

一种红外图像颗粒噪声自适应滤波算法

张彩甜

(河南经贸职业学院, 河南 郑州, 450018)

摘要: 针对红外图像中常出现的颗粒噪声, 在对自适应中值滤波 (AMF) 改进的基础上, 提出了一种基于噪声检测的加权融合中值滤波算法。该算法对于噪声的滤除分为检测和滤波2个环节。首先根据对大量图像信息分布特征进行分析, 设计出了较为通用的4类噪声检测模版; 其次分别采用各模版对噪声进行极值检测并加以标记, 以区分出极值点与像素点; 然后根据模版内极值点与非极值点的数目比例确定噪声点, 并将非极值点取均值作为噪声滤波结果输出; 对于区域的极值点, 引入距离判别准则加以确认, 被确认为噪声点的像素值通过模版内非极值点分别取均值和中值并加权融合得到; 最后对4个模版处理后的滤波值进行等权融合, 得到最终的滤波图像。分别与经典中值滤波 (MF)、自适应中值滤波 (AMF)、开关中值滤波 (SMF) 性能比较, 实验表明, 本文滤波算法对于高强度的斑点噪声具有较好的滤波性能, 对于红外图像处理具有一定的借鉴价值。

关键词: 红外图像; 颗粒噪声; 中值滤波 (MF); 加权融合

中图分类号: TN911.73 文献标识码: A 文章编号: 1001-8891(2013)08-0502-05

A New Adaptive Filtering Algorithm Based on Salt & Pepper Noise in Infrared Image

ZHANG Cai-tian

(Henan Economic and Trade Vocational College, Zhengzhou 450018, China)

Abstract: A new improved median filtering algorithm is presented so as to remove the salt & pepper noise in infrared image effectively on the basis of the adaptive median filter (AMF). The filtering algorithm is divided into noise detection and noise filter. Firstly, according to the analysis of the characteristics of the distribution of the digital image information, four types of noise detection template are designed. Then, the new templates are used respectively to detect the extreme values and label them in the image, so as to distinguish between the extreme value pixels and non-extreme value pixels. Thirdly, the noise pixels are determined according to the ratio between extreme value pixels and non-extreme value pixels. The average value of the non-extreme value pixels is calculated and regarded as the filtering results. The distance criterion is introduced to deal with the extreme value point in large area in the template, and the value of the noise pixels is replaced by the weighted fusion value of the mean value and average value of the non-extreme pixels value in the template. Finally, the filtering image is obtained by weighted fusion for the results of the four types of templates. Experimental results indicate that the proposed filtering algorithm outperforms many other algorithms such as median filter, adaptive median filter and switch median filter, which allows for its application in real-time applications.

Key words: salt & pepper noise, median filter (MF), adaptive median filter (AMF), switch median filter (SMF), weighted fusion

0 引言

近年来, 随着红外成像技术的飞速发展, 使得红外图像在科学研究、医疗、军事科学等领域得到

广泛的研究应用。颗粒噪声作为红外图像中一类常见噪声, 主要来源于图像传感器、传输信道以及图像解器, 在图像上表现为灰度值为0或255的“极白”或“极黑”的点。严重影响红外图像的解译、

收稿日期: 2013-05-17; 修订日期: 2013-07-10.

作者简介: 张彩甜 (1981-) 女, 硕士, 讲师, 研究方向: 信号与信息处理。E-mail: ZCTian2013@163.com.

特征提取、图像特点信息的分割、以及图像融合等后续工作的开展, 实现对该类噪声的有效滤除并保留图像细节信息, 具有较大的现实意义。

学者们对图像中颗粒噪声滤波进行了大量研究, 提出了一系列性能较优的滤波算法, 如自适应中值滤波算法^[1-3]、开关中值滤波算法^[4-6]、矢量中值滤波算法^[7], 小波去噪^[8], 高通滤波^[9]等大体上是通过增加了噪声检测环节实现了对噪声点的自适应滤波。本文借鉴已有的中值滤波算法思路, 在对大量图像特征信息分析的基础上, 设计了 4 类较为通用的噪声检测滤波模版, 分别实现对噪声的检测和加权融合滤波。

1 经典滤波算法不足之处分析

一般情形下, 图像信息间具有高度相关性, 这样的相关性具体表现为各像素点灰度值相邻像素点灰度值是较为接近的。虽然图像中也存在少量孤立的地物, 它们在图像上表现为灰度突变的奇异点, 但是该类突变点数量较少, 从总体上看, 所有的数字图像像素点均具有相关性这一特征。在 MF 算法基础上发展而来的自适应中值滤波, 通过增加噪声检测环节, 根据噪声检测的结果进行有针对性的滤波, 对于图像细节信息保持起到了一定的作用。但在噪声检测环节中, 仍采用的标准的滤波窗口 (3×3、5×5), 这限制了 AMF 算法性能的进一步提升。事实上, 图像信息分布往往是连续的且具有一定的方向性。以图 1 为例, 图 1(a)可理解为 2 条道路相交, 图 1(b)可认为是建筑物轮廓、花坛等信息。如果对此采用标准窗口 (3×3、5×5) 进行噪声检测, 通过反复迭代, 很容易将边缘点当作噪声点滤除, 滤波后图像信息连续性下降, 难以进行后续的如图像分割、图像融合、特征提取等研究, 图像滤波也失去了实用意义。

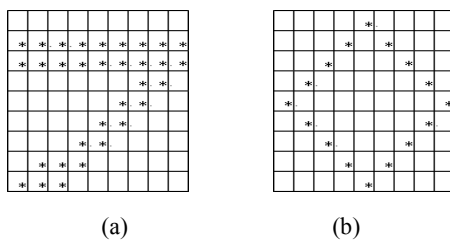


图 1 图像细节信息分布

Fig.1 The image detail information distribution

2 本文算法基本原理及实现步骤

2.1 噪声检测与滤波模版设计

经过对大量图像特征信息分布特征进行分析抽象, 设计出以下 4 类具有一定通用性的噪声检测及滤波模版, 如图 2 所示。

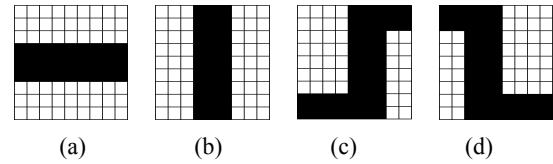


图 2 本文噪声检测及滤波模版

Fig.2 The template of noise detection and filtering in this paper

图 2(a)、(b)能对水平、垂直分布的图像信息进行有效检测和滤波, 图 2(c)、(d)能对与水平方向呈 45°、135°方向的图像信息进行检测滤波, 并同时兼顾水平和垂直方向。采用该类模版能够根据图像信息分布特征将其圈定到一定大小的模版中进行处理, 一方面能降低计算量, 另一方面处理后输出结果能够更好体现图像信息分布特征, 降低图像的失真度。

2.2 噪声检测策略

1) 极值点检测

图像中像素点的灰度值为 0 或 255 的点称之为极值点, 该类像素点一部分为噪声点, 另一部分是图像中细节信息 (如: 图像边缘) 点。因此, 实现对极值点的准确检测是进行噪声点确认标记的前提。记一幅大小为 $N \times N$ 的图像为 $F(i,j)$, 采用如下方法进行极值点标记:

$$\text{flag}[F(i,j)] = \begin{cases} * & f(i,j) = 0; f(i,j) = 255 \\ 0 & 0 < f(i,j) < 255 \end{cases} \quad (1)$$

式中: 为 $f(i,j)$ 模版中任一极值点。经过上述检测, 图像中被标记为 “*” 的点即为极值点, 也可理解为疑似噪声点。

2) 噪声点确认

对被标记为极值点的区域采用图 2 所示的模版进行噪声点确认。首先统计模版内极值点数目 $\text{number}[F(i,j)]$:

$$\text{number}[F(i,j)] = \text{number}\{f_1(i,j), f_2(i,j), \dots, 0f(i,j)\} \quad (2)$$

将 $\text{number}[F(i,j)]$ 与模版中除中心点外的像素数目 n 进行对比, 若 $\text{number}[F(i,j)] < (1/4)n$, 该类极值点数目较少, 可认为是噪声点; 若 $\text{number}[F(i,j)] \geq (1/4)n$, 则说明极值点数目较多, 易出现如图 3 所示的团块极值点的情形。

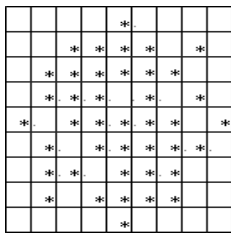


图3 团块极值点

Fig.3 Mass extremum points

此时，引入以下距离判别准则进一步进行像素点与噪声点的分离：

$$O[F(i, j)] = \begin{cases} \text{noise} & L[F(i, j)] = 0 \text{ or } \sqrt{2} \\ \text{others} & L[F(i, j)] \neq 0 \text{ or } \sqrt{2} \end{cases} \quad (3)$$

式中： $L[F(i, j)]$ 为相邻像素点距离。相邻像素点位置分布会有如图4所示的4类情形。

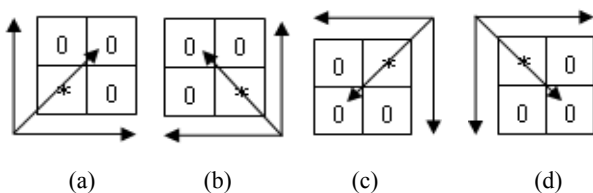


图4 相邻像素点位置

Fig.4 The location of adjacent pixel

记 $f_1(i, j)$ 为待滤波点像素灰度值，对应图5中标记“*”的像素点。以图4(a)为例， $L[F(i, j)]$ 可进行如下计算：

$$\text{水平方向: } L[F(i, j)] = |f_1(i+1, j) - f_1(i, j)| \quad (4)$$

$$\text{垂直方向: } L[F(i, j)] = |f_1(i, j+1) - f_1(i, j)| \quad (5)$$

$$\text{倾斜方向: } L[F(i, j)] = |f_1(i+1, j+1) - f_1(i, j)| \quad (6)$$

采用该判别方法处理后，对于大区域的团块极值点能进行有效区分，噪声点的分布区域基本能得到确认，降低了噪声的误判率和漏检率。

2.3 噪声加权融合滤波

1)对于噪声点数目远少于模版中非极值点数目1/4的情形，可进行如下滤波：

$$f^{(a)}(i, j) = \frac{1}{k-1} \sum_{i=1}^{k-1} f_i(i, j) \quad (7)$$

式中： $f^{(a)}(i, j)$ 为采用图2(a)检测滤波模版处理后的结果， k 为该模版内除中心点以外像素点数目。通过求取模版中其余像素点灰度均值，并将其赋值给待滤波点，完成滤波；

2)对于大区域极值团块情形，引入了距离判别

准则，能够将一些图像细节信息点有效识别出来，但噪声点数目仍比较大。因此，可进行如下滤波：

$$f^{(a)'}(i, j) = \text{median} \left\{ \frac{1}{k-r} [f_i(i, j)] \right\} \quad (8)$$

$$f^{(a)}(i, j) = \frac{1}{l} \left[\frac{1}{k-r} \sum_{i=1}^{k-r} f_i(i, j) + (1 - \frac{1}{l}) f^{(a)'}(i, j) \right] \quad (9)$$

式中： r 为采用图2(a)模版检测滤波时，模版中非噪声点数目； k 为除中心点以外的像素点数目； $l(l=1, 2, 3, \dots)$ 为权值。首先求取该模版中非噪声点像素均值和中值，然后进行加权融合处理，从而获得最终的滤波结果 $f^{(a)}(i, j)$ 。

3) 多模版加权融合

采用图2四类滤波模版根据本节1) 2) 滤波策略滤波后，分别得到4类滤波结果： $f^{(a)}(i, j)$ 、 $f^{(b)}(i, j)$ 、 $f^{(c)}(i, j)$ 、 $f^{(d)}(i, j)$ 。由于各模版均对符合自身形状的图像信息具有较好滤波效果而对于其他信息则较差，因此，有必要对4类滤波结果进行加权融合，从而获得最终的输出值 $f(i, j)$ ，加权融合过程如图5所示。

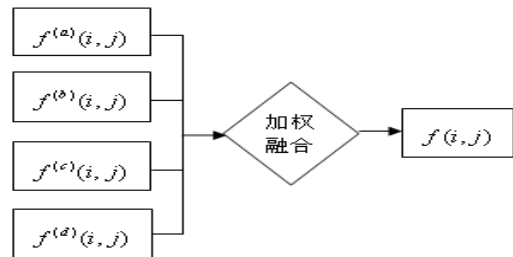


图5 多模版加权融合

Fig.5 Multiple templates weighted fusion

2.4 本文算法基本实现步骤

步骤1：采用式(1)定义的检测方法进行图像中极值点检测并加以标记；

步骤2：对步骤1检测到的极值点首先采用图2(a)所设计的窗口进行极值点数目统计，若极值点数目小于窗口中除中心点以外像素点总数的1/4，则转步骤4，否则转步骤3；

步骤3：对与大区域极值点团块，定义式(3)距离判别准则，进一步区分极值点和像素点，转步骤5；

步骤4：窗口中噪声点数目很少，采用式(7)求取均值并赋值给待滤波点；

步骤5：采用式(8)和式(9)的滤波方法分别求取窗口中非噪声点的均值和中值并进行加权处理，权值 l 取3，即突出中值作用但也兼顾均值滤波结果；

步骤6：经过步骤4或步骤5滤波处理后即可获得图2(a)窗口下的输出结果 $f^{(a)}(i, j)$ ；

步骤7: 重复步骤1~6可获得其余3类窗口的最终结果 $f^{(b)}(i,j)$ 、 $f^{(c)}(i,j)$ 、 $f^{(d)}(i,j)$, 采用图5所示的加权融合方法进行处理, 可获得最终图像滤波结果 $f(i,j)$;

步骤8: 重复步骤1~步骤8完成整幅图像的滤波工作。

3 实验与分析

3.1 实验结果评价方法

本文采用2类评价方法对实验结果进行定性定量分析: 1) 主观方法, 通过对滤波后图像从清晰度出发对图像质量进行总体评价; 2) 客观方法, 本文引入峰值信噪比 (Peak Signal to Noise Ratio, PSNR) [10] 以及均方根误差 (Root Mean Square Error, RMSE) 对图像进行评价。分别定义如下:

$$PSNR = 10 \lg \{ i \times j \cdot \max [\frac{f^2(i,j)}{\sum_{i=1}^i \sum_{j=1}^j (f(i,j) - s(i,j))^2}] \} \quad (10)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{i} \sum_{i=1}^i [f(i,j) - s(i,j)]^2} \quad (11)$$

式中: $f(i,j)$ 和 $s(i,j)$ 分别为滤波前和滤波后的像素值。

3.2 实验结果

实验数据采用2幅大小为 256×256 , 灰度级为255的普通数字图像和红外图像对本文所提出的滤波算法通过在MATLAB 7.0环境下编写程序进行性能测试。将经典中值滤波、自适应中值滤波^[2]、开关中值滤波^[4]与本文滤波算法比较, 实验结果分别如图6、图7及表1、表2所示。

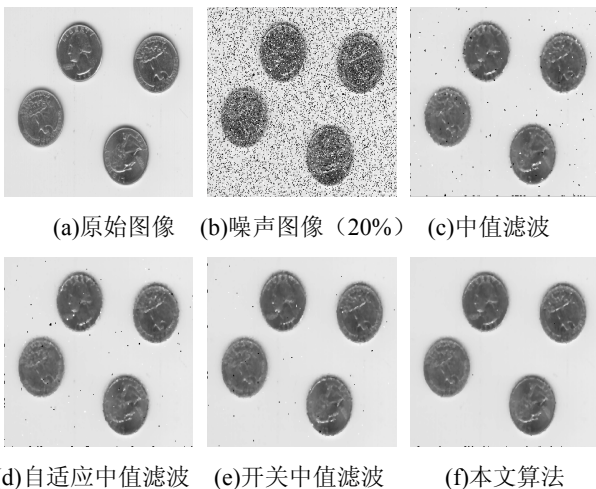


图6 普通数字图像滤波结果对比

Fig.6 The comparison between ordinary image filtering results

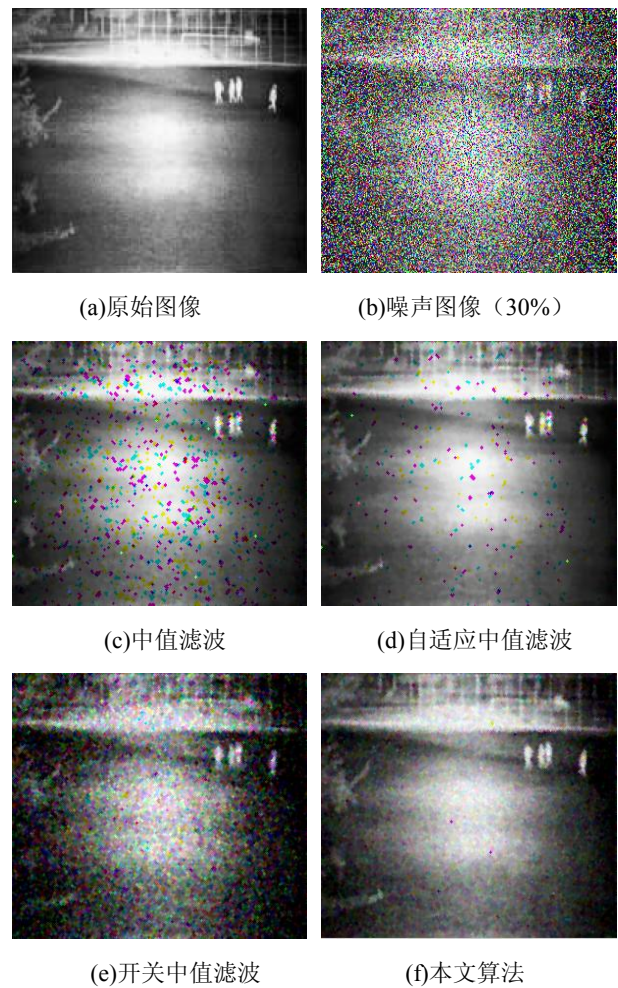


图7 红外图像滤波结果比较

Fig.7 The comparison between infrared image filtering results

表1 普通数字图像滤波结果定量比较

Table 1 The quantitative comparison of ordinary image filtering results

指标	噪声	MF /dB	AMF /dB	SWF /dB	本文算法 /dB
PSNR	10%	22.355	24.664	24.976	26.591
	20%	21.017	23.237	23.532	25.783
	30%	19.658	22.804	23.008	24.985
	40%	18.874	21.052	21.235	24.273
RMSE	10%	0.524	0.223	0.218	0.118
	20%	0.607	0.481	0.337	0.204
	30%	0.776	0.527	0.429	0.361
	40%	0.983	0.604	0.591	0.437

3.3 实验结果分析

1) 主观分析, 图6(b)和图7(b)分别为叠加了20%和30%的颗粒噪声, 通过经典中值滤波 (MF) 后, 仍然残留大量噪声, 并且残留噪声密度较大; 经过自适应中值滤波后, 噪声相对于MF而言得到较大程度抑制, 并且就视觉效果而言, 图6(d)和图

7(d)较为接近, 图像残留噪声密度较少; 图 6(f)和图 7(f)中基本不存在残留噪声, 图像最为清晰, 与原始图像接近程度最好, 这说明本文所提出的算法对于颗粒噪声滤波性能优于 MF、AMF 以及 SMF。

表 2 红外图像滤波结果定量比较

Table 2 The quantitative comparison of infrared image filtering results

指标	噪声	MF /dB	AMF /dB	SWF /dB	本文算法 /dB
PSNR	10%	22.132	23.303	24.676	27.003
	20%	20.857	22.014	23.154	26.627
	30%	19.649	20.988	22.323	25.252
	40%	17.957	19.294	20.794	25.362
RMSE	10%	0.509	0.325	0.234	0.112
	20%	0.662	0.469	0.389	0.176
	30%	0.752	0.503	0.463	0.307
	40%	0.937	0.641	0.591	0.405

2) 客观分析, 当噪声强度较低时(10%), 本文滤波算法 PSNR 值高于中值滤波、自适应中值滤波以及开关中值滤波分别为 5 dB、4 dB、3 dB 左右, 这表明该滤波方法性能较以往滤波方法特别是 MF 而言, 有了大幅度提高; 当噪声强度持续增大达到 40%时本文算法 PSNR 值高于中值滤波、自适应中值滤波以及开关中值滤波约为 5~8 dB, 这可反映出, 该算法对于高强度的颗粒噪声具有较好的滤除能力; 就抗噪性而言, 本文滤波算法在噪声由弱到强的过程中, PSNR 值仅下降了 2 dB 左右, 而中值滤波、自适应中值滤波、开关中值滤波下降了 3~5 dB, 相比较而言抗噪声性能较优。这样的特征也在 RMSE 数据中得以体现。

通过实验可以得出, 采用本文滤波算法能够对红外图像中时常出现的颗粒噪声进行有效处理, 基本能够恢复出红外图像物体的原本面貌, 但本文中噪声模型采用的是椒盐噪声, 而椒盐噪声仅能代表一类颗粒噪声, 因此, 本文滤波算法要达到对所有红外图像实现处理的水平, 仍有一些工作要做。

4 结束语

本文针对红外图像中常出现的颗粒噪声, 对经典中值滤波加以改进, 提出了一种基于噪声检测的加权融合中值滤波算法。实验结果表明, 该滤波算法性能优于经典中值滤波、自适应中值滤波、开关中值滤波, 能够实现高强度颗粒噪声的自适应滤除, 对红外图像的预处理具有一定的借鉴价值。

参考文献:

- [1] Syamala P Jaya Sree, Pradeep Kumar, Rajesh Siddavatam, et al. Salt-and-pepper noise removed by adaptive median-based lifting filter using second-generation wavelets[J]. *Signal Image and Video Processing*, 2013(7): 111-118.
- [2] 黄宝贵, 卢振泰, 马春梅, 等. 改进的自适应中值滤波算法[J]. *计算机应用*, 2011, 31(7): 1835-1837, 1883.
- [3] Abdullah Toprak, Inan Guler. Suppression of impulse noise in medical image with the use of fuzzy adaptive median filter[J]. *Journal of Medical Systems*, 2006, 30: 465-471.
- [4] 乔坤, 郭朝勇, 毛东. 一种去除椒盐噪声的自适应开关中值滤波算法[J]. *计算机应用与软件*, 2011, 28(10): 253-256.
- [5] Zhang S, Karim M. A new impulse detector for switching median filter[J]. *IEEE Signal Processing Letters*, 2002, 9(11): 360-363.
- [6] Rastislav Lukac, Konstantions N, Plataniotis, et al. A statistically-switched adaptive vector median filter[J]. *Journal of Intelligent and Robotic Systems*, 2005, 42: 361-391.
- [7] 李刚, 魏计林. 强椒盐噪声彩色图像的改进矢量中值滤波算法[J]. *计算机与数字工程*, 2011, 39(10): 157-160.
- [8] 王群, 何永强, 周云川. 基于小波和测抑制网络的红外图像增强算法[J]. *红外技术*, 2011, 33(9): 541-544.
- [9] 刘兆英, 周付根, 白相志. 基于相位保持的红外图像预处理方法[J]. *红外技术*, 2011, 33(11): 635-638.
- [10] 王小兵, 孙久运, 汤海燕. 一种基于数学形态学与小波域增强的滤波算法[J]. *微电子学与计算机*, 2012, 29(7): 64-67.