

doi: 10.11830/ISSN.1000-5013.201704022



# 采用频域滤波的织物疵点检测方法

刘伟斌<sup>1</sup>, 郑力新<sup>2</sup>, 周凯汀<sup>1</sup>

(1. 华侨大学 信息工程与科学学院, 福建 厦门 361021;  
2. 华侨大学 工学院, 福建 泉州 362021)

**摘要:** 首先,通过傅里叶变换获得含有疵点的织物频谱图,根据频谱图设计频域滤波器分离正常的纹理信息,保留疵点信息;然后,通过傅里叶逆变换进行灰度图重构,得到去除正常纹理的疵点图像;最后,经过高斯平滑后二值化分割出织物疵点.实验选取 5 种织物疵点进行验证,结果表明:采用频域滤波的织物疵点检测方法检测效果良好,且检测率达到 90% 以上.

**关键词:** 疵点检测; 织物; 纹理; 频域滤波; 傅里叶变换

中图分类号: TP 391      文献标志码: A      文章编号: 1000-5013(2017)04-0562-05

## Detection Method of Fabric Defects Based on Frequency Domain Filtering

LIU Weibin<sup>1</sup>, ZHENG Lixin<sup>2</sup>, ZHOU Kaiting<sup>1</sup>

(1. College of Information Science and Engineering, Huaqiao University, Xiamen 361021, China;  
2. College of Engineering, Huaqiao University, Quanzhou 362021, China)

**Abstract:** Firstly, a spectrum image for fabric containing defects was obtained from the Fourier transform. According to the spectrum image, frequency domain filter was designed to remove normal texture information and keep defect information; and then a fabric defect image is obtained by Fourier inverse transform for reconstructed gray image which remove normal texture, finally, the fabric defect was obtained after Gaussian smoothing and image segment. The experiment select five types of fabric defects, the experimental results shows that the method is effective, and the detection average accuracy is over 90%.

**Keywords:** defects detection; fabric; texture; frequency domain filtering; Fourier transform

目前,绝大多数的织物疵点检测还处于人工检测阶段.由于受到人的因素影响,人工检测的效率低、误检率高,而基于机器视觉的自动检测日益受到业内的认可.织物通常由纱线按照一定的纹理结构进行编织而成,其生产工艺决定了织物疵点属于正常纹理结构的一种畸变.因此,检测织物疵点是一项纹理分析的过程.采用纹理模型进行疵点检测的主要有高斯马尔科夫随机场(GMRF)模型<sup>[1]</sup>、Poisson 模型<sup>[2]</sup>和 Wold 模型<sup>[3]</sup>.近年来也出现了一系列织物疵点检测的新方法,如 Kumar 等<sup>[4]</sup>提出 Gabor 滤波器应用于疵点检测;Han 等<sup>[5]</sup>采用自适应小波包(AWP)分解织物图像进行判断疵点的存在;Chan 等<sup>[6]</sup>采用傅里叶变换进行谱分析继而提取特征参数进行检测.本文提出一种新的频域滤波器设计方法进行织物疵点检测,加强对织物正常纹理信息能量的抑制,使织物的纹理和疵点具备更强的对比度,从而有利于疵点的分割.

**收稿日期:** 2014-08-25  
**通信作者:** 郑力新(1967-),男,教授,博士,主要从事工业自动化技术和人工智能的研究. E-mail: 1275373176@qq.com.  
**基金项目:** 福建省科技创新平台建设项目(2013H2002)

# 1 频域滤波器设计

## 1.1 二维离散傅里叶变换

图像在计算机中的实质是 1 个矩阵, 且为数字信号. 一副大小为  $M \times N$  的图像可用  $f(x, y)$  表示, 其中:  $x=0, 1, 2, \dots, M-1; y=0, 1, 2, \dots, N-1$ .  $f(x, y)$  的离散傅里叶正变换  $F(u, v)$  可表示为

$$F(u, v) = \sum_{x=0}^{M-1} \sum_{y=0}^{N-1} f(x, y) \exp(-j2\pi(ux/M + vy/N)).$$

(1)

式(1)中:  $u=0, 1, 2, \dots, M-1; v=0, 1, 2, \dots, N-1$ ; 在频域中,  $u, v$  确定频率. 由此可知: 频域图像大小和时域图像大小相同.

由于傅里叶变换的可逆性, 二维离散傅里叶逆变换为

$$f(x, y) = \frac{1}{MN} \sum_{u=0}^{M-1} \sum_{v=0}^{N-1} F(u, v) \exp(j2\pi(ux/M + vy/N)).$$

(2)

由式(2)可知: 即使  $f(x, y)$  为实数, 其傅里叶变换也为复数的形式. 因此, 通常情况下傅里叶变换后的频谱图实质是  $F(u, v)$  的幅度图. 傅里叶变换中幅度定义为

$$|F(u, v)| = \sqrt{[R^2(u, v) + I^2(u, v)]}.$$

(3)

相位角定义为

$$\phi(u, v) = \arctan \left[ \frac{I(u, v)}{R(u, v)} \right].$$

(4)

利用式(3), (4), 采用极坐标表示  $F(u, v)$ , 即

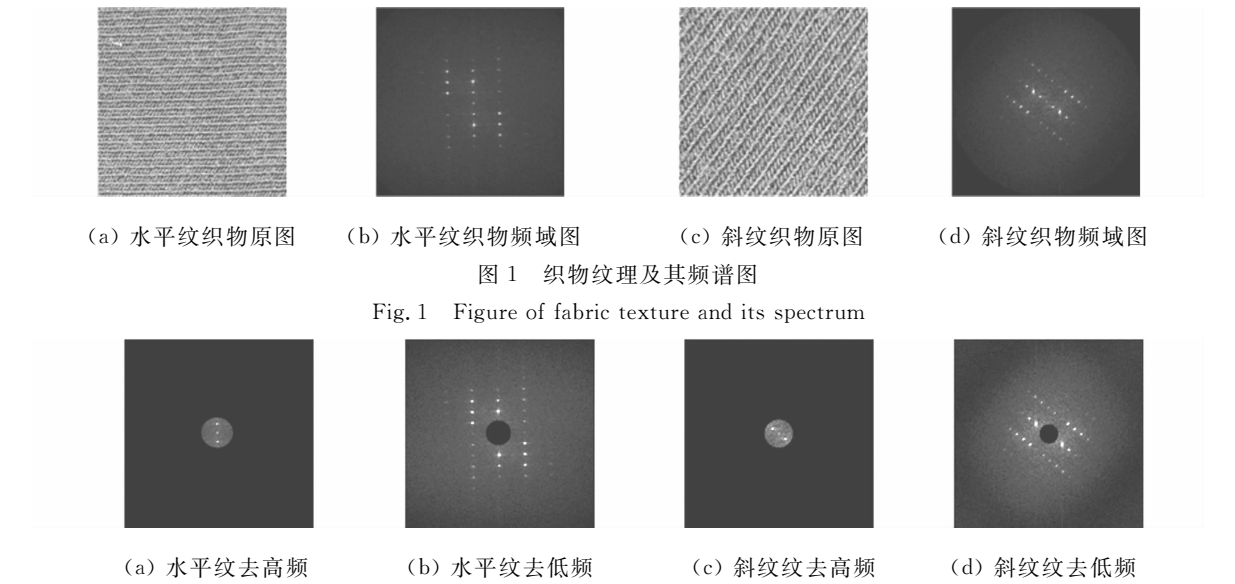
$$F(u, v) = |F(u, v)| \exp(-j\phi(u, v)).$$

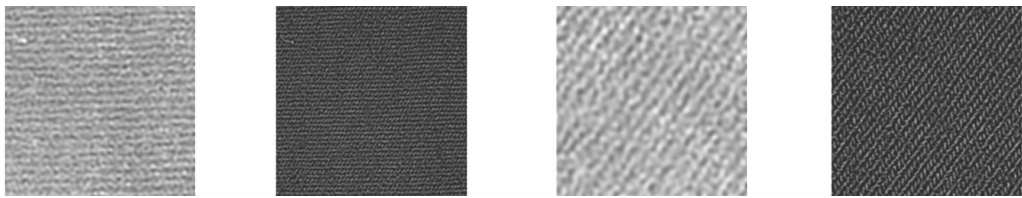
(5)

图像经过傅里叶变换可以有效地展现频域的相关特性, 织物图像存在着周期性纹理, 在频域中也就有相应的频率特性. 因此, 可以利用织物图像进行傅里叶变换, 并在频域中进行相应的处理.

## 1.2 滤波器设计算法

织物纹理及其频谱图, 如图 1 所示. 由图 1(a), (c) 可知: 织物的纹理信息伴随着一定的周期性和方向性. 由图 1(b), (d) 可知: 织物灰度图的纹理是由纱线按照一定的结构编织而成, 经过傅里叶变换对应的频域中的频谱图以图像中心呈发散状分布, 且在方向上与空间域中的纹理的方向正交. 图 2(a), (c) 是由图 1(a), (c) 去除高频部分后得到的频谱图; 图 2(b), (d) 是由图 1(a), (c) 去除低频部分得到的频谱图; 图 2(e)~(h) 是由图 2(a)~(d) 经傅里叶逆变换重构的灰度图. 由图 2(e), (g) 可知: 当去除高频信息时, 纹理受到很大程度上的抑制. 由图 2(f), (h) 可知: 当相应地去除低频信息时, 纹理的周期性和方向性几乎得到了保留. 这说明织物的纹理信息主要处于高频段, 同时单纯的应用低通滤波器虽然可以很大程度上抑制正常的纹理信息, 但也几乎破坏了可能含有疵点的重要信息.





(e) 水平纹去高频(重构) (f) 水平纹去低频(重构) (g) 斜纹纹去高频(重构) (h) 斜纹纹去低频(重构)

图 2 纹理频域滤波及其灰度重构图

Fig. 2 Figure of texture filtered frequency domain and reconstructed grayscale

因此,需要设计一种类似带通频域的滤波器,使织物纹理信息和疵点信息之间有一个节点进行区分滤波.由织物纹理在频域中的图像可以看出:除频域图像中心外,纹理能量集中在图像中心附近的亮斑上.需要设计一种滤波器能够针对这些亮斑进行滤波,以最大限度滤除纹理,又最大限度保留疵点能量.

滤波器设计算法流程,如图 3 所示.在获取织物图像后进行傅里叶变换,将频域图进行高斯平滑滤波后,采用最大类间方差法(OTSU)二值化处理.然后,通过分割出的粒子面积大小筛选进行粒子滤波,通过粒子参数确定频域滤波器所需参数,将滤波后的频域图进行傅里叶逆变换重构灰度图,再进行 OTSU 分割出疵点图像.

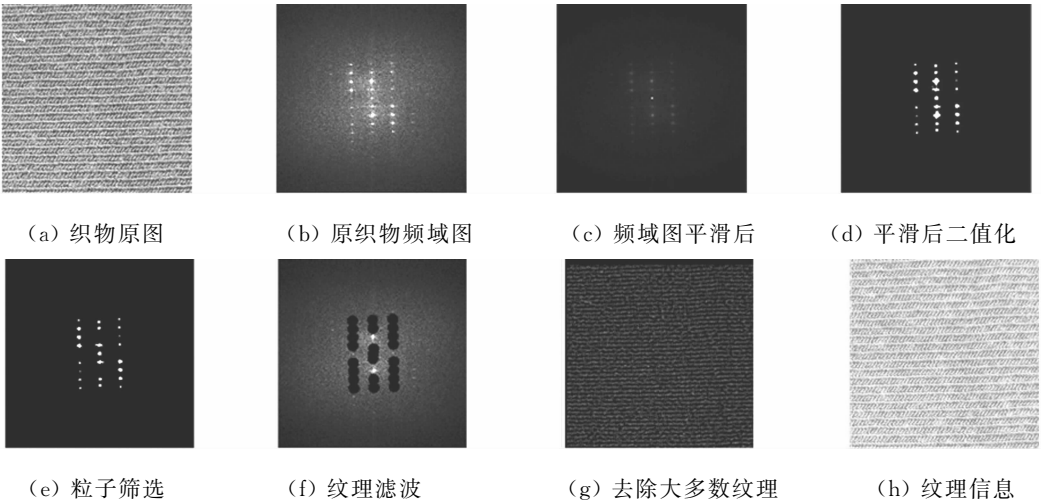
滤波器的设计为

$$H(u,v)=\begin{cases}0,&(u,v)\in\varphi,\\1,&(u,v)\notin\varphi.\end{cases}\quad (6)$$

式(6)中: $\varphi$ 为图 4(f)中的黑色斑块,是织物纹理能量集中区. $\varphi$ 的确定过程如下:图 4(a)中的织物经傅里叶变换后得到频域能量图  $F(u,v)$ ,如图 4(b)所示;由于其频谱发散衰减特性,不利于后续操作,因此,对其进行求模运算,并采用高斯滤波器进行平滑操作,效果如图 4(c)所示;针对平滑滤波后的频谱图进行二值化分割,采用 OTSU 确定阈值,分割后的效果如图 4(d)所示;通过粒子筛选的方式保留粒子面积为  $0\leq S_n\leq\delta_2$  的粒子,效果如图 4(e)所示;分别以保留的粒子的质心为圆心作半径为  $\gamma$  的圆,这些圆所组成的区域即为  $\varphi$ .

参照式(7),将原频谱图  $F(u,v)$ 进行滤波,得到的效果如图 4(f)所示,即

$$G(u,v)=H(u,v)F(u,v).\quad (7)$$



(a) 织物原图 (b) 原织物频域图 (c) 频域图平滑后 (d) 平滑后二值化 (e) 粒子筛选 (f) 纹理滤波 (g) 去除大多数纹理 (h) 纹理信息

图 4 频域滤波器设计

Fig. 4 Designed frequency domain filter

面积  $\delta_2$  与圆半径  $\gamma$  的确定过程:对经 OTSU 后获得的图 4(d)进行粒子分析,得到各粒子的面积参数,取最大值的  $2/3$  为  $\delta_2$ ,由于疵点能量信息常位于低频部分,因此,面积最大的那块即为疵点能量;当  $\delta_2=2\times S_{\max}/3$  时,可在保留疵点信息的同时滤除大多数的纹理信息,对已分割的粒子作最小外接圆,获

取各粒子的最小外接圆半径,在滤波过程中需要保证最大限度的滤除纹理信息,因此, $\gamma$ 取 $R_{\max}$ .

由图 4(g)可知:经过该滤波器滤波后重构的灰度图纹理信息基本上被剥离出来.将原始图像减去重构的灰度图像得到的效果如图 4(h)所示,可以看出绝大多数的纹理信息.

## 2 实验结果分析

### 2.1 实验步骤

- 1) 将织物图片进行傅里叶变换,设计频域滤波器.
- 2) 针对该织物图片的频谱图与相应的滤波器进行滤波后,应用傅里叶逆变换重构灰度图像.
- 3) 对重构的灰度图像进行分割,采用 OTSU 阈值法,检测是否存在非 0 粒子,若有则视为有疵点.

### 2.2 实验分析

2.2.1 常见疵点检测 系统软件平台基于 OPENCV 2.1+Visual Studio 2010,硬件环境为四核 Intel Core2 2.6 GHz CPU,2 G 内存的计算机.分别对勾丝、棉结、破洞、缺纬、油污等 5 类常见的疵点进行测试,所选图像大小均为 512 px×512 px,测试结果如图 5~9 所示.图 5~9 中:(a)为疵点织物原图;(b)为经傅里叶变换的频谱图;(c)为经频域滤波后的频谱图;(d)为滤波后傅里叶逆变换重构图;(e)为经 OTSU 法分割后形态学处理图;(f)为疵点原图(a)经 OTSU 法分割后形态学处理图.由图 5~9 中(e),(f)可以看出:原织物疵点图像在未经频域滤波的情况下进行分割,由于受纹理背景等因素的影响,分割出来的疵点图像涵盖着大量的纹理信息,油污疵点由于与纹理有较强的对比度差异,受纹理的影

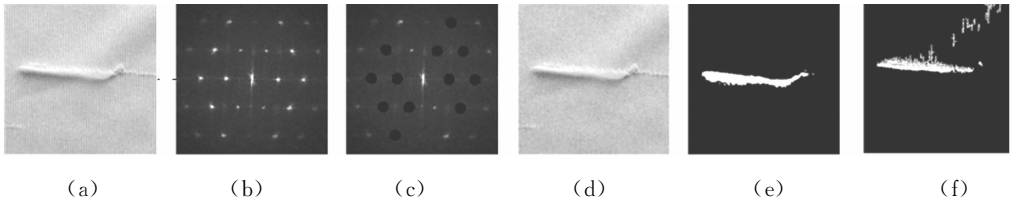


图 5 勾丝处理图

Fig. 5 Figure of pilling processing

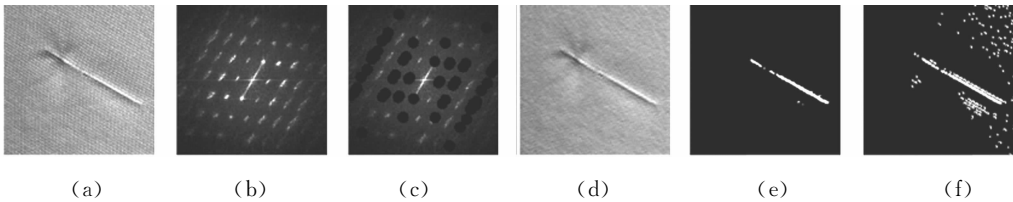


图 6 棉结处理图

Fig. 6 Figure of nep processing

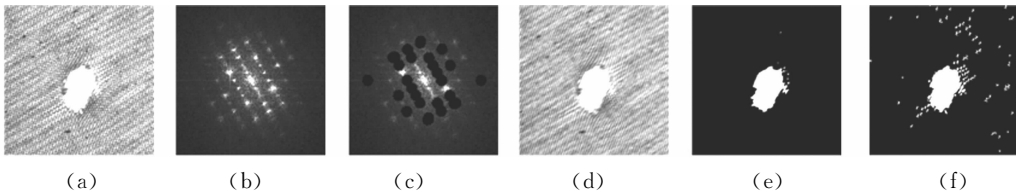


图 7 破洞处理图

Fig. 7 Figure of hole processing

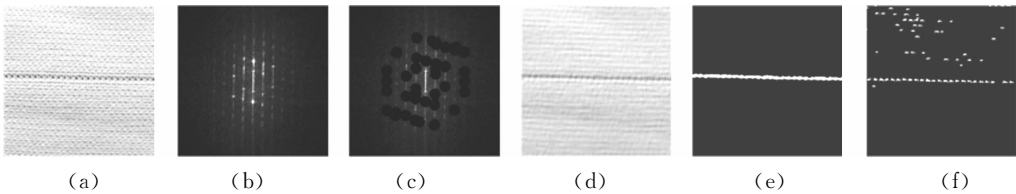


图 8 缺纬处理图

Fig. 8 Figure of broken picks processing

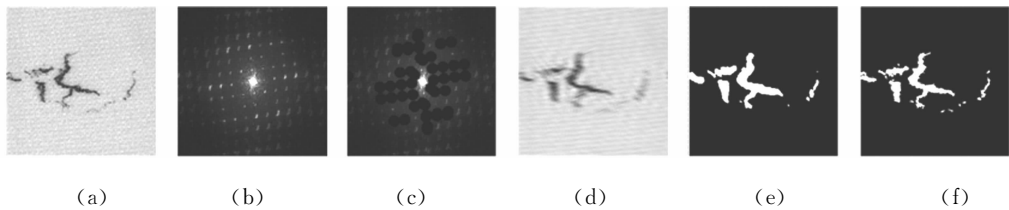


图 9 油污处理图

Fig. 9 Figure of oil stain processing

响很小,但大多数疵点是纹理性疵点. 傅里叶变换、滤波器参数获取、滤波、傅里叶逆变换、OTSU 分割算法模块的时间消耗分别为 9.8,8.2,3.2,8.5,4.7 ms,整个算法耗时 34.4 ms.

2.2.2 检测率对比 实验的硬件、软件环境同节 2.2.1,共选取 150 张图像作为样本进行测试,5 类疵点图片各 30 张,分别采用文中方法和现研究领域中检测效果较好的 Gabor 算法<sup>[4,7]</sup>进行对比实验. 此处 Gabor 算法采用 1 个尺度 2 个方向(水平、垂直)进行滤波. 文中方法的检测率( $\eta_1$ )和 Gabor 算法的检测率( $\eta_2$ ),如表 1 所示. 由表 1 可知:文中方法对 5 大疵点的检测率均超过 90%,与 Gabor 算法在勾丝、棉结、缺纬、油污上的检测率相差无几;在破洞检测中,由于受破洞疵点本身内部可能还有没有被完全破坏的纹理周期性和方向性的干扰,Gabor 滤波法对其检测效果不佳,但文中方法由于抑制了纹理信息,仍然保持着 90%的检测率.

表 1 算法检测率

Tab. 1 Algorithm detection rate

检测类型	$\eta_1 / \%$	$\eta_2 / \%$
勾丝	100.0	100.0
棉结	93.3	96.7
破洞	90.0	83.3
缺纬	96.7	100.0
油污	100.0	100.0

在时效性上,文中方法与 Gabor 算法单一疵点耗时分别为 34.4 和 292.0 ms. 假设织物宽度为 1.6 m,采用 4 台 2 K 线阵相机分别连接 4 台上述硬件软件配置一致的 PC 机,即分辨率为  $0.2 \text{ mm} \cdot \text{px}^{-1}$ ,图像取  $2\,048 \text{ px} \times 512 \text{ px}$ ,则处理单张图像所耗时间为 137.6 ms,则该算法的检测速度达  $44.65 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$ ,比人工检测速度 ( $15 \sim 30 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$ )快得多,可达到实用要求.

3 结束语

根据傅里叶变换后的频谱图特征设计相应的频域滤波器,该滤波器可加强针对织物正常纹理信息能量的抑制. 实验结果表明:文中方法具有很好的检测效果和时效性. 然而,其不足之处在于在抑制正常纹理背景的同时也抑制了部分织物疵点信息.

参考文献:

[1] DENG Huawu,CLAUSI D A. Gaussian MRF rotation-invariant features for image classification[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence,2004,26(7):951-955.

[2] BRZAKOVIC D P,BAKIC P R,VUJOVIC N S,*et al.* A generalized development environment for inspection of web materials[C]//IEEE International Conference on Robotics and Automation. Albuquerque:IEEE Press,1997:1-8.

[3] 徐增波,贡玉南,黄秀宝. 基于 Wold 纹理模型和分形理论的织物疵点检测[J]. 东华大学学报(自然科学版),2000,26(1):6-9.

[4] KUMAR A,PANG G K H. Defect detection in textured materials using Gabor filters[J]. IEEE Transactions on Industry Applications,2002,38(2):425-440.

[5] HAN Yangfan,SHI Pengfei. An adaptive level-selecting wavelet transform for texture defect detection[J]. Image and Vision Computing,2007,25(8):1239-1248.

[6] CHAN C H,PANG G K H. Fabric defect detection by Fourier analysis[J]. IEEE Transactions on Industry Applications,2000,36(5):1267-1276.

[7] MAK K L,PENG P. An automated inspection system for textile fabrics based on Gabor filters[J]. Robotics and Computer Integrated Manufacturing,2008,24(3):359-369.