

# 一种凝胶电泳图像的预处理方法

吴艳丽 赵德群 陈鹏宇

(北京工业大学电子信息与控制工程学院 北京 100124)

**摘要:**凝胶电泳分析技术主要是用于核酸、蛋白质类等遗传物质分子的定性以及定量分析。近年来随着生物化学、医学等学科的飞速发展,对于凝胶电泳分析技术的要求也越来越高,已经成为重要研究课题之一。基于计算机数字图像技术的凝胶电泳图像分析系统,可以解决传统方法的弊端,具有便捷的操作和高精度,而高质量的凝胶电泳图像是分析和计算有用信息的首要条件。在凝胶电泳图像的生成和传输过程中可能受到噪声的污染或存在图像模糊的现象,经过本文提出的基于小波变换的图像去噪和增强方法能够很好的去除图像的噪声和增强图像的有用信息,从而得到高质量的凝胶电泳图像。

**关键词:**凝胶电泳图像;图像预处理;小波变换;图像去噪;图像增强

**中图分类号:** TP391 TN915 **文献标识码:** A **国家标准学科分类代码:** 510

## Preprocessing method of gel electrophoresis image

Wu Yanli Zhao Dequn Chen Pengyu

(College of Electronic and Control Engineering, Beijing University of Technology, Beijing 100124, China)

**Abstract:** Gel electrophoresis analysis technique is mainly used for qualitative and quantitative analysis of nucleic acid and protein genetic material. In recent years, with the progress of science and technology, more and more technical requirements for gel electrophoresis analysis have become one of the important issues. The gel electrophoresis image analysis system based on the computer digital image technology can solve the disadvantages of the traditional method, which has convenient operation and high precision. High quality images are the primary condition for the analysis and calculation of useful information. In the process of generation and transmission, the gel electrophoresis image may be polluted by noise or blurred by image. Wavelet transform based image denoising and image enhancement can be very good to remove the image noise, and the image of the useful information to enhance. After experimental comparison, there is a significant effect.

**Keywords:** gel electrophoresis image; band recognition; edge detection; image enhancement

### 1 引言

凝胶电泳分析技术已成为生物、化学和医学等专业研究中一项不可或缺的技术。凝胶电泳图像是获得核酸、蛋白质等遗传物质相对分子量和光密度值的前提和基础,图像的质量直接影响泳道、条带识别和计算<sup>[1]</sup>。在凝胶电泳实验中,图像质量主要受以下几方面的影响:实验过程中出现假象迁移或条带粘连、模糊的现象;在图像的采集和传输过程中形成一些噪声;拍摄环境引起的图像整体对比度较差等,因此凝胶电泳图像的预处理必不可少。凝胶电泳图像的预处理目的是有效去除图像夹杂的噪声和干扰,然后增强图像包含的遗传物质信息,提高泳道、条带识别的精度和计算的准确性。预处理过程中图像的自适应

滤波和增强是重点<sup>[2]</sup>。

### 2 凝胶图像去噪方法

#### 2.1 传统去噪方法对比

数字图像的噪声主要由图像的拍摄和传输所引起,图像拍摄中环境改变或环境所导致传感元器件性能的变化都可能影响图像传感器的工作。在传输过程中,图像可能受传输信道的干扰而产生噪声。噪声是一个随机过程,本文进行算法分析时采用的噪声主要是高斯白噪声。现有的滤波方法主要有空域滤波方法、频域滤波方法和小波滤波方法<sup>[3-4]</sup>。

空域滤波方法是根据图像像素点的邻域,对相应的模板进行计算,完成对每一个像素点的滤波。常用的有均值

滤波和中值滤波,但均值滤波容易造成图像边缘模糊,而中值滤波可能引起误差,并且损坏图像的边缘和细节<sup>[5]</sup>。

频域滤波方法是通过傅里叶变换把图像由空域变换到频域,可以把高频部分通过低通滤波器来抑制或滤除噪声。常用的低通滤波器有巴特沃思低通滤波器和高斯低通滤波器。频域滤波方法的缺点是,如果图像与噪声的频域有较多重叠时,滤波效果可能较差,边缘也变得模糊。

小波滤波方法,是对凝胶电泳图像进行小波变换,对变换后的某些小波系数进行处理,去除其中包含的噪声,对处理后的小波系数进行重构得到去噪后的凝胶电泳图像。在去噪领域中,小波理论由于其特殊的优点,处理后的图像既能达到很好的去噪效果,也能保持图像的细节信息,因此,本文使用小波去噪方法滤除凝胶图像的噪声。

### 2.2 小波阈值方法

小波阈值去噪方法中,不同的小波系数代表了不同的图像信息。个数较少,幅值较大的小波系数构成了图像的有用信息,而个数较多,幅值较小的小波系数一般均为噪声<sup>[6]</sup>。根据这一原理,对小波系数进行处理,把绝对值较小的系数即噪声部分设为零,绝对值较大的系数即图像的有用信息保留或进行相应比例的收缩,得到阈值变化后的小波系数,然后把阈值变化后的小波进行重构,完成小波的去噪<sup>[5-7]</sup>。由于阈值去噪法能够对原始图像进行近似的最优估计,原理简单、计算方便、适应性强,在小波去噪方法中得到广泛应用<sup>[8]</sup>。因此,本文使用小波阈值去噪方法,算法最重要的环节是阈值函数的选取。阈值函数有如下几种:

硬阈值函数如下(如图1所示):

$$\hat{w}_{j,k} = \begin{cases} w_{j,k}, & |w_{j,k}| \geq T \\ 0, & |w_{j,k}| < T \end{cases} \quad (1)$$

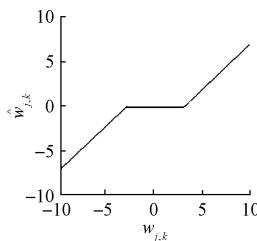


图1 硬阈值

软阈值函数如下(如图2所示):

$$\hat{w}_{j,k} = \begin{cases} \text{sgn}(w_{j,k})(|w_{j,k}| - T), & |w_{j,k}| \geq T \\ 0, & |w_{j,k}| < T \end{cases} \quad (2)$$

式中:函数  $\text{sgn}()$  表示符号函数。

硬阈值和软阈值方法是应用广泛且去噪效果较好的两种方法,但仍存在着不可避免的缺点,如硬阈值方法重构所得的图像可能出现振铃、伪吉布斯效应等失真情况;软阈值方法则总存在恒定的偏差,导致重构图像误差<sup>[9]</sup>。因此,需要对软、硬阈值函数进行进一步的改进。

软硬折中法阈值处理函数(如图3所示):

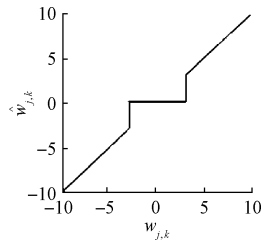


图2 软阈值

$$\hat{w}_{j,k} = \begin{cases} \text{sgn}(w_{j,k})(|w_{j,k}| - aT), & |w_{j,k}| \geq T \\ 0, & |w_{j,k}| < T \end{cases}, \quad (0 \leq a \leq 1) \quad (3)$$

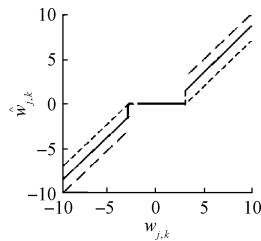


图3 软硬折中阈值

半软阈值函数(如图4所示):

$$\hat{w}_{j,k} = \begin{cases} w_{j,k}, & |w_{j,k}| > T_2 \\ \text{sgn}(w_{j,k}) \left( -\frac{T_2(|w_{j,k}| - T_1)}{T_2 - T_1} \right), & T_1 \leq |w_{j,k}| \leq T_2 \\ 0, & |w_{j,k}| < T_1 \end{cases} \quad (4)$$

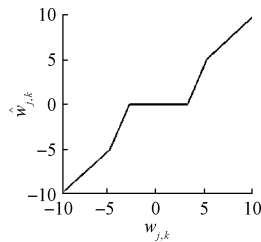


图4 半软阈值

指数型阈值函数(如图5所示):

$$\hat{w}_{j,k} = \begin{cases} \text{sgn}(w_{j,k}) \left( |w_{j,k}| - \frac{T}{\exp\left(\frac{|w_{j,k}| - T}{N}\right)} \right), & |w_{j,k}| \geq T \\ 0, & |w_{j,k}| < T \end{cases} \quad (5)$$

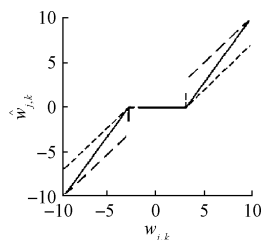


图5 指数阈值

### 2.3 改进的小波变换方法

本文采用的是半软阈值的改进方法,即在半软阈值的基础上对第一层重构图像进行均值滤波,均值滤波是一种原理简单、运算较快的滤波方法,有较广泛的应用,但它在抑制噪声的同时,也会损失图像的边缘信息,因此结合小波的半软阈值去噪,有选择的进行均值滤波,可以有效的减少边缘模糊。将小波去噪后的图像重构至第一层时,对小波的低频近似子图像保持不变,对水平细节的子图像、垂直细节子图像分别进行相应的均值滤波,这样不仅可以保持图像的大部分边缘信息,而且可以再次有选择地对细节进行去噪,具体的步骤如下:

- 1) 凝胶电泳图像进行小波分解,选择合适的小波基和分解层数(3层)。
- 2) 对分解后的小波系数进行阈值去噪。高频滤波,低频保持不变,其中滤波函数选用改进的半软阈值,阈值选用 HeurSURE。
- 3) 将阈值化处理后的小波系数从第三层重构至第一层。
- 4) 将3)中所得子图像分别进行均值滤波,对重构低频近似子图像保持不变,采用不同的模板对水平细节、垂直细节进行均值滤波。
- 5) 将均值滤波后的第一层小波系数重构。

### 2.4 去噪实验结果与分析

在其他条件相同的情况下分别采用硬阈值函数,软阈值函数,半软阈值函数,软、硬阈值折中法( $T_2=0.5T_1$ )、指数型阈值函数以及改进的半软阈值函数对凝胶电泳图像进行去噪处理。噪声方差为 0.03 时,采用不同阈值函数去噪后的图像如图 6 所示。

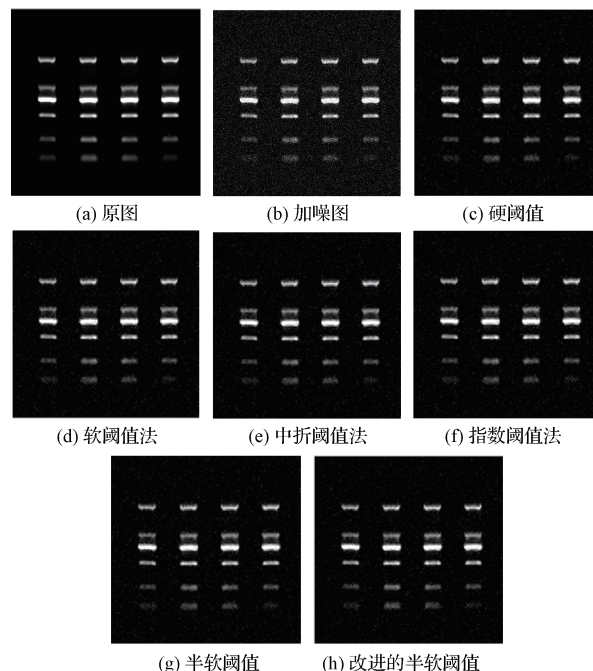


图 6 采用不同阈值函数去噪后的图像

本文采用的改进的半软阈值方法可以在软阈值方法和硬阈值方法之间达到很好的折中,表现出较好的去噪效果,该方法在一定程度上缓解了软阈值去噪造成的边缘模糊现象,对硬阈值的伪吉布斯现象也有明显改善,而且对小波重构至第一层的图像进行均值滤波,可以再次对噪声进行降噪,加强了算法的降噪能力。

以 PSNR(信噪比)和 MSE(均方差)为评价指标<sup>[10]</sup>,凝胶电泳图像去噪效果的客观评价结果如表 1 所示。

表 1 PSNR 的评价结果

	噪声方差为 0.01		噪声方差为 0.02		噪声方差为 0.04	
	PSNR	MSE	PSNR	MSE	PSNR	MSE
硬阈值法	23.182 0	0.028 6	21.087 3	0.038 9	20.579 2	0.052 1
软阈值法	21.577 1	0.029 2	21.253 1	0.038 8	20.630 2	0.052 1
中折法	22.442 2	0.028 7	21.183 7	0.038 8	20.613 3	0.052 0
指数法	21.658 3	0.029 1	21.094 1	0.038 9	20.579 9	0.052 1
半软阈值	23.851 4	0.028 3	21.854 1	0.038 6	20.991 8	0.052 1
改进半软阈值	25.256 5	0.028 1	23.308 2	0.038 6	21.921 1	0.052 3

从表 1 的对比数据中可以得出,本文采用的改进半软阈值方法在 MSE 水平基本相当的情况下 PSNR 得到了一定改善。本文采用的改进半软阈值可以在软阈值方法和硬阈值方法中找到较好的平衡,因此表现出最好的去噪效果,在一定程度上解决了软、硬阈值所造成的缺点。

## 3 凝胶图像增强方法

基于小波变换图像增强的思想是有选择地改变某些小波系数,改变图像相应区域的对比度。经过小波变换,凝胶电泳图像被分解为代表图像大部分信息的低频部分和代表图像细节的高频部分,其中,大部分噪声都属于高

频子带<sup>[9-13]</sup>。为了能够在改善图像质量的同时抑制噪声的增强,本文选取了对低频部分进行边缘增强算法,改善凝胶电泳图像中泳道、条带的对比度,突出轮廓和边缘信息;保留高频部分不变,减少噪声对泳带的影响,最后通过小波逆变换重构凝胶电泳图像。

由于某些凝胶电泳图像的泳道和条带与背景对比度差、轮廓边缘较模糊,本文采用基于B样条小波的边缘增强,以B样条基函数作为光滑函数,使用三次B样条小波对图像进行变换<sup>[14]</sup>,首先检测出近似轮廓信息,再通过修改图像边缘斜率来进行增强处理。具体步骤如下:

1) 图像进行小波分解,根据每一行的梯度向量模  $M2^j f(x, y)$ , 求出模局部极值点  $\max^i M2^j f(x, y)$ ,  $\max^2 M2^j f(x, y), \dots, \max^n M2^j f(x, y) < j$ , 以及每一个取得极值点的  $\mu_j$  值;

2) 根据 Guass 分布的特性,  $\mu_j$  即为 Guass 分布的均值, 模局部极值点即为 Guass 分布的系数  $M_j$ , 并且已知 3 倍的方差处能量大约是 99.7%, 于是求得每一个 Guass 分布的方差  $\sigma_j$ ;

3) 将以上 Guass 分布的均值和方差代入分布公式(6)中来修改小波系数的值, 得到新的低频系数。

$$f(x) = \frac{M_j}{\sqrt{2\pi\sigma}} \exp\left(-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}\right) \quad (6)$$

将空域增强、频域增强的图像增强算法与本文的凝胶电泳图像增强算法进行实验对比, 如图 7 所示。

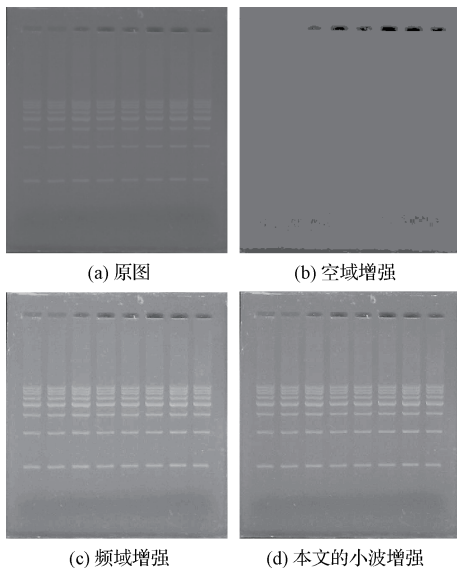


图 7 图像增强对比

从图 7 中可以看出, 空域增强进行非线性灰度变换时, 阈值差别较大, 引起了某些灰度级的消失, 影响增强效果; 频率增强算法有时又会产生不必要的过度增强, 甚至对噪声过度增强; 本文的图像增强方法增强效果最好, 既增强了凝胶电泳图像的有用图像信息, 又没有对噪声产生

增强作用。

## 4 算法验证测试

为了测试本文提出的凝胶电泳图像去噪和增强算法, 对 124 张需要进行预处理的凝胶电泳图像进行了图像去噪和增强, 其中对 75 张图像进行了自适应滤波实验, 49 张进行了图像增强实验。通过主观和客观综合评价, 在图像滤波处理的实验中, 70 张图像的去噪效果显著且优于其他几种对比算法; 在图像增强的实验中, 46 张图像的增强效果较之于其他增强算法得到了提高, 测试结果如表 2 所示。

表 2 算法验证测试结果

	测试图像 数量/张	有效处理图像 数量/张
改进的小波阈值方法	75	70
改进的凝胶图像增强算法	49	46

## 5 结论

本文提出的凝胶电泳图像预处理方法, 通过与其他图像去噪和增强算法进行对比实验得到主观和客观评价结果, 对比结果表明了本文的方法可以有效对凝胶电泳图像进行图像去噪和增强且效果明显优于所对比的其他去噪和增强算法。另外, 本文凝胶电泳图像实验中主要是人为设置 T2 值, 今后的预处理方法研究方向可以是对自适应的选取阈值 T2 的研究。

## 参考文献

- [1] 阮运杰. DNA 凝胶电泳分析系统研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工程大学, 2012.
- [2] 黄锐. PCR 凝胶成像分析算法研究[D]. 天津: 河北工业大学, 2009.
- [3] RABILLOU T, CHEVALLET M, LUCHE S, et al. Two-dimensional gel electrophoresis in proteomics: Past, present and future[J]. Journal of Proteomics, 2010, 73(11): 2064-2077.
- [4] 王香菊. 基于中值滤波和小波变换的图像去噪方法研究[D]. 西安: 西安科技大学, 2008.
- [5] 毛艳辉. 小波去噪在语音识别预处理中的应用[D]. 上海: 上海交通大学, 2010.
- [6] 曾诚. 基于小波理论的图像去噪和增强技术研究[D]. 武汉: 武汉理工大学, 2008.
- [7] 赵风平. 蛋白质凝胶图像消噪技术研究[D]. 济南: 山东师范大学, 2012.
- [8] WU P, WANG Z. The image edge detection algorithm based on wavelet denoising and mathematics morphology[C]. International Symposium on Systems

- and Control in Aeronautics and Astronautics, 2010; 990-995.
- [9] 杨静. 小波分析在医学图像处理中的应用研究[D]. 重庆:重庆大学, 2011.
- [10] 廖源, 孙国强, 钱亮. 基于B样条小波多尺度积图像边缘提取技术[J]. 信息技术, 2013(9):172-175.
- [11] 赵庆平, 陈得宝, 姜恩华, 等. 一种改进权重的非局部均值图像去噪算法[J]. 电子测量与仪器学报, 2014, 28(3):334-339.
- [12] 王冬冬, 田干, 杨正伟, 等. 基于小波分解灰关联的热波检测图像增强[J]. 仪器仪表学报, 2015, 36(5): 1086-1092.
- [13] 张爱民. 一种基于小波变换的夜视图像去噪和融合方法[J]. 电子测量技术, 2015, 38(1):38-40.
- [14] 赵新中, 陶永耀, 贺佩, 等. 一种基于小波邻域的半

软阈值去噪算法[J]. 国外电子测量技术, 2016, 35(4):42-45.

#### 作者简介

吴艳丽, 1988年出生, 硕士研究生, 主要研究方向为数字图像处理等。

E-mail: wuyanlinongda@163.com

赵德群, 1974年出生, 工学博士, 副教授, 主要研究方向为数字图像处理、神经网络等。

E-mail: zdq@bjut.edu.cn

陈鹏宇, 1993年出生, 硕士研究生, 主要研究方向为数字图像处理、信号处理等。

E-mail: m17801071689@163.com

(上接第 52 页)

- [15] 贺毅辉, 叶晨, 刘志忠, 等. 基于 CUDA 的大规模群体行为实时仿真并行实现及优化[J]. 计算机应用, 2012, 32(9): 2466-2469.
- [16] 孙家广, 胡事民. 计算机图形学基础教程[M]. 北京: 清华大学出版社, 2005.
- [17] 胡伟. 一种基于 GPU 硬件加速计算的辐射度实现方法[J]. 计算机研究与发展, 2005, 42(6):945-950.
- [18] 卢风顺, 宋君强, 银福康, 等. CPU/GPU 协同并行计算研究综述[J]. 计算机科学, 2011, 38(3):5-9.
- [19] 吴恩华, 柳有权. 基于图形处理器 (GPU) 的通用计算[J]. 计算机辅助设计与图形学学报, 2004, 16(5): 601-612.
- [20] SHREINER D, SELLERS G, KESSENICH J M, et

al. OpenGL programming guide: The Official guide to learning OpenGL, version 4.3[M]. Addison-Wesley, 2013.

- [21] 张国刚, 徐向辉. 基于加权纹理特征的 SAR 图像目标识别算法[J]. 国外电子测量技术, 2015, 34(9): 22-25.

#### 作者简介

于平, 1986年出生, 硕士研究生、工程师。主要研究方向为高速数据采集与图像处理技术、虚拟现实技术。

E-mail: 454072676@qq.com