

DOI: 10.13475/j.fzxb.20180607007

基于改进局部自适应对比法的织物疵点检测

杜帅¹, 李岳阳¹, 王孟涛¹, 罗海驰², 蒋高明¹

(1. 江南大学 教育部针织技术工程研究中心, 江苏 无锡 214222;
2. 江南大学 轻工过程先进控制教育部重点实验室, 江苏 无锡 214122)

摘要 为提高织物疵点检测的准确率和检测效果,采用了一种基于最相似邻域的背景估计法来进行检测。首先,利用同态滤波对图像进行预处理;然后,以滤波后图像每个像素点为中心点,以11像素×39像素的窗口大小为中心区域,通过计算中心区域与周围邻域的相似度,利用最相似的邻域进行背景估计;最后,利用背景差分原理获得目标图像,并采用阈值分割和形态学方法对图像进行处理,最终获得检测结果。实验结果表明:此方法优于传统的检测方法,不仅能够检测到复杂背景下的疵点图像,而且对不同组织及光照因素影响下的织物疵点图像同样具有很好的检测结果。检测准确率可达98%,具有较高的适用性与检出率,也具有一定的抗干扰性。

关键词 织物疵点; 疵点检测; 自适应局部对比法; 背景差分法; 阈值分割
中图分类号: TP 391.4; TS 181.9 文献标志码: A

Fabric defect detection based on improved local adaptive contrast method

DU Shuai¹, LI Yueyang¹, WANG Mengtao¹, LUO Haichi², JIANG Gaoming¹

(1. *Engineering Research Center for Knitting Technology, Ministry of Education, Jiangnan University, Wuxi, Jiangsu 214122, China*; 2. *Key Laboratory of Advanced Process Control for Light Industry, Ministry of Education, Jiangnan University, Wuxi, Jiangsu 214122, China*)

Abstract In order to improve the fabric defect detection accuracy and detection effect, a background estimation method based on the most similar neighborhood patch was used to improve the detection rate. Firstly, the image was preprocessed by homomorphic filtering. Then, each pixel of the filtered image was taken as center point and window size of 11 pixel×39 pixel was taken as the central region. By calculation the similarity between the central region and the surrounding neighborhood to find out the neighborhood which was most similar to central region. So then, the purpose of background estimation was achieved. The background-difference principle was used to obtain the target image and the method of threshold segmentation and morphological was used in the image. Finally, the defection results were obtained. The experiment results show that the method is superior to the traditional detection method, not only can detection the defect image in complex background, but also has good detection results for fabric defect images under influence of external factors and different fabric weaves, the detection rate can reach 98%, and with high recognition rate, applicability and a certain degree of anti-interference.

Keywords fabric defect; defect detection; adaptive local contrast method; background difference method; threshold segmentation

织物疵点检测对织物的质量控制有着十分重要的作用。目前,工厂大都采用人工检测,不仅浪费人

力财力,同时人眼视野范围和精度具有局限性,往往存在误检或漏检,对织物质量造成影响。随着机器

收稿日期: 2018-06-25 修回日期: 2018-08-02

获奖说明: 本文荣获中国纺织工程学会颁发的第19届陈维稷优秀论文奖

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(61772238); 中央高校基本科研业务费专项资金资助项目(JUSRP51727A); 国家轻工技术与工程一流学科自主课题资助项目(2018-28)

第一作者: 杜帅(1994—),男,硕士生。主要研究方向为图像处理在针织物上的应用。

通信作者: 李岳阳(1973—),男,副教授,博士。主要研究方向为图像处理和模式识别。E-mail: lyueyang@jiangnan.edu.cn。

视觉技术的不断发展, 疵点检测技术也不断成熟, 不仅解决了人工检测存在的问题, 而且织物质量能够得到有效的把握, 避免了不必要的损失。在实际生产中, 织物的疵点检测系统要求较高的实时性和准确率, 因此减小检测过程中的误差, 增加检测的准确性能够得到更好的检测结果。

织物疵点初始形态一般较小, 在检测中可将织物的疵点类比为小目标, 从而对其进行识别。疵点检测有许多相关的研究, 比如: 基于传统 Gabor 滤波器的方法^[1], 这种方法可有效区分疵点区域和非疵点区域, 但是需要调制多个滤波器, 在实际运用中会受到一定的限制。基于二维最小均方差 (TDLMS) 滤波器的方法^[2], 对异常值比较敏感, 通常会产生产不满意的的结果, 造成很高的误检率。基于改进的最优 Gabor 滤波器的方法^[3-5], 由于边缘的存在, 会使检测的目标范围变大。传统的局部对比法 (LCM)^[6-8] 在实际检测中有很好的应用, 此方法是利用疵点目标与其周围邻域灰度值的差异, 将背景与目标分离, 从而检测出疵点图像, 但是当边缘存在时, 检测效果会变差; 为此, 本文采用了一种基于边缘保护的方法, 以减少检测过程中的误差。

本文采用的基于改进的局部自适应对比法^[9] 是利用图像区域之间的结构特征, 通过计算中心区域图像与其周围邻域之间的相似度, 找到与中心区域最相似的邻域, 利用最相似的邻域来估计背景图像, 从而排除了边缘的干扰, 最后利用背景差分法^[8] 对图像进行差分, 并经过阈值处理, 得到疵点检测的结果。该方法可有效地避免边缘对检测结果的影响, 提高检测率, 同时对开发织物疵点在线检测系统提供了一定的参考价值。

1 基于改进的自适应局部对比法

本文采用的改进的自适应局部对比法, 是由传统的 LCM 改进而来, 传统的 LCM 算法只是基于中心区域和周围邻域的比较, 而此方法是通过找到与中心区域最相似的邻域达到边缘保护和背景估计的目的^[9], 从而能够有效地识别出疵点目标。本文的方法包含以下几个步骤。

1) 对初始图像进行预处理。用同态滤波对图像进行预处理, 可有效解决在实际检测过程中受光照的影响而造成误检的问题^[10-11]。

2) 边缘保护。利用中心区域图像 V_0 与周围邻域图像 V_i 灰度值差的加权平方和, 找出与中心图像 V_0 最相似的邻域图像。如果中心区域 V_0 包含背景, 此区域的图像在周围能够找到与其最相似的小块图

像, 如果边缘包含在中心区域图像 V_0 中, 同样也能够找到与其最相似的邻域图像, 而含有疵点的小块图像在周围找不到与它相似度较高的邻域图像, 从而可以有效地解决边缘对检测结果的影响, 如图 1 所示。在背景区域任取一区域 b_i , 在其周围相邻的区域 b_{i+1} 和 b_{i-1} 总能找到具有高度相似性的区域。在疵点区域, 任取一区域 a_i , 则无法在其周围找到任意与其高度相似的区域。

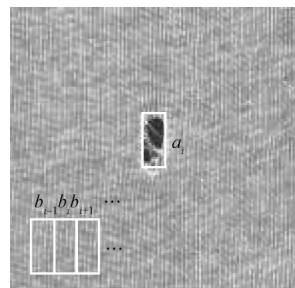


图 1 织物疵点图像

Fig.1 Fabric defect image

3) 估计背景图像。通过找到与中心区域最相似的邻域图像, 估计中心区域中心点的像素值, 利用这一方法可得到估计的背景图像。

4) 背景差分。根据背景差分原理, 用原图像减去估计出的背景图像的像素值, 最终可以得到所要检测的小目标的图像。

5) 阈值处理。根据差分的效果, 设置自适应阈值, 提高其检测的识别率及检测效果。

2 图像预处理

在图像采集过程中, 受到光照及其他因素的影响, 会造成采集到的图像质量差, 对检测结果造成影响, 因此需要对采集到的图像进行预处理。

同态滤波是一种在频域中进行的图像对比增强和压缩图像亮度范围的特殊方法, 它能够减少低频增加高频, 从而减少光照变化并锐化边缘细节。在实际生产中, 受到光照的影响会使图像变得模糊不清, 疵点部分难以辨认。同态滤波可对图像灰度范围进行调整, 通过消除图像上照明不均的问题, 增强暗区的图像细节, 同时又不损失亮区的图像细节^[11-13]。

利用同态滤波对图像进行预处理, 首先将原图像函数 $I(x, y)$ 看作为光照函数, 其可以表达为照射分量 $i(x, y)$ 与反射分量 $r(x, y)$ 的乘积, 即原图像的函数表达为

$$I(x, y) = i(x, y) r(x, y) \quad (1)$$

进行同态滤波, 将原图像函数的乘法运算化简

为加法运算, 就对原始图像函数作对数运算:

$$Z(x, y) = \ln i(x, y) + \ln r(x, y) \quad (2)$$

为将图像转换到频域, 需要对上述对数运算后的函数做傅里叶变换:

$$F(Z(x, y)) = F(\ln i(x, y)) + F(\ln r(x, y)) \quad (3)$$

然后选择一个合适的传递函数 $H(u, v)$, 通过压缩照射分量 $i(x, y)$ 的变化范围, 削弱 $I(u, v)$ 增强反射分量, 提升 $R(u, v)$ 增强高频分量, 确定一个合适的 $H(u, v)$, 假设用一个同态滤波器函数 $H(u, v)$ 来处理原图像 $I(x, y)$ 的对数的傅里叶变换得:

$$S(u, v) = H(u, v) I(u, v) + H(u, v) R(u, v) \quad (4)$$

逆变到空域得:

$$s(x, y) = F^{-1}(S(u, v)) \quad (5)$$

再取指数即得到最终结果:

$$f(x, y) = \exp(s(x, y)) \quad (6)$$

经过同态滤波前后的图像如图 2 所示。

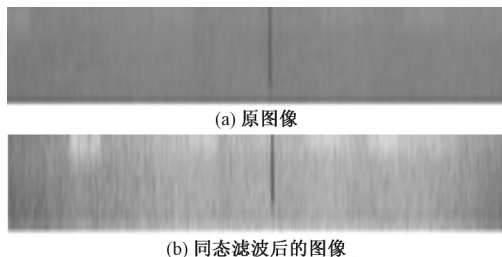


图 2 同态滤波前后图像对比

Fig.2 Comparison between original image and homomorphic filtering image. (a) Original image; (b) Homomorphic filtering image

同态滤波前后对比, 突出了疵点图像, 抑制了背景图像, 消除光照的影响, 具有很好的处理效果。

3 疵点检测算法

3.1 基于最相似邻域图像的边缘保护

一幅含有疵点的灰度图像中可分为: 背景、疵点、疵点与背景的过渡边缘^[9]。为消除边缘的影响, 本文采用了边缘保护的方法。以原图像中的每个像素点为中心点, 以其周围一定范围内的区域为中心区域, 在中心区域周围与其大小相同的区域为相邻区域, 同时在中心区域周围设置保护区域, 避免边缘对检测结果的影响。图 3 示出检测算法原理。以 (x_0, y_0) 为中心区域的中心点, v 和 v' 为中心区域边界距离中心点的像素值, V_0 表示中心区域, 则它的大小为 $(2v + 1) \times (2v' + 1)$, 在其周围有 n 个相同大小的区域 $V_k (k = 1, 2, \dots, n)$, E_0 表示保护区域, 设宽度为 m , 则 E_0 区域大小为 $(2v + 1 + 2m) \times (2v' + 1 + 2m)$, 但 E_0 保护区域的范围不包括 V_0 区

域(即 $C_{E_0} V_0$)。若取 $v = 2, v' = 3, m = 2$, 则图中中心区域 V_0 及其邻域窗口大小为 5×7 , 保护区域 E_0 的大小 9×11 (实际窗口大小根据实验所采用图像疵点大小来调整)。

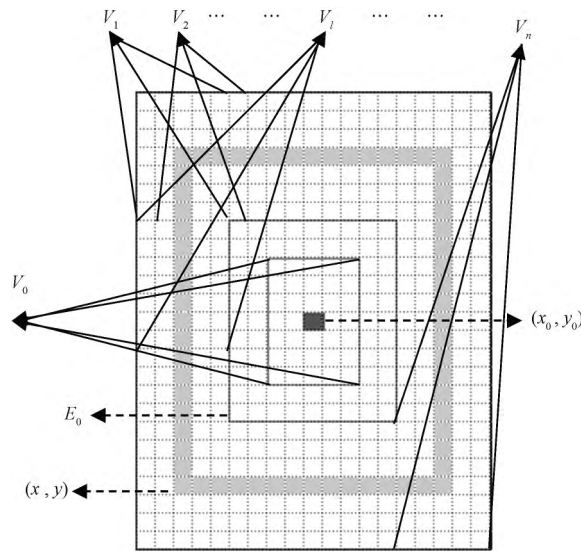


图 3 检测算法原理

Fig.3 Principle of detection algorithm

设 (x_0, y_0) 、 (x, y) 分别表示中心区域和周围区域的中心坐标点, 用 $I(x_0, y_0)$ 、 $I(x, y)$ 表示其灰度值, 则中心区域与周围第 k 个邻域间的灰度值比较的表达式为

$$I_k(x_0, y_0) = \frac{\sum_{i=-v}^v \sum_{j=-v'}^{v'} |I(x_0 + i, y_0 + j) - I_k(x + i, y + j)|^2}{1} \quad (7)$$

因此可以得到中心区域与周围第 k 个邻域间的相似度为

$$S_k = \frac{1}{I_k + 1} = \frac{1}{\sum_{i=-v}^v \sum_{j=-v'}^{v'} |I(x_0 + i, y_0 + j) - I_k(x + i, y + j)|^2 + 1} \quad (8)$$

式中: S_k 范围为 $[0, 1]$: 当值为 0 时, 表示中心区域的所有元素和其周围邻域内的元素均不相同, 不具有相似性; 当值为 1 时, 表示中心区域的所有元素和其周围邻域内的元素相同, 具有很高的相似度^[8]。

因此, 若中心区域内含有疵点, 那么在其周围邻域中找不到任何一个邻域与其具有较高的相似度; 若中心区域包含有边缘区域或背景区域, 那么在其周围邻域中能够找到与其相似度较高的邻域, 从而达到边缘保护的效果。

3.2 背景估计

为获得完整的背景图像, 利用中心区域与周围邻域的图像的相似性, 找到与中心区域最相似的邻

域 V_i , 用最相似邻域的灰度梯度加权值来评估中心区域中心点的灰度值。

可以求出最相似的邻域 V_s 为

$$V_s = V_i$$

$$i = \operatorname{argmax}_{k \in \{2, \dots, n\}} (S_k) \quad (9)$$

式中: i 表示第 i 个邻域图像与中心区域具有最高的相似度; V_i 表示第 i 块邻域图像。

如果中心区域 V_0 与其周围邻域 V_s 具有很高的相似度, 那么 $I(x_0, y_0)$ 与 $I(x_s, y_s)$ 的灰度值相差不大, 可以利用梯度倒数加权值^[9, 13]来评估中心区域的中心点像素值:

$$\hat{I}(x_0, y_0) = \frac{1}{W} \sum_{x_s, y_s \in V_s} \frac{1}{|I(x_0, y_0) - I(x_s, y_s)| + 1} \times I(x_s, y_s) \quad (10)$$

式中: $\hat{I}(x_0, y_0)$ 表示中心区域中心点的估计灰度值, W 表示权重, 其表达式为

$$W = \sum_{x_s, y_s \in V_s} \frac{1}{|I(x_0, y_0) - I(x_s, y_s)| + 1} \quad (11)$$

3.3 背景差分法

由 3.2 中基于最似邻域对中心区域的评估, 背景图像的估计值与原始值相差不大, 而疵点区域的图像估计出的像素值与原值差别很大, 因此利用原始图像的灰度值与估计出的灰度值做背景差分, 利用此方法可找出疵点区域。

$$F_T(x, y) = F(x, y) - F_B(x, y) \quad (12)$$

式中: $F(x, y)$ 表示原始图像; $F_B(x, y)$ 表示评估后的背景图像; $F_T(x, y)$ 表示疵点图像。

3.4 阈值处理

阈值分割^[12]通过设置自适应阈值消除差分过程中残留的噪声点及类目标点, 通过设置阈值, 使图像中的灰度值为 0 或 1。

$$B_w(x, y) = \begin{cases} 1 & F_T(x, y) \geq T \\ 0 & F_T(x, y) < T \end{cases} \quad (13)$$

式中: $B_w(x, y)$ 为二值图像; T 为阈值。

然后利用形态学运算, 对得到的二值图像进行腐蚀, 去除二值图像中的弱小噪声点, 最终可获得检测结果。

4 实验结果及分析

4.1 文中算法在复杂背景下的疵点检测

为检验本文采用算法的效果, 利用复杂背景下的织物疵点图像进行检测, 检测结果见图 4。其中实验图片采用大小为 512 像素×512 像素的织物图像, 实验均在 MatLab2014a 环境下进行。

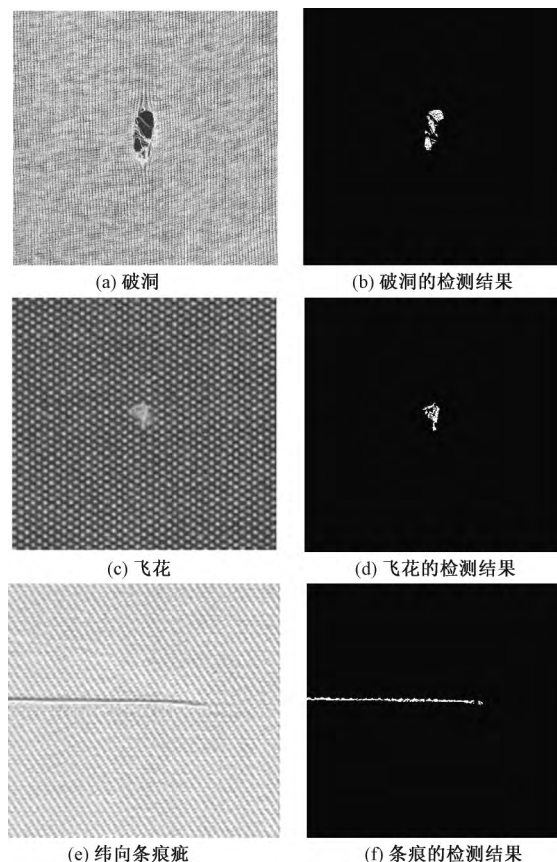


图 4 复杂背景下的织物疵点检测结果

Fig.4 Fabric defect detection results in complex background. (a) Clip mark; (b) Detection results in clip mark; (c) Fluff; (d) Detection results in fluff; (e) Filling b; (f) Detection results in Filling b

图 4(a) 示出针织物破洞, 破洞范围较大, 选取窗口大小为 11 像素×39 像素, 检测结果如图 4(b), 检测疵点图像清晰, 效果较好。图 4(c) 示出机织平纹织物, 其疵点图像与背景图像具有很大的相似性, 一般算法检测此类型图像时, 会造成高的虚警率和漏检率, 即在无疵点的情况下检测出疵点或存在疵点却检测不到的情况, 而本文算法在复杂的情况下仍然清晰的检测到织物疵点的存在, 如图 4(d), 说明本文算法的可行性。图 4(e) 示出机织斜纹织物, 产生纬向条痕较长, 本文算法同样可以清楚地检测到疵点的存在。利用不同类型的复杂背景下织物疵点图像对本文算法进行验证, 证明了算法的准确性、可行性及较强的适应性。

4.2 文中算法与传统算法比较

通过与传统算法比较进一步验证文中所用算法的合理性。文献[1]中采用了 Gabor 滤波的方法, 利用多通道滤波对织物图像检测。文献[5]中采用了改进差值最优的 Gabor 滤波方法, 用优化后的 Gabor 滤波替代单一的滤波组对织物图像检测。

利用本文算法与文献 [1]、文献 [5] 中的方法作比较,实验结果见图 5。其中实验所用图片大小均为

512×512 像素,实验均在 MatLab2014a 环境下进行。

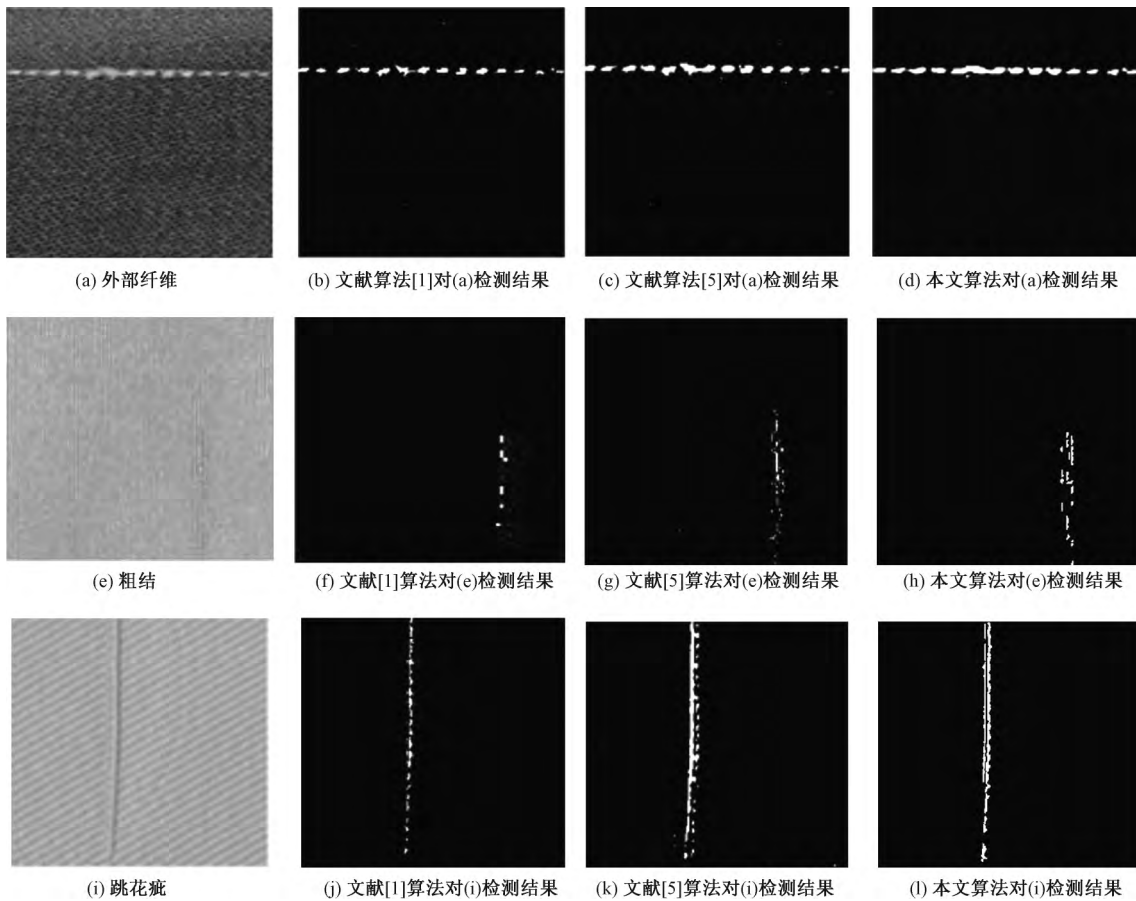


图 5 几种检测方法的结果对比

Fig.5 Compared detection results for several defect detection methods. (a) External fiber; (b) Result of (a) by using method of document [1]; (c) Result of (a) by using method of document [5]; (d) Result of (a); (e) Coarse pick; (f) Result of (e) by using method of document [1]; (g) Result of (e) by using method of document [5]; (h) Result of (e); (i) Filling floats; (j) Result of (i) by using method of document [1]; (k) Result of (i) by using method of document [5]; (l) Result of (i)

在上述实验中,利用文献 [1]和文献 [5]中的方法分别对几种不同类型的疵点进行了检测,其结果见图 5 (b)、(f)、(j) 与图 5 (c)、(g)、(k)。通过对比发现,文献 [5]的检测结果比文献 [1]的检测结果清晰、明显,说明改进差值最优的 Gabor 滤波法相比传统的 Gabor 滤波法具有很好的检测结果,同时利用本文所采用的方法进行检测,同样能有效地检测到织物的疵点,从图 5 (d)、(h)、(l) 中可看出,本文所采用的方法较文献 [1]和 [5]的方法效果更准确、清晰,证明了本文采用的算法的合理性及有效性。

4.3 实验验证

为进一步验证本文方法的合理性,进行工厂实验验证。在 KS4 EL 型高速经编机上,利用线阵 CCD 相机,对不同组织下的经编织物进行采集,一共采集 100 张分辨率大小为 2 568 像素×40 像素的灰度图像,其中有 42 张为无疵点图像,58 张含有疵点图像。利用采集到的图片进行离线测试,实验结

果见图 6~8。

本文实验采用中心区域大小为 11 像素×39 像素的实验窗口,实验均在 MatLab2014a 环境下进行,其中图 6 中 z_2 组织的垫纱数码: GB3: 1-0/0-1 // GB4: 1-2/1-0 //,图 7 中 z_2 组织垫纱数码: GB3: 1-0/1-2 // GB4: 1-2/1-0 //,图 8 中 z_3 组织的垫纱数码: GB3: 1-0/3-4 // GB4: 1-3/1-0 // 送经量均为 1 200 mm/腊克,牵拉密度均为 20 横列/厘米。

左侧断纱疵点图像有向右侧倾斜的趋势,中间断纱疵点图像为竖条,右侧断纱为向左倾斜。从左侧断纱图中可以看出,开始发生断纱时,疵点图像并不是很明显,图像比较小,但是检测结果表明本文的算法能够清楚的识别出疵点的存在,有效避免产生过长疵点。图 6 中 z_1 组织的垫纱数码为 GB3: 1-0/0-1 //, GB4: 1-2/1-0 //; 其疵点图像相比图 7 中 z_2 组织的疵点范围大,因为组织不同断纱后所产生的疵点范围也是不同的,从图 6、7 中可以看出,均具有

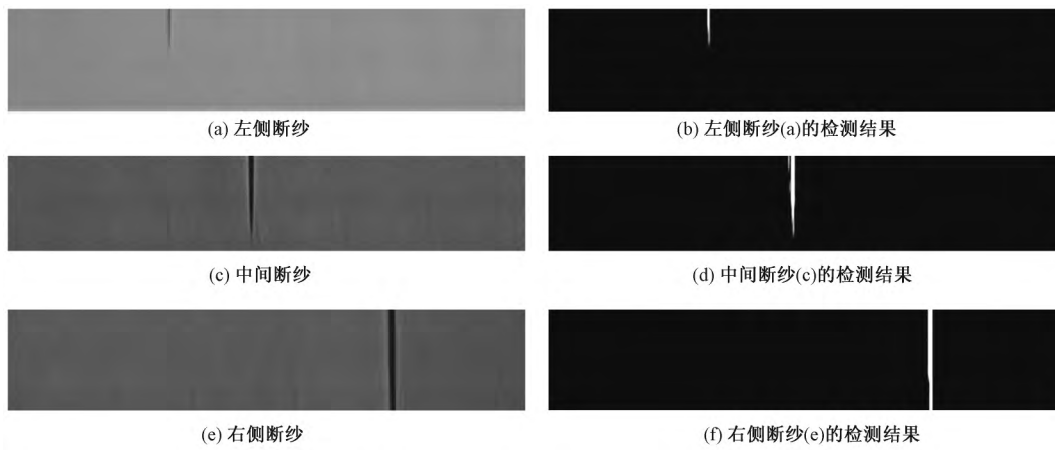


图 6 z₁ 组织疵点检测结果

Fig.6 z₁ weave defect detection results. (a) Yarn was broken in left; (b) Detection results of (a); (c) Yarn was broken in middle; (d) Detection results of (c); (e) Yarn was broken in right; (f) Detection results of (e)

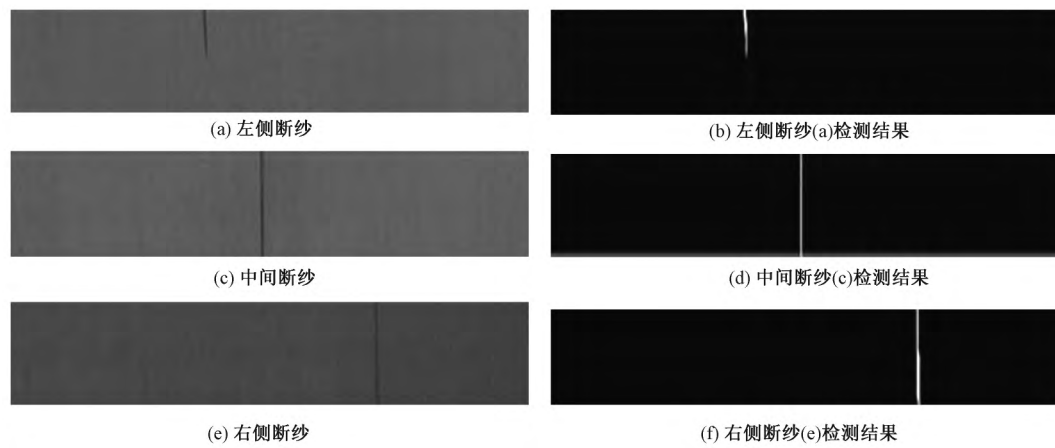


图 7 z₂ 组织疵点检测结果

Fig.7 z₂ weave defect detection results. (a) Yarn was broken in left; (b) Detection results of (a); (c) Yarn was broken in middle; (d) Detection results of (c); (e) Yarn was broken in right; (f) Detection results of (e)

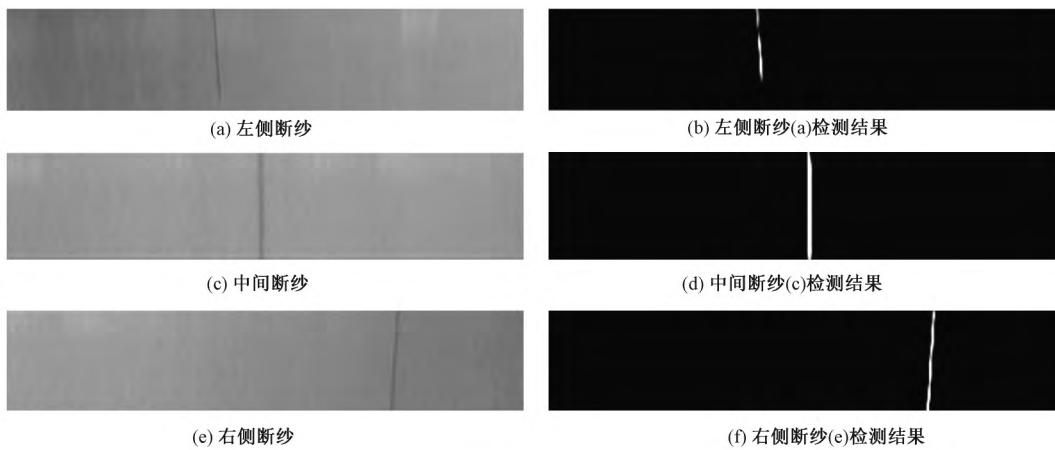


图 8 z₃ 组织疵点检测结果

Fig.8 z₃ weave defect detection results. (a) The yarn was broken in left; (b) Detection results of (a); (c) The yarn was broken in middle; (d) Detection results of (c); (e) The yarn was broken in right; (f) Detection results of (e)

很好的检测效果,说明了本文采用的算法可适应不同组织的疵点检测,具有一定的适用性。图 8 中图像在采集时受到光照的影响,与图 6、7 相比比较模

糊,但从图 8 的检测结果看,本文采用的算法仍然具有很好的检测结果,说明了此算法能适应在外界因素影响下的疵点检测,具有一定的抗干扰性。

对 100 张图片的工厂测试实验计结果如表 1 所示。

表 1 疵点检测统计结果

Tab.1 Statistics for defect detection results

图像类型	检测结果/张		检测率/%		综合检测率/%
	未检测出	检测出	准确率	虚警率	
含疵点	2	56	96.55	-	98
不含疵点	0	42	100	0	

由表 1 可知,本文所采用的方法具有较高的检测率,检测准确率达到 98%。工厂实验结果表明,本文所采用的算法具有较高的适应性及检测率。

5 结 论

本文为提高疵点检测算法的检测准确率,采用了一种改进的局部自适应对比法,此方法利用中心区域与周围邻域的相似性,通过边缘保护背景估计并经过阈值处理最终对织物图像进行检测。

在背景估计的过程中,通过设置保护区域,解决了背景与疵点边缘区域对检测结果的影响,提高了检测的准确性。在实验的过程中,通过对不同类型的织物疵点进行检测,证明了算法的可行性;利用与传统织物疵点方法进行对比,验证了算法的准确性;对环境因素影响下的不同组织产生的织物疵点图像进行检测,验证了文中算法的抗干扰性及普适性。实验结果也表明,本文采用的算法具有很好的检测效果,检测准确率达到 98%,具有较高的检出率、广泛的适应性及抗干扰性。 **FZXB**

参考文献:

[1] KUMAR A ,PANG G K H. Defect detection in textured materials using Gabor filters [J]. IEEE Transactions on Systems Man and Cybernetics: Part B: Cybernetics , 2002 ,32(5) : 553-570.

[2] CAO Y ,LIU R M ,YANG J. Small target detection using two - dimensional least mean square (TDLMS) filter based on neighborhood analysis [J]. International Journal of Infrared & Millimeter Waves ,2008 ,29(2) : 188-200.

[3] 尉苗苗 ,李岳阳 ,蒋高明 ,等.应用最优 Gabor 滤波器的经编织物疵点检测 [J]. 纺织学报 ,2016 ,37(11) : 48-54.

YU Miaomiao ,LI Yueyang ,JIANG Gaoming ,et al. Warp knit fabric defect detection method based on optimal Gabor filter [J]. Journal of Textile Research ,2016 ,37(11) : 48-54.

[4] 李岳阳 ,蒋高明 ,丛洪莲 ,等. 基于最优 Gabor 滤波器

的经编织物瑕疵检测方法: 105205828 A [P]. 2015-10-20.

LI Yueyang ,JIANG Gaoming ,CONG Honglian ,et al. Warp knit fabric defect detection method based on optimal Gabor filter: 105205828 A [P]. 2015-10-20.

[5] TONG L ,WONG W K ,WONG C K. Differential evolution - based optimal Gabor filter model for fabric inspection [J]. Neurocomputing ,2016 ,173: 1386-1401.

[6] CHEN C L P ,LI H ,WEI Y ,et al. A local contrast method for small infrared target detection [J]. IEEE Transactions on Geoscience & Remote Sensing ,2014 ,52(1) : 574-581.

[7] 许海洋 ,马龙龙 ,吴健.基于背景估计和边缘检测的文档图像二值化 [J]. 计算机应用与软件 ,2014 ,31(8) : 196-200.

XU Haiyang ,MA Longlong ,WU Jian. Document image binarisation based on back ground estimation and edge detection [J]. Computer Applications and Software ,2014 ,31(8) : 196-200.

[8] MENG B ,ZHANG H ,MAO Z , et al. FPGA implementation of local contrast method for infrared small target detection [C]// IEEE International Conference on Electronic Measurement & Instruments. New York: IEEE ,2016: 1293-1297.

[9] WANG Y ,XU X ,YUE N , et al. Edge - preserving background estimation using most similar neighbor patch for small target detection [C]// Chinese Conference on Computer Vision. Bolin: Springer Publishing Company ,2017: 85-89

[10] GONZALEZ R C ,WOODS R E ,EDDINS S L. Digital Image Processing Using MatLab [M]. 4th ed. Beijing: Publishing House of Electronics Industry ,2003: 94 ,347-359 ,404-412.

[11] 徐黎明 ,吕继东. 基于同态滤波和 K 均值聚类算法的杨梅图像分割 [J]. 农业工程学报 ,2015 ,31(14) : 202-208.

XU Liming ,LV Jidong. Bayberry image segmentation based on homomorphic filtering and K-means clustering algorithm [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering ,2015 ,31(14) : 202-208.

[12] 杜磊 ,李立轻 ,汪军 ,等. 几种基于图像自适应阈值分割的织物疵点检测方法比较 [J]. 纺织学报 ,2014 ,35(6) : 56-61.

DU Lei ,LI Liqing ,WANG Jun , et al. Comparison of several fabric defect detection methods based on image self - adaptive threshold segmentation [J]. Journal of Textile Research ,2014 ,35(6) : 56-61.

[13] 刘建立 ,左保齐. 基于小波变换和阈值分割的织物疵点边缘检测 [J]. 丝绸 ,2006(8) : 42-44.

LIU Jianli ,ZUO Baoqi. Edge detection of fabric defects based on wavelet transform and threshold segmentation algorithm [J]. Journal of Silk ,2006(8) : 42-44.