

一种新的混合噪音滤波器加速算法^{*}

王世秀¹, 罗晓军^{2,3}, 李 兵³

(1. 商丘广播电视台, 河南 商丘 476000; 2. 商丘职业技术学院 计算机系, 河南 商丘 476000;
3. 长沙理工大学 数学与计算科学学院, 长沙 410076)

摘要:混合噪音滤波器 MNF 是目前滤波效果最好的算法之一,然而,由于它采用非局部算法思想,所以存在较大的计算负担,针对该不足,提出一种基于均值和方差相似性的加速算法(FMNF)。该算法之关键思想是对邻域像素预分类,把两像素的均值比和方差比均在给定阈值范围内(接近于 1)的邻域像素分为一类,视为相似像素,相似的像素参与滤波计算,不相似的像素被忽略,因此,减少了参与“脉冲过滤范数”计算的像素数,提高了滤波速度。仿真实验结果表明,FMNF 对各种噪音类型(纯高斯噪音、纯脉冲噪音以及它们的混合噪音)去噪的视觉效果和 PSNR 均与 MNF 相当,且滤波速度均可提高 15% 以上。因而,FMNF 算法比 MNF 更具有实用性。

关键词:数字图像; 高斯噪音; 脉冲噪音; 混合噪音; 均值; 方差

中图分类号:TP391

文献标志码:A

文章编号:1672-6693(2012)04-0068-05

数字图像在经过传感器或传输通道时常常会受到混合噪音(高斯噪音和脉冲噪音的混合)的污染,严重影响后继工作的进行,如:边缘检测、图像分割和模式识别等。许多学者一直致力于这类混合噪音的滤波算法研究,提出了诸多优秀的算法,如文献[1-14]。其中,文献[1]把脉冲噪音统计量 ROAD(Rank ordered absolute difference)引入 Bilateral 滤波器(后者仅适合去除高斯噪音),构建了一种新型滤波器(称之为 Trilateral 滤波器),使其同时具有去除高斯和脉冲噪音的能力,这是当时去除混合噪音最好的算法^[1];2005 年 Morel 等人提出了非局部均值算法^[2](Non-local means, NL-means),成为迄今为止去除高斯噪音最好的算法;2010 年李兵等人从概率论角度分析自然图像中存在着大量相似现象,提出一个相似假设,并证明了一个相似原理,在此基础上提出一种混合噪音非局部滤波算法^[11](Mixed noise filter, 简称 MNF),此算法的关键思想之一是构造了一个新的加权“脉冲过滤范数”,MNF 去除混合噪音的效果明显优于 Trilateral 滤波算法及已有其他方法;2012 年 Hu 等人把非局部思想引

入 Trilateral 滤波算法,提出非局部混合滤波算法^[12](NLMixF),其滤波效果与 MNF 相当,等等。这些算法有些属于局部算法,有些属于非局部算法,但是从滤波效果上看非局部滤波算法的效果常常更好些。

对于 MNF 算法,由于采用了非局部思想,所以它的计算复杂度比较大,运算时间比较长。例如,一个 512×512 的图像,如果邻域窗口取 9×9 ,相似窗口取 5×5 ,滤波时需要运行时间为 130 s 左右(实验条件为:CPU AMD2500⁺,内存 512 MB,Windows XP.net2.0 C#2.0),况且,在实际操作中,为了得到更好的去噪效果,有时还要进一步增大邻域窗口或相似窗口,这必然又增大了算法的计算量,降低了运行效率。

对于非局部算法中存在的计算负担问题,长期以来,人们一直在寻找某种快速算法。2005 年,由美国明尼苏达大学的 Mahmoudi 等人提出了邻域像素分类法^[13],对非局部均值(NL-Mean)算法进行了改进,使 NL-Mean 的计算负担问题得到明显改善,其运算速度比原来提高了近 30%。

* 收稿日期:2012-02-22 网络出版时间:2012-07-04 11:15:00

资助项目:国家自然科学基金项目(No. 61001082);河南省教育厅自然科学基金项目(No. 2009C110004);河南省高校青年骨干教师项目(No. 2009GGJS-176);中山市科技攻关课题(No. 20083A245)

作者简介:王世秀,女,高级工程师,研究方向为数字图像处理。

网络出版地址: http://www.cnki.net/kcms/detail/50.1165.N.20120704.1115.201204.68_012.html

但是,图像像素的梯度是容易受噪音类型和噪音级别影响的量,噪音的类型不同或级别不同,像素的梯度也有很大差别,所以使用梯度作为判断条件就有可能对相似窗口的相似程度判断不准确。为此,本文提出一种新的邻域像素分类法,该方法使用像素的均值比和方差比作为判断条件,认为均值和方差均相似的像素,相似程度更大,仅让这部分像素参加滤波计算,其余像素被忽略不计。大量的实验结果表明,该算法采用这种分类方法在不降低 MNF 滤波效果的情况下,其运算速度比原来提高了 15% 左右。

1 算法描述

本文约定: $u(i)$ 表示数字图像 u 像素 x_i 的灰度值($0 \leq u(i) \leq 255$), $i \in I: \{0, 1, \dots, M-1\} \times \{0, 1, \dots, N-1\}$ 。 v 表示噪音图像。

高斯噪音模型为 $v(i) = u(i) + n(i)$, 其中 $n(i)$ 为相互独立的、均值为 0 的、标准差为 σ 的高斯变量。

脉冲噪音模型为 $v(i)$ 以概率 p 取值 $n(i)$, 以概率 $1-p$ 取值 $u(i)$, p 是脉冲噪音发生概率, $n(i)$ 是相互独立的取值于 $\{0, 1, \dots, 255\}$ 中的随机变量。

1.1 MNF 算法描述

设大窗口 $N_i^0(D)$ 是以 x_i 为中心, 且不包括中心点 x_i 的邻域窗口, 其大小为 $(2D+1) \times (2D+1)$, 小窗口 $N_i(d)$ 、 $N_j(d)$ 分别是以 x_i 和 x_j 为中心的相似窗口, 其大小为 $(2d+1) \times (2d+1)$, 且 $D > d$, $d, D \in \mathbb{Z}^+$, 如图 1 所示。用 MNF 恢复后的图像表示为

$$MNF v(i) = \frac{\sum_{j \in N_i^0(D)} w(i, j) v(j)}{\sum_{j \in N_i^0(D)} w(i, j)}$$

其中

$$w(i, j) = w_I(j) w_M(i, j), w_I(j) = e^{-\frac{ROAD(j)^2}{2\sigma_I^2}},$$

$$NL v(i) = \sum_{j \in I} w(i, j) v(j)$$

$$w(i, j) = \begin{cases} \frac{1}{Z(i)} e^{-\frac{\|v(N_i) - v(N_j)\|_M^2}{\sigma^2}}, & (\|\nabla v(i)\| < \sigma_v) \text{ or } (\|\nabla v(j)\| < \sigma_v) \text{ and } \left(\eta_1 < \frac{\bar{v}(i)}{\bar{v}(j)} < \eta_2\right) \\ 0 & \text{其他} \end{cases} \quad (3)$$

其中, $Z(i) = \sum_j w(i, j)$, ∇v 表示像素的梯度, σ_v 是一个较小的梯度阈值, $\bar{v}$ 表示像素灰度平均值, $\mu_1 = 0.9, \mu_2 = 1.1$ 。

$$w_M(i, j) = e^{-\frac{\|v(N_i) - v(N_j)\|_M^2}{2\sigma_M^2}}, \quad (1)$$

对窗口 N_i 和 $N_j = T(N_i)$, 向量 $v(N_i) - v(N_j)$ 的脉冲过滤范数记为 $\|v(N_i) - v(N_j)\|_M$, 其值为

$$\|v(N_i) - v(N_j)\|_M^2 = \frac{\sum_{k \in N_i} ((1 - J(k, T(k))) |v(k) - v(T(k))|^2)}{\sum_{k \in N_i} (1 - J(k, T(k)))} \quad (2)$$

其中 $J(i, j) = 1 - e^{-\frac{(\text{MAX}(\text{ROAD}(i), \text{ROAD}(j)))^2}{2\sigma_j^2}}$, $\sigma_M \in [1, 255]$, $\sigma_I \in [1, 255]$, $\sigma_j \in [1, 255]$ 。

该算法的运算负担比较大, 其原因在于(2)式的脉冲过滤范数计算。如图 1 所示, 图中 V_i 是以 x_i 为中心的邻域窗口, N_i 和 N_j 分别是以 x_i 和 x_j 为中心的相似窗口。对某像素 x_i 来说, V_i 中所有像素 x_j 都要进行(2)式的范数计算。而且, 窗口 V_i 越大, 计算量越大, 窗口 N_i 、 N_j 越大, 计算量也越大。

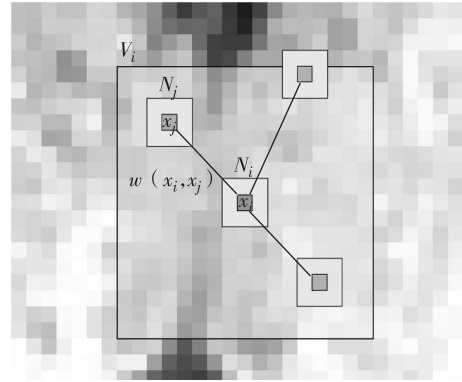


图1 邻域窗口 V_i 和相似窗口 N_i 和 N_j

1.2 非局部均值(NL-Mean)的快速算法

2005 年, 由 Mahmoudi 等人提出一种新的像素分类法, 用于改进非局部均值(NL-Mean)的算法, 该算法是对邻域窗口内的像素分类, 减少相似窗口中参加范数计算的像素数量, 从而提高非局部均值滤波算法的滤波速度。其主要算法为

此算法利用(3)式把 V_i 窗口内像素分成两类, 即: 梯度和均值均与中心像素 x_i 相似的像素为一类, 这类像素参加(3)式的范数计算; 其余为另一类,

不参加(3)式的范数计算,这就减少范数计算的次数,节约了运算时间,提高了运算速度。实验证明,该算法的运算速度比原 NL-mean 算法提高了 30% 左右,而且滤波效果还有一定的提高。

1.3 Fast-MNF 算法描述

为了提高 MNF 的运算速度,作者把 Mahmoudi 等人提出的加速算法的思想引入 MNF。但是,因为“梯度是易受噪音级别影响的量”^[14],当噪音级别较大时,使用梯度作为判断条件,分类的误差就可能变大。于是,作者提出一种新的加速算法(Fast-MNF,简称 FMNF),即,利用两像素的均值比和方差比来判断相似窗口是否相似,以此对 V_i 内像素分类。用 FMNF 恢复后的图像表示为

$$FMNF\ v(i) = \frac{\sum_{j \in N_i^0(D)} w(i,j)v(j)}{\sum_{j \in N_i^0(D)} w(i,j)}$$

其中

$$w(i,j) = w_l(j)w_m(i,j), \quad w_l(j) = e^{-\frac{ROAD(j)^2}{2\sigma_l^2}}$$

$$w_m(i,j) = \begin{cases} e^{-\frac{\|v(N_i) - v(N_j)\|_M^2}{\sigma_M^2}} \left(\eta_1 \left\langle \frac{\bar{v}(i)}{\bar{v}(j)} \right\rangle < \eta_2 \text{ and } \sigma_1^2 \left\langle \frac{\text{var}(v(N_i))}{\text{var}(v(N_j))} \right\rangle < \sigma_2^2 \right) \\ 0 & \text{其它} \end{cases} \quad (4)$$

(4) 式中 $\|v(N_i) - v(N_j)\|_M^2 =$

$$\frac{\sum_{k \in N_i} ((1 - J(k, T(k))) |v(k) - v(T(k))|^2)}{\sum_{k \in N_i} (1 - J(k, T(k)))},$$

$J(i,j) = 1 - e^{-\frac{(\text{MAX}(ROAD(i), ROAD(j))^2}{2\sigma_j^2}}$, $\eta_1, \eta_2, \sigma_1^2, \sigma_2^2$ 为滤波检测系数,取接近于 1 的阈值。

由(4)式可知,当相似窗口 N_i 和 N_j 的均值比和方差比均在给定的阈值范围内时,认为 i 和 j 是相似像素, $w_m(i,j)$ 取值较大,像素 j 的贡献就越大。这样的 j 参加(4)式的范数运算,否则,不参加运算。

2 仿真实验

2.1 参数的选取

实验时,使用的噪音类型如表 1 所示,图像大小为 512×512 ,灰度级为 256。各参数的取值是: $D=4, d=2$,即邻域窗口为 9×9 ,相似窗口为 5×5 ; $\mu_1=0.8, \mu_2=1.2, \sigma_1^2=0.5, \sigma_2^2=1.5$; $\sigma_l = \sigma_j = 100 + \sigma - 160p$; $2\sigma_M^2 = 18\sigma + 40 \left(\left(\frac{\sigma}{10} \right)^2 + 10 \right) p + 400p^2$ 。

表 1 实验中使用的噪音类型和级别

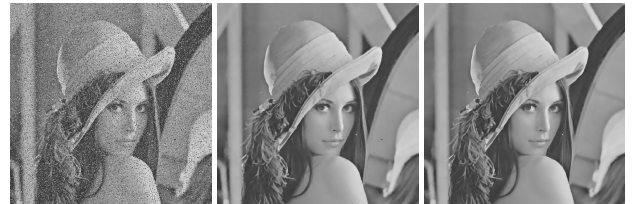
噪音类型	噪音级别
脉冲噪音	$p = 10\%, p = 20\%, p = 30\%, p = 40\%$
高斯噪音	$\sigma = 10, \sigma = 20, \sigma = 30, \sigma = 40$
混合噪音	$\sigma = 10, p = 20\%, \sigma = 20, p = 20\%, \sigma = 30, p = 20\%, \sigma = 40, p = 20\%$

2.2 实验结果

2.2.1 视觉效果比较 图 2 仅列出 Lean 图像部分噪音的去噪效果,从图中(a1、a2)、(b1、b2)、(c1、c2)比较来看,FMNF 的去噪图视觉效果不低于 MNF,也就是说,使用 FMNF 算法滤波时,有些像素虽然没有参与范数计算,但对视觉效果没有多大的影响。



(a) $\sigma=20$ 噪音图 (a1) MNF 去噪图 (a2) FMNF 去噪图



(b) $p=20\%$ 噪音图 (b1) MNF 去噪图 (b2) FMNF 去噪图



(c) $\sigma=30, p=20\%$ 噪音图 (c1) MNF 去噪图 (c2) FMNF 去噪图

图 2 MNF 和 FMNF 去噪图视觉效果比较

2.2.2 PSNR 和运行时间比较 表 2、3 列出了对 Lean 图像去噪的部分结果。表中数据是在硬件为: AMD2500+, 内存 512 MB, 硬盘 160 G。软件为: Windows XP. net2.0 C# 2.0 的计算机上实验所得。T1 表示 MNF 算法滤波时所用时间; T2 表示 FMNF 算法滤波时所用时间, T 表示 FMNF 与 MNF 相比在时间上提高的百分比。峰值信噪比

$$PSNR = 10 \lg \frac{\sum_{m,n=1}^{M,N} 255^2}{\sum_{m,n=1}^{M,N} (\tilde{u}_{m,n} - u_{m,n}^0)^2}$$

其中 $\tilde{u}_{m,n}$ 表示图像去噪以后 (m,n) 点灰度值, $u_{m,n}^0$ 表示原图像 (m,n) 点的灰度值。

从表中可以看出, FMNF 的去噪效果 (PSNR) 与 MNF 相当, 而在运行速度上, FMNF 比 MNF 却有较大提高, 对于纯高斯噪声而言, 噪音级别越高, 提高的速度越大, 如表 2 中, 对 $\sigma=30$ 的噪音, 速度提高了 21.96%; 对于纯脉冲噪声和混合噪声而言, 噪音级别越低, 提高的速度越大, 如对 $p=10\%$ 的噪音, 速度提高了 39%, 而 $p=30\%$, 速度只提高了 21.71%; 对于混合噪声而言, 含高斯噪声越高, 滤波速度越慢, 如表 3 中, 对 $\sigma=10, p=20\%$ 的噪音, 速度提高了 27.40%, 而 $\sigma=30, p=20\%$, 速度只提高了 18.26%。

从实验结果上看, 随着噪音级别的升高, 滤波时间变化幅度不大, 如, 当 $\sigma=10, 30, 40$ 时 $T_2 =$

111.75、115.30、114.42; 当 $p=10\%、30\%、40\%$ 时, $T_2=74.45、105.45、110.81$; 当 $\sigma=10, p=20\%、\sigma=20, p=20\%、\sigma=30, p=20\%、\sigma=40, p=20\%$ 时, $T_2=100.33、108.52、113.06、114.36$; 特别是对纯高斯噪声和混合噪声, 随着噪音级别的升高, 其滤波时间变化的幅度更小, 说明 FMNF 算法对高斯噪声和混合噪声的滤波更稳定。其原因是噪音级别越高, 邻域窗口内不相似的像素可能增多, 就可能又有部分像素不参加 (4) 式的范数计算, 因此, 运算速度变化的幅度不会太大, 当然, 要想得到更好的去噪效果, 还需要调节滤波参数 $\eta_1、\eta_2、\sigma_1^2、\sigma_2^2$ 的范围, 这对滤波速度有一定的影响。

总之, 通过大量的实验证明, FMNF 算法对各种噪音类型在基本保持原 MNF 去噪效果的基础上, 其运算速度可提高 20% 左右。

表 2 MNF 和 FMNF 处理纯高斯、纯脉冲噪声时 PSNR、运行时间比较

滤波器	评价指标	$\sigma=10$	$\sigma=30$	$\sigma=40$	$p=10\%$	$p=30\%$	$p=40\%$
MNF	PSNR	34.29	30.11	28.27	35.47	33.27	31.43
	T1/s	145.94	147.74	158.44	122.17	134.69	135.92
FMNF	PSNR	34.44	30.12	28.14	35.29	33.26	31.44
	T2/s	111.75	115.30	114.42	74.45	105.45	110.81
$(T_1 - T_2)/T_1 \times 100\%$		23.43	21.96	27.78	39.06	21.71	18.47

表 3 MNF 和 FMNF 处理混合噪声时 PSNR、运行时间比较

滤波器	评价指标	$\sigma=10, p=20\%$	$\sigma=20, p=20\%$	$\sigma=30, p=20\%$	$\sigma=40, p=20\%$
MNF	PSNR	32.65	30.86	28.80	27.19
	T1/s	138.20	137.61	138.31	137.94
FMNF	PSNR	32.64	30.81	28.65	26.91
	T2/s	100.33	108.52	113.06	114.36
$(T_1 - T_2)/T_1 \times 100\%$		27.40	21.14	18.26	17.09

3 结论

针对 MNF 滤波器存在着较大的计算负担问题, 本文提出一种基于均值和方差相似性的滤波器加速算法 (FMNF), 它把邻域窗口像素按其均值和方差的相似程度分成两类, 相似的像素为一类, 参与滤波, 不相似的像素被忽略不计, 以此提高滤波速度。大量的仿真实验表明, 此算法在保证 MNF 滤波效果的基础上, 对各种噪音类型, 其运算速度均可提高 15% 以上。因而, FMNF 算法比 MNF 更具有实用性。

参考文献:

- [1] Garnett R, Huegerich T, Chui C, et al. A universal noise removal algorithm with an impulse detector[J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2005, 14: 1747-1754.
- [2] Buades A, Coll B, Morel J M. A review of image denoising methods, with a new one[J]. Multiscale Modeling and Simulation, 2005, 4(2): 490-530.
- [3] 关新平, 赵立兴, 唐英干. 图像去噪混合滤波方法[J]. 中国图像图形学报, 2005, 10(3): 332-337.
- [4] 王益艳. 基于平滑核的广义变分去噪模型[J]. 重庆师范大学学报: 自然科学版, 2010, 27(6): 59-63.
- [5] 周刚, 贾振红, 覃锡忠. 一种新的图像去噪混合滤波方法

- [J]. 激光杂志, 2007, 28(1): 57-59.
- [6] 许卫全, 张新楼, 徐中佑, 等. 保持图像细节的局部自适应去噪滤波器新方法[J]. 信号处理, 2005, 21(2): 191-194.
- [7] 李玲, 胡学刚, 蒋伟. 一种基于 LIP 的全变分图像去噪新模型[J]. 四川师范大学学报: 自然科学版, 2011, 34(1): 134-138.
- [8] 王建勇, 周晓光, 廖启征. 一种基于中值-模糊技术的混合噪声滤波器[J]. 电子与信息学报, 2006, 28(5): 901-904.
- [9] 罗晓军, 李兵, Liu Q S. 一种新的线性混合滤波器[J]. 计算机工程与应用, 2008, 17: 172-174.
- [10] 罗晓军, 王世秀, 李兵, 等. 基于 ROLD 的混合噪声线性滤波器[J]. 计算机工程与应用, 2010, 46(31): 175-177.
- [11] 李兵, 刘全升, 徐家伟, 等. 去除混合噪声的一种新方法[J]. 中国科学: 信息科学, 2010, 40: 1165-1175.
- [12] Hu H J, Li B, Liu Q S. Non-local filter for removing a mixture of Gaussian and impulse noises[C]// Gabriela Csurka, José Braz. VISAPP 2012. Rome: Science and Technology Publications, 2012: 24-26.
- [13] Mahmoudi M, Sapiro G. Fast image and video denoising via non-local means of similar neighborhoods[J]. IMA Preprint Series, 2005, 12(12): 167-175.
- [14] Coupé P, Yger P, Barillot C. Fast non local means denoising for 3D MR images[J]. Med Image Comput Comput Assist Interv, 2006, 9(2): 33-40.

A New Acceleration Algorithm for Mixed Noise Filter

WANG Shi-xiu¹, LUO Xiao-jun^{2,3}, LI Bing³

(1. Shangqiu TV station, Shangqiu Henan 476000;

2. Dept. of Computer, Shangqiu Vocational and Technical College, Shangqiu Henan 476000;

3. School of Math and Computing Science, Changsha University of Science and Technology, Changsha 410076, China)

Abstract: Mixed noise filter MNF is one of the best algorithms at present. However, it uses the non-local algorithm, so there is greater calculation burden. For this shortage, a mixed noise filter acceleration algorithm (FMNF) base on mean value and variance similarity is proposed. The main idea of the algorithm is pre-classifying to neighboring pixels, the neighboring pixels of ratio of the mean value and variance within a given threshold value range (close to 1) is divided into a class, as a similar pixels. The similar pixels take part in filtering calculation and dissimilar pixels are ignored. Therefore, it reduces the number of pixels involved in “impulse controlled weighted norm” calculation and improves the filtering speed. The simulation results show that visual effect and PSNR of denoising figure of FMNF and MNF are quite to various kinds of noise (pure Gaussian noise, pure impulse noise and its mixed noise) denoising, and the filtering speed all can be increased by more than 15%. Therefore, the FMNF algorithm is more practical than MNF algorithm.

Key words: digital image; Gaussian noise; impulse noise; mixed noise; mean value; variance

(责任编辑 欧红叶)