

## 点扩散函数高斯拟合估计与遥感图像恢复

杨利红<sup>1,2</sup>, 赵变红<sup>1,2</sup>, 张星祥<sup>1</sup>, 任建岳<sup>1\*</sup>

(1. 中国科学院 长春光学精密机械与物理研究所, 吉林 长春 130033;

2. 中国科学院 研究生院, 北京 100039)

**摘要:** 为了减轻或消除航天遥感相机成像过程中图像退化造成的模糊, 突出图像的特征目标, 对获取的图像进行了恢复处理。首先, 采用陷波滤波器在频率域对遥感图像进行了去噪预处理。然后, 通过图像中具有刀刃边缘的地物估计成像系统的退化函数, 即点扩散函数; 同时, 利用高斯拟合对估计的点扩散函数进行校正。最后, 利用拟合后的点扩散函数, 采用自适应维纳滤波对图像进行恢复。实验结果表明: 陷波滤波器基本消除了图像中叠加的条带噪声。与原图相比, 细节图像恢复后其方差增大 4.395, 灰度平均梯度增大 1.799, Laplacian 梯度增大 10.014, 图像目视效果更清晰。高斯拟合的点扩散函数用于遥感图像恢复, 减轻了图像模糊, 使图像细节突出, 纹理清晰, 利于图像的判读和分析。

**关键词:** 遥感图像; 图像恢复; 点扩散函数; 高斯拟合; 刀刃法

**中图分类号:** TP391.41; TP751.2 **文献标识码:** A **doi:** 10.3788/CO.20120502.0181

## Gaussian fitted estimation of point spread function and remote sensing image restoration

YANG Li-hong<sup>1,2</sup>, ZHAO Bian-hong<sup>1,2</sup>, ZHANG Xing-xiang<sup>1</sup>, REN Jian-yue<sup>1\*</sup>

(1. *Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics,*  
*Chinese Academy of Sciences, Changchun 130033, China;*

2. *Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China)*

\* *Corresponding author, E-mail: renjy@ciomp.ac.cn*

**Abstract:** In order to reduce or eliminate the image blur caused by the degradation in imaging process of a space remote sensing camera, the acquired images were restored to enhance the characteristic objects of images. First, a frequency-domain notch filter was adopted to remove noises in the remote sensing images. Then, the degradation function, namely, Point Spread Function (PSF) of the imaging system was estimated by ground characters with the knife-edge shape, and the estimated PSF was corrected with Gaussian fitting. Finally, the images were restored by using adaptive Wiener filtering with the fitted PSF. Experimental results show that almost all strip noises in the image are eliminated. After the denoised image is restored, its variance and gray mean gradient increase by 4.395 and 1.799, respectively, and also Laplacian gradient increases by 10.014.

收稿日期: 2011-11-21; 修订日期: 2012-01-23

基金项目: 国家 863 高技术研究发展计划资助项目 (No. 863-2-5-1-13B)

Experiments demonstrate that the restoration with Gaussian fitted PSF is beneficial to interpreting and analyzing the remote sensing images. After restoration, the blur phenomenon of the images is reduced, the characters are highlighted, and the visual effects of the images are clearer.

**Key words:** remote sensing image; image restoration; Point Spread Function (PSF); Gaussian fitting; knife-edge method

## 1 引言

图像恢复的目的是从被退化函数模糊和被噪声污染的图像中尽可能地恢复出真实的场景。经典的图像恢复方法有维纳滤波、约束最小二乘法滤波、Lucy-Richardson 算法等,这些方法均需要知道退化函数的类型和参数才能取得一定的恢复效果<sup>[1-3]</sup>。由于航天遥感相机运行的空间环境特殊,图像获取的大气条件多变,因此,往往无法获得准确的退化函数,只能利用成像系统的参数或获取的图像对系统退化函数进行辨识,然后,根据估计出的退化函数,选择合适的算法对图像进行恢复。

随着航天科技的发展,遥感图像恢复取得了许多成果,退化函数估计是其中的一个重要研究方向。航天遥感相机成像过程中的退化函数为点扩散函数(PSF),PSF 傅里叶变换的归一化模值为调制传递函数(MTF)。顾行发等人提出了模拟理想靶标检测卫星在轨 MTF,根据 45°方向的 MTF 数据建立插值二维 MTF 矩阵来对图像进行恢复<sup>[4]</sup>,此方法需要人工铺设模拟点光源的靶标,适用性不强;陈强等人利用实验室测定的相机系统 MTF 值来近似遥感图像的 MTF 值,利用指数调节 MTF 曲线来进行图像恢复<sup>[5]</sup>,忽略了卫星实际运行环境和成像条件对 MTF 的影响;张朋等人利用系统模型法估计 MTF,此种方法没有考虑大气的影响,适用于获取的图像没有特征地物的情况。上述方法通过估算 MTF 在频域内对遥感图像进行恢复,需要将 MTF 对应的成像系统的空间频率转换为傅里叶频率,目前还没有定论,使用受到一定的限制。

本文直接利用图像中的特征地物估计成像系统的 PSF,通过高斯拟合对 PSF 进行调整,使之更

符合实际成像系统的情况。以拟合后的 PSF 作为参数,使用自适应维纳滤波进行图像恢复。在图像恢复前,先进行去噪预处理,去除遥感图像上的周期条带噪声,增强图像恢复的效果。

## 2 图像退化与恢复

### 2.1 图像退化模型

图像的退化过程可以被模型化为一个退化函数和一个加性噪声项。原始地物的图像经过成像系统和大气发生了退化,在图像的获取和传输过程中又引入了大量噪声,从而使最终获得的图像是降质的图像,存在着不同程度的模糊。

若退化函数是线性空间不变的,则图像退化过程在空间域可表示为原图像  $f(x, y)$  和退化函数  $h(x, y)$  的卷积并叠加噪声  $n(x, y)$ ,形成退化图像  $g(x, y)$ ,具体形式为:

$$g(x, y) = f(x, y) \cdot h(x, y) + n(x, y). \quad (1)$$

由卷积定理可知,空间域两个函数的卷积在频率域中表示为它们傅里叶变换的乘积,因此,退化过程可在频域表示为:

$$G(u, v) = F(u, v)H(u, v) + N(u, v), \quad (2)$$

式中: $F(u, v)$ ,  $H(u, v)$ ,  $N(u, v)$ ,  $G(u, v)$  分别为  $f(x, y)$ ,  $h(x, y)$ ,  $n(x, y)$ ,  $g(x, y)$  的二维傅里叶变换。

### 2.2 图像恢复理论

图像恢复用于减轻或消除图像获取过程中发生的退化。如果知道退化函数和噪声的相关知识,即可以采用与退化相反的过程恢复退化图像,包括去噪和去卷积两个过程。在频率域中可表示为:

$$F(u, v) = \frac{G(u, v) - N(u, v)}{H(u, v)}. \quad (3)$$

噪声是一个随机分量,很难确切估计,图像恢复会放大图像中的噪声,因此,图像恢复要去除噪声,消除噪声对它的副作用。去噪既可以在空间域也可以在频率域中进行。常用的方法是根据噪声的特点,选择合适的滤波器滤除噪声。卷积运算在频率域可转换为乘法运算,其逆运算在频域中为除法运算,因此,去卷积通常在频域中进行。最后,对得到的结果  $F(u,v)$  进行傅里叶反变换即可得到恢复图像。

### 3 遥感图像恢复

#### 3.1 去噪预处理

图像恢复主要是提升图像的高频部分,增强图像的边缘细节,而噪声在图像中也表现为高频成分,恢复图像的同时会使噪声增大。因此,在图

像恢复之前进行去噪处理,可以避免噪声放大淹没图像细节。时间延迟积分(TDI) CCD 相机图像附加的噪声主要是条带噪声,表现为图像中灰度变化缓慢的明暗相间竖条纹分布。本文的图像恢复在频域中进行,因此,选择在频域进行图像去噪处理。对图像进行傅里叶变换时,条带噪声在频谱图上表现为频域横轴上按一定规律分布的亮点。采用频率域陷波滤波器来消除图像中的条带噪声<sup>[7-8]</sup>,过滤掉傅里叶频谱中对应条带噪声的高频成分,然后,进行傅里叶反变换即可得到去噪后的图像。图1(a)是截取的部分遥感图像,分布有明显的垂直条带噪声,其对应的频谱图为图2(a);图1(b)是通过陷波滤波器进行去噪处理后的图像,其对应的频谱图为图2(b)。通过两图对比可见,本文选取的去噪方法基本除去了图像的条带噪声,有效地改善了图像质量。

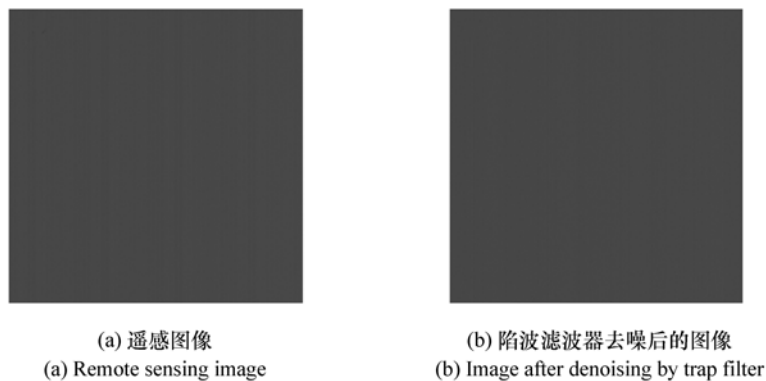


图1 图像条带噪声去除

Fig. 1 Removing strip noise of images

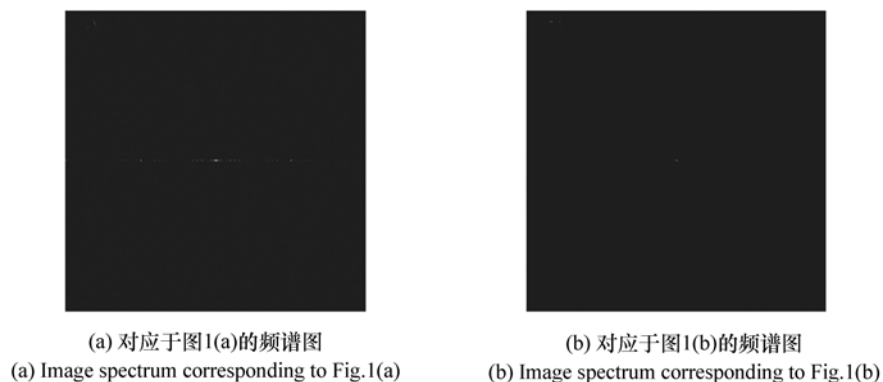


图2 图像频谱图

Fig. 2 Fourier spectrum of the images

### 3.2 PSF 估计与拟合

目前主要用3种方法估计系统的PSF:

(1)使用带有特征地物的图像(例如飞机跑道、桥梁或人工靶标图像)估计PSF;

(2)高分辨率图像对比法,需要卫星上载有分辨率不同的多种成像仪;

(3)根据系统设计标准和系统分析模型<sup>[9]</sup>推算PSF。

本文采用第一种方法,利用刀刃法估计成像系统的PSF。

由于获取遥感图像的条件复杂,直接估计得到的PSF误差很大,本文采用高斯拟合对直接估计的PSF进行校正,使其更符合实际的成像系统。

刀刃法是选取图像中具有一定灰度差异的相邻两块地物边界作为刀刃边缘图像,两块边界的灰度变化要均匀,并与轨道方向具有一定的倾角<sup>[10]</sup>,原理如图3所示。详细步骤如下:

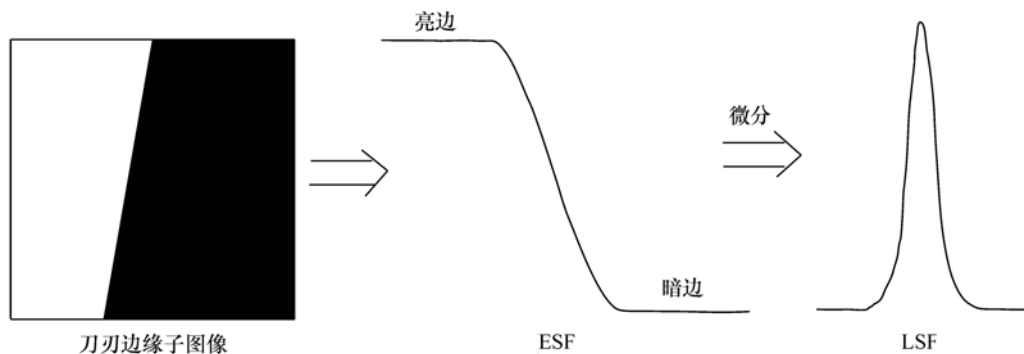


图3 刀刃法原理图

Fig. 3 Schematic diagram of knife-edge method

成像系统的PSF趋向于高斯型,可以表示为:

$$h(x, y) = \frac{1}{2\pi\sigma_x\sigma_y} \exp\left[-\frac{x^2}{2\sigma_x^2} - \frac{y^2}{2\sigma_y^2}\right], \quad (4)$$

式中, $\sigma_x, \sigma_y$ 为标准差。PSF在沿轨和跨轨两个方向是可分的,即:

$$h(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_x} \exp\left[-\frac{x^2}{2\sigma_x^2}\right],$$

$$h(y) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_y} \exp\left[-\frac{y^2}{2\sigma_y^2}\right]. \quad (5)$$

(1)从图像中抠取具有刀刃边缘特征的子图像,对子图像每一行提取边缘分界点;

(2)采用最小均方误差线性拟合边缘分界点,得到边缘分界线,并以分界线与每一行的交点作为新的分界点;

(3)计算子图像每一行上的其他像素相对于分界点的偏移量,并以0.05的分辨率(每两个数据中插入20个数据)对偏移量数据进行3次样条插值;

(4)插值后所有行的偏移量数据取平均,得到子图像的边缘扩散函数(ESF);

(5)对边缘扩散函数微分得到线扩散函数(LSF)。

对于推扫式TDI-CCD相机,沿轨方向和跨轨方向的不对称性很小,成像系统PSF可以分解为沿轨和跨轨方向的两个一维分量,分别对应于沿轨和跨轨方向的LSF,用沿轨方向的LSF列向量乘以跨轨方向的LSF行向量,得到二维PSF。

从图3中LSF的形状可见它近似为高斯型<sup>[11]</sup>,但并不完全符合高斯表达式。为了减少PSF估计的误差,对得到的LSF曲线进行高斯拟合,使用拟合后的数据形成PSF离散矩阵。

### 3.3 图像恢复

遥感图像具有数据量庞大的特点,对其进行恢复的时间代价相对较高。因此,估计出成像系统的PSF后,选择维纳滤波进行图像恢复。维纳滤波性能好,没有迭代过程,比Lucy-Richardson算法和正则滤波运算量少,能够以很低的计算代价获得较好的复原效果,其频域表达式可简化为:

$$\hat{F}(u,v) = \left[ \frac{1}{H(u,v) |H(u,v)|^2 + K} \right] \cdot G(u,v), \quad (6)$$

式中: $H(u,v)$ 为高斯拟合后 PSF 的二维傅里叶变换, $K$ 为恢复过程中的规整化值。

维纳滤波采用固定的规整化值对整个图像进行恢复。较小的规整化值能突出图像的边缘特征,但在图像的灰度连续区域中会产生寄生纹波,影响图像恢复的效果。因此,这里对维纳滤波进行了改进,采用自适应维纳滤波算法进行图像恢复。自适应维纳滤波算法采用 Sobel 算子对图像进行边缘检测,把图像划分为边缘特征区域和灰度连续区域,在边缘特征区域使用较小的  $K$  值,突出图像细节的恢复;在灰度连续区域用较大的  $K$  值,避免产生寄生纹波。

遥感图像中包含条带噪声,在图像恢复之前

进行了有效的去噪处理。通过选取图像中具有刀刃边缘特征的地物估计拟合 PSF,然后,分别采用维纳滤波和自适应维纳滤波对整幅图像进行了恢复处理。图 4(a)是截取了遥感图像中的一个铁塔顶部,其上分布有垂直的条带噪声。图 4(b)是应用维纳滤波对去噪处理后的图像进行恢复处理的结果,由于进行了去噪预处理,条带噪声的影响非常弱,频域恢复中没有受到增强噪声的影响。可见去噪处理消除了图像中的高频条带噪声,有效地增强了图像恢复的效果。由于维纳滤波固有的不足,图 4(b)相对于图 4(a)虽然有一定效果,但由于存在寄生纹波,整个图像的清晰度还不够。图 4(c)是采用自适应维纳滤波算法进行恢复的结果,由于对不同的图像区域采取不同的规整化值进行恢复,因此,恢复后图像的细节更加突出,图像清晰度得到增强。图 5(a)是具有复杂地形

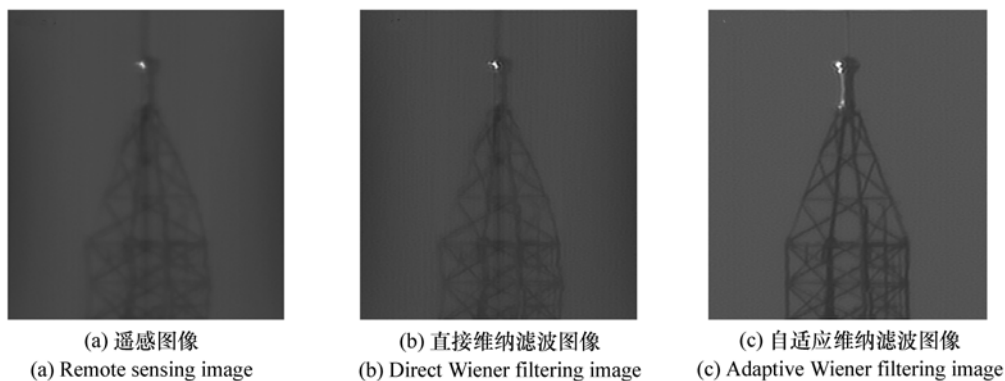


图 4 遥感图像去噪与恢复

Fig. 4 Denoising and restoration of remote sensing images

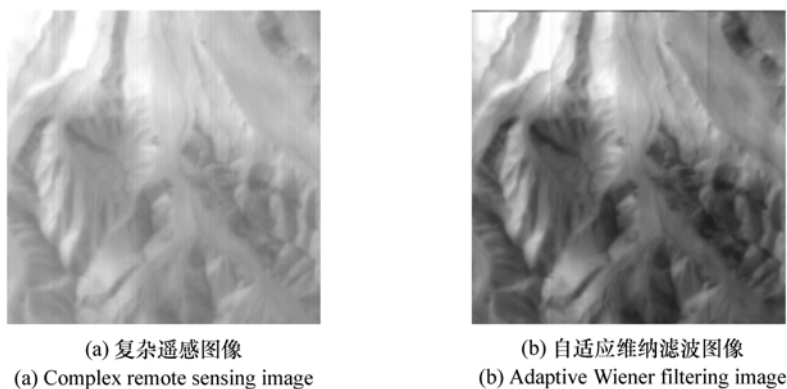


图 5 复杂图像自适应维纳滤波恢复

Fig. 5 Adaptive Wiener filtering restoration for complex images

的遥感图像,图5(b)是先去除条带噪声,然后采用自适应维纳滤波算法进行恢复的结果。原图中明显的条带噪声经过去噪后基本消除,没有影响最终恢复图像的效果。

## 4 遥感图像恢复效果评价

### 4.1 图像质量评价标准

除了在主观上通过人眼观察评价上述遥感图像恢复效果外,还应引入客观评价标准,对图像的恢复效果进行定量分析。图像恢复消除了图像的模糊现象,与原图相比恢复图像细节丰富,表现为相邻像素的灰度变化较大,具有更大的梯度值,相关的图像梯度函数可作为评价图像恢复效果的标准,具体如下:

(1)方差:图像的方差大,说明图像灰度层次较为丰富。 $M$ 、 $N$ 为图像的高度和宽度, $f(i,j)$ 为图像某点的灰度值, $u$ 为图像的灰度均值, $u =$

$$\frac{\sum_{i=0}^{M-1} \sum_{j=0}^{N-1} f(i,j)}{M \times N}, \delta \text{ 为图像方差,计算公式为:}$$

$$\delta^2 = \frac{1}{M \times N} \sum_{i=0}^M \sum_{j=0}^N [f(i,j) - u]^2. \quad (7)$$

(2)灰度平均梯度:反映图像在水平和垂直方向的灰度变化。灰度平均梯度越大,表明图像越清晰。其中:

$$\begin{aligned} \nabla I_x &= f(i,j) - f(i-1,j), \\ \nabla I_y &= f(i,j) - f(i,j-1), \end{aligned} \quad (8)$$

灰度平均梯度计算公式为:

$$GMG = \frac{\sum_{i=1}^{M-1} \sum_{j=1}^{N-1} \sqrt{(\nabla I_x^2 + \nabla I_y^2)/2}}{(M-1) \times (N-1)}. \quad (9)$$

(3) Laplacian 梯度:反映图像每一像素附近的灰度变化。Laplacian 梯度值越大表明图像轮廓越鲜明,相应地图像越清晰。其中:

$$\begin{aligned} \nabla I_1 &= |3f(i,j) - f(i-1,j-1) - \\ & f(i-1,j) - f(i-1,j+1)|, \\ \nabla I_2 &= |2f(i,j) - f(i,j-1) - f(i,j+1)|, \end{aligned} \quad (10)$$

$$\begin{aligned} \nabla I_3 &= |3f(i,j) - f(i+1,j-1) - \\ & f(i+1,j) - f(i+1,j+1)|, \end{aligned}$$

Laplacian 梯度计算公式为:

$$LS = \frac{\sum_{i=2}^{M-1} \sum_{j=2}^{N-1} |\nabla I_1 + \nabla I_2 + \nabla I_3|}{(M-2)(N-2)}. \quad (11)$$

### 4.2 图像恢复效果评价

由图4可见,待处理的遥感图像细节不清,铁塔的支撑结构边缘非常模糊。表1的数据也验证了这一点,未恢复之前的图像各项评价标准值均比恢复后的图像低很多。由于图像恢复处理增强了图像细节和边缘特征,由表1可见,恢复后图像的方差和灰度平均梯度明显增大,表明恢复后图像包含的信息更多,图像更清晰。结合表1,对比图4(b)与图4(c)的恢复效果可见,自适应维纳滤波比直接维纳滤波的恢复图像清晰程度高,各项指标均有很大提高,采用维纳滤波恢复后

表1 遥感图像恢复评价

Tab.1 Evaluation of remote sensing image

	方差	灰度平均梯度	Laplacian 梯度
图4(a)(遥感图像)	5.925	0.940	4.595
图4(b)(直接维纳滤波)	7.791	2.229	12.805
图4(c)(自适应维纳滤波)	10.320	2.739	14.609

表2 复杂遥感图像恢复评价

Tab.2 Evaluation of complex remote sensing image

	方差	灰度平均梯度	Laplacian 梯度
图5(a)(复杂遥感图像)	32.046	2.663	9.231
图5(b)(自适应维纳滤波)	52.799	4.439	14.249

方差比原图 4(a) 方差增大 1.866, 灰度平均梯度增大 1.289, Laplacian 梯度增大 8.21; 采用自适应维纳滤波恢复后, 图 4(c) 方差比原图 4(a) 方差增大 4.395, 灰度平均梯度增大 1.799, Laplacian 梯度增大 10.014, 说明采用自适应维纳滤波算法可以获得更好的图像恢复效果。对图 5 所示的复杂遥感图像, 自适应维纳滤波同样取得了很好的恢复效果。由表 2 可知, 恢复后图像方差比原图方差增大 20.753, 灰度平均梯度增大 1.766, Laplacian 梯度增大 5.018。

## 5 结 论

针对航天遥感相机成像过程中图像退化作用引起的图像模糊, 提出了高斯拟合的 PSF 估计方法, 并采用自适应维纳滤波进行图像恢复。考虑图像恢复过程会放大噪声, 因此, 在恢复之前先对

图像进行去噪预处理, 采用频率域陷波滤波器消除了遥感图像中附加的条带噪声。去噪后, 根据所处理遥感图像的特点, 利用图像中的特征地物, 采用刀刃法估计成像系统的点扩散函数 PSF, 为了保证 PSF 估计的精度, 对刀刃法得到的 PSF 进行高斯拟合, 将拟合后的 PSF 应用到自适应维纳滤波中进行图像恢复。实验结果表明: 去噪处理有效地消除了图像中的条带噪声, 自适应维纳滤波比直接维纳滤波取得了更好的图像恢复效果。细节图像经自适应维纳滤波恢复后方差比原图方差增大 4.395, 灰度平均梯度增大 1.799, Laplacian 梯度增大 10.014; 复杂图像经自适应维纳滤波恢复后, 方差比原图方差增大 20.753, 灰度平均梯度增大 1.766, Laplacian 梯度增大 5.018。恢复后图像中的细节更清晰, 特征更易识别, 利于图像的判读和分析。

## 参考文献:

- [1] 许元男, 赵元, 刘丽萍, 等. 含噪声模糊图像的点扩展函数参数辨识[J]. 光学精密工程, 2009, 17(11): 2849-2856.  
XU Y N, ZHAO Y, LIU L P, *et al.*. Parameter identification of point spread function in noisy and blur images[J]. *Opt. Precision Eng.*, 2009, 17(11): 2849-2856. (in Chinese)
- [2] 郭永彩, 王婀娜, 高潮. 空间自适应和正则化技术的盲图像复原[J]. 光学精密工程, 2008, 16(11): 2263-2267.  
GUO Y C, WANG E N, GAO CH. Blind image restoration algorithm based on space-adaptive and regularization[J]. *Opt. Precision Eng.*, 2008, 16(11): 2263-2267. (in Chinese)
- [3] 江洁, 邓琼, 张广军. 基于小波变换的正则化盲图像复原算法[J]. 光学精密工程, 2007, 15(4): 582-586.  
JIANG J, DENG Q, ZHANG G J. Regularization algorithm for blind image restoration based on wavelet transform[J]. *Opt. Precision Eng.*, 2007, 15(4): 582-586. (in Chinese)
- [4] 顾行发, 李小英, 闵祥军, 等. CBERS-02 卫星 CCD 相机 MTF 在轨测量及图像 MTF 补偿[J]. 中国科学 E 辑 信息科学, 2005, 35: 26-40.  
GU H F, LI X Y, MIN X J, *et al.*. On-orbit MTF Estimation and MTF compensation of CCD camera in CBERS-02 satellite [J]. *Science in China, Series E Information Sciences*, 2005, 35: 26-40. (in Chinese)
- [5] 陈强, 戴奇燕, 夏德深. 基于 MTF 理论的遥感图像复原[J]. 中国图像图形学报, 2006, 11(9): 1299-1305.  
CHEN Q, DAI Q Y, XIA D SH. Restoration of remote sensing images based on MTF theory[J]. *J. Image and Graphics*, 2006, 11(9): 1299-1305. (in Chinese)
- [6] 张朋, 刘团结, 王宏琦. 线阵 CCD 相机 MTF 的系统模型估计法与图像复原[J]. 光学技术, 2009, 35(3): 394-398.  
ZHANG P, LIU T J, WANG H Q. MTF estimation based on system modal for linear CCD camera and image recovery[J]. *Opt. Technique*, 2009, 35(3): 394-398. (in Chinese)
- [7] GONZALEZ R C, WOODS R E. 数字图像处理[M]. 2 版. 北京: 电子工业出版社, 2007.  
GONZALEZ R C, WOODS R E. *Digital Image Processing* [M]. 2nd ed. Beijing: Publishing House of Electronics Industry, 2007. (in Chinese)
- [8] GONZALEZ R C, WOODS R E, EDDINS S L. 数字图像处理: MATLAB 版[M]. 北京: 电子工业出版社, 2005.  
GONZALEZ R C, WOODS R E, EDDINS S L. *Digital Image Processing Using MATLAB* [M]. Beijing: Publishing House of Electronics Industry, 2005. (in Chinese)

- [9] BENSEBAA K, BANON G J F, FONSECA L M G. On-orbit spatial resolution estimation of CBERS-1 CCD system from bridge images[C]. Proceedings of the XXth International Society for Photogrammetry and Remote Sensing (ISPRS), Istanbul, Turkey, July 2004:36-41.
- [10] CHOI T. IKONOS satellite on orbit Modulation Transfer Function (MTF) measurement using edge and pulse method [D]. Brookings: South Dakota State University, 2002.
- [11] 周松涛, 宣家斌. 基于景物灰度分布特征的影像恢复技术[J]. 武汉测绘科技大学学报, 1999, 24(3):230-234, 239. ZHOU S T, XUAN J B. Restoration technique based on image features[J]. *J. Wuhan Technical University of Surveying and Mapping*, 1999, 24(3):230-234, 239. (in Chinese)

作者简介: 杨利红(1985—), 女, 湖北天门人, 博士研究生, 主要从事图像处理方面的研究。E-mail: lih.yang@163.com  
任建岳(1952—), 男, 吉林长春人, 研究员, 博士生导师, 主要从事光学遥感器的研制和性能评价方面的研究。  
E-mail: renjy@ciomp.ac.cn

## 《中国光学》征稿启事

《中国光学》为双月刊, A4开本; 刊号: ISSN 2095-1531/CN 22-1400/O4; 国内外公开发行人, 邮发代号: 国内 12-140, 国外 BM6782。

- ★ 中国科技核心期刊
- ★ 中国光学学会光电技术专业委员会会刊
- ★ 中国学术期刊(光盘版)源期刊

**报道内容:** 基础光学、发光理论与发光技术、光谱学与光谱技术、激光与激光技术、集成光学与器件、纤维光学与器件、光通信、薄膜光学与技术、光电子技术与器件、信息光学、新型光学材料、光学工艺、现代光学仪器与光学测试、光学在其他领域的应用等。

**发稿类型:** 学术价值显著、实验数据完整的原创性论文; 研究前景广阔, 具有实用、推广价值的技术报告; 有创新意识, 能够反映当前先进水平的阶段性研究简报; 对当前学科领域的研究热点和前沿问题的专题报告; 以及综合评述国内外光学技术研究现状、发展动态和未来发展趋势的综述性论文。

欢迎投稿、荐稿。

主管单位: 中国科学院

主办单位: 中国科学院长春光学精密机械与物理研究所

编辑出版: 《中国光学》编辑部

投稿网址: <http://chineseoptics.net.cn>

邮件地址: [chineseoptics@ciomp.ac.cn](mailto:chineseoptics@ciomp.ac.cn); [zgxcn@126.com](mailto:zgxcn@126.com)

联系电话: 0431-86176852; 0431-84627061      传      真: 0431-84627061

编辑部地址: 长春市东南湖大路 3888 号(130033)