

基于 Leap Motion 的人机交互研究现状 探索及实践

高润泽¹, 陈庆澳¹, 陈含笑¹, 高娃²

(1. 哈尔滨工业大学航天学院, 黑龙江哈尔滨 150001; 2. 南京林业大学家具与工业设计学院, 江苏南京 210037)

摘 要: 随着交互设计及其技术的不断发展, 体感交互已成为人机交互的重要方向之一。Leap Motion 作为新型体感控制器, 因其高精度、灵活度等优势在人机交互研究中被广泛关注。本文对 Leap Motion 的基本概况和特点、研究现状等进行阐述, 并通过手势跟踪机械臂案例详述基于 Leap Motion 和 Arduino 开发平台的机械臂非接触式人机交互实现流程, 使读者可以初步掌握通过 Leap Motion 体感控制器实现人机交互的基本能力, 为交互设计师进行体感交互设计方案开发提供支撑。

关键词: Leap Motion; 人机交互; 非接触交互; 机械臂

中图分类号: TB472 文献标识码: A 文章编号:

Study and Practice on Human-Computer Interaction based on Leap Motion

GAO Runze¹, CHEN Qingao¹, CHEN Hanxiao¹, GAO Wa²

(1. Harbin Institute of Technology, School of Astronautics, Harbin 150001, Heilongjiang, China;

2. College of Furniture and Industrial Design, Nanjing Forestry University, Nanjing 210037, Jiangsu, China)

Abstract: With the development of interaction design and its corresponding technology, Embodied and tangible interaction has become one of the most important parts of human-computer interaction. As a new type controller, the Leap Motion is widely concerned for its high accuracy and flexibility. This paper starts with the characteristics of the Leap Motion and illustrates the research situation in details, and then uses and then uses the robot arm tracking by users' hand and arm as a research example to describe the implementation flow based on Leap Motion and Arduino, by which can help designers to acquire the skill of leap motion and support the development of creative programs.

Key words: Leap Motion; human-computer interaction; non-contact interaction; robot arm

¹ 基金项目: 黑龙江省大学生创新创业训练计划项目《基于 Arduino 的手势跟踪智能机械臂》

作者简介: 高润泽 (男, 1999-), 陈含笑 (女, 2000-), 黑龙江哈尔滨, 哈尔滨工业大学, 本科生, 主要研究方向为自动化。E-mail: 1216413611@qq.com, 2365258415@qq.com。

交互设计（Interaction Design）是人机交互（Human - Computer Interaction, HCI）领域的重要研究方向之一，主要聚焦于用户与机器之间的关系。近年来，随着计算机、传感器等技术驱动型产品的不断迭代和创新，人与技术的关系逐渐演变，从“人适应技术”、“技术适应人”到“人与技术的和谐”。在此过程中，交互设计及其技术不断为人机交互中满足用户需求、创新用户体验提供新的思路 and 方向，如手持交互、语音交互、触觉交互、多通道交互等，这些交互模式也逐渐在研究人员的不断探索中被应用在家居、家具等产品中^[1, 2]。体感交互就是伴随着技术发展而成为现实的交互模式之一。

Leap Motion 是由面向 MAC 以及 PC 的体感控制器制造公司 Leap 在 2013 年开发的体感控制器，具有高精度、高灵活性、操作简单、外型轻巧等特点。它能够追踪人手部的移动，追踪速度超过 200 帧/秒。作为当下较流行的、新颖且轻巧的体感控制器，为当前智能家居、智能化家具、老年人产品设计、公共空间环境产品设计等领域中越来越高的智能化、沉浸感等要求提供了更加易学和易理解的交互模式^[3-5]。

由于 Leap Motion 的新颖性和交互便捷性，当前它在交互设计领域中的应用非常具有探索意义。本文主要通过对 Leap Motion 概况和特点、研究应用现状、以及具体实例探讨 Leap Motion 在人机交互中的应用，其目的主要是为交互设计师提供 Leap Motion 应用参考，为开发体感交互设计原型提供科学支撑。

1 Leap Motion 概况

Leap Motion，中文名“历动”，是能够与键盘、鼠标、触控板等工具协同工作，为用户肢体运动提供计算机追踪控制的体感控制器，如图 1 a) 所示。自从问世以来，它被应用于游戏、教育、交互艺术等多个领域。它能够通过灰阶相机和红外 LED 采集用户手臂、手指等部位数据并进行跟踪，获得用户在物理环境中的运动姿态，并将姿态信息作为计算机系统的输入。Leap Motion 能够一次性感知被测肢体的所有像素，而后根据预置算法计算这些像素数据实现三维模型的实时输出，从而精确的在计算机上展示肢体运动情况^[6]。在计算过程中，Leap Motion 采用右笛卡尔坐标系，其中心为坐标原点， x 轴平行设备的长侧面， y 轴竖直向上， z 轴平行设备的短侧面， $x-z$ 平面平行于水平面，如图 1 b) 所示^[7]。

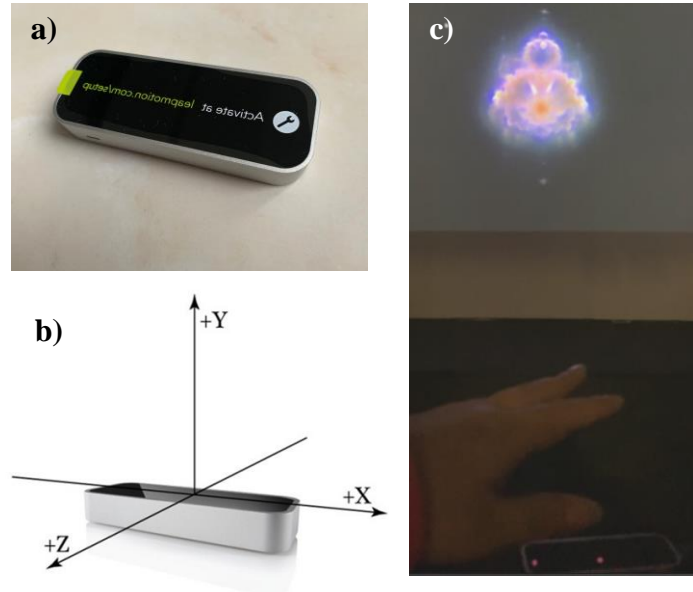


图 1 a) Leap Motion 三代体感控制器 b) Leap Motion 坐标系 c) 《Embodied Sonic Meditation – Artwork 3》作品展示

Fig.1 a) The third generation of Leap Motion b) The coordinate system of Leap Motion c) The illustration of 《Embodied Sonic Meditation – Artwork 3》

当 Leap Motion 检测到其内置灰阶相机视野范围内的手臂或手指等对象时，会给予每帧 Frame 对象一系列基本数据信息，包括手指的长度、数量、方向、运动位置、姿态等。这些信息能够描述对象动作的属性。Leap Motion 第三代体感控制器的识别范围约 $60\text{ cm} \times 60\text{ cm} \times 60\text{ cm}$ ，精度为 0.01 mm ，这使得 Leap Motion 主要应用在近距离的、非触摸式的交互领域。例如，在 2019 年中国国家博物馆的《人工智能时代的艺术与科学融合》展览中，武嘉悦等《Embodied Sonic Meditation – Artwork 3》作品中采用了 Leap Motion 实现非接触式控制，通过变化的手势产生各种声音和视觉效果，如图 1 c) 所示。

2 Leap Motion 应用现状

Leap Motion 体感控制器的内置灰度相机、红外 LED、预置算法等为快速、便捷、灵活的实现物理环境中的非接触交互提供了技术支持。自发布以来，研究人员对它的功能、特性与应用领域等不断进行探索。下文主要从人机交互及设计应用、工业领域应用两方面进行现状分析。

2.1 在人机交互及设计领域的应用现状

由于 Leap Motion 能够实时捕捉可测距离范围内的图像信息，这为无接触交互提供了可实现性。2015 年，林书坦等人利用 Leap Motion 检测用户手部模型并提出将数字一到数字九的数字手势识别算法，为人机无接触交互设计提供了设计思路^[8]。2016 年杨璨等人同样采用 Leap Motion 设备捕捉用户手势信息，实现了它在自然交互界面中环绕声声像系统中的应用^[7]。2019 年金童等人针对中小学生和外国友人汉字学习时的枯燥感，采用 Leap Motion 进行空中手势轨迹捕捉，构建了具备空中书写和正确笔画顺序演示功能的汉字书写和识别系统^[9]。同年，李菲菲基于 Unity 3D 构建健身房的虚拟交互应用场景，并结合 Leap Motion 构建虚拟

健身房交互框架、不同手势和虚拟健身房内目标物体的交互演示,使得虚拟健身房的交互体验更加逼真有趣^[10]。2020 年林莹莹等人针对陶瓷制作条件严苛和局限性问题,采用 Leap Motion 开发了能够使用裸手交互的、具有良好沉浸感的虚拟现实陶艺体验系统^[11]。

结合上述研究可见,Leap Motion 通过对手势等对象的数据感知和采集,能够帮助研究人员实现各种自定义的开发和设计,使得体感交互更加简单便捷,为用户在教育学习、家居生活、非物质文化展示等多个方面提供了新颖有趣的人机交互体验。与此同时,结合以用户为中心的设计、以目标为导向的设计等交互设计方法构建基于 Leap Motion 的交互框架,通过用户日常习惯的手势动作实现智能化产品、交互艺术展示等无接触的物理交互,也能够有效的降低用户的认知负荷。

2.2 在工业领域的应用现状

Leap Motion 为用户提供了面向 C++、Java、Python 等程序语言的开发包,这使得它在工业领域也能够具有广阔的应用前景。2017 年孙志伟使用 Leap Motion 和六维力传感器构建多传感器系统进行 ABB 工业机器人数据采集和处理,实现了该机器人的轴孔装配作业^[12]。同年,陈畅等使用 Leap Motion 采集手部数据,并将手掌坐标映射到机器人手臂坐标系统中,搭建爱普生 SCARA 机器人自然手势示教实验平台,完成了用户手掌和机器人之间的非接触实时交互^[13]。2019 年杨星等为了解决高空取物问题提出将手势识别技术和无人机相结合,使用 Leap Motion 采集手势数据,基于 Python 和 Arduino 通过控制 PWM 来控制无人机飞行状态和机械爪的抓取^[14]。同年,溥睿采用 Leap Motion 设备,基于 Processing、Android 和 Arduino 通过手势识别和无线数据传输方式控制机器人的五自由度机械臂,提升了机器人的控制便捷性^[15]。

结合上述在工业领域的研究可发现,Leap Motion 能够帮助研究人员优化机器人等技术驱动型产品的控制方式,可以打破原本需要通过键盘、鼠标等可触交互设备控制的模式,使机器人、无人机等产品的控制方式更加简单易学。

3 基于 Leap Motion 的机械臂人机交互案例实践

通过机械臂人机交互实验直观展示 Leap Motion 优势,并详述基于 Leap Motion 的手部非接触交互开发设计流程,为相关从业人员提供实验参考。

3.1 机械臂设计及组装

机械臂采用 Arduino UNO 开发板,共计使用 UNO 板中 4 个数字 I/O 接口,分别用于连接 HiTec HS-422、HiTec HS-755HB、RadioShack Standard、HiTec HS-81 四种型号舵机,电路原理图如图 2 所示。这四个舵机分别作为机械臂的关节轴,对应机械臂的底座、肩部、肘部和效应器。机械臂底座采用 Solidworks 设计并进行 3D 打印,底座三维模型如图 3 所示,3D 打印底座如图 4 所示。该机械臂的组装部件及用途如表 1 所示。之后,利用木块、铝板、螺丝连接机械臂主体部件,组装后的机械臂如图 5 所示。

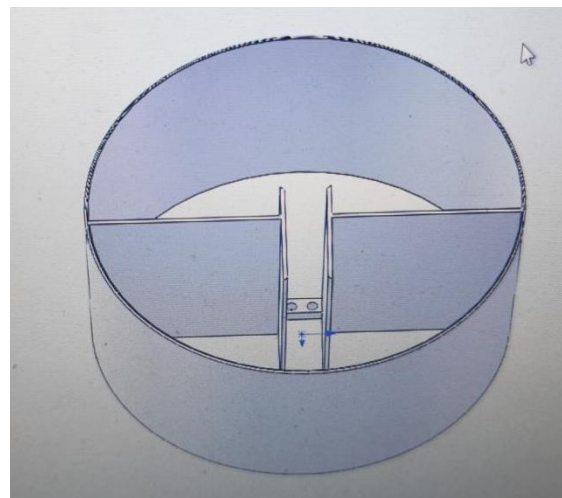
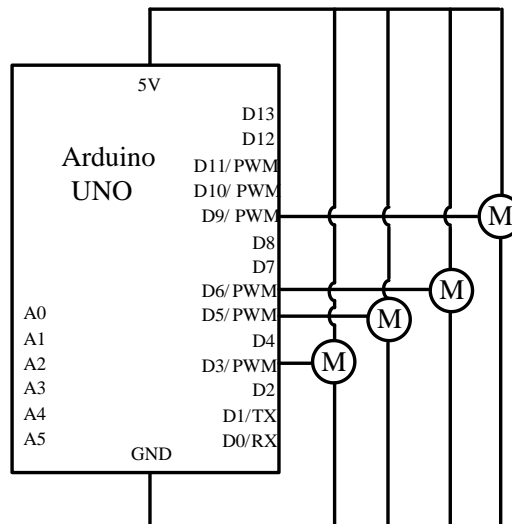


图 2 机械臂电路原理图

图 3 机械臂底座三维模型

Fig.2 The schematic diagram of the developed robot arm pedestal

Fig.3 The 3D model of the robot arm

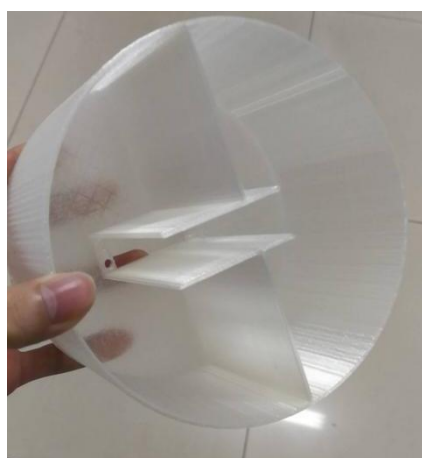


图 4 3D 打印的机械臂底座

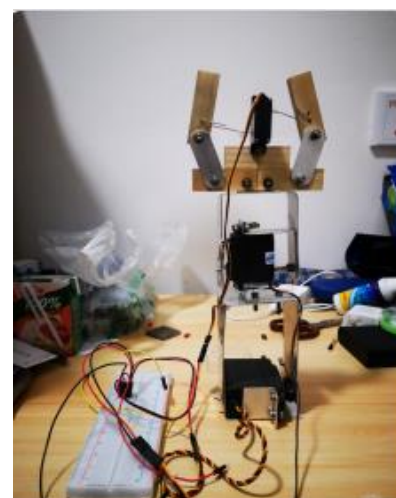


图 5 组装完成的机械臂

Fig.4 The 3D printed pedestal of robot arm

Fig.5 The developed robot arm

表 1 机械臂部件及用途

Table 1 The components and their corresponding purposes in the developed robot arm

部件	用途
HiTec HS-42 舵机	机械臂底座构造
HiTec HS-755HB 舵机	机械臂肩部构造
RDS3115 舵机	机械臂肘部构造
HiTec HS-81 舵机	末端执行器
Leap Motion	体感控制器
3D 打印底座	机械臂支撑底座

3.2 程序设计及位姿分析

为实现通过用户手臂姿态控制机械臂运动，程序设计的主要流程如图 6 所示。首先，使用 node.js、node.js 和 johnny-five 软件包，从 Leap Motion 捕捉用户手臂运动的三维数据信息。将用户手臂的初始位置和各个时刻的位置通过 Leap Motion 的坐标定位。机械臂底座旋转由手在 Leap Motion 的 x 坐标位置控制，机械臂末端执行器由两个手指之间的距离控制。机械臂的肩关节和肘关节的角度由手在 Leap Motion 的 y 和 z 坐标位置控制。而后将这些数据发送到 Arduino IDE 中，设置运动变量控制舵机旋转。

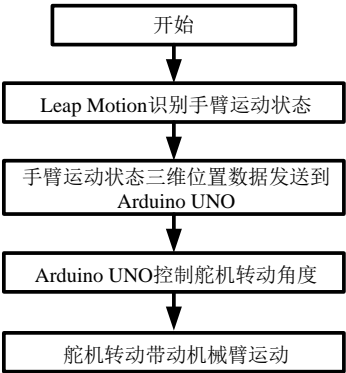


图 6 程序设计主要流程

Fig.6 The main flow of programming design

当用户手臂移动时，输入手在 Leap Motion 的 y 和 z 坐标，通过机械臂运动学逆方程即可计算机械臂肩关节相对于水平面的弯曲角度和机械臂肘关节相对于肩关节的弯曲角度。机械臂运动学逆方程公式为：

$$\begin{cases} \theta_1 = \arccos \frac{z^2 + y^2 - l_1^2 - l_2^2}{2l_1l_2} \\ \theta_2 = \arcsin \frac{(l_1 + l_2 \cos \theta_1)y - zl_2 \sin \theta_1}{l_1^2 + l_2^2 + 2l_1l_2 \cos \theta_1} \end{cases}$$

其中， θ_1 为机械臂肩关节相对于水平面的弯曲角度， θ_2 为机械臂肘关节相对于肩关节的弯曲角度， l_1 为机械臂肩关节到肘关节的距离， l_2 为机械臂肘关节到机械臂末端执行器的距离。

将机械臂末端执行器映射在 Leap Motion 中的 y 和 z 坐标转换成为肩关节和肘关节的相对弯曲角度 θ_1 和 θ_2 ，即可控制调整舵机的旋转角度与用户手臂的角度一致，从而通过用户手臂的运动来控制机械臂位姿变化。

3.3 交互效果及注意事项

经过上述程序设计，当用户手臂运动时，Leap Motion 捕捉的手臂数据映射在其三维坐标上，并在计算机上显示出用户手臂模型，如图 7 所示。该模型能够清晰展示用户手臂、手掌的各个主要关节位置。当手的位置发生变化时，Leap Motion 能够迅速捕捉动作变化，通过 Arduino UNO 控制机械臂底座、肩关节、肘关节和末端执行器运动。当手指之间距离发生变化时，机械臂的末端执行器能够实现开合变化，并且能够抓取物体，实现了机械臂与用户的实时非接触式交互。

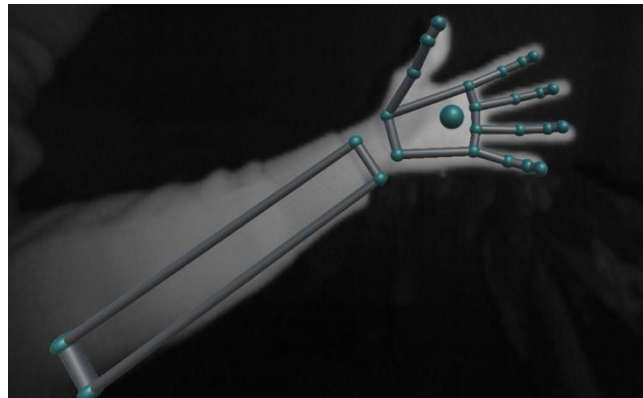


图 7 由 Leap Motion 捕捉的用户手臂、手掌模型

Fig.7 The captured model of user's arm and hand

在实验过程中, 需要注意两个问题, 分别为:

(1) 为使用 johnny-five, 在 Arduino IDE 中要注意转到“文件”>“示例”>“固件”>“Standard Firmata”后再上传。

(2) 由于不同型号的舵机具有不同的扭力限制, 再组装机械臂时需要注意使用的铝板、木块、螺丝等材料, 在控制材料成本的同时, 尽可能选择轻型材料, 这也有利于使用机械臂实现对物体的抓取。

4 结语

本文从 Leap Motion 基本情况和特点介绍入手, 而后分别阐述了该体感控制器在人机交互及设计与工业领域的应用现状, 最后通过自行组装的轻型机械臂人机交互实践案例对使用 Leap Motion 进行非接触式人机交互控制的过程进行了详细分析, 为交互设计从业人员使用 Leap Motion 提供了应用实践参考, 也为物理环境中体感交互设计提供具有可操作性的案例支撑。

参考文献:

- [1] 刘艳阳, 郁舒兰. 基于 APP 的蓝牙智能办公椅研究与设计[J]. 家具, 2019, 40 (05): 79-81.
- [2] 吴沛雯, 于娜. 基于增强现实技术的家具类 APP 研究[J]. 家具与室内装饰, 2018 (03): 98-99.
- [3] 张浩峰, 王玮. 浅析老年家具设计的发展趋势[J]. 家具, 2019, 40 (04): 42-45.
- [4] 边鋈, 于娜, 邱子宸. 智能化医用家具设计探究[J]. 艺术科技, 2019, 32 (05): 21-22.
- [5] 芦国桢, 金冬. 具有交互功能的办公健身家具设计研究[J]. 戏剧之家, 2019 (18): 119-121.
- [6] 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.
- [7] 杨璨, 童雷. 基于自然人机界面的全景声声像控制器中的手势识别技术[J]. 现代电影技术, 2016(05): 10-17.
- [8] 林书坦, 尹长青. 基于 LeapMotion 的数字手势识别[J]. 电脑知识与技术, 2015, 11 (35): 108-109.
- [9] 金童, 蒋玉茹, 邱伟. 基于 Leap Motion 的汉字空中书写及识别系统[J]. 电子技术与软件工程, 2019, (23): 47-49.
- [10] 李菲菲. 基于 Leap Motion 的手势交互及在虚拟场景中的应用研究[D]. 山东大学, 2019: 53-54.
- [11] 林莹莹, 蔡睿凡, 朱雨真等. 基于 Leap Motion 的虚拟现实陶艺体验系统[J]. 图学学报, 2020, 41 (01): 57-65.
- [12] 孙志伟. ABB 工业机器人网络集成控制系统研究[D]. 燕山大学, 2017: 63.
- [13] 陈畅, 陈亮, 周雪峰. 基于自然手势交互的工业机器人示教系统设计与实现[J]. 制造业自动化, 2018, 40 (02): 21-25.
- [14] 杨星, 陈淑敏, 马超等. 基于 Leap Motion 的可抓取无人机系统[J]. 测控技术, 2019, 38(06): 96-99+104.
- [15] 溥睿. 基于 Leap Motion 手势识别和 Android 平台的双臂机器人控制系统设计[D]. 云南大学, 2019: 63-64.