

# 基于模糊形态学的应变片去噪<sup>①</sup>

闫晓强<sup>1</sup> 王让定<sup>1</sup> 鲍吉龙<sup>2</sup> 郑德春<sup>2</sup> (1. 宁波大学 信息科学与工程学院 浙江 宁波 315211; 2. 宁波工程学院 电子与信息工程学院 浙江 宁波 315016)

**摘要:** 抑制应变片图像采集和传输过程中的噪声,是实现应变片识别和精确安装的关键技术,针对形态学去噪时会导致图像细节模糊的特性,本文引入模糊形态学,根据隶属度来对图像进行划分,将分类的图像像素值分别进行对应的模糊形态学操作,然后在此基础上再对整幅图像进行模糊形态学的开闭平滑来实现对图像的去噪滤波。仿真实验证明该方法可以有效的去除噪声,而且不会对图像的边缘细节造成模糊。

**关键词:** 模糊形态学; 隶属函数; 模糊膨胀; 模糊腐蚀

## Strain Gauge Image De-Noising Based on Fuzzy Morphology

YAN Xiao-Qiang<sup>1</sup>, WANG Rang-Ding<sup>1</sup>, BAO Ji-Long<sup>2</sup>, ZHENG De-Chun<sup>2</sup>

(1. Ningbo University, College of Information Science and Engineering, Ningbo 315211, China; 2. Ningbo University of Technology, School of Electronic and information, Ningbo 315016, China)

**Abstract:** Suppressing the noise of strain gauge in acquisition and transmission is the key in identification and installation. For blurring the details while using the morphology to de-noise. This paper introduces a new algorithm for de-noise the strain gauge image by dividing the image and giving the fuzzy morphology operation, then open and close operation are applied to image to realize de-noise. The simulations in this paper prove that it can perfectly restrain noise and keep image details.

**Keywords:** fuzzy morphology; membership function; fuzzy dilation; fuzzy erode

## 1 引言

应变片在采集的过程中常会被各种的噪声污染,抑制噪声是图像预处理的关键步骤,只有有效的抑制噪声,才能准确实现应变片的检测以及识别。针对目标图像去噪已经有许多的研究成果和各种各样的算法,有基于频域的和基于空域的滤波算法,基于频域的滤波算法主要经过小波变换<sup>[1]</sup>等将其转换到频域中,然后再针对频域信号对图像进行滤波,虽然小波变换具有很好的时频域局部分析能力,能同时利用信号与噪声在时、频域内的差别实现更为有效的信噪分离,但是该方法需要用到小波分解和重构,计算量较大。空域中滤波去噪就是直接对图像进行处理,而不

需要进行转换,可以有效的提高效率,如传统的均值滤波和中值滤波。

数学形态学<sup>[2]</sup>是建立在集合代数的基础上,用集合论的方法定量描述几何结构的一种数学方法。由于形态学的基本思想是利用具有一定形态的结构元素去度量 and 提取图像中的对应物,以达到处理和分析图像的目的。正是由于以上朴实的思想,数学形态学被广泛应用在图像的预处理、边缘检测<sup>[3]</sup>、目标识别<sup>[4]</sup>等多种领域中。在去噪的方法上,已经有许多学者提出了相应的算法。董怡等<sup>[5]</sup>分析了形态学滤波中结构元素选取方法,发现只有先采用小的结构元素再采用大的结构元素才会实现滤波,否则就会放大噪声。肖启芝

<sup>①</sup> 基金项目:国家自然科学基金(60873220);浙江省自然科学基金(Y108022,Y1090285);宁波市择优委托计划项目(2009B10003)

收稿时间:2010-04-17;收到修改稿时间:2010-05-22

等<sup>[6]</sup>采用了人机交换的方式滤除噪声,对于大噪声采取大的结构元素来实现滤波。白银刚等<sup>[7]</sup>提出了广义开、闭滤波器,就是先后分别采用两种结构元素来对图像进行膨胀腐蚀处理或者腐蚀膨胀的操作,其中先使用的结构元素是后使用结构元素的子集。赵春晖等<sup>[8]</sup>提出了多结构元广义形态滤波器,即在去噪的时候利用多种不同的结构元素来实现滤波。以上文献虽然都有去噪功能,但是都是对整幅图像来进行处理,这样就会导致在进行膨胀的时候,放大像素值比周围像素值大的噪声,腐蚀放大像素值比周围小的噪声,即这些方法都是在先放大噪声再滤除噪声的,这样会造成图像细节的模糊,造成有用信息的丢失。针对此问题,本文引入模糊形态学<sup>[9]</sup>,根据模糊形态学的隶属度对图像进行分类,然后根据分类的内容采取对应的操作来消除可能会放大的噪声<sup>[10]</sup>,然后再采用小结构元素对应变片图片进行开、闭平滑,以开、闭的不同权重值合成实验的最终结果。由于此方法在去噪的过程中都是采取小结构元素来对图像进行处理,这样就可以更好的保护图像的细节。

## 2 灰度形态学

对于灰度图像  $F$ , 假设选取的结构元素为  $B$ ,  $F$  和  $B$  的定义域分别为  $D_F$  和  $D_B$ , 那么膨胀定义为  $F \oplus B$ , 其运算公式如下:

$$F \oplus B(x, y) = \max\{F(x-m, y-n) + B(m, n)\} \quad (1)$$

其中  $(x-m, y-n) \in D_F, (m, n) \in D_B$ ,  $\max$  就是取对应结构元素中的最大值, 灰度图像的腐蚀定义为  $F \ominus B$ , 其运算公式为:

$$(F \ominus B)(x, y) = \min\{F(x+m, y+n) - B(m, n)\} \quad (2)$$

其中,  $(x+m, y+n) \in D_F, (m, n) \in D_B$ ,  $\min$  就是取对应结构元素中的最小值,  $x$  和  $y$  为对应图  $F$  上的坐标,  $m$  和  $n$  为对应结构元素  $B$  中的坐标, 且  $(x, y) \in D_F$ 。将膨胀与腐蚀算子进行组合, 可以得到开和闭两种运算, 即  $F \circ B$  和  $F \bullet B$ , 其算法如下:

$$F \circ B = (F \ominus B) \oplus B \quad (3)$$

$$F \bullet B = (F \oplus B) \ominus B \quad (4)$$

开运算就是先进行腐蚀操作后进行膨胀操作, 而

闭运算则是先进行膨胀操作再进行腐蚀操作。开、闭运算能以不同的方式平滑信号, 常用于图像滤波。形态学滤波就是以开和闭运算为基础, 通过选取不同的结构元素或者进行多次的开闭运算来实现对图像的去噪滤波。

## 3 模糊形态学

模糊形态学是经典集上数学形态学在模糊集上的推广和应用。模糊形态学<sup>[11]</sup>和数学形态学一样具有膨胀和腐蚀两种基本算子, 基本算子可以在模糊集下有多种定义, 本文采用 **Sinha** 和 **Dougherty** 在文献<sup>[9]</sup>中的定义, 即模糊膨胀和模糊腐蚀分别定义为:

$$m_{F \oplus B}(x) = \max[\max[0, m_F(x-y) + m_B(y) - 1]] \quad (5)$$

$$m_{F \ominus B}(x) = \min[\min[1, m_F(x+y) - m_B(y) + 1]] \quad (6)$$

式中,  $m_F$  表示模糊图像,  $m_B$  表示结构元素。模糊形态学保留经典形态学的优点, 如抗噪性、多方向、多尺度、算法简单、可并行处理、易于硬件实现等特点, 而且还引入了像素隶属度以及模糊性质。**Sinha** 等人在文献中对这种定义进行了证明, 而且对相关属性给出了分析。由于图像具有两类模糊性, 其一是图像本身是模糊的, 在计算机中用矩阵表示, 很显然, 这种表示除了  $1$  对应的点肯定属于前景,  $0$  对应的点属于背景外, 其它点都只能从一定程度上属于前景或背景, 即它是模糊的; 其二是在图像采集或处理过程中形成的模糊性。如光照、角度、噪声等。所以应用模糊形态学可以更好的把握图像的特性。

## 4 依据隶属度对图像进行分类及去噪

模糊形态学的优点就是引入了隶属函数<sup>[12]</sup>, 隶属函数就可以用来判断像素点的所属。下面详细介绍本文去噪算法。

**Step1**, 首先将灰度图像转换到模糊域中, 这里采用线性的转换方式, 即:

$$p_{mn} = G(X_{mn}) = \frac{X_{mn} - X_{\min}}{X_{\max} - X_{\min}} \quad (7)$$

式中  $X_{\max}$  为图像中的最大灰度值,  $X_{\min}$  为图像中像素点  $(m, n)$  的灰度值,  $p_{mn}$  表示像素值映射到模糊集中对应的值, 且  $p_{mn} \in [0, 1]$ 。

**Step2**, 选取合适的隶属度对图像进行分类, 先取  $0.2$  和  $0.8$  作为第一次判断的隶属度, 对小于  $0.2$

的定义为第一黑点，对大于 0.8 的定义为第一白点；然后对第一黑点对其进行先膨胀再腐蚀的操作，对于第一白点对其进行先腐蚀再膨胀的操作。

Step3, 再取 0.3 和 0.7 作为第二次判断的隶属度所属，对小于 0.3 的定义为第二黑点，对大于 0.7 的定义为第二白点；同样执行步骤 2 的操作。

Step4, 经过以上操作就可以将膨胀和腐蚀操作会放大的噪声滤除了，然后再使用同样的结构元素来分别对上面操作的结果进行开、闭处理。由于开、闭的操作效果是互补的，即一个使图像变暗，一个使图像变亮，若取其均值作为最终的结果，则处理后的图像的信噪比不是最高的，所以本文引入权重  $w$ ，对开和闭运算采用不同的权重，即

$$\bar{m}(w, x, y) = w m \circ B(x, y) + (1 - w) m \bullet B(x, y) \quad (8)$$

式中， $w$  取 0 时，则结果为闭运算，而取 1 时，则结果为开运算，所以当  $w$  取 0 和 1 之间的值就会使得开运算和闭运算占不同的权重。如何选取合适的  $w$  得到最好的实验结果，本文通过多次实验来判断。

### 5 实验仿真结果及分析

为了验证本文算法的有效性，选用加噪的  $256 \times 256 \times 8\text{bit}$  的应变片进行仿真试验，以及  $3 \times 3$  为全 0 的方形结构元素。试验中，我们将本文算法与传统的均值和中值滤波方法进行对比，同时给出开、闭的不同权重的结果图，为了方便算法性能评估，以峰值信噪比(SNR)作为图像去噪的评价标准。图 1 为应变片原图，图 2 为加噪图，图 3 为均值滤波算法，图 4 为中值滤波算法，图 5 为本文算法(其中  $w=0.5$ )，图 6 为  $w=0.6$  的结果图。表 1 为对应的峰值信噪比，图 7 为信噪比随的变化图。

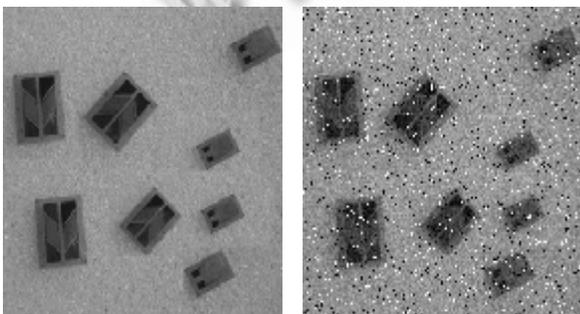


图 1 原图                      图 2 噪声图

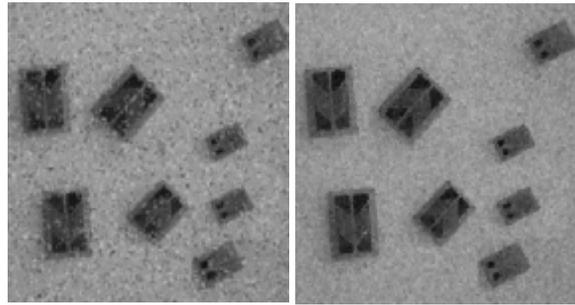


图 3 均值滤波                      图 4 中值滤波

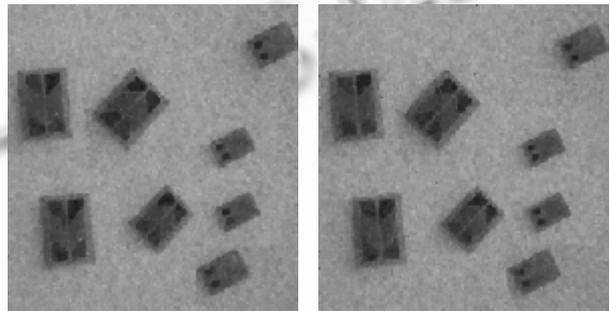


图 5 本文  $w=0.5$                       图 6 本文  $w=0.6$

表 1 峰值信噪比

类型	噪声	均值	中值	$w=0.5$	$w=0.6$
信噪比	17.689	21.219	26.223	27.069	27.895

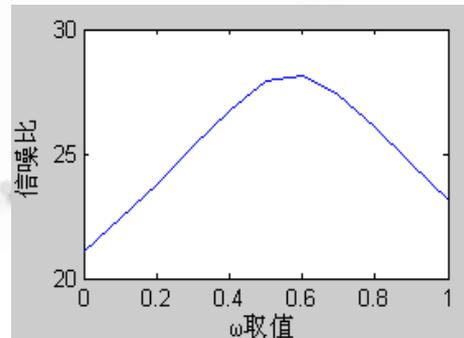


图 7 与信噪比图

依试验结果可知，均值滤波对孤立噪声的效果很差，中值滤波对含有高斯噪声的效果很差，而文中提出的算法由于将膨胀后放大的噪声对其进行先腐蚀再膨胀的操作，将腐蚀放大的噪声对其进行先膨胀再腐蚀的操作，这样可以有效的避免将噪声放大导致模糊的特点，而且是采用一种单一的小结构元素，对图像的细节保护更好，然后再对图像进行开、闭平滑可以取得很好的视觉效果。通过图 7 可以看到在 0.6 左右

时,结果图的信噪比是最高的。而通过表 1 可以看到本文算法相比其他算法可以取得更高的信噪比。

## 6 结论

针对形态学去噪中都是对整幅图像来进行处理,本文引入模糊形态学来对图像进行处理,根据不同的隶属度对图像进行分类,然后将分类的图像进行对应操作。相比一些去噪算法只是通过修改结构元素来实现去噪,本文的去噪能力更强,而且可以更好的保护细节,提高信噪比。

附言:应变片是由排列成栅状的高阻金属丝、高阻金属箔或半导体粘贴在绝缘的基片上构成。上面贴有覆盖片(即保护片),电阻丝两端焊有较粗的铜丝作引线,以便与测量电路连接。应用时,先将应变片牢固地粘贴在试件表面,使其组合成一体,这样当试件受力产生变形时,应变片随同试件表面一起变形,从而引起电阻变化,变化值和应变片粘贴的构件表面的应变成正比,最后通过测量电路和转换电路,输出相应的电压和电流。应变片是一种重要的测量敏感元件,它有很多品种系列。长的有几百毫米,短的只有 0.2mm,有单片、双片、应变花和各种特殊形状的图案,可以用在高温、低温和其他各种场合,其用途主要在实验应力分析中测量应力,但也可以做成各种类型的传感器,如压力传感器、加速度计、线位移传感器等。在本文中处理的是压力应变片。

### 参考文献

- 1 Wei D, Rajashehar U, Bovik AC. Wavelet denoising for image enhancement. Second Edition, 2005.
- 2 Frank Y. Shih, IMAGE PROCESSING and Mathematical Morphology, CRC Press, 2009.
- 3 李俊山,曹素平,谭园园. 基于数学形态学的红外运动小目标识别算法研究. 电光与控制, 2006,13(2):11-14.
- 4 黄剑玲,邹辉. 一种基于形态学的多结构元素多尺度图像边缘检测方法. 微电子学与计算机, 2009,26(8):76-79.
- 5 肖启芝,许凯,关泽群. 一种形态学滤波结构元的选择方法. 计算机工程与应用, 2007,43(21):49-51.
- 6 董怡,金伟其,张森. 数学形态学滤波在红外图像去噪中的应用研究. 激光与红外, 2007,37(8):795-798.
- 7 白银刚,于盛林,李健明. 一种新的广义形态开和广义闭滤波器. 中国图形图像学报, 2009,14(8): 1523-1529.
- 8 赵春晖,乔景淦. 一种多结构元自适应广义形态滤波器. 中国图形图像学报, 1997,2(11):806-810.
- 9 Sinha D and Dougherty E R. Fuzzy mathematical Morphology. Vision, Communication and Imagine and Representation, 1992,3(3):286-302.
- 10 吴锡生,王士同. 双向模糊形态联想记忆网络及其抗随机噪声的研究. 模式识别与人工智能, 2005,18(3):257-262.
- 11 Mike Nachtgael, Etienne E. Kerre. Connections between binary, gray-scale and fuzzy mathematical morphologies. Fuzzy Sets and Systems, 2001, 124(1):73-85.
- 12 Koppen M, Franke K, Unold O. A Survey on Fuzzy Morphology. Pattern Recognition and Image Analysis. 2001,11(1):195-197.