

# 红外焦平面器件盲元检测及补偿算法\*

周慧鑫 殷世民 刘上乾 赖睿

(西安电子科技大学技术物理学院, 西安 710071)

**摘要** 在分析盲元响应特性的基础上,利用红外焦平面阵列对双参考辐射源的响应数据和相邻像元成像数据的相关性,提出了一种基于双参考辐射源的盲元现场自动检测和插值补偿算法,实现了盲元的自动检测和校正.实验结果表明:该方法具有对盲元查找速度快、定位准确率高、补偿效果好及易于软硬件实现等特点.

**关键词** 红外焦平面阵列;盲元;红外成像;自动检测;插值补偿

**中图分类号** TN214 **文献标识码** A

## 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、材料等因素的影响,IRFPA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输出图像的信噪比<sup>[1,2]</sup>.盲元,或称失效元,是指IRFPA器件中的响应过高和过低的探测器单元<sup>[3]</sup>.盲元的数量及其分布对器件性能的影响很大,如果盲元过多,在未经任何相应处理的红外成像系统输出图像中将出现大量的亮点和暗点,严重地影响了系统的性能<sup>[4,5]</sup>.因此在成像阶段对IRFPA中的盲元进行检测和补偿,对提高红外成像系统的性能具有重要的意义.从目前检索文献来看,国外有关盲元的检测及补偿问题虽有报道,但对检测原理等都没有具体详细的论述,所报道的盲元补偿算法基本有线性插值法<sup>[2]</sup>、相邻像元替代法<sup>[5]</sup>和中值滤波法<sup>[6]</sup>等.国内虽已实现了IRFPA成像样机系统,但对盲元的补偿问题也鲜有报道,据了解都尚未很好地解决.

本文在分析盲元特性的基础上,在成像阶段采用数字信号处理技术,提出了一种基于双参考源的盲元自动检测和补偿的新算法,它具有对盲元查找快速、定位准确、补偿效果好及易于软硬件实现等特点,经实际的IRFPA成像实验,结果证明了该算法的有效性和实用性.

## 1 IRFPA盲元现场检测及补偿算法

### 1.1 盲元定义

#### 1.1.1 像元响应率

假设探测器为 $M \times N$ 的红外焦平面阵列.像元响应率 $R(i, j)$ 为IRFPA在一定帧周期和一定动态

范围条件下,像元对每单位辐照功率产生的输出信号电压

$$R(i, j) = \frac{V_s(i, j)}{P} \quad (1)$$

式中 $i = 1 \sim M, j = 1 \sim N, V_s(i, j)$ 为第 $(i, j)$ 像元对应于辐照功率 $P$ 的响应电压, $P$ 为第 $(i, j)$ 像元所接收的辐照功率<sup>[3]</sup>.

#### 1.1.2 平均响应率

IRFPA各有效像元响应率的平均值

$$\bar{R} = \frac{1}{M \times N - (d + h)} \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N R(i, j) \quad (2)$$

式中 $M$ 和 $N$ 分别是IRFPA像元的行数和列数; $d$ 和 $h$ 分别是死像元数和过热像元数.实际测量中, $d$ 和 $h$ 是经多次迭代计算得到<sup>[3]</sup>.

#### 1.1.3 盲元

盲元包括死像元和过热像元.死像元指像元响应率小于平均响应率的1/10的像元;而过热像元就是像元噪声电压大于平均噪声电压10倍的像元.以上盲元的定义是按IRFPA器件对黑体辐射的响应程度作为量化指标的<sup>[3]</sup>,它是基于实验室测量结果的公式.

### 1.2 盲元自动检测技术

IRFPA中的盲元与正常探测单元在响应特性上有很大差异.正常探测单元的温度响应特性曲线在一定的动态范围内是线性的,如图1中的曲线2;而

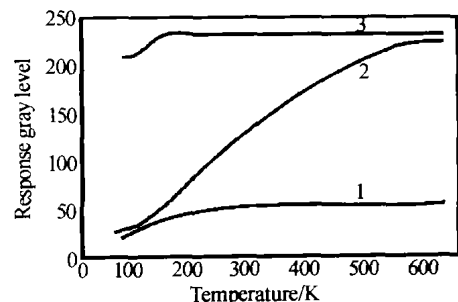


图1 探测器单元响应曲线示意图

Fig. 1 Illustration of detector response curve

\* 国防科技预研基金资助项目(51402030201DZ0102)

Tel: 029-88202573 Email: zhoucomet@hotmail.com

收稿日期: 2003-06-17

盲元的动态范围远离正常的探测单元的动态范围,盲元的温度响应特性曲线多为非线性的,并且变化斜率偏高或者偏低,对两个不同温度的响应其两点差值偏离正常的探测单元的两点差值,如图 1 中的曲线 1 和曲线 3. 针对盲元响应特性的这一特点,本文提出了一种基于两点参考辐射源的盲元自动检测技术.

双参考辐射源法的原理是:采用两个具有不同温度的黑体参考源均匀照射 IRFPA,得到两组不同的响应数据,根据这两组数据计算并判断出 IRFPA 中的盲元位置. 具体的操作过程如下:1)用一低温的均匀辐射源  $\varphi_1$  照射 IRFPA 各探测单元,记录每一探测单元的响应  $V_{i,j}(\varphi_1)$ ,并存储起来;2)再用一高温的均匀辐射源  $\varphi_2$  照射 IRFPA 各探测单元,记录每一探测单元的响应  $V_{i,j}(\varphi_2)$ ,并存储起来;3)将这两组数据的差值

$$\Delta V_{i,j} = V_{i,j}(\varphi_2) - V_{i,j}(\varphi_1) \quad (3)$$

与预设的比较门限值  $\delta$  作比较. 如果  $\Delta V_{i,j} \geq \delta$ ,则认为该像  $(i,j)$  元为正常像元;如果  $\Delta V_{i,j} < \delta$ ,则该判断该  $(i,j)$  像元为盲元.

$\delta$  的选定对整个盲元的检测非常关键. 从理论上说,由 IRFPA 成像的数学模型可得到温度差值为  $\Delta T$  条件下的红外响应灰度差值  $\delta$ ,即可将此值定为比较门限值. 但是由于该数学模型涉及模拟和数字电路,模型的建立较复杂,且应用的价值不大. 在实际应用中一般采用经验值设定  $\delta$ ,即根据各单元对双参考源的实际响应数据及盲元定义的临界值进行有限次的迭代修正以确定  $\delta$ .

### 1.3 盲元补偿技术

盲元补偿是采用盲元周围的有效图像信息或前后帧的图像信息对盲元位置的信息进行预测和替代的过程. 红外成像系统主要是对景物的实时动态成像,由图像信息理论可知,其相邻两点或两帧之间的图像数据具有极高的相关性<sup>6</sup>. 根据插值理论,对于连续变化的函数,可以采用一点的前后两点或多点对该点数值进行插值预测. 由此,本文提出了场内行列间内插的盲元补偿算法.

场内行列间内插的盲元补偿算法是利用同场相邻行列的相关性,采用 2 点、4 点、8 点等数据进行内插,但随着内插点数的增加,实现算法的计算量将成倍地增加. 本文根据实际需要,选用了相邻 4 点数据完成对盲元的加权插值补偿. 算法设计要点:

1)相邻插值点的选取. 如果盲元点  $P(i,j)$  的相邻点  $P(i-1,j)$ 、 $P(i,j-1)$ 、 $P(i,j+1)$  和  $P(i+1,j)$  不是盲元,则用  $P(i-1,j)$ 、 $P(i,j-1)$ 、 $P(i,j+1)$  和  $P(i+1,j)$  完成对盲元的插值补偿;如果  $P(i-1,$

$j)$ 、 $P(i,j-1)$ 、 $P(i,j+1)$  和  $P(i+1,j)$  其中一个为盲元,则向前或向后递减或递增一点;

2)插值加权系数的选取. 根据选取的相邻点的相关性来确定其插值的加权系数. 如果四个相邻点都不是盲元,相邻 4 点插值法的算法公式为

$$P(i,j) = k \times P(i-1,j) + l \times P(i,j-1) + m \times P(i,j+1) + n \times P(i+1,j) \quad (4)$$

认为它们对中间点的信息贡献相等,则选取  $k=l=m=n=1/4$ . 如果某个相邻点本身就是盲元,例如  $P(i-1,j)$  为盲元,则

$$P(i,j) = k \times P(i-2,j) + l \times P(i,j-1) + m \times P(i,j+1) + n \times P(i+1,j) \quad (5)$$

选取  $k=1/8$ ,  $l=m=1/4$ ,  $n=3/8$ . 其他情形,以此类推. 在此选择除数为 2 的次幂,是为了易于硬件算法实现.

## 2 实验结果

利用  $128 \times 128$  IRFPA 像机样机对均匀背景进行成像实验,实验结果如图 2. 图 2(a)是没有经过盲元补偿的原始图像,存在很多过亮点和过暗点,还有很明显的一条亮线和几条暗线,这都是由于盲元所造成的,严重降低了成像的质量. 图 2(b)是图 2(a)经过盲元补偿后的成像图像,可以看到图像的像质得到了显著的改善,验证了本算法对提高 IRFPA 成像系统的成像质量是行之有效的. 需要说明的是,在图像的右上角有一整块的盲元区,对于盲元块,是无法有效地消除的. 实际上在一般工业标准中,合格的焦平面阵列器件产品是不允许出现连续的盲元的.

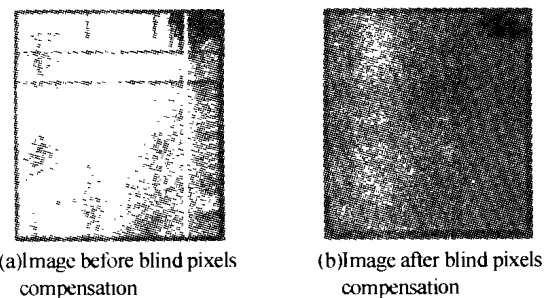


图 2  $128 \times 128$  IRFPA 盲元补偿效果图  
Fig. 2 Effect of blind pixels compensation to  $128 \times 128$  IRFPA imaging

## 3 结论

本文提出了一种基于双参考辐射源的盲元自动检测技术,在成像阶段采用数字信号处理技术,对焦平面阵列中的盲元进行插值补偿,使成像图像变得平滑,有效地改善了图像质量. 实验结果表明:该算法具有盲元查找快速、定位准确率高、校正效果好及

易于软硬件实现等特点,是一项实用价值很高的 IRFPA 成像处理技术.

### 参考文献

- 姜光,刘上乾. 红外焦平面阵列非均匀性自适应校正算法研究. 红外与毫米波学报, 2001, **20**(2):93~96  
Jiang G, Liu S Q. *Journal of Infrared and Millimeter Waves*, 2001, **20**(2):93~96
- Harris J G, Chiang Y M. Nonuniformity correction using the constant-statistics constraint: analog and digital implementations. *SPIE*, 1997, **3061**:895~905
- 红外焦平面阵列特性参数测试技术规范, 国标 GB/T 17444-1998  
The technical norms for measurement and test of characteristic parameters of Infrared focal plane arrays. The national standard of China, GB/T 17444-1998
- Scribner D A, Kruer M R, Gridley C J. Measurement, characterization, and modeling of noise in staring infrared focal plan array. *SPIE*, 1987, **782**:147~160
- Boltar K O, Bovina L A, Saginov L D, et al. IR imager based on a 128 × 128 HgCdTe staring focal arrays. *SPIE*, 1999, **3819**:92~95
- Dieickx B, Meynants G. Missing pixels correction algorithm for imager sensor. *SPIE*, 1998, **3410**:200~203
- 章毓晋. 图像处理和分析. 北京:清华大学出版社, 1999. 31~40  
Zhang Y J. Image processing and analysis. Beijing: Tsinghua Univ. Press, 1999. 31~40

## Algorithm of Blind Pixels Auto-searching and Compensation for IRFPA

Zhou Huixin, Yin Shimin, Liu Shangqiang, Lai Rui

School of Technical Physics, Xidian University, Xi'an 710071

Received date:2003-06-17

**Abstract** Based on the analysis to the behavior of blind pixel, an auto-searching and interpolation compensation algorithm for blind pixels by using IRFPA's imaging data of two reference radiation source and the pertinency between the adjacent pixels is advanced. Then auto-searching and compensation for blind pixels of IRFPA is achieved. The experiments on real Infrared imaging sequences demonstrate that the algorithm has the advantages of apace and high veracity for blind pixels location, good correction effect and easy implementation.

**Keywords** Infrared focal plan arrays; Blind pixel; Infrared imaging; Auto-searching; Interpolation compensation



**Zhou Huixin** was born in 1975. He received the B. S. degree and the M. S. degree from Xidian University in 1996 and 2002 respectively. At present, he is working towards the Ph. D. degree in physics electronics in Xidian University. His research interest is in infrared imaging, real-time image processing, and DSP system designing, etc.