

Research on the Development Status and Trend of VR Fitness Motion Interactive Technology

Junyi Jiang Xuyun Yang

Guangzhou Zhuoyuan Virtual Reality Technology Co., Ltd., Guangzhou, Guangdong, 511450, China

Abstract

With the in-depth application of VR technology in scenarios such as sports health and education training, it is urgent to solve the core pain points of motion perception and interactive feedback. This paper systematically combs the three major technical routes of motion perception interactive devices in the current VR + sports field (treadmill-type, foot-sliding-type, floor-sliding-type), takes Zhuoyuan's treadmill-type dynamic platform, Virtuix Omni, Holotile and other typical cases as examples, deeply analyzes the technical details from multiple dimensions such as mechanical structure, sensing scheme, control algorithm, and user experience, and combines industry practice and technological evolution laws to propose four major future development trends, providing theoretical reference and practical paths for the innovative development of VR motion interactive technology.

Keywords

VR Fitness; Motion Interaction; Motion Sensing; Sensor Fusion

VR 健身运动交互技术的发展现状与趋势研究

姜军毅 阳序运

广州卓远虚拟现实科技股份有限公司, 中国·广东广州 511450

摘要

VR 技术在体育健康、教育培训等场景的深度应用, 亟需解决运动感知与交互反馈的核心痛点。本文系统梳理了当前 VR + 运动领域动作感知交互设备的三大技术路线(跑带类、脚步滑动类、地板滑动类), 以广州卓远跑带式动感平台、Virtuix Omni、Holotile 等为典型案例, 从机械结构、传感方案、控制算法、用户体验等多维度深入剖析技术细节, 结合行业实践与技术演进规律, 提出未来发展四大趋势, 为 VR 运动交互技术的创新发展提供理论参考与实践路径。

关键词

VR 健身; 运动交互; 动作感知; 传感器融合

1 引言

随着消费级 VR 头显(如 Meta Quest 3、Pico 4)的硬件性能迭代, 虚拟现实技术正从娱乐场景向体育健康、职业培训等实用领域渗透。然而传统交互方式(如手柄操控、站立式动作捕捉)导致约 68% 的用户出现晕动症, 其核心矛盾在于物理空间移动限制与虚拟场景无限漫游的感知冲突, 亟需高沉浸度的运动交互技术突破。当前技术瓶颈集中于两大维度: 一是运动感知精度, 虚拟场景中位移误差需控制在厘米级, 传统光学动作捕捉受环境光干扰, 定位误差过大; 二是空间移动模拟, 要在有限物理空间(平均 8 - 10 m²)内

实现 360° 无限移动, 传统跑步机仅支持直线运动, 无法满足开放世界游戏的转向需求。如何为用户提供更加接近真实行走的力学体验, 构建“感知 - 反馈”闭环成为技术攻关核心。

2 VR 健身运动交互技术的发展现状

2.1 跑带类方案

以广州卓远跑带式动感平台暗黑行者为代表, 从传统跑步机的单轴跑带升级为适用于 VR 空间自由行走的多自由度运动平台。该类方案在传感与控制核心技术进行了升级, 通过非接触式足部追踪技术(红外、激光雷达等传感器阵列), 实现厘米级足部轮廓捕捉, 采用模型预测控制(MPC)结合卡尔曼滤波, 配合头显姿态数据, 准确检测人体足部运动速度与识别身体转向, 实现直线行走与旋转的精准控制。

【课题项目】番禺区创新领军团队项目《智能 VR 交互设备关键技术的研发与产业化》(项目编号: 2021-R01-5)。

【作者简介】姜军毅(1977-), 男, 中国甘肃民勤人, 本科, 从事人工智能、国产高端装备研究。



图 1 跑带类平台产品

该类方案的优势体现在：（1）自然步态适配：跑带运动方向与用户行走方向自动耦合，下肢肌肉激活模式与真实跑步的相似度达 89%；（2）低门槛交互：无需穿戴特制装备，兼容普通运动鞋，用户学习适应时间小于 5 分钟，上手极快^[1]。不足之处在于：（1）设备体积与成本与传统跑步机相比有所提高；（2）噪音控制：伺服电机运行噪音虽符合室内标准，但仍然对用户的 VR 沉浸式体验有一定影响。

2.2 脚步滑动类方案

以 Virtuix Omni 产品为代表的脚步滑动类方案，采用“球冠形底盘+环形履带”复合结构，通过聚四氟乙烯球冠支持 360° 无阻力旋转，底部安装万向轮减少摩擦损耗，轻量化腰部固定带，内置六轴 IMU 实时监测躯干姿态。在专用的跑鞋内嵌入多个压力检测点，通过机器学习算法识别多种基础动作（行走、快跑、侧移、跳跃等），识别准确率达 92%。



图 2 脚步滑动类产品

该类方案的优势体现在：（1）空间效率高：占地面积仅 1.2m×1.2m，适合小型 VR 体验馆；（2）快速移动支持：速度可满足 FPS 游戏的战术走位需求。不足之处在于：（1）步态失真：滑行步态与真实行走的关节角度差异显著，长期使用可能导致肌肉代偿；（2）卫生隐患：特制鞋需频繁消毒。

2.3 地板滑动类方案

以迪士尼 Holotile 为代表，由多个模块化六边形 tile 阵列组成，每个 tile 中都嵌入了多方向输入装置。这些输入装置通过运动和激光雷达传感器技术激活，会对用户产生反作用力，使其重新回到中心位置。目前该类方案产品还处于实验室研究测试阶段，尚未量产商用，根据媒体报道的反馈，该方案的优点是能实现全向行走，并能支持多人同时运动。

缺点是，在行走测试中地板配合脚步移动时，会发出较大的噪音，并且体验者眼睛所见与身体及大脑的感觉之间存在差异，出现不协调的情况，会左摇右晃，甚至有些站不稳，加重了“晕动症”的问题。



图 3 地板滑动类产品

2.4 三类技术方案综合对比

技术维度	跑带类	脚步滑动类	地板滑动类
空间占用	1.8m×1.5m (中型)	1.2m×1.2m (小型)	2.5m×2.5m (大型)
步态还原度	高	中	中
多用户支持	单用户	单用户	多人协同
商业化	已上市	已上市	实验室

3 VR 健身运动交互技术面临的挑战

3.1 硬件成本限制普及

高质量的 VR 健身运动装备设备价格相对昂贵，这成为限制其在大众市场广泛普及的重要因素，对于许多普通消费者来说，仍然是一笔不小的开支^[2]。这使得 VR 健身运动类产品在大众健身和小型运动机构中的应用受到一定阻碍，限制了其市场推广速度和覆盖范围。

3.2 内容开发难度与成本高

开发高质量的虚拟现实运动内容需要专业的技术团队和大量的资金投入。一方面，虚拟现实内容制作涉及到复杂的 3D 建模、动画制作、场景构建以及交互设计等多个环节，每个环节都需要专业人才和先进的软件工具。制作一个逼真的虚拟运动场景，如虚拟足球场，需要对场地的地形、草皮材质、光照效果等进行精细建模，对球员的动作进行精确捕捉和动画制作，还需要设计合理的交互逻辑，以确保用户能够在其中自然地进行运动。另一方面，为了满足用户的需求，需要开发多样化的内容，包括各种运动项目、不同难度级别和风格的训练课程等，这进一步增加了内容开发的工作量和成本。目前市场上高质量的虚拟现实运动内容相对较少，难以充分满足用户日益增长的多样化需求。

3.3 用户体验优化难题

尽管虚拟现实技术不断发展，但在用户体验方面仍存在一些需要优化的问题。眩晕感是许多用户在使用虚拟现实设备时遇到的常见问题^[3]。这主要是由于设备的刷新率、延

迟以及视觉与前庭感觉的不匹配等原因导致的。当用户在虚拟环境中快速移动或转动头部时,画面的延迟更新会使视觉与身体的实际运动产生偏差,从而引发眩晕。此外,虚拟现实设备的佩戴舒适度也有待提高。现有的头盔显示器通常较重,长时间佩戴会给用户的颈部带来负担,并且设备与面部的贴合度、透气性等方面也可能影响用户的使用体验。

4 虚拟现实运动智能交互技术的发展趋势

4.1 硬件设备的轻量化与性能提升

随着技术的不断进步,虚拟现实设备将朝着轻量化和高性能的方向发展。在轻量化方面,研发人员将采用新型材料和更先进的制造工艺,减少设备的重量和体积,使头盔显示器、手柄等设备更加轻便,便于用户长时间佩戴和使用。同时在性能提升方面,显示技术将不断创新,未来虚拟现实设备的分辨率和视角将进一步提升,为用户提供更加逼真的视觉体验。此外,跟踪器和传感器的精度将不断提高,响应速度更快,能够更精准地捕捉用户的动作,减少延迟,实现更加流畅、自然的交互体验^[4]。

4.2 内容的多样化与个性化定制

随着用户需求的增长和技术的发展,虚拟现实运动内容将更加多样化。除了现有的常见运动项目模拟,还将涌现出更多新颖、独特的运动体验内容,如结合虚拟现实技术的虚拟探险运动、未来科技感十足的虚拟竞技项目等。同时,内容开发将更加注重个性化定制,通过人工智能技术对用户的运动数据、偏好、身体状况等进行深入分析,为每个用户生成完全贴合其需求的虚拟运动内容。例如,根据用户的健身目标和身体恢复情况,自动调整虚拟健身课程的难度、训练项目和节奏;为运动员提供针对其个人技术特点和比赛需求的个性化训练场景和方案,进一步提升用户在虚拟现实运动中的体验和效果。

4.3 与其他技术的深度融合

虚拟现实运动智能交互技术将与人工智能、大数据、物联网等技术进行深度融合。与人工智能技术融合,能够实现更智能的交互体验,如通过机器学习算法让虚拟环境能够自动适应用户的行为习惯和运动模式,提供更加个性化、自适应的交互反馈^[5]。利用人工智能的图像识别和动作分析技术,能够更准确地识别用户的动作,实现更精准的运动指导和训练评估。与大数据技术融合,可以收集和分析大量用户的运动数据,了解用户的运动习惯、偏好和需求,为内容开发、产品优化提供有力的数据支持,同时也有助于制定更科学的运动训练计划和健康管理方案。与物联网技术融合,能

够实现虚拟现实设备与其他智能设备的互联互通,如与智能健身器材、可穿戴设备等进行数据交互,实现更全面的运动监测和控制,打造一体化的智能运动生态系统。

5 结论与展望

VR健身运动交互技术开始进入为多技术路线并行的生态体系,跑带类、脚步滑动类、地板滑动类方案分别在步态还原度、空间效率和多用户协同方面展现各自的优势,但硬件成本高、内容开发复杂、晕动症等问题仍待突破。当前技术正朝着硬件轻量化、内容个性化、技术融合化方向演进,而区块链与元宇宙的结合则为行业开辟了全新维度:

技术融合的深度拓展:未来VR运动交互技术将与传感技术、人工智能技术进一步融合发展,更加精准的识别人体运动状态和更真实反馈的运动体验

元宇宙生态的价值重构:区块链技术可实现虚拟运动数据的确权与流通,用户在VR健身中产生的运动数据(如卡路里消耗、动作轨迹)可转化为数字资产,接入元宇宙经济体系。例如,虚拟健身赛事的排名与奖励可联动现实健康管理服务,形成“运动-健康-价值”的良性循环。

应用场景的跨界延伸:除健身、娱乐外,VR运动交互技术在医疗康复领域潜力显著。通过定制化交互设备辅助中风患者进行步态训练,结合虚拟场景提升康复趣味性与依从性;在职业体育训练中,可模拟高难度动作场景,帮助运动员进行风险可控的战术演练。

标准化与生态共建:行业需加速建立硬件接口、内容开发、安全防护等领域的统一标准。例如,制定VR运动硬件、软件、内容的体验指数分级标准,推动硬件厂商与内容开发者协同优化用户体验。

参考文献

- [1] 唐珊珊.一种基于VR设备的行走装置:CN202210173281.5[P].CN114489345B[2024-08-14].
- [2] 钱宇阳,鲁森,杨开明,等.自适应跑步机多运动模式人机交互技术[J].清华大学学报(自然科学版),2023,63(12):1961-1973.
- [3] 潘志庚,孟乾宇,袁庆曙,等.移位方式对用户虚拟环境中空间感知的影响[J].计算机辅助设计与图形学学报,2024,36(2):294. DOI:10.3724/SP.J.1089.2024.19733.
- [4] 阳序运,郭志刚,张志成.基于动作识别的VR跑步控制处理方法,系统及设备:CN202310289110.3[P].CN116440481A[2024-08-14].
- [5] 李孝禄,闫剑锋,许沧粟,等.基于VR运动模拟器的体感模拟算法的研究[J].系统仿真学报,2020,32(2):7. DOI:10.16182/j.issn1004731x.joss.18-0064.