

基于12个方向的方向加权滤波法 去除随机值脉冲噪声*

陈明轩, 周亚丽, 张奇志

(北京信息科技大学 自动化学院, 北京 100192)

摘要: 为了解决方向加权中值滤波方法的不足,提出了一种新的基于12个方向的方向加权滤波法滤除图像中的随机值脉冲噪声。这种方法在脉冲检测阶段是利用当前像素与邻域12个方向像素的不同识别噪声,然后在噪声滤除阶段选取合适的加权值去除噪声。实验结果表明,该方法从主客观两方面验证了在滤除噪声率较高或较低的噪声时对保护图像细节方面的效果有所提高,并且提高了程序运行效率。

关键词: 图像复原; 方向中值滤波; 随机值脉冲噪声; 12个方向的方向加权滤波

中图分类号: TP391

文献标志码: A

文章编号: 1001-3695(2014)05-1584-04

doi:10.3969/j.issn.1001-3695.2014.05.074

Directional weighted filter with 12 directions to remove random valued impulse noise

CHEN Ming-xuan, ZHOU Ya-li, ZHANG Qi-zhi

(School of Automation, Beijing Information Science & Technology University, Beijing 100192, China)

Abstract: In order to remove the lack of directional weighted median filter method, this paper proposed a new directional weighted filter with 12 directions. It could remove the random value impulse noise in digital images. In this method, it identified the noise pixels by the differences between the current pixel and neighbors aligned with 12 directions in the impulse detection phase, and then it selected the appropriate weighted value for noise removal in the noise filtering phase. The extensive experimental results show that this method has improved the effect of protecting image details on subjective and objective aspects when the noise rate is higher or lower, and has also improved the efficiency of program.

Key words: image restoration; directional median filter; random valued impulse noise; directional weighted filter with 12 directions

0 引言

在数字图像的获取和传输过程中,经常会由于传感器故障或传输通道的问题产生噪声,这些噪声的存在严重影响了图像的质量,使图像的后期处理变得困难^[1]。在图像去除噪声处理中一个最基本的问题就是在有效降低噪声的同时保留图像特征的完整性。脉冲噪声是图像噪声中一种最常见的噪声形式,它只是影响图像像素的一部分,而其他像素保持不变。人们根据脉冲噪声幅值的特点,又将它分为固定值脉冲噪声和随机值脉冲噪声两种类型^[2]。目前人们对于去除固定值脉冲噪声的研究多且相对深入,已经有很多不错的成果,而对去除随机值脉冲噪声的研究相对较少。由于随机值脉冲噪声的幅值是在信号像素的最大和最小灰度值之间均匀分布,这就加大了噪声检测的难度,容易出现误判的情况。并且现实环境下的脉冲噪声一般不会是理想化的饱和脉冲噪声,随机值脉冲噪声相对更接近现实环境中的脉冲噪声,因此本文讨论的是去除随机值脉冲噪声。

中值滤波^[3]是滤除图像脉冲噪声常用且有效的方法。由于传统的中值滤波算法简单且易于在硬件上实现,因此长期以来在图像去除脉冲噪声中得到了广泛应用。虽然它有较好的

噪声抑制能力,但是由于它将图像中的所有像素进行了统一处理,用邻域中值进行了替换,这样导致图像中原本没有受到噪声污染的像素灰度值也被替换掉。针对这一问题,许多专家和学者提出了很多改进算法。1996年Abreu等人^[4]提出了signal-dependent rank order mean (SD-ROM)滤波算法;2001年Chen等人^[5]提出了adaptive center-weighted median filters (ACWM)方法,该方法使用多窗口的中心像素加权的方式检测噪声,用更多的阈值保持图像的边缘细节。2004年Crnojević等人^[6]提出了advanced impulse detection based on pixel-wise MAD (PWMAD)算法,该算法利用中位数的绝对偏差(median of absolute deviations from median)有效地从图像细节中分离噪声。1999年Chen等人^[7]提出了tri-state median filter (TSM)方法,该方法将standard median (SM)和center weighted median (CWM)方法应用到了噪声检测阶段,滤波输出的结果是原始信号像素值、SM滤波值和CWM滤波值三者之一。2001年Chen等人^[8]又提出multi-state median (MSM) filter方法,该方法设置了不同组的中心加权值滤波器,通过一个简单的阈值逻辑,MSM滤波器自适应地选择其中一组的中心加权中值。然而三态和多态中值滤波只有在噪声率较小时有较好的滤波效果。2006年Schulte等人^[9]用模糊规则来检测脉冲,但是在噪声率高时处理随机值脉冲噪声不能保持它的一致性。2009年

收稿日期: 2013-05-22; 修回日期: 2013-07-15
化计划资助项目(PHR201106131)

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(11172047);北京市属高等学校人才强教深

作者简介: 陈明轩(1988-),女,河北石家庄人,硕士研究生,主要研究方向为图像去噪(cassiexuan@163.com);周亚丽(1968-),女,辽宁沈阳人,教授,博士,主要研究方向为运动控制、智能控制;张奇志(1963-),男,辽宁阜新,教授,博士,主要研究方向为机器人技术。

Civicioglu^[10]通过计算三角形线性插值确定噪声,但是仍然不能减小三角形的线性差值函数的复杂性。2011年 Akkoul 等人^[11]提出了 adaptive switching median filter (ASMF) 算法,该算法利用的是图像像素均值和方差的相似性度量,但是当噪声率高时滤波效果仍然不是很好。这些优化方法去除了一些图像恢复的参数,这些参数适合受不同噪声水平污染的图像的复原。2007年由 Dong 等人^[12]提出的 directional weighted median filter (DWMF) 适用于各种类型的图像。但是它有两点不足:在脉冲检测过程中考虑更多需要的方向;在图像恢复阶段恢复图像灰度值时,考虑邻域的所有像素,无论它们是否是被噪声污染还是不受噪声污染的像素。

基于方向加权中值滤波的不足,本文提出了一种基于12个方向的方向加权中值滤波法恢复受随机值脉冲噪声污染的图像。该脉冲恢复的滤波器克服了大部分经典脉冲滤波器的局限性和方向加权中值滤波器的不足,并提供了更有效的脉冲噪声恢复以及能更准确地确定脉冲噪声的位置。

1 算法描述

该滤波器有两个阶段:定向脉冲检测阶段是从图像信号中区分脉冲噪声,自适应脉冲校正阶段是以更合适的信号恢复受污染的像素。为了使受污染图像最大程度地恢复,这两个阶段必须工作在同一个迭代环节。该算法与方向加权中值滤波方法不同,本方法在脉冲检测阶段用12个方向的像素作分析,沿不同的方向设定了不同的加权矩阵,如图1所示。为了符号上的方便,本文用 $x_{i,j}^1, x_{i,j}^2, \dots, x_{i,j}^u, \dots, x_{i,j}^{12}$ 和 $y_{i,j}^1, y_{i,j}^2, \dots, y_{i,j}^u, \dots, y_{i,j}^{12}$ 两个序列作为本算法在不同迭代过程中的图像输入和输出像素值。这里 $x_{i,j}^u$ 表示在第 u 次迭代时,算法在图像坐标 (i, j) 处的输入像素。最初,受污染的图像输入像素为 x_{ij}^0 。

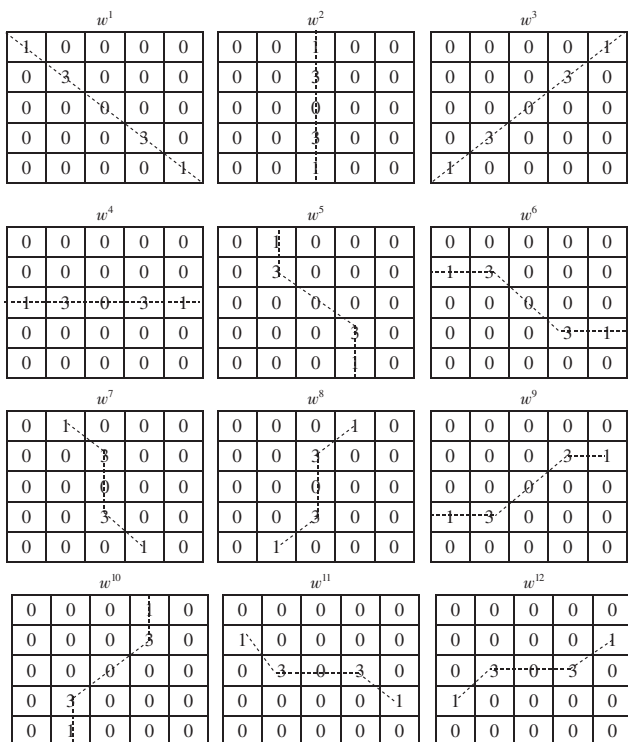


图1 12个方向的方向加权矩阵

噪声像素被从邻域受污染的像素里获得的相对更合适的像素值替换。为了在算法的脉冲检测阶段确定像素的受污染状态,需要创建一个二进制标志图像 f^0 , 使它与要被滤波的输入图像 x^0 的大小相同,即均为 $M \times N$ 。 $f_{i,j}^0$ 表示在第一次迭代时

坐标 (i, j) 处的标志值。当坐标 (i, j) 处的像素被确定为脉冲噪声时,则假定 $f_{i,j} = 0$; 当像素值不是脉冲噪声时, $f_{i,j} = 1$ 。最初的标志图像设定 f 为 0, 即假设图像的所有像素在图像所有位置均为受污染的噪声像素。下面将详细介绍滤波器的算法流程。

a) 中心像素与邻域像素的绝对差分距离对确定像素是否受污染的状态提供了丰富的信息,因此定义每个方向的均一化加权距离为 d^k 。

$$d_{i,j}^k = \frac{\sum_{t=-2}^2 \sum_{s=-2}^2 w^k(3+s, 3+t) |x(i, j) - x(i+s, j+t)|}{\sum_{t=-2}^2 \sum_{s=-2}^2 w^k(3+s, 3+t)} \quad (1)$$

其中: w^k 为图1中第 k 个方向的方向加权值, k 代表可能的方向边缘。这些距离用于确定像素是否为噪声像素。

b) 如果沿各个方向的 $d_{i,j}^k$ 值均比较大,则表明给定的像素是噪声像素。因此在这里根据式(2)构造二值图像:

$$f_{i,j}^{u+1} = \begin{cases} 0 & \text{if } \min(\{d_{i,j}^k/k = 1 \sim 12\}) > T_1 \\ 1 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (2)$$

这里, u 代表当前迭代次数, T_1 是阈值。

c) 与 $d_{i,j}^k$ 的最小值对应的方向值 k 是用于在恢复受污染像素时识别受污染像素的边缘方向,保留边缘细节。它的数学表达式可以描述为

$$r = \arg \min_k \{d_{i,j}^k/k = 1 \sim 12\} \quad (3)$$

d) 在坐标 (i, j) 处恢复后的滤波输出可以由表达式 $y_{i,j}^u = \text{median}(W_{i,j}^u)$ 表示,由此可以找出边缘方向的信息,以及标志图像像素的受污染状态。

其中加权中值为

$$W_{i,j}^u = \{w_{st} \diamond x_{i+s, j+t}^u / -1 \leq s \leq 1, -1 \leq t \leq 1\} \quad (4)$$

$\diamond$ 是重复操作符。

$$w_{st} = \begin{cases} 0 & \text{if } f_{i+s, j+t}^{u+1} = 0 \\ w_{3+s, 3+t}^r & \text{if } w_{3+s, 3+t}^r \neq 0 \text{ and } f_{i+s, j+t}^{u+1} = 1 \\ 1 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (5)$$

e) 继续下一个像素进行处理,并重复步骤 a) ~ d) 的操作。

f) 一旦图像中的所有像素经过脉冲检测和信号恢复处理后,在当前迭代过程中像素状态会从受污染变为不受污染或反之。假设改变状态的像素个数为 N_c

$$N_c = \sum_i \sum_j |f_{i,j}^{u+1} - f_{i,j}^u| \quad (6)$$

$N_c > T_2$ 表明有足够的像素在当前迭代环节改变了它们的状态,使它们从受污染到不受污染的状态或反之。这就要求图像处理在下次迭代时从步骤 a) 重新处理 x^u 。因此,用当前迭代的输出更新下次迭代的输入,即 $x^u = y^u$ 。

g) 否则如果 $N_c < T_2$,则表明没有足够的像素改变它们的状态。因此,停止当前迭代过程,以 y^u 作为输出结果。

特别注意的是滤波前对含噪图像的前后边界进行相应的镜像反射扩展,可滤除边界上的点。由于该方法的加权矩阵是 5×5 的,因此需要进行两像素的镜像反射扩展。

由于该算法考虑到12个方向的所有方向去确定受污染像素并恢复它们,使它们从受污染到不受污染的噪声像素或反之,这样误检率个数大幅减小。与其他经典滤波器相比,本文提出的滤波算法提供了充分的降噪,因为在确定用加权中值替换受污染像素时只考虑了不受污染的像素。

2 仿真实验及结果分析

本文提出的滤波算法的性能是在大小为 512×512 的灰度

范围很广的图像上进行的测试,并且与中值滤波(MF)、自适应中心加权滤波(ACWM)、方向加权中值滤波(DWMF)等滤波算法作对比。为了验证本文算法的有效性,实验选取了两组图像作仿真分析,分别为 cameraman 和 Lena。该算法实验是在 MATLAB 软件上进行的模拟仿真,以评估所提出滤波器的主观和客观性能。

为了实用性,在第一次迭代时,脉冲检测阶段的均匀性检测阈值 T_1 和校正阶段的迭代连续性阈值 T_2 分别设置为 75 和 210。随后在下一次迭代时更新 T_1 值, $T_1 = 0.8 \times T_1$ 。

2.1 性能指标

本文采用峰值信噪比(PSNR)和平均绝对误差(MAE)作为对比分析中的客观指标。PSNR 指标是用来评价图像复原算法的细节保护能力,被定义为

$$\text{PSNR} = 10 \log_{10} \left(\frac{(255)^2}{\text{MSE}} \right) (\text{dB}) \quad (7)$$

均方误差(MSE)是滤波输出图像 y 和原始不受噪声污染的图像 x 之间的期望值。

$$\text{MSE} = \frac{1}{M \times N} \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N |y(i, j) - x(i, j)|^2 \quad (8)$$

平均绝对误差(MAE)是复原图像 y 和原始无噪声图像 x 之间的估计,也是客观指标。定义为

$$\text{MAE} = \frac{1}{M \times N} \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N |y(i, j) - x(i, j)| \quad (9)$$

对于 $M \times N$ 的图像,MAE 值越小表示图像细节处理效果越好,PSNR 越大代表图像质量越好,该去噪算法的性能越好^[13]。

2.2 仿真分析

为了验证本文滤波算法的有效性,进行了大量的实验,这里只给出其中的部分实验结果。表 1 和 2 分别记录了 cameraman 和 Lena 通过 ACWM、DWMF 和本文滤波算法在不同噪声比的情况下得到的 PSNR 值。通过实验数据可以看出,在不同噪声率下,本滤波算法均得到较高的 PSNR 值,这清楚地表明了本算法滤波性能高于自适应中心加权(ACWM)和方向加权(DWMF)。在表 3 和 4 中分别记录了三种算法在不同噪声比下处理 Lena 和 cameraman 得到的 MAE 值。实验数据显示出了本文提出的滤波算法在去除脉冲和信号保护能力方面的效果。

表 1 Cameraman 的 PSNR 值

算法	噪声比			
	10%	40%	50%	70%
ACWM	22.721 9	12.123 1	10.511 4	8.228 3
DWMF	26.838 4	15.793 9	13.546 3	9.915 5
本文算法	33.616 8	28.624 4	26.365 2	16.390 3

表 2 Lena 的 PSNR 值

算法	噪声比			
	10%	40%	50%	70%
ACWM	23.109 9	12.227 4	10.517 9	8.198 7
DWMF	26.475 5	15.528 1	13.270 0	9.663 1
本文算法	37.049 6	31.600 4	28.223 5	16.242 7

图 2 和 3 分别给出了三种算法 cameraman 和 Lena 在不同噪声比下滤波输出结果。图 2(a)、图 3(a) 分别是添加了 10%、40%、50% 和 70% 后的加噪图像,纵向观察图 2(b)~(d)和图 3(b)~(d)分别是三种算法在不同噪声比下的滤波输出结果。横向观察是三种算法处理相同噪声比图像后的滤波输出结果。在对图 2 和 3 的主观分析后,清楚地表明了所提

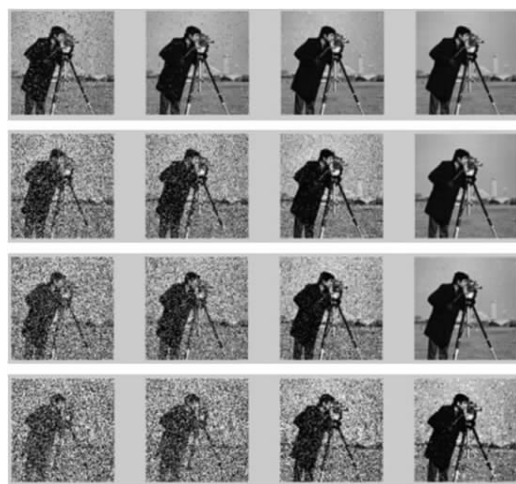
滤波器的性能有所提高,在噪声率较高时效果更明显。本文所提滤波器对处理后的图像保真度方面有一定的优越性。

表 3 Cameraman 的 MAE 值

算法	噪声比			
	10%	40%	50%	70%
ACWM	2.909 1	29.825 0	42.965 0	72.262 3
DWMF	1.926 8	16.745 4	26.220 9	55.124 2
本文算法	2.200 9	3.861 1	4.902 5	19.197 6

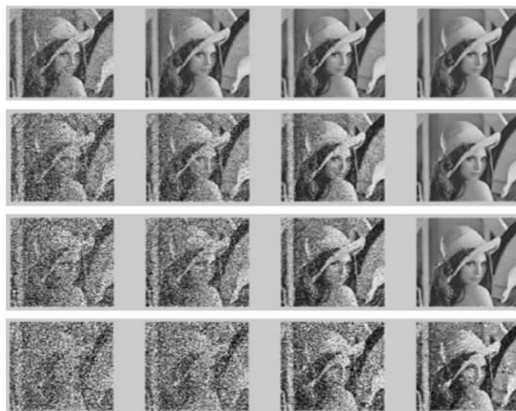
表 4 Lena 的 MAE 值

算法	噪声比			
	10%	40%	50%	70%
ACWM	2.923 8	30.441 5	44.521 3	75.274 8
DWMF	2.093 4	17.965 4	28.161 6	59.289 8
本文算法	1.562 8	3.080 4	4.201 3	20.174 3



(a) 原噪声图 (b) ACWM (c) DWMF (d) 本文算法

图 2 三种算法分别去除 cameraman 中噪声比为 10%、40%、50%、70% 的随机值脉冲噪声的输出结果



(a) 原噪声图 (b) ACWM (c) DWMF (d) 本文算法

图 3 三种算法分别去除 Lena 中噪声比为 10%、40%、50%、70% 的随机值脉冲噪声的输出结果

2.3 计算复杂性分析

尽管本文算法的检测方向很多,但实际上程序的运行时间相比 DWMF 要提高了很多,比 ACWM 要慢一些。经过数次实验得到本文算法的平均运行时间约为 165 s, DWMF 算法的平均运行时间约为 497 s, ACWM 算法的平均运行时间约为 79 s。由于每台电脑配置不一样,以上数据均是在同一台电脑上运行并且不受其他干扰得到的。在噪声检测阶段,本文算法和 DWMF 算法都是通过加权距离与阈值的比较,判断其是否为噪声。就判断一个像素是否为噪声而言,本文算法中计算每个方向的加权距离需要 21 次运算,每个方向的权值是已知给定

的。因此12个方向共需252次运算。而DWMF算法的加权距离为

$$d_{i,j}^k = \sum_{(s,t) \in s_k^0} W_{s,t} |y_{i+s,j+t} - y_{i,j}| \quad (10)$$

每个方向的五个坐标 (s,t) 是给定的,看似每个方向五个坐标点的计算量是15次,但是每个坐标的权值是未知,需要判断给定。当坐标满足 $((-1 < s < 1) \vee (s = -1) \vee (s = 1)) \& ((-1 < t < 1) \vee (t = -1) \vee (t = 1))$ 时权值为2,其他情况为1。因此每个坐标最多需要判断13次,即每个方向需要判断65次,4个方向共需要320次运算。求最小方向加权距离至少需要比较 $n-1$ 次,则本文算法需要11次,DWMF为3次。由此判断出该像素是否为噪声。

在噪声滤除阶段均是由加权中值滤除。由第一部分算法描述可知,本文算法的加权重复操作数的确定最多需要4次判断。加权矩阵的窗口为 3×3 共9个点即总共需要36次判断得到加权矩阵,最后由中值滤波得滤波结果。而DWMF算法加权矩阵的确定,首先需要确定4个方向加权距离的最小标准偏差,最小标准偏差对应方向的坐标点的加权重复操作数为2,其他方向为1。另外加权矩阵的窗口也为 3×3 ,共9个点。计算1个标准偏差就需要22次运算,4个方向的标准偏差共需88次。再经过3次比较得到最小标准偏差,也就知道其对应的方向。经过横纵坐标的匹配后得到一个坐标的重复操作数,共需3次判断,因此9个点也需27次判断。即共需121次运算得到加权矩阵,此部分约是本文算法计算量的3倍。

综上,就一次迭代而言,从判断一个像素是否为噪声到滤除,本文算法的计算量明显少于DWMF。ACWM算法相对简单,计算量要少些,在这里就不作详细对比分析了。

3 结束语

为恢复图像,本文提出了一种新的基于12个方向的方向加权去除随机值脉冲噪声的滤波方法,本滤波方法同时解决了DWMF的局限性并相对减少了一些计算量,程序运行效率明显提高了很多。受污染图像的信号内容是从图像的噪声像素分离并保存的。很明显,图像从高度受污染的图像中分离出来,提高了滤波器的效率在去除脉冲噪声和信号保护方面。本

文提出的滤波方法产生的好的客观指标与其他滤波方法相比有一定的提高。

参考文献:

- [1] 阮秋琦. 数字图像处理[M]. 北京:北京电子工业出版社,2008.
- [2] 刘振宇. 图像中随机值脉冲噪声算法去除研究[D]. 兰州:兰州大学,2012.
- [3] CONZALEZR C, WOODS R E. 数字图像处理[M]. 北京:电子工业出版社,2010.
- [4] ABREU E, LIGHTSTONE M, MITRA S K, *et al.* A new efficient approach for the removal of impulse noise from highly corrupted images[J]. *IEEE Trans on Image Processing*, 1996, 5(6): 1012-1025.
- [5] CHEN Tao, WU Hong-ren. Adaptive impulse detection using center weighted median filters[J]. *IEEE Signal Processing Letters*, 2001, 8(1): 1-3.
- [6] CRNOJEVIĆ V, SENK V, TRPOVSKI Z. Advanced impulse detection based on pixel-wise MAD[J]. *IEEE Signal Process Letters*, 2004, 11(7): 589-592.
- [7] CHEN Tao, MA Kai-huang, CHEN Li-hui. Tri-state median filter for image denoising[J]. *IEEE Trans on Image Processing*, 1999, 8(12): 1834-1838.
- [8] CHEN Tao, WU Hong-ren. Space variant median filters for the restoration of impulse noise corrupted images[J]. *IEEE Trans on Circuits and Systems*, 2001, 11(8): 784-789.
- [9] SCHULTE S, NACHTEGAEL M, De WITTE V, *et al.* A fuzzy impulse noise detection and reduction method[J]. *IEEE Trans on Image Processing*, 2006, 15(5): 1153-1162.
- [10] CIVICIOGLU P. Removal of random-valued impulsive noise from corrupted images[J]. *IEEE Trans on Consumer Electronics*, 2009, 55(4): 2097-2114.
- [11] AKKOUL S, LEDEE R, LECONGE R, *et al.* A new adaptive switching median filter[J]. *IEEE Signal Process Letters*, 2010, 17(7): 587-590.
- [12] DONG Yi-qiu, XU Shu-fang. A new directional weighted median filter for removal of random-valued impulse noise[J]. *IEEE Signal Process Letters*, 2007, 14(3): 193-196.
- [13] 张必武, 冯穗力. 对含脉冲噪声的图像去噪算法的研究[J]. *电视技术*, 2011, 35(19): 17-19.

(上接第1583页)相对最优解。最终,运用动态算法实现对电导率的图像重建,重建算法的速度、收敛性都得到了解决,具有一定的研究意义。

参考文献:

- [1] 李海清, 黄志尧. 特种检测技术及应用[M]. 杭州:浙江大学出版社, 2000.
- [2] STANLEY S J, BOLTON G T. A review of recent electrical resistance tomography applications for wet particulate processing[J]. *Particle and Particle Systems Characterization*, 2008, 25(3): 207-215.
- [3] ZHANG Xiu-gang, WANG Dong. Recent development in process tomography for multiphase flow[J]. *Journal of Engineering for Thermal Energy and Power*, 2004, 19(3): 221-226.
- [4] WANG Qi, WANG Hua-xiang, CUI Zi-qiang, *et al.* Fast reconstruction of electrical resistance tomography (ERT) images based on the projected CG method[J]. *Flow Measurement and Instrumentation*, 2012, 27(10): 37-46.

- [5] 乔志伟, 韩焱, 魏学业. 用快速哈达玛变换加速滤波反投影算法的滤波过程[J]. *电子与信息学报*, 2010, 32(9): 2133-2140.
- [6] 柯丽, 林筱, 杜强, 等. 基于反投影的MIT动态图像重建方法研究[J]. *仪器仪表学报*, 2013, 34(2): 394-400.
- [7] 陈宇, 高宝庆, 张立新, 等. 基于加权奇异值分解截断共轭梯度的电容层析图像重建[J]. *光学精密工程*, 2010, 18(3): 701-706.
- [8] 肖理庆, 王化祥, 徐晓菊. 改进牛顿—拉夫逊电阻层析成像图像重建算法[J]. *中国电机工程学报*, 2012, 32(8): 91-97.
- [9] 肖理庆, 王化祥, 徐晓菊. 改进Landweber电阻层析成像图像重建算法[J]. *计算机应用研究*, 2012, 29(8): 3157-3159.
- [10] 范文茹, 王化祥, 郝魁红. 基于两步迭代TV正则化的电阻抗图像重建算法[J]. *仪器仪表学报*, 2012, 33(3): 625-630.
- [11] ADLER A, DAI Tao, LIONHEART W R B. Temporal image reconstruction in electrical impedance tomography[J]. *Physiological Measurement*, 2007, 28(7): S1-S11.
- [12] 邓娟, 陈素华, 沙洪, 等. 信噪比对不同EIT图像重建算法的影响研究及评价[J]. *中国生物医学工程学报*, 2012, 31(6): 807-815.