

一种新型提高光斑图像质心精度的去噪方法*

肖锋钢, 刘建国, 曾宗泳, 刘增东

(中国科学院安徽光学精密机械研究所, 合肥 230031)

摘要: 提出了一种新的结合自适应中值滤波和阈值的去噪方法。与其他中值滤波方法不同, 这里采用的自适应中值滤波的滑动窗口大小根据窗口内灰度的均值与最佳阈值下目标部分灰度均值和背景部分灰度均值的差别自适应确定。实验结果表明, 与仅用中值滤波或仅用简单阈值对图像去噪的方法相比, 利用该去噪方法, 图像的信噪比提高了 10.42 dB, 光斑图像质心的精度最大提高了 80% 左右。

关键词: 自适应; 中值滤波; 阈值; 阈值中值滤波

中图分类号: O439 **文献标志码:** A **文章编号:** 1001-3695(2008)12-3683-02

New denosing method for improving speckle image centroid accuracy

XIAO Feng-gang, LIU Jian-guo, ZENG Cong-yong, LIU Zeng-dong

(Anhui Institute of Optics & Fine Mechanics, Chinese Academy of Sciences, Hefei 230031, China)

Abstract: This paper proposed a new noise reduction method combined both adaptive median filtering algorithm and threshold method. The difference between this median filtering method and other method was that, the size of the filter window was selected adaptively by the difference between the average gray in the slide window and the average gray of the background and object under the optimized threshold of the image. The experimental results show that, compared to the method only based on median filtering or simple threshold method, the signal noise ratio (SNR) of the image is improved by 10.42 dB, and the accuracy of the centroid is improved 80% by using the method proposed.

Key words: adaptive; median filter; threshold; threshold median filtering

在成像法测量大气温度梯度系统中, 为了实现对温度梯度的测量的精确测量, 探测系统必须能够实时、精确地确定光斑图像的质心位置, 以准确计算出它与参考位置的偏差, 然后根据这个偏差反演温度梯度。但是对于一幅由 CCD 采集的图像, 总是会受到光子噪声、读出噪声误差、背景暗电平及杂散光等噪声的干扰。因此, 为了保证光斑图像质心的精度, 必须对图像进行去噪。目前, 已经有很多人对提高质心探测精度方面的工作进行了研究。Cao Gen-rui、沈锋等人详细讨论了质心探测误差的主要来源及其相互关系, 并从理论上分析了不同噪声来源对质心探测精度的影响^[1,2]; 任剑峰等人提出了一种基于类别方差的自适应阈值选取方法^[3], 此法对信噪比大于 3 的图像处理效果比较好, 而对于信噪比小于 3 的图像处理效果并不好。

本文提出了一种新的结合自适应中值滤波和阈值的去噪方法, 弥补了仅用阈值法对图像去噪的方法在图像信噪比小于 3 时无能为力的缺点。利用本文的方法, 首先对要处理的图像进行 TM 滤波, 图像的信噪比明显提高, 因此质心探测的精度比用简单的阈值法提高很多, 特别是在噪声密度大的情况下。

1 自适应阈值选取的方法

1.1 阈值对质心探测精度的影响

在成像法测量大气温度梯度装置中(关于此装置的结构

将在其他文章中详述), 光斑图像成像在 CCD 上, 并经由图像采集卡送至计算机处理。由 CCD 摄像头得到的图像包含多种噪声, 主要包括: a) 原理误差; b) 光子噪声误差; c) 读出噪声误差; d) 背景暗电平及杂散光的干扰^[1,2]。其中, c) d) 是相互独立的相加性误差, 与光斑信号互不相关, 可以通过设置一个阈值的方法消除^[3]。

1.2 自适应阈值选取方法

图像的自适应选取在图像分析和处理中起着重要作用, 目前已经提出了数十种方法。其中常用的方法只有几种, 如最大熵方法、简单统计法、Otsu 方法。文献[4]在 Otsu 方法的启发下, 提出了一系列实用的阈值选取方法, 其核心思想是类间方差最大。图像灰度直方图中任一灰度等级将图像分为目标和背景两类, 以代表灰度分布均匀性的方差作为分离特征(Otsu 方法是以均值为分离特征), 目标和背景内部一般比较均匀, 当目标部分的方差和背景部分的方差与整体方差相差最大时, 对应的阈值即为最佳阈值。类间方差最大的分割意味着目标和背景部分错分的概率最小。

基于类别方差最大的最佳阈值选取有如下两个公式:

$$g = \arg \max_{0 \leq t \leq m-1} [(\sigma_0^2(t) - \sigma^2)(\sigma_1^2(t) - \sigma^2)] \quad (1)$$

$$g = \arg \max_{0 \leq t \leq m-1} [\omega_0(t)(\sigma_0^2(t) - \sigma^2) + \omega_1(t)(\sigma_1^2(t) - \sigma^2)] \quad (2)$$

$$\sigma_0^2(t) = [1/\omega_0(t)] \sum_{0 \leq i \leq t} (i - \mu_0(t))^2 p(i)$$

$$\sigma_1^2(t) = [1/\omega_1(t)] \sum_{t < i \leq m-1} (i - \mu_1(t))^2 p(i)$$

收稿日期: 2008-01-18; 修回日期: 2008-03-19 基金项目: 中国科学院知识创新工程重要方向资助项目(KZCX2-YW-411)

作者简介: 肖锋钢(1983-), 男, 河南安阳人, 硕士, 主要研究方向为光电子技术(xiaofenggang@aiofm.ac.cn); 刘建国(1968-), 男, 研究员, 博士, 主要研究方向为环境污染光学监测新技术、目标散射特性及遥感监测技术; 曾宗泳(1940-), 男, 研究员, 主要研究方向为大气湍流; 刘增东(1979-), 男, 博士, 主要研究方向为弱信号提取与处理。

$$\sigma^2(t) = \sum_{0 \leq i \leq m-1} (i - \mu(t))^2 p(i), \omega_0(t) = \sum_{0 \leq i \leq t} p(i)$$

$$\omega_1(t) = \sum_{t < i \leq m-1} p(i), \mu_0(t) = [1/\omega_0(t)] \sum_{0 \leq i \leq t} ip(i)$$

$$\mu_1(t) = [1/\omega_1(t)] \sum_{t < i \leq m-1} ip(i), \mu(t) = \omega_0(t)\mu_0(t) + \omega_1(t)\mu_1(t)$$

其中: t 为门限值; i 为灰度值; $p(i)$ 为灰度出现的频数。

式(1)为乘积型,式(2)为加权和型,可以证明它们是等价的。对同一类方法中,乘积型要比加权和型的效果好些^[4]。文献[3]采用的是式(2),本文采用的是乘积型的式(1)。

基于类别方差最大的最佳阈值选取有其自身的特点:它不受灰度值的线性变化(图像的对比度变化)和平移变化(图像亮度变化)的影响,对某些导致平方差有线性变化或平移变化的干扰不会影响阈值的选取。

2 滤波算法的实现与原理分析

从计算机采集到的图像,噪声与信号是混合在一起的,为了提高图像的信噪比(保护信号、抑制噪声)需要对图像进行去噪处理。中值滤波是当前应用最广泛的滤波方法之一,它既能去除噪声,又能较好地保留图像的边界信息。而中值滤波去噪的效果依赖于滤波窗口的大小及参与中值计算的像素点数^[5],窗口太大会损失图像的细节;窗口太小去噪效果又不好。邢藏菊、苟中魁等人提出了一种自适应的极值中值滤波EM算法^[5,6],文献[7]也提到了一种新型的自适应中值滤波算法。而EM算法不能准确地区分噪声点和信息点,文献[7]中的方法又过于复杂,结合需要,本文提出一种新型的自适应中值滤波算法——阈值中值(TM)滤波算法。

阈值中值滤波算法仍使用滑动窗口技术。滑动窗口的大小根据滑动窗口内灰度的均值 avr 与最佳阈值下目标部分灰度均值和背景部分灰度均值的差别自适应确定,设 avr 与最佳阈值下灰度均值差的绝对值为 d_0 , avr 与背景的灰度均值差的绝对值为 d_1 。与文献[7]相似,滤波窗口分为 $3 \times 3, 5 \times 5, 7 \times 7$ 三个等级,如果 $d_0 < d_1$,则认为该滑动窗口内的灰度更接近于噪声,则该像素点的滤波窗口为 7×7 ;如果 $d_0 > d_1$,则认为该滑动窗口内的灰度更接近于目标,滤波窗口采用 3×3 ,以保持目标部分的细节;如果 $d_0 = d_1$,则滤波窗口采用 5×5 。

以最大的 7×7 窗口的中心点 (i, j) 为研究对象, $f(i, j)$ 为其灰度值,计算过程中不考虑图像的边界部分。算法具体步骤如下:

a) 根据第1章中提到的自适应阈值选取方法计算出图像的最佳阈值 Th , Th 将图像分割为背景(噪声)部分和目标(信号)部分。

b) 分别计算出最佳阈值 Th 下背景部分和目标部分的灰度的均值 μ_0 和 μ_1 。

c) 计算滑动窗口内灰度的均值 avr 。

d) 根据 avr 与和确定滑动窗口的大小 lw , 初始化滤波窗口为 3×3 。

- if $abs(avr - \mu_0) > abs(avr - \mu_1)$ $lw = 3 \times 3, f(i, j) = meds_{3 \times 3}$;
- if $abs(avr - \mu_0) = abs(avr - \mu_1)$ $lw = 5 \times 5, f(i, j) = meds_{5 \times 5}$;
- if $abs(avr - \mu_0) < abs(avr - \mu_1)$ $lw = 7 \times 7, f(i, j) = meds_{7 \times 7}$;

其中: $meds_{n \times n}$ 表示 $n \times n$ 滤波窗口中像素灰度值的中值。

3 实验结果

在采用阈值法计算光斑质心之前,首先采用阈值中值滤波算法对图像进行滤波,以提高图像的信噪比,然后再计算光斑质心。为了验证本算法的效果,制作了一幅 100×100 的光斑图像,光斑的理论质心为 $(50, 50)$;然后分别加入 5%、10%、20%、30%、40%、50% 不同的噪声密度的高斯噪声作为待处理的图像,如图1所示。

3.1 信噪比的提高

利用信噪比的计算公式,输入图像的信噪比:

$$SNR = 10 \lg | \sum_{i,j} S_{ij}^2 / \sum_{i,j} (S_{ij} - X_{ij})^2 | \quad (3)$$

输出图像的信噪比为

$$SNR = 10 \lg | \sum_{i,j} S'_{ij}^2 / \sum_{i,j} (S'_{ij} - Y_{ij})^2 | \quad (4)$$

式中: S_{ij} 为未加噪声的原始图像 $[S_{ij}]$ 的第 (i, j) 个像素点的灰度值, X_{ij} 为输入图像 $[X_{ij}]$ 的第 (i, j) 个像素点的灰度值, Y_{ij} 为输出图像 $[Y_{ij}]$ 的第 (i, j) 个像素点的灰度值。本例中 $1 \leq i, j \leq 100$ 。

图2给出了不同噪声密度下输入图像的信噪比和经过TM滤波后对应的输出图像的信噪比(单位 dB)。由图可见,本文提出的TM滤波算法明显地改善了输入图像的信噪比。

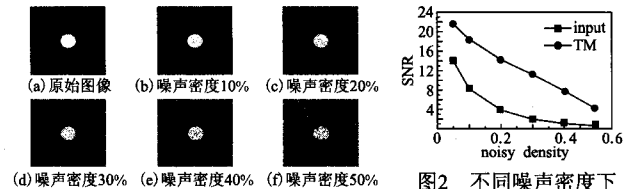


图1 原始图像和加入不同噪声密度的图像 图2 不同噪声密度下输入图像和经过TM滤波后输出图像的信噪比

3.2 质心探测精度的提高

设 $P(x, y)$ 为点 (x, y) 处光斑信号的强度,则根据光斑质心的定义,质心的计算公式为

$$x_c = \iint xP(x, y) dx dy / \iint P(x, y) dx dy \quad (5)$$

$$y_c = \iint yP(x, y) dx dy / \iint P(x, y) dx dy$$

因为 CCD 的离散采样特性,所以质心计算公式为

$$x_c = \sum_{i,j} x_i P_{ij} / \sum_{i,j} P_{ij}; y_c = \sum_{i,j} y_i P_{ij} / \sum_{i,j} P_{ij} \quad (6)$$

其中: x_i 和 y_i 分别为第 (i, j) 个像元对应于 CCD 上的坐标; P_{ij} 为第 (i, j) 个像元接收到的信号强度; L, M 是探测窗口内 x 和 y 方向的像元个数。

表1是没有经过TM滤波的简单阈值法计算的光斑质心与采用TM滤波与阈值结合的方法计算的质心坐标及分别与理论质心坐标的距离。由表1可见,在噪声密度比较低的情况下(噪声密度 < 20%),采用滤波算法后质心精度略微降低,噪声密度 > 20%后,利用本文提出的去噪方法得出质心的探测精度比简单阈值法有明显提高,最大提高了79%。所以在实际处理过程中,在图像的噪声密度比较低($\leq 20\%$)的情况下,则仅使用阈值滤波;而当噪声密度比较高($\geq 20\%$)时,则在阈值去噪之前加上本文提出的自适应中值滤波方法。这只要在处理之前计算图像的信噪比来判断是否采用滤波即可。

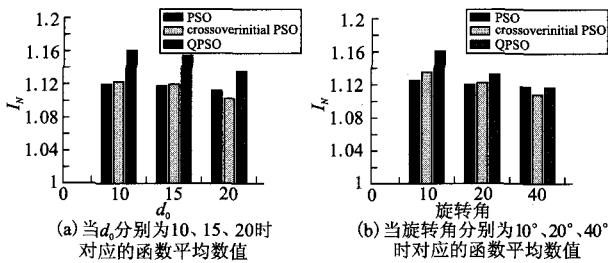


图4 函数平均数值

表 2 记录了每次配准过程所耗费的时间 (794 MHz Pentium processor, 1.0 GB memory) 的平均值。

表 2 平均耗费时间

算法	d_0			rotate		
	10	15	20	10°	20°	40°
Powell	35.7	3 663.4	3 679.7	3 699.9	3 712.8	3 707.9
PSO	38.4	3 383.3	3 733.6	3 808.4	3 765.8	3 564.3
QPSO	3 503.5	3 667.4	3 516.6	3 467.3	3 629.3	3 532.2

由上述结果可以看出,在时间上 Powell 算法明显快许多,但同时配准结果误差很大,由于最大互信息函数的多峰值使得该算法很快陷入局部极值而停止。用这三种优化算法进行的配准过程,QPSO 和 PSO 算法配准所耗时间基本相同,前者稍快;PSO 算法较之 Powell 算法配准精度提高了不少,但是它搜索到的仍只是靠近全局最优解附近的局部极值;QPSO 比 PSO 算法配准结果更优,基本接近全局最优解。究其原因,在标准 PSO 系统中,粒子的收敛是以轨道的形式实现的,且粒子的速度总是有限的,因此在搜索过程中粒子的搜索空间是一个有限的区域,不能覆盖整个可行的空间。所以标准 PSO 算法不能保证以概率 1 收敛到全局最优解,甚至不能收敛于局部最优解。因此要找到最佳配准位置的速度较慢,甚至找不到最佳配准位置。

对比仿真表明,从量子力学角度出发提出的 QPSO 算法在配准过程中具有较大的优势。这是因为 QPSO 所基于的量子系统具有非线性和不确定性,所以在此系统中,一个粒子能够以某一确定的概率出现在整个可行的搜索空间中任意一个位置,而非限定在某一个固定区域内,因而增加了找到更好适应值的可能。

4 结束语

本文分析了医学图像匹配的一些方法,利用 QPSO 算法全局收敛性,提出使用 QPSO 算法作为搜索优化策略算法来解决

图像匹配过程中计算复杂的问题。仿真表明,QPSO 算法作为优化策略,较好地解决了图像配准中连续变量全局优化的问题,对初始点的选取要求较低、不易落入局部极值、实现简单,在配准结果上优于其他算法,具有很好的精确性和鲁棒性,且算法具有较好的实时性,具有很高的实际应用价值。

参考文献:

- [1] MAINTZ J B A, VIERGEVER M A. A survey of medical image registration[J]. *Medical Image Analysis*, 1998,2(1):1-36.
- [2] JENKINSON M, SMITH S. A global optimization method for robust affined registration of brain images[J]. *Medical Image Analysis*, 2001,5(2):143-156.
- [3] BROWN L G. A survey of image registration techniques[J]. *Computing Surveys*, 1992,24(4):325-376.
- [4] MOFRDIYXKI J. Numerical methods for image registration[M]. New York: Oxford University Press, 2004.
- [5] KENNEDY J, EBERHART R. Particle swarm optimization[C]//Proc of IEEE International Conference on Neural Network. Perth: IEEE Press, 1995:1942-1948.
- [6] SHI Yu-hui, EBERHART R. A modified particle swarm optimizer[C]//Proc of IEEE International Conference of Evolutionary Computation. Piscataway: IEEE Press, 1998:69-73.
- [7] CLERC M. The swarm and the queen: towards a deterministic and adaptive particle swarm optimization[C]//Proc of Congress on Evolutionary Computation. Piscataway: IEEE Press, 1999:1951-1957.
- [8] SUN Jun, FENG Bin, XU Wen-bo. Particle swarm optimization with particles having quantum behavior[C]//Proc of Congress on Evolutionary Computation. 2004:325-331.
- [9] FANG Wei, SUN Jun, XU Wen-bo. Design IIR digital filters using quantum-behaved particle swarm optimization[C]//Proc of the 2nd International Conference on Natural Computation. Berlin: Springer, 2006:992-998.
- [10] SUN Jun, XU Wen-bo, FANG Wei. Solving multi-period financial planning problem via quantum-behaved particle swarm algorithm[C]//Proc of International Conference on Intelligent Computing. Berlin: Springer, 2006:1158-1169.
- [11] SUN Jun, XU Wen-bo, LIU Jing. Training RBF neural network via quantum-behaved particle swarm optimization[C]//Proc of the 13th International Conference on Neural Information Processing. Berlin: Springer, 2006:1156-1163.
- [12] XI Mao-long, SUN Jun, XU Wen-bo. Quantum-behaved particle swarm optimization for designing H-infinity structured specified controllers[C]//Proc of DCABES Conference. 2006:42-46.
- [13] PLUIM J P W, MAINTZ J B A, VIERGEVER M A. Mutual-information-based registration of medical images: a survey[J]. *IEEE Trans on Medical Imaging*, 2003,22(8):986-1004.
- [14] VIOLA P, WELLS W M. Alignment by maximization of mutual information[J]. *Journal of Computer Vision*, 1997,24(2):137-154.

(上接第 3684 页)

表 1 简单阈值法与本文算法对比

噪声密度 /%	质心坐标		与理论质心坐标的距离	
	简单阈值法	本文算法	简单阈值法	本文算法
5	(50.003,50.037)	(49.989,50.039)	0.037 1	0.040
10	(49.972,50.018)	(49.951,50.019)	0.033 3	0.053
20	(49.901,49.870)	(49.932,49.922)	0.163	0.103
30	(50.365,50.254)	(49.800,50.039)	0.445	0.204
40	(49.028,49.689)	(50.031,49.791)	1.020	0.211
50	(49.163,49.515)	(50.396,49.919)	0.967	0.404

4 结束语

利用本文提出的结合自适应中值滤波和阈值的去噪方法,与仅用中值滤波或仅用简单阈值对图像去噪的方法相比,图像的信噪比提高了 10.42 dB,光斑图像质心的精度最大提高了

80%左右。所以结合自适应中值滤波和阈值的去噪方法是较好的方法。

参考文献:

- [1] CAO Gen-rui, YU Xin. Accuracy analysis of a hartmann-shack wavefront sensor operated with a faint object[J]. *Optical Engineering*, 1994,33(7):2331-2335.
- [2] 沈锋,姜文汉. 提高 Hartmann 波前传感器质心探测精度的阈值方法[J]. *光电工程*,1997,24(3):1-8.
- [3] 任剑峰,饶长辉,李明全. 一种 Hartmann-Shack 波前传感器图像的自适应阈值选取方法[J]. *光电工程*, 2002,29(1):1-5.
- [4] 付忠良. 图像阈值选取方法[J]. *计算机应用*,2000,20(5):37-39.
- [5] 邢藏菊,王守觉,邓浩江,等. 一种基于极值中值的新滤波算法[J]. *中国图象图形学报*,2001,6A(6):534-536.
- [6] 苟中魁,张少军,李忠富. 一种基于极值的自适应中值滤波算法[J]. *红外与激光工程*,2005,34(1):98-100.
- [7] 肖助明,冯月亮,李涛,等. 一种新型自适应中值滤波算法[J]. *湘潭师范学院学报:自然科学版*, 2006,28(2):28-32.