

# 一种基于噪声点邻域的形态学滤波算法研究\*

文福林<sup>1</sup>, 张凯<sup>2</sup>, 蒲锋<sup>1</sup>, 汤素丽<sup>1</sup>

(1. 四川航天职业技术学院 电子系, 四川 广汉 618300; 2. 四川大学 机械工程学院, 四川 成都 610065)

**摘要:** 以可疑噪声点为中心构建一定大小的邻域, 对可疑椒噪声点邻域进行形态学闭滤波, 对可疑盐噪声点邻域进行形态学开滤波, 并以滤波后的该邻域中心点的灰度值替换可疑噪声点的灰度值, 而非可疑噪声点的灰度值保持不变。实验表明, 该方案切实可行, 滤波后的图像具有均方误差小以及峰值信噪比高等优点。其滤波性能相比标准中值滤波算法、形态开闭组合滤波算法、自适应中值滤波算法等有一定程度的提高。

**关键词:** 椒盐噪声; 形态学; 滤波; 结构元素

中图分类号: TP391

文献标识码: A

DOI: 10.16157/j.issn.0258-7998.200294

中文引用格式: 文福林, 张凯, 蒲锋, 等. 一种基于噪声点邻域的形态学滤波算法研究[J]. 电子技术应用, 2021, 47(3): 71–74.

英文引用格式: Wen Fulin, Zhang Kai, Pu Feng, et al. A morphological filtering algorithm research for neighbor noise[J]. Application of Electronic Technique, 2021, 47(3): 71–74.

## A morphological filtering algorithm research for neighbor noise

Wen Fulin<sup>1</sup>, Zhang Kai<sup>2</sup>, Pu Feng<sup>1</sup>, Tang Suli<sup>1</sup>

(1. Department of Electronics, Sichuan Aerospace Vocational College, Guanghan 618300, China;

2. School of Mechanical Engineering, Sichuan University, Chengdu 610065, China)

**Abstract:** The suspicious noise points are taken as center to construct a certain size neighborhood in this paper. Morphological close filtering is performed by pepper noise neighborhood. Then, morphological open filtering is applied by neighborhood salt noise point. The gray values of suspected noise points are replaced by filtered gray value of neighborhood center point. During the transforming process, gray values of non-suspicious noise points remain unchanged. Experiments show that this scheme is practical and plausible. The filtered image has advantages of less mean square error and high peak signal-to-noise ratio. Compared with the median filtering algorithm, the morphological open-close filtering algorithm, and the adaptive filtering algorithm, this proposed improved algorithm provides a better filtering property.

**Key words:** salt-and-pepper noise; morphology; filter; structuring elements

## 0 引言

椒盐噪声是图像在成像、信道传输、解码等处理过程中产生的黑白相间的亮点或暗点噪声, 也称为双极脉冲噪声<sup>[1]</sup>。针对椒盐噪声的滤波方法有很多, 如: 标准中值滤波算法、自适应中值滤波算法、形态学滤波算法以及一些改进的滤波算法等<sup>[1-4]</sup>。

标准中值滤波算法的思想就是选取一定大小的滤波窗口, 比较该滤波窗口内的像素值的大小, 取其中值作为这个滤波窗口的中心像素新的值。标准中值滤波器受滤波窗口大小的影响较大, 如果窗口较小, 则能较好地保护图像中的一些细节特征, 但滤效果就会变差; 反之, 如果窗口尺寸较大则有较好的滤波效果, 但会丢失更多的图像细节特征。且随噪声密度地增大, 其滤波性

能下降较为明显。

自适应中值滤波算法是基于对标准中值滤波算法的改进, 引入了噪声判断机制, 动态调整滤波窗口尺寸大小来改进滤波性能, 相比标准中值滤波算法, 其滤波性能有了较大幅度的提高, 可获得较好的滤波效果。标准中值滤波算法以及自适应中值滤波算法因其使用滤波窗口的中值来代替中心像素的值, 而滤波窗口的中值与中心像素值并不一定相等, 从而引入额外的误差。

形态学广泛应用于图像边缘检测、抑制噪声、纹理分析、特征提取等<sup>[2-12]</sup>。形态学开运算具有可去除比结构元素小的亮细节特性, 而形态学闭运算具有可去除比结构元素小的暗细节特性<sup>[4]</sup>, 利用形态学开运算和形态学闭运算可以构成多种滤波器, 如常见的形态学开闭组合滤波算法<sup>[4, 10]</sup>以及形态学同其他滤波算法相结合等<sup>[2]</sup>。该类算法对噪声图像实施先开后闭运算, 或者先闭后开

\* 基金项目: 四川省重大科技专项项目(20ZDZX0005)

运算,或者以先开后闭运算与先闭后开运算的均值来求解<sup>[10]</sup>。然而,形态学开闭组合滤波算法受结构元素的影响较为敏感,当选取不同的结构元素时,其滤波效果会存在较大的差异。

为此,本文借鉴噪声判断机制,先判断出噪声图像中存在的可疑噪声点。对于一幅归一化的8位灰度图像而言,灰度值为0或灰度值为1的点既有可能为噪声点,也有可能为非噪声点,即信号点<sup>[1,13]</sup>。在此,将灰度值为0的点定义为可疑椒噪声点,将灰度值为1的点定义为可疑盐噪声点。以可疑噪声点为中心,构建一个7×7大小的邻域,对可疑椒噪声点邻域进行形态学闭滤波,对可疑盐噪声点邻域进行形态学开滤波,并以滤波后的该邻域中心点的灰度值替换可疑噪声点的灰度值。对于非可疑噪声点,保留其灰度值不变。实验表明,该方案切实可行,滤波后的图像具有均方误差小以及峰值信噪比高等优点。其滤波性能相比标准中值滤波算法、形态学开闭组合滤波算法、自适应中值滤波算法等均有一定幅度的提高。

## 1 灰度图像形态学基本算法

灰度图像形态学算法是由二值形态学扩展而来的。其基本算法有膨胀、腐蚀、开运算和闭运算。设 $f(x,y)$ 为输入图像, $b(x,y)$ 为结构元素。

### 1.1 膨胀运算

用 $b$ 对 $f$ 进行灰度膨胀定义为:

$$(f \oplus b)(s,t) = \max\{f(s-x,t-y) + b(x,y) | (s-x), (t-y) \in D_f; (x,y) \in D_b\} \quad (1)$$

式中: $\oplus$ 表示膨胀运算符号, $D_f$ 和 $D_b$ 分别是 $f$ 和 $b$ 的定义域,平移参数 $(s-x)$ 和 $(t-y)$ 必须在 $f$ 的定义域内,而且 $x$ 和 $y$ 必须在 $b$ 的定义域内。膨胀运算可使目标扩张,孔洞收缩,该运算是由结构元素确定的邻域中选取 $f+b$ 的最大值,如果结构元素的值为正,则输出图像表现为暗细节被削弱或去除,亮细节得到增强。

### 1.2 腐蚀运算

用 $b$ 对 $f$ 进行灰度膨胀定义为:

$$(f \ominus b)(s,t) = \min\{f(s+x,t+y) - b(x,y) | (s+x), (t+y) \in D_f; (x,y) \in D_b\} \quad (2)$$

式中: $\ominus$ 表示腐蚀运算符号。腐蚀可使目标收缩,孔洞扩张,该运算是由结构元素确定的邻域中选取 $f-b$ 的最小值,如果结构元素的值为正,则输出图像表现为亮细节被削弱或去除,暗细节得到增强。

### 1.3 开运算

结构元素 $b$ 对 $f$ 进行开运算定义为:

$$f \circ b = (f \ominus b) \oplus b \quad (3)$$

式中, $\circ$ 表示开运算符号。开运算相当于先用 $b$ 对 $f$ 腐蚀,腐蚀的结果由 $b$ 膨胀。开运算可用来去除比结构元素更小的亮细节。

### 1.4 闭运算

结构元素 $b$ 对 $f$ 进行闭运算定义为:

$$f \bullet b = (f \oplus b) \ominus b \quad (4)$$

式中: $\bullet$ 表示闭运算符号。闭运算相当于先用 $b$ 对 $f$ 膨胀,膨胀的结果由 $b$ 腐蚀。闭运算可用来去除比结构元素更小的暗细节。

### 1.5 形态学开闭组合运算

由于形态学开运算具有可去除比结构元素小的亮细节的特性,而形态学闭运算具有可去除比结构元素小的暗细节的特性,因此它们经常被组合在一起用来平滑图像并滤除噪声。常见的有两种类型,即形态学开闭组合滤波算法(Open-Close Filter, OCF)以及形态学闭开组合滤波算法(Close-Open Filter, COF)<sup>[10]</sup>。

$$OCF(f) = (f \circ b_1) \bullet b_2 \quad (5)$$

$$COF(f) = (f \bullet b_1) \circ b_2 \quad (6)$$

### 1.6 结构元素的选取

形态学滤波的效果不仅仅与算法有关,还与结构元素的形状、尺度、滤波的次数等因素有关。选用大的结构元素可以较好地滤除噪声,但会丢失更多的图像细节特征;选用小的结构元素可较好地保护图像的细节特征,但滤波性能又不足;滤波的次数越多,丢失的细节特征越多<sup>[14]</sup>。为了兼顾去噪作用和保护细节的效果,本文选取半径为1的圆盘型结构元素 $b_1$ 和边长为2的方形结构元素 $b_2$ 。

## 2 本文改进算法原理

对于噪声图像 $g$ ,按像素坐标依次判断各点是否为可疑盐噪声点,如果不是,则进入下一个点的判断;如果是,则以该可疑盐噪声点的坐标位置为中心,构建一个7×7大小的邻域 $g_{11}, g_{12}, \dots, g_{1n}$ ,其中 $n$ 为可疑噪声点个数,超出图像边界的部分补值0.5,如图1所示。

0.321 6	0.325 5	0.368 6	0.403 9	0.500 0	0.500 0	0.500 0
0.321 6	0.364 7	0.407 8	0.364 7	0.500 0	0.500 0	0.500 0
0.364 7	0.415 7	0.447 1	0.364 7	0.500 0	0.500 0	0.500 0
0.321 6	0.458 8	0.478 4	1.000 0	0.500 0	0.500 0	0.500 0
0.500 0	0.500 0	0.500 0	0.500 0	0.500 0	0.500 0	0.500 0
0.500 0	0.500 0	0.500 0	0.500 0	0.500 0	0.500 0	0.500 0
0.500 0	0.500 0	0.500 0	0.500 0	0.500 0	0.500 0	0.500 0

图1 一个7×7含可疑盐噪声点领域内像素点的灰度值

对含有可疑盐噪声点邻域 $g_{11}, g_{12}, \dots, g_{1n}$ 采用式(7)运算。

$$g_{OF} = (g_{11}, g_{12}, \dots, g_{1n}) \circ b_1 \circ b_2 \quad (7)$$

采用式(7)对图1所示的领域滤波,运算结果如图2所示。

然后用滤波后的该邻域的中心点的灰度值替换可疑噪声点的灰度值,其他非可疑噪声点的灰度值保持不变。即用图2中心点的灰度值替换图1中心点的灰度值,图1中其余像素点的灰度值保持不变,如图3所示。

0.321 6	0.325 5	0.325 5	0.325 5	0.500 0	0.500 0	0.500 0
0.321 6	0.364 7	0.364 7	0.364 7	0.500 0	0.500 0	0.500 0
0.321 6	0.364 7	0.364 7	0.364 7	0.500 0	0.500 0	0.500 0
0.321 6	0.364 7	0.364 7	0.364 7	0.500 0	0.500 0	0.500 0
0.500 0	0.500 0	0.500 0	0.500 0	0.500 0	0.500 0	0.500 0
0.500 0	0.500 0	0.500 0	0.500 0	0.500 0	0.500 0	0.500 0
0.500 0	0.500 0	0.500 0	0.500 0	0.500 0	0.500 0	0.500 0

图 2 滤波后 7×7 领域内像素点的灰度值

0.321 6	0.325 5	0.368 6	0.403 9	0.500 0	0.500 0	0.500 0
0.321 6	0.364 7	0.407 8	0.364 7	0.500 0	0.500 0	0.500 0
0.364 7	0.415 7	0.447 1	0.364 7	0.500 0	0.500 0	0.500 0
0.321 6	0.458 8	0.478 4	0.364 7	0.500 0	0.500 0	0.500 0
0.500 0	0.500 0	0.500 0	0.500 0	0.500 0	0.500 0	0.500 0
0.500 0	0.500 0	0.500 0	0.500 0	0.500 0	0.500 0	0.500 0
0.500 0	0.500 0	0.500 0	0.500 0	0.500 0	0.500 0	0.500 0

图 3 替换可疑噪声点后 7×7 领域内像素点的灰度值

同理,采用相同的方法构建可疑椒噪声点邻域  $g_{21}, g_{22}, \dots, g_{2n}$ , 其中  $n$  为可疑噪声点个数, 并采用式(8)运算。

$$g_{CF} = (g_{21}, g_{22}, \dots, g_{2n}) \bullet b_1 \bullet b_2 \quad (8)$$

最后,即可得到无噪声的图像。

### 3 算法流程

本文主要算法流程如下:

(1)按像素坐标依次搜索噪声图像  $f$  中存在的可疑噪声点, 并判断该可疑噪声点属于盐噪声还是椒噪声。

(2)如果是可疑盐噪声点, 则以该噪声点为中心, 构建一个 7×7 大小的邻域, 超出图像边界的部分补值 0.5, 并对该邻域执行式(7)运算, 再用滤波后的该邻域的中心点的灰度值替换噪声点的灰度值, 其他非噪声点的灰度值保持不变。

(3)如果是可疑椒噪声点, 则以该噪声点为中心, 构建一个 7×7 大小的邻域, 超出图像边界的部分补值 0.5, 并对该邻域执行式(8)运算, 再用滤波后的该邻域的中心点的灰度值替换噪声点的灰度值, 其他非噪声点的灰度值保持不变。

(4)最后可得无噪声的图像。

### 4 实验分析

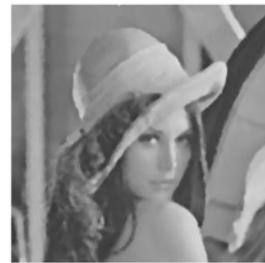
本文采用 256×256 大小的 lena 图像进行仿真实验, 对其添加椒盐噪声, 其噪声密度  $d=0.2$ , 如图 4(a)所示。并采用图像的均方误差 (Mean Square Error, MSE) 及峰值信噪比 (Peak Signal to Noise Ratio, PSNR) 客观评价滤波效果。假设图像大小为  $M \times N$ , 图像的 MSE 及 PSNR 定义为<sup>[5, 15]</sup>:

$$MSE = \frac{1}{MN} \sum_{x=1}^M \sum_{y=1}^N [f - \hat{f}]^2 \quad (9)$$

$$PSNR = 10 \lg \left[ \frac{255^2}{MSE} \right] \quad (10)$$

其中,  $f$  为无噪声图像,  $\hat{f}$  为滤波后的图像。

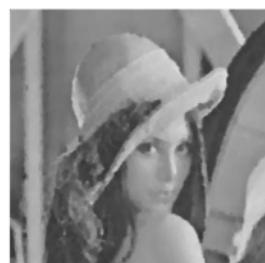
采用标准中值滤波算法、自适应中值滤波算法、OCF 算法、COF 算法以及本文算法对其滤波, 其滤波后的图像分别如图 4(b)~图 4(f) 所示。

(a)  $d=0.2$  的噪声图像

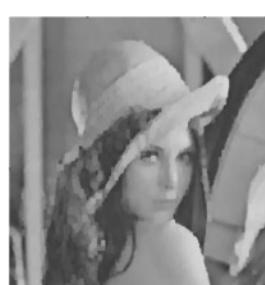
(b) 标准中值滤波后的图像



(c) 自适应中值滤波后的图像



(d) OCF 算法波后的图像



(e) COF 算法波后的图像



(f) 本文算法波后的图像

图 4 滤波效果

仔细对比滤波后的图像可以发现, 标准中值滤波算法、自适应中值滤波算法、OCF 算法、COF 算法以及本文算法虽然都具有一定的去噪能力, 但自适应中值滤波算法以及本文算法滤波后的图像细节特征保存较为完好, 尤其是本文算法不仅具有比较强的去噪性能, 且能够更好地保留图像的细节特征。

为了客观地评价各算法滤波后的性能, 表 1 详细列出了不同噪声密度(d)条件下各算法的 MSE 及 PSNR 的值。

表 1 各算法的均方误差及峰值信噪比值

滤波方法	$d=0.1$		$d=0.2$		$d=0.3$		$d=0.4$	
	MSE	PSNR	MSE	PSNR	MSE	PSNR	MSE	PSNR
标准中值	10.79	37.80	18.30	35.51	20.36	35.04	25.77	34.02
自适应中值	3.84	42.29	5.21	40.96	7.69	39.27	10.41	37.96
OCF	7.95	39.13	13.71	36.76	19.65	35.20	25.12	34.13
COF	9.79	38.23	19.95	35.13	23.14	34.49	28.73	33.55
本文算法	1.87	45.41	4.05	42.06	7.03	39.66	10.12	38.08

通过对表 1 中的数据对比可知,在同等噪声密度情况下,本文算法其 MSE 值最小、PSNR 值最大,自适应中值滤波算法次之,标准中值滤波算法、OCF 算法及 COF 算法性能基本相近。总体而言,本文算法具有均方误差小以及峰值信噪比高的优点,其滤波性能相比标准中值滤波算法、自适应中值滤波算法、OCF 算法、COF 算法等有一定程度的提高。

5 结论

本文经实验证明,对受椒盐噪声污染的图像,以可疑噪声点为中心,构建一个 $7\times 7$ 大小的邻域,对可疑椒盐噪声点邻域进行形态学闭滤波,对可疑盐噪声点邻域进行形态学开滤波,并以滤波后的该邻域中心点的灰度值替换可疑噪声点的灰度值,而非可疑噪声点的灰度值保持不变的方案切实可行。但对于更高噪声密度的情况,如何能更好地滤除噪声,同时具备较强的细节保护能力是以后的重点研究方向。

参考文献

- 通过对表 1 中的数据对比可知,在同等噪声密度情况下,本文算法其 MSE 值最小、PSNR 值最大,自适应中值滤波算法次之,标准中值滤波算法、OCF 算法及 COF 算法性能基本相近。总体而言,本文算法具有均方误差小以及峰值信噪比高的优点,其滤波性能相比标准中值滤波算法、自适应中值滤波算法、OCF 算法、COF 算法等有一定程度的提高。

## 5 结论

本文经实验证明,对受椒盐噪声污染的图像,以可疑噪声点为中心,构建一个  $7 \times 7$  大小的邻域,对可疑椒盐噪声点邻域进行形态学闭滤波,对可疑盐噪声点邻域进行形态学开滤波,并以滤波后的该邻域中心点的灰度值替换可疑噪声点的灰度值,而非可疑噪声点的灰度值保持不变的方案切实可行。但对于更高噪声密度的情况,如何能更好地滤除噪声,同时具备较强的细节保护能力是以后的重点研究方向。

### 参考文献

  - [1] 沈德海,侯建,鄂旭,等.一种窗口自适应的去椒盐噪声滤波算法[J].现代电子技术,2015,38(7):89–91.
  - [2] IRUM I, SHARIF M, RAZA M, et al. A nonlinear hybrid filter for salt & pepper noise removal from color images[J]. Journal of Applied Research and Technology, 2015, 13: 79–85.
  - [3] DE NATALE F G B, BOATO G. Detecting morphological filtering of binary images[J]. Transactions on Information Forensics and Security, 2017, 12(5): 1207–1217.
  - [4] 董怡,金伟其,张淼.数学形态学滤波在红外图像去噪中的应用研究[J].激光与红外,2007,37(8):795–798.
  - [5] ZHANG W G, SHI D, YANG X Q. An improved edge detection algorithm based on mathematical morphology and directional wavelet transform[C]. 8-th International Congress on Image and Signal Processing, 2015: 335–339.
  - [6] 石跃祥,康蕴,刘海涛.基于数学形态学的彩色噪声图像边缘检测算法[J].计算机应用研究,2012,29(3):1172–1174.
  - (上接第 70 页)
  - [9] 仇谷烽,余景池,黄启泰,等.接触式三坐标测量自由曲面轮廓的数据处理模型[J].光学精密工程,2013,21(11):2813–2820.
  - [10] FILELIS-PAPADOPOULOS C K, GRAVANIS G A. Hybrid multilevel solution of sparse least-squares linear systems[J]. Engineering Computations, 2017, 34(8): 2752–2766.
  - [11] 李青,刘红光,李凌梅,等.三坐标测量机校准综合示值误差分析[J].国外电子测量技术,2018,37(6):35–38.
  - [12] 李静,高华钰,沈南燕,等.复杂轴类零件非圆轮廓接触式随动测量方法[J].机械工程学报,2018,54(5):38–46.
  - [13] Deng Chongyang, Lin Hongwei. Progressive and iterative
  - [7] 李杰,苗长云,武志刚,等.基于数学形态学的图像边缘检测算法的研究[J].计算机科学,2012,39(6A):546–547.
  - [8] 卫星,焦蓬蓬,史永.基于柔性形态学滤波优化的周期性噪声消除算法[J].现代电子技术,2016,39(21):70–74.
  - [9] DENG G H, LIU Z L. Study of edge detection based on SQI algorithm and morphology[C]. 11th International Conference on Computational Intelligence and Security, 2015: 203–205.
  - [10] SAPUTRA I D, SMITH J S, WU Q H. Combination of morphology edge detection and skeletonization in detecting time location of power disturbances[C]. 5th IEEE PES Innovative Smart Grid Technologies Europe, 2014: 1–5.
  - [11] 吴晓元,常海涛,苟军年. Faster R-CNN 定位后的工业 CT 图像缺陷分割算法研究[J].电子技术应用,2019,45(1):76–79.
  - [12] 田子林,陈家新.基于最小二乘法与霍夫变换的虹膜定位算法[J].电子技术应用,2019,45(2):75–78.
  - [13] 万丰丰,周国民,周晓.一种去除椒盐噪声的自适应模糊中值滤波算法[J].浙江大学学报(理学版),2019,46(4):445–453.
  - [14] 郭海涛,徐雷,赵红叶,等.一种抑制声呐图像散斑噪声的形态学滤波器[J].仪器仪表学报,2015,36(3):654–658.
  - [15] 黄琪,李鼎权,施涛,等.一种针对椒盐噪声的新型迭代自适应滤波器[J].南开大学(自然科学版),2015,48(5):84–89.

(收稿日期:2020-04-12)

作者简介

文福林(1979-),男,硕士,讲师,主要研究方向:数字图像处理 模式识别 数字信号处理

张凯(1984-),通信作者,男,博士,助理研究员,主要研究方向:创新设计与智能设计 E-mail: zkscu2005@163.com.

蒲峰(1980-),男,硕士,讲师,主要研究方向:自动检测 模式识别

approximation for least squares B-spline curve and surface fitting[J]. Computer-Aided Design, 2014, 47:32-44.

- [14] 陈良泽.用矩阵运算实现曲线拟合中的最小二乘法[J].  
传感器技术,2001(2):30-31,34.
  - [15] 陈韦名.曲线拟合原理及其应用研究[D].长沙:长沙理工大学,2018.

(收稿日期:2020-07-06)

#### 作者简介：

高彤(1996-),女,硕士研究生,主要研究方向:光电检测技术、图像处理。

陈鸿(1963-),通信作者,男,博士,教授,主要研究方向:电路设计、自动化测试与控制技术、光电检测技术等,  
E-mail: chenhong@nuc.edu.cn。

张亮(1995-),男,硕士研究生,主要研究方向:智慧交通。

## 版权声明

经作者授权，本论文版权和信息网络传播权归属于《电子技术应用》杂志，凡未经本刊书面同意任何机构、组织和个人不得擅自复印、汇编、翻译和进行信息网络传播。未经本刊书面同意，禁止一切互联网论文资源平台非法上传、收录本论文。

截至目前，本论文已经授权被中国期刊全文数据库（CNKI）、万方数据知识服务平台、中文科技期刊数据库（维普网）、DOAJ、美国《乌利希期刊指南》、JST 日本科技技术振兴机构数据库等数据库全文收录。

对于违反上述禁止行为并违法使用本论文的机构、组织和个人，本刊将采取一切必要法律行动来维护正当权益。

特此声明！

《电子技术应用》编辑部

中国电子信息产业集团有限公司第六研究所