

一种改进的自适应模糊图像增强方法

李少达¹⁾ 杨佳²⁾ 刘汉湖¹⁾ 杨容浩¹⁾

¹⁾(成都理工大学地球科学学院, 成都 610051) ²⁾(西南石油大学电子信息工程学院, 成都 610500)

摘要 Russo 提出了一种模糊图像增强方法, 该方法的效果由一个事先给定的参数来控制, 由于同一幅图像不同区域的灰度值分布不尽相同, 所以固定的参数并不能取得满意效果。为了获得更好的滤噪效果, 研究了一种基于图像区域信息的改进的自适应模糊图像增强方法。该方法首先计算每个像素与其邻域像素的平均灰度差, 然后根据该差值为每个像素分配一个噪声率, 最后通过该噪声率来自适应地选择参数。该方法能够在滤除图像噪声的同时, 不损失图像的细节特征信息。实验结果显示该方法较原方法有较大改进, 并明显优于其他一些常规方法。

关键词 模糊图像增强 平滑 锐化 噪声滤除 自适应

中图分类号: TP391.41 **文献标识码**: A **文章编号**: 1006-8961(2007)08-1339-05

An Improved Method of Adaptive Fuzzy Image Enhancement

LI Shao-da¹⁾, YANG Jia²⁾, LIU Han-hu¹⁾, YANG Rong-hao¹⁾

¹⁾(College of Earth, Chengdu University of Technology, Chengdu 610051)

²⁾(School of Electronics and Information Engineering, Southwest Petroleum University, Chengdu 610500)

Abstract An effective fuzzy method for image enhancement was presented by Russo, in which the effectiveness was controlled by a given parameter. That method was far from being satisfied since the gray values in different image areas were varied while the parameter were fixed. For better noise filtering effectiveness, an improved method of adaptive fuzzy image enhancement is presented by this paper, which sets the parameters through the area-specific information. This improved method first calculates the difference between gray values of every pixel and the average of its neighborhood. Based on which noise rate was allotted to every pixel. The parameter was finally obtained adaptively by means of the noise rate. This method was proved effective in image noise filtering while losing no detailed image information. An experimental study showed that this method, much improved in comparison with Russo's method, was superior to any other commonly adopted ones.

Keywords Fuzzy image enhancement, smoothing, sharpening, noise filtering, adaptive

1 引言

在地理信息系统的数据获取方法中, 很多都要涉及数字图像的处理, 比如扫描地图的矢量化、遥感图像解译、摄影相片的判读等等。对存在噪声的数字图像进行平滑和锐化预处理, 是进行其他比如目标识别、边缘检测、特征抽取等操作必需的、非常重要的前期工作。

平滑操作可以降低噪声的影响, 但是平滑噪声的同时, 也使目标变得模糊, 因此, 在对图像进行平滑操

作以后, 往往还要进行锐化处理, 以此来增强图像, 方便进行边缘检测、目标提取等操作。钝化模板操作 (unsharp masking operator) 是比较典型的一种图像增强方法, 该方法通过将原始图像与其高通滤波结果相加得到^[1], 但是高通滤波在增强图像本身的同时难免也把噪声增强了, 因此, 该方法适合于对没有噪声的图像进行增强处理。还有其他一些图像增强方法, 比如自适应滤波 (wiener filtering)、中值滤波 (median filtering) 等等都不能取得满意的效果^[3,4]。

Russo 提出了一种模糊图像增强方法, 并验证了该方法相较于其他方法具有一定的优越性^[2], 但

收稿日期: 2006-03-23; 改回日期: 2006-05-16

第一作者简介: 李少达 (1969 ~), 男, 讲师。成都理工大学地球探测与信息技术专业博士研究生。主要研究方向为 3S 技术及应用、数字图像处理。E-mail: lisd@cdut.edu.cn

是,由于该方法中参数是固定的,所以效果并不尽如人意。文献[5]、[6]提出了不同的参数调节方法,使该方法的效果有了进一步的提高,但效果仍不甚理想。本文提出了一种新的自适应参数调节方法,并与以上各种方法进行了实验对比,结果显示,本文方法具有简单、快速、增强效果更好等特点。

2 Russo 的基本方法

2.1 平滑与锐化

在文献[2]中,Russo 的方法有多种变化,但它们的基本思想是一致的。对于一幅有 L 级灰度的数字图像,设 $x_{i,j}$ 为 $[i, j]$ 处的像素亮度值 $0 \leq x_{i,j} \leq L-1$,如图 1 所示。

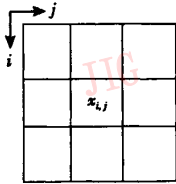


图 1 3×3 邻域
Fig. 1 3×3 neighborhood

图 2 所示为对图 1 所示邻域窗口进行处理的模糊网络结构图。该网络由两个对称的子网络组成,前面隐层中的小方块表示模糊集运算,而整个网络的输出是对中心像素噪声振幅的一个估计。

以 A 表示 $N=8$ 邻域像素亮度值集合,那么,根据图 2,模糊网络的输出由以下关系式求得:

$$\Delta x_{i,j} = \frac{K\alpha}{N} \left[\sum_{x_{m,n} \in A} \mu_{R_1}(x_{i,j}, x_{m,n}, \alpha) - \sum_{x_{m,n} \in A} \mu_{R_2}(x_{i,j}, x_{m,n}, \alpha) \right] \quad (1)$$

其中, $K=1, R_q (q=1,2)$ 表示模糊规则类别,相应的

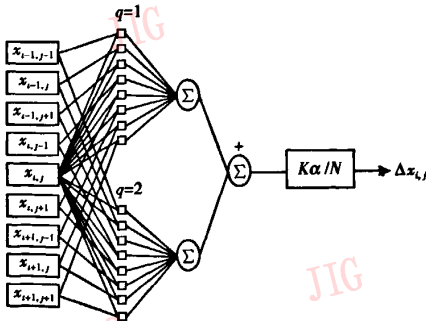


图 2 基本模糊网络结构图
Fig. 2 Basic structure of a fuzzy network

模糊隶属度函数如下式:

$$\mu_{R_q}(u, v, \alpha) = \begin{cases} \text{MAX} \left\{ \left(1 - \frac{|u-v-\alpha|}{2\alpha} \right), 0 \right\} & q=1 \\ \text{MAX} \left\{ \left(1 - \frac{|u-v+\alpha|}{2\alpha} \right), 0 \right\} & q=2 \end{cases} \quad (2)$$

以上关系式可以通过调节 $\alpha (0 < \alpha \leq L-1)$ 值来产生不同的非线性效果。假设 $y_{i,j}$ 为 $[i, j]$ 处像素没有噪声情况下的亮度值,则对于受噪声污染的图像可以通过以下关系式平滑噪声:

$$y_{i,j} = x_{i,j} - \Delta x_{i,j} \quad (3)$$

通过以上式(1)~式(3),可以完成对数字图像的平滑操作。观察以上 3 个公式,可以看出, α 值越大,则对噪声的平滑效果越好,但是也会增加细节的模糊化;反之, α 越小,则越能更好地保持图像的细节信息,但却降低了对噪声的平滑效果。

对于一幅没有噪声的图像,仍然可以利用关系式(1)和式(2)定义的模糊网络进行锐化操作,此时将选择固定的参数 $\alpha=L-1, K=2$,而对应的关系式如下:

$$y_{i,j} = x_{i,j} \oplus \Delta x'_{i,j} \quad (4)$$

这里 \oplus 表示“有界和”, $a \oplus b = \min \{ a + b, L-1 \}$ 。实际上,可以把锐化看作是平滑的相反操作。

如果输入图像为噪声图像,可以将锐化和平滑操作合并在同一个系统中,前者用来增强中心像素与邻域像素之间的亮度差,而后者用来平滑噪声,相应的操作关系式如下:

$$y_{i,j} = x_{i,j} \oplus (\Delta x'_{i,j} - \Delta x_{i,j}) \quad (5)$$

2.2 模糊网络联结

基于以上所述原理,可以组合多种网络来提高图像增强效果,文献[2]介绍了一种多维输出系统,能够基本满足图像增强的需要。

该系统处理 4×4 邻域,如图 3、图 4 所示。

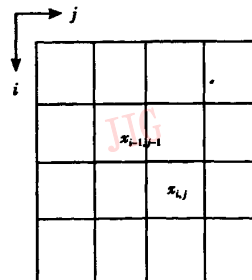


图 3 4×4 邻域窗口
Fig. 3 4×4 neighborhood window

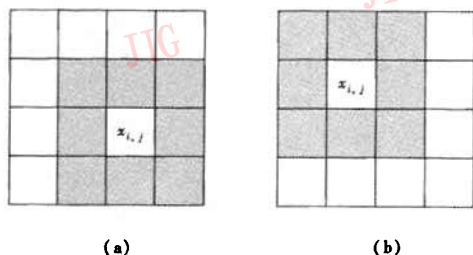


图 4 多输出处理的不同像素模板

Fig. 4 Different patterns for multiple-output processing

该系统对图像进行处理时,每一步都包含对像素的两种不同操作。第 1 种操作仅仅执行平滑处理,相应地 $y_{i,j}$ 按模式图 4(a) 进行处理计算得到,即

$$y_{i,j} = x_{i,j} - \Delta x_{i,j}^{(a)} \quad (6)$$

$$\Delta x_{i,j}^{(a)} = \frac{K\alpha_{smooth}}{N} \left[\sum_{x_{m,n} \in A} \mu_{R_1}(x_{i,j}, x_{m,n}, \alpha_{smooth}) - \sum_{x_{m,n} \in A} \mu_{R_2}(x_{i,j}, x_{m,n}, \alpha_{smooth}) \right] \quad (7)$$

第 2 种操作执行整个图像增强操作,相应的 $y_{i-1,j-1}$ 按模式图 4(b) 进行处理计算得到,即

$$y_{i-1,j-1} = x_{i-1,j-1} \oplus (\Delta x_{i-1,j-1}^{(b_2)} - \Delta x_{i-1,j-1}^{(b_1)}) \quad (8)$$

$$\Delta x_{i-1,j-1}^{(b_1)} = \frac{\alpha_{smooth}}{N} \left[\sum_{x_{m,n} \in B} \mu_{R_1}(x_{i-1,j-1}, x_{m,n}, \alpha) - \sum_{x_{m,n} \in B} \mu_{R_2}(x_{i-1,j-1}, x_{m,n}, \alpha_{smooth}) \right] \quad (9)$$

$$\Delta x_{i-1,j-1}^{(b_2)} = \frac{2\alpha_{sharp}}{N} \left[\sum_{x_{m,n} \in B} \mu_{R_1}(x_{i-1,j-1}, x_{m,n}, \alpha_{sharp}) - \sum_{x_{m,n} \in B} \mu_{R_2}(x_{i-1,j-1}, x_{m,n}, \alpha_{sharp}) \right] \quad (10)$$

以上式(6)~式(10)中, A 表示模式图 4(a) 中 $[i,j]$ 以外像素亮度值组成的集合, B 表示模式图 4(b) 中 $[i-1,j-1]$ 以外像素亮度值组成的集合。从以上公式可以看出,第 1 种处理具有递归的特性,即处理结果可以马上返回给 $x_{i,j}$ 而被第 2 种处理所应用。

通过调节 α , 该系统可以产生不同的非线性效果。在文献[2]中, Russo 将 α_{smooth} 和 α_{sharp} 均取为 $L-1$, 显然不能取得满意效果。

3 方法改进

从以上分析可以看出,提高 Russo 图像增强方

法效果的关键在于如何选择恰当的参数 α 。文献[5]、[6]各提出了一种选择参数 α 的方法,这两种方法都能够根据所处理像素周围环境的不同,选择不同的参数,具有一定的自适应功能,图像增强效果也有一定的提高。但是这两种方法的参数选择都是基于复杂的指数运算,从而增加了运算的复杂度,而且最终效果也不尽如人意。

从前面分析可知, α 越大,则平滑强度越大,反之, α 越小,则平滑强度越小。基于此,如果能够在噪声幅度大的地方选择较大的 α , 而在噪声幅度小的地方选择较小的 α , 则能够取得较好的平滑效果。

定义像素的噪声率 $v_{i,j}$ 如下:

$$v_{i,j} = \frac{1}{L-1} \left| \left(x_{i,j} - \frac{1}{N} \sum_{x_{m,n} \in A} x_{m,n} \right) \right| \quad (11)$$

这里, A 为图 1 中 8 邻域像素亮度值集合, $x_{i,j}$ 为当前处理像素亮度值。显然,从该式可以看出,当前处理像素与周围像素亮度值差别越大,则该像素为噪声的可能越大,噪声幅度相应也越大, $v_{i,j}$ 也将越大。

因此,可以根据 $v_{i,j}$ 确定 α_{smooth} 的值

$$\alpha_{smooth_{i,j}} = M \cdot v_{i,j} \quad (12)$$

$$0 < M \leq L - 1$$

锐化处理可以看作平滑操作的相反操作,如果在平滑操作之后进行锐化处理,则 α_{sharp} 越大,对平滑操作的损失就越大,为了尽量降低这种损失,可以选择最小的 α_{sharp} , 即

$$\alpha_{sharp} = 1 \quad (13)$$

通过以上改进,将式(12)、(13)代入式(6)~式(10),对不同 M 值产生的平滑和增强效果进行对比发现(如图 5),选择 $M=L-1$ 可以对噪声图像进行有效的平滑和增强。

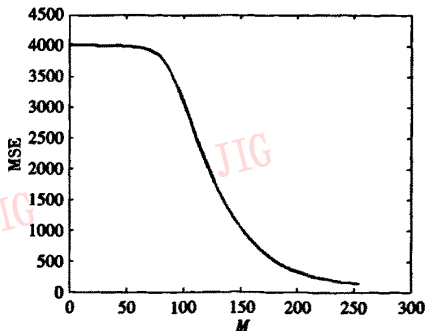


图 5 M 取值与均方误差 (MSE) 的关系曲线

Fig. 5 The relation curve between M and MSE

4 实验结果

实验采用著名的 256×256 “Lena” 图像 ($L = 256$, 如图 6(a)), 在 MATLAB7.01 环境下添加噪声和进行平滑与增强处理。给图像添加浓度为 0.2 的椒盐噪声 (如图 6(b))。

图 6(c) 为先对噪声图像进行中值滤波, 然后进行钝化模板操作增强的结果, 从该图可以看出, 该方法虽然滤波效果明显, 但是因为应用了线性钝化模板操作进行增强处理, 所以也使没有被滤除的噪声被进一步增强了, 由此可见, 线性钝化模板操作适合应用于对没有噪声的图像进行增强处理; 图 6(d) 为

Wiener 滤波效果, 图 6(e) 为文献[5]对 Russo 的改进效果, 图 6(g) 为 Russo 的方法在 $\alpha_{smooth} = L - 1$, $\alpha_{sharp} = L - 1$ 时的效果, 实验结果显示, 对噪声的平滑效果并不明显, 说明这些方法并不适用于椒盐噪声情况; 图 6(f) 为文献[6]改进方法的效果, 该方法平滑效果明显, 但也增加了对图像细节的模糊化, 对椒盐噪声具有一定的适用性, 但不够理想; 图 6(h) 为本文改进方法的效果, 从图中容易看出, 本文方法相较于其他各种方法, 能在较好地平滑图像噪声并保持图像细节方面具有明显的优越性。另外, 本文也对以上各种方法对同一幅噪声图像进行滤波增强的结果与原始“Lena”图像进行了均方误差 (MSE) 的比较 (表 1 第 2 列), 进一步验证了本文方法的优越性。

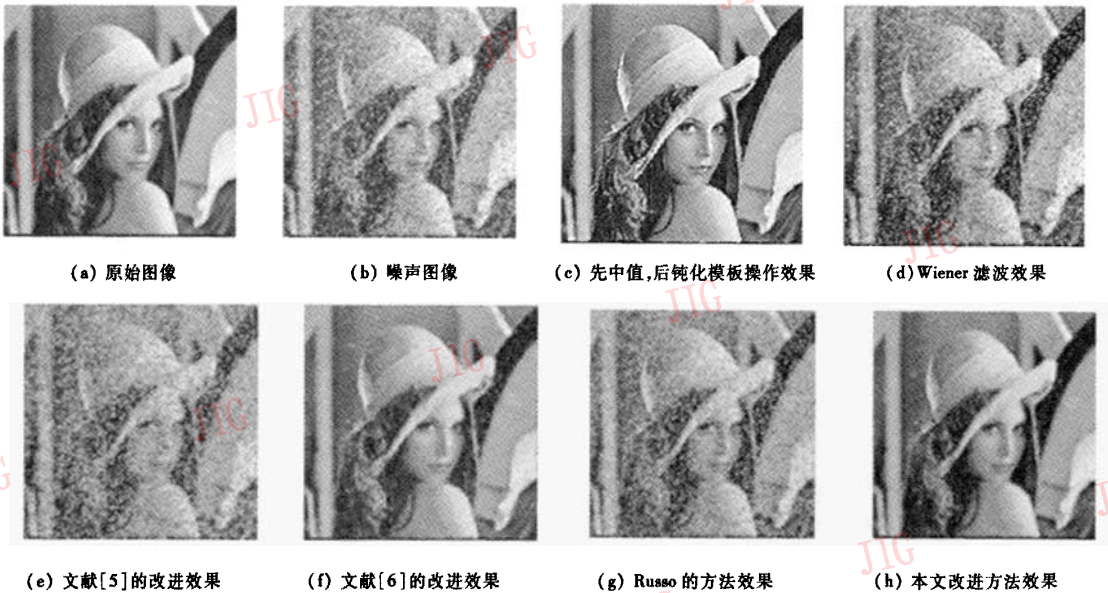


图 6 滤波效果对比图

Fig. 6 Contrast of filtering results

表 1 均方误差列表

Tab. 1 List of MSE values

	椒盐噪声	高斯噪声
噪声图像	4 000. 8	618. 21
先中值, 后钝化模板操作	580. 87	1 075. 3
Wiener 滤波	1 206. 1	146. 31
Kam 的改进方法 ^[5]	2 212. 2	256. 37
Kam 的改进方法 ^[6]	415. 21	413. 87
Russo 的方法	3 024. 2	276. 62
本文改进方法	144. 35	159. 64

文献[2]实验图像为高斯噪声图像, 本文也在

MATLAB 环境下, 对“Lena” 256×256 图像添加 $mean = 0, variance = 0.01$ 的高斯白噪声, 分别用以上各种方法进行滤波和增强处理, 相应的均方误差值如表 1 第 3 列, 从这些数据可以看出, 本文改进方法相对于原文方法及其他改进方法, 效果也有显著提高。

5 结论

介绍了 Russo 提出的一种图像平滑和增强方法, 提出了一种对该方法中关键参数进行自适应选

择的方法,并通过实验对提出的改进方法进行了验证,与其他典型方法和不同思路的改进所进行的对比,证明了该方法的有效性和可行性。

参考文献 (References)

- 1 Jain A K. Fundamentals of Digital Image Processing[M]. Englewood Cliffs, NJ, USA; Prentice Hall, 1989.
- 2 Russo F. An image enhancement technique combining sharpening and noise reduction [J]. IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, 2002, 51(4): 824 ~ 828.
- 3 Pitas I, Venetsanopoulos A N. Nonlinear Digital Filters Principles and Applications [M]. Boston, MA, USA; Kluwer Academic Publishers, 1990.
- 4 Mitra S K, Sicuranza G L. Nonlinear Image Processing[M]. New York, NY, USA; Academic Press, 2001.
- 5 Kam Y, Hanmandlu M. An improved fuzzy image enhancement by adaptive parameter selection[A]. In: The 2003 IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics[C], Washington DC, USA, 2003: 2001 ~ 2006.
- 6 KAM H S, Tan W H. Adaptive parameter selection for improved fuzzy image enhancement [A]. In: Proceedings of the International Conference on Computer Graphics, Imaging and Visualization [C], Washington DC, USA, 2004: 131 ~ 136.