

〈材料与器件〉

一种新的红外焦平面阵列盲元检测算法

李丽萍, 袁祁刚, 朱 华, 王 旭, 周慧敏
(西安北方光电科技防务有限公司, 陕西 西安, 710043)

摘要: 在分析盲元特性的基础上, 依据形态学开闭运算对尖峰信号的滤波性质, 提出了一种新的红外焦平面阵列盲元检测算法。选取合适的结构元素, 运用开闭运算的滤波作用对图像进行平滑处理, 从平滑图像中减去其均值得到阵列噪声响应图像, 选取合适的图像均值的倍数作为检测阈值。对阵列图像进行开闭运算并与平滑图像取差后得到对过亮及过暗像素增强的图像, 每个像素与阈值进行比较判别出盲元。

关键词: 红外焦平面阵列; 盲元检测; 数学形态学; 滤波

中图分类号: TN215

文献标识码: A

文章编号: 1001-8891(2014)02-0106-04

A New Algorithm of Blind Pixel Detection for Infrared Focal Array

LI Li-ping, YUAN Qi-gang, ZHU Hua, WANG Xu, ZHOU Hui-min
(Xi'an Northern Electro-optical Science & Technology Defense Co. Ltd, Xi'an 710043, China)

Abstract: A new algorithm of blind pixel detection for infrared focal array is presented according to filtering characteristic of morphologic open and close operations for acuminate signal based on analysis of blind pixel character. Smoothing image is obtained by means of filter character of open and close operations with proper structure element. The noise response image of the array is gained by subtracting the mean of all pixels from each pixel of the smoothing image. The mean is designated as threshold of defective pixels detection. Gray scale open and close operators are applied to the array respectively, then the outcome image subtracts the smoothing image to produce the image with enhanced over hot pixels and dead pixels. Each pixel is compared with the threshold, and blind pixels are differentiated.

Key words: IRFPA, blind pixel detection, morphologic operation, filter

0 引言

红外焦平面阵列(IRFPA)技术以其更高的分辨率和灵敏度,近年来得到快速发展,成为红外成像技术的主流。但由于制造工艺、材料的不一致等因素影响,其信号输出幅度会出现不均匀性^[1],不均匀性的极端情况就是部分像元甚至失去探测能力,成为盲元。以目前的工艺水平,焦平面阵列的非均匀性和盲元从器件制造阶段消除是不可能。焦平面阵列不均匀性和盲元的存在大大降低了红外成像系统输出图像的质量。因此在IRFPA成像系统中,非均匀性校正和盲元的识别及补偿处理成为关键的图像预处理工作。针对盲元处理问题,首先需要判断出盲元。

以往的文献^[2-5]提出了一些盲元检测方法:根据像元的时域噪声定义像元的可校正度,通过该属性来判别盲元;采用双参考光源检测和补偿盲元;利用有效像元和失效像元的响应特征在统计分布上的差异性来判别盲元。这些算法都不同程度地存在着算法复杂、计算量大、不便于应用的情况。

本文依据形态学开闭运算对尖峰信号的滤波作用,提出了一种新的盲元自动检测算法,本算法采用单一参考辐射源,具有算法简单、定位准确等特点。

1 盲元的定义

根据国家标准,盲元有死像元和过热像元,定义如下^[6]:

收稿日期: 2013-07-23; 修订日期: 2013-09-10.

作者简介: 李丽萍(1978-),女,硕士研究生,工程师,从事光电探测、红外成像等方面研究工作。

1) 中间平均响应率为:

$$\bar{R}' = \frac{1}{M \cdot N} \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N R(i, j)$$

式中: M 、 N 分别为焦平面像元的总行数和总列数;
 $R(i, j)$ 为像元响应率:

$$R(i, j) = \frac{V_s(i, j)}{P}$$

式中: $V_s(i, j)$ 为像元黑体响应电压;

$$P = \sigma(T^4 - T_0^4) \cdot d^2 \cdot A_D / (4L^2)$$

式中: σ 为斯忒藩常数, $5.673 \times 10^{-12} \text{ W} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{K}^{-4}$; T 为黑体温度; T_0 为背景温度; d 为黑体辐射孔径; A_D 为焦平面像元面积; L 为黑体出射孔至焦平面像元垂直距离。

2) 死像元 d 为符合如下不等式的像元:

$$R(i, j) - \frac{1}{10} \bar{R}' < 0$$

3) 中间平均噪声电压为:

$$\bar{V}_N' = \frac{1}{M \cdot N - d} \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N V_N(i, j)$$

式中: $V_N(i, j)$ 为像元噪声电压, 是焦平面在背景辐照条件下, 像元输出信号电压涨落的均方根值。

4) 过热像元 h 为符合如下不等式的像元:

$$V_N(i, j) - 10\bar{V}_N' > 0$$

2 基本原理及算法过程

本文主要涉及到数学形态学的基本运算包括: 灰值腐蚀和膨胀, 灰值开闭运算。

结构元素 $g(x)$ 对信号 $f(x)$ 的腐蚀定义为:

$$(f \ominus g)(x) = \max\{y: g_x + y \ll f\}$$

f 被 g 膨胀的定义为:

$$(f \oplus g)(x) = \min\{y: (g^\wedge)_x + y \gg f\}$$

灰值开运算是先对图像进行腐蚀运算再对图像进行膨胀运算的形态学运算就是灰值开运算。用下式表示:

$$(f \circ g(x)) = (f \ominus g) \oplus g$$

灰值闭运算利用对偶性定义为:

$$(f \cdot g(x)) = -[(-f) \circ (-g)]$$

对于灰值图像, 由于最大噪声(高亮度噪声)位

于信号的上方, 因此通过灰值开运算后可得到很好的滤波效果。根据对偶性, 闭运算可以滤掉信号下方的噪声尖峰。

一般情况下, 噪声大都是由信号上、下凸起的尖峰组成, 可以利用交变序列滤波器(ASF), 即开运算和闭运算的迭代运算或闭运算和开运算的迭代运算将其消除。开-闭(OC)和闭-开(CO)运算的形式为^[7]:

$$OC(f) = (f \circ g) \cdot (-g)$$

及

$$CO(f) = [f \cdot (-g)] \circ g$$

从统计角度看, 当使用开运算或闭运算作为滤波器时, 除了噪声图像位于非噪声图像的上方, 例如存在极大噪声, 否则滤波器的输出将会产生偏移现象。使用迭代运算的目的之一就是要减弱这些偏移现象。对于红外灰度图像, 从闭运算图像中减去开-闭迭代运算或闭-开迭代运算得到的图像, 可以在较暗的背景中得到亮的像元颗粒; 从开运算图像中减去开-闭迭代运算或闭-开迭代运算得到的图像, 可以在较亮的背景中得到暗的像元颗粒, 据此, 我们可以利用盲元与正常的响应特性差异来检测盲元, 过热像元和死像元分别按下式检测:

$$W_{\text{pixel}} = f \cdot g - OC(f)$$

$$B_{\text{pixel}} = |OC(f) + [-(f \circ g)]|$$

基于形态学滤波的红外探测器盲元检测算法的基本过程如图1。

3 实验结果与分析

3.1 仿真结果

用 Matlab 软件进行算法仿真分析, 为了减少计算量, 输入图像采用裁剪过的大小为 90×120 的红外图像。对连续3幅图像进行平均, 然后再进行交变序列滤波。经过平滑处理的图像, 计算其直流电平, 得到噪声电压响应图像, 如图2所示。由噪声电压响应计算噪声电压的平均值, 作为盲元检测的阈值。对输入图像进行闭运算, 与输入图像取差后, 得到过热像元分布图像, 如图3所示。

对输入图像进行开运算, 与输入图像取差后, 得到死像元的分布, 如图4所示(反显)。将死像元分布图像取反与过热像元分布图像相加, 逐个像元与设定阈值进行比较, 高于设定阈值的像元确定为盲元, 用亮度255显示, 低于设定阈值的像元用亮度0显示, 得到盲元经过增强的检测结果图像, 如图5所示。

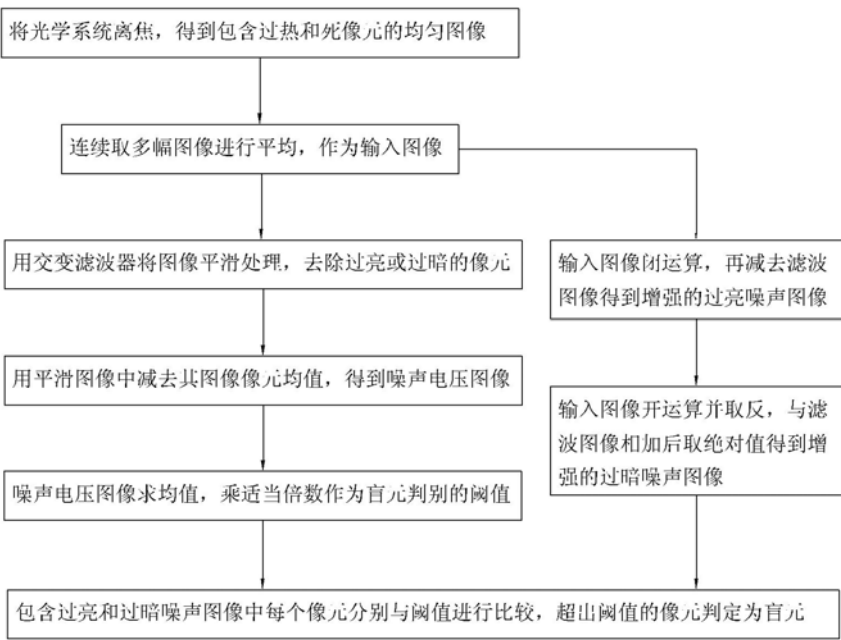


图 1 基于形态学滤波的红外探测器盲元检测算法的基本过程

Fig.1 The processing of the algorithm of blind pixel detection based on morphologic operation filtering

3.2 结果分析

为了验证本算法的有效性，将本算法与在红外成像系统中常采用的“ 3σ ”算法^[8]在仿真实验中进行对比。图 6 给出了“ 3σ ”盲元检测结果，图 7 是阈值为 5.5 倍阈值的检测结果。表 1 给出了 2 种算法的检测结果对比。

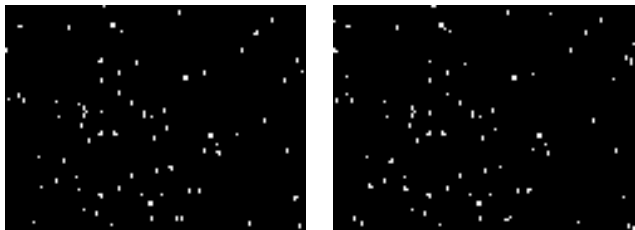


图 6 “ 3σ ”检测结果

图 7 5.5 倍阈值检测结果

Fig.6 The result of “ 3σ ” algorithms

Fig.7 The result of 5.5X threshold detection

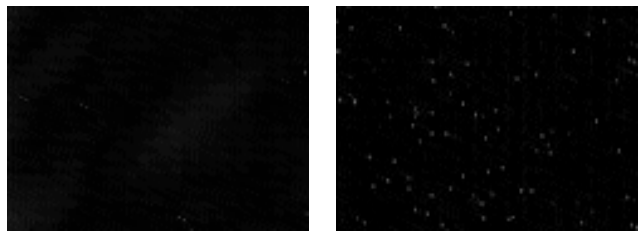


图 2 噪声电压图像

图 3 过热像元分布图像

Fig.2 The image of noise level

Fig.3 The distributing image of the extra-hot pixels



图 4 死像元分布图像

图 5 阈值检测结果

Fig.4 The distributing image of the blind pixels

Fig.5 The result of threshold detection

从图 6、图 7 及表 1 可以看出，当设定阈值为 5.5 倍平均值时，检出盲元数量与“ 3σ ”算法非常接近，当设定阈值提高时，盲元数量相应减少。为了验证本算法定位盲元的准确性，采用邻域补偿算法分别对两种检测算法的盲元进行补偿，如图 8、图 9 所示。可以看出：对“ 3σ ”算法检测盲元的补偿在某些像元甚至会产生过补偿现象，而本算法的盲元定位准确，补偿效果明显优于“ 3σ ”算法，从而证明了本算法的优越性。

表 1 算法结果对比				
Table 1 The comparison of different algorithms				
	3σ	5.5 倍阈值	7 倍阈值	10 倍阈值
盲元数	142	145	106	59
占像元总数百分比	1.31%	1.34%	0.98%	0.55%

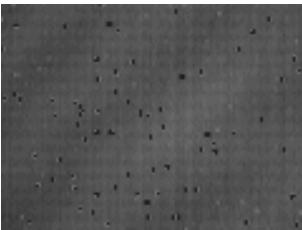


图 8 “3σ”算法邻域补偿结果
Fig.8 The vicinity compen-
sation result of “3σ”
algorithms



图 9 本算法邻域补偿结果
Fig.9 The vicinity compen-
sation result of our
algorithms

3.3 结构元素的选取

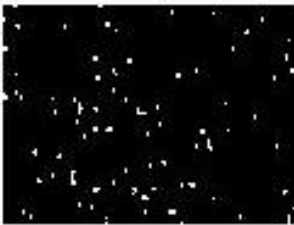
运算结构元素是图像形态学的基本算子，结构元素的形状和尺度的选取直接影响图像处理的质量及盲元检测的结果。图 10 为选取不同结构元素进行盲元检测的结果，结构元素尺度都为 3，设定阈值为 5.5 倍平均值。表 2 为检测结果对比。



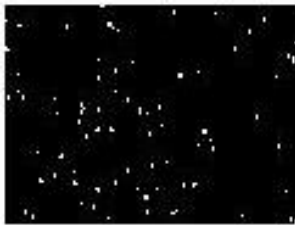
(a) disk 结构元素（半径为 1）



(b) line 结构元素



(c) square 结构元素



(d) pair 结构元素

图 10 选取不同结构元素进行盲元检测的结果图像

Fig.10 The image of blind pixel detection choosing different
structure element

表 2 不同结构元素检测结果对比

Table 2 The comparison of different structure elements

	disk 结构	line 结构	square 结构	pair 结构
盲元数	181	176	215	145
占像元总 数百分比	1.68%	1.63%	1.99%	1.34%

由图 10 可以看出选取 disk 结构元素、line 结构元素、square 结构元素进行盲元检测的结果图像上均有不同程度的盲元连通情况，而 pair 结构元素的检测结果不存在这种情况。从表 2 也可看出由于连通情况的存在，选取其它结构元素检测出的盲元数量比 pair 结构元素的多。因此，通过对比确定 pair 结构元素的

检测能力优于其它形状的结构元素。本文使用的 pair 结构元素如图 11 所示。

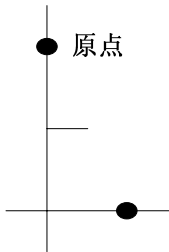


图 11 配对形结构元素 Fig.11 Pair structure element

4 结论

本文提出了一种新的红外焦平面阵列盲元检测算法。利用形态学交变序列滤波器对图像进行滤波平滑处理，再去除平滑图像中的直流分量，得到探测器输出的阵列噪声电压图像，将其平均值作为盲元判别的阈值。对原图像进行开、闭运算，然后与平滑图像求差得到盲元分布图像，并将该图像逐个像元与盲元判别阈值比较，从而判别出红外阵列盲元。将这种方法应用于成像系统中的盲元判别取得了较好的效果。通过实验对比，本文得到如下结论：形态学滤波算法用于红外阵列盲元检测是有效的；本算法盲元定位准确，可根据实际情况灵活选择检测阈值；算法简单，便于实现。

参考文献：

[1] Gross W, Hierl Th, Schulz M, et al. Correctability of the spatial nonuniformity in various infrared focal arrays. *Proc. of SPIE*, 1998, **3426**: 203-213.

[2] Schulz M, Caldwell L. Nonuniformity correction and correctability of infrared focal plane arrays[J]. *Infrared Physics & Technology*, 1995, **36**: 763-777.

[3] 石岩, 毛海岑, 张天序, 等. 一种新的基于特征直方图分解的红外焦平面阵列无效像元判别方法[J]. *红外毫米波学报*, 2005, **24**(2): 119-124.

[4] 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, **23**(5): 598-600.

[5] 姚琴芬, 顾国华. 一种新的红外焦平面阵列盲元检测算法[J]. *红外技术*, 2012, **34**(8): 441-443.

[6] GB/T 17444-1998, 红外焦平面阵列特性参数测试技术规范[S].

[7] 崔屹. *图像分析与处理-数学形态学方法及应用*[M]. 北京: 科学出版社, 2002: 135.

[8] Cirrus/Cassiopea/Pegasus Electronics Software Interfaces S9807.D01 Rev. AQ 02/06/2002.