

# 基于场景的自适应红外焦平面非均匀校正技术

朱红<sup>1</sup>, 徐田华<sup>1</sup>, 陈辉<sup>2</sup>, 赵亦工<sup>1</sup>

(1. 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; 2. 西安卫星测控中心, 陕西 西安 710043)

**摘要:**为提高基于场景的自适应算法性能,根据图像非线性滤波理论,提出采用中值滤波进行图像前处理的自适应红外焦平面校正技术。该算法经过仿真图像序列和实际图像测试,达到较高的非均匀校正水平,降低了固定图案噪声,保护了图像细节。同时算法具有计算复杂度低,可以有效获得随帧数变化的探测器增益和偏置参数。

**关键词:**红外焦平面;非均匀校正;中值滤波

**中图分类号:** TN215      **文献标识码:** A      **文章编号:** 1009-3516(2006)01-0046-03

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。但由于制造工艺的限制,探测器阵列的各个单元响应度不一致,产生了叠加在输出图像上的固定图案噪声(Fixed Pattern Noise, FPN),降低了成像系统的性能。

目前,大量的非均匀校正技术见于各种文献。总起来说,可以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<sup>[1]</sup>,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。

Scribner等<sup>[2]</sup>提出基于场景的高通滤波算法,Harris等<sup>[3]</sup>提出恒定统计(constant statistics)算法,Sergio N. Torres等提出了基于卡尔曼(Kalman)滤波的自适应非均匀校正算法<sup>[4]</sup>,Majeed M. Hayat, Sergio N. Torres, Ernest Armstrong等提出红外焦平面非均匀校正的统计算法(statistical algorithm)<sup>[5]</sup>和Bradley M. Ratliff, Majeed M. Hayat, Russell C. Hardie提出基于场景的代数校正算法(Algebraic Scene - Based Nonuniformity Correction)<sup>[6]</sup>。但上述算法都基于如下假设,即在一定的连续图像帧中,红外焦平面探测单元响应参数保持恒定。此假设导致算法的性能受到探测单元参数随时间漂移的影响。为此,Scriber D. A提出基于神经网络的自适应非均匀校正算法<sup>[7]</sup>,通过线性神经元建立焦平面探测单元响应的逆模型,利用最速下降法(LMS)实现探测单元增益和偏置参数的求解。算法在较低水平的固定图案噪声下具有较好的效果,随着噪声水平的增加,算法性能下降较快,并且出现较为明显斑点噪声(Speckle noise)。本文针对上述问题给出算法的改进,增加了基于中值滤波的图像预处理,有效降低了由于探测单元的“盲元”或拖尾噪声中的野值(Outlier)对算法性能的影响。

## 1 算法原理简述

整个算法结构分为两部分:

1) 输入噪声图像预处理。噪声图像  $X = [x_1, x_2, \dots, x_n]^T$  经预处理(这里采用中值滤波),将图像中“盲元”或拖尾噪声中的野值去除,同时,利用中值滤波对高斯白噪声的压缩作用,降低噪声图像中高斯白噪声的方差,提供给后续自适应算法低噪声的污染图像;

2) 基于场景的自适应非均匀校正算法。算法采用探测单元线性响应模型:

收稿日期:2005-04-15

基金项目:国家自然科学基金资助项目(6057215)

作者简介:朱红(1966-),女,内蒙古包头人,副教授,主要从事图像处理、自动控制等研究。

$$X_i^k = a_i^k Y^k(i) + b_i^k \quad (1)$$

其中: $k$  代表第  $k$  帧图像; $i$  为图像中的像素位置; $a_i^k, b_i^k$  为第  $i$  个探测单元增益和偏置参数; $Y^k(i)$  为第  $i$  个探测单元接收的光辐射; $X^k(i)$  为探测单元的输出。自适应算法利用式(1)得:

$$Y_i^k = g_i^k * X^k(i) + O_i^k \quad (2)$$

这里:

$$g_i^k = \frac{1}{a_i^k} \quad O_i^k = -\frac{b_i^k}{a_i^k} \quad (3)$$

算法利用局部均值作为像素的期望值  $T_i^k$ , 这样, 通过优化如下目标方程:

$$\arg \min_{g_i^k, O_i^k, i, j \in [1, M]} E^k = \sum_i (Y_i^k - T_i^k) \quad (4)$$

得自适应算法:

$$\begin{aligned} g_i^{k+1} &= g_i^k - u * E_i^k * X^k(i) \\ O_i^{k+1} &= O_i^k - u * E_i^k \end{aligned} \quad (5)$$

上式中,  $E_i^k = T_i^k - X^k(i)$ ,  $u$  为 LMS 算法的步长。

## 2 算法仿真结果的分析

### 2.1 仿真数据的产生

本文中, 利用已有的序列图像, 通过加入模拟的固定图案噪声参数, 形成仿真数据。这里的图像尺寸为  $250 \times 120$ , 所用的图像序列共 500 帧, 乘性增益  $a^k$  为均值 1, 标准方差 0.1 的高斯白噪声, 加性偏置  $b^k$  均值为 0, 标准差 15 的高斯白噪声。

### 2.2 仿真结果的评价指标

为了定量度量校正效果, 这里采用峰值信噪比 (Peak Signal to Noise, PSNR) 来度量算法的性能。其定义如下:

$$\text{PSNR} = 20 \lg \frac{2^b}{\sqrt{\frac{1}{MN} \sum_{ij} (I_{ij} - \hat{I}_{ij})^2}} \quad (6)$$

其中,  $MN$  为图像尺寸,  $I_{ij}, \hat{I}_{ij}$  表示真实图像像素灰度及其估计。 $b$  为图像像素灰度的位数, 这里  $b = 8$ 。

### 2.3 算法的仿真结果

1) 中值滤波窗口尺寸的选择。首先, 测试中值滤波窗口尺寸对算法性能的影响。为此, 将 LMS 步长固定为  $u = 1 \times 10^{-5}$ 。考虑到算法的运算量和图像细节的保留, 窗口尺寸选择为  $3 \times 3, 5 \times 5$ , 选取序列图像中的第 150 帧图像, 结果见图 1。图 1(a) 为无噪声污染的原始图像, 图 1(b) 为固定图案噪声污染的图像, 图 1(c) 为  $3 \times 3$  窗口处理后的结果, 图 1(d) 为  $5 \times 5$  窗口处理后的结果。从图中可以看出,  $5 \times 5$  窗口的处理性能明显优于  $3 \times 3$  窗口的结果, 但随着窗口尺寸的增大, 图像细节变的模糊, 同时考虑计算复杂度和图像细节的保留及图像的 PSNR 指标, 以下算法处理中, 窗口尺寸均选择  $5 \times 5$ 。

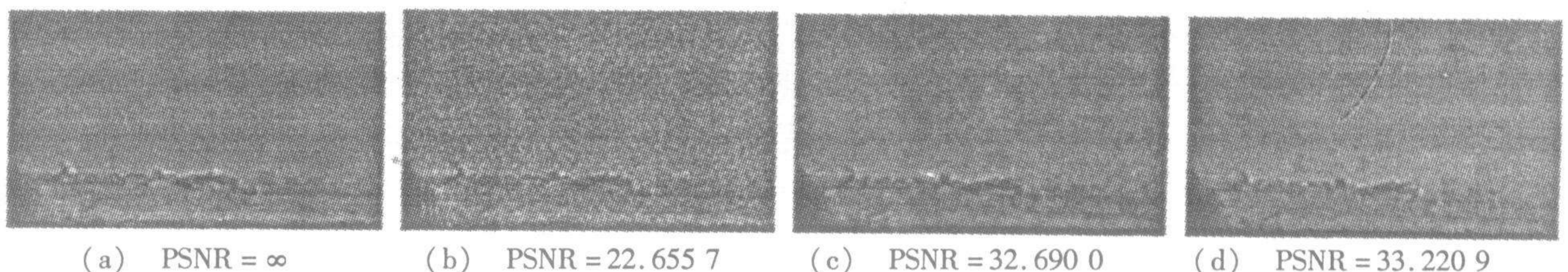


图 1 窗口尺寸对算法性能的影响

2) 算法性能仿真结果对比。为了进一步研究提出算法的性能, 下面给出与 Scriber D. A 提出的自适应算法和 Sergio N. Torres 提出的可变学习速率的自适应算法<sup>[8]</sup>的对比试验。

图2中,Median33,Median55 分别表示图像预处理中加入 $3 \times 3$ 和 $5 \times 5$ 窗口的处理结果,Normal为Scriber D. A提出的自适应算法处理结果,VaryRate为Sergio N. Torres提出的可变学习速率的自适应算法处理结果。从上图可以看出,加入中值滤波预处理的自适应校正算法性能优于Scriber D. A提出的自适应算法,大约平均提高2 dB,这主要由于预处理为后续的自适应算法提供了较高信噪比的图像。同时,图2表明, $5 \times 5$ 的窗口尺寸对应的PSNR高于 $3 \times 3$ 窗口的处理结果,因为前者对高斯白噪声具有更高的抑制能力。Sergio N. Torres提出的可变学习速率的自适应算法随着帧数的增加,PSNR指标逐渐下降,主要由于较强噪声图像导致计算出的可变步长偏离真值,导致探测单元的增益和偏值参数估计出现误差,从而算法性能下降。

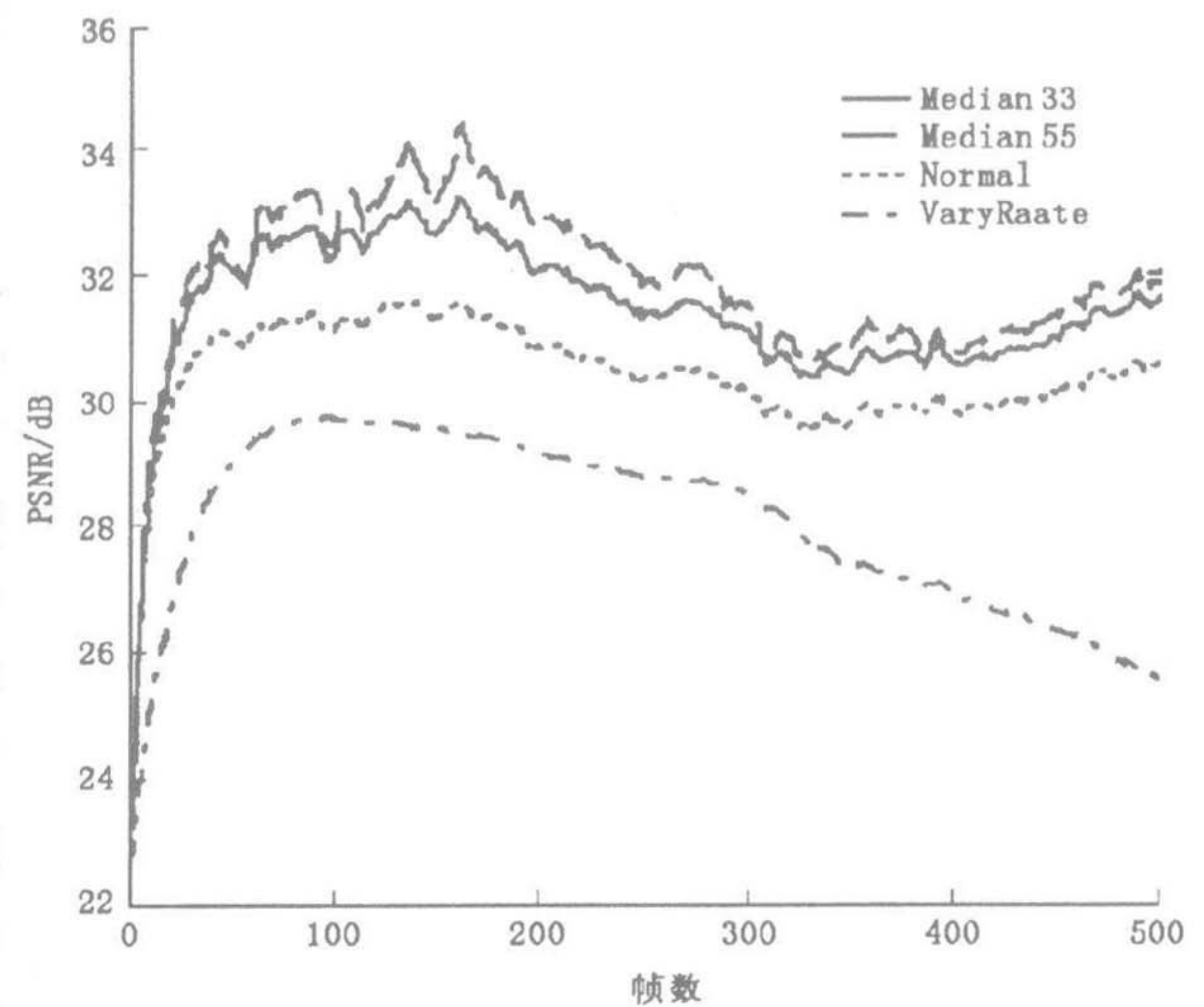
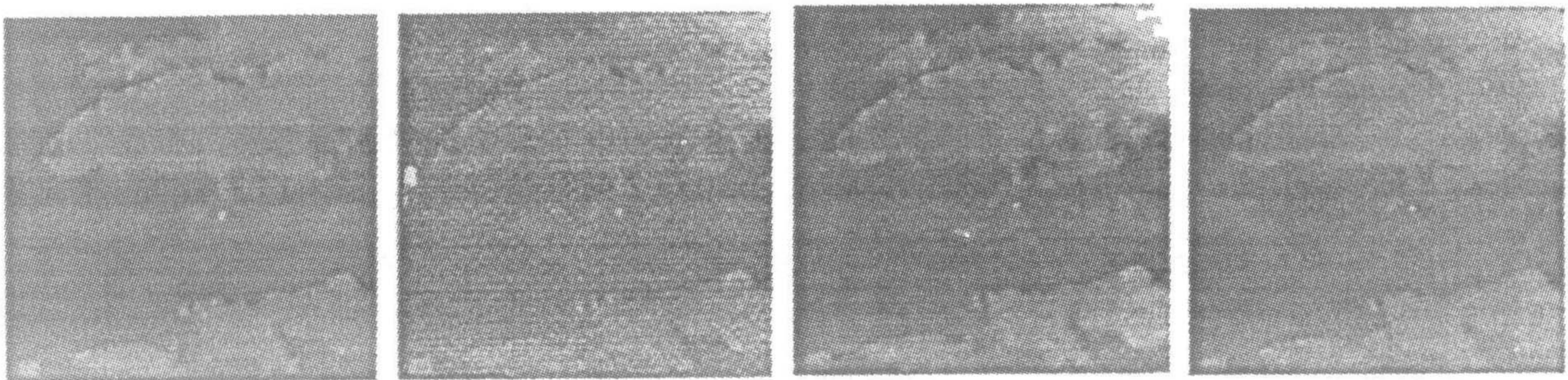


图2 不同算法的PSNR试验对比

3)实际噪声数据的处理结果。为验证算法对实际红外图像序列的处理性能,并给出对应的PSNR指标,利用Saab Bofors Dynamics的多谱测量系统(Multispectral Measurement System, MSM)对图像序列叠加的固定图案噪声,产生代表实际焦平面图像序列数据,采用文中提出的预处理自适应算法,对序列图像进行处理。图3为序列中的第200帧图像的处理结果,其中,图3(a)代表无污染图像,图3(b)为固定图案噪声污染的图像,图3(c)为Scriber D. A提出算法的处理结果,图3(d)为文中提出算法的处理结果。从视觉效果上可以看出,加入预处理的自适应算法具有较强的去除固定图案噪声能力,同时,中值滤波处理的非线性,有效保护图像细节。从图像处理的PSNR指标上,本文的算法优于Scriber D. A提出的算法。



(a) PSNR =  $\infty$

(b) PSNR = 22.266 1

(c) PSNR = 23.815 9

(d) PSNR = 24.075 2

图3 不同算法对实际数据处理对比结果

### 3 结束语

本文中,提出以中值滤波作为图像预处理的自适应红外焦平面非均匀校正算法,通过对仿真数据和实际红外数据的测试,本文提出的算法降低叠加在图像序列上的固定图案噪声,有效提高算法的非均匀校正算法性能。加快算法的收敛性和稳定性,寻求性能更为良好的非线性滤波算法是下一步研究的方向。

#### 参考文献:

- [1] Milton A F, Barone F R, Kruer M R. Influence of Nonuniformity on Infrared Focal Plane Array Performance [J]. Opt. Eng, 1985, 24: 855 - 862.
- [2] Scribner D A, Sarkay K A, Calfield J T, et al. Nonuniformity Correction for Staring Focal Plane Arrays Using Scene - Based Techniques [A]. Proc. SPIE [C]. 1990. 224 - 233.
- [3] Harris J G, Chiang Y M. Nonuniformity Correction Using Constant Average Statistics Constraint: Analogue and Digital Implementations [A]. Proc. SPIE [C]. 1997. 895 - 905.

(下转第52页)