

# 基于激光视觉传感器的智能家居体感交互系统设计

徐 坤, 周子昂, 王 祺, 耿文波

周口师范学院, 河南 周口 466001

**摘 要:**为提高智能家居系统的人工智能技术水平,结合激光视觉传感器设计一套与之相匹配的体感交互系统。该系统设计分为四部分:系统整体框架为四层框架,即视觉定位层、体感交互层、中心控制层、执行操作层;硬件上,主要介绍了激光视觉传感器、Kinect 体感交互器、微控制器以及数据传输装置等四种主要设备;软件上,主要经分析了摄像机标定与校正、手势识别、语音识别三种关键程序算法;系统测试实验,结果表明:本系统应用下,手势识别准确性和指令执行准确性均达到预期,证明系统可行与有效。

**关键词:**激光视觉传感器;智能家居;体感交互系统

中图分类号:TN125.36 文献标识码:A doi:10.14016/j.cnki.jgzz.2022.09.218

## Design of intelligent home somatosensory interaction system based on laser vision sensor

XU Kun, ZHOU Ziang, WANG Qi, GENG Wenbo

Zhoukou Normal University, Zhoukou Henan 450001, China

**Abstract:** In order to improve the level of artificial intelligence technology of smart home system, a set of somatosensory interaction system is designed with laser vision sensor. The design of the system is divided into four parts: the overall framework of the system is composed of four layers: visual positioning layer, somatosensory interaction layer, central control layer and executive operation layer; in terms of hardware, laser vision sensor and Kinect are mainly introduced. There are four kinds of main equipment, such as somatosensory interactive device, microcontroller and data transmission device; in software, mainly through the analysis of camera calibration and correction, gesture recognition, speech recognition three key program algorithms; system test experiment, the results show that: under the application of this system, the accuracy of gesture recognition and command execution accuracy are achieved, which proves that the system is feasible and effective.

**Key words:** laser vision sensor; smart home; somatosensory interaction system

## 1 引言

人们生活水平的提高,对生活质量的要求也越来越高,因此越来越多的科学技术出现在人们的生活

中,给人们生活带来了极大的便利,家居生活也逐渐向着智能家居发展。智能家居代表的不只是某个家电的智能化,而是实现整个家庭生活的智能化、网络化、数字化以及一体化。智能家居的实现能够为用户生活带来全新的体验,提高用户生活的满足感和幸福感。

对智能家居系统,近几年很多专家和学者都进行研究。Yong-jun Zhang, Sheng-gang Wu, Xiao-bo Nie 等将移动通信技术与 ZigBee 无线网络技术以及微控制器技术相结合,实现人与机器、机器与机器之间的数据通信,实现家居生活的智能控制; Shun-kai

收稿日期:2021-11-24

基金项目:河南省科技厅科技计划项目(No.202102210536)

作者简介:徐坤(1980-),男,汉族,河南郸城人,硕士,副教授,研究方向:机器人,物联网技术与应用;周子昂(1981-),男,河南沈丘人,硕士,副教授,研究方向:机器人,物联网技术与应用;王祺(1978-),男,汉族,河南周口人,博士,讲师,研究方向:物联网工程;耿文波(1980-),男,河南济源人,硕士,副教授,研究方向:机器人,物联网技术与应用。

<http://www.laserjournal.cn>

Xiang, Jun Yang, Qiang Wang 等提出了一套基于 Android 的智能家居无线控制系统,实现了基于传感器网络检测信号的家电自动响应功能、Android 移动终端对家用设备的实时控制和状态监控功能以及通过人机交互系统实现对家用设备的控制功能;设计了基于中文的智能家居软件平台。该系统不仅可以实现基本的人机交互,还可以对汉语语音文本内容进行分析。Kunkun Du, Zhiliang Wang 设计的人机交互系统通过分析用户的情绪状态,使虚拟人能够做出适当的动作和声音反应,从而实现良好和谐的互动。

结合前人研究经验,设计一种基于激光视觉传感器的智能家居体感交互系统。该系统通过激光视觉传感器实现用户定位,通过 Kinect 体感交互技术实现用户与家居设备之间的联系<sup>[1]</sup>。最后通过系统测试与分析,本系统准确分析出了用户需求,并很好的完成了,证明了本系统的可行性和有效性。

## 2 智能家居体感交互系统设计

随着信息时代的发展,智能设备已经成为人们生活中不可缺少的一部分生活。智能家居作为信息时代的产物,将各种信息传感设备与各子系统有机地结合在一起,并与互联网和通信网络连接,实现各设备之间的直接或间接信息交换。智能家居系统设计目的是为人服务,因此就需要建立起人与家居环境之间的交互联系,而要首先这种交互联系的关键就是:找到人、理解人、服务人。找到人是指实现确定用户所在位置;理解人是指通过语音、视觉、遥控器等手段等了解用户的需求;服务人就是执行操作,完成用户需求。其中前两者是实现智能家居的关键和难点,也是本次研究的重点内容。

### 2.1 系统整体框架搭建

基于激光视觉传感器的智能家居体感交互系统分为四层:第一层视觉定位层,主要作用是实现对用户位置定位,方便后续用户手势识别,提升交互准确。一般智能家居体感交互系统为简化操作和成本,不设置这一功能,因此常常因为定位准确,影响了体感交互技术功能的发挥,所以在本系统框架当中多增设了这一层<sup>[2]</sup>。第二层的体感交互层,主要是对用户需要和意图进行识别;第三层是中心控制层,根据用户需要和意图生成控制指令并发送;第四层为执行操作层,主要作用是执行指令,对家居设备进行操控,如下图 1 所示<sup>[3]</sup>。

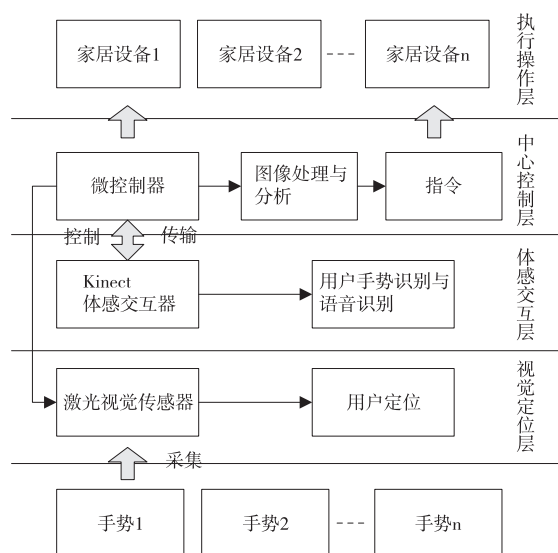


图 1 智能家居系统整体框架

### 2.2 系统硬件设计

#### 2.2.1 激光视觉传感器

要想实现智能家居设备与用户之间的体感交互,首先就要对用户所在位置进行定位,这就是激光视觉传感器的作用。激光视觉传感器集图像采集以及三位定位为一体<sup>[4]</sup>。其原理如下:首先通过相机确定目标物体,然后发射一条激光线投射到被测物体表面上,然后发生反射作用,反射光透过高质量光学系统被投射到成像矩阵上,经过计算得到传感器到被测表面的距离(Z轴)和沿着激光线的位置信息(X轴),最后移动被测物体或轮廓仪探头,就可以得到一组三维测量值。本系统当中的激光视觉传感器为一款 3D 激光扫描相机,其主要特点如下:

(1)它是一款自成体系的产品,无需额外装置、电缆或便携式 PC 等,其外形尺寸仅有 24 cm×20 cm×10 cm,重量仅有 5.0 kg,结构小巧,便于携带。

(2)它的测量重复精度最高 1 μm,每秒达到 976 000 个测量点的测量速度,可提供最高效、最精确的三维测量<sup>[5]</sup>。

(3)它集成有彩色照相机,可实现零视差自动颜色叠加,进行照片般逼真的三维扫描。并配有高性能锂电池,工作时间长达 5 小时,在使用时也可进行充电。而且,所有扫描图像都存储在一个 SD 卡中,从而可将数据简便、安全地传送到 PC 端。

(4)它可兼容许多应用软件。接口非常灵活,可连接 AutoCAD 以及其它 CAD 软件,诸如 Rhino、Microstation、Geomagic、Polyworks 等<sup>[6]</sup>。

#### 2.2.2 Kinect 体感交互器

Kinect 是微软公司研发的一款体感交互器,主要

由 RGB 摄像头、深度传感器(红外发射器和 CMOS 摄像头)、麦克风以及马达等装置组成,主要用于更为精细的图像采集以及目标识别,此外,还可以对人体骨骼、手势、关节等进行跟踪,同时还具有语音自主识别及麦克风输入等多种功能。本系统中 Kinect 体感交互器为新一代 Kinect2.0,优点如下:分辨率有了极大提高,从 VGA 升级到了 1 080 p;数据处理速度加快,达到 2 GB 以上;镜头视角更大(60 度),视角能够最多可同时跟踪 6 名用户,并能多角感应到更深的空间。Kinect2.0 具体技术参数设置如下表 1 所示<sup>[7]</sup>。

表 1 Kinect2.0 技术指标参数

项目	指标	参数
可视范围	水平视角	70 度
	垂直视角	60 度
工作范围		0.8 m→4.0 m
数据流	深度感应镜头	512×424, 16 bit.30 fps
	颜色感应镜头	1 920×1 080,32 bit.30 fps
延迟		带处理 60 ms
音效		16 bit.16 khz
接口		USB 3.0
倾斜马达		无

2.2.3 微控制器

微控制器是一块集成了 CPU 和其他电路的集成器件,具备数据处理以及计算机指令解释的功能,相当于一个完整的微型计算机系统<sup>[8]</sup>。本系统中的微控制器为 STM32L053R8T6,其参数特性如下表 2 所示。

表 2 STM32L053R8T6 参数特性

项目	参数
内核	ARM 32 位 Cortex™-M3 CPU
工作频率	2 MHz,1.25DMIPS/MHz
存储器	32 到 512 K 的 Flash 存储器;6 到 64 K 的 SRAM 存储器
A/D 转换器	2 个 12 位的 us 级的 A/D 转换器(16 通道)
通信接口	2 个 I2C 接口;5 个 USART 接口;3 个 SPI 接口(18 Mbit/s);2 个与 I2S 复用;1 个 CAN 接口(2.0B);1 个 USB 2.0 全速接口;1 个 SDIO 接口
DMA	12 通道 DMA 控制器
I/O 端口	最多高达 112 个的快速 I/O 端口
定时器	4 个 16 位定时器,每个定时器有 4 个 IC/OC/PWM 或者脉冲计数器;2 个 16 位的 6 通道高级控制定时器;2 个看门狗定时器;2 个 16 位基本定时器,用于驱动 DAC;1 个 SysTick 定时器
晶振	4 到 16 MHz
低功耗	休眠,停止和待机模式
工作电压	2.0 到 3.6 V
工作温度	-40 到+85 ℃

2.2.4 数据传输装置

实现家居的自动控制,离不开数据传输装置作用。在本系统当中,主要通过一个智能家居网关以及 ZigBee、Wi-Fi、蓝牙三种传输方式进行互联<sup>[9]</sup>。

(1)智能家居网关

智能家居网关作用是解析从微控制器上发送过来的指令包,然后将其传输给下属家居设备终端。在本系统中,智能家居网关选用了 RT5350 路由模块<sup>[10]</sup>。该模块特征如下:

- 天线:IIPIX 1R;
  - 传输速率 150Mbps;
  - 对外接口:MINI PCIE 连接器,包含 2 个 LAN□;1 个 USB(Host);2 个 UART;1 个 WPS;8 个 1GPIO;
  - 数据速率:802.11n: up to 150mbps; 802.11b:1,2,5,5,11Mbps;802.11g: 6,9,12,18,24,36,48,54 Mbps;
  - 发射功率:11n HT40 MCS7: +13.5BM; 11bCCK:+18dBm;11g OFDM: +13.5dbm;
  - 接收灵敏度:-66dbm at 150mpbs;-73 dbm at54Mpbs;-86dbm at 11mob;
  - 电源:直流供电;3.3 V
  - 功耗(电流)小于 300 mA
- 工作环境:工作温度:-10 ℃~+60 ℃;储存温度:20 ℃+70 ℃;湿度:5%~95%。无冷凝<sup>[11]</sup>。

(2)组网方式

三种组网方式对比如下表 3 所示。

表 3 三种组网方式对比

项目	Zigbee	蓝牙	WiFi
价格	便宜	适中	贵
传输速度	250 KB/S	1 M/S	54 M/S
范围	75 m	15 m	100 m
功耗	低	低	高
安全性	高	高	低
连接设备能力	52	5	52

2.3 系统软件设计

在软件程序运行中,主要有三种算法起到关键作用,即摄像机标定与校正、手势识别、语音识别,下面进行具体分析<sup>[12]</sup>。

(1)摄像机标定与校正

摄像机标定的目的是利用内外参数矫正透镜畸变,以提高图像质量,继而提高识别准确率。



摄像机标定主要经过了从世界坐标系→相机坐标系→成像平面坐标系→图像坐标系四个坐标系之间的转换过程<sup>[13]</sup>。步骤如下:

步骤 1:将世界坐标系中某点的坐标  $P(x_w, y_w, z_w)$  变换到摄像机坐标系中  $P_c(x_c, y_c, z_c)$ , 即:

$$\begin{bmatrix} x_c \\ y_c \\ z_c \end{bmatrix} = R \begin{bmatrix} x_w \\ y_w \\ z_w \end{bmatrix} + T \quad (1)$$

步骤 2:将  $P_c$  投影可以得到投影面上的二维坐标值  $P_n(x_n, y_n, z_n)$ 。

$$\begin{bmatrix} x_n \\ y_n \\ z_n \end{bmatrix} = \frac{1}{z_c} \begin{bmatrix} x_c \\ y_c \\ z_c \end{bmatrix} \quad (2)$$

步骤 3:引入透镜畸变影响,高阶参数省略,得到点  $P_d(x, y)$ 。

$$\begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} = (1 + k_1 r^2 + k_2 r^4) \begin{bmatrix} x_n \\ y_n \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 2p_1 x_n y_n + p_2(r^2 + 2x_n^2) \\ p_1(r^2 + 2y_n^2) + 2p_2 x_n y_n \end{bmatrix} \quad (3)$$

其中,  $r^2 = x^2 + y^2$ ,  $k_1$  和  $k_2$  为径向畸变系数,  $p_1$  和  $p_2$  为切向畸变系数<sup>[14]</sup>。

步骤 4:将  $P_d$  通过摄像机内参数转化为最终输出在图像上的像素点坐标  $P_p(u, v)$ 。

$$\begin{cases} u = f_x x + c_x \\ v = f_y y + c_y \end{cases} \quad (4)$$

其中,  $f$  为光心到投影平面的距离,即焦距<sup>[15]</sup>。

## (2) 手势识别

手势识别是实现体感交互的关键,也是本系统软件设计中的核心算法,其过程主要经过以下 8 个步骤:

步骤 1:图像预处理。

a:图像灰度化,处理方法有分量法、最大值法、平均值法、加权平均法;

b:图像滤波,去除采集的手势图像中存在的噪声点。在这里采用 FIR 滤波器滤掉超过 10 Hz 以上的高频部分,剩下部分为图像中有价值的数据点数<sup>[16]</sup>。

c:图像增强:经过滤波处理后,图像细节信息会被变得模糊,因此需要进行增强处理。首先基于韦伯曲线设计局部自适应 gamma 值,有效地增强图像细节。随后利用直方图统计拉伸,进一步扩展图像的灰度范围,使得细节变得锐化和突出<sup>[17]</sup>。

d:图像分割,一幅完整的图像包括背景和目标两部分,而背景的存在会对目标造成干扰,因此需要进

行目标与背景的分割。在这里采用背景差分法进行分割,其原理是提前采集到背景图像,进而利用拥有前景的图像与背景图像做差,从而提取出背景。

步骤 2:手势特征提取。手势是控制家居设备状态关键,不同的手势特征代表不同控制命令,因此手势特征提取的准确性直接关系到发出的命令是否有效。手势特征有很多种分类,如静态特征、动态特征、时空特征以及描述性特征。在这里针对手势静态特征的提取进行分析。为提高特征提取准确性,采用傅立叶描述子和 CSS 的形状描述子相结合的方法进行特征提取<sup>[18]</sup>。其基本思路是在两种方法完成提取后,对得到的两种算子进行距离加权,从而得到一个新的距离来表征手势间的差异程度。

步骤 3:手势识别。将识别出的手势特征与特征库进行匹配,通过分类,判断手势类型,继而确定手势代表的意义。分类方法有很多,如神经网络算法、支持向量机、决策树、聚类算法。每种算法各有优缺点,可以根据所采集到的图像数量、类型、纹理等等特点选择不同的分类算法,在这里不进行具体分析。

## (3) 语音识别

除了手势识别外,本系统当中还有一些语音识别功能,即通过语音实现对智能家居设备的控制。具体过程如下:

步骤 1:语音处理,改善语音信号质量,包括语音信号去噪、语音音调数据转换、预加重、分帧加窗和端点检测等 5 步;

步骤 2:语音转换为文字;

步骤 3:语句切分;

步骤 4:关键词提取;

步骤 5:生成指令,完成语音识别。

## 3 系统测试分析

为测试所设计的基于激光视觉传感器的智能家居体感交互系统的有效性和可行性,进行系统测试分析。

### 3.1 实验环境搭建

搭建系统测试所需要实验环境,在该环境中,有一台 3D 激光扫描相机、一台 Kinect 体感交互器、一台计算机、一台投影仪组成,如下图 2 所示。

### 3.2 手势特征数据库

本系统所要控制的家居设备有 8 种,每种设备状态所对应的手势特征如下表 4 所示。

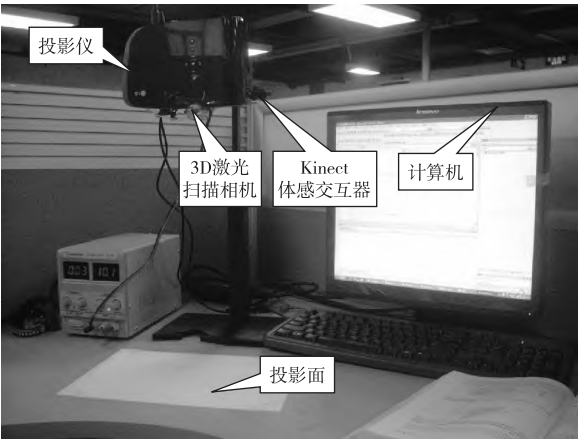


图2 实验环境

表4 手势特征数据库

家居设备	状态	手势特征	家居设备	状态	手势特征
空调	开		灯具	开	
	关			关	
电视	开		窗户	开	
	关			关	
窗帘	开		大门	开	
	关			关	

3.3 实验过程

在如图3所示环境中摆出各种手势动作,然后利用系统前端采集设备采集手势图像样本,每种手势拍摄10张图像,作为图像样本,然后在 Windows8 系统下,CPU 性能为 2.60 GHz,内存容量 4 G 的计算机上进行手势识别。为了模拟干扰环境,另外以 6 种不具备意义的相似手势图像作为干扰项(见图3),判断系统对手势的识别是否准确。最后根据识别结果检验是否按照手势指令正确执行命令,检测交互系统的有效性和可行性。

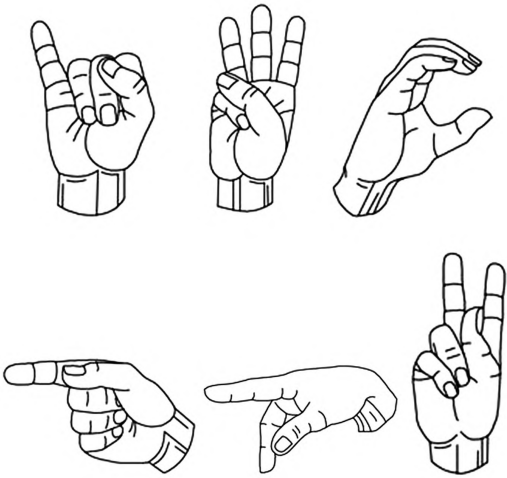


图3 干扰手势图像

3.4 结果分析

(1) 手势识别准确性

表5 6种手势图像含义识别结果

家居设备	识别正确/幅	识别错误/幅
空调	10	0
电视	10	10
窗帘	10	10
灯具	10	10
窗户	10	10
大门	10	10

(2) 指令执行结果

表6 指令执行结果

家居设备	指令正确执行/次	指令错误执行/次
空调	10	0
电视	10	10
窗帘	10	10
灯具	10	10
窗户	10	10
大门	10	10

从表5和表6中可以看出,本系统对6种手势拍摄的10幅图像都能准确识别出所代表的含义,且在准确识别后,执行指令也都正确,6种家居设备的状态的改变都符合预期,由此说明本系统达到了设计目标。

4 结束语

综上所述,随着人们生活质量的提高,人们越来越追求智能化的生活方式,因此智能家居出现。在智能家居实现过程中,智能家居体感交互系统的应用是必不可少的,因此结合激光视觉传感器设计了一种新

的智能家居体感交互系统。该系统经测试,达到了预期目标。然而,本研究受时间和精力限制,也存在一些缺点,如本实现仅在仿真环境下进行,实验环境较为理想化,因此得到的结果缺乏世纪性。另外,实验中仅进行了手势识别的检测,没有进行语音识别的测试。针对这两个方面,有待进一步研究和分析。

### 参考文献

- [1] 周旋风,陈前荣,王彦斌,等. 脉冲激光辐照 CMOS 相机的图像间断现象及机理[J]. 红外与激光工程, 2019, 048(003):82-87.
- [2] 李瑞艳,张春熹,王鹏,等. 基于 TDC-GP22 的脉冲激光测距系统设计[J]. 半导体光电, 2018, 39(06):89-93.
- [3] 季宇寒,李寒,张漫,等. 基于激光雷达的巡检机器人导航系统研究[J]. 农业机械学报, 2018, 049(002):14-21.
- [4] 徐乐年,高一晨,雷龙飞,等. 基于激光传感器的巷道变形动态监测系统[J]. 煤炭技术, 2018, 037(011):1-3.
- [5] 齐艺超,陈伟,穆春元,等. 基于粒子群自整定 PID 算法的激光器温度控制系统[J]. 激光技术, 2019, 43(005):650-654.
- [6] 张伟. 基于遗传算法的 DFB 激光器驱动系统设计[J]. 沈阳工业大学学报, 2018, 040(005):552-557.
- [7] 朱铮涛,裴炜冬,李渊,等. 基于远心镜头的激光三角测距系统研究与实现[J]. 激光与光电子学进展, 2018, 55(3):185-190.
- [8] 俞德崎,李广云,王力,等. 一种基于三维特征点集的激光雷达与相机配准方法[J]. 测绘通报, 2018, 500(11):44-49.
- [9] 李洋,余先涛,贺勇,等. 基于 Cortex-A53 平台的激光雷达 SLAM 实现[J]. 电子技术应用, 2018, 044(002):105-108.
- [10] 王贵槐,谢朔,柳晨光,等. 基于激光雷达的内河无人船障碍物识别方法[J]. 光学技术, 2018, 44(005):602-608.
- [11] 黄战华,刘堃,王敏,等. 基于 RTX64 的激光目标模拟系统实时控制软件设计[J]. 应用光学, 2019, 40(02):15-21.
- [12] 陈润凇,杨煜俊. 基于小生境遗传算法的激光切割快速模板匹配[J]. 激光技术, 2019, 43(1):125-130.
- [13] 王颖,张玉存. 基于绿激光图像识别的热态大型锻件长度尺寸测量[J]. 计量学报, 2018, 39(03):30-34.
- [14] 贾子永,任国全,李冬伟,等. 视觉与激光雷达信息融合的目标领航车识别方法[J]. 火力与指挥控制, 2018, 43(06):60-64+68.
- [15] 郑震,查冰婷,张合. 基于 DHGF 算法的激光线扫描成像引信目标识别方法[J]. 中国激光, 2018, 45(07):147-154.
- [16] 何钰滢,葛振鹏,李道季,等. 基于激光雷达的海滩垃圾快速识别[J]. 海洋学报, 2019, 41(11):156-162.
- [17] 常昕,陈晓冬,张佳琛,等. 基于激光雷达和相机信息融合的目标检测及跟踪[J]. 光电工程, 2019, 46(7):85-95.
- [18] 冯晨霄,汪西莉. 融合特征和决策的卷积-反卷积图像分割模型[J]. 激光与光电子学进展, 2019, 056(001):151-159.