

## 一种改进的 NAS-RIF 图像盲复原算法

李小牛, 周鸣争, 修宇, 黄伟

(安徽工程科技学院 安徽省电气与传动控制重点实验室, 安徽 芜湖 241000)

**摘要:**文中给出了一种用于图像盲复原的基于非负支撑域受限递归滤波算法(NAS-RIF)的改进算法。即将零相位 RIF 和小波去噪技术引入到 NAS-RIF 图像盲复原算法中,且在 NAS-RIF 图像盲复原算法计算当中,采用了共轭梯度法进行了计算优化;如此算法抑制了噪声的放大,提高了退化图像的信噪比,保护退化图像的边缘特征和提高退化图像的视觉效果以及提高算法的收敛速度。由实验结果可以看出,改进后的算法具有更好的抗噪性能和复原效果。

**关键词:**图像盲复原; NAS-RIF; 小波; 信噪比

**中图分类号:** TP301.6

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1673-629X(2008)08-0088-03

## An Improved NAS-RIF Algorithm on Image Blind Restoration

LI Xiao-niu, ZHOU Ming-zheng, XIU Yu, HUANG Wei

(Anhui Provincial Key Laboratory of Electric and Control, Anhui

University of Technology and Science, Wuhu 241000, China)

**Abstract:** Makes an improvement on NAS-RIF, in which a zero phase RIF and wavelet denoising technique and conjugate gradient routine optimization algorithm is used to restrain the noise amplification, to increase the signal-to-noise ratio(SNR), to preserve the edge feature and to improve visual effect of the degraded image, to speed up the convergence rate. Experimental results show that the noise resistance ability and restoration effect are developed by the improved NAS-RIF algorithm.

**Key words:** blind image restoration; NAS-RIF; wavelet; SNR

## 0 引言

图像复原是数字图像处理技术的重要研究内容,它指的是去除在成像过程中由光学系统的衍射、传感器非线性畸变、摄像胶片非线性、大气湍流的扰动效应、图像运动、几何畸变等引起的退化以及电子成像系统传感器、信号传输过程或者胶片颗粒性造成的噪声引起的干扰和模糊,以最大程度恢复图像的本来面目。

退化图像的复原可归纳为一种过程,具体地说就是把退化模型化,后采用相反的过程进行处理,以便恢复出原来的图像。图像复原的一般模型为:

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

即图像  $f(x, y)$  被系统  $h(x, y)$  所模糊,并被叠加上噪声  $n(x, y)$ ,构成了退化后的图像  $g(x, y)$ 。目前有逆滤波、Winner 滤波等多种图像复原技术<sup>[1]</sup>,而

些算法是以预先知道点扩展函数为前提的。在实际应用中,要获得图像退化的先验知识有较大的困难,通常退化图像的点扩展函数是未知的,只能在很少(或基本没有)相关点扩展函数和原始图像的先验知识的条件下,从图像自身中以某种方式抽出退化信息,从而找出图像复原的方法,这种方法通常被称之为图像盲复原。目前具有代表性的图像盲复原方法有逆滤波、零面分解法、ARMA 参数估计法和最大熵法等<sup>[2,3]</sup>。由 D. Kundur 等人提出的具有非负性和支持域约束条件的递归逆滤波(即 NAS-RIF)<sup>[4~6]</sup>图像盲复原算法不需要知道系统点扩展函数,且算法结构简单,所需要的迭代次数也较少,比较容易实现,又由于算法在凸集上进行迭代,解的唯一性和算法的收敛性都可以得到保证。

## 1 NAS-RIF 算法原理

NAS-RIF 图像盲复原算法的过程可以描述为:退化图像  $g(x, y)$  被输入到一个二维可变系数 FIR 滤波器,为输出估计图像,则是该估计通过非线性约束映射过程投影到一个符合真实图像特性的空间得到投影

收稿日期:2007-11-09

基金项目:安徽省国际合作项目(2088007);安徽省自然科学基金项目(KJ2008B025)

作者简介:李小牛(1979-),男,安徽无为,硕士研究生,研究方向为图像处理;周鸣争,教授,硕士生导师,研究方向为人工智能、图像处理。

图像,而后利用  $\tilde{f}_{NL}(x, y)$  和  $\tilde{f}(x, y)$  的差值  $e(x, y)$  来调整滤波器  $u(x, y)$  的系数,使得退化图像逐步接近于真实图像。NAS-RIF 算法原理示意图如图 1 所示。

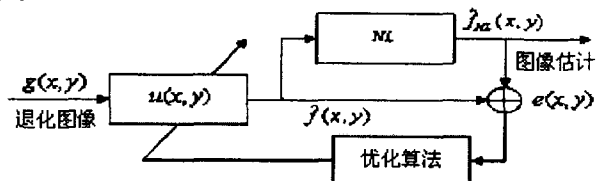


图1 NAS-RIF 算法流程

算法中,图像假定为非负并且是已知支持域的,  $NL(\cdot)$  便提供了图像的非负性和支持域范围约束的非线性函数,其表达式为:

$$NL[f(x, y)] = \begin{cases} L_B & (x, y) \in \bar{D}_{sup} \\ 0 & (x, y) \in D_{sup} \text{ 且 } f(x, y) < 0 \\ f(x, y) & (x, y) \in D_{sup} \text{ 且 } f(x, y) \geq 0 \end{cases} \quad (2)$$

公式(2)中:  $D_{sup}$  为支撑域内部所有像素的集合,而  $\bar{D}_{sup}$  为支撑域外部所有像素的集合,  $L_B$  为模糊图像背景的灰度值。

$\tilde{f}_{NL}(x, y)$  和  $\tilde{f}(x, y)$  的差值  $e(x, y)$  表示的代价函数  $J$  为:

$$\begin{aligned} J &= \sum_{(x, y) \in D_{sup}} [\tilde{f}_{NL}(x, y) - \tilde{f}(x, y)]^2 \\ &= \sum_{(x, y) \in D_{sup}} [\tilde{f}_{NL}^2(x, y) + \tilde{f}^2(x, y) - 2\tilde{f}_{NL}(x, y)\tilde{f}(x, y)] \\ &= \begin{cases} \sum_{(x, y) \in D_{sup}} [\tilde{f}^2(x, y)] + \sum_{(x, y) \in \bar{D}_{sup}} [L_B^2 + \tilde{f}^2(x, y) - 2L_B\tilde{f}(x, y)] & (x, y) < 0 \\ \sum_{(x, y) \in D_{sup}} [\tilde{f}_{NL}^2(x, y) + \tilde{f}^2(x, y)] + \sum_{(x, y) \in \bar{D}_{sup}} [\tilde{f}(x, y) - L_B]^2 & (x, y) \geq 0 \end{cases} \\ &= \sum_{(x, y) \in D_{sup}} \tilde{f}^2(x, y) \left[ \frac{1 - \text{sgn}(\tilde{f}(x, y))}{2} \right] + \sum_{(x, y) \in \bar{D}_{sup}} [\tilde{f}(x, y) - L_B]^2 \end{aligned} \quad (3)$$

又当图像的底色是黑色时,即  $L_B = 0$ ,为了避免  $u(x, y)$  的取值陷入全零解的全局最小点,必须在代价函数中加上一个偏移项,此项可为  $\gamma [\sum_{(i, j)} u(i, j) - 1]^2$ ,则代价函数为:

$$J = \sum_{(x, y) \in D_{sup}} \tilde{f}^2(x, y) \left[ \frac{1 - \text{sgn}(\tilde{f}(x, y))}{2} \right] + \sum_{(x, y) \in \bar{D}_{sup}} [\tilde{f}(x, y) - L_B]^2 + \gamma \left[ \sum_{(i, j)} u(i, j) - 1 \right]^2 \quad (4)$$

公式(4)中  $\text{sgn}(\cdot)$  表示符号函数,  $\gamma$  为一常数。实用中,为了减小代价函数的值,  $\gamma$  不应太大。在式中,第一项

表示在支撑域内的像素点为负值时代价函数会增大,像素点为正值时代价函数会减小;第二项表示在支撑域以外的像素点不等于背景值时代价函数会增大,等于背景值时代价函数会减小。由于代价函数是  $\tilde{f}(x, y)$  和  $\tilde{f}_{NL}(x, y)$  的差值,而  $\tilde{f}_{NL}(x, y)$  比  $\tilde{f}(x, y)$  更接近于真实图像,随着迭代次数的增加,  $\tilde{f}_{NL}(x, y)$  会越来越接近真实图像。当图像复原后,  $\tilde{f}_{NL}(x, y)$  和  $\tilde{f}(x, y)$  的差值应该为 0。因此,图像复原的过程,就是代价函数减少并收敛的过程。

由于算法构建的逆滤波器具有高通性质,必然放大高频噪声,即算法在应用时对噪声较为敏感,在低信噪比下算法表现为对噪声的放大现象。由此,算法对信噪比低的图像复原效果不明显。

## 2 算法改进方案

针对算法的不足,文中对 NAS-RIF 算法进行了改进,考虑到小波<sup>[7,8]</sup>的良好的时域与频域的局部化特性和零相位 RIF 可消除由滤波器带来的相位失真,由此将小波去噪技术和零相位 RIF 引入到 NAS-RIF 图像盲复原算法中;同时原算法计算进行了优化。以下对文中算法进行了详尽描述。

### 2.1 小波阈值去噪

(1) 先对退化图像  $f(x, y)$  做小波变换,得到一组小波系数  $W_{j,k}$ ;

(2) 通过对小波系数  $W_{j,k}$  进行阈值处理,得出估计小波系数  $\hat{W}_{j,k}$ ,使得  $\|\hat{W}_{j,k} - W_{j,k}\|$  尽可能的小;

(3) 利用小波系数  $\hat{W}_{j,k}$  进行小波重构,得到估计图像  $\tilde{f}(x, y)$ ,即为去噪后图像。

基于小波变换的去噪方法中,小波系数的阈值选择直接影响到图像去噪的效果,这里采用 Donoho 提出的统一阈值<sup>[9]</sup>,其定义如下:

$T_D = \sigma \sqrt{\log(N)}$ ,其中,  $\sigma$  为噪声标准方差,  $N$  为图像的长度。

该方法已证明在 Gaussian 噪声下对光滑信号是渐进最优的。

### 2.2 零相位 RIF

NAS-RIF 算法实质上就是一个自适应滤波器系统,其中, RIF 冲击响应的傅里叶变换为:

$$H(\omega_1, \omega_2) = \sum \sum h(n_1, n_2) \exp(-j\omega_1 n_1 - j\omega_2 n_2) \quad (5)$$

公式(5)用幅频和相频特性表示为:

$$H(\omega) = |H(\omega)| \angle \varphi(\omega) = |H(\omega)| e^{j\varphi(\omega)} \quad (6)$$

从公式(6)可以看出:

(1) 在  $\varphi(\omega) \neq 0$  时, RIF 不仅会有选择地放大或

衰减输入信号的某些频率分量,而且对不同的频率分量产生不同的附加相移。对于输入的图像信号来讲,附加相移将使正确的排列频率分量产生色散,图像的线条和边缘产生失真。

(2)  $\varphi(\omega) = 0$  在时,即零相位响应,即可以消除由滤波器带来的相位失真。

对 NAS-RIF 算法中的 RIF,这里采用零相位 RIF,由此消除滤波器带来的相位失真,以减少图像的边缘失真。

### 2.3 算法的优化

文中算法采用基于共轭梯度法的快速迭代方法来寻找代价函数的最优解。在每次迭代过程中,使用代价函数的梯度值对 RIF 滤波器的系数进行修正。则有代价函数关于滤波器系数的梯度表达式为:

$$\begin{aligned} \nabla J(u_k) &= \frac{\partial J(U_k)}{\partial u(i, j)} = 2 \sum_{(x, y) \in D_{\text{sup}}} \tilde{f}_k(x, y) \cdot \\ &\left[ \frac{1 - \text{sgn}(\tilde{f}_k(x, y))}{2} \right] g(x - i + 1, y - j + 1) + \\ &2 \sum_{(x, y) \in D_{\text{sup}}} [\tilde{f}_k(x, y) - L_B] g(x - i + 1, y - j + 1) + \\ &2\gamma \left[ \sum_{\forall (i, j)} u(i, j) - 1 \right] \end{aligned} \quad (7)$$

公式(7)中,下标  $k$  表示迭代次数且有  $f_k(x, y) = u_k(x, y) * g(x, y)$ ,而系数  $u_k$  的迭代公式为  $u_{k+1} = u_k + t_k d_k$ ,其中,  $t_k$  使  $J(u_k + t_k d_k)$  最小,且

$$\begin{aligned} d_k &= \begin{cases} -\nabla J(u_k) & k = 0 \\ -\nabla J(u_k) + \beta_{k-1} d_{k-1} & k > 0 \end{cases} \\ \beta_{k-1} &= \frac{\langle \nabla J(u_k) - \nabla J(u_{k-1}), \nabla J(u_k) \rangle}{\| \nabla J(u_{k-1}) \|^2} \end{aligned} \quad (8)$$

式(8)为 Polak-Ribiere-Polyak,即 PRP 公式。在共轭梯度算法中,采用 PRP 公式计算  $\beta_{k-1}$ ,优点是当算法进行很少时,会出现  $\nabla J(u_k) \approx \nabla J(u_{k-1})$ ,此时 PRP 公式产生的  $\beta_{k-1} \approx 0$ ,因此  $d_{k+1} \approx -\nabla J(u_{k+1})$ ,即算法具有自动开始的趋势,这样有利于克服进展缓慢的缺点。

### 3 仿真测试与实验结果

为了检验改进算法的有效性,文中已对几组样本图像在 MATLAB7.0 环境下进行了仿真测试。测试中,将样本图像与 PSF 进行卷积模糊并叠加一定的加性高斯白噪声得退化图像。其中,PSF 取  $17 \times 17$  的散焦函数(如图 2 所示)。复原时, NAS-RIF 中取逆滤波器为  $5 \times 5$  的矩阵,初值为单位函数,算法结果图像均取迭代得到的稳定解。算法复原性能使用图像信噪比增益来衡量,即为:

$$\Delta R_{\text{SN}} = 10 \log_{10} \frac{\| f - \hat{g} \|_2^2}{\| f - \hat{f} \|_2^2} \quad (9)$$



图 2  $17 \times 17$  的散焦函数

实验(1)采用  $128 \times 76$  的 logo 图像(如图 3 所示)。

(a)图为原始图像;(b)图为退化图像其信噪比为 40.12dB;(c)图为 NAS-RIF 复原结果;(d)图为改进算法复原结果。其 NAS-RIF 算法与改进算法的信噪比增益分别为 4.243dB 和 6.739dB。由实验结果可以看出,改进的算法在提高退化图像的信噪优越于 NAS-RIF 算法,且在保存退化图像边界问题上也有一定的改善。

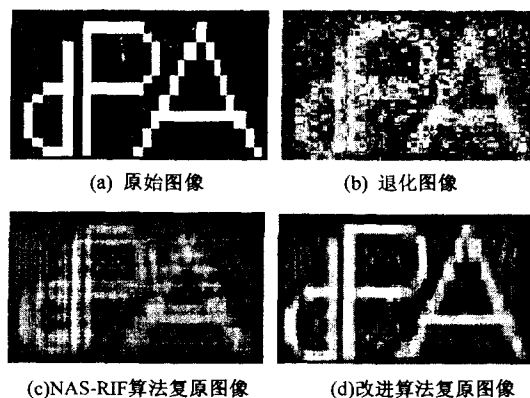


图 3  $128 \times 76$  的 logo 图像

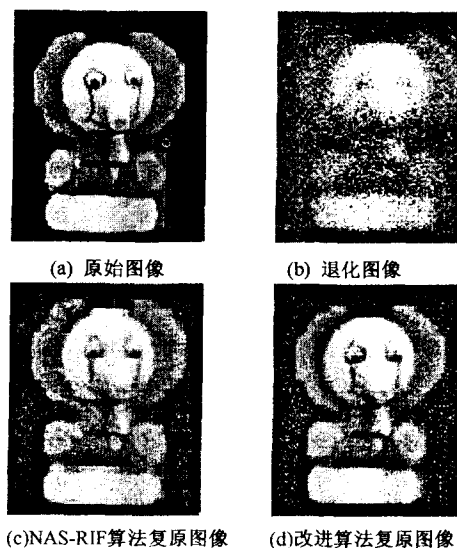


图 4  $96 \times 118$  像素的 toy 图像

实验(2)采用  $96 \times 118$  像素的 toy 图像(如图 4 所示)。(a)图为原始图像;(b)图为退化图像其信噪比为 38.87dB;(c)图为 NAS-RIF 复原结果,其信噪比增益为 3.1334dB;(d)图为改进算法复原结果,其信噪比增益为 4.3674dB。

(下转第 94 页)

择合适的聚类算法。

表 1 密度聚类算法比较结果表

	算法效率	适合的数据类型	发现的聚类类型	对脏数据或异常数据的敏感性	对数据输入顺序的敏感性
DBSCAN	一般	数值型	任意	敏感	敏感
SDBSCAN	较高	数值型	任意	敏感	敏感
PDBSCAN	高	数值型	任意	敏感	敏感
FDBSCAN	较高	数值型	任意	敏感	敏感
OPTICS	一般	数值型	---	一般	不敏感
CLIQUE	较低	任意型	凸形或球形	一般	不敏感
DENCLUE	较高	数值型	任意	不敏感	不敏感

#### 4 结束语

基于密度的聚类算法由于其可发现任意形状的簇,并且对噪声数据不敏感,常用于遥感图像的分析及选址、选线等工程中。在 GIS 中,基于密度的聚类可以从大量的空间数据中,通过数据点属性间的关联进行聚类,从而得到具有特别形状的聚类。由于高维空间技术的发展,如何从高维空间中发现大量的有用信息是今后研究的重点,基于密度的聚类算法由于其本身具有的特点,通过对高维数据属性特征的提取,可扩展到对高维数据的处理。

(上接第 90 页)

实验结果表明,改进后的算法较有效地抑制了噪声的放大,保护了图像的边缘信息,且改善了退化图像的视觉效果。

#### 4 结束语

将零相位 RIF 和小波去噪技术引入到 NAS-RIF 图像盲复原算法中,由于小波变换具有对称性、正交性、光滑性和紧支性等特性和零相位 RIF 的保护图像的线条和边缘特性,改进后的算法不仅有较好的抗噪性能,而且保持退化图像边缘特征上也表现出一定的优势。但就此复原算法仅对背景均匀的退化图像有较好的复原性能,要将算法运用于非均匀背景的退化图像且达到一定的复原性能,仍需进一步研究。

#### 参考文献:

- [1] Banham M R, Katsaggelos A K. Digital image restoration[J]. IEEE signal processing magazine, 1997(3):24-41.

#### 参考文献:

- [1] Han Jiawei, Kamber M. Data Mining: Concepts and Techniques [M]. [s. l.]: Morgan Kaufmann Publishers, 2001.
- [2] Ester M, Kriegel H P, Sander J, et al. A Density-Based Algorithm for Discovering Clusters in Large Spatial Databases with Noise[C]//Proc. of 2nd Int. Conf. on Knowledge Discovery and Data Mining (KDD-96). Portland, Oregon: [s. n.], 1996.
- [3] 周水庚, 范 晔, 周傲英. 基于数据取样的 DBSCAN 算法[J]. 小型微型计算机系统, 2000, 21(12): 1270-1274.
- [4] 何中胜, 刘宗田, 庄燕滨. 基于数据分区的并行 DBSCAN 算法[J]. 小型微型计算机系统, 2006, 27(1): 114-116.
- [5] 周水庚, 周傲英, 曹 晶, 等. 一种基于密度的快速聚类算法[J]. 计算机研究与发展, 2000, 37(11): 1287-1292.
- [6] Ankerst M, Breuning M M, Kriegel H P, et al. OPTICS: Ordering Points To Identify the Clustering Structure[C]//A CMSIGMOD Int. Conf. on Management of Data Philadelphia PA: [s. n.], 1999.
- [7] Agrawal R, Gehrke J, Gunopulos D, et al. Automatic Subspace Clustering of High Dimensional Data for Data Mining Applications[C]//ACM SIGMOD Int. Conf. USA: [s. n.], 1998: 94-105.
- [8] Hinneburg A, Keim D C. An Efficient Approach to Clustering in Large Multimedia Databases with Noise [C]//ACM SIGKDD Int. Conf. USA: [s. n.], 1998: 58-65.
- [9] 吴信才, 白玉琪, 郭玲玲. 地理信息系统——原理、方法和应用[M]. 北京: 科学出版社, 2001.
- [2] 张 航, 罗大庸. 图像盲复原算法研究现状及其展望[J]. 中国图像图形学报, 2004, 9(10): 1145-1152.
- [3] Kundur D, Hatzinakos D. Blind image deconvolution[J]. IEEE Signal Processing Mag, 1996, 13(3): 43-64.
- [4] Kundur D. Blind deconvolution of still images using recursive inverse filtering[D]. Toronto: Toronto Univ., 1995.
- [5] Kundur D, Hatzinakos D. A novel blind deconvolution scheme for image restoration using recursive filtering[J]. IEEE Trans on Signal Processing, 1998, 26(2): 375-390.
- [6] Chin Ann Ong, Chambers J A. An enhanced NAS-RIF algorithm for blind image deconvolution[J]. IEEE Trans on Image Processing, 1998, 8(7): 988-992.
- [7] 谢杰成, 张大力, 徐文立. 小波图像去噪综述[J]. 中国图像图形学报, 2002, 7(3): 209-217.
- [8] 柳 微, 马争鸣. 基于边缘检测的图像小波阈值去噪方法[J]. 中国图像图形学报, 2002, 7(8): 788-793.
- [9] Donoho D L, Johnstone I M. Ideal spatial adaptation via wavelet shrinkage[J]. Biometrika, 1994, 81: 425-455.