

# 基于方向信息测度的自适应多级中值滤波器<sup>1</sup>

杨海军 梁德群\* 江学峰

(西安交通大学图像处理与识别研究所 西安 710049)

\*(大连海事大学信息工程学院 大连 116026)

**摘要** 针对图像滤波中滤除噪声和保护细节(边缘)的矛盾,本文提出一种新的基于方向信息测度的自适应多级中值滤波器。方向性是边缘和噪声的本质区别之一,通过基于方向信息测度所构造的自适应结构,决定中值滤波器的形式和滤波窗口尺寸的大小,而不需要图像和噪声的先验知识。文章比较了标准中值滤波器、单向多级中值滤波器、双向多级中值滤波器和本文方法的结果。实验表明本文方法具有更好的效果。

**关键词** 图像滤波, 信息测度, 中值滤波器

**中图分类号** TN713

## 1 引言

图像滤波是图像初级处理的一个基本内容,其中线性平滑是人们最常用的方法。在加性噪声明显偏离高斯型时,如脉冲噪声、拖尾噪声等,线性平滑方法的滤噪性能会严重退化。不仅如此,线性平滑方法在滤噪的同时不能有效地保护边缘,而边缘是图像的基本特征之一,包含了图像中大多数的信息<sup>[1]</sup>。

标准中值滤波器(Median filter, 简记为 MF)较好地解决了线性滤波器的不足,对远偏离高斯型的,甚至是不完全独立于有用信号的各种噪声,也能得到较好的结果。但是,标准中值滤波器会破坏和丢失相对于滤波窗口尺寸较小的细节如边缘、拐角等。选择不同的滤波窗口尺寸会有不同的滤噪和细节保护能力,形成了尖锐的矛盾<sup>[2]</sup>。针对滤噪和保护细节提出的最成功的一种中值滤波器是多级中值滤波器(Multilevel median filter, 简记为 MLM)<sup>[2,3]</sup>,它包括单向 MLM 滤波器(标记为 MLM-)和双向 MLM 滤波器(标记为 MLM+)两种具体形式,分别在滤噪和保护细节两个方面给出不同的折衷:MLM- 滤波器具有较好的保护细节能力,但滤噪能力较差;MLM+ 滤噪性能较好,但损失了较多的细节。

本文提出一种新的基于方向信息测度的自适应多级中值滤波器(AMLM)。方向性是边缘和噪声的本质区别之一,边缘具有方向性而噪声不具有方向性,因此,可以根据方向信息测度来判断当前点是位于平滑区还是边缘区,分别选取不同形式和滤波窗口尺寸的滤波器。在平滑区应有较强的滤噪性能,因此选择 MLM+ 滤波器并用较大尺寸的滤波窗口;在边缘区应有良好的保护边缘能力,因此选择 MLM- 滤波器并用较小尺寸的滤波窗口。实验证明,我们的方法有较好的保护细节能力同时又较好地滤除了噪声,同时具有 MLM- 和 MLM+ 两者的优点又不同程度地避免了各自的不足。

本文的组织方式如下,第 1 节是引言;第 2 节简要介绍了本文所涉及的两种多级中值滤波器;第 3 节建立方向信息测度,以及用方向信息测度来自适应地决定中值滤波器的形式和滤波窗口尺寸的大小;第 4 节对标准中值滤波器、MLM- 滤波器、MLM+ 滤波器和本文方法的滤噪性能和保护细节能力进行了实验比较;最后是结论。

## 2 两种多级中值滤波器 MLM- 和 MLM+

本文采用的多级中值滤波器是文献 [2] 和文献 [3] 定义的。为了本文叙述的完整性,我们下面简单地介绍下单向多级中值滤波器(MLM-)和双向多级中值滤波器(MLM+)的定义。

<sup>1</sup> 1999-06-11 收到, 1999-10-29 定稿

**定义 1** 一种子窗口

设  $f(\cdot, \cdot)$  是定义在网格平面上的离散图像信号, 对于一个中心位于  $(i, j)$  的  $(2N+1) \times (2N+1)$  的方形滤波窗口, 常用的一种子窗口定义为

$$\begin{aligned} W_1(i, j) &= \{f(i+n, j) : -N \leq n \leq N\} \\ W_2(i, j) &= \{f(i, j+n) : -N \leq n \leq N\} \\ W_3(i, j) &= \{f(i+n, j+n) : -N \leq n \leq N\} \\ W_4(i, j) &= \{f(i+n, j-n) : -N \leq n \leq N\} \end{aligned}$$

子窗口还可以取其它的形式, 但任意的子窗口都可以直接应用于 MLM 滤波器, 本文仅考虑上面定义的子窗口。

**定义 2** 单向多级中值滤波器 (MLM-)

设基于子窗口的中值为

$$Z_k(i, j) = \text{med}[W_k(i, j)], \quad k = 1, 2, 3, 4$$

$\text{med}[\cdot]$  表示中值滤波, 所有这些中值的最大值与最小值分别为

$$Y_{\max}(i, j) = \max_{1 \leq k \leq 4} Z_k(i, j), \quad Y_{\min}(i, j) = \min_{1 \leq k \leq 4} Z_k(i, j)$$

那么, 单向多级中值滤波器的输出定义为

$$Y_{\text{MLM-}}(i, j) = \text{med}[Y_{\max}(i, j), Y_{\min}(i, j), f(i, j)] \quad (1)$$

**定义 3** 双向多级中值滤波器 (MLM+)

令

$$W_1^+(i, j) = W_1(i, j) \cup W_2(i, j), \quad W_2^+(i, j) = W_3(i, j) \cup W_4(i, j)$$

其中值为

$$Z_k^+(i, j) = \text{med}[W_k^+(i, j)], \quad k = 1, 2$$

类似地

$$Y_{\max}^+(i, j) = \max_{1 \leq k \leq 2} Z_k^+(i, j), \quad Y_{\min}^+(i, j) = \min_{1 \leq k \leq 2} Z_k^+(i, j)$$

那么, 双向多级中值滤波器的输出定义为

$$Y_{\text{MLM+}}(i, j) = \text{med}[Y_{\max}^+(i, j), Y_{\min}^+(i, j), f(i, j)] \quad (2)$$

实际上, 由于  $k$  的取值只有两种情况, 因此, 双向多级滤波器的输出等价于

$$Y_{\text{MLM+}}(i, j) = \text{med}[Z_1^+(i, j), Z_2^+(i, j), f(i, j)] \quad (3)$$

### 3 基于方向信息测度的自适应多级中值滤波 (AMLM)

方向性是边缘和噪声的本质区别之一。文献 [4] 中提出了两种基于边缘方向信息的图像信息测度。本小节定义一种简单的、实验证明是有效的方向信息测度, 并将其作为判断中值滤波器的形式和滤波窗口尺寸大小的依据。

### 3.1 方向信息测度

设当前像素点的坐标为  $(i, j)$ ，其邻域为  $R = \{(m, n) | |m - i| \leq L, |n - j| \leq L\}$ 。L 是邻域长度的一半， $l_\theta$  是过中心点且角度为  $\theta$  的一条直线并且将该邻域分成两半  $s_{\theta 1}$  和  $s_{\theta 2}$ ，则方向性图像信息测度  $M_{ij}$  的定义为

$$M_{ij} = d_{\theta \max} - d_{\theta \min} \quad (4)$$

其中  $d_{\theta \max} = \max_{0^\circ \leq \theta < 180^\circ} (d_\theta)$ ， $d_{\theta \min} = \min_{0^\circ \leq \theta < 180^\circ} (d_\theta)$ ， $d_\theta = |f_{s_{\theta 1}} - f_{s_{\theta 2}}|$ 。

$f_{s_{\theta 1}} = \sum_{(i,j) \in s_{\theta 1}} x_{ij}$ ， $f_{s_{\theta 2}} = \sum_{(i,j) \in s_{\theta 2}} x_{ij}$ ， $x_{ij}$  表示像素点  $(i, j)$  的灰度值。

如果当前邻域内存在过中心点的边缘，由于边缘点具有方向性，因此当  $l_\theta$  沿边缘轨迹方向时  $d_\theta$  取得极大值，而当  $l_\theta$  沿垂直于边缘轨迹方向时， $d_\theta$  取得极小值，因此  $M_{ij}$  的值较大；如果当前邻域是平滑区，无论  $l_\theta$  取什么方向， $d_\theta$  的值都比较接近，因此  $M_{ij}$  的值较小；对于噪声来说，由于噪声是随机的，不具有方向性，因此无论  $l_\theta$  取什么方向， $d_\theta$  的值也比较接近， $M_{ij}$  的值较小。这样在图像中边缘点的方向性测度较大，非边缘点和噪声的方向性测度较小。图 1(a) 是叠加了分布为  $N(0, 20)$  噪声的 Lena 图，图 1(b) 是其方向信息测度图。



图 1 方向信息测度及其直方图

### 3.2 自适应滤波

得到了方向信息测度，关键是取什么样的阈值来判断边缘区、平滑区以及介于两者之间的情况。通过大量的实验，我们发现，平滑区的方向信息测度分布近似可以看成是高斯分布，而边缘区的方向信息测度分布则不具有这个特点，因此可以认为边缘区和平滑区的分界点在高斯峰结束的  $3\sigma$  的地方。图 1(c) 是图 1(b) 所示方向信息测度的直方图。关于高斯拟合的方法可以参考有关的数学手册。

设拟合的高斯分布的均值和方差分别为  $\mu$  和  $\sigma$ ， $M_{ij}$  是当前点的方向信息测度，则自适应规则如下：

(1) 若  $M_{ij} \geq \mu + 3\sigma$ ，当前点位于边缘区，因此用 MLM- 滤波器以保护边缘；

(2) 若  $M_{ij} < \mu + 3\sigma$ ，当前点位于平滑区，因此用 MLM- 滤波器以得到较好的滤噪效果。

(3) 对于 MLM- 滤波器来说，距阈值越远，滤波窗口尺寸越小，反之越大；对 MLM+ 滤波器来说，距阈值越远，滤波窗口尺寸越大，反之越小。另外，我们在实验中发现，随着迭加噪声的增强，高斯分布的均值  $\mu$  和方差  $\sigma$  会增大，因此可以根据这两个值的相对大小来决定滤波窗口尺寸的大小。

## 4 性能分析实验

由于从理论上对我们的方法进行性能分析比较困难，因此，我们采用实验的方式对标准中值滤波器 MF，单向多级中值滤波器 MLM-，双向多级中值滤波器 MLM+ 和本文提出的基于方

向信息测度的自适应多级中值滤波器 AMLM 进行了比较。实验分析采用相对均方误差 (RMSE) 和相对平均绝对误差 (RMAE) 作为评价的标准<sup>[2,3]</sup>, 两者的定义分别为

$$\text{RMSE} = \left( \sum_{i=0}^{N-1} \sum_{j=0}^{M-1} [f(i, j) - f'(i, j)]^2 \right) / \left( \sum_{i=0}^{N-1} \sum_{j=0}^{M-1} [f(i, j)]^2 \right) \quad (5)$$

$$\text{RMAE} = \left( \sum_{i=0}^{N-1} \sum_{j=0}^{M-1} |f(i, j) - f'(i, j)| \right) / \left( \sum_{i=0}^{N-1} \sum_{j=0}^{M-1} |f(i, j)| \right) \quad (6)$$

其中  $f(i, j)$ ,  $f'(i, j)$  分别为输入、输出图像,  $N \times M$  是图像的大小。

#### 4.1 保护细节性能分析

我们选择的测试图像由下式给定。

$$f(r) = \begin{cases} A \cos(2\pi\lambda r^2/R), & r \leq R/2 \\ A \cos[2\pi\lambda(R/2 - (r - R)^2/R)], & R/2 < r \leq 3R/2 \end{cases} \quad (7)$$

文献 [3] 和 [5] 详细讨论了该测试图像各参数的意义和选取方法, 在这里, 我们选择  $R = 160$ ,  $\lambda = 0.30$ ,  $A = 127$ , 图像的大小为  $256 \times 256$ , 灰度等级为 256 级。我们用 (5) 式和 (6) 式定义的 RMSE 和 RMAE 来描述测试图像经过几种滤波器后造成的失真。表 1 给出了上述几种滤波器的 RMSE 和 RMAE。

从表 1 中可以看出, AMLM 的细节保护能力比 MF 好; 在大部分情况下 ( $N > 2$ ), 比 MLM+ 的性能也好; 和 MLM- 相比, 当  $N < 3$  时, AMLM 的细节保护能力比 MLM- 要差, 但当  $N \geq 3$  时, AMLM 的细节保护能力比 MLM- 要好。总体来说, 当  $N$  较小时, AMLM 的细节保护能力介于 MLM- 和 MLM+ 之间; 当  $N$  较大时, AMLM 的细节保护能力比 MLM- 和 MLM+ 都要好。

表 1 保护细节能力

N	RMSE				RMAE			
	MF	MLM-	MLM+	AMLM	MF	MLM-	MLM+	AMLM
1	0.1148	0.0008	0.0147	0.0317	0.1979	0.0058	0.0539	0.0710
2	0.6791	0.0077	0.0971		0.6605	0.0281	0.2032	
3	0.9237	0.0348	0.1796		0.8580	0.0773	0.3121	
4	0.9214	0.0739	0.2621		0.8892	0.1310	0.3935	
5	0.9311	0.1236	0.3370		0.9163	0.1952	0.4599	

#### 4.2 滤噪性能分析

我们对 Lena 图分别叠加分布为  $N(0, 20)$  的高斯噪声以及出现概率为 30% 的脉冲噪声, 作为比较上述各种中值滤波器对高斯分布和非高斯分布噪声的滤噪性能的测试图像。表 2 是噪声类型为高斯噪声时上述几种滤波器的 RAME 和 RASE, 表 3 是噪声类型为脉冲噪声时上述几种滤波器的 RAME 和 RASE。图 2 和图 3 分别给出了两种噪声类型下不同滤波器的最佳滤波结果。

从表 2 可以看出, 当噪声类型为高斯噪声时, 无论是 RMSE 评价标准还是 RMAE 评价标准, AMLM 的滤噪性能比 MF, MLM-, MLM+ 都好。从表 3 可以看出, 当噪声类型是脉冲噪声时, 在 RMSE 评价标准下, AMLM 的滤噪性能比 MLM- 要好, 大部分情况下比 MF 的滤噪性能也好, 但是在  $5 > N > 2$  时, AMLM 的滤噪性能比 MLM+ 差一些; 在 RMAE 评价标准下, AMLM 的滤噪性能比 MLM- 和 MF 都好, 和 MLM+ 相比, 只有在  $N = 3$  时, AMLM 的滤噪性能比 MLM- 略差, 其余都比 MLM+ 好。总体来说, 当噪声类型是高斯噪声时, AMLM 的滤噪性能优于 MF 和 MLM-, 和 MLM+ 的滤噪性能最好时相当; 当噪声类型是脉冲噪声时, AMLM 的滤噪性能优于 MF 和 MLM-, 比 MLM+ 的最好情况要差, 但基本上是在同一个水平上。图 2 和图 3 的主观评价验证了这一点。

表 2 噪声为高斯类型时的滤波结果

N	RMSE				RMAE			
	MF	MLM-	MLM+	AMLM	MF	MLM-	MLM+	AMLM
1	0.0122	0.0223	0.0125	0.0103	0.0859	0.1363	0.0984	0.0828
2	0.0121	0.0167	0.0106		0.0838	0.1175	0.0863	
3	0.0166	0.0145	0.0110		0.0898	0.1078	0.0842	
4	0.0222	0.0137	0.0123		0.1020	0.1028	0.0866	
5	0.0279	0.0135	0.0141		0.1148	0.1002	0.0905	
6	0.0341	0.0136	0.0161		0.1278	0.0992	0.0954	

表 3 噪声为脉冲类型时的滤波结果

N	RMSE				RMAE			
	MF	MLM-	MLM+	AMLM	MF	MLM-	MLM+	AMLM
1	0.0288	0.3453	0.1035	0.0190	0.0685	0.2911	0.1111	0.0608
2	0.0136	0.1838	0.0316		0.0671	0.1752	0.0624	
3	0.0181	0.1005	0.0181		0.0798	0.1147	0.0576	
4	0.0233	0.0622	0.0169		0.0918	0.0893	0.0617	
5	0.0288	0.0460	0.0180		0.1035	0.0803	0.0673	
6	0.0346	0.0483	0.0201		0.1152	0.0875	0.0730	

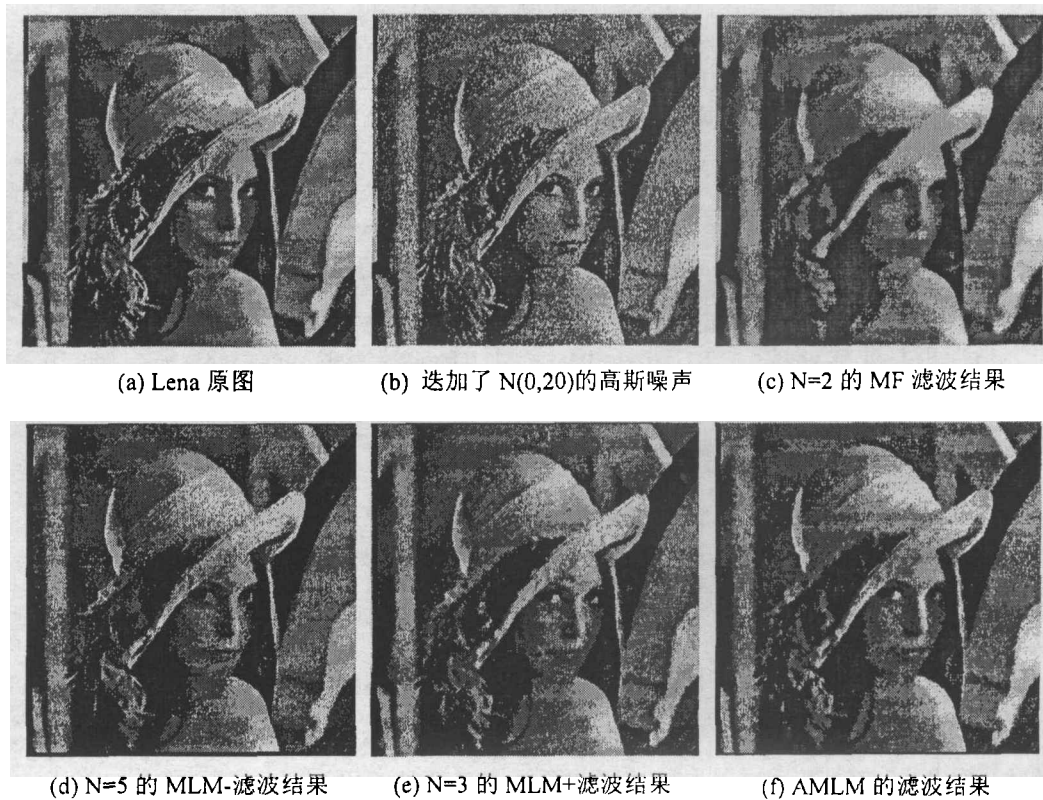


图 2 噪声类型为高斯噪声时的滤噪性能比较

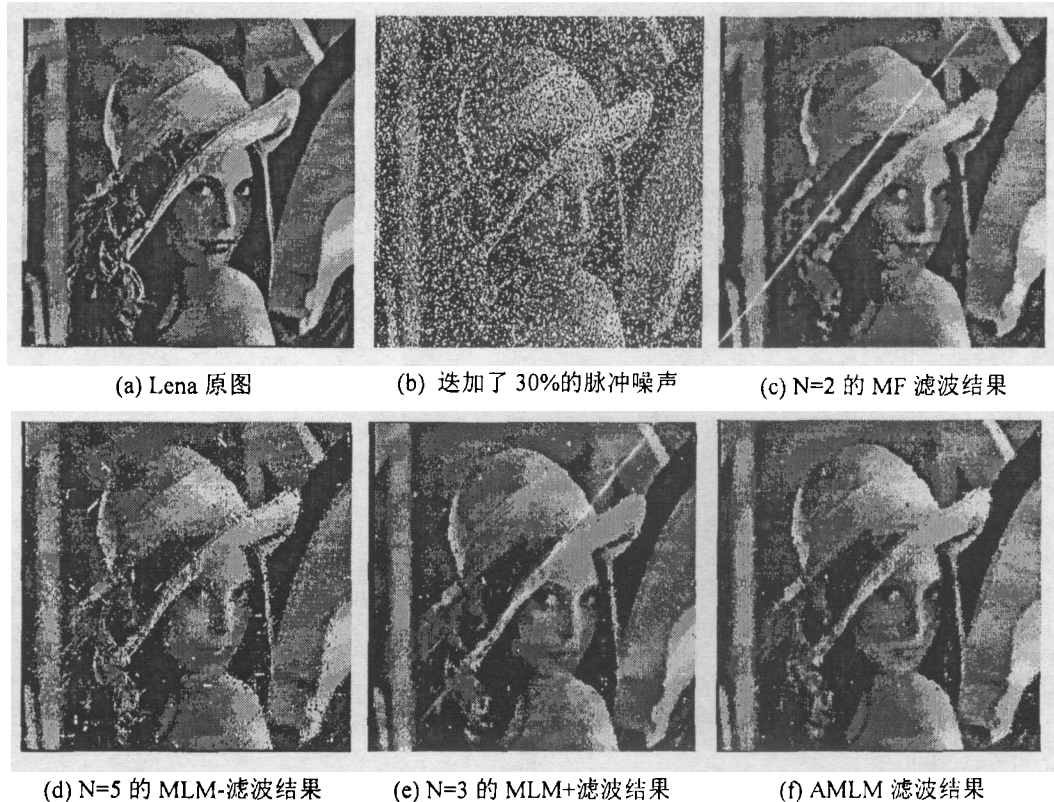


图3 噪声类型为脉冲噪声时的滤噪性能比较

## 5 结 论

本文提出一种新的基于方向信息测度的多级中值滤波器, 利用噪声和细节(边缘)是否具有方向性的本质区别, 自适应地决定中值滤波器的形式和滤波窗口尺寸的大小。实验证明, 本文方法在滤噪和细节保护两方面得到了更好的折衷。其滤噪和细节保护性能比标准的中值滤波器都要好。比单向中值滤波器具有更好的滤噪性能, 而当  $N > 3$  时, 具有更好的细节保护能力; 比双向中值滤波器具有更好的细节保护性能而在滤噪性能上基本相同。事实上, 对于不同类型的图像, 如纹理图像, 可以选择适合该类图像特点的信息测度来构造自适应结构, 实现自适应滤波。如何针对不同类型的图像而选取更好的信息测度以及完善自适应结构等方面将是后续工作的重点。

## 参 考 文 献

- [1] D. Marr, T. Poggio, A computational theory of human stereo vision, Proc. Roy. Soc. London, 1979, Vol.B-204, 301-328.
- [2] A. Nieminen, P. Heinonen, Y. Neuvo, A new class of detail-preserving filters for image processing. IEEE Trans. on PAMI, 1987, PAMI-9(1), 74-90.
- [3] G. R. Arce, R. E. Foster, Detail preserving ranked-order based filters for image processing, IEEE Trans. on ASSP, 1989, ASSP-37(1), 83-98.
- [4] 杨焯, 基于图像信息测度的多尺度边缘检测方法研究, [博士论文], 西安, 西安交通大学, 1998.

- [5] M. O. Ahmad, D. Sundarajan, A fast algorithm for two-dimensional median filtering, *IEEE Trans. on CAS*, 1987, CAS-34(11), 1364-1374.

## ADAPTIVE MULTILEVEL MEDIAN FILTER BASED ON DIRECTION INFORMATION MEASURE

Yang Haijun    Liang Dequn\*    Jiang Xuefeng

(*Inst. of Image Processing and Recognition, Xi'an Jiaotong University, Xi'an 710049, China*)

(\**College of Information Engineering, Dalian Maritime University, Dalian 116026, China*)

**Abstract** This paper presents a new adaptive multilevel median filter based on direction information measure to solve the contradiction between noise attenuation and image details-preserving (edge-preserving). Direction is one of nature distinctions between noise and edge, and an adaptive algorithm based on direction information measure is constructed to decide the format and size of median filter without any knowledge of image and noise. A comparison of median filter, single direction multilevel filter, bidirection multilevel filter and the method in this paper has been done. The result indicates that the method has better effectiveness.

**Key words** Noise reducing of image, Information measure, Median filter

杨海军: 男, 1973年生, 博士生, 主要研究方向为图像检测、低级视觉和图像模式识别.

梁德群: 男, 1940年生, 教授, 博士生导师, 主要研究方向为低级视觉、并行结构和图像检测.

江学峰: 男, 1971年生, 博士生, 主要研究方向为图像检测、信号处理.