

基于文献可视化的体感交互智能健身研究分析和展望

周橙旻¹, 曾勤¹, Jake Kaner²

(1. 南京林业大学, 南京 210037; 2. 诺丁汉特伦特大学, 诺丁汉 NG1 4FQ)

摘要: **目的** 从疫情期间居家健身热潮出发, 结合智能、医疗、体育、健康相关政策背景, 了解基于体感交互及其相关技术的智能健身相关研究现状与发展趋势。**方法** 以 Cnki 数据库和 Web of science 数据库作为数据来源, 使用科学计量方法, 运用 Citespace 以及 VOSviewer 文献数据可视化分析软件进行关键词时间线知识图谱的绘制, 并分析国内外相关领域研究热点及异同, 探究当前国内体感交互技术与智能健身研究发展的优势与局限。**结论** 根据分析可知, 目前我国体感交互技术应用的领域较广, 其结合智能健身的应用与研究尚有很大的发展空间, 提出体感交互智能健身与“互联网+”产业相结合、智能健身硬件深度开发与人因科学研究相结合、智能健身与智能医疗健康相结合 3 个发展方向建议。**总结** 我国体感交互技术应用的趋势为: 由体感交互智能健身逐步发展到更高层次的智能化体医结合体系。

关键词: 体感交互; 智能健身; Citespace; VOSviewer; 文献可视化分析

中图分类号: TB472 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2022)14-0196-09

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2022.14.023

Research Direction Analysis of Somatosensory Intelligent Fitness Based on Literature Visualization

ZHOU Cheng-min¹, ZENG Qin¹, Jake Kaner²

(1. Nanjing Forestry University, Nanjing 210037, China; 2. Nottingham Trent University, Nottingham, NG1 4FQ, UK)

ABSTRACT: From the popularity of home fitness during the epidemic, and combined with the policy background of intelligence, medical treatment, sports, and health, this paper aims to understand the research status and development trend of intelligent fitness based on somatosensory interaction and related technologies. Taking Cnki database and Web of science database as data sources, using scientific metrology methods, CiteSpace and VOSviewer document data visual analysis software is used to draw the knowledge map of key words timeline, and analyze the research hotspots and similarities and differences in relevant fields at home and abroad. To explore the advantages and limitations of current domestic research and development of somatosensory interaction technology and intelligent fitness. According to the analysis, there is a wide range of applications of motion sensing interaction technology in China at present, and there is still a lot of room for development combined with the application and research of intelligent fitness. It puts forward three development directions, including the combination of somatosensory interactive intelligent fitness and the "Internet +" industry, the promotion of intelligent fitness hardware development, and the combination of intelligent fitness and intelligent medical health. It is also pointed out that the application of somatosensory interactive technology in China will gradually develop from somatosensory interactive intelligent fitness to the construction of a higher-level intelligent physical and medical combination system.

KEY WORDS: somatosensory interaction; intelligent fitness; Citespace; VOSviewer; document visualization analysis

收稿日期: 2022-02-19

基金项目: 江苏省生态康养家居产学研用国际合作联合实验室项目; 2020 年江苏省研究生“国际智慧康养家具设计与工程”项目

作者简介: 周橙旻(1978—), 女, 副教授, 主要研究方向为家具设计与工程、工业设计工程。

2020 年初新冠疫情暴发,在防疫政策的指引下,人口流动减少,公共场所聚集性活动有所限制,公民居家时间显著增加^[1]。疫情激发了民众对健康生活及社会卫生环境的向往,并更加注重健康养生,关注自身免疫力的提高。“十三五”纲要提出将医疗运动与健康大数据相结合,催生出多个数字化运动健身平台,网络健身社区、直播运动教学以及相关家用运动健身产品在疫情期间民众枯燥的居家生活和健康愿景中扮演了重要的角色^[2]。

体感交互主要指用户通过手势、肢体运动、面部表情、语音等信息,与机器进行信息传输和转换,从而实现人机交互^[3]。在动作游戏中,基于对用户动作的捕捉,体感交互技术使用户在进行人机交互时摆脱了传统的物理触点输入方式,使其获得更具沉浸感的使用和游戏体验^[4]。一方面,结合 VR(Virtual Reality, 虚拟现实)、AR(Augmented Reality, 增强现实)等技术,体感交互能够被开发出更具丰富感官体验的应用;另一方面,视频媒体的火热以及 5G 带来的高速数据传输,使线上实时精确动作交互成为可能。

智能运动健身的兴起,给体感交互技术带来了新的应用载体。基于体感交互技术,线上运动健身能够获得精确的动作指导。鉴于我国慢性病患者人数多,群众运动基础远不及西方国家,在 2016 年推出的《“健康中国 2030”规划纲要》中明确提出要“推动形成体医结合的疾病管理与健康服务模式”,以促进全民科学健身,提高国民身体素质,提升慢性疾病预防水平。“体医结合”指社区体育运动应与城市卫生服务相结合,使医学检查、治疗与运动保健相辅相成。基于体感交互技术开发智能健身产品应用,响应“体医结合”的健康观,是智慧健康和大数据健康的重要体现^[5]。

1 数据来源

1.1 Cnki 数据库文献检索来源

在 Cnki 数据库中,先以“体感交互”为主题进行搜索,年限为 2010 年至 2021 年 6 月,剔除报纸、会议类文献、科技成果及其他相关度较低的文献,共得到文献 493 篇。使用陈悦等^[6]研发的 CitespaceV5.7 软件对 493 篇文献进行知识图谱绘制。该文献知识图谱时间切片设置为 1,节点类型为关键词,并绘制 Timeline 类型的关键词聚类知识图谱。

再以“智能(模糊)、健身(模糊)”为关键词,年限为 2010 年至 2021 年 6 月,进行检索和文献类型筛选,共得到有效文献 206 篇。使用 CitespaceV5.7 软件对这部分文献进行关键词聚类分析,时间切片设置为 1,并绘制 Timeline 类型的关键词聚类知识图谱。

1.2 外文数据库文献检索来源

在 Web of science 核心合集数据库中,以“Soma-

tosensory interaction”为主题进行搜索,年限为 2010 年至 2021 年 6 月,筛选出 ARTICLE 及 REVIEW 类型文献共 1 298 篇,使用由荷兰雷登大学 CWTS 实验室开发的 VOSviewer 软件对文献进行可视化分析^[7],分析仅呈现关键词词频复现 30 次及以上的词汇。

通过关键词文献搜索与浏览,涉及“体感交互”这一关键词的国内文献与研究案例主要集中在肢体动作的捕捉与识别方面,“Somatosensory interaction”这一词组在国外研究中具有更广泛的意义,泛指身体各部位感官、器官所产生的交互行为,其中包括肢体运动动作的交互行为。具体的肢体动作交互研究可以细分为多个研究领域,包括“Motion/Action Recognition”(动作识别)、“Motion/Action Capture”(动作捕捉)等研究方向。

在 Web of science 中再以 TS=(intelligent* AND sport)搜索智能运动健身的相关研究,时间为 2010 年至 2021 年 6 月,筛选出 ARTICLE 及 REVIEW 类型文献共 206 篇,亦使用 VOSviewer 软件对文献进行可视化分析,分析仅呈现关键词词频复现 50 次及以上的词汇。

2 体感交互与智能健身国内外研究现状分析

2.1 国内研究现状

通过对 Cnki 数据库中体感交互相关文献关键词进行聚类分析与词频统计,选取词频排名前 10 的词汇并绘制表 1。频次较高的词汇除体感交互外,主要集中在人机交互、虚拟现实和体感游戏等方面,Kinect 和 Unity3D 是体感交互研究中使用最为普遍的硬件设备和开发软件。Kinect 由美国微软公司开发^[8],其由彩色摄像头、深度(红外)摄像头、红外线投射机和四元线性麦克风阵列组成,其核心技术是能够对人体 25 个关节点进行实时定位和跟踪,其骨骼跟踪的方法是基于深度学习实现。Unity3D 是由 Unity Technologies 公司推出的能够适配多平台的综合型游戏开发软件,是一款功能完备且专业的游戏引擎,可进行 3D 视频游戏、建筑可视化以及实时 3D 动画等作业^[9]。研究人员、游戏公司等各方人员基于这些设备与软件开发了多种体感游戏产品,例如微软旗下的

表 1 体感交互相关文献关键词词频
Tab.1 Frequency of key words in the literature related to somatosensory interaction

序号	关键词	频次	序号	关键词	频次
1	体感交互	183	6	体感技术	43
2	Kinect	127	7	手势识别	28
3	人机交互	78	8	交互设计	24
4	体感交互技术	46	9	Unity3D	23
5	虚拟现实	44	10	体感游戏	20

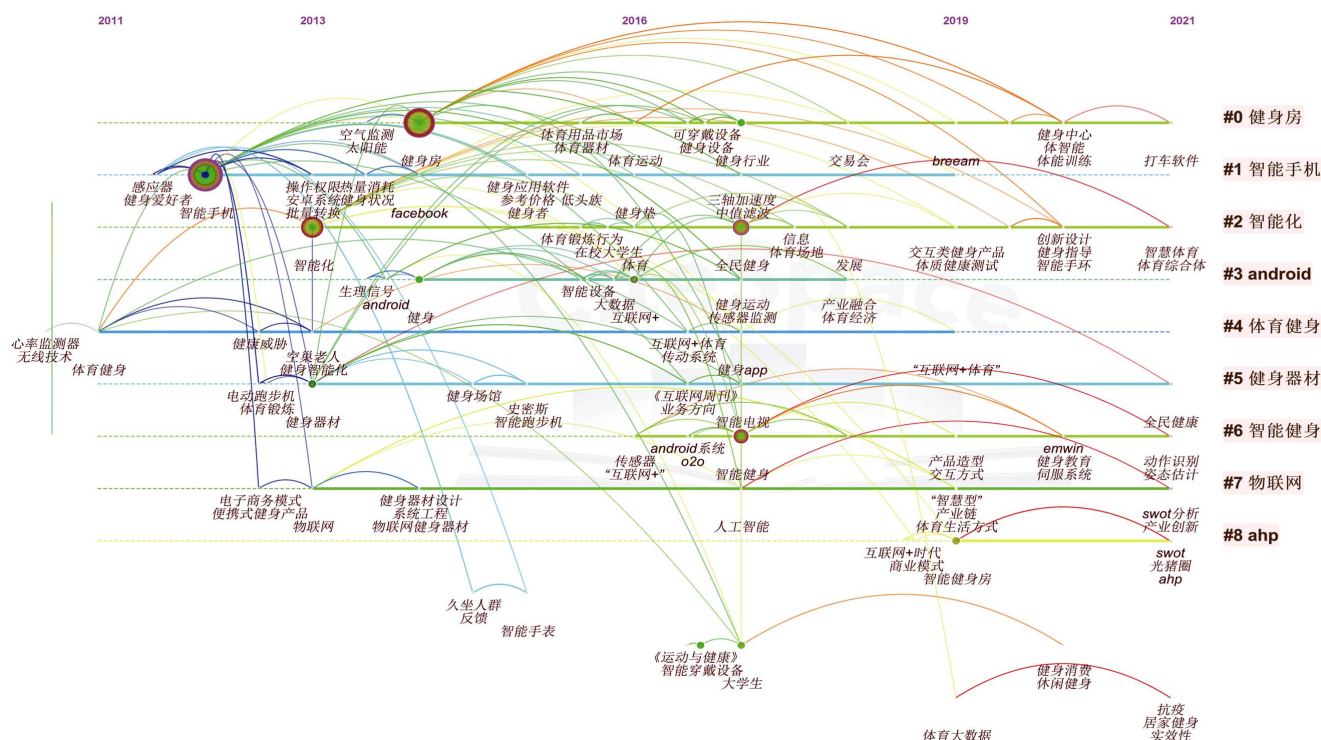


图 2 智能健身相关文献关键词聚类分析时间线

Fig.2 Timeline of key word cluster analysis in the literature related to intelligent fitness

基于服务设计理念的 O2O (Online to Offline, 线上到线下的商业模式) 健身、互联网模式在智能健身中的应用开始成为研究热点, 智能硬件结合软件的运动服务, 通过收集与分析用户数据, 对用户进行及时、个性化的运动指导, 并构建网络运动社区, 以营造积极向上的运动氛围^[22]。2021 年, 体育产业开始与更多的领域相互融合, 线上健身 APP、24 小时智能健身房逐步取代了传统健身房的营销模式, 大数据作为当下的研究热点, 与智能运动健身相结合, 一方面能够更加深入研究人体运动规律以及人体健康数据, 另一方面也推动了运动健身行业经营管理研究的发展, 品牌能够基于客户更加精准地定制服务, 各平台也通过线上线下、软硬件服务相结合的方式构建品牌数据库, 进行品牌传播和产品开发^[23]。

赵俊杰等^[24]基于传播学领域的使用与满足理论, 对疫情期间线上健身用户进行了调研, 构建了影响因素研究模型, 验证了积极的运动情绪能够提升网络体育健身用户的持续使用意愿, 并对优化网络体育健身视频服务提出了相关建议; 李晨^[22]基于对现有健身沙袋的研究, 结合用户调研, 设计了能够采集训练数据的智能健身沙袋, 并使用训练数据分析结果设计了游戏化闯关训练模式移动端交互系统; 刘肖佑等^[25]提出了一种通过 ARM 主控系统采集霍尔转速传感器、六轴陀螺仪等传感器上的骑行数据, 并基于 Unity3D 搭建虚拟场景的智能交互室内骑行系统; 严资情等^[26]基于 NUI (Nature User Interface, 自然用户界面) 与用户体验相关理论, 阐释了体感交互与健身行为之间

的关系, 提出体感交互技术在健身领域的应用具有精准垂直、深度交互、及时便捷等特点; 刘洋^[27]基于步法速度跟踪控制方法, 设计了能够在线监测生理、运动数据的跑步机训练系统, 该系统能够根据收集的運動数据对用户的训练情况进行评估。

2.2 国外研究现状

“Somatosensory”一词偏指身体感知系统以及身体知觉, 以“Somatosensory interaction”为主题的文献关键词聚类分析见图 3。从图 3 可知, 2015 年前后, 体感交互的研究主要聚焦于各神经领域, 包括视觉、触觉、听觉等; 2017 年至今, 体感交互由神经学研究逐步扩展至更多领域, 体感交互技术对包括自闭症在内的疾病治疗具有一定作用。Mai 等^[28]设计了基于 Kinect 的体感交互肢体运动游戏, 用于帮助心脑血管疾病患者进行康复训练, 通过对比实验组与对照组患者的治疗康复状况, 验证了体感交互结合虚拟现实技术有利于改善脑血管病患者的上肢功能和日常生活能力; Onal 等^[29]基于光学运动捕捉技术建立了跑步动作对关节损伤程度的预测模型, 帮助跑者根据个人跑步姿态预测关节损伤, 该模型可以识别与神经疾病相关的模式, 其中跑步步态和平衡缺陷的数据为疾病症状和疾病预测提供了因子分析评估; Li^[30]对 IIMM (Hidden Markov Model, 隐马尔可夫算法模型) 算法模型进行了改进, 并将其应用于识别常见的舞蹈动作模型, 构建了一套舞蹈动作统计和训练方法, 该系统积累的大量动作数据经过分析和处理能够形成一

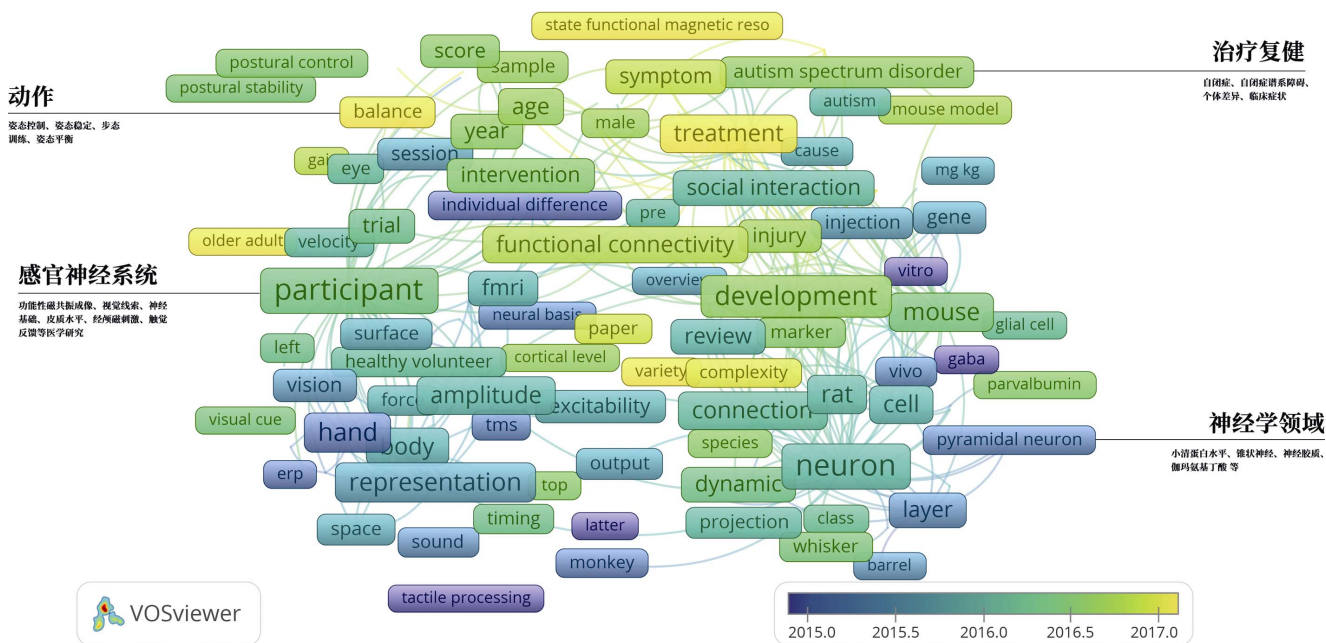


图 3 “Somatosensory interaction” 为主题的文献关键词聚类分析
Fig.3 Key words cluster analysis in the literature on the theme of "Somatosensory interaction"

套舞蹈艺术智能分析和辅助训练的专业产品；Hu 等^[31]以 HTC VIVE sematosensory 互动教室为基础，结合人机交互技术，利用移动终端采集人体运动数据和场景数据，通过体感特征识别人体体育活动，从而完成教学过程。

从图 4 可知，在外文数据库中对近年来智能健身发展的研究呈现出通过智能算法与互联网实现居家健身的趋势。2016 年前后，有关智能运动的研究聚焦于体育学、体育教育等方面；2017—2018 年，出现了“life”与“home”等字眼，智能健身更加融入

生活，更多的研究也指向居家健身；2018 年至 2021 年 6 月，智能健身领域的研究更加聚焦于算法与数据，基于体育科学研究的智能运动健身算法及更加个性化的健身计划是未来发展的趋势。Wang 等^[32]通过运动识别技术采集的数据对高校体育活动中的风险进行了识别，并提出了高校体育活动风险缓释建议；Pavitt 等^[33]针对 Leatherhead 足球俱乐部的比赛情况，使用自然语言处理技术，开发了直观、省时的比赛数据智能分析工具包；Joo 等^[34]验证了 Alyce Healthcare 开发的基于网络的在线健身计划 Weelo 在疫情期间

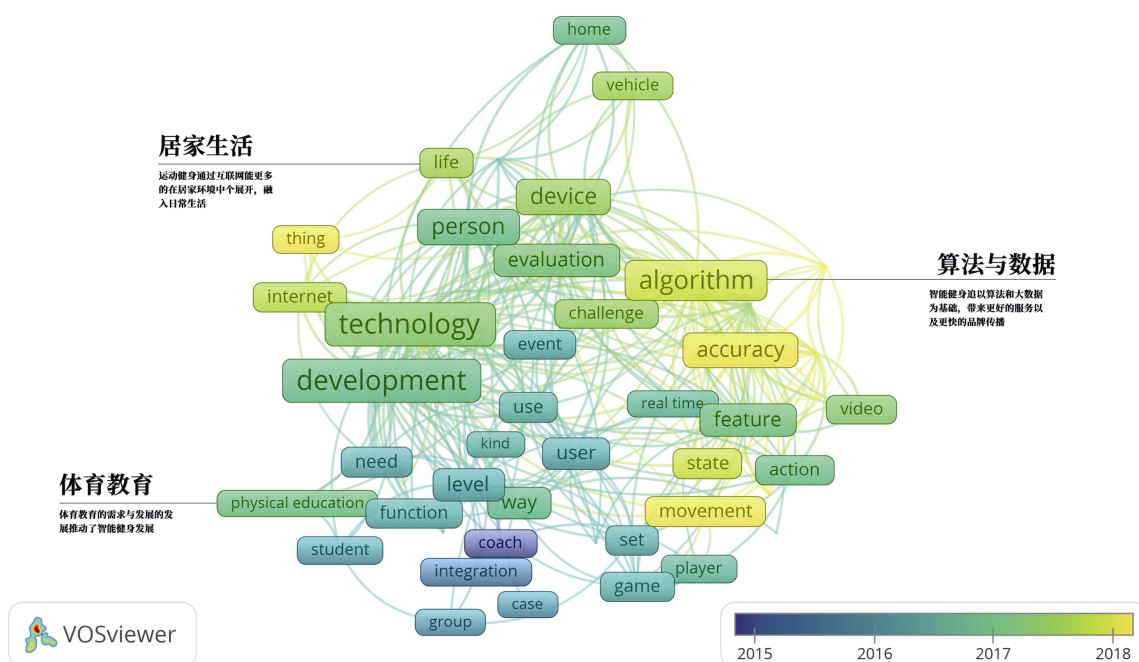


图 4 “TS=(intelligent* AND sport)” 为检索要求的文献关键词聚类分析
Fig.4 Key word cluster analysis in the literature required for retrieval based on “TS=(intelligent* AND sport)”

对用户的训练效果, 结果表明使用 Weelo 可以改善用户的身心健康, 且受试者表现出继续遵循 Weelo 锻炼计划的强烈动机, Weelo 在一定程度上能够代替线下面授运动指导; Varghese 等^[35]基于 Apple Watch 智能手表内置传感器对帕金森综合征患者的病情进行了评估, 研究者使用 SDS 移动系统监测受试者的震颤数据, 通过计算机对搜集数据进行深度学习, 为患者提供了病情预测与治疗建议。

2.3 国内外文献可视化比对分析

通过对国内外数据库相关文献的搜索与分析, 进行国内外体感交互与智能健身相关研究发展的比对。在上述 2 个领域的研究中, 国内外的研究发展历程大致相似, 都经历了从理论提出到技术设备成熟直至广泛应用的阶段。当今国内外对体感交互技术的研究与开发都绕不开“健康”这一课题。第一, 使用体感交互技术对人体动作进行量化分析的研究方法在国内外都被用于医学研究领域, 外文文献中体感交互更多被应用于具体的医学领域, 如神经性疾病、心脑血管疾病导致的肢体运动障碍, 通过体感交互设定肢体运动目标点和运动轨迹, 以指导或检查患者的肢体运动情况; 在中文文献中, 体感交互的医学意义偏向于简单的心率、血氧等指标的检测, 如今也有研究者利用该技术逐步对全身肢体健康状况分析检测进行深化研究。总体来说, 医学学术研究在外文学术体系中更加成熟, 国内研究者的相关研究也偏向于发表在外文期刊上, 西方国家对神经学领域的研究有更加丰富的经验和历史, 因此也更能在该领域发挥体感交互技术的价值。第二, 智能健身成为运动健身行业不可避免的浪潮, 我国“互联网+”产业基础扎实, 物联网、图像识别和语音识别技术的发展给予了体育运动更丰富的数据采集维度与颗粒度, 智能健身的发展因此具有扎实的基础与广阔的前景^[36]。当前国内体感智能健身的开发由线上智能健身业务(如健身 APP、小程序等)逐渐向线下硬件产品转移, 如 Fiture 开发的健身魔镜, 以穿衣镜显示器的形式融入家居环境, 并通过动作识别功能实现智能体感健身硬件在家庭环境中的置入, Fiture 健身魔镜的健身课程项目主要包括 HIIT (High-intensity Interval Training, 高强度间歇性训练) 和瑜伽等。然而, 体感交互的技术与设备发源于国外, 尤其是动作捕捉与识别领域, 设备技术主要来自美国与日本, 其主要基于强大的游戏开发背景进行体感运动游戏的开发, 例如 XBOX 游戏机多年前便将网球、拳击等对抗运动融入体感运动游戏中; 任天堂也在 2019 年基于 Switch 游戏机开发了健身环大冒险, 通过跑酷闯关中跳跃、跑动、击打等动作配合重力感应和压力感应等方式, 使用户实现运动健身的目的。虽我国部分游戏主机品牌也开发了相关的体感游戏设备, 但由于品牌生态不完整、缺乏足够的游戏

资源支持, 因此难以占领主流市场。

在游戏影音娱乐产品开发中, 国外研究者通过动作识别与捕捉技术进行游戏、电影的开发与拍摄制作技术、产业已十分成熟。目前国内的智能运动健身服务主要呈现形式为互联网平台, 通过精准的市场投放运营和开放的服务接入端口进行内容扩充和发展^[37], 并对品牌会员进行 B2C (Business-to-Consumer, 直接面向个体消费者的服务或销售模式) 单向的训练指导, 但总体缺乏训练中的沟通互动。

可以看出, 国外体感运动游戏开发产业成熟, 相关人才经验丰富、实力雄厚, 游戏具有更强的可玩性, 但单个体感运动游戏项目的开发也难以满足健身人群对系统训练的需求, 适合作为休闲游戏。国内智能健身互联网平台相对成熟, 已有一定的长期用户和成熟的线上课程体系, 专业性较强, 但娱乐性不足, 主要通过互联网运动社交模块营造长期运动氛围。

3 我国体感交互智能健身研究前景展望

3.1 基于互联网+的智能健身

21 世纪以来, 我国的互联网经济发展势头愈发迅猛, 尤其是 2010 年以来, 随着云技术的发展, 以及 5G 技术的普及, 基于互联网的 O2O 服务型经济已走入千家万户, 线上购物、生活买菜、商务参会、AI 学习, 以及由线上指导逐步吸引用户转移到线下体验门店的运动健身品牌, 逐步改变了人们的生活习惯^[38]。

据工信部统计数据显示, 截至 2020 年 12 月, 我国网民规模达 9.89 亿, 较 2020 年 3 月增长 8 540 万, 互联网普及率达 70.4%。2020 年, 蜂窝物联网终端用户达到 11.36 亿, 移动互联网接入流量达到了 1 656 亿 GB。数字化与信息化时代的到来, 加速了运动健身服务行业向科学化、智能化的转型^[23]。智能健身可充分运用信息数据采集与智能数据处理等技术, 并借助互联网传播媒体打造品牌形象, 积极引流。

在互联网+产业助力下, 智能健身也能突破空间、地域、时间的限制, 充分利用资源, 运动健身人群可以随时随地享受相关的指导与服务, 利于运动健身资源的零售化, 缓解了传统运动健身场所投入大等问题。例如疫情期间许多人使用健身 APP 进行有计划的居家健身; 又比如对差旅频繁的健身爱好者来说, 通过 APP 进行会员认证的连锁健身场馆品牌让他们在不同城市也能享受相同品牌的系统服务^[39]。

3.2 智能健身硬件与游戏化的体感交互智能健身应用开发

目前, 许多健身器械和健身辅助硬件拥有数据采集、处理与建议反馈功能, 但当前对智能硬件的定义、数据收集处理与相关安全问题尚无确定的标准, 导致

市面上有部分产品打着“智能”的标签,但并未实现真正的智能化,会出现用户数据泄露等问题。因此,智能健身硬件的相关标准制定问题亟待解决^[27]。此外,通过智能化,智能硬件能够提升用户体验。研究者们已经通过多种方法对智能运动健身用户体验展开了研究。廖诗奇等^[40]从心流体验视角出发,构建了家庭智能健身产品与心流体验要素关系图表,提出适应时空自由、符合外观审美要素的设计准则,并在经验阶段增加情景属性要素,为家庭智能健身产品转型提出了建议;谌涛等^[37]运用KANO模型对健身类APP用户满意度进行了研究,总结了健身类APP用户满意度和用户忠诚评价的核心指标,并指出健身类APP应加强用户画像的深度刻画,从而提升功能的精准性。

另一方面,智能健身硬件应结合游戏化的体感交互健身方法,激发用户的使用兴趣,提高用户黏性,促进健康运动习惯的养成^[41]。微软、任天堂等公司都曾推出火爆一时的体感运动游戏。例如基于Kinect V1与XBOX主机所开发的网球、拳击游戏,任天堂于2019年推出的Switch健身环大冒险,都是运用体感技术中的动作识别与捕捉技术将运动健身游戏化的经典产品^[42]。国内研究者也在发掘游戏化训练对运动健身人群的积极作用。谢治和^[43]通过对白领群体建立用户画像,提出基于游戏化理念的训练服务设计应具有以目标为导向的动机强化、以兴趣为导向的温和引导、以反馈为导向的进展驱动、以社群为导向的参与度提升、以成就为导向的生活方式共享五个策略;许沁^[44]通过对健康行为促成因素的分析以及健康愿景游戏化需求的转化,使用DMC(Dynamics、Mechanics、Compinents,即动力、机制与组件的金字塔系统结构)游戏结构系统构建了促进健康行为的游戏化模型,并针对健康行为各阶段提出了相应的游戏化建议。

3.3 智能健身与数字化技术相结合推进“体医结合”发展

我国互联网行业在对抗新冠肺炎疫情以及疫情防控等方面展现了积极的作用,全国大部分地区通过健康码实现了热流管控;互联网在促进经济反弹、保障社会运行、推进国际间的防疫合作等方面都发挥了重要的作用。智能运动健身收集的用户运动数据,与其他医疗健康数据应相辅相成,并建立完善的个人健康信息档案;此外运动健身相关数据的统计也可以推动体育科学、教育事业的发展,提供更多元的发展维度。

数字化和信息化技术是实现“体医结合”的重要桥梁和纽带。从欧美、日本等发达国家医疗健康体系构建的经验来看,医疗、健康预防、康复等与体育运动密不可分。因此,应抓住数字化时代的机遇,推动社会体医信息系统的构建^[45-50]。

4 结语

近年来,智能健身已经随着互联网的发展逐步代替了传统的体育活动,并逐渐融入现代人的生活中,全球疫情环境造就的居家线上生活方式,催生了消费风口,智能健身以互联网为载体,突破了时空的局限,吸引了更多的用户参与其中。智能健身产品在不断深化和发展的过程中,体感交互技术的运用拉近了用户之间、用户与品牌服务之间的距离,拓展了互联网服务的交互维度。这些发展趋势的变化一方面为品牌接触用户铺就了新的路径,另一方面也增强了用户参与健身活动的意愿与体验。运用体感交互技术进行运动健身游戏的开发,更具趣味性,能够以游戏化的思路强化用户的健康行为和健身兴趣,以智能化的服务打造个性化的用户体验,最终实现智慧医疗健康与智能体育科学的共同发展。

本文基于Cnki与Web of science数据库对中外研究人员在“体感交互”与“智能健身”相关领域的研究情况进行了分析,绘制了文献知识图谱,分析了关键词聚类与相关研究发展的时间线,证明了国内外相关研究历程具有一定的相似性,但我国在体感交互技术方面尚有不足。本文提出了我国体感交互与智能健身研究相结合的3个发展方向,即“基于互联网+的智能健身”产业创新业态、“智能健身硬件与游戏化体感交互赋能应用开发”与“智能健身与数字化技术结合推进‘体医结合’发展”,为我国智能健身产品研究和服务发展提供路径。

参考文献:

- [1] 李楠,满建刚. 抗疫常态化背景下我国民众居家健身的PEST分析和促进策略[J]. 湖北体育科技, 2020, 39(12): 1061-1063.
LI Nan, MAN Jian-gang. PEST Analysis and Promotion Strategy of Chinese People's Home Fitness under the Background of Anti-Epidemic Normalization[J]. Hubei Sports Science, 2020, 39(12): 1061-1063.
- [2] 周燕欣. 抗疫环境中居家健身的实效性分析与创新途径[J]. 体育科技文献通报, 2021, 29(3): 182-184.
ZHOU Yan-xin. Effectiveness Analysis and Innovation Ways of Home Fitness under Epidemic Prevention[J]. Bulletin of Sport Science & Technology, 2021, 29(3): 182-184.
- [3] 梁欣. 基于KINECT技术下的儿童消防安全体感游戏设计[D]. 广州: 广东工业大学, 2020.
LIANG Xin. Kinect Technology Based on Children's Fire Safety Motion-Sensing Game Design[D]. Guangzhou: Guangdong University of Technology, 2020.
- [4] 郭小焕. 基于Kinect的虚拟现实交互系统设计与实现[D]. 重庆: 重庆邮电大学, 2020.
GUO Xiao-huan. Design and Implementation of Virtual

- Reality Interaction System Based on Kinect[D]. Chongqing: Chongqing University of Posts and Telecommunications, 2020.
- [5] 王莉婷. 基于服务设计理念的健康管理平台设计研究[D]. 广州: 华南理工大学, 2020.
- WANG Li-ting. Research on Health Management Platform Design Based on Service Design Concept[D]. Guangzhou: South China University of Technology, 2020.
- [6] 陈悦, 陈超美, 刘则渊, 等. CiteSpace 知识图谱的方法论功能[J]. 科学学研究, 2015, 33(2): 242-253.
- CHEN Yue, CHEN Chao-mei, LIU Ze-yuan, et al. The Methodology Function of Cite Space Mapping Knowledge Domains[J]. Studies in Science of Science, 2015, 33(2): 242-253.
- [7] 宋秀芳, 迟培娟. Vosviewer 与 Citespace 应用比较研究[J]. 情报科学, 2016, 34(7): 108-112.
- SONG Xiu-fang, CHI Pei-juan. Comparative Study of the Data Analysis Results by Vosviewer and Citespace[J]. Information Science, 2016, 34(7): 108-112.
- [8] 姚如婕, 尹鹭峰, 谢秋蓉, 等. 基于 Kinect 探讨针刺结合康复训练对脑卒中患者上肢功能的影响[J/OL]. 医用生物力学:1-10[2022-06-30].
- YAO Rujie, YIN Lufeng, XIE Qiurong, et al. Effects of Rehabilitation Training Combined with Acupuncture on Upper Limb Function of Stroke Patients Based on Kinect[J/OL]. Journal of Medical Biomechanics: 1-10 [2022-06-30].
- [9] 李虹, 陆培培. 基于 Unity3D 的虚拟动画系统设计[J]. 现代电子技术, 2021, 44(8): 164-168.
- LI Hong, LU Pei-pei. Design of Virtual Animation System Based on Unity3D[J]. Modern Electronics Technique, 2021, 44(8): 164-168.
- [10] 陈毅博. 基于 Kinect 的康复医疗系统的应用研究[J]. 电子制作, 2020(14): 32-33.
- CHEN Yi-bo. Research on the Application of Kinect-Based Rehabilitation Medical System[J]. Practical Electronics, 2020(14): 32-33.
- [11] 赵建敏, 赵忠鑫, 许晓伟. 基于 Kinect 的拳击虚拟训练系统[J]. 计算机工程与科学, 2015, 37(9): 1736-1741.
- ZHAO Jian-min, ZHAO Zhong-xin, XU Xiao-wei. A Design of a Virtual Boxing Training System Based on Kinect Somatosensory Sensor[J]. Computer Engineering & Science, 2015, 37(9): 1736-1741.
- [12] 黄东晋, 姚院秋, 丁友东, 等. 基于 Kinect 的虚拟健身跑锻炼系统[J]. 图学学报, 2017, 38(5): 789-795.
- HUANG Dong-jin, YAO Yuan-qiu, DING You-dong, et al. Virtual Running Exercise System Based on Kinect[J]. Journal of Graphics, 2017, 38(5): 789-795.
- [13] 徐博成. 基于 Kinect 的人体动作损伤评估方法[D]. 青岛: 青岛科技大学, 2017.
- XU Bo-cheng. Evaluation Method of Human Body Injury Based on Kinect[D]. Qingdao: Qingdao University of Science & Technology, 2017.
- [14] 于涛. 基于动作捕捉的太极拳数字化保护研究[D]. 广州: 中山大学, 2013.
- YU Tao. Research on Digital Protection of Tai Chi Chuan Based on Motion Capture[D]. Guangzhou: Sun Yat-sen University, 2013.
- [15] 邢赞. 实现以太极拳为题材的体感游戏的运动学模型研究——基于体感技术[D]. 太原: 山西大学, 2014.
- XING Yun. Review Academic for Motion Sensing Game as the Subject of the Martial Arts[D]. Taiyuan: Shanxi University, 2014.
- [16] 白正彪. 基于 Kinect 的运动示教系统研究与实现[D]. 天津: 天津大学, 2012.
- BAI Zheng-biao. Research and Implementation of Sports Teaching System Based on Kinect[D]. Tianjin: Tianjin University, 2012.
- [17] 白克强. 双臂机器人拟人化动作实现与协调控制方法研究[D]. 合肥: 中国科学技术大学, 2017.
- BAI Ke-qiang. Research on Human-Like ARM Motion Generation and Cooperation Control Method for Humanoid Dual-Arm Robots[D]. Hefei: University of Science and Technology of China, 2017.
- [18] 黄诚, 刘华平, 左小五, 等. 基于 Kinect 的人机协作[J]. 中南大学学报(自然科学版), 2013, 44(S1): 386-393.
- HUANG Cheng, LIU Hua-ping, ZUO Xiao-wu, et al. Human-Robot Cooperation Using Kinect[J]. Journal of Central South University (Science and Technology), 2013, 44(S1): 386-393.
- [19] 尹旭悦, 范秀敏, 顾岩, 等. 动态视觉手势识别下手工装配时序控制的智能防错方法[J]. 计算机集成制造系统, 2017, 23(7): 1457-1468.
- YIN Xu-yue, FAN Xiu-min, GU Yan, et al. Sequential Dynamic Gesture Recognition Controlled Poka-Yoke System for Manual Assembly[J]. Computer Integrated Manufacturing Systems, 2017, 23(7): 1457-1468.
- [20] PILATI F, FACCIO M, GAMBERI M, et al. Learning Manual Assembly through Real-Time Motion Capture for Operator Training with Augmented Reality[J]. Procedia Manufacturing, 2020, 45: 189-195.
- [21] 曹其新, 孙明镜, 薛蔚, 等. 人机协作下机械臂动态避障与避奇异研究[J]. 华中科技大学学报(自然科学版), 2020, 48(1): 55-59.
- CAO Qi-xin, SUN Ming-jing, XUE Wei, et al. Research on Avoidance of Dynamic Obstacle and Singularity for Manipulator in Human-Robot Cooperation[J]. Journal of Huazhong University of Science and Technology (Natural Science Edition), 2020, 48(1): 55-59.
- [22] 李晨. 关于智能健身产品的研究与设计——以智能沙袋为例[D]. 长沙: 湖南大学, 2019.
- LI Chen. Research and Design of Intelligent Fitness Products—Take Intelligent Sandbags as an Example[D]. Changsha: Hunan University, 2019.
- [23] 商文婷. 大数据时代健身 App 应用的转型升级策略研究[D]. 北京: 首都体育学院, 2020.
- SHANG Wen-ting. Research on the Transformation and

- Upgrade Strategy of Fitness App in the Big Data Era[D]. Beijing: Capital University of Physical Education and Sports, 2020.
- [24] 赵俊杰, 张大为, 曹景川. 新冠疫情中网络体育健身视频用户持续使用意愿的影响因素及启示[J]. 沈阳体育学院学报, 2021, 40(1): 9-15.
- ZHAO Jun-jie, ZHANG Da-wei, CAO Jing-chuan. Influencing Factors and Enlightenments of Continued Willingness of Online Physical Fitness Video Users during COVID-19[J]. Journal of Shenyang Sport University, 2021, 40(1): 9-15.
- [25] 刘肖佑, 田立国, 张驰宇, 等. 智能体感虚拟现实交互运动系统[J]. 科技创新与应用, 2019(3): 37-38.
- LIU Xiao-you, TIAN Li-guo, ZHANG Chi-yu, et al. Interactive Motion System of Intelligent Somatosensory Virtual Reality[J]. Technology Innovation and Application, 2019(3): 37-38.
- [26] 严资情, 张宇红. 面向健身的体感交互行为设计研究[J]. 设计, 2017(5): 134-136.
- YAN Zi-qing, ZHANG Yu-hong. Research on the Design of Somatosensory Interaction Behavior for Fitness[J]. Design, 2017(5): 134-136.
- [27] 刘洋. 智能化健身器械的研究与应用设计[D]. 合肥: 中国科学技术大学, 2015.
- LIU Yang. Research and Application Design of Intelligent Fitness Equipment[D]. Hefei: University of Science and Technology of China, 2015.
- [28] MAI Wang-xiang, FANG Liang, CHEN Zhuo-ming, et al. Application of the Somatosensory Interaction Technology Combined with Virtual Reality Technology on Upper Limbs Function in Cerebrovascular Disease Patients[J]. Journal of Biomedical Science and Engineering, 2020, 13(5): 66-73.
- [29] ONAL S, LEEFERS M, SMITH B, et al. Predicting Running Injury Using Kinematic and Kinetic Parameters Generated by an Optical Motion Capture System[J]. SN Applied Sciences, 2019, 1(7): 675.
- [30] LI Xiao-cheng. The Art of Dance from the Perspective of Artificial Intelligence[J]. Journal of Physics: Conference Series, 2021, 1852(4): 042011.
- [31] HU Wen-peng. Research and Application of Teaching Mode Based on Htc Vive Somatosensory Interactive Classroom[C]. London: Francis Academic Press, 2020.
- [32] WANG Juan, LIU Shen, ZHANG Xi-ping. Application of Artificial Intelligence in University Sports Risk Recognition and Identification[J]. Journal of Intelligent & Fuzzy Systems, 2021, 40(2): 3361-3372.
- [33] PAVITT J, BRAINES D, TOMSETT R. Cognitive Analysis in Sports: Supporting Match Analysis and Scouting through Artificial Intelligence[J]. Applied AI Letters, 2021, 2(1): e21.
- [34] JOO S Y, LEE C B, JOO N Y, et al. Feasibility and Effectiveness of a Motion Tracking-Based Online Fitness Program for Office Workers[J]. Healthcare (Basel, Switzerland), 2021, 9(5): 584.
- [35] VARGHESE J, ALLEN C M V, FUJARSKI M, et al. Sensor Validation and Diagnostic Potential of Smartwatches in Movement Disorders[J]. Sensors (Basel, Switzerland), 2021, 21(9): 3139.
- [36] 郑芳, 徐伟康. 我国智能体育: 兴起、发展与对策研究[J]. 体育科学, 2019, 39(12): 14-24.
- ZHENG Fang, XU Wei-kang. Intelligent Sports in China: Rise, Development and Countermeasures[J]. China Sport Science, 2019, 39(12): 14-24.
- [37] 湛涛, 谢徽音. 基于KANO模型的健身类APP用户满意度实证研究[J]. 设计, 2020, 33(11): 38-41.
- CHEN Tao, XIE Hui-yin. Research on Customer Satisfaction of Fitness Mobile Application Based on Quantitative Kano Model[J]. Design, 2020, 33(11): 38-41.
- [38] SARKAR B, DEY B K, SARKAR M, et al. A Sustainable Online-to-Offline (O2O) Retailing Strategy for a Supply Chain Management under Controllable Lead Time and Variable Demand[J]. Sustainability, 2021, 13(4): 1756.
- [39] 王鹏, 焦博茹, 贺圣楠. 新基建背景下体育健身消费的数字化应用与发展路径[J]. 西安体育学院学报, 2021, 38(1): 70-78.
- WANG Peng, JIAO Bo-ru, HE Sheng-nan. Research on the Digital Transformation of Sports and Fitness Consumption under the Background of New Infrastructure Construction[J]. Journal of Xi'an Physical Education University, 2021, 38(1): 70-78.
- [40] 廖诗奇, 沈杰. 心流理论下的家庭智能健身产品创新设计思考[J]. 设计, 2020, 33(23): 141-143.
- LIAO Shi-qi, SHEN Jie. Thinking on the Innovative Design of Home Intelligent Fitness Products Based on Flow Theory[J]. Design, 2020, 33(23): 141-143.
- [41] 钟雨男. 游戏化设计在健康行为养成中的应用策略研究[D]. 上海: 华东理工大学, 2020.
- ZHONG Yu-nan. Study on Strategies of Gamification Design in Health Behavior-Forming[D]. Shanghai: East China University of Science and Technology, 2020.
- [42] 吴智慧, 张雪颖, 徐伟, 等. 智能家具的研究现状与发展趋势[J]. 林产工业, 2017, 44(5): 5-8, 13.
- WU Zhi-hui, ZHANG Xue-ying, XU Wei, et al. Research Progress and Development Trend of Intelligent Furniture[J]. China Forest Products Industry, 2017, 44(5): 5-8, 13.
- [43] 谢治和. 基于游戏化的白领运动行为模式设计策略研究[D]. 无锡: 江南大学, 2017.
- XIE Zhi-he. Research on the Design Strategy of White-Collar Sports Behavior Pattern Based on Gamification Concept[D]. Wuxi: Jiangnan University, 2017.
- [44] 许沁. 游戏化设计在健康行为促进中的应用策略研究[D]. 无锡: 江南大学, 2017.
- XU Qin. The Research on Gamification Design and Its Application of Strategies in Health Behavior Promotion[D]. Wuxi: Jiangnan University, 2017.