

文章编号:1002-2082(2011)01-0161-04

全向激光告警系统中SWIRFPA的盲元补偿算法

黄富瑜, 何永强, 应家驹, 严世华, 董红军

(军械工程学院 光学与电子工程系, 河北 石家庄 050003)

摘要: 针对全向激光告警系统中SWIRFPA的盲元补偿问题, 提出一种基于邻域灰度特性的加权插值盲元补偿算法。阐述该算法的基本思想和原理, 根据盲元邻域灰度值的分布情况, 赋予每个邻域像元与其灰度值相关的权重, 进而完成盲元补偿。从主客观2个角度对补偿效果进行评价。结果表明: 与传统的邻域平均法和中值滤波法相比, 加权插值盲元补偿算法对全向激光告警系统中SWIRFPA的盲元补偿效果最好, 不仅使盲元补偿值与其邻域偏差最小, 而且减小了盲元对系统探测的影响, 有效提高了系统性能。

关键词: 全向激光告警; 盲元补偿; 加权插值; SWIRFPA

中图分类号: TN202

文献标志码: A

Blind-pixel compensation algorithm for SWIRFPA in omni-directional laser warning system

HUANG Fu-yu, HE Yong-qiang, YING Jia-ju, YAN Shi-hua, DONG Hong-jun

(Department of Optics and Electronic Engineering, Ordnance

Engineering College, Shijiazhuang 050003; China)

Abstract: In order to implement blind-pixel compensation for IRFPA in omni-directional laser warning system, a new weighted interpolation algorithm based on neighborhood grey character is presented. The impact of blind-pixel on the system was analyzed, the basic concept and principle of the algorithm were elaborated and analyzed, and the algorithm was verified by experimental simulation. Finally, the blind-pixel compensation result was evaluated subjectively and objectively. Compared with the conventional algorithms of neighborhood averaging and mid-value filter, the new algorithm is more suitable for the blind-pixel compensation of omni-directional laser warning system. The blind-pixel compensation offset of the new algorithm is smaller than those of the other two algorithms, and it reduces the impact of blind-pixel influence on the system, which can improve the system working performance effectively.

Key words: omni-directional laser warning; blind-pixel compensation; weighted interpolation; SWIRFPA

引言

随着短波红外焦平面阵列(SWIRFPA)技术的不断成熟,该技术逐渐应用于短波红外夜视、红外激光探测、伪装识别、激光制导和激光雷达等领域^[1-4],但由于制造工艺、材料等因素的限制,红外

焦平面器件的盲元问题不可避免^[5-6],它们在图像上主要表现为过亮或过暗的像素点,严重影响红外系统的成像质量。因此,对盲元进行有效补偿具有重要的实用价值。

目前,国内外已经提出了许多盲元补偿的方

收稿日期:2010-06-17; 修回日期:2010-10-09

作者简介:黄富瑜(1985—),男,硕士研究生,研究方向为光电对抗和信息处理。E-mail:hfy_516@163.com

法,但总的来说可以分为两大类^[5-6]:第一类为时间补偿法,它是利用序列图像的帧间相关性,从相邻帧获取补偿信息;第二类为空间补偿法,它是借助盲元周围的像元信息对其进行补偿。但时间补偿法对前后帧依赖性强,而空间补偿法的邻域平均法会使图像中目标的轮廓和细节变得模糊,中值滤波法有可能会在抑制噪声的同时抑制有用信号,都不能直接应用于成像型激光告警系统的盲元补偿,有必要研究适用于该系统的盲元补偿方法。

1 盲元对系统的影响分析

全向激光告警系统的主要组成部分包括:实现半球空域探测的鱼镜头、滤除背景光的窄带滤光片、短波红外焦平面探测器(SWIRFPA)和信号处理模块,如图1所示。

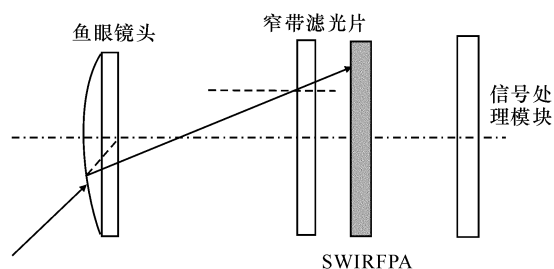


图1 全向激光告警系统结构

Fig. 1 Structure of image-omnidirectional laser warning system

SWIRFPA由阵列像元构成,鱼镜头大视场的成像特性,使成像激光光斑在焦平面上仅占几个像素,甚至呈现亚像素特征,图2给出了几种情况下成像光斑示意图,其中灰色方块为焦平面光敏区域,白色沟槽为非感光区域。图2(a)和图2(b)为激光入射角小于 60° 时成像光斑形状,图(c)和图(d)为激光入射角大于 60° 时成像光斑形状,光斑形状的改变是由于鱼镜头的桶形畸变引起的。

结合图2激光成像光斑特征可知,图像上过热盲元和瞬态盲元的灰度特征与激光成像光斑十分相似类似,导致盲元对激光告警系统产生以下几方面的影响:

1) 降低探测概率

由于来袭激光的强度和方向事先都是未知的,其成像光斑的响应值和位置信息也是随之变化的。当成像光斑中心恰好与盲元重合,或者激光正好成像于某个盲元块上时,势必导致信噪比大大降低,甚至无法完成对激光的探测,使漏警率增加,探测概率降低。

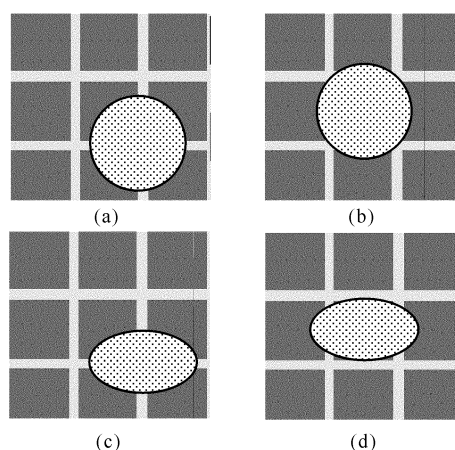


图2 SWIRFPA上成像光斑分布示意图

Fig. 2 Imaging spots distribution at the SWIRFPA

2) 提高虚警率

由于过热盲元和瞬态盲元在图像上表现特征与激光光斑很类似,这就使得当没有激光出现时,系统可能将盲元视为激光光斑,并对其进行运算,判断来袭激光出现,予以告警,提高了虚警率。

3) 降低光斑定位精度

现有的激光光斑定位算法大都是基于激光光斑的灰度特性进行光斑定位的,一般情况下盲元灰度值很低或很高,当盲元的灰度信息参与盲元定位计算时,势必使定位结果远离真实值,大大降低光斑的定位精度。

鉴于以上分析,为了提高系统对来袭激光的探测性能,本文提出了一种适用于全向激光告警系统的盲元补偿算法——基于邻域灰度特性的加权插值盲元补偿方法。

2 算法原理

基于邻域灰度特性的加权插值盲元补偿方法的基本思想是:

1) 根据图像信息理论^[7],盲元理论响应值应与其邻域像元响应值有一定关系,即邻域内各像元对相同辐射量响应特性基本一致,且对高斯光束的响应值是连续的。

2) 不同盲元有不同的邻域灰度特性,应根据盲元邻域像元的实际响应情况实时确定邻域权重值,进行新的盲元补偿。

3) 为了提高信噪比,当激光成像光斑中含有盲元时,补偿后的响应值应更加接近理论响应值。

4) 盲元补偿不能影响其他正常像元的响应值,因此盲元补偿只对盲元位置的像素进行操作。

基于上述基本思想,本文算法原理如下。

根据各盲元邻域像元灰度值的不同设定不同的权重,邻域中某像元的权重定义为该像元灰度值与盲元邻域灰度值之和的比值,其定义公式如下:

$$w(i+p, j+q) = \frac{f(i+p, j+q)}{S_8(i, j)} \quad (1)$$

式中: $p=1, 0, 1, q=-1, 0, 1$, 但 p 和 q 不同时为 0; $f(i+p, j+q)$ 为邻域中某像元灰度值; $S_8(i, j)$ 为盲元 (i, j) 的八邻域像元灰度值之和, 即

$$S_8(i, j) = \sum_{m=-1}^1 \sum_{n=-1}^1 f(i+m, j+n) - f(i, j) \quad (2)$$

盲元补偿公式为

$$f(i, j) = \sum_{p=-1}^1 \sum_{q=-1}^1 w(i+p, j+q) \times f(i+p, j+q) \quad (3)$$

基于邻域灰度特性的加权插值盲元补偿的算法流程图如图 3 所示。在补偿过程中, 针对少数盲元块, 首先对盲元块边缘正常邻域像元较多的盲元进行补偿, 然后逐渐向盲元块的中间盲元进行补偿。经实验测试, 系统用 SWIRFPA 的最大盲元块只有 4~5 个像素大小, 而且成十字和一字形, 上述对盲元块的补偿方法对此类形状盲元块有较好的补偿效果。

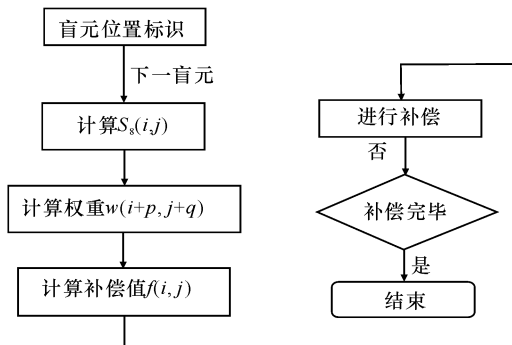


图 3 基于邻域灰度特性的加权插值盲元补偿算法流程图

Fig. 3 The weighted interpolation algorithm based on neighborhood gray character

3 实验结果与分析

为验证本文算法对激光告警用 SWIRFPA 盲元补偿的适用性, 针对有无激光两种情况分别采用邻域平均法、中值滤波法和本文算法进行补偿, 补偿结果如图 4 和图 5 所示。图 4 为高背景下采集到的图像, 图像中不含激光光斑; 图 5 为低背景下采集到的图像, 图像中含有激光光斑。图 4 和图 5 中, 图(a)为原始图像, 图(b)、图(c)和图(d)分别对应 3 种方法的补偿结果, 图中横坐标为像素值, 纵坐标

为响应灰度值。

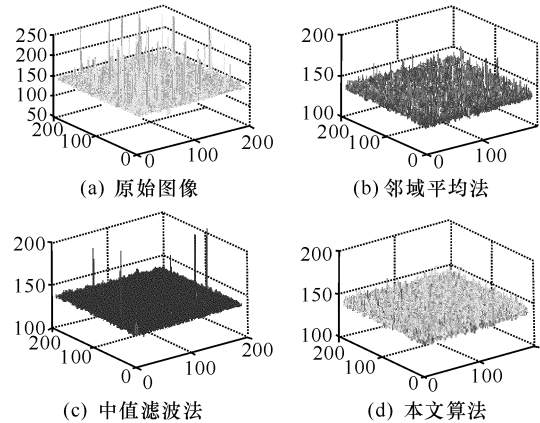


图 4 无激光信号时盲元补偿结果

Fig. 4 Blind-pixel compensation result without laser signal

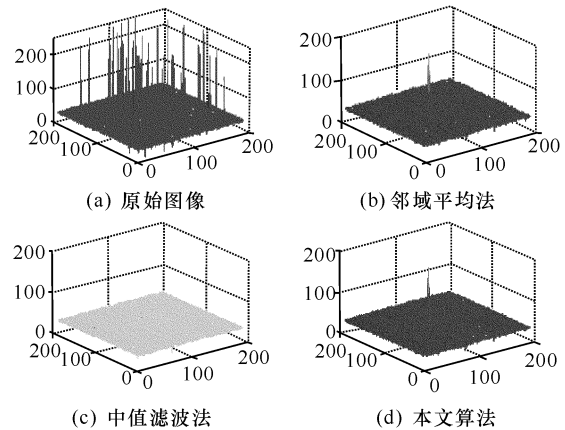


图 5 有激光信号时盲元补偿结果

Fig. 5 Blind-pixel compensation result with laser signal

对补偿效果分析如下:

1) 图 4 显示, 没有激光信号时, 邻域平均法和本文算法对所有盲元都进行了补偿, 而中值滤波法对图像边界像元的补偿效果不理想; 与邻域平均法相比, 本文算法补偿后图像更加平滑, 图像灰度值变化范围较小。

2) 图 5 显示, 激光信号出现时, 邻域平均法和本文算法都能检测到激光光斑的存在, 而中值滤波法使激光光斑被淹没, 不利于对来袭激光进行探测。

现规定一客观标准对本文算法和邻域平均法的补偿效果进行评价。由文献^[7]可知, 盲元理论响应值与其邻域像元应基本一致, 鉴于此, 以盲元补偿值与其邻域的偏差来评价补偿效果的好坏, δ 越小补偿效果越好。 δ 定义如下:

$$\delta(k) = \sqrt{\frac{1}{8} \sum_{p=-1}^1 \sum_{q=-1}^1 [f_k(i, j) - f_k(i+p, j+q)]^2} \quad (4)$$

式中: $\delta(k)$ 为第 k 个盲元的偏差; $f_k(i, j)$ 为第 k 个盲元的补偿值; $f_i(i+p, j+q)$ 为邻域响应值, p, q 不同时为0。

选取 100 个盲元补偿值并计算其补偿偏差 $\delta(k)$,结果如图6所示。图6显示,与邻域平均法相比,本文算法获得的盲元补偿值与其邻域偏差明显较小,更加接近盲元的理论响应值。

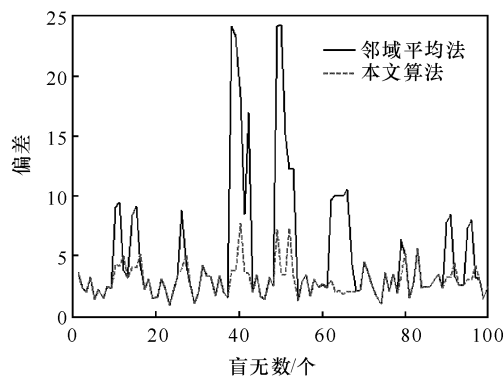


图6 不同算法的补偿值偏差

Fig. 6 Deviation of different arithmetic

4 结论

针对全向激光告警系统中SWIRFPA的盲元补偿问题,本文提出了一种基于邻域灰度特性的加权插值盲元补偿算法。根据盲元邻域灰度值的分布情况,赋予每个邻域像元与其灰度值相关的权重,进而完成盲元补偿。从主客观两方面对补偿效果进行了评价,实验结果表明:本文算法不仅能够实现对激光光斑的有效检测,而且能使盲元补偿值更加接近其理论响应值,有效减小了盲元对系统的影响,在对全向激光告警系统中SWIRFPA的盲元补偿上要优于现有的邻域平均法和中值滤波法。

参考文献:

- [1] HANSEN M P, MALCHOW D S. Overview of SWIR detectors, cameras, and applications[J]. SPIE, 2008, 6939:1-11.
- [2] MARTIN T, BRUBAKER R, DIXON P, et al. 640 × 512 InGaAs focal plane array camera for visible and SWIR imaging[J]. SPIE, 2005, 5783:12-20.
- [3] 侯振宁. 激光告警中的信号探测研究[J]. 应用光学, 2002, 23(5):14-18.
HOU Zhen-ning. The research on signal detection in laser warning[J]. Journal of Applied Optics, 2002, 23(5):14-18. (in Chinese with an English abstract)
- [4] 孙恋君, 张俊举, 湛巧, 等. 基于 Nios II 的非制冷红外图像处理系统研究[J]. 应用光学, 2007, 28(1):7-11.
SUN Lian-jun, ZHANG JUN-ju, CHEN Qiao, et al. Study of uncooled infrared image processing system based on Nios II [J]. Journal of Applied Optics, 2007, 28(1):7-11. (in Chinese with an English abstract)
- [5] 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.
ZHANG Ke, ZHAO Gui-fang, CUI Rui-qing, et al. Method of improving bad pixel detection precision of IRFPA[J]. Infrared and Laser Engineering, 2007, 36(4):453-456. (in Chinese with an English abstract)
- [6] HARRIS J G, CHIANG Y M. Nonuniformity correction using the constant-statistics constraint: analog and digital implementations [J]. SPIE, 1997, 3061:895-905.
- [7] DIEICKX B, MEYNANTS G. Missing pixels correction algorithm for imager sensor[J]. SPIE, 1998, 3410:200-203.