

## 红外焦平面阵列条纹非均匀性校正方法

任建乐<sup>1</sup>, 陈 钱<sup>1,2</sup>, 顾国华<sup>1</sup>, 钱惟贤<sup>1</sup>

- (1. 南京理工大学 江苏省光谱成像与智能感知重点实验室, 江苏 南京 210094;  
2. 北京理工大学 光电成像技术与系统教育部重点实验室, 北京 100081)

**摘 要:** 条纹非均匀性是线扫红外焦平面阵列和非制冷凝视型红外焦平面阵列成像系统中一种特殊的固定图案噪声。提出了一种基于实际场景和非均匀性分离的模型方法, 能够在单帧内实现条纹非均匀性的校正。通过局部窗口模版遍历相邻列的误差函数, 得到其非均匀性校正参数估计, 并依据相邻两帧相关性的继承性, 完成条纹非均匀性的校正。通过对模拟条纹非均匀性和实际图像的理论和理论分析, 结果表明, 文中算法能够显著提高条纹非均匀性校正效果。

**关键词:** 红外焦平面阵列; 条纹非均匀性校正; 误差函数; 继承性

**中图分类号:** TN216    **文献标志码:** A    **文章编号:** 1007-2276(2013)08-1987-04

## Stripe nonuniformity correction for infrared-focal plane arrays

Ren Jianle<sup>1</sup>, Chen Qian<sup>1,2</sup>, Gu Guohua<sup>1</sup>, Qian Weixian<sup>1</sup>

- (1. Jiangsu Key Laboratory of Spectral Imaging and Intelligent Sense, Nanjing University of Science and Technology, Nanjing 210094, China; 2. Key Laboratory of Photoelectronic Imaging Technology and System, Ministry of Education of China, Beijing Institute of Technology, Beijing 100081, China)

**Abstract:** Stripe nonuniformity is a very typical fixed pattern noise in line infrared focal plane arrays (IR-FPA) and uncooled staring IR-FPA. In this paper a model was put forward based on the separation between stripe nonuniformity and real scene, and the correction could be achieved in a single frame. The estimated nonuniformity correction parameter was obtained by traversing the error function of adjacent column pixels in local template window. Through the succession of two adjacent columns' correlation, the stripe nonuniformity correction was achieved. By analyzing the experiment results of the simulated imagery and the real infrared image sequence, it is obvious that the proposed method can significantly enhance the performance of stripe nonuniformity correction.

**Key words:** infrared focal plane array; stripe nonuniformity; error function; succession

收稿日期: 2012-12-05; 修订日期: 2013-02-09

基金项目: 江苏省普通高校研究生科研创新基金(CXZZ12-0183); 国家自然科学基金(61101119); 江苏省自然科学基金(BK2011699)

作者简介: 任建乐(1987-), 男, 博士生, 主要从事红外图像实时处理和目标探测等方面的研究。Email: kyleren2010@gmail.com

导师简介: 陈钱(1964-), 男, 教授, 博士生导师, 博士, 主要从事光电探测与图像工程方面的研究。Email: chenq@mail.njust.edu.cn

## 0 引言

红外焦平面阵列(IRFPA)成像系统具有结构简单、探测灵敏度高、体积小、结构紧凑等优点,是目前红外成像系统的发展方向,在军事、医疗、安全等方面得到了日益广泛的应用。受材料、工艺水平和许多无法控制的因素的限制,其固有的非均匀性会严重影响成像质量。条纹非均匀性作为一种特殊的非均匀性,在线扫红外焦平面阵列和非制冷凝视型红外焦平面阵列成像系统中尤为突出,一般具有列向的条纹非均匀性。

目前应用于红外焦平面阵列非均匀性校正的算法分为两类:(1) 基于定标的非均匀性校正技术;(2) 基于场景的非均匀性校正技术。基于场景的非均匀性校正方法能克服校正参数的漂移,而且具有自适应实时校正的优点,成为目前国内外非均匀性研究热点<sup>[1]</sup>。

众多基于场景的非均匀性校正算法主要分为基于统计类的校正方法和基于配准类的校正方法。Harris 和 Chiang 提出了恒定统计约束非均匀性校正算法<sup>[2]</sup>,Scribner 等人提出了基于神经网络的非均匀性校正算法和 LMS 非均匀性校正算法<sup>[1,3-4]</sup>。Hardie 等人提出了基于配准类的非均匀性校正算法<sup>[5]</sup>,这类算法相对统计类算法对于非均匀性校正效果收敛速度较快,通常需要几十帧就能达到很好的收敛效果,但计算量复杂。国内学者李庆、陈国宝等人针对基于神经网络的非均匀性校正算法分别做了相应的改进,提高了校正效果<sup>[6-7]</sup>。以上非均匀性校正算法都是针对普通非均匀性提出的校正算法,条纹非均匀性应该有特殊的校正算法。近几年来,H. Shen 和 T. Ai 等人提出的基于离散傅里叶变换的低通滤波校正方法<sup>[8]</sup>,此方法虽然简单,但是不能完全去除非均匀性且容易造成图像模糊。钱等人提出了基于边缘灰度级共生矩阵的条纹非均匀性校正方法<sup>[7]</sup>,此方法运用边缘灰度级共生矩阵和最优化理论,构造梯度能量非线性方程,能够在单帧内去除非均匀性,但同样不能较好地去除非均匀性,容易残留低频噪声。

## 1 非均匀性校正模型

非制冷凝视红外焦平面阵列都是基于 CMOS

架构的,该架构含有多个放大器,但通常为了节省成本,探测器一列输出共用一个放大器,由此产生了列向的条纹非均匀性。如图 1 所示。



图 1 含有实际条纹非均匀性的非制冷凝视型图像

Fig.1 Image of the uncooled staring IR-FPA with stripe nonuniformity

假设探测器工作在线性输入-输出范围,采用一元线性时不变模型来描述探测元的响应。对于给定的  $n(n=1, 2, 3, \dots)$  时刻,第  $(i, j)$  个焦平面探测元所接收到的辐照度为  $X_{i,j}(n)$ ,其输出  $Y_{i,j}(n)$  表示如下(为了简化而不失一般性,可以假设增益  $G_n=1$ ):

$$Y_{i,j}(n)=X_{i,j}(n)+O_{i,j}(n)(i \in [1, M]; j \in [1, N]) \quad (1)$$

式中: $M$  为图像的行数; $N$  为图像的列数; $O_{i,j}(n)$  为  $n$  时刻第  $(i, j)$  个焦平面探测元的偏置。在较短时间内,可以假设偏置是保持不变的。同时,一列探测元有着相同的非均匀性偏置,像元响应输出  $Y_{i,j}(n)$  简化为:

$$Y_{i,j}(n)=X_{i,j}(n)+O_j(n) \quad (2)$$

非均匀性校正的过程就是通过观测值  $Y_{i,j}(n)$  对实际值  $X_{i,j}(n)$  进行估计如下:

$$X_{i,j}(n)=Y_{i,j}(n)+b_j(n) \quad (3)$$

式中: $b_j(n)$  为估计的非均匀性的偏置。根据得到的偏置参数,完成非均匀性的校正。

## 2 文中算法

考虑相邻两列的误差  $E_{i,j}(n)$ ,定义如下:

$$E_{i,j}(n)=Y_{i,j}(n)-Y_{i,j-1}(n) \quad (4)$$

相邻列误差  $E_{i,j}(n)$  由当前列的像素值与前一列的像素值之差得到。继而通过列向的局部窗口模板遍历  $E_{i,j}(n)$ ,求取模板内方差,定义误差方差函数  $S_{i,j}(n)$ ,如下:

$$S_{i,j}(n)=\text{std} \prod_o [E_{i,j}(n)]=$$

$$\sqrt{\frac{\sum_{p=i-w}^{i+w} \left\{ E_{p,j}(n) - \left[ \frac{\sum_{q=i-w}^{i+w} E_{q,j}(n)}{2w+1} \right] \right\}^2}{2w+1}} \quad (5)$$

模板大小为  $2w+1$ 。在相邻两列的相似区域,假设方差由非均匀性引起。通过求解误差方差函数  $S_{i,j}(n)$  的最小值,得到相邻列的相似区域,确定其非均匀性之差。

$$[x \ j]=\text{find}[S_{i,j}(n)=\min S_{i,j}(n)] \quad (6)$$

$$\Delta b_j(n)=b_j(n)-b_{j-1}(n)=\sum_{k=x-w}^{x+w} E_{k,j}/(2w+1) \quad (7)$$

由于场景的随机性,确保非均匀性参数不受场景强边缘等的影响,增加阈值  $Th$ ,  $\Delta b_j(n)$  表示如下:

$$\Delta b_j(n)=\begin{cases} \Delta b_j(n) & |\Delta b_j(n)| < Th \\ Th & |\Delta b_j(n)| \geq Th \end{cases} \quad (8)$$

对于  $j \in [1, N]$ , 依据相邻列  $\Delta b_j(n)$  的继承性,继而得到  $b_j(n)$ 。

该算法的核心思想是相邻的列之间存在高相关性,基于此,求取两列之间的非均匀性偏置的差异,利用相关性的继承性,得到每列的非均匀性校正参数。

### 3 实验结果与分析

下面通过对添加模拟条纹非均匀性对文中算法进行效果验证。原始均匀红外图像序列采用  $320 \times 256$  非制冷长波红外探测器 ( $3 \sim 5 \mu\text{m}$ ) 得到,共 200 帧。对一副均匀图像添加一定均值和方差的条纹噪声,采用均方差(MSE)衡量条纹非均匀性校正效果, MSE 定义如下:

$$\text{MSE} = \frac{\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N [\hat{Y}(i, j) - Y(i, j)]^2}{M \times N} \quad (9)$$

式中:  $Y(i, j)$  是原始均匀图像;  $\hat{Y}(i, j)$  是经过非均匀性校正后的图像,  $M$ 、 $N$  分别为图像的行和列的大小。校正结果如图 1 所示,窗口大小取为  $w=1 \times 11$ 。图 2 所示为原始红外图像序列的第 130 帧校正结果。

通过图 2 可以看到,文中算法较参考文献[9]算法有较好的非均匀性校正效果。文中算法精确估计出相邻两列的非均匀性之差,依据相邻帧的相关性的继承性,完成非均匀性校正,效果比较好。参考文献[9]算法基于边缘梯度进行边缘分割,容易造成低频噪

声的残留。通过 MSE 曲线,也可以看到,文中算法在整个视频序列校正过程中,都较参考文献[9]算法性能优越,且参考文献[9]算法随着场景的变化,校正效果出现很大的波动。

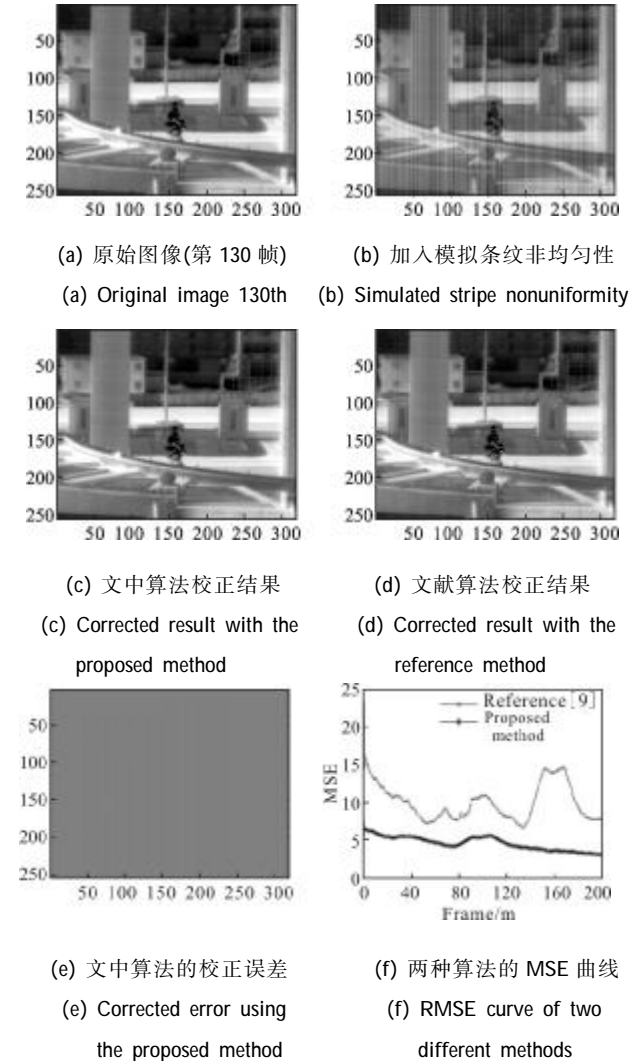
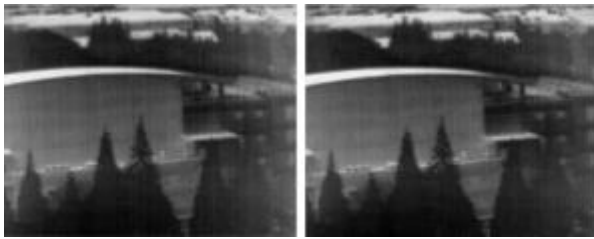


图 2 模拟条纹非均匀性处理结果

Fig.2 Correction results of simulated nonuniformity image

下面将采用实际含有条纹非均匀性的红外图像序列测试文中算法校正性能。图像序列由  $320 \times 240$ , 50Hz, 中波非制冷热像仪采集得到,一共 500 帧。分别采用文中算法和参考文献[9]算法进行校正,结果如图 3 所示。

通过对比图 3(b)和图 3(c)可以看到,参考文献[9]算法有明显残留非均匀性存在,文中算法对条纹非均匀性的校正效果较突出。通过以上实验分析,文中算法明显优于其他算法,对条纹非均匀性有较好的校正效果,具有一定的实用价值。



(a) 实际图像序列第 400 帧 (b) 文献算法校正结果  
(a) The 400th frame of real (b) Corrected result with  
image sequence reference method



(c) 文中算法校正结果  
(c) Corrected result with the proposed method

图 3 实际视频序列处理结果

Fig.3 Results of processed real image sequence

## 4 结 论

文中提出了一种单帧内去除条纹非均匀性的方法。通过遍历相邻列的误差函数得到非均匀性偏置参数的估计。实验结果表明文中算法在去除条纹非均匀性较参考文献 [9] 算法较大的优势文中算法,有效提高了条纹非均匀性校正效果。同时文中算法已实时应用在  $320 \times 240$  长波非制冷红外热像仪硬件平台上。

## 参考文献:

- [1] Scribner D A, Krueer M. Infrared focal plane array technology[J]. Proc IEEE, 1991, 79(1): 66-85.
- [2] Harris J G, Chiang Y M. Nonuniformity correction of infrared image sequences using the constant-statistics constraint [J]. IEEE Trans Image Proc, 1999, 8(8): 1148-1151.
- [3] Scribner D A, Sarkady K A. Non-uniformity correction for staring focal plane arrays using scene-based techniques [C]// SPIE, 1990, 1308: 224-233.
- [4] Scribner D A, Sarkady K A. Adaptive retina-like preprocessing for imaging detector arrays[J]. Proc IEEE, 1993: 1955-1960.
- [5] Hardie R C, Hayat M M. Scene-based nonuniformity correction using video sequences and registration[J]. Applied Optics, 2000, 39(8), 1241-1250.
- [6] Chen Baoguo, Zhang Xuefeng, Niu Yingyu. Improved nonuniformity correction algorithm based on neural network [J]. Infrared and Laser Engineering, 2013, 42(3): 574-578. (in Chinese)
- [7] Li Qing, Liu Shangqian, Wang Bingjian, et al. New nonuniformity correction algorithm for IRFPA based on neural network [J]. Infrared and Laser Engineering, 2007, 36(3): 342-344. (in Chinese)
- [8] Shen H, Ai T, Li P. Destriping and inpainting of remote sensing images using maximum a -posteriori method [J]. Remote Sensing and Spatial Information Science, 2008, 1: 63-90.
- [9] Qian Weixian, Chen Qian, Gu Guohua, et al. Correction method for stripe nonuniformity [J]. Applied Optics, 2010, 49(10): 1764-1773.