

环境自适应灰度循迹传感器设计*

陈栩聪¹,袁飞²,梁新农²,丁韩²

(1.汕头大学 工学院,广东 汕头 515063;2.广东技术师范大学 自动化学院,广东 广州 510450)

摘要:针对灰度循迹传感器在环境光照发生变化时不能自动适应调节基准电压的问题,设计了一种新型灰度循迹传感器。该传感器将微处理器与传统灰度循迹传感器电路进行结合。微处理器对多路传统灰度传感器电路采集到的检测电压信号进行融合计算,得到该环境光照下最优基准电压,以解决传统灰度循迹传感器基准电压无法自适应环境光照,存在循迹误判的问题。实验表明,该传感器设计方案提高了灰度循迹传感器循迹准确性,提高了传统灰度循迹传感器环境适应性。

关键词: 移动机器人;灰度循迹传感器;信息融合;自适应

中图分类号: TP212.9;TP18

文献标识码: A

DOI: 10.16157/j.issn.0258-7998.201034

中文引用格式: 陈栩聪,袁飞,梁新农,等. 环境自适应灰度循迹传感器设计[J].电子技术应用,2022,48(2):32-35,40.

英文引用格式: Chen Xucong, Yuan Fei, Liang Xinnong, et al. Design of environmental adaptive gray tracking sensor[J]. Application of Electronic Technique, 2022, 48(2): 32-35, 40.

Design of environmental adaptive gray tracking sensor

Chen Xucong¹, Yuan Fei², Liang Xinnong², Ding Han²

(1.College of Engineering, Shantou University, Shantou 515063, China;

2.School of Automation, Guangdong Polytechnic Normal University, Guangzhou 510450, China)

Abstract: In this paper, a new gray-scale tracking sensor is designed to solve the problem that the gray-scale tracking sensor cannot automatically adjust the reference voltage when the ambient light changes. The sensor combines a microprocessor with a traditional gray-scale tracking sensor circuit. The microprocessor performs fusion calculation on the detection voltage signals collected by the multi-channel traditional grayscale sensor circuit to obtain the optimal reference voltage under the ambient light to solve the problem that the traditional grayscale tracking sensor reference voltage cannot adapt to the ambient light and there is the problem of tracking misjudgment. Experiments show that the sensor design scheme improves the tracking accuracy of the gray-scale tracking sensor and the environmental adaptability of the traditional gray-scale tracking sensor.

Key words: mobile robot; gray-scale tracking sensor; information fusion; adaptive

0 引言

机器人是一种具有自主意识的自动化设备,它融合了电力电子技术、运动控制技术、传感器感知技术和计算机技术等^[1-2],在现代生产生活中发挥着重要作用^[3-4]。自主移动机器人技术中机器人环境感知技术是一个重要的研究方向^[5-6]。要让自主移动机器人能够精准地按照规划的路径行进,必须通过各种传感器对机器人所在空间位置和行进路径进行识别。

目前,自主移动机器人行进路径的循迹传感器有摄像头^[7-8]、激光传感器^[9-10]、灰度循迹传感器^[11-12]等,其中摄像头传感器对处理器运算能力具有较高要求^[13-14],激光传感器容易受到各种光源影响^[15-16]。传统灰度循迹传

感器具有性能稳定和实现原理简单的优点,也存在着环境适应差的问题。该类传感器在使用之前需要通过电位器手动调节基准电压来适应当前环境和场地,并且在机器人自主移动过程中,如果外界环境发生变化,易出现自主移动机器人循迹识别错误,偏离预定行进路径的问题^[17-18]。

针对传统灰度循迹传感器环境适应性差的问题,本文设计了一种环境自适应灰度循迹传感器,该新型传感器能够根据环境光照情况,通过微处理器自动对基准电压进行最优化调整,提高了灰度循迹传感器对环境变化的适应能力,提高了自主移动机器人循迹稳定性和环境适应性。

* 基金项目: 中国博士后科学基金(2020M672553); 广东省大学生科技创新培育专项资金(pdjh2019a0278); 广东省教育厅青年创新人才类项目(2015KQNCX087)

1 整体设计方案

本文设计的环境自适应灰度循迹传感器结构图如图1所示。该传感器在结构上主要由多路光电检测电路、微处理器模块、电压放大电路、电压比较电路四部分组成。

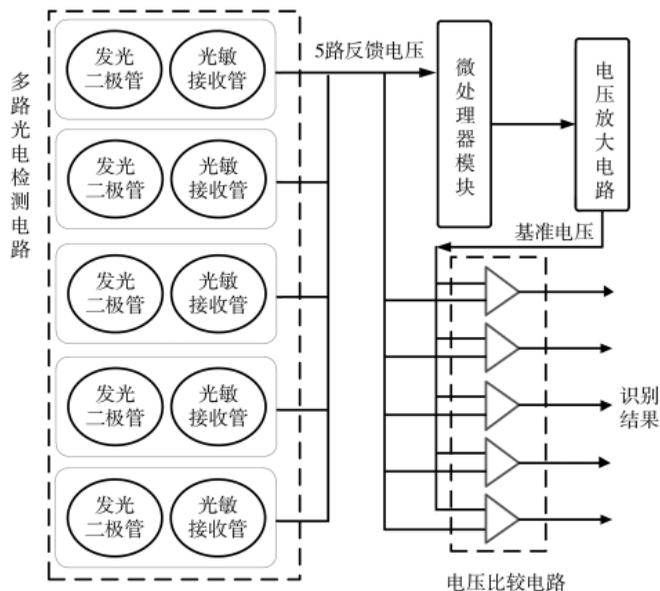


图1 环境自适应灰度循迹传感器总体设计方案图

环境自适应灰度循迹传感器工作原理如下：

(1)多路光电检测电路包含了多路发光二极管和光敏接收管组成的检测单元，检测单元用于检测其所处位置的地面情况信息，产生反馈电压，各检测单元分别将反馈电压输出给微处理器模块和电压比较电路；

(2)微处理器模块接收到各检测单元的反馈电压后先进行A/D转换和中值滤波，并据各反馈电压计算出当前环境下最优基准电压值，通过D/A转换输出基准电压；

(3)电压放大模块将微处理器模块输出的基准电压放大到适合电压比较电路基准端的电压范围内，作为多路比较器实时刷新后的基准电压；

(4)电压比较电路中多路的电压比较器将多路光电检测电路中各路反馈电压分别与基准电压进行比较，最终得到输出多位“0”、“1”数字量作为循迹识别结果；

(5)环境自适应灰度循迹传感器在循迹过程中，顺序执行步骤(1)~(4)并不断循环。

2 硬件设计方案

2.1 光电检测电路

本文设计的环境自适应灰度循迹传感器一共有5路光电检测电路，每路由光敏接收管和发光二极管及其外围电路构成。此电路有较宽的工作电压范围，在电源电压波动时仍能正常工作。图2所示为单路光电检测电路原理图，其余4路子电路原理图与图2相同。

2.2 微处理器模块

光电检测电路检测到的多路电压值分别输入到

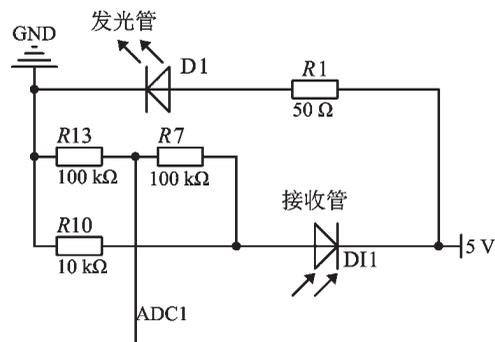


图2 单路光电检测电路原理图

STM32F373C8T6微处理器中带AD转换单元的IO引脚，对各路检测电压信号分别进行中值滤波，得到各路光电检测电路最终检测电压值。对多路检测电压值经融合计算得到当前环境下最优基准电压值，经DAC转换后输出给电压放大电路。

本文设计的环境自适应灰度循迹传感器是搭载在移动机器人上，高速移动过程中需要较高的采样率。因此，本设计采用STM32F373C8T6处理器的12位分辨率的逐次逼近型模数(SAR)转换器。

STM32F373C8T6处理器中有3路12位分辨率的DAC转换通道，输出的电压分辨率最低可以达到0.81mV，本设计传感器使用了其中1路DAC转换通道。

2.3 电压放大电路

电压放大电路主要是将微处理器模块输出的基准电压进行放大处理，输出给比较器组进行循迹识别。本电路利用自稳零运算放大器AD8628及其外围电路组成，可实现精密数据转换。电压放大器电路原理图如图3所示。

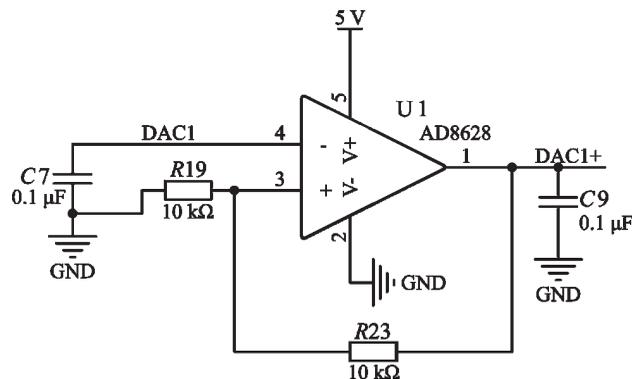


图3 电压放大器电路原理图

2.4 电压比较电路

电压比较电路由5路电压比较器组成，本设计选用LM393芯片进行电压比较。将光电检测电路中5路反馈电压分别与电压放大电路输出的基准电压进行比较后，输出0和1的数字量比较结果。图4所示为电压比较器电路中单路电压比较器原理图。

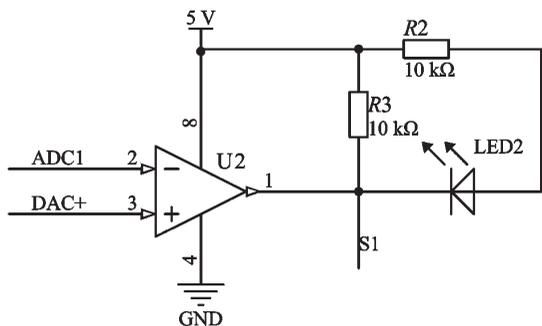


图4 单路比较器原理图

3 软件设计方案

3.1 软件流程

首先对各个模块进行初始化,然后采集光电检测电路的5路输出电压,经AD转换后,将所得5路电压数值进行中值滤波,滤波后的5路电压值存入数组,经基准电压融合公式计算得到最优基准电压值,最后通过数模转换器输出模拟电压值至电压放大电路输入端,以更新基准电压。软件流程图如图5所示。

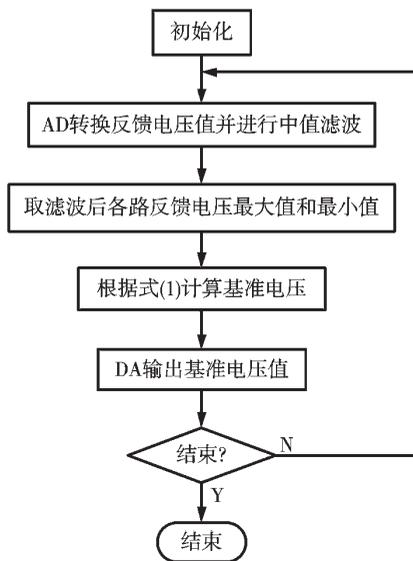


图5 软件流程图

3.2 最优基准电压计算

最优基准电压是根据光电检测电路的反馈电压确定的。即将中值滤波后的电压值存入数组后,取其中的最大值 U_{max} 和最小值 U_{min} 作算数平均运算得基准电压,计算公式为:

$$U_{ref} = (U_{max} + U_{min}) \times 0.5 \quad (1)$$

经实验测量可知,基准电压最高不超过4V,最低不低于2.6V,所以基准电压的取值区间为[2 600, 4 000],故最优基准电压需做限幅处理,其计算公式如式(2):

$$U_{ref} = \begin{cases} 4\ 000, & U_{ref} > 4\ 000 \\ (U_{max} + U_{min}) \times 0.5, & \text{其他} \\ 2\ 600, & U_{ref} < 2\ 600 \end{cases} \quad (2)$$

3.3 中值滤波算法中采样次数 N 的确定

对5路光电检测电路的电压数据进行中值滤波,可减小环境中干扰因素的影响,滤波算法中采样次数 N 关系到传感器的灵敏度和抗干扰能力,本文通过实验对比,确定了滤波采样次数 $N=15$ 。

4 传感器性能测试实验

为了对本文设计的环境自适应灰度循迹传感器有效性进行验证,本文从功能性和准确性两方面对其进行测试实验。

测试实验在实验室环境下进行,测试使用主要工具有:照度仪、支架、可调亮度及色温的LED照明灯、米白色木板地面、浅灰色普通水泥地面。

实验时,传感器水平固定在地面上方,距离地面1.2cm,照度仪固定在传感器旁边,LED照明灯利用支架固定在传感器正上方50cm处,实验场景如图6所示。



图6 实验场景图

4.1 传感器功能性测试

功能性测试主要目的是测试传感器在多种环境光照变量发生改变时,是否能实现基准电压的自适应调节。此实验选取了3个光照变量,分别是光照强度、光照色温和地面类型。通过控制变量法,在3组实验中分别改变某一变量,观察传感器的输出信号以及基准电压情况。

4.1.1 改变光照强度

此实验条件为:米白色木板地面、光照色温4 640 K。变量为光照强度,结合实际,室内光照强度在1 500 Lux以内,室外1 500 Lux以上,因此实验选取光照强度区间为400 Lux~3 000 Lux,间隔400 Lux为一组。

实验时,调整LED照明灯强度以模拟传感器环境的光照强度变化,通过万用表测量电压比较电路的基准电压 U_{ref} 和比较器输出端数字量,实验结果如表1所示。

由表1可知,随着光照强度的增加,基准电压 U_{ref} 明显增大,且传感器对循迹线识别准确。

4.1.2 改变光照色温

此实验条件为:米白色木板地面、亮度500 Lux。变

表1 改变光强时实验数据表

光照强度/Lux	U_{ref}/mV	地面返回信号	黑线返回信号
400	3 125	1	0
800	3 186	1	0
1 200	3 208	1	0
1 600	3 244	1	0
2 000	3 284	1	0
2 400	3 324	1	0
2 800	3 358	1	0
3 000	3 382	1	0

量为环境光的色温,结合实际,选取光照色温区间为3 440 K~5 120 K,间隔为240 K为一组。

实验时,调整LED照明灯色温以模拟传感器环境的光照色温变化,通过万用表测量电压比较电路的基准电压 U_{ref} 和比较器输出端数字量,实验结果如表2所示。由表2可知,基准电压 U_{ref} 基本不随色温的变化而变化,且传感器对循迹线识别准确。

表2 改变光照色温时实验数据表

光照色温/K	U_{ref}/mV	地面返回信号	黑线返回信号
3 440	3 122	1	0
3 680	3 186	1	0
3 920	3 174	1	0
4 160	3 176	1	0
4 400	3 176	1	0
4 640	3 176	1	0
4 880	3 104	1	0
5 120	3 090	1	0

4.1.3 改变地面情况

此实验条件为:光照亮度500 Lux、光照色温4 400 K,变量为地面的颜色和材质。

实验时,分别在两种地面进行测试,通过万用表测量电压比较电路的基准电压 U_{ref} 和比较器输出端数字量,实验结果如表3所示。由表3可知,水泥地面下测得的基准电压 U_{ref} 比木地板情况下测得的 U_{ref} 小,主要是由于水泥地面对光线有漫反射。

表3 改变地面类型时实验数据表

地面	自适应基准电压 U_{ref}/mV	地面返回信号	黑线返回信号
米白色木板	3 158	1	0
浅灰色水泥	3 134	1	0

通过3组实验数据可知,本文设计的传感器的基准电压 U_{ref} 可随光照强度、色温和地面材质的变化而变化,使传感器的循迹结果准确。

4.2 传感器准确性实验

准确性测试目的是测试环境自适应灰度循迹传感器在环境变量发生改变时,输出的基准电压 U_{ref} 是否与

理论基准电压值一致。实验条件为:米白色木板地面、光照色温4 640 K,实验数据如表4所示。

表4 系统准确性实验中测得各项数据

光照强度/ Lux	地面反馈 电压/mV	黑线反馈 电压/mV	理论基准 电压/mV	U_{ref}/mV	相对 误差/%
400	4 806	1 444	3 126	3 125	0.03
800	4 806	1 568	3 187	3 186	0.03
1 200	4 808	1 610	3 209	3 208	0.03
1 600	4 806	1 684	3 245	3 244	0.03
2 000	4 806	1 764	3 285	3 284	0.03
2 400	4 808	1 842	3 325	3 324	0.03
2 800	4 810	1 906	3 358	3 358	0
3 000	4 810	1 954	3 382	3 382	0

由表4数据可知,在光照强度发生变化时,环境自适应灰度循迹传感器输出的基准电压 U_{ref} 与当前光照强度下理论基准电压基本一致,偏差小于0.03%。表明设计的传感器在外界环境发生变化时,能够输出最优基准电压值,保证循迹线识别准确性。

5 结论

传统光电类传感器的智能化改造是智能制造发展过程中衍生出来的一个新研究方向,传统光电类传感器和处理器芯片以及算法相结合的方式能够有效地提高光电类传感器的各项性能,更好地适应实际应用中不断提高的要求。基于该发展趋势,本文提出了一种环境自适应灰度循迹传感器的设计和实现方案,该新型传感器能够提高灰度传感器的稳定性,提高识别结果的准确性。此外,传统灰度传感器也可设计成模拟量输出加上其他识别算法的方案,识别结果的精度更高。

参考文献

- [1] 董文清.智能机器人的现状与发展[J].机械制造,2019,57(1):36-38.
- [2] 李兆冬,陶进,安旭阳.移动机器人目标识别与定位算法发展综述[J].车辆与动力技术,2020(1):43-48.
- [3] 杜松林.工业机器人的发展及应用[J].中国新通信,2019,21(2):94-95.
- [4] 魏炳哲,于磊,王万里.工业机器人技术在自动化控制领域的实践分析[J].科学技术创新,2020(17):108-109.
- [5] 胡光桃,张元,王强.移动机器人传感器与导航控制[J].制造业自动化,2020,42(6):66-70,8.
- [6] 李业谦,陈春苗.基于ROS和激光雷达的移动机器人自动驾驶系统设计[J].现代电子技术,2020,43(10):176-178,83.
- [7] 胡福志,柳明.基于CMOS摄像头的教育机器人运动路径检测[J].电子测量技术,2020,43(7):153-156.
- [8] 万旭,徐海黎,阮有兵,等.基于Intel Realsense深度摄像头的巡逻机器人避障导航方法[J].电视技术,2018,42(12):66-70,127.

(下转第40页)

范围远距离分布式爆炸声波测试系统,实现了2 km的大范围网络覆盖以及分布式测试节点的准确定位,而且统一了时间基准(精度可达纳秒级)。最后,通过实验验证了系统的有效性。

参考文献

[1] 程宇腾.温压炸药在不同环境下爆炸冲击波的仿真与试验研究[D].南京:南京理工大学,2017.

[2] 贾维敏.利用次声波对常规导弹爆炸效果探测的方法[J].火力与指挥控制,2005(S1):69-71.

[3] 华雨,李兴隆.静爆冲击波在空气中的传播规律[J].兵器装备学报,2016,37(7):168-172.

[4] 王文廉.同时测速测压的存储式冲击波测试系统研究[D].太原:华北工学院,2004.

[5] 王文廉,张晋文,赵晨阳,等.爆炸场压力测试多存少取技术研究[J].振动与冲击,2014,33(24):54-57.

[6] 朱金瑞,王代华.一种可编程高可靠性存储时爆炸冲击波测试系统[J].兵器装备工程学报,2019,40(2):153-157.

[7] 轩春青,轩志伟,赖富文.压力测试中多次触发连续存储技术的研究[J].传感技术学报,2019,32(10):1473-1476.

[8] 陈青青,王代华,翟永.GPS同步技术在冲击波存储测试

(上接第10页)

ference(WCNC),2015:1297-1302.

[45] LIANG W, XU W, REN X, et al. Maintaining sensor networks perpetually via wireless recharging mobile vehicles[C]//39th Annual IEEE Conference on Local Computer Networks, 2014:270-278.

[46] WU P, XIAO F, SHA C, et al. Trajectory optimization for UAVs' efficient charging in wireless rechargeable sensor networks[J]. IEEE Transactions on Vehicular Technology, 2020, 69(4):4207-4220.

[47] BAEK J, HAN S I, HAN Y. Optimal UAV route in wireless

(上接第35页)

[9] 李龙,吕宏,蔡新展,等.一种基于光电导航的智能循迹测量小车设计与实现[J].科技创新导报,2018,15(8):3-4.

[10] 刘婧.基于PDMS光栅的小车循迹应用[J].电子器件,2018,41(3):795-798.

[11] 张沛涛,郭颖,齐航,等.基于STM32F407的物流搬运车设计[J].国外电子测量技术,2019,38(4):144-148.

[12] 赵涛,陶重彝,冯佳佳,等.基于STM32单片机的自动喷灌机器人[J].计算机系统应用,2017,26(9):279-282.

[13] 易先军,彭萌,耿翰夫,等.机器人超宽带室内定位系统的研究[J].自动化与仪表,2019,34(12):45-48.

[14] 朱樟明.芯片化:实现激光雷达高性能的必要途径[J].前沿科学,2018(4):46-49.

[15] 马争光,赵永国,刘成业,等.激光和视觉融合SLAM方法研究综述[J].计算机测量与控制,2019,27(3):1-6.

中的应用[J].实验室研究与探索,2017,36(10):61-64.

[9] 翟永.冲击波存储测试系统的同步技术研究[D].太原:中北大学,2016.

[10] 王晓楠,王代华,苏尚恩,等.冲击波测试系统中GPS同步技术研究[J].现代雷达,2018,40(1):81-85.

[11] 王玉,张志杰,王文廉.爆炸场地面压力测试的Wi-Fi无线传感器网络实现[J].传感器与微系统,2013,32(5):108-110.

[12] 轩春青,轩志伟,赖富文,等.基于WiFi的无线存储测试系统设计[J].传感技术学报,2016,29(5):758-763.

(收稿日期:2021-04-21)

作者简介:

王毛凯(1994-),男,硕士研究生,主要研究方向:动态测量与智能仪器。

赖富文(1973-),男,博士,高级工程师,主要研究方向:武器动态测试。

王文廉(1978-),通信作者,男,博士,副教授,主要研究方向:半导体功率器件、智能仪器和动态测试等,E-mail:shmilyp@163.com。



扫码下载电子文档

charging sensor networks[J].IEEE Internet of Things Journal, 2020, 7(2):1327-1335.

(收稿日期:2021-05-29)

作者简介:

陈雅倩(1997-),女,硕士研究生,主要研究方向:无线能量传输和无线充电传感器网络。

焦万果(1987-),女,博士,副教授,主要研究方向:无线传感器网络性能分析、资源管理策略服务质量保障技术以及林业物联网。

周磊(1998-),男,硕士研究生,主要研究方向:能量收集认知无线电传感器网络。



扫码下载电子文档

[16] 张军宝.自然轮廓导航技术在AGV领域应用研究[J].中国战略新兴产业,2020(6):135.

[17] 江毓光.Arduino小车巡线程序的灰度阈值优化方案[J].中国信息技术教育,2020(2):89-90.

[18] 时存,车玉秋,郭丹蕊.基于擂台赛的轮式机器人对抗策略分析[J].机器人技术与应用,2018(6):33-36.

(收稿日期:2020-10-23)

作者简介:

陈栩聪(1997-),男,硕士研究生,主要研究方向:机器视觉、机器人运动控制。

袁飞(1984-),通信作者,男,博士,讲师,主要研究方向:无线传感器网络数据融合、移动服务机器人定位技术、深度学习,E-mail:306223928@qq.com。

梁新农(1997-),男,本科,主要研究方向:智能传感器。



扫码下载电子文档

版权声明

经作者授权，本论文版权和信息网络传播权归属于《电子技术应用》杂志，凡未经本刊书面同意任何机构、组织和个人不得擅自复印、汇编、翻译和进行信息网络传播。未经本刊书面同意，禁止一切互联网论文资源平台非法上传、收录本论文。

截至目前，本论文已经授权被中国期刊全文数据库（CNKI）、万方数据知识服务平台、中文科技期刊数据库（维普网）、DOAJ、美国《乌利希期刊指南》、JST 日本科技技术振兴机构数据库等数据库全文收录。

对于违反上述禁止行为并违法使用本论文的机构、组织和个人，本刊将采取一切必要法律行动来维护正当权益。

特此声明！

《电子技术应用》编辑部

中国电子信息产业集团有限公司第六研究所