

文章编号 1004-924X(2011)12-2985-07

## 红外焦平面阵列的自适应非均匀性校正及硬件实现

曹 扬\*, 金伟其, 刘崇亮, 刘 秀

(北京理工大学 光电学院 光电成像技术与系统教育部重点实验室, 北京 100081)

**摘要:**针对长时间工作或环境剧烈变化时红外焦平面阵列(IRFPA)器件易产生条纹状非均匀性的问题,研究了在不遮挡成像视场条件下它的动态非均匀性校正(NUC)及其硬件实现技术。介绍了基于场景的改进恒定统计 NUC(ICS-NUC)方法,即通过纵向通道间的统计量均衡策略实现对条纹非均匀性的抑制,并引入遗忘因子通过帧间迭代实现非均匀性的动态校正。描述了基于非制冷 IRFPA 组件在 BF561 DSP 平台的 ICS-NUC 处理流程,并实现了 ICS-NUC 的均值法(ICSA)和中值法(ICSM),从而有效地动态校正条纹非均匀性,提高红外图像质量。实验表明,经过 ICS-NUC 处理,减弱了红外图像的条纹噪声,使用 ICSA 和 ICSM 法使 IRFPA 组件的非均匀性从 3.43% 分别降低至 1.82% 和 0.91%,连续运行 4 h 后仍可使组件非均匀性从漂移后的 5.05% 降至 0.92%。提出的方法为后续高性能热成像系统的研究和应用奠定了技术基础。

**关键词:**红外焦平面阵列;非均匀性校正;改进的恒定统计算法;数字信号处理

**中图分类号:** TN215 **文献标识码:** A **doi:** 10.3788/OPE.20111912.2985

### Adaptive nonuniformity correction and hardware implementation of IRFPA

CAO Yang\*, JIN Wei-qi, LIU Chong-liang, LIU Xiu

(Key Laboratory of Photoelectronic Imaging Technology and System, Ministry of Education,  
School of Optoelectronics, Beijing Institute of Technology, Beijing 100081, China)

\* Corresponding author, E-mail: billcy@163.com

**Abstract:** Infrared Focal Plane Array (IRFPA) is easy to produce a fringe nonuniformity (NU) when it works for long hours or in a changed environment. Aiming at this problem, a dynamic Nonuniformity Correction(NUC) method was proposed in no covering imaging fields and its hardware realization technology was investigated. A scene-based algorithm, Improved Constant Statistics Nonuniformity Correction (ICS-NUC) was presented, in which the fringe NU was reduced by balancing the statistics of vertical channels, and a dynamic NUC was realized by using a forgetting factor in inter-frame iterative process. The ICS-NUC algorithm flow based on an uncooled IRFPA module with BF561 DSP platform was described. Then, two ICS-NUC algorithms, ICS by Average (ICSA) and ICS by Median (ICSM), were implemented on the platform. By these ways, the fringe NU was corrected dynamically, and whole the infrared image quality was improved. The experimental results show that the fringe

收稿日期: 2010-10-28; 修订日期: 2010-12-24.

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(No. 60877060)

NU of IR image is reduced after ICS-NUC and the NU of IRFPA module is decreased from 3.43% to 1.82% by ICSA and 0.91% by ICSM, respectively. After continuous operation by four hours, the NU of IRFPA module is still decreased from 5.05% (drifted) to 0.92% by using ICSM. It concludes that the realization of ICS-NUC algorithm on IRFPA module can lay a technical foundation for the following study and applications of high-performance thermal imaging systems.

**Key words:** Infrared Focal Plane Array (IRFPA); Nonuniformity Correction (NUC); Improved Constant Statistics (ICS); Digital Signal Processor (DSP)

## 1 引言

红外焦平面阵列 (Infrared Focal Plane Arrays, IRFPA) 是当今技术性能最先进的红外探测器之一, 在军事和民用领域都有着广泛的应用<sup>[1]</sup>。近年来, 随着 IRFPA 面阵规模不断增大, 由 IRFPA 探测元的响应不一致、器件工作环境变化和  $1/f$  噪声等因素所造成的非均匀性已成为限制成像质量提高的主要因素之一。IRFPA 的非均匀性一般以固定模式噪声 (Fixed Pattern Noise, FPN) 体现, 其中条纹状或网格状 FPN 是制冷和非制冷 IRFPA 组件常见的非均匀噪声模式, 通过非均匀性校正 (Non-Uniformity Correction, NUC) 技术有效减小或去除非均匀性, 对于提高 IRFPA 成像质量具有实质性的作用。

IRFPA 的非均匀性校正通常分为基于参考源的定标类校正算法 (Calibration-Based NUC, CBNUC) 和基于场景的自适应校正算法 (Scene-Based NUC, SBNUC) 两大类<sup>[1-2]</sup>。CBNUC 通过辐射定标获得增益和偏置参数对 IRFPA 进行校正, 典型方法如一点法、两点法、多点法等<sup>[2-3]</sup>, 该类方法效果明显, 运算简单, 但由于需要遮挡视场, 且往往不能校正由于光学系统渐晕等产生的非均匀性, 因此, 不能满足一些不宜遮挡成像视场的应用需求<sup>[1]</sup>。SBNUC 利用探测器响应模型和图像帧间关系, 通过对若干帧图像的处理, 在不需遮挡视场的条件下, 根据场景信息动态更新校正参数, 有效解决时间积累或工作环境带来的参数漂移, 实现动态实时非均匀性校正。当前研究较多的 SBNUC 有恒定统计法、神经网络法、轨迹交叉法和时域高通滤波等<sup>[4-10]</sup>。

恒定统计类 SBNUC 算法对条纹非均匀性噪声具有较好的校正效果, 运算量相对较小<sup>[5-7]</sup>, 经过算法优化, 目前已具备在硬件平台上实现的条

件。为此, 本文基于 AD 公司 BF561 DSP 处理器的非制冷 IRFPA 组件, 尝试将改进的恒定统计 NUC (Improved Constant Statistics NUC, ICS-NUC) 法<sup>[5-7]</sup> 进行优化后嵌入到 DSP 处理系统; 并通过实验分析, 验证均值 (ICS by Average, ICSA) 和中值 (ICS by Median, ICSM) NUC 算法的校正效果以及 ICS-NUC 算法对长时间工作条件下系统温漂产生的非均匀性的抑制作用。

## 2 ICS-NUC 算法

传统的恒定统计 (Constant Statistics, CS) NUC 算法由 Narendra 和 Foss 于 1980 年提出, 其假设 FPA 上各探测元接收的辐射通量范围一致, 且均值和标准偏差恒定, 以此估计校正因子, 实现 NUC 处理。隋婧等研究了改进的恒定统计 NUC (ICS-NUC) 算法<sup>[1,5-7]</sup>, 采用多种误差控制策略, 有效地降低了算法对场景信息的要求, 可快速有效地消除网格和条纹状 FPN, 且不受场景变动的影响。

对于纵向条纹噪声明显的红外成像系统, 将红外图像中的每列视为一个通道, 首先求出每个通道的均值和标准偏差, 然后对每个通道进行归一化, 使得各个通道的统计量与相邻通道的同类统计量具有类似的输出。根据 IRFPA 理想线性响应模型, 对于大小为  $M \times N$  的图像, 其第  $n$  帧中位于第  $i$  行、第  $j$  列探测元的校正公式为

$$x_n(i, j) = y_n(i, j) \times G_n(j) + O_n(j), \quad (1)$$

其中,  $i=1, 2, \dots, M; j=1, 2, \dots, N; x_n(i, j)$  是真实外场景输入量;  $y_n(i, j)$  是对应的探测元响应输出;  $G_n(j)$  和  $O_n(j)$  分别是第  $j$  列增益和偏置因子。

每列像素的均值  $\mu_n$  和方差  $\sigma_n$  为

$$\mu_n(j) = \frac{1}{M} \sum_{i=1}^M y_n(i, j), \quad (2)$$

$$\sigma_n(j) = \frac{1}{M} \sum_{i=1}^M (y_n(i, j) - \mu_n(j))^2. \quad (3)$$

列探测器单元对应的邻域均值  $\hat{\mu}_n$  和方差  $\hat{\sigma}_n$  可采用两种方法<sup>[5-7]</sup>求出:

(1) 相邻列均值滤波的 ICSA (Improved Constant Statistics by Average) 法

$$\hat{\mu}_n(j) = [\mu_n(j-1) + \mu_n(j+1)]/2, j=2, 3, \dots, N-1, \quad (4)$$

$$\hat{\sigma}_n(j) = [\sigma_n(j-1) + \sigma_n(j+1)]/2, j=2, 3, \dots, N-1. \quad (5)$$

(2) 相邻多列中值滤波的 ICSM (Improved Constant Statistics by Median) 方法

$$\hat{\mu}_n(j) = \text{Medfilter}(\mu_n, L), j=1, 2, 3, \dots, N-1, \quad (6)$$

$$\hat{\sigma}_n(j) = \text{Medfilter}(\sigma_n, L), j=1, 2, 3, \dots, N-1. \quad (7)$$

对图像序列采用迭代算法,引入遗忘因子以反映当前帧统计量的权重,从而实现不同场景下收敛速度的调节,避免由于场景信息复杂造成的单帧参数漂移过大。因此,每个通道用于 ICS 校正的邻域均值  $\bar{\mu}_n$  和邻域方差  $\bar{\sigma}_n$  为:

$$\bar{\mu}_n(j) = (1-\lambda) \times \bar{\mu}_{n-1}(j) + \lambda \times \hat{\mu}_n(j), \quad (8)$$

$$\bar{\sigma}_n(j) = (1-\lambda) \times \bar{\sigma}_{n-1}(j) + \lambda \times \hat{\sigma}_n(j). \quad (9)$$

实验表明: $\lambda$  主要影响迭代的收敛速度,可通过人为或自适应调节前后帧所占权重。合适的选取  $\lambda$  可在快速收敛的同时,实现高质量的非均匀性校正。

在保证每个探测元及其相邻探测元拥有相同的一阶和二阶统计量的条件下,可得校正输出  $x_n(i, j)$

$$x_n(i, j) = \left[ \frac{y_n(i, j) - \mu_n(j)}{\sigma_n(j)} \right] \bar{\sigma}_n(j) + \bar{\mu}_n(j), \quad (10)$$

$$g_n(j) = \frac{\bar{\sigma}_n(j)}{\sigma_n(j)}, o_n(j) = \bar{\mu}_n(j) - \frac{\bar{\sigma}_n(j)}{\sigma_n(j)} \cdot \mu_n(j), \quad (11)$$

其中,  $g_n$  和  $o_n$  是利用单帧信息得到的增益和偏置。

由于单帧的 ICS 校正难以有效地消除通道间的差异,通道均衡策略仅仅涉及到相邻两个或  $L$  个像元的一致性,所以,把前一次(帧)校正得到的增益和偏置因子预先应用于下一次(帧)的输入  $y_{n+1}(i, j)$  数据,然后不断重复通道均衡算

法,递推校正,直至产生最优输出。对于一帧图像,有

$$\hat{x}_{n+1}(i, j) = g_{n+1}(j) \hat{x}_n(i, j) + o_{n+1}(j). \quad (12)$$

### 3 算法硬件平台

#### 3.1 基于 BF561 DSP 的硬件处理平台

实验的 IRFPA 组件采用了 Analog Device 公司生产的 Blackfin 系列 DSP 处理器 BF561 作为核心器件。BF561 是 Blackfin 系列中的高性能多媒体双核处理器,具有双 DSP 核结构,BF561 核心由两枚独立的 Blackfin 处理器组成,每一个 DSP 核都可独立运行在最高达 750 MHz 的处理速度上,其指令集结构结合了 dual-MAC 处理引擎、RISC 式微处理器指令集以及单指令多数据 (SIMD) 多媒体能力等优点,完全可满足视频处理对 DSP 硬件的要求,实现 SBNUC 算法在 DSP 硬件平台上的应用。

#### 3.2 ICS-NUC 算法处理流程

图 1 是基于 BF561 DSP 的 IRFPA 组件 ICS-NUC 处理流程框图,视频 A/D、图像预处理、NUC 参数计算、NUC 处理、图像后处理及视频 D/A 均由 BF561 完成,直接输出校正后的红外图像。

IRFPA 探测器获得的红外图像经过前置放大器、视频 A/D 处理后以 14 bit/pixel 的格式输入至 BF561,进行盲元替换等图像预处理,采用动态存储的校正矩阵  $\mathbf{g}(i, j)$  和  $\mathbf{o}(i, j)$  进行 NUC 校正,当  $\mathbf{g}(i, j)$  和  $\mathbf{o}(i, j)$  尚未根据场景生成时,采用开机上电加载的默认校正矩阵。经过校正输出的红外图像一路经过灰度变换等后处理算法经视频 D/A 直接作为 IRFPA 组件的视频输出,另一路作为算法中的预校正结果参与算法迭代过程,以计算和动态更新校正矩阵  $\mathbf{g}(i, j)$  和  $\mathbf{o}(i, j)$  并存入校正矩阵缓存,作为新的校正参数并用于对下一帧图像进行预校正。

校正矩阵  $\mathbf{g}(i, j)$  和  $\mathbf{o}(i, j)$  以查找表方式与红外图像像元  $x(i, j)$  相对应,按照式 (12) 进行校正,校正过程只涉及到 1 次乘法和 1 次加法运算,完全可以在一个像素时钟周期内完成,从而实现 IRFPA 组件的实时校正。

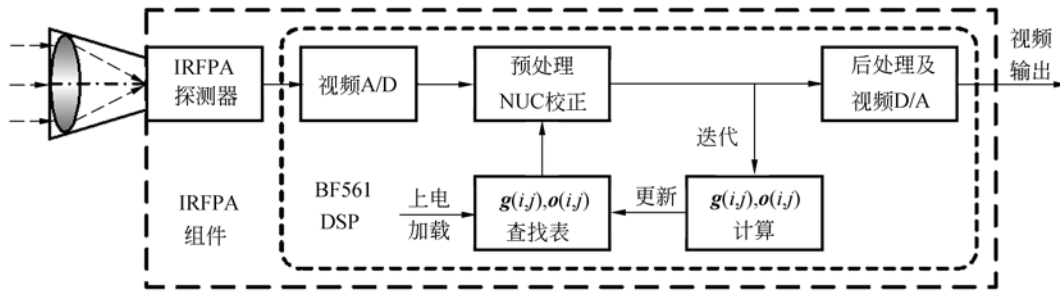


图 1 基于 BF561 DSP 的 IRFPA 组件 ICS-NUC 处理流程框图

Fig. 1 ICS-NUC flow of an IRFPA module based on BF561 DSP

## 4 硬件算法实验

硬件算法实验包括算法优化和算法验证两方面。在仿真和对采集的真实红外图像的预研中,已经证明 ICS-NUC 算法对条纹状、网格状非均匀性噪声具有良好的抑制作用,为 ICS-NUC 算法的硬件实现提供了有力的支撑<sup>[1,5-7]</sup>。但将其应用于硬件平台,还需要进行算法优化,然后从硬件平台的运行过程中读取处理前后的图像进行对比,以验证算法在硬件平台上运行的效果。

### 4.1 ICS-NUC 硬件算法优化

在仿真试验中,ICS-NUC 算法采用 Matlab 环境编写,对红外图像进行了归一化处理并在整个计算过程中采用浮点运算;IRFPA 组件中的 BF561 是定点 DSP,采用 C/汇编语言编程,针对这一特点,对 ICS-NUC 算法进行了以下优化:

\* 将算法中的方差采用平均绝对误差来代替,此降阶过程大大简化了运算复杂度;

\* 算法中大量出现的简单运算采用更贴近底层硬件的嵌入汇编代码以提高运算效率;

\* 根据硬件处理及遗忘因子  $\lambda$  的特点,将  $\lambda$  设定为  $p/2^q$ ,  $p=1,2,\dots,2^q$ ;  $q=1,2,\dots,N$ ,使帧间迭代只涉及简单的移位和加法运算,实验表明:这种设定不仅可提高运算速度,也可获得较好的校正效果。

### 4.2 ICS-NUC 算法验证

图 2 是硬件算法实验所用的非制冷 IRFPA 组件,帧频为 50 Hz,图像大小为 320 pixel  $\times$  240 pixel。将优化后的 ICS-NUC 算法(包括 ICSA 和 ICSM)写入组件的 DSP 处理器,对原始红外图像同时进行两种算法的校正矩阵计算,生成的校正

矩阵  $g_{\text{ICSA}}(i,j)$ ,  $o_{\text{ICSA}}(i,j)$  和  $g_{\text{ICSM}}(i,j)$ ,  $o_{\text{ICSM}}(i,j)$  存入存储器,通过按键可控制监视器显示输出在原始图像、ICSA-NUC 校正图像、ICSM-NUC 校正图像间切换以便直接观察校正结果。同时,通过 Visual DSP 开发环境可暂停运行以读取原始红外图像、校正矩阵和校正后的红外图像数据,以便于对比校正效果,进行算法验证以及进一步的分析。



图 2 基于 BF561 DSP 的非制冷 IRFPA 组件

Fig. 2 Uncooled IRFPA module based on BF561 DSP

采集均匀入射辐射下 ICS-NUC 校正前后的红外图像,按照 IRFPA 非均匀性的标准定义<sup>[11]</sup>,计算系统的均方根偏差与平均值的百分比  $U_R$  (即非均匀性)<sup>[11]</sup>,表 1 给出了几种图像的非均匀性结果。

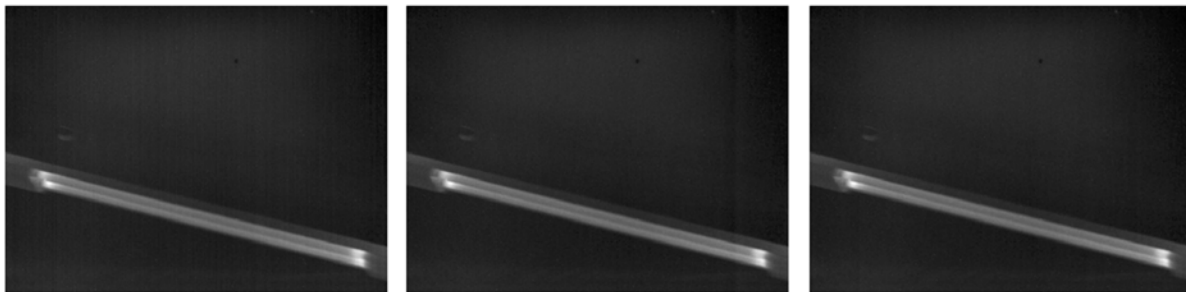
表 1 不同处理方法下 IRFPA 输出图像的非均匀性  
Tab. 1 Image nonuniformities of IRFPA after different processings

	原始图像	ICSA-NUC	ICSM-NUC
$U_R$	3.43%	1.82%	0.91%

图 3 是从 IRFPA 组件中读取的一帧完整红外图像经过硬件 ICS-NUC 算法校正前后的对比图,其中图 3(a)是原始红外图像,图 3(b)和(c)分别是采用 ICSA-NUC 和 ICSM-NUC 算法的校正结果。可以看出:原始红外图像中的纵向条纹状非均匀性噪声均得到较好抑制,但在 ICSA-NUC 算法校正后的图像右侧出现了“鬼影”现象,这是由于算法在统计过程中无阈值控制而引起的。

为了进一步观察图像细节,选取图 3 中各图的同一区域进行放大(如图 4 所示)。可以看出:局部图像放大后的细节中,原始红外图像明显存

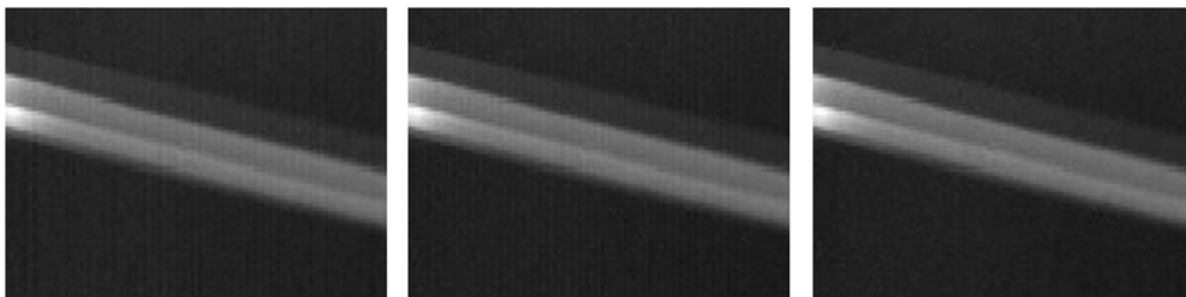
在宽度为 1 pixel 的纵向条纹分布。ICSA-NUC 算法出现了过校正,产生了宽度为 1 pixel 均匀分布的校正残差。这是由于 ICSA-NUC 算法采用左右相邻邻域均值,而实验 IRFPA 的非均匀性恰好为 1 pixel 间隔的垂直条纹,该残差可通过邻域加权的均值方法予以消除。ICSM-NUC 算法较好地抑制了原始红外图像的纵向条纹非均匀性噪声,校正后的红外图像基本看不到纵向条纹,达到了良好的校正效果,同 ICSA-NUC 算法相比具有更小的校正残差,更适合该 IRFPA 组件的条纹非均匀性校正。



(a) 原始红外图像 (b) ICSA-NUC 算法处理后图像 (c) ICSM-NUC 算法处理后图像  
(a) Original IR image (b) IR image processed by ICSA-NUC (c) IR image processed by ICSM-NUC

图 3 IRFPA 组件中读出的红外图像 ICS-NUC 校正前后对比(完整大小)

Fig. 3 Original IR image and IR images processed by ICS-NUC for IRFPA module (full size)



(a) 原始红外图像 (b) ICSA-NUC 算法处理后图像 (c) ICSM-NUC 算法处理后图像  
(a) Original IR image (b) IR image processed by ICSA-NUC (c) IR image processed by ICSM-NUC

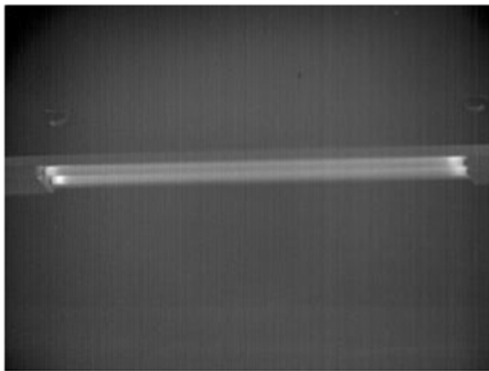
图 4 IRFPA 组件中读出的红外图像 ICS-NUC 校正前后对比(局部细节)

Fig. 4 Original IR image and IR images processed by ICS-NUC for IRFPA module (part detail)

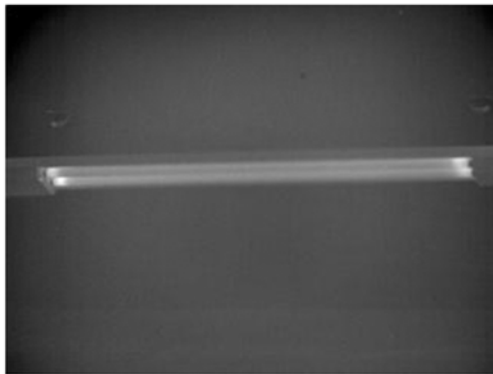
对同一场景连续开机 4 h 后,用开机时内部初始校正参数进行校正后的图像和 ICSM-NUC 算法校正后的图像分别如图 5(a),(b)所示。可以看出:初始校正参数不能适应探测器长时间工作所积累的漂移,已不能有效地抑制条纹噪声,而 ICSM-NUC 算法对条纹噪声仍然有着较好的抑

制效果。对采集均匀入射辐射下校正前后的红外图像数据进行计算,非均匀性从 5.05% 下降至 0.92%,与主观观察结果完全一致,从而验证了算法对随时间和环境变化的参数漂移的抑制效果。

硬件中 IRFPA 的校正过程是通过将校正矩阵同预处理红外图像数据流进行简单乘法和加法



(a) 原始红外图像  
(a) Original IR image



(b) ICSM-NUC 算法处理后图像  
(b) IR image processed by ICSM-NUC

图 5 工作 4 h 后的校正结果

Fig. 5 NUC results opened for 4 h

计算完成的;由于非均匀性属于低频 FPN,因此,在 DSP 中采用了数据流的旁路处理,在设定的时间内对若干帧数字视频流信号进行校正参数计算,获得新的校正矩阵,替换原有校正矩阵,并按更新后的校正矩阵进行校正。即 ICS-NUC 算法只计算并更新校正矩阵,并不会直接影响红外图像的实时校正和输出,可实现动态的实时校正处理。

## 5 结 论

本文针对 IRFPA 组件常见的条纹或网格状非均匀性,研究了可自适应动态校正的 ICS-NUC 算法。基于非制冷 IRFPA 组件的 BF561 DSP 平台,对 ICS-NUC 算法进行了优化,并将 ICS-NUC 算法中的 ICSEA 和 ICSM 方法成功地嵌入移植到组件的 DSP,在不破坏原有组件的硬件架构和功能的同时,对非制冷 IRFPA 组件的条纹非均匀性实现了有效的动态校正。实验表明:系统图像质量得到提高,在抑制系统温漂所引起的非均匀噪声方面具有良好的效果;对硬件校正前后红外图像数据的分析和非均匀性的检测进一步验证了非均匀性校正的有效性。

ICS-NUC 算法在非制冷 IRFPA 组件上的实现,为后续红外图像增强及目标探测跟踪等研究和应用奠定了技术基础,同时也为 SBNUC 算法在 IRFPA 上的广泛应用探索了技术途径。

## 参考文献:

- [1] 金伟其,曹扬,刘崇亮,等.一种具有自适应非均匀校正功能的非制冷焦平面探测器组件[J].应用光学,2009,30(2):348-352.  
JIN W Q, CAO Y, LIU CH L, et al.. Uncooled infrared focal plane array detector module with the self-adaptive non-uniformity correction function[J]. *Journal of Applied Optics*, 2009, 30(2): 348-352. (in Chinese)
- [2] 陈锐,谈新权.红外图像非均匀性校正方法综述[J].红外技术,2002,24(1):1-3.  
CHEN R, TAN X Q. Study on non-uniformity correction of infrared image[J]. *Infrared Technology*, 2002, 24(1):1-3. (in Chinese)
- [3] 代少升,张新立.利用单片可编程系统对红外焦平面阵列进行实时非均匀性校正[J].光学精密工程,2009,17(4):854-858.  
DAI SH SH, ZHANG X L. Real-time nonuniformity correction of infrared focal plane arrays by system on programmable chip[J]. *Opt. Precision Eng.*, 2009, 17(4):854-858. (in Chinese)
- [4] 徐田华,赵亦工.基于场景的红外焦平面非均匀校正技术分析[J].红外与毫米波学报,2004,23(4):257-261.  
XU T H, ZHAO Y G. Analysis of scene-based techniques for nonuniformity correction of infrared focal plane array[J]. *J. Infrared Millim. Wave*, 2004, 23(4):257-261. (in Chinese)
- [5] SUI J, JIN W Q, DONG L Q, et al.. A scene-based nonuniformity correction algorithm for scanning-type infrared camera[J]. *Chinese Journal of Electronics*, 2007, 16(2):281-284.
- [6] SUI J, JIN W Q, DONG L Q. A new solution for correcting nonuniformity of scanning-type infrared

- sensors[C]. ICIS'06, 2006:645-648.
- [7] SUI J, JIN W Q, DONG L Q, *et al.*. A new non-uniformity correction algorithm for infrared line scanners[J]. SPIE, 2006, 6207: 62070Y.
- [8] 刘永进, 朱红, 赵亦工. 基于红外焦平面阵列读出结构的非均匀校正算法[J]. 光学精密工程, 2008, 16(1):128-133.  
LIU Y J, ZHU H, ZHAO Y G. Nonuniformity correction algorithm based on infrared focal plane array readout architecture [J]. *Opt. Precision Eng.*, 2008, 16(1):128-133. (in Chinese)
- [9] 代少升, 张天骥. 基于非线性响应的红外焦平面阵列非均匀性自适应校正算法[J]. 光学精密工程, 2008, 16(4):714-719.  
DAI SH SH, ZHANG T Q. Adaptive nonuniformity correction algorithm for IRFPA with nonlinear response[J]. *Opt. Precision Eng.*, 2008, 16(4): 714-719. (in Chinese)
- [10] ZHANG W, NIE H B, HOU Q Y, *et al.*. Variable-step constant statistics algorithm for removing residual fixed pattern noise of infrared images as second non-uniformity correction [J]. SPIE, 2009, 7513:751328.
- [11] 国家技术监督局. 红外焦平面阵列特性参数测试技术规范. GB/T 17444-1998[M]. 北京: 中国标准出版社, 1998.  
Country Engineering Supervision Bureau. *The technical norms for measurement and test of characteristic parameters of infrared focal plane arrays*. GB/T 17444-1998[M]. Beijing: Standards Press of China, 1998. (in Chinese)
- [12] 郑逢勤. 一种改进的自适应非均匀性校正算法[J]. 科学技术与工程, 2010, 10(12):2984-2986.  
ZHENG F X. An improved algorithm for adaptive nonuniformity correction[J]. *Science Technology and Engineering*, 2010, 10(12):2984-2986. (in Chinese)

#### 作者简介:



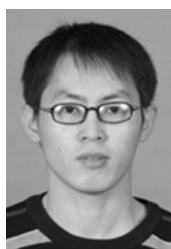
曹 扬(1981—),男,辽宁抚顺人,博士研究生,主要从事夜视与红外技术、光电图像处理技术、数字信号处理技术等方面的研究。E-mail: billey@163.com



刘崇亮(1984—),男,江西赣州人,博士研究生,2006年于重庆大学光电工程学院获得学士学位,主要从事图像处理以及热成像技术方面的研究。E-mail: lcltry@gmail.com



金伟其(1961—),男,博士,教授,博士生导师,1990年于北京理工大学获得博士学位,主要从事微光与红外技术、光电图像处理、光电检测技术等方面的研究。Email: jinwq@bit.edu.cn.



刘 秀(1981—)男,吉林人,博士研究生,2006年于北京理工大学获得学士学位,主要从事光电成像及其信号处理等方面的研究。E-mail: bit\_liuxiu@bit.edu.cn