

文章编号:1002-2082(2014)04-0701-06

# 基于混合高斯模型的红外图像自适应校正算法

贾俊涛

(洛阳电光设备研究所,河南 洛阳 471023)

**摘 要:**针对传统时域高通滤波校正算法存在的鬼影问题,提出一种新的基于混合高斯模型的红外图像自适应校正算法。新算法利用混合高斯模型对场景进行建模,只有在像元输出值满足一定条件的时候,才将其更新到校正系数中,实现有选择性地更新校正系数。通过一组仿真和真实的红外图像序列评价算法的性能,仿真图像采用峰值信噪比指标进行定量评价,新算法比传统时域高通滤波校正算法的峰值信噪比提高了约 9 dB。真实图像采用主观的定性评价,传统算法校正结果中存在着明显的鬼影,而新算法校正结果中不存在鬼影。

**关键词:**非均匀性校正;混合高斯模型;鬼影

**中图分类号:**TN216

**文献标志码:**A

**doi:**10.5768/JAO201435.0406001

## New scene-based nonuniformity correction algorithm based on Gaussian mixture model

Jia Juntao

(Luoyang Institute of Electro-Optical Equipment, Luoyang 471023, China)

**Abstract:** A new self-adaptive calibration algorithm for infrared images based on Gaussian mixed model (GMM) was put forward according to traditional temporal high-pass filter (THPF). GMM is applied in the new algorithm for background modeling, and only the pixels whose output values satisfy certain conditions can be updated to the correction coefficient, and the background is updated selectively so as to avoid the influence of the foreground target on the update of the background. The performance of the proposed algorithm was evaluated through infrared image sequences with simulated and real fixed-pattern noise, and the simulated sequences quantitative evaluation was carried out by using the peak signal noise ratio (PSNR). Results show that the PSNR of the new algorithm increases by about 9 dB compared with the THPF. The subjective qualitative evaluation was adopted for real images, the correction results in the traditional method show obvious ghosting artifact while the results of the new algorithm are in the absence of ghosting artifact.

**Key words:** nonuniformity correction; Gaussian mixture model; ghosting artifact

## 引言

由于自身材料和制造工艺水平的限制,红外探测器各探测元间响应的非均匀性较大,严重影响了成像质量,降低了系统的探测和识别距离。更为复杂的是,探测元响应参数会随时间缓慢漂移,使得无法通过单次定标的方法彻底解决非均

匀性问题<sup>[1-2]</sup>。非均匀性校正是指通过信号处理的方法将不同像元的响应特性曲线校正到同一期望输出曲线,根据真实值估计方法的不同,可分为基于定标的校正方法和基于场景的自适应校正方法<sup>[3]</sup>。基于场景的非均匀性校正算法有神经网络法、时域高通滤波法<sup>[4]</sup>、恒定统计法<sup>[5]</sup>、代数校正算

**收稿日期:**2013-12-29; **修回日期:**2014-04-18

**作者简介:**贾俊涛(1980—),男,河南洛阳人,工程师,主要从事光电系统设计研究。E-mail: icecoffeehust@163.com

法<sup>[6]</sup>、Kalman 滤波法<sup>[7]</sup>等。时域高通滤波器算法(THPF)具有计算量小、易于实现等优点,已成为新一代红外探测器中集成的标准算法<sup>[8]</sup>之一。但由于该算法参数更新的盲目性,导致其校正结果极易出现鬼影现象,限制了其应用。本文针对 THPF 存在的鬼影问题,提出了一种新的基于混合高斯模型的校正算法,新算法选择性地更新校正系数,有效地抑制了鬼影。

## 1 时域高通滤波校正算法

THPF 假设探测元的参数漂移过程是缓慢的,是时域上的低频噪声,而运动场景则对应着时域上的高频分量<sup>[4]</sup>。当场景中缺乏足够的运动时,场景和非均匀性都表现为低频分量,算法无法区分两者,因此场景被误认为是非均匀性而被学习到偏置系数中。场景中的静止目标逐渐地被更新到校正系数中,校正后目标逐渐退化直至消失。当静止目标重新开始运动时,由于校正系数的恢复需要一段时间,场景中会留下反色的鬼影。

Harris<sup>[9]</sup>等人提出了一种基于运动检测(MD-THPF)的鬼影抑制算法,该算法通过设置全局门限判断当前像元对应的场景是否发生运动,只对运动区域进行参数更新。MD-THPF 算法抑制了低频场景的干扰,能在一定程度上缓解鬼影问题,但是存在 2 个不足:一是需要更长的时间才能收敛;二是算法等效于提高了截止频率,偏置值的估计更易受到场景高频分量的影响,校正效果可能比原始算法更差。

本文基于背景建模<sup>[10]</sup>思想,利用一个混合高斯模型<sup>[11]</sup>对场景进行建模,只有在像元输出值满足一定条件的时候,才将其更新到校正系数中。校正系数的选择性更新可以有效地防止前景目标被学习到校正系数中,从而抑制了鬼影。

## 2 基于混合高斯模型的非均匀性校正算法

当红外探测器加非均匀噪声占主导,且工作场景动态范围较小时,探测元的响应可以用一个简单的线性模型描述:

$$x_{i,j}(n) = y_{i,j}(n) + o_{i,j}(n) \quad (1)$$

式中:  $x_{i,j}(n)$  为探测元的响应输出值;  $y_{i,j}(n)$  为输入的真实场景值;  $o_{i,j}(n)$  为像元响应的偏置系数。

将像元响应的偏置系数看成是背景,其不受光照条件和背景杂波的干扰,因此用单高斯模型对每个像元的偏置系数进行建模。偏置系数的漂移过程对应着高斯模型的均值变化。

当应用场景较复杂时,如机载红外搜索系统,场景可能长期偏离背景,此时偏置系数较长时间内得不到更新,因此也应对前景进行建模。当前景处于平稳状态时,前景的更新过程也应反映到背景中。算法中用 2 个高斯分布组成混合模型对前景进行建模,为简化计算假设 2 个分布的方差相同且为常量,其值可以等于背景方差,也可取经验值。选用 2 个高斯分布描述前景主要是从有效性和可实现性两方面考虑。

综上所述,算法假设探测元的响应值是由前景和背景(偏置系数)2 个分量相加而成,其中前景由 2 个高斯分布的混合模型表示,背景由单个高斯分布表示。前景建模的目的是在场景长期偏离背景时也能更新校正系数。

背景建模算法需要对背景赋初始值,常用的方法有初始定标法、光学镜头散焦法、时间平均值法和时间中值法等。

基于混合高斯模型的非均匀性校正算法(GMM-NUC)流程如下:

1) 初始化。由于校正算法是基于单个像素操作,忽略像素的空间索引值。假设背景服从单高斯分布,像元的初始均值为  $\mu_{i=0}^B$ , 标准差为全局常量  $\sigma^B$ 。初始化前景均值为  $\mu_{i,t=0}^F = 0$ , 标准差为  $\sigma^F$ , 2 个前景分布的计数值为  $cnt_{i,t=0} = 0$ , 其中  $i = 0, 1$ 。计数值表示了前景出现的次数,相当于对应分布的权重。

2) 等待新的图像帧。 $t$  时刻探测元输出值为  $X_t$ 。

3) 判断  $X_t$  是否为背景。背景的判断准则如下:

$$|X_t - \mu_{i-1}^B| \leq 3\sigma^B \quad (2)$$

如果为背景,则按如下公式对背景进行更新:

$$\begin{cases} \mu_i^B = (1-\rho)\mu_{i-1}^B + \rho X_t \\ \rho = \alpha \eta(X_t | \mu_{i-1}^B, \sigma^B) \end{cases} \quad (3)$$

式中  $\alpha$  是学习率参数,取值范围为 0~1。同时如果前景分布的计数值大于 1,则降低计数值  $cnt_{i,t} = cnt_{i,t-1} - 1$ , 随后转入流程 5)。

如果  $X_t$  不属于背景,则背景不更新  $\mu_i^B = \mu_{i-1}^B$ ,

转入流程 4)。

4) 判断  $X_t$  是否为前景。判别第  $i$  个前景的准则如下:

$$|X_t - \mu_{i,t-1}^F| \leq 3\sigma^F \quad (4)$$

如果满足条件则按如下公式对第  $i$  个前景进行更新:

$$\begin{cases} \mu_{i,t}^F = (1-\rho)\mu_{i,t-1}^F + \rho X_t \\ \rho = \alpha\eta(X_t | \mu_{i,t-1}^F, \sigma^F) \\ cnt_{i,t} = cnt_{i,t-1} + 1 \end{cases} \quad (5)$$

判断  $cnt_{i,t}$  是否大于阈值  $T$ , 如果大于则表示前景处于长时间平稳状态, 其更新过程应反映到背景中, 以跟踪探测元的漂移过程。此更新过程如下:

$$\mu_t^B = \mu_{t-1}^B + \mu_{i,t}^F - \mu_{i,t-1}^F \quad (6)$$

不满足条件的前景分布保持均值不变, 同时计数减 1。

如果  $X_t$  不属于当前任一前景分布, 判断  $cnt_{i,t}$  是否为零(为了消除个别异常值的影响, 不直接替换)。如果为零, 则用均值为  $X_t$  的高斯分布替换原有分布, 即  $\mu_{i,t}^F = X_t$ 。

5) 实时校正。每帧图像的校正结果为  $Y_t = X_t - \mu_t^B$ 。转入 2) 等待下一帧图像。

### 3 实验结果

本节通过仿真和实际的红外序列说明本文所提算法的有效性。对于已知真实值的序列采用峰值信噪比(PSNR)指标进行评价。实验中重点考察算法是否会出现鬼影和目标退化, 以及背景更新能力。为忽略算法初始值对性能的影响, 用真实的或定标的偏置系数作为背景初始值。实验中主要对比 THPF、MD-THPF、GMM-NUC 3 种算法的性能。

#### 3.1 仿真的时间序列

基于时域的非均匀性校正算法是基于单个像元的处理模式, 仿真单个像元 1 000 帧时间序列。原始序列如图 1(a) 所示, 在第 300 帧至第 500 帧期间均匀背景上叠加了一个目标, 此过程仿真了一个运动目标进入场景, 静止一段时间后离开场景的情景。探测元偏置系数的漂移过程如图 1(b) 所示, 偏置系数初始值为 10, 每帧递增 0.01。图 1(c) 是生成的探测元输出仿真序列, 该序列包含了目标、时间随机噪声(标准分布的高斯噪声)和参数漂移过程, 用于评价校正算法的鬼影抑制能力和参数更新能力。PSNR 指标用于评价校正误差, 序列期望值作为背景参考。整个序列的平均 PSNR 为 25.41。

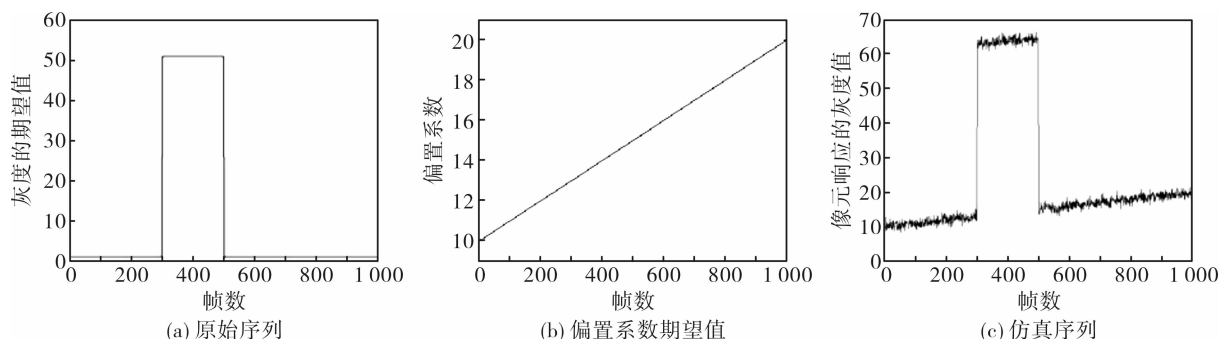


图 1 仿真的 1 000 帧序列

Fig. 1 1 000 frames sequence simulation

原始 THPF 算法的校正结果如图 2(a), 2(b) 和 2(c) 所示。滤波器的时间常数为 50。校正结果曲线中第 300 帧至 500 帧区间目标逐渐退化至完全消失, 第 500 帧过后目标已经离开场景, 但校正结果中仍存在反向的目标鬼影。整个序列 THPF 算法的平均 PSNR 为 40.67, 比未校正序列提高了 15 dB。MD-THPF 算法的校正结果如图 2(d), 2(e) 和 2(f) 所示。滤波器的时间常数为 50, 运动判决门限为 10。校正结果中没有出

现鬼影, 但校正效果不明显。整个序列校正系数只更新 2 次, 不能及时地跟踪场景的漂移过程, 收敛速度慢。校正结果平均 PSNR 为 40.99, 因为没有出现目标退化和鬼影, 其统计性能略优于 THPF 算法。

基于混合高斯模型的校正算法中背景标准差为 2, 前景标准差为 5, 前景更新的阈值  $T$  为 10, 学习率参数为 1。GMM-NUC 算法的校正结果如图 2(g), 2(h) 和 2(i) 所示。校正结果接近于期望

值,没有出现鬼影。算法中背景始终跟随着参数的漂移,背景学习能力较强。整个序列算法均取

得了较好的性能,平均 PSNR 为 49.59,比原始未校正序列提高了 24 dB。

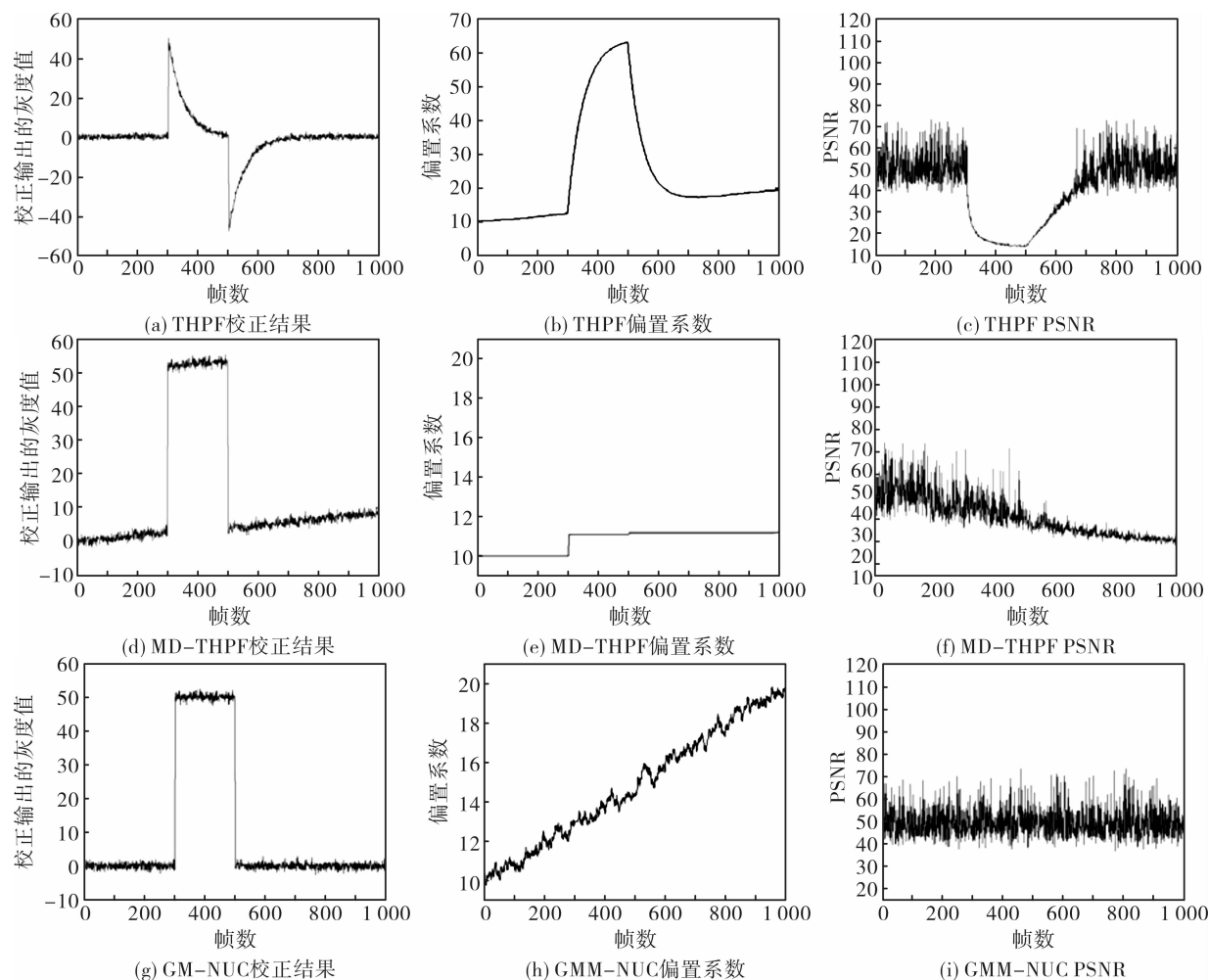


图2 不同校正算法性能曲线

Fig. 2 Performance curves of different correction algorithms

### 3.2 线列探测器红外序列

图3是采集的一帧红外线列探测器输出的原始图像,探测器的扫描方向为从左向右。原始图像的大小为600像素×480像素。



图3 线列探测器原始输出图像

Fig. 3 Original image output by linear array detector

探测器输出的原始图像受时域噪声的影响较大,图4给出了图像第170行和第440行的响应输出,两行均对应纯背景。第170行图像的最大最小

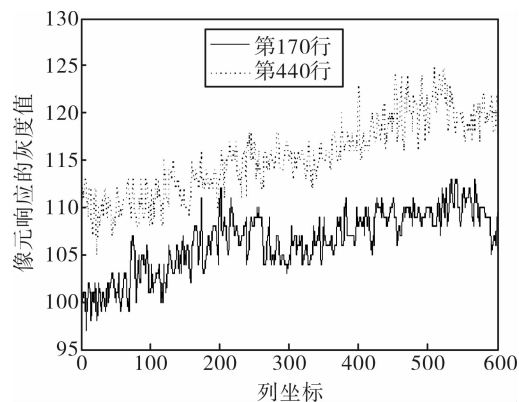


图4 线列探测器行响应输出

Fig. 4 Line response output by linear detector

响应差值为 16,标准差为 3.2。第 440 行的最大差值为 20,标准差为 4.1。由于探测元参数的漂移幅度较大,基于定标的单点校正算法无法取得较好的校正效果。

对图像每行前 20 列求均值,将其作为偏置系数的初始定标值。图 5 给出了相应的实验结果。由于探测元的漂移幅度较大,单次定标的算法无法彻底抑制非均匀性噪声。单点校正结果仍存在明显的横条纹。THPF 算法中时间常数为 50,算法有效地抑制了原图中的横条纹。但由于 THPF 算法无选择性地更新背景,场景中的亮目标存在严重拖尾,即鬼影。MD-THPF 算法中时间常数也为 50,运动判决门限为 10。校正结果中没有出现拖尾现象,但由于场景中运动目标较少,算法校正效果不明显。GMM-NUC 算法中前景和背景的标准差均为 5,前景更新的门限  $T$  为 10,学习率参数为 0.5。由于算法对背景有选择性地更新,既跟踪了背景的漂移过程,又没有把前景亮目标学习到背景中。从实验结果也可看出,基于混合高斯模型的校正算法有效消除了横条纹(非均匀性),同时又没有出现目标退化和鬼影。

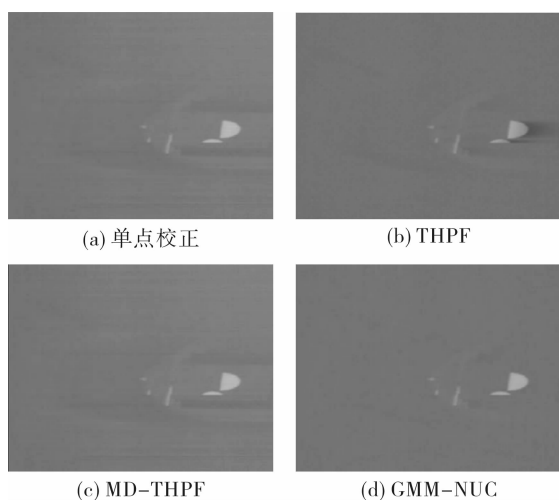


图 5 校正结果比较图

Fig. 5 Comparison chart of correction results

### 3.3 焦平面探测器红外序列

红外序列来源于一个长波制冷型焦平面阵列探测器,图像分辨率为 320 像素 $\times$ 240 像素,有效数据宽度为 14 位,序列长度为 2 000 帧。序列中的场景为背景固定,人随机运动。序列的前 100 帧镜头散焦,将其时间均值作为校正算法偏置系数的初始值。

图 6 和图 7 分别给出了序列第 900 帧和第

1 400 帧的校正结果。THPF 和 MD-THPF 算法均存在着目标退化和鬼影现象,严重影响了成像质量。基于混合高斯模型的改进算法较好地解决了参数更新问题,避免了鬼影的出现。

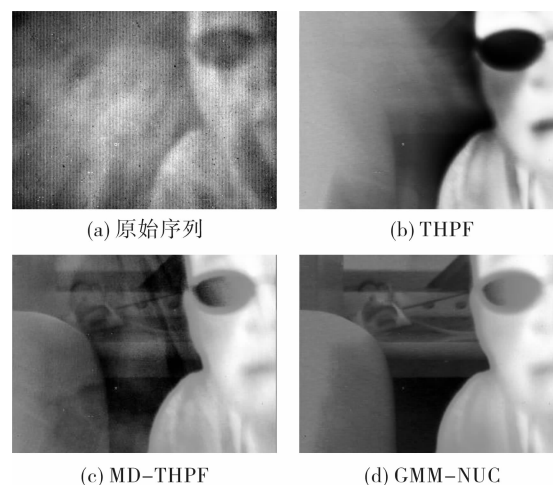


图 6 序列第 900 帧校正结果

Fig. 6 Correction results of the 900th frame sequence

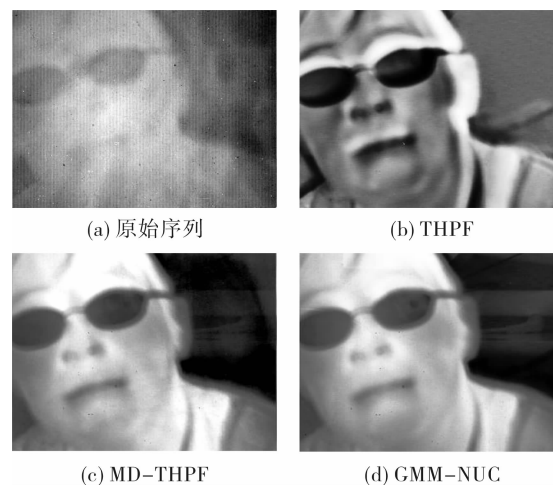


图 7 序列第 1 400 帧校正结果

Fig. 7 Correction results of the 1 400th frame sequence

## 4 结语

传统时域高通滤波算法将非均匀性看成是时间上的低频噪声,通过时域高通滤波器对其进行校正。目标退化和鬼影问题严重影响了算法的性能。本文所提出的基于混合高斯模型的校正算法是一种有选择性的背景更新算法,排除了前景对背景更新的影响。当前景长时间静止时,算法能有效地响应探测元偏置系数的漂移过程。基于混合高斯模型的校正算法既考虑了灰度值本身,又考虑了灰度值的时间差值对参数更新的影响,因

此能够更加有效地抑制参数的漂移过程。

#### 参考文献:

- [1] Chang Benkang, Cai Yi. Infrared imaging array and system[M]. Beijing: Science Press, 2006.  
常本康, 蔡毅. 红外成像阵列与系统[M]. 北京: 科学出版社, 2006.
- [2] Cheng Yao, Wang Yuhua, Yuan Xianghui. Nonuniformity correction experiment system of pyroelectric IRFPA[J]. Journal of Applied Optics, 2014, 35(1): 106-110.  
程瑶, 王玉茜, 袁祥辉. 热释电 IRFPA 非均匀性校正实验系统研究[J]. 应用光学, 2014, 35(1): 106-110.
- [3] Dong Liqun, Jin Weiqi, Sui Jing. Summarize on the scene-based nonuniformity correction algorithms for IRFPA[C]. USA: SPIE, 2005.
- [4] Scribner D, Sarkady K, Kruer M, et al. Adaptive retina-like preprocessing for image detector arrays [J]. IEEE Conference on Neural Network, 1993, 3: 1955-1960.
- [5] Harris J G, Chiang Y M. Nonuniformity correction of infrared image sequences using the constant-statistics constraint[J]. IEEE Transactions on Image Processing, 1999, 8(8): 1148-1151.
- [6] He Ming, Wang Xinsai, Lu Jianfang, et al. New algebraic scene-based non-uniformity correction in infrared focal plane array[J]. Journal of Applied Optics, 2011, 32(6): 1217-1221.  
贺明, 王新赛, 路建方, 等. 一种新的红外焦平面阵列非均匀性代数校正算法[J]. 应用光学, 2011, 32(6): 1217-1221.
- [7] Torres S N, Hayat M M. Kalman filtering for adaptive nonuniformity correction in infrared focal-plane arrays[J]. Journal of the Optical Society of America, 2003, 20(3): 470-480.
- [8] Oelmaier W R. Third gen focal plane array IR detection modules at AIM[J]. Infrared Physics & Technology, 2002, 43: 257-263.
- [9] Harris J G, Chiang Y M. Minimizing the ghosting artifact in scene-based nonuniformity correction [J]. SPIE, 1998, 3377: 106-113.
- [10] Power P W, Schoonees J A. Understanding background mixture models for foreground segmentation [C]. Australia: Proceedings of Image and Vision Computing, 2002.
- [11] Cucchiara R, Grana C, Piccardi M, et al. Detecting moving objects, ghosts, and shadows in video streams[J]. IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2003, 25(10): 1337-1342.