

文章编号: 1002-2082 (2021) 01-0137-06

# EBCMOS 相机盲元检测方法的研究

蔡宁静<sup>1</sup>, 曾祥忠<sup>2</sup>, 王 波<sup>3</sup>

(1. 西安邮电大学 电子工程学院, 陕西 西安 710065; 2. 西安中川光电科技有限公司, 陕西 西安 710065;  
3. 西安北方光电科技防务有限公司, 陕西 西安 710065)

**摘要:** 电子轰击型 (electron bombarded, EB) CMOS 传感器工艺缺陷导致图像出现盲元, 对图像质量影响较大。提出了一种基于多幅图像交叉计算的盲元检测新算法。对不同平均亮度的无目标图像, 通过设置不同阈值, 对图像进行二值化处理; 再对多幅二值化图像按“亮点”位置进行交叉“相与”计算, 生成盲元标记模板图, 最后按盲元位置进行分类和取舍, 得到最终盲元标记模板。最终盲元标记模板信息, 为评价 EBCMOS 传感器品质和实际后续产品中盲元补偿提供可靠依据。

**关键词:** 电子轰击型图像传感器; 图像交叉计算; 盲元标记模板图; 评估与筛选

中图分类号: TN29

文献标志码: A

DOI: 10.5768/JAO202142.0103007

## Research on blind element detection method of EBCMOS camera

CAI Ningjing<sup>1</sup>, ZENG Xiangzhong<sup>2</sup>, WANG Bo<sup>3</sup>

(1. School of Electronic Engineering, Xi'an University of Posts & Telecommunications, Xi'an 710065, China;  
2. Xi'an Mid-River Photoelectric Technology Co., Ltd., Xi'an 710065, China;  
3. Xi'an North Electro-Optic Science & Technology Defense Co., Ltd., Xi'an 710065, China)

**Abstract:** Electron bombarded (EB) CMOS sensor process defects cause blind elements in the image, which has a greater impact on image quality. A new blind element detection algorithm based on cross calculation of multiple images was proposed. For untargeted images with different illumination brightness, by setting different thresholds, the image was binarized; then multiple binarized images were calculated according to the position of “bright spots”, and the blind element marking template image was generated. Finally, classification and selection were performed according to the position of blind element, and the final blind element mark template was obtained. The final blind element mark template information provided a reliable basis for evaluating the quality of EBCMOS sensor and the blind element compensation in actual follow-up products.

**Key words:** electron bombarded image sensor; image cross calculation; blind element marking template diagram; evaluation and selection

## 引言

图像传感器是相机中光电转化的核心器件<sup>[1]</sup>, 一个图像传感器中包含几十万至几百万个光电转换单元——像素。在传感器制造过程中, 不可避免地受材料、工艺的影响, 会有一定数量的光电转换单元存在缺陷: 对光不敏感, 甚至失去光电转换

的功能, 这就是盲元<sup>[2]</sup>, 又可称为“坏点”, 表现在图像上是与周围像素点完全不连续的、突兀的点。EBCMOS 作为新的光电探测器件, 结合了光电阴极的高灵敏度、电子轰击半导体的高增益<sup>[3]</sup>和 CMOS 半导体器件的高帧速率、低功耗、数字化显示等优点<sup>[4]</sup>, 同时又具备制备结构简单、体积小、

收稿日期: 2020-10-28; 修回日期: 2020-12-25

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (41974130)

作者简介: 蔡宁静 (1994-), 女, 硕士, 主要从事光电传感、测量与显示技术研究。E-mail: 1243271508@qq.com

相对噪声低等特点<sup>[5]</sup>,在天文观察、高能物理、微光夜视以及遥感测绘等领域具有广阔的前景。但是盲元的存在,严重影响了 EBCMOS 相机图像的质量和视觉感受,进而影响后续的图像分析和处理工作。有效、准确的盲元检测算法不仅对消除盲元为后续处理带来的影响具有实际的意义和价值,也是评价 EBCMOS 探测器的重要指标<sup>[6]</sup>。

目前常用的盲元检测算法都是针对红外探测器的,主要分为基于场景检测法和定标法,均涉及阈值的选取,不恰当的阈值容易造成盲元的漏判和过判。基于两种基本算法,研究者提出了很多改进的盲元检测算法,最新的有基于滑动窗口的盲元检测算法<sup>[7]</sup>,基于一种支持向量机的检测算法<sup>[8]</sup>,分步搜索策略的自适应盲元检测算法<sup>[9]</sup>,基于时域平均野值提取的盲元检测算法<sup>[10]</sup>,基于超像素分割的红外盲元检测算法<sup>[11]</sup>等。定标法需要长时间打断系统的正常工作,通过黑体成像来获取单帧或连续帧的均匀辐射图像<sup>[12]</sup>。红外器件中像素值表现较高的过热像元,基本不受外界辐射的影响,虽然 EBCMOS 的像元响应值偏亮,但也会随外界光照的变化而变化,所以针对红外器件的定标法不完全适用于 EBCMOS 探测器盲元的检测。场景检测法通过分析图像中盲元噪声特性,设置合适阈值或视觉参数判定出盲元位置<sup>[13]</sup>,能够实现对盲元的实时检测。场景法基于图像自身数据进行检测,在图像数据被严重破坏时,这类算法受到一定的限制。

## 1 检测原理

一般来说,相机“盲元”有 2 个显著特点:一是对光不敏感,表现在图像上是突兀的亮点,也就是不论光照如何,盲元对应图像都是亮点;另一个是位置固定,即亮点图像坐标值固定不变。根据这 2 个特点,可以实现盲元的检测。

通过调节相机的光圈大小,采集 4 种具有灰度差的均匀背景。由于盲元在图像中表现为突兀且不连续的亮点,其灰度值大于像元的真实像素值。本文从表象入手,设置阈值用来分离盲点和正常的像素元,并对盲点位置进行标记。

1) 对单幅图像  $I$  设置阈值生成二值图像  $I_m$ 。遍历图像  $I$ ,找出像素值大于等于阈值的像元位置,将二值图像  $I_m$  对应位置的像元像素值标记为 255,其余的像元像素值标记为 0,方法如公式(1)所示:

$$I_m(x,y) = \begin{cases} 255, & I(x,y) \geq T \\ 0, & I(x,y) < T \end{cases} \quad (1)$$

式中:  $I(x,y)$  为图像  $I$  第  $x$  行、第  $y$  列像元的像素值;  $I_m(x,y)$  为二值图像中第  $x$  行、第  $y$  列像元的像素值;  $T$  为动态输入的阈值。

2) 选取不同的图像  $I$ , 改变阈值的大小,生成不同的二值图像  $I_m$ , 并统计每个  $I_m$  中像素值标记为 255 的像元个数和位置。

3) 多幅图像交叉计算确定盲元个数和位置,生成检测模板  $M$ 。由于盲元是相机的固有缺陷,在每幅图像上的位置固定,故经过步骤 1) 生成的不同于二值图像上盲元位置的像素值都会被标记为 255。但是,  $I_m$  中标记为 255 的像元不仅包括盲元,还包括噪声导致的随机点,故采用不同平均灰度值的图像按照步骤 1) 生成对应的二值图像  $I_m$ , 然后将不同二值图像  $I_m$  相同位置像元相与: 如果一个位置的像元在不同  $I_m$  中像素值均为 255, 则将模板  $M$  中该位置像元像素值标记为 255, 否则标记为 0, 如公式(2), 剔除只在某些图像上存在的标记点, 得到盲元检测模板  $M$ 。

$$M(x,y) = \begin{cases} 255, & I_m(x,y) = 255 \\ 0, & \text{else} \end{cases} \quad (m = 1, 2, 3 \cdots) \quad (2)$$

式中:  $I_m(x,y)$  为二值图像  $I_m$  第  $x$  行、第  $y$  列像元的像素值;  $M(x,y)$  为模板中第  $x$  行、第  $y$  列像元的像素值。

## 2 原理验证与模板生成

按照检测原理中的步骤 1) 将平均灰度值分别为 32、38、53、57 的图像经过不同的阈值处理生成对应的二值图像, 统计被标记为 255 的像元个数, 如表 1 所示。

表 1 不同二值图像相与结果举例

Table 1 Examples of “and” results for different binary images

灰度值	模板中的盲元标记个数						
32	104	95	75	30	22	15	12
38	107	87	73	33	22	13	12
53	108	92	74	31	22	14	10
57	111	90	71	33	22	13	9
相与结果/个	34	32	30	17	13	9	9

实验表明, 阈值设置越低, 二值图像中的标记点越多, 交叉计算的模板与二值图像中的标记点个数相差越大, 导致模板中的随机亮点无法被

完全剔除。阈值设置太高时, 会漏检一些盲元。对于实验所用相机, 交叉计算结果个数为 9 时, 模板中盲元个数趋于稳定。盲元原始图像和模板图像如图 1 所示, 图 1(a)、图 1(d)、图 1(g)、图 1(j) 分别为平均亮度为 32、38、53、57 的带盲元原始图像。为了便于观察, 将灰度原图中的亮点用标记, 图 1(b)、图 1(e)、图 1(h)、图 1(k) 分别为平均

亮度为 32、38、53、57 对应的红色圆圈标记图像; 图 1(c) 为图 1(a) 在阈值为 60 下生成的模板; 图 1(f) 为图 1(d) 在阈值为 60 下生成的模板; 图 1(i) 为图 1(g) 在阈值为 65 下生成的模板; 图 1(l) 为图 1(j) 在阈值为 65 下生成的模板。

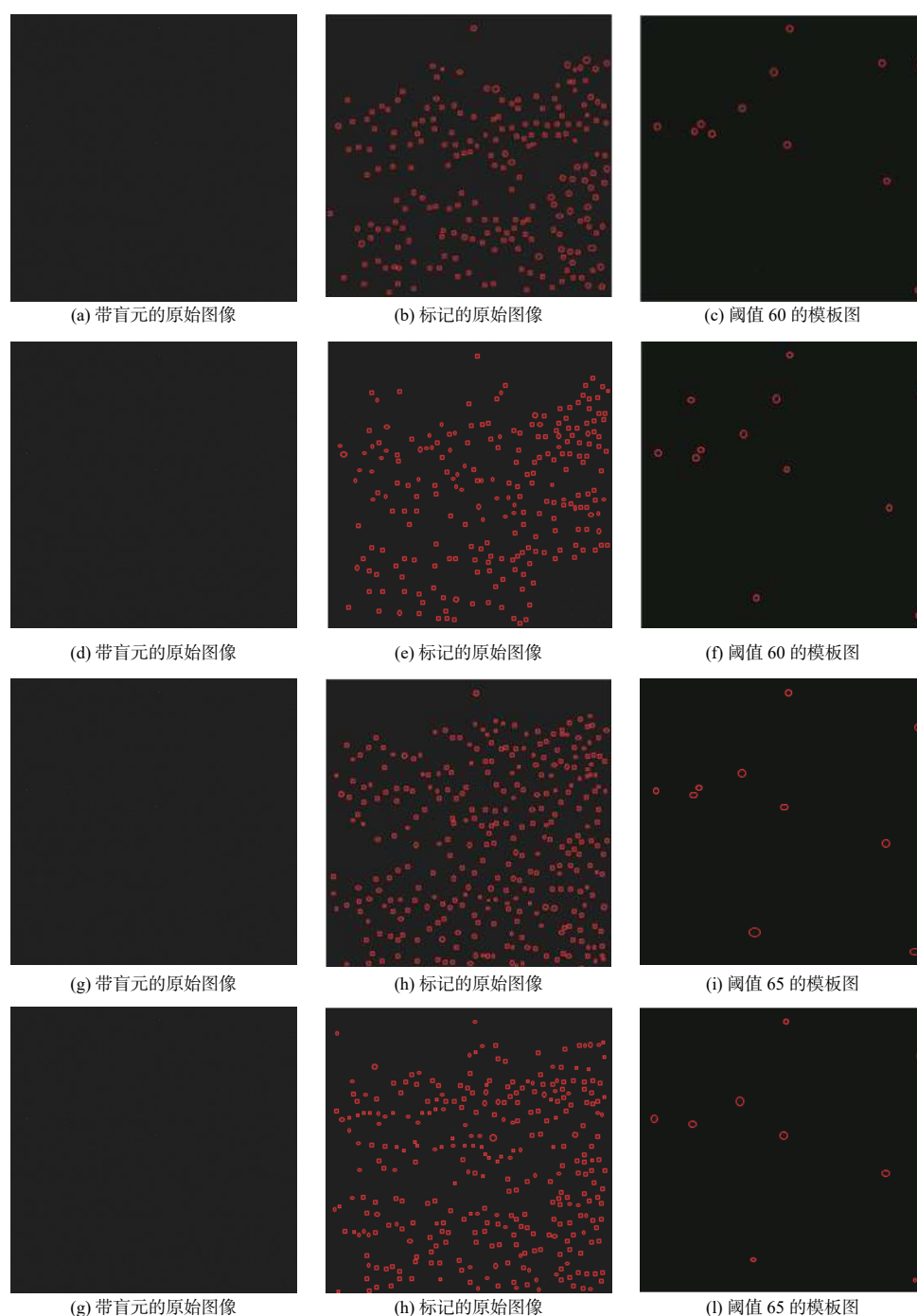
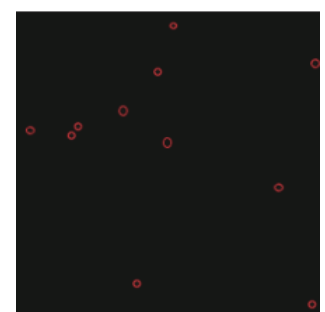


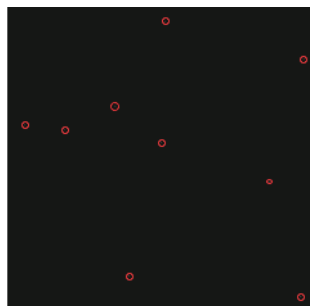
图 1 原始图像和阈值处理之后的模板

Fig. 1 Original images and templates after thresholding

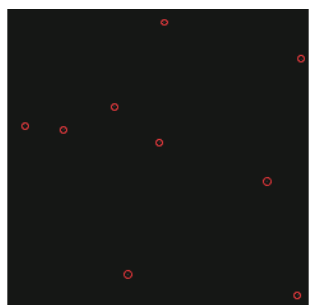
由图 1(c)、图 1(f)、图 1(i)、图 1(l) 可知,不同二值图像中像素值被标记为 255 的像元个数不同,且无法直接观察确定盲元的位置是否相同,需要进行多幅图像交叉计算。将图 1(c)、图 1(f) 生成的二值图像按照检测原理中的步骤 2) 进行交叉计算,生成图 2(a);将图 1(i)、图 1(l) 进行交叉计算,生成图 2(b);将图 2(a)、图 2(b) 交叉计算生成图 2(c),结果如图 2 所示。



(a) 图 1 (c) 和图 1 (f) 交叉相与计算模板



(b) 图 1 (i) 和图 1 (l) 交叉相与计算模板



(c) 图 2 (a) 和图 2 (b) 交叉相与计算模板

图 2 交叉“相与”计算后模板

Fig. 2 Cross “and” calculation templates

图 2(a) 中有 11 个标记点,说明 11 个标记点同时出现在平均灰度为 32、38 的图像中。图 2(b) 中有 9 个标记点,说明 9 个标记点同时出现在平均灰度为 53、57 的图像中。图 2(a) 和图 2(b) 相差 2 个标记点,可以确定这 2 个标记点为随机亮点。将图 2(a) 和图 2(b) 交叉计算形成最终模板图 2(c),图 2(c) 中有 9 个盲元,说明这 9 个盲元同时出现在实验所用的图像中,可以认为该相机至少存在 9 个

固定盲元。

### 3 实验结果与性能比较

为了便于观察,用红色圆圈标示出带目标原始图像图 3(a) 中的盲元如图 3(b),图 3(c) 为图 3(a) 根据最终模板图 2(c) 进行中值补偿后的图像。实验表明,经过图像交叉计算生成的模板,对同一相机的盲元实时补偿效果明显,算法效率较高,适用于 EBCMOS 相机的使用场景。



(a) 带目标原始图像



(b) 标记出盲元的原始图像



(c) 补偿后的图像

图 3 盲元检测与补偿图像

Fig. 3 Blind element detection and compensation images

盲元模板与相机属于相互对应的关系,所以模板上面标记的盲元位置以及盲元重复出现的次数至关重要,因此对检测算法的稳定性要求较高。选用同一相机的不同原始图像,采用基于时域平均和空域平均的野值提取的盲元检测算法<sup>[14]</sup>和基于可调阈值窗口的盲元检测算法<sup>[15]</sup>以及本文算法对不同的原



始图像重复实验 10 次,统计模板中固定盲元出现的次数。实验表明,本文算法生成的最终模板中固定盲元被检概率为 100%,具有很好的稳定性。而参考文献 [14] 和参考文献 [15] 的算法,固定盲元坐标被检概率在 90% 左右,结果如表 2 所示。

表 2 算法稳定性比较

Table 2 Comparison of algorithm stability				
序号	坐标	文献[14]算法	文献[15]算法	本文算法
1	(23, 259)	9	9	10
2	(85, 487)	10	9	10
3	(163, 177)	8	9	10
4	(194, 28)	9	8	10
5	(202, 93)	9	9	10
6	(223, 253)	10	9	10
7	(430, 288)	9	8	10
8	(443, 199)	8	7	10
9	(482, 477)	10	9	10

4 评估与取舍

实际应用中,考虑到资源和运算效率,需要对模板中的盲元标记点进行评估与取舍。盲元对图像的影响与它所在的位置有关,位置坐标可以作为取舍盲元的依据。对于一幅分辨率为 $n \times m$ 的图像,中心点 $(x_0, y_0)$ 如公式(3)所示,盲元位置 $(x, y)$ 根据公式(4)判断盲元距离中心点的距离 $d$ 。如果 $d$ 过大,可以认为该盲元由于位置偏离中心点过大,可以被删除。

$$(x_0, y_0) = \begin{cases} \left(\frac{n}{2}, \frac{m}{2}\right), & n \text{ and } m \text{ is even} \\ \left(\frac{n+1}{2}, \frac{m+1}{2}\right), & n \text{ and } m \text{ is odd} \end{cases} \tag{3}$$

$$d = \sqrt{(x_0 - x)^2 + (y_0 - y)^2} \tag{4}$$

$$d_1 = \frac{1}{4} \times \min(\text{col}, \text{row}) \tag{5}$$

$$d_2 = \frac{1}{3} \times \min(\text{col}, \text{row}) \tag{6}$$

公式(5)和公式(6)中, col、row 分别为图像的 行数 和 列数。如图 4 所示,根据距离 $d$ 的大小,将图像分为中心区域、中间区域、四周区域。以图像中心点坐标为圆心,坐标在半径为 $d_1$ 的圆内属于中心区域,坐标在半径为 $d_2$ 的圆内属于中间区域,其余部分属于四周区域。

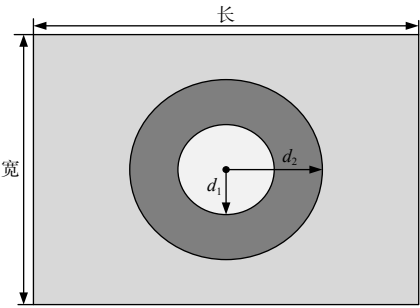


图 4 图像区域划分

Fig. 4 Image area division

本次实验所用图片分辨率为 $500 \times 500$ ,盲元检测模板中有 9 个盲元,将这 9 个盲元所处位置的坐标读出。并将坐标按照距离中心点 $(x_0, y_0) = (250, 250)$ 的距离分类,取 $d_1 = 125$ ,取 $d_2 = 166$ ,如表 3 所示,实验表明,该相机固定盲元中心区域有 4 个,必须对这几个盲元补偿,剩下的盲元所处位置处于四周区域,距离中心点较远,可根据实时性要求选择性补偿。

表 3 盲元所属区域统计

Table 3 Regional statistics of blind element			
序号	坐标	与中心点的距离	盲元所属区域
1	(23, 259)	227	四周区域
2	(85, 487)	288	四周区域
3	(163, 177)	113	中心区域
4	(194, 28)	228	四周区域
5	(202, 93)	48	中心区域
6	(223, 253)	27	中心区域
7	(430, 288)	183	中心区域
8	(443, 199)	199	四周区域
9	(477, 482)	324	四周区域

5 结论

本文根据盲元的大小和位置在每帧图像中始终不变这一特点,提出阈值提取加多幅图像交叉计算的算法,生成与相机一对一的盲元检测模板。从盲元检测的稳定性出发,比较了参考文献 [14]、参考文献 [15] 和本文算法,实验表明,相机固定盲元在本文算法检测中被检概率为 100%,其稳定性优于其他算法。最后根据盲元与图像中心的距离对盲元进行评估取舍,用于模板的优化,形成既切合实际应用又提高图像质量的最终模板作为盲元补偿模板。实际应用表明,本文算法盲元检测准确率高,应用于实时盲元补偿效果非常显著。

## 参考文献:

- [1] CAJGFINGER T, DOMINJON A, BARBIER. Single photon detection and localization accuracy with an ebcmos camera[J]. Nuclear Instruments & Methods in Physics Research A, 2015, 787: 176-181.
- [2] State Administration for Market Regulation. GB/T 17444-2013 Measuring methods for parameters of infrared focal plane arrays[S]. Beijing: China Standard Press, 2013.  
国家市场监督管理总局. GB/T 17444-2013 红外焦平面阵列特性参数测试技术规范[S]. 北京: 中国标准出版社, 2013.
- [3] HIRVONEN L M, SUBLING K. Photon counting imaging with an electron-bombarded pixel image sensor[J]. Sensors, 2016, 16(5): 617.
- [4] XU Pengxiao, TANG Guanghua, TANG Jiaye, et al. Review of EBCMOS hybrid photodetector[J]. Optoelectronic Technology, 2016, 36(4): 232-236, 252.  
徐鹏霄, 唐光华, 唐家业, 等. EBCMOS混合型光电探测器研究[J]. 光电子技术, 2016, 36(4): 232-236, 252.
- [5] ZHANG Haizhou, MU Yining, WANG Liankai, et al. Impact of passivation layer on photoelectron energy loss in EBCMOS low-light-level imaging device: a simulation and experimental study[J]. Chinese Journal of Vacuum Science and Technology, 2017, 37(10): 991-996.  
张海舟, 母一宁, 王连锴, 等. EBCMOS微光成像器件的研究[J]. 真空科学与技术学报, 2017, 37(10): 991-996.
- [6] HAO Lichao, HUANG Aibo, LAI Canxiong, et al. Discussion of reliability analysis on IRFPAs by bad pixel[J]. Infrared and Laser Engineering, 2016, 45(5): 33-38.  
郝立超, 黄爱波, 赖灿雄, 等. 盲元作为红外焦平面可靠性分析手段的探讨[J]. 红外与激光工程, 2016, 45(5): 33-38.
- [7] ZHENG Xiao, GE Zhixiong, LAI Yongan. Algorithm for blind-pixel detection of IRFPA based on sliding window[J]. Infrared Technology, 2019, 41(8): 735-741.  
郑晓, 葛志雄, 赖永安. 基于滑动窗口的红外焦平面阵列盲元检测算法研究[J]. 红外技术, 2019, 41(8): 735-741.
- [8] ZHANG Dongge, FU Yutian. One class support vector machine used for blind pixel detection[J]. Infrared and Laser Engineering, 2018, 47(4): 76-82.  
张东阁, 傅雨田. 基于一类支持向量机的盲元检测方法[J]. 红外与激光工程, 2018, 47(4): 76-82.
- [9] SU Yulu, SU Lan, CHEN Daqian, et al. Adaptive blind pixel detection algorithms based on stepwise search strategy[J]. Infrared Technology, 2016, 38(6): 457-460, 492.  
粟宇路, 苏兰, 陈大乾, 等. 基于分步搜索策略的自适应盲元检测算法[J]. 红外技术, 2016, 38(6): 457-460, 492.
- [10] LI Zhaolong, HAN Yulong. Blind pixel detection and correction of IR imaging system based on scene[J]. Laser & Infrared, 2017, 47(4): 465-469.  
李召龙, 韩玉龙. 基于场景的红外成像系统盲元检测及校正[J]. 激光与红外, 2017, 47(4): 465-469.
- [11] ZHAN Wei, MA Xinxing, XU Zijian. IR blind pixels detection and correction based on superpixel segmentation[J]. Infrared Technology, 2018, 40(11): 1085-1090.  
詹维, 马新星, 徐子剑. 基于超像素分割的红外盲元检测及校正[J]. 红外技术, 2018, 40(11): 1085-1090.
- [12] LI Chengli, LYU Junwei, WANG Peifei, et al. Blind pixel detection and evaluation for infrared detector[J]. Laser & Infrared, 2018, 48(2): 209-214.  
李成立, 吕俊伟, 王佩飞, 等. 红外探测器盲元检测及评价[J]. 激光与红外, 2018, 48(2): 209-214.
- [13] LAO Maojie, ZHOU Jinmei, LIAO Sheng. Compositive blind-pixel detection and compensation algorithm[J]. Opto-Electronic Engineering, 2011, 38(12): 57-62.  
罗茂捷, 周金梅, 廖胜. 盲元综合检测和补偿算法[J]. 光电工程, 2011, 38(12): 57-62.
- [14] LI Chengli, LYU Junwei, LIU Liang, et al. Imaging detection and compensati on simulation of infrared guidance weapon detector[J]. Computer Simulation, 2018, 35(8): 6-10, 50.  
李成立, 吕俊伟, 刘亮, 等. 红外制导武器探测器成像检测及补偿仿真[J]. 计算机仿真, 2018, 35(8): 6-10, 50.
- [15] KAN Bohan, YIN Jinjian, LI Lingjie, et al. IR blind pixels detection algorithm based on adjustable threshold window[J]. Laser & Infrared, 2014, 44(8): 949-952.  
阚博涵, 殷金坚, 李凌杰, 等. 基于可调阈值窗口的红外盲元检测算法[J]. 激光与红外, 2014, 44(8): 949-952.