

文章编号:1002-2082(2011)04-0678-05

改进的中值滤波算法在图像去噪中的应用

赵高长¹, 张磊¹, 武风波²

(1. 西安科技大学 理学院, 陕西 西安 710054; 2. 西安科技大学 通信与信息工程学院, 陕西 西安 710054)

摘要:针对标准中值滤波方法存在的不足, 结合均值思想提出两种改进的中值滤波算法, 即加权快速中值滤波算法和加权自适应中值滤波算法, MATLAB 实验证实两种方法均能更好地保存原始图像的细节和边缘。比较两种新方法得出以下结论: 加权改进中值滤波算法对低密度的脉冲噪声去噪效果明显, 对于高密度脉冲噪声去噪效果不理想, 但能大大提高中值滤波的运行速度, 对数字图像实时处理意义很大; 加权自适应中值滤波算法能够有效地消除被污染图像中的高密度脉冲噪声, 较标准中值滤波具有更优良的滤波性能, 较加权快速中值滤波算法在去噪方面有更好的鲁棒性。

关键词:脉冲噪声; 中值滤波; 加权自适应中值滤波算法; 加权快速中值滤波算法

中图分类号: TN209; TP391.41

文献标志码: A

Application of improved median filtering algorithm to image de-noising

ZHAO Gao-chang¹, ZHANG Lei¹, WU Feng-bo²

(1. School of Science, Xi'an University of Science and Technology, Xi'an 710054, China;

2. School of Information Engineering, Xi'an University of Science & Technology, Xi'an 710054, China)

Abstract: Based on the shortcomings of standard median filtering, this paper puts forward two improved median filtering algorithms referred as the weighted fast median filtering algorithm and the weighted adaptive median filtering algorithm. The experiment results with MATLAB show that both of them can retain the original image details and edge nicely. The two improved algorithms are compared and the comparison indicates that the weighted fast median filtering algorithm has a significant effect on low-density impulse noise, while having non-ideal effect on high-density impulse noise, it could improve the speed of median filtering operation and could be used for digital images real-time processing; the weighted adaptive median filtering algorithm could effectively eliminate the high-density impulse noise from polluted images, and it has more superior filtering performance than the standard median filtering while having better robustness on de-noising than the weighted fast median filtering algorithm.

Key words: impulse noise; median filtering; weighted adaptive median filtering; weighted fast median filtering

引言

图像在生成、传输过程中, 极易产生脉冲噪声^[1]。产生脉冲噪声的原因多种多样, 主要包括

传感器的局限性及通信系统的故障和缺陷, 通信系统的电气开关和继电器改变状态时都会产生此类噪声。脉冲噪声对模拟数据只是小麻烦, 但在

收稿日期: 2011-04-25; 修回日期: 2011-05-16

基金项目: 陕西省自然科学基金项目(2004E223)

作者简介: 赵高长(1965—), 男, 陕西大荔人, 副教授, 主要从事数学教学与算法应用研究。E-mail: zgc_xa1965@yahoo.com.cn

数字式数据通信中,脉冲噪声是出错的主要原因。脉冲噪声分为椒盐噪声和随机值脉冲噪声,消除的方法分为线性滤波和非线性滤波。线性滤波具有低通特性,不容易保存图像的细节和边缘;非线性滤波^[2]的典型代表是中值滤波,自 Tukey 在 20 世纪 70 年代提出中值滤波^[3]以来,中值滤波技术被广泛应用于消除图像中的脉冲噪声。但随着脉冲噪声密度的增大,标准中值滤波在保存图像细节方面效果欠佳。本文主要比较了两种改进的中值滤波算法,其中加权自适应中值滤波算法较标准中值滤波具有更优良的滤波性能,能更好地保留原始图像细节和边缘。

1 标准中值滤波原理

标准中值滤波算法 SMF(standard median filter)主要依赖于快速排序算法,是一种具有较少边缘模糊的非线性滤波方法,不仅能够去除或者减少随机噪声和脉冲干扰,还能较好地保留图像边缘的信息。

基本思想是:在要排序的元素集合中任意选取一个元素,并将它与其他元素进行比较,将所有比这个元素小的元素都放在它之前,将所有比它大的元素放在它之后;经过一次排序之后,可按该元素所在的位置分界,将集合分成 2 个部分;然后对剩下的 2 个部分重复上述过程进行排序,直到每一部分只剩下一个元素为止;当所有排序完成后,取排序后的集合中位于中间位置的元素的值(即所谓的中值)作为输出值。

标准中值滤波需要进行大量的排序工作,计算量很大。同时去除脉冲噪声的性能受滤波窗口尺寸的影响较大,在抑制图像噪声和保护细节方面存在一定的矛盾^[4]。

2 两种改进中值滤波算法的提出

2.1 加权快速中值滤波算法

从数字图像的特点可知,由于数字图像是对模拟图像进行采样和量化后得到的,量化级数通常为 256 级,是有限的。从数字图像的数据可以看出,只在某些过渡区域像素值有较快变化,在图像的大部分区域具有相同的像素值且通常这些区域在图像中都是成片出现的,每幅图像都存在着由于灰度相近而在量化过程中位于同一量化级的区

域,考虑图像的相关性,灰度变化的区域性,提出了加权快速中值滤波算法^[5]。

对一幅图像数据进行研究发现,滑动窗口横向往左移过一个像素,只是在窗口最右边加入了一列像素值,同时去掉了最左边同样多的一列数据,而其余的像素值均保持不变。因而,在求当前窗口的中值时,只需要考虑移出和移入的两列像素对中值的影响,由此避免了对没有变化的像素值所进行的大量比较。为了兼顾图像在边缘处像素有较大变化的影响,本算法同时融入了均值思想,结合两方面给出了新的算法。步骤如下:

设对 3×3 的窗口沿列方向移动,则当移动一个像素距离时,最左侧一列移出,设像素值为 i, j, k ,同时最右侧新移入像素值为 l, m, n 。

1) 判断是否满足 $i=l, j=m, k=n$,如果都成立,则输出原中值(利用了量化灰度级数有限及相邻像素具有很大相关性特点),否则进入 2);

2) 当其中任一等式不成立时,用对应新值代替不等的值,并求出窗口中所有像素点的新的均值。

3) 对新值进行排序,得到新的中值;

4) 对新中值和均值进行加权,所得值赋给中心点(中值的权重为 0.3,均值的权重为 0.7);

5) 窗口继续移动,进入新一轮比较。

2.2 加权自适应中值滤波原理

当空间密度较大时,为了改进标准中值滤波算法处理冲激噪声能力不足的问题,加权自适应中值滤波算法采用了通过扩大窗口来相对地减少冲激噪声空间密度这一策略^[6]。

基本思想是:设 $S(x, y)$ 表示中心像素点 (x, y) 在滤波时所对应的掩模窗口。令 Z_{\min} 为 $S(x, y)$ 中的灰度最小值, Z_{\max} 为 $S(x, y)$ 中的灰度最大值, Z_{med} 为 $S(x, y)$ 中的灰度中值, $Z(x, y)$ 为在坐标 (x, y) 上的灰度, S_{\max} 为 $S(x, y)$ 允许的最大尺寸,自适应中值滤波器算法工作的 2 个层面可定义为 A 层和 B 层。其中灰度中值 Z_{med} 的计算方法结合了均值思想,把排序得到的中值与窗口中所有像素点的均值加权得到灰度中值(中值的权重为 0.3,均值的权重为 0.7)。

A 层: $Z_{A1} = Z_{\text{med}} - Z_{\min}$, $Z_{A2} = Z_{\max} - Z_{\text{med}}$, 如果 $Z_{A1} > T$ (T 为阈值), 且 $Z_{A2} > T$, 则转到 B 层。否则,增大窗口尺寸。如果窗口尺寸小于 S_{\max} , 则重复 A 层。否则,输出 $Z(x, y)$ 。

B层: $Z_{B1} = Z(x, y) - Z_{\min}$, $Z_{B2} = Z_{\max} - Z(x, y)$, 如果 $Z_{B1} > T$, 且 $Z_{B2} > T$, 则输出 $Z(x, y)$ 。否则, 输出 Z_{med} 。

A层用来判断 Z_{med} 是否为一脉冲, B层用来判断 $Z(x, y)$ 是否为一脉冲。如果 Z_{med} 和 $Z(x, y)$ 都不是脉冲, 那么算法就利用输出一个不变的像素值 $Z(x, y)$ 来代替邻域中值作为输出, 以避免不必要的细节损失。

上述算法中阈值^[7] T 的计算方法如下:

- 1) 给定一个可接受的信噪比 M ;
- 2) 先初始化一个阈值 T ;
- 3) 通过上述算法获得一个新的图像, 计算其信噪比 M_n ;
- 4) 如果 M_n 大于 M , 将 $T/2$ 赋值给 T , 转 3;
- 5) 接受当前 T 值作为阈值, 结束。

3 运用 MATLAB 实现算法

中值滤波作为数字图像处理中重要的一部分, 应用 MATLAB 语言进行编程, 具有编程简单、操作方便、处理快等特点, 特别是对于许多中值滤波的改进算法, 如果 MATLAB 内部函数不能实现, 也可以通过混合编程或修改有关的内部函数来实现^[7]。

结合 MATLAB 图像处理工具箱函数, 在原中值滤波程序的基础上, 结合新算法进行改进, 在编程工作量增加不多的前提下, 将工作重点放在如何进行算法改善上, 可以简单直观地观察不同算法对于图像的处理效果, 有助于算法的优化。相比用 VC++ 或 C++ 语言编程来实现改进中值滤波算法而言, 可以为图像处理工作者节省大量的时间和精力, 从而提高图像处理的工作效率^[8]。

以下实验均采用峰值信噪比 (R_{PSN}) 作为评价的标准。 R_{PSN} ^[9] 定义为

$$R_{\text{psn}} = \frac{255 \cdot M \cdot N}{\sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^N (u(m, n) - v(m, n))^2}$$

式中: $u(m, n)$ 为原始图像的灰度值; $v(m, n)$ 为滤波后图像的灰度值, M 和 N 分别为横向与纵向像素个数。

3.1 加权快速中值滤波算法的实验结果

实验 1 在原始图像增加方差 0.02 的椒盐噪声后, 分别使用标准中值滤波及加权快速中值滤波两种方法进行处理, 结果如图 1 和表 1 所示。

图 1(a) 为要处理的原始图像, 图 1(b) 为加了方差 0.02 的椒盐噪声后的图像, 图 1(c) 为用标准中值滤波处理图 1(b) 得到的图像, 图 1(d) 为用加权快速中值滤波处理图 1(b) 后的图像。



图 1 带椒盐噪声 ($\sigma=0.02$) 的图像处理结果

Fig. 1 Processing results of the images with salt-and-pepper noise ($\sigma=0.02$)

表 1 两种算法的 R_{PSN} 值比较 ($\sigma=0.02$)

Table 1 The R_{PSN} comparison of two algorithms ($\sigma=0.02$)

算法	R_{PSN}
3×3 标准中值滤波	20.0510
加权快速中值滤波	20.1310

本结果采取的是 3×3 的滤波窗口, 结合表 1, 比较图 1(c) 和图 1(d) 可以看出, 加权快速中值滤波算法不仅取得了比中值滤波稍好的去噪效果, 而且能很好地保存原图像的边缘信息。

实验 2 在原始图像增加方差 0.25 的椒盐噪声后, 对分别使用标准中值滤波及加权改进中值滤波两种方法进行处理, 结果如图 2 和表 2 所示。

图 2(a) 为要处理的原始图像, 图 2(b) 为加了方差为 0.25 的椒盐噪声后的图像, 图 2(c) 为用标准中值滤波处理图 2(b) 得到的图像, 图 2(d) 为用加权快速中值滤波处理图 2(b) 后的图像。

表 2 两种算法的 R_{PSN} 值比较 ($\sigma=0.25$)

Table 2 The R_{PSN} comparison of two algorithms ($\sigma=0.25$)

算法	R_{PSN}
7×7 标准中值滤波	10.9025
加权快速中值滤波	10.7929

添加噪声的方差为 0.25,采用 7×7 的滤波窗口得到的结果如图 2。结合表 2 比较图 2(c)和图 2(d)可以得到以下结论:中值滤波后得到的图像轮廓比较模糊,而加权改进中值滤波算法得到的图像边缘不理想(这是造成表 2 中加权快速中值滤波 R_{PSN} 较小的原因),说明中值滤波对高密度脉冲噪声去噪效果不理想。但使用自适应中值滤波可以很好地改善快速中值滤波的这一缺点,具体过程见实验 3。



图 2 带椒盐噪声 (sig=0.25) 的图像处理结果
Fig.2 Processing results of the images with salt-and-pepper noise(sigma=0.25)

试验 1 与试验 2 中标准中值滤波与加权快速中值滤波的运行时间如表 3 所示。

表 3 标准中值滤波与加权快速中值滤波运行时间比较
Table 3 The running time comparison of standard median filter and weighted fast median filter

算法	窗口尺度	处理时间 t/s
标准中值滤波	3×3	2.75
	7×7	4.82
加权快速中值滤波	3×3	0.65
	7×7	0.98

分析表 3 可以看出,与标准中值滤波相比,加权快速滤波大大缩短了算法运行时间,且滑动窗口越大,效果越明显。事实上, 3×3 提高了 $(2.75 - 0.65)/2.75 = 76.4\%$, 7×7 提高了 $(4.82 - 0.98)/4.82 = 79.7\%$ 。

3.2 加权自适应中值滤波结果

实验 3 在原始图像增加方差 0.25 的椒盐噪声后,对分别使用标准中值滤波及加权自适应中值

滤波两种方法进行处理,结果如图 3 所示,其中阈值 T 为 0.5。



图 3 带椒盐噪声 (sig=0.25) 的图像处理结果
Fig.3 Processing results of the images with salt-and-pepper noise(sigma=0.25)

图 3(a)为原始图像,图 3(b)为加了方差为 0.25 的椒盐噪声后的图像,图 3(c)为用标准中值滤波处理图 3(b)得到的图像,图 3(d)为用加权自适应中值滤波处理图 3(b)后的图像。

表 4 两种算法的 R_{PSN} 值比较 (sigma=0.25)
Table 4 The R_{PSN} comparison of two algorithms (sigma=0.25)

算法	R_{PSN}
7×7 标准中值滤波	10.9445
加权自适应中值滤波	11.2539

该实验添加的噪声方差和图 2 一样为 0.25,能够模糊图像的大部分细节。为了和图 2 作比较,首先用 7×7 的标准中值滤波器进行滤波,消除大部分可见的脉冲噪声痕迹,虽然噪声被有效消除了,但是滤波器在图像上也引起了明显的细节损失。图 3(d)显示了使用自适应中值滤波方法处理的效果,噪声消除水平和中值滤波相似。但是,自适应滤波器保持了点的尖锐性及图像细节,显然,其改进是很明显的。

4 两种改进算法比较分析

综合以上实验,可得出以下结论:

加权快速中值滤波算法对低密度的脉冲噪声有很好的去噪效果,其去噪水平与中值滤波器相

似,但对于高密度脉冲噪声去噪效果不明显;同时与标准中值滤波相比,加权快速滤波大大缩短了算法运行时间,且滑动窗口越大,效果越明显。

加权自适应中值滤波算法能够有效地消除被污染图像中的高密度脉冲噪声,较标准中值滤波及加权改进中值滤波具有更优良的滤波性能,可更好地保留原始图像细节和边缘。

比较两种改进算法,加权自适应中值滤波算法较加权快速中值滤波算法在噪声方面有更好的鲁棒性,但加权快速中值滤波较标准中值滤波大大提高了算法运行速度,对需要连续进行实时数字图像处理意义重大。

5 结论

通过本文的分析和实验可以看出,当图像中噪声干扰较小时用加权快速中值滤波为佳,噪声干扰较大时用加权自适应滤波为宜。

本文用 MATLAB 实现了该算法,具有编程简单、操作方便、处理速度快等特点,对数字图像的处理进行实验研究时,可以充分利用 MATLAB 的图像处理工具箱,并根据自己的需要加以扩展,这样可以快速实现研究中的新算法,有助于研究工作的迅速开展;实际使用时,在高级语言处理程序中,对动态连续图像^[8]可根据不同环境下的噪声密度,灵活使用本文算法。

本文结合均值思想,分析比较了两种改进的中值滤波算法,其中新的中值均由排序后得到的中值与窗口中像素的均值加权得到,文中仅研究了权重为 0.7 和 0.3 时的实验结果,对权重的对比变化分析可作为今后课题的研究方向。

参考文献:

- [1] GONZALEZ R C, WOOD R E. Digital image processing[M]. 2nd ed. Beijing: Publishing House of Electronics Industry, 2002.
- [2] BROWNRIGG D. The weighted median filter[J]. Communication Association Computer Machine, 1984, 27(8): 807-818.
- [3] KO S J, LEE S J. Center weighted median filter and their applications to image enhancement [J]. IEEE Transactions on Circuits and System, 1991, 38 (1): 984 - 993.
- [4] 刘进, 厉数忠, 张媛. 基于混合中值滤波的图像去噪处理[J]. 甘肃科技, 2006, 22(9): 47-49.
LIU Jin, LI Shu-zhong, ZHANG Yuan. Image-de-noising based on mixed-median filter [J]. Gansu Science and Technology, 2006, 22(9): 47-49. (in Chinese with an English abstract).
- [5] 李刚, 范瑞霞. 一种改进的图像中值滤波算法[J]. 北京理工大学学报, 2002, 22(3): 376-378.
LI Gang, FAN Rui-xia. A new median filter algorithm in image tracking systems[J]. Journal of Beijing Institute of Technology, 2002, 22 (3): 376-378. (in Chinese with an English abstract)
- [6] 胡旺, 李志蜀, 黄奇. 基于双窗口和极值压缩的自适应中值滤波[J]. 中国图像图形学报, 2007, 12(1): 43-50.
HU Wang, LI Zhi-shu, HUANG Qi. An adaptive median filter based on the double windows and extremum-compressing[J]. Journal of Image and Graphics, 2007, 12(1): 43-50. (in Chinese with an English abstract)
- [7] 许艳. 显微图像阈值分割算法的研究[J]. 应用光学, 2010, 31(5): 745-747.
XU Yan. Threshold segmentation method of microscopic image[J]. Journal of Applied Optics, 2010, 31 (5): 745-747. (in Chinese with an English abstract)
- [8] 贺鹏飞, 苏新彦, 王鉴. 基于序列图像的小目标检测[J]. 应用光学, 2011, 32(2): 272-275.
HE Peng-fei, SU Xin-yan, WANG Jian. Small target detection based on image sequences [J]. Journal of Applied Optics, 2011, 32(2): 272-275. (in Chinese with an English abstract)
- [9] 张燕. 一种改进的快速中值滤波算法[J]. 安徽建筑工业学院学报: 自然科学版, 2008, 16 (4): 24-26.
ZHANG Yan. An improved fast algorithm of median filter[J]. Journal of Anhui Institute of Architecture & Industry, 2008, 16 (4): 24-26. (in Chinese with an English abstract)