

文章编号:1001-5078(2013)02-0186-04

· 红外材料与器件 ·

红外焦平面阵列盲元判据的相关性研究

陈宝国^{1,2}, 樊养余¹, 王巍^{1,2}

(1. 西北工业大学电子信息学院, 陕西 西安 710072; 2. 中国空空导弹研究院, 河南 洛阳 471009)

摘要: 红外系统中探测器盲元的存在降低了红外图像的质量和红外系统的性能。在红外焦平面阵列最终性能的测试评价中, 盲元的判定主要有响应率判据、噪声判据和直流电平判据三种。本文研究了直流电平判据同其他两种盲元判据之间的关系: 电平低于正常像元的盲元具有噪声高、响应低的特征; 电平高于正常像元的盲元具有噪声低、响应低的特征。实际测试的数据验证了分析的结果, 具有较高的判别准确率。电平判据在实现判别盲元的成因与类型的同时, 亦可以推断出像元噪声和响应率的状态以及这两种判据的判别结果。在探测器的制造过程中, 简单的判别准则有助于早期剔除不合格品; 在系统应用中, 可快速评估探测器的变化以及新增盲元的原因和特征。

关键词: 盲元; 判据; 红外焦平面阵列

中图分类号: TN215 **文献标识码:** A **DOI:** 10.3969/j.issn.1001-5078.2013.02.015

Research on relations among defective element criteria of IRFPA

CHEN Bao-guo^{1,2}, FAN Yang-yu¹, WANG Wei^{1,2}

(1. School of Electronics and Information, Northwestern Polytechnical University, Xi'an 710072, China;

2. China Airborne Missile Academy, Luoyang 471009, China)

Abstract: Defective elements in infrared focal plane array (IRFPA) degrade the quality of infrared images and system performance. In the final tests in factory, defective elements are determined by three criteria: responsivity criterion, noise criterion and DC level criterion. Relations of the three criteria are analyzed in this paper. Defective elements with lower output DC level have the characteristics of higher noise and lower responsivity. Defective elements with higher output DC level have the characteristics of lower noise and lower responsivity. Test results show a good statistical accuracy, which validated the analyzing conclusions. Offset criterion can be used to determinate types and formation reasons of defective elements in IRFPA. Meanwhile, results of responsivity and noise criterion can also be deduced through offset criterion. In manufacture, waster is eliminated with this simple criterion in forepart. In application, the change of detectors can be evaluated and the new defect elements can be analyzed with this criterion. This provides an intuitionistic, fast and convenient way to evaluate defective elements in IRFPA.

Key words: defective element; criterion; IRFPA

1 引言

红外焦平面阵列的重要军事价值已得到近代几次局部战争的充分证明, 目前已广泛应用于各种高端装备^[1-2]。随着焦平面阵列规模的扩大以及像元尺寸的减小, 盲元严重影响着焦平面阵列的成品率, 已成为影响焦平面阵列技术发展的瓶颈之一。

目前, 盲元的研究多集中在盲元的检测原理、检

测方法和补偿算法等方面^[3-6], 而对盲元产生机理、类型及其判别方法等方面的报道却较少。

在焦平面阵列的终测中^[7], 红外焦平面阵列盲

基金项目: 航空创新基金 (No. 2011D01406) 资助。

作者简介: 陈宝国 (1970 -), 男, 研究员, 硕士, 主要研究方向为红外成像系统设计。E-mail: chenbg@netease.com

收稿日期: 2012-12-28

元判定有3种标准:响应率判据、噪声判据和电平判据。它们判别盲元的原理是:计算整个阵列所有像元对应参数的平均值,参数值高于或低于均值一定比例、数值或范围的像元即被判定为盲元。电平判据在目前实际终测中使用较少。但是,电平判据却具有较高的实用价值:通过观测阵列中盲元的输出波形,即可判定盲元的数量、分布、类型和成因^[8]。

在对大量盲元测试数据进行统计与分析后发现,3种盲元判别标准彼此之间呈现出一定的相关性。例如,某个判据判定的盲元常常与其他判据判定的盲元相吻合。研究正是基于这种现象而展开,其内容主要包括:盲元判据之间的相关性研究和递推性研究。

电平判据具有盲元类型、成因等直观判别的功能,通过本文的研究,使电平判据具备了判别噪声和响应率的能力。对于现场使用的红外系统进行焦平面阵列的在线测试与维护时,无需借助专用测试系统,即可得到原有盲元的噪声、响应率等参数在长期使用中的变化情况,以及新增盲元在类型、成因、性能指标等方面的状态。判别方法较为简捷实用。

2 测试现象

红外焦平面阵列的输出如图1所示。白色和黑色像元的输出电平分别高于和低于正常像元。

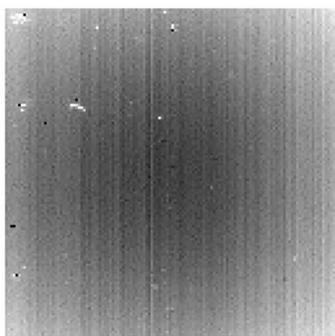


图1 焦平面阵列的输出灰度图

Fig. 1 gray map of IRFPA

在对几十套焦平面阵列的盲元进行统计与分析后,发现了一些规律性的现象:

(1)只有响应率超标的像元绝大多数为输出电平高于其他正常像元的盲元。

(2)输出电平高于其他正常像元绝大多数为仅响应率超标的盲元。如灰度图中所示的白色像点。

(3)输出电平低于正常像元的盲元绝大多数为噪声和响应率同时超标的盲元。但反过来不一定成立。

3 相关性分析

盲元统计数据呈现的规律性现象表明其背后必然有可以解释的原因。由焦平面阵列输出灰度图上的白色或黑色像元,即电平判据判定的盲元作为起始点,分析它们的噪声和响应率状况,继而得到它们之间的关联情况。

3.1 噪声

输出电平异常的像元说明其电流与其他正常像元不同。该像元的电流为:

$$I_d(i, j) = I_d + \Delta I_d \quad (1)$$

式中, I_d 为正常像元的电流; ΔI_d 为电平异常像元与正常像元的电流偏差。输出电平低于阵列正常值的像元(对于反相输出探测器),像元电流增大,其 $\Delta I_d > 0$;输出电平高于阵列正常值的像元,像元电流减小,其 $\Delta I_d < 0$ 。

像元的内部噪声为:

$$I_n^2(i, j) = 2q(I_d + \Delta I_d)\Delta f + \frac{\beta_0(I_d + \Delta I_d)^2\Delta f}{f} + \frac{4kT\Delta f}{R_d(i, j)} \quad (2)$$

在77 K工作温度下,热噪声较散粒噪声和 $1/f$ 噪声小1~2个数量级,可以忽略不计。

输出电平低于阵列正常值的像元,由于 $\Delta I_d > 0$,散粒噪声和 $1/f$ 噪声均增高,故该像元的噪声也会增大。输出电平高于阵列正常值的像元,由于 $\Delta I_d < 0$,散粒噪声和 $1/f$ 噪声均下降,故该像元的噪声减小。因此,输出电平低于正常像元的盲元其噪声大于正常像元,输出电平高于正常像元的盲元噪声小于正常像元。

3.2 响应率

直接注入型读出电路输入级的注入效率为:

$$\eta = \frac{g_m \cdot R_d}{1 + g_m \cdot R_d} \quad (3)$$

输出电平低于阵列正常值的像元,像元电流的增加是由于PN结损坏或钝化等原因造成,这些因素又会引起探测器阻抗的下降。因此,注入效率下降,响应率降低。

输出电平高于阵列正常值的像元,像元电流的减小通常是由于倒焊连通不良等原因造成,连通电阻的存在增大了读出电路注入管的等效输入阻抗,注入管的跨导降低了。因此,该通道的注入效率下降,响应率较正常通道减小。

无论电平异常像元的输出电平是高于还是低于

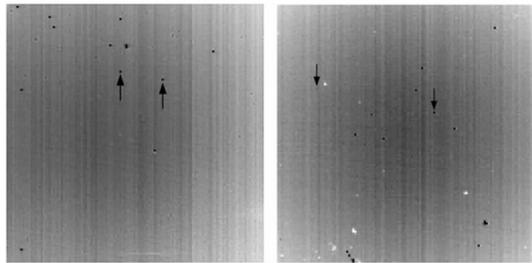
正常值,该通道的注入效率均下降,响应率均低于正常像元。

3.3 分析结果

焦平面阵列输出电平异于正常值的像元(黑色和白色像元)为电平判据判定的盲元。与正常像元相比:黑色像元输出电平低,噪声高,响应率低,为噪声和响应率同时超标的盲元;白色像元输出电平高,噪声低,响应率低,仅为响应率超标的盲元。

4 递推验证与讨论

为验证判据的相关性,利用焦平面阵列的测试结果,将电平判据得到的盲元与响应率判据和噪声判据判定的结果进行了统计和对比,如图 2 所示。



(a) 判别实例 1 (b) 判别实例 2
(a) Illustration 1 (b) Illustration 2

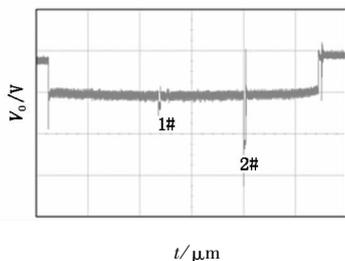
图 2 采用电平判别响应率和噪声实例

Fig. 2 examples for responsivity and noise determination

图 2(a)中,黑色像元为电平判据判定为不合格的盲元,箭头指示的两个像元为响应率不合格的像元,其余黑色像元均为响应率和噪声同时不合格的像元。对测试数据的分析表明,虽然这两个像元的噪声未超过噪声盲元的判别标准,但是它们的噪声明显高于正常像元,与前面相关性分析的结果一致。

图 2(b)中,白色和黑色像元为电平判据判定为不合格的盲元,箭头指示的两个像元为噪声不合格的像元,其余黑色像元均为响应率和噪声同时不合格的像元,白色像元为仅响应率不合格的像元,与分析结果吻合。

通过观测焦平面阵列的输出波形,也可以实现判据间的递推。盲元波形如图 3 所示。



(a) 输出电平低 (a) lower output

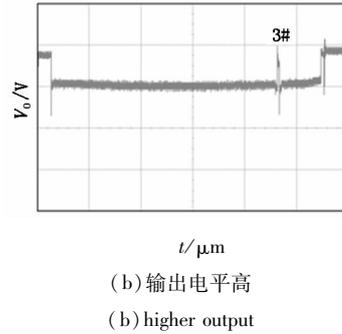


图 3 盲元的输出波形

Fig. 3 waveforms of bad pixels

图 3 中,1#~3#盲元为电平判据判定的盲元,1#和 2#盲元应为噪声和响应率超标的盲元,3#盲元应为仅响应率超标的盲元。对比测试数据,验证了上述递推结论的准确性。

以上是针对孤立盲元的分析,下面将一只探测器的测试结果绘制在响应率 - 直流电平图(如图 4 所示)和噪声 - 直流电平图(如图 5 所示)中。图 4 体现了探测器单元在响应率 - 直流电平图中的分布,密集区域为正常的探测器单元,较远的零散孤立点为盲元单元,图中可以看到盲元的分布有两个方向:一是在正常单元的左下方向,这些盲元的直流电平低(探测器为反相输出),同时响应率也较低,体现出这些单元具有较高的漏电流;另一个方向是正常单元的右下方,这些盲元较少,体现出由于工艺缺陷导致响应率低,从而导致直流电平偏低。图 4 也表明了正常单元的响应率是最高的,盲元的响应率

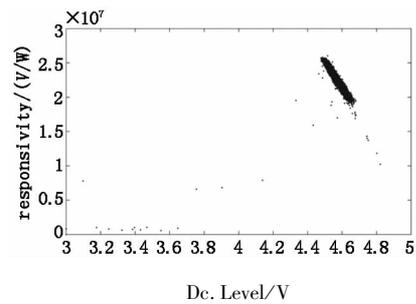


图 4 探测器单元的响应率 - 直流电平关系图
Fig. 4 relation of responsivity and DC level

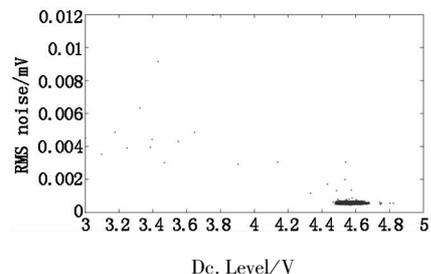


图 5 探测器单元的噪声 - 直流电平关系图
Fig. 5 relation of noise and DC level

一般都低于正常单元,这也符合理论预期,因为正常单元的响应已经接近了理论极限。

图5中的盲元可以通过横坐标与图4中的一一对应,可以看出直流电平低的盲元响应率低的同时噪声也升高,而直流电平高的盲元响应率低,噪声没有明显变化。

盲元数据统计分析的结果表明:由于盲元的散布是在一定范围内的随机分布,所以电平判据不能作为盲元之间类比的依据。例如,图3中2#盲元的电平低于1#盲元,说明2#盲元的电流大于1#盲元,但无法得出2#盲元噪声大于1#盲元、响应率小于1#盲元的推论。这种递推关系不成立的原因源自于盲元成因的不同。当电平较低的像元是PN结损坏的盲元时,其等效电路退化为电阻。像元电流虽大,但已不能用探测器二极管的噪声公式计算噪声,不同于因钝化原因造成阻抗下降的盲元的噪声。盲元成因有较多的来源,有时并不是仅仅由单一因素造成。所以,盲元电流的起伏具有不确定性,噪声也有一定的随机性。正是盲元成因的不同,使得盲元之间不具备类比性。

5 结论

通过电平判据可以确定输出电平超标的盲元。输出电平低于正常像元的盲元,噪声高,响应率低,通常为噪声和响应率均超标的盲元。输出电平高于正常像元的盲元,噪声低,响应率低,常常为仅响应率超标的盲元。

使用焦平面阵列的输出灰度图与波形进行验证,并与焦平面阵列评测系统的数据进行对比的结果表明:该方法简单易行,且具有较高的准确率。

由焦平面阵列盲元的输出电平情况,不仅可以判别盲元的成因和类型,还可以判断噪声和响应率的状况。在现场使用中,无需借助复杂的探测器测试系统,即可较为全面地掌握盲元的信息——尤其对新增盲元的现场评判提供了依据。

参考文献:

[1] Cai Yi, Hu Xu. State of the art and future trend of detectors for infrared imaging seekers[J]. Infrared and Laser Engineering, 2006, 35(1): 7-11. (in Chinese)

- 蔡毅,胡旭. 红外成像寻的用红外探测器现状和发展趋势[J]. 红外与激光工程, 2006, 35(1): 7-11.
- [2] Chen Boliang. Development state of IRFPA imaging device [J]. Infrared and Laser Engineering, 2005, 34(1): 1-7. (in Chinese)
陈伯良. 红外焦平面成像器件发展现状[J]. 红外与激光工程, 2005, 34(1): 1-7.
- [3] Zhou Huixin, Yin Shimin, Liu Shangqiang, et al. Algorithm of blind pixels auto-searching and compensation for IRFPA[J]. Acta Photonica Sinica, 2004, 33(5): 598-600. (in Chinese)
周慧鑫,殷世民,刘上乾,等. 红外焦平面器件盲元检测及补偿算法[J]. 光子学报, 2004, 33(5): 598-600.
- [4] Zhang Ke, Zhao Guifang, Cui Ruiqing, et al. Method of improving bad pixel detection precision of IRFPA[J]. Infrared and Laser Engineering, 2007, 36(4): 453-456. (in Chinese)
张科,赵桂芳,崔瑞青,等. 一种提高红外焦平面阵列盲元检测精度的方法[J]. 红外与激光工程, 2007, 36(4): 453-456.
- [5] Huang Xi, Zhang Jianqi, Liu Delian. Algorithm of blind pixels adaptive detection and compensation for infrared image[J]. Infrared and Laser Engineering, 2011, 40(2): 370-376. (in Chinese)
黄曦,张建奇,刘德连. 红外图像盲元自适应检测及补偿算法[J]. 红外与激光工程, 2011, 40(2): 370-376.
- [6] Mao Jingxiang, Wang Yifeng. Statistical analysis of defective pixels for IRFPA detector using MATLAB[J]. Infrared, 2009, 30(3): 43-45. (in Chinese)
毛京湘,王忆锋. 用MATLAB实现红外焦平面探测器盲元的统计分析[J]. 红外, 2009, 30(3): 43-45.
- [7] GB/T17444-1998, The technical norms for measurement and test of characteristic parameters of Infrared focal plane arrays[S]. Beijing: Standard Press of China, 1998. (in Chinese)
GB/T17444-1998, 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, 1998.
- [8] Wang Wei, Fan Yangyu, Si Junjie, et al. Types and determination of bad pixels in IRFPA[J]. Infrared and Laser Engineering, 2012, 41(9): 2261-2264. (in Chinese)
王巍,樊养余,司俊杰,等. 红外焦平面阵列盲元类型与判别[J]. 红外与激光工程, 2012, 41(9): 2261-2264.