

一种用于抑制椒盐噪声的自适应快速滤波算法

谢剑斌 刘通 任勇 李沛秦

(国防科技大学电子科学与工程学院, 长沙 410073)

摘要 针对受椒盐噪声不同程度污染的灰度图像滤波问题,提出了一种用于抑制椒盐噪声的自适应快速滤波算法。该算法针对像素点的不同属性采用不同策略的滤波手段,能有效保护图像细节;依据可能噪声密度自动控制滤波迭代次数,能自动抑制不同密度的椒盐噪声;基于字符串的统计排序记录方法减少了统计排序的次数,使算法一次迭代滤波耗时与标准中值滤波相当。实验结果表明,该算法自适应能力强、运算效率高、滤波效果好。

关键词 椒盐噪声 滤波 自适应 排序

中图法分类号: TP391.4 文献标识码: A 文章编号: 1006-8961(2009)05-843-05

An Adaptive Fast Filtering Algorithm for Removal of Salt and Pepper Noise

XIE Jian-bin, LIU Tong, REN Yong, LI Pei-qin

(College of Electronic Science and Engineering, National University of Defense Technology, Changsha 410073)

Abstract An adaptive fast filtering algorithm is proposed for the filtering problem about gray-scale image is that polluted by salt and pepper noise of different degree. This algorithm protects image details by using different filtering schemes for pixels' different character; and controls iteration number adaptively by means of possible noise density. In this way to remove salt and pepper noise with different density. In addition, this algorithm proposes a statistical collation recording method based on string to reduce the number of statistical collation, in this way the time cost of this algorithm's one time filtering process equals to that of the standard median filtering algorithm. The experiment shows that this algorithm has strong adaptive ability, high calculating efficiency and can achieve good filtering results.

Keywords salt and pepper noise, filtering, adaptive, collation

1 引言

椒盐噪声是数字图像和视频传输中常见的一种噪声,常用的椒盐噪声滤波算法有标准中值(SM)滤波算法^[1]、极值中值(EM)滤波算法^[2]、递归开关中值(PSM)滤波算法^[3-5]等。SM算法简单快捷,但降噪能力有限,会造成图像模糊;EM和PSM算法都是先进行噪声定位再滤波,保护图像细节能力提高,但对于严重椒盐噪声污染的图像滤波效果差。文献

[6]提出了一种针对严重椒盐噪声的非线性(NL)滤波算法,该算法首先标定噪声类别,对不同的类别采用不同的策略进行滤波,并采用迭代滤波方法,对严重椒盐噪声滤波效果好,但该算法需要人工设定迭代次数,存在过滤波和弱滤波的问题,不仅影响滤波效果,而且降低算法效率。

本文提出了一种用于抑制椒盐噪声的自适应快速滤波算法,对不同属性的像素点采用不同策略的滤波手段,能有效保护图像细节;基于字符串的统计排序记录方法减少了统计排序的次数,使算法效率

基金项目:“十一五”国防重点预研项目(102010201)

收稿日期:2007-07-19;改回日期:2008-01-08

第一作者简介:谢剑斌(1971~),男,副教授,博士后,教研室主任,硕士生导师。主要研究方向为数字视频技术、信息可视化技术和图形图像处理。E-mail: jbxie@126.com

提高一倍左右;采用迭代滤波的方法,依据可能噪声密度自动控制滤波迭代次数,可以很好地滤波受椒盐噪声不同程度污染的图像,自适应能力强,滤波效果好。

2 自适应快速滤波算法

本文算法分为噪声分类、迭代控制和非线性滤波 3 个步骤。首先对图像中所有像素点进行分类,将其分为信号点和可能噪声点;然后计算可能噪声密度,控制滤波迭代次数,实现算法的自适应滤波;最后针对可能噪声点邻域的局部统计信息,采用不同策略的非线性滤波手段,并多次迭代,达到最佳滤波效果,其间利用基于字符串的统计排序记录方法减少统计排序的次数,提高算法效率。算法流程如图 1 所示。

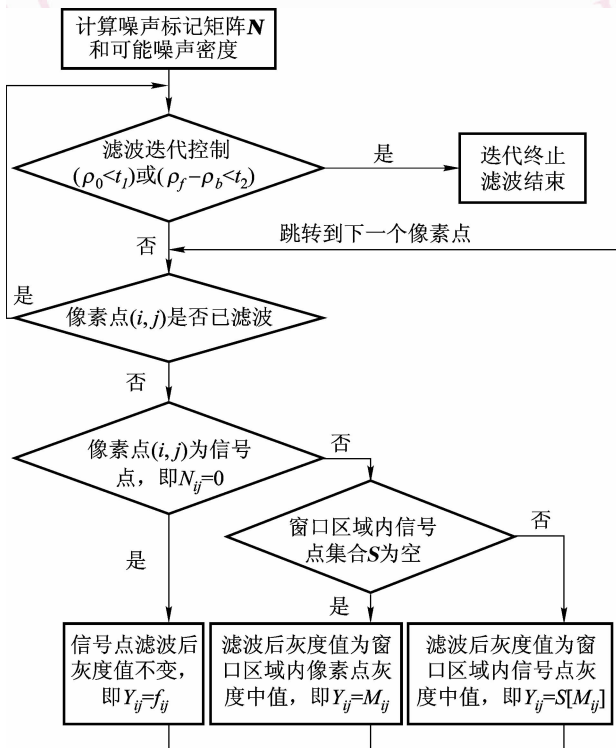


图 1 算法流程图

Fig. 1 Flow chart of the algorithm

2.1 噪声分类方法^[6]

对于椒盐噪声滤波算法的研究,一般都假定噪声污染前的图像是以边缘为界的、局部平滑变化的、自然的灰度图像,而且椒盐噪声具有以下特性:

(1) 图像中只有部分像素受到污染,而其他像素灰度值保持不变;

(2) 噪声像素的灰度值要么远大于周围邻域像素的灰度值(正脉冲),要么远小于周围邻域像素的灰度值(负脉冲)。

那么,可以依据椒盐噪声灰度值是否远大于或远小于其邻域内灰度值这一条件来实现噪声分类。这里用噪声标记矩阵来描述图像中像素点受噪声污染的情况,记噪声标记矩阵 $\mathbf{N} = [N_{ij}]$, N_{ij} 表征像素点 (i, j) 受噪声污染的情况, N_{ij} 满足:

$$N_{ij} = \begin{cases} 0 & \min(W_D[f_{ij}]) + \delta < f_{ij} < \max(W_D[f_{ij}]) - \delta \\ 1 & \text{其他} \end{cases}$$

上式中, f_{ij} 表示像素点 (i, j) 的灰度值, $W_D[f_{ij}]$ 表示以像素点 (i, j) 为中心的窗口区域上的灰度分布,窗口尺寸为 $D \times D$ 。一般情况下,图像受污染程度越高,窗口尺寸应当越大,相应的运算效率越低,这里取 $D = 5$ 能保证较好的噪声分类效果和较高的运算效率; $\min[W_D[f_{ij}]]$ 表示窗口区域内像素点的最小灰度值, $\max[W_D[f_{ij}]]$ 表示窗口区域内像素点的最大灰度值, δ 表示噪声判别门限,经过多次实验, $\delta = 5$ 时噪声分类效果较好; $N_{ij} = 0$ 表示像素点 (i, j) 为信号点, $N_{ij} = 1$ 表示像素点 (i, j) 为可能噪声点。

2.2 迭代控制策略

对于严重椒盐噪声污染的图像,一次滤波很难得到好的效果,所以采取迭代滤波的方法,这样对严重椒盐噪声污染的图像滤波效果好。然而如果迭代次数不能自动控制^[6],就会出现过滤波和弱滤波的问题。譬如对于一幅椒盐噪声图像,如果设定的迭代次数太大,不仅造成图像模糊,而且降低算法效率;相反,如果设定的迭代次数太小,则降噪效果差。

本文提出了依据可能噪声密度自动控制滤波迭代次数的方法,避免了过滤波和弱滤波的问题,增强了算法的自适应能力,提高了运算效率和滤波效果,能很好地保护图像细节。其中,可能噪声密度可以通过噪声标记矩阵计算得到,由于噪声标记矩阵 N_{ij} 只能表征像素点 (i, j) 为噪声点的可能性,因此,计算得到的噪声密度为可能噪声密度,它是图像中可能噪声点总数与像素点总数之比,也即

$$\rho = \sum N_{ij} / n$$

其中, n 为图像中像素点总数

假定 t_1 和 t_2 为迭代控制门限,由可能噪声密度控制滤波迭代次数可以划分为以下两个层次:

(1) 如果初始可能噪声密度 $\rho_0 < t_1$,说明图像受

椒盐噪声污染很小甚至没受椒盐噪声污染,这时就不必进行滤波,迭代次数为零;

(2)如果滤波前后可能噪声密度 ρ_f, ρ_b 的绝对差值小于阈值 t_2 , 即 $\rho_f - \rho_b < t_2$, 说明图像中可能噪声点已经基本滤除完毕,这时就可以终止迭代运算。

这里 t_1 和 t_2 需要综合考虑滤波效果和运算效率来设定,一般情况下, t_1, t_2 越大,迭代次数越少,运算效率越高,但是降噪效果可能较差。经过多次实验验证, $t_1 = 0.003, t_2 = 0.008$ 时能保证较好的滤波效果和较高的运算效率。

本文所提出的迭代控制策略非常简捷,计算量小。通过加入迭代控制策略,极大地提高了本文算法的自适应能力,使得算法可以用于受不同程度椒盐噪声污染的图像和视频降噪。

2.3 非线性滤波算法

为了保护图像细节,对于不同属性的像素点需要采用不同的滤波策略,本文的非线性滤波算法分为以下3种情况:

(1)如果像素点为信号点,则输出灰度值仍为该像素点灰度值,即 $Y_{ij} = f_{ij}$;

(2)如果像素点为可能噪声点,记像素点所在窗口区域内信号点集合为 S ,如果 S 为空,则输出灰度值为窗口区域内像素灰度值中值,即 $Y_{ij} = M_{ij}$;

(3)如果像素点为可能噪声点,而且像素点所在窗口区域内信号点集合 S 非空,则输出灰度值为 S 中信号点灰度值中值,即 $Y_{ij} = S[M_{ij}]$ 。

针对3种不同的像素点属性,采用了不同的滤波策略,可以在滤波的同时尽可能地保护图像细节。在一次滤波过程中,可能要对每一像素点所在窗口区域内像素灰度值进行两次统计排序,一次是计算噪声标记矩阵,另一次是非线性滤波过程。统计排序的计算量很大,为了提高运算效率,提出了一种基于字符串的统计排序记录方法,在一次滤波过程中,只需要对每一像素点所在窗口区域内像素灰度值进行一次统计排序,运算效率提高一倍左右。

本文提出的基于字符串的统计排序记录方法分为以下3个步骤:一是建立字母与坐标的映射关系;二是记录统计排序结果;三是计算统计值。首先建立窗口坐标与字母映射查找表,如图2所示,利用查找表可以快捷地实现窗口坐标与字母表的转换;然后建立统计排序记录矩阵 $R = [R_{ij}]$, R_{ij} 表示以像素点 (i, j) 为中心的窗口区域内像素点灰度值的统计排序结果。假定按灰度值由高至低排序,譬如窗口

区域内灰度值 $f_{(i-1)(j-1)} > f_{(i-2)(j-2)} > f_{(i+2)(j+1)} > \dots > f_{(i-1)(j-2)} > f_{(i+2)j} > f_{ij}$, 则 $R_{ij} = \text{"hat...bom"}$ 。在计算噪声标记矩阵时需要要对每一像素点所在的窗口区域内像素点灰度值进行统计排序,这时将统计排序结果以字符串形式记录在矩阵 R 中,以备后续计算统计值所用。

| | | | | | | |
|---------|--------------|--------------|------------|--------------|--------------|---------|
| 坐标 → | $(i-2, j-2)$ | $(i-1, j-2)$ | $(i, j-2)$ | $(i+1, j-2)$ | $(i+2, j-2)$ | 字母 ← |
| | a | b | c | d | e | |
| → | $(i-2, j-1)$ | $(i-1, j-1)$ | $(i, j-1)$ | $(i+1, j-1)$ | $(i+2, j-1)$ | ← |
| | f | g | h | i | j | |
| → | $(i-2, j)$ | $(i-1, j)$ | (i, j) | $(i+1, j)$ | $(i+2, j)$ | ← |
| | k | l | m | n | o | |
| → | $(i-2, j+1)$ | $(i-1, j+1)$ | $(i, j+1)$ | $(i+1, j+1)$ | $(i+2, j+1)$ | ← |
| | p | q | r | s | t | |
| → | $(i-2, j+2)$ | $(i-1, j+2)$ | $(i, j+2)$ | $(i+1, j+2)$ | $(i+2, j+2)$ | ← |
| | u | v | w | x | y | |

图2 窗口坐标与字母映射查找表 ($D=5$)

Fig. 2 Lookup table about window's coordinates and letters ($D=5$)

非线性滤波过程需要计算的统计排序值有窗口内像素点灰度中值 M_{ij} 和信号点灰度中值 $S[M_{ij}]$ 两种。像素点所在窗口区域内灰度值的排序结果已经保存在矩阵 R 中,下面利用 R 计算所需统计值。假定 $R_{ij} = \text{"hat...c...bom"}$, c 为字符串 R_{ij} 的中间字母。

(1) M_{ij} 的计算

只需利用查找表找到字符串中间字母所对应的像素点坐标,该像素点的灰度值即为 M_{ij} 。这里字符串中间字母为 c , 对应的像素点坐标为 $(i, j-2)$, 则 $M_{ij} = f_{i(j-2)}$;

(2) $S[M_{ij}]$ 的计算

先将窗口内所有信号点所在位置对应的字母连接成字符串 s , s 中的所有字母都包含在 R_{ij} 中,那么可以从 R_{ij} 中查找到 s 中所有字母的排序信息,记排序后的字符串为 s' , 再利用查找表找到 s' 中间字母所对应的像素点坐标,该像素点的灰度值即为 $S[M_{ij}]$ 。如果信号点个数为偶数,则取中间两个字母中的前一个字母对应灰度值作为信号点中值。譬如区域内只有像素点 $(i-1, j-2), (i, j-1), (i, j)$ 和 $(i+2, j)$ 为信号点,那么 $s = \text{"bhmo"}$ (这里的排序无关紧要), 则 $s' = \text{"hbom"}$, 中间字母为 b, o , 前一个字母 b 对应的位置为 $(i-1, j-2)$, 则 $S[M_{ij}] = f_{(i-1)(j-2)}$ 。

基于字符串的统计排序记录方法只涉及简单的字符串合并和查找函数,计算量很小,增加的存储量开销也不大。通过运用该方法,可以将算法的运算效率提高一倍左右,使算法一次迭代滤波耗时间与标准中值滤波算法相当。

3 实验仿真与分析

在 Matlab 平台上进行仿真实验,实验所用 PC 机的 CPU 为 1.7 G,内存为 256 M。给 512×512 的标准 Lena 灰度图像添加椒盐噪声得到受污染的图像,在噪声密度为 0.8 (严重椒盐噪声污染) 时分别用标准中值滤波算法、极值中值滤波算法、递归开关中值滤波算法、文献[6] NL 滤波算法和本文算法进行实验,图 3 给出了各种算法的滤波结果,从主观评价上讲本文算法和文献[6]算法对严重椒盐噪声污染图像滤波效果最好,但文献[6]算法需要人工设定滤波迭代次数,可能出现过滤波或弱滤波现象。表 1 给出了各种算法滤波效果的定量分析,各指标

定义如下:

$$PSNR = 10 \times$$

$$\lg \frac{\text{原图像中灰度最大值的平方与总像素点数的乘积}}{\text{原图像与滤波后图像各像素点差值的平方和}}$$

$$\text{误判率} = \frac{\text{滤波后灰度值改变的信号点总数}}{\text{滤波前图像信号点总数}} \times 100\%$$

$$\text{漏判率} = \frac{\text{滤波后灰度值没有改变的噪声点总数}}{\text{滤波前图像噪声点总数}} \times 100\%$$

本文算法将可能噪声点都以灰度中值取代,故误判率稍高,漏判率低。但是这些极少数误判的像素也是用该像素点所在窗口内灰度中值来取代的,对图像细节影响不大,从其他评价指标上来看,本文算法明显优于其他算法。

对于受不同程度椒盐噪声污染的灰度图像滤波问题,本文算法可以自动控制迭代次数,见表 2。另外,由于使用了基于字符串的统计排序记录方法,在文献[6]算法设定相同迭代次数的条件下,本文算法滤波耗时只有文献[6]算法的一半左右。从表 2 中可以看出,本文算法一次迭代滤波耗时与标准中值滤波算法相当。

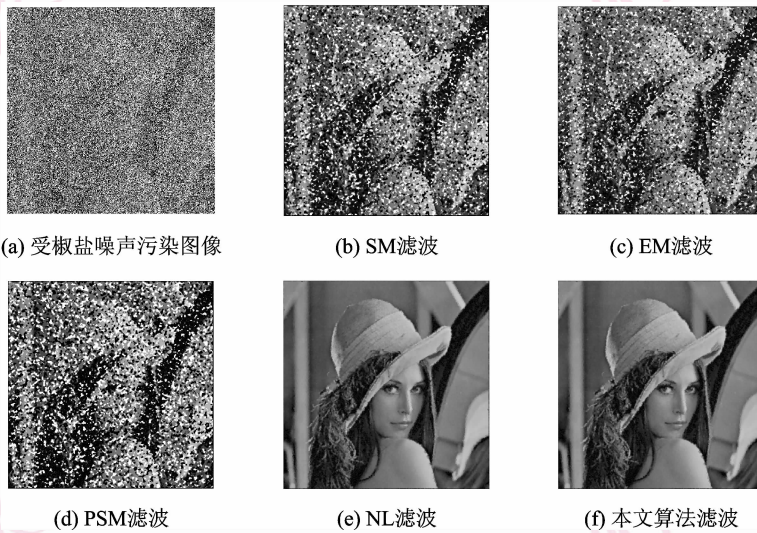


图 3 6 种算法滤波结果

Fig. 3 Filtering results of the six algorithms

表 1 滤波效果分析

Tab. 1 Analysis of filtering effect

| 噪声图像 | SM 滤波 | EM 滤波 | PSM 滤波 | NL 滤波 | 本文算法 | |
|------------|---------|---------|---------|---------|----------|----------|
| 峰值信噪比 (dB) | 4.709 1 | 6.477 7 | 8.830 6 | 6.754 8 | 24.921 5 | 28.335 0 |
| 误判率 (%) | / | 77.38 | 0 | 21.74 | 1.45 | 1.95 |
| 漏判率 (%) | / | 15.33 | 34.39 | 31.62 | 4.10 | 3.22 |

表2 自适应性与运算效率分析

Tab.2 Analysis of adaptability and calculating efficiency

| 噪声密度 | 本文算法 | | 相同迭代次数时 NL 滤波耗时 (s) | SM 滤波耗时 (s) |
|------|------|----------|---------------------|-------------|
| | 迭代次数 | 滤波耗时 (s) | | |
| 0.1 | 1 | 2.821 1 | 5.296 9 | 2.673 2 |
| 0.5 | 2 | 4.907 6 | 8.968 8 | 2.673 2 |
| 0.8 | 4 | 8.125 3 | 15.037 5 | 2.673 2 |

4 结 论

针对受椒盐噪声不同程度污染的灰度图像滤波问题,提出了一种用于抑制椒盐噪声的自适应快速滤波算法,该算法具有3个特点:一是该算法对不同属性的像素点采用不同的滤波策略,这样在滤波的同时可以更好地保护图像细节;二是该算法提出了新的迭代控制策略,依据可能噪声密度自动控制迭代次数,实现自适应滤波;三是该算法提出了基于字符串的统计排序记录方法,避免了重复的统计排序过程,减少了运算量,使该算法一次迭代滤波消耗时间与标准中值滤波算法相当。最后通过多次实验表明,本文算法自适应能力强,运算效率高,滤波效果好,可以用于受不同程度椒盐噪声污染的灰度图像或视频降噪。

参考文献 (References)

- 1 Xing Zang-ju, Qu Yan-feng, Xu Jian, *et al.* Multi-window adaptive filter for removal of impulse noise [J]. *Journal of Electronics and Information Technology*, 2002, **24**(12):1912-1916. [邢藏菊, 曲延峰, 徐健等. 一种用于抑制椒盐噪声的多窗口中值滤波器[J]. *电子与信息学报*, 2002, **24**(12):1912-1916.]
- 2 Xing Zang-ju, Wang Shou-jue, Deng Hao-jiang, *et al.* A new filtering algorithm based on extremum and median value[J]. *Journal of Image and Graphics*, 2001, **6**(6):533-536. [邢藏菊, 王守觉, 邓浩江等. 一种基于极值中值的新型滤波算法[J]. *中国图象图形学报*, 2001, **6**(6):533-536.]
- 3 Nallaperumal K, Varghese J, Saudia S, *et al.* Selective switching median filter for the removal of salt & pepper impulse noise[A]. In: *Proceedings of 3rd International Conference on Wireless and Optical Communications Networks*[C], Bangalore, India, 2006: 717-721.
- 4 Khryashchev V V, Priorov AL, Apalkov I V, *et al.* Image denoising using adaptive switching median filter[A]. In: *Proceedings of IEEE International Conference on Image Processing* [C], Genoa, Italy, 2005:17-20.
- 5 Zhou Wang, Zhang D. Progressive switching median filter for the removal of impulse noise from highly corrupted images[J]. *Analog and Digital Signal Processing, IEEE Transactions on*, 1999, **46**(1): 78-80.
- 6 Dong Ji-yang, Zhang Jun-ying. A nonlinear algorithm for the removal of salt and pepper noise from highly corrupted images[J]. *Journal of Optoelectronics Laser*, 2003, **14**(12):1336-1339. [董继扬, 张军英. 严重椒盐噪声污染图像的非线性滤波算法[J]. *光电子激光*, 2003, **14**(12):1336-1339.]