

一种基于数学形态学与小波域增强的滤波算法

王小兵¹, 孙久运¹, 汤海燕²

(1 中国矿业大学 环境与测绘学院, 江苏 徐州 221116; 2 中国矿业大学 信息与电气工程学院, 江苏 徐州 221116)

摘 要: 为了有效滤除图像高斯噪声, 将数学形态学与小波域增强相结合, 提出了一种高斯噪声新型滤波算法. 该算法首先将噪声图像进行二维小波分解, 得到低频和高频子图像; 然后保留低频子图像不变, 对各高频子图像根据其噪声分布特点分别设计出多角度、多结构逐级形态学滤波器进行滤波处理, 并进行小波分解系数重构; 最后对经过形态学滤波后的图像进行 2 层小波分解, 通过设计出一种新型小波增强函数对不同幅值的小波系数进行不同程度的收缩处理, 在此基础上进行分解系数重构. 将自适应中值滤波与数学形态学滤波与本文算法进行比较, 实验证明本文滤波算法其去噪效果优于前两种算法.

关键词: 图像去噪; 高斯噪声; 数学形态学; 小波域增强

中图分类号: TP391

文献标识码: A

文章编号: 1000-7180(2012)07-0064-04

A New Filter Algorithm Based on Mathematical Morphology and Wavelet Domain Enhancement

WANG Xiao-bing¹, SUN Jiu-yun¹, TANG Hai-yan²

(1 School of Environment Science & Spatial Informatics, China University of Mining and Technology, Xuzhou 221116, China; 2 School of Information & Technical Engineering, China University of Mining and Technology, Xuzhou 221116, China)

Abstract: In order to filter the Gaussian noise in digital image, combining the Mathematical morphology and Wavelet domain enhancement, a new filter algorithm is put forward. Firstly, the noise image is conducted two-dimensional wavelet decomposition, obtaining high-frequency and low-frequency sub image. Then keep the low-frequency sub image unchanged, according to the characteristics of the Gaussian noise distribution in each high-frequency sub image, the multi-angles, multi-structure mathematical morphology filters are designed to filter out the Gaussian noise, then the wavelet coefficient are reconstructed. Finally, the image after mathematical morphology filtering are conducted two layer wavelet decomposition, a new wavelet domain enhancement function is designed so as to contract the different amplitude wavelet coefficients in different degree, then the wavelet coefficient are reconstructed. The adaptive average filter and mathematical morphology and the new filter algorithm in this paper are applied to denoising the Gaussian noise in digital image respectively, the experiment results show that the new filter algorithm in this paper is better than the others.

Key words: image denoising; Gaussian noise; mathematical morphology; wavelet domain enhancement

1 引言

数字图像在获取、存储、和应用过程中, 不可避免地受到噪声的影响, 严重影响了图像在实际中的

应用效果, 为了尽可能排除噪声干扰, 提高图像质量, 图像消噪声处理则显得十分必要. 目前针对图像噪声的滤波研究主要有以下几种方法: ① 经典滤波算法及其改进算法, 中值滤波和均值滤波为两种

收稿日期: 2011-12-17; 修回日期: 2012-01-11

基金项目: 国家自然科学基金(41171343); 江苏高校优势学科建设工程项目(PAPD)

较经典的滤波算法^[1-3];② 具有严密数学生物学理论基础的去噪算法,代表性的是小波变换、数学形态学滤波以及偏微分方程、遗传算法及其改进算法^[4-6];③ 综合各种滤波算法特点构建组合滤波算法^[7-8].

高斯噪声是由来源于电子电路噪声和由于低照明和高温等因素引起的传感器噪声所组成,具有噪声密度大,噪声强度大以及波段范围宽等特点^[9]. 图像受到高斯噪声污染程度随着图像像素级的差异而不同,并且在同一像素灰度级上也存在着不同程度的差异,因此相对于其他噪声来说极难滤除. 数学形态学滤波基本理论由 J. Serra 和 G. Matheron 等提出,该滤波作为一种非线性滤波算法以数学形态学作为其理论基础,该滤波算法简单、速度快、易于实现,因而在图像处理中得到广泛应用^[6]. 就数学形态学滤波而言,存在滤波结构元素单一化的缺陷,无法最大限度的滤除噪声. 针对这一问题,文中设计了一种多角度、多结构逐级滤波的串联形态学滤波器和 小波域增强函数,将数学形态学与小波域增强相结合,提出一种新型高斯噪声滤波算法.

2 数学形态学滤波

2.1 数学形态学滤波基本原理

数学形态学作为一门学科,数字图像的形态结构及其相互关系与快速并行处理是其主要研究内容^[15]. 作为一种非线性滤波方法,数学形态学滤波主要是通过预先定义的结构元素对图像中进行交、并等运算获取图像信息,在此基础上进行分析,了解图像结构特征,从而达到对图像进行分析和识别的目的. 在二值形态学基础上发展而来的灰度形态学适合于对灰度图像进行处理和分析,其基本运算主要有四种:

(1) 膨胀(dilate),用结构元素 $B(x, y)$ 对灰度图像 $F(x, y)$ 进行膨胀运算,可定义为:

$$(F \oplus B)(m, n) = \max\{F(m-x, n-y) + B(x, y)\} \quad (1)$$

其中, $(m-x), (n-y) \in D_F, (x, y) \in D_B, D_F$ 和 D_B 分别是 F 和 B 的定义域.

(2) 腐蚀(erosion),灰度图像 $F(x, y)$ 被结构元素 $B(x, y)$ 腐蚀运算,可定义为:

$$(F \ominus B)(m, n) = \min\{F(m+x, n+y) + B(x, y)\} \quad (2)$$

其中, $(m+x), (n+y) \in D_F, (x, y) \in D_B, D_F$

和 D_B 分别是 F 和 B 的定义域.

(3) 开运算(open),对灰度图像 $F(x, y)$ 使用结构元素 $B(x, y)$ 先腐蚀运算后膨胀运算:

$$F \circ B = (F \ominus B) \oplus B \quad (3)$$

(4) 闭运算(colse),用结构元素 $B(x, y)$ 对灰度图像 $F(x, y)$ 先膨胀运算后腐蚀运算:

$$F \bullet B = (F \oplus B) \ominus B \quad (4)$$

膨胀运算是通过将目标物体接触的并且在结构元素范围内的图像点合并到结构元素以内的过程,对图像空洞的填补以及平滑图像边界具有较好的效果,可用于图像凹状噪声的消除;腐蚀运算能够对小于结构元素的明亮区域进行弱化处理,对图像凸状噪声有较好的处理效果^[10]. 在膨胀和腐蚀运算基础上建立的开运算可以消除图像的孤立斑点和毛刺,具有平滑图像的特点;闭运算可以用来链接邻近物体和平滑图像边界,能够对图像目标物内细小空洞和裂缝进行填充. 此外不同尺度的结构元素对图像的滤波效果往往不尽一致:大尺度结构元素对噪声的滤波效果较好,同时检测的图像边缘比较粗糙;小尺度结构元素能有效检测图像边缘细节部分,但对噪声滤波效果不太理想. 基于以上对形态学运算和结构元素滤波性能的分析,可以认为形态学滤波器能否在保持图像边缘细节信息的基础上尽可能滤除噪声,关键在于形态学滤波器以及滤波模板(结构元素)的设计.

2.2 多角度、多结构逐级形态学滤波器设计

本文在利用形态学开运算和闭运算的滤波性能的基础上,将二者有机结合,组成形态学滤波器(如图 1(a)所示). 根据图像经过二维小波变换,高频细节图像分为水平(0°)、竖直(90°)特点,分别定义不同大小的结构元素(滤波模板)(图 2),在此基础上进行串联进行多角度、多结构逐级别滤波. 该滤波器具有如下特点:① 串联滤波器数目的确定,串联滤波器数目过多图像会出现模糊,数目过小则达不到滤波效果,经过反复试验论证,选择三种不同结构元素的滤波器进行串联(图 1(b)),从而可以最大限度的滤除噪声. ② 水平和竖直细节图像,分别设计符合各自噪声分布大小不用的结构元素(图 2(a), (b)),进行多角度、多结构逐级滤波. ③ 高频对角细节图像的处理,对于高频对角图像(45° 和 135°),分别通过定义符合噪声分布的结构元素进行 45° 和 135° 滤波(图 2(c), (d)),该结构元素具有多角度特性,能够较好顾及高频图像中噪声并非严格呈现 45° 或 135° 分布这一特点.

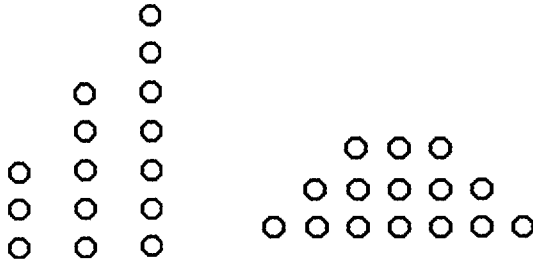


(a) 形态学滤波器



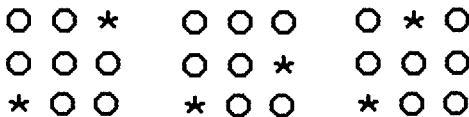
(b) 串联滤波器

图 1 形态学滤波器的设计

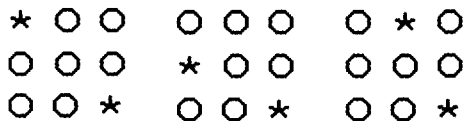


(a) 水平结构元素

(b) 竖直结构元素



(c) 对角结构元素(45°)



(d) 对角结构元素(135°)

图 2 形态学滤波结构元素

3 本文滤波算法

3.1 滤波算法基本思路

(1) 将含有高斯噪声的图像进行二维小波分解,得到低频子图像(LL)和水平高频细节子图像(HL)、垂直细节高频细节子图像(HV)、对角细节高频子图像(HD);

(2) 鉴于对低频子图像(HH)包含图像的大部分低频信息,含有噪声较少,可不作处理;而对于高频细节子图像(HL, HV, HD),分别设计大小不同的结构元素(图 2),才用多级串联滤波器的分别进行滤波(图 1);得到滤波后的高频细节子图像(HL1, HV1, HD1);

(3) 将高频细节子图像滤波结果(HL1, HV1, HD1)与低频子图像(HH)进行小波系数重构;

(4) 经过上述滤波处理后,图像清晰度严重下降,为了有效提高图像质量,将重构图像进行小波分解(分解层数为 2),在小波域中,通过设计一种新型小波域增强函数,对小波系数进行不同比例的收缩处理,从而可实现增强图像细节信息的目的,最后进行小波分解系数重构.该函数可表示为:

$$\hat{w}(x) = \begin{cases} a^2 * w(x) & w(x) < c_1 \\ \log(w(x)) & c_1 \leq w(x) \leq c_2 \\ b * w(x) & w(x) \geq c_2 \end{cases} \quad (5)$$

其中, $\hat{w}(x)$ 为小波增强函数, $w(x)$ 为小波系数幅值, a, b 为系数,并且 $a, b \in (0, 1)$, c_1, c_2 为阈值,本文 c_1, c_2 阈值分别为 20 和 50 进行小波域图像增强处理,系数 a, b 的确定结合具体实验进行讨论.

3.2 实验与分析

为了测试本文算法的去噪性能,在 MATLAB7.0 环境下,选取一幅大小为 434×342 的“lena.bmp”图像进行实验并对实验结果进行比较分析.采用“Daubechies”系列“db8”小波进行图像二维分解与重构.通过调用“imnoise”函数对图像加入均值为 0,不同方差(v)的白噪声,将本文滤波算法与数学形态学滤波和文献[3]所定义的自适应均值滤波算法进行滤波效果的对比分析.实验结果如图 3 所示.为了定量分析本文算法的滤波效果,引进峰值信噪比(Peak Signal to Noise Ratio, PSNR)作为衡量图像滤波效果的指标,PSNR 值越高,则说明滤波图像与原始图像越接近,滤波效果越好.对于一幅大小为 $m \times n$ 的图像,PSNR 可以进行如下定义:

$$\text{PSNR} =$$

$$10 \lg \left[m \times n \cdot \max_{m=1}^m \sum_{n=1}^n \frac{F^2(m, n)}{(F(m, n) - s(m, n))^2} \right] \quad (6)$$

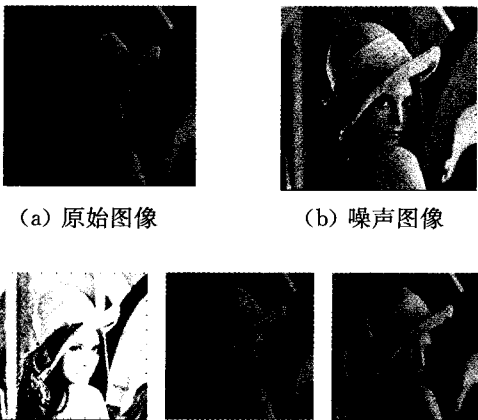
其中 $F(m, n), s(m, n)$ 分别为原始图像在 (m, n) 位置上的灰度值和去噪后灰度值.实验结果如表 1 所示.小波域增强函数中系数取值如表 2 所示.

表 1 几种去噪算法的 PSNR 值 (单位:db)

噪声方差 v	0.05	0.10	0.15	0.20	0.25
高斯噪声	17.960	16.313	14.524	12.911	11.519
自适应均值滤波	21.328	20.682	18.697	18.054	17.347
形态学滤波	19.664	22.351	21.949	19.412	16.643
本文算法	22.443	22.049	22.054	21.774	21.092

表 2 不同噪声强度下小波域增强函数系数取值

噪声方差 v	0.05	0.10	0.15	0.20	0.25
系数 a	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
系数 b	0.25	0.23	0.21	0.19	0.18



(c) 自适应均值滤波 (d) 形态学滤波 (e) 本文算法
图 3 本文算法滤波结果

对于去噪后图像质量的评价,一般来说有主观评价和客观评价者两种方法.前者依靠人的主观视觉来进行判断,后者则依靠一定的指标通过计算去噪后图像与原始图像的差别来客观地进行衡量.

(1) 主观分析,图像经过自适应均值滤波和数学形态学滤波后图像清晰度基本相同,图像质量有所下降,特别是图像边缘部分细节丧失较为严重;相对而言经过本文算法滤波处理的图像在边缘细节保持方面优于前两种滤波算法,图像质量有一定的提高;

(2) 通过对表 1 和表 2 数据进行分析,可以得出:① 从总体上看,无论是自适应均值滤波、数学形态学滤波还是本文滤波算法,随着噪声方差增大滤波效果均有不同程度的下降;② 当噪声方差为 0.05 时,本文滤波算法与前两种滤波算法滤波效果相似,这表明当噪声处于低水平时,几种滤波算法去噪效果基本上是一致的;③ 当噪声方差达 0.20 时,本文滤波效果明显高于前两种滤波算法,并且当噪声方差达到 0.25 时,差别更加明显,这说吧本文滤波算法对于高强度的噪声具有较好的滤波效果;④ 表 2 中,系数 a 随着噪声方差的增大保持不变,而系数 b 则越来越小,但最大差距也并未超过 0.1 个数量级,并且事实上图像被严重污染的情形是不多的(噪声 $v<0.25$),因此可以认为系数 a, b 取值在近似相等的情况下,采用本文滤波算法可以在滤除噪声的同

时最大限度地增强图像细节信息.

4 结束语

文中通过将数学形态学与小波域增强相结合,提出一种图像高斯噪声新型滤波算法.该算法首先对图像进行二维小波分解,对高频分解子图像分别设计出新的结构元素,通过构建多角度、多结构逐级形态学滤波器进行滤波处理并进行系数重构;然后通过对图像进行小波两层分解,在小波域中设计出一种新型增强函数,对不同幅值的小波系数进行不同程度的收缩,并结合实验讨论了增强函数的取值问题,最后进行小波重构.实验证明,该滤波算法具有较好的滤波效果.

参考文献:

[1] 孙海英,李锋,商慧亮.改进的变分自适应中值滤波算法[J].电子与信息学报,2011,33(7):1743-1745.
[2] Zhang S,Karim M. A new impulse detector for switching median filters[J]. IEEE Signal Processing Letters,2002,9(11):360-363.
[3] 郭红伟,余江,朱家兴,等.基于局部直方图的加权均值滤波器[J].计算机应用,2010,30(11):3019-3021.
[4] 张化民,周义明,张莉,等.基于双变量收缩函数的对偶树复小波图像去噪[J].微电子学与计算机,2008,25(12):141-143.
[5] 于梅,殷兵,何国栋,等.一种基于小波-Contourlet 变换的图像去噪算法[J].微电子学与计算机,2008,25(12):100-102.
[6] 王媛妮,葛非.结合遗传优化的多结构多尺度形态学消噪[J].计算机科学,2011,38(1):256-258.
[7] 王小兵,孙久运,汤海燕.一种高斯噪声组合滤波算法[J].佳木斯大学学报:自然科学版,2011,29(5):696-698.
[8] 王小兵,孙久运.一种滤除医学影像噪声的混合滤波算法[J].现代生物医学进展,2011,11(20):3954-3957.
[9] 武英,吴海勇.一种自适应图像去噪混合滤波方法[J].计算机工程与应用,2010,46(7):168-170.
[10] 刘金梅,杨力,罗迟星.基于数学形态学和小波融合的红外图像去噪[J].弹箭与制导学报,2010,30(5):73-75.

作者简介:

王小兵 男,(1988—),硕士研究生.研究方向为数字图像处理.
孙久运 男,(1974—),博士,副教授.研究方向为近景摄影测量、GIS 开发与应用、图像处理.
汤海燕 女,(1988—),硕士研究生.研究方向为图像处理.