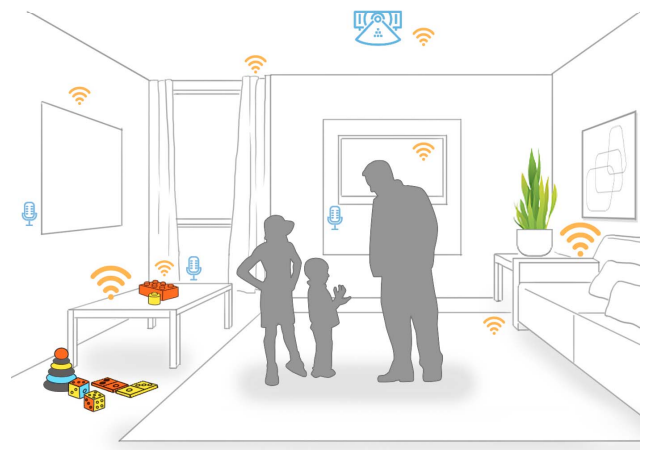


图 1 智能家居中的儿童游戏场景
Fig.1 Children's game scenario in smart home

2.1 空间增强现实技术

空间增强现实(Spatial Augmented Reality, SAR)能够通过投影等各种技术方式在物理空间内显示出虚拟内容。因为融合了物理和数字空间,并且允许多个用户观察融合后的场景,所以空间增强现实适用于具有空间感知、环境感知的智能家居系统。这一技术在物理空间中的显示有基于显示屏、空间光学穿透和

基于投影的空间显示这3种^[10]。基于投影的SAR具有投影光路可能被遮挡、对光照和投影材质有一定要求的缺陷,但是这一类型的SAR在智能家居系统中更能满足整体房间的沉浸式要求。IllumiRoom^[11]是一个投影系统,它通过扩展、模糊电视屏幕的边界,将屏幕中的内容和房间环境融为一体,从而给客厅的游戏用户带来全沉浸的游戏体验。当游戏开始的时候,房间会变为游戏中风格化的样子,和电子游戏中的效果进行匹配。RoomAlive^[12]是一个能够自动对房间情况进行分析的智能游戏系统,它通过分析房间的结构布局、识别墙面和地板,将增强现实的数字游戏内容叠加到特定的房间中。RoomAlive通过投影映射和空间增强现实,可以仅在当前房间的地板范围内生成游戏中的敌人。

2.2 语音交互技术

数字游戏中的语音交互技术包括将语音用于计算处理,或是用于玩家对电子游戏的输入、输出,但不包括玩家之间的语音交流^[13]。这项研究始于20世纪70年代,最早是为了设计语言学习的游戏练习^[14]。接下来,研究者们开始探索如何让玩家用语音输入来控制游戏,例如一些研究探索用音量和音高来控制街机类游戏的角色移动^[15]。智能家居中安装了用于检测用户语音行为的传感器麦克风,数字游戏可以使用玩家的语音进行角色的发言、操作游戏中角色的行为动作(例如喊叫跳跃、射击等),或是为角色的移动路线进行导航。在Yasuhati游戏中,玩家的音量控制游戏角色向前走:声音越大,行走的速度越快。声音超过一定范围时,角色就开始跳跃^[16]。语音输入的控制方式自然且直接,并且因为容易掌握而适合儿童用户。虽然玩家在使用语音交互玩游戏时容易胡言乱语,但却能获得意想不到的有趣的游戏体验。

2.3 实体交互技术

实体交互是将实体物对象与数字信息耦合,允许用户通过抓握、移动等自然交互方式对数字信息进行操作的交互技术^[17]。由于智能家居场景中的地板、墙面等物理表面可进行感知计算,这些可触摸的实体物表面也成为了儿童数字游戏的界面。通过实体物表面对游戏进行控制,意味着用户可以以更加自然、具身的方式进行交互。

智能地板的交互技术是这一方向中的重要组成部分。地板对用户行为的感知方式有计算机视觉和压力感知2种。基于计算机视觉的方法主要通过空间内布置摄像头,但会产生依赖光照、有透视影响、以及多用户交互时的遮挡问题。在卧室、洗手间应用时,还会暴露用户的隐私。基于压力感知的方法虽然能够在一定程度上避免上述问题,但是却无法准确判断用户当前的行为状态。

GravitySpace^[18]是一个8平方米的高分辨率可感知压力的地板,它的感知方式是将基于摄像头和压力地板的解决方案进行结合,这一方案能够覆盖房间内墙体之间的地板面积,同时也能够较好的保护用户隐私。用户和物体在地板上直接接触时,传感器能够感知地板的压力分布;用户在和地板上的虚拟物体接触时,研究者通过用户姿势、和虚拟物体的碰撞进行上下文判断,推断当前在地板上发生的用户操作和状态。用户在GravitySpace中可以不佩戴任何设备,坐在地板上用身体直接控制赛车游戏;或是在地板上进行一场虚拟足球游戏。Lumetila^[19]是一个虚拟和实体空间相混合的游戏,由带有触觉传感器的交互地板和虚拟现实应用同时构成。交互地能够精准的识别用户的动作,从而使得用户通过踩踏交互地板这种更自然的人机交互方式来对游戏进行控制。

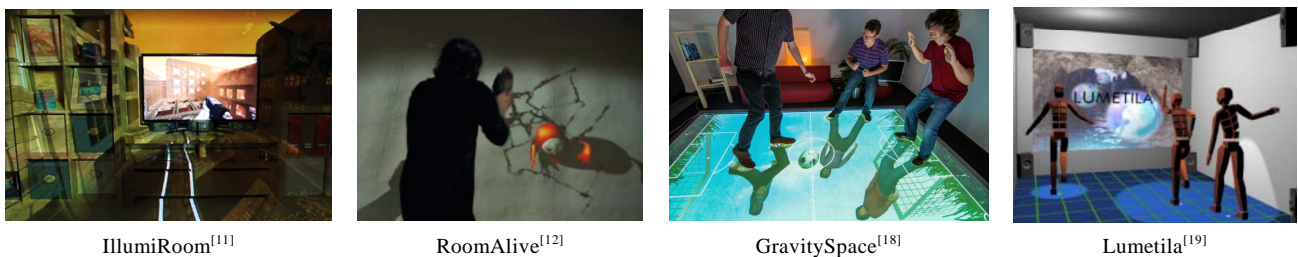


图2 智能家居游戏的人机交互技术案例
Fig.2 Cases of human-computer interaction technology for smart home games

3 智能家居场景中儿童游戏的新变化

3.1 儿童游戏空间的改变

传统的儿童交互游戏主要发生在以屏幕、头戴显示器为主的虚拟空间等。这些以桌面计算机和虚拟现实头显为代表的计算设备在可计算媒介、儿童和环境实施了隔离。智能家居中儿童用户的游戏行为伴随

着对空间的感知和环境嵌入。孩子在空间中自如的移动,聚焦在屏幕、电视、桌面等传统游戏的空间被拓展到了整体家居空间,交互界面从屏幕和手柄拓展到了家居中的可触表面。空间的改变对儿童的电子游戏交互界面和交互区域产生了影响。

1) 家居表面作为游戏的交互界面。通过和家居环境相配合,游戏机制已经不仅局限于传统图形用户

界面、虚拟现实空间内的游戏类型。在此场景下, 出现了在家居空间内借助智能地板和墙面的虚拟足球、舞蹈, 以及利用房间内家具和空间、光影声音相互配合的讲故事游戏等新的游戏形态。SmartTiles 是可以单独进行编程的智能瓷砖^[20]。每一块方形瓷砖上都排布了 4×4 的灯光阵列数组, 并且内嵌了独立的小型计算机。其中, 智能瓷砖上的每一盏灯都可以通过直接按压来切换“点亮”或“关闭”状态。智能瓷砖允许用户进行编程, 并且可以通过拓展来扩大面积区域, 同时可以通过触摸来改变瓷砖上的灯光状态, 形成图案。

2) 家居空间适配游戏交互区域。房间中的墙壁、地板、家具等实体物, 以及映射在其上的虚拟物不仅可以感知儿童对象的位置、行为和情绪, 还能够为儿童提供反馈。换言之, 当孩子们在智能家居空间中用身体进行具身性的协作游戏时, 他们知道房间会做出反应。在这种模式下, 智能家居被打造成为一个天然的游戏环境。Hide and Seek 是一款智能墙纸^[21], 这款墙纸允许儿童在墙面上和数字角色玩“躲猫猫”游戏。父母对家居表面作为游戏界面感到满意, 因为实体界面能为孩子带来不同的触摸感受, 并且帮助他们从 iPad 前站起来。



图 3 智能家居场景中儿童游戏的新变化案例
Fig.3 New changing cases of children's games in smart home scenarios

3.2 向更加自然的交互方式转变

无论是电子游戏机上的跑酷、射击游戏, 还是以 Wii 为代表的体感游戏, 用户都不可避免地要去学习点击左右按键、跳跃、挥动手柄等操控方式。这些操控方式对成年人来说可以迅速习得, 但对儿童而言则需要更高的学习成本。自然人机交互技术下, 儿童在场景中用身体来进行操作, 配合语音、表情识别等进行更加自然的多模态交互。

1) 多模态交互的游戏输入输出。Magika^[22]是一个基于物联网的儿童活动空间, 它包含了墙面和地板投影的虚拟世界, 以及由玩具、灯、其他智能对象构成的物理世界。Magika 能够自动收集空间动作、跟踪面部情绪和声音并进行特征提取。Kid Space 是面向儿童的智能交互空间, 它通过投影对儿童在房间内的状态进行感知^[23]。儿童在空间中进行多模态的输入输出, 与物理空间中的对象进行动态交互。在 Kid Space 中使用了包括文本、听觉、语言、视觉等多种模态: 儿童进行移动、和物理对象交互时使用了视觉模态; 儿童和虚拟化身进行对话时使用了语言、听觉模态; 投影显示图像和文本时使用了视觉模态。在

Kid Space 中, 孩子们可以通过触摸手势、空中手势、姿态动作、面部表情、语音对话等多模态交互方式来和虚拟角色奥斯卡进行互动, 例如假装给奥斯卡喂早餐、向奥斯卡提问等。

2) 基于情感计算的自适应游戏处理系统。玩家在电子游戏中的情感需求有 3 个, 即系统辅助玩家以减少挫败感、根据玩家状态调整难度、与玩家进行情感连接。在游戏中遇到困难和挫折会导致儿童玩家的游戏兴趣降低。基于情感计算的自适应游戏系统能够根据玩家的状态、情绪调整游戏难度。有研究者开发了基于面部情感计算的打地鼠学习游戏系统, 并得出了情感计算用于自适应游戏中能够提升玩家主动性的结论^[24]。

3.3 从离身到具身的儿童游戏体验改变

传统的儿童电子游戏具有离身属性。孩子在屏幕前接受数字化的图像、声音和交互指令, 然后通过鼠标、触屏或其他控制终端进行操作。虽然儿童处于游戏之外或游戏之中, 儿童、游戏和家居空间之间的关系是具有明确界限的。

智能家居环境为儿童电子游戏创造了具身的可

能。儿童融入环境中和游戏进行交互,身体的参与能够提供强沉浸感,从而帮助孩子更好地对游戏进行感知。KidsRoom^[25]是麻省理工学院的媒体实验室(MIT Media Lab)研发的一个基于感知互动的儿童智能房间。房间通过计算机视觉算法来对儿童在空间中的行为进行识别。KidsRoom不仅能够感知运动的位置和方向,还能够通过上下文来对不同类型的动作进行判断。孩子们可以在不佩戴传感器、头戴式显示器、麦克风等设备的前提下进入卧室,卧室中的床、柜子、架子均扮演了故事中的角色或道具。例如,可移动的床在森林中是一棵树,在河流中则是一条船。孩子们靠近家具时会得到诸如“嘿,我是海盗的箱子!”这样的语音提示。儿童可以根据提示靠近下一个家具并寻找故事的线索,并按照提示大声喊出咒语,从而推进故事。在图像、灯光、音乐等效果的映衬下,KidsRoom将儿童卧室打造成为一个智能叙事空间,孩子们在引导下,完成了一个冒险故事的扮演和叙述过程。

3.4 智能家居控制呈现出游戏化趋势

游戏化是指在非游戏场景下引入游戏设计元素,如积分、等级、任务等^[26]。智能家居的控制呈现出游戏化趋势,具体表现在日常家居操作的趣味性提升。

AmI@Home 是一个智能家居的管理和配置系统^[27]。这一系统将游戏机制引入系统规则之中。每位家庭成员都有一套积分,可以通过规则向其他家庭成员申请设备或请求服务。例如管理烤箱将获得100积分,在厨房没有人且烤箱运转过久的情况下,家庭成员会收到“关闭烤箱”的邀请,他们在收到通知后可以对烤箱进行操作,成功后会获得积分。

4 智能家居场景中儿童游戏的设计策略

根据上文对智能家居环境下儿童游戏人机交互常用技术的介绍,以及相关场景中儿童游戏的新变化,推导出智能家居场景中儿童游戏的3点设计策略。首先,智能家居场景的空间变化导致了儿童游戏空间的改变,这一变化将鼓励儿童游戏交互和家居空间更好的融合;其次,智能家居中的人机交互从传统的交互方式向着更加自然的交互方式进行转变,促使这一场景下的游戏设计为儿童和家庭成员提供多模态的交互方式;最后,孩子们在智能家居环境下能够身处游戏场景的包围之中,身体的沉浸让儿童获得具身体验的可能性。因此在游戏设计时应充分考虑从离身到具身的游戏体验改变。

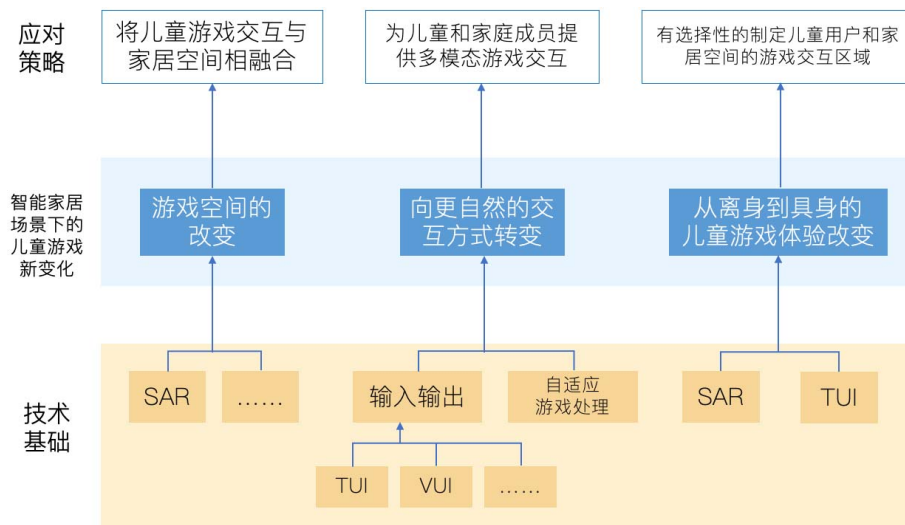


图4 智能家居场景中儿童游戏的新变化及其应对策略
Fig.4 New changes and response strategies of children's games in smart home scenarios

4.1 将儿童游戏交互与家居空间相融合

得益于儿童善于幻想的天性,智能家居游戏能够使他们在房间内展开想象。游戏的界面和设备隐藏在家居环境中,桌面、地板、墙面等空间组成和智能家具均可以作为交互界面。

智能家居并非意味着无限增大的居住空间,而是针对特定空间具有特定的智能设计。在不同的房间大小和布局中,儿童游戏系统通过分析房间的外观来对墙面和地板的尺寸和空间信息进行捕获。游戏机制虽

然大体相同,但根据空间特点,会表现出不同的场景形态。

4.2 为儿童和家庭成员提供多模态游戏交互

调用多种感官的交互方式能够为儿童带来全方位的感官刺激,可以提升儿童用户的参与度和积极性。在智能家居环境中,尝试将数字化的虚拟物品和家居物理空间进行叠加,同时减少儿童用户在游戏时的穿戴设备。通过实现儿童在空间中的自由移动,带来更加自然的多模态交互体验。然而,多模态交互方

式需要考虑儿童的年龄特征, 例如低龄儿童不适于过多的全屋投影或全沉浸式虚拟现实技术(如 VR), 这将对儿童的视力发展造成伤害。

4.3 有选择性地制定儿童用户和家居空间的游戏交互区域

实际上, 智能家居中的一些环境并不适合进行触摸和交互。因为家居环境中除了相对固定的家具, 还会摆放装饰品和一些易碎物品, 例如桌子上的瓶子或是墙面上的油画。对于儿童用户而言, 这些很容易带来行动上的安全隐患。因此, 在当前智能家居儿童游戏设计中, 多数游戏交互空间应考虑地板、墙面、桌面等更加宽阔的空间。

5 智能家居场景中儿童游戏的设计实践

根据智能家居场景中游戏的新变化和设计策略, 下面展示一个儿童游戏设计实践——智能游戏桌。

5.1 儿童智能游戏桌的组成模块

儿童智能游戏桌由 3 个模块组成, 即一个支持协作的儿童和家庭成员用户输入模块, 由实体交互桌面以及能够被感知位置和速度等信息的棋子组成。实体交互桌面是一个能够满足多点触控的电容触摸屏; 一个逻辑处理模块, 由计算机及其中的交互应用程序组成, 用于记录用户的操作, 并将操作的步骤和内容存储进数据库; 一个增强现实投影显示模块, 用于为儿童和家庭成员提供游戏化的阅读内容、增强现实环境体验和游戏后的故事生成。

5.2 主要游戏过程说明

儿童智能阅读桌面能够满足多人同时游戏。父母和孩子来到阅读桌面前, 选择舒适的位置坐下来准备开始游戏。首先, 在增强现实模块提示下, 父母陪伴孩子开始电子绘本的阅读。这部分阅读不带交互操作, 并且父母需要为孩子进行故事朗读。故事的最后留下一个悬念, 如“小男孩能否战胜机器人?” 此时, 父母和孩子来到游戏桌前, 选择各自代表的角色。

孩子和父母选择桌面上的积木角色进行扮演。桌面上小棋子的移动, 映射了角色在故事中的运动, 见表 1。

儿童和家庭成员一边摆弄棋子, 一边在增强现实投影上观看实体棋子映射在数字化世界中的动画。例如当两个棋子接触、相撞时, 儿童和家庭成员完成打斗后, 将在投影中观看到虚拟角色的一段打斗动画。除此之外, 增强现实投影允许角色在不同场景中切换, 让用户感受到不同的沉浸式动画体验, 并且录下自己编织的故事。

游戏交互完成后, 孩子可以和家庭成员共同欣赏刚才的游戏动画录像。儿童可以在这个环境内开展各种各样的表演尝试, 同时扮演不同角色, 录制故事动画并且欣赏故事。

5.3 技术细节阐述

儿童智能游戏桌拥有一条相对固定的故事主线。在软件层面, 首先通过故事背景的介绍进入场景模式。经过场景初始化后, 儿童和家庭成员控制的棋子角色出现在屏幕上的初始位置。其次, 通过系统的引

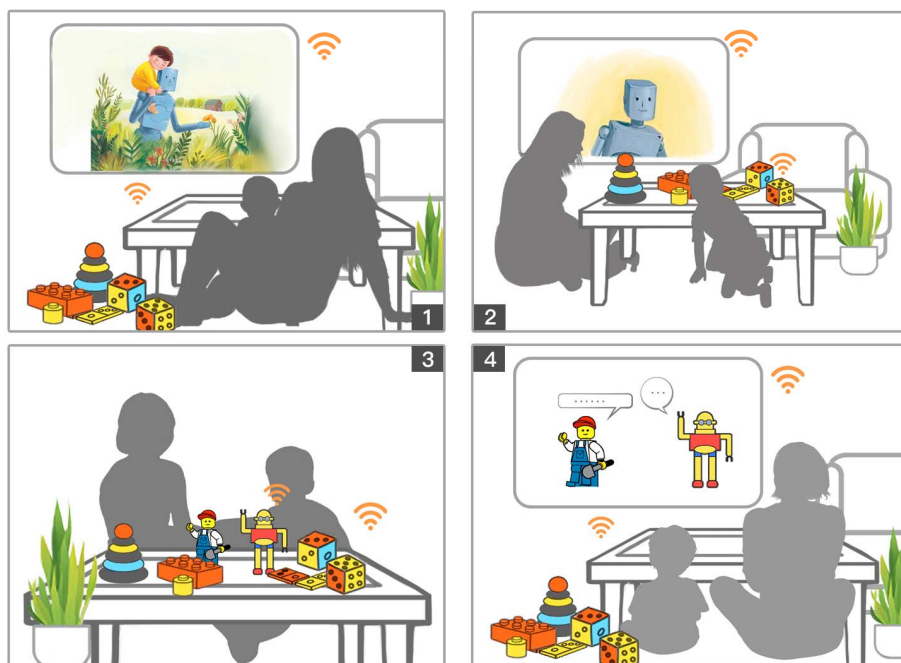


图 5 智能家居场景中的儿童游戏桌故事版示意
Fig.5 Schematic diagram of children's game tables (showing stories)
in smart home scenarios

表1 桌面棋子运动和虚拟角色行为之间的映射关系

Tab.1 Mapping relationship between movements of pieces in table and virtual character behaviors

| 桌面棋子运动方式 | 所属类别 | 虚拟角色行为映射 | 增强现实数字化呈现形式 |
|----------|------|----------|-------------------|
| 缓慢移动 | 位移 | 行走 | 角色走路 |
| 快速移动 | 位移 | 奔跑 | 角色跑步 |
| 空间移动 | 位移 | 跳跃 | 角色基础跳、连跳 |
| 原地旋转 | 旋转 | 开心 | 角色开心 |
| 多棋子接触 | 交互 | 对话、打斗 | 多角色气泡对话框 多角色打斗 |

智能家居场景中的儿童游戏桌·顺序图

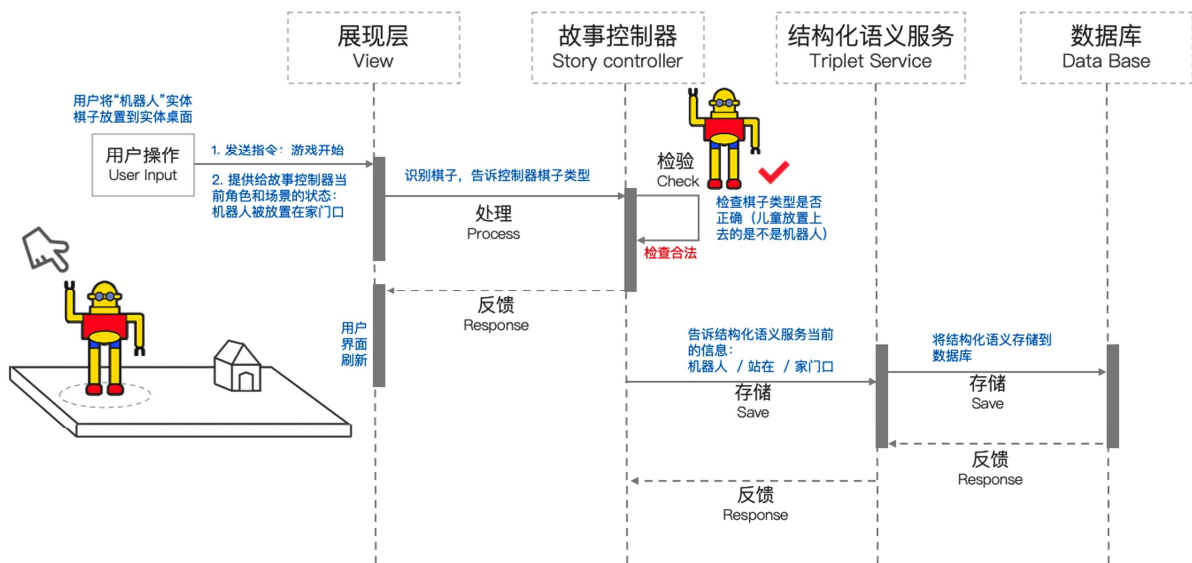


图6 智能家居场景中的儿童游戏桌

Fig.6 Children's game tables in smart home scenarios

导和提示,用户的操作和游戏中的故事控制器进行通信,检验棋子的合法性。最后,系统等待用户进行位移、旋转等操作,将用户的操作转化为结构化语义服务,并将相关内容存储到数据库中。存储成功后,再逐层反馈,进行用户界面刷新,等待下一轮的用户操作。和过往的儿童电子游戏不同的是,智能家居为人们提供了一个完全沉浸式的具身化体验空间。这种游戏形式更利于协作,并且和儿童身体的感官体验密不可分。

6 结语

研究了智能家居中儿童游戏的重要性,归纳了面向儿童用户进行智能家居游戏设计的关键技术。在此基础上,梳理了在智能家居场景下儿童游戏的新变化,并且以前沿案例为基础提出了游戏设计的相关策略。最后介绍了智能家居环境下儿童游戏设计的实践案例。智能家居场景为面向儿童的游戏设计提供了多模态、全沉浸的体验环境,同时促使儿童的交互操作向自然交互进行转变。

参考文献:

- [1] ALAM M R, REAZ M, ALI M. A Review of Smart Homes—Past, Present, and Future[J]. IEEE Transactions on Systems Man & Cybernetics Part C, 2012, 42(6):1190-1203.
 - [2] YAMAZAKI T. Beyond the Smart Home[C]. International Conference on Hybrid Information Technology. Cheju: IEEE, 2006.
 - [3] MANLEY E D, NAHAS H A, DEOGUN J S. Localization and Tracking in Sensor Systems[C]// SUTC '06: Proceedings of the IEEE International Conference on Sensor Networks, Ubiquitous, and Trustworthy Computing. New York: ACM, 2006: 237-242.
 - [4] GRAM-HANSEN K, DARBY S J. "Home is Where the Smart is"? Evaluating Smart Home Research and Approaches Against the Concept of Home[J]. Energy Research & Social Science, 2018, 37: 94-101.
 - [5] 刘婵婵, 缪旭红, 万爱兰, 韩晓雪. 手臂监测传感器的设计与验证[J]. 丝绸, 2020, 57(2): 108-113.
- LIU Chan-chan, MIAO Xu-hong, WAN Ai-lan, et al. Design and Verification of Arm Monitoring Sensor[J]. Journal

- of Suik, 2020, 57(2): 108-113.
- [6] 邹艳玲, 郑聪, 江心雨, 胡吉永. 基于 RFID 技术的无线无源纺织应变传感器研究进展[J]. 丝绸, 2021, 58(08): 53-59.
- ZOU Ling-ling, ZHENG Cong, ZHENG Xin-yu, et al. The Progress of Research on RFID-based Wireless Passive Textile Strain Sensors[J]. Journal of Suik, 2021, 58(8): 53-59.
- [7] 陈卯纯, 孙薇, 赵小惠. 物联网智能家居中的人机交互[J]. 包装工程, 2014, 35(2): 64-67.
- CHEN Mao-chun, SUN Wei, ZHAO Xiao-hui. Human-Computer Interaction in Internet of Things Smart Home[J]. Packaging Engineering, 2014, 35(2): 64-67.
- [8] LIEBERMAN D A, FISK M C, BIELY E. Digital Games for Young Children Ages Three to Six: From Research to Design[J]. Computers in the Schools, 2009, 26(4): 299-313.
- [9] FANG Meng-lin, TAPALOVA O, ZHIYENBAYEVA N, et al. Impact of Digital Game-Based Learning on the Social Competence and Behavior of Pre-Schoolers[J]. Education and Information Technologies, 2022, 27(3): 3065-3078.
- [10] 袁庆曙, 王若楠, 潘志庚, 等. 空间增强现实中的人机交互技术综述[J]. 计算机辅助设计与图形学学报, 2021, 33(3): 321-332.
- YUAN Qing-shu, WANG Ruo-nan, PAN Zhi-geng, et al. A Survey on Human-Computer Interaction in Spatial Augmented Reality[J]. Journal of Computer-Aided Design & Computer Graphics, 2021, 33(3): 321-332.
- [11] JONES B R, Benko H, Ofek E, et al. IllumiRoom: peripheral projected illusions for interactive experiences [C]// CHI '13 Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems. New York: ACM, 2013.
- [12] JONES B, SHAPIRA L, SODHI R, et al. RoomAlive: magical experiences enabled by scalable, adaptive projector-camera units [C]// the 27th annual ACM symposium. New York: ACM, 2014.
- [13] ALLISON F, CARTER M, GIBBS M, et al. Design Patterns for Voice Interaction in Games [C]// Proceedings of the 2018 Annual Symposium on Computer-Human Interaction in Play. Melbourne VIC Australia. New York: ACM, 2018.
- [14] JOHNSON W L, VALENTE A. Tactical Language and Culture Training Systems: Using AI to Teach Foreign Languages and Cultures[J]. AI Magazine, 2009, 30(2): 72.
- [15] VIEIRA M, FU H, HU C, et al. PowerFall: A Voice-Controlled Collaborative Game [C]// In Proceedings of the first ACM SIGCHI annual symposium on Computer-human interaction in play (CHI PLAY '14). New York: ACM, 2014.
- [16] FREEDOM C. Yasuhati[EB/OL]. (2017-02-01)[2022-02-09]. <https://www.mobygames.com/game/yasuhati>.
- [17] 米海鹏, 王濛, 卢秋宇, 等. 实物用户界面: 起源、发展与研究趋势[J]. 中国科学: 信息科学, 2018, 48(4): 390-405.
- MI Hai-peng, WANG Meng, LU Qiu-yu, et al. Tangible User Interface: Origins, Development, and Future Trends[J]. Scientia Sinica (Informationis), 2018, 48(4): 390-405.
- [18] ALAN B, CHRISTIAN H, DANIEL H, et al. GravitySpace: tracking users and their poses in a smart room using a pressure-sensing floor[C]// CHI '13 Conference on Human Factors in Computing Systems. New York: ACM, 2013.
- [19] LEIKAS J, VÄÄTÄNEN A, RÄTY V P. Virtual Space Computer Games with a Floor Sensor Control—Human Centred Approach in the Design Process[C]// International Workshop on Haptic Human-Computer Interaction. Berlin: Springer, 2001.
- [20] ELUMEZE N, EISENBERG M. Smarttiles: Designing Interactive Room-Sized Artifacts for Educational Computing[J]. Children Youth and Environments, 2005, 15(1): 54-66.
- [21] HOARE C, CAMPBELL R, FELTON R, et al. Hide and seek: Exploring interaction with smart wallpaper[C]// Proceedings of the 2015 Annual Symposium on Computer-Human Interaction in Play. London United Kingdom. New York: ACM, 2015.
- [22] GELSOMINI M, COSENTINO G, SPITALE M, et al. Magika, a Multisensory Environment for Play, Education and Inclusion[C]// CHI EA '19: Extended Abstracts of the 2019 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems. New York: ACM, 2019: 1-6.
- [23] ANDERSON G J, PANNEER S, SHI Meng, et al. Kid Space: Interactive Learning in a Smart Environment [C]// GIFT'18: Proceedings of the Group Interaction Frontiers in Technology. New York: ACM, 2018: 1-9.
- [24] TSAI T W, LO H Y, CHEN K S. An Affective Computing Approach to Develop the Game-Based Adaptive Learning Material for the Elementary Students[C]// Proceedings of the 2012 Joint International Conference on Human-Centered Computer Environments, New York: ACM, 2012: 8.
- [25] BOBICK A. The Kidsroom: A Perceptually-Based Interactive and Immersive Story Environment[J]. Presence, 1999, 8(4):369-393.
- [26] DETERDING S, DAN D, KHALED R, et al. From Game Design Elements to Gamefulness: Defining "Gamification"[C]// International Academic Mindtrek Conference: Envisioning Future Media Environments. New York: ACM, 2011.
- [27] FOGLI D, LANZILOTTI R, PICCINNO A, et al. AmI@Home: A Game-Based Collaborative System for Smart Home Configuration.[C]// Proceedings of the International Working Conference on Advanced Visual Interfaces. New York: ACM, 2016.