

文章编号: 2095-2163(2021)05-0119-06

中图分类号: TN27

文献标志码: B

无介质浮空投影交互系统的实现

刘光沛¹, 贺亚威², 张兵^{1,2}

(1 浙江理工大学 信息学院, 杭州 310000; 2 像航(上海)科技有限公司, 上海 200000)

摘要: 相较于传统的虚拟现实技术,无介质浮空投影是一种全新的视觉体验,用户可在没有任何介质的空气中,裸眼观看“真实存在”的影像。无介质浮空投影技术是基于光线在微镜矩阵结构中的二次反射,将物体投射到空中,形成无介质浮空投影。为满足无介质浮空投影人机交互,本文选用一种红外阵列触摸传感器,相较于传统虚拟现实的人机交互设备,红外阵列触摸传感器对环境光有较强的抗光性,其手势定位有更高的精度和准确度,能够实现精准快速定位,误差可低至毫米级别。本文通过 Unity 3D 设计浮空影像及交互事件,红外阵列触摸传感器可以实现对浮空投影的精准定位并可以完成点击、拖拽、缩放、旋转等基本手势的交互操作。

关键词: 无介质浮空投影; 人机交互; Unity 3D

Realization of non-medium floating image interactive system

LIU Guangpei¹, HE Yawei², ZHANG Bing^{1,2}

(1 Information Institute, Zhejiang Sci-Tech University, Hangzhou 310000, China;

2 Xianghang (Shanghai) Technology Co., Ltd., Shanghai 200000, China)

[Abstract] Compared with traditional virtual reality technology, mediumless floating projection is a brand new visual experience. Users can view "real existence" images in the air without any media with naked eyes. The technology of dielectric free float projection is based on the secondary reflection of light in the matrix structure of micro mirror, which projects the object into the air and forms the dielectric free float projection. Floated to meet no medium projection human-computer interaction, this paper chooses a touch sensor array infrared, compared with the traditional virtual reality interactive devices, infrared touch sensor array to ambient light has strong resistance to light, the gestures positioning has a higher precision and accuracy, can realize precise fast positioning, error can be as low as millimeter level. In this paper, the floating image and interactive events are designed by Unity 3D. The infrared array touch sensor can realize the precise positioning of the floating projection and complete the interactive operation of basic gestures such as click, drag, zoom and rotation.

[Key words] non-medium floating image; human-computer interaction; Unity 3D

0 引言

虚拟现实技术主要以信息技术为核心,可以将人们的视觉、听觉以及触觉等融为一体,形成一个沉浸交互式虚拟环境,用户在这个虚拟的三维环境中可以与物体展开交互,为用户带来更加真实的体验感。目前,较为人们熟知的 VR(Virtual Reality)、AR(Augmented Reality)以及全息技术都属于沉浸式虚拟环境技术,但其中 VR 需要头戴设备,AR 需要手机或眼镜,全息投影(虚像)无交互或交互性差等缺点。本文介绍一种新型的视觉体验技术——无介质浮空投影技术,该技术是基于光线在微镜矩阵结构中的二次反射,将物体投射到空中,形成浮空影投,用户可以在没有任何介质的空气中,裸眼观看“真

实存在”的影像。

人机交互是人与计算机之间交换信息的过程,为了在三维环境下实现人机交互,手势识别是关键,而手势识别设备是手势识别的基础^[1]。目前常用的手势识别设备有基于运动传感器的数据手套^[2]、基于高帧率单目摄像系统或高帧率双目摄像系统。数据手套通过运动传感器获取手势相关数据,其优点是准确,但是需要用户佩戴专业设备,适用范围窄、应用性差^[3],且成本较高。高帧率单目摄像系统或高帧率双目摄像系统是利用红外摄像头模拟人的双目视觉,实现手势的定位和识别。但由于在实际交互中,摄像头对环境光的抗光性较弱,对手部信息的形态学检测效果较差,不能保证在实际交互中可以精准响应用户的点击行为。因此,本文选用红

作者简介: 刘光沛(1995-),男,硕士研究生,主要研究方向:嵌入式与物联网技术;贺亚威(1992-),男,学士,高级工程师,主要研究方向:软件工程、新型多媒体数字交互与展示;张兵(1963-),女,博士,教授,主要研究方向:二维通信、无介质全息技术。

通讯作者: 张兵 Email: zhang@feixiangtec.com

收稿日期: 2020-12-28

外阵列触摸传感器,它能够在空气中形成红外光场区域模拟触摸区域,其抗光性能优越,用红外激光进行定位和手势识别,误差可低至毫米级,并且可以在多种系统中进行集成。

Unity 3D 是 Unity Technologies 公司开发的一款跨平台综合性专业游戏引擎^[1],可以应用在多种系统中,满足多种应用需求。

1 原理简介

1.1 无介质浮空投影技术原理

无介质浮空投影技术是一种新型的显示技术,该技术基于光线在微镜结构中的二次反射将物体投射到空中,形成浮空投影。光学微镜结构选用新型纳米级光学材料——微通道矩阵光波导平板 (Microchannel matrix optical waveguide plate, 简称 MOW)^[4],可以使入射图像的光线产生弯曲,使光线在光学成像元件中经过至少 2 次反射后,形成与入射图像对应的空中实像。折射角的条件要大于临界角,形成全反射。一次反射不能形成无介质浮空影像,所以需要二次反射才能形成稳定的、完全定位的空中实像。无介质浮空影像技术不需要任何介质,能够在不存在任何事物的空中出现正视的影像。成像过程如图 1 所示。

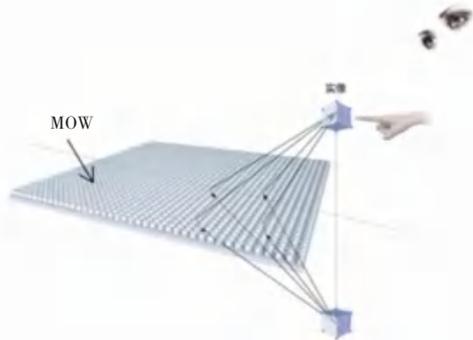


图 1 成像原理图

Fig. 1 Principle diagram of optical materials

1.2 红外阵列触摸传感器原理

红外阵列触摸传感器是一种基于红外激光的传感器模块,可以集成在多种设备中,并支持多种系统。传感器模块能够在任何表面甚至在空气中使用,不仅可以提供多种尺寸的触摸区域,并可以配置参数来选取触摸活动区域。传感器模块扫描频率高、延迟低,触摸精度可达到 0.1mm。

红外光波长范围在 750~1 000 nm 之间,是一种不可见光,但与可见光一样具有反射、折射、吸收等性质^[3]。红外阵列触摸传感器就是通过红外线漫

反射来检测和跟踪物体。该传感器模块包括一个光学系统,光学系统用于将红外发射器 (Emitter) 和红外接收器 (Receiver) 相结合,并形成多个发射器—接收器组合。每个发射器—接收器组合覆盖一个狭窄区域。一个物体出现在感应区域将影响几个发射—接收通道,通过计算物体重心定位物体坐标位置。该传感器模块处理器有检测和跟踪多个对象的能力,可以判断是否出现相对应的手势。例如,手指点击、拖拽、缩放、旋转等。

2 系统实现

2.1 系统总体架构

无介质浮空投影交互系统由红外阵列触摸传感器、主机系统、高亮显示器和光学微镜结构 MOW 板构成。总体架构如图 2 所示。

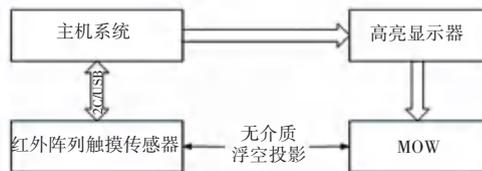


图 2 系统总体框图

Fig. 2 System overall block diagram

其中,红外阵列触摸传感器用来检测浮空投影交互位置信息,并通过 I2C/USB 完成与主机系统的通信;主机系统用来识别交互事件;高亮显示器用来提供像源;像源通过光学微镜结构 MOW 板在空气中形成无介质浮空投影。

2.2 红外阵列触摸传感器交互实现

红外阵列触摸传感器系统架构如图 3 所示。该系统包括主机系统、连接器、电源电路、微处理器、多点触控处理器、红外传感器阵列。主机系统通过与标准连接器连接电源电路。标准连接器的 8 个引脚可以适配多种主机系统,并且通过 USB 或 I2C 接口进行通信,完成数据传输。红外传感器阵列将检测到的原始数据发送给多点触控处理器,然后发送给微处理器进行数据处理,转换为位置坐标信息,最终发送给主机系统。



图 3 红外阵列触摸传感器系统框图

Fig. 3 Infrared array touch sensor system block diagram

为实现成像区域与触摸区域进行匹配实现交

互,触摸区域需要与显示区域一一映射。红外阵列传感器模块有自己对应的软件开发工具,可以通过 SDK(Software Development Kit)或 Arduinio 库配置参数,选择触摸区域范围、触摸区域方向及成像区域范围,并且可以配置坐标偏移量,来指定显示区域中触摸区域,满足用户多种需求。

2.3 Unity 3D 软件交互设计

本文通过 Unity 3D 系统平台开发设计浮空投影,并通过 C#脚本编程设计触发事件识别基本手势。基本手势包括:点击、拖拽、缩放、旋转手势。Unity 3D 采用事件函数驱动机制,其脚本是由事先声明好的事件函数组成。每一个 Unity 3D 脚本都会绑定到一个 Game Object(游戏对象)上,当这个 Game Object 在程序运行中被激活时,事件函数则开始运行,当这个 Game Object 被销毁时,相应的脚本也随之销毁。常用事件函数有:Awake()、Start()、Update()、Fixed Update()、On Enable()、On Disable()、On Destroy()等。Unity 3D 常用的 API(Application Programming Interface)接口是 Transform 类,用于描述和控制物体的三维或二维位置、旋转、缩放属性^[5]。本文通过调用 API 接口编写 C#脚本程序实现对 Game Object(游戏对象)的控制,完成 Unity 3D 交互软件实现。C#脚本程序流程如图 4 所示:

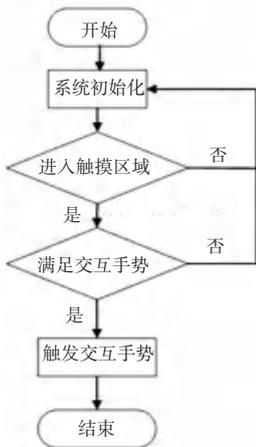


图 4 程序流程

Fig. 4 Program flow chart

2.4 无介质浮空投影系统

无介质浮空投影系统结构主件包括:主板、光学微镜结构 MOW 板、红外阵列触摸传感器、显示屏幕,如图 5 所示。显示屏幕在竖直方向成一定倾斜角度放置,光学微镜结构 MOW 板水平放置,红外阵列触摸传感器放置与浮空投影区域平行,使触摸区域与成像区域构成映射关系。

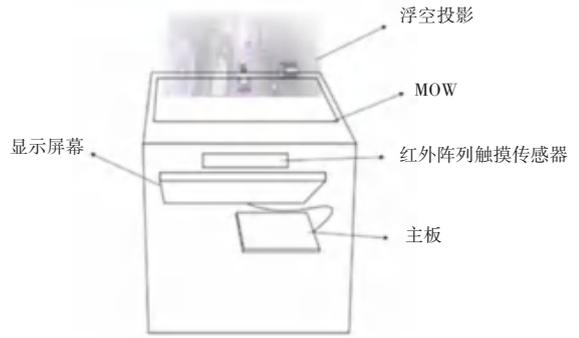


图 5 无介质浮空投影系统示意图

Fig. 5 Non-medium floating image system diagram

3 系统测试

3.1 静态定位测试

3.1.1 测试方法

测试方案选择 L 型测试板,左侧面板模拟显示区域和触摸区域,下表面放置红外阵列传感器,红外阵列触摸传感器与 PC 主机连接,如图 6 所示。设置显示区域范围与触摸区域范围完全映射(范围大小选择 320 * 192 和 300 * 200 mm),将显示区域单位划分(单位大小分别为 16 * 16 mm 和 10 * 10 mm)模拟浮空投影区域,分别选择直径为 16 mm 和 10 mm 单位圆柱测试棒,模拟不同大小手指。单位圆柱测试棒分别测量单位区域,将 PC 计算出的坐标信息进行统计分析。本次实验测试包括定位准确性、定位稳定性、移动误差。

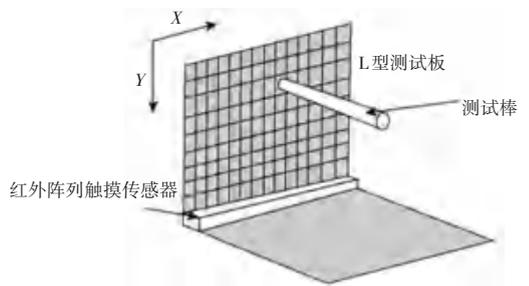


图 6 测试方法图

Fig. 6 Test method diagram

3.1.2 实验结果

3.1.2.1 定位准确性

测试区域范围分别为 320 * 192 mm 和 300 * 200 mm,单位测试区域范围为 16 * 16 mm(240 个区域)和 10 * 10 mm(600 个区域),共计 840 个区域。分别使用直径 16 mm 和 10 mm 的白色单位圆柱测试棒,对单位测试区域点击测试,统计 PC 计算坐标是否落在各区域,测试结果如图 7 所示。

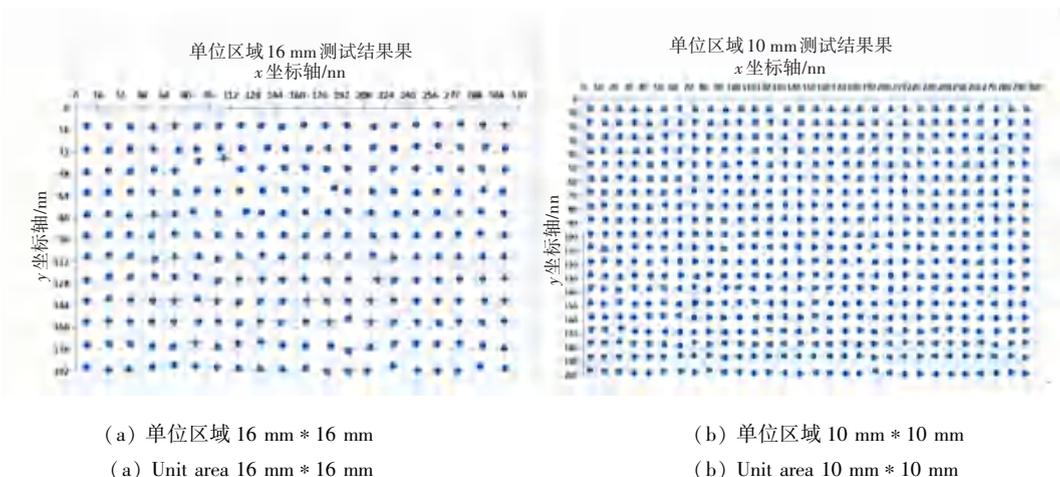


图7 单位区域点击测试结果图

Fig. 7 Unit area click test result graph

由测试结果可见,对于不同尺寸单位圆柱测试棒测试结果下,各测试坐标均落入单位区域,说明在人机交互中,不同尺寸的手指可以实现对浮空投影精准定位。

3.1.2.2 定位稳定性

测试区域范围为 $320 * 192$ mm 和 $300 * 200$ mm,单位测试区域范围为 $16 * 16$ mm 和 $10 * 10$ mm。分别对测试区域左上、左下、右上、右下、中心

多次测量,统计 PC 坐标数据,计算坐标均值 μ , 95% 置信区间 $\mu \pm 2\sigma$ 。测试结果见表 1 及表 2。

由测试结果可以看出,对于不同尺寸单位圆柱测试棒测试结果,各单位区域坐标 95% 置信区间幅度范围在 2 mm 内,且均落在单位区域范围内,证明在人机交互中,不同尺寸手指可以保证对浮空投影稳定定位。

表1 单位区域 $16 * 16$ mm 各点坐标波动表Tab. 1 Unit area $16 * 16$ mm coordinate fluctuation table of each point

测试区域	区域边界 (x,y) (mm)	坐标 x 平均值(mm)	坐标 x 置信区间 $\mu \pm 2\sigma$	坐标 y 平均值(mm)	坐标 y 置信区间 $\mu \pm 2\sigma$
左上	(16,16)	9.02	9.02 ± 1.04	12.87	12.87 ± 1.12
左下	(16,192)	8.62	8.62 ± 1.0	187.7	187.7 ± 1.4
右上	(320,16)	310.05	310.05 ± 1.14	13.05	13.05 ± 1.01
右下	(320,192)	310.33	310.33 ± 1.2	188.22	188.22 ± 1.0
中间	(160,96)	152.33	152.33 ± 1.04	92.94	92.94 ± 1.4

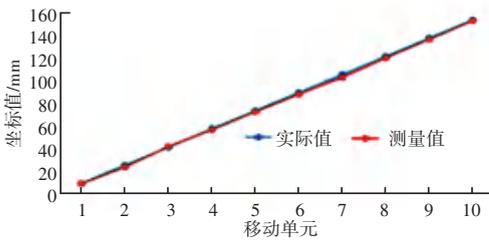
表2 单位区域 $10 * 10$ mm 各点坐标波动表Tab. 2 Unit area $10 * 10$ mm coordinate fluctuation table of each point

测试区域	区域边界 (x,y) (mm)	坐标 x 平均值(mm)	坐标 x 置信区间 $\mu \pm 2\sigma$	坐标 y 平均值(mm)	坐标 y 置信区间 $\mu \pm 2\sigma$
左上	(10,10)	5.9	5.9 ± 1.64	7.34	7.34 ± 1.22
左下	(10,200)	5.59	5.59 ± 1.3	197.07	197.07 ± 1.34
右上	(300,10)	295.58	295.58 ± 1.06	6.81	6.81 ± 1.64
右下	(300,200)	295.57	295.57 ± 1.56	196.82	196.82 ± 1.66
中间	(150,100)	146.42	146.42 ± 1.2	96.93	96.93 ± 1.62

3.1.2.3 移动误差

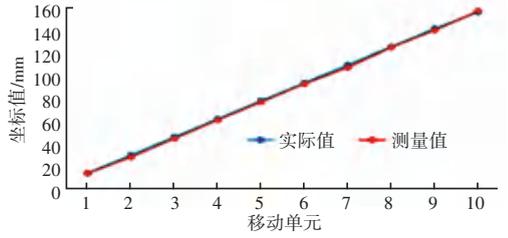
测试区域范围分别为 $320 * 192$ mm 和 $300 * 200$ mm,单位测试区域范围分别为 $16 * 16$ mm 和 10

$* 10$ mm。以左上角为起始点,连续向右或向下移动 10 个单位区域,分别记录移动坐标测量值,与实际值进行比较。测试结果如图 8 所示。



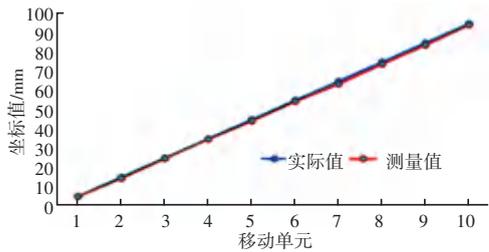
(a) x 方向单位移动 16 mm

(a) Unit move 16mm in the X direction



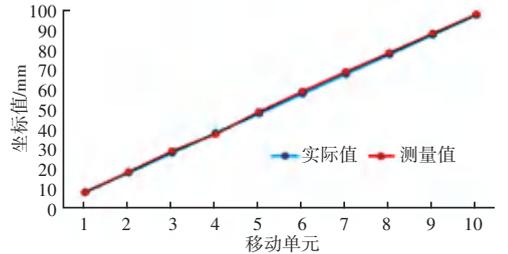
(b) y 方向单位移动 16 mm

(b) Unit move 16 mm in the Y direction



(c) x 方向单位移动 10 mm

(c) Unit move 10 mm in the X direction



(d) y 方向单位移动 10 mm

(d) Unit move 10 mm in the Y direction

图 8 单位移动对比图

Fig. 8 Unit movement comparison chart

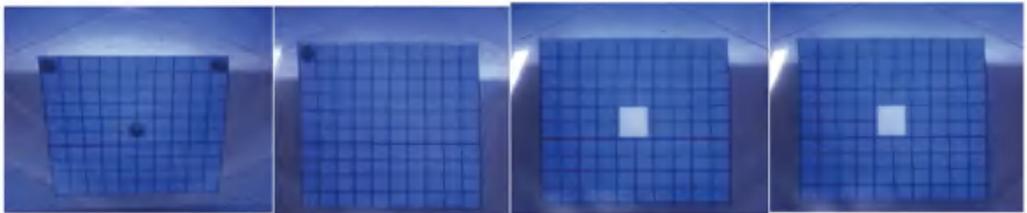
由测试结果可以看出,在不同尺寸单位圆柱测试棒测试下,测量折线与实际折线几乎重合,移动误差在 1 mm 左右。说明在人机交互中,不同尺寸手指对浮空投影进行移动操作时可以实时准确控制。

3.2 动态交互测试

采用 Unity 3D 设计 10 * 10 mm 测试背景板及相关模型,在浮空投影区域完成对模型的基本手势

操作。图 9 为初始模型未执行手势操作,浮空投影的基本手势交互结果如图 10 所示。

其中,图 10(a)中点击模型后模型有“爆炸”特效;图 10(b)中移动手势完成模型向右移动;图 10(c)、(d)中缩放手势完成模型的放大与缩小;图 10(e)中旋转手势完成模型的旋转。



(a) 未点击
(a) Not clicked

(b) 未移动
(b) Not moved

(c) 未缩放
(c) Not scaled

(d) 未旋转
(d) Not rotated

图 9 初始模型图

Fig. 9 Initial model diagram



(a) 点击
(a) Click

(b) 移动
(b) Move

(c) 放大
(c) Zoom in

(d) 缩小
(d) Shrink

(e) 旋转
(e) Rotate

图 10 浮空投影手势交互结果图

Fig. 10 Gesture interaction result chart of floating image