

基于 PSO 自适应正则化参数图像恢复的研究

聂笃宪

(华南农业大学, 广东 广州 510642)

摘要: 图像恢复的根本目的是使降质图像趋向于复原或没有噪声影响的理想图像, 当前的主要问题是如何在平滑噪声的同时保持图像的边缘和细节。文中提出了基于粒子群优化算法的自适应正则化参数图像恢复算法, 与传统方法相比较, 实验结果表明, 文中方法在恢复效果上要优于传统的正则化方法、Lucy-Richardson 算法和维纳(Wiener)滤波器恢复, 明显地克服模糊退化, 同时也保护了图像的边缘等细节信息, 图像纹路更加清晰, 图像质量评价的 ISNR 好于传统方法。

关键词: 图像恢复; 粒子群优化算法; 正则化参数

中图分类号: TN911.73

文献标识码: A

文章编号: 1673-629X(2009)01-0106-03

Research on Adaptively Regularized Parameter Image Restoration PSO - Based

NIE Du-xian

(South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China)

Abstract: The essential purpose of image restoration is to remove the noises and obtain the best estimate of the original image. At present, a main problem is how to smooth image noise and to preserve image edge details at the same time. Presents a new approach based on particle swarm optimization to adaptively select regulation parameter. Experimental results show the proposed method in the paper is better than traditional methods such as regularized method, Lucy-Richardson algorithm and Wiener filtering. The proposed method clearly smoothed away the blurred image and preserved image edges. Image texture is very clear and ISNR of the proposed method is superior to those of traditional methods.

Key words: image restoration; particle swarm optimization; regularization parameter

0 引言

图像的恢复是数字图像信息处理的重要内容, 它在天文学、物质研究、卫星遥感、医学成像、工业视觉、军事公安、案件侦破、历史人文、工业检测等多个领域的科学研究与工程实践中得到广泛的应用。图像恢复指的是去除或减轻在获取数字图像过程中发生的图像质量下降, 造成该现象的原因可能是由光学系统(如聚焦不准, 运动)等造成的图像模糊, 也可能是由电路和光度学因素的噪声, 对遥感图像质量的下降, 还可能是由大气湍流等随机噪声造成的。图像恢复的目的是对模糊图像进行处理, 使降质图像趋向于复原或没有噪声影响的理想图像。

在许多情况下图像的降质过程可以用线性模型来

描述, 在实际处理中, 需要将线性模型离散化成下面形式^[1]:

$$g = Hf + n \quad (1)$$

式中: g, f, n 分别为降质图像(即观测图像)、原始清晰图像和降质过程所引入的加性白高斯噪声按行堆叠而成的矢量。 H 为由降质系统点扩展函数 h 所构成的矩阵, 即模糊算子。因此图像恢复可描述为如何从已知的 g 及有关知识求出 f 的反演过程; 典型的图像恢复方法有^[2]维纳滤波法、正则化(regularized)滤波器恢复、Lucy-Richardson 算法等。然而, 由于引起图像退化的原因未知或不能用函数表达, 使得上述方法要面临较多的约束问题和计算求解复杂度等问题, 文中提出基于粒子群优化算法的自适应正则参数图像恢复方法, 较好地解决这个问题, 为了校验文中方法的有效性, 进行了仿真试验, 同传统方法做了比较。

1 图像恢复的正则化方法

图像恢复问题是一个不适定的问题, 即图像恢复

收稿日期: 2008-04-03

基金项目: 国家青年基金资助项目(60702030); 广东省自然科学基金资助项目(05006661)

作者简介: 聂笃宪(1974-), 男, 湖南人, 讲师, 硕士, 研究方向为分形与图像处理, 虚拟现实。

解不能同时满足存在、惟一和连续,因此图像恢复结果受到噪声的干扰较大。对于不适定问题的求解,一个良好的方法是采用正则化的方法^[3]。根据 Tikhonov 正则化的观点,一般常规的正则化方法是把图像恢复问题规划为优化问题即通过对如下目标泛函求最小化:

$$J(\alpha, f) = \|g - Hf\|_2^2 + \alpha \|Cf\|_2^2 \quad (2)$$

上式中 $\|g - Hf\|_2^2$ 为数据的逼近项,反映了观测图像 g 对原始图像 f 的逼近程度; α 为正则化参数,用来平衡近似解的逼近程度和平滑性; $\|Cf\|_2^2$ 为正则项,它根据图像的平滑性对解进行约束,此时 C 为正则算子,通常为高通滤波算子,如拉普拉斯算子、恒等算子等微分算子。

为了使 $J(\alpha, f)$ 最小,将(2)式对 f 微分,并使其为零有:

$$(H^T H + \alpha C^T C)f = H^T g \quad (3)$$

对于给定的正则化算子 C ,适当选取正则化参数 α ,可求得正则化解:

$$f_\alpha = (H^T H + \alpha C^T C)^{-1} H^T g \quad (4)$$

显然,正则化图像恢复问题可叙述给定的正则化算子后,如何选择正则化参数使得图像恢复效果最佳的问题。对于正则化参数的选择,无论是从理论上来看,还是从解决实际问题的要求来看,是一个很重要而且富有魅力却又难以解决的问题,一方面当参数过大时会使得正则化项在整个目标泛函中占有较大的比重,从而使得复原结果图像产生过平滑的效应,抹去了图像中的许多细节信息;另一方面,当参数过小时既不能很好消除问题的病态性又无法体现出对图像的先验知识。所以,正则参数的选取直接影响着图像复原的效果。现有的比较常见的正则化参数确定方法主要包括如下几个方面^[4,5]:

(1)在噪声的方差已知情形下:

i) 约束最小二乘法。

$$\alpha = \arg_{\alpha} \{ \|g - Hf(\alpha)\|^2 = \|n\|^2 = MN\sigma^2 \} \quad (5)$$

其中 M, N 为图像尺寸, σ 为噪声方差。

ii) 同等自由度法。

$$\alpha = \arg_{\alpha} \{ \|g - Hf(\alpha)\|^2 = \|(I - HA(\alpha))g\|^2 = \sigma^2 \text{tr}(I - HA(\alpha)) \} \quad (6)$$

iii) 预测均方误差法。

$$\begin{aligned} \alpha &= \arg \min_{\alpha} \{ E(\|Hf - Hf(\alpha)\|^2) \} \\ &= \arg \min_{\alpha} \{ \|(I - HA(\alpha))g\|^2 + 2\sigma^2 (\text{tr}(HA(\alpha)) - MN) \} \end{aligned} \quad (7)$$

iv) SNR 方法。

$$\alpha = \left(\frac{\epsilon}{E}\right)^2 \quad (8)$$

其中, ϵ, E 分别取决于观测图像的噪声和图像中目标的总能量。

(2)在噪声的方差未知情况下:

i) 极大似然估计法:

$$\alpha = \arg \min_{\alpha} \frac{g^T (I - HA(\alpha))g}{(\det(I - HA(\alpha)))^{\frac{1}{MN}}} \quad (9)$$

ii) 一般交互确认与广义确认法。

$$\alpha = \arg \min_{\alpha} \frac{\|(I - HA(\alpha))y\|^2}{(\text{tr}(I - HA(\alpha)))^2} \quad (10)$$

(3) Tikhonov 正则化迭代法;拟最优准则;广义交叉校验(GCV)准则;L 曲线准则^[6],遗传算法^[7]等;

(4)以图像为参数的函数形式^[5]:此方法的特点是,以泛函的形式代替以往的常数形式的正则化参数,不需要知道有关图像的统计特性,在迭代过程中逐步利用部分复原的图像所提供的信息来调整参数,从而使参数和复原结果同步达到最优。

这些方法都有其自身的优越性,但也有其计算量大或者计算过程复杂的不足。文中在已经先验条件下,结合正则化方法,提出基于粒子群优化算法的自适应正则参数图像恢复方法。

2 基于 PSD 的自适应正则化图像恢复

2.1 粒子群优化(PSO)算法

粒子群优化(Particle Swarm Optimization)算法由 Eberhart 博士和 Kennedy 博士^[8,9]发明,源于对鸟群捕食的行为的研究,是一种基于迭代的优化工具。系统初始化一组随机粒子群,通过迭代搜寻最优值,但并没有遗传算法用的交叉与变异。在每一次迭代过程中,粒子通过跟踪粒子本身所找到的最优解(个体极值 pbest)与整个粒子群的最优解(全局极值 gbest)来更新自己。找到以上两极值后,就依据式(11)、(12)更新速度与位置。

$$v = w * v + c_1 * \text{rand}() * (pbest - x) + c_2 * \text{rand}() * (gbest - x) \quad (11)$$

$$x = x + v \quad (12)$$

其中, v 是粒子的速度, x 是粒子的当前位置,学习因子常取 $c_1 = c_2 = 2$, w 是加权因子,取值在 0.1 到 0.9 之间, pbest 与 gbest 如前所述, rand() 是 (0, 1) 之间的随机数。对加权因子 w 一般由最大加权因子 w_{\max} 线性递减到最小加权因子 w_{\min} , 即

$$w = w_{\max} - \text{iter} \times \frac{w_{\max} - w_{\min}}{\text{iter}_{\max}} \quad (13)$$

粒子群优化算法的流程如下:

(1) 初始化粒子群。在给定范围内初始化每个粒子的位置及速度,同时将每个粒子的 pbest 初始化为当前位置,取 gbest 为 pbest 中的最优值。

(2) 计算各个粒子的适应值。

(3) 根据粒子的适应值更新 pbest 和 gbest。对于每个粒子,将其适应值与 pbest 进行比较,如果优于 pbest,则将其作为当前最优位置 pbest。如果当前最优位置 pbest 进行了更新,则将其与群体历史最优位置 gbest 进行比较,如果 pbest 优于 gbest,则将其作为群体最优位置 gbest。

(4) 根据粒子群速度和位置更新方程来更新粒子群的速度和位置。

检查是否满足终止条件。如果运行次数达到最大迭代次数或解在误差允许范围之内,则终止迭代;否则返回(2)。

2.2 应用粒子群优化算法选择正则参数与图像恢复

粒子群优化算法寻找的是全局最优解,文中适应度函数采用 Morozov 偏差原理^[10]中的正则参数确定的函数表达式,即:

$$\min \Phi(\alpha) = \min ||Hf_{\alpha} - g_{\delta}||_2^2 - \delta^2 \quad (14)$$

粒子群算法求解正则化参数与图像恢复的具体步骤如下:

- 1) 选取原始图像 f 的观测图像 g_{δ} , δ , 给定正则算子 C , 模糊算子 H ;
- 2) 初始化正则参数,在(0,1)范围内随机设置粒子 α 的初始位置和速度;
- 3) 根据 (14) 式计算适应值;
- 4) 根据公式(11)、(12) 更新粒子的位置和速度;
- 5) 检查终止条件,输出最佳正则参数,终止迭代,否则回到步骤 3);
- 6) 根据公式(4)输出恢复图像,算法结束。

2.3 实验结果及分析

这里采用 256×256 的 lena 灰度原始图像,对它进行 7×7 的高斯模糊,再加上均值为 0,方差为 0.0001 的高斯白噪声, $\delta = 0.00001$, 正则算子 C 选定为拉普拉斯算子,粒子的群体规模 $M = 20$, iter max = 1000, $w_{\max} = 0.9$, $w_{\min} = 0.4$, 图像质量的评价采用改进信噪比 ISNR(improvement in signal to noise ratio),其定义形式如下:

$$\text{ISNR} = 10 \log_{10} \frac{||g_{\delta} - f||_2^2}{||f_a - f||_2^2} (\text{dB}) \quad (15)$$

其中 f, g_{δ}, f_a 分别为原始图像、降质图像和恢复图像。

实验结果如表 1 和图 1 所示。

表 1 文中方法与传统图像恢复方法的参数表

文中方法		传统方法		
α 的值	$2.98e-5$	维纳(Wiener)	正则化	Lucy-Richardson
$\Phi(\alpha)$	$2.15e-10$	滤波	滤波	算法
ISNR(dB)	2.872	-5.855	0.067	0.582

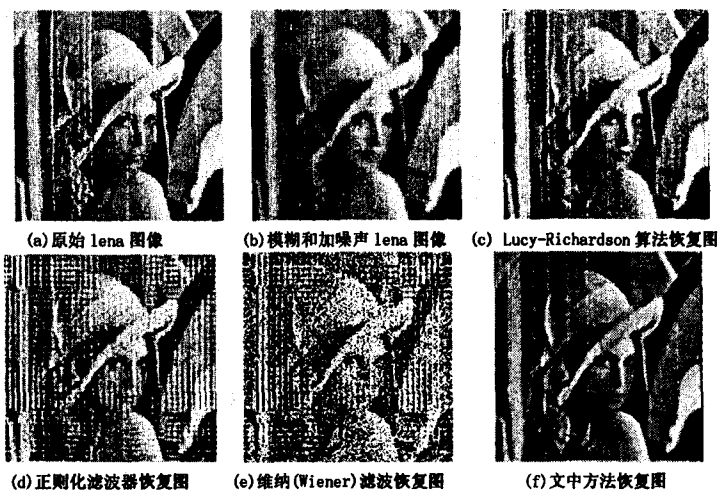


图 1 文中方法与传统图像恢复方法的 lena 图像恢复结果图

通过以上实验对比效果可以看出,经 Lucy-Richardson 算法恢复后的图像较模糊,同时边缘出现了振铃波纹,正则化滤波器恢复后图像也有振铃波纹,维纳滤波恢复后图像产生振铃式波纹更加明,文中方法恢复后图像的边界纹路更加清晰,具有更好的视觉效果,同时,ISNR 的值明显好于传统方法。

3 结束语

在传统的正则化方法以图像的平滑性为先验的基础上,拓宽正则化图像复原的思路,考虑到在对图像实施平滑性约束同时又保护图像的细节等重要信息,提出了基于粒子群优化算法的自适应正则化参数图像恢复算法。文中通过粒子群优化算法正确选择具有自适应性质的正则化参数,改善图像恢复的自适应性质,使得在克服图像模糊退化的同时并保护了图像的重要细节信息,有效抑制了图像边界的振铃式寄生波纹,同传统方法相比,具有好的恢复效果。但是如何获得更理想的图像恢复效果,仍然是进一步的研究方向。

参考文献:

- [1] Katsaggelos A K. Digital Image Restoration[M]. Berlin, Germany: Springer-Verlag, 1991.
- [2] Gonzalez R C. 数字图像处理(Matlab 版)[M]. 阮秋琦等译. 北京:电子工业出版社,2006.
- [3] 邹谋炎. 反卷积和信号复原[M]. 北京:国防工业出版社, 2001.
- [4] Galatsanos N P, Katsaggelos A K. Methods for Choosing the Regularization Parameter and Estimating the Noise Variance in Image Restoration and Their Relation[J]. IEEE Trans on Image Processing, 1992, 1(3):322-336.
- [5] Kang M G, Katsaggelos A K. General Choice of the Regular

```
matlab.EvalString("fidl = fopen('E: \ \ 333. dat', 'w');");//
设置保存成路径
matlab.EvalString("fwrite(fidl,b,'double');");//保存插值数据
为新文件
MessageBox("关闭 Matlab 引擎,系统将退出 Matlab 应用程序!",
"Matlab 引擎", MB_OK | MB_ICONINFORMATION);
matlab.Close();//关闭 Matlab 引擎,退出 Matlab
```

4 内插前后波形实例

两种引擎使用方法不同,但是混合编程的执行结果是相同的。这里仅给出选取 20 个数据点的 4 倍和 40 倍内插处理的结果,如图 4 为内插前波形,图 5 为 4

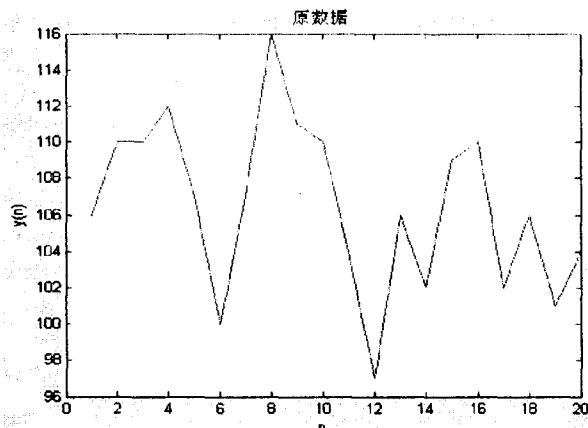


图 4 内插前波形

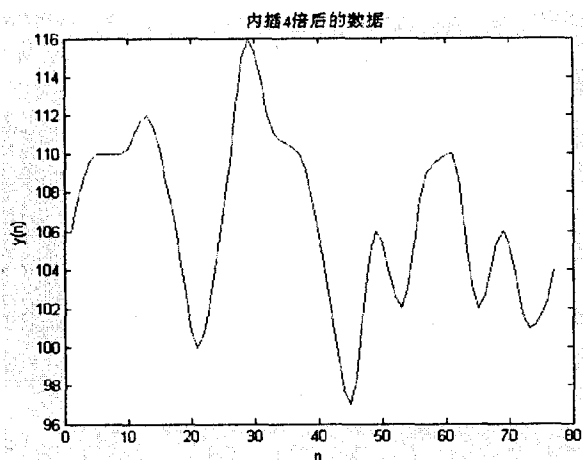


图 5 4 倍内插后波形

倍内插后波形,图 6 为 40 倍内插后波形。

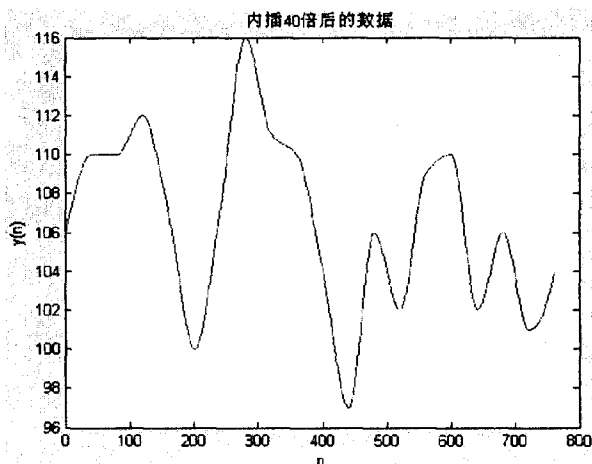


图 6 40 倍内插后波形

5 结束语

将 Matlab 与 VC++ 结合起来,充分发挥它们各自的优点,可以建立一个开放式的、编程效率极高的开发环境^[6]。从而可以降低开发难度,缩短编程时间。该系统具有良好的用户界面,较好的处理效果,并且在实际应用中验证了系统的可行性和优越性。

参考文献:

- [1] 林茂六,尹宝智,刘治宇. 高速采样信号数字内插理论与正弦内插算法研究[J]. 电子学报,2002(12):8-10.
- [2] Gochiere R E, Rabiner L. Interpolation and decimation of digital signals J. ATutorial Review, Proc, IEEE, March, 1981, 69(3):300-320.
- [3] 罗 迅,王 虹,周天庆,等. Visual C++ 与 Matlab 相结合在编程中的应用[J],2003(3):25-26.
- [4] 谢佩军,计时鸣,张 利. VC++ 与 Matlab 混合编程的探讨[J]. 计算机应用与软件,2006,23(2):128-130.
- [5] 杨高波. 精通 Matlab7.0 混合编程[M]. 北京:电子工业出版社,2006.
- [6] 王周益,刘继兴,柳长安. VC++ 与 Matlab 混合编程研究及开发实例[J]. 计算机应用研究,2006(5):154-156.

(上接第 108 页)

- ization Functional in Regularized Image Restoration[J]. IEEE Trans on Image Processing,1995,4(5):594-602.
- [6] 肖庭延,于慎根,王延飞. 反问题的数值解法[M]. 北京:科学出版社,2003.
- [7] 邹学文,王宝娥,寇 婷,等. 基于遗传算法获取正则参数的一种新方法[J]. 科学导报,2006,24(2):46-49.
- [8] Kennedy J, Eberhart R. Particle swarm optimization[C]//

- Proc of IEEE International Conference on Neural networks. Piscataway, NJ: IEEE Service Center,1995:1942-1948.
- [9] 杨 维,李歧强. 粒子群优化算法综述[J]. 中国工程科学,2004,6(5):87-94.
- [10] Morozov V A. Methods for solving incorrectly posed problems [M]. New York: Springer - Verlag, 1984.