

DOI:10.3969/j.issn.1001-4551.2017.07.022

基于 Gabor 滤波器对织造前帘子布 疵点检测研究^{*}

唐旭晟, 杨思材, 陈 丹^{*}

(福州大学 机械工程及自动化学院, 福建 福州 350116)

摘要:针对织造前帘子布纱线疵点自动检测问题,对织造前帘子布纱线疵点分布特点开展了研究分析,提出了一种基于 Gabor 滤波器的帘子布纱线疵点检测算法,利用 Gabor 滤波器的能量值来描述帘子布纱线疵点特征。通过对疵点 Gabor 图像阈值化处理,得到了疵点的二值图像。然后对疵点二值图像沿水平方向进行了均等分割,得到了疵点所在的条状图像并除去随机噪声。在 1 792 个疵点图像测试集上对不同尺度参数的 Gabor 滤波器进行疵点检测准确度分析,建立了最优的方向和尺度参数组合。并搭建了基于机器视觉技术的帘子布纱线疵点检测系统。研究表明,该检测算法对帘子布纱线疵点检测准确度达到 99.2%。经过 4 个月生产实践表明,该系统对织造前帘子布纱线疵点检测效果比人工检测效果提高 86%,实现了机器换人的目的。

关键词:帘子布纱线;织造前;Gabor;疵点检测;机器视觉

中图分类号:TP2;TS1

文献标志码:A

文章编号:1001-4551(2017)07-0802-04

Defect detection of cord fabric before weaving based on Gabor filter

TANG Xu-sheng, YANG Si-cai, CHEN Dan

(School of Mechanical Engineering and Automation, Fuzhou University, Fuzhou 350116, China)

Abstract: Aiming at the problem of automatic detection of the pre-weaving cord fabric yarn defect, the analysis of the distribution features of the pre-weaving cord fabric yarn defect was conducted and the algorithm for the detection of the cord fabric yarn defect based on the Gabor filters was proposed. The energy value of the Gabor filter was used to describe the defect characteristics of the cord fabric yard. The defect Gabor images were given thresholding process and the binary images of the defect were obtained. Then the defect binary images were equally divided in the horizontal direction to obtain the defect stripe images for removing the random noise. After the accuracy analysis of the defect detection with the Gabor filters with different parameters performed on 1792 test sets of the defect images, the optimal portfolio of the direction and scale of the defect Gabor features was established and the automatic detection system for the cord fabric yarn defect based on the machine vision was constructed. The results indicate that using this method raises the cord fabric yarn's defect detection accuracy up to 99.2%. After the actual practices over 4 months, it gives an improvement by 86% compared with the manual detection and achieves the purposes of machine substitutions.

Key words: cord fabric yarn; before weaving; Gabor; defect detection; machine vision

0 引 言

帘子布是轮胎等橡胶制品的骨架材料,其性能对轮胎的质量起到重要作用,直接与人们的生命安全相关,因此对帘子布的质量要求非常严格。目前,在织造

过程中,帘子布疵点主要依赖操作工的肉眼检查。这种检测方式的结果受检测人员的经验、身体状况和责任心等因素的影响较大,检测人员很容易出现视觉疲劳,常出现错判、漏判,使得检测结果不尽人意。所以可实现对织造前的帘子布纱线疵点自动检测的系统是

收稿日期:2016-12-31

基金项目:福建省自然科学基金资助项目(2013J01226)

作者简介:唐旭晟(1973-),男,福建福州人,博士,副研究员,主要从事机器视觉方面的研究. E-mail:tribology@163.com

通信联系人:陈丹,女,博士,副教授. E-mail:fzuchd@163.com

帘子布生产企业急需的技术。

近年来,许多研究人员对帘子布疵点的自动检测技术开展了研究:比如宋寅卯^[1-2]基于 PCNN 和 SVM 的帘子布疵点识别算法和基于傅立叶变换的帘子布疵点检测研究;张五一^[3-4]基于 Gabor 小波变换的帘子布疵点检测研究和基于 Gabor 滤波器组与 BP 神经网络的帘子布疵点检测研究与实现;赵鹏喜^[5]基于 LPQ 特征向量和 PCA 的帘子布疵点识别算法研究;吴定允^[6]基于 MSA 矩的帘子布疵点识别算法的研究;温盛军^[7]基于数字形态学滤波与 SVM 技术的帘子布疵点检测。

以上研究都是基于织造完成以后的帘子布疵点的检测研究,现有的文献中还未发现有对织造前帘子布纱线材料疵点进行检测研究。如果能在帘子布织造之前事先发现纱线的瑕疵点,可以避免织造完成后才发现布面不合格。另由于检测难度等原因,现有的研究成果并没有转化为成熟的在线检测设备。

针对以上问题,笔者提出一种基于 Gabor 滤波器的纱线疵点自动检测算法,并基于本研究算法开发一套在线检测系统。

1 检测算法构建

1.1 纱线疵点分析

帘子布纱线由多股细纱捻织而成,在制作过程中会产生某些细纱断裂或者捻织不足造成松经的纱线疵点。

这些异常纱线多数呈现波浪形的垂直走向,纱线疵点图像示例如图 1 所示(椭圆框中为纱线疵点)。

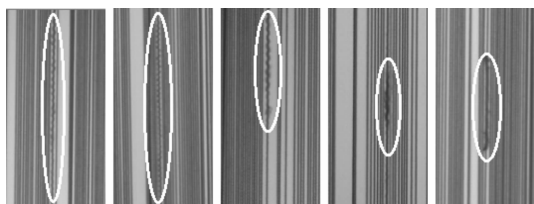


图 1 纱线疵点图像示例

因此,检测算法的目标就是:将垂直走向的局部疵点提取出来。由图 1 可知,相对于正常纱线,异常纱线显得更粗,同时边缘呈波浪形特征。如何增强并提取出这些特征是构建检测算法的关键。鉴于 Gabor 滤波器在织物成品检测中得到成功应用^[8-10],本研究也采用了基于 Gabor 滤波原理,优选了滤波器的方向和尺度,对局部疵点进行增强操作,并对滤波后的疵点图像进行能量值的阈值分割,提取出局部疵点,最后对分割后的疵点图像进行面积阈值处理,去除随机噪声,以此完成对织造前帘子布纱线疵点的检测。

1.2 Gabor 滤波器原理

Gabor 滤波器是用于边缘检测的线性滤波器,它能够提供更好的方向选择和尺度选择的特性,而且对光照的变化具有良好的适应性能^[11]。Gabor 滤波器的

脉冲响应,可以定义为一个正弦波乘以高斯函数。由于乘法卷积的性质,Gabor 滤波器脉冲响应的傅立叶变换是其调和函数傅立叶变换和高斯函数傅立叶变换的卷积。该滤波器由实部和虚部组成,两者相互正交^[12]。其复数式如下所示:

$$G(x, y; \lambda, \theta, \psi, \sigma, \gamma) = \exp\left(\frac{x' + \gamma^2 y'^2}{2\sigma^2}\right) \cdot \exp\left(i\left(2\pi \frac{x'}{\lambda} + \psi\right)\right) \quad (1)$$

实部如下所示:

$$R(x, y; \lambda, \theta, \psi, \sigma, \gamma) = \exp\left(-\frac{x'^2 + \gamma^2 y'^2}{2\sigma^2}\right) \cdot \cos\left(2\pi \frac{x'}{\lambda} + \psi\right) \quad (2)$$

虚部如下所示:

$$I(x, y; \lambda, \theta, \psi, \sigma, \gamma) = \exp\left(-\frac{x'^2 + \gamma^2 y'^2}{2\sigma^2}\right) \cdot \sin\left(2\pi \frac{x'}{\lambda} + \psi\right) \quad (3)$$

其能量值为:

$$Q(x, y; \lambda, \theta, \psi, \sigma, \gamma) = \sqrt{\frac{R(x, y; \lambda, \theta, \psi, \sigma, \gamma)^2 + I(x, y; \lambda, \theta, \psi, \sigma, \gamma)^2}{2}} \quad (4)$$

其中:

$$x' = x \cos \theta + y \sin \theta, y' = -x \sin \theta + y \cos \theta.$$

式中: λ —正弦函数波长; θ —Gabor 核函数的方向,即检测选择的方向; ψ —相位偏移量; σ —高斯函数的标准差; γ —空间的纵横比,它定义了 Gabor 函数形状的椭圆率,当 $\gamma = 1$ 时为圆形,该值通常为 0.5。

σ 与 λ 的关系为:

$$\frac{\sigma}{\lambda} = \frac{1}{\pi} \sqrt{\frac{\ln 2}{2}} \cdot \frac{2^b + 1}{2^b - 1} \quad (5)$$

式中: b —Gabor 滤波器的空间频率带宽,通常取 1。

笔者首先根据实验经验初选了 Gabor 滤波器的方向和尺度参数,分别为 $\theta = \pi/2, b = 1, \psi = 0, \gamma = 0.5, \sigma = 1.2$ 。将疵点图像与 Gabor 滤波器卷积后,并取其能量值即为所提取的图像 Gabor 特征。

疵点图像的 Gabor 特征如图 2 所示。

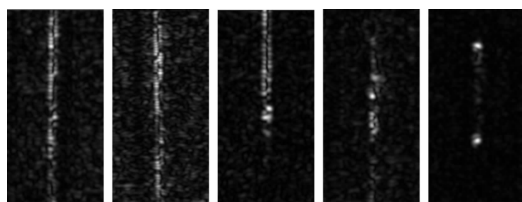


图 2 疵点图像的 Gabor 特征

1.3 Gabor 能量特征阈值化

从图 2 可以看出,经过 Gabor 滤波器卷积后,疵点特征得到了增强,对疵点能量图进行简单的阈值化即可将瑕疵点从背景图像分割出来。该阈值确定方法如下:

本研究选取 100 张无疵点图像, 设原始图像 i 经 Gabor 滤波器卷积后得到的能量图像记为 $R_i(x, y)$, 取这 100 张能量图像的最大值作为阈值, 如下式:

$$\psi_{th} = \max |R_i(x, y)|, i = 1, \dots, 100 \quad (6)$$

最终确定阈值为 95。

1.4 噪声点滤除

能量阈值化处理之后的图像可能包含有一些噪声点, 通常随机分布在图像四周, 而疵点却只集中分布在某一根纱线的垂直方向上, 且其面积比噪声点面积大很多。

为了去除这些噪声点, 且定位疵点位置, 本研究根据疵点的分布特点及其与噪声点的大小差距设计了一个过滤器。其方法如下:

- (1) 将每幅图像的大小缩放为 1 288 × 700;
- (2) 把图像沿水平方向均等分为 1 288/ M 个 $M \times 700$ 的条状图像, M 为条状图像的宽度, 其大小选取应大于疵点的成像宽度, 通过对疵点图像样本的统计分析, 本研究选取 $M = 28$;
- (3) 计算每一个条状图像中所有连通分量的面积和, 面积和大于 N 个像素的连接区域则为疵点所在的位置; 每一个条状图像的面积和小于 N 个像素的则认为此图像为无疵点图像。 N 为系统设置的停车大小, 由织造车间生产工艺人员根据质量要求不同的织造产品可做适当调整。质量要求越高, N 值取越小, 反之亦然。经过现场测试以及反馈结果来看, $N = 20$ 可以保证绝大部分织造产品的质量要求, 本研究选取 $N = 20$ 。

本研究算法检测结果如图 3 所示(左图为检测结果, 右图为面积阈值处理后疵点所在的条状图像)。

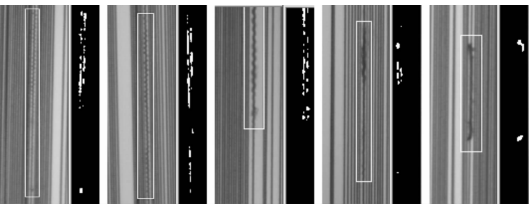


图 3 检测结果示例

2 Gabor 滤波器参数优选

对 Gabor 滤波器参数优选是对方向和尺度的优选。

对于方向的优选, 无论是完好的纱线, 还是具有疵点的纱线其走向都是垂直方向的, 因此本研究优先选择 Gabor 滤波器的方向参数选取 $\theta = \pi/2$ 。

对于尺度的优选, 为能过滤无疵点图像, 其尺度大小的选取原则上应小于实验初选的尺度大小。本研究选取一组以 σ 为变量且首项 $\sigma = 0.4$, 公差为 0.2 的等差数列, 在 1 792 个疵点样本测试集进行检测结果对比, 从中选择检测准确度最高的尺度作为最终优选的尺度。

检测结果如表 1 所示。

表 1 不同 σ 值在测试集上的检测准确度

σ	0.4	0.6	0.8	1.0	1.2	1.4
准确度/(%)	92.3	99.2	98.8	95.8	94.3	93.5

实验结果表明: Gabor 滤波器能够很好地刻画出帘子布纱线疵点, 其不同的方向与尺度参数将影响疵点检测的准确度, 因此选择该算法检测时, 应该根据实际场合设计不同的参数。从表 1 可以得出, 当 $\sigma = 0.6$ 时, 对帘子布纱线疵点检测准确度最高, 达到了 99.2%, 即本研究优选的尺度大小。

根据本研究介绍的算法, 笔者设计实现了基于机器视觉技术的帘子布纱线缺陷在线检测系统, 检测系统运行的操作系统为 Windows 7 Pro, 编程语言采用 VC++ , 数据库采用 Access。系统软件包括以下 6 个主要功能: 疵点自动检测, 生产数据的输入与选择, 检测参数调整, 相机参数设置, 报警与显示, 生产历史数据的记录、统计与查询。

软件系统界面如图 4 所示。

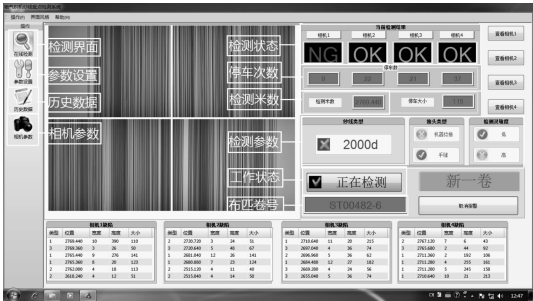


图 4 软件界面图

主检测界面功能模块实现疵点的自动检测, 完成当前生产数据的输入(当前检测的布匹卷号, 纱线的品种, 质量要求等级等), 同时还显示系统工作状态(停车次数, 检测米数等); 参数设置功能模块可实现对检测系统参数的调整; 历史数据功能模块实现对各生产班次检测疵点数据的统计与查询, 并能够回溯检测到的疵点图像信息, 时间信息; 相机参数功能模块实现对检测相机的参数设置。

笔者将该系统安装于某纤维公司帘子布织造车间进行现场检测, 如图 5 所示。



图 5 现场图

3 检测结果分析

为了考察系统的检测性能,在线检测系统运行时,专业的质检人员也同时人工进行检测,由此得到本研究系统的误停次数和漏报次数。经过 119 个生产班次(每班次 8 h)的统计结果显示:平均每个班次的误停率低于 3‰,每个班次的漏报次数为 0~3 次。

此外,2016 年 1 月至 11 月出现异常丝的卷数统计如图 6 所示。

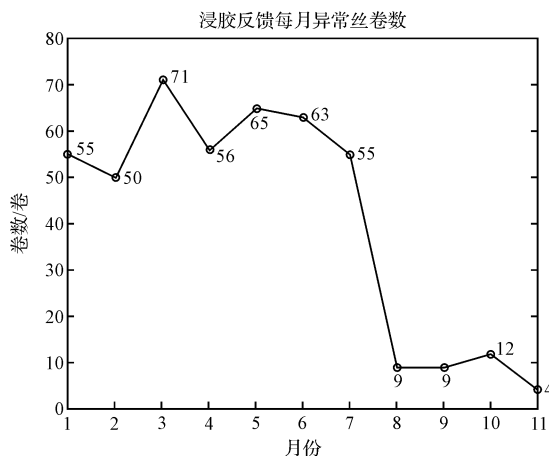


图 6 1 月~11 月生产中出现异常丝卷数统计

其中 1 月~7 月为本研究检测系统安装之前的异常丝卷数,8 月~11 月为系统安装之后的异常丝卷数。

从图 6 可以明显地看出,安装前平均每月反馈的异常丝卷数为 59.3 卷,安装后平均每月反馈的异常丝卷数为 8.5 卷。安装后反馈的异常丝卷数每月平均减少了 86%。

实践结果证明:本研究所设计的检测系统不仅实现了取代织造车间传统的人工检测方法,而且取得了比人工检测更好的检测结果,其检测性能完全达到了织造车间的生产要求。

4 结束语

本研究提出了一种基于 Gabor 滤波器对织造前帘子布纱线疵点特征的描述方法,Gabor 滤波器可以很好地刻画纱线疵点特征。研究结果表明:尺度参数取 0.6 时,且方向参数取 90°时,检测准确度达到最高(99.2%)。笔者基于本研究算法设计并实现了帘子

布织造前纱线疵点的在线自动检测系统,很好地解决了织造前帘子布疵点检测的主要问题。

本研究算法还存在一定局限性,存在一定的误停次数;在纱线交叉严重的情况下还存在一定数量的漏报。这些不足有待于后续研究中加一步改进。

参考文献(References):

- [1] 宋寅卯,刘磊,李晓娟.基于 PCNN 和 SVM 的帘子布疵点识别算法[J].天津工业大学学报,2010,29(5):77-80.
- [2] 宋寅卯,袁端磊.基于傅立叶变换的帘子布疵点检测研究[J].仪器仪表学报,2006,27(6):1695-1697.
- [3] 张五一,赵强松,王斌.基于 Gabor 小波变换的帘子布疵点检测研究[J].计算机工程与应用,2008,44(24):235-237.
- [4] 张五一,杨扬,林聪,等.基于 Gabor 滤波器组与 BP 神经网络的帘子布疵点检测研究与实现[J].中原工学院学报,2014,52(3):1-6.
- [5] 赵鹏喜.基于 LPQ 特征向量和 PCA 的帘子布疵点识别算法研究[J].安阳工学院学报,2015,14(4):38-40.
- [6] 吴定允,张利红,梁英波.基于 MSA 矩的帘子布疵点识别算法研究[J].纺织化工自动化及仪表,2010,37(11):49-51.
- [7] 温盛军,常保磊,蒋成龙,等.基于数字形态学滤波与 SVM 技术的帘子布疵点检测[J].中原工学院学报,2016,27(4):7-12.
- [8] KUMAR A, PANG G H. Defect Detection in textured materials using gabor filters[J]. IEEE Transactions on Industrial Electronics, 2002,38(2):425-440.
- [9] 杨晓波.基于 Gabor 滤波器的织物疵点检测[J].纺织学报,2010,31(4):55-59.
- [10] 韩润萍,孙苏榕,姜玲.基于 Gabor 滤波器组的织物疵点检测方法[J].计算机工程与应用,2007,43(7):211-214.
- [11] OH J, CHOI S I, KIM C, et al. Selective generation of Gabor features for fast face recognition on mobile devices[J]. Pattern Recognition Letters, 2013,34(13):1540-1547.
- [12] BHATTACHARYA D D, JIBANPRIYA M, BHATTACHARJEE M P. Brain image segmentation technique using Gabor filter parameter[J]. American Journal of Engineering Research (AJER), 2013,2(9):127-132.

[编辑:李辉]

本文引用格式:

唐旭晟,杨思材,陈丹.基于 Gabor 滤波器对织造前帘子布疵点检测研究[J].机电工程,2017,34(7):802-805.

TANG Xu-sheng, YANG Si-cai, CHEN Dan. Defect detection of cord fabric before weaving based on Gabor filter[J]. Journal of Mechanical & Electrical Engineering, 2017,34(7):802-805.

《机电工程》杂志: <http://www.meem.com.cn>