

基于小波变换的辐射图像降噪研究

袁亚玎, 吴志芳, 刘锡明, 苗积臣

(清华大学核能技术设计研究院, 北京 100084)

摘要:抑制噪声对于改善⁶⁰Co 集装箱检测系统(TC-SCAN)图像质量有着十分重要的意义。本工作在分析辐射图像噪声特点的基础上,运用小波分析的方法,对扫描图像进行了降噪处理,既有效地去除了统计噪声,又较好地保持了图像的细节,取得了优于传统滤波方法的效果。

关键词:⁶⁰Co 集装箱检测系统;小波分析;降噪

中图分类号:TL8;TN911.2

文献标识码:A

文章编号:1000-6931(2003)02-0162-04

De-noising Study Based on Wavelet Transform in Radiant Images

YUAN Ya-ding, WU Zhi-fang, LIU Xi-ming, MIAO Ji-chen

(Institute of Nuclear Energy Technology, Tsinghua University, Beijing 100084, China)

Abstract: It is important to restrain noise for improving the image quality of ⁶⁰Co container inspection system(TC-SCAN). After analyzing the characteristics of noise, the method of wavelet analysis is applied to remove noise from radiant images. Not only the statistical noise is wiped off, but also the details of the images are preserved commendably. The experiment results show that the de-noising method is better than traditional ones.

Key words: ⁶⁰Co container inspection system; wavelet analysis; de-noise

受探测器统计涨落和电路噪声等因素的影响,⁶⁰Co 集装箱检测系统^[1,2](TC-SCAN)得到的辐射图像存在着较大的噪声,严重地影响了图像质量,需要进行降噪处理。从傅立叶分析的角度看,噪声和信号在频域上的分布是不同的:噪声主要分布在高频区域;信号主要分布在低频区域,但图像的特征却分布在高频区域,有可能与噪声的频域重叠。采用低通滤波方法将图像的高频部分全部滤掉,虽能达到降噪的目的,

但同时滤掉了图像的细节信息。本工作采用在时频域都具有局部化特征的小波分析方法对辐射图像进行降噪,以期在降低噪声的同时较好地保持图像细节。

1 小波变换

1.1 图像的小波变换

设 $f(x_1, x_2)$ 表示二维图像, (x_1, x_2) 为二维基本小波,则二维连续小波变换可定义为:

收稿日期:2002-01-07;修回日期:2002-06-02

基金项目:国家“九五”攻关项目(96-B12-01-01)

作者简介:袁亚玎(1977—),男,四川泸州人,在读博士研究生,核技术及应用专业

$WT_f(A, \bar{b}) = \frac{1}{a} \int_{R^2} f(\bar{x}) \left(r^{-1} \frac{\bar{x} - \bar{b}}{a} \right) d\bar{x}$ 。其中: $r = \begin{bmatrix} \cos & \sin \\ -\sin & \cos \end{bmatrix}$; $A = ar$; $\bar{x} = [x_1, x_2]^T$; $\bar{b} = [b_1, b_2]^T$; a 为伸缩尺度; R^2 为二维图像的定义域^[3]。

在离散情况下,通常采用 Mallat 塔式算法^[4]进行小波的分解和重构。

1.2 降噪原理

由小波变换的特性知,高斯噪声的小波变换仍是高斯分布。因此,噪声的能量分布在所有的小波系数上,而信号由于是有限带宽的,其能量只分布在一部分小波系数上。由于信号能量远大于噪声能量,在小波域上表现为含有信号的小波系数具有较大的幅值(数目较少),而仅含噪声的小波系数的幅值较小(数目较多),这便提供了一种通过小波系数的幅值来甄别信号和噪声的方法:预先设置一个阈值,小于该阈值的小波系数认为是仅由噪声产生,予以去掉;大于该阈值的则认为包含了噪声和信号,予以保留或进行后续处理。由于保留了大部分信号的小波系数,因而可较好地保持图像的细节特征。

本工作采用 Donoho 给出的阈值选择方法选取阈值,并对小波系数采用软阈值处理^[5]。

2 辐射图像的噪声分析

辐射图像噪声主要包括探测器的统计涨落(统计噪声)和电路噪声。由于统计噪声占主要地位,在以下分析中,均认为电路噪声为零,图像噪声就是统计噪声。

由核衰变和电离探测理论可知,探测器输出信号是一个三级串级型随机变量,近似服从高斯分布^[6],放大电路与 A/D 转换电路可认为是线性系统。由随机过程的理论可知,高斯过程通过线性系统仍是高斯过程,所以,辐射图像的数据也服从高斯分布。但因每个探测器的统计涨落不同,因此,整个辐射图像的噪声并非白噪声,经小波变换后的噪声分布是不均匀的,无法用统一的阈值来滤除,需要进行白化处理。

设 $S(i)$ 代表第 i 路探测器的输出,服从泊松分布。当计数较大时,可认为服从高斯分布:

$$S(i) \sim N\left(E(S(i)), \sqrt{E(S(i))}\right) \quad (1)$$

实际上, $E(S(i))$ 无法知道,用 $S(i)$ 来代替后,式(1)变为:

$$S(i) \sim N\left(S(i), \sqrt{S(i)}\right) \quad (2)$$

在式(1)中,如果用 $\sqrt{E(S(i))}$ 除以 $S(i)$,则得下式:

$$S(i) \sim N\left(\sqrt{E(S(i))}, 1\right) \quad (3)$$

在式(3)中,用 $\sqrt{S(i)}$ 除以 $S(i)$,实际上是对 $S(i)$ 开根,当 $E(S(i)) \gg \sqrt{E(S(i))}$ 时,则有:

$$S(i) \sim N\left(\sqrt{S(i)}, 0.5\right) \quad (4)$$

式(4)表明:处理后的图像可看成是理想图像灰度值的开根结果叠加上均值为零、标准差为 0.5 的高斯白噪声。

综上所述,用小波分析方法来滤除辐射图像噪声的步骤可归纳为:1) 对图像 $S(i)$ 的灰度值进行开根运算,得到新的图像 $S_0(i)$,并用 $S_0(i)$ 除 $S(i)$,得到 $S(i)$;2) 对 $S(i)$ 进行小波分解,得到各尺度下的小波系数;3) 考虑到白噪声具有负奇异性,其幅度和密度随尺度增加而减少,在大尺度上可认为小波系数主要由信号分解而得,因此,对 Donoho 阈值公式作一定改进,尺度 j 的阈值 $T_j = \sqrt{2 \lg(n)/n/j}$,这样,可尽量保证大尺度下的图像细节不会被当成噪声而被滤除掉;4) 对各系数进行小波重构,得到降噪后的 $S(i)$;5) 用 $S_0(i)$ 乘以 $S(i)$,得到降噪后的图像 $S(i)$ 。

3 实验分析

3.1 小波降噪与传统方法的比较

为了比较小波降噪的效果,先在标准图像 Lenna 上叠加零均值、不同方差的高斯白噪声,分别用小波降噪、中值滤波和维纳滤波进行处理。比较的指标采用峰值信噪比(peak signal-noise rate, PSNR),其定义为:

$$\text{PSNR} = 10 \lg \left(\frac{255^2}{\text{mse}(Y, \hat{Y})} \right)$$

式中: Y 是原始图像; \hat{Y} 是处理后的图像; mse 是均方差。

由于对图像直接用二抽取 Mallet 金字塔分解容易在结果图像中造成吉布斯现象,即在图像的某区域产生纹波,因此,实验中比较了两种不同的小波分解方法,一种是经典的离散小

波变换,另一种是位移不变的离散小波变换(SIDWT)^[7]。图1示出几种降噪方法的结果比较。可以看出:随着噪声方差的增大,用小波分析的方法可以得到比传统方法更高的峰值信噪比,SIDWT消除了吉布斯现象的影响,在低和高下均表现出了较好的去噪效果。

3.2 小波基的选择

由于正交性、紧支撑性和消失矩等性质不同,小波基函数的选择有可能对降噪效果产生一定影响。本工作对常用的小波基函数进行了比较(表1),采用SIDWT,以PSNR作为评价标准。

从表1可看出:不同小波基对降噪效果影响不大。比较而言,Bior1.5小波基由于具有线性相位,在不同下PSNR均较高。因此,本工作采用该小波基。

3.3 实验结果

基于以上分析,对TC-SCAN的图像用SIDWT进行处理,采用Bior1.5小波基,分解尺度为3。图2是对空载图像处理后各路探测器输出标准差比较图。可以看出:各路输出的统计涨落极大地减小了,图2b中整幅图像的标准差从96.2755下降到27.8872,统计噪声得到了很好的抑制。图3是风扇的实物图像,图3b的背景更加均匀,风扇框架清晰。说明小波分解的方法在滤除噪声和保持图像细节两方面都取得了较好效果。

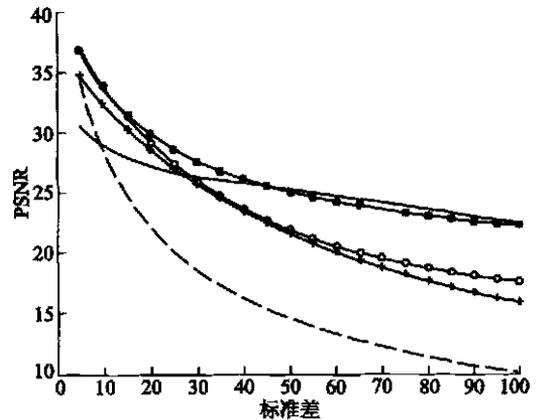


图1 几种去噪方法的结果

Fig. 1 The results of several de-noising methods
虚线——噪声图像;+——中值滤波;
——维纳滤波;*——位移不变小波变换;
实线——经典的离散小波变换

表1 不同小波基的去噪声能力

Table 1 The de-noising abilities of different mother wavelet

噪声图像的		不同小波基的 PSNR						
PSNR		Haar	Sym4	Sym8	Db4	Db8	Bior1.5	Bior1.1
5	34.164 3	36.307 6	36.865 3	36.794 9	36.797 6	36.559 2	37.124 1	36.307 6
10	28.132 7	33.127 1	33.534 2	33.465 7	33.462 1	33.229 3	33.863 8	33.127 1
15	24.631 7	31.029	31.355 7	31.277 9	31.275 9	31.062 6	31.653	31.029
20	22.131 2	29.482	29.742 4	29.656 1	29.697 4	29.482 9	30.038 7	29.482
25	20.244 6	28.312 3	28.521 7	28.430 5	28.485 3	28.300 5	28.798 2	28.312 3
30	18.679	27.314	27.559 4	27.464 6	27.487	27.350 3	27.740 5	27.314
35	17.429 1	26.532 2	26.799 6	26.731 2	26.745 9	26.589 3	26.904 7	26.532 2
40	16.314 3	25.862 2	26.016 1	25.980 1	25.034 7	25.916 2	26.161 1	25.862 2
45	15.413 1	25.266 9	25.561 4	25.460 5	25.531 4	25.395 4	25.581 1	25.266 9
50	14.573 7	24.656 1	24.931 8	24.864	24.921 6	24.803	24.876 9	24.656 1

4 讨论

以上实验结果分析表明:把原辐射图像各灰度值开根后得到了新的图像,其统计噪声是

服从高斯分布的白噪声,可通过基于小波变换的阈值方法来去除。去噪过程中,图像的细节得以较好地保持,效果优于传统的滤波方法。

在阈值选择上,本工作采用 Donoho 的阈值确定方法。对辐射图像而言,由于开根后图像的噪声标准差已知($\sigma = 0.5$),因此,可直接把阈值取为 $2 \sim 3$,这样可简化运算。

基于小波变换的去噪方法有很多,小波系

数不仅包含了强度信息,而且,系数的奇异点分布表征了空间信息。在下一步工作中,可把幅度和奇异点分布结合起来考虑,有可能更好地区分噪声和图像的细节。

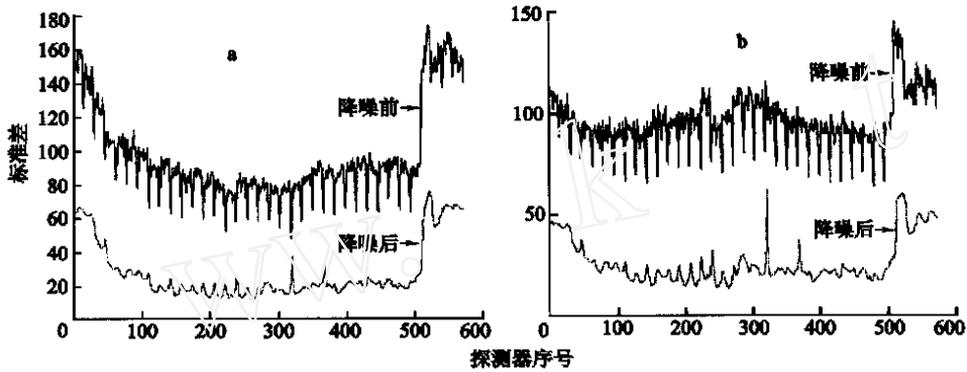


图2 不同处理流程降噪前后探测器各路输出标准差

Fig. 2 Standard deviation of detectors' output before and after being de-noised by different flowing

a——直接对校正后空载图像进行降噪;b——先对原始图像降噪,再用数据校正算法进行处理

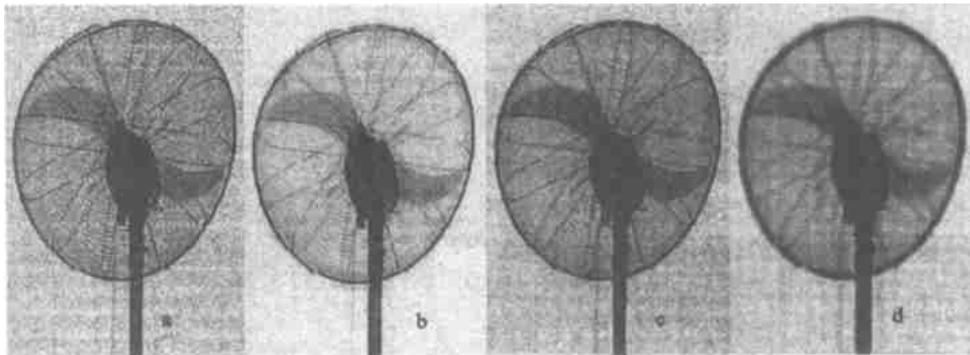


图3 风扇图像去噪效果

Fig. 3 De-noising results of the fan image

a——原始图像;b——SIDWT 处理后图像;c——中值滤波后图像;d——维纳滤波后图像

参考文献:

[1] 安继刚,周立业,刘以思,等. ^{60}Co 集装箱检测系统的研制[J]. 核电子学与探测技术,1998,18(2):81~84.
 [2] 吴志芳,周立业,王立强,等. ^{60}Co 集装箱检测系统中的图像处理[J]. 核电子学与探测技术,1999,19(1):30~33.
 [3] 杨福生. 小波变换的工程分析与应用[M]. 北京:科学出版社,2001.112~121.
 [4] Mallat S, Hwang WL. Singularity Detection and

Processing With Wavelets[J]. IEEE Trans Information Theory,1992,38(2):617~643.
 [5] Donoho DL. De-noising by Soft-thresholding[J]. IEEE Trans Information Theory,1995,41(3):613~627.
 [6] 安继刚. 电离辐射探测器[M]. 北京:原子能出版社,1995.43~64.
 [7] Lang M, Guo H. Nonlinear Processing of a Shift-invariant DWT for Noise Reduction[A]. Proc SPIE Conf Wavelet Appl (Vol 2491) [C]. Orlando: FL, 1995.295~307.