

基于OpenMV的智能“寻的”小车控制系统

李成勇，谭寒钟，王莎，胡晶晶

引用本文:

李成勇, 谭寒钟, 王莎, 等. 基于OpenMV的智能“寻的”小车控制系统[J]. 液晶与显示, 2020, 35(8): 870–876.

LI Cheng-yong, TAN Han-zhong, WANG Sha, et al. OpenMV-based intelligent “find” trolley control system[J]. *Chinese Journal of Liquid Crystals and Displays*, 2020, 35(8): 870–876.

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.37188/YJYXS20203508.0870>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

一种液晶模组自动光学检测系统的设计

Defect inspection system design based on the automated optical inspection technique for LCD module

液晶与显示. 2020, 35(4): 402–408 <https://doi.org/10.3788/YJYXS20203504.0402>

一种用于图像拼接的改进ORB算法

Improved ORB algorithm used in image stitching

液晶与显示. 2018, 33(6): 520–527 <https://doi.org/10.3788/YJYXS20183306.0520>

基于 DSP 的血型图像判读系统

Blood image recognition system based on DSP

液晶与显示. 2015(2): 283–289 <https://doi.org/10.3788/YJYXS20153002.0283>

基于杂波抑制的海平线红外弱小目标检测

Small dim infrared target detection of horizon region based on clutter rejection

液晶与显示. 2017, 32(4): 316–324 <https://doi.org/10.3788/YJYXS20173204.0316>

基于改进稳态匹配概率的立体匹配算法研究

Stereo matching algorithm based on improved steady-state matching probability

液晶与显示. 2018, 33(4): 357–364 <https://doi.org/10.3788/YJYXS20183304.0357>

文章编号:1007-2780(2020)08-0870-07

基于 OpenMV 的智能“寻的”小车控制系统

李成勇*, 谭寒钟, 王 莎, 胡晶晶
(重庆工程学院 电子信息学院, 重庆 400056)

摘要:选择使用拥有 STM32F427 的 OpenMV 作为 MCU,设计了一辆基于机器视觉的循迹避障智能小车系统,能够从标记的指定位置出发,迅速找寻规定场内随机点亮的信号表示灯。该设计使用摄像头模块系统进行图像采集,得到障碍物的位置信息,通过进一步使用采集到的障碍物图像进行测距,从而得到障碍物的位置信号。采用 FAST 特征点检测算法、NCC 模板匹配算法、PID 控制算法、单目视觉测距算法等,小车前方有障碍物则曲线行使,避开障碍物,无障碍物则直线行驶,实现自动行驶的目的。本系统通过多次实验验证并实现自动“寻的”避障的功能,具有灵敏度高、稳定性强等特点。

关键词: OpenMV; 机器视觉; 循迹避障; FAST; 模板匹配

中图分类号: TP394.1; TH691.9 **文献标识码:** A **doi:** 10.37188/YJYXS20203508.0870

OpenMV-based intelligent “find” trolley control system

LI Cheng-yong*, TAN Han-zhong, WANG Sha, HU Jing-jing

(School of Electronic Information, Chongqing Institute of Engineering,
Chongqing 400056, China)

Abstract: Using OpenMV with STM32F427 as the MCU, a machine vision-based track barrier-avoidance intelligent car system is designed. The car system can quickly look for the specified field randomly lit signal beacon from the designated location of the marking. The design uses the camera module system to collect the image, get the position information of the obstacle, and measure the distance by using the captured obstacle image further, so as to get the position signal of the obstacle. Using FAST feature point detection algorithm, NCC template matching algorithm, PID control algorithm, mono-visual visual ranging algorithm, etc., when there are obstacles in front of the car they start curve exercise to avoid obstacles, when no obstacles they are straight driving, to achieve the purpose of automatic driving. The system can verify and realize the function of automatic "search" barrier by many experiments, and has the characteristics of high sensitivity and strong stability.

Key words: OpenMV; machine vision; trail avoidance; FAST; template matching

收稿日期:2019-11-19;修订日期:2020-01-06.

基金项目:国家自然科学基金(No.61401052);重庆市教委科学技术基金(No.KJ20180198344)

Supported by National Natural Science Foundation of China (No.61401052); Chongqing Education Commission Science and Technology Foundation (No.KJ20180198344)

* 通信联系人, E-mail: lichengyong000@126.com

1 引言

近年来,随着科技的不断进步,无人控制技术逐步成熟,无人控制的智能小车自动行驶成为人们关注的热点^[1]。随着人工智能和自动化技术的迅速发展,各种高科技以及前沿技术广泛应用于智能小车领域,使智能小车越来越多样化^[2]。无人驾驶汽车将物联网、人工智能等顶尖新科技与传统汽车技术相结合,汽车行业正在进行全新的改革,现在还处于尝试阶段,并没有建立规范化、标准化、完整的理论知识体系,因此自动驾驶技术探索之路还在进行中。自动驾驶技术是将相关车载传感器、控制器、执行器等结合,旨在让人解放双手,享受生活。从技术方面来讲,自动驾驶汽车可以分为两大发展方向:(1)驾驶辅助系统;(2)无人驾驶系统。其中,无人驾驶系统是主要研究方向,安全辅助驾驶是智能交通的重要研究方向。近20多年来,安全辅助驾驶是无人驾驶系统的研究创新方向之一,它主要由控制器、传感器、显示器、摄像头等元器件制造而成。在模拟情景下,小车行驶在路上,摄像头根据路况实时采集、更新行驶过程中车体与车道标识线的距离,通过一系列处理后将信息传递给单片机、传感器,若此时行驶路径发生偏移,便能在0.5 s的时间内由控制器发出警报,提前警示驾驶员,为驾驶员预留更多的反应时间与空间。安全辅助驾驶的研究方向多基于视觉摄像头,但是无论从国外研究现状还是国内研究技术水平来看,通过视觉方式实现车道偏移预警功能,在很大程度上受当地气候环境影响和光照突变的影响。

本文设计一种采用 OpenMV 作为主控的基于机器视觉的循迹避障智能小车系统,能够从标记的指定位置出发,迅速找寻规定场内随机点亮的信号表示灯。该系统能够自动循迹,找寻规定场内随机点亮的信号灯,遇到障碍物时可自动避障。

2 系统方案的选择与描述

2.1 速度控制算法设计

实现智能小车的速度控制算法有两种,分别为PID(比例-积分-微分控制器)控制算法与比例

控制算法^[3]。其中比例算法实现较为简单,算法中的比例系数容易求解及操作,设计过程简单明了。在本系统的设计应用中,信号表示灯的个数不定,位置布局不固定,比较灵活,并且随机点亮信号灯容易导致比例算法中的比例系数很难调整,易造成智能小车摆动幅度大,平衡性差,造成智能小车翻车的概率大幅增加。PID 算法可以明显改善上述缺点,使用积分与微分控制器的调节,使其离散值保持在一定区间内。因此,比例系数设置更为容易^[4]。

本设计中的速度控制采用 PID 算法,可以实现智能小车有效灵活地加、减速。

2.2 障碍物识别算法设计

智能小车在行驶过程中可能会不定期地遇见障碍物,通过设计障碍物识别算法辨别障碍物,可使智能小车曲线行驶避开障碍物。在局部特征点检测快速发展阶段,人们对于特征的认识也越来越深入,近几年许多学者提出的特征点检测算法及其改进算法也愈来愈多,在众多的算法中涌现出众多佼佼者。在本系统中,利用 FAST (Features from Accelerated Segment Test) 算法^[5-6]在灰度图下对障碍物进行特征提取,然后进行障碍物识别。FAST 算法在某像素与其周围领域内足够多的像素点相差较大,则该像素可能是角点,通过不断地比较进行特征点检测。同时,在障碍物识别中加入模板匹配(NCC 算法)^[7-10],进一步提高识别障碍物的精确度,双重算法的使用能够达到高精度、高效率识别的目的。

2.3 障碍物测距算法设计

实现障碍物测距的方法较多,有单目视觉障碍物测距^[11]、激光雷达障碍物测距^[12]、激光测距^[13]等方法。其中激光雷达障碍物测距方式价格较高,智能小车载重增大,对于本系统来说不实用,而激光测距方式发出的光线会对 OpenMV 识别造成偏差,智能小车在行驶过程中受到影响。单目视觉测距算法可以很好地弥补上述方法的不足,单目测距根据图像摄取模块焦距、图像摄取模块离地面高度以及障碍物底部在相平面上的位置,通过光学相似三角计算获得障碍物距离,可以很好地完成本系统的实验要求,在智能小车负重未增加的情况下,小车行驶效率进一步提高。

2.4 信号灯红外识别算法设计

在本系统中实现信号灯识别采用颜色追踪算

法,该算法可以准确识别到点亮的信号灯。颜色追踪算法信息全面,对全幅图像、所有的颜色均会进行搜索,搜索目标颜色的精确度会进一步提高。其中由查找 X、Y 上最小宽度的像素方式,同时设置面积阈值,如果色块面积小于阈值设定值则会被过滤掉,大于等于设定的面积阈值则会保留。所以,通过设置点亮时的颜色阈值与面积阈值则可对追踪。

3 理论分析与设计

3.1 速度控制算法的理论分析

智能小车行驶过程中,本系统中的速度控制可由 PID 算法对电机进行控制。PID 控制系统原理图如图 1 所示。

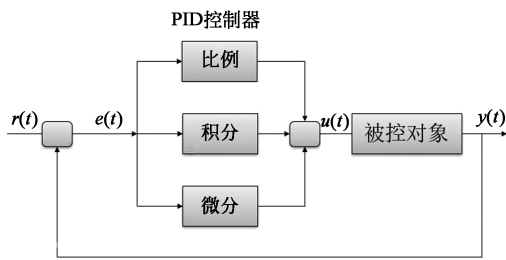


图 1 PID 控制系统原理图

Fig.1 Schematic diagram of PID control system

在该算法中, $r(t)$ 为输入, $y(t)$ 为实测值, $e(t)$ 为偏差信号,其中关系如式(1)所示:

$$e(t) = r(t) - y(t) \quad (1)$$

输出为一种线性组合规律,该规律由偏差信号的比例、积分、微分决定,具体由式(2)表示:

$$u(t) = K_p \left[e(t) + \frac{1}{T_i} \int_0^t e(t) dt + T_d \cdot \frac{de(t)}{dt} \right] \quad (2)$$

式中: K_p 是比例系数; T_i 是比例积分常数; T_d 是微分时间常数。

3.2 障碍物识别算法的理论分析

本系统中障碍物识别算法的核心算法为 FAST 算法和模板匹配算法(NCC 算法)。其中, FAST 算法速度快,在摄入的图像以像素 p 为中心半径为 r ,同时检测其像素点数。设置 p 点为候选点,同时定义阈值,这些像素点与像素 p 比较,若绝对值均小于阈值,则 p 点不是特征点;若超过阈值则进行下一步考察。以此类推计算出超过阈值的像素点个数,若至少有半数像素点超过设置阈值,则是特征点;否则,直接过滤。

对图像进行非极大值抑制,计算特征点处的 FAST 得分值(score 值,也即 s 值),判断以特征点 p 为中心的一个邻域内,如果有多个特征点,判断每个特征点的 s 值,若 p 是邻域所有特征点中响应值最大的则保留;否则抑制。

如果邻域内只有一个特征点,保留并对其得分进行计算,计算公式如式(3)所示:

$$V = \max \begin{cases} \sum (\text{pixel values} - p) & \text{if } (\text{value} - p) > t \\ \sum (p - \text{pixel values}) & \text{if } (p - \text{value}) > t \end{cases} \quad (3)$$

式中, V 表示所得到的分数, t 表示阈值。

NCC 算法是一种归一化相关匹配法,是基于图像灰度信息的匹配方法。

NCC 算法计算原理公式如式(4)所示。

$$\text{NCC} = \frac{\sum_{i=-\frac{m}{2}}^{\frac{m}{2}} \sum_{j=-\frac{n}{2}}^{\frac{n}{2}} (x+i, y+j) \cdot r(x+i, y+j) - m \cdot n \cdot u_f \cdot u_r}{\left\{ \left(\sum_i \sum_j f^2(x+i, y+j) - m \cdot n \cdot u_f^2 \right) \cdot \left(\sum_i \sum_j r^2(x+i, y+j) - m \cdot n \cdot u_r^2 \right) \right\}^{\frac{1}{2}}} \quad (4)$$

可根据积分图像提前计算出任意窗口大小和与平方和,式(4)中 u_f 表示带检测图像, u_r 表示参考模板图像的窗口均值。在积分图像建立起窗口下的待检测图像与模板图像的和平方,以及交叉乘积 5 个积分图索引后就完成了预计生成。通过索引表查询计算结果, NCC 就实现了线性时间

的复杂度计算。

3.3 障碍物测距算法的理论分析

小车在运行过程中,障碍物测距可通过单目视觉测距算法测量。单目视觉测距算法原理图如图 2 所示。

单目测距算法中, H_m 、 R_m 为障碍物真实值,

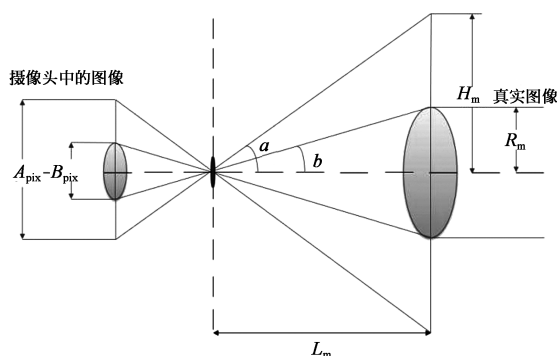


图 2 单目视觉测距原理框图

Fig. 2 Schematic diagram of monocular visual distance measurement

A_{pix} 、 B_{pix} 为摄像头中的图像,其关系可推演得出。在左边的摄像头里的几何关系可得出式(5)与式(6):

$$\tan a = \frac{A_{pix}}{2L'} \quad (5)$$

$$\tan b = \frac{B_{pix}}{2L'} \quad (6)$$

由公式(5)和(6)可推理出公式(7):

$$\frac{\tan a}{\tan b} = \frac{A_{pix}}{B_{pix}} \quad (7)$$

原理框图中真实环境中的集合关系,可得出式(8):

$$\tan b = \frac{R_m}{L_m} \quad (8)$$

将公式(8)代入公式(7),可得出结论公式(9):

$$L_m \cdot B_{pix} = \frac{R_m \cdot A_{pix}}{\tan a} \quad (9)$$

3.4 信号灯红外识别算法分析

小车在追踪点亮的信号表示灯,采用颜色追踪算法。点亮的信号灯与未点亮的信号灯在颜色上存在差异,本系统通过该点不同而设计颜色追踪算法。

颜色追踪算法搜集信息全面,精度高,在施行过程中出错的概率大幅降低。该算法利用机器视觉中需要识别的颜色进行追踪,在 RGB 下对点亮的信号灯进行阈值设定,设定需要追踪物体的颜色后,则该颜色在此种环境状态下能够在设定的阈值范围内识别。不仅如此,还通过设计面积阈值,对颜色面积进行判断识别,其中由查找 X、Y 上最小宽度的像素方式,同时设置面积阈值,如果色块面积小于阈值设定值则会被过滤掉,大于等于设定的面积阈值则会保留,这样可排除外界因

素干扰。当两者同时识别后驱动小车对目标进行追踪。

4 电路与程序设计

4.1 硬件设计

首先通过 OpenMV 摄像头系统进行图像采集,然后将图像信息数据送传至拥有 STM32F427 的 OpenMV 系统进行颜色追踪、模板匹配、测距、特征点检测等处理,然后驱动智能小车的电机。循迹避障智能小车系统框图如图 3 所示。

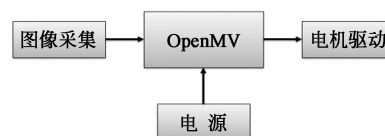


图 3 循迹避障智能小车系统框图

Fig.3 Block diagram of tracking obstacle avoidance intelligent vehicle system

OpenMV 摄像头可以实现物体在动态特征下无接触远距离测量,是光测量的一种有效应用。OpenMV 摄像头电路结构如图 4 所示。

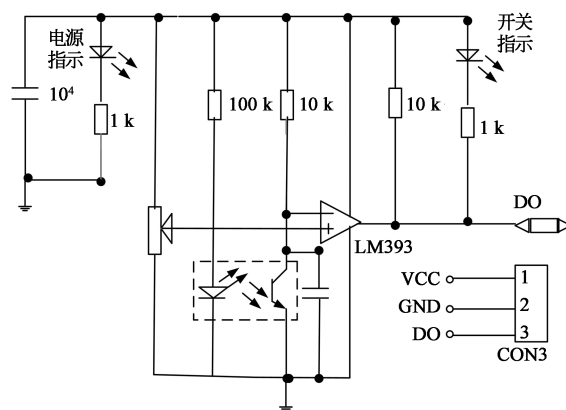


图 4 OpenMV 摄像头电路结构

Fig.4 Circuit structure of OpenMV camera

电源管理模块选择有 3 种方案:锂电池、镍镉电池、镍氢电池。控制系统各个部件都需要合适且比较稳定的电压,电源电压大小和能量要充足,才能保证系统在行驶时的稳定性。因此选择 12 V 的锂电池,电源管理图如图 5 所示。

电机驱动模块选择 12 V 的 ASLONG-JGB37 微型直流减速电机。根据电池供电的不同,电机的

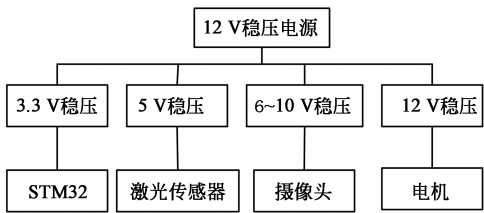


图 5 电源管理图

Fig.5 Power management diagram

转速也不同,而该电机转速可调。带减速的电机加上了减速箱,降低了转速,增强了扭力。

4.2 软件设计

首先对系统进行初始化,摄像头系统将会进行图像采集,如果采集到图像,摄像头系统将采集到的图像数据送传至 OpenMV 进行处理。若检测到点亮的信号表示灯,调整转角,系统会对点亮后的信号表示灯进行颜色追踪。若在追踪过程中检测到障碍物,系统将会对障碍物进行测距,同时调整转角,驱动电机使小车曲线行驶,避免触碰障碍物;若未检测到障碍物,驱动小车前进,此时小车将会直线行驶。通过控制 PWM 口的信号输出可以实现轮速的控制,主程序流程如图 6 所示。

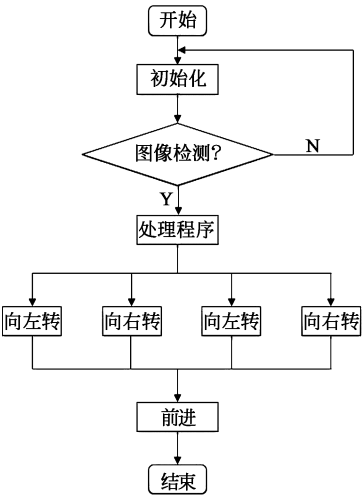


图 6 主程序流程图

Fig.6 Flow chart of main program

5 测试方案与测试结果

5.1 测试方案

当检测到点亮的信号表示灯时,左右车轮高速转动,小车直行,完成灭灯任务;当检测到障碍物

坐标出现在图像中的左边时,智能小车左轮高速正转,右轮低速正转,实现右转,避开障碍物,然后通过检测点亮的信号表示灯继续追踪,完成灭灯任务;当检测到障碍物坐标出现在图像中的右边时,右轮高速正转,左轮低速正转,实现左转,避开障碍物,然后通过检测点亮的信号表示灯继续追踪,完成灭灯任务。如果未检测到点亮的信号灯,智能小车通过右轮高速正转,左轮低速正转,实现差速控制左转寻找场内随机点亮的信号灯。

5.2 测试结果及分析

按照上述设计方案,完成的循迹避障智能小车控制系统模型,在规定时间内需要从指定位置出发,智能小车快速找寻规定场内的随机点亮的信号表示灯,当智能小车进入到点亮的信号表示灯的规定范围内时,信号灯会自动熄灭。此时,下一处的信号灯将会随机点亮,智能小车再一次需要完成灭灯,每个灯被灭后可能再次被点亮。如此,在规定时间内完成灭灯任务,同时统计灭灯个数。循迹避障智能小车测试实验过程如图 7 所示。循迹避障智能小车测试数据如表 1 所示。



图 7 循迹避障智能小车灭灯实验图

Fig.7 Experiment diagram of tracking obstacle avoidance intelligent vehicle lamp extinction

表 1 小车灭灯测试数据

Tab.1 Test data of car lights out

测试组序号	时间/s	灭灯数/个
1	180	30
2	180	28
3	240	39
4	240	43
5	300	52
6	300	50

根据不同距离 OpenMV 摄像头返回的数据,计算出当前信标灯对应小车的坐标值, OpenMV 摄像头测试数据如表 2 所示。

表 2 OpenMV 摄像头测试数据
Tab.2 Test data of OpenMV camera

距离/m	X/cm	Y/cm	W/cm	H/cm
2(中)	166	106	9	2
2(右)	279	117	22	25
2(左)	42	111	24	19
4(中)	158	104	20	11
4(右)	243	103	19	18
4(左)	55	101	19	18
6(中)	165	101	17	6
6(右)	242	102	15	15
6(左)	71	100	19	10

根据表 1、表 2 测试数据,可以得出以下结论:在 300 s 时间内,平均灭灯个数超过 50 个,说

明本系统具有可行性,小车能够精确识别点亮的信号表示灯;通过 OpenMV 摄像头得到的左中右坐标值,误差值在 1 cm 范围内,说明系统可准确通过摄像头数据识别障碍物并进行测距;小车能够进行左中右坐标值位置测量,说明系统能够在追踪及灭掉点亮的信号灯过程中避开障碍物;小车在 2,4,6 m 位置处得到坐标值,说明系统能准确地驱动小车前进,完成灭灯。本系统达到设计要求。

6 结 论

本文提出的基于 OpenMV 智能“寻的”小车控制系统采用 OpenMV 摄像头系统完成图像数据的采集,通过将图像数据送传至 OpenMV 系统进行处理,完成对点亮的信号表示灯的追踪,达到了避开障碍物的设计要求。该系统采用 FAST 特征点检测、NCC 模板匹配、PID 控制、单目视觉测距等算法,处理速度更快,精度高,数据精确,负载轻,小车实验测试数据差值小,几乎可以忽略,系统稳定,达到设计的预期效果。

参 考 文 献:

- [1] 李成勇,应春霞,胡晶晶.穿透毛玻璃的可见光成像系统[J].应用光学,2019,40(3):416-421.
LI C Y, YING C X, HU J J. Visible light imaging system through frosted glass [J]. *Journal of Applied Optics*, 2019, 40(3): 416-421. (in Chinese)
- [2] 陈华伟,袁小翠,吴禄慎,等.基于曲率突变分析的点云特征线自动提取[J].光学精密工程,2019,27(5):1218-1228.
CHEN H W, YUAN X C, WU L S, *et al.* Automatic point cloud feature-line extraction algorithm based on curvature-mutation analysis [J]. *Optics and Precision Engineering*, 2019, 27(5): 1218-1228. (in Chinese)
- [3] 李成勇,胡晶晶.基于激光测距的光电“寻的”智能小车控制系统[J].光电技术,2019,39(1):68-71.
LI C Y, HU J J. Design of control system of laser rang-eassisted trackingvehicle [J]. *Optoelectronic Technology*, 2019, 39(1): 68-71. (in Chinese)
- [4] 单升起,林珊玲,林志贤,等.电润湿电子纸多灰度动态显示驱动系统设计与实现[J].液晶与显示,2018,33(3):213-220.
SHAN S Q, LIN S L, LIN Z X, *et al.* Design and implementation of electrowetting multi-gray dynamic display driving system [J]. *Chinese Journal of Liquid Crystals and Displays*, 2018, 33(3): 213-220. (in Chinese)
- [5] 范赐恩,冉杰文,颜佳,等.颜色空间统计联合纹理特征的无参考图像质量评价[J].光学精密工程,2018,26(4):916-926.
FAN C N, RAN J W, YAN J, *et al.* No-reference image quality assessment using joint color space statistical and texture feature [J]. *Optics and Precision Engineering*, 2018, 26(4): 916-926. (in Chinese)
- [6] 曹诗雨,刘跃虎,李辛昭.基于 Fast R-CNN 的车辆目标检测 [J].中国图象图形学报,2017,22(5):671-677.
CAO S Y, LIU Y H, LI X Z. Vehicle detection method based on fast R-CNN [J]. *Journal of Image and Graphics*, 2017, 22(5):671-677. (in Chinese)

- [7] 李成勇. LED 室内光通信系统研究[J]. 光通信研究, 2018(3): 73-76.
LI C Y. Research on LED indoor optical communication system [J]. *Study on Optical Communications*, 2018(3): 73-76. (in Chinese)
- [8] 周晨卉, 王生进, 丁晓青. 基于局部特征级联分类器和模板匹配的行人检测[J]. 中国图象图形学报, 2010, 15(5): 824-829.
ZHOU C H, WANG S J, DING X Q. Pedestrian detection based on partial feature and model matching [J]. *Journal of Image and Graphics*, 2010, 15(5): 824-829. (in Chinese)
- [9] 汤泽滢, 卢汉清, 罗建书. 基于解析形式的二维参数可变形模板匹配算法 [J]. 中国图象图形学报, 2004, 9(7): 775-780.
TANG Z Y, LU H Q, LUO J S. A novel analytical-form-based parametric deformable template [J]. *Journal of Image and Graphics*, 2004, 9(7): 775-780. (in Chinese)
- [10] 陈璐宇, 周春艳. 基于分块颜色直方图和 GWLBP 的图像检索算法[J]. 液晶与显示, 2017, 32(9): 755-763.
CHEN L Y, ZHOU C Y. Image retrieval algorithm based on block color histogram and GWLBP [J]. *Chinese Journal of Liquid Crystals and Displays*, 2017, 32(9): 755-763. (in Chinese)
- [11] 何阳, 黄玮, 王新华, 等. 稀疏阈值的超分辨率图像重建[J]. 中国光学, 2016, 9(5): 532-539.
HE Y, HUANG W, WANG X H, *et al.* Super-resolution image reconstruction based on sparse threshold [J]. *Chinese Optics*, 2016, 9(5): 532-539. (in Chinese)
- [12] 李成勇, 王泽芳. 基于超声波辅助测距的可见光室内定位系统[J]. 光通信技术, 2018, 42(1): 53-55.
LIC Y, WANG Z F. Visible light indoor positioning system based on ultrasonic aided ranging [J]. *Optical Communication Technology*, 2018, 42(1): 53-55. (in Chinese)
- [13] 童正, 吴磊, 赵晨, 等. 基于 S 曲线全局动态调光的改进算法[J]. 液晶与显示, 2018, 33(12): 1019-1025.
TONG Z, WU L, ZHAO C, *et al.* Improved algorithm based on S-curve global dynamic dimming [J]. *Chinese Journal of Liquid Crystals and Displays*, 2018, 33(12): 1019-1025. (in Chinese)

作者简介:



李成勇(1986—),男,甘肃靖远人,硕士,副教授,2013 年于重庆理工大学获得硕士学位,主要从事光通信系统建模及嵌入式系统开发方面的研究。E-mail: lichengyong000@126.com