

•测试、试验与仿真•

红外热像仪焦平面坏元实用检测方法

阳平, 张辉

(92941部队, 辽宁 葫芦岛 125001)

摘要: 红外热像仪焦平面由于材料、工艺、以及使用环境等原因不可避免地会存在坏元。首先在分析坏元红外图像特征的基础上, 使用实际采集的红外图像, 以 5×5 大小的窗口对所有焦平面像元进行逐一检测; 其次通过分别计算像元基于灰度水平和基于灰度方向变化率的坏元隶属度, 得到了坏元检测判据; 最后以实例检测验证了该方法的有效性。

关键词: 红外热像仪; 焦平面; 坏元

中图分类号: TN219

文献标识码: A

文章编号: 1673-1255(2017)-05-0081-04

A Practical Focal Plane Bad Pixels Detection Method of Infrared Thermal Imager

YANG Ping, ZHANG Hui

(92941 Army Unit, Huludao 125001, China)

Abstract: Due to materials, process and use environment, bad pixels exist in the focal plane of infrared thermal imager. Firstly, according to the analysis of infrared image characteristics of bad pixels and using collected IR picture, the pixels of the focal plane are detected one by one with a 5×5 window. Secondly, the bad pixel detection criterion is obtained through calculating the bad pixel membership degree based on the change of gray level and direction. Finally, the validity of the method is proved by an example.

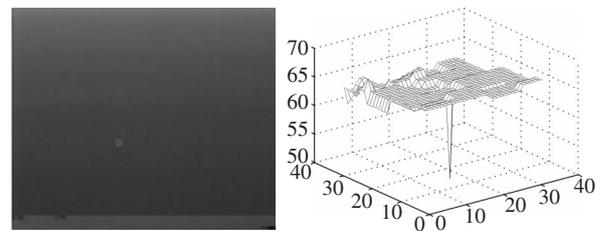
Key words: infrared thermal imager; focal plane; bad pixel

当前, 凝视型焦平面^[3]热像仪已得到广泛应用, 其核心器件是焦平面阵列^[4]。由于材质和生产工艺原因^[5-6], 焦平面不可避免地会存在坏元。焦平面坏元直接影响红外设备的成像质量^[7]。焦平面的固有坏元在热像仪出厂之前已经得到了校正。而红外热像仪在使用后, 受外部环境的影响, 可能会出现新的坏元, 这些坏元是需要现场检测的。

由于使用环境的限制, 基于像元响应率和噪声电压^[9]的实验室检测方法有时难以实施。因此, 不借助专业的检测设备, 而是通过软件算法实现焦平面坏元的检测就显得十分必要。文中通过对坏元的红外图像特征进行分析, 提出了一种实用的坏元检测方法, 并通过实例计算进行了验证。

1 坏元的图像特征

图1是坏元图像的灰度分布。



(a) 带坏元的图像

(b) 坏元周围灰度分布

图1 坏元图像的灰度分布

图1a是一幅带坏元的红外图像,该坏元是一个暗点,图中标记了某个坏元的位置,坏元所在局部区域的灰度分布如图1b所示。从图1b可以看出,坏元所在区域的图像灰度分布存在一个尖峰,这个尖峰就是坏元图像的灰度值。由此可见,坏元图像的灰度值与相邻像元有明显差异。

2 坏元的检测方法

2.1 检测原理

该方法的检测原理,就是利用待检测像元和周围像元之间的灰度差异,对焦平面所有像元进行逐一检测,以识别坏元。

针对坏元在局部区域灰度突出的特征,采用隶属度来描述像元为坏元的程度。红外图像上任意一个像元的坐标为 (i,j) ,其灰度值为 $g(i,j)$ 。以像元 (i,j) 为中心,选取一个 5×5 大小的窗口,与其相邻的24个像元灰度平均值为 $E(i,j)$ 。 (i,j) 为坏元的隶属度为^[10]

$$\mu_b(i,j) = \begin{cases} 0 & |g(i,j) - E(i,j)| \leq T_{\min} \\ \frac{|g(i,j) - E(i,j)| - T_{\min}}{T_{\max} - T_{\min}} & T_{\min} < |g(i,j) - E(i,j)| < T_{\max} \\ 1 & |g(i,j) - E(i,j)| \geq T_{\max} \end{cases} \quad (1)$$

$$\mu_n(i,j) = 1 - \mu_b(i,j) \quad (2)$$

式中, T_{\min} 和 T_{\max} 分别为上下限阈值。隶属度为0,表示 (i,j) 不是坏元;隶属度为1,表示 (i,j) 是坏元;隶属度为其他值时,表示 (i,j) 是坏元的程度。可见,待检测像元与邻域灰度平均值差异越小,隶属度越小;差异越大,隶属度越大。

对于 T_{\min} 和 T_{\max} ,文中不采取固定的值,而是随 (i,j) 变化,通过下式确定

$$T_{\min}(i,j) = \sigma(i,j), T_{\max} = k\sigma(i,j) \quad (3)$$

$$\mu_b^x(i,j) = \begin{cases} 0 & |\delta^x(i,j) - E^x(i,j)| \leq T_{\min}^x(i,j) \\ \frac{|\delta^x(i,j) - E^x(i,j)| - T_{\min}^x(i,j)}{T_{\max}^x(i,j) - T_{\min}^x(i,j)} & T_{\min}^x(i,j) < |\delta^x(i,j) - E^x(i,j)| < T_{\max}^x(i,j) \\ 1 & |\delta^x(i,j) - E^x(i,j)| \geq T_{\max}^x(i,j) \end{cases} \quad (5)$$

$x \in \{ZS, YS, X\}$

$$\mu_n^x(i,j) = 1 - \mu_b^x(i,j), x \in \{ZS, YS, X\} \quad (6)$$

对于 $T_{\min}^x(i,j)$,文中选取窗口内除 (i,j) 以外所有

其中, $\sigma(i,j)$ 为窗口内除 (i,j) 以外其余所有像素灰度值的均方差,即

$$\sigma(i,j) = \sqrt{\frac{1}{24} \sum_{m,n \in [-2,2]} [g(i+m,j+n) - T(i,j)]^2} \quad (4)$$

其中, k 为常数,根据实际情况具体确定。

上面的步骤能够检测出在局部区域灰度突出的像元,但是小目标的图像灰度也具有这样的特点。因此,为了避免错检,还需要将坏元和小目标进行识别。由于目标图像的灰度变化具有连续性^[11],因此,将坏元图像的灰度变化率考虑进来。

对窗口内不同方向的灰度变化率进行比较。根据上述分析,坏元在某个方向的灰度变化率必然要比正常像元的灰度变化率高得多。文中分别选取左上(ZS)、右上(YS)、下(X)三个方向的灰度变化率进行分析,如图2所示。

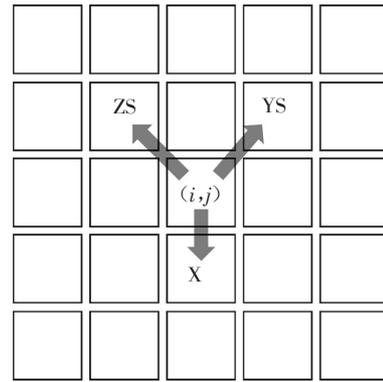


图2 像元的灰度变化率

(i,j) 在这三个方向的灰度变化率分别为:
 $\delta^{ZS}(i,j) = |g(i-1,j-1) - g(i,j)|$; $\delta^{YS}(i,j) = |g(i-1,j+1) - g(i,j)|$; $\delta^X(i,j) = |g(i+1,j) - g(i,j)|$ 。窗口内除与 (i,j) 相邻的24个像元在 x 方向上的灰度变化率平均值集为 $T^x(i,j)$ 。基于灰度的方向变化率,定义 (i,j) 在该方向上为坏元的隶属度,有下式

像素灰度变化率的标准差,即 $T_{\min}^x(i,j) = \sigma[\delta^x(i+m, j+n)]$, $m, n \in [-2,2]$, m, n 不同时为0;其中,

$\sigma[\delta^x(i+m,j+n)]$ 为窗口内所有像素灰度变化率的均方差,即有下式

$$\sigma[\delta^x(i+m,j+n)] = \sqrt{\frac{1}{23}[\delta^x(i+m,j+n) - T^x(i,j)]^2} \quad (7)$$

其中, $T_{\max}^x(i,j)$ 取固定值,根据实际情况确定。

将三个方向的隶属度求和,得到下式

$$L_b^\mu(i,j) = \sum_{x \in \{ZS,YS,X\}} \mu_b^x(i,j) \quad (8)$$

$$L_n^\mu(i,j) = \sum_{x \in \{ZS,YS,X\}} \mu_n^x(i,j) = \sum_{x \in \{ZS,YS,X\}} [1 - \mu_b^x(i,j)] \quad (9)$$

综合灰度和邻域灰度,构造一个判断 (i,j) 是坏元或正常像元的函数,有下式

$$F(i,j) = \mu_b(i,j) \cdot L_b^\mu(i,j) - \mu_n(i,j) \cdot L_n^\mu(i,j) \quad (10)$$

将式(2)、式(6)代入式(10),化简后得到

$$F(i,j) = \sum_x \mu_b^x(i,j) + 3\mu_b(i,j) - 3 \quad (11)$$

这样,就得到 (i,j) 是坏元或正常像元的最终判断,即:(1)当 $F(i,j) > 0$ 时,判断 (i,j) 是坏元;(2)当 $F(i,j) \leq 0$ 时,判断 (i,j) 正常像元。

2.2 算法流程

根据第2.1节的分析,检测算法流程如图3所示。

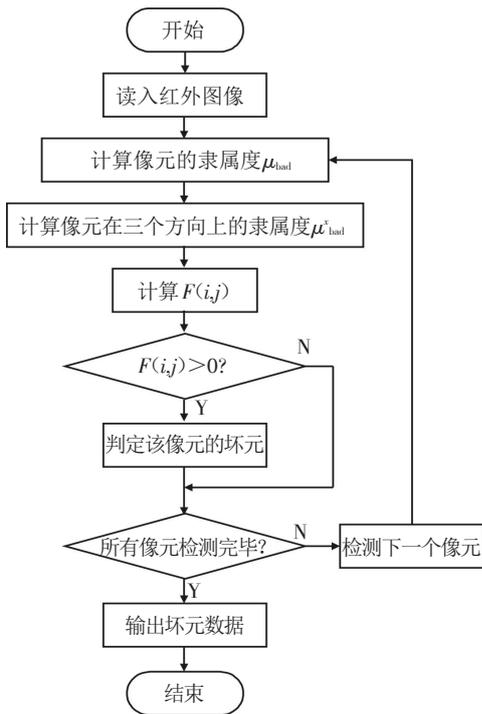


图3 坏元检测算法流程图

3 实例验证与结果分析

为了验证方法的可行性,使用实际采集的红外图像,往图像里人工加入一些暗点来模拟坏元,如图4所示。



图4 带坏元的图像

该红外图像的分辨率为 288×352 , 即总共有 101 376 个像元。在检测程序中,从像元 $(1,1)$ 开始,对所有像元位置进行顺序编号,如图5所示。

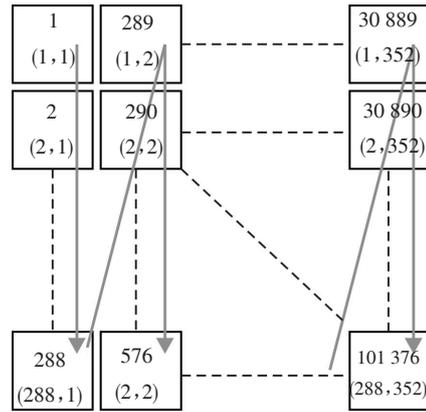


图5 像元位置编号示意图

由图可见,像元 $(1,1)$ 位置编号为 1; 像元 (i,j) 编号为 $288 \times (j-1) + i$; 像元 $(288,352)$ 编号为 101 376。程序中, k 取 8, $T_{\max}^x(i,j)$ 取 100。

经检测,红外图像中共有 10 个坏元,坏元检测结果如图6所示。图6中,坏元的位置被方框标记了出来。将部分坏元局部的区域进行放大,如图7所示。从图6、图7可以看出,该红外图像中的坏元有多种类型,既有单独的孤立坏元,也有两个相邻的连续坏元,还有占 2×2 个像素大小的区域坏元。

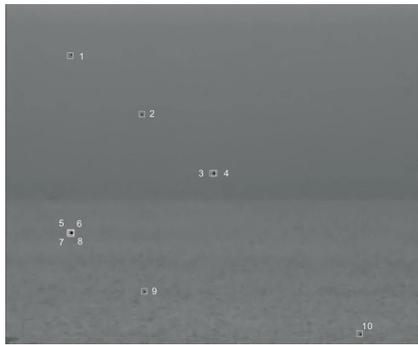


图6 坏元检测结果

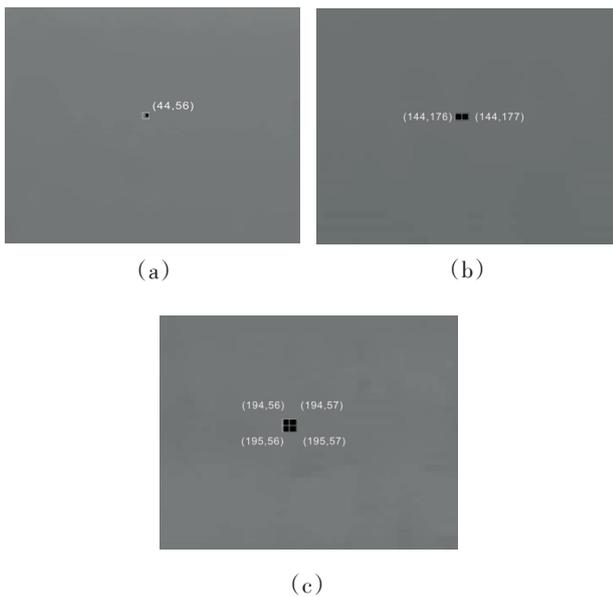


图7 坏元局部区域放大图

检测到的坏元位置如表1所示。

表1 坏元位置

坏元序号	坏元位置编号	坏元位置
1	15 884	(44, 56)
2	33 214	(94, 116)
3	50 544	(144, 176)
4	50 832	(144, 177)
5	16 034	(194, 56)
6	16 322	(194, 57)
7	16 035	(195, 56)
8	16 323	(195, 57)
9	33 940	(244, 118)
10	86 392	(280, 300)

由表1可知,坏元1、2、9、10分别为单个孤立的坏元;坏元3、4相邻,构成了 1×2 (像素)大小的坏元;坏元5、6、7、8构成了 2×2 (像素)大小的坏元簇。检测结果表明,该方法对单个独立坏元、两个连续坏元和四个像素的区域坏元都实现了检测和定位,表明了该方法的可行性。

4 结 论

基于焦平面坏元的图像灰度特征,提出了一种实时检测红外热像仪坏元的方法,该方法仅需利用采集到的红外图像,综合像元灰度的区域差异和方向变化率得到了坏元检测判据,以此进行坏元检测。通过实例计算,验证了方法的可行性。将此方法编写成一段子程序添加于红外热像仪操控程序中,可实现焦平面坏元的实时检测,对于红外热像仪的使用维护具有重要意义。

参考文献

- [1] 罗冰,冯瑜,金晓宇.舰载光电跟踪仪应用及发展[J].激光与红外,2015,45(10):1171-1174.
- [2] 刘忠领,于振红,李立仁,等.红外搜索跟踪系统的研究现状与发展趋势[J].现代防御技术,2014,42(2):95-101.
- [3] 蔡毅,王岭雪.红外成像技术中的9个问题[J].红外技术,2013,35(11):671-682.
- [4] 王忆锋,黄江平.红外焦平面探测器阵列规格的发展[J].红外,2013,34(9):1-8.
- [5] 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.
- [6] 王巍,樊养余,司俊杰,等.红外焦平面阵列盲元簇成因分析[J].红外与激光工程,2012,41(11):2857-2860.
- [7] 李炎冰,梁少峰,陈洪亮,等.红外焦平面阵列坏元检测算法[J].电光与控制,2015,22(3):69-71.
- [8] 隋修宝,陈钱,顾国华,等.红外焦平面阵列盲元检测算法[J].光电工程,2008,35(8):107-110.
- [9] 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.
- [10] 王盛青.长波制冷红外焦平面成像系统盲元检测及补偿研究[D].武汉:华中科技大学,2013.
- [11] 汪国有,陈振学,李乔亮.复杂背景下红外弱小目标检测的算法研究综述[J].红外技术,2006,28(5):287-292.