

基于自适应滤波的焦平面非均匀校正法的研究

何志彪 易新建 黄光

(华中理工大学光电工程系, 湖北, 武汉, 430074)

TN215

摘要 根据最小二乘原理和回归模型设计出消除噪声的自适应滤波器, 以消除图像的噪声, 提出采用基于多项式的红外焦平面非均匀校正方法, 讨论分析了实现该方法的算法, 最后对图像校正效果进行了分析。

关键词 红外焦平面, 微测辐射热计, 自适应滤波器, 非均匀校正。

THE RESEARCH ON NONUNIFORMITY CORRECTION OF MICROBOLOMETER IR FOCAL PLANE BASED ON ADAPTIVE FILTER

HE Zhi-Biao YI Xin-Jian HUANG Guang

(Optoelectronic Engineering Department of Huazhong University of Science and Technology, Wuhan, Hubei, 430074)

Abstract An adaptive filter is designed in the paper to remove the noise of an image in terms of the principle of least squares and regression model. A method is presented for nonuniformity correction of IR focal plane arrays based on polynomial. The algorithm for the implementation is discussed. Finally effects of correcting image are given.

Key words infrared focal plane, microbolometer, adaptive filter, nonuniformity correction.

引言

硅微测辐射热计红外焦平面阵列^[1~3]为第二代非致冷热像系统的核心, 它的研制成功标志着红外成像系统跃上新台阶。硅微测辐射热计红外焦平面阵列性能决定了成像系统的像质, 而响应均匀性是衡量焦平面阵列质量的重要指标之一, 这是由于工艺和工作偏置等的不同, 使得焦平面阵列的各个光敏元的光响应度不完全相同, 导致系统的红外成像带有固定的图形噪声, 降低了系统的温度分辨率。

目前对红外焦平面阵列的非均匀性通过软件或硬件进行校正的方法有很多, 它们充分地考虑了光敏元的线性或非线性特征, 实现了红外图像的固定的图形噪声的消除。但这些方法过多考虑固定的图形噪声而忽略其它噪声的影响, 因而未能充分地保证红外成像像质。红外图像像质除受焦平面阵列的非均匀性带来的固定的图形噪声的影响外, 还受各种噪声的干扰, 为达到焦平面阵列的非均匀性校正较好的效果, 有必要首先消除其它各种噪声。目前滤出噪声的方法分成两类: 一类是全局处理: 它必须知道统计模型, 该方法包括 Wiener 滤波、Kalman 滤波等方法; 另一类为采

用局部算子, 如中值滤波、梯度倒数加权滤波等典型算法。但上述方法处理的结果会使图像效果变模糊。为解决这一矛盾, 本文利用局部统计处理技术选取一含信息较多的区域作自适应滤波, 得到其特征图像, 再根据该特征图像采用最小二乘技术和回归模型设计出自适应滤波器消除噪声, 然后用基于多项式拟和的非均匀性校正算法完成对硅微测辐射热计红外焦平面阵列的非均匀性校正工作。

1 基本原理

设原始图像函数 $s(x, y)$ 经成像系统 $h(x, y)$ 后生成的图像为 $f(x, y)$, 其中噪声为 $n(x, y)$, 它是加性的且均值为零, 有

$$f(x, y) = s(x, y) * h(x, y) + n(x, y). \quad (1)$$

它的离散化形式为

$$f(x, y) = \sum_{m=0}^{M-1} \sum_{n=0}^{N-1} s(m, n) h(x-m, y-n) + n(x, y). \quad (2)$$

据式(1)得焦平面的均匀性校正流程为图一所示。如果图像信号中混有乘性噪声信号, 那么可通过同态变换



图 1 图像非均匀性校正流程

Fig. 1 Flow graph of image nonuniformity correction

进行加性解将信号与噪声分开,因此式(1)具有普通意义。

1.1 最小二乘原理和回归模型

最小二乘法是以实测值与理论值之差的平方乘以度量其精度的数值所得乘积的最小值。图像的回归模型可表示为

$$y(m) = C_1(m)\varphi_1 + C_2(m)\varphi_2 + \dots + C_n(m)\varphi_n = C^T(m)\varphi \quad (3)$$

其中 $y(m)$ 为观测值, φ 为未知变量, $C(m)$ 为已知函数, m 为图像的一个像素, T 为矩阵转置符号。这样测量值与理论值的误差为 $e(j) = y(j) - C^T(j)\varphi$, 其最小二乘误差为

$$E(\varphi, m) = \frac{1}{2} \sum_{j=1}^m (y(j) - C^T(j)\varphi)^2 \quad (4)$$

由最小二乘估计式(4)的解,使损失函数值最小参数 φ , 它满足

$$\varphi^T \varphi \varphi = \varphi^T Y \quad (5)$$

当 $\varphi^T \varphi$ 为非奇值时, φ 的最小值是唯一的, 即

$$\varphi = (\varphi^T \varphi)^{-1} \varphi^T Y \quad (6)$$

1.2 自适应滤波消除噪声

系统在成像过程中受到各种因素的干扰会添加各种噪声, 为了对红外焦平面的非均匀性进行校正, 有必要首先清除这些噪声对图像像质的影响。由图像的局部统计性质, 图像某一局部区域内的像素与其邻近的像素相关, 该点去噪后的图像可由其邻近区域内的像素恢复。设对以某一像素为中心的矩形 $a \times a$ 窗口进行滤波处理, 得到去噪图像为

$$g(i, j) = \frac{1}{L} \sum_{m=-L}^L \frac{1}{L} \sum_{n=-L}^L \varphi(m+L+1, n+L+1) r(m+i, n+j), \quad (7)$$

式中 L 为矩形窗口半宽度, $\varphi(m, n)$ 为待求因子。

为求 φ , 选取一块有较多信息的区域为特征区域 TS, 先对其进行自适应滤波处理, 得到该区域的理想图像 $W(i, j)$, 具体方法如下。

(1) 计算局部均值和方差:

$$avg(i, j) = \frac{1}{4L^2} \sum_{m=-L}^L \sum_{n=-L}^L r(m+i, n+j), \quad (8)$$

$$\sigma(i, j) = \frac{1}{L} \sum_{m=-L}^L \frac{1}{L} \sum_{n=-L}^L [r(m+i, n+j) - avg(i, j)]^2 \quad (9)$$

(2) 由最小二乘法求理想图像:

$$W(i, j) = avg(i, j) + \frac{\sigma(i, j) - \sigma_n^2}{\sigma(i, j)} \times [r(i, j)] - avg(i, j) \quad (10)$$

式(10)中 σ_n^2 为噪声方差:

如果定义误差函数为

$$E(\varphi) = \sum_{(i,j) \in TS} C(i, j) [W(i, j) - \sum_{m=1}^{K^2} \varphi_m r_m(i, j)]^2, \quad (11)$$

由最小二乘法将 $E(\varphi)$ 求偏导并令 $\frac{\partial E(\varphi)}{\partial \varphi_m} = 0$, 得

$$\sum_{m=1}^{K^2} \varphi_m \sum_{(i,j) \in TS} C(i, j) r_m(i, j) r_n(i, j) = \sum_{(i,j) \in TS} C(i, j) W(i, j) r_m(i, j). \quad (12)$$

式(12)为多项式表达式, $C(i, j)$ 为加权因子, 如果其系数矩阵非零, 则可求解参数 φ , 即可得滤除噪声后的图像。

1.3 焦平面非均匀性校正算法

焦平面非均匀性校正的实质是使其各个单元的信号与整个焦平面单元的平均响应的关系用一个校正函数来表达。一般校正的方法有两点或多点校正算法, 它们的缺点是在应用中需要使用的校正参数较多且需分段校正, 本文为克服上述算法的缺点, 采用一种基于多项式拟和的非均匀性校正算法^[4], 其基本思想为: 将每个焦平面的输出响应信号 V_j 与整个焦平面所有单元对同样目标的平均响应信号 \bar{V}_j 的差 ΔV_j 用 V_j 的多项式拟和, 即

$$\Delta V_j = V_j - \bar{V}_j \approx \sum_{i=0}^n a_i V_j^i, \quad (j = 1, 2, \dots, N) \quad (13)$$

式(13)中 i 为校正阶次, 拟和系数 a_i 可根据对焦平面单元探测温度范围内多点的实测数据得到, 由此得到的校正公式为

$$V_j^i = V_j - \sum_{i=0}^n a_i V_j^i, \quad (j = 1, 2, \dots, N) \quad (14)$$

该算法能从根本上避免传统算法的缺点, 对于高低次校正阶次很容易用软件或硬件实现。

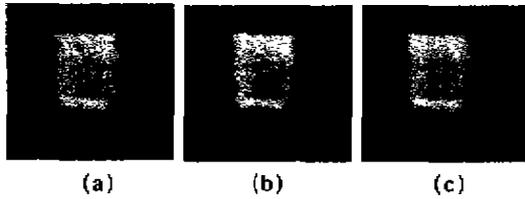


图2 实验图像

(a)噪声图像,(b)去噪图像,(c)校正图像

Fig. 2 Experimental images,

(a) image with noise, (b) image with no noise

(c) image with nonuniformity correction

2 分析与讨论

根据上述分析我们利用像元为 320×240 硅微测辐射热红外摄像仪对灰度等级为 $0 \sim 255$ 的茶杯的热图像进行了系列实验,如图2所示.图2(a)为带有噪声的茶杯的热图像,(b)为利用自适应滤波器滤除噪声后的图像,(c)为采用多项式拟和的非均匀性校正算法处理后的清晰热图.由图像的处理过程可见,本文所

采用的滤波方法能有效的分离噪声,焦平面的校正算法能充分实现焦平面的非均匀性校正,同时该方法也可通过硬件实现,因此使用本文所提的滤波和校正算法可明显地改善红外成像系统的性能.

REFERENCES

- [1] Robert J Herring, Philip E Howard. Design and performance of the ultra 320×240 uncooled focal plane array and sensor, *SPIE*, 1996, **2746**:2-12
- [2] Buller N, Blackwell R, Murphy R, *et al.* Low cost uncooled microbolometer imaging system for dual use, *SPIE*, 1995, **2552**:583-591
- [3] Paul Rv kruse. Uncooled IR focal plane arrays, *SPIE*, 1995, **2552**:556-563
- [4] WANG Rui-Zhong, CHEN Pei-Yi, QIANG Pei-Xing, *et al.* Improved and easily achieved nonuniformity correction algorithm for infrared focal plane arrays, *Chinese Journal of Semiconductors* (王瑞忠,陈培毅,钱佩信,等.一种改进的便于实现的红外焦平面阵列不均匀性校正算法,半导体学报), 1997, **18**(12):916-920