

基于固定图形噪声统计特性异常的盲元检测方法

孙 慧¹, 孙 凯², 侯晴宇³

(1 哈尔滨理工大学 电工电子教学与实测中心, 黑龙江 哈尔滨 150080 2 黑河学院 网络信息中心,
黑龙江 黑河 164300 3 哈尔滨工业大学 空间光学工程研究中心, 黑龙江 哈尔滨 150001)

摘 要: 针对盲元对于红外辐射的响应具有很强非线性的特点, 在对焦平面采用线性非均匀性校正之前, 必须采取有效的盲元检测方法对盲元予以剔除或补偿等问题, 提出了以三维噪声固定图形噪声分量作为红外焦平面盲元检测的数据源. 盲元的表现形式分为死元与过热像元. 针对死元, 将其数量限制作为先验知识, 并结合其在数据直方图中的低概率密度特性, 确定双端分割阈值进行检测. 针对过热像元, 将其作为正态分布噪声中的统计异常像素点, 利用死元剔除后图像数据的直方图偏度阈值自适应确定统计距离门限, 并进行检测. 实测试验验证了方法的有效性.

关键词: 红外焦平面阵列; 盲元检测; 固定图形噪声; 死元; 过热像元
中图分类号: TN214 文献标志码: A 文章编号: 1007- 2683(2011) 02- 0016- 04

Blind-pixel Detection Based on the Abnormality of Statistic
Characteristic of Fixed Pattern Noise

SUN Hu¹, SUN Kai², HOU Qingyu³

(1 Center for Electric Engineering and Electronics Education Harbin University of Science and Technology, Harbin 150080 China
2 Network Information Center Heihe University, Heihe 164300 China
3. Research Center for Space Optical Engineering Harbin Institute of Technology Harbin 150001, China)

Abstract The fixed pattern noise component of 3D noise model is used to detect blind-pixel of IRFPA as data source. It can be classified to dead pixel and over hot pixel by representable form of blind-pixel. As for dead pixel, the paper uses double-end dividing threshold value to detect dead pixel, which is determined by prior knowledge using quantity limited and low probability density characteristic of its histogram. But as for over hot pixel, it is regarded as abnormal pixel of Gaussian distribution noise, and then detected by statistic distance threshold value that is determined by asymmetry coefficient of histogram removed dead pixel. The result of experiments shows that it is a practical method of blind-pixel detection.

Key words RFPA; blind-pixel detection; fixed pattern noise; dead pixel; over hot pixel

0 引 言

红外焦平面阵列 (IRFPA) 技术的快速发展, 使红外成像系统向更加广泛的应用领域扩展, 但由

于制造工艺等因素的影响, RFPA 器件不可避免地存在着盲元、非均匀性等问题, 从而大大降低了红外成像系统的性能^[1-5]. 盲元是指红外焦平面 (RFPA) 中响应过高和过低的探测器单元. 盲元具有两种类型^[6-7]: 一是输出信号时序不变的死

收稿日期: 2010- 07- 14
基金项目: 黑龙江省教育厅科学技术研究项目 (11521043)
作者简介: 孙 慧 (1975—), 男, 硕士, 讲师, E-mail: sunhu678@163.com.

元,在时序图像中表现为恒亮或恒暗;二是响应超过固定门限值的过热像元,在时序图像中表现为高亮的闪烁点.可见,盲元对于红外辐射的响应具有很强的非线性,因此在对焦平面采用线性非均匀性校正之前必须采取有效的盲元检测方法对盲元予以剔除或补偿,以提高非均匀性校正的精确度,改善系统的成像性能.

本文第一部分在分析红外焦平面图像特性的基础上,提出了利用固定图形噪声作为红外焦平面盲元检测的数据源.第二部分利用直方图双端分割方法对图像中的死元进行检测.第三部分引入直方图偏度与统计距离自适应调整过热像元检测阈值,予以辨认.第四部分采用文中方法对微测辐射热计非制冷焦平面的盲元进行实际检测,结果证明了该方法的有效性.

1 盲元检测的数据源

国家标准中盲元的定义主要是通过像元对黑体辐射的响应程度进行的.但是在实际应用中,像素的响应电压要经过 A/D 转换、滤波等一系列处理通过接口上传到计算机,如图 1 所示,存在灰度取整、时域噪声等各方面的影响.因此,要通过必要的数据处理获取能够真实反映像素之间响应程度差异的数据作为盲元检测的数据源,从本质上降低盲元误判的概率.

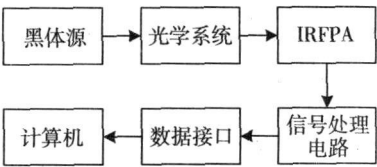


图 1 盲元检测系统框图

文[8]根据盲元的温度响应特性曲线多为非线性的特性,提出了基于双黑体参考辐射源盲元检测的方法.将像元的高低温黑体响应值的差值作为盲元检测的数据源,与经验阈值比较确定盲元的位置.文[9]将焦平面对黑体辐射源的时序响应平均值作为数据源,利用盲元特性进行判别.文[10]根据均匀背景的红外图像的灰度值近似正态分布的原理,直接利用焦平面的输出响应值,采用局部信噪比作为判别函数,进行盲元定位.可见,上述三种方法进行盲元检测时利用的数据源有所不同,但不外乎两种形式,一是利用均匀黑体的直接信号输出,二是其时序响应的平均值.然而,这两种形式的数据源在实

际应用中不甚合理,主要是因为其在不同程度上耦合了焦平面成像过程中三个方向(行方向、列方向、时间方向)的非均匀性,没有提取出能够单一反映像元之间响应差异的数据源,在盲元检测中存在误判.因此,欲合理选择检测数据源,需要了解焦平面的非均匀性来源以及表示方法,三维噪声模型正是这样一种有效工具^[11].

红外凝视焦平面阵列成像过程存在特有的三维噪声(行方向、列方向、时间方向)特性,其在三个方向上描述了噪声的大小,其组成成分及可能噪声源如表 1 所示,角标 t, v, h 分别表示时间、行、列方向.而盲元作为非均匀性的一种形式,很大程度上包含在探测器像元响应的非均匀性之中,即包含在 N_{th} 之中. N_{th} 真实描述了焦平面像元响应的非均匀性,消除了时间噪声起伏以及行、列方向非均匀性的影响,能够单一反映像素之间的响应非均匀性,因此可以将其作为盲元检测的有效数据源.

N_{th} 的计算公式为

$$N_{th} = D_t (1 - D_v) (1 - D_h)$$

其中: D_A (A 表示角标 t, v 或 h) 操作移除了与 A 方向相关的所有噪声成份; $1 - D_A$ 为没有经过 D_A 平均操作的数据减去经过 D_A 平均操作后得到的结果.

理论上, N_{th} 满足正态分布,即均值为零,直方图对称分布.但是由于盲元的存在,使得响应的统计分布发生了异常变化,因此依据这种统计特性的异常变化对盲元进行检测是一种有效的途径.

表 1 三维噪声成份描述和相应的可能噪声源

噪声	描述	噪声源
N_{th}	随机时空噪声	探测器时间噪声
N_{tv}	时间行噪声	1/f 噪声, 读出噪声
N_{th}	时间列噪声	扫描噪声
N_{th}	固定图形噪声	探测器非均匀性
N_v	固定行噪声	1/f 噪声
N_h	固定列噪声	扫描噪声
N_t	帧间噪声	帧起伏
S	所有成份均值	

2 死元检测

死元是由于焦平面制作工艺上的限制以及磨损造成的,一般分布在焦平面的边缘附近.在灰度等级上其表现为时序恒亮或恒暗,分布在 N_{th} 直方图的两侧,具有明显的低概率特征,因此可以通过死元的数量作为限制自适应确定图像中的灰度分割阈值,进

而采用直方图双端分割的方法检测并剔除死元,方法的主要流程如图 2 所示,其中 a 和 b 分别为设定的恒亮与恒暗死元占像元总数的比例。

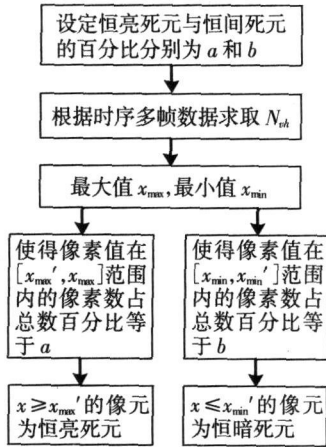


图 2 死元检测流程图

3 过热像元检测

过热像元在红外焦平面时序图像中表现为闪烁的异常亮点。而在死元剔除后的固定图形噪声中,其灰度值表现异常,分布在整幅图像中,对成像系统性能的影响较大。所谓异常,即是指响应值不遵从大量样本的正态分布统计规律,与整体统计特性发生偏离。本文将样本值的统计距离与样本直方图的偏度作为过热像元的判别函数,确定该种类型盲元的位置。

固定图形噪声图像中像素值的概率分布为

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}}, x \in [x_{\min}, x_{\max}]$$

式中: x 为灰度等级; μ 为所有像元灰度的统计均值; σ 为像元灰度的均方差。

令 $D_\beta = \frac{x_\beta - \mu}{\sqrt{2\sigma}}$, 称为第 β 像素值的统计距离,描述了样本点与统计均值的偏离程度。则图像中过热像元的概率可以表示为

$$P_{th} = P(D > D_{th})$$

式中: $D_{th} = \frac{x_{th} - \mu}{\sqrt{2\sigma}}$ 为判别为过热像元时像元灰度的统计距离阈值; x_{th} 为相应的灰度阈值。

D_{th} 采用像素统计直方图的偏度确定。偏度描述了图像数据直方图的对称程度,定义为

$$k = \frac{\sum_{\beta \in B} (x_\beta - \mu)^3}{\sigma_{\beta \in B}^3}$$

式中 B 表示为 $\{D_\beta \leq D_{th} | \beta \in B\}$ 。

理想情况下正态分布的偏度为零,而过热像元的存在导致了正偏差数值较大,直方图右方出现长尾。可以通过约束 $k \leq \xi$ (ξ 为设定的误差阈值) 确定 D_{th} , 进而通过 $D_\beta > D_{th}$ 确定过热像元的确定位置以及过热像元的概率 P_{th} , 检测流程如图 3 所示。

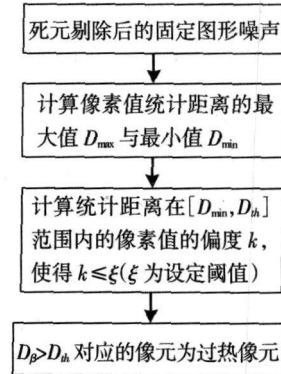


图 3 过热像元检测流程

4 红外焦平面盲元实测试验

为了验证所提出的方法在实测数据上的性能,利用 160×120 非制冷微测辐射热计进行了时序多帧图像数据的采集,选择连续帧数 $n = 100$ 计算得到的固定图形噪声直方图如图 4 所示。从图中可以看出,在直方图的两侧分布着频次相对极小的死元灰度级。

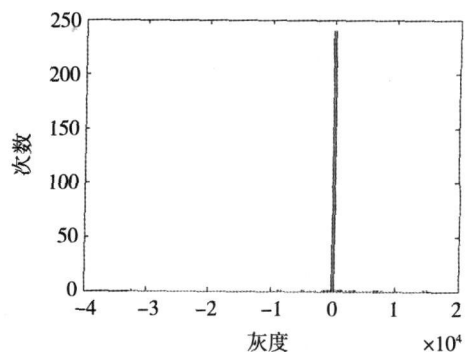


图 4 固定图形噪声数据直方图

通过设定 $a = b = 0.5\%$ 得到的死元检测的结果如图 5、图 6 所示,对应的死像元分布在焦平面的下边缘附近,图中利用二值图像中的白色标示是死元的位置。死元剔除后的图像数据概率密度以及拟合得到的正态分布曲线如图 7 所示,通过设定 $\xi = 0.05$ 得到 $D_{th} = 3.2$ 过热像元检测结果如图 8 所示。

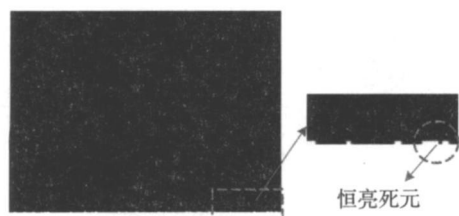


图 5 恒亮死元检测结果

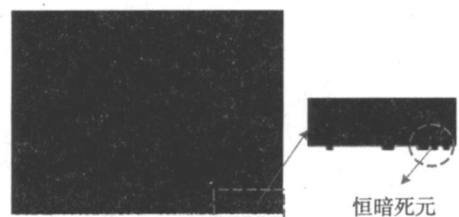


图 6 恒暗死元检测结果

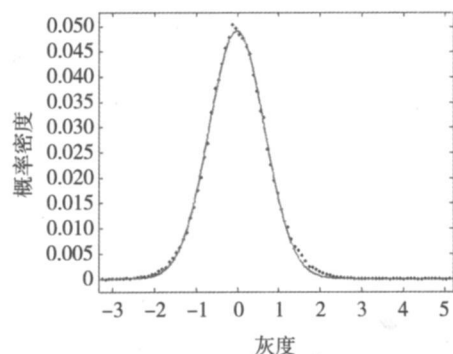


图 7 死元剔除后的像素概率分布图



图 8 过热像元检测结果

三维噪声固定图形噪声分量进行盲元检测. 针对死元, 将其数量限制作为先验知识, 并结合其在数据直方图中的低概率密度特性, 确定双端分割阈值进行检测. 针对过热像元, 将其作为正态分布噪声中的统计异常像素点, 利用死元剔除后图像数据的直方图偏度阈值自适应确定统计距离门限, 并进行检测. 对实际焦平面的盲元检测试验证明了该方法的有效性.

参考文献:

- [1] 李庆, 刘上乾, 王炳健, 等. 基于维纳滤波的红外焦平面阵列非均匀性校正算法 [J]. 光子学报, 2004, 35(12): 1908-1911
- [2] 周金梅, 邢廷文, 林妍媚. 红外焦平面阵列非均匀性校正的精度分析 [J]. 光子学报, 2005, 34(11): 1681-1684
- [3] 施长城, 张天序, 刘慧娜, 等. 一种红外焦平面非均匀性组合校正算法 [J]. 红外与毫米波学报, 2010, 29(1): 23-26
- [4] 白俊奇, 陈钱, 钱惟贤, 等. 基于环境温度的红外焦平面阵列非均匀性校正 [J]. 红外与毫米波学报, 2010, 29(1): 49-52
- [5] 高国旺, 刘上乾, 秦翰林, 等. 基于高性能 DSP 的红外焦平面阵列非均匀性实时校正 [J]. 光电子激光, 2010, 21(5): 664-667
- [6] 孙慧, 孙凯, 侯晴宇, 等. 基于三维噪声最大主分量的小目标红外焦平面过热像元检测算法 [J]. 佳木斯大学学报: 自然科学版, 2010, 28(4): 499-501
- [7] 李秋明, 侯晴宇, 武春风, 等. 基于三维噪声统计特性异常的盲元检测与分类 [J]. 哈尔滨工业大学学报, 2010, 42(1): 37-40
- [8] 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
- [9] 赖睿, 刘上乾, 周慧鑫, 等. 红外焦平面阵列盲元检测技术研究 [J]. 半导体光电, 2005, 26(3): 199-201
- [10] 李言俊, 崔瑞青, 赵桂芳, 等. 一种新的红外焦平面阵列盲元检测方法 [J]. 激光与红外, 2007, 37(1): 51-53
- [11] D'AGOSTINO J A, WEBB C M. Three-dimensional Analysis Framework and Measurement Methodology for Imaging System Noise [C] //SPE, 1991, 1488: 110-121

(编辑: 付长缨)

5 结 语

本文通过对三维噪声模型的分析, 提出了利用