

文章编号: 1672-8785(2022)05-0009-05

中波碲镉汞探测器次级盲元的量化及识别

刘世光¹ 姚 诚² 张 轶¹ 李 娟¹ 宁 提¹ 孙 浩¹

(1. 华北光电技术研究所, 北京 100015;

2. 空装驻北京地区第七军事代表室, 北京 100086)

摘 要: 中波碲镉汞探测器是最常用的高性能制冷型红外焦平面探测器, 在多个领域均有广泛应用。中波碲镉汞探测器在实际使用中有一类独立的像元, 其电平值比周边像元略低一些, 但不满足国标中的盲元判定标准, 会影响在光电系统上的使用(称为次级盲元)。依靠人眼判断此类像元不仅耗费大量时间, 而且不同人对次级盲元的判断标准不一。针对上述次级盲元不易判断的难题, 通过分析人眼对次级盲元的判断过程, 使用计算机模拟人的判断, 量化了次级盲元的判断标准, 并实现了自动识别和统计功能。与原有的人眼判断方式相比, 该方法极大地提升了识别的准确度和效率。

关键词: 中波; 碲镉汞; 次级盲元; 计算机模拟

中图分类号: TN362 **文献标志码:** A **DOI:** 10.3969/j.issn.1672-8785.2022.05.002

Quantitative Standards and Auto Recognition of Sub Bad Pixels on MW HgCdTe Detector

LIU Shi-guang¹, YAO Cheng², ZHANG Yi¹, LI Juan¹, NING Ti¹, SUN Hao¹

(1. North China Research Institute of Electro-Optics, Beijing 100015, China;

2. The 7th Military Representative Office of the Air Force Equipment

Department in Beijing, Beijing 100086, China)

Abstract: Middle-wave HgCdTe detectors are the most commonly used high-performance cooled infrared focal plane array (IRFPA) detectors, which are widely used in many fields. The middle-wave mercury cadmium telluride detector has a type of isolated pixel in actual use. It has a slightly lower voltage level than the surrounding pixels, but it does not meet the blind pixel judgment standard of the national standard, which will affect the use in photoelectric systems. We named them sub bad pixels. Relying on human eyes to judge such pixels not only takes a lot of time, but also different people have different judgment standards for sub bad pixels. Aiming at the difficulty of judging the sub bad pixels mentioned above, through analyzing the judgment process of the human eyes on the sub bad pixels, and using the computer to simulate the human judgment, the judgment standard of the sub bad pixels is quantified, and the automatic identification and statistical functions are realized. Compared with the original human eye judgment method, the accuracy and efficiency of recogni-

收稿日期: 2021-12-14

作者简介: 刘世光(1989-), 男, 河北人, 工程师, 主要从事红外器件研究。

E-mail: sislight@foxmail.com

tion are greatly improved.

Key words: middle-wave; HgCdTe; sub bad pixel; computer simulation

0 引言

红外探测器是将入射红外光转换为电信号的光电器件, 主要分为制冷型和非制冷型。非制冷型红外探测器在室温下工作, 灵敏度低, 主要用于民用领域。在军事、宇航等领域的高灵敏度、高性能红外探测主要采用工作温度在 77 K (液氮温度) 附近的制冷型红外探测器。其中, 碲镉汞红外探测器由于波长可调、量子效率高、灵敏度高而成为高性能红外探测器的主要发展方向^[1-4]。当镉组分调至 0.3 左右时, 碲镉汞在 77 K 工作温度下的后截止波长为 5 μm 左右, 可用于制备中波红外焦平面探测器。

中波碲镉汞焦平面探测器在测试时有一类像元值得关注。这些像元的信号电平值比相邻像元略低, 多以孤立的点出现, 少有相连的情况。由于是孤立存在的, 这类像元无法被图像的均匀性校正有效剔除, 对于目标探测尤其是点目标的探测会构成极大的困扰, 无法满足对点目标探测以及虚警率要求高的光电系统的使用需求。

红外焦平面组件一般依据国标 GB/T 17444-2013 进行焦平面参数测试。在 GB/T 17444-2013 中规定了过热像元和死像元的判断标准, 但是此标准不能有效判断上述次级盲元。现有方法大多依靠人眼对电平图进行筛选, 标准不一, 准确性差且费时费力。

针对以上难点, 本文重点针对次级盲元的筛选和自动化识别进行了研究。首先分析了人工筛选次级盲元的过程, 然后对此过程进行了计算机模拟。通过调节参数, 找到了与人眼判别较为一致的次级盲元量化判断标准。编写了自动处理程序, 能够基于此标准进行准确识别并统计次级盲元的数量, 生成次级盲元的分布图, 极大地提高了筛选效率。

1 问题分析

依据国标 GB/T 17444-2013 进行测试, 将探测器面对 35 $^{\circ}\text{C}$ 黑体与 20 $^{\circ}\text{C}$ 黑体测试时每个像素的电平值之差作为信号值。颜色越接近白色, 信号越大; 颜色越接近黑色, 信号越小。绘制出信号电平值的灰度图像 (见图 1)。从图 1 中可以看出, 部分像元的信号值明显比周边像元低, 在信号图中呈黑色或灰色点状分布, 尤其左上角数量较多。单以国标 GB/T 17444-2013 进行了盲元判断 (结果见图 2)。其中, 蓝色为死像元, 红色为过热像元。可以看到盲元数很少, 不能体现大部分次级盲元的分布 (图 1 属于次级盲元较严重的情况)。



图 1 某中波 320 $\times$ 256 碲镉汞探测器的信号电平图

针对以上问题, 现有的筛选方法是基于测试人员的经验, 通过肉眼查看探测器的电平图, 人为判定次级盲元是否严重。比如图 1 所示的探测器, 虽然总盲元数少, 但是次级盲元非常明显, 无法满足使用要求。此器件将被标注“次级盲元严重”, 不能用于对此要求高的项目。

基于测试人员经验的人眼判断存在以下几个问题: (1) 对次级盲元的判断依赖测试人员的经验, 没有相关的量化标准以及判断方法。不同的人之间, 甚至同一人在不同时间

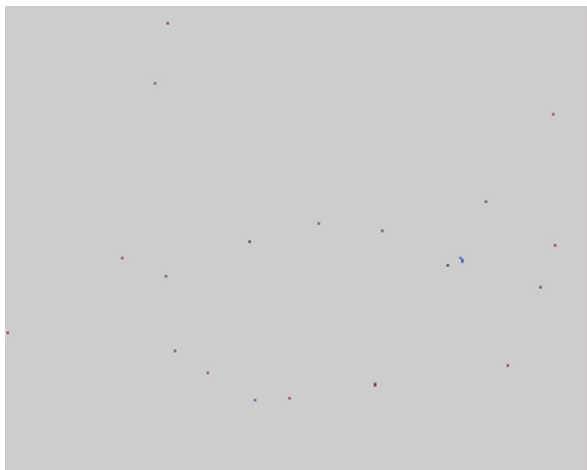


图 2 基于国标 GB/T 17444-2013 的盲元分布

的标准都会有差别。(2)人眼判断的效率低,需要来回比对电平图上的黑点、灰点是否在盲元图中被判断为盲元。(3)人眼判断的准确性差,经常会有次级盲元被漏判或者误判的情况。针对以上问题,开展了次级盲元的量化标准及自动识别的计算机模拟研究。

2 仿真模型建立

人眼对次级盲元的判断分为以下三个主要步骤:(1)获得信号电平灰度图像的灰度整体分布情况;(2)仔细观察信号电平灰度图,寻找灰度明显低于整体灰度分布的像素点;(3)根据测试经验并结合基于国标计算出的盲元图判断其是否为次级盲元。

基于人眼分析过程,利用计算机模拟也可类似地分为三个主要步骤:

(1)首先对信号电平图进行平滑操作(也可理解为低通滤波)。具体操作如下: V 为信号电平值矩阵, V_{mn} 为坐标 (m,n) 的像元电平值, U_{mn} 是 V_{mn} 及其周边 8 个像元的电平值的平均值;对矩阵 V 的所有元素进行以上操作,获得平滑操作后的矩阵 U 。

(2)对比矩阵 U 和 V 中每个元素的区别。

(3)根据国标 GB/T 17444-2013 中的相关定义,死像元为信号值低于平均信号一半的像元。次级盲元不符合国标对死像元的定义,但是信号值略低于周边盲元,因此可用以下方式表述:设 $i (i \in (0.5, 1))$ 为判断系数,则应有在某一个 i 值下, $V_{mn} < iU_{mn}$ 且 $V_{mn} > 0.5AVER(V_{mn})$ 时能被肉眼判断为次级盲元且不被国标 GB/T 17444-2013 判定为死盲元的像元。其中, $AVER(V_{mn})$ 为平均信号值。

基于以上分析,建立了判断模型。其中, i 为可调节的判断系数。需要寻找最合适的判断系数来匹配人眼对次级盲元的感知。

人眼判断和计算机模拟过程都可分为区域平均灰度感知、寻找区域响应低点和结合国标进行判断三个过程。人眼和计算机模拟过程的对比如图 3 所示。

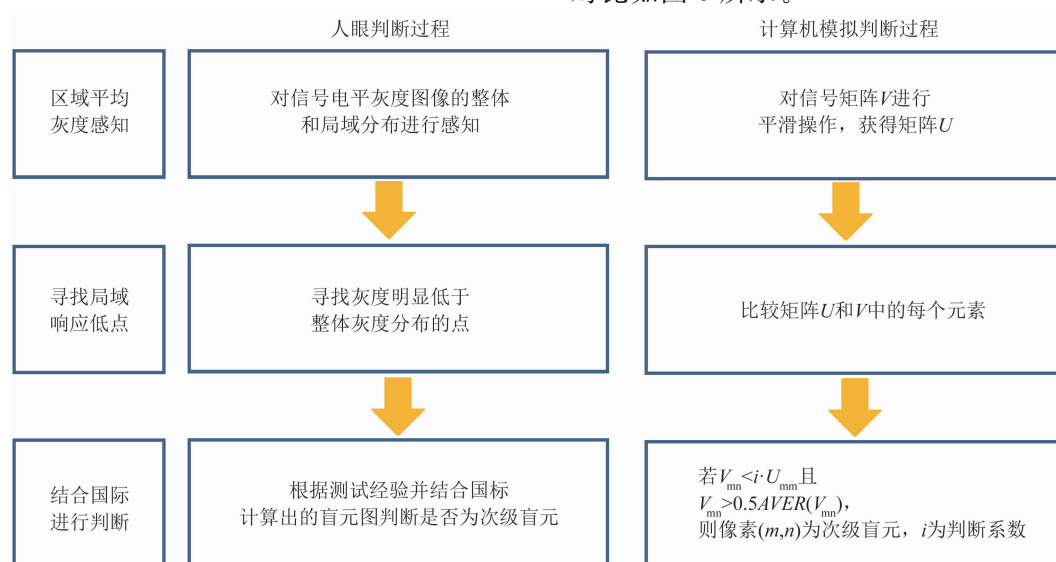


图 3 人眼判断和计算机模拟判断过程的对比

3 量化标准的确定

针对判断系数 i 的确定, 选取图 1 中左上角最严重的区域(见图 4)进行不同 i 值下的计算, 得到次级盲元分布和人眼感知比对结果。

基于前面所述的仿真模型, 分别选取 $i=0.8$ 、 0.9 、 0.95 、 0.96 、 0.965 、 0.970 、 0.975 、 0.980 、 0.99 , 计算得到次级盲元的分布图(见图 5)。

由图 5 可知, 当 i 值过小时, 无法区分次级盲元。 i 值在 $0.95 \sim 0.98$ 之间时能够不同程度地反映次级盲元的分布。当 i 值过大时, 会将电路的列差异误判为次级盲元。



图 4 图 1 中次级盲元严重区域(左上区域)的信号电平图

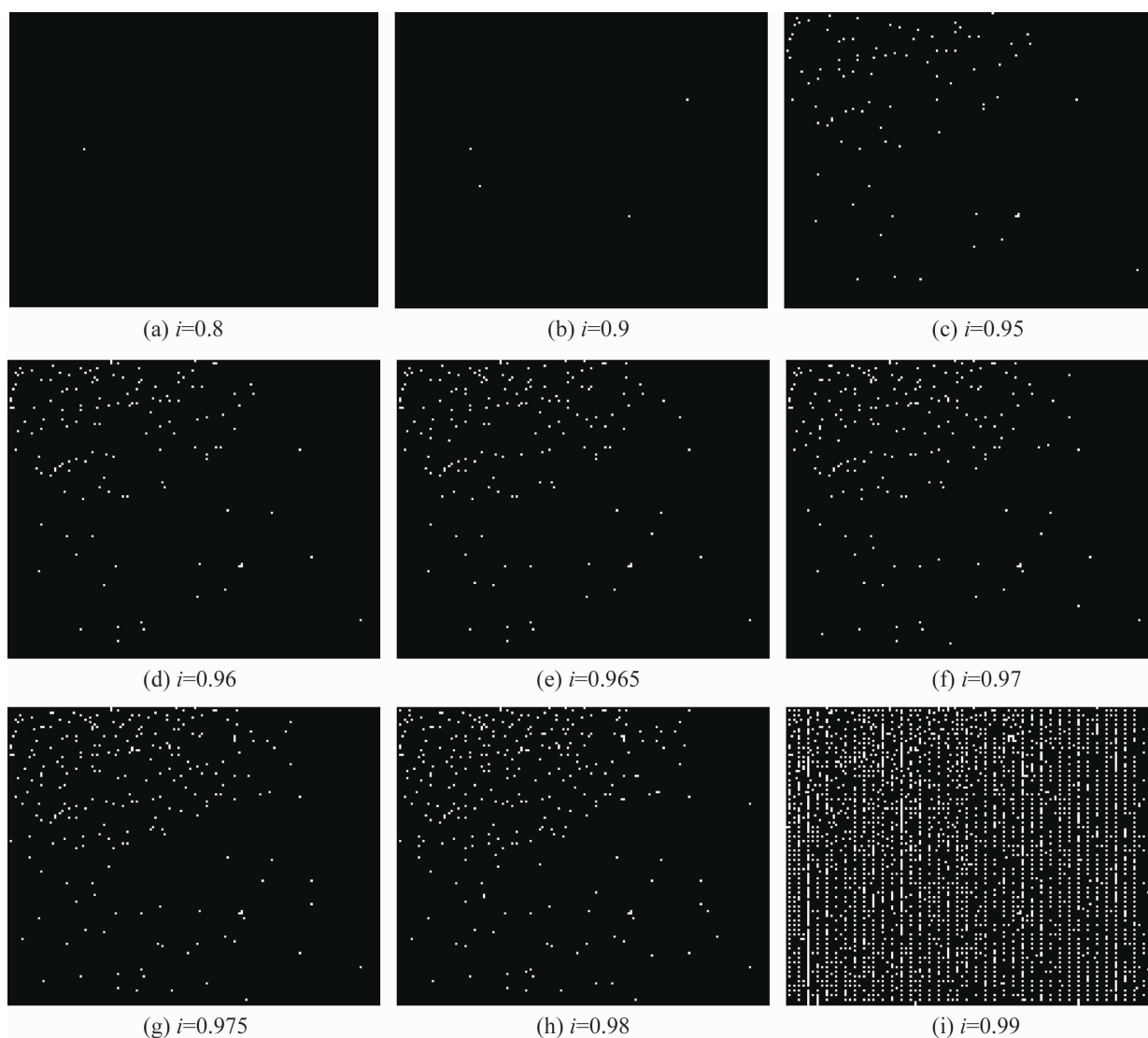


图 5 不同 i 值下算得的次级盲元分布

经过筛选人员挑选, $i=0.975$ 时与基于经验判断的次级盲元分布基本一致。根据前面建立的模型, $i=0.975$ 意味着次级盲元的信号值比周边像元的信号均值低 2.5%。可将此作为判断次级盲元的量化标准。

4 自动识别和分析

基于以上分析, 确定 $i=0.975$ 为次级盲元的量化判断标准。上述判断过程可通过程序自动完成, 并生成全面阵的次级盲元的分布图(见图 6)。图中的白色像素点为次级盲元的位置。

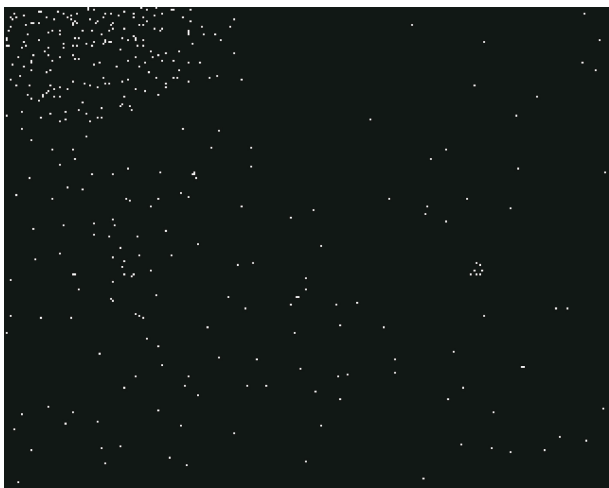


图 6 全面阵次级盲元的分布图

将图 6 与图 1 的信号电平图进行对比后可以发现, 图 6 能够很好地反映人眼对于图 1 中的次级盲元的感知。这些次级盲元并不能通过国标 GB/T 17444-2013 进行有效判断(见图 2), 但可将其作为器件筛选的补充标准。本方法大

大简化了识别过程, 并统一了筛选标准。与人眼判断相比, 它极大地提高了筛选效率。

5 结束语

本文阐述了中波碲镉汞探测器在测试过程中出现的次级盲元现象, 然后对次级盲元的人眼判断过程进行了分析, 并依据判断过程建立了仿真模型。基于仿真模型开展了不同判断系数下的次级盲元判断结果分析。结合人眼的判断结果, 确定了量化的次级盲元判断标准。通过程序实现了对次级盲元的自动识别, 并生成了次级盲元分布图。在信号电平图以及据国标判断的盲元图的基础之上, 提供了次级盲元的分布情况, 极大地提高了次级盲元的判断效率, 并统一了判断标准, 尤其对点目标探测以及虚警率要求高的光电系统所使用的探测器组件筛选标准是很好的补充。

参考文献

- [1] 刘世光, 徐碧婷, 徐长彬, 等. 中波 $10\ \mu\text{m}$ 小间距原位集成微透镜技术 [J]. 激光与红外, 2021, **51**(3): 339–342.
- [2] Rogalski A. Infrared Detectors: Status and Trends [J]. *Progress in Quantum Electronics*, 2003, **27**(1): 59–210.
- [3] Rogalski A. Next Decade in Infrared Detectors [C]. *SPIE*, 2017, **10433**: 104330L.
- [4] Wang D H, Liang H G, Qiu Na, et al. Application and Analysis in the Military of the IR Detection Technology [J]. *Infrared and Laser Engineering*, 2007, **36**(9): 107–112.