 DOI: https://doi.org/10.12349/iser.v6i3.5196

Design of obstacle avoidance control system for mobile robot based on gesture recognition

Sheng Xu

Information Engineering Department, Shandong Vocational College of Science and Technology, Weifang, Shandong, 261000, China

Abstract

For the pain points of problems such as the accuracy of gesture recognition in different light intensity, and the complexity of the identification algorithm, the machine vision is designed to identify the obstacle -free control system based on gesture recognition. The system is based on the STM32 development board and is mainly composed of PAJ7620U2 gesture recognition module, ultrasonic obstacle avoidance module, wireless receiving module, power module, etc. Event infrared light through PAJ7620U2, and the infrared receiver receives the data collection from different light strong signals from gesture action reflection. According to the gesture algorithm processing, the gesture command is transmitted to mobile robots through wireless modules to achieve long -distance control robots, and using ultrasound to avoid ultrasonic waves to avoid ultrasonic wave Effects of disorders implement error control. Experiments show that the accuracy of mobile robotic gesture recognition can reach 98.7%and the accuracy rate of obstacle avoidance can reach 99%. The characteristics of non -contact, charging and obstacles in this system have high application value in the fields of rescue and medical devices.

Keywords

gesture recognition; obstacle avoidance; mobile robot; PAJ7620U2

基于手势识别的移动机器人避障控制系统设计

徐升

山东科技职业学院信息工程系，中国 · 山东 潍坊 261000

摘　要

针对机器视觉在不同光照强度情况下手势识别准确率不高，以及识别算法复杂等问题的痛点，设计了基于手势识别的移动机器人避障控制系统。该系统基于STM32开发板,主要由PAJ7620U2手势识别模块、超声波避障模块、无线收发模块、电源模块等组成。通过PAJ7620U2发射红外光线，红外接收器接收来自手势动作反射后的不同光强信号完成数据采集，根据手势算法处理，将手势命令通过无线模块传输给移动机器人，实现远距离控制机器人，以及利用超声波避障传感器实现差错控制。实验表明，移动机器人手势识别准确率可达98.7%，避障准确率可达99%。本系统非接触、充电和避障等特点，在救援和智能家居等领域具有较高应用价值。

关键词

手势识别；避障；移动机器人；PAJ7620U2

1 引言

随着移动机器人和无人驾驶的普及，比如分拣机器人、巡逻机器人等，其在各个领域适用范围越来越广泛，比如在2019年新冠疫情爆发后，无接触式移动机器人给医务工作者和配送人员带来极大安全保障；在火灾、化学物质泄露等场景救援中，移动机器人可以通过无线遥控进入危险区域进行生命探测和人员物质供给。而当下行的手势识别是通过不同手势转化成数字信号，与预设手势功能匹配，完成识别。手势识别传感器分为基于惯性传感器接触式手势识别和基于红外传感器和视觉等非接触式手势识别两种[1]。针对手势识别算法应用非常广泛，程傲霜等采用改进深林算法提高手势识别准确率[2]，邓嘉等提出了基于AFSA-SVM的手势识别方法[3]，这些算法在嵌入式领域应用依赖强大算力，成本较高。针对移动机器人领域执行动作相对简单的情况下，本文所采用的非接触式红外传感器PAJ7620U2具有人机交互体验好，成本低、实时性好的优点。

本系统主要有STM32主控单元、PAJ7620U2手势识别模块、超声波避障模块、无线收发模块、电源模块等组成，通过PAJ7620U2U2手势识别传感器进行前、后、左、右、上、

【基金项目】计算机基础教育教学研究项目（项目编号：2024-AFCEC-096）。

【作者简介】徐升（1991-），男，中国山东青岛人，硕士，助教，从事嵌入式、人工智能研究。

下、顺时针旋转、逆时针旋转和挥动 9 种手势控制 [4]-[6]。在以上手势识别基础上，加入超声波避障模块，提高了系统安全性，以及采用锂电电池供电，提高了系统实用性。

2 系统总体设计

本系统由手势控制端和移动机器人接收端构成，手势控制端由 STM32F103、PAJ7620U2 手势传感器、ESP8266 WIFi 无线传输模块、TFTCLD 液晶显示模块构成；移动机器人接收端由 STM32F103、HC-SR04 超声波避障模块、ESP8266 WIFi 无线传输模块、锂电充电模块、MX1616 直流电机驱动模块构成。整个系统利用 PAJ7620U2 手势识别传感器采集红外接收器接收来自运动手势反射后的光强信号 [7]，经过模数采集数据，利用手势分类算法完成手势识别 [8]。将识别的手势信息通过 I2C 总线与 STM32 主控芯片进行通讯，主控芯片利用无线发送模块发送给无线接收模块，根据预设的控制指令，实现机器人执行 9 种运动，同时超声波探测与障碍物体的距离，当移动机器人探测到距离小于设定的阈值时，机器人停止移动，实现避障功能；系统还包含 TP4056 锂电池供电模块，具有电池温度检测、欠压闭锁和自动再充电等功能。

3 硬件方案设计

3.1 STM32 主控芯片

主控芯片采用 STM32F103C8T6，主要作用是手势识别信号和超声波避障信号采集和处理，以及控制无线数据收发和电机驱动。STM32F103C8T6 芯片是一款主流增强型 ARMCortexM3MCU，其程序存储器 FLASH 容量是 64KB，RAM 容量是 20KB，工作频率高达 72MHz，具有实时性好、功耗低和易于开发等特点 [9]。

3.2 PAJ7620U2 手势传感器

3.2.1 手势识别概述

PAJ7620U2 手势传感器芯片内部集成了光学数组式传感器，以使复杂的 9 种手势和光标模式输出，支持上、下、左、右、前、后、顺时针旋转、逆时针旋转和挥动的手势动作识别 [10]。通过测量物体与传感器距离实现接近检测功能，具有：体积小、灵敏度高、支持中断输出、兼容 3.3V/5V 系统、使 用方便等特点 [7]。

PAJ7620U2 模块采用 5V 供电，设计了两个 3.3V 超低压差稳压芯片，利用 1*6 的排针（P1）排针与外部连接，分别是 VCC、GND、IIC_SDA（IIC 通信数据线）、IIC_SCL（IIC 通信时钟线）、IIC_INT（中断输出引脚）4 根信号线，模块通过 IIC 接口与主控芯片进行通信。

3.2.2 手势识别原理

PAJ7620U2 是一款非接触光学数组式传感器，内置光源和环境光抑制滤波器集成的 LED，在其四周分布了 4 个红外发光二极管，中间放置了一个红外光源接收器 [5]，如图 5 所示。手势识别传感器通过检测反射的红外光的强度和能量，根据红外光强度变化判断手势的运动轨迹，进而可以识别出来不同手势的特征值，采用图中点阵式布局方式可以有效避免了手势识别存在死角问题。并且内置接近检测功能，可用于检测物体接近或离开。其中传感器有效探测距离为 5-15cm。

对于四光源手势识别传感器，通过不同光源强度判别手势动作，通过分析两光源作为模拟手势识别原理 [11]，如图 6 所示，人手通过从左往右或者从右往左移动到 LED 上方，经过 LED1 和 LED2，人手遮挡红外光后，经过反射后的红外光被红外接收器接收，利用内部 AD 完成模数转化，将转化后的数字信号存储在寄存器中，手势经过传感器上方的信号波形如图 7 所示，根据图中的幅度值和波形的先后顺序的变化，判断手势运动的路径。手势越靠近光源，输出的信号越大，识别的准确率越高 [12]。

2.2.3 手势识别算法

当手势进入到传感器上方时，PAJ7620U2 传感器获取手势数据，LED 阵列提取到手势反射光源的亮度、手势距离传感器的距离及手势方向等数据 [13]，如图 5 所示，结合传感器寄存器内的预设对手势动作进行分类，最后完成方向判别，并将手势识别结果传给主控单元。

3.2.4 手势信号判断依据

手势接近传感器，在有效距离范围内，红外接收器接收到不同 LED 反射的光强，并将光强经过模数转换后的电信号进行量化，量化范围取值为 0-255 之间，量化后的反射光的亮度值为 Ev，式中 :Ev 为照度，为光通量，A 为照射面积。为红外发光二极管辐射功率，M 为辐射出射度， 为物体对红外光的反射率，d 为被检测物体与光电二极管的距离，为散射角，T 为红外光穿过封装的穿透率，A_{pD} 为光电二管面积，S_E 为光电灵敏度，K 为数模转换系数。

$$E_V = \frac{\mathrm{d}\Phi_V}{dA} = \frac{M\Phi T^2\alpha}{\pi\left(2d\tan\frac{\theta}{2}\right)^2}$$

$$E_C = E_V A_{PD} S_E K$$

在人手距离传感器固定距离范围内，以手势开始从左往右为例的运动路径，朝一个方向移动，研究发现反射光强的电信号与随时间变化，对采集到的不同 LED 转换后的数字信号进行对比，可以找到不同手势移动轨迹的阈值，确定其 9 种手势的分类标准 [14]。研究表明，将人手平移速度为 V，平移时间为 t，人手遮挡住红外光源时所形成的遮挡面半径为 R，其中一个 LED 从开始遮挡到结束的时间间隔为 τ [15]，可以因此得出了 4 种信号反射光信号强度 E_{led1}、E_{led2}、E_{led3}、E_{led4}，公示如图所示，因此根据 4 种信号强度可以判定出手势识别路径。

$$\begin{cases} \mathrm{E}_{\mathrm{led1}} = E_C \cdot \left(\frac{Vt}{2R}\right)^2 \rightarrow t \in (0,\tau) \\ \mathrm{E}_{\mathrm{led2}} = \mathrm{E}_{\mathrm{led3}} = E_C \cdot \left(\frac{Vt}{2R}\right)^2 \rightarrow t \in \left(\frac{S}{V},\tau+\frac{S}{V}\right) \\ \mathrm{E}_{\mathrm{led4}} = E_C \cdot \left(\frac{Vt}{2R}\right)^2 \rightarrow t \in \left(\frac{2S}{V},\tau+\frac{2S}{V}\right) \end{cases}$$

4 系统测试

当手势识别传感器检测到手势指令，传给控制芯片，然后执行所对应的动作，手势动作与移动机器人执行动作对照表，如表 1 所示：

表 1 移动机器人执行动作对照表

名称	上	下	左	右	前	后	顺时针	逆时针
图标	⊙	⊙	←	→	↑	↓	—	—
动作	停止	停止	左转	右转	前进	后退	避障	避障

根据手势识别预设指令，对手势识别进行测试，分别邀请两位测试人员，在相同光照强度室内进行测试，每位测试人员测试次数为 100 次，手势识别内容分为前进、后退、左转、右转和停止五部分，测试结果如表 2 所示，最终手势识别成功率为 98.7%。

表 2 手势识别测试

手势名称	执行动作者	成功次数	误识别次数	手势识别成功率	误检率
前进	A	99	1	99.0%	1.0%
	B	99	1		
后退	A	98	2	98.5%	1.5%
	B	99	1		
左转	A	97	3	98.0%	2.0%
	B	99	1		
右转	A	99	1	98.5%	1.5%
	B	98	2		
停止	A	99	1	99.5%	0.5%
	B	100	0		

由于不同光照强度对手势识别传感器有一定的影响，因此，测试内容在室内和室外两种环境下，以及在早晨和中午两个不同光照时间段环境下进行测试，每个场景测试 50 次，随机进行五种手势动作执行，结果如表 3 所示。通过对比数据可知，正常光线情况下，手势识别的准确率最高；在强光线和弱光线情况下，手势识别的准确率相对较低。同时对避障功能进行测试，环境对避障功能基本无影响。

表 3 光照强度测试

测试环境	手势测试次数	手势识别成功率	避障测试次数	避障成功率
室内早晨	46	92%	50	100%
室内中午	49	97%	49	97%
室外早晨	47	95%	50	100%
室外中午	46	92%	49	97%

5 结语

本文设计的基于手势识别的移动机器人避障系统设计，主要通过识别人体手势动作来控制小车进行前进、后退、左转、右转和停止等动作，移动机器人接收到无线模块传输的手势识别数据，执行对应的指令，同时超声波避障模块增加了安全性，锂电池供电提高了系统适应范围，直流电机驱动保证了机器人稳定运行。经过测试，系统手势识别准确率达 98.7%，避障准确率达 99%，因此，该系统在救援和智能家居等领域有具有很高应用价值。

参考文献

[1] 李杉.基于惯性传感器手势识别的机械臂遥操作技术研究[D].山东大学,2023.

[2] 程傲霜,王强.改进随机森林算法在手指手势识别中的应用[J].传感器与微系统,2023,42(08):165-168.

[3] 邓嘉,崔冰艳,张祥.基于AFSA-SVM的手势识别方法[J].华北理工大学学报(自然科学版),2023,45(04):91-98.

[4] Benjamín C. Bedregal, Costa A C D R , Dimuro G P.Fuzzy Rule-Based Hand Gesture Recognition[J].IEEE Computer Society, 2006.

[5] Lu T .Head gesture recognition for hands-free control of an intelligent wheelchair[J].Industrial Robot An International Journal, 2007, 34(1):60-68.

[6] Song Y , Demirdjian D , Davis R C .Continuous body and hand gesture recognition for natural human-computer interaction[J].ACM Transactions on Interactive Intelligent Systems (TiiS), 2012, 2.

[7] 刘成涛,郭帅.基于手势识别的智能小车无线控制系统设计[J].现代电子技术,2023,46(16):182-186.n.

[8] 刘祚时,杨国炜.红外传感器PAJ7620凌空手势快速识别方法[J].计算机应用与软件,2019,36(11):140-144+156.

[9] 彭文庭,罗宁宁,伍鹏辉等.基于STM32单片机的智能红外测温小车设计与实现[J].电子设计工程,2023,31(21):156-160.

[10] 伍建军,姚志博,李嘉豪等.基于手势传感器技术的移动机器人设计[J].制造业自动化,2022,44(09):73-76+111.

[11] 周勇.基于红外传感的手势识别系统设计与应用[D].浙江理工大学,2023.DOI:10.27786/d.cnki.gzjlg.2023.000351.

[12] Molchanov P , Gupta S , Kim K ,et al.Hand gesture recognition with 3D convolutional neural networks[J].IEEE, 2015.

[13] 孙北晨,许志猛,陈良琴等.基于域自适应的Wi-Fi手势识别方案[J/OL].微电子学与计算机,2023,(10):38-47[2024-02-18].

[14] 张紫轩,项阳,童安科等.机械臂手势识别技术的研究及应用[J].工业控制计算机,2023,36(12):61-63.

[15] Neverova N , Wolf C , Taylor G ,et al.ModDrop: adaptive multi-modal gesture recognition[J].IEEE Transactions on Pattern Analysis & Machine Intelligence, 2014, 38(8):1692-1706.