文章编号:1007 - 4252(2024)04 - 0004 - 183 DOI: 10.20027/j.gncq.2024.0027

可交互式浮空成像技术

罗心洁[1,2],李伟平[1,*],贾庆伟[2,*],王刚[1],王宝磊[2],钱罡[2]
(1.宁波大学 物理科学与技术学院,宁波 315211; 2.宁波韦尔德斯凯勒智能科技有限公司,宁波 315502)

摘要:人工智能、大数据、5G 与工业互联网等新兴技术的发展,推动元宇宙从科幻走进现实。元宇宙是虚拟与现实相连接的数字世界,基于虚拟现实(Virtual Reality,VR)、增强现实(Augmented Reality,AR)、混合现实(Mixed Reality,MR)和扩展现实(Extended Reality,XR)等技术的设备实现了虚拟与现实之间的交互融合。作为一种 AR 技术,可交互浮空成像技术通过负折射透镜将发散的光线重新聚集并将影像投影在空中,再通过集成光学技术、感触交互技术与空间传感技术,实现浮空显示屏的交互操作。近几年该技术在医疗、教育、娱乐和汽车等产业领域备受瞩目。尤其是疫情防控期间,由于该技术具有无接触、可交互等优势,在医院、火车站等需要避免交叉感染的场景中得到了大量的应用。

关键词:浮空成像;负折射率材料;人机交互;传感器
中图分类号:TN27 **文献标志码**:A

InteractiveFloating Imaging Technology

LUO XinJie[1,2], LI Weiping[1,*], JIA Qingwei[2,*], WANG Gang[1], WANG Baolei[2], QIAN Gang[2]
(1. School of Physical Science and Technology, Ningbo University, Ningbo 315211, China;
2. Ningbo Weierskeler Intelligent Technology Limited Company, Ningbo 315502, China)

Abstract: The advancement of emerging technologies, including artificial intelligence, big data, 5G, and industrial Internet, has propelled the metauniverse from the realm of science fiction to reality. The metaverse constitutes a digital realm that bridges the virtual and physical worlds, and devices leveraging technologies such as Virtual Reality (VR), Augmented Reality (AR), Mixed Reality (MR), and Extended Reality (ER) facilitate an interactive fusion between the virtual and the real. Interactive floating imaging technology, as an AR technology, utilizes negative refractive lenses to refocus diverging light and project images into the air. By integrating optical, sensory interaction and spatial sensing technologies, interactive manipulation of floating display screens is achieved. In recent years, this technology

收稿日期:2024-04-24; **修订日期**:2024-05-20
基金项目:浙江省重点研发计划(2019C04009),宁波大学横向项目(H2004000054).
作者简介:罗心洁(2000—),女,在读硕士,主要研究方向为智能机器人控制与交互(E-mail:2311690078@nbu.edu.cn).
通信作者:李伟平(1977—),男,博士,教授,主要研究方向为电子材料与器件(E-mail:liweiping@nbu.edu.cn);贾庆伟(1966—),男,博士,教授,主要研究方向为人工智能领域开发(E-mail:Qingwei.jia@wildsc.com.cn).

has garnered widespread attention across various industries, including healthcare, education, entertainment, and automotive sectors. Particularly noteworthy is its increased adoption during the recent three-year pandemic. Since its non-contact and interactive advantages, floating imaging technology has found extensive application in environments such as train stations and hospitals where mitigating cross-infection risks is imperative.

Key words: Floating imaging; Negative-index material; Human computer interaction; Sensor

0 引言

2023 年 2 月 27 日,中共中央国务院印发的《数字中国建设整体布局规划》中明确指出,加快数字中国建设,提高数字技术基础研发能力,集中力量突破集成电路、人工智能等核心技术[1]。元宇宙是数字中国建设的重要技术支撑,元宇宙通过虚拟现实(Virtual Reality,VR)、增强现实(Augmented Reality,AR)、混合现实(Mixed Reality,MR)和扩展现实(Extended Reality,XR)与现实世界交流融合。浮空投影技术作为一种 AR 技术,其借助特定材质和有形的屏幕系统,利用光路重构和光场重现,实现无介质浮空成像。传感器进行触摸位置与计算机之间的一一映射,由计算机接入对应的系统,用户可在无介质的空气中观察到真实的“屏幕显示”并实现无接触式交互。在疫情期间,由于该技术具有无接触可交互的特点,在车站和医院等需要避免交叉感染的场景应用获得了极大地推动,为抑制病毒传播做出了一定的贡献[2]。未来可交互式技术在娱乐、社交、零售、制造业、金融、医疗、远程办公、教育培训、研发、城市治理十个领域的应用场景尤其值得期待[3]。近期,华为技术有限公司也宣布推出“空中成像”技术,该技术将会用于智能穿戴、汽车以及手机平板等设备。

1 浮空成像技术的发展概况

1.1 浮空成像的概念与特征

元宇宙是先进技术发展到一定程度后的融合与集成,将对人类社会各个方面进行赋能与重塑[4]。元宇宙的本质是对现实世界的虚拟化和数字化过程,其可实现与虚拟环境、数字对象和人的多感官交互[5]。基于沉浸式交互的多模态技术可在元宇宙中有效运用,实现交互式用户场景[6]。交互技术是元宇宙的重要技术支撑,通过 AR、VR 和可交互浮空成像等交互技术进行深度的人机交互,为元宇宙提供与现实世界的接口以及沉浸式虚拟现实体验。

浮空成像技术原理是物体无需任何物理介质,只需通过负折射材料,即可在空中形成肉眼清晰可见的立体实像。浮空成像具有以下特点:

无实体支撑:图像可在无物理屏幕的空气中呈现,观察者可直接观察悬浮在空中的图像。

可交互性:浮空成像可集成各类传感器,使其具备用户与悬浮的屏幕进行互动的功能。其可通过手势识别、接触感应或其他方式实现人机交互。

可视角度限制:浮空成像对观察角度有一定的限制,观察者需要位于设备指定的位置或角度才可获取完整清晰的浮空图像。

1.2 浮空成像技术的发展历程

1947 年是浮空投影技术的概念阶段,匈牙利科学家 Dennis Gabor 首次提出了全息投影的概念,全息投影的发展奠定了浮空成像技术的理论基础。1962 年是浮空投影技术的初级阶段,美国 Leith 和 Upatnieks 发明了离轴全息显示技术和反射全息显示技术[7]。1969 年是浮空投影技术的发展阶段,科学家 Benton 发明了彩虹全息浮空显示技术[8]。

20 世纪 90 年代后,研究人员使用光场显示技术、声波投影技术和激光干涉技术等新方法来实现浮空成像。2007 年,日本科学家福田博之等开发了虚拟空气触摸界面系统[9]。2008 年,Sakamoto K 等科学家提出浮空触摸界面[10]。2010 年,日本东京大学科学家 Takayuki Hoshi 等人对交互式全息技术中的触觉反馈技术做了有效改进,实现了画面的空间连续旋转且不会短时间消失[11]。2013 年,Jian-Chiun Liou 等科学家提出交互式虚拟触摸浮动显示模块[12]。当前,浮空成像技术仍在不断研究和发展之中。

1.3　浮空成像技术的国内外现状

2016 年,日本独立行政法人资讯通信研究机构(NICT)发布了小型漂浮触控面板技术,用户可利用手指触控的方式操作呈现在空中的平面影像。2017 年,日本科学家 Masahiro Yamaguchi 发明了全视差全息光场 3D 显示器和交互式 3D 触摸,使得用户触摸漂浮在空中的 3D 真实图像[13]。随后日本 Asukanet 公司研发了可以使屏幕透过玻璃平板形成浮空成像的产品 Aska 3D,该玻璃平板使用了垂直的镜子并通过显示器反射图像从而映射逼真的影像和物体。改变倾斜度,可提高远距离影像和物体的逼真度和清晰度,投影在空中的影像和物体均为实像。2017 年,安徽东超科技有限公司的发明了 DCT-Plate 等效负折射率平板透镜,无需通过任何承载介质将画面直接呈现在空气,结合双目摄像头等辅助装置,可实现人与浮空“屏幕”的直接交互。

2019 年北京邮电大学设计实现量悬浮显示的手势交互系统,为悬浮显示实现了手势交互系统,该系统提供了一种自然的人机交互方式[14]。2022 年,北京航空航天大学王琼华教授团队开发出一套悬浮真 3D 显示实时交互系统,可实现对多个悬浮 3D 图像的独立交互[15]。2022 年伦敦大学研究团队开发利基于粒子的悬空交互式 3D 图像,不需要带眼镜即可观看悬浮屏幕[16]。2022 年,东京 6 家 7-ELEVEN 展开空中触控幕收屏款机试验服务,非接触式服务也有效避免了人体携带病毒的交叉传播。

2　可交互式浮空成像技术的实现

基于负折射材料的可交互浮空投影设备主要包括计算机、负折射率玻璃材料、传感器、显示器等。

2.1　负折射材料

负折射率材料(Negative index materials)是指材料的介电常数或磁导率(Permeability)为负从而具有负的折射率。

2.1.1 负折射率材料的发展

1968 年,苏联科学家 Victor Veselago 通过对电磁波在材料中的传播性质进行理论分析过程中,预测了负折射率材料潜在的应用价值[17]。20 世纪末和 21 世纪初,美国加州大学圣迭戈分校的科学家们首次成功地制备了工作在微波频段的负折射材料。

2001 年美国著名刊物《Science》首次发表了负折射相关论文[18]。2003 年,爱德华州立大学的 Foteinopoulou 发布了介质为光子晶体的相关负折射理论的仿真研究结果[19]。

2012 年,科学家们成功地实现了在可见光范围内的负折射现象,进一步推动了负折射材料的研究和应用。

2.1.2 负折射材料在无介质浮空成像技术中的应用

由于负折射材料具有透明的特性,巧用负折射材料的负折射原理,可实现“完美透镜”的效果[20]。如图 1 为入射图像通过负折射与正折射后光波传输方向,通过负折射后光线能汇聚到一点形成实像。

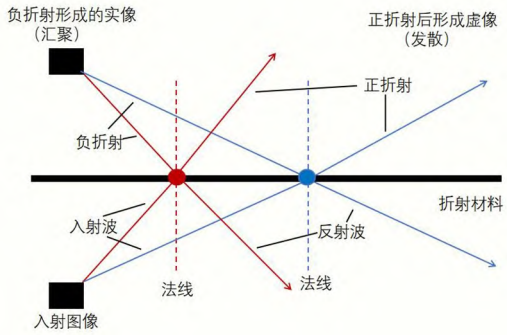

图 1　入射图像通过负折射与正折射后光波传输图

Fig. 1 Light wave transmission diagram of incident image after negative and positive refraction

无介质浮空投影技术是以光学微镜结构选用新型纳米级光学负折射材料——微通道矩阵光波导平板(Microchannel matrix optical waveguide plate,简称 MOW)为载体[21]。光学微镜的内部构造为微透镜阵列的组合,每一个微透镜均由二面角反射器(两个垂直的微反射镜组成)所构成,负折射材料面板如图 2 所示。

入射实像通过光路经过正交排列的两层透明材料的两次反射,从而在空中重新汇聚实现,能够反射点光源、线光源和面光源,在空中汇聚后仍是点光源、线光源和面光源,在“像空间”对称位置处形成与“物空间”物体完全镜像的实像,形成无介质浮空投影,可由人眼直接观看[22]。

2.2　人机交互传感器

人机交互是用户与浮空成像设备之间交换信息的过程,可交互浮空成像技术将屏幕上的实像投影

图 2 负折射材料面板

Fig. 2 Negative Refractive Material Panel

到空气中,交互系统实现人与空中实像的直接交互[23]。传感器是无介质浮空投影实现人机交互不可或缺的一环,可实现浮空投影区与接触区域的映射关系构建,并对触摸区域进行精准定位。

可交互式浮空成像技术中的交互分为感触交互和触觉反馈:

感触交互:利用传感器完成浮空实像(可触摸区域)与计算机的映射,通过计算机完成触摸定位功能。传感器可视为计算机输入系统,传感器会接收到光改变/热改变的信号,伴随着手指或任何小物体接触浮空画面,改变的信号被发射到信号接收器,通过主动阻尼降噪电路及方法将有用的信号留下并对触摸位置精确计算,从而得到手指或者小物体的坐标[24]。

触觉反馈:利用超声相控技术对手指或小物体的触摸力度进行反馈。该技术通过主控模块接受实时的聚焦坐标,经过计算机将处理过的驱动信号以及调试信号传输给驱动模块,经放大电路传输给计算机,完成实时驱动[25]。

2.2.1 红外列阵触摸传感器

红外列阵触摸传感器具有高扫描频率,低延迟和高精度,可在宽温度范围内工作,有不同长度的版本等优点,被广泛应用于触摸屏、交互式设备等。红外列阵触摸传感器由红外发射器、接收器以及关联支持电路组成,可集成在多种设备中,并支持多种系统。红外传感器通常排列构成矩阵并为设备提供高级别的功能,如检测触摸操作。红外阵列触摸传感器分为两种类型:0°类型,有效区域直接从传感器延伸;而 90° 类型,有效区域呈 90° 角从传感器延伸[25]。可同时实现垂直和水平集成,处于传感器有效感应区域内的物体影响多个“发射-接收”通道,该数据决定了物体的坐标。

红外阵列触摸传感器架构如图 3 所示[26]。手指/小物体接触红外阵列触摸传感器表面,被接触区域会阻挡部分红外激光束,使剩余部分红外线被传感器接收,转换为电信号,经过内部信号的处理与分析,确定触摸的位置,将数据反馈给计算机,实现触摸定位功能。

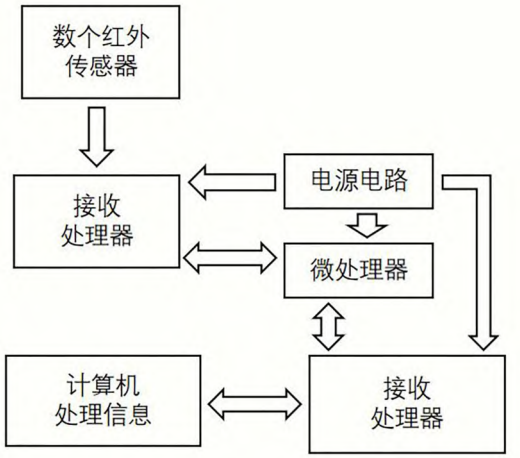

图 3 红外阵列触摸传感器架构

Fig. 3 Infrared array touch sensor architecture

2.2.2 视觉传感器

视觉传感器是由光学系统、图像传感器、映射和处理电路、接口和输出构成的用于获取和处理图像信息的传感器。其具有模拟人类视觉系统的功能,可感知环境中的光线变化并将其转化为数字信号以供计算机或其他设备进行分析和处理。

视觉传感器可以捕捉用户的手势动作并将其转化为计算机可以理解的数字信号。该技术广泛被应用于触摸屏、手势控制设备和虚拟现实交互系统中,使用户能够通过手势进行操作和控制。其中 3D 摄像头使用了“主动立体成像原理”,其模仿了人眼的“视差”效应。通过红外光,以左、右两路红外传感器对红外光进行感应追踪,并用三角定位原理计算得出 3D 图像中的信息。3D 摄像头获取手势图像后,通过计算机中的相应算法对手势进行预处理,进行手势与周围环境相分割,对手势特征进行提取,识别出对应的手势和位置,控制计算机进行编码,控制对应的功能,从而实现人机交互功能[27]。

人机交互中,可采用通信感知一体化信息交互技术。该技术是基于无线感知的无线通信系统,包括无线感知信号收发机和信息编码器两部分,其中信息编码器用来调控无线感知信号的回波,实现信息的读取,智能体与系统信息交互也可通过网络实现[28]。

2.3　基于负折射材料的可交互浮空成像技术

可交互浮空成像技术必须要满足扩展性强、精度高、扫描频率高和跨平台使用等功能需求。该技术能够让用户极其方便地使用手指在浮空成像的平面上进行操作。无介质可交互浮空成像技术实现简要流程如图 4 所示。

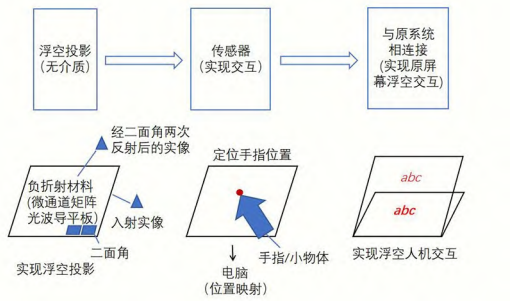

图 4　可交互浮空成像技术实现简要流程图

Fig. 4　Brief flowchart for implementing interactive floating imaging technology

3　浮空成像技术的应用

可交互浮空成像技术可应用在生活的方方面面,例如工业、教育、医疗等等,如图 5 所示。

图 5　无介质可交互浮空成像技术应用

Fig. 5　Application of Interactive Floating Imaging Technology Without Media

3.1　无接触电梯按键

2019 年,新冠疫情来势汹汹,密闭的电梯成为新冠病毒交叉感染的重点场所之一,普通的杀毒消菌方式无法从根源上解决问题[29]。浙江徕智家未来科技有限公司利用可交互式浮空成像技术研发制造了无接触式电梯按键系统,如图 6 所示。首先将按键投射到空中,通过手指触摸浮空按键向电梯发送信号。用户与电梯按键无需接触即可选择自己想去的楼层,有效切断了病毒通过电梯按键传播的途径。

图 6　电梯浮空交互按键图

Fig. 6　Elevator floating interaction button diagram

3.2　非接触式终端机

截止 2021 年,全国医疗机构数 103 万,城市轨道交通线路 272 条。全国机场数量达到 370 个,全国火车客运站 1805 个,汽车客运站 6391 个,上述场所是人口高度密集区域,也是病毒传播的有机土壤。由于数字化普及程度越来越高,自助购票机、自助挂号机随处可见。研究表明,新冠病毒可在塑料和玻璃上停留两小时至一周时间。浙江徕智家未来科技有限公司研发的非接触式医疗自助机终端,如图 7(a)所示,搭载浙江徕智家未来科技有限公司可交互显示屏技术,提供全新的空中成像人机交互方式,让用户在无接触实物的情况下,便能完成挂号、预约和缴费等多功能自助服务,而在使用逻辑上沿用传统自助机的操作逻辑,操作简单。

3.3　智能演讲台

可交互且具有浮空投影技术的智能演讲台如图 7(b)所示,该设备可以集成演讲准备和管理工具,如幻灯片编辑、演讲稿管理和时间管理等,可提供更丰富和更交互的演讲体验。演讲者可以动动手指即可在演讲台上直接编辑和管理演讲材料,帮助演讲者实现脱稿演讲。另外,基于负折射材料的可交互式浮空成像原理决定了呈现在空中的演讲稿只有演

讲者本人清晰可见,其他角度很难看清。

图 7 (a)非接触式终端机 (b)智能演讲台

Fig. 7 (a) Non-contact terminal (b) Intelligent speech platform

4 总结与展望

本文介绍了可交互式浮空成像技术的发展历程与现状。可交互式浮空成像技术的两大支柱为浮空投影技术和人机交互技术。基于负折射材料的浮空成像技术依赖于有许多二面角构成的负折射率材料——微通道矩阵光波导平板,入射实像通过两次反射形成与入射实像相对应实像,悬浮在空气中。人机交互技术利用传感器模块来实现,通过传感器与计算机的连接,来完成触摸的定位及交互功能。

浮空成像技术本身具备的非接触、可交互的特性,可有效解决细菌病毒通过屏幕传播的可能性,在医疗、教育和交通等诸多领域将会有越来越广阔的应用前景。娱乐领域,浮空成像技术可用于创造沉浸式浮空现实体验。教育领域,浮空成像技术可用于创造生动的教学场景,让学生更加主动地参与学习。娱乐领域,浮空成像技术可用于新模式的产品展示或提供交互式广告体验。

由于可交互式浮空成像技术需集成多个不同领域的技术,如光学投影、显示技术和人机交互等,亟需解决光学系统的稳定性、图像的清晰度和逼真度、位置的精准感知、交互的准确性、响应的实时性等问题,具有相当的难度和挑战。在现实生活中,用户对于成像的要求越来越高,需要挑选高亮度和高分辨率的屏幕,给用户营造更加舒适的体验环境。投影距离的限制、可见角度的限制等问题也亟需解决。

对用户的触摸进行准确识别并产生实时响应,对于传感器技术和算法的要求也越来越高。识别 3D 表面来自各个方向的动态/静态多次触摸的可变形软触觉传感器仍然是巨大的技术挑战。由于目前的微通道矩阵光波导平板十分的昂贵,限制了浮空成像技术在生活中大规模应用,降低成本是实现基于负折射材料的可交互浮空成像普及化的重要挑战之一。

可交互浮空成像技术目前还存在分辨率低,颜色和对比度性能相对较差,对环境依赖性强和成本高等问题。国内外的研究团队正在攻克中,随着性能的不断提高,可交互浮空成像技术将会得到越来越广泛的应用。

参考文献:

[1]中共中央国务院印发《数字中国建设整体布局规划》[J]. 新理财,2023(04):18.

[2]李贝,赵伟,胡煜华,等. 无介质浮空成像技术在移动通信中的应用[J]. 中国科技信息,2022(13):75-77.

[3]毕马威. 元宇宙十大应用场景展望[J]. 软件和集成电路,2022(05):38-42.

[4]Hang Wang, Huansheng Ning, Yujia Lin, et al. A Survey on the Metaverse: The state-of-the-art, technologies, applications, and challenges[J]. IEEE Internet of Things Journal. 2023, 10(16):14671-14688.

[5]Xinrong Huang. The technological essence and philosophical significance of the Metaverse[J]. Metaverse, 2021, 2(2):10.

[6]Sang-Min Park, Young-Gab Kim. A Metaverse: Taxonomy, Components, Applications, and Open Challenges[J]. IEEE Access, 2022, (10):4209-4251.

[7]Emmett N, Leith, Juris Upatnieks. Reconstructed wavefronts and communication theory[J]. Journal of the Optical Society of America, 1962, 52(10):1123-1130.

[8]Bartolini R, Hannan W, Karlsons D, et al. Embossed hologram motion pictures for television playback[J]. Applied Optics, 1970, 9(10):2283-2290.

[9]Hiroyuki Fukuda, Hiroyuki Morimoto, Kunio Sakamoto. Development of air touch interface for floating 3D image in the air[C]. Society of Photo-optical Instrumentation Engineers. 2007, 6696:639-646.

[10]Kunio Sakamoto, Hiroyuki Morimoto. Air touch: New feeling touch-panel interface you don't need to touch using audio input[C]. Electronic Imaging and Multimedia Technology, 2007, 6833:423-430.

[11]Takayuki Hoshi, Masafumi Takahashi, Takayuki Iwamoto,

et al. Noncontact tactile display based on radiation pressure of airborne ultrasound[J]. IEEE Transactions on Haptics, 2010, 3(3):155-165.

[12] Jian-Chiun Liou, Chieh-Chung Hsu. Paper No P3: Floating display with interactive virtual touch module[C]. SID Symposium Digest of Technical Papers. 2013, 44:19-20.

[13] Masahiro Yamaguchi. Full-parallax holographic light-field 3-D displays and interactive 3-D touch[J]. Proceedings of the IEEE, 2017, 105(5):947-959.

[14] 陈英杰. 用于悬浮显示的手势交互系统设计与实现[D]. 北京邮电大学,2019.

[15] 林星雨,邢妍,张汉乐,等. 基于 Leap Motion 手势识别的悬浮真3D 显示实时交互系统[J]. 液晶与显示,2022,37(05):654-659+546.

[16] Ryuji Hirayama, Giorgos Christopoulos, Diego Martinez Plasencia, et al. High-speed acoustic holography with arbitrary scattering objects[J]. Science Adcances. 2022, 8(24):7614.

[17] 张伶伶. 含负折射通道波导阵列非线性光学特性的研究[D]. 湖南大学,2019.

[18] 于隽雅. 两种新型负折射材料的设计[D]. 山西大学,2016.

[19] Shelby R A, Smith D R, Schultz S. Experimental verification of a negative index of refraction[J]. Science, 2001, 292(5514):77-79.

[20] 宋佳. 负折射率材料的研究概述及其应用进展[J]. 科技创新与应用,2018(13):180-181.

[21] 周世杰,李顶根. 基于卷积神经网络的大场景下车牌识别[J]. 计算机工程与设计,2020,41(09):2592-2596.

[22] Satoshi Maekawa, Kouichi Nitta, Osamu Matoba. Transmissive optical imaging device with micromirror array[J]. Three-dimensional TV, video, and display V. SPIE, 2006, 6392:130-137.

[23] 彭洋,汪孟杰. 基于卷积神经网络的车牌识别[J]. 科技与创新,2020(17):72-73.

[24] 贾庆伟. 一种主动阻尼降噪电路及方法[P]. 浙江省:CN105489232B, 2019-01-29.

[25] 刘光沛. 具有触觉反馈的无介质浮空投影交互系统实现[D]. 浙江理工大学,2022.

[26] 刘光沛,贺亚威,张兵. 无介质浮空投影交互系统的实现[J]. 智能计算机与应用,2021,11(05):119-123+128.

[27] 段凯强,苏媛媛,李可心,等. 视觉感知技术在人机交互小车控制中的应用研究[J]. 电子世界,2017(03):112-113.

[28] 潘成康,王爱玲,刘建军,等. 通信感知一体化信息交互技术[J]. 无线电通信技术, 2021, 47(06):718-723.

[29] 尹恒,刘庭勇,彭诗琦. 非接触电梯按键控制系统[J]. 信息技术与信息化,2022(03):32-35.