

基于小波域差值系数的织物疵点分割与识别^①

赵 静, 于凤芹

(江南大学 物联网工程学院, 无锡 214122)

摘 要: 小波分解系数的织物疵点特征曲线容易受各层周期性噪声的影响, 不能有效提取特征和定位疵点区域。提出了小波域差值系数的织物疵点分割与识别方法。首先将小波分解后的水平和垂直高频系数与平滑系数相减, 除去周期性噪声, 然后, 分别提取水平和垂直差值系数熵、能量、方差曲线的最大值、均值及方差特征参数, 最后利用支持向量机进行分类识别。仿真实验表明, 该方法不仅能对织物疵点区域进行有效定位和分割, 且识别率较直接提取小波系数特征的方法提高了 4.17%。

关键词: 小波变换; 差值系数; 特征提取; 疵点检测; 分类

Fabric Defects Classification and Identification Based on the Subtracted Images of Wavelet Coefficients

ZHAO Jing, YU Feng-Qin

(Internet of Things Engineering, Jiangnan University, Wuxi 214122, China)

Abstract: Fabric defect characteristic curves of the wavelet coefficients are vulnerable to periodic noise in all layers. It cannot effectively extract features and locate defects area. This paper proposed a method of feature extraction and defect segmentation based on the parameters of entropy, energy, variance curve of difference coefficient after wavelet transform. Firstly, it subtracts the horizontal and vertical high-frequency decomposition coefficients with the smoothing coefficients after wavelet transform, removes the periodic noise, extracts maximum, mean and deviation parameters from the curve difference horizontal and vertical coefficient. Then, it uses support vector machine to classify the extracted features. Simulation results show that the method can effectively locate and segment fabric defect region, and the recognition rate increased by 4.17% compared with the features extracted by wavelet coefficients.

Key words: wavelet transform; subtracted coefficients; feature extraction; defect detection; classification

1 引言

织物疵点形态各异, 种类繁多, 研究分割精度高、分类效果好的检测算法是一个急需解决的问题^[1,2]。

小波多尺度分解下的水平和垂直高频系数能有效去除织物图像的随机噪声和规则性纹理^[3], 但仍然存在周期性噪声成份, 直接利用这些系数得到的特征曲线在非疵点区域的光滑性较差, 不能有效定位和分割出疵点区域。提出了一种基于小波域差值系数的织物疵点特征提取及疵点分割方法。首先将小波分解后的水平和垂直高频系数与平滑系数相减, 并采用 1×1 的分割窗口, 绘出小波域水平和垂直方向的差值系数特征曲线, 然后提取由特征曲线的方差、最大值和均值

的 18 个特征参数组成的一组特征向量, 并求出正常织物图像和带疵点织物图像的一系列特征值向量, 最后利用支持向量机的方法对提取的特征进行分类识别。仿真实验分别对由正常织物图像和常见径向、纬向图像及区域类疵点图像得到的大小为 84×18 的样本数据进行训练和测试, 结果表明小波域差值系数法得到的特征曲线不仅对能织物疵点进行有效定位和分割, 且分类识别率比直接提取小波系数提高了 4.17%。

2 图像小波分解及多分辨率分析

图像 $f(x, y)$ 是二维信号, 在可分离情况下, 分别使用尺度函数 $\phi_{jk_1}(\cdot)$ 和小波函数 $\psi_{jk_1}(\cdot)$ 与图像信号

① 收稿时间:2011-03-01;收到修改稿时间:2011-03-25

进行卷积运算，将 $f(x, y)$ 分解成低频平滑和高频细节部分，即有^[4]：

$$A_j f(x, y) = \langle f(x, y), \phi_{j_1}(x) \phi_{j_2}(y) \rangle \quad (1)$$

$$D_j^{(1)} f(x, y) = \langle f(x, y), \phi_{j_1}(x) \psi_{j_2}(y) \rangle \quad (2)$$

$$D_j^{(2)} f(x, y) = \langle f(x, y), \psi_{j_1}(x) \phi_{j_2}(y) \rangle \quad (3)$$

$$D_j^{(3)} f(x, y) = \langle f(x, y), \psi_{j_1}(x) \psi_{j_2}(y) \rangle \quad (4)$$

$f(x, y)$ 分别沿水平和垂直方向与 $\phi_{j_1}(x)$ 、 $\phi_{j_2}(y)$ 卷积时，得到反映两个方向低频信息的概貌图像 $A_j f(x, y)$ ，与 $\phi_{j_1}(x)$ 、 $\psi_{j_2}(y)$ 卷积得到水平方向的低频和垂直方向的高频成份 $D_j^{(1)} f(x, y)$ ，与 $\psi_{j_1}(x)$ 、 $\phi_{j_2}(y)$ 卷积得到水平方向的高频和垂直方向的低频成份 $D_j^{(2)} f(x, y)$ ，与 $\psi_{j_1}(x)$ 和 $\psi_{j_2}(y)$ 卷积得到水平和垂直方向的高频成份。

正常织物纹理是平稳信号^[5,6]，经小波多尺度分解后高频系数没有明显突变，而作为奇异点的织物疵点经小波分解后在水平和垂直高频系数中包含了疵点处有效的位置和方向信息。

3 小波域差值系数特征及疵点检测原理

为有效去除小波分解后织物疵点高频子带系数中的周期性噪声，并对疵点区域进行更有效的定位，提出了小波域差值系数水平和垂直方向熵、能量及方差特征的提取方法。

3.1 小波域差值系数特征

大小为 $M*N$ 像素的图像 $f(x, y)$ 经小波分解后得到的小波域差值系数分别为：

$$f_j^h(x, y) = D_{j_1}^{(1)} f(x, y) - A_{j_2} f(x, y) \quad (5)$$

$$f_j^v(x, y) = D_{j_1}^{(2)} f(x, y) - A_{j_2} f(x, y) \quad (6)$$

其中， $f_j^h(x, y)$ 代表水平差值系数， $f_j^v(x, y)$ 代表垂直差值系数， j_1 和 j_2 为所选择的高频分解层次和低频分解层次，小波域差值系数特征描述如下：

1) 熵：对图像信息量的度量，表征了图像纹理的非均匀程度。令

$$x_j = f_j^h(x, y) / \sum_{n=1}^N f_j^h(x, y) \quad \sum x_j = 1 \quad (7)$$

$$y_i = f_j^v(x, y) / \sum_{m=1}^M f_j^v(x, y) \quad \sum y_i = 1 \quad (8)$$

x_j 和 y_i 分别代表沿垂直和水平方向像素灰度值的变化比率。令

$$HE = -x_j \log_2 x_j, \quad VE = -y_i \log_2 y_i \quad (9)$$

得到水平和垂直小波差值系数的熵曲线。

2) 能量：描述的是灰度的强弱。令

$$HENE = \sum_{i=1}^M f_j^h(x, y)^2, \quad VENE = \sum_{j=1}^N f_j^v(x, y)^2 \quad (10)$$

得到水平和垂直小波差值系数的能量曲线。

3) 方差：反应灰度分布的离散情况。令

$$H\sigma = \left(\sum_{i=1}^M f_j^h(x, y) - \overline{\sum_{i=1}^M f_j^h(x, y)} \right)^2 \quad (11)$$

$$V\sigma = \left(\sum_{j=1}^N f_j^v(x, y) - \overline{\sum_{j=1}^N f_j^v(x, y)} \right)^2 \quad (12)$$

得到水平和垂直小波差值系数的方差曲线。

3.2 疵点检测步骤

小波域特征疵点识别系统流程如图 1 所示。

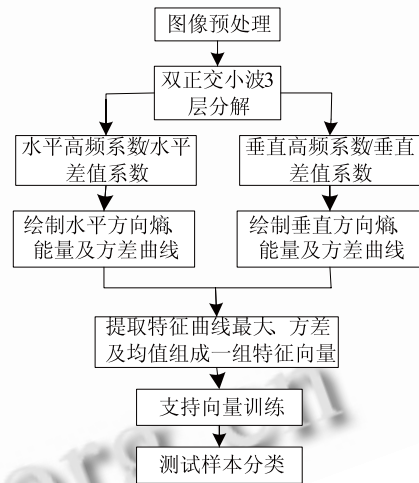


图 1 小波域特征的织物疵点分类识别框图

算法具体步骤描述如下：

1) 取正常织物图像、纬向、径向及区域类疵点图像各 21 幅共 84 幅进行实验，图像预处理后，选取具有线性相位且能保持能量的双正交小波 bior4.4 对图像进行 3 层分解，增强高频系数并减弱低频系数。

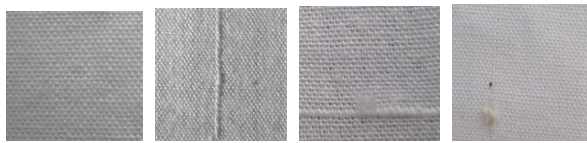
2) 将小波分解后的第 3 层水平和垂直高频系数分别与第一次平滑重构系数进行减运算，即 $D_3^{(1)} f(x, y) - A_1 f(x, y)$ 和 $D_3^{(2)} f(x, y) - A_1 f(x, y)$ ，将这两幅差值图像进行小波融合，得到疵点分割结果。

3) 绘制原始分解系数和差值系数水平、垂直方向熵、能量和方差曲线，提取曲线的最大值、方差值和均值，得到每幅图像的 18 个特征作为一个样本，将 84 组样本中的 60 组作为训练样本，其余作为测试样

本, 利用径向基核函数支持向量机进行识别分类。

4 仿真实验与结果分析

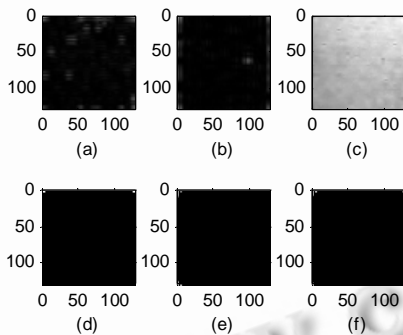
分析纺织品生产过程中常见的纬向、经向和区域类疵点。经向疵点指布面上沿经纱方向呈现的重经、断经等疵点, 如图 2(b)所示。纬向疵点指沿纬纱方向呈现的重纬、断纬等疵点, 如图 2(c)所示。区域类疵点指所占部位较小的疵点, 如图 2(d)所示。



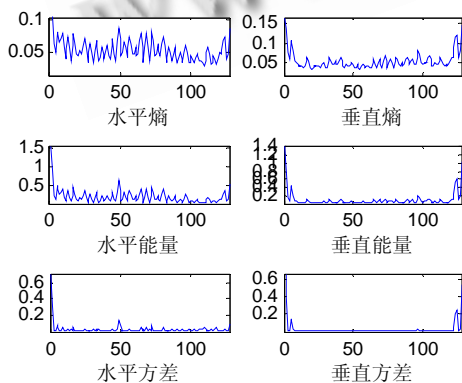
(a)正常图像 (b)重经疵点 (c)重纬疵点 (d)棉结疵点

图 2 原始织物图像

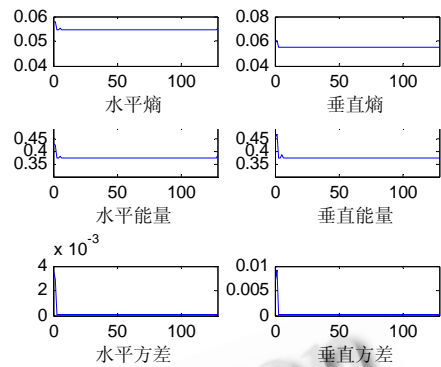
以正常、重经、棉结织物图像为例进行仿真实验, 实验得到的分解和差值系数图像与特征曲线如图 3 到图 5 所示。其中(a)、(b)、(c)、(d)、(e)、(f)分别代表小波分解后的水平细节图像、垂直细节图像、平滑重构图像、水平方向差值图像、垂直方向差值图像、两幅差值图像经小波融合后的图像。



(1) 小波分解及差值重构图像

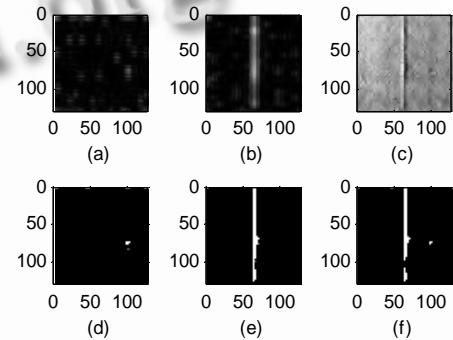


(2) 小波系数特征曲线

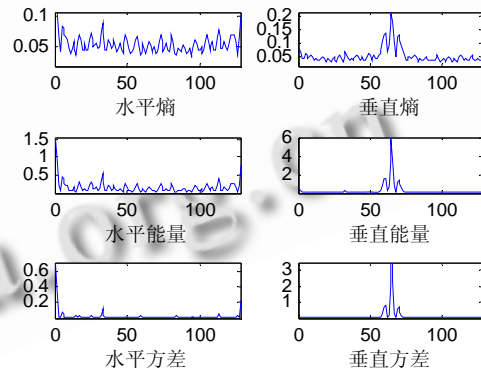


(3) 小波差值系数特征曲线

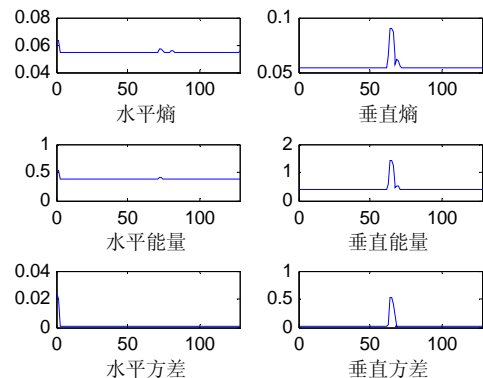
图 3 正常织物仿真实验图像及特征曲线



(1) 小波分解及差值重构图像

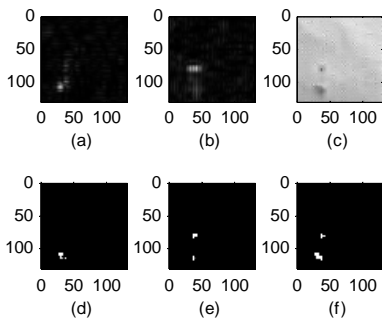


(2) 小波系数特征曲线

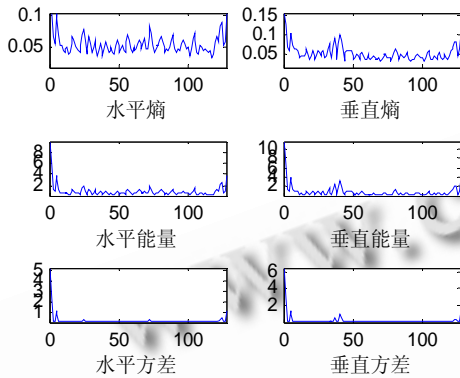


(3) 小波差值系数特征曲线

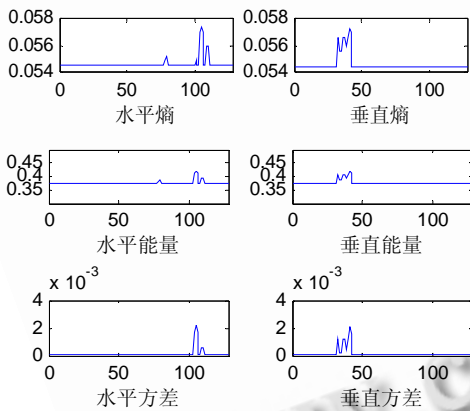
图 4 重经疵点仿真实验图像及特征曲线



(1) 小波分解及差值重构图像



(2) 小波系数特征曲线



(3) 小波差值系数特征曲线

图5 棉结疵点仿真实验图像及特征曲线

其中，图3到图5中熵、能量及方差特征曲线的横坐标代表图像沿纬向和径向的位置，纵坐标为特征参数大小。分析图3可以看出，利用小波系数差值法得到的正常织物图像熵、能量及方差特征曲线光滑性较好，基本不会出现波动，而在疵点图像疵点区域处特征曲线的波动比较明显，因此能提取到曲线上更有效的特征参数；图4重经疵点图像在垂直差值特征曲线(60 70)窗口之间有明显峰值波动，而在水平曲线上波动平缓；图5棉结疵点在水平特征曲线(100 110)

和垂直曲线(30 40)之间均有明显峰值出现。而直接利用小波系数分析时效果较差。

24组测试样本分类识别结果如图6和图7所示。其中，横坐标为测试样本个数，纵坐标为类别，1代表正常织物图像，2代表径向类织物疵点，3代表纬向类织物疵点，4代表区域类疵点。

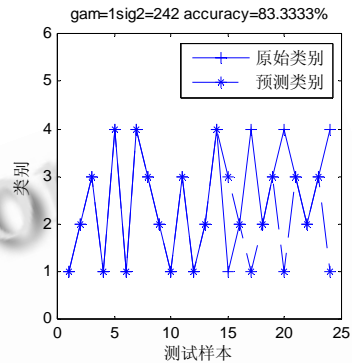


图6 小波系数特征识别结果

分析图6，直接利用小波系数特征法进行识别时，样本号为15的正常织物被误判为重纬疵点，17、20及24号的区域类疵点没有被识别出来。

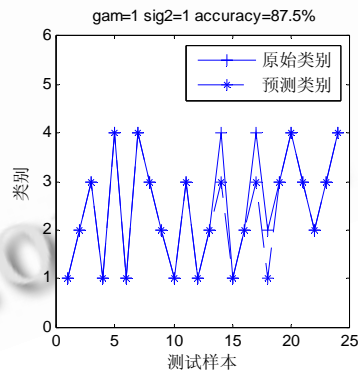


图7 小波差值系数特征识别结果

分析图7，利用小波差值系数特征进行识别时，样本号为14和17的区域疵点误判为径向疵点，18号的纬向疵点没有被识别出来。对比直接利用小波系数特征进行识别，小波域差值系数特征得到的测试样本分类识别率提高了4.17%。

5 结论

针对小波分解系数的织物疵点特征曲线受周期性噪声的影响，不能有效提取特征和定位疵点区域，提出利用小波域差值系数对织物疵点图像进行特征提取

(下转第128页)

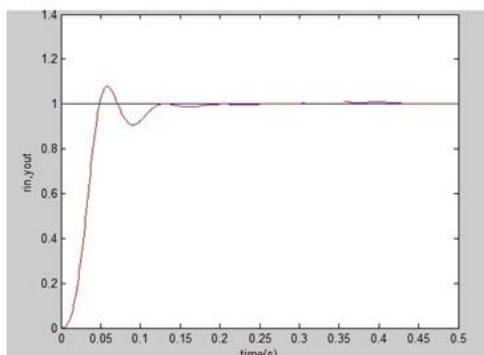


图4 模糊PID的系统响应系统

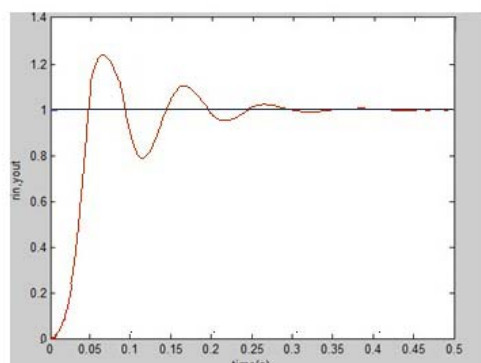


图5 普通PID的系统响应

2 结语

利用 MATLAB 的 SIMULINK 仿真工具, 对三阶对象进行了仿真, 表明普通 PID 难以做到很好的控制效果, 同时三个参数也不易确定, 但是采用模糊理论基础的 PID 控制就能达到很好的控制效果。从系统的仿真性能来看, 这种控制器有着良好的快速性与稳定性, 动态性能好, 鲁棒性强, 是一种较为理想的控制方案。

参考文献

- 1 石辛民. 模糊控制及其 MATLAB 仿真. 北京: 清华大学出版社, 2008. 1-67.
- 2 刘金琨. 先进PID控制及其Matlab仿真. 北京: 电子工业出版社, 2003. 59-176.
- 3 李益华, 王国伟, 李源. 基于模糊自适应PID的锅炉汽包水位控制. 自动化与仪器仪表, 2010. 75-78.
- 4 王立新. 模糊系统与模糊控制教程. 北京: 清华大学出版社, 2003. 167-171.
- 5 张琨, 毕靖, 丛滨. MATLAB7.6 从入门到精通. 北京: 电子工业出版社, 2009. 228-275.

(上接第 112 页)

和疵点分割, 最后利用支持向量机对提取的特征进行分类识别。仿真实验验证了该方法的有效性。

参考文献

- 1 韩润萍, 孙苏榕, 姜玲. 基于 Gabor 滤波器组的织物疵点检测方法. 计算机工程与应用, 2007, 43(7): 211-214.
- 2 Han YF, Shi PF. An adaptive level-selecting wavelet transform for texture defect detection. Image and Vision Computing, 2007, 25: 1239-1248.
- 3 Arivazhagan L, Bama GS. Fault segmentation in fabric images using Gabor wavelet transform. Machine Vision and Applications, 2006, 16(6): 356-363.
- 4 Lo SC, Li H, Freedman MT. Optimization of wavelet decomposition for image compression and feature preservation. IEEE Trans. on Medical Imaging, 2003, 22(9): 1141-1151.
- 5 Yang X, Pang G, Yung N. Robust fabric defect detection and classification using multiple adaptive wavelets. IEE Proc. of Vision, Image, and Signal Processing, 2005, 152 (6): 715-723.
- 6 曹建勋, 莫灿林, 杨文珍. 基于结构相似性判别的织物纹理合成方法. 计算机系统应用, 2005, 14(5): 177-181.