

基于 RGB 的光弹性贴片测量条纹图像处理

黎小毛^{1,2}, 朱宝良², 钱 海², 胡祥超²

(1 中国科学技术大学 精密机械与仪器系, 安徽 合肥 230000; 2. 西北核技术研究所, 陕西 西安 710024)

摘 要: 采用改进的矢量中值滤波方法, 对彩色图像噪声像素降噪的同时, 保持非噪声像素的信息不遭破坏. 通过分析条纹图像的颜色特征, 选取 R-G 特征算子进行等差线的有效提取, 并进行二值化分割. 采用彩色阈值消色的方法, 去除等倾线图像中的彩色条纹, 从而获得单纯的黑白等倾线. 通过图像处理实验表明, 在彩色空间中对光弹性条纹图像处理, 相对于灰度直接变换后处理, 图像降噪和条纹提取效果更好.

关键词: RGB 空间; 光弹贴片; 彩色条纹; 图像增强

中图分类号: TP391

文献标识码: A

文章编号: 1000-7180(2014)10-0060-04

Color Image Procesing of Photoelastic Coating Fringe Pattern Based on RGB Feature Space

LI Xiao-mao^{1,2}, ZHU Bao-liang², QIAN Hai², HU Xiang-chao²

(1 Department of Precision Instruments and Mechanology, University of Science and Technology of China, Hefei 230000, China; 2 Institute of Northwest Nuclear Technology, Xi'an 710024, China)

Abstract: In order to solve the problem of low image contrast and high difficulty of extracting independently for fringe image in photoelastic coatings measurement, an efficient approach is proposed to eliminate image noise based on RGB feature space before extracting fringe isochromatic and isoclinic, in which a modified vector median filter is given to filter color image noise without destroying undefined pixel information. Through analyzing the color characteristics of fringe image, the R-G feature operator is adopted to extract fringe isochromatic which is transformed to binary image. Achromatic threshold is adopted to obtain the pure isoclinic in binary image. The results show that color image processing of photoelastic coating fringe pattern based on RGB feature space is more efficient than gray scale image processing for noise reduction and fringe image extraction.

Key words: RGB feature space; photoelastic coating; coloured fringe; image enhancement

1 引言

光弹性贴片法测试获取的是干涉条纹图像, 为了便于判读和分析, 进行条纹图像处理是有必要的. 研究方法主要可分为两类: (1) 研究等差线与等倾线的图像增强、图像噪声去除等^[1]; (2) 应用相位提取法提取条纹图像, 实现全场等差线条纹级数和等倾线的自动提取^[2].

条纹图像增强与提取通常是将彩色条纹图像转换为灰度图像或者二值图像来处理, 采用边缘提取或者图像形态学的方法来细化条纹, 得到整数或者

分数级的条纹骨架^[3]. 由于黑白图像丢失了彩色信息, 所以在复杂的光弹性条纹图像中, 难以提取等色线条纹级数的规律. 近年来, 彩色图像处理系统已经被广泛应用来确定等差条纹级次和等倾线条纹. 文献^[4]中总结了 RGB 颜色空间的光弹性图像处理方法, 并应用到玻璃生产的疲劳应力测量中.

目前的光弹性条纹图像处理方法, 大多是针对透射式光弹实验应用的. 而光弹贴片法所获得的条纹是由结构表面反射光通过光干涉产生的, 相对于传统的透射式光弹法, 条纹图像的反差较低, 不容易分离提取. 本文针对光弹贴片法获取的图像特征, 在

RGB 颜色空间里进行条纹图像的分析 and 处理. 采用改进的矢量中值滤波方法对彩色图像去噪, 根据条纹图像的颜色特征选择特征分量算子提取等差线条纹, 并采用彩色信息消色的方法提取条纹图像的等倾线.

2 光弹贴片彩色条纹图像降噪

对于透射式光弹性测量, 在保证光弹性材料的透明度好、杂质较少的情况下, 往往可以获得信噪比较高的条纹图像. 而反射式光弹测量将透明的光弹贴片贴于被测构件表面, 由于入射光路和反射光路有一定角度、构件表面的散射等原因, 条纹图像的反差低, 信噪比也低. 为提高材料表面的光学反射率, 常在粘贴胶中加入铝粉, 也会导致条纹图像中出现较多的随机颗粒噪声. 基于以上原因, 反射式光弹性测量图像在进行条纹提取和分割前有必要进行降噪处理.

彩色图像降噪一般方法是采用标量滤波法或矢量滤波法. 标量滤波法将图像的 R(红色)、G(绿色)、B(蓝色)通道分别滤波, 再合成彩色图像, 这种方法没考虑到彩色图像 3 个颜色分量之间的联系, 有可能产生原图像所没有的新颜色. 矢量滤波法将每个像素的三个颜色分量作为一个整体, 通过各颜色通道分量之间的联系来处理像素, 不会产生原图像没有的新颜色^[5].

为了有效滤除彩色图像中的噪声, 采用改进的矢量中值滤波方法. 首先进行像素分类检测, 分出被噪声污染像素和未被污染的像素, 然后有选择地对噪声图像滤波, 进行噪声像素降噪的同时, 确保非噪声像素的正常颜色信息不遭到破坏.

2.1 像素分类检测

在给定的窗口(窗口大小为 N) 内计算每个像素点的幅度, 得到的像素幅度记为 $A = \{a_n\}$, a_n 由公式计算:

$$a_n = \sqrt{f_r^2 + f_g^2 + f_b^2},$$

式中 f_r 、 f_g 、 f_b 分别为像素的 R、G、B 分量幅度. 设 u_A 为窗口内像素幅度的均值, d_A 为窗口内像素幅度的最大值和最小值之差, 即:

$$u_A = \frac{\sum_{n=1}^N a_n}{N} \quad d_A = \max\{A\} - \min\{A\}.$$

分析某一个在滤波窗口内的彩色图像像素 f_i , 未受到噪声污染的信号像素幅值接近窗口内的幅值均值, 而受到脉冲噪声或高斯噪声干扰像素, 它的幅

值将与其周围相邻像素点的幅值相差较多, 基于这原理, 由以下公式来确定属于噪声或者信号^[6]:

$$f_i = \begin{cases} \text{信号} & |a_{f_i} - u_A| \leq kd_A \\ \text{噪声} & kd_A < |a_{f_i} - u_A| \leq d_A \end{cases},$$

式中, k 设为检测系数 ($k < 1$), k 值越大, 分类检测为信号的像素点越多, k 值越小, 则需要进行噪声滤除的像素点越多. k 值的调整, 可以调整滤波的强度和保留图像细节的能力, 一般情况下, 设置 k 值为 $1/5 \sim 2/5$. 通过对图像像素分类检测并进行标记, 得到噪声矩阵 M , 便于下一步滤波.

2.2 改进的矢量中值滤波

传统矢量中值滤波方法对所有像素都进行矢量中值滤波, 滤除噪声的同时也改变了非噪声图像像素点的值. 这种方法滤波后对图像质量有一定的损坏^[7].

采用改进的矢量中值滤波方法对检测出是未被噪声污染的像素点直接输出, 对检测出为噪声的像素点进行滤波, 寻找滤波窗口中非噪声点中矢量距离和最小的像素点, 其像素值用以代替滤波窗口中心的像素值.

设图像中某个像素值表示为: $X_i = [R_i, G_i, B_i]$, $i = 1, 2, \dots, N$. N 表示像素点的个数, 对于给定的滤波窗口 W 中, 有 S 个矢量的集合 $X = \{X_i\}$, $i = 1, 2, \dots, S$. 则矢量中值滤波算法如下:

(1) 设定分类检测系数, 经过像素分类检测为信号的像素, 不需滤波, 直接输出.

(2) 对标记为噪声的像素, 则计算滤波窗口中其余像素之间的矢量距离和 d_i .

(3) 比较 d_i 的大小, 找到最小的 d_i 为 $d_{\min}$.

(4) 确定 $d_{\min}$ 所对应的向量值 $X_{\min}$, 即为窗口的矢量中值, 然后替代窗口中心的噪声像素值.

利用以上像素分类检测和改进的中值矢量滤波方法, 对光弹贴片法测量获取的一张等差线图像进行降噪处理. 原图见图 1, 处理后结果见图 2.

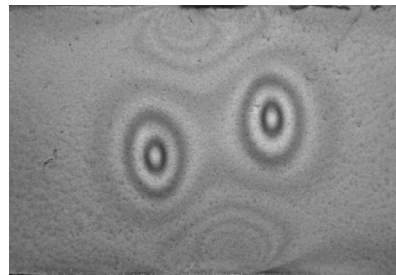


图 1 等差线条纹图像(原图)

图 2 可知, 经过改进的矢量中值滤波后, 条纹图

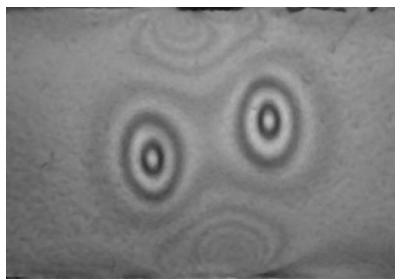


图2 等差线条纹图像(降噪处理后)

像的噪声得到了明显的滤除,同时条纹的颜色和细节保持良好。

3 RGB 空间光弹贴片图像等差线提取

等差线是反映主应力差值大小分布的条纹,在同一级次条纹上具有相同的主应力差值。在光弹性贴片测量中,白光光源下的彩色等差线条纹图与单色光光源下的等差线条纹图相比,包含的信息更多,不仅可以提供等差线条纹的位置,还可以给出等差线条纹的级数信息。

传统的等差线图像分割方法是将彩色图像转换为灰度图像再进行分割,采用此方法,图像的对比度明显下降,一些高级次的条纹难以提取。由于彩色图像能够提供比灰度图像丰富得多的信息,借助丰富的彩色信息,选择合适的分割策略和方法,可实现更准确的条纹分割^[7]。

3.1 等差线颜色特征分析

以图2的等差线条纹图像为例,提取R、G、B三个独立分量,并绘制各分量灰度直方图,如图3所示。

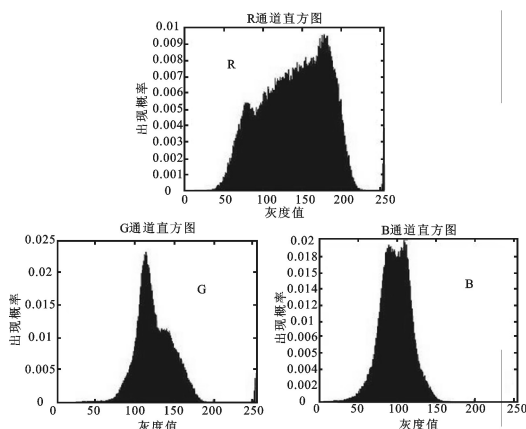


图3 R、G、B 三分量直方图

分析直方图,R分量在0~255灰度内分布均匀,表明红色分量对比度好;G分量亮度偏中,并有明显的单峰特征;B分量偏暗,缺乏亮部细节。

对条纹原图像进行灰度变换,并提取R、G、B分量,绘制灰度变换图像和各分量的条纹图像,见图4。

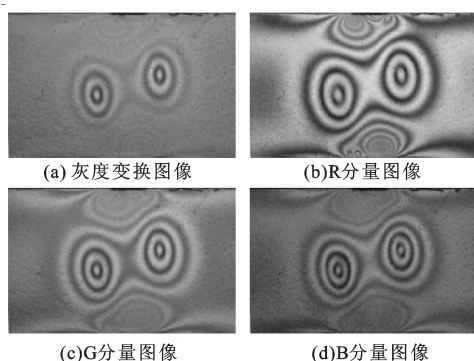


图4 R、G、B 各分量图

由图4分析可知:由彩色条纹图像直接灰度变换取得的灰度图像对比度低,高级次的条纹无法分辨和提取;条纹图像的主要条纹特征由R、G分量起主导因素,B分量起的作用相对较小;B分量的亮部细节缺失,背景噪声的细节相对较多,且高级次条纹严重模糊。

根据以上分析,可将R、G作为特征分量,便于图像增强和等差线提取。

3.2 等差线提取

选择组合算子 $(R-G)$ 、 $(R+G)$ 作为特征量进行运算,发现 $(R-G)$ 算子得到的图像条纹更加清晰,背景噪声基本去除。为此,选择 $(R-G)$ 算子作为等差线条纹提取的输入图像,把原来的三维彩色变为一维灰度来处理,获得的灰度图像见图5。

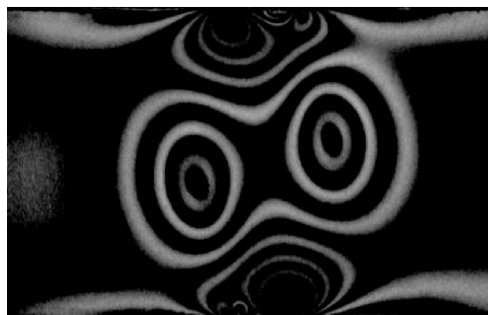


图5 $R-G$ 算子获得的条纹图像

对图5进行直方图均衡化,并采用灰度阈值分割的方法,提取二值化条纹图像,见图6。

由图6可以看出,经过颜色特征分析后,采 $(R-G)$ 特征算子得到的条纹图像相比直接灰度变换得到的图像无论条纹清晰度和背景去噪声效果都得到了明显加强。

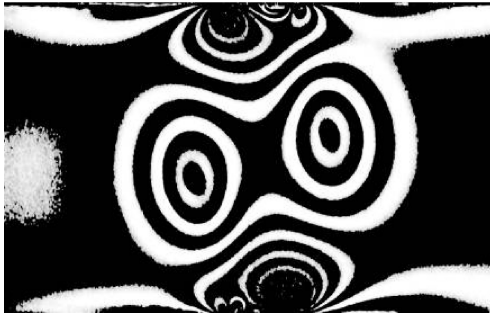


图6 二值化条纹图像

4 RGB 空间等倾线的提取

等倾线是反映主应力方向的迹线,在同一条等倾线上,主应力的倾向角度是一样的.在白光光源条件下观测,等差线为彩色,等倾线呈黑色.等差线和等倾线重叠在一起,因此将图象转换为灰度模式再分割的方法难以消除等色线.采用相移法可以通过多幅条纹图分离等倾线,但需要去包裹技术,且在等差线和等倾线重叠的边缘噪声较严重^[8].

由于光源偏色或环境光反射的影响,可能导致条纹图像偏色,为保证等倾线的准确提取,首先对条纹图像进行颜色校正.方法是在光弹试件旁放置纯灰度的卡进行图像采集.处理图像时用统一的算法对灰度区域进行颜色校正的同时也校正了其他的彩色区域.

在 RGB 空间中,对某一个像素,当 R、G、B 三种分量相等则为灰色,当 R、G、B 三种分量不等时则为彩色.基于这种基本原理,对条纹图像中灰色的等倾线部分予以保留,而将彩色部分消色为白色.对图像中像素点进行操作,设置消色阈值如下:

$$D = \max((I_R - I_G); (I_R - I_B); (I_G - I_B)),$$

式中, I_R 、 I_G 、 I_B 为像素点的 RGB 分量值, D 为三种颜色分量差值的最大值. 设置阈值 D_0 , 当 $D > D_0$ 时,将该像素点消色为白色. 当 $D < D_0$ 时, I_R 、 I_G 、 I_B 统一设置为三个分量的均值,即保留图像的等倾线部分. 处理程序框图见图 7.

用上述程序对光弹性圆环贴片的等倾线进行提取,图 8 为等倾线和等差线混合的图像,图 9 通过等倾线提取程序,得到圆环贴片加载时 $0^\circ \sim 80^\circ$ 的等倾线.

由图 8、图 9 可以看出,经过等倾线分离提取程序,混杂在等倾线中的等差线基本消除.这种阈值消色的方法简单易用,提高了等倾线提取和判读的准确性.

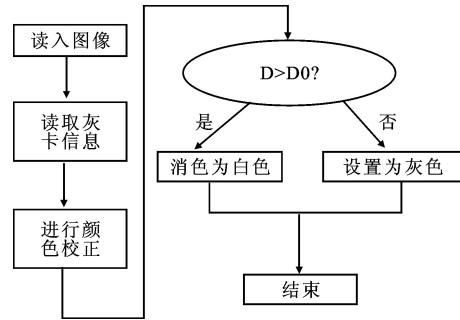


图7 等倾线提取程序框图

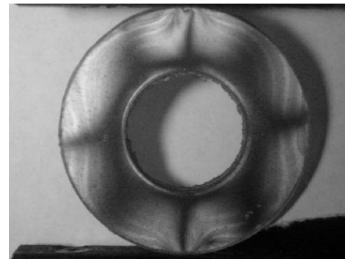
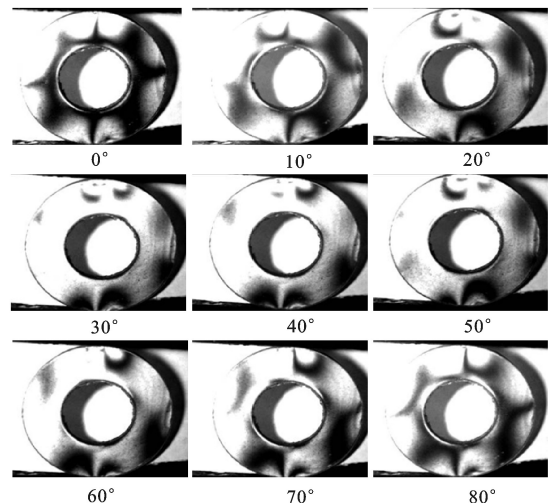


图8 等差线与等倾线混合图像

图9 $0^\circ \sim 80^\circ$ 等倾线提取

5 结束语

(1) 采用改进的矢量中值滤波方法对彩色条纹图像降噪. 首先进行像素分类检测, 分出噪声像素和未被噪声污染的像素, 然后对噪声图像有选择地滤波, 在进行噪声像素滤除的同时, 保持非噪声像素的信息不遭破坏.

(2) 通过分析条纹图像的颜色特征, 选取 R-G 特征算子进行等差线提取, 并进行二值化分割, 获得了清晰的等差线条纹.

(3) 采用阈值消色的方法, 消除条纹图像中的彩色等差线, 从而获得单纯的黑白等倾线条纹.

(下转第 68 页)

- Computer Communications and Networks. Virg in Islands: IEEE Press, 2008:1-9.
- [6] Lee K C, Haerri J, Lee U, et al. Enhanced perimeter routing for geographic forwarding protocols in urban vehicular scenarios[C]//Proc. of the IEEE Globecom Workshops. Washington, 2007:1-210.
- [7] Rao S A, Pai M, Boussedjra M, et al. GPSR-L: greedy perimeter stateless routing with lifetime for VANETS[C]//Proc. of the 8th Int'l Conf. on Intelligent Transport System Telecommunications. Phuket, 2008:299- 2304.
- [8] Wang Y B, Wu T Y, Lee W T, et al. A novel geographic routing strategy over VANETS[C]//Proc. of the 24th Int'l Conf. on Advanced Information Networking and Applications Workshops. Perth: IEEE, 2010: 2873- 2879.
- [9] 肖德贵, 彭李翔, 宋丹, 等. 混合 VANET 环境下一种改进的 GPSR 路由算法[J]. 软件学报, 2012, 23 (Sup(1)):100- 107.
- [10] VanetMobiSim 1.1[EB/OL]. [2014-04-20]. URL://vanet.eurecom.fr/.
- [11] NS-2 networks simulator[EB/OL]. [2014-04-15]. URL://www.isi.edu/nsnam/ns.
- [14] 王志刚. 车载 Ad hoc 网络中基于车辆流密度的 GPSR 协议的改进研究[D]. 吉林:吉林大学, 2012.

作者简介:

冯慧芳 女,(1971-),博士,教授.研究方向为计算机网络.
赵亮 男,(1986-),硕士研究生.研究方向为计算机网络.
王梦茹 女,(1988-),硕士研究生.研究方向为计算机网络.

(上接第 63 页)

参考文献:

- [1] Madhu K R, Ramesh K. Noise removal in three - fringe photoelasticity by adaptive colour difference estimation[J]. Optics and Lasers in Engineering, 2007, 45(1):175-182.
- [2] Antonio Baldi, Filippo Bertolino, Francesco Ginesu. Atemporal phase unwrapping algorithm for photoelastic stress analysis[J]. Optics and Lasers in Engineering, 2007(45):612-617.
- [3] 雷振坤, 云海, 赵燕茹, 等. 数字光弹性中材料条纹常数的自动确定[J]. 工程力学, 2009, 26(12):40-45.
- [4] Ajovalasit A, Petrucci G, Scafidi M. RGB photoelasticity: review and improvements[J]. Strain, 2010, 46 (2):137-147.
- [5] Astola J, Haaavisto P, Neuvo Y. Vector median filters [J]. IEEE, 1990, 78(4):678-688.
- [6] 单勇, 王润生. 采彩色图像混合滤波算法[J]. 数据采集与处理, 2006, 21(增刊):67-70.
- [7] 赵景秀, 王菁, 赵昭. 基于 RGB 空间剖分的彩色图像边缘检测[J]. 光电子技术, 2009, 29(3):171-173.
- [8] 雷振坤, 云大真, 亢一澜. 数字光弹性中五步彩色相移法及其应用[J]. 光学技术, 2004, 30(2):163-167.

作者简介:

黎小毛 男,(1979-),硕士研究生,工程师.研究方向为光电信息获取与处理.