

目标探测多波段图像统一复原及实验验证

洪汉玉¹, 李良成¹, 章秀华¹, 颜露新², 张天序²

(1. 武汉工程大学 图像处理与智能控制实验室, 湖北 武汉 430074;

2. 华中科技大学 图像识别与人工智能研究所, 湖北 武汉 430074)

摘要:为解决在目标探测过程中多波段图像的复原和清晰化问题,提出了一种实用新颖的可适用于弹/机/星载目标探测多波段图像的统一复原校正方法。该方法不需要知道退化方式和退化模型等先验知识,仅利用光谱图像的有效信息,构造关于点扩展函数的非负最小二乘空间平滑性约束的极小化准则函数,通过优化计算方法求解点扩展函数,利用非盲目图像复原方法得到清晰图像。输入大量实际图片,对方法进行了测试验证。实验结果表明:该方法有效地克服了目前图像复原方法不具有通用性、对仿真图像复原效果好对实际图像复原效果差、耗时长等缺点,对红外、可见光、毫米波等多波段退化图像均能有效恢复,不需先验知识,输入一帧模糊图像即可得到高清晰图像,为目标探测系统提供了一种有效图像复原方法。

关键词:多波段图像; 图像复原; 点扩展函数

中图分类号: TP391 **文献标志码:** A **文章编号:** 1007-2276(2013)01-0251-05

Versatile restoration and experimental verification for multi-wave band image of object detection

Hong Hanyu¹, Li Liangcheng¹, Zhang Xiuhua¹, Yan Luxin², Zhang Tianxu²

(1. Laboratory for Image Processing and Intelligent Control, Wuhan Institute of Technology, Wuhan 430074, China;

2. Institute for Pattern Recognition and Artificial Intelligent, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430074, China)

Abstract: To solve the problem of restoration and clearness for multi-wave band images in object detection, a novel versatile restoration method was proposed, which was applicable for the restoration of multi-wave band images in object detection captured by imaging devices installed on missile, aircraft or satellite. Some prior knowledge was not needed in use of the proposed method about modes and models of degraded images. In this method, only some information of images was used, the minimization criterion function was constructed in regard to point spread function constrained by non-negative least square spatial smoothness, the optimization method was used to solve for the PSF, and the degraded images were restored by non-blind image restoration method. The proposed method was verified by inputting a number of real images. The experimental results show that the proposed method overcome some disadvantages of the exist image restoration methods such as non-versatility, good result to synthesized images, poor result to real images, time-consuming and so on. The proposed method can recover infrared, visible and millimeter-wave multi-wave band images without knowing the prior

收稿日期: 2012-05-22; 修订日期: 2012-06-19

基金项目: 国家自然科学基金面上项目(50975211, 61175013); 湖北省自然科学基金创新群体项目(2012FFA046)

作者简介: 洪汉玉(1964-), 男, 博士生导师, 博士后, 主要从事气动光学图像校正与智能控制方面的研究。Email: hhyhong@163.com

knowldge. When inputing an image, the system output a clear image quickly. The proposed method was effective for the restoration of multi-wave band images in object detection system.

Key words: multi-wave band image; image restoration; point spread function

0 引言

在目标检测及探测过程中,由于受大气干扰、运动、散射等多种因素的影响,目标探测图像包含有运动、大气干扰、散射等多种退化模式,各种退化模式对目标图像的退化影响程度也是不相同的,不同的退化模式具有不同的退化模型^[1],因此从多波段探测图像中是很难分清具体的退化模式及各种退化因素及其影响程度。目前的复原方法是寻找各种具体的退化模式和模型,然后进行反卷积复原图像^[2-10],但 these 方法是不能适应于实时检测及高速飞行器主动探测的,首先退化模式是找不到的,其次时间也不许可。实际上,从多波段探测图像中是很难分清图像退化模式的,因此,研究和提出统一复原方法是很有实际意义和实用价值的。

目前,国际上没有人提出一个有效的图像复原方法能适用于所有的实际图像复原,图像复原技术陷入困境。因此,文中研究和提出一种适用于目标探测多波段图像的统一复原方法。主要利用退化图像中对实际点扩展函数有贡献的信息,构造关于退化模型的非负最小二乘空间平滑性约束的极小化准则函数,求出退化模型,最后进行非线性滤波得到清晰图像。

1 数学模型与原理

1.1 有效信息的提取

当图像被各种退化方式退化后,退化信息隐藏在退化图像中,可以从退化图像中找出退化模型而无需知道图像是被何种方式所退化的。将退化图像分成目标区、背景区以及两者之间的过渡区 3 部分,那么退化信息主要包含在过渡区之中,平坦的目标区和背景区含有的退化信息不显著,对寻找退化模式是没有贡献的,因而文中主要利用有效信息来进行复原。

目前现有的图像复原方法利用整个退化图像或者退化图像的一整块区域进行复原^[11-13],退化图像

中平坦的目标区和背景区都参与了计算,由于平坦的目标区和背景区包含的退化信息不显著,冗余的信息会对复原带来不确定性,影响复原结果的准确性,且增加了计算负担,延误了时间,不适合应用于弹/机/星载飞行器系统中。文中的方法仅使用退化图像的有效信息进行复原,过渡区包含大量的退化信息,是笔者最为感兴趣的区域,用过渡区的信息来进行复原不仅使复原时间大大降低,而且最大限度地保证了复原结果的精确性和实时性。

1.2 信息预测

当图像被模糊后,可分为目标区域、背景区域以及两者之间的过渡区域。目标区域和背景区域灰度较为平坦,变化不大,而过渡区域灰度值会出现较大变化。模糊信息主要集中在过渡区域,笔者从原始模糊图像的过渡区可以预测出清晰图像的过渡区,因为模糊图像与对应的清晰图像相比,过渡区域的相对位置是没有发生改变的,改变的只是像素灰度值的分布情况。

1.3 模糊点扩展函数求解

在不考虑噪声的情况下,模糊图像的任一点用卷积形式表示。由卷积定义可知,模糊图像中的任一点的值是由清晰图像的一块与退化模型的激励区域(其大小设定为 $M \times N$)卷积而成。将预测的清晰图像当作一张原图像看待,那么每选择模糊图像上的一个点就对应一个方程,如果取 P 个模糊点,那么将得到 P 个方程。为了使用更多的有效信息,取 $P > M \times N$,可得到方程:

$$Ax=b \quad (1)$$

式中: b 为由模糊图像中选取的像素点构成的一维向量; A 为与模糊点对应的预测图上的一块区域, x 为所需求解的退化模型的一维堆积向量形式。该方程组的最小二乘准则函数为:

$$J(x)=\|Ax-b\|^2 \quad (2)$$

由于图像有噪声及预测图与原图还有差异,用最小二乘准则所得到的退化模型误差较大。在此,采用基于空间相关约束的非负最小二乘法来估算

退化模型值。给定非负性和空间相关性的约束条件,在最小二乘准则函数上增加两个惩罚项。

非负性惩罚项:

$$F = \eta \|\Lambda x - b\|^2 \quad (3)$$

式中: η 为常数; Λ 为对角矩阵, 对角矩阵对角线上的值由 x 的值决定, 其表达式如下:

$$\Lambda(l, l) = \begin{cases} 1 & x_l < 0 \\ 0 & x_l \geq 0 \end{cases} \quad (4)$$

空间相关性约束惩罚项:

$$D = \lambda \sum_i \sum_w \alpha(|\nabla x(i, w)|) [Qx]_{i, w}^2 \quad (5)$$

式中: λ 为常数; $\alpha(\cdot)$ 为各向异性的平滑因子; Q 为梯度算子矩阵, 有关表达式如下:

$$\alpha(t) = 1 / (1 + t^2)^n \quad (6)$$

$$|\nabla x(i, w)| = |x_i - x_w| \quad (7)$$

$$[Qx]_{i, w} = x_i - x_w \quad (8)$$

非负性惩罚项对解向量 x 中的负元素值进行惩罚, 出现负值时, 则要付出代价, 逼使解向量各元素值向非负方向发展。空间相关性约束惩罚项保证退化模型相邻点之间的差异在先验知识的约束条件下为极小, 从而使退化模型具有某种光滑性(空间相关性)。

将公式(3)和(5)加入到公式(2)中得:

$$J(x) = \|Ax - b\|^2 + \eta \|\Lambda x\|^2 + \lambda \sum_i \sum_w \alpha(|\nabla x(i, w)|) [Qx]_{i, w}^2 \quad (9)$$

采用滞后迭代极小化方法[14], 令目标函数的导数为零可得线性方程组:

$$A^T(Ax^k - b) + \eta \Lambda^k x^k + \lambda \sum_i \sum_w \alpha(|\nabla x^{k-1}(i, w)|) [Qx^k]_{i, w} = 0 \quad (10)$$

利用迭代法求解 \hat{x}^k , 直至满足 $\|\hat{x}^k - \hat{x}^{k-1}\| / \|\hat{x}^k\| < \varepsilon$ 为止, 为设定的任意小值。

1.4 目标图像的恢复

当退化模型求解出来后, 可以利用基于最大似然估计的非线性滤波方法来复原图像。

从点扩展函数的一维堆积向量形式 x 可以得到其二维点扩展函数 h , 利用提出的改进的 ML 算法[15], 可以求解出恢复图像 $\hat{f}^{(n+1)}$ 。终止条件为:

$$\text{error} = \sum \|g(y) - h(x) \otimes \hat{f}^{(n+1)}(x)\|^2 \leq \varepsilon$$

或者迭代次数达到给定的最大迭代次数。

2 实验结果与分析

为验证统一复原方法的有效性及其稳定性, 在微机 (1.8 GHz, 512 RAM) 上进行了一系列复原实验。输入实际退化图像, 事先不用知道退化方式, 运行算法, 输出结果。实验结果表明: 所提出的算法能恢复多波段的目标退化图像, 同样也能对可见光、毫米波、太赫兹等退化图像进行复原, 该复原方法不需要知道退化方式, 复原效果较好, 时间在 10 s 之内, 采用高性能 DSP 计算, 则可望用在红外探测过程中。

针对实际红外长波退化图像进行了复原实验。图 1(a) 是一幅小船的红外退化图像, 为了验证文中方法的有效性, 分别用 Fish 复原算法[11], TV 复原算法[13]和文中的复原方法复原图 1(a), 得到图 1(b)~图 1(d), 从复原结果中可以看出, 文中提出的复原算法处理后, 小船的轮廓变得很清晰, 比其他两种方法复原效果好。

对红外中波退化图像进行了复原实验。图 2(a) 是

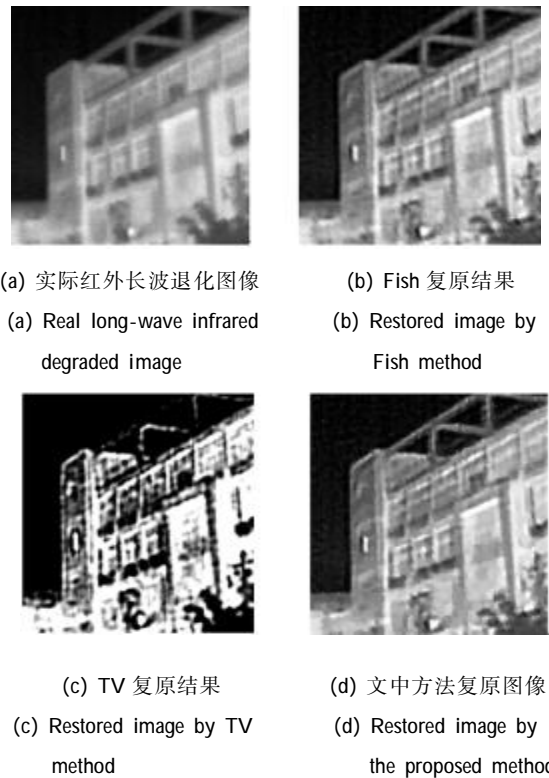


图 1 红外长波退化图像复原

Fig.1 Restoration of long-wave infrared image

用 FLIR T330 红外热像仪(波长 7.5~13 μm)采集到的红外中波退化图像,用文中复原方法复原后得到图 2(b),对比图 2(a)和图 2(b),可以发现图像得到了复原,图中文字变得很清晰。



(a) 实际红外中波退化图像 (b) 文中方法复原结果
 (a) Real degraded medium wave infrared image (b) Restored result by the proposed method

图 2 红外中波退化图像复原

Fig.2 Restoration of medium-wave infrared image

对可见光运动模糊图像进行了复原实验。图 3(a)是一幅运动模糊图像,用文中复原方法复原得到图 3(b),从复原结果中可以看到,图中模糊不清的文字变得很清晰。



(a) 可见光运动模糊图像 (b) 文中方法复原结果
 (a) Motion visible light blurred image (b) Restoration result with the proposed method

图 3 可见光运动模糊图像复原

Fig.3 Restoration of blurred visible light image

图 4(a)是生产线上钢坯端面模糊图像。钢坯在生产线上受到机械振动,拍摄到的钢坯端面字迹出现运动模糊。用文中复原方法复原得到的图 4(b),估计到的点扩散函数为图 4(c)。对比图 4(b)和图 4(a),可以看出:使用文中复原方法后,模糊不清的字符变得很清晰。

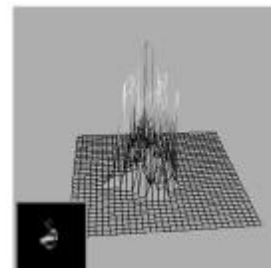
对实际的毫米波图像进行复原实验。图 5(a)是一幅实际的毫米波退化图像。图中舰船的轮廓已模糊不清。用文中提出的复原方法复原后得到图 5(b),比较图 5(b)和图 5(a)可以发现:文中的复原方法对毫米波图像也有良好的效果。



(a) 钢坯端面图像
 (a) Steel billet image



(b) 文中方法复原结果
 (b) Restored result by the proposed method



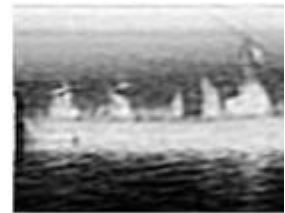
(c) 文中方法估计得到的 PSF
 (c) PSF estimated by the proposed method

图 4 机械振动引起的模糊图像复原

Fig.4 Restoration of blurred image caused by mechanical vibration



(a) 实际毫米波退化图像
 (a) Real millimeter-wave degraded image

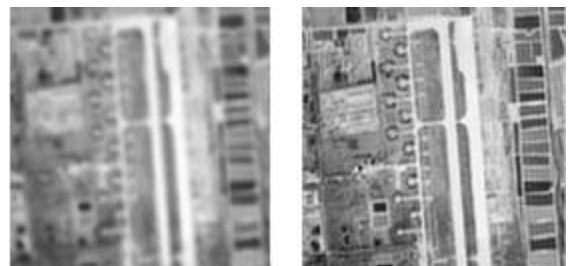


(b) 文中方法复原结果
 (b) Restored result by proposed method

图 5 实际毫米波退化图像复原

Fig.5 Restoration of real millimeter-wave degraded image

另外,对遥感图像也进行了复原实验。图 6(a)是



(a) 遥感退化图像 (b) 复原图像
 (a) Degraded remote image (b) Restored image

图 6 遥感图像复原

Fig.6 Restoration of remote sensing image

一幅遥感退化图像,利用文中提出的算法对图6(a)复原得到图6(b),从图中可以看出,遥感图像得到了复原,变得更为清晰。

对太赫兹图像也进行了复原实验。图7(a)是皮包的太赫兹图像。用所提出的复原方法对图7(a)处理后得到图7(b),太赫兹图像得到高清晰化。

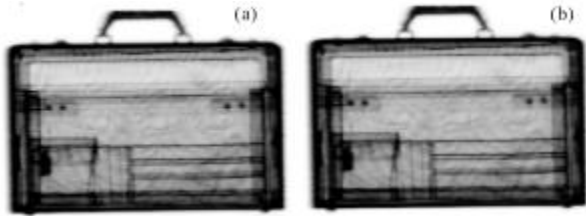


图7 太赫兹图像恢复

Fig.7 Recovering THz image

对神舟八号与天空一号对接过程中的太空图像进行了复原实验,图8(a)是一幅对接太空图像,复原后得到图8(b),显然复原图像更清晰。由此证实笔者的统一复原算法对太空图像复原也有效。

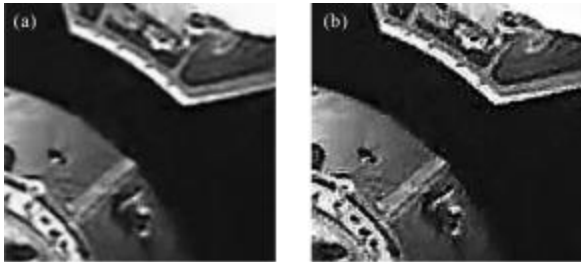


图8 神舟八号与天空一号对接图像复原

Fig.8 Restoration of image of Shenzhou VIII docked with Tiangong I

3 结论

文中提出了适用于多波段图像统一复原方法,该方法事先无需知道退化方式,输入一帧实际的多波段红外退化图像,即可输出一帧高清晰图像。实验结果表明,该复原方法在无需知道谱源和退化方式的情况下,能对各种波段的红外退化图像以及可见光、毫米波、太赫兹等多波段退化图像进行有效恢复,而且复原效果较好、耗时少。

参考文献:

- [1] Banham M R, Katsagellos A K. Digital image restoration[J]. IEEE Signal Process, 1997, 14(3): 24-41.
- [2] Hong Hanyu. Advanced Processing and Analysis for Image and Graphics [M]. Wuhan: China University of Geosciences Press Co., LTD, 2011. (in Chinese)
- [3] Hong H Y, Zhang T X. Fast restoration approach for rotational motion blurred image based on deconvolution along the blurring paths [J]. Optical Engineering, 2003, 42 (12): 347-3486.
- [4] Zhang T X, Hong H Y, Shen J. Restoration algorithms for turbulence-degraded images based on optimized estimation of discrete values of overall point spread functions [J]. Optical Engineering, 2005, 44(1): 017005: 1-17.
- [5] Hong Hanyu, Zhang Tianxu. Regularized restoration algorithm of astronautical turbulence-degraded images using maximum-likelihood estimation [J]. J Infrared Millim Waves, 2005, 24(2): 130-134. (in Chinese)
- [6] Hong Hanyu, Wang Jin, Zhang Tianxu, et al. Study on acceleration technique of circulation iterative restoration algorithm for infrared target images [J]. J Infrared Millim Waves, 2008, 27(1): 115-118. (in Chinese)
- [7] Hong Hanyu, Zhang Tianxu. Investigation of restoration algorithm for degraded images caused by aero-optics effects using multi-resolution blind deconvolution [J]. Chinese Journal of Computers, 2004, 27(7): 952-963. (in Chinese)
- [8] Hong Hanyu, He Chengjian, Chen Yichao, et al. Blind restoration algorithm of total variation based on anisotropic regularizations[J]. Infrared and Laser Engineering, 2007, 36 (1): 118-122. (in Chinese)
- [9] He Chenjian, Hong Hanyu, Zhang Tianxu, et al. Aero degraded image blind restoration algorithm based on double regularization [J]. Infrared and Laser Engineering, 2007, 36 (2): 236-239. (in Chinese)
- [10] Hong Hanyu, Zhang Tianxu, Yi Xinjian. Optimized restoration algorithm of infrared sequence degraded images with aero-optical effects[J]. Infrared and Laser Engineering, 2005, 34 (6): 724-728. (in Chinese)
- [11] Fish D, Brincombe A, Pike E, et al. Blind deconvolution by means of the Richardson-Lucy algorithm [J]. J Opt Soc Am A, 1995, 12(1): 58-64.
- [12] Kundur D, Hatzinakos D. A novel blind deconvolution scheme for image restoration using recursive filtering [J]. IEEE Transactions on Signal Processing, 1998, 40 (2): 375-390.
- [13] Chan T F, Wong C K. Total variation blind deconvolution [J]. IEEE Trans Image Process, 1998, 7(3): 370-375.
- [14] Charbonnier P, Blanc-Feraud L, Aubert G, et al. Deterministic edge-preserving regularization in computed imaging [J]. IEEE Trans Image Process, 1997, 6(2): 298-311.
- [15] Hong H Y, Park I K. Single image motion deblurring using adaptive anisotropic regularization [J]. Optical Engineering, 2010, 49(9): 097008: 1-13.