

文章编号 1004-924X(2014)02-0245-07

用二次触发法改进接触式传感器线阵相机的曝光性能

罗 颖¹, 谭沛岩^{1,2*}, 刘 霖¹, 叶玉堂¹, 刘 永¹

(1. 电子科技大学 现代光电测控及仪器实验室(摩米实验室), 四川 成都 610054;
2. 成都术有科技有限公司, 四川 成都 610054)

摘要:针对外触发接触式图像传感器(CIS)线阵相机的扫描图像灰度值受外触发信号频率变化影响的问题,提出了一种新的曝光控制方法——二次触发法。首先,分析了外触发信号频率变化对图像灰度值影响的原因。然后,介绍了二次触发法:该方法将一个外触发信号转变为两次触发信号,第一次触发信号用于控制曝光,第二次触发信号用于控制 CIS 输出数据。最后,从理论上说明了该方法可以提升图像质量。将该方法成功应用于 1.6 m 长线阵零畸变 CIS 相机,实验结果表明:在不同的触发频率下,扫描图像的灰度值波动范围减小了 75%,消除了图像上的横条纹。在智能视觉十字绣数码喷印机的应用上,绣布上 1 mm×1 mm 的孔成像清晰、灰度值均匀。提出的方法有效地解决了外触发信号频率影响图像质量的问题,成功地提高了图像的质量。

关键词:接触式图像传感器(CIS);CIS 线阵相机;外触发频率;曝光控制

中图分类号: TB853.29 **文献标识码:** A **doi:** 10.3788/OPE.20142202.0245

Improvement of exposure performance of linear array CIS camera by two-trigger method

LUO Ying¹, TAN Pei-yan^{1,2*}, LIU Lin¹, YE Yu-tang¹, LIU Yong¹

(1. *Laboratory of Modern Opto-electronic Measurement & Instrument, University of Electronic Science and Technology of China, Chengdu 610054, China;*
2. *Chengdu HOLDTECS Co., Ltd., Chengdu 610054, China*)
* *Corresponding author, E-mail: peiyantan@sina.cn*

Abstract: As the frequency changing of external trigger signal from an external trigger Contact Image Sensor(CIS) camera will cause the nonuniform of a scanned image gray value, a new exposure method——two-trigger method was proposed. First, the reason that the frequency changing of external trigger signal affects the image gray value was analyzed. Then, the two-trigger method was introduced. With the method, an external trigger signal was converted to two trigger signals, the first one was used to control the exposure and the second one was used to control the CIS to output data. Finally, it explained that the method can improve the image quality theoretically. A 1.6 meter non-distortion long-term array CIS camera was fabricated based on this method. The experimental results show that the fluctuation range of scanned image gray value is reduced by 75%, and the horizontal stripes on the image is eliminated at different trigger frequencies. When it is applied to an intelligent vision

收稿日期:2013-07-26;修订日期:2013-09-24.

基金项目:国家自然科学基金资助项目(No. 61205004);粤港关键领域重点突破项目(No. 2012205106, No. 20091683)

stitch digital printing machine, the image of 1 mm×1 mm hole in the embroidered cloth is clear. It concludes that the proposed method reduces the effect of the frequency changing of external trigger signal on images effectively and improves the image quality successfully.

Key words: Contact Image Sensor(CIS); CIS linear array camera; external line trigger frequency; exposure control

1 引言

接触式图像传感器(Contact Image Sensor, CIS)具有结构简单、体积小、成本低、使用方便等特点,目前广泛应用在便携式扫描、票据识别、工业检测等领域^[1-3]。曝光时间作为一个重要的参量直接影响图像的质量,而图像质量的好坏直接决定扫描设备的性能,因此曝光时间的控制成为扫描设备设计的重点及难点。一般工业检测中使用的外触发 CIS 线阵相机因其采集背景相对固定,触发频率也是固定的,通常采用恒定的曝光时间即可获得均匀的图像。然而在某些特殊场合,如需要改变触发频率配合机械运转速度来获得高质量图像时,触发频率一旦发生改变,采用常见的一次触发控制方法会导致扫描图像的灰度值严重不均匀。

图像质量作为评价整个相机的重要指标之一,直接影响着后续图像处理与分析的结果,因此国内外许多学者对此进行了大量的研究。Sato S 等人对 RGB 三种颜色像素采用不同的曝光时间,并且使用图像重建算法处理数据,在高分辨率、高密度的小型成像设备上实现了较高的灵敏度^[4]; Pillman B 等人提出了曝光参数对数字图像质量影响的模型,并根据这个模型提出了一种计算曝光参数的半经验公式^[5];徐文等人研究了一种自动调节增益参数和曝光时间的算法,在机器视觉的使用中获得了高质量的图像^[6];陈绕青等人利用改进的图像曝光估计算法来计算曝光时间,在对静止卫星的成像中得到了最佳的图像质量^[7];但上述方法涉及的算法复杂,而且为保证系统的实时性,需使用大量的硬件资源,因此不适合应用于低成本领域。除此之外,还有很多学者通过校正的方法来提高图像质量。朱均超等人采用分段校正的方法对原始图像进行校正^[8];Kim J 等人对图像的色彩失真和非线性做了校正^[9];吴厚德等人通过研究行平均灰度和行曝光时间的关系,

提出了一种基于延时积分的矫正方法^[10];王文华等人使用两点法在硬件上对图像的非均匀性进行了实时矫正^[11];这些方法均是针对有问题的图像进行还原,其效果很大程度上依赖于所采用的校正方法。

本文深入分析了可变行频情况下外触发信号影响 CIS 线阵相机图像质量的原因,提出了一种全新的 CIS 曝光控制方法——二次触发法。该方法无需复杂的算法和后续的图像处理,仅通过控制时序的改进就可以使线阵 CIS 每行的曝光时间恒定,从而消除了行频变化对图像质量的影响。

2 基本原理

2.1 行频变化对 CIS 采图质量的影响

CIS 是由光源系统和感光系统单件构成的集成模块,包括发光二极管(LED)光源阵列、光电二极管(PD)、模拟存储电路。输入信号包括开始触发脉冲信号(SP)、时钟信号(CLK)、LED 输入电流。输出信号为光信号转换而成的模拟输出电压信号(VOUT)。外触发式的 CIS 线阵相机系统有一个外部触发输入信号,该信号每次有效后,CIS 线阵相机将输出一行有效像素。

在需要用到外部触发的实际工程应用中,触发信号的频率要与电机的转动以及被扫描物体的运动保持一致。但是,电机在启动和停止的过程中是非匀速的,并且使用者可能根据实际情况停止扫描一段时间后再启动扫描。这样就造成了外部触发信号的频率往往是可变的,甚至信号会在中断一段时间后继续有效。

图 1 为外部触发信号频率发生变化时采集到的图像,上半部分的外部触发频率为 1 kHz,下半部分的外部触发频率为 200 Hz,可以明显地看到两部分图像的灰度值不一致。图 2 为扫描中途停止 2 s 后继续扫描的图像,可以看到一条明显的亮线,这是扫描重新启动后采集到的第一行图像。

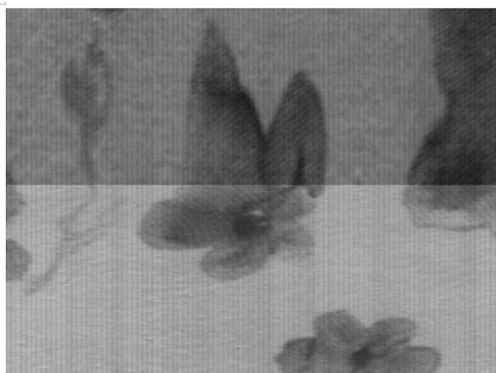


图1 触发行频变化的扫描图像

Fig. 1 Image with changable trigger frequency

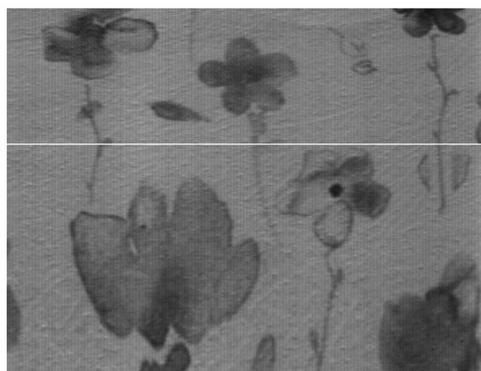


图2 扫描中途暂停触发的扫描图像

Fig. 2 Image with trigger stop during scanning

针对上述问题,本文分析了行频变化影响 CIS 采集图像灰度值的原因。CIS 内部的感光单元为光电二极管,它在反向电压的作用下工作,在没有光照射的情况下,流过的微弱反向电流,称为暗电流 I_d ;当有光照射到 PD 的 PN 结上时,反向电流迅速增大,称为光电流。光电流会使 PD 上积累电荷,CIS 的模拟电压信号输出与电荷的积累量成比例。因为 CIS 的输出电压直接影响最终的图像灰度值,所以采集图像的灰度值与 CIS 内部感光单元积累的电荷量成比例。

在时间为 0 的时刻,外部触发信号有效,现场可编程门阵列(FPGA)控制 SP 信号产生脉冲,同时控制 LED 曝光时间为 t_1 ,曝光结束后又经过 t_2 时间后下一个外部触发信号有效。在 t_1 时间内,PD 上的总电流主要由 LED 光源照射扫描原稿的反射光转换而成,这部分光电流记作 I_{p1} ,此外还有系统以外的光照射到 PD 产生的光电流 I_{p2} 和暗电流 I_d 。在 t_2 时间内, I_{p1} 为零,但是 I_{p2} 和 I_d

仍然存在。若外部触发信号的周期为 T ,可以得到在下一外部触发信号有效时 PD 上的电荷量 Q 为:

$$Q = \int_0^{t_1} (I_{p1}(t) + I_d(t) + I_{p2}(t))dt + \int_{t_1}^{t_2} (I_d(t) + I_{p2}(t))dt, \quad (1)$$

其中:

$$T = t_1 + t_2. \quad (2)$$

又因为 $I_d \ll I_{p1}$ 和 $I_{p2} \ll I_{p1}$,式(1)可简化为:

$$Q = \int_0^{t_1} I_{p1}(t)dt + \int_{t_1}^{t_2} (I_d(t) + I_{p2}(t))dt. \quad (3)$$

令 $Q_1 = \int_0^{t_1} I_{p1}(t)dt$, $Q_2 = \int_{t_1}^{t_2} (I_d(t) + I_{p2}(t))dt$,可得:

$$Q = Q_1 + Q_2. \quad (4)$$

从式(4)可以看出,PD 上的总电荷量 Q 由 Q_1 和 Q_2 两部分组成。 Q_1 反映了曝光时间 t_1 内 CIS 内部 LED 光源照射到被扫描稿件上反射回来的光在感光单元上积累的电荷量,能真实反映被扫描图像的像素值,是相机系统需要的有效信号; Q_2 反映了非曝光时间 t_2 内感光单元所积累的电荷量,不能反映被扫描图像的特征,是无效的干扰信号。

由 Q_2 的表达式可知,在 CIS 线阵相机系统外界环境不变的情况下,即 I_d 和 I_{p2} 为已知的固定量, Q_2 由 t_2 决定。进一步分析可知,在曝光时间 t_1 固定的情况下, Q_2 完全由外部触发信号的周期 T 决定。外部触发信号的周期越大, Q_2 就越大,CIS 输出的模拟电压信号就越大,最后得到的图像的灰度值就越高。扫描过程中暂停触发的情况下,随着暂停时间的增加, Q_2 的值也不断增加,因此导致重新开始触发后采集到的第一行图像的灰度值很大,近似于一条白线。

2.2 二次触发法对图像质量的提升

通过仔细分析问题产生的原因,本文提出了二次脉冲触发的方法,有效地解决了上述问题。由于图像灰度值不一致主要是受无效电荷 Q_2 的影响,降低该影响的关键在于控制无效电荷的积累时间 t_2 。二次触发法的思路为:系统每当接受到一次外部触发信号后,FPGA 就产生两个开始脉冲触发信号(SP)触发 CIS。其中,第一个 SP 信号只用于曝光,不接收 CIS 的输出数据;第二

个 SP 信号不进行曝光,只接收 CIS 输出的数据,此时接收到的数据为第一个 SP 信号曝光产生的信号。设在时间为 0 的时刻,外部触发信号有效,FPGA 产生第一个 SP 信号,同时控制 LED 的曝光时间为 t_1 ,之后又产生第二个 SP 信号,两个 SP 信号的时间间隔为 T_1 ,且 $t_1 < T_1$,这样可得在第二次 SP 信号有效时,PD 上积累的电荷量 Q^* 为:

$$Q^* = \int_0^{t_1} I_{p1}(t)dt + \int_{t_1}^{T_1} (I_d(t) + I_{p2}(t))dt. \quad (5)$$

令 $Q_1^* = \int_0^{t_1} I_{p1}(t)dt, Q_2^* = \int_{t_1}^{T_1} (I_d(t) + I_{p2}(t))dt$,可得:

$$Q^* = Q_1^* + Q_2^*. \quad (6)$$

由式(5)、(6)可知,感光单元上积累的无效电荷量 Q_2^* 只与两个 SP 信号的固定时间间隔有关,与外部触发信号的周期无关。这样当外部触发信号的频率改变时,不会影响图像的灰度值。

3 二次触发法的实现

3.1 CIS 线阵相机系统

图 3 为长线阵 CIS 相机的硬件实物图。图 4 为相机的工作流程示意图。FPGA 接收外部触发信号,通过光源控制芯片驱动 LED 光源工作,使得 CIS 处于曝光状态。同时,通过 CLK 和 SP 信号控制 CIS 输出模拟信号,该模拟电压经过后面的 AD 转换后变为数字信号,再经过 FPGA 处理后上传至上位机 PC 显示图像。

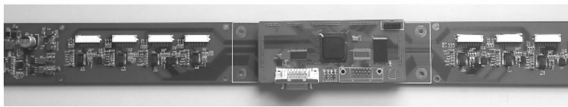


图 3 长线阵 CIS 相机硬件实物图

Fig. 3 Hardware of long-term array CIS camera

3.2 二次触发法在 FPGA 上的实现

FPGA 具有运行速度快,时钟管理方便等优点。本文提出的二次曝光法可以在基于 FPGA 的扫描系统上实现。图 5 为 FPGA 的系统框图。利用 FPGA 片上集成的锁相环(Phase Locked Loop, PLL)可以精确地产生每个模块所需要的

时钟。外触发信号直接连接到 FPGA 的输入管脚,在 FPGA 片上采用专门的触发信号检测模块检测触发信号的变化,当检测到外触发信号有效时,FPGA 通过计数器定时产生两个 SP 信号触发 CIS 扫描。在第一次触发过程中,控制曝光模块曝光,不控制 AD 转化数据;在第二次触发过程中,曝光模块不进行曝光,而 AD 将 CIS 输出的模拟信号转化为数字信号,FPGA 接收该数字信号进行存储、处理和发送等后续步骤。

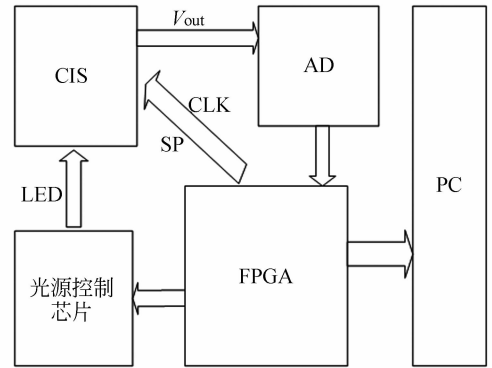


图 4 CIS 线阵相机系统框图

Fig. 4 Block diagram of CIS linear array camera

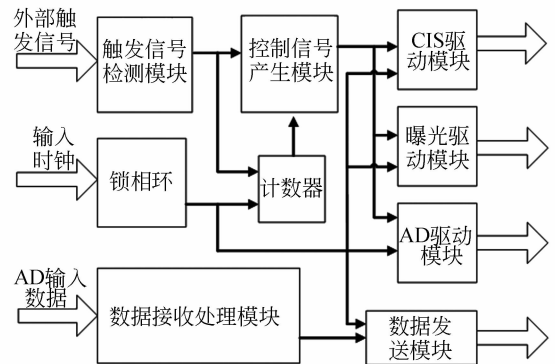


图 5 FPGA 系统框图

Fig. 5 Block diagram of FPGA system

4 实验结果及分析

4.1 色彩均匀纸张扫描

采用 CIS 线阵相机扫描一张 A4 幅面白色纸张,该纸张的厚度、灰度等指标均匀。分别用频率为 0.5, 1, 2, 4 kHz 的外部触发信号进行触发扫描,CIS 的曝光时间均为 $50 \mu s$ 。在每种频率的扫

描图像中任意选取一行统计平均灰度值数据,传统的一次触发法和本文提出的二次触发法的所得结果如表 1 所示。

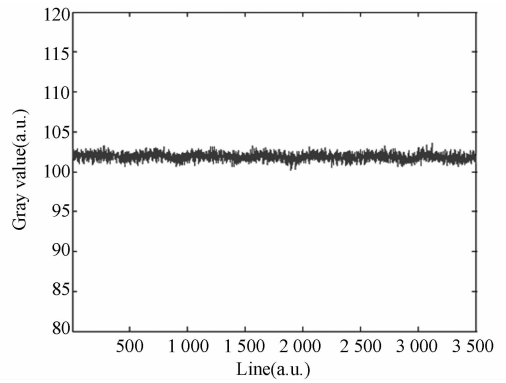
表 1 两种曝光方法的效果比较

Tab. 1 Comparison of two kinds of exposure methods

外触发信号/kHz	曝光时间/ μs	一次曝光法灰度平均值	二次曝光法灰度平均值
4	50	109	104
2	50	115	106
1	50	133	104
0.5	50	167	103

从表 1 可以明显地看到,在不同的外触发信号频率下,虽然 CIS 的曝光时间相同,但是一次触发法扫描相同原稿得到的图像差异很大,外触发信号的频率越低,扫描得到的图像灰度值越高,灰度平均值的差异最高为 58。采用二次触发法后,扫描图像的灰度值不再受外触发信号频率的影响,灰度平均值的差异最高为 3,一致性提高了将近 20 倍。

图 6 比较了一次触发法和二次触发法采集到图像的灰度分布曲线。采集对象仍然是一张色彩均匀的纸张,外触发行频在一定范围内随机发生变化,统计每一行像素的灰度平均值,绘制灰度分布曲线,横轴为行数,纵轴为一行的灰度平均值。由图 6 可知,一次触发法采集到的图像的灰度平均值在 96~112 波动,而二次触发法采集到的图像的灰度平均值在 100~104 变化,波动范围缩小了 75%。



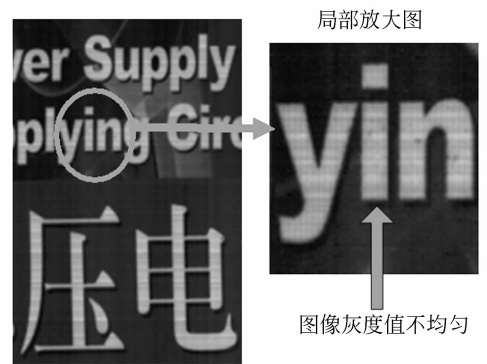
(b) 二次触发法
(b) Two-trigger method

图 6 两种曝光方法的灰度曲线图

Fig. 6 Gradation curves of two kinds of exposure methods

4.2 带图案纸张的扫描结果

采用 CIS 线阵相机扫描一张有图案的纸张,



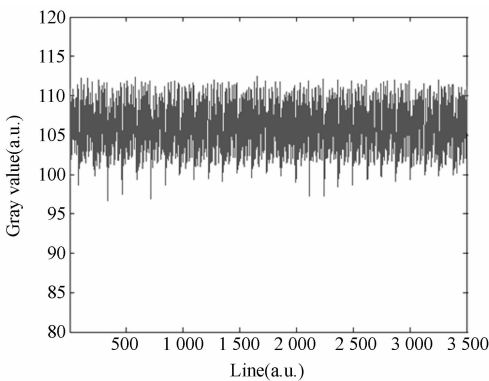
(a) 一次触发法扫描图像
(a) Scanning image with one-trigger method



(b) 二次触发法扫描图像
(b) Scanning image with two-trigger method

图 7 两种曝光方法的扫描图像

Fig. 7 Scanning images with two kinds of exposure methods



(a) 一次触发法
(a) One-trigger method

采用外触发方式进行采图,触发频率随机变化。图 7(a)是一次触发法采集到的图像,白色字体上有非常明显的横条纹,这是由触发行频不一致造成的。图 7(b)是二次触发法采集到的图像,横条纹消除了,图像灰度值非常均匀。

4.3 智能视觉十字绣数码喷印机应用

图 8 为 8 根 A4 幅宽的 CIS 拼接而成的宽幅外触发 CIS 线阵相机。系统工作时,由图像采集卡通过 Camera Link 接口向相机发送外部触发信号,可实现 1.6 m 宽幅面、零畸变扫描。该相机已成功应用于智能视觉十字绣数码喷印机中,实现了对十字绣布的清晰成像,采集到的绣布图像



图 8 宽幅外触发 CIS 线阵相机

Fig. 8 Long term CIS camera by external trigger

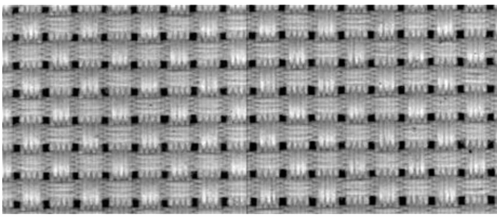


图 9 十字绣布的扫描图像

Fig. 9 Scanning image of cross stitch fabric

如图 9 所示。绣布上 1 mm × 1 mm 的孔成像清晰、灰度值均匀,为后端实现喷印位置的精确引导提供了保障。目前,已有上百台采用二次触发法的宽幅外触发 CIS 线阵相机在智能数码喷印设备上稳定运行。

5 结 论

本文针对外触发线阵相机扫描图像灰度值受外触发信号频率影响的问题,深入分析了触发行频对图像质量的影响机理,提出了二次触发的曝光新方法,解决了行频影响图像质量的问题。实验及测试结果表明:采用二次触发法后,扫描图像的灰度值不再受外触发信号频率的影响,使用不同的外触发行频对色彩均匀的纸张扫描得到的图像灰度值差异和波动范围极低,相比一次触发法减小了 75%。扫描有图案的纸张可以得到灰度值均匀的高质量扫描图像。将二次触发法应用在智能视觉十字绣数码喷印机的宽幅外触发 CIS 线阵相机上,实现了 1.6 m 宽幅面、零畸变扫描,绣布上 1 mm × 1 mm 的孔成像清晰、灰度值均匀。另外,将二次触发法用于 1.6 m 长线阵 CIS 相机在国内尚属首次。

6 致 谢

感谢刘娟秀老师对本文写作给予的启发,感谢谢雪平工程师在项目研发中给予的帮助。

参考文献:

- [1] 王旭东,叶玉堂,陈东明,等. 基于 FPGA 与 CIS 的高速高精度图像采集系统[J]. 电子测量技术, 2010(9):63-69.
WANG X D, YE Y T, CHEN D M, *et al.*. High-speed and high-precision image acquisition system based on FPGA and CIS[J]. *Electronic Measurement Technology*, 2010(9):63-69. (in Chinese)
- [2] 吴璐璐,王元庆. CIS 采集纸币图像的冠字符处理[J]. 传感器与微系统, 2012, 31(11): 43-46.
WU L L, WANG Y Q. Processing of crown character on paper currency image captured by CIS[J]. *Sensor and Microsystem*, 2012, 31(11): 43-46. (in Chinese)

- [3] 康宁,王元庆. 基于 FPGA 和 DSP 的人民币图像鉴别平台设计[J]. 电子技术应用, 2012, 38(12): 20-22.
KANG N, WANG Y Q. Design of bank note image identification platform based on FPGA and DSP[J]. *Application of Electronic Technique*, 2012, 38(12): 20-22. (in Chinese)
- [4] SATO S, OKADA Y, AZUMA T. Real-time computational camera system for high-sensitivity imaging by using combined long/short exposure[J]. *SPIE*, 2012, 8296:25-34.
- [5] PILLMAN B, JASINSKI D. Camera exposure determination based on a psychometric quality model[J]. *Journal of Signal Processing Systems*, 2011, 65(2): 147-158.

- [6] 徐文, 苟巧云, 黄泽文. 机器视觉中的一种简单的自动曝光算法[J]. 机电工程技术, 2012, 41(3): 51-54.
XU W, GOU Q Y, HUANG Z W. A simple automatic exposure algorithm in machine vision [J]. *Mechanical and Electrical Engineering Technology*, 2012, 41(3): 51-54. (in Chinese)
- [7] 陈绕青, 曹国, 毛志红, 等. 一种空间面阵 CCD 成像的曝光时间计算方法[J]. 计算机工程, 2012, 38(12):7-10.
CHEN R Q, CAO G, MAO ZH H, *et al.*. Computation method of exposure time for space array CCD Imaging [J]. *Computer Engineering*, 2012, 38(12):7-10. (in Chinese)
- [8] 朱均超, 刘铁根, 王双. 一种接触式图像传感器非均匀性实时校正方法[J]. 光电子·激光, 2007, 18: 1036-1038.
ZHU J CH, LIU T G, WANG SH. New method

for real-time correcting the non-uniformity of seal image [J]. *Journal of Optoelectronics · Laser*, 2007, 18: 1036-1038. (in Chinese)

- [9] KIM J. Color correction device for correcting color distortion and gamma characteristic: U. S. Patent, 5949496[P]. 1999-9-7.
- [10] 吴厚德, 许文海. 多输出 CCD 接缝的校正[J]. 光学精密工程, 2013, 21(2): 454-461.
WU D H, XU W H. Correction of seams for multiple output CCD [J]. *Opt. Precision Eng.*, 2013, 21(2): 454-461. (in Chinese)
- [11] 王文华, 何斌, 韩双丽, 等. 星上 CCD 成像非均匀性的实时校正[J]. 光学精密工程, 2010, 18(6): 1420-1428.
WANG W H, HE B, HAN SH L, *et al.*. Real-time correction of nonuniformity in CCD imaging for remote sensing [J]. *Opt. Precision Eng.*, 2010, 18(6): 1420-1428. (in Chinese)

作者简介:



罗颖(1983—),男,贵州贵阳人,博士研究生,2005年、2008年于电子科技大学分别获得学士、硕士学位,主要从事机器视觉、光电测控及仪器的研究。E-mail: yingluo907@hotmail.com

通讯作者:



谭沛岩(1990—),男,山西太原人,硕士研究生,2013年于电子科技大学获得学士学位,主要从事光电测控领域的研究。E-mail: peiyantan@sina.cn

导师简介:



叶玉堂(1946—),男,重庆忠县人,教授,博士生导师,1970年于北京大学获得学士学位,1981年于电子科技大学获得硕士学位,主要从事计算机热图象信号处理,单片光电集成电路及光电对抗的研究。E-mail: ytye@uestc.edu.cn