

小波分析与纹理能量算法 用于毛球图像处理

邓文, 邓中民

(武汉纺织大学 新型纺织材料绿色加工及其功能化教育部重点实验室, 湖北 武汉 430073)

摘要:在织物起毛起球图像处理中,毛球信息与纹理信息的分离至关重要。文中将小波分析理论与织物纹理能量算法相结合,对多尺度小波分解过程中的织物纹理能量的变化进行了曲线拟合,并根据拟合的能量差值曲线确定了最佳重构层次,实验中所测织物的最佳重构层次位于第3层,即可判断纹理信息主要集中在第2层,毛球信息则位于第4层,以此对经过多尺度分解后的图像进行了叠加重构,基本实现了织物毛球与纹理的自动分离,为织物起毛起球图像处理过程中毛球的分割以及特征参数的选取提供了依据。

关键词:小波分析;织物纹理能量计算;起毛起球;纹理滤除;空间域;频率域

中图分类号:TS 195

文献标志码:A

文章编号:1000-4033(2012)01-0062-03

在织物起毛起球的图像处理过程中,毛球数量和毛球面积等因素是衡量起球等级的重要指标,但织物纹理的存在会严重干扰对毛球的识别,影响对等级的评定,因此对织物纹理进行有效滤除是织物起毛起球图像处理过程中至关重要的一步。目前,利用数字图像处理技术对起毛起球织物纹理滤除的方法大体可分为三大类:一类是基于空间域的;一类是基于频率域的;一类是基于小波分析的。这三种处理方法虽然均取得了一定的成果,但仍各自存在一些问题。

本研究将织物纹理能量算法与小波分析相结合,实现毛球与织物纹理分离时最佳重构层次的自动获取,达到了分析织物起毛起球时滤除纹理的目的。

1 三种处理方法对比分析

基于空间域的织物纹理特征提取是对织物图像灰度级变化的特征进行量化的过程,该方法是在空间域通过周期性滤波模式,将图

像中的毛球和纹理进行分离,但此方法不能完全消除织物纹理对毛球信息的影响^[1]。

基于频率域的织物纹理特征提取是指将图像信息从空间域转换到频率域,在频率域对织物纹理进行滤除,比较经典的转换方法如傅里叶变换法。傅立叶变换是一种复数变换,具体方法是首先利用傅里叶变换在频率域内将周期性成分和非周期性成分进行分离,然后通过滤波器滤除频率域中对应周期性成分的纹理信息,再利用傅里叶反变换,得到去除织物纹理后的毛球信息,从而实现织物纹理的滤除。这种方法检测速度快,但其灵活性、适应性相对较差,难以掌握精确的滤波半径,因此不能达到织物纹理与毛球完美分离的效果。另外,傅里叶变换只是在频率域对信号进行分析,不能给出信号在某个时间点上的变化情况,因此分辨不出信号在时间轴上的突变。

小波分析能同时在时间和频率

域对信号进行分析,所以相对于傅立叶变换方法而言,小波分析能够更加精确地分析出信号中的信息。小波分析是通过对一个基本小波函数 $\psi(t)$ 作位移,再在不同尺度下与分析信号系统 $f(x)$ 作内积的一种方法^[2],具体计算过程如下:

$$DWT_j(j, k) = \frac{1}{2^j} \int_{-\infty}^{+\infty} f(x) \psi(2^j x - k) dx$$

$$j, k \in Z \quad (1)$$

对于数字图像的小波二维分解可表示为^[3]:

$$C_j^i(m, n) = \sum_{k_1 \in Z} \sum_{k_2 \in Z} h_{k_1 - 2m} h_{k_2 - 2n} C_{j-1}^i(k_1, k_2) \quad (2)$$

$$D_j^i(m, n) = \sum_{k_1 \in Z} \sum_{k_2 \in Z} h_{k_1 - 2m} g_{k_2 - 2n} C_{j-1}^i(k_1, k_2) \quad (3)$$

$$D_j^i(m, n) = \sum_{k_1 \in Z} \sum_{k_2 \in Z} g_{k_1 - 2m} h_{k_2 - 2n} C_{j-1}^i(k_1, k_2) \quad (4)$$

$$D_j^i(m, n) = \sum_{k_1 \in Z} \sum_{k_2 \in Z} g_{k_1 - 2m} g_{k_2 - 2n} C_{j-1}^i(k_1, k_2)$$

作者简介:邓文(1987—),女,硕士研究生。主要从事纺织材料与纺织品设计的研究。

$$(k_1, k_2) \quad (5)$$

式中: $C_j(m, n)$ 是 j 层低频分量, $D_j^1(m, n)$ 是 j 层水平方向高频细节分量, $D_j^2(m, n)$ 是 j 层垂直方向高频细节分量, $D_j^3(m, n)$ 是 j 层对角线方向高频细节分量, h_k 为低通滤波器系数, g_k 为高通滤波器系数。

图像 $f(x)$ 的小波分解就是将低通滤波器和高通滤波器共同构成的子带图像分解为不同频率的子图像, 在变换的每一层次, 图像被分解成 4 个 1/4 大小的图像。分别为近似图像 $C_j(m, n)$ (低频)、水平细节图像 $D_j^1(m, n)$ (高频)、垂直细节图像 $D_j^2(m, n)$ (高频) 以及对角细节图像 $D_j^3(m, n)$ (高频), 每个子图像代表了原图像中的一部分信息。

由小波分解的理论可知, 织物图像通过小波一次变换后, 被分解成 4 个子图, 近似细节系数由低通滤波得到, 反映织物纹理的低频周期性信息; 水平高频子图、垂直高频子图和对角线高频子图由相应的高通滤波得到, 分别反映水平方向(纬向)、垂直方向(经向)以及对角线方向的毛球、噪声以及纹理细节信息。因此, 由高频子图信息特征就能分析出织物的毛球信息。将经过小波多层分解的高频信息进行多层重构即可看出每一层所代表的毛球和纹理的分布情况。图 1 显示了经小波 7 层分解后的起毛起球棉针织物重构图。

由图 1 发现, 纹理信息主要分布于第 2 层和第 3 层; 毛球信息则主要分布在第 5 层; 第 6 层和第 7 层主要表现织物的照度不匀; 而第 4 层则交杂着纹理与毛球信息, 难以区分毛球图像中小的结构轮廓和大的结构边缘, 难以完全分离出毛球与纹理信息。由此可看出, 单一的小波分析方法只能分析出纹

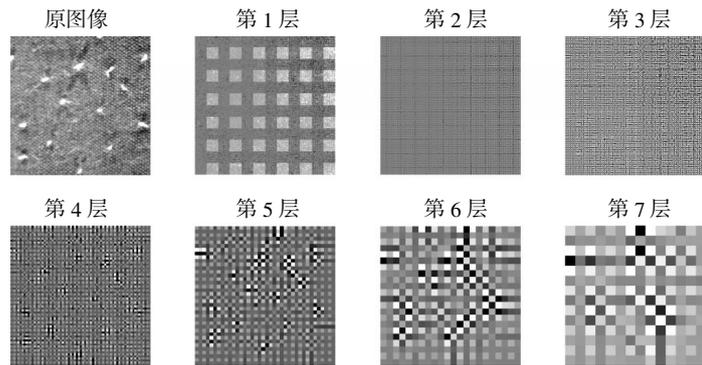


图 1 小波 7 层分解后的起毛起球棉针织物重构图

理、毛球的频率信息, 不能自动获取实现织物纹理与毛球分离的最佳重构层次。

2 小波分析与织物纹理能量算法的结合

织物表面纹理特征主要表现为: a. 结构性, 织物都具有一定的组织结构; b. 周期性, 织物的表面是由基本组织结构周期性排列而形成的; c. 均匀性。因此, 表征织物纹理特征的量在织物表面是均匀连续分布的, 织物的纹理能量是相对稳定的, 当这些均匀性遭到破坏, 织物的纹理能量发生相应变化时, 一般认为织物的表面结构发生了变化, 形成了毛球。因此, 选用合适的小波基对织物图像进行多层次分解, 并计算水平、垂直和对角细节能量, 拟合总的细节能量变化曲线, 再根据此拟合能量差值曲线, 通过分析能量差值曲线即可确定织物纹理与毛球分离的最佳层次。

织物图像经过 1 次小波分解变成近似细节 LL、水平细节 HL、垂直细节 LH 和对角细节 HH 的 4 幅子图像。再次进行小波分解时, 只对前一层的近似细节 LL 进行分解变换, 生成 4 幅子图像 (LL_1 、 HL_1 、 LH_1 和 HH_1), 同时, 保留前一层的 3 幅高频细节图像 (HL、LH 和 HH)。依次类推, 每次分解都是对前一次的近似细节 LL_{j-1} 进行小波变换, 形成新的 4 幅子图像 (LL_j 、

HL_j 、 LH_j 和 HH_j), 每次分解后, 高频细节图像增加 3 幅 (HL_j 、 LH_j 和 HH_j 各增加 1 幅), 而低频近似细节图像个数不变。则当经过 j 层小波分解后, 近似细节图像变为 1 幅, 而水平、垂直和对角细节图像各为 j 幅。

第 j 层高频细节图像能量算法为^[4]:

$$E_h^j = \sum_x \sum_y [f_{hl}^j(x, y)]^2 \quad (6)$$

$$E_v^j = \sum_x \sum_y [f_{lh}^j(x, y)]^2 \quad (7)$$

$$E_d^j = \sum_x \sum_y [f_{hd}^j(x, y)]^2 \quad (8)$$

$$E = \sum_{j=1}^j E_h^j + \sum_{j=1}^j E_v^j + \sum_{j=1}^j E_d^j \quad (9)$$

$$E_2 = \frac{E_{(2j)} - E_{(j+1)}}{E_{(j+1)}} \quad (10)$$

式中: j 为分解级数。

由公式(6)、(7)、(8)计算出第 j 层的水平、垂直和对角细节图像的能量为 E_h^j 、 E_v^j 和 E_d^j , 再经公式(9)、(10)计算出经多层分解后每一层的总高频细节能量和能量差值, 然后拟合出每层分解后的总高频细节能量变化曲线和能量差值曲线。经分析可得到, 能量差值曲线拐点的最低点即是能量发生突变的地方, 是织物周期性、均匀性发生突变的地方。因此, 对应能量差值曲线最低点的层

次即是出现毛球的层次,也是纹理与毛球分离的最佳层次。该层次的前一层所对应的信息主要是纹理信息,而后一层则主要是毛球信息,从而对能量差值曲线最低点所在层次和其前一层进行叠加重构得到纹理图像,对该层和其下一层进行叠加重构得到毛球图像。图2(a)是棉针织物起毛起球原图像,图2(b)是根据能量算法对图2(a)经多层分解后拟合的细节能量变化曲线和能量差值曲线。

由图2(b)中的能量差值曲线可知,最佳重构层次位于第3层,因此,判断纹理信息主要集中在第2层,而毛球信息则位于第4层,因此对第2,3层和第3,4层分别进行叠加重构,得到了分离的纹理和毛球图像,如图3所示。

3 应用

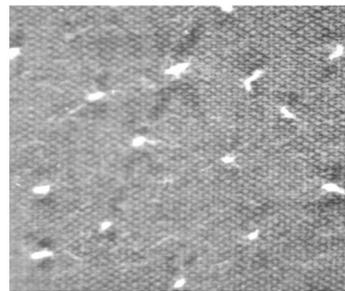
对机织精梳毛织物和针织棉织物进行对比实验,结果如表1所示。

4 结论

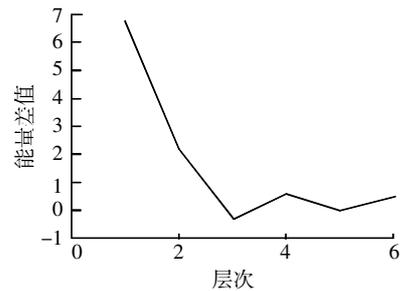
本文将小波分析理论与织物纹理能量算法相结合,通过曲线拟合算法拟合了多尺度小波分解过程中织物纹理能量的变化,根据拟合能量差值曲线确定了最佳重构层次,并对经过多尺度分解后的图像进行重构,实现了毛球与织物纹理分离时的最佳重构层次自动获取。虽然存在马赛克现象,但是基本实现了织物毛球与纹理的自动分离,为实现起毛起球图像处理过程中毛球的分割以及特征参数的提取提供了依据,具有实用价值。

参考文献

[1]李立轻,黄秀宝. 图像处理用于织物疵点自动检测的研究进展[J]. 东华大学学报: 自然科学版, 2002,28(4): 118-122.
 [2]ZHANG J M,WANG XG. Objective

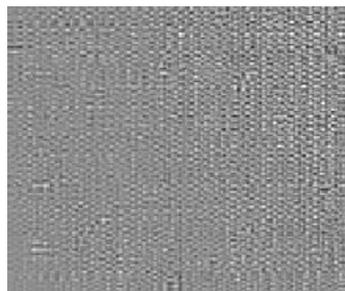


(a) 棉针织物起毛起球原图像

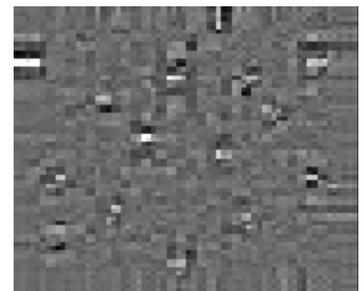


(b) 能量差值曲线

图2 图像与处理结果



(a) 重构后的纹理图



(b) 重构后的毛球图

图3 重构图像结果

表1 机织精梳毛织物、针织棉织物分析结果

	起毛起球织物原图像	能量差值曲线	重构纹理图	重构毛球图
机织精梳毛织物				
针织棉织物				
针织棉织物				

grading of fabric pilling with wavelet texture analysis [J].Textile Research Journal,2007,77:871-879.
 [3]祝双武,郝重阳.基于离散小波变换的织物疵点检测方法[J].计算机工程与应用,2007,25(43): 111-113.

[4]DENG Z,WANG L,WANGF X.An integrated method of feature extraction and objective evaluation of fabric pilling [J]. Journal of the Textile Institute, 2010,27(9):1-13.

收稿日期 2011年6月23日