

文章编号:1002-2082(2019)03-0416-06

# 穿透毛玻璃的可见光成像系统

李成勇, 应春霞, 胡晶晶

(重庆工程学院 电子信息学院, 重庆 400056)

**摘 要:**透过复杂介质获取目标物体图像精细信息的能力是光电图像采集处理的一大难点, 选用 CMOS 光电图像传感器, 设计了 CMOS 成像系统以及后端读取和处理电路, 透过毛玻璃对目标物体成像, 将采集的图像信息传送到计算机中进行处理。该系统按照相机光学成像系统原理制作, 采用通用 CMOS 图像传感器芯片完成电路设计, 加之红外激光辅助照明拍摄采集图像, 由远及近不同距离分别对同一目标物成像, 对成像图像进行迭代图像增强算法优化, 可以解决毛玻璃非均匀质问题, 使光源重建精度大大提高, 得到的可见光图像轮廓清晰, 与一般 CCD 成像系统相比, 识别率超过 95%, 远大于一般成像系统, 且成像性能良好。

**关键词:**可见光; CMOS 图像传感器; 光电成像; 图像处理

**中图分类号:** TN29

**文献标志码:** A

**DOI:** 10.5768/JAO201940.0302002

## Visible light imaging system through frosted glass

LI Chengyong, YING Chunxia, HU Jingjing

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

**Abstract:** The ability to obtain fine information of object images through complex media is a major difficulty in photoelectric image acquisition and processing. The complementary metal oxide semiconductor (CMOS) photoelectric image sensor was adopted to design a CMOS imaging system and a back-end reading and processing circuit, the target object was imaged through the frosted glass, and the acquired image information is transmitted to the computer for processing. The system was fabricated according to the principle of camera optical imaging system. The circuit was completed by the general CMOS image sensor chip, and the image was acquired by infrared laser-assisted illumination shooting. The same target was imaged at far and near distances respectively, and the iterative image enhancement algorithm was optimized for the target image. It can solve the problem of non-uniformity of frosted glass, greatly improve the reconstruction precision of the light source, and obtain a clear outline of the visible light image. Compared with the general CCD imaging system, the recognition rate is over 95%, which is much larger than the general imaging system, and the imaging performance is good.

**Key words:** visible light; CMOS image sensor; photoelectric imaging; image processing

## 引言

毛玻璃也叫雾面玻璃、防眩玻璃等, 是用金刚砂等磨过或以化学方法处理过的一种表面粗糙不

平整的半透明玻璃, 毛玻璃表面不平整, 光线通过毛玻璃被反射后向四面八方射出去, 因为毛玻璃表面不是光滑的平面, 使光产生了漫反射, 折射到

收稿日期: 2018-11-28; 修回日期: 2018-12-28

基金项目: 重庆市教委科学技术研究项目(KJQN201801903; KJ1717312)

作者简介: 李成勇(1986—), 男, 硕士, 副教授, 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

视网膜上已经是不完整的像,于是就看不见玻璃背后的图像。毛玻璃对于不同光波段的成像影响差别比较大,常见的成像光波段有可见光、紫外光、红外光。紫外光波长较短,吸收大,穿透深度短,常用于透射皮肤等物质成像。毛玻璃因为有水等少量杂质,紫外光相对于可见光在穿透毛玻璃时有着较高的吸收,因此穿透毛玻璃成像选择透射率高的可见光,毛玻璃对可见光而言表面平整,吸收弱,折射率低。

穿透毛玻璃成像技术,是通过光电图像传感器捕捉视频图像,进行图像信息采集,可以获取人类视觉上看不到图像信息,让更多的潜在信息被捕捉到。获取到的图像信息可能由于采集环境影响,或多或少有部分缺失,通过计算机图像处理软件,后期加工处理优化,使图像接近于真实。因此,应用光电成像技术可以让摄像头成为识别更广的“人眼”,获取更多的人眼无法分辨的信息,与计算机结合,把捕获到的图像信息快速存贮显示<sup>[4]</sup>,弥补人视觉短暂的接受能力,达到“过目不忘”。

为了有效应用光电图像技术,针对可见光成像原理,本文设计了 CMOS 成像系统,在成像系统中加入辅助照明,在去除红外光的影响条件下,对可见光成像,采集到的图像采用快速迭代图像增强算法进行处理,实现透过毛玻璃对目标物体成像。

## 1 系统方案的选择与描述

目前,光电图像传感器应用比较广泛,主要有两类:电荷耦合器件(即 CCD)和互补金属氧化物半导体图像传感器(即 CMOS)。CCD 图像传感器集成度比较低,在应用时需要加外部辅助电路,生产成本低,内置图像采集处理芯片是专用芯片,传感器体积比较大。而 CMOS 图像传感器不需要外部辅助电路,生产成本相对较低,内置图像采集处理芯片是通用芯片,传感器体积比较小,应用方便。因此本系统选用 CMOS 图像传感器作为成像系统的图像采集器件。

可见光成像系统主要有 CMOS 成像系统和计算机图像采集处理两部分,系统结构如图 1 所示。毛玻璃与目标物之间的最远距离为 5 cm,两者对齐,成像系统与毛玻璃之间的距离为 20 cm~25 cm。CMOS 成像系统把穿透毛玻璃的目标物所成

的像进行采集,发送图像到计算机进行增强算法优化处理。

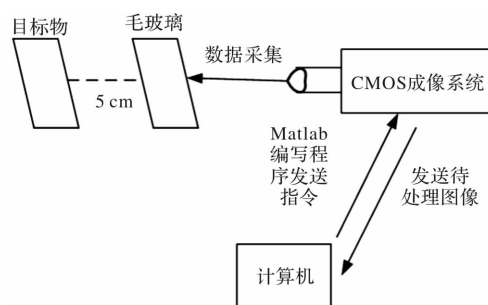


图 1 可见光成像系统结构框图

Fig. 1 Structure block diagram of visible light imaging system

CMOS 成像系统电路结构如图 2 所示。主要有时序发生控制电路、驱动电路、图像传感器 CMOS、A/D 转换电路、同步信号发生、A/D 转换电路。

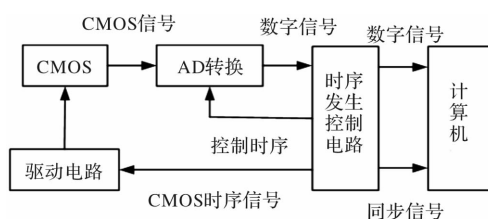


图 2 CMOS 成像系统电路结构

Fig. 2 Circuit structure of CMOS imaging system

时序发生电路输出 CMOS 工作所需要的时序;驱动电路驱动 CMOS 工作;图像传感器 CMOS 将光信号转换为电信号,然后逐个像素输出;A/D 转换电路对 CMOS 信号数字化。

同步信号产生控制 CMOS 信号采样的时序,从而对 CMOS 输出信号进行精确采样,减小噪声和误差。

CMOS 信号经 A/D 转换后的数字信号和由时序发生电路提供的同步信号共同组成一组并行信号,然后通过数据线输出到图像处理及显示部分,由后续电路对信号进行处理和显示。

## 2 理论分析与计算

### 2.1 采集与控制部分分析

摄像头主要由电脑 USB 端供电,当电路板上信号灯亮起,则表示电源接通,可开始正常工作,用 MATLAB 编写程序进行控制。发出指令后,摄像头开始拍照,并将摄取的图片传回电脑端,摄像头参数如表 1 所示。

表1 摄像头参数

Table 1 Camera parameters

名称	指标
模块颜色	Blue
接口	USB
供电方式	USB but power
操作系统	Windows
感光尺寸	1/3.2"
像素面积	1.4 $\mu$ m
保存格式	MJPEG

关于采集摄像头其他参数要求:

- 1) 自动对焦镜头,感光器像素为800万。
- 2) 成像距离,建议是3 cm~30 cm,使用距离最佳。
- 3) 免驱动,直接插上就会自动装驱动,标准UVC免驱协议。
- 4) USB 2.0摄像头,建议使用1 m以内的线,尽量不要太长,以免影响传输信号。

## 2.2 迭代图像增强算法

图像采集过程中由于光照太强或不足都会影响获取的图像质量,对显示和分析图像造成困难,一般对采集到的图像进行增强操作。

一副图像  $S(x, y)$  可以分解成反射图像  $R(x, y)$  和亮度图像  $L(x, y)$ , 其原理如图3所示。

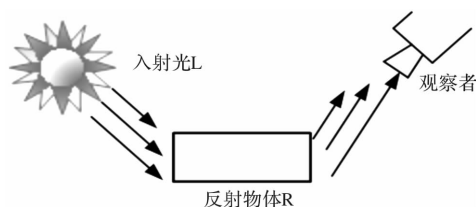


图3 图像构成

Fig. 3 Image composition

由图3可知,进入CMOS成像系统中的图像用下式表示:

$$S(x, y) = R(x, y) \cdot L(x, y) \quad (1)$$

式中:  $L(x, y)$  是入射光图像,这个参数决定图像像素能够达到的动态范围;  $R(x, y)$  是物体对光的反射属性,是内部属性;  $S(x, y)$  是反射光图像,即采集到人眼能够看到的图像。求解  $S(x, y)$ , 采用近似估计方法计算,处理过程如图4所示。

由此得出图像处理算法公式为

$$r(x, y) = \log_{30} R(x, y) = \log_{30} \frac{S(x, y)}{L(x, y)} \quad (2)$$

把公式进行变换后得:

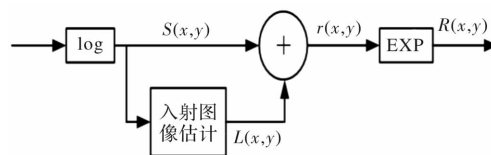


图4 图像处理过程

Fig. 4 Image processing process

$$r(x, y) = \log_{30} S(x, y) - \log_{30} [F(x, y) * S(x, y)] \quad (3)$$

式中:  $r(x, y)$  是输出图像;  $*$  表示卷积运算;  $F(x, y)$  是中心环绕函数,其计算公式为

$$F(x, y) = \lambda e^{-\frac{(x^2 + y^2)}{C^2}} \quad (4)$$

式中:  $C$  是中心环绕尺度系数;  $\lambda$  表示一个尺度系数,取值满足以下条件:

$$\iint F(x, y) dx dy = 1 \quad (5)$$

从以上公式中可得出,卷积是计算空间中的照度图像,表示估计出图像像素点与周围加权平均的照度变化。去掉其照度变化,只保留反射属性,达到图像增强效果。

可见光成像系统采集到的图像由于阴影遮挡和光照不均导致失真较大,采用改进迭代图像增强算法进行处理,效果更好。

在(1)式中  $L(x, y)$  是亮度图像,一般在原始输入图像中,按照一定路径或规则选择一些像素点,这些像素点就是估计的亮度图像。由于选择路径不同,亮度图像也不一样,图像增强效果会有差异,因此选择亮度图像的像素点很关键。为了避免某一点亮度变化过大,采用迭代图像增强算法,公式为

$$r_{n+1}(x, y) = \frac{r_n(x, y) + r'_n(x, y)}{2} \quad (6)$$

式中:  $r_n(x, y)$  表示上次迭代结果;  $r'_n(x, y)$  是  $r_n(x, y)$  与亮度差之和,即有:

$$r'_n(x, y) = \begin{cases} r_n(x, y) + \Delta l \leq \max \\ \max & r_n(x, y) + \Delta l > \max \end{cases} \quad (7)$$

式中:  $\Delta l$  表示单点的亮度差;  $\max$  表示像素点最大值。经过  $n$  次迭代后,  $r_{n+1}(x, y)$  就是增强图像亮度后的输出值。

## 3 电路与程序设计

### 3.1 硬件设计

依照光电图像处理系统结构,设计选用图像感光器元件为CMOS成像系统以及后端读取和处

理电路,摄像头主要由电脑 USB 端供电,当电路板上信号灯亮起,则表示电源接通,可开始正常工作,用 MATLAB 编写程序进行控制。发出指令后,摄像头开始拍照,并将摄取的图片传回电脑处理部分,由 MATLAB 软件编程实现,穿透毛玻璃的可见光成像系统电路实物图如图 5 所示。

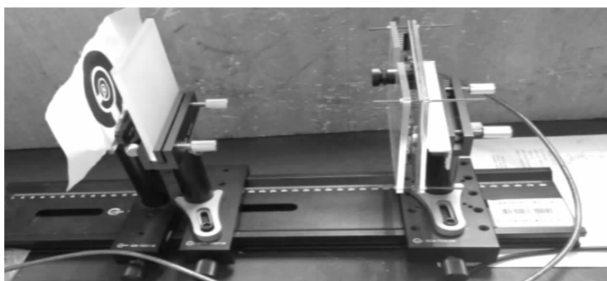


图 5 可见光成像系统电路实物图

Fig. 5 Physical circuit diagram of visible light imaging system

### 3.2 程序设计

首先对系统进行初始化,进行信号检测,选用 800 万像素的感光器,连接到自行设计的电路板上,由计算机 USB 端口 5V 电压直接供电,利用 MATLAB 软件编写程序,对电路板芯片发出拍照指令,芯片控制摄像头摄取照片,并传回计算机,采用迭代图像增强优化算法进行处理,算法流程如图 6 所示。

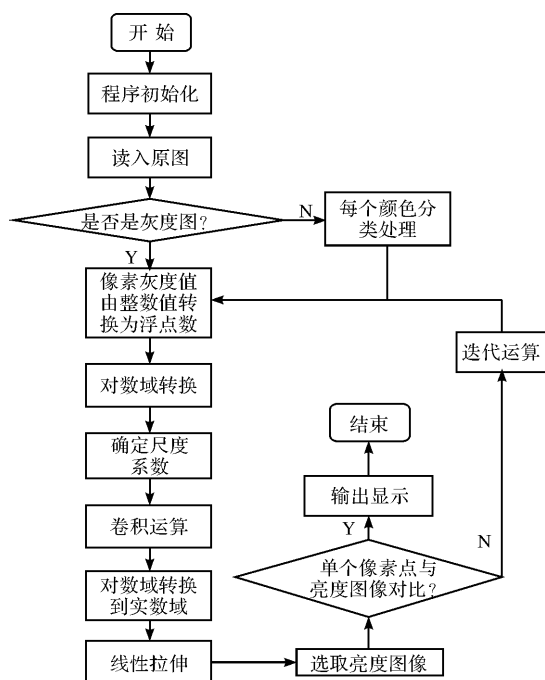


图 6 图像增强优化算法流程图

Fig. 6 Flow chart of image enhancement optimization algorithm

MATLAB 是用于算法开发、数据可视化、数据分析以及数值计算的高级技术计算语言和交互式环境,也是一款可用于采集图像和有效切割的编程可视化软件。

## 4 测试方案与测试结果

### 4.1 测试方案

无论是在实验室内还是在实验室外场地,光线亮度差异很大,由于 CMOS 成像且透镜尺寸为  $1/32''$ ,室外图像采集会较差一些,因此选择在实验室(室内柔和光)进行测试。

目标物体为打印在透明胶片上的 5 种字号的黑色“E”字符,每种字号的“E”有多个随机朝向。目标物距离毛玻璃最远距离为 5 cm,在 5 cm、3 cm 和 1 cm 等 3 种不同距离由远及近分别对同一目标物成像。

#### 1) 拍摄方向

首先采用的是平行拍摄,即摄像头与毛玻璃、目标物平行;其次采用侧面拍摄,即摄像头与毛玻璃呈  $15^\circ$ 、 $30^\circ$ 、 $45^\circ$  等多方面角度进行拍摄。

#### 2) 有无可见光波段

平行拍摄时,采用红色激光透过毛玻璃进行辅助照明。

#### 3) 散射程度不同的毛玻璃

使用 3 种散射程度不同的毛玻璃进行测试。粗糙度:以 280 目为中心,大小  $100\text{ mm} \times 100\text{ mm}$ ,厚度 5 mm;材料为 K9 玻璃。

#### 4) 成像系统识别率比较

与由 CCD 图像传感器组成的一般成像系统在成像图像的识别成功率方面进行比较。

### 4.2 测试结果及分析

目标物距离毛玻璃距离为 1 cm,选择  $15^\circ$ 、 $30^\circ$ 、 $45^\circ$  等多角度拍摄,目标物成像效果如图 7(a) 所示。平行拍摄时,目标物距离毛玻璃距离分别为 1 cm、3 cm、5 cm,目标物成像效果如图 7(b) 所示。选用一个红色激光灯进行辅助照明且自制一聚焦纸筒在室内柔光下拍摄,目标物与毛玻璃的距离分别为 1 cm、3 cm、5 cm,目标物成像效果如图 7(c) 所示。采用散射程度不同的毛玻璃,粗糙度目数分别为 300、280、90,距离 1 cm 拍摄效果如图 7(d) 所示。经过迭代图像增强处理后,目标物成像效果如图 7(e) 所示。

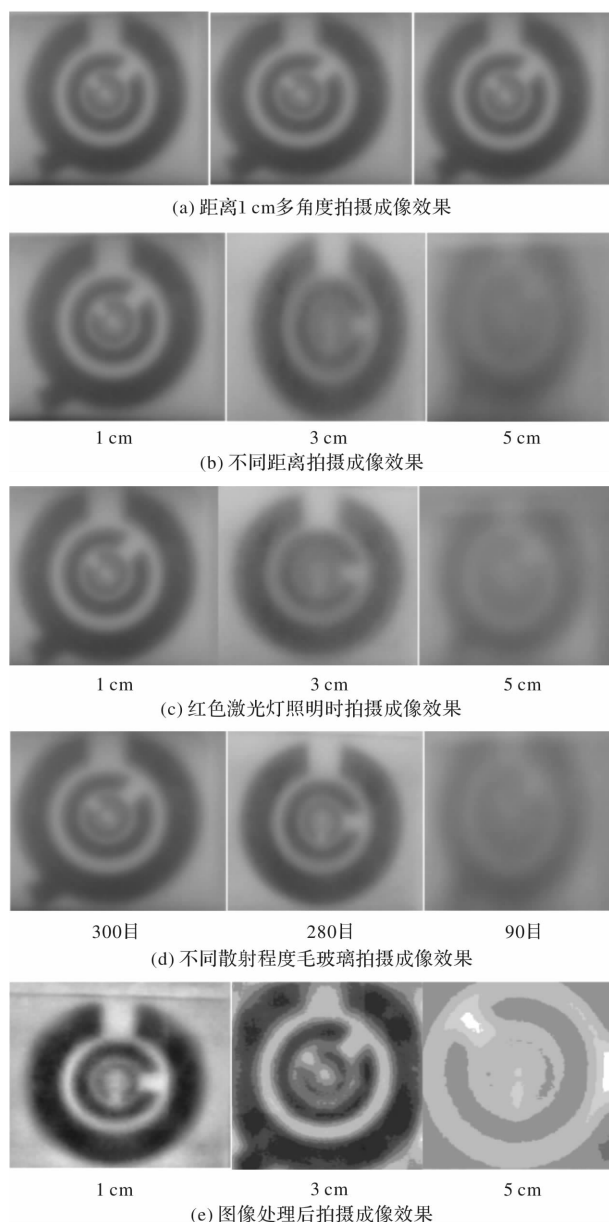


图7 不同拍摄情况下的成像效果比较

Fig. 7 Comparison of imaging effects under different shooting conditions

CCD 成像系统与本系统在毛玻璃粗糙度为 280 目数,目标物与毛玻璃距离分别为 1 cm、3 cm、5 cm,平行方向各测试 100 次,能够得到目标物清晰轮廓的次数如表 2 所示。

表2 测试识别次数结果(100 次)

Table 2 Results of test recognition times(100 times)

测试系统	识别次数		
	1 cm	3 cm	5 cm
CCD 成像系统	91	83	48
CMOS 图像增强成像系统	100	100	96

平行拍摄时,在摄取的照片中能得到一个模

糊轮廓的目标物,在进行侧面角度拍摄时,光线透过毛玻璃后从四面八方散射出去,无法看清楚毛玻璃后面的目标物,无论是  $15^\circ$ 、 $30^\circ$ 、 $45^\circ$  等多角度拍摄时,必须要添加一个适当的辅助照明且合适的角度才能得到图片,所以添加的光线一定要穿透力够强。

没有添加任何辅助照明,只有室内柔和光线,得到了一个模糊轮廓的图片。选用红色激光灯进行辅助照明,在室内光线下,红色激光穿透毛玻璃射到目标物,在目标物上形成一个红色光圈,光圈处无法识别目标物的轮廓,是因为选用的激光功率太大导致。

毛玻璃的粗糙度对成像效果影响很大,粗糙度越大,毛玻璃对光散射程度越强,目数在 240 以上,可以得到轮廓清晰的图像。

与一般成像系统相比较,同等条件下,本系统识别率能够达到 95% 以上,远远大于未作任何图像处理 CCD 成像系统。

## 5 结论

本系统采用 CMOS 光电图像传感器通过穿透毛玻璃进行目标物图像采集,加上使用红外激光灯和室内 LED 灯的辅助照明,完成可见光系统成像,在图像处理过程中,采用迭代图像增强优化处理算法,让采集到的可见光图像与目标物吻合,能够识别不同距离的目标物,且系统识别率能够达到 95% 以上,达到了预期效果。

## 参考文献:

- [1] CHENG Yao, ZHAO Jian, MI Zengzhen, et al. Design of optical angular measurement embedded system based on linear CCD [J]. Journal of Applied Optics, 2018, 39(5): 650-654.  
程瑶,赵建,米曾真,等. 基于线阵 CCD 的光学测角嵌入式系统设计[J]. 应用光学, 2018, 39(5): 650-654.
- [2] LI Chengyong. Research on LED indoor optical communication system [J]. Optical Communication Research, 2018(3): 73-76.  
李成勇. LED 室内光通信系统研究[J]. 光通信研究, 2018(3): 73-76.
- [3] LI Chengyong, Wang Zefang. Visible light indoor positioning system based on ultrasonic assisted ranging [J]. Optical Communication Technology, 2018

- (1):53-55.
- 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(1):53-55.
- [4] PAN Wansheng, HOU Yinan, XIAO Shilin, et al. Image-based VLC indoor positioning mirror interference elimination technology [J]. Optical Communication Technology. 2017(8):48-50.
- 泮万盛,侯忆楠,肖石林,等. 基于成像的 VLC 室内定位镜面干扰消除技术[J]. 光通信技术,2017(8):48-50.
- [5] YU Zezhong, WANG Xianpei, TIAN Meng, et al. Optical system design of micro-wide-band spectrometer [J]. Journal of Applied Optics, 2017, 38(5):740-745.
- 尤泽樟,王先培,田猛,等. 微型宽波段光谱仪光学系统设计[J]. 应用光学,2017,38(5):740-745.
- [6] OU Yangning, ZHENG Xueying, YUAN Hua, et al. Multi-focus image fusion based on NSCT and sparse representation [J]. Computer Engineering and Design, 2017,38(1):177-182.
- 欧阳宁,郑雪英,袁华,等. 基于 NSCT 和稀疏表示的多聚焦图像融合[J]. 计算机工程与设计,2017,38(1):177-182.
- [7] ZHU Haibin, SHAO Yu, ZHANG Yuanjian, et al. Optical system design of visible/infrared dual-field panoramic aerial reconnaissance camera [J]. Journal of Applied Optics,2017,38(1):7-11.
- 朱海滨,邵毓,张远健,等. 可见光/红外双视场全景式航空侦查相机光学系统设计[J]. 应用光学,2017,38(1):7-11.
- [8] ZHAO Xiang, LIN Jiming. Theoretical limits of indoor visible light imaging sensor positioning system [J]. Journal of Xi'an University of Electronic Science and Technology, 2016,43(4):63-68.
- 赵响,林基明. 室内可见光成像传感器定位系统的理论极限[J]. 西安电子科技大学学报,2016,43(4):63-68.
- [9] WANG Ling, TENG Guoqi, CHEN Jiao, et al. Optical system design and stray light analysis of on-board optoelectronic system TV camera [J]. Journal of Applied Optics,2016,37(5):644-650.
- 王凌,腾国奇,陈娇,等. 车载光电系统电视摄像机光学系统设计及杂散光分析[J]. 应用光学,2016,37(5):644-650.
- [10] DAI Shaosheng, XU Hong, LIU Qin. Infrared image enhancement algorithm based on human visual characteristics [J]. Semiconductor Optoelectronics, 2016(1):115-118.
- 代少升,徐洪,刘琴. 基于人眼视觉特性的红外图像增强算法[J]. 半导体光电,2016(1):115-118.
- [11] CUI Guangmeng, FENG Huajun, XU Zhihai, et al. Noise image quality evaluation based on CSF and affine reconstruction model [J]. Journal of Zhejiang University (Engineering), 2016,50(1):144-150.
- 崔光芒,冯华君,徐之海,等. 基于 CSF 和仿射重建模型的噪声图像质量评价[J]. 浙江大学学报(工学版),2016,50(1):144-150.
- [12] ZENG Hengliang, ZHANG Mengwei, LIU Zheng, et al. Polarization imaging target detection experiment using polarization characteristic factor [J]. Optoelectronics Engineering, 2016,43(2):22-26.
- 曾恒亮,张孟伟,刘征,等. 利用偏振特性因子的偏振成像目标探测实验[J]. 光电工程,2016,43(2):22-26.
- [13] MA Shuxin, GAO Feng, LIU Huan. Research on automatic focusing algorithm in computer vision detection [J]. Microcomputer and Application, 2015(24):78-81.
- 马书新,高峰,刘欢. 计算机视觉检测中自动调焦算法的研究[J]. 微型机与应用,2015(24):78-81.
- [14] WANG Xuepei, ZHAO Hongxia, LI Qinghui, et al. Basic research on analysis of color artworks by multispectral imaging technology [J]. Acta Optica Sinica, 2015,35(10):312-319.
- 王雪培,赵虹霞,李青会,等. 多光谱成像技术分析彩色艺术品的相关基础研究[J]. 光学学报,2015,35(10):312-319.
- [15] YANG Hong, KANG Dengkui, JIANG Changlu, et al. Research on integrated parameter calibration technology of visible light photoelectric imaging system [J]. Journal of Applied Optics,2015,36(2):253-258.
- 杨红,康登魁,姜昌录,等. 可见光光电成像系统整机综合参数校准技术研究[J]. 应用光学,2015,36(2):253-258.