

# 近场光学扫描显微镜图像的噪音处理

狄红卫 薄利军

(暨南大学光电工程研究所, 广州 510632)

**摘 要** 在近场光学扫描显微镜及其它一些以扫描方式成像的系统中, 由于图像是逐行扫描而成, 因此扫描图像行与行之间存在较大的噪音. 针对这种情况及相应的含噪近场光学图像模型, 并结合对近场光学扫描图像及其行噪音特点的分析, 提出了根据图像行间相关性寻找行噪音补偿因子. 同时考虑图像背景波动性选择噪音补偿因子, 以此进行行噪音的消除. 在此基础上, 利用小波变换进一步处理, 消除随机起伏噪音. 实验结果表明, 本方法可以快速有效地去除扫描图像行噪音, 且适用于各类扫描图像的处理.

**关键词** 扫描图像; 行噪音; 行间相关性

**中图分类号** TP391.41 **文献标识码** A

## 0 引言

近场光学扫描显微镜成像是通过逐行扫描来完成的<sup>[1]</sup>. 这种逐行扫描成像的方法获取的图像, 除随机起伏的噪音外, 还有较大的行噪音. 行噪音信号在沿图像的扫描行方向上, 噪音变化缓慢, 几乎是一致的, 而在图像的列方向上, 噪音的随机起伏性较大, 在图像上易形成较明显的横向暗线或亮线. 这种依赖于方向的噪音是一种远大于随机噪音的乘性噪音. 传统的去噪通过空域或频域滤波来实现, 一般针对加性噪音<sup>[2,3]</sup>. 由于行噪音的特点, 这些去噪方法很难取得明显的效果. 为了消除这种行噪音, 文献[4]提出基于统计分析的自适应迭代处理方法. 本文从含噪近场光学图像模型出发, 并结合对近场光学扫描图像及其行噪音特点的分析, 提出根据图像行与行之间的相关性寻找行噪音补偿因子, 同时考虑背景波动性选择噪音补偿因子, 以此进行行噪音的消除, 在此基础上, 进一步利用小波变换消除随机起伏噪音, 得到了较好的实验结果.

## 1 行噪音的去除

令  $f(i, j)$  表示原始图像数据,  $g(i, j)$  表示系统对  $f(i, j)$  进行扫描成像输出的图像数据. 图像的噪音由两部分构成: 行噪音和随机起伏噪音. 设列方向第  $i$  行的乘性噪音因子为  $a_i$ , 整幅图像的加性随机起伏噪音为  $n(i, j)$ . 这样扫描图像信号可以表示为

$$g(i, j) = a_i \times f(i, j) + n(i, j) \quad (1)$$

由于加性随机起伏噪音相对于列方向的乘性噪音很小, 为了讨论方便, 在  $g(i, j)$  的表达式中暂略去加

性随机起伏噪音  $n(i, j)$ . 由此式(1)简化为

$$g(i, j) = a_i \times f(i, j) \quad (2)$$

这样, 乘性行噪音去除问题就简化为寻找一个行噪音补偿因子  $b_i = 1/a_i$ , 然后对输出图像进行  $g(i, j) = g(i, j) \times b_i$  的处理来去除  $g(i, j)$  中的行噪音.

首先, 对近场光学扫描图像及其行噪音的特点进行观察和分析. 图 1(a) 是一幅光盘表面的近场光学扫描图像, 图 1(b) 是该图像的中间一行数据分布曲线. 由图 1(b) 不难看出, 如果不考虑噪音, 图像数据在水平方向上是缓慢变化分布的. 通过对整幅图像的观察可以发现, 图像数据在水平和垂直方向分布是同性的, 即如果没有行噪音的影响, 在垂直方向上, 数据也应该是缓慢变化分布的.

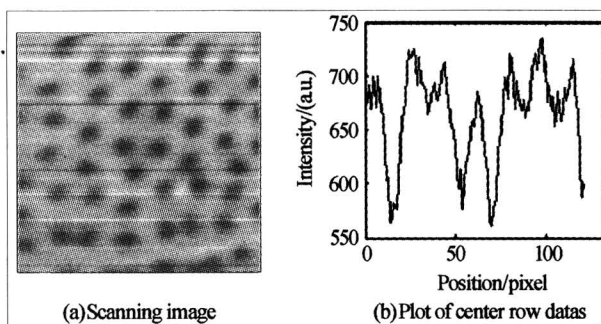


图 1 待处理图像数据分布特征分析  
Fig. 1 Datas distribution analysis of the image

下面分析两相邻行的数据关系. 在没有行噪音影响的情况下, 由于数据在列方向上是缓变分布的, 因此两行的对应列数据变化很小, 即差值很小, 并且上下行对应列数据的数值大小关系是不确定的, 因此如果对两行数据求和, 其和  $sum_i$  与  $sum_{i+1}$  的差值应该较小, 其中  $sum_i = \sum_j g(i, j)$ . 图 2 是待处理图像中间行噪音较小的相邻两行数据的分布图. 从图中可以看出, 两条曲线形状近似, 曲线高低交替变化, 说明上面的分析是正确的. 经计算, 图 2 上面行的数据和为 80421, 下面行的数据和为 79626, 差异度不足 1%.

\* 广东省自然科学基金资助项目(04010465)  
Tel: 020-85220484 Email: tdhw@jnu.edu.cn  
收稿日期: 2005-11-18

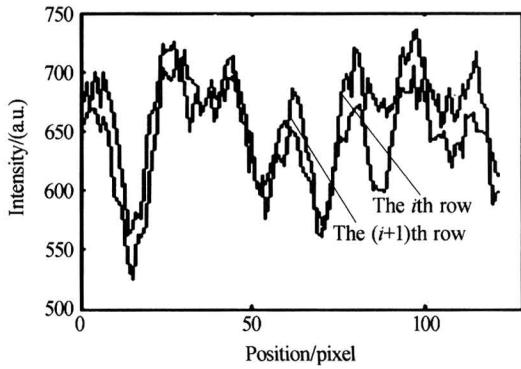


图 2 相邻两行数据分析  
Fig. 2 Datas analysis of two neighbor rows

对原始图像  $f(i, j)$  的各行分别求和, 可以得到向量  $SUM'$ , 其中  $sum'_i = \sum_j f(i, j)$ ,  $SUM'$  是一个缓变信号. 由以上分析可知, 如果没有乘性噪音, 扫描图像行数据和得到的向量  $SUM$  应该与  $SUM'$  基本一致. 如果扫描图像  $g(i, j)$  在第  $i$  行  $sum_i$  出现较大波动, 则说明该处有较大的乘性噪音  $a_i$  存在. 式(2)两边对  $j$  求和可得

$$a_i = sum_i / sum'_i \quad (3)$$

式中  $sum_i$  可以直接由图像数据计算,  $sum'_i$  却无法直接获得. 对式(3)作如下变换

$$a_i = [sum_i / mean(SUM)] / [sum'_i / mean(SUM)] = a'_i / c_i \quad (4)$$

式中  $mean()$  是对向量  $SUM$  求均值的函数. 这样可以得到, 扫描图像  $g(i, j)$  的行数据和规范化的结果向量  $a'$ , 原始图像  $f(i, j)$  行数据和近似的缓慢变化系数向量  $c$ .

考虑背景图像和目标图像在整幅图像上分布都比较均匀的情况, 如图 1(a). 原始图像  $f(i, j)$  的行数据和  $SUM'$  变化很小, 忽略其波动对于噪音因子求解的影响, 可以令  $c_i = 1$ , 从而简化计算. 此时扫描图像  $g(i, j)$  的行噪音因子为

$$a_i \approx a'_i = sum_i / mean(SUM) \quad (5)$$

补偿因子为  $b_i = 1/a_i$ , 去噪后的图像可通过  $g(i, j) = g(i, j) \times b_i$  获得. 图 3 是行噪音因子  $a$  的分布图, 去噪后的图像如图 4.

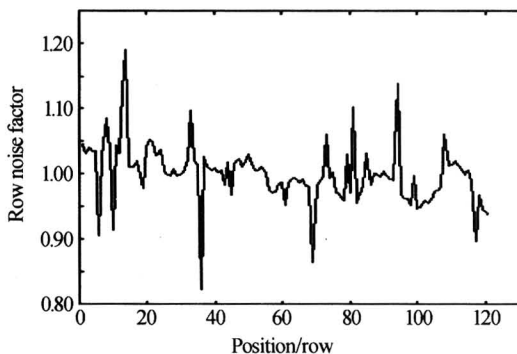


图 3  $a$  的分布图  
Fig. 3 The distribution of  $a$

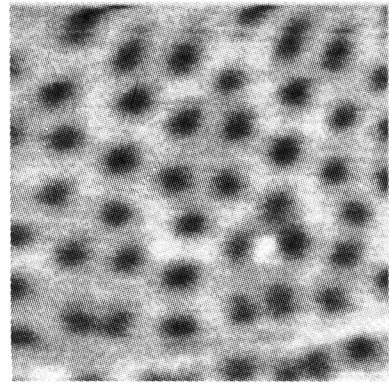


图 4 去噪结果图像  
Fig. 4 The denoised image

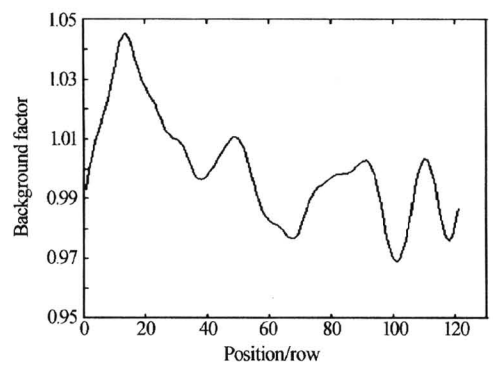
如果原始图像  $f(i, j)$  自身列方向上  $SUM'$  波动较大, 即  $c$  不能看作是一个常量, 此时可用如下方法求解. 由式(4)可知  $a'_i = a_i \times c_i$ , 即扫描图像行数据和规范化后的噪音因子  $a'$  是由实际噪音因子  $a$  和原始图像缓变系数  $c$  相乘的结果, 因此  $c$  可以由  $a'$  的低频成份近似获得.

首先对上面计算的  $a'$  进行傅里叶变换, 然后通过峰值为 1 的高斯函数作滤波, 再将结果进行逆傅里叶变换. 该过程实现了对  $a'$  的低通滤波, 获取  $a'$  中的低频成份信号, 该低频缓变信号近似为原始图像  $f(i, j)$  的缓变系数  $c$ . 再结合式(4), 可得

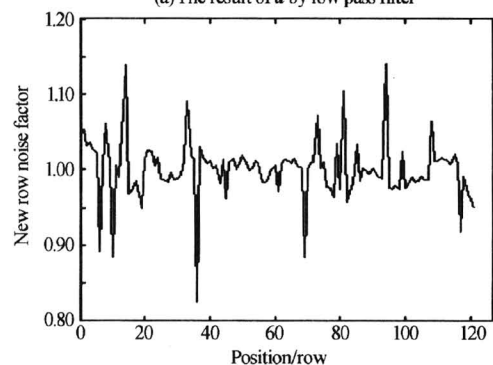
$$a_i = a'_i / c_i \approx a'_i / d_i \quad (6)$$

式中  $d_i$  是低通滤波结果,  $d = LF(a')$ ,  $LF$  为低通滤波函数.

图 5(a) 是对图 3 中  $a$  ( $\approx a'$ ) 低通滤波后得到的



(a) The result of  $a$  by low pass filter



(b) The new noise coefficients

图 5 低通滤波信号和新的噪音因子  
Fig. 5 Signal by low pass filter and new noise coefficients

近似原始图像缓变系数  $c$ , 图 5(b) 是去除低频缓变信号后新的噪声因子  $a$ . 从图中可以看出, 这里图像的缓变信号  $c$  起伏较小, 起伏范围在  $\pm 0.05$  左右, 左端的最高峰是由于原图像顶部目标图像较少造成的,  $c$  中后部的起伏仅在  $-0.04 \sim 0.01$ ; 而图 3(a) 的行噪声因子  $a$  起伏在  $-0.18 \sim 0.2$ , 因此前面忽略缓变信号是合理的.

最后令补偿因子  $b_i = 1/a_i$ , 将图像进行  $g(i, j) = g(i, j) \times b_i$  处理来去除扫描图像中的行噪声, 实验结果如图 6. 图(6)和图(4)结果很相近. 不进行原始图像的缓变信号计算可以减小计算量, 加快计算速度.

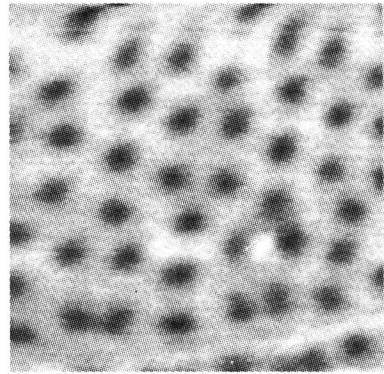


图 6 考虑背景变化的结果  
Fig. 6 The result considering the background changes

图 7 是通过本文提出的方法对目标图像较少、

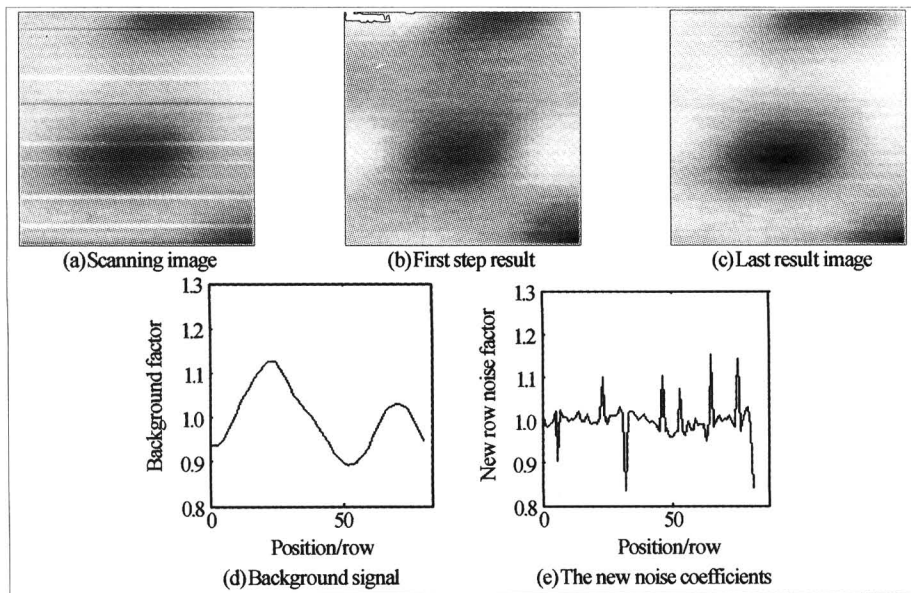


图 7 目标较少的图像  
Fig. 7 The image with less objects

$SUM'$  波动的影响不可忽略的一幅图像进行行噪声去除的结果.

由于背景缓变信号波动较大, 如图 7(d), 因此没有考虑背景缓变情况的图 7(b), 其图像行去噪后灰度分布与图 7(a) 有较大差别; 而考虑背景缓变情况的图 7(c), 其图像行去噪后整体灰度分布更接近于图 7(a). 图 7(e) 是去除低频缓变信号后新的噪声因子  $a$ .

## 2 小波变换去噪

对于随机起伏噪声  $n(i, j)$ , 本文采用小波变换作进一步处理. 近年来, 小波理论得到了非常迅速的发展. 在信号去噪领域中, 由于其具备良好的时频特性, 小波理论也同样受到了许多学者的关注<sup>[5,6]</sup>, 实际应用取得了较好的效果. 相比于其他传统的去噪方法, 小波去噪由于其良好的局部性特征使其能很好地保留图像的边缘等重要信息.

近场光学扫描显微镜图像经上述处理后, 行噪声已经得到去除. 由于扫描的光盘图像中目标图像呈圆形, 因此本文的小波变换选用二维离散 Meyer 小波作为小波基. 首先对处理后的图像进行一级小波变换, 观察其高频分量, 确定噪声分布, 如图 8.

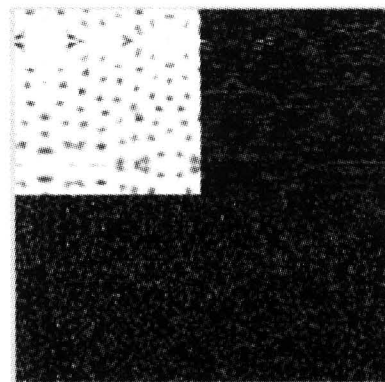


图 8 一级小波分解图  
Fig. 8 One level wavelet decomposition image  
图 8 左上方是小波分解的低频分量, 右上方是

水平高频分量,左下方是竖直高频分量,右下方是对角高频分量.由图8的水平高频分量和竖直高频分量可以看出,二者差距不大,说明前面对行噪音的去除比较成功.为了进一步去除噪音,使用小波去噪函数确定三个高频分量的去噪阈值,去除高频噪音,然后与分解系数的低频部分重构原图像.小波去噪后的图像如图9.

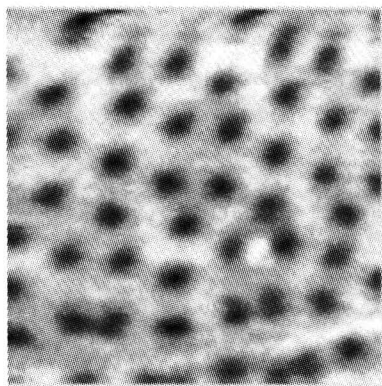


图9 小波去噪结果图像  
Fig.9 Wavelet denoised image

### 3 结论

行噪音是近场光学扫描显微镜等扫描成像系统所特有的噪音,是一种远大于随机噪音的乘性噪音,由于该噪音存在于整个行,因此用传统的去噪方法很难达到理想的效果.本文利用图像行间信息的相

关性提出了一种简单有效的计算补偿因子的方法,同时结合小波去噪方法,结果表明去噪效果良好,很大程度提高了近场光学扫描图像的质量.

#### 参考文献

- 1 王海潼,刘斐. 近场光学显微技术. 应用光学, 2005, **26**(3):36~40  
Wang H T, Liu F J. *Applied Optics*, 2005, **26**(3):36~40
- 2 谢杰成,张大力,徐文立. 小波图象去噪综述. 中国图象图形学报, 2002, **7**(3):209~217  
Xie J C, Zhang D L, Xu W L. *Journal of Image and Graphics*, 2002, **7**(3):209~217
- 3 Levent S, Ivan W S. Bivariate shrinkage functions for wavelet-based denoising exploiting interscale dependency. *IEEE Trans Signal Processing*, 2002, **12**(50):2744~2756
- 4 党群,白永林,张工力,等. 近场光学扫描显微镜图象的行噪音处理. 光子学报, 2000, **29**(8):748~751  
Dang Q, Bai Y L, Zhang G L, et al. *Acta Photonica Sinica*, 2000, **29**(8):748~751
- 5 Fei P Y, Guo B L, Zhang Z Y. Target segmentation from laser underwater images based on statistic counteraction. *Acta Photonica Sinica*, 2004, **33**(12):1513~1517
- 6 熊宇虹,温志渝,陈刚,等. 基于小波变换和支持向量机的光谱多组分分析. 光子学报, 2005, **34**(10):1514~1517  
Xiong Y H, Wen Z Y, Chen G, et al. *Acta Photonica Sinica*, 2005, **34**(10):1514~1517

## Image Denoising in Near-field Optical Scanning Microscopy

Di Hongwei, Bo Lijun

*Institute of Optoelectronic Engineering, Jinan University, Guangzhou 510632*

Received date:2005-11-18

**Abstract** In the system with a mode of scanning, such as the near-field optical scanning microscopy, there is big row-noise due to the scanning mode through row by row. According to this case and the noise model of the near-field optical scanning image, and combining to analyze the characteristic of the near-field optical scanning image and its row-noise, a new algorithm removing the row-noise is proposed based on the correlation among the rows to count the compensation factor of row-noise and the change of background signal to choose this factor. Moreover, wavelet transform is used to get rid of the random noise. Experiment results show that the developed method can remove the row-noise of scanning images efficiently and quickly, and can apply to process various scanning images.

**Keywords** Scanning image; Row noise; Correlation among rows

**Di Hongwei** was born in 1969. He received M. S. degree in Jinan University in 1994 and Ph. D. degree in South China University of Technology in 1999. Now he is an associate professor in Jinan University. His research interests include image processing and wavelet transform.

