

# 基于高阶统计量的红外焦平面非均匀校正算法

徐田华, 赵继政, 赵亦工

(西安电子科技大学 模式识别与智能控制研究所 陕西 西安 710071)

**摘要:** 根据高斯噪声高于二阶累积量为零的特性, 提出基于高阶统计量的红外焦平面非均匀校正算法, 可从图像场景中自适应估计阵列单元的增益和偏置参数。提出的算法包含两个部分, 第一部分利用统计矩和累积量周期估计红外焦平面的模型参数, 第二部分利用维纳滤波恢复真实图像。仿真图像序列表明这种算法有效降低了固定图案噪声, 达到了较高的非均匀校正水平。

**关键词:** 高阶统计量; 红外焦平面阵列; 非均匀校正; 固定图案噪声

**中图分类号:** TN215 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-240X(2006)02-0227-04

## High-order-statistics based nonuniformity correction for infrared focal plane arrays

XU Tian-hua, ZHAO Ji-zheng, ZHAO Yi-gong

(Research Inst. of Pattern Recognition and Intelligent Control,  
Xidian Univ., Xi'an 710071, China)

**Abstract:** According to the property that for Gaussian signals only, all cumulant spectra of order greater than two are identically zero, a High-Order-Statistics based Nonuniformity Correction (HOS-NUC) approach is taken for the adaptive estimation of the gain and bias nonuniformity in infrared focal-plane array sensors from scene data. The proposed algorithm consists of two main parts: the first part involves a periodic statistical estimation of the model parameters using the moment and cumulant; the second part involves the estimated parameters in restoring the true image by a winner filter. The proposed method has been tested with video sequences of simulated infrared data, reducing the fixed pattern noise and reaching high correction levels.

**Key Words:** High-Order-Statistics; infrared focal plane array; non-uniformity correction; fixed-pattern noise

红外焦平面阵列在红外跟踪、预警、制导等方面得到了广泛的应用<sup>[1,2]</sup>。但由于制造工艺的限制,使得探测器阵列的各个单元响应度不一致,导致了叠加在图像上的固定图案噪声,严重影响了成像质量,因此必须进行非均匀校正。

目前,大量的非均匀校正技术见诸于各种文献。可将这些技术分为两大类,第一类是基于黑体的非均匀校正技术,但其光学和机械结构复杂,并受检测单元的非线性响应限制。第二类便是基于场景的非均匀校正技术,它直接利用场景信息,避免了黑体校正的缺点,成为目前研究的方向。近年来,相继提出了许多基于场景的非均匀校正技术<sup>[3-6]</sup>。

基于恒定辐射范围(CR)假设的统计校正算法(SA)利用简单的矩估计,完成固定图案噪声参数的求解,但是,算法需要利用黑体等设备预先确定固定图案噪声(FPN)参数的初值,并且在计算时域随机噪声方差时

需要求解复杂的非线性方程,致使算法的应用范围受到限制.笔者根据高斯随机变量的高阶累积量(大于2阶)恒等于零的特性,精确估计固定图案噪声参数,完全抑制高斯噪声的影响.

## 1 高阶统计量算法

### 1.1 探测单元模型

在许多应用场合,探测单元在一定的辐射范围内可认为工作在线性状态.笔者采用探测器的线性响应模型是

$$Y_{ij}(n) = A_{ij}(n)X_{ij}(n) + B_{ij}(n) + N_{ij}(n), \quad (1)$$

这里  $Y_{ij}(n)$  为第  $n$  帧图像中处于  $(i, j)$  位置处的探测单元响应;  $A_{ij}(n)$  为探测单元的乘性增益参数;  $B_{ij}(n)$  为加性偏置参数;  $X_{ij}(n)$  为第  $n$  帧图像  $(i, j)$  位置的探测单元接收的辐射量;  $N_{ij}(n)$  为叠加在探测单元上的时域随机噪声.算法依据的 CR 假设如下:探测单元接收的辐射量在  $[x_{\min}, x_{\max}]$  范围内均匀分布,  $x_{\min}$  和  $x_{\max}$  分别为探测单元接收的辐射量的最大和最小值,可通过相机的随机移动实现.为方便起见,以下将变量下标  $ij$  略去.

整个算法由两部分构成,第一部分为利用高阶统计量进行探测单元的模型估计,第二部分为利用估计的模型,采用维纳滤波方法得到恢复后的图像.

### 1.2 模型参数估计

设  $n_b$  为一组图像中图像帧数,其值的选取依赖于模型参数漂移速度的快慢.取第  $k$  组图像,即图像位于区间  $kn_b - n_p \leq n \leq kn_b - 1$ ,  $1 \leq n_p \leq n_b$ .根据 FPN 缓慢漂移的特性,假定每组图像中 FPN 保持恒定.根据公式(1)求解第  $k$  探测单元响应数据  $Y(n)$  的样本均值、样本方差和四阶累积量

$$\hat{y}(k) \triangleq \frac{1}{n_p} \sum_{n=kn_b-n_p}^{kn_b-1} Y(n), \quad (2)$$

$$\hat{\sigma}_Y^2(k) \triangleq \frac{1}{n_p} \sum_{n=kn_b-n_p}^{kn_b-1} [Y(n) - \hat{y}(k)]^2, \quad (3)$$

$$\hat{\kappa}_Y^{(4)}(k) \triangleq \frac{1}{n_p} \sum_{n=kn_b-n_p}^{kn_b-1} [Y(n) - \hat{y}(k)]^4 - 3\hat{\sigma}_Y^4, \quad (4)$$

分别令其等于  $Y(n)$  的集平均和集方差,同时令  $\mu_X(k)$ ,  $\sigma_X^2(k)$  和  $\kappa_X^{(4)}(k)$  表示位于区间  $kn_b - n_p \leq n \leq kn_b - 1$  内的探测单元接收辐射量的均值、方差和四阶累积量.经过简单推导可得

$$\hat{y}(k) \approx A_k \mu_X(k) + B_k, \quad (5)$$

$$\hat{\sigma}_Y^2(k) \approx A_k^2 \sigma_X^2(k) + \sigma_B^2(k), \quad (6)$$

$$\hat{\kappa}_Y^{(4)}(k) \approx A_k^4 \kappa_X^{(4)}(k). \quad (7)$$

若检测单元接收的辐射量服从  $[x_{\min}(k), x_{\max}(k)]$  内的均匀分布,则相应的均值、方差和四阶累积量的估计为已知,联立方程(2)~(7),得到对应的 FPN 参数估计.

### 1.3 图像恢复

假设第  $k$  组序列图像的增益参数  $A_k$  和偏置参数  $B_k$  已知,由此可设计具有  $L$  个可调参数的有限冲击响应线性数字滤波器,辐射量  $X(n)$  的估计可表示为探测单元响应  $Y(n)$  的线性加权和,即

$$\hat{X}(n) = \sum_{i=n-L+1}^n u(k)_i Y(i) + \beta. \quad (8)$$

经过相应推导,得到最优滤波器参数  $W(k) = C_{YY}(k)^{-1} C_{XY}(k)$ ,  $(9)$

$$\beta = \mu_X - (A_k \mu_X + B_k) \sum_{i=1}^L u(k)_i, \quad (10)$$

这里  $C_{YY}(k)$  为  $Y(n)$  的自相关矩阵,  $C_{XY}(k)$  为  $Y(n)$  和  $X(n)$  的互相关矩阵,  $\mu_X$  为辐射量  $X(n)$  的均值.

## 2 算法性能分析

笔者利用已有的  $8 \sim 12 \mu\text{m}$  红外序列图像,通过加入模拟固定图案噪声参数,形成算法测试仿真数据.这

里的图像尺寸为  $128 \times 128$  ,所用的图像序列共 6000 帧. 加入加性固定噪声标准差均值为 0、标准方差为 10 的高斯白噪声,乘性噪声均值为 1、标准差为 0.1 的高斯白噪声. 为了定量度量校正效果,采用参数光滑度  $\rho$  和均方根误差(RMSE)指标来度量算法的执行效果<sup>[5]</sup>. 为分析算法与每组图像长度的关系,这里将仿真图像进行分组,每组分别为 600,800,1000,1200 和 1500 帧,对应的 RMSE 指标见图 1. 从图中可看出,当每组图像的帧数超过 1200,其对应的 RMSE 指标小于 8,而帧数小于 600,其 RMSE 指标将超过 14,致使图像质量降低. 由于较短的图像帧数使得探测单元输出矢量不能很好地满足恒定范围假设,使得最终的结果出现较大误差. 为此,比较合适的图像帧数应选为大于 1200. 图 2 给出对应的图像处理结果,图像取自第 2 组的第 500 帧图像. 从中可看出,校正效果较好.

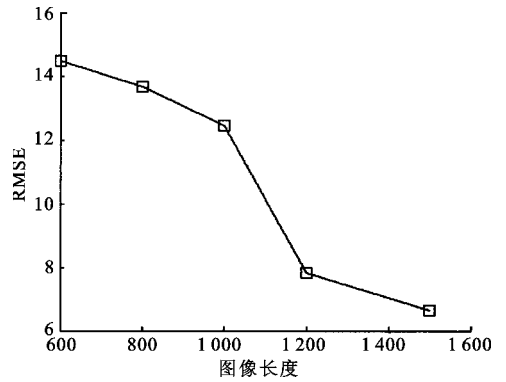


图 1 RMSE 指标与每组图像长度的关系

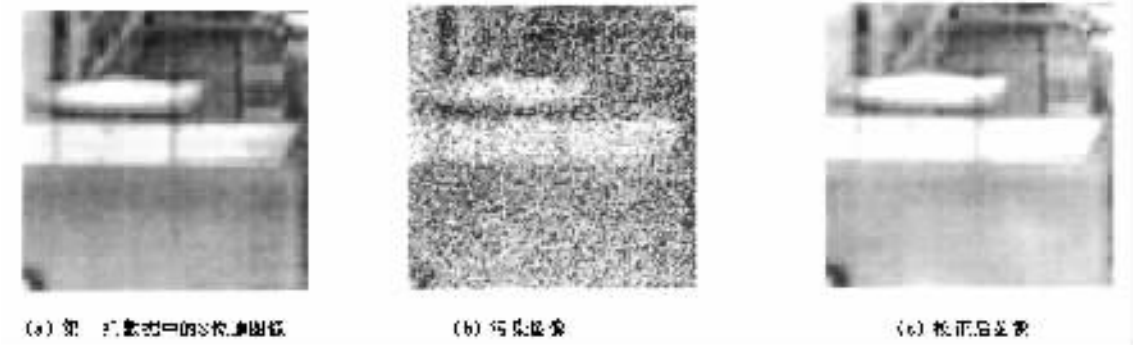


图 2 HOS-NUC 处理结果

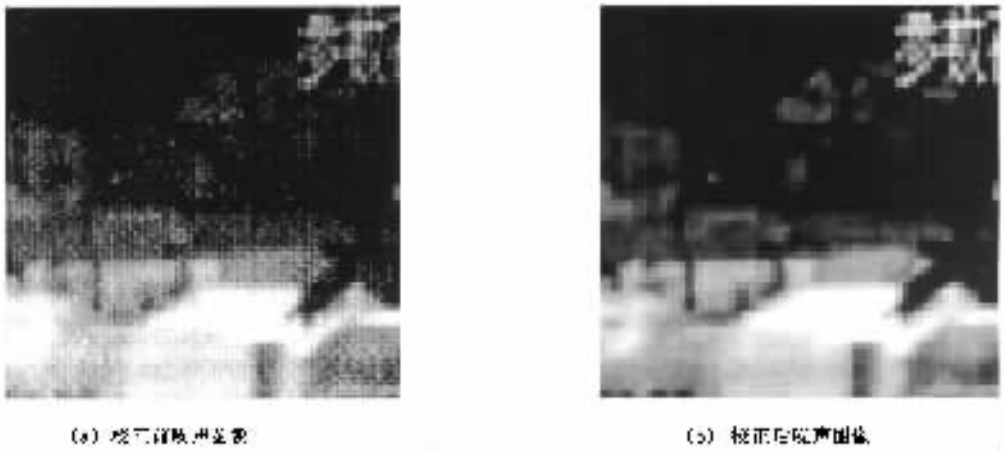


图 3 算法对实际数据的处理性能

图 3 给出算法对实际图像的校正结果. 从主观视觉上,噪声图像的非均匀性已校正到较高的水平. 通过计算校正前后光滑度指标  $\rho$  的数值,可知光滑度指标从校正前 0.8460 降至校正后的 0.1767,从而证明了算法的有效性.

与 Torres 提出的基于卡尔曼滤波算法的校正方法<sup>[5]</sup>相比,该算法不受时域噪声的影响,大大提高了焦平面探测单元参数估计的精度. 与 Hayat 提出的统计校正算法<sup>[6]</sup>相比,该算法仅仅求解线性方程,避免了复杂的非线性方程的求解,降低了算法的计算复杂度. 综合校正精度和计算复杂度考虑,该算法使用较小的计算开销获得了令人满意的效果,而且在时域上效果稳定. 算法使用高阶统计量估计的方法避免时域噪声影响,不仅在理论上为红外焦平面非均匀校正提出了新思路,而且易于硬件实现,具有实际应用的价值.

### 3 结束语

笔者利用高阶统计量的方法给出了红外焦平面非均匀参数的估计,利用维纳滤波算法恢复了真实图像数据.该算法不依赖于固定图案噪声参数的初始值设置,直接利用场景数据自适应估计参数,实现红外焦平面阵列的非均匀校正,有效降低了固定图案噪声的影响,具有计算复杂度低,易于工程实现等优点.

参考文献:

- [1] Lin Xiaochun, Li Cunzhi. A New Method for Infrared Image Enhancement Based on Image Fusion[J]. Journal of Xidian University, 2005, 32(2): 189-192.
- [2] Wang Baoping, Fan Jiulun, Xie Weixin. Fuzzy Entropy Based Method for Multilevel Image Restoration[J]. Journal of Xidian University, 2004, 31(2): 214-217.
- [3] Scribner D A, Sarkady K A, Kruer M R, et al. Adaptive Nonuniformity Correction for IR Focal-Plane Arrays Using Neural Networks[A]. Proc SPIE Int Soc Opt Eng[C]. Bellingham: Int Soc for Optical Engineering, 1991. 100-109.
- [4] Harris J G, Chiang Y M. Nonuniformity Correction of Infrared Image Sequences Using the Constant-Statistics Constraint[J]. IEEE Trans on Image Process, 1999, 8(8): 1148-1151.
- [5] Torres S N, Hayat M M. Kalman Filtering for Adaptive Nonuniformity Correction in Infrared Focal-Plane Arrays[J]. J Opt Soc Am A, 2003, 20(3): 470-480.
- [6] Hayat M M, Torres S N, Armstrong E, et al. Statistical Algorithm for Nonuniformity Correction in Focal-Plane Arrays[J]. Applied Optics, 1999, 38(5): 772-780.

(编辑:郭华)

(上接第185页)

### 4 结论

本算法根据医学图像的特点,将三维小波变换运用于医学图像序列,并将二维内嵌编码方法推广到三维情况,结合感兴趣区域编码,提出了使用三维小波+ROI编码+三维内嵌编码的医学图像压缩方法.从测试结果中可看出,该算法不论是感兴趣区域还是背景区的PSNR都比ROI+二维EZW的压缩方法的PSNR提高1~2dB.

参考文献:

- [1] 李晖. 基于小波变换的三维医学图像压缩技术的研究[J]. 中国图像图形学报, 2000, 5A(2): 114-118.
- [2] 张文忠, 沈兰荪. 一种新的3-D小波变换图像编码方法[J]. 电子学报, 1997, 25(10): 32-36.
- [3] Mallat S A. Theory for Multiresolution Signal Decomposition: the Wavelet Representation[J]. IEEE Trans on Pattern Analy, Mach Intel, 1989, 11(7): 674-693.
- [4] Chen Jun, Wu Chengke, Li Yunsong. Embedded Coding of Images with Regions of Interest Based on Zerotree[J]. Journal of Xidian University, 2002, 29(3): 343-346.
- [5] Shapiro J M. Smart Compression Using the Embedded Zerotree Wavelet(EZW) Algorithm[A]. Proceedings of the 27th Asilomar Conference on Signals, Systems & Computers[C]. Pacific Grove: IEEE, 1993. 486-490.
- [6] Shapiro J M. Embedded Image Coding Using Zertrees of Wavelet Coefficients[J]. IEEE Trans on Signal Processing, 1993, 41(12): 3445-3462.
- [7] Agrafiotis D. Three-dimensional Coding of Volumetric Medical Images Using of Interest[A]. Visual Information Engineering, IEE[C]. Stevenage: Michael Faraday House, 2003. 194-197.

(编辑:李维东)

