

基于图像统计信息的去椒盐噪声算法

郑群辉^{1,2}, 唐延东²

(1. 中国科学院 研究生院, 北京 100049; 2. 中国科学院 沈阳自动化研究所, 沈阳 110016)

(qzh@sia.cn)

摘要:提出了一种基于图像统计信息的去椒盐噪声算法。该方法利用图像中心像素邻域的均值和方差来消除图像中椒盐噪声的影响。首先给出了这种算法的基本原理和实现,然后分别应用中值滤波算法、自适应中值滤波算法以及该算法对有椒盐噪声污染的图像进行滤波,并对实验结果进行比较和分析。实验结果表明,该方法不仅能够消除椒盐噪声,而且能够保持图像的特征信息。最后,对这种算法复杂度也进行了计算分析,并将其和中值滤波算法以及自适应中值滤波算法的复杂度进行了比较,证明该算法比中值滤波算法以及自适应中值滤波算法的复杂度低。

关键词:椒盐噪声;图像去噪;均值;方差

中图分类号: TP391 **文献标志码:** A

Algorithm for denoising salt and pepper noise based on image statistical information

ZHENG Qun-hui^{1,2}, TANG Yan-dong²

(1. Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China;

2. Shenyang Institute of Automation, Chinese Academy of Sciences, Shenyang Liaoning 110016, China)

Abstract: In this paper, a denoising algorithm with image statistical information was proposed. In this method, the mean and variance values of the central pixel and its neighborhood were used to remove the salt and pepper noise on an image. Firstly, the principle of the algorithm and its implementation were presented. This method was compared with the median denoising and the adaptive median denoising methods on images with salt and pepper noise. The experimental results show that the proposed algorithm could eliminate the salt and pepper noise and maintain the characteristics of image. At last, this paper analyzed the computational complexity of the proposed algorithm and compared it with the complexity of the median denoising and the adaptive median denoising algorithms. The computational complexity of the algorithm is also lower than that of the adaptive median denoising.

Key words: salt and pepper noise; image denoising; mean value; variance value

0 引言

目前,计算机视觉中由于采集的图像包含有椒盐噪声、高斯噪声、瑞利噪声和周期噪声等,因此需要对图像进行预处理——平滑滤波^[1]。人们对于不同的图像噪声设计了许多图像滤波算法。这些算法主要线性空间滤波算法和非线性空间滤波算法分为两类^[2-3]。

线性空间滤波算法主要是简单地在图像 f 中逐点移动滤波掩模的中心,进行卷积或相关运算。

常见的线性空间滤波算法主要有:基于高斯模板的平滑滤波算法、均值平滑滤波算法和LOG滤波算法等^[3]。

这种算法的优点是算法简单、计算速度快,但其代价是会造成图像一定程度的模糊,将图像的边缘或角点平滑掉,对图像的细节特征造成很大的影响^[4]。其滤波结果,在计算机视觉中对于图像的后续处理(图像分析)造成很大的影响。

非线性空间滤波器主要包括统计排序滤波器,其响应应基于对图像邻域中所包含的像素进行排序,然后使用排序结果确定的值来代替邻域中像素的值。常见的统计排序滤波器主要有:最小值滤波器、最大值滤波器和中值滤波器等^[3,5]。

统计排序滤波器的主要作用是消除椒盐噪声:最大值滤波器可以消除胡椒噪声;最小值滤波器可以消除盐白噪声;中值滤波器可以同时消除胡椒噪声和盐白噪声^[1]。

统计排序滤波器的优点是在对图像进行去噪,消除椒盐噪声的影响。它的缺点是需要对中心点邻域范围内的像素进行排序。这样算法的复杂度比较大,并且随着模板维数的增加图像会变的模糊不堪,使图像丢掉较小的细节特征,如边缘、拐角等^[5]。

近些年来国内外很多学者在图像平滑滤波方面提出了很多新的算法。在线性空间滤波算法领域提出的新算法主要有基于小波变换的均值滤波算法,基于偏微分方程的线性滤波算法和基于高斯模板的多尺度滤波算法等。这些算法虽然很大程度上改进了线性空间滤波算法的不足,但是仍然会对图像的特征(图像的边缘和角点)造成影响^[6];在线性空间滤波算法领域提出的新算法主要有自适应中值滤波算法,多级中值滤波算法和中心加权中值滤波算法等^[6-7]。虽然这些算法噪声处理效果有了很大的改进,但算法的复杂度也随之上升。

目前,国内外对于椒盐噪声主要采用的算法是统计排序滤波器,比如中值滤波器以及各种改进的中值滤波器。

收稿日期:2008-11-21;修回日期:2009-02-09。 基金项目:国家自然科学基金资助项目(60871078)。

作者简介:郑群辉(1983-),男,陕西宝鸡人,硕士研究生,主要研究方向:图像处理;唐延东(1962-),男,山东高唐人,研究员,博士,主要研究方向:图像处理、模式识别。

本文介绍了一种新的消除椒盐噪声的图像去噪算法,这种算法基于图像统计信息消除椒盐噪声,能保持图像的细节特征(边缘和角点等),并且具有较低的计算复杂度。

1 算法原理及实现

计算机视觉中采集的图像如果没有噪声污染,则应该是光滑的。假如采集的图像受到椒盐噪声的污染,就会变得模糊不清(如图1(a)和图1(b)),图像中心像素及其邻域内的灰度值就会发生很大的跳变。

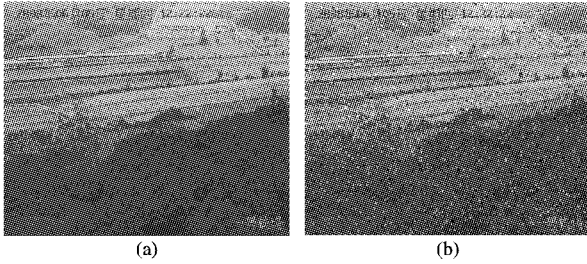


图1 清晰图像和噪声干扰图像

这样,可以根据图像像素中心邻域内的统计信息来判断中心像素点是否受到椒盐噪声污染。

如图2和图3所示,假如模板的大小为 $n \times n$ (n 一般为奇数),模板中心单元及其邻域的权值为 $w_{-\frac{n-1}{2}, -\frac{n-1}{2}}, w_{-\frac{n-1}{2}, -\frac{n-3}{2}}, \dots, w_{0,0}, \dots, w_{\frac{n-1}{2}, \frac{n-3}{2}}, w_{\frac{n-1}{2}, \frac{n-1}{2}}$,图像中心像素及其邻域的灰度值为 $f_{i-\frac{n-1}{2}, j-\frac{n-1}{2}}, f_{i-\frac{n-1}{2}, j-\frac{n-3}{2}}, \dots, f_{i,j}, \dots, f_{i+\frac{n-1}{2}, j+\frac{n-3}{2}}, f_{i+\frac{n-1}{2}, j+\frac{n-1}{2}}$ 。

$w_{-\frac{n-1}{2}, -\frac{n-1}{2}}$	...	$w_{\frac{n-1}{2}, \frac{n-1}{2}}$
...	$w_{0,0}$	...
$w_{-\frac{n-1}{2}, \frac{n-1}{2}}$	...	$w_{\frac{n-1}{2}, -\frac{n-1}{2}}$

图2 图像处理模板

$f_{i-\frac{n-1}{2}, j-\frac{n-1}{2}}$	...	$f_{i-\frac{n-1}{2}, j+\frac{n-1}{2}}$
...	$f_{i,j}$	...
$f_{i+\frac{n-1}{2}, j-\frac{n-1}{2}}$	...	$f_{i+\frac{n-1}{2}, j+\frac{n-1}{2}}$

图3 图像中心像素及邻域

由图3可以看出:如果图像中心像素及其邻域的图像没有受到椒盐噪声的干扰,则此区域的灰度值是近似光滑的(相邻像素灰度值变化很小);反之,如果图像中心像素及其邻域的图像没有受到椒盐噪声的干扰,则此区域的灰度值就有较大的跳变(相邻像素灰度值变化很大)。

基于上述思想,设计了如下的算法:如果图像中心像素的灰度值与其邻域内的平均灰度值之差的绝对值大于其邻域方差的 T ($T \geq 1$,一般设置为1.05~1.50,称为噪声过滤尺度)倍,就认为中心像素受到椒盐噪声的干扰;反之,认为其邻域灰度值近似连续,未受到椒盐噪声的干扰。

首先,由式(1)计算图像中心像素及其邻域内的均值 $\bar{f}_{i,j}$:

$$\bar{f}_{i,j} = \sum_{k=-\frac{n-1}{2}}^{\frac{n-1}{2}} \sum_{l=-\frac{n-1}{2}}^{\frac{n-1}{2}} w_{k,l} \times f_{i+k, j+l} \quad (1)$$

其次,由式(2)计算图像中心像素及其邻域内的方差 $\sigma_{i,j}$:

$$\sigma_{i,j} = \sum_{k=-\frac{n-1}{2}}^{\frac{n-1}{2}} \sum_{l=-\frac{n-1}{2}}^{\frac{n-1}{2}} w_{k,l} \times (f_{i+k, j+l} - \bar{f}_{i,j})^2 \quad (2)$$

然后,由式(3)计算中心像素的噪声响应函数值 $C_{i,j}$:

$$C_{i,j} = \begin{cases} 1, & (f_{i,j} - \bar{f}_{i,j}) > T\sigma_{i,j} \\ 0, & (f_{i,j} - \bar{f}_{i,j}) < T\sigma_{i,j} \end{cases} \quad (3)$$

其中, T 为噪声过滤尺度。

假如图像中心像素的灰度值 $f_{i,j}$ 减去其邻域平均灰度值 $\bar{f}_{i,j}$ 大于其邻域方差 $\sigma_{i,j}$ 的 T 倍,中心像素的噪声响应函数值 $C_{i,j} = 1$,即认为中心像素受到椒盐噪声的干扰;反之,中心像素的噪声响应函数值 $C_{i,j} = 0$ 。

最后,应用式(4)对原来有椒盐噪声干扰的图像进行滤波:

$$\tilde{f}_{i,j} = \begin{cases} \bar{f}_{i,j}', & C_{i,j} = 1 \\ f_{i,j}, & C_{i,j} = 0 \end{cases} \quad (4)$$

这样,经过上述步骤就得到了每个像素的噪声响应函数值。假如 $C_{i,j} = 1$,中心像素 $f_{i,j}$ 受到椒盐噪声的干扰,这时用中心像素邻域(除去中心像素,因为中心像素受到椒盐噪声的干扰)的平均灰度值 $\bar{f}_{i,j}'$ ($\bar{f}_{i,j}'$ 由式(5)计算)代替原来中心像素的灰度值 $f_{i,j}$,这样消除中心像素椒盐噪声的干扰;反之,假如 $C_{i,j} = 0$,中心像素 $f_{i,j}$ 未受到椒盐噪声的干扰,这时保持中心像素的灰度值 $f_{i,j}$ 不变。

$$\bar{f}_{i,j}' = \sum_{k=-\frac{n-1}{2}}^{\frac{n-1}{2}} \sum_{l=-\frac{n-1}{2}}^{\frac{n-1}{2}} w_{k,l} \times f_{i+k, j+l} - w_{0,0} \times f_{i,j} \quad (5)$$

通过上面算法可以看出:假设原来的图像为 f ,通过上面的算法,得到了滤波之后的图像 \tilde{f} ,这样 \tilde{f} 的任一像素和其邻域的灰度值近似连续,就消除了原图像 f 中椒盐噪声的干扰。

图像处理的效果受到模板大小($n \times n$)和噪声过滤尺度(T)的影响:1)采用大模板,图像中椒盐噪声处理的较彻底,但是算法复杂度较高;反之,采用小模板,图像中椒盐噪声处理的不彻底,但是算法复杂度较低。2)采用小尺度(噪声过滤尺度 T),图像中椒盐噪声处理的较彻底,但图像的细节特征容易丢失;反之,采用大尺度(噪声过滤尺度 T),图像中椒盐噪声处理的不彻底,但图像的细节特征会保持下来。因此,应用本文算法时应该选择合适的模板大小($n \times n$)和噪声过滤尺度(T)。

2 实验结果及分析

2.1 实验结果

用两组有椒盐噪声干扰的图像做实验,来考查本文所构造的图像滤波算法。首先,分别应用中值滤波算法、自适应中值滤波算法以及本文介绍的算法对有椒盐噪声干扰的图像进行滤波;然后,对比这三种算法处理的结果,并总结其优缺点。

如图4,图像大小为 514×511 ,图4(a)为清晰的Lena原图像 f ;图4(b)为椒盐噪声(概率为0.05)干扰的Lena图像 f' 。

对图4(b)进行滤波(模板大小为 7×7 ,采用均值模板,噪声过滤尺度 $T = 1.3$),得到的结果如图5所示。

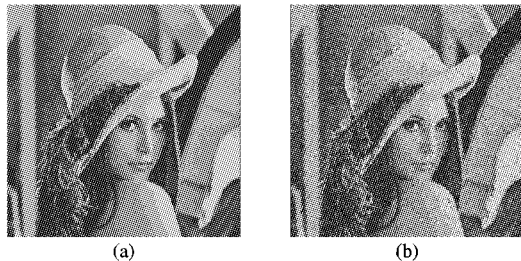


图4 清晰图像和噪声干扰图像

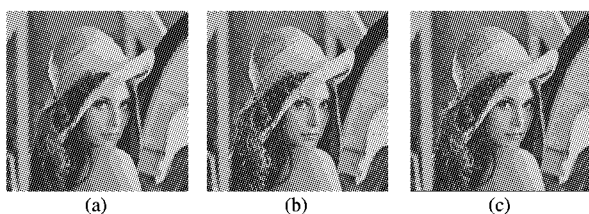


图5 中值滤波、自适应中值滤波及本文算法处理结果

由图5可以看出:

1)应用中值滤波算法消除椒盐噪声后得到的图5(a)和图4(a)相比,处理后的图像画面比较模糊,和图4(b)相比,椒盐噪声基本被消除;

2)应用自适应中值滤波算法消除椒盐噪声后得到的图5(b)和图4(a)相比,处理后的图像画面比较清晰,和图4(b)相比,椒盐噪声没有被完全消除,在图像的右半部分以及边缘处都存在由于椒盐噪声影响留下的斑块;

3)应用本文介绍的算法消除椒盐噪声后得到的图5(c)和图4(a)相比,处理后的图像画面比较清晰,和图4(b)相比,椒盐噪声基本被消除。

在模板大小相同的情况下,和中值滤波算法以及自适应中值滤波算法相比,应用本文介绍的算法能够极大地消除图像的椒盐噪声且能够保持图像画面的清晰度。

如图6,图像大小为 501×500 ,图6(a)为清晰的图 f ;图6(b)为椒盐噪声(概率为0.05)干扰的图像 f' 。

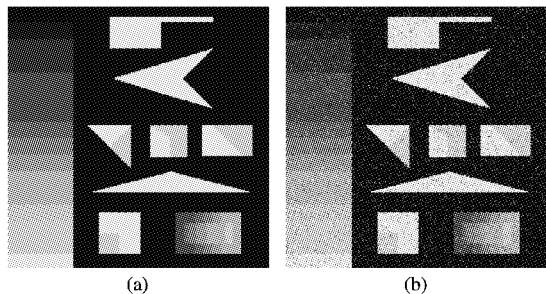


图6 清晰图像和噪声干扰图像

对图6(b)进行滤波(模板大小为 5×5 ,采用均值模板,噪声过滤尺度 $T = 1.3$),得到的结果如图7所示。

由图7可以看出:

1)应用中值滤波算法消除椒盐噪声后得到的图7(a)和图6(a)相比,处理后的图像虽然画面比较清晰且椒盐噪声基本被消除,但图像的细节特征比如角点等均被消除,对图像的

细节特征造成极大的破坏;

2)应用自适应中值滤波算法消除椒盐噪声后得到的图7(b)和图6(a)相比,处理后的图像画面杂乱不堪,出现了严重的斑块,同时图像的角点和边缘造成极大的破坏;

3)应用本文介绍的算法消除椒盐噪声后得到的图7(c)和图6(a)相比,处理后的图像画面比较清晰且椒盐噪声基本被消除,同时图像的细节特征比如角点和边缘等都被很好地保留下来。

因此,在模板大小相同的情况下,和中值滤波算法以及自适应中值滤波算法相比,应用本文介绍的算法能够很好地保留图像中的细节特征(角点以及边缘等特征信息)。

通过以上的实验结果以及分析,可以得出应用本文介绍的算法:1)能够极大地消除图像的椒盐噪声,并保持图像画面的清晰度;2)能够很好地保留图像中的细节特征(角点以及边缘等特征信息)。

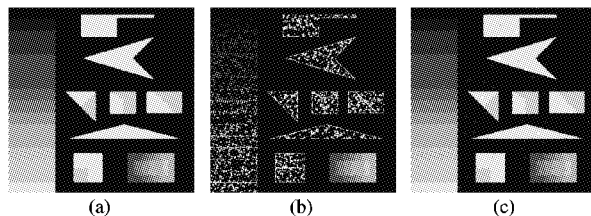


图7 中值滤波、自适应中值滤波及本文算法处理结果

2.2 实验结果分析

2.2.1 模板大小的影响

本文的算法在去椒盐噪声过程中,模板大小的选取对于去噪的结果有一定的影响。

图8(a)为椒盐噪声(概率为0.05)干扰的Lena图像 f ,图像大小为 514×511 。图8(b)为应用本文介绍的算法对图8(a)进行滤波(模板大小为 7×7 ,采用均值模板,噪声过滤尺度 $T = 1.3$)得到的结果。图8(c)为应用本文介绍的算法对图8(a)进行滤波(模板大小为 11×11 ,采用均值模板,噪声过滤尺度 $T = 1.3$)得到的结果。

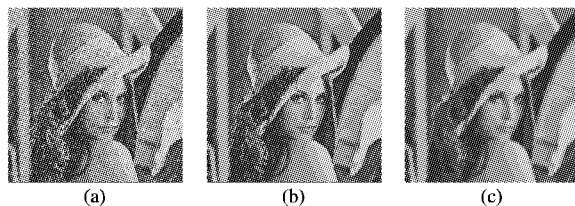


图8 清晰图像、 7×7 模板和 11×11 模板处理结果

由图8可以看出:选取大的模板,去噪之后的图像模糊;选取小的模板,去噪之后的图像稍清晰。模板大则模板内包含着离中心像素较远的像素,这样计算的统计信息就容易受到其影响,因此平滑之后的结果越模糊;反之,模板越小,平滑的效果就越弱。

2.2.2 算法的优势

本算法不仅能够消除椒盐噪声,而且能够保持图像的细节特征(角点、边缘等)。

模板内的大部分像素近似连续的,椒盐噪声与这些像素之间存在一个较大的灰度差。在利用本文算法去噪过程中,大部分像素的灰度值不会发生改变(即为原来的像素灰度值),因此,图像的细节特征(角点、边缘等)得以保持。

2.2.3 噪声过滤尺度对于算法的影响

噪声过滤尺度 T 的选择对去噪的结果有很大的影响,如图9所示。

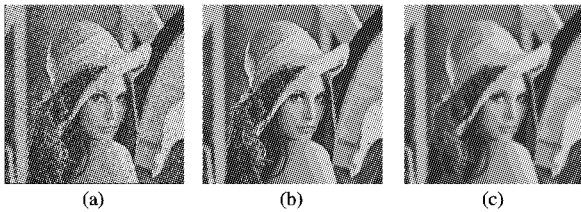


图9 清晰图像、 $T = 1.4$ 和 $T = 1.0$ 处理结果

图9(a)为椒盐噪声(概率为0.05)干扰的Lena图像 f ,图像大小为 514×511 。图9(b)为应用本文介绍的算法对图9(a)进行滤波(模板大小为 7×7 ,采用均值模板,噪声过滤尺度 $T = 1.4$)得到的结果。图9(c)为应用本文介绍的算法对图9(a)进行滤波(模板大小为 11×11 ,采用均值模板,噪声过滤尺度 $T = 1.0$)得到的结果。

由图9可以看出:选取小的噪声过滤尺度 T ,去噪之后的图像模糊,平滑效果越强;选取小的噪声过滤尺度 T ,去噪之后的图像稍清晰,去噪效果较弱。

小的噪声过滤尺度 T 使得比平均灰度值稍大的像素的灰度值均被调整则其受到的平滑效果较强,这些像素是很大的一部分,因此平滑效果越强,去噪之后的图像越模糊;反之,大的噪声过滤尺度 T 使得比平均灰度值大很多的像素的灰度值均被调整,而这些像素是很小的一部分,因此只有很少一部分像素灰度值得到改变,平滑的效果越弱。

一般情况下,椒盐噪声的概率分布为0.5%~50%,我们选取大量图像进行实验, T 的选择一般为1.05~1.50,这样就可以将图像中的椒盐噪声滤去。

3 算法复杂度分析

假设图像的大小为 $k \times l$,采用的模板大小为 $n \times n$,这种情况下分析中值滤波、自适应中值滤波以及本文算法的复杂度。

3.1 中值滤波算法的复杂度

中值滤波算法是一种统计排序滤波器,因此其复杂度主要来自于排序部分。

中值滤波的基本原理是首先对模板内像素的灰度值进行排序,然后用中值代替原来的像素灰度值。

如果排序时采用快速排序法(对于模板 $n \times n$,快速排序法需要 $n^2 \times \log n^2$ 次比较和 $(n^2 \times \log n^2)/6$ 次交换),则中值滤波算法需要的计算量为 Q_{zhz} :

$$Q_{zhz} = (k+1-n)(l+1-n)n^2 \log n^2 |_{\text{比较}} + ((k+1-n)(l+1-n)n^2 \log n^2)/6 |_{\text{交换}} \quad (6)$$

这样,中值滤波算法的复杂度为:

$$F_{zhz} = Q_{zhz}(n^2 \log n) \quad (7)$$

3.2 自适应中值滤波算法的复杂度

自适应中值滤波算法也是一种统计排序滤波器,因此其复杂度主要来自于排序部分。

自适应中值滤波的基本原理如下:

1)对图像中心像素及其邻域内的像素进行排序,查找出灰度最大值 z_{\min} 、最小值 z_{\max} 以及 z_{med} ,假设 z_{xy} 为坐标 (x,y)

点的坐标值, S_{\max} 为滤波允许的最大窗口;

2)计算 $A_1 = z_{\text{med}} - z_{\min}$, $A_2 = z_{\text{med}} - z_{\max}$,如果 $A_1 > 0$ 且 $A_2 < 0$,则转到下一步,否则增大窗口尺寸,如果窗口尺寸 $\leq S_{\max}$ 则重复这一步操作,否则输出 z_{xy} ;3)计算 $B_1 = z_{xy} - z_{\min}$, $B_2 = z_{xy} - z_{\max}$,如果 $B_1 > 0$ 且 $B_2 < 0$,则输出 z_{xy} ,否则输出 z_{med} 。

如果排序时采用快速排序法(对于模板 $n \times n$,快速排序法需要 $n^2 \times \log n^2$ 次比较和 $(n^2 \times \log n^2)/6$ 次交换),则自适应中值滤波算法需要的计算量为 Q_{zhy} :

$$Q_{zhy} = \sum_{i=1}^n ((k+1-i)(l+1-i)i^2 \log i^2 |_{\text{比较}} + ((k+1-i)(l+1-i)i^2 \log i^2)/6 |_{\text{交换}} + 4(k+1-i)(l+1-i) |_{\text{加}}) \quad (8)$$

这样,自适应中值滤波算法的复杂度为:

$$F_{zhy} = Q_{zhy}(n^4 \log n) \quad (9)$$

3.3 本文算法的复杂度

本文滤波算法的复杂度主要来自于计算均值和方差部分,本文滤波算法的需要的计算量 Q_y 为:

$$Q_y = (k+1-n)(l+1-n)(4n^2-2n-2) |_{\text{加}} + 2(k+1-n)(l+1-n)(3n^2-2n+1) |_{\text{乘}} + (k+1-n)(l+1-n) |_{\text{比较}} \quad (10)$$

这样,自适应中值滤波算法的复杂度为:

$$F_y = Q_y(n^2) \quad (11)$$

从算法复杂度而言,本文的算法比中值滤波和自适应中值滤波的复杂度小。

4 结语

本文主要介绍了一种基于图像统计信息的去椒盐噪声算法,主要利用图像像素邻域的方差和均值来消除图像中椒盐噪声的影响。这种算法不仅能够极大地消除图像的椒盐噪声且能够保持图像画面的清晰度而且能够很好地保留图像中的细节特征(角点以及边缘等特征信息),并且这种算法复杂度较小。

参考文献:

- [1] 尹志富,宋凯,金海月.图像预处理中去噪算法的研究[J].机械设计与制造,2008(1):202-203.
- [2] 章毓晋.图像工程[M].北京:清华大学出版社,2006.
- [3] GONZALES C R, WOODS R E. Digital image processing[M]. New Jersey: Prentice Hall, 2003:185-194.
- [4] BLACK M J, SAPIRO G. Edges as outliers: Anisotropic smoothing using local image statistics[C]// Proceedings of the Scale-space Conference. Berlin: Springer-Verlag, 1999:259-270.
- [5] 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.
- [6] 王强,王凤.一种保持图像几何特征的去噪模型[C]//中国通信协会第五届学术年会论文集.北京:电子工业出版社,2007:433-438.
- [7] 何钰,徐青,邢帅.基于偏微分方程的去噪方法[J].测绘科学技术学报,2007,8(4):284-286.
- [8] 董继扬,张军英.一种简单的椒盐噪声滤波算法[J].计算机工程与应用,2003,11(20):27-28.