**虚拟现实交互技术发展调研报告**

**1. 引言**

随着信息技术和计算机图形学的飞速发展，虚拟现实（Virtual Reality, VR）技术正在逐步从实验室走向大众生活，成为人类探索数字世界的重要方式之一。虚拟现实技术通过计算机生成三维虚拟环境，借助交互设备将用户沉浸其中，从而实现“身临其境”的感受。与此同时，伴随虚拟现实技术发展而迅速推进的是交互技术，它直接决定着用户体验的自然度与真实感。本报告将围绕虚拟现实技术的发展历程、当前应用现状、关键交互技术、存在问题与进一步展望等方面展开详细调研和分析。

1. **虚拟现实交互技术的发展历程**

虚拟现实（VR）技术并不是近几年才出现的，其发展历史可以追溯到上世纪60年代。1962年，Morton Heilig 研制出了全球第一款具有虚拟现实思想的设备——Sensorama，这是一种能提供视觉、听觉、嗅觉甚至触觉的沉浸式设备，给用户带来逼真的体验。

1965年，Ivan Sutherland 发表了著名论文《终极显示》，首次提出虚拟世界应当“看得见、听得见、摸得着”的设想，并于1968年设计了世界上第一台头戴显示器（HMD），标志着虚拟现实从理论走向实际设备。

到了70年代，计算机图形学的发展为虚拟现实打下了基础，80年代，随着计算机性能提升，出现了如数据手套、立体音响等交互设备。1989年，美国学者 Jaron Lanier 首次提出“虚拟现实”这一术语，使这一技术开始进入公众视野。

80年代，美国NASA和国防部也投入大量资源发展虚拟现实，NASA的虚拟行星探测项目利用VR技术帮助科学家在地面模拟火星环境，而美国国防部则开发了虚拟战场系统，实现多台模拟器联网，进行军事训练。

90年代，虚拟现实进入全面发展阶段，硬件性能提高，出现了实用的软件开发平台，并开始在工业设计、军事仿真等领域应用。例如，波音公司利用虚拟现实技术设计了波音777。

近年来，中国也高度重视虚拟现实的发展，清华大学、浙江大学、北京航空航天大学、中科院等都投入研究，取得了一批重要成果，推动了虚拟现实技术在国内的普及与应用。

1. **虚拟现实技术及其交互技术特征**

**3.1虚拟现实技术概要**

虚拟现实是指利用计算机设备创建一个三维空间的虚拟世界，用户可以通过视觉、听觉等等直接感受这个世界，并且和虚拟世界中的场景、物品、人物等等进行交互。沉浸感(immersion)、交互性(interaction)、构想性(imagination)是虚拟现实的三个基本特征[1]。

虚拟现实技术(VR)主要包括模拟环境、感知、自然技能和传感设备等方面。模拟环境是由计算机生成的、实时动态的三维立体逼真图像。感知是指理想的VR应该具有一切人所具有的感知。除计算机图形技术所生成的视觉感知外,还有听觉、触觉、力觉、运动等感知,甚至还包括嗅觉和味觉等,也称为多感知[2]。自然技能是指人的头部转动,眼睛、手势、或其他人体行为动作,由计算机来处理与参与者的动作相适应的数据,并对用户的输入做出实时响应,并分别反馈到用户的五官。

**3.2虚拟现实的人机交互设计**

人机交互是实现计算机与用户之间信息交换的桥梁，交互设计的合理性将会直接影响到虚拟现实的发展以及其可利用程度。在最理想的情况下，虚拟现实的人机交互将不会依赖任何屏幕、键盘、鼠标等等中间设备而实现随时随地的人机交流，但是当前的技术尚且不足以满足这一要求。当前虚拟现实交互技术的设计核心目标是捕捉用户的动作，通过分析，把用户的行为以及状态反馈给计算机，让计算机产生相应的操作。

当前虚拟现实技术的人机交互关键是输出显示设备和输入设备。

**3.2.1输出显示设备**

虚拟现实系统通过输出硬件向用户的一个或多个器官提供刺激，大部分设备都用来让人产生视觉听觉和触觉的感受，在少数情况下也会对嗅觉和味觉产生刺激。因此虚拟现实交互的输出设备主要是视觉显示设备，声音相应设备和力学输出设备。

视觉显示器：视觉显示设备包括可视区域、空间分辨率、刷新率等等光学属性。一般的视觉显示器的设计都会根据眼球的运动轨迹动态调整以及针对单眼的静态搜索。当前的虚拟现实技术在视觉显示上主要利用的是头戴式显示器(HMD)，通过在可穿戴设备中加入屏幕实现直接输出视觉信息。

声音发生器：与一般的音响以及耳机有所区别，虚拟现实技术中要求的声音输出有一个重要的功能就是能够产生空间中的三维声音，让接收到声音信息的用户能够根据声音信息对虚拟现实中产生声音的来源进行定位。三维声音的关键包括声音的动态变化，两耳的声音强度差以及时间差，同时还会根据用户的相关操作进行更新。目前的主要声音发生器是在可穿戴设备中增加外部扬声器或者耳机，输出环绕音或者3D音频。

力学发生器：虚拟现实与当前的信息互联网最大的差别之处就在于虚拟现实可以直接感受到系统内发生的事件并且对系统内的场景、物品等等产生直接的作用。要实现这个效果，必须要相应的力学发生器，通过接受虚拟现实系统内的信息，对用户的输出微小的力学作用。此传感器的难点在于如何模拟现实世界中复杂的触觉效果，如果作用力度过小可能使用户无法产生明显的感受，作用力度过大更会使用户的感受失真，甚至让用户产生恐惧感并对设备产生抵触心理。目前的虚拟现实交互在力学方面尚存在空白，没有大规模商用的产品，只有尚在试验阶段的力反馈鼠标，力学操作手臂等等。

**3.2.2输入设备**

虚拟现实系统中并不是用户对虚拟世界中的信息产生单方面的接受，在这同时用户也会反过来对虚拟世界产生影响，这就需要相应的输入设备，接受用户的信息输入，传递给处理终端，从而返回对虚拟世界的改变指令。

当前业界对虚拟现实的输入设备有几种主要技术，其中应用最宽广的是操作手柄以及手势识别。

操作手柄：用户通过控制手中的操作手柄向主机发出指令，这种方式的准确性足够高，但是这么久来一直受到各种用户的批评表示对三大特征中的沉浸感造成了巨大破坏。主流的厂商目前都使用操作手柄的输入方法如:PS VR ,HTC等厂商。

手势识别：手势识别就是通过设备识别并接受用户的手势输入，做出相关的指令。相较于操作手柄，手势识别更符合虚拟现实中对沉浸感的追求。目前手势识别的可靠程度逐渐提高，识别准确率也逐渐增加，已经能够满足一般用户的操作需求。苹果公司(Apple)推出的虚拟现实设备Vision Pro就是利用了多维手势识别技术，能够通过穿戴头盔直接识别用户的手势操作，然后执行对应的指令，很好地实现了了沉浸感以及交互性的效果。

1. **交互技术存在的问题**

尽管虚拟现实技术在近年来得到了快速的发展，并在诸如游戏娱乐、教育培训、医学仿真、工业设计、军事模拟等诸多领域展示了巨大的应用潜力，但在技术成熟度、用户体验、商业化推广等方面，虚拟现实技术仍面临一系列尚未解决的理论难题和技术障碍。

**4.1硬件设备无法满足需求**

显示设备缺陷：当前的头戴显示设备(HMD)在分辨率和刷新率方面仍然存在缺陷，无法提供和现实世界一样的高清视觉效果，会让用户产生抵触感，严重情况下甚至会让用户产生身体不适。

设备舒适度欠佳：当前主流的设备普遍存在体积过大、重量过高的问题，用户佩戴起来舒适度低，很难长时间坚持使用。同时还存在适配性的问题，对不同的用户群体，不能够提供个性化的佩戴体验。

**4.2缺乏内容创作与应用场景**

制作成本高：高质量的虚拟场景搭建需要大量的建模、渲染以及动画，对制作团队的水平要求高，这导致了高昂的开发成本，淘汰掉了大多数抗风险能力不足的小公司，剩下的公司产能有限，无法高效地产生大量场景。

缺乏优质生态：当下虚拟现实平台上缺乏优质内容，在教育、医疗等等领域，缺少标准、模块化的资源库，这阻碍了VR技术的大规模推广和应用。

**4.3成本高昂，缺乏普及性**

当前VR设备以及支持主机价格相对较高，并且良好的VR环境需要足够的空间搭建，大多数人无法承担高价的VR服务，导致VR的普及性有限。

1. **虚拟现实交互技术的进一步展望**

虚拟现实技术作为一项融合了人工智能、计算机科学、电子工程、传感器技术、图形学、智能控制、心理学等多个领域的综合性前沿技术，尽管近年来发展迅速，展现出巨大的应用潜力，但在实际应用过程中，依然存在诸多亟待解决的技术瓶颈和理论难题。针对这些问题，我提出以下几点针对虚拟现实交互技术未来发展的建议：

**5.1提升虚拟环境与人体感知系统的融合度。**

目前的虚拟现实技术，更多集中在扩展人与计算机之间的交互接口，但对于人类感知系统（如视觉、听觉、触觉等）与虚拟环境的自然融合，仍缺乏深入的研究。未来的虚拟现实交互系统应着重发展更加自然、真实的交互方式，包括更加精准的动作捕捉技术、更丰富的实时触觉反馈系统，以及更具智能化的虚拟角色反馈机制，从而提升用户的沉浸感和互动体验。

**5.2加强虚拟环境下人类认知机制的研究。**

目前尚缺乏对“人在虚拟环境中获得的感知信息如何在大脑中处理、存储，并最终形成认知”的深入探讨。未来的发展应推动神经科学、认知心理学与计算机科学等多学科的交叉合作，深入研究虚拟现实中的人类认知过程，明确用户在虚拟环境中的心理与行为规律，从而为虚拟现实交互系统的设计提供科学依据，提升人机交互的自然性和有效性。

**5.3注重虚拟现实交互技术的个性化和自适应能力。**

虚拟现实交互系统需要充分考虑不同用户之间的个体差异，包括生理特征（如视力、听力、手部尺寸）、心理特征（如认知风格、操作偏好）等。因此，未来的VR系统应支持根据用户的个性化需求进行定制，具备动态调整交互方式的能力，从而提供更加舒适、友好、智能的交互体验，尤其是在医疗康复、心理治疗、个性化教育等领域具有重要意义。

**5.4降低成本，优化设备设计，推动技术普及。**

当前虚拟现实设备存在价格高昂、设备笨重、操作复杂等问题，严重阻碍了其在大众中的普及。未来应致力于提升设备的轻便性、舒适度和易操作性，同时推动核心技术的标准化与产业化，降低制造和使用成本，让更多普通用户能够负担得起、用得起来，从而拓展虚拟现实技术的应用场景。

**6. 参考文献**

[1]姜学智,李忠华.国内外虚拟现实技术的研究现状[J].辽宁工程技术大学学报,2004,(02):238-240.

[2]张凤军,戴国忠,彭晓兰.虚拟现实的人机交互综述[J].中国科学:信息科学,2016,46(12):1711-1736.

[3]苏建明,张续红,胡庆夕.展望虚拟现实技术[J].计算机仿真,2004,(01):18-21.

[4] 艾媒咨询. 2024年中国虚拟现实（VR）行业研究报告[R]. 北京: 艾媒咨询集团, 2024.

[5]Ersin Dincelli, Alper Yayla,Immersive virtual reality in the age of the Metaverse: A hybrid-narrative review based on the technology affordance perspective,The Journal of Strategic Information Systems,Volume 31, Issue 2,2022,101717,ISSN 0963-8687,https://doi.org/10.1016/j.jsis.2022.101717.

(<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0963868722000130>)

[6] Rokhsaritalemi S, Sadeghi-Niaraki A, Choi S M. A review on mixed reality: Current trends, challenges and prospects[J]. Applied Sciences, 2020, 10(2): 636.

[7] Mehrfard A, Fotouhi J, Taylor G, et al. A comparative analysis of virtual reality head-mounted display systems[J]. arXiv preprint arXiv:1912.02913, 2019.

[8]Jensen L, Konradsen F. A review of the use of virtual reality head-mounted displays in education and training[J]. Education and Information Technologies, 2018, 23: 1515-1529.

[9] Dargan S, Bansal S, Kumar M, et al. Augmented reality: A comprehensive review[J]. Archives of Computational Methods in Engineering, 2023, 30(2): 1057-1080.

[10]邱睿,贺志伟,吉峰等.基于人机交互的虚拟现实技术在军事中的研究综述[J].软件,2021,42(06):123-125.