

## 一种基于图像质量评价的自适应图像复原算法

李 孟<sup>1</sup>, 李俊山<sup>1</sup>, 张士杰<sup>1,2</sup>, 杨亚威<sup>1,3</sup>, 孙新立<sup>1,2</sup>

(1 第二炮兵工程大学 信息工程系, 陕西 西安 710025; 2 第二炮兵工程大学 通信站, 陕西 西安 710025;  
3 96215 部队, 广西 柳州 545616)

**摘 要:** 针对图像盲复原过程中出现的振铃效应, 提出了一种基于图像质量评价的自适应图像复原算法. 首先设计了一种基于梯度的复原图像质量评价方法, 可以对复原图像的清晰度和振铃效应进行综合评价; 然后, 将评价方法用于模糊图像点扩展函数尺寸估计, 并将估计出的点扩展函数作为迭代盲复原算法的初始点扩展函数; 最后, 迭代复原模糊图像, 对每次迭代得到的复原图像进行质量评价, 检测到复原图像质量评价指标下降后自动停止迭代, 质量评价指标最高的复原图像就是最终结果. 仿真实验结果表明, 此复原图像质量评价方法所得结果与人眼视觉相符, 点扩展函数尺寸估计准确, 复原图像质量较高, 振铃效应得到了较好地抑制.

**关键词:** 图像质量评价; 点扩展函数估计; 自适应; 迭代盲复原

**中图分类号:** TP391

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1000-7180(2013)11-0076-04

## A Self-adaptive Image Restoration Algorithm Based on Image Quality Assessment

LI Meng<sup>1</sup>, LI Jun-shan<sup>1</sup>, ZHANG Shi-jie<sup>1,2</sup>, YANG Ya-wei<sup>1,3</sup>, SUN Xin-li<sup>1,2</sup>

(1 Department of Information Engineering, Second Artillery Engineering University, Xi'an 710025, China;  
2 Communication Station, Second Artillery Engineering University, Xi'an 710025, China;  
3 96215 Unit of PLA, Liuzhou 545616, China)

**Abstract:** A self-adaptive image restoration algorithm based on image quality assessment is put forward to suppress the ringing effects which occur in blind image restoration. Firstly, we propose an image quality assessment based on gradient, which can assess both image definition and ringing effects. Then, we utilize the assessment to estimate PSF (Pointer Spread Function) size and treat the estimated PSF as the initial PSF of the iterative blind deconvolution (IBD) algorithm. Finally, we restore the blurred image iteratively and assess the quality of the restored image at the end of each iteration, the iteration stops as soon as the assessment becomes decreasing, the final restored image is the one with the highest assessment metric. The results of the simulated experiments show that the restored image quality assessment method in this paper is consistent with human perception, the estimated PSF size is accurate, the restored image quality is high and the ringing effects is restrained.

**Key words:** image quality assessment; PSF estimation; self-adaption; iterative blind restoration

### 1 引言

图像复原利用退化图像的某种先验知识来重建或复原退化图像, 因此图像复原可以看成是图像退化的逆过程. 传统的图像复原方法需要预先知道退

化图像的点扩展函数 (PSF), 但实际应用中大部分退化图像的点扩展函数是未知的, 只能在退化图像的先验知识的条件下估计出原始图像, 这种线性系统退化模型的估计问题通常被称为图像盲复原<sup>[1]</sup>.

模糊图像盲复原以后常常存在振铃现象, 严重

降低了复原图像的质量,振铃效应的典型表现是在图像灰度剧烈变化的邻域出现类吉布斯(Gibbs)分布的震荡<sup>[2]</sup>.众多学者对抑制振铃效应的方法进行了广泛研究<sup>[3-5]</sup>,文献[3]中认为在图像复原过程中点扩展函数尺寸选择不准确是引发复原结果产生振铃效应的一个重要原因,特别是选用的点扩展函数尺寸大于真实点扩展函数尺寸时,振铃效应则更为明显.

针对点扩展函数尺寸不准确时产生的振铃效应,提出一种基于图像质量评价的自适应图像复原算法.

## 2 迭代盲目反卷积算法(IBM)

二维空间移不变的图像降质模型可表示为

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

式中,“\*”表示二维卷积运算, $g(x, y)$ 是退化(观测)图像; $f(x, y)$ 是原始图像; $h(x, y)$ 是点扩展函数; $n(x, y)$ 为加性噪声.从模糊模型中可以看出,获取的观测图像实际是原始图像卷积系统的响应函数,再叠加噪声得到的.因此图像复原可以描述为如何从已知的 $g$ 及有关知识求出 $f$ 的过程.

空域的卷积在频率域可转化为乘积运算,式(1)又可表示为

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

迭代盲复原(IBM)算法<sup>[6]</sup>的主要思想是利用真实图像和PSF的有关知识作为限制条件,如PSF在已知的支持域中具有非负性以及在频率域中与真实图像估计之间的约束等.在选取真实图像的初始估计后,算法就在加了限制条件的时域和对应的频率域中交替迭代,直到执行了一定的迭代次数或估计开始收敛.其代价函数为

$$L(f, h) = \frac{1}{2} \|h * f - g\|^2 +$$

$$\alpha J_x(x) + \beta J_h(h) \quad (3)$$

式中, $\alpha, \beta$ 为规整化系数,系数的选取和图像的信噪比有关, $J_x(x)$ 和 $J_h(h)$ 分别是对 $x$ 和 $h$ 的规整化限制.当考虑如上代价函数的最小化时,频域约束可用下式表示:

$$H^{k+1} = \frac{F^k \times G}{\|F^k\|^2 + \beta \left( \frac{(2\pi)^2(u^2 + v^2)}{|\nabla h^{k+1}|} \right)} \quad (4)$$

$$F^{k+1} = \frac{H^k \times G}{\|H^k\|^2 + \alpha \left( \frac{(2\pi)^2(u^2 + v^2)}{|\nabla f^{k+1}|} \right)} \quad (5)$$

而时域约束可用下式表示:

$$\int h(i, j) di dj = 1, f(i, j) \geq 0, h(i, j) \geq 0 \quad (6)$$

IBM算法对清晰图像的先验信息要求较少,应用广泛.通过对真实图像和PSF作不同的假设,又有多种不同的实现方法.由于该算法在频域中用到了类似维纳滤波器,能够较好地去除噪声的影响.

## 3 基于图像质量评价的自适应图像复原算法

### 3.1 基于梯度的复原图像质量评价方法

数字图像的模糊降质主要是边缘部分的模糊降质,在图像复原过程中也主要是对边缘区进行复原,图像越清晰,边缘区图像的梯度值越大,可以近似认为边缘区梯度的变化完全是边缘恢复的结果.振铃效应主要集中在图像的边缘区域和图像边界附近,因为振铃效应的存在,使得非边缘区的梯度发生变化,不考虑噪声的影响,可以近似认为平坦区的梯度变大完全是振铃效应的结果<sup>[7]</sup>,因此本文提出基于梯度的图像质量评价方法.

首先对模糊图像进行分区.图像的边缘部分灰度变化比较剧烈,具有相对较大的图像梯度值,而图像的非边缘区灰度变化不明显,具有相对较小的图像梯度值,因此可以利用梯度的大小设定阈值 $\lambda$ ,按照下面的方法来对模糊图像进行分区:

$$\begin{cases} \nabla g(i, j) \geq \lambda & g(i, j) \text{ 为边缘区} \\ \nabla g(i, j) < \lambda & g(i, j) \text{ 为非边缘区} \end{cases} \quad (7)$$

然后,对复原图像分别计算边缘区的清晰度恢复值 $Q_e$ 和非边缘区的振铃效应值 $Q_r$ ,评价式为

$$Q_e = \frac{1}{N_e} \sum_{(i, j) \in D_e} (\nabla f(i, j) - \mu_1)^2 \quad (8)$$

$$Q_r = \frac{1}{N_f} \sum_{(i, j) \in D_f} (\nabla f(i, j) - \mu_2)^2 \quad (9)$$

式中, $D_e$ 表示边缘区域, $D_f$ 表示非边缘区域, $N_e$ 表示边缘区域的像素个数, $N_f$ 表示非边缘区域的像素个数, $\nabla f$ 为复原图像的梯度, $\mu_1$ 为模糊图像边缘区的梯度均值, $\mu_2$ 为模糊图像非边缘区的梯度均值. $Q_e$ 表示复原图像相对于原始图像边缘区的梯度平方差,代表了清晰度的恢复值,其值越大,表示图像的边缘恢复的越好. $Q_r$ 表示复原图像相对于原始图像非边缘区的梯度平方差,代表了振铃效应的值,其值越大,表示振铃效应越严重.

最后,为了对复原图像的清晰度和振铃效应进行综合评价,根据 $Q_e$ 和 $Q_r$ 得出图像质量综合评价值GQM:

$$GQM = Q_e - \beta Q_r \quad (10)$$

GQM 表示为边缘区的清晰度恢复值减去非边缘区的振铃效应值,其值越大表示图像越清晰或振铃效应越小,即图像复原的质量越高,参数  $\beta$  的取值由人眼对边缘区的清晰度恢复和振铃敏感的相对程度来进行确定。

3.2 基于图像质量评价的点扩展函数尺寸估计

在估计 PSF 尺寸的过程中,为了降低运算时间开销,仅选择模糊图像某一较小区域进行复原测试。测试区域必须同时包含边缘区和非边缘区,尺寸至少为点扩展函数尺寸的 2 倍。由于测试区域比较小,为了减少边界截断引起的寄生波纹在计算图像质量评价时产生的误差,本文采用循环边界方法<sup>[8-9]</sup>,将图像按反射对称方式延拓,由原图尺寸  $m \times n$  变成  $2m \times 2n$ 。由于 FFT 在空间域和空间域频率的双周期性,当在延拓图像上使用 FFT 技术时,意味着以  $2m \times 2n$  尺寸对图像进行周期延拓,在任何一个延拓的结合边界处都不会出现图像数值的跳变。这就消除了产生边界振铃的主要因素。

模糊图像点扩展函数尺寸的估计过程如下:

- (1) 选择同时包含边缘区和非边缘区的图像块  $g_1$ ,并使用循环边界法得到  $g_2$ ;
- (2) 根据不同的点扩展函数尺寸  $k$ ,使用迭代盲反卷积算法对  $g_2$  进行复原,得到复原图像  $\hat{f}_{2,k}$ ;
- (3) 使用文中的复原图像质量评价方法对  $\hat{f}_{2,k}$  进行质量评价,得到质量指标值  $Q_{2,k}$ ;
- (4) 重复第(2),(3)步,得到  $k-Q_{2,k}$  曲线,见图 1。当  $Q_{2,k}$  取最大值时表示图像质量最好,对应的  $k$  值就是模糊图像 PSF 尺寸的最佳估计值,记为  $h'$ 。

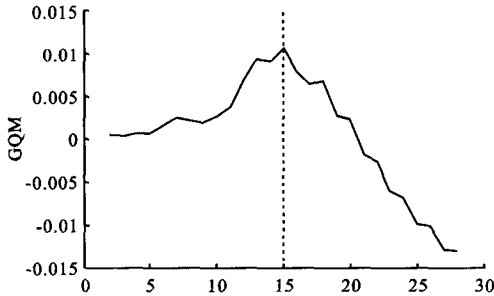


图 1 PSF 取不同尺寸时图像质量评价曲线

3.3 退化图像自适应迭代盲复原

本文采用 IBD 算法对模糊图像  $g$  进行复原,以归一化的大小为  $h' \times h'$  的全 1 矩阵作为点扩展函数的起始估计,以模糊图像作为复原图像  $f$  的初始估计。在每次迭代结束后计算图像的质量评价,根据复原图像的质量评价曲线(图 2),评价值最大时表示复原图像质量最高,由此得出最终复原图像  $\hat{f}$ 。

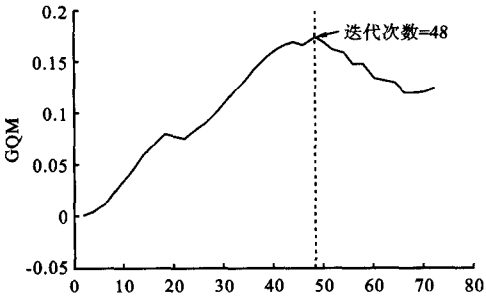


图 2 不同迭代次数的图像质量评价曲线

4 实验结果与分析

为了验证本文算法的有效性,在 MATLAB R2008a 环境下做了仿真实验。

实验选择 Lena 图像,Peppers 图像和 Goldhill 图像来进行对比验证。将三幅图像的原始图像进行模糊处理,分别采用本文算法进行复原,然后再以比本文估计 PSF 小 2 像素和大 2 像素的 PSF 分别进行复原,从复原的各组图像可以看出,本文方法复原得到的图像比较清晰,振铃效应得到了很好的抑制;而以偏小 PSF 复原的图像仍然比较模糊,达不到复原的目的;以偏大的 PSF 复原的图像则存在明显的振铃。所以,PSF 过大或过小图像复原的效果都不理想,由此可知本文估计的 PSF 大小比较准确,图像复原的效果比较好。

复原完成后分别采用峰值信噪比(PSNR)、基于各向异性的图像质量评价<sup>[10]</sup>(BIQIA)和本文的质量评价(GQM)方法来评价各组复原图像的质量,结果如表 1 所示。对照上文的复原图像,从表中数据可知,三种评价方法中,本文提出的 GQM 对各组图像质量的评价与人眼视觉最相符。PSNR 基于图像像素值的统计,反映不出图像的结构信息,对图中的振铃不能进行很好地评价,而 IBIQIA 在进行质量评价时会把图像中的振铃当作边缘来进行处理,当图像中存在振铃时,其值会偏大。

表 1 不同评价方法对复原图像的评价值

| 图像       | 复原方法       | GQM                   | PSNR     | BIQIA                 |
|----------|------------|-----------------------|----------|-----------------------|
| Lena     | 本文方法       | 0.001                 | 27.181 0 | 0.005 0               |
|          | PSF 小 2 像素 | $8.76 \times 10^{-4}$ | 27.948 0 | 0.004 0               |
|          | PSF 大 2 像素 | $8.57 \times 10^{-4}$ | 24.747 7 | 0.005 2               |
| Peppers  | 本文方法       | 0.001 4               | 29.562 9 | 0.002 8               |
|          | PSF 小 2 像素 | $9.43 \times 10^{-4}$ | 28.483 5 | 0.002 1               |
|          | PSF 大 2 像素 | 0.001 2               | 27.240 5 | 0.002 6               |
| Goldhill | 本文方法       | 0.001 1               | 28.309 5 | $8.02 \times 10^{-4}$ |
|          | PSF 小 2 像素 | $9.34 \times 10^{-4}$ | 27.382 0 | $6.38 \times 10^{-4}$ |
|          | PSF 大 2 像素 | 0.001 0               | 26.663 9 | $8.21 \times 10^{-4}$ |

## 5 结束语

本文构造了一种基于梯度的复原图像质量评价方法,并利用该评价方法估计退化图像的点扩展函数尺寸和判断复原所需要的最佳迭代次数,实现了退化图像的自适应复原.实验结果表明本文方法对降晰函数尺寸的估计比较准确,在较大程度上抑制了振铃效应,提高了复原图像的质量.由于图像复原过程中 PSF 尺寸不准确并不是产生振铃的唯一原因,复原图像中仍然存在一定的振铃,下一步将对产生振铃的其他原因进行研究.

## 参考文献:

- [1] 张航,罗大庸.图像复原算法的研究现状及其展望[J].中国图形图像学报,2004,10(9):1145-1152.
- [2] 徐宗琦,高璐.一种盲复原图像振铃效应的后处理与质量评价方法[J].计算机应用,2007,27(4):986-988.
- [3] Lagendijk L, Biemond J, Boeke E. Regularized iterative image restoration with ringing reduction[J]. IEEE Transactions on Acoustics, Speech, and Signal Processing, 1988, 36(12): 1874-1887.
- [4] Lanteri H, Roche M, Gaucherel P, et al. Ringing reduction in image restoration algorithm using a constraint on the inferior bound of the solution [J]. Signal Processing, 2002(82):1481-1504.
- [5] Lim Kah Bin, Yu Weimiao, Lee shayliang. Ringing reduction of image restoration[C]// IEEE ICSP. Beijing, 2002:1757-1761.
- [6] 吴显金,王润生.基于边缘恢复和伪像消除的正则化图像复原[J].电子与信息学报,2006,28(4):577-581.
- [7] Ayers G R, Dainty J C. Iterative blind deconvolution method and its applications [J]. Opticsletters, 1988, 13(7):547-549.
- [8] 邹谋炎.反卷积和信号复原[M].北京:国防工业出版社,2001.
- [9] Aghdasi F, Ward K. Reduction of boundary artifacts in image restoration [J]. IEEE Transactions On Image Processing, 1996,5(4):611-618.
- [10] Gabarda Cristóbal. Blind image quality assessment through anisotropy[J]. Journal of the Optical Society of America, 2007, 24(12):42-51.

## 作者简介:

**李孟女**, (1988-), 硕士研究生. 研究方向为图像处理与目标识别.

**李俊山** 男, (1956-), 教授, 博士生导师. 研究方向为图像处理与目标识别、网络信息安全、电子对抗模拟与仿真.

**张士杰** 男, (1981-), 博士研究生. 研究方向为气动光学退化效应仿真及退化图像复原.

**杨亚威** 男, (1986-), 博士研究生. 研究方向为图像处理与目标识别、图像质量评价及复原技术.

**孙新立** 男, (1979-), 工程师. 研究方向为信息处理与现代通信技术.