

文章编号:1007-2780(2011)06-0818-05

# 基于小波变换的 ESPI 图像去噪及边缘提取

于长淞, 方 超

(中国科学院 长春光学精密机械与物理研究所 应用光学国家重点实验室,

吉林 长春 130033, E-mail: changsongyu@yahoo. cn)

**摘 要:** 电子散斑干涉条纹的强噪声特性使其信噪比过低,常用的图像滤波方法对于散斑干涉条纹都存在一定的不足。针对散斑条纹的特点,建立了自适应滤波与小波变换相结合的组合迭代滤波方法。在对散斑条纹预处理基础上,通过选择不同的小波函数以及更改分解层次和函数中的阈值达到不同的滤波效果。经反复试验,对于不同的小波基,采用4层分解,阈值为0.15~0.3时与自适应滤波的迭代效果最好。在滤波的基础上对图像进行了二值化,并采用 Sobel 算子对其进行边缘提取,最终得到电子散斑干涉条纹的边缘分布图。结果表明,该方法可以有效消除条纹图中的散斑噪声,并且条纹的边缘得以较好的保留。

**关 键 词:** 电子散斑干涉;小波滤波;迭代滤波;边缘提取

中图分类号: TP391

文献标识码: A

DOI: 10.3788/YJYXS20112606.0818

## ESPI Image Denoising and Edge Extraction Based on Wavelet Transform

YU Chang-song, FANG Chao

(State Key Laboratory of Applied Optics, Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics,

Chinese Academy of Sciences, Changchun 130033, China, E-mail: changsongyu@yahoo. cn)

**Abstract:** The high noise of ESPI(Electronic Speckle Pattern Interferometry) fringe pattern leads to the low ratio of signal-to-noise, there are some drawbacks of common image filtering method used in the speckle interferometry fringe pattern. According to the characteristics of speckle fringe pattern, the iterative filtering method based on adaptive filter and wavelet transform was established. On the basis of speckle fringe image pretreatment, the different wavelet functions, decomposition levels and threshold were chosen to achieve the different filtering effect. The repeated experiments proved that the iterative filter effect is the best when the threshold is 0.15~0.3 and wavelet function with the 4 layer decomposition, and then the image binarization and edge detection was carried out using Sobel operator, finally the marginal distribution of ESPI fringe pattern was obtained. The experiment results indicate that the method is able to achieve a good effect in the respect of speckle noise removal and edge preservation during the process.

**Key words:** ESPI pattern; wavelet filter; iterative filter; edge extraction

## 1 引 言

电子散斑干涉技术是在激光、视频、电子及数

字图像处理等研究领域基础上发展起来的现代光测技术,具有测量精度高、非接触测量、测量速度快等优点,已被广泛应用于无损检测(NDT)<sup>[1]</sup>、应变

收稿日期: 2011-04-12; 修订日期: 2011-05-14

基金项目: 国家自然科学基金(No. 60538020)

作者简介: 于长淞(1983-),男,黑龙江牡丹江人,硕士,主要从事光学检测方面的研究。

分析<sup>[2-3]</sup>、振动检测<sup>[4]</sup>等领域。但是,由于散斑条纹图像中夹杂着大量的原始散斑颗粒噪声,降低了散斑条纹的对比度,使条纹的可见性和分辨率受到很大程度的限制。所以,去除颗粒噪声的影响是正确读取散斑条纹信息的必要条件。

以空间域滤波为基础的噪声消除技术主要有中值滤波、均值滤波等<sup>[5-7]</sup>。这些方法的缺点是在平滑噪声的同时,损失了图像中大量的纹理细节和边缘信息。空域滤波法主要用于消除单个或较少的噪声,对散斑条纹而言,由于散斑颗粒数很大且杂乱无章,滤波函数极难选取。频域算法的滤波效果在一定程度上要优于空域滤波法,但存在运算复杂、速度较慢的问题。因此,为了准确地提取图像中的有效信息,必须针对电子散斑条纹图像的特点使用特殊的图像处理方法。

小波变换是传统傅立叶变换的继承和发展,具有良好的空间域和频率域局部化特性,对高频采用逐渐精细的时域或空域步长,可以聚焦到分析对象的细节,已成为图像处理领域<sup>[8-12]</sup>的研究热点之一。本文进行了基于小波变换的电子散斑干涉条纹图像去噪处理、条纹提取与分析,为将电子散斑干涉技术应用于位移场的自动测量及分析提供方便、准确、快捷的工具。

## 2 条纹图像预处理

### 2.1 条纹图像的灰度校正

对电子散斑干涉条纹图进行图像处理是为了去除散斑噪声,提取出与变形或振动相关的条纹分布,最终得到二值化的条纹分布图及其边缘分布图,以便进一步进行相关的力学特性分析。由于环境干扰及噪声的影响会造成电子散斑干涉条纹图中相关条纹的零漂移,因此需要进行条纹图的灰度校正。本文采用双阈值校正方法,具体公式如下:

$$\begin{cases} I_1(x, y) = 0, I(x, y) < t_1 \\ I_1(x, y) = I(x, y), t_1 \leq I(x, y) \leq t_2 \\ I_1(x, y) = t_2, I(x, y) > t_2 \end{cases} \quad (1)$$

其中: $I(x, y)$ 表示原始电子散斑干涉条纹图; $I_1(x, y)$ 表示经过灰度校正的电子散斑干涉条纹图; $t_1, t_2$ 为灰度校正的阈值。

通过选择合适的阈值进行灰度校正,一方面可以消除条纹图中相关条纹的零漂移,另一方面可以消除由于噪声产生的部分亮点,从而提高电子散斑干涉条纹图的条纹质量。

### 2.2 条纹图像的对比度增强

由于通过灰度校正后的原始电子散斑干涉条纹图的对比度较低,不利于直接观察条纹及进行后续的图像处理,因此需要进行图像增强处理。常用的数字图像增强方法主要有两种:线性增强和非线性增强。本文采用线性增强。图像线性增强的公式为:

$$I_2(x, y) = kI_1(x, y) \quad (2)$$

式中  $I_2(x, y)$  表示线性增强后的电子散斑干涉条纹图; $k$  为线性增强常数因子。

为了提高电子散斑干涉条纹图的亮度,线性增强常数因子取为  $k = 255/t_2$ 。

线性增强提高了电子散斑干涉条纹图的条纹亮度并且锐化了条纹边界,为下一步图像去噪及提取相关信息奠定了基础。经过灰度校正及线性增强的电子散斑干涉条纹如图 1 所示。

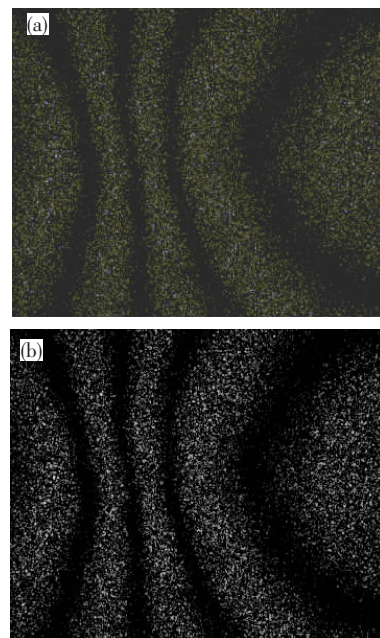


图 1 条纹图像预处理结果。(a)原始电子散斑干涉条纹图;(b)经过灰度校正及线性增强的干涉条纹图。

Fig. 1 Result of fringe image pretreatment. (a) Original ESPI pattern; (b) Pattern of gray correction and linear enhancement.

## 3 条纹图的滤波处理

### 3.1 小波滤波

小波变换是一种窗口大小固定不变但其形状可改变的局部化分析方法,是分析和处理非平稳信号的一种有效方法。小波变换在图像的高频部

分,可以取得较好的时间分辨率,在图像的低频部分,可以取得较好的频率分辨率,从而能有效地从图像中提取信息。

由于散斑效应的影响,散斑干涉条纹图的信号分布具有总体上存在一定规则(即条纹)而局部却无规则(即散斑)的特点,因此利用小波变换可以得到较好的滤波效果。

小波变换的定义是把某个被称为基本小波的函数  $\Psi(t)$  做位移  $\tau$  后,再在不同尺度下与待分析的信号  $f(t)$  做内积:

$$WT_f(a, \tau) = \frac{1}{\sqrt{a}} \int_{-\infty}^{+\infty} f(t) \psi^* \left( \frac{t-\tau}{a} \right) dt \quad (3)$$

式中  $WT_f(a, \tau)$  表示  $f(t)$  的小波变换;  $a$  为尺度参数;  $\tau$  为小波变换中的位移参数。

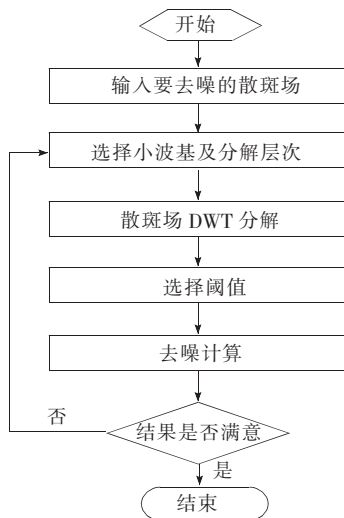


图 2 小波滤波流程图

Fig. 2 Flowchart of wavelet filter

利用小波分析进行图像去噪主要有 3 个步骤:

(1)对图像信号进行小波分解。选择合适的小波和恰当的分解层次  $N$ , 然后对含有噪声的图像进行  $N$  层小波分解。

(2)对分解后的高频系数进行阈值量化。对于分解的每一层,选择一个恰当的阈值,并对该层高频系数进行阈值量化处理。

(3)重构图像信号。根据小波分解后的第  $N$  层近似(低频部分)和经过阈值量化处理后的各层细节(高频部分),来计算二维信号的小波重构。小波滤波流程如图 2 所示。

### 3.2 小波函数和分解尺度的选择

在实际应用中必须选择或者构造适合问题要求的小波,并且只能对小波变换做有限级的尺度分解,尺度太大无法完整保持信号的奇异性,尺度太小又不能有效地去噪。最终通过更改函数中的阈值大小及选择不同的小波基可以达到不同的滤波效果。

### 3.3 迭代滤波

利用小波变换进行图像滤波得到的散斑干涉条纹图效果较好,但仍未能完全消除条纹的散斑效应。因此,本文提出一种新的滤波方法,即将小波变换与自适应滤波相结合作为一种组合迭代滤波方法对电子散斑干涉条纹图进行滤波。经反复试验,对于不同的小波基,采用 4 层分解,阈值取 0.15~0.3 时与自适应滤波的迭代效果最好,可以基本消除散斑噪声。图 3 是采用 4 层分解、阈值选取为 0.2 时,利用不同小波函数对散斑干涉条纹图进行迭代滤波后所得到的条纹图。

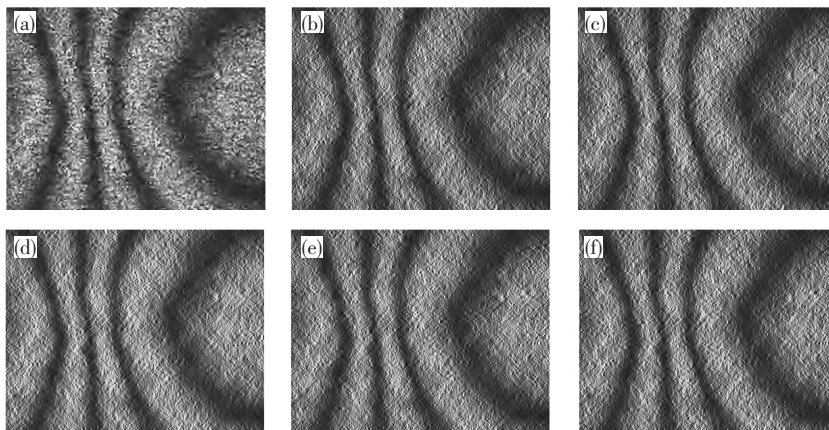


图 3 不同小波函数迭代滤波结果。(a)Biorthogonal 小波函数;(b)Coiflet 小波函数;(c) Daubechies 小波函数;(d) Dmeyer 小波函数;(e) Reverse Bior 小波函数;(f) Symlets 小波函数。

Fig. 3 Iterative filtering results of different wavelet. (a)Biorthogonal wavelet;(b)Coiflet wavelet;(c) Daubechies wavelet;(d) Dmeyer wavelet;(e) Reverse Bior wavelet;(f) Symlets wavelet.

### 4 条纹图的二值化及边缘提取

#### 4.1 二值化

经过组合迭代滤波处理后已基本消除了散斑干涉条纹图中的散斑噪声,下一步需要进行图像灰度值的二值化处理,公式如下:

$$I_3(i,j) = \begin{cases} 0 & I_f(i,j) \leq T \\ 255 & I_f(i,j) > T \end{cases} \quad (4)$$

其中,  $I_3(i,j)$  为二值化后的散斑干涉条纹图,  $I_f(i,j)$  表示组合滤波后的散斑干涉条纹图。

#### 4.2 边缘提取

目前边缘提取常采用的算子有 Roberts 算子、Prewitt 算子、Sobel 算子、Canny 算子和拉普拉斯-高斯算子等。由于电子散斑干涉条纹图已进行了滤波和二值化处理,所以其边缘提取只需要采用计算复杂度较低边缘提取算子。考虑到 Sobel 算子相对于 Roberts、Prewitt 等算子具有较

好的边缘检测性能,同时与拉普拉斯-高斯算子、Canny 算子相比易于实现,因此,本文采用 Sobel 算子进行边缘提取,如式(5)所示:

$$I_4(x,y) = |I_3(x,y)h_x| + |I_3(x,y)h_y|$$

$$h_x = \begin{bmatrix} -1 & 0 & 1 \\ -2 & 0 & 2 \\ -1 & 0 & 1 \end{bmatrix}, h_y = \begin{bmatrix} 0 & 2 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \\ -1 & -2 & -1 \end{bmatrix} \quad (5)$$

式中  $I_4(x,y)$  表示边缘提取后的散斑干涉条纹图,  $h_x, h_y$  分别是水平方向和垂直方向的 Sobel 算子。

为了提取出散斑干涉条纹的边缘,首先要检测出图像局部特性的不连续性,再将这些不连续的边缘像素连成完备的边界。边缘的特性是沿边缘走向的像素变化平缓,而垂直于边缘方向的像素变化剧烈。最终的电子散斑干涉条纹图边缘提取结果如图 4 所示。

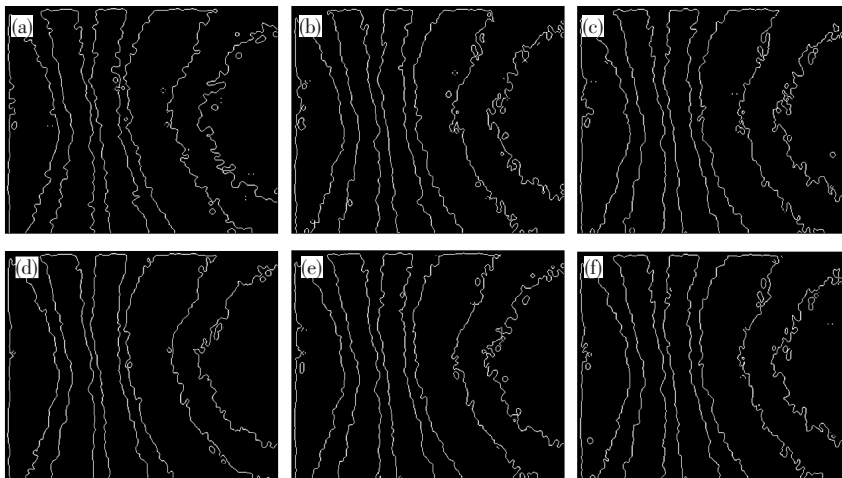


图 4 边缘提取结果。(a)Biorthogonal 小波函数;(b)Coiflet 小波函数;(c) Daubechies 小波函数;(d) Dmeyer 小波函数;(e) Reverse Bior 小波函数;(f) Symlets 小波函数。

Fig. 4 Results of image edge extraction. (a)Biorthogonal wavelet;(b)Coiflet wavelet;(c) Daubechies wavelet;(d) Dmeyer wavelet;(e) Reverse Bior wavelet;(f) Symlets wavelet.

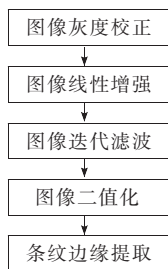


图 5 图像处理流程图

Fig. 5 Flowchart of image processing

电子散斑干涉条纹图的处理流程如图 5 所示。经过处理,有效地消除了条纹图中的散斑噪声,并且条纹的边缘得以较好的保留。

### 5 结 论

基于小波变换的图像去噪最显著的优点是具备良好的局部特性。本文提出了一种将小波变换与自适应滤波相结合的散斑干涉条纹迭代滤波方法,选择适用于不同小波基迭代滤波的阈值及分

解层次,将多种小波函数的滤波效果进行了对比。结果表明,该方法较好地消除了大部分散斑图像中的相干噪声,并且保留了图像的目标特性和细节,适合于散斑干涉条纹的处理。

### 参 考 文 献:

- [ 1 ] Hung Y Y, Luo W D, Lin L, *et al.* NDT of joined surfaces using digital time-integrated shearography with multi-frequency sweep [J]. *Optics and Lasers in Engineering*, 2000, 33(5):369-382.
- [ 2 ] 赵瑞冬,孙平.利用电子散斑相移技术测量物体三维面形的方法 [J]. *光子学报*, 2010, 39(11):2045-2048.
- [ 3 ] 周文静,于瀛洁.基于光纤的三维电子散斑干涉测量系统设计 [J]. *光学精密工程*, 2008, 16(10):1816-1821.
- [ 4 ] 贾书海,乐开端,谭玉山,等.双光路电子散斑振动测量系统 [J]. *光子学报*, 2000, 29(2):127-130.
- [ 5 ] 孙玉胜,白克.基于小波变换与加权滤波的电机红外图像增强 [J]. *液晶与显示*, 2010, 25(3):439-443.
- [ 6 ] 李轶博,李小兵,周娴.基于 FPGA 的快速中值滤波器设计与实现 [J]. *液晶与显示*, 2010, 25(2):292-296.
- [ 7 ] 赵变红,何斌,杨利红,等. TDI-CCD 图像固有条带噪声的消除方法及实现 [J]. *液晶与显示*, 2010, 25(5):752-758.
- [ 8 ] 曾理,郭海燕,马睿.基于小波定位及 Facet 模型的三维工业 CT 图像边缘检测 [J]. *光学精密工程*, 2010, 18(2):443-450.
- [ 9 ] 王绍波,郭业才,高敏,等.基于模糊 PCNN 的小波域超声医学图像去噪方法 [J]. *光电子·激光*, 2010, 21(3):486-480.
- [ 10 ] 龚卫国,刘晓营,李伟红,等.双密度双树复小波变换的局域自适应图像去噪 [J]. *光学精密工程*, 2009, 17(5):1171-1180.
- [ 11 ] 孙玉胜,白克.自适应 Morlet 小波降噪方法及在轴承故障特征提取中的应用 [J]. *仪器仪表学报*, 2010, 31(12):2712-2717.
- [ 12 ] 田秀伟,郑喜凤,丁铁夫,等.一种基于小波 Contourlet 变换的图像编码算法 [J]. *液晶与显示*, 2009, 24(2):268-272.

## 《中国光学》征稿启事

《中国光学》为双月刊, A4 开本; 刊号: ISSN 1674-2915/CN22-1400/O4; 国内外公开发行人, 邮发代号: 国内 12-140, 国外 BM6782。

★中国科技核心期刊

★中国光学学会光电技术专业委员会会刊

★中国学术期刊(光盘版)源期刊

报道内容:基础光学、发光理论与发光技术、光谱学与光谱技术、激光与激光技术、集成光学与器件、纤维光学与器件、光通信、薄膜光学与技术、光电子技术与器件、信息光学、新型光学材料、光学工艺、现代光学仪器与光学测试、光学在其他领域的应用等。

发稿类型:学术价值显著、实验数据完整的原创性论文;研究前景广阔,具有实用、推广价值的技术报告;有创新意识,能够反映当前先进水平的阶段性研究简报;对当前学科领域的研究热点和前沿问题的专题报告;以及综合评述国内外光学技术研究现状、发展动态和未来发展趋势的综述性论文。

欢迎投稿、荐稿,洽谈合作。

主管单位:中国科学院

主办单位:中国科学院长春光学精密机械与物理研究所

编辑出版:《中国光学》编辑部

投稿网址:<http://chineseoptics.net.cn>

邮件地址:[chineseoptics@ciomp.ac.cn](mailto:chineseoptics@ciomp.ac.cn), [gxyygx2007@126.com](mailto:gxyygx2007@126.com)

联系电话:(0431)86176852; (0431)84627061 传 真:(0431)84627061

编辑部地址:长春市东南湖大路 3888 号(130033)

《中国光学》编辑部