

文章编号:1001-9081(2009)06-1728-03

一种新型均值滤波器及在压力分布中的应用

刘世法^{1,2}, 周旭^{1,3}, 孙怡宁^{1,3}, 徐苏¹, 祁朋祥¹

(1. 中国科学院合肥智能机械研究所, 合肥 230031; 2. 中国科学技术大学自动化系, 合肥 230031;
3. 安徽省仿生感知与先进机器人技术重点实验室, 合肥 230031)
(liushifa2006@163.com)

摘要:提出了一种加入时间窗的时空自适应窗体内中心加权的均值滤波算法,在自适应的时空滤波窗体内采用中心加权的均值选取并结合加权均值算法滤除压力分布中混合噪声。实验证明:该方法对于受椒盐噪声、高斯噪声污染比较严重的压力分布数据有较好的滤波效果,与小波、维纳滤波等其他线性滤波算法相比计算量要小得多。

关键词:压力分布;中心加权中值滤波;加权均值滤波;时间窗

中图分类号: TP301.4 **文献标志码:** A

Describe a new type of mean filter and its application in pressure distribution

LIU Shi-fa^{1,2}, ZHOU Xu^{1,3}, SUN Yi-ning^{1,3}, XU Su¹, QI Peng-xiang¹

(1. Institute of Intelligence Machines, Chinese Academy of Science, Hefei Anhui 230031, China;
2. Department of Automation, University of Science and Technology of China, Hefei Anhui 230031, China;
3. Key Laboratory of Biomimetic Sensing and Advanced Robot Technology of Anhui, Hefei Anhui 230031, China)

Abstract: A new center-weighted median and mean filter algorithm with self-adaptive time-space filter window was proposed. The algorithm combined weighted center median filter with weighted mean filter for denoising Gaussian noise and salt-pepper noise. The experimental results show that this algorithm can effectively remove the mixed noise in the pressure distribution data, while its computing time is less than that of other linear algorithms of wavelet, Wiener filter and so on.

Key words: pressure distribution; center weighted median filter; weighted mean filter; time window

0 引言

压力分布测试系统指的是对被测物体(如脚)表面与压力分布测试仪接触状况的测试与分析。可用于包括人机功效、工业控制(如个性化制鞋等)、生物力学、生物特征识别等多个领域。

我们实验室自主研发的压力分布测试系统由压力分布测试仪和采集分析软件组成。压力分布测试仪面积为48 cm × 48 cm,有效测量面积为40 cm × 40 cm,其上共分布有1600个传感器,这些传感器组成传感器阵列,将敏感材料按矩阵状印刷到两片厚为0.075 mm的聚酯薄膜上,两片薄膜上的传感器分别形成行排列和列排列,当受压时,传感器形成压力感应矩阵,压力越大,电阻越小。平板压力测试仪采集到的是40 × 40的二维点阵数据,分析软件需要对点阵数据做线性插值后即可显示出二维压力分布图,但数据中存在高斯噪声和椒盐噪声。在对压力分布数据做线性插值之前需要对数据先做去噪处理,因其数据形式特别类似于灰度视频数据,因此视频、图像数据处理中的去噪算法对压力分布数据处理是一种很好的借鉴。

1 经典中值和均值滤波算法

标准的均值滤波算法一般是指在某种滤波窗口内计算滤波窗口内所有数据元素的均值作为该窗口中心元素的滤波输出值。这种算法在一定程度上对高斯噪声能加以抑制,但它不能很好的保护数据的细节,并有可能使噪声对他周围数据

点的影响扩大,从而使图像变得模糊。标准的中值滤波算法是指在某种形状的滤波窗口内计算窗口内所有数据元素的中值,以计算出的中值作为该滤波窗口内中心元素的滤波输出。这种算法对脉冲噪声(椒盐噪声)有很好的抑制作用,但当椒盐噪声的密度比较大时,中值滤波的效果就会明显变差。

在实际的图像数据中往往同时存在着高斯噪声和脉冲噪声,采用单一的滤波算法往往无法达到理想的效果,因此很多的学者提出了一些融合中值滤波、均值滤波算法的改进型算法。如比较典型的MTM算法和IMF算法。

1.1 MTM 算法

MTM算法^[6]的思想:在处理点阵数据中坐标为 (i,j) 的数据点时,首先选取滤波窗口内的中值 $m_{i,j}$ 。以 $m_{i,j}$ 为中心选取一个大小为 $2 \times k$ 的区间 $[m_{i,j} - k, m_{i,j} + k]$ 。将滤波窗口内所有落在选定区间内的数据点做平均,并将其结果作为最终的滤波输出。MTM算法的数学表达式为:

$$y_{i,j} = \text{ave}\{x_{m,n} / m_{i,j} - k < x_{m,n} < m_{i,j} + k, (m,n) \in W_{i,j}\} \quad (1)$$

其中 $W_{i,j}$ 为滤波窗内数据点的集合。

由于选择窗口中值作为滤波窗口的中心,MTM滤波器对脉冲噪声的滤除效果比较明显,同时算法对落在 $[m_{i,j} - k, m_{i,j} + k]$ 内的数据点做平均,因此对高斯噪声也有一定的抑制作用。但MTM算法的缺点是对阈值 k 太过依赖,阈值的选择直接影响着滤波效果。

1.2 IMF 算法

由于MTM算法对阈值太过依赖,因此一些学者在MTM

收稿日期:2008-12-11;修回日期:2009-02-24。 基金项目:中国科学院合肥物质科学研究院院长基金资助项目。

作者简介:刘世法(1983-),男,山东沂水人,硕士研究生,主要研究方向:信号处理、软件工程;周旭(1975-),男,安徽枞阳人,助理研究员,主要研究方向:嵌入式系统、传感器技术;孙怡宁(1963-),男,安徽太湖人,研究员,博士生导师,主要研究方向:力敏传感、智能信息处理、光机电一体化、运动生物力学、智能机器人。

算法基础上提出了 IMF 算法,该算法兼顾均值滤波和中值滤波的优点,同时不需要进行阈值选择。

IMF 算法^[6]的思想:在处理点阵数据中坐标为 (i, j) 的数据点时,首先以该点为中心选取 $N \times N$ 大小的滤波区域,求出此窗口内的中值 $m_{i,j}$,再求出滤波窗内各数据点 $x_{m,n}$ 与窗口中值的差的平方:

$$d_{m,n} = (x_{m,n} - m_{i,j})^2 \quad (2)$$

并按式(3)来计算未归一化时其相应的加权系数:

$$r_{m,n} = 1/(1 + d_{m,n}) \quad (3)$$

然后对滤波窗内所有的权系数进行相加求和得 sum ,则归一化后的加权系数为:

$$w_{m,n} = r_{m,n}/sum \quad (4)$$

最后将滤波窗内各数据点与对应的归一化权值进行加权求和,并将结果作为最终的滤波输出。

不难看出,IMF 算法也是以中值作为滤波窗口的中心,并且利用各数据点与中值的方差来计算权值,因此能够除去一部分脉冲噪声,另外对窗内各点做加权求和,类似均值滤波,可以抑制一部分高斯噪声,并且没有阈值的约束。但该算法是直接利用各点和中值之间的差值来决定权值的大小,这有可能使某些与中值相差较小的含噪数据点权值较大,扩大了这些含噪数据点对滤波输出的影响,从而使得滤波性能变差。

2 本文算法的分析

压力分布数据与图像数据相似,可以参考图形图像数据处理中的滤波算法,但是压力分布数据有其时域信号特性,类似于视频数据,整个数据是一个动态变化的过程,仅利用压力分布数据帧二维平面内的数据还不足以判定压力分布数据的信噪特性。如压力分布测试仪在标定过程中采集到的每帧数据在每一平面域内具有噪声特性,但在整个时域内来看则不能判定为噪声。因此,本文在分析 MTM 算法和 IMF 算法的基础上,引入时间域,把滤波窗口扩展到三维时空,依据硬件数据采集的频率设定滤波时间窗的大小;在计算窗体中值时,采用中心加权算法,按权复制窗体中心元素,增强窗体中心的影响;取一定阈值限制与窗体中值偏离过大的元素的权值大小;并可自适应得调节三维时空滤波窗体的大小。这样既关注每一时刻的压力数据在二维平面内的分布情况,又关注该时刻前后一定时间段内压力分布数据的时域变化趋势,极大的提高了对噪声检测的准确度,在压力分布数据预处理中有非常好的滤波效果。

2.1 算法核心要素

本文算法的核心要素包括:

1) 时间窗的大小应与采样频率 F 成反相关性。压力分布采集系统的硬件采样频率是可调的,相邻数据帧的时间间隔也会相应变化,在低采集频率下时间窗帧数的大小不易设置的过大,否则时间窗时间太长就使压力分布数据模糊。同样,在高采样频率下的时间窗帧数应相应的调大。

2) 采用中心加权的均值选取^[4]。传统算法一般在滤波窗口的中值两侧取均值区间,等于认为中值近似为信号的滤波输出,但是窗口中值并不一定接近真实信号,如果噪声比较接近中值,则噪声就易被扩散,因此采用窗体中心加权的均值选取,按权重次数复制窗体中心的压力值,这样强化滤波窗口中心的作用,但是会牺牲一点对高斯噪声的降噪能力。

3) 三维时空滤波窗体在每一帧的平面二维空间有自适应的能力。当窗体内噪声密度较大时,自适应得调节滤波窗体在二维平面内的大小,在噪声密度比较大的环境下能提高去

噪能力^[6]。

4) 求取窗体内所有元素与中值差平方的均值 T_i ,以 T_i 为中心选取一个区间 $[T_i - d, T_i + d]$ 作为阈值来计算窗体内各点的权值,与中值偏离较大的压力点的权值受阈值限制,增强对高斯噪声的滤除能力。

2.2 算法参数公式

假设现在要处理 t 时刻压力分布数据帧中的元素 $x_{i_0,j_0,t}$, (i, j, t) 为三维时空滤波窗体中压力元素的行、列、时间坐标, t 为该帧压力分布数据的时间戳。设 m_i 为三维时空滤波窗体的中心加权中值, T_i 为三维时空滤波窗体内有效元素的压力值与窗体中值的差的平方的均值, F 为压力分布采集系统的数据采样频率, Q_i 为三维时空滤波窗体内所有元素的集合。 N 为三维时空滤波窗体内的有效元素总数。 q 为对窗体中心的复制权重。

计算滤波窗体内中值的计算公式如下:

$$m_i = \text{med} \{ \{ x_{m,n,t-k}/(m,n,t-k) \in Q_i \}, \{ x_{m,n,t-k+1}/(m,n,t-k+1) \in Q_i \}, \dots, \{ x_{m,n,t}/(m,n,t) \in Q_i \} \text{ 且 } (m,n) \neq (i,j) \}, \{ x_{i,j,t} \diamond q, \dots, \{ x_{m,n,t+k-1}/(m,n,t+k-1) \in Q_i \}, \{ x_{m,n,t+k}/(m,n,t+k) \in Q_i \} \} \quad (5)$$

其中:med为取集合的中位值的运算符, $2k+1$ 为时间窗的大小,即把以当前待处理数据帧前后各 k 帧数据作为时间窗参考 \diamond 为复制操作符, q 值可以取为3,5等整数。在计算窗体中值时,首先需要把窗体中心元素复制 q 次,然后把窗体内所有元素采用快速排序法从小到大排序,排序后所得序列的中位值就是要求的窗体中值。在滤波窗体较大时, q 可以取得稍大点,增强窗体中心的影响。

窗体内所有有效压力元素与中值差平方的均值的计算公式如下:

$$T_i = \frac{\sum_{(m,n,s) \in Q_i} (x_{m,n,s} - m_i)^2}{N} \quad (6)$$

窗体内各压力点的归一化权值的计算公式如下:

$$w_{m,n,s} = \frac{1/(1 + T_{m,n,s})}{\sum_{(u,v,w) \in Q_i} [1/(1 + T_{u,v,w})]} \quad (7)$$

其中:

$$T_{m,n,s} = \begin{cases} T_i + d, & (x_{m,n,s} - m_i)^2 > T_i + d \\ T_i - d, & (x_{m,n,s} - m_i)^2 < T_i - d \\ (x_{m,n,s} - m_i)^2, & \text{其他} \end{cases} \quad (8)$$

d 为阈值,初始值取为:

$$d = \max(|(x_{m,n,s} - m_i)^2 - T_i| / (m,n,s) \in Q_i) / 2 \quad (9)$$

当前待处理压力点的滤波输出的计算公式如下:

$$f_{i,j,t} = \sum_{(m,n,s) \in Q_i} w_{m,n,s} \times x_{m,n,s} \quad (10)$$

2.3 算法步骤

1) 以当前待处理压力点作为三维时空滤波窗体内的中心点元素 $x_{i_0,j_0,t}$ 。若该元素为数据帧上下左右4个边界上的元素,则进行镜像边界扩展;若该数据帧为起始帧或结束帧,则进行时间窗的镜像扩展。

2) 依据当前测试系统的采样频率大小 F ,确定滤波窗体的时间窗 T 的大小。在 $F = 25 \text{ Hz}$ 时,取时间窗为 $T = 5$; $F = 100 \text{ Hz}$ 时,取时间窗为 $T = 21$; $F = 200 \text{ Hz}$ 时,取时间窗大小为 $T = 41$;二维平面的滤波窗口大小的初始值为 3×3 ,经过一

次扩展后的窗口大小为 5×5 。则当 $F = 100 \text{ Hz}$ 时,对应的三维时空滤波窗体的大小为 $21 \times 3 \times 3$ 。

3) 根据式(5) 计算当前滤波窗体内的中心加权的压力中值 m_i ,窗体中心的权重 q 的初始值为 3。

4) 统计三维时空滤波窗体内的压力分布数据元素的最大值、最小值、负数值,并用窗体内每个元素与最大值、最小值、负数值比较,如果元素等于最大值或等于最小值或大小为负(正常的压力分布数据不可能出现负值,负压力值肯定是噪声点),则将该元素从窗体中去掉^[6]。

5) 如果统计结束后窗体内无剩余有效的压力数据元素,则扩大三维时空窗体在二维平面空间中的大小,并增大窗体中心的复制次数权重 q ,即如果初始滤波窗体为 $21 \times 3 \times 3$,则新的三维时空滤波窗体扩展为 $21 \times 5 \times 5$,返回 3)。重新计算新滤波窗体的中心加权中值。注意,窗口只有一次自适应扩大的机会。

6) 如果统计结束后滤波窗体内剩余有效的数据元素,则按照式(6) 计算窗体的差值平方的均值 T_i ;如果滤波窗体内仍然没有有效的数据元素,则设 $T_i = 0$ 。

7) 依据式(9) 统计并记录阈值 d ,按照式(7)、(8) 计算滤波窗体内合法压力数据点的权值 $w_{m,n,s}$ 。

8) 按照式(10) 计算滤波输出 $f_{i,j,t}$,作为当前压力点的滤波输出值。

9) 重复上述整个流程,直至压力分布数据帧内所有数据元素处理完毕。

算法流程如图 1 所示。

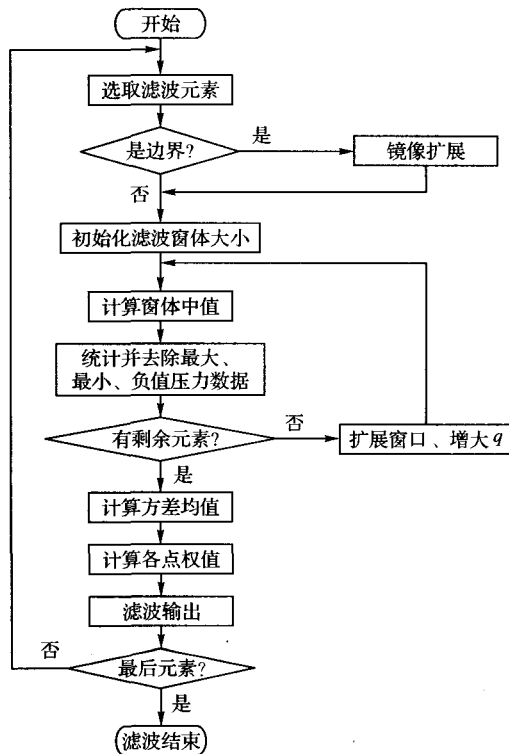


图 1 算法流程

3 算法效果评价

为了评价算法的滤波效果,我们引入信噪比改善因子 $R(\text{dB})$:

$$R = 10 \lg \frac{\sum_i \sum_j \sum_t (f_{i,j,t} - s_{i,j,t})^2}{\sum_i \sum_j \sum_t (x_{i,j,t} - s_{i,j,t})^2} \quad (11)$$

式中: $f_{i,j,t}$ 为滤波输出值; $x_{i,j,t}$ 为加噪后的压力数据; $s_{i,j,t}$ 是标准压力值,也就是原始无噪压力数据。由定义可知, R 值越小说明算法的去噪能力越好。

对比实验在我们的压力分布分析软件环境下进行,采用 VisualStudio 2008 编程实现。设 p 为冲激噪声发生的概率, σ 为高斯噪声的标准差,对比前文介绍的两种经典算法,表 1 列出了三种滤波算法在 $p = 2, \sigma = 5$ 和 $p = 5, \sigma = 10$ 两种情况下的去噪性能对比结果。本文算法中,硬件数据采集频率设定在 100 Hz ,采用的初始系数为: $q = 3$,初始滤波窗体为 $21 \times 3 \times 3$,其中时间窗为 21。IMF 算法不依赖于任何阈值参数;MTM 算法中,计算区间的大小依赖于选定的阈值 k ,实验中 k 的计算公式如下:

$$k = \left| m_{i,j} - \frac{\sum x_{m,n}}{N} \right| \quad (12)$$

其中: $m_{i,j}$ 为滤波窗口的中值, N 为滤波窗口内数据点总数。

表 1 各算法去噪性能对比表

算法	R/dB	
	$p = 2, \sigma = 5$	$p = 5, \sigma = 10$
MTM	-8.762	-9.652
IMF	-9.387	-10.098
本文算法($q = 3$)	-15.835	-16.425

从表 1 数据可以看出,本文算法的信噪比改善因子较其他两种方法有明显的提高,主要在于本文算法加入了时间窗,能有效的检测出在局部平面域内不具有噪声特性但是在前后一段时域内有噪声特性的噪声点。

在图 2 中,中间的数据为标准的压力数据,即没有受噪声污染的原始数据;左右两图分别为该标准压力数据前后时间的压力分布数据,分别作为实验中的时间窗。

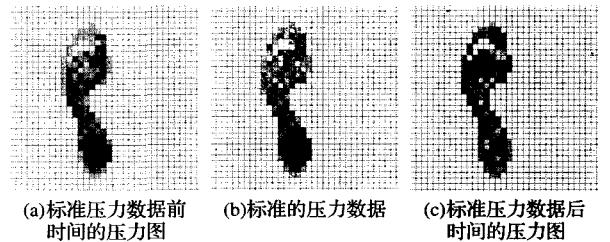


图 2 标准压力分布数据及其前后时刻的压力数据

图 3 中,数据加噪后左上角的噪声聚族点在前两种算法下无法正确的被检出,但是本文算法可以在时间域内准确判定其噪声特性,从而滤波效果非常明显。

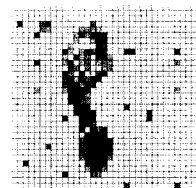


图 3 混噪后的压力分布数据 ($p = 2, \sigma = 5$)

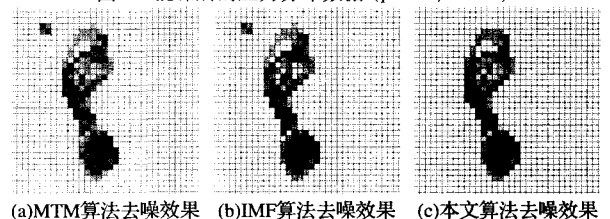


图 4 MTM、IMF 和本文算法去噪效果

和最小经纬度。

4) 创建 GeoTIFF 层,根据最大经纬度和最小经纬度创建扇区。

5) 读取 GeoTIFF 影像信息,显示在扇区范围内。

6) 添加 GeoTIFF 图层至 World Wind 图层列表中。

7) 重绘 World Wind 显示窗口。

8) 通过设置影像的阿尔法通道来控制影像透明度,以便查看地形地貌、行政区域。

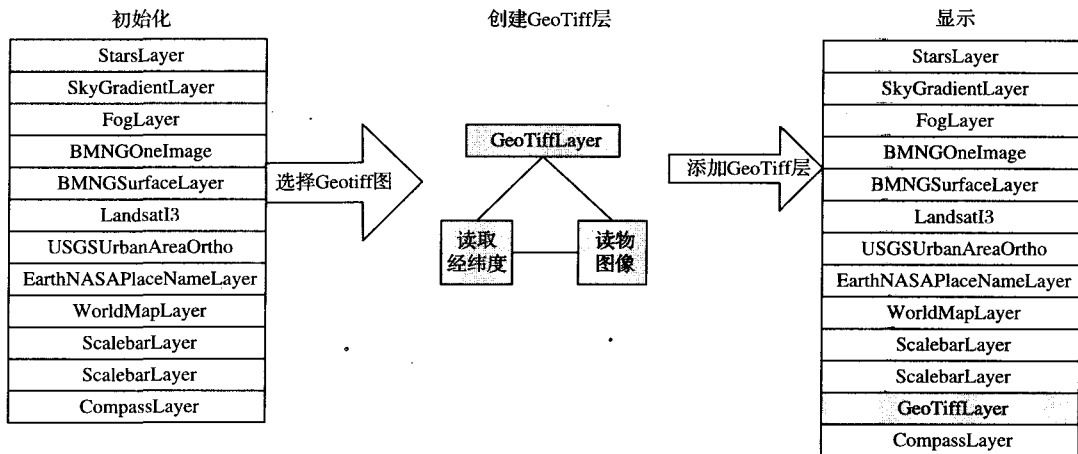


图 4 图层显示流程

4 结果

基于 World Wind 的 GeoTIFF 遥感影像显示方案运行结果如图 5、6 所示。图 5 为系统没有添加 GeoTIFF 影像。通过左边目录树,选择 GeoTIFF 影像,双击该影像,GeoTIFF 显示在 World Wind 上(如图 6 所示)。通过控制左下方的滑块可以控制 GeoTIFF 的透明度,以便查看影像覆盖的行政区域、地表特征。

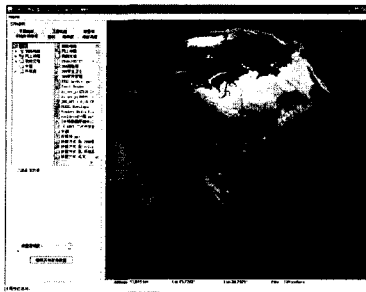


图 5 未添加 GeoTIFF 影像

还允许用户同时显示多幅 GeoTIFF 影像,以便多幅影像对比。基于 World Wind 的 GeoTIFF 影像显示方案的研究,对开发我国具有自主知识产权的遥感影像处理系统具有一定的积极意义。

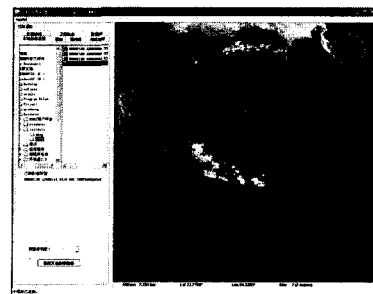


图 6 添加 GeoTIFF 影像

5 结语

本文给出一种基于 World Wind 的 GeoTIFF 影像显示方案。系统设计采用 Java 三层架构,通过认真研究 GeoTIFF 文件格式以及 World Wind 显示机制,将二者有机结合形成基于 World Wind 的 GeoTIFF 显示方案。本方案允许用户设置 GeoTIFF 影像透明度,以便查看图层覆盖的地理区域。本方案

参考文献:

[1] BELL D G, KUEHNEL F, MAXWELL C, KIM R, et al. NASA World Wind: Opensource GIS for mission operations [C]// IEEE Aerospace Conference. New York: IEEE Press, 2007: 1 - 2.

[2] TIFFTM Revision 6. 0 [S]. Washington: Aldus Corporation, 1992: 13 - 16.

[3] 贲进, 张永生, 童晓冲. GeoTiff 解析及在遥感影像地理编码中的应用 [J]. 信息工程大学学报, 2005, 1(6): 10 - 12.

[4] 刘修国, 花卫华. GeoTiff 中 GeoTag 域解析 [J]. 地球科学, 2002, 27(3): 246 - 248.

[5] 牛琴涛, 盛业华. GeoTiff 图像文件的数据存储格式及读写 [J]. 四川测绘, 2004, 27(3): 105 - 107.

(上接第 1730 页)

4 结语

本文参考 MTM 滤波算法和 IMF 滤波算法,并结合压力分布检测的特点,提出了一种加入时间窗的自适应时空滤波窗体中心加权中值的加权均值滤波算法。该算法依据压力分布硬件数据采集频率调节时间窗的大小,同时对滤波窗口的中值采用窗体中心加权的滤波算法,增强窗体中心的影响,提高了抗干扰能力,并在噪声密度较高时能自适应的扩大滤波窗体的大小,算法在压力分布分析软件的实际使用中,去噪滤波效果非常理想。

参考文献:

[1] KO S J, LEE Y H. Center weighted median filters and their applications to image enhancement [J]. IEEE Transactions on Circuits and Systems, 1991, 38 (9): 984 - 993.

[2] LEE Y H, KASSAM S A. Generalized median filtering and related non linear filtering techniques [J]. IEEE Transactions on Acoustics, Speech and Signal Processing, 1985, 33(3): 672 - 683.

[3] 张恒, 雷志辉, 丁晓华. 一种改进的中值滤波算法 [J]. 中国图象图形学报, 2004, 9(4): 409 - 411.

[4] 张宇, 王希勤, 彭应宁. 自适应中心加权的改进均值滤波算法 [J]. 清华大学学报: 自然科学版, 1999, 39(9): 76 - 78.

[5] 王明佳, 张旭光, 韩广良, 等. 自适应权重滤波消除图像椒盐噪声的方法 [J]. 光学精密工程, 2007, 15(5): 779 - 783.

[6] 常瑞娜, 穆晓敏, 杨守义, 等. 基于中值的自适应均值滤波算法 [J]. 计算机工程与设计, 2008, 29(16): 4257 - 4259.