

文章编号:1004-4213(2010)11-2107-5

## 辐射图像脉冲去噪方法\*

马继明<sup>1,2</sup>, 宋顾周<sup>2</sup>, 王群书<sup>2</sup>, 张建奇<sup>1</sup>

(1 西安电子科技大学 技术物理学院, 西安 710071)

(2 西北核技术研究所, 西安 710024)

**摘 要:**为去除辐射图像中的脉冲噪音,建立了一种先进行脉冲噪音检测再进行噪音数据修复的联合去噪音方法.首先采用测地膨胀方法从减灰度图像出发对原图像进行形态学灰度重构,再采用灰度阈值法从原图像与重构图像的差值图像中分割检测出脉冲噪音,然后采用改进非本地均值方法对噪音数据进行修复.改进非本地均值方法对相似像素的选择范围进行了限制,从原理上避免了传统非本地均值方法用于去除辐射图像脉冲噪音时易发生的以错纠错问题,本文对其进行了数学表述.实验证明,该方法对不同类型辐射图像的脉冲噪音均具有较好滤除效果,表现出良好的噪音数据修复和图像细节保护能力.

**关键词:**脉冲噪音;非本地均值方法;辐射成像

**中图分类号:**TL99

**文献标识码:**A

**doi:**10.3788/gzxb20103911.2107

### 0 引言

辐射成像技术在集装箱检测、工业探伤、医学诊断、生物研究、ICF 高能物理诊断等领域具有重要应用.近年来,数字化辐射成像系统由于其操控性好、量子效率高、曝光时间可控和实时性等诸多优点<sup>[1-4]</sup>,已逐渐成为常用辐射成像系统的主流.数字化辐射成像系统主要由计算机控制的 CCD 相机实现辐射图像的快速采集和记录.但 CCD 相机的图像传感器不仅对可见光图像信号敏感,对环境中的散射 X、 $\gamma$  射线同样敏感,常导致辐射图像中显著的脉冲噪音<sup>[5-6]</sup>.脉冲噪音严重降低了图像数据可靠性.同时,由于辐射成像系统中必须保留光通道,无法通过屏蔽完全避免射线抵达 CCD 相机,脉冲噪音的产生不可避免.因此,采用图像处理方法消除脉冲噪音,是提高辐射图像数据质量的必要手段.

目前,中值滤波仍是最广泛应用的脉冲噪音去除方法,同时还有基于小波分析的去噪音方法等.中值滤波方法会造成图像模糊.小波方法需假定噪音主要集中在某些频带上,进而对相关频带信息选择性滤除<sup>[7-8]</sup>.辐射图像中的脉冲噪音尺寸与射线能量、CCD 相机像元尺寸和阵列大小等因素有关,从一到几十个像素不等,部分噪音与图像信息在频域上重叠存在,小波方法不可避免会对具有同样空间频率的图像信息造成损伤.针对上述问题,文献[9-

12]提出了先进行脉冲噪音检测,再定点滤除的改进中值滤波方法.该方法确保图像中无脉冲噪音位置不受影响,但对于脉冲噪音位置,尤其是当脉冲噪音位于图像中较细线状结构上时,仍难有效恢复该点数据.2004 年,BUADES 等人提出非本地均值(Non-Local Means, NL-means)去噪音方法<sup>[13]</sup>,该方法具有良好的数据预测和图像修复能力,但不能直接用于脉冲噪音滤除.本文对 NL-means 方法进行了改进,结合形态学灰度重构方法检测脉冲噪音,建立了一种新的辐射图像脉冲噪音去除方法,对不同信息内容辐射图像具有良好的去噪和数据修复效果.

### 1 脉冲噪音检测

#### 1.1 基本原理

脉冲噪音检测的基本要求是,检出噪音要完整、无遗漏,且不能将图像信息判做噪音.在辐射图像中,脉冲噪音灰度值通常明显大于图像局部平均灰度,呈明显的“穹顶”形态特征.为此,使用形态学灰度重构方法进行检测,基本原理如图 1.图中  $I$  代表原始图像, $\rho_l(J)$  代表重构图像, $I$  中的“穹顶”结构在  $\rho_l(J)$  中被明显削平,根据重构前后图像的差值,理论上可获得图像中全部“穹顶”的结构和位置.在差值图像中,不仅包括脉冲噪音,还包含由统计噪音等因素形成的灰度波动,但通常幅度远小于脉冲噪音,可选取合适幅度阈值识别出脉冲噪音.

\* 国家自然科学基金(10775112)资助

Tel:029-84767241

Email:majiming@163.com

收稿日期:2010-03-05

修回日期:2010-05-05

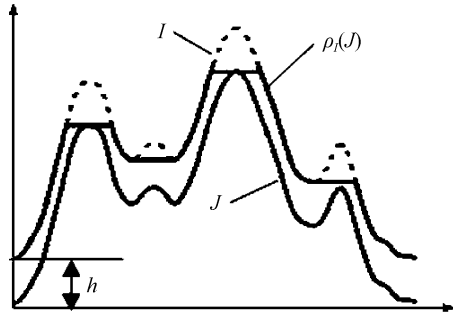


图1 形态学灰度重构原理  
Fig.1 Morphological grayscale reconstruction

对于如何获得重构图像,本文采用测地膨胀方法实现. Luc Vincent 提出:用灰度图像  $J (J \leq I)$  对灰度图像  $I$  进行形态重构,可以通过在图像灰度不超出  $I$  的前提下,对  $J$  反复进行基本测地膨胀直至稳定来实现<sup>[14-16]</sup>.

灰度图像  $J (J \leq I)$  的基本测地膨胀  $\delta_i^{(1)}(J)$  可定义为

$$\delta_i^{(1)}(J) = (J \oplus B) \wedge I \quad (1)$$

式中,  $J \oplus B$  表示用结构因子  $B$  对  $J$  进行图像膨胀运算,  $\wedge$  表示将膨胀结果  $J \oplus B$  与  $I$  进行逐点比较取最小值. 则  $J$  的  $n (n \geq 0)$  次基本测地膨胀可表示为

$$\delta_i^{(n)}(J) = \underbrace{\delta_i^{(1)} \delta_i^{(1)} \cdots \delta_i^{(1)}}_{n \text{次}}(J) \quad (2)$$

假设  $J$  经过  $n (n \geq 0)$  次基本测地膨胀后达到稳定,则  $\rho_r(J) = \bigvee_{n \geq 1} \delta_i^{(n)}(J)$  即为灰度图像  $I$  的重构结果.  $\bigvee$  代表对  $\delta_i^{(1)}(J), \delta_i^{(2)}(J), \dots, \delta_i^{(n)}(J)$  逐点比较取最大值.

采用形态学方法检测脉冲噪声,不涉及任何尺寸和形状标准,很少受图像背景趋势和图像结构影响,能满足复杂分割情况.

## 1.2 实现步骤

脉冲噪声检测方法实现步骤为:

1) 原始辐射图像  $I$  中所有像素减去一个数值  $h$ , 得到标记图像, 记为  $J$ . 通常选取  $h = k \cdot H_{\max}$ , 其中  $H_{\max}$  为辐射图像中脉冲噪声与相邻区域的灰度差的最大值,  $k$  为常量系数, 一般情况下取 1;

2) 用  $J$  重构  $I$ , 重构图像记为  $\rho_r(J)$ ;

3) 用  $I$  减去  $\rho_r(J)$ , 获得差值图像  $D$ ;

4) 选取阈值  $T$  对  $D$  进行二值化分割,  $D$  中灰度值大于  $T$  的区域即为检出噪声.  $T$  取值通常在  $D$  中最亮区域平均灰度值的 5%~10% 之间, 可根据具体图像灰度分布调整.

需要说明, 对于辐射图像, 同一图像中脉冲噪声幅度个体差异通常较大, 一次检测很难检出所有脉冲噪声, 可采用上述方法反复检测, 通常 3 次左右即

可得到理想效果.

## 2 噪音数据修复

### 2.1 基本原理

对于检测出的脉冲噪声, 采用 NL-means 方法对其进行定点去除. NL-means 方法的特点是利用图像中所有可能的自我预测性质, 且数学上已证明当前点的去噪结果收敛于其邻域像素对其的条件期望值<sup>[13,17]</sup>, 具有较强的噪音数据修复能力. 但传统 NL-means 方法不能直接用于图像脉冲噪声的去除, 这从其数学表述就可看出.

传统 NL-means 方法的数学表述为

$$NL(u)(x) = \frac{1}{C(x)} \int_{\Omega} e^{-\frac{(G_a * |u(x+\cdot) - u(y+\cdot)|^2)(0)}{h^2}} u(y) dy \quad (3)$$

式中  $x \in \Omega$ ,  $\Omega$  为图像,

$$C(x) = \int_{\Omega} e^{-\frac{(G_a * |u(x+\cdot) - u(y+\cdot)|^2)(0)}{h^2}} dy \quad (4)$$

$C(x)$  为归一化常量,  $G_a$  为高斯核,  $h$  为滤波参量.

该数学表述的含义为, 像素点  $x$  去噪后的灰度值为所有与  $x$  有相似高斯邻域的点的灰度平均值. 同时, 除由  $G_a$  确定的权重因子外, 邻域相似度是决定图像内各像素对当前像素灰度贡献程度的主要因素<sup>[17]</sup>. 对于传统 NL-means 方法, 像素点  $x$  的相似点选择范围在整幅图像内是无歧视的. 即, 若某噪声点与像素点  $x$  具有相似邻域结构, 该噪声点必然对像素点  $x$  去噪后的灰度值做出较大贡献. 而对于脉冲噪声污染图像, 各脉冲噪声区域之间通常具有较强相似性, 采用传统 NL-means 方法进行处理, 必然会导致脉冲噪声之间的相互预测和增强, 因而难以取得较好去噪结果. 因此, 必须要对传统 NL-means 方法进行改进.

改进后 NL-means 方法的数学表述为

$$NL(u)(x) = \frac{1}{C(x)} \int_{\Omega(y \in \Omega')} e^{-\frac{(G_a * |u(x+\cdot) - u(y+\cdot)|^2)(0)}{h^2}} u(y) dy \quad (5)$$

式中  $x \in \Omega'$ ,  $\Omega'$  为辐射图像中脉冲噪声对应像素的集合, 在本文方法中对应前述形态学方法检测出来的脉冲噪声图像.

与传统方法相比, 改进的 NL-means 方法做了两点调整: 一是在数学表述上将  $x \in \Omega$  调整为  $x \in \Omega'$ , 其含义是将滤波对象限制在图像脉冲噪声范围内, 避免对非脉冲噪声损伤数据的调整; 二是将数学表述中  $y$  的积分区间  $\Omega$  调整为  $\Omega(y \in \Omega')$ , 其含义是将图像中所有脉冲噪声点排除在当前待修复像素

点  $x$  的相似点选择范围之外,从而避免原方法中脉冲噪声相互增强的以错纠错问题,且并不影响当前像素点收敛于邻域像素对其的条件期望.

## 2.2 实现步骤

采用改进的 NL-means 方法修复脉冲噪声数据,可按如下步骤具体实现:

1)假定当前待修复噪声为  $N_i$ ,围绕  $N_i$  选择窗口  $W$ ,在图像约定范围  $\Omega$  内移动  $W$ ,并依次计算  $W$  与所在位置图像  $L_{i,j}$  的相似度.若  $L_{i,j}$  区域中与  $W$  中噪声  $N_i$  对应位置的数据也存在噪声,则令  $W$  与  $L_{i,j}$  区域的相似度为 0;否则按如下方法计算:首先计算  $W$  与  $L_{i,j}$  中同时非脉冲噪声位置数据的差值均方和为  $d \bar{T}_{i,j}^2$ ,然后考虑  $W$  与  $L_{i,j}$  在图像中的距离  $h_{i,j}$ ,给出  $W$  与  $L_{i,j}$  区域的相似度为

$$O_{i,j} = \exp(-d \bar{T}_{i,j}^2 / h_{i,j}) \quad (j=1,2,3,\dots,m) \quad (6)$$

式中,  $m$  为  $\Omega$  内与  $W$  等大的图像区域个数.

2)对  $O_{i,1}, O_{i,2}, \dots, O_{i,m}$  进行归一化处理,得到  $O_{i,1}^1, O_{i,2}^1, \dots, O_{i,m}^1$ ,即  $\sum_{j=1}^m O_{i,j}^1 = 1$ ;

3)以  $O_{i,1}^1, O_{i,2}^1, \dots, O_{i,m}^1$  为权重,计算  $N_i$  位置图像数据的修复值为

$$I_i = \sum_{j=1}^m O_{i,j}^1 \cdot I_{i,j} \quad (7)$$

式中,  $I_{i,j}$  为  $L_{i,j}$  区域中与噪声  $N_i$  对应位置的图像数据值;

4)针对全部  $N$  个脉冲噪声区域依次重复上述处理过程.

## 3 实验与分析

在实际工作中,采用本文方法分别对 EMCCD 相机拍摄的钴-60 $\gamma$  射线源辐照下的平板闪烁体图像、CCD 相机拍摄的西北核技术研究所“晨光号”加速器 X 射线源辐照钨合金分辨率卡图像和 CCD 相机拍摄的西北核技术研究所“强光号”上丝阵负载 Z-pinch 实验软 X 射线图像等具有不同特征的辐射图像进行处理.图 2 为原始图像,检测出的脉冲噪声如图 3,噪声数据修复后效果如图 4.处理中,还可采用传统 NL-means 方法对图像中的高斯噪声加以滤除.去噪前后的差值图像如图 5.为比较本文方法有效性,同时采用  $5 \times 5$  中值滤波对图 2 中的分辨率卡图像进行去噪处理,并与本文方法比较同一位置像素在去噪前后灰度变化,如图 6.

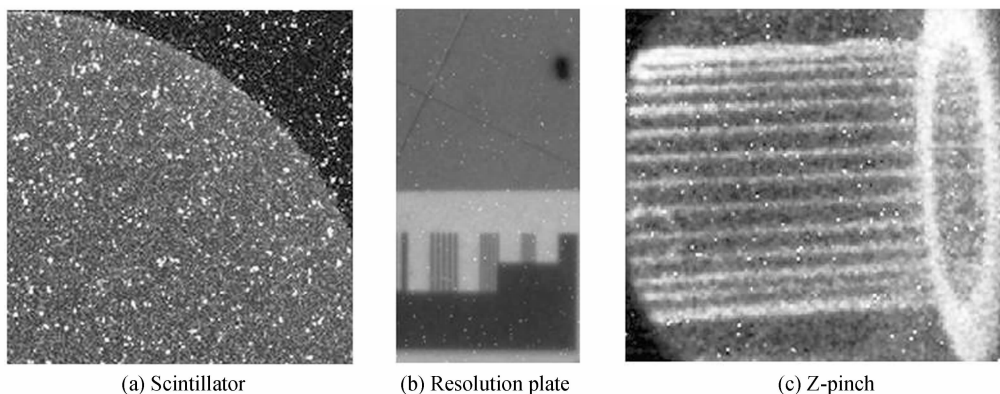


图 2 受脉冲噪声污染的辐射图像  
Fig. 2 Radiographs with impulse noises

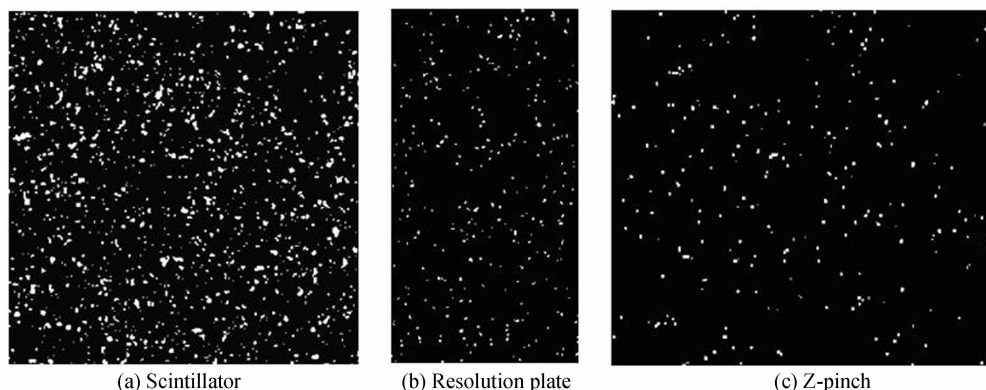


图 3 脉冲噪声检测结果  
Fig. 3 Impulse noises segmented from radiographs

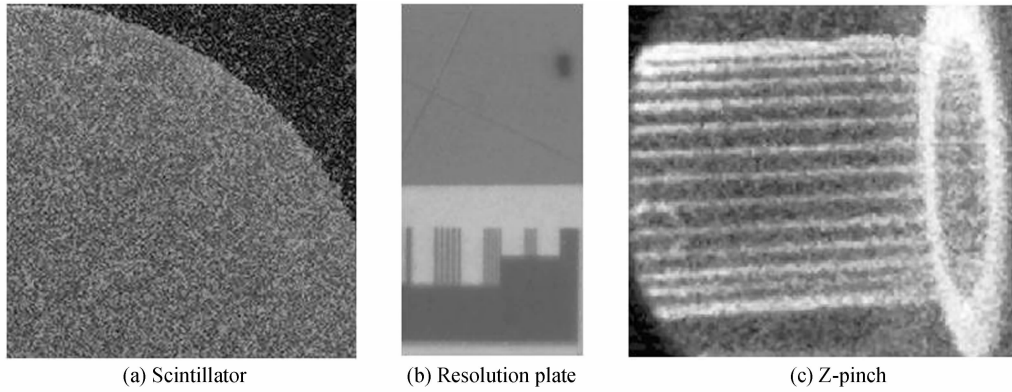


图 4 去除脉冲噪音后的辐射图像

Fig. 4 Denoised radiographs

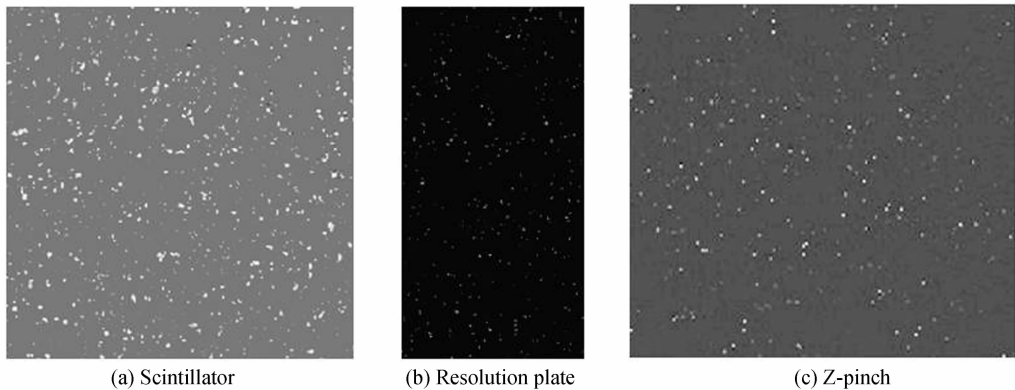


图 5 原始图像与去噪音图像的差值图像

Fig. 5 Differences between the original radiographs and the denoised

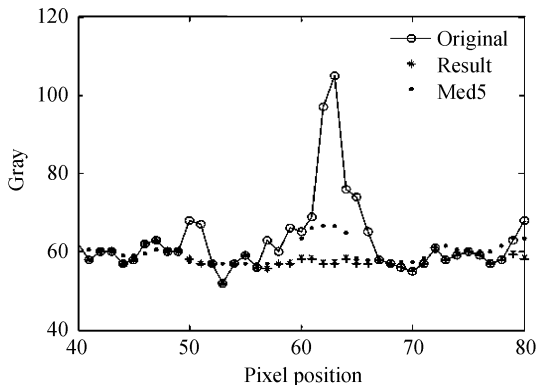


图 6 去噪前后图像灰度曲线

Fig. 6 Plot of profiles from the original and the denoised radiographs

借鉴 BUADES 等人提出的方法噪音 (Method noise) 标准<sup>[13]</sup>, 可以通过如下方法评判去噪方法的优劣: 一是噪音点数据是否得到有效修复; 二是将原始图像与去噪音图像相减, 通过检查差值图像中含有图像结构信息的程度, 检验去噪音方法对图像信息的损伤情况. 从图 2~5 可以看出, 采用本文方法进行去噪处理, 原始图像中不同大小、不同灰度的脉冲噪音均得到较好滤除, 包括具有较细线状结构的分辨率卡辐射图像和灰度起伏较大的丝阵负载 Z-Pinch 辐射图像中的脉冲噪音干扰数据都得到了较好修复, 且在去噪前后图像的差值图像中未发现明

显的图像信息损伤, 表明本文方法具有良好的应用效果.

## 4 结论

脉冲噪音在辐射图像, 尤其在数字化辐射成像系统获取的图像中普遍存在. 先检测再滤除是目前较为有效的图像脉冲噪音去除思路, 但现有方法主要采用中值滤波对检出噪音进行修复. 由于中值滤波本质上是一种平滑方法, 对图像中精细结构位置的噪音数据修复能力有限, 比如图像中较细线结构位置的噪音损伤. NL-means 方法较强的数据预测和图像修复能力, 但传统方法不适用于图像脉冲噪音滤除, 本文对其进行改进, 代替中值滤波对辐射图像中的脉冲噪音数据进行修复, 拓展了该方法的应用范围. 与形态学灰度重构方法检测脉冲噪音相结合, 建立了一种新的辐射图像脉冲噪音去除方法, 实验证实了该方法在去噪的同时具有良好的图像保护特性. 该方法也可用于其它光学图像中脉冲噪音的去除.

### 参考文献

- [1] ZHENG Yu-quan, WANG Hui. A compact digital X-ray imaging system[J]. *Optics and Precision Engineering*, 2008, 16(4): 591-596.  
郑玉权, 王慧. 微型 X 射线成像系统[J]. *光学精密工程*, 2008, 16(4): 591-596.

- [2] XU Hai-bo. Analysis and simulation of blurring effect for CCD image system in high-energy radiography[J]. *High Power Laser and Particle Beams*, 2006, **18**(10): 1717-1720.  
许海波. 高能 X 光照相 CCD 成像系统的模糊效应[J]. *强激光与粒子束*, 2006, **18**(10): 1717-1720.
- [3] ZHAO Jin, ZHU Yu, LIANG Cheng, *et al.* The uneven surface issue and its calibration method in the digital image[J]. *Acta Photonica Sinica*, 2002, **31**(10): 1244-1247.  
赵瑾, 朱煜, 梁诚, 等. 数字 X 射线图象的面不同一性校正研究[J]. *光子学报*, 2002, **31**(10): 1244-1247.
- [4] TIAN Hui, LI Bao-ming. A flash X-ray diagnosis system for ballistics study[J]. *Test Technology and Testing Machine*, 2008, **48**(2): 62-66.  
田慧, 栗保明. 用于弹道研究的脉冲 X 射线诊断系统[J]. *试验技术与试验机*, 2008, **48**(2): 62-66.
- [5] CHEN Shu-yue, LU Hong-nian, YANG Qiao-ning. Study of CCD noise from X-ray radiation and its filtering method[J]. *Optical Technique*, 2009, **26**(5): 459-461.  
陈树越, 路宏年, 杨巧宁. X 射线对 CCD 噪声影响的分析及滤波方法研究[J]. *光学技术*, 2009, **26**(5): 459-461.
- [6] ZHANG Pi-zhuang. Influences of X-ray to area CCD image sensors in digital radiography [J]. *Journal of Test and Measurement Technology*, 2001, **15**(3): 196-199.  
张丕壮. 数字射线成像中射线对面阵 CCD 图像传感器影响的研究[J]. *华北工学院测试技术学报*, 2001, **15**(3): 196-199.
- [7] SUN Wei-feng, HE Jun-hua. A new image de-noising method based on multiwavelet transform[J]. *Acta Photonica Sinica*, 2008, **37**(11): 2360-2364.  
孙伟峰, 何俊华. 基于多小波变换的图像去噪新方法[J]. *光子学报*, 2008, **37**(11): 2360-2364.
- [8] DONG Han-lei, XU Li-ping, GAO Ying-min, *et al.* Image-denoising based boir wavelet transformation and median filter [J]. *Communications Technology*, 2009, **42**(11): 171-175.  
董汉磊, 徐力平, 高颖敏, 等. 基于 Bior 小波变换和中值滤波的图像去噪[J]. *通信技术*, 2009, **42**(11): 171-175.
- [9] LIU Zhu-hua, ZOU Dao-Wen, DENG Cheng-zhi, *et al.* An improved median filter algorithm applying to the removal of impulse noise [J]. *Journal of Jiangxi Normal University (Natural Science)*, 2004, **28**(5): 383-386.  
刘祝华, 邹道文, 邓承志, 等. 改进的中值滤波算法应用于脉冲噪声的滤除[J]. *江西师范大学学报(自然科学版)*, 2004, **28**(5): 383-386.
- [10] LIU Qing, XU Lu-ping, MA Yi-de, *et al.* Two-stage impulse noise filtering algorithm based on PCNN noise detection[J]. *Journal of Optoelectronics • Laser*, 2009, **20**(11): 1467-1470.  
刘勤, 许录平, 马义德, 等. 基于 PCNN 噪声检测的量级脉冲噪声滤波算法[J]. *光子学报*, 2009, **20**(11): 1467-1470.
- [11] LI Hong-yun, SCHILLINGER B, CALZADA E, *et al.* An adaptive algorithm for gamma spots removal in CCD-based neutron radiography and tomography [J]. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment*, 2006, **564**(1): 405-413.
- [12] ZHENG Yi, LIU Shang-qian. Hybrid denoising of a target image with complex-valued wavelet and local gradient[J]. *Acta Photonica Sinica*, 2008, **37**(8): 1698-1702.  
郑毅, 刘上乾. 基于复小波和局部梯度的靶标图像混合降噪[J]. *光子学报*, 2008, **37**(8): 1698-1702.
- [13] BUADES A, COLL B, MOREL J M. A review of image denoising algorithms, with a new one[J]. *Multiscale Model Simul*, 2005, **4**(2): 490-530.
- [14] VINCENT L. Morphological grayscale reconstruction in image analysis: applications and efficient algorithms [J]. *IEEE Trans on Image Process*, 1993, **22**(2): 176-201.
- [15] VINCENT L. Morphological grayscale reconstruction: definition, efficient algorithm and applications in image analysis[C]. *Proc Computer Vision and Pattern Recognition, Champaign, IL*, 1992: 633-635.
- [16] LU Guan-ming, BI Hou-jie. Morphological reconstruction: algorithms and applications[J]. *Signal Processing*, 2000, **16**(2): 137-144.  
卢官明, 毕厚杰. 形态重构算法及应用[J]. *信号处理*, 2000, **16**(2): 137-144.
- [17] XIAO Chun-Xia, LI Hui, MIAO Yong-wei, *et al.* A non-local signal processing approach for filtering point set surface [J]. *Journal of Software*, 2006, **17**(Sup): 110-119.  
肖春霞, 李辉, 缪永伟, 等. 基于非局部几何信号的点模型去噪算法[J]. *软件学报*, 2006, **17**(Sup): 110-119.

## An Impulse Noise Removing Method in Radiography

MA Ji-ming<sup>1,2</sup>, SONG Gu-zhou<sup>2</sup>, WANG Qun-shu<sup>2</sup>, ZHANG Jian-qi<sup>1</sup>

(1 School of Technical Physics, Xidian University, Xi'an 710071, China)

(2 Northwest Institute of Nuclear Technology, Xi'an 710024, China)

**Abstract:** By analyzing of the causes and features of impulse noises in radiography, a joint denoising method based on impulse noise segmentation and data repair is presented. The radiograph is reconstructed from its gray-reduced image by geodesic dilation method, and impulse noises are segmented from the differential image between the reconstructed image and the radiograph by the global thresholding technique. The impulse noises in the radiograph are removed by an improved NL-means filter method. To avoid an intrinsic problem that fixes noise by noise in the classical NL-means method, the improved NL-means method limits the searching area of the similar pixels. An equation is used to describe the improved NL-means filter. The experimental results show that impulse noises in different radiographs can be removed effectively by the joint method, and the trivial information of the radiographs remains with high fidelity.

**Key words:** Impulse noise; Non-Local(NL)-means method; Radiography



**MA Ji-ming** was born in 1979. He is an assistant researcher at Northwest Institute of Nuclear Technology and is working toward the Ph. D. degree in optical engineering at Xidian University. His mainly research interests focus on high speed photography, radiography and image processing.