基于 Arduino 平台的交互原型设计研究

王晓慧，覃京燕，姜欣雨，路彦坤，李佶阳，王雨佳
（北京科技大学 机械工程学院，北京 100083）

摘要：目的 探索基于 Arduino 平台的交互原型设计和实现方法。**方法** 首先简要介绍交互原型设计和 Arduino 平台。然后总结基于 Arduino 平台的交互原型设计和实现的一般流程，是软硬件结合的全过程，依次为需求分析和用户分析、系统设计（包括设计原理分析、硬件部分设计和软件部分设计）、系统实现（包括硬件连接、软件编程和包装设计与制作）、系统评价和迭代。最后通过两个案例详细阐述该流程，这两个案例不同于传统智能产品，更强调环境感知的创新设计。其中，VR 交互手套采用低廉的硬件实现了三维空间鼠标，达到人与环境交互的目的；PM2.5 感知器不仅将空气中的 PM2.5 可视化，而且还能与用户互动。**结果** 总结了基于 Arduino 平台的交互原型设计的一般流程，通过两个案例将该流程细化实施。**结论** 鉴于 Arduino 低成本、开放性、与传感器连接容易等特点，适合交互原型的设计，这里总结设计和开发的软硬件全过程，使读者可以初步掌握基于 Arduino 平台进行交互原型设计的基本能力。

关键词：Arduino 平台；交互原型；虚拟现实；环境感知
中图分类号：TB472　　**文献标识码：**A　　**文章编号：**1001-3563(2018)06-0133-06
DOI：10.19554/j.cnki.1001-3563.2018.06.026

Interactive Prototypes Design Based on the Arduino Platform

WANG Xiao-hui, QIN Jing-yan, JIANG Xin-yu, LU Yan-kun, LI Ji-yang, WANG Yu-jia
(School of Mechanical Engineering, University of Science and Technology Beijing, Beijing 100083, China)

ABSTRACT: It aims to explore the design methods of the interactive prototypes based on the Arduino platform. First, a brief introduction to the Arduino platform and the interactive prototypes based on the Arduino platform is given. Then, from the perspective of the requirements analysis, system design and implementation of the interactive prototypes, the general process of the design and implementation for the interactive prototypes based on the Arduino platform is analyzed. Finally, we show two cases to discuss the general process in detail. The interactive glove based on virtual reality implements a mouse in the three-dimension space by using the low-cost hardwires. The PM2.5 perception device implements the PM2.5 visualization and the user interaction. It summarizes the general process of design for the interactive prototypes based on the Arduino platform. Two cases are adopted to discuss the process in detail. By the fast and inexpensive Arduino platform and a reasonable design process, designers can quickly and easily achieve the design of the interactive prototypes.

KEY WORDS: Arduino platform; interactive prototype; virtual reality; environmental perception

近年来，随着工业 4.0 的发展，越来越强调个性化产品，强调与用户和环境互动。如何快速开发这类产品的交互原型是亟待解决的问题。本文从交互原型的需求分析、系统设计、系统实现、系统评价和迭代的角度，阐述如何运用 Arduino 平台进行交互原型的快速开发和实现。

收稿日期：2017-11-30
基金项目：国家自然科学基金（61602033）；北京市科技计划项目（Z171100001217009）；北京市社会科学基金（16YTC027）
作者简介：王晓慧（1987—），女，山东人，北京科技大学机械工程学院博士生，主要从事计算机科学与设计学交叉、交互设计等方面的研究。
通信作者：覃京燕（1976—），女，四川人，博士，北京科技大学机械工程学院教授，主要研究方向为交互设计、信息设计、大数据的信息可视化、可持续设计、数字文化遗产、数字娱乐等。

1 研究现状

1.1 Arduino 平台简介

Arduino 是一款便捷灵活的开源电子原型平台，包含硬件（各种型号的 Arduino 开发板）和开发工具（Arduino IDE）[1]。Arduino 的程序开发是基于 C 语言的，并做了很多封装，方便读取传感器、控制 LED 灯和电机等输出设备[2]，同时网上有丰富的开源代码可供参考。所以 Arduino 平台易于实现通过各种各样的传感器（触摸传感器、压力传感器、红外距离传感器、红外热释传感器、加速度传感器、温度传感器等）来感知环境，通过控制 LED 灯、马达和其他的装置来反馈、影响环境，达到与环境互动的效果。鉴于其硬件廉价、小巧便于移动、软件开发容易上手的特点，Arduino 平台适用于交互原型的设计。

1.2 基于 Arduino 平台的交互原型设计

已有很多研究关注基于 Arduino 平台的交互原型设计，例如智能避障小车[3]，低成本毒液提取器[4]。付久强从交互特征与设计方法的角度研究了基于 Arduino 平台的智能硬件设计[5]。杨继志等人从技术的角度详细论述了 Arduino 平台的硬件模块（主控制板、输入模块和输出模块）、Arduino 平台与互联网通信的开发实现[6]。纪欣然介绍了一种基于 Arduino 开发环境的智能寻光小车设计方案[7]。缪璐璐和杨楠的学位论文从方法论的角度，详细阐述了基于 Arduino 平台开发交互式智能产品原型的研究[8—9]。在批量生产之前，先用 Arduino 平台实现，验证产品的可用性等方面性能，这样既节省时间，又节约成本。本文从交互原型的需求分析、系统设计、系统实现、系统评价和迭代的角度，探讨基于 Arduino 平台的交互原型设计的全流程，并且本文中实现的案例不同于传统智能产品，更强调环境感知的创新设计。

2 基于 Arduino 平台的交互原型设计的一般流程

基于 Arduino 平台的交互原型设计大致可以分为以下几个过程。

1）需求分析和用户分析。在进行产品设计之前，首先要做需求分析和用户分析。分析产品的目标用户是谁，目标用户的属性（年龄、接受交互方式的情况等，不同产品所需要分析的目标用户属性不同），目标用户直接影响产品设计的细节，例如老年人和年轻人对于交互方式的接收程度差异很大。针对目标用户进行详细的需求分析，输出通常是一份需求文档，是下面进行系统设计和实现的依据。

2）系统设计。系统设计包括分析设计原理、硬件部分设计和软件部分设计。设计原理的分析是从系统架构的角度出发，将需求细化，分析产品使用哪些硬件，采取什么算法来实现，输出通常是系统框图。硬件部分设计是根据需求中的功能点，确定产品实现过程中需要 Arduino 平台的哪一种型号的控制板、哪些传感器和输出设备。Arduino 平台的控制板包括很多种型号，不同的型号之间有一些功能上的差异。实现某个功能的传感器或输出设备可能有很多种。例如，超声波测距模块和红外测距模块都能实现测距的功能，但是有各自擅长的适用场合，因此，要根据需求找到所需要的硬件，了解具有相同功能的硬件之间的差异。此外，一个系统中会用到多种硬件，还要考虑这些硬件之间的兼容性和配合逻辑。软件部分设计是从整个系统的逻辑角度出发，编程实现系统所有可能的情况，输出是算法和代码。

3）系统实现。系统实现包括硬件连接、软件编程和包装设计与制作。因为系统集成了传感器、输出设备等硬件和机械结构，所以要考虑它们之间可能的冲突，提前做好解决方案。软件编程要考虑系统的效率和鲁棒性、代码的可扩展性和可读性等。系统的效率很大程度上取决于软件实现时算法的时间复杂度，尽可能设计时间复杂度低的算法。例如，系统中如果需要使用排序算法，那么一定要用时间复杂度为 $O(\mathrm{nlogn})$的快速排序，而不是复杂度为 $O(n^2)$的冒泡排序等其他排序算法。包装的设计和制作要考虑功能性、易操作性、美观性等因素。

4）系统评价和迭代。请一定数量的真实用户被试对系统进行测试评价，评价分为主观和客观两种。主观评价有 MOS 评分、用户访谈等方法，客观评价通常利用评测软件或者测量仪器（如眼动仪）对某些性能指标进行测量。接着，开发人员根据评价结果汇总对系统进行升级。升级后再测试评价，这样重复反馈的过程，即系统迭代，目的是逼近所需的产品原型。

3 基于 Arduino 平台的 VR 交互手套

3.1 需求分析和用户分析

随着虚拟现实（Virtual Reality，VR）游戏的发展，VR 游戏设备层出不穷，主要包括 VR 眼镜和 VR 头显两类。其中，VR 眼镜主要用于观看，交互方式极其有限。效果较好、使用广泛的 VR 头显有 HTC Vive，Oculus Rift 等。由于在虚拟现实场景中，传统鼠标、键盘的二维平面交互方式[10]已经不适用于三维空间，所以，要想提供丰富的交互方式，必须借助其他设备，见表 1。其中，Oculus Rift 配有标准的游戏手柄。HTC Vive 有两个手柄，可以实现选择、弹出菜单、360°移动等。HTC 还提供一款可以附着在实物上的 Vive 追踪器。例如，将其绑在高尔夫球杆上，

表 1　虚拟现实交互设备竞品分析

Tab.1 Analysis of virtual reality interactive equipment

设备名称	功能和特点	价格/元	外观
Oculus Touch	位置追踪；游戏振动；包括扳机、按键、握持键、菜单键	1199	
HTC Vive手柄	位置追踪；游戏振动；包括扳机、按键、握持键、菜单键	1099	
Vive追踪器	位置追踪	799	
数据手套	位置追踪；捕捉手部动作	不同厂家价格不同，平均在万元左右	

大大提升高尔夫游戏的体验。此外，还有数据手套，实时采集手部真实动作。

上述 VR 游戏交互设备功能各不相同，但是共同点是结构复杂、成本过高。这里开发一款价格低廉的 VR 交互手套，其功能是代替鼠标，增强游戏的代入感。该产品面向的用户群体是游戏爱好者，并且对游戏体验有着相对较高的要求，所以在设计时特别强调用户体验。

3.2　系统设计

首先，分析产品的功能是代替鼠标，鼠标主要有两大功能：移动和选择。鼠标的移动范围是二维平面，虚拟现实场景中的移动是三维空间，因此需要寻找一款能在三维空间中捕捉移动、并且价格低廉的传感器，综合考虑之后，这里选择三轴加速度传感器。鼠标的选择功能用按钮实现，简单价格低廉。

该原型中用到的硬件较少，因此硬件部分设计简单，难度在于软件部分设计，是提供良好用户体验的关键。VR 头显的显示要求极高，为了提供流畅的移动用户体验，这里将区间划分的非常详细，见图 1。参数设置是根据反复实验的结果设置的，充分满足流畅移动的用户体验。

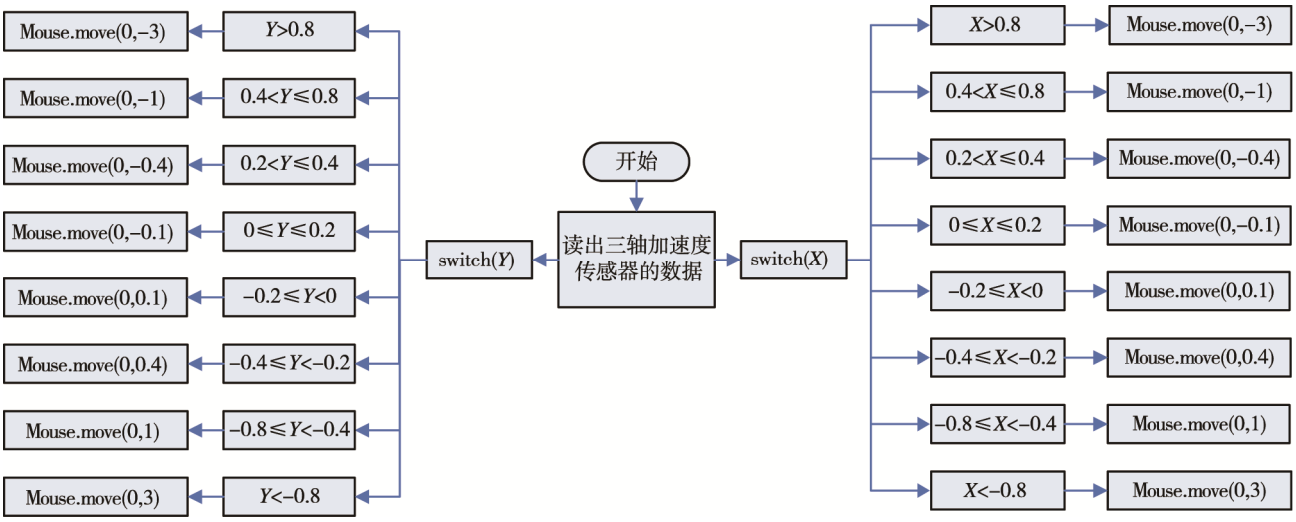


图 1　VR 交互手套的软件设计流程

Fig.1 Flow chart of the interactive glove based on virtual reality

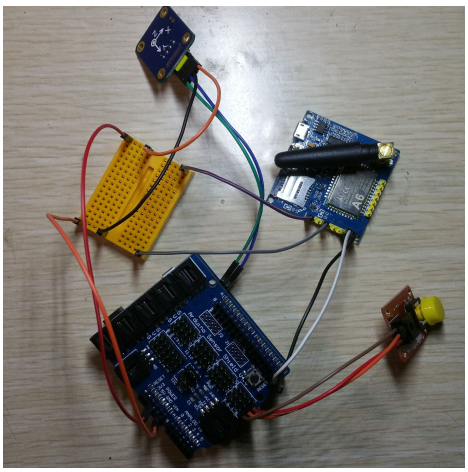
3.3 系统实现

VR 交互手套中用到的硬件包括 Arduino Leonardo 开发板、三轴加速度传感器和按钮。Arduino Leonardo 开发板共有 13 个数字引脚，用于连接传感器和输出设备。加速度传感器控制鼠标的移动，两个按钮分别实现鼠标左键和点击确定的功能。硬件成本加起来不到 50 元，硬件连线见图 2a。

包装设计采用极简的方式，直接将硬件固定在手套上。图 2b 显示的是实验时直接连接电脑在游戏场景中的使用，该设备特别适合配合不带有定位功能的低廉 VR 显示设备使用。由于用到的硬件较少，批量生产可以做到体积非常小，更加适合玩家佩带。

3.4 系统评价和迭代

在系统评价阶段主要采用用户访谈的方式，请游戏爱好者使用 VR 交互手套分别体验动作类、模拟类、角色扮演类等几款不同类型的游戏。就反应速度、使用体验等方面进行用户访谈，根据访谈结果修改系统，不断迭代得出了图 1 中的参数。



a 硬件连线

b 使用场景

图 2 VR 交互手套原型

Fig.2 The prototype of interactive glove based on virtual reality

4 PM2.5 感知器

4.1 需求分析和用户分析

PM2.5 感知器的设计初衷是将 PM2.5 这一虚拟的数字转化为可以引起人们直观感受的信息，虽然普通人对于雾霾是无能为力的，但是加入一种互动方式，使人能够“吹散”雾霾。使用该装置来传达一种理念，即使每个人的力量是有限的，只能解决一时之痛，但只要努力，就能够最终根治雾霾。

PM2.5 感知器面向的用户群体是关注环境，同时渴望改善环境的有社会责任感的人们，其特点是喜欢新鲜事物，因此在设计的时候尽可能加入新鲜的元素。

4.2 系统设计

PM2.5 感知器的设计原理见图 3。首先使用 LED 灯实现 PM2.5 数值的可视化。通过 PM2.5 传感器对于空气中的 PM2.5 进行测定，并根据不同的程度对 PM2.5 的值进行灯光颜色上的分级，分为白色（0~100），绿色（101~150），蓝色（151~200），黄色（201~300），红色（>300）。然后，在该系统中设计一个风车，当人吹动风车时，灯的颜色变为白色，表示雾霾被“吹散”。加入风车元素的设计正是满足用户猎奇的需求。由于 PM2.5 的程度不同，吹散雾霾后维持的时间也不同，例如雾霾最严重时是红灯，吹散后白灯持续的时间是 2.5 s；雾霾程度较轻时是绿灯，吹散后白灯持续的时间是 10 s。

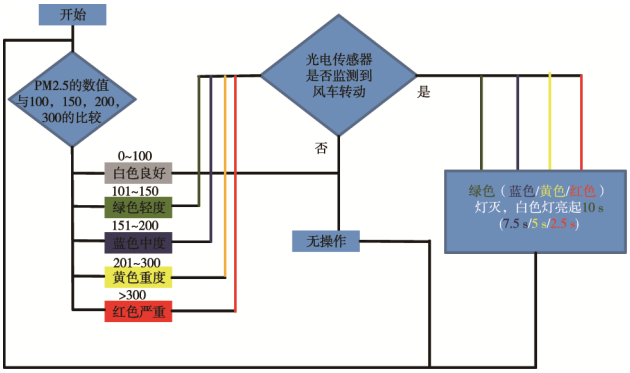


图 3 PM2.5 感知器的设计原理

Fig.3 Design principle of PM2.5 perception device

PM2.5 感知器中用到的硬件包括 Arduino Leonardo 开发板、PM2.5 传感器、红外光电传感器传感器、单色 LED。PM2.5 传感器测量空气中的 PM2.5，输出数值。红外光电传感器传感器用于判断风车是否被吹动。系统中使用白色、绿色、蓝色、黄色和红色 5 个单色 LED，也可以使用一个可以调节颜色的 LED。由于该系统中颜色变化的种类不多，所以使用 5 个单色 LED 更加节省成本。

软件部分设计是将上述设计原理代码实现。这里需要注意的是，PM2.5 传感器可以实时获取环境的

PM2.5 值，由于空气中 PM2.5 的变化不会很频繁，所以程序每隔 5 min 读取一次 PM2.5 传感器的值。然而，程序实时读取红外光电传感器传感器的值，因为风车随时都有可能被吹动。一个交互原型中可能会用到多种传感器，要根据需求和环境来确定传感器的使用方式，是软件实现时需要考虑的。

4.3　系统实现

PM2.5 感知器的包装制作过程见图 4。包装采用轻质木板作为外壳，便于悬挂在墙上，也可放置在门附近的柜子上。根据所面向用户的特点，指示灯被封装在水晶球中，并且在水晶球中设计了雕塑，这样灯光亮起时可以营造出一种美感，而不是将光秃秃的将 LED 灯暴露出来。PM2.5 感知器的最终结果见图 5。

4.4　系统评价和迭代

在系统评价阶段，观察用户使用该原型的过程，包括使用流程、用户表情等，使用后做用户访谈。系统中对灯的不同颜色所对应的 PM2.5 区间、“吹散”的持续时间等参数的确定、包装设计等都是不断迭代得到的结果。

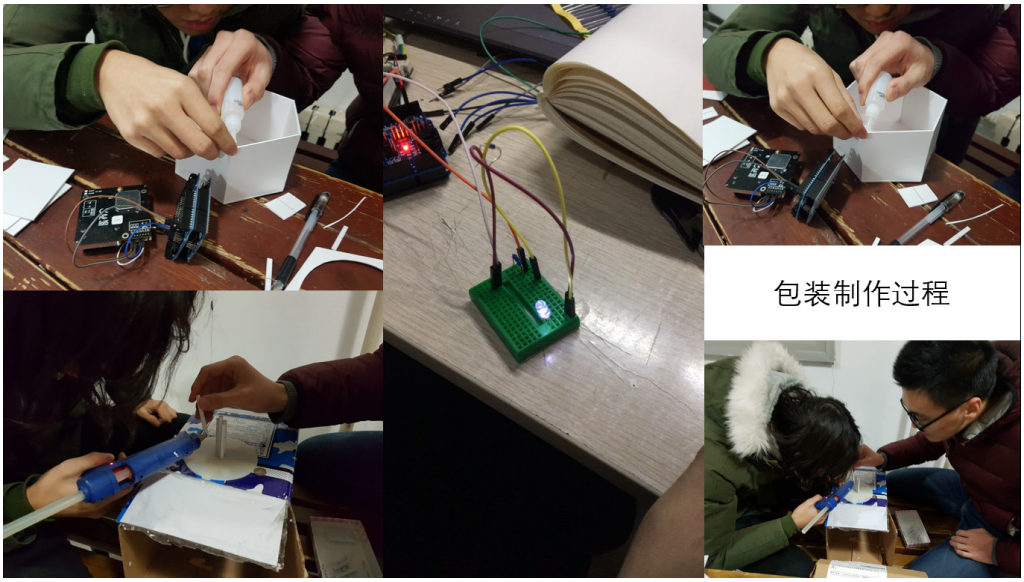


图 4　PM2.5 感知器的包装制作过程
Fig.4 Packaging production process of PM2.5 perception device

图 5　PM2.5 感知器交互原型
Fig.5 The interactive prototype of PM2.5 perception device

5 结语

本文首先简要介绍了交互原型设计和 Arduino 平台，说明 Arduino 这一开放、快捷、低廉的平台特别适合交互原型设计。然后从交互原型的需求分析、系统设计、系统实现、系统评价和迭代的角度，总结了基于 Arduino 平台进行交互原型设计和实现的一般流程，并通过 VR 交互手套和 PM2.5 感知器两个案例详细阐述该流程。这两个案例不同于传统智能产品，更强调环境感知的创新设计，强调与用户交互。Arduino 平台和合理的设计流程可以让设计师轻松快速地实现交互原型的设计。

参考文献：

[1] 班兹. 爱上 Arduino[M]. 于欣龙，郭浩赟，译. 北京: 人民邮电出版社, 2011.
MASSIMO B. Getting Started with Arduino[M]. YU Xin-long, GUO Hao-yun, Translate. Beijing: The People's Posts and Telecommunications Press, 2011.

[2] 蔡睿妍. Arduino 的原理及应用[J]. 电子设计工程, 2012, 20(16): 155—157.
CAI Rui-yan. Principle and Application of Arduino[J]. Electronic Design Engineering, 2012, 20(16): 155—157.

[3] LIU Nan-jun, MAO Pei-hong. Design and Realization of Simple Intelligent Robotic Lawn Mower Based on Arduino Mega2560[J]. Agricultural Science & Technology, 2013, 14(1): 162—165.

[4] THOMAS B, DELPHINE D, SYLVIE D, et al. Low Cost Venom Extractor Based on Arduino Board for Electrical Venom Extraction from Arthropods and Other Small Animals[J]. Toxicon, 2016, 118: 156—161.

[5] 付久强. 基于 Arduino 平台的智能硬件设计研究[J]. 包装工程, 2015, 36(10): 76—79.
FU Jiu-qiang. Intelligent Hardware Design Based on the Arduino Platform[J]. Packaging Engineering, 2015, 36(10): 76—79.

[6] 杨继志，杨宇环. 基于 Arduino 的网络互动产品创新设计[J]. 机电产品开发与创新, 2012, 25(1): 99—101.
YANG Ji-zhi, YANG Yu-huan. Arduino-based Interactive Product Innovation[J]. Development & Innovation of Machinery & Electrical Products, 2012, 25(1): 99—101.

[7] 纪欣然. 基于Arduino开发环境的智能寻光小车设计[J]. 现代电子技术, 2012, 35(15): 161—163.
JI Xin-ran. Design of Intelligent Light-seeking Car Based on Arduino IDE[J]. Modern Electronics Technique, 2012, 35(15): 161—163.

[8] 缪璐璐. 基于Arduino平台开发交互式产品原型的研究[D]. 上海: 上海交通大学, 2013.
MIU Lu-lu. The Research on Prototyping for Interaction Design Based on Arduino Toolkit[D]. Shanghai: Shanghai Jiao Tong University, 2013.

[9] 杨楠. 基于 Arduino 的智能产品原型设计研究[D]. 无锡: 江南大学, 2014.
YANG Nan. Research of Intelligent Product Prototype Design Based on Arduino[D]. Wuxi: Jiangnan University, 2014.

[10] 罗超. 鼠标、键盘退场智能硬件掀起交互革命[J]. IT 时代周刊, 2014(10): 36—37.
LUO Chao. Mouse and Keyboard Exiting for Intelligent Hardware Setting off the Interactive Revolution [J]. IT Time Weekly, 2014(10): 36—37.