

doi:10.11835/j.issn.1000-582X.2014.02.016

# 加密图像的开关中值滤波去噪算法

张思杰<sup>1</sup>, 喻洁<sup>2</sup>, 徐鹏<sup>1</sup>, 翟丽红<sup>1</sup>, 曾孝平<sup>1</sup>

(1. 重庆大学通信工程学院, 重庆 400044; 2. 中国电子科技集团第 44 研究所, 重庆 400060)

**摘要:** 图像数据有时有必要交给第三方设备进行处理。为了保护图像安全, 需要对图像进行加密及进行加密域图像处理。在此背景下, 提出了一种新的加密域图像处理算法。图像拥有方采用一种分块置乱像素位置的加密算法对噪声图像进行加密, 再传送给图像去噪方对加密的噪声图像进行开关中值滤波处理, 最后图像接收方通过密钥恢复像素位置得到解密后的去噪图像。在 MATLAB 平台下进行了算法仿真设计, 并测试了典型图像的去噪效果, 实验结果表明, 该算法在保护图像安全的前提下, 能有效地去除图像的噪声点, 保留图像的非噪声点, 去噪性能较好。

**关键词:** 中值滤波; 图像去噪; 加密图像第三方处理

**中图分类号:** TP309.2

**文献标志码:** A

**文章编号:** 1000-582X(2014)02-113-04

## The switching median filter denoising algorithm for encrypted images

ZHANG Sijie<sup>1</sup>, YU Jie<sup>2</sup>, XU Peng<sup>1</sup>, ZAI Lihong<sup>1</sup>, ZENG Xiaoping<sup>1</sup>

(1. College of Communication Engineering, Chongqing University, Chongqing, 400044, China;

2. China Electronics Technology Group Corporation No. 44 Research Institute, Chongqing 400060, China)

**Abstract:** Sometimes it is necessary to send the image data to the third party device to process. To ensure the image safety, it is necessary to encrypt the image before processing. A new algorithm for encrypted image processing is proposed. The image owner encrypts the images by sub-block pixel position scrambling, and then sends the encrypted images to the image processing party and let them processing the images by the switching median filter. Finally, the image receiver obtain the denoised image using the encryption key. The algorithm is simulated and designed under the MATLAB platform and the typical images are tested. The experimental result shows that the proposed algorithm has a good denoising performance, and it can protect the image, effectively remove the noise points and retain the non-noise points.

**Key words:** median filters; image denoising; the third party processing of encrypted image

为了保护图像安全, 防止图像内容泄漏, 特别是针对军事、医疗等方面的图像, 需要进行加密处理。图像拥有方可以利用现有的图像加密算法<sup>[1-2]</sup>加密图像, 保证图像的安全性, 同时也需要对原始图像进行压缩, 去噪, 变换等图像处理。如果有大量图像需要专业处理, 交给第三方设备进行处理会

极大地提高处理效率。特别是在当前的云计算环境下, 数据交由云端设备处理的优势日益彰显。此时, 为了保障图像安全, 图像拥有方往往会将图像加密之后再交给不受信任的第三方。这个时候, 第三方就必须针对一副加密了的图像进行处理。图像加密后, 隐藏了图像内容, 使得图像失去了一定

**收稿日期:** 2013-09-12

**基金项目:** 重庆市科委重点科技攻关资助项目(CSTC, 2007AB5026)

**作者简介:** 张思杰(1967-), 男, 重庆大学博士, 副教授, 主要从事生物医学信号检测与处理, 医学图像处理等方向研究, (Tel)13101388186; (E-mail)zhangsj@cqu.edu.cn。

的相关性,因此,加密图像处理相对普通图像处理比较困难。近年来,也提出了一些加密图像处理算法<sup>[3-9]</sup>,如水印,压缩,变换等处理,较好地实现了对加密图像的处理。然而,对于加密图像的去噪算法还是空白,一些效果好的非加密图像去噪方法在这里并不适用。

中值滤波是去除图像噪声的一种常用方法。它本质上是用像素邻域内的中间值代替该像素的像素值,以达到去噪和平滑的效果。但是,由于普通的中值滤波会遍历整幅图像,就会导致不是噪声的点也会被处理,使得滤波后的图像丢失细节,变得模糊。

为了解决这个问题,提出了开关中值滤波的算法和一些改进算法<sup>[10-15]</sup>。它分为检测阶段和滤波阶段。在检测阶段,利用预先设立的门限值,将噪声点和非噪声点区分开来,检测出噪声点。然后在滤波阶段,只对检测出的噪声点进行中值滤波处理。这样,就能够既去除噪声,又保留图像的细节部分。

在这样的背景下,提出了一种基于开关中值滤波的加密图像去噪算法,该算法能够较好地去除加密图像的噪声。

## 1 提出的算法

提出的算法有 3 个步骤,图像加密,加密图像开关中值滤波和图像解密,算法框图如图 1 所示。首先,图像发送方利用密钥对存在冲击噪声的图像进行加密,然后发送给图像处理方。图像处理方得到的图像是一副遮盖了图像内容的加密图像,并利用开关中值滤波的方法对其进行去噪处理,并将去完噪的图像传送给图像接收方。拥有解密密钥的图像接收方可以对图像进行解密,获得图像内容。

下面,依次介绍这 3 个步骤。

### 1) 图像加密

根据算法的需要,采取的加密方式是一种像素位置置乱方法。

假设灰度图像  $I$  的大小是  $M \times N$ , 首先将图像分成大小是  $S \times S$  的互不重叠的小块。这样,小块的个数一共是  $\left[\frac{M}{S}\right] \times \left[\frac{N}{S}\right]$ 。然后,将这些小块之间的位置进行置乱。通过密钥控制,将位置在  $(m, n)$  的小块移动到位置  $(m', n')$ 。最后,针对每一小块,利用密钥,将这  $S^2$  个像素在块内进行位置置乱。由于原图的像素的位置都被打乱了,想要知道图像内容就需要拥有密钥。通过上述加密过程就很好地保护了图像的安全和隐私。

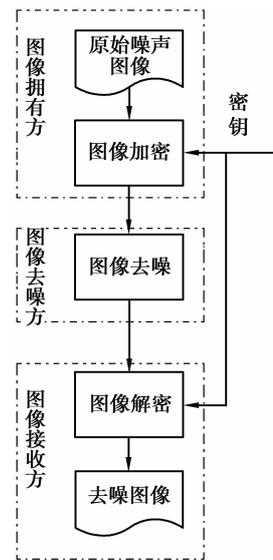


图 1 算法总体框图

### 2) 开关中值滤波

现在,图像处理方获得的图像是一副加密了的图像,而且他并不拥有密钥,因此不能获得原始图像。为了去除冲击噪声,图像处理方就必须对加密图像进行滤波处理。此时的开关中值滤波也分为 2 个阶段。

首先是检测阶段。图像处理方将加密图像同样分成大小是  $S \times S$  的互不重叠的小块。将图像内像素点的值可以表示为  $I_{mi,nj}$ , 其中  $m \in \{1, \dots, \left[\frac{M}{S}\right]\}$ ,  $n \in \{1, \dots, \left[\frac{N}{S}\right]\}$ , 表示块的位置,  $i, j \in \{1, \dots, S\}$ , 表示像素在块内的位置。首先,可以计算出每个小块内的均值  $\mu$  和标准差  $\sigma$

$$\mu_{m,n} = \frac{1}{S^2} \sum_{i=1}^S \sum_{j=1}^S I_{mi,nj}, \quad (1)$$

$$\sigma_{m,n} = \sqrt{\frac{1}{S^2} \sum_{i=1}^S \sum_{j=1}^S (I_{mi,nj} - \mu)^2}. \quad (2)$$

然后,利用均值和标准差可以得到 2 个门限值,将小块内的像素点分成 A、B 2 个集合

$$\begin{cases} I_{mi,nj} \in A, I_{mi,nj} < \mu_{m,n} - \omega \times \sigma_{m,n} \parallel I_{mi,nj} > \mu_{m,n} + \omega \times \sigma_{m,n}; \\ I_{mi,nj} \in B, \mu_{m,n} - \omega \times \sigma_{m,n} \leq I_{mi,nj} \leq \mu_{m,n} + \omega \times \sigma_{m,n}, \end{cases} \quad (3)$$

其中,参数  $\omega \in [1, 2]$ , 是标准差的权值。一般情况下,自然图像在一个小块内图像点的像素值较为相近,噪声点的像素值会和图像点的像素值相差较大。这样,集合 A 里面的像素点被认为是噪声点,集合 B 里面的像素被认为是未受污染的图像点。

检测到噪声点之后,进行滤波阶段。这时采用传统的开中值滤波的方法。在每一小块中,对像素值进行排序,并取它们的中间值  $\text{med}_{m,n}$ 。如果像素  $I_{mi,nj} \in A$ ,也就是说它是噪声点,那么令

$$I_{mi,nj} = \text{med}_{m,n} \quad (4)$$

需要指出的是,提出的算法和传统的开关中值滤波算法有所区别。传统的开关中值滤波算法设置大小为  $S \times S$  的窗口,在窗口内对窗口中心点进行检测和滤波,并且窗口按照一定顺序滑动,遍历整幅图像。提出的算法受到加密过程的限制,只能在每个小块内对块内的所有点进行处理,滤波效果会受到一定的影响。

### 3) 图像解密

图像处理方会将中值滤波处理之后的加密图像传送给图像接收方。而图像接收方是受图像发送方信任的,拥有图像解密密钥。因此,可以通过密钥将图像像素的位置恢复到原位,可以成功进行解密。解密之后的图像就是已经去除噪声了的图像。

## 2 实验结果

笔者利用的实验图像是大小为  $512 \times 512$  的灰度图像 Lena 和 Baboon,即取  $M=N=512$ ,取  $S=4$ 。加入椒盐噪声,噪声比例  $p=1\%, 2\%, \dots, 10\%$ ,将噪声图像分成  $4 \times 4$  的互不重叠的小块,对图像进行分块像素置乱加密。在图像去噪阶段,取参数  $\omega=1.7$ (经验值)。

表1 Lena 图像在不同噪声比例下,噪声点的漏检概率、虚警概率和解密之后图像的 PSNR

噪声比例 $p$ /%	2	4	6	8	10
漏检概率/%	3.2	6.0	9.0	12.6	15.3
虚警概率/%	5.9	4.4	3.2	2.4	1.8
PSNR(dB)	31.83	31.54	30.14	28.35	27.00

表1显示了在不同噪声比例下,噪声点的漏检概率、虚警概率和解密之后图像和原始图像相比的 PSNR 值。需要说明的是,表中漏检概率是未检测出的噪声点个数与噪声点个数的比值,虚警概率是误检出的噪声点与非噪声点个数的比值,表示开关中值滤波的质量;表中 PSNR 值是去噪图像与未加噪声的原始图像的峰值信噪比,表示去噪图像的质量,计算表达式如下

$$\text{PSNR} = 10 \cdot \lg \frac{255^2}{\text{MSE}}, \quad (5)$$

其中, MSE 是去噪图像和未加噪声的原始图像之间的均方误差。

从表1中可以看出,随着椒盐噪声比例  $p$  的增大,图像噪声点的漏检概率增大,虚警概率减小,去噪之后图像的质量适当下降,但是整个去噪效果较为明显。

表2显示了块的大小对滤波效果的影响。从表中可以看出,块的大小越大,恢复出的图像质量越不好,同时块的大小也不能太小。实验结果显示,取块的大小为  $4 \times 4$  最为合适。

表2 Lena 图像在 5% 噪声比例下,取块大小分别为  $2 \times 2$ ,  $4 \times 4$ ,  $8 \times 8$  和  $16 \times 16$  时,解密之后图像的 PSNR

$S \times S$	$2 \times 2$	$4 \times 4$	$8 \times 8$	$16 \times 16$
PSNR/dB	25.71	31.24	29.34	26.60

图2和图3是椒盐噪声比例  $p=5\%$  时,原始图像,加入噪声后的图像,加密后的噪声图像和最终去噪并且解密后的图像的对比,选用了常用的标准 Lena 和 Baboon 图像测试。从图中可以看出,本算法能够较好的去除噪声,图像视觉效果良好。

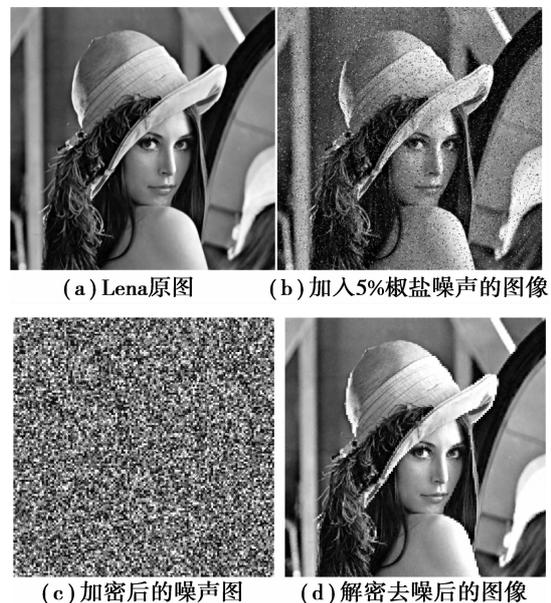
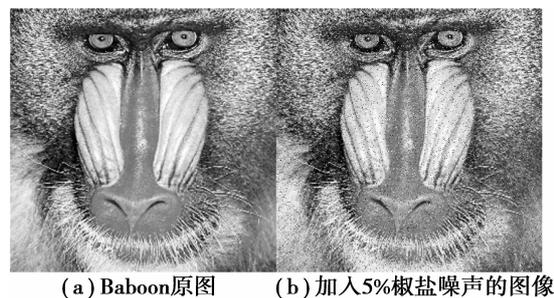
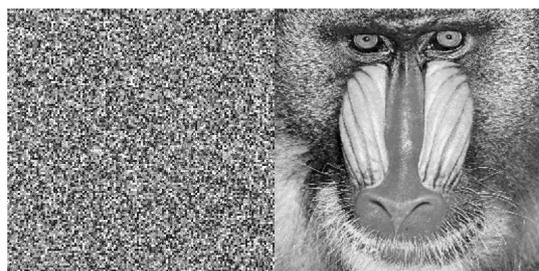


图2 Lena 图像去噪效果对比



(a) Baboon 原图 (b) 加入 5% 椒盐噪声的图像



(c)加密后的噪声图 (d)解密去噪后的图像

图 3 Baboon 图像去噪效果对比

### 3 结 论

提出了一种加密图像的开关中值滤波算法。通过本算法,图像拥有者可以将加密图像交给第三方进行去噪处理,处理效果较好,能够去除绝大部分的噪声,图像细节丢失很少。提出的算法既能够达到去除噪声的目的,又能保证图像内容不被泄漏,很好地保护了图像的安全和隐私。

#### 参考文献:

- [ 1 ] Kumar A A, Makur A. Lossy compression of encrypted image by compressive sensing technique[C]// Proc. IEEE Region 10 Conf. [s. n.]:IEEE, 2009:1-6.
- [ 2 ] Zhang X P, Lossy compression and Iterative reconstruction for encrypted image[J]. IEEE Trans. Inf. Forensics Security, 2011,6(1):53-58.
- [ 3 ] Bianchi T, Piva A, Barni M. On the implementation of the discrete fourier transform in the encrypted domain[J]. IEEE Trans. Inf. Forens. Security, 2009, 4(1):86-97.
- [ 4 ] Bianchi T, Veugen T, Piva A, et al. Processing in the encrypted domain using a composite signal representation: pros and cons[C]//Proc. IEEE WIFS. [s. n.]:IEEE:2009:176-180.
- [ 5 ] Zheng P J, Huang J W. Implementation of the discrete wavelet transform and multiresolution analysis in the encrypted domain [C]// Proc. of the 19th ACM international conference on Multimedia. [s. n.]:IEEE, 2011:413-422.
- [ 6 ] Lu W J, Swaminathan A, Varna A L, et al. Enabling search over encrypted multimedia databases[C]//Media Forensics and Security. [s. n.]:IEEE,2009:7254.
- [ 7 ] Hsu C Y, Lu C S, P S C. Homomorphic encryption-based secure SIFT for privacy-preserving feature extraction [C]//Media Watermarking, Security, and Forensics III. [s. n.]:IEEE,2011:7880.
- [ 8 ] Zhang X P. Reversible data hiding in encrypted image [J]. IEEE Signal Process. Lett. , 2011, 18(4): 255-258.
- [ 9 ] Memon N, W P W. A buyer-seller watermarking protocol [J]. IEEE Trans. Image Process, 2011, 10(4):643-649.
- [10] Tong SUN, Neuvo Y. Detail-preserving median based filters in image processing [J]. Pattern Recognit. Lett. , 1994,15:341-347.
- [11] Wang Z, Zhang D. Progressive switching median filter for the removal of impulse noise from highly corrupted images[J]. IEEE Trans. Circuits Syst. II,1999,46:78-80.
- [12] Chen T, Ma K K, Chen L H. Tri-state median filter for image denoising [J]. IEEE Trans. Image Processing, 1999, 8:1834-1838.
- [13] Zhang S Q, Mohanmmad A. A new impulse detector for switching median filters[J]. IEEE Trans. IEEE Signal Process. 2002,9:360-363.
- [14] Akkul S, Ledee R, Leconge R, et al. A New Adaptive Switching Median Filter [J]. IEEE Signal Process. 2010, 17:587-590.
- [15] Dong Y Q, Xu S F. A new directional weighted median filter for removal of random-value impulse noise[J]. IEEE Signal Process. 2007, 14:193-196.

(编辑 侯 湘)