

免疫机理的图像去噪方法研究

刘 欢^{1,3}, 欧阳春娟¹, 肖根福²

(1 井冈山大学 电子与信息工程学院, 江西 吉安 343009; 2 井冈山大学 机电学院, 江西 吉安 343009;

3 井冈山大学 流域生态与地理环境监测国家测绘地理信息局重点实验室, 江西 吉安 343009)

摘 要: 为了有效降低图像中的噪声, 提出一种基于免疫机理的图像去噪方法. 该方法通过模拟生物免疫系统中抗体、抗原间信息处理机制来去除图像中的噪声. 一方面考虑中心像素与其一定邻域范围内像素间的抑制作用; 另一方面引入中心像素与邻域外其他像素间存在的相互刺激作用; 将两者结合加权决定该像素灰度估计值, 获得去噪后的图像. 对比实验结果表明: 与其他方法相比, 此方法获得更高的峰值信噪比 (PSNR) 和等效视数 (ENL), 具有更好的视觉效果, 能更好地去除图像中的噪声并保留图像细节信息. 该方法为图像去噪提供了一条新的途径, 对今后的研究具有重要的参考价值.

关键词: 免疫机理; 免疫算法; 图像去噪; 图像处理

中图分类号: TP391.41

文献标识码: A

文章编号: 1000-7180(2016)03-0076-04

Research of Image Denoising Method with Immune Mechanism

LIU Huan^{1,3}, OUYANG Chun-juan¹, XIAO Gen-fu²

(1 College of Electronic and Information Engineering, Jinggangshan University, Jián 343009, China;

2 College of Electromechanical, Jinggangshan University, Jián 343009, China;

3 Key Laboratory of Watershed Ecology and Geographical Environment Monitoring,
NASG Jinggangshan University, Jián 343009, China;)

Abstract: Aiming at denoising image more effectively, an image denoising method based on immune mechanism is proposed. It removes the noise by means of simulating the information processing mechanism correlated to the antibody and antigen in biological immune system. On the one hand, the inhibition between the central pixel and its neighborhood pixels within a certain range is considered. On the other hand, involving the simulation interconnected the central pixel with the others outside the neighborhood range, and then in virtue of the combination of the above two aspects and the weighted calculation as well, a nice denoised image can be obtained by means of estimating the pixel gray. Compared with other methods, the contrast experiment results indicate that the proposed approach can get higher PSNR and ENL with better visual quality, and reduce noise more effectively as well as preserve image detail information very well. It provides a new way and gives an important reference value for future research of image denoising.

Key words: immune mechanism; immune algorithm; image denoising; image processing

1 引言

图像去噪是图像处理中的一个重要研究课题,

除能抑制噪声为后续处理提供更精确的信息外, 还有助于促进其他图像处理问题的解决^[1]. 其目的是从噪声数据中恢复出原始图像或者得到其最佳估

收稿日期: 2015-05-04; 修回日期: 2015-06-19

基金项目: 国家自然科学基金项目(61462016); 江西省科技厅青年科学基金资助项目(20151BAB217012); 江西省科技厅自然科学基金项目(20151BAB207026); 江西省教育厅 2014 年度科技计划资助项目(GJJ14559); 井冈山大学博士科研启动项目(JZB15016, JZB1311)

计^[2],在去噪声的同时尽可能多地保护图像的边缘细节信息,提高图像的峰值信噪比(Peak Signal Noise Ratio, PSNR)与降低均方误差(Mean Square Error, MSE)突出图像特征信息。

图像去噪方法主要分为空间域去噪和变换域去噪两大类。空间域去噪常用的方法有均值去噪法、中值去噪法、维纳去噪法和谐波均值滤波去噪法等。这些方法在保持图像细节与去噪能力之间存在矛盾,去除噪声的同时会导致图像产生较严重的模糊,尤其是图像的边缘和细节处。变换域图像去噪是对含有噪声的图像进行某种变换,然后利用某种方法对变换域中的系数进行处理,再进行反变换,以此达到图像去噪的目的。其中小波变换^[3-4]去噪方法的应用最为广泛。后来又出现了全变分算法(Total Variation, TV),文献[5]提出了一种将曲波变换与全变分算法结合的图像去噪算法。但这类算法在很大程度上依赖于图像的某种变换继而抽象出某一数学特性,不是一种自适性的统计方法,其使用范围受到限制。近来,文献[6]将小波矩与非局部均值算法相结合,有效地去除了去图像中的大量噪声,同时保持了图像的边缘特征,但该算法中小波矩计算量大,局域窗口大小的选择存在困难。

免疫系统是一个能够抵御抗原的高度协调自适应系统。通过抗原、抗体以及抗体之间的相互通信,区分“自己”与“非己”物质保护机体组织。为了克服上述去噪算法中存在的缺点,本文借鉴生物免疫过程中抗原、抗体相互信息处理机制,进行基于免疫机理的图像去噪方法研究。

2 基于免疫机理的图像去噪方法

2.1 免疫算法

免疫算法(Immune Algorithm, IA)的研究始于20世纪80年代后期,由于人们对免疫机理中研究的角度不同,受到的启发存在差别,所以产生的算法也不尽相同,但通常都称为免疫算法^[7]。免疫算法是一种具有较强生命力的智能信息处理方法,它是根据免疫机制抽象出的一种数学模型。主要通过模仿免疫系统抗体与抗原、抗体与抗体间的相互作用,以及其他特殊的免疫机制,提供新颖的自适应智能学习方法。现已广泛应用于计算机与网络安全,模式识别,数据挖掘,机器学习,故障检测与耐受^[8]以及图像处理^[9]。

2.2 免疫算法的图像去噪方法

本文结合细胞免疫学说中的抗体浓度机制,进

行图像去噪的研究。基于免疫算法的图像去噪方法的基本思想是:从信息处理的角度,将当前像素点(视为一抗体)所对应的掩模窗口中其他邻域像素点视为抗原,而图像中当前像素点邻域范围之外的其他所有像素点视为抗体,通过抗原、抗体以及抗体之间的相互抑制-刺激作用决定当前像素点的灰度估计值。

给定一幅离散的含噪图像 $f = \{f(i) | i \in I\}$, I 表示整幅图像,对于其中任何一个像素点 i (视为一抗体), S_i 表示该像素点在滤波时所对应的掩模窗口,大小为 $(2m+1) \times (2m+1)$ 。由该掩模窗口中的邻域像素点(视为抗原)加权得到该中心像素点的估计值 $\hat{f}_{g-b}(i)$,该过程视为抗原对抗体的抑制作用。即

$$\hat{f}_{g-b}(i) = c_i f(i) \quad (1)$$

式中, $f(i)$ 为像素点 i 的灰度值, c_i 表示抗原对抗体 i 的抑制程度,即亲和度,可由抗原与抗体之间欧氏距离来计算,

$$d_i = \sum_{n=1, n \neq i}^{n \in m} \|f(i) - f(n)\| \quad (2)$$

$$c_i = \frac{1}{1 + d_i} \quad (3)$$

像素 i 与像素 j 之间的相似性可由灰度值矩阵 $f(S_i)$ 与 $f(S_j)$ 之间的相似性决定,由此得到中心像素点灰度的另一部分估计值 $\hat{f}_{b-b}(i)$,该过程视为抗体 i 与抗体 j 之间的相互刺激作用,即

$$\hat{f}_{b-b}(i) = \sum_{j \in I} w(i, j) f(j) \quad (4)$$

式中, $w(i, j)$ 表示像素 i (抗体 i) 与像素 j (抗体 j) 之间的相似性(连接权值)通过欧氏距离来衡量。

$$d(i, j) = \sum_{j \in I} \|f(S_i) - f(S_j)\| \quad (5)$$

$$w(i, j) = \frac{1}{R(i)} e^{-\frac{d(i, j)}{k^2}} \quad (6)$$

式中, $R(i) = \sum_{j \in I} \exp(-d(i, j)/k^2)$ 为归一化参数,参数 k 决定平滑程度的系数,可由图像的标准差估计。

将 $\hat{f}_{g-b}(i)$ 与 $\hat{f}_{b-b}(i)$ 加权得到该中心像素点最终灰度估计值 $\hat{f}(i)$,即

$$\hat{f}(i) = \alpha \hat{f}_{g-b}(i) + \beta \hat{f}_{b-b}(i) \quad (7)$$

式中, $0 \leq \alpha \leq 1$, $0 \leq \beta \leq 1$ 和 $\alpha + \beta = 1$,具体取值依据实际问题决定。本文设 $\alpha = 0.7$, $\beta = 0.3$ 。

2.3 算法流程

本文算法流程如下所示。

Step1 输入待去噪的大小为 $M \times N$ 的灰度图像,设定掩模模板的大小为 $(2m + 1) \times (2m + 1)$.

结合免疫模型中抗体 - 抗原及抗体 - 抗体之间的相互作用机理获得像素点灰度估计值.

Step2.1 (抗体 - 抗原): 任意一像素点 i ,以该像素为中心, $(2m + 1) \times (2m + 1)$ 邻域内其他像素点对该中心像素点加权,得到像素点 i 的灰度估计值 $\hat{f}_{g-b}(i)$.

Step2.2 (抗体 - 抗体): 取该邻域范围外其他所有的任意一像素点 j ,利用像素点 i 和 j 之间的相似性获得该中心像素点 i 的估计值 $\hat{f}_{b-b}(i)$.

Step2.3 对上述两作用过程获得的灰度估计值进行加权,设抗体 - 抗原过程的权重为 0.7,抗体 - 抗体过程的权重为 0.3,最终得出该像素点的灰度估计值 $\hat{f}(i)$.

Step3 遍历图像中的每个像素点,算法结束.输出去噪后的图像 f' .

3 实验与分析

3.1 实验设计与评价标准

为了验证本文算法的有效性,选取多组图像分别加不同类型的噪声进行实验,并与均值滤波、谐波均值滤波,非局部均值方法进行对比研究.选择绝对误差 (MAE)、均方差误差 (MSE)、峰值信噪比 (PSNR) 和等效视数 (ENL) 4 个指标作为去噪性能的客观评价尺度.实验都是在每个噪声水平下重复做 100 次取平均值的结果.其中,MAE 可以衡量算法对于图像细节信息的保护能力;MSE 表示两个图像在欧氏空间的整体差异;PSNR (dB) 用来比较去噪后图像与原图像质量的差异,反映图像去噪效果;ENL 用来衡量抑制噪声的程度.定义如下:

$$MAE = \frac{1}{M \cdot N} \sum_{x=1}^M \sum_{y=1}^N [u(x, y) - u_0(x, y)];$$
$$MSE = \frac{1}{M \cdot N} \sum_{x=1}^M \sum_{y=1}^N [u(x, y) - u_0(x, y)]^2;$$
$$PSNR = 10 \times \lg(\frac{255^2}{MSE});$$
$$ENL = \frac{\mu^2}{\sigma^2}.$$

式中, M, N 分别表示图像的长和宽, $u_0(x, y)$ 和 $u(x, y)$ 分别为原始图像和去噪后的图像, μ 和 σ 分别表示去噪后图像的灰度值均值和方差.

本文的实验环境为. CPU: Celeron (R) Dual-Core;主频:2.00 GHz;内存:2 GB;操作系统:Win-

dowXP2002;开发环境:Matlab7.0.

3.2 图像去噪结果与分析

第一组实验是对编写程序生成的方块图像进行的去噪处理,分别是均值去噪、谐波去噪、非局部均值去噪,也采用了本文方法进行去噪.采用不同方法获得的 MAE、MSE、PSNR、ENL 4 个评价指标的比较结果如表 1 所示.

表 1 不同去噪方法的评价指标比较(随机噪声)				
评价指标	MAE	MSE	PSNR	ENL
均值-去噪	6.302 1	214.811 0	35.592 6	4.236 2
谐波-去噪	3.240 7	17.799 2	24.831 7	4.190 6
非局部均值-去噪	1.466 2	13.667 2	36.829 5	4.333 4
本文方法-去噪	0.049 4	0.074 2	59.428 5	6.597 1

第二组实验是对 Lena (512 × 512) 图像加 0.1 的椒盐噪声作去噪处理,分别采用均值去噪、谐波去噪、非局部均值去噪和本文方法去噪.使用不同方法获得的 MAE、MSE、PSNR、ENL 4 个评价指标的比较结果如表 2 所示.

表 2 不同去噪方法的评价指标比较(椒盐噪声)				
评价指标	MAE	MSE	PSNR	ENL
均值-去噪	10.264 8	222.045 0	14.893 1	8.657 5
谐波-去噪	10.261 0	271.612 4	13.717 2	7.431 1
非局部均值-去噪	9.763 8	173.764 7	15.437 7	8.565 3
本文方法-去噪	5.794 6	91.141 1	28.525 6	10.927 0

第三组实验是对 Peppers (512 × 512) 图像加入均值为 0,方差为 0.01 的高斯噪声作去噪处理.第四组是对 Barbara (512 × 512) 图像进行去噪实验,对原始图像使用 PSF (参数设置 LeN = 11, THETA = 5) 退化过程点扩展函数,同时加方差为 0.02 的高斯噪声得到模糊并伴有噪声图像.去噪结果、相关参数的比较如表 3、表 4 所示.

表 3 不同去噪方法的评价指标比较(高斯噪声)				
评价指标	MAE	MSE	PSNR	ENL
均值-去噪	8.215 9	117.964 8	25.413 3	3.510 3
谐波-去噪	13.655 5	114.753 9	13.102 0	2.174 3
非局部均值-去噪	7.196 2	115.222 7	27.515 4	3.632 1
本文方法-去噪	6.794 7	100.542 3	28.117 5	4.683 6

表 4 不同去噪方法的评价指标比较(模糊并加噪声)				
评价指标	MAE	MSE	PSNR	ENL
均值-去噪	15.135 1	464.300 0	21.480 7	7.124 8
谐波-去噪	25.688 0	613.501 6	17.632 4	6.409 7
非局部均值-去噪	15.020 8	450.969 0	21.614 7	7.114 2
本文方法-去噪	14.256 7	409.100 4	22.033 9	7.818 0

实验结果表明,传统的均值滤波和谐波均值滤波处理后噪声得到了一定的抑制,但图像有不同程度的模糊,整体视觉效果不够理想.本文方法在处理

受随机噪声、椒盐噪声、模糊加噪声的图像时效果明显好于其他算法,其中尤以处理椒盐噪声的效果优势最为突出,既可以抑制大量噪声,又保留了图像的边缘细节信息;对于高斯噪声,本文方法与非局部均值去噪算法都能取得较好的效果。

从表 1~4 中的数据可知,在同样的噪声水平下,采用本文所提出的方法进行去噪,得到图像的 PSNR 相对于其他方法得到的 PSNR 高。表 1 中,加随机噪声时,采用本文方法的 PSNR 高达 59.428 5 dB,比其他 PSNR 大 1.61~2.39 倍;同时 MAE 和 MSE 比采用其他方法得到的值小,处理随机噪声时得到的 MAE、MSE 与其他方法相比优势更显著。由本文算法计算得到的 ENL 大于其他方法得到的值,其中相差最大的是处理高斯噪声,达到 2.15 倍;处理随机噪声、椒盐噪声次之,分别为 1.57 和 1.47 倍;最小的是处理模糊并加噪声的值 1.22 倍。这说明经本文方法处理后图像的平滑效果较好,边缘显得更连续。

在此仅以 Peppers 图像为例,加入均值为 0,不同噪声方差 (σ^2 分别为 0.01, 0.02, 0.03, 0.04, 0.05, 0.06) 的高斯噪声,研究采用不同去噪方法的 MAE、MSE、PSNR 和 ENL 值比较结果。从图 1 可以看出,应用本文算法作去噪处理时,MAE 和 MSE 小于其他方法,而 PSNR 和 ENL 大于其他方法,随着噪声方差的增大,由本文方法计算的 4 个参数指标变化较平缓。

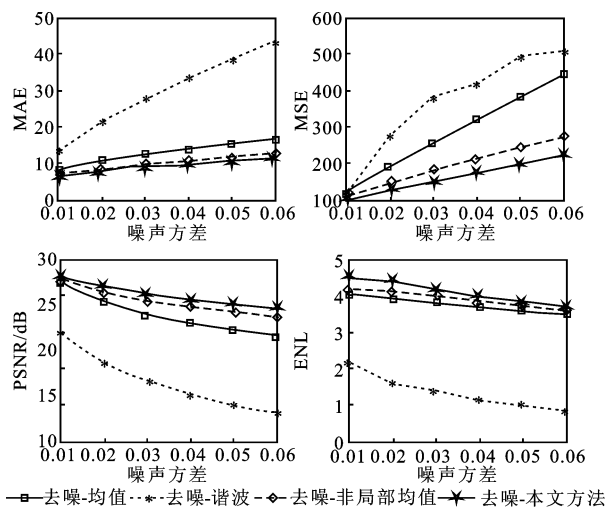


图 1 不同去噪方法的 MAE、MSE、PSNR 和 ENL 比较

4 结束语

本文提出一种基于免疫机理的图像去噪方法。该方法通过借鉴生物免疫系统中抗体、抗原间的信

息处理机制进行图像去噪。对比实验结果表明:本文方法比其他 3 种去噪方法更有效地降低图像中的噪声,并且得到了更大的 PSNR、ENL 值和较小的 MAE、MSE 值。该方法能较好地解决抑制噪声和保留细节之间的权衡问题,具有较好的边缘平滑性和视觉效果,但此方法运行时间上还需进一步优化。因此,将免疫机理应用于图像去噪是可行的,对今后的研究有重要的参考意义。

参考文献:

- [1] Jing Wei. New image denoising model based on fractional-order partial differential equation[J]. Journal of Computer Application, 2011, 31(3): 753-756.
- [2] Xiong Bo, Yin Zhouping. Fast non localmeans for image de-noising on moving average and modified weight function[J]. Journal of Image and Graphics, 2012, 17(5): 628-634.
- [3] 程东旭,郑玉晖,杨艳. 基于 B 样条小波的偏微分方程图像去噪方法[J]. 微电子学与计算机, 2012, 29(2): 184-187.
- [4] 冯欣悦,杨秋翔,安雁艳,等. 基于 SVM 和小波系数的图像去噪算法研究[J]. 微电子学与计算机, 2014, 31(8): 119-122.
- [5] 周志立,万登沪. 基于曲波变换与整体变分的图像去噪算法[J]. 微电子学与计算机, 2013, 30(12): 61-63.
- [6] Zhang Yu, Wang Xiangyang. Nonlocal-means algorithm for image denoising based on wavelet moment in domain[J]. Journal of Chinese Computer Systems, 2012, 33(9): 2079-2082.
- [7] Dong Y H, Li G M. A parallel PCG solver for MODFLOW[J]. Ground Water, 2009, 47(6): 845-850.
- [8] Zhong Y F, Zhang L P, Huang B, et al. An unsupervised artificial immune classifier for multi/hyperspectral remote sensing imagery[J]. IEEE Transaction on Geoscience and Remote Sensing, 2006, 44(2): 420-431.
- [9] Li Haifang, Wang Li. Research of image clustering algorithm based on artificial immune[J]. Computer Engineering and Application, 2007, 43(20): 181-183.

作者简介:

刘欢女, (1981-), 博士, 讲师。研究方向为图形图像处理、模式识别与智能系统、机器视觉。

E-mail: liuhuan816618@163.com.

欧阳春娟女, (1974-), 博士, 副教授。研究方向为信息隐藏、智能优化。

肖根福男, (1980-), 博士, 讲师。研究方向为智能计算、优