

# 织物表面纹理疵点自动检测

管声启<sup>1,2</sup>, 石秀华<sup>1</sup>, 许 晖<sup>1</sup>

(1. 西北工业大学航海学院, 西安 710072;  
2. 西安工程大学机电工程学院, 西安 710048)

**摘要:** 根据织物纹理和疵点频谱的不同分布, 提出织物疵点检测的新方法。在织物纹理和疵点分类的基础上, 通过傅里叶变换获得频谱图。设计频域滤波器抑制正常纹理频谱信息, 通过重构对灰度图像进行分割, 实现疵点与正常织物纹理的分离。实验结果表明该方法是有有效的。

**关键词:** 统计性纹理; 结构性纹理; 频域滤波器; 疵点检测

## Automatic Detection on Texture Defects of Fabric Surface

GUAN Sheng-qi<sup>1,2</sup>, SHI Xiu-hua<sup>1</sup>, XU Hui<sup>1</sup>

(1. College of Marine Engineering, Northwestern Polytechnical University, Xi'an 710072;  
2. College of Mechanical & Electronic Engineering, Xi'an Polytechnic University, Xi'an 710048)

**【Abstract】** According to the spectrum difference between fabric texture and defect, a new method for defect detection is presented. On the basis of the fabric texture and defect classification, a spectrum image is derived from FFT. The frequency-domain filter is designed to remove normal texture information, based on the image reconstruction, fabric normal texture and defects are isolated by image segmentation. Experimental results show this method is valid and feasible.

**【Key words】** statistical texture; structural texture; frequency-domain filter; defect detection

### 1 概述

织物疵点是由经纬纱线不规则交织形成的, 其纹理明显区别于规则交织形成的正常纹理<sup>[1]</sup>。基于这种差异, 人们提出了多种疵点检测方法。

目前常见的检测方法有: Norton 等采用阈值化和逐步滤波算法消除噪声的影响, 然后分离出代表疵点的像素族; Cohen 等采用高斯马尔科夫随机场(GMRF)纹理模型对织物疵点进行检测<sup>[2]</sup>; Tsai 等采用共生矩阵和神经网络对棉结、断经、断纬和油污疵点进行检测; 费城大学 Mohamed 等采用灰度直方图统计法对错针、破洞、厚线、薄线等 4 种疵点进行检测<sup>[3]</sup>。这些方法虽然能够检测简单纹理中的一些常见疵点, 但由于没有对织物疵点类型进行研究, 因此一种检测方法只能适合一种织物纹理检测<sup>[4]</sup>。本文基于织物纹理和疵点特性, 通过设计频域滤波器抑制正常纹理信息从而实现织物疵点自动检测。

### 2 织物纹理频谱分析

织物纹理可以分为各向同性的统计性纹理和各向异性的结构性纹理。对于统计性纹理, 其频谱图像能量是以频谱图像中心随着频率增高呈发散状衰减分布, 其衰减速度随着纹理紧密增大而减小。而结构性纹理的频谱图像能量分布具有明显的方向性, 其能量分布与空间域图像纹理方向正交。由于织物疵点也有统计性疵点和结构性疵点之分, 因此疵点和纹理组合有 4 种情况, 见图 1, 其中, 图 1(a)4 幅分别为统计性纹理/统计性疵点、统计性纹理/结构性疵点、结构性纹理/统计性疵点和结构性纹理/结构性疵点, 图 1(b)4 幅分别为图 1(a)4 幅对应的频谱。

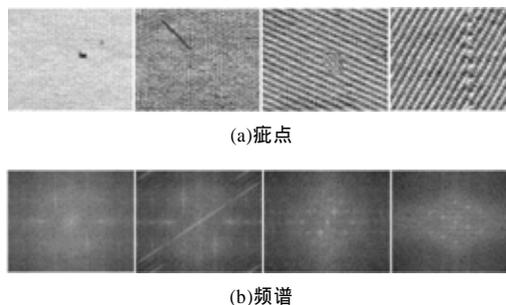


图 1 纹理/疵点灰度及其频谱

#### 2.1 统计性纹理频谱分析

##### (1) 统计性疵点

统计性纹理/统计性疵点频谱的能量以频谱中心为圆心呈发散状衰减分布, 在圆心附近衰减比较均匀, 当离圆心一定距离有明显的突变性衰减, 这是由疵点表现为局部纹理的异常, 其频谱能量随频率增大而快速衰减造成的; 而正常周期性纹理频谱能量衰减比较缓慢, 当远离中心一定距离, 其圆周上有明显的能量聚集现象, 这是由织物纹理纱线交织形成的周期性纹理信息造成的, 因此, 以频谱中心为圆心的不同尺寸的圆盘就包含了不同层次的纹理和疵点信息。只要设计合适的频域滤波器, 保留圆盘内的疵点信息, 滤除圆盘以

**基金项目:** 西安市科技攻关计划基金资助项目(GG04039)

**作者简介:** 管声启(1971 -), 男, 讲师、博士研究生, 主研方向: 智能信号检测, 图像处理与模式识别; 石秀华, 教授、博士生导师; 许 晖, 副教授、博士

**收稿日期:** 2009-02-26 **E-mail:** sina1300841@163.com

外正常纹理周期性信息,就可以实现正常纹理与疵点的分离。频域低通滤波器设计如下:

$$H(u,v) = \begin{cases} 1 & (u,v) \in \phi \\ 0 & (u,v) \notin \phi \end{cases} \quad (1)$$

其中,  $\phi$  为频谱图低频区。 $\phi$  区域的大小选择是关键,即圆盘半径  $r$  的确定,见图 2(a)。首先在频谱图上分别计算以  $r_0$  和  $r_1 = r_0 + \Delta r$  为半径的圆盘能量,然后计算 2 个圆盘之间圆环的平均能量,用  $\Delta E_1$  表示;重复这些步骤,直到半径达到最大值,绘制  $\Delta r - \Delta E$  曲线,  $\Delta E$  下降最快处所对应的半径就是圆盘最佳分割的尺寸。如图 2(b)所示,当半径从  $r_i = r_0 + i \times \Delta r$  增加到  $r_{i+1} = r_0 + (i+1) \times \Delta r$  时,  $\Delta E$  变化最大,因此,半径  $r_{i+1}$  形成的圆盘区域就是要保留的频谱,其中,  $\Delta r_{i+1}$  为第  $i+1$  个  $\Delta r$ 。

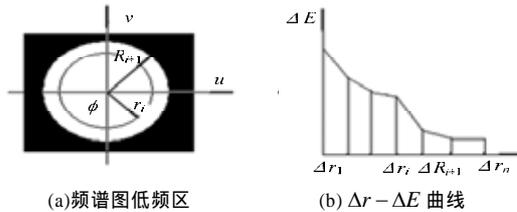


图 2 统计性纹理/统计性疵点滤波器设计

### (2) 结构性疵点

结构性疵点在空域灰度能量集中方向与在频谱图上能量集中方向正交。为了抑制正常周期性纹理高频信息和保留疵点能量集中方向信息,设计具有方向性带通滤波器:

$$G(u,v) = \begin{cases} 1 & (u,v) \in \delta \\ 0 & (u,v) \notin \delta \end{cases} \quad (2)$$

其中,  $\delta$  为疵点能量集中区(图 3 中白色区域);  $\Delta \omega$  为能量集中区的宽度,其值决定重构图像中的纹理和疵点信息保留的多少,如果太宽,不能抑制大部分纹理信息;如果太窄,必将抑制疵点信息,因此,采用类似确定圆盘区域的方法。首先沿着主方向计算  $\Delta \omega_1$  和宽度为  $\Delta \omega_2 = \Delta \omega_1 + \Delta$  的平均能量;然后计算增加区域  $\Delta$  的平均能量  $\bar{p}_1$ ,如此循环直到  $\Delta \omega$  为图像宽度的 1/5 为止;最后通过判断  $\bar{p}_1 \dots \bar{p}_i \dots \bar{p}_n$  衰减速度,以最快速下降处对应的宽度为最佳宽度。图 3 阴影部分为增加的区域。 $\theta_j$  为能量集中区主方向与水平方向夹角。关于主方向的确定,采用类似 Hough 变换的方法,设累加器为  $A(\theta_j)$ ,当  $\theta_j$  从  $0^\circ \sim 180^\circ$  每变化一个角度  $\Delta \theta$ ,每条主线上的频谱能量用相应的累加器累加,当累加完成后,累加器中数值  $A(\theta_j)$  与主线长度比值为最大时所对应的主方向就是结构性疵点频谱能量集中的方向。滤波器设计如图 3 所示。

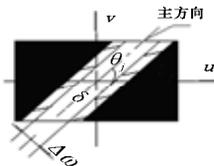


图 3 统计性纹理/结构性疵点滤波器设计

## 2.2 结构性纹理频谱分析

结构性纹理频谱能量分布具有明显的方向性,而结构性疵点也具有方向性,但其能量强度较小,因此,只要抑制能量强度最大的方向性能量集中区,就能抑制方向性纹理信息,突出统计性疵点和结构性疵点信息。方向性带阻滤波器设计如下:

$$W(u,v) = \begin{cases} 0 & (u,v) \in \sigma \\ 1 & (u,v) \notin \sigma \end{cases} \quad (3)$$

其中,  $\sigma$  为结构性纹理频谱能量集中区,其主方向和结构性纹理能量集中区宽度与 2.1 节中的分析(2)相同。

## 3 仿真实验

### 3.1 实验步骤

- (1)对测试图像进行傅里叶变换,通过设计滤波器抑制正常纹理频谱信息。
- (2)进行傅里叶逆变换重构空域图像;对重构图像和原图像采用 Otsu 方法自动获取阈值进行图像分割。
- (3)对重构图获得的二值图像与原图获得的二值图像分割效果进行比较。

### 3.2 实验结果及分析

#### (1) 基本类型纹理/疵点检测

统计性纹理检测结果如图 4 所示,其中,左面 3 幅分别为统计性纹理/统计性疵点能量集中区、滤波后的二值图、原图的二值图;右面 3 幅分别为统计性纹理/结构性疵点能量集中区、滤波后的二值图、原图的二值图。结构性纹理检测结果如图 5 所示,其中,左面 3 幅分别为结构性纹理/统计性疵点能量集中区、滤波后的二值图、原图的二值图,右面 3 幅分别为结构性纹理/结构性疵点能量集中区、滤波后的二值图、原图的二值图。

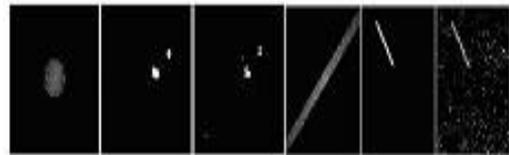


图 4 统计性纹理检测

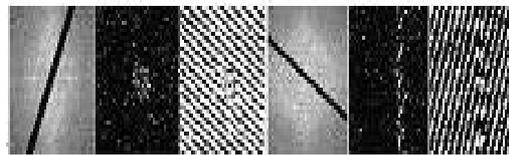


图 5 结构性纹理检测

纹理滤波前后能量分布曲线如图 6~图 13 所示。

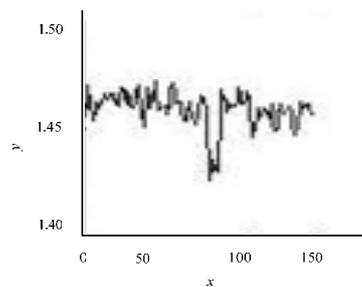


图 6 统计性纹理/统计性疵点滤波前能量分布

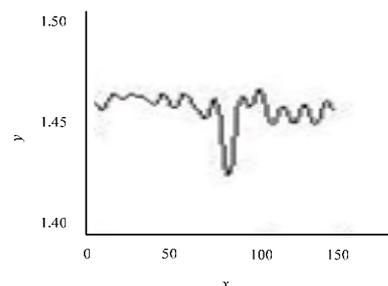


图 7 统计性纹理/统计性疵点滤波后能量分布

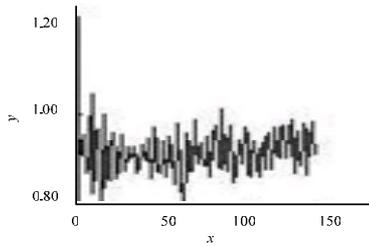


图 8 统计性纹理/结构性疵点滤波前能量分布

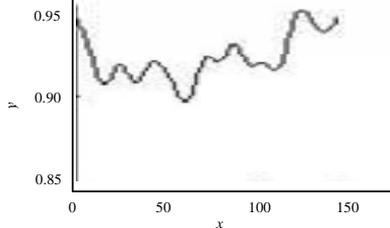


图 9 统计性纹理/结构性疵点滤波后能量分布

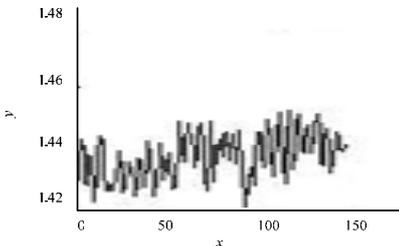


图 10 结构性纹理/统计性疵点滤波前能量分布

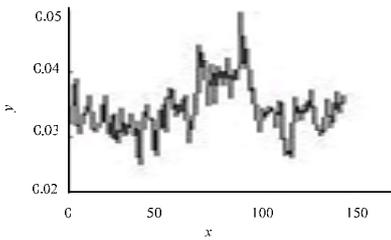


图 11 结构性纹理/统计性疵点滤波后能量分布

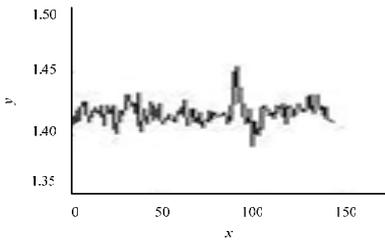


图 12 结构性纹理/结构性疵点滤波前能量分布

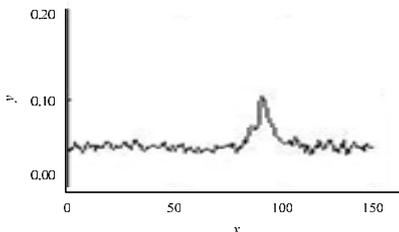


图 13 结构性纹理/结构性疵点滤波后能量分布

分析图 4 和图 5 可知, 由于设计的滤波器抑制了频谱图的周期性纹理信息和方向性纹理信息, 滤波获得二值图像较好地分离了正常纹理与疵点, 而直接从原图分割获得二值图不能有效分离纹理和疵点。另外, 绘制了原图和重构图矩阵各列能量曲线分布图, 这里的能量定义为每列灰度值均值。从图 6 可以看出, 统计性纹理滤波后能量分布曲线比较光滑,

结构性纹理滤波后能量曲线中的疵点能量突出, 因此, 根据纹理类型设计相应的滤波器抑制纹理信息, 能够改善疵点信息和纹理信息对比度, 从而实现疵点与纹理分离。

#### (2) 织物纹理疵点自动检测

织物纹理疵点自动检测结果如图 14 所示, 其中, 第 1 幅为统计性纹理; 第 2 幅为统计性纹理滤波后的二值图; 第 3 幅为结构性纹理; 第 4 幅为结构性纹理滤波后的二值图。

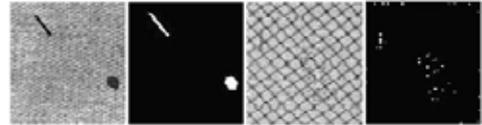


图 14 织物纹理自动检测

在织物疵点自动检测中, 织物纹理类型通常是已知的。对于统计性纹理检测, 首先在频谱图中检测方向性能量集中区, 如果过频谱图原点某方向直线上平均能量大于设定的阈值, 说明存在结构性疵点, 设计具有方向性带通和低通特性的滤波器, 通过滤波抑制统计性纹理周期性信息, 同时保留低频统计性疵点和结构性疵点信息; 如果小于设定的阈值, 说明只存在统计性疵点, 设计低通滤波器, 抑制正常纹理信息。对于结构性纹理检测, 首先在结构性纹理频谱图中检测方向性纹理能量集中区, 设计相应的具有抑制方向性能量的方向性带阻滤波器。在已知的结构性纹理条件下, 由于频谱图中能量集中区的方向是固定不变的, 因此能快速检测能量集中的主方向, 实现快速检测。

图 7 中的统计性纹理含有统计性疵点和结构性疵点, 通过设计的具有低通和方向性的带通滤波器, 能够较好地检测出疵点。图中的结构性纹理含有统计性疵点和结构性疵点, 通过设计方向性带阻滤波器, 实现了疵点与正常纹理的分离, 但滤波器在抑制结构性纹理方向性信息的同时, 也抑制了部分疵点信息, 垂直方向上线条被检测成若干线段。

#### 4 结束语

本文根据织物纹理和疵点类型, 设计不同的频域滤波器抑制正常的纹理信息; 然后在重构图中, 通过 Otsu 方法进行图像分割, 实现疵点与纹理的分割。在疵点检测中, 纹理的类型是已知的, 只要设计相应的滤波器就能实现疵点快速自动检测。另外, 通过大量实验发现, 滤波器初始条件对实验结果影响较小, 疵点灰度与织物正常纹理灰度接近时, 也能够较好地抑制正常纹理信息, 比其他检测方法更容易实现疵点与正常纹理的分离。

#### 参考文献

- [1] Tsai Du-Ming, Chiang Cheng-Huei. Automatic Band Selection for Wavelet Reconstruction in the Application[J]. Image and Vision Computing, 2003, 21(5): 413-431.
- [2] Yao Chenghao, Chen Shuyuan. Retrieval of Translated, Rotated and Scaled Color Textures[J]. Pattern Recognition, 2003, 36(4): 913-929.
- [3] Guzaitis J, Verikas A. Image Analysis and Information Fusion Based Defect Detection in Particleboards[J]. Electronics and Electrical Engineering, 2006, 71(7): 67-71.
- [4] Sezer O G, Ertuzun A, Ercil A. Independent Component Analysis for Texture Defect Detection[J]. Pattern Recognition and Image Analysis, 2004, 14(2): 303-307.

编辑 张正兴