

新的基于图像显著性区域特征的织物疵点检测算法

赵波^{1*}, 郑力新², 潘旭玲³, 周凯汀², 徐园园²

(1. 华侨大学 计算机科学与技术学院, 福建 厦门 361021; 2. 华侨大学 信息科学与工程学院, 福建 厦门 361021;

3. 华侨大学 数学科学学院, 福建 厦门 362021)

(* 通信作者电子邮箱 zgzhao@126.com)

摘要: 鉴于织物疵点类型的多样性和传统人工检测方法的低效率, 为更有效地检测织物疵点, 提出一种新的基于图像显著性特征的织物疵点检测方法——SGE。将原织物图分成相同两份: 一份利用改进的基于频率的显著性区域(FSR)方法提取区域特征, 粗定位疵点位置。另一份先 Gabor 滤波, 取 Gabor 模图作为输出特征; 再利用基于像素的显著性区域(PSR)方法进行区域特征提取, 细定位疵点位置; 然后利用最大熵分别对粗细定位的疵点图进行分割, 再融合; 最后描绘轮廓, 计算周长和面积, 去除孤立点, 得最终检测结果。采用 OpenCV 算法库, 选取了 4 种具有代表的织物疵点图片进行验证。实验结果表明, 这种粗细定位疵点的方法能够获得较好的检测结果, 无需事先学习, 能够满足实时性要求。

关键词: 疵点检测; 显著性区域特征; Gabor 滤波器; 最大熵; OpenCV

中图分类号: TP391.41 **文献标志码:** A

New approach of fabric defects detection based on saliency region feature

ZHAO Bo^{1*}, ZHENG Li-xin², PAN Xu-ling³, ZHOU Hai-ting², XU Yuan-yuan²

(1. College of Computer Science and Technology, Huaqiao University, Xiamen Fujian 361021, China;

2. College of Information Science and Engineering, Huaqiao University, Xiamen Fujian 361021, China;

3. College of Mathematical Science, Huaqiao University, Xiamen Fujian 362021, China)

Abstract: Concerning the diversity of fabric defect type and low efficiency of traditional artificial detection methods, in order to detect the fabric defect more effectively, a new approach, SCE, based on saliency region feature for fabric defect detection was studied. In this approach, the original image was divided into two parts, one was used to extract the saliency region feature of fabric defect by improved Frequency-tuned Saliency Region (FSR) method roughly, another was used to employ the Gabor filter with the amplitude as an output characteristic, and to extract the saliency region feature of fabric defect by Pixel Saliency Region (PSR) method accurately, then by using maximum entropy to segment the saliency region respectively and to fuse the sub-images. The result was got by calculating perimeter and area of the contours to remove the isolated points. The experiment selected four types of typical fabric defect images and OpenCV library was used. The experimental result shows that the algorithm, without prior learning, meets the real-time requirement.

Key words: defect detection; saliency region feature; Gabor filter; maximum entropy; OpenCV

0 引言

传统的织物疵点检测依赖于人工目视完成, 效率低, 误检率高, 漏检率高, 易受主观因素的影响, 不能满足现在企业对产品质量的要求。织物疵点检测的机器视觉实现是近年来国内外学者在图像领域热门研究课题之一^[1], 计算的复杂度和检测的实时性是其中的主要问题。目前织物疵点检测算法研究主要分为基于统计的方法、基于频谱的方法和基于模型的方法^[1]。基于模型的方法中, Gong 等^[2]提出的高斯马尔可夫随机场(Gaussian Markov Random Field, GMRF)是其中最主要方法, 但计算量大, 实现复杂; 基于频谱的方法中, Gabor 综合了频域和空域特征, 是疵点检测中应用最广泛方法之一; 文献[3]中都是基于 Gabor 的织物疵点分割, 文献[3-4]分析了实 Gabor (Real Gabor Filter, RGF) 和虚 Gabor (Imaginary Gabor Filter, IGF) 特征的选择, 没涉及 Gabor 模值特征; 文献[5]中提出一种最优 Gabor 滤波参数的选择, 需大量样本学习

过程。基于小波的方法也是频谱方法中的一种, 卿湘运等^[6]提出了一种结合小波分析和神经网络的织物疵点检测方法, 计算较复杂; 基于统计的方法中, 基于空间相关矩阵的方法是其中最主要方法, Kuo 等^[7]利用灰关联分析法识别织物疵点时提取了能量、熵、对比度、相异性四个基于灰度共生矩阵 (Gray-Level Co-occurrence Matrix, GLCM) 的特征; 邹超等^[8]将属于同一色调级归为一类, 利用类别代替灰度, 提出了一种基于类别共生矩阵的疵点检测方法, 统计特征的提取需大量的训练样本, 实时性难以保证。

人类能很容易判别图像中的显著性区域并注意到图像的重要部分, 显著性源于视觉的独特性、不可预测性、奇异性以及稀缺性, 由颜色、梯度、边缘、边界等图像属性表现, 在对兴趣目标物体的分割^[9]、目标识别^[10]等众多领域有广泛应用。

基于图像显著性特征, 结合 Gabor 滤波和最大熵分割方法, 本文提出了一种新的织物疵点检测方法, 命名为 SGE。S 代表显著性区域 (Saliency region), G 代表 Gabor filter, E 代表

收稿日期: 2011-11-25; 修回日期: 2012-01-09。 基金项目: 福建省产业计划开发项目 (25201071); 泉州市科技计划项目 (2010G1)。

作者简介: 赵波 (1986-), 男, 湖南湘潭人, 硕士研究生, 主要研究方向: 嵌入式图像处理; 郑力新 (1967-), 男, 福建泉州人, 教授, 博士, 主要研究方向: 机器视觉、智能控制; 潘旭玲 (1986-), 女, 湖北黄梅人, 硕士研究生, 主要研究方向: 数学理论、函数论; 周凯汀 (1968-), 女, 上海人, 副教授, 硕士, 主要研究方向: 图像信号处理; 徐园园 (1982-), 女, 山东淄博人, 讲师, 硕士, 主要研究方向: 虚拟测控、网络控制。

maximum Entropy。该算法中利用改进的基于频率的显著性区域^[11] (Frequency-tuned Saliency Region, FSR)方法进行疵点粗定位,获得模糊显著性特征;利用基于像素的显著性区域^[12] (Pixel Saliency Region, PSR)结合 Gabor 对疵点进行细定位,获得含冗余显著性特征,再对两者最大熵二值分割图获取的疵点轮廓信息进行融合获得最终检测结果。其中 Gabor 特征值提取水平和垂直两个方向,采用模图输出,无需事先学习。实验表明,此方法能够较好地分割和检测出绝大多数疵点,速度快,效果好,能够满足实时性要求。

1 SGE 算法

图1为SGE算法的完整流程。首先将获取的彩色织物图像分成两部分:第一部分进行显著性特征提取,其过程包括色彩空间转换,高斯模糊,生成显著性图像。第二部分先进行 Gabor 滤波特征提取;然后对 Gabor 滤波模图进行显著性特征提取,在 Gabor 滤波前进行了图像增强^[13];再分别对上两步结果进行最大熵自动阈值分割获取二值图像;接着对获取的二值图像进行融合;最后对检测得到疵点进行轮廓描绘,包括,对二值图像进行了形态学操作除去一些与疵点无关的冗余和连接可能存在的不连续的疵点,同时,对二值图像还通过面积和周长信息进行了孤立点判别,将孤立点当噪点处理掉,最终得疵点轮廓图像。

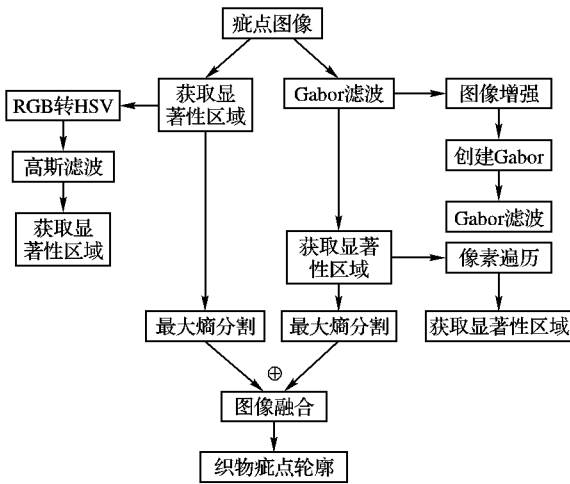


图1 算法流程

1.1 显著性区域

对任意一张图像,人类能够很快地定位到其中最重要的部分,视觉显著性与我们感知获取、处理视觉刺激紧密相关。关于图像显著性提取主要方法有:Itti等^[14]定义的利用多尺度图像特征的中心一周围差异得到图像的显著性;Zhai等^[12]定义的基于某个像素和其余像素对比度的像素级显著性;Achanta等^[11]定义的用某个像素和整个图像的平均色差获取显著性值;Hou等^[15]发现大量的log频谱的平均值和频率成正比关系,提出了一种Spectral Residual理论,一幅图像的显著性定义为图像的log振幅减去平均log振幅,本文称该方法为基于光谱的显著性区域(Spectral Saliency Region, SSR)方法。

SGE算法中,结合并改进了两种显著性特征提取方法。对采集的彩色图像,充分利用其颜色信息,采用Achanta等^[11]的FSR,相对其他方法^[15],FSR具有输出图像能保持原尺寸大小、运算简单等优势,在原FSR算法中,作者采用的是Lab空间,本实验通过实验测试,颜色空间采用HSV空间;另外,为充分利用织物的纹理信息,将二维Gabor滤波后的模图,利用Zhai等^[12]的PSR再进行显著性特征提取,PSR是一种用

单个像素和图像其余像素对比度来定义的显著性方法,运算针对灰度图像,只考虑纹理信息,这种考虑图像点的对比度相较于其他方法而言更稳定和精确^[14]。

在FSR方法中,首先对原图用高斯差分(Difference of Gaussian, DoG)进行带通滤波,然后在HSV颜色空间下,对高斯模糊后的图像,任意像素点*i*,定义其显著性值为:

$$S_{FSM}(x, y) = \|I_{aver} - I_i\| \quad (1)$$

其中: I_{aver} 是图像特征向量的平均值, I_i 代表图像在点*i*的特征向量 $[L, a, b]^T$,差值用欧氏距离度量并进行了归一化。

在PSR方法中,仅仅针对像素点的对比度,像素点*i*的显著性值定义为:

$$S_{PSM}(x, y) = \sum_{j=1}^n f_j \times \|I_j - I_i\| \quad (2)$$

其中: I_i 为点*i*像素值, n 为图像中像素总数, f_j 是 I_j 的直方图统计, $\| \times \|$ 是一种距离度量公式,SGE算法中计算的是Gabor滤波后的一维织物图像,该方法充分保留了织物的纹理信息。

采用FSR对原图提取显著性区域,能够粗略地定位疵点位置,但较为模糊;采用PSR对Gabor模图提取显著性区域,能够精细地定位疵点位置,但精细定位的疵点信息中可能存在冗余,FSR的模糊定位正好作为补充,两者结合能够有效提取疵点信息。

1.2 二维 Gabor 滤波

Gabor滤波器,由Gabor在1946年提出,1980年Daugman将其扩展至二维并首次将其用于表征图像。二维Gabor函数空间表达的一般形式^[3]为:

$$g(x, y) = \frac{1}{2\pi\sigma_x\sigma_y} * \exp\left(-\frac{1}{2}\left\{\left(\frac{x}{\sigma_x}\right)^2 + \left(\frac{y}{\sigma_y}\right)^2\right\}\right) * \exp(j2\pi fx) \quad (3)$$

式中: σ_x, σ_y 为尺度因子,决定高斯函数的空间扩展; f 为Gabor函数的中心频率。

基于Gabor滤波器的织物疵点检测方法是织物疵点检测中最常见方法之一^[1,3-5],基本思路大致为先选取不同参数的Gabor滤波器组;再分别对标准训练图像和待检测织物图像Gabor滤波,提取特征(均值/方差等);再对两者比较(生成差值图像)后进行阈值分割,最终得到图像疵点^[3,15]。存在问题主要表现在:1)需事先学习,算法复杂度较高;2)特征提取涉及较复杂计算;3)阈值选择存在人为因素。

在文献[3-4]中比较了RGF和IGF对图像疵点分辨率的影响,得出在不同径向中心频率和方位角的组合下,RGF的分辨率都要远远好于IGF,在SGE算法中,基于疵点一般存在于图像的水平 and 垂直方向,采用水平和垂直2方向3尺度Gabor滤波器,Gabor滤波输出特征采用模Gabor(Modulus Gabor Filter, MGF)^[13],而不是RGF或IGF,实验证明,MGF的选取比RGF和IGF具有更好效果。

1.3 显著性图像的分割

为获得最终检测目标,需对显著性图进行分割。对比了几种实效的二值分割算法:最大熵、大津法、迭代阈值、固定阈值,SGE算法中最终选择基于最大熵自动阈值分割方法。

熵代表了图像中的信息量的大小,一幅 $M \times N$ 大小的图像,熵^[16]定义为:

$$H_f = - \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N P_{ij} \ln P_{ij} \quad (4)$$

其中: $P_{ij} = f(i, j) / \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N f(i, j)$; H_f 是 $M \times N$ 大小的局部窗口

的熵,即局部熵; P_{ij} 是点 (i, j) 处灰度分布概率, $P_{ij} < 1$; $f(i, j)$ 是点 (i, j) 处灰度值; M, N 为图像的长和宽。

式(4)中,存在两次二维求和,程序中会用到四层循环,时间开销较大。参考文献[16]的简化方法,根据泰勒级数展开式,舍去其中的高次项,将量大的对数运算简化为简单的代数运算,加速了运算。优化后得到熵的近似公式为:

$$H_f = - \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N P_{ij} (P_{ij} - 1) = 1 - \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N P_{ij} \times P_{ij} \quad (5)$$

1.4 图像融合及轮廓提取

粗定位斑点时,提取的 FSR 特征过于腐蚀,二值分割后斑点信息不完全;细定位斑点时,提取的 PSR 特征存在冗余,二值分割后斑点信息过于膨胀,采用融合的方法对两者进行结合。

一般的图像的融合涉及较为复杂的运算,SGE 算法中,没直接对显著性特征图进行图像融合,而是对最大熵分割后的二值图进行融合,降低了算法运算量。本文将两幅二值图像融合定义为:

$$F(i, j) = \bigcap_{x=1}^2 B_x(i, j) \quad (6)$$

$B_1(i, j), B_2(i, j)$ 为两幅二值图像某点像素值, $F(i, j)$ 为融合后图像某点的像素值。采用与运算,仅当两幅图像相同点的像素值都为 1 时融合图像相应点才为 1,有利于消除干扰。

对融合后图像中可能存在的与斑点无关的冗余和连接可能存在的不连续的斑点等,采用形态学腐蚀和膨胀进行消除。轮廓提取时,对可能存在的较大孤立点等非理想结果,加入了轮廓面积和周长的判断,将孤立点作为噪点去除,定义如下:

$$Q(x, y) = \begin{cases} \sum_{n=1}^k P_n(x, y), & C_{p_n(x, y)} > T_1 \text{ 且 } S_{p_n(x, y)} > T_2 \\ 0, & \text{其他} \end{cases} \quad (7)$$

式中: k 表示二值图 $P(x, y)$ 中描绘的闭合曲线的个数; n 表示第 n 个闭合曲线; $C_{p_n(x, y)}$ 和 $S_{p_n(x, y)}$ 分别为第 n 个闭合曲线的周长和面积; T_1 和 T_2 根据实际斑点确定,实验中分别为 25, 20。

2 实验结果与分析

本章对 SGE 算法进行实验评估,实验是在 Intel OpenCV2.1 和 Microsoft Visual Studio2010 环境下进行的。实验数据采集于工厂现场,图像大小统一为 $512 \times 512 \times 3$,对采集织物图像进行分类,主要斑点类型包括断纬、缺经、破洞、勾丝等。

2.1 算法实验

利用 SGE 算法对常见的 4 类斑点断纬、缺经、破洞、勾丝进行了测试,完整检测结果如图 2 所示。表 1 为各个算法模块时间消耗, Gabor 滤波模块耗时最长,整个算法耗时 420 ms 左右。

表 1 算法实效性

| 算法模块 | | ms | |
|----------|------|--------|------|
| 算法模块 | 执行时间 | 算法模块 | 执行时间 |
| Gabor 滤波 | 293 | FSR 分割 | 10 |
| PSR 特征 | 21 | 融合 | 5 |
| FSR 特征 | 75 | 轮廓 | 6 |
| PSR 分割 | 9 | | |

2.2 方法比较

本节对 SGE 中细节选择中的一些不同方法进行比较,内容包括显著性区域特征提取方法选择、Gabor 滤波输出特征

选择、显著性区域二值分割方法选择。实验详述如下:

1) 显著性区域特征提取方法选择。

以断纬和漏洞为例,图 3 中比较了几种最常见的显著性特征提取方法在斑点检测中的应用效果,图(b)~(e)是针对原彩色图像,分别利用 FSR1、FSR2、PSR、SSR 三种方法提取显著性特征结果,其中 FSR2 是原作者方法,FSR1 是对 FSR2 的一种改进,从提取结果上看,FSR 比 PSR 和 SSR 效果更明显,而本文算法改进的 FSR1(图(b))比原 FSR2(图(c))效果更显著;图(f)~(g)是对 Gabor 滤波模图进行显著性斑点提取结果,针对灰度图像,对比了 PSR 和 SSR 方法,显然 PSR 效果更好。

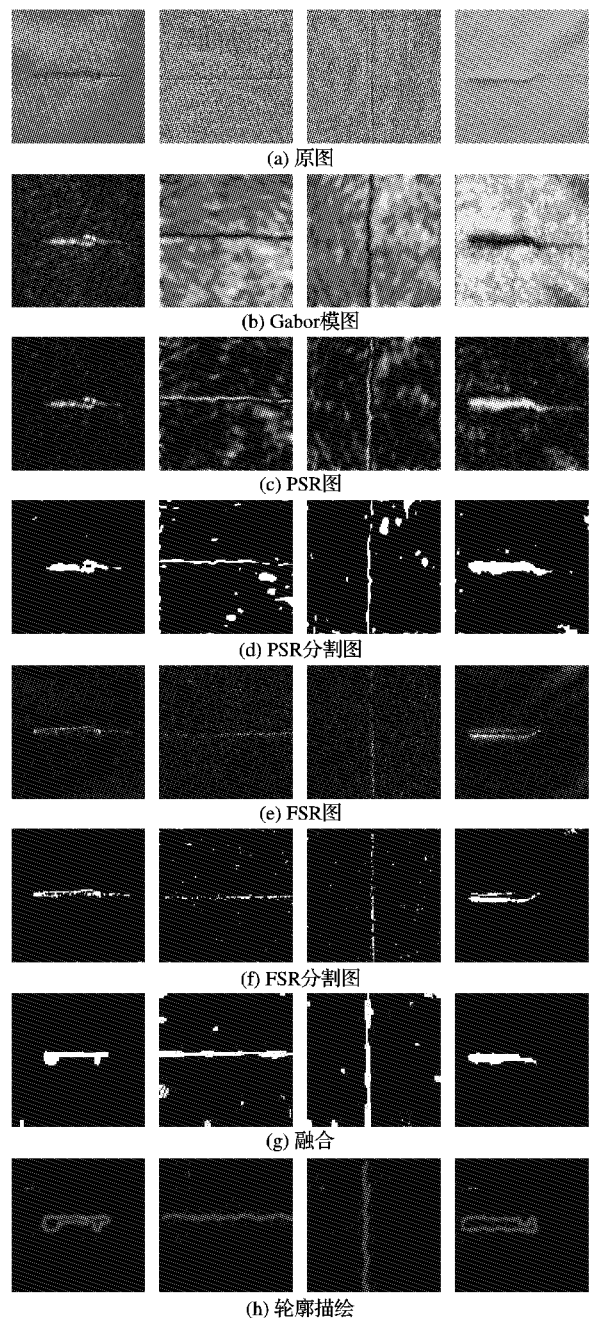


图 2 四类斑点检测结果

2) Gabor 滤波输出特征选择。

以断纬和漏洞为例,如图 4 所示。很明显,模图中斑点信息最明显,更有利于斑点信息的提取。

3) 显著性区域二值分割方法选择。

以勾丝和断纬为例,采用算法复杂度较低的几种常见自

动阈值分割算法作比较,如图5所示。表2是对应的时间消耗。从图5和表2中可知,固定阈值的效果最好,干扰最少,耗时最少;最大熵法次之,但耗时比大津法稍长;迭代阈值法最差,固定阈值法由人为选定阈值大小,仅适于实验场合,大津法相对于最大熵方法引入了较多干扰,综合考虑,采用了最大熵分割法。

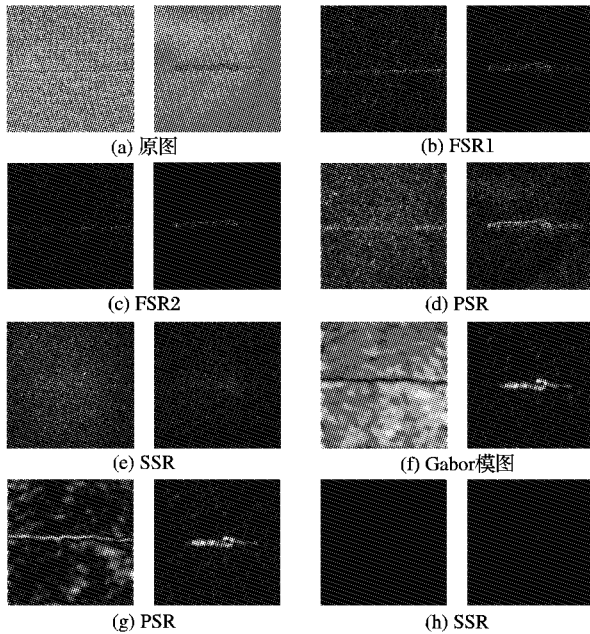


图3 显著性区域特征提取方法比较

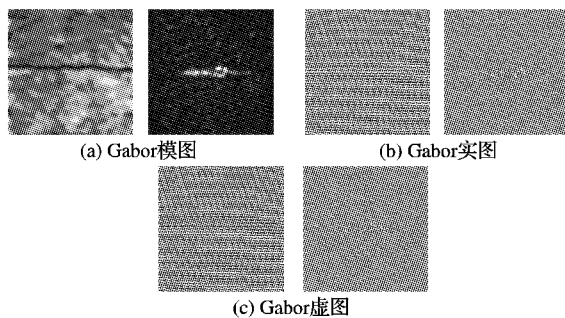


图4 Gabor滤波输出特征测试

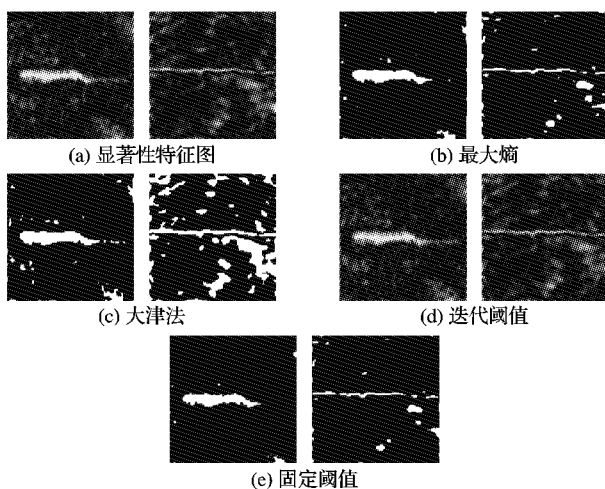


图5 显著性区域二值分割对比

表2 显著性区域二值分割实效性对比 ms

| 算法 | 执行时间 | 算法 | 执行时间 |
|-----|------|------|------|
| 最大熵 | 10 | 迭代阈值 | 27 |
| 大津法 | 7 | 固定阈值 | 3 |

3 结语

结合图像显著性特征和 Gabor 滤波模图特征,提出了一种新的基于图像显著性区域特征的织物疵点检测算法。鉴于织物疵点对实时性的要求极高,本文算法避开了传统方法的弊端,整个系统无需事先学习,疵点定位采用粗细两步法, Gabor 滤波只采用水平和垂直两个方向,以模图作为输出特征,显著性区域分割采用最大熵自动阈值分割法,图像融合针对二值图进行与运算。最后对织物的多种疵点进行了检测,实验结果表明本文算法能将织物疵点从背景中准确地分割出来,具有较好的分割效果。

参考文献:

- [1] KUMAR A. Computer-vision-based fabric defect detection: a survey [J]. IEEE Transactions on Industrial Electronics, 2008, 55(1): 348 - 363.
- [2] GONG YUNAN, HUA JIANXIN, HUANG XIUBAO. Fabric defect detection by using Gauss Markov Random Field (GMRF) model[J]. Journal of China Textile University, 1999, 16(3): 10 - 13.
- [3] KUMAR A. Automated defect detection in textured materials[D]. HongKong: University Hong Kong, 2001.
- [4] 邹超, 汪秉文, 孙志刚. 基于 Gabor 滤波器组的实时疵点图像分割[J]. 计算机工程与应用, 2010, 46(12): 185 - 187.
- [5] BODNAROVA A, BENNAMOUM M, LATHAM S J. Textile flaw detection using optimal Gabor filters[C]// 15th International Conference on Pattern Recognition. Washington, DC: IEEE Computer Society, 2000: 799 - 802.
- [6] 卿湘运, 段红, 魏俊民, 等. 一种新的基于小波分析与神经网络的织物疵点检测与识别方法[J]. 仪器仪表学报, 2005, 26(6): 618 - 622.
- [7] KUO C F, SU T L. Gray relational analysis for recognizing fabric defects[J]. Textile Research Journal, 2003, 73(5): 461 - 465.
- [8] 邹超, 朱德森, 肖力. 基于类别共生矩阵的纹理疵点检测方法[J]. 华中科技大学学报, 2006, 34(6): 25 - 28.
- [9] HAN J, NGAN K N, LI MINGJING, et al. Unsupervised extraction of visual attention objects in color images[J]. IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, 2006, 16(1): 141 - 145.
- [10] RUTISHAUSER U, WALTHER D, KOCH C, et al. Is bottom-up attention useful for object recognition[C]// Proceedings of the 2004 IEEE Computer Vision and Pattern Recognition. Washington, DC: IEEE Computer Society, 2004: 37 - 44.
- [11] ACHANTA R, HEMAMI S, ESTRADA F, et al. Frequency-tuned salient region detection[C]// IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. Washington, DC: IEEE Computer Society, 2009: 1597 - 1604.
- [12] ZHAI YUN, SHAH M. Visual attention detection in video sequences using spatiotemporal cues[C]// Proceedings of the 14th Annual ACM International Conference. New York: ACM, 2006: 815 - 824.
- [13] 赵波, 郑力新. 改进的基于最大熵和 Gabor 滤波器的织物疵点检测[J]. 微型机与应用, 2011, 30(13): 29 - 31.
- [14] ITTI L, KOCH C, NIEBUR E. A model of saliency-based visual attention for rapid scene analysis[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1998, 20(11): 1254 - 1259.
- [15] HOU XIAODI, ZHANG LIQING. Saliency detection: a spectral residual approach[C]// 2007 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. Washington, DC: IEEE Computer Society, 2007: 410 - 414.
- [16] 王东云, 牛正光. 改进的基于局部熵的织物疵点检测方法[C]// 第27届中国控制会议论文集. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2008: 208 - 211.