

基于视觉感知的洗涤污渍客观评级方法研究

徐平华^{1,2} 刘红¹ 丁雪梅¹ 吴雄英³

(1. 东华大学服装与艺术设计学院, 200051; 2. 南通大学纺织服装学院, 226019; 3. 上海出入境检验检疫局, 200135)

摘要: 污渍洗净率是评级洗衣机性能优良和洗涤助剂去污能力的首要指标。传统的人工评级精度低、速度慢且个体差异较大。本文以油污洗净率评级为例, 利用机器视觉检测技术对洗涤前后污染布进行显著性检测, 分割并标识出污渍残留区域, 利用色彩相异度对去污效果进行评价。该方法从人眼视觉关注机制出发, 提出的基于视觉显著性的污渍检测方法, 速度快, 精度高, 成本低且稳定性好。该方法不仅用于织物洗涤去污评价, 同时, 对餐具、建筑外墙等洗净率的评价具有一定的应用价值。

关键词: 视觉感知 油污 洗涤 洗净率 客观评级

Objective Rating Method of Soil Release Based on Vision Perception

Xu Pinghua^{1,2}, Liu Hong¹, Ding Xuemei¹, Wu Xiongying³

(1. Donghua University Fashion and Art Design Institute, 200051;

2. School of Textile and Clothing Nantong University, 226019;

3. Shanghai Entry-Exit Inspection and Quarantine Bureau, 200135)

Abstract: Cleaning rate is the primary index in assessing soil release of washing machine and detergent. The traditional artificial rating method presents low precision, inefficient and large individual differences. In this paper, machine vision technology is used to detect the significant of polluted fabric before and after laundering. The soil areas are segmented and identified with different color which indicated the degree of stain. The proposed method, based on human visual attention mechanism, showed faster, high precision, low cost and well stability, which not only for soil release evaluation, but also for the cleaning rate assessment of tableware and building wall.

Keywords: Vision perception, Soil, Laundry, Cleaning rate, Objective rating

1 引言

洗涤去污等级是评价洗涤设备、洗涤剂除污性能的重要指标, 目前多依据 AATCC 130 - 2000 标准^[1], 采用人工评级的方式评价污渍残留程度。人工评级受到主观因素的影响, 个体差异大、稳定性差、精度低。随着新型洗衣机与洗涤助剂的研发以及纺织品防污整理技术的普及, 亟需更为准

确、可靠、精度高的客观评级方法。

GB/T 4288 - 2008《家用和类似用途电动洗衣机》中规定了两种测定方法: 一是采用光电反射率计, 利用洗涤前 - 洗涤后反射率差值比进行表征; 二是采用白度仪对污渍残留 K/S 值进行测定, 利用职务表观色深衡量洗净率。这两种测试方法对设备、污渍取样位置的要求较为苛刻。随着数字图像技术在纺织工程领域的广泛应用, 尤其是在

第一作者简介: 徐平华 (1984. 4 ~), 男, 就读于东华大学服装设计与工程专业, 主要从事纺织品服装护理机器视觉检测研究。

纺织品外观质量评等评级中的推广^[2~5],为基于图像方法的洗涤去污等级的客观评价提供了参考。1996年,B. Xu等人^[6]提出了一种基于图像分析的织物洗涤去污等级评价方法,利用污渍区域的灰度特征值与油污区域面积比值表征去污等级。2009年S. Kamalakannan等人^[7]及2010年Oketani Shinya等人、C. Mao等人^[8]尝试多种方法对去污区域进行分割,并以油污区域的大小或亮度评价污渍残留。

图像处理方式便利、快捷,但容易受到织物纹理影响形成误分割,并且和人工评级机制存在本质的差异。AATCC 130-2000标准中采用的人工评级尽管存在诸多缺陷,但人类具有高度的视觉聚焦特性,在对目标信息感知中具备一定的选择能力。这一特征称之为视觉注意或视觉显著性。人脑在视觉中枢的V1区(视觉初皮层)形成了视觉显著图,引导眼球自动定位到感兴趣区域^[9]。近年来,研究人员通过计算机模拟人类视觉注意,并应用到基于感兴趣区域的图像检索、计算机视觉、图像压缩等领域。本文基于该理论,从主观视觉评级机制出发,利用图像处理技术追踪目标兴趣区域,分割出污渍区域,并利用色彩相似度衡量去污等级。实验结果表明,本文提出的方法能够有效地反映出各等级污渍残留趋势。

2 污渍图像处理与分割

2.1 标准样照

目前,国内外在评价洗涤去污性能时,主要依赖人工视觉评级。具体做法是,采用人工污染布,使用适当的洗涤试剂对污渍进行洗护处理,依据AATCC 130-2000标准所规定方法对洗涤去污效

果进行评价^[10]。该方法对洗涤后每块织物与评级卡进行比较和评级,取平均值作为最终去污等级。5级洗涤去污标样如图1所示。

标准样照以图像格式存储时,假定长度和宽度方向分别为M、N个像素,则一幅样照图由 $M \times N$ 个像素构成。图1为1~5级的污渍残留彩色图,以RGB模式为例,每个像素由R、G、B三个颜色分量混合而成。在以往的图像分割处理中,常见的做法是将彩色图像转换为亮度图像(灰度图),即通过转换公式将每个像素RGB值由计算得到的灰度值代替,便于图像处理和分析^[10]。

2.2 试样图像采集

标准光源对色灯箱广泛应用于纺织品、印染、印刷、颜料、摄影等颜色领域,用于准确校对颜色偏差。国际通用标准中常采用人工光D65作为评定货品颜色的标准光源。标准光源箱内除提供D65光源外,同时还提供TL84、CWF、UV、F、A等光源,具备测试同色异谱效应的功能。

本文试样图像的采集在标准光源对色箱下完成。实验选用了TILO[®] P60标准光源箱,织物试样放置在45°看台中,采用工业相机进行实时拍摄和传输。

采集设备选用水星工业摄像机(型号MER-500-7UC-L,见图3)搭配日本Computar定焦镜头(型号H0514-MP2),通过USB接口控制相机完成图像采集和传输功能。工业摄像机能稳定工作在各种恶劣环境下,持续时间长。摄像机采用1/2.5"行曝光CMOS传感器芯片,可达500万像素,满足本文实验需求。摄像机安装于标准灯箱上侧,镜头与看台呈90°,采用正视的方式拍摄。

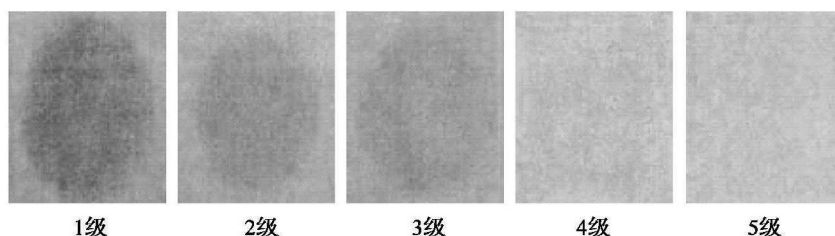


图1 AATCC 130-2000评级参照标准样照



图2 标准光源箱



图3 工业摄像机

2.3 色彩模式转换

Lab 色彩模式是由国际照明委员会(CIE)于1931年制定,经修改后被正式命名为 CIELab。该色彩模式基于生理特征,是一种与设备无关的颜色系统,用数字化的方法来描述人的视觉感应。Lab 颜色空间中的 L 分量用于表示像素的亮度,取值范围是 $[0, 100]$,表示从纯黑到纯白;a 表示从红色到绿色的范围,取值范围是 $[127, -128]$;b 表示从黄色到蓝色的范围,取值范围是 $[127, -128]$ 。图4为 Lab 颜色模式示意图:

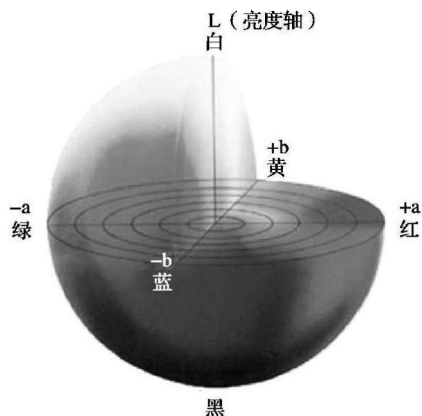


图4 Lab 颜色模式示意图

自然界中任意色彩都可以在 Lab 空间中表达出来,其色彩空间相比 RGB 空间大,意味着 RGB 以及 CMYK 所能描述的色彩信息在 Lab 空间中都能得以映射。因此,本文将采集得到的 RGB 彩色图像转换到 Lab 颜色空间。本文采用多项式回归法^[11]将污渍 RGB 彩色图像转换至 Lab 模式下进行后续的分析。

3 视觉显著性检测

视觉显著性及相关的认知神经学在过去几十年里已经获得广泛的研究。人类的视觉注意机制能够将有限的认知资源聚集于场景中重要的刺激而抑制那些不重要的信息。在计算机视觉领域,有关显著性的研究在于提出模拟人类视觉注意机制的模型。现有的显著性检测的方法分为基于层次的、基于频谱的、基于熵的和基于图像对比度的方法。基于层次的方法采用的是多尺度的图像处理,将不同层次的结果聚集起来成为最后的显著性映射。基于频谱的方法是把图像分解成 Fourier 或者 Gabor 频谱,显著性映射通过选择重要的频谱系数构成。基于图像对比度的方法是利用指定的子窗口的均值像素亮度值来计算图像中每个像素的对比度,然后由对比度模拟出图像的显著性。

本文及 Lab 色彩空间,分别从 L、a、b 三个通道抽样获得随机的感兴趣区域 (Region of Interest, ROI),并计算其显著性特征,算法流程如图5所示:

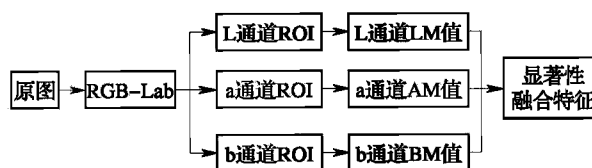


图5 视觉显著性检测流程图

经过2.3的色彩模式转换后,采集的试样形成 Lab 模式图。在此基础上,从 L、a、b 三个通道分别随机生成 n 个窗口,对于每个窗口,计算出面积与灰度值的比值,即:

$$\bar{G} = G_s / S \quad (1)$$

其次,在三个颜色通道上分别计算得到窗口中每个像素 $I_{i,j}$ 的显著性映射:

$$SM_{i,j} = SM_{i,j} + |I_{i,j} - \bar{G}| \quad (2)$$

最后,采用欧式距离融合颜色空间的显著值,公式如下:

$$FM_{i,j} = \sqrt{FM_{i,j}^2 + AM_{i,j}^2 + BM_{i,j}^2} \quad (3)$$

4 色彩相似度计算

试样显著图由不同的颜色表示,深红色表示人眼最为聚焦的位置,浅红次之,其后依次是黄色、蓝色、淡紫、灰色,显著程度依次衰弱。在评价污渍残留的等级时,为了与原样(未洗涤)进行比对,判定去污等级,本文采用了基于图像颜色直方图相似度衡量去污效果。为了后期便于图像处理,本文将显著图再次转换到 RGB 色彩空间当中。

设 $S(X_i)$ 为图像 P 中某一特征值为 X_i 的像素的个数, $N = \sum_j S(X_i)$, N 为 P 中像素的总数,对 $S(X_i)$ 做归一化处理,即:

$$h(X_i) = \frac{S(X_i)}{N} = \frac{S(X_i)}{\sum S(X_i)} \quad (4)$$

则图像的颜色直方图为:

$$H(P) = (h(X_1), h(X_2), \dots, h(X_n)) \quad (5)$$

假定一幅图像大小为灰度图 $M \times N$ 个像素,图像有三个色彩通道,其范围值均为 $(0 \sim 255)$,若直接对每个像素的色彩进行计算,数据量为 $M \times N \times 256$,计算代价较大,在实际的检测中是不可取的。为了降低运算量,需要对数据进行降维。本文就是分别对三个通道独立统计,然后变到一维空间($n = 256 \times 3$),进行相似度计算。

设两幅图片(洗涤前后视觉显著图)为 G, P , 相应的直方图为 $HG(X), HP(X)$, 则有:

$$S(G, P) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left(1 - \frac{HG(X_i) - HP(X_i)}{\max(HG(X_i), HP(X_i))} \right) \quad (6)$$

式中, $S(G, P)$ 为 G 与 P 的相似度, 范围为 $0 \leq S(G, P) \leq 1$ 。

5 实验结果与分析

5.1 实验方案设计

5.1.1 实验材料

为了验证算法的可行性,本文选用了纯棉织物

(成分:100% 棉)进行测试。面料的颜色为纯白色,罗纹针织布,克重为 185.5g/m^2 ,厚度为 0.76mm ,试样的面积为 $38 \text{cm} \times 38 \text{cm}$ 。洗涤试验中使用的负载为纯棉漂白织物或 50/50 涤/棉漂白丝光平纹织物,尺寸为 $92 \text{cm} \times 92 \text{cm}$ 。

此外,按照 AATCC130-2000 标准中的要求,试验中需要的材料包括:吸水纸、花生油、玻璃纸和圆柱形重物。实验中使用的洗衣机为海尔全自动波轮洗衣机,型号为 XQS70-BZ1228S AM。

5.1.2 实验过程

试样的沾污程序如下:将未沾污的试样放置于表面光滑、水平的吸水纸上,用滴管滴花生油于测试试样的中心,将大小为 $7.6 \text{cm} \times 7.6 \text{cm}$ 的玻璃纸置于沾污区域上,将重量为 2.268kg 的圆柱形重物直接放置在玻璃纸上一分钟,然后移去重物以及玻璃纸,试样在沾污后 20min 内洗涤。

将试样在设置好的试验程序下洗涤,洗涤后晾干,待洗涤试样晾干后,采集洗涤后试样图像;采集完图像后,进行第二次洗涤,重复上述步骤,一共进行 5 次洗涤试验。在洗涤阶段,洗涤剂采用 AATCC 1993 WOB 标准洗涤剂。试样进行评级基于本文提出的方法,对洗涤试样进行去污等级评定。

5.2 实验结果与分析

为了阐述本文提出的方法,以洗涤 1 次为例,对洗涤前后的油污图像进行处理和分析。图 5 为洗涤前后的污渍原图及视觉显著图。

由图 6 可以看出,洗涤前,油污原图呈较为规则的圆形,其视觉显著图的形态与原图一致。视觉显著图的中间部分集中为红色,周边分别显示为黄色、蓝色、紫色及灰色,显著程度均匀减弱。洗涤后的油污图较洗涤前有一定的扩散,但颜色较浅,表明污渍发生了转移和脱落,其视觉显著图也较洗涤前有了较大的变化,色彩分布不均匀,并且向周边不断扩散,这一结果表明:洗涤后,由于机械外力、洗涤纹理、洗涤剂的化学作用,污渍形态和浓度发生了变化,在视觉上的聚焦位置和区域也相应变化。由此可见,视觉显著图反映了污渍残留的差异,从生物视觉感知角度揭示了这一特性。

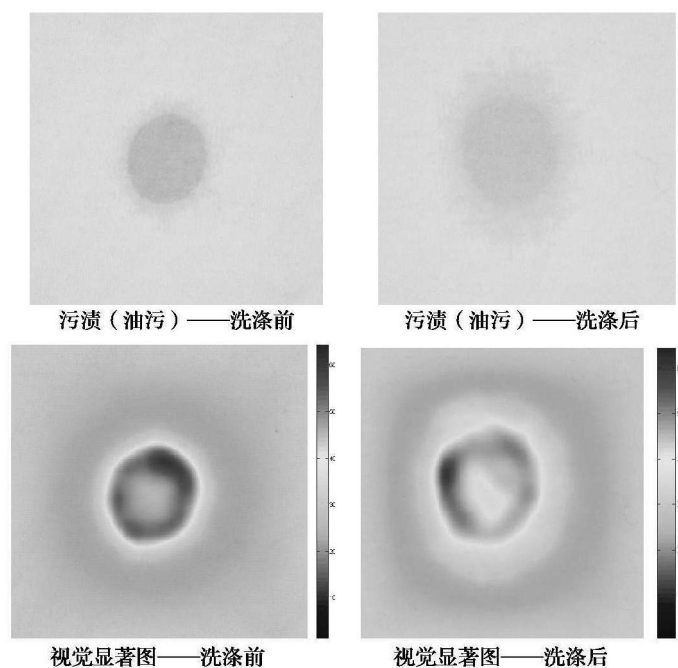


图6 视觉显著性检测结果

为了描述洗涤前后的污渍残留差异,利用本文提出的色彩相似度对去污效果进行度量。图7为1次洗涤前后的视觉显著图相似度检测结果。经过1次洗涤后,色彩相似度为81.11%。

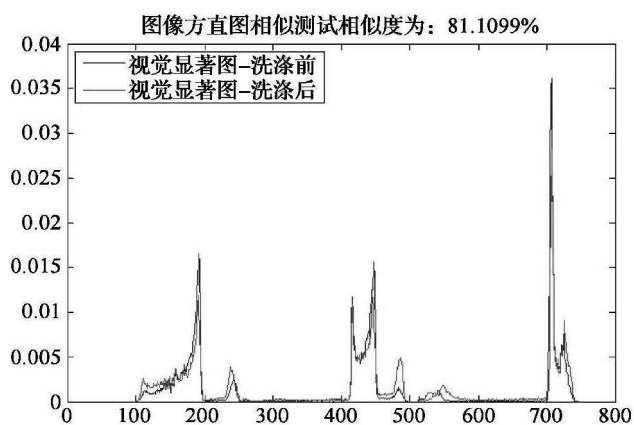


图7 视觉显著性相似度测量

类似地,对经过不同洗涤次数形成的污渍残留图进行检测,其相似度如图8所示。洗涤2次、3次、4次、5次的相似度分别为72.36%、62.24%、57.35%及48.87%,一定程度上反映了洗涤前后的污渍残留变化趋势。

6 结论

本文利用图像处理技术,从人类视觉感知角度出发,提出基于视觉显著性的污渍检测及评价方法。该方法通过对洗涤前后污渍的视觉显著特征进行提取和分析,利用不同色彩描绘去污残留程度,并通过色彩的相似度衡量去污效果,一定程度上反映了洗涤对污渍去除的趋势。与传统的人工评级相比,速度快,精度高,成本低,且稳定性好。在今后的研究中,增加客观评级与主观评级的一致性研究,获取色彩相似度与去污等级的关联性,在评级的精度和可视化表达方面进行深入研究。本文提出的去污评级方法,在对织物洗涤去污评价的外,可拓展应用于餐具、建筑外墙等洗净率的评价。

本研究得到了国家自然科学基金(编号:71373041)、国家质量监督检验检疫总局科技计划项目(编号:2015IK237)以及东华大学研究生创新基金(CUSF-DH-D-2014063)、创新创业训练项目(107060041016)的资助,在此深表感谢!

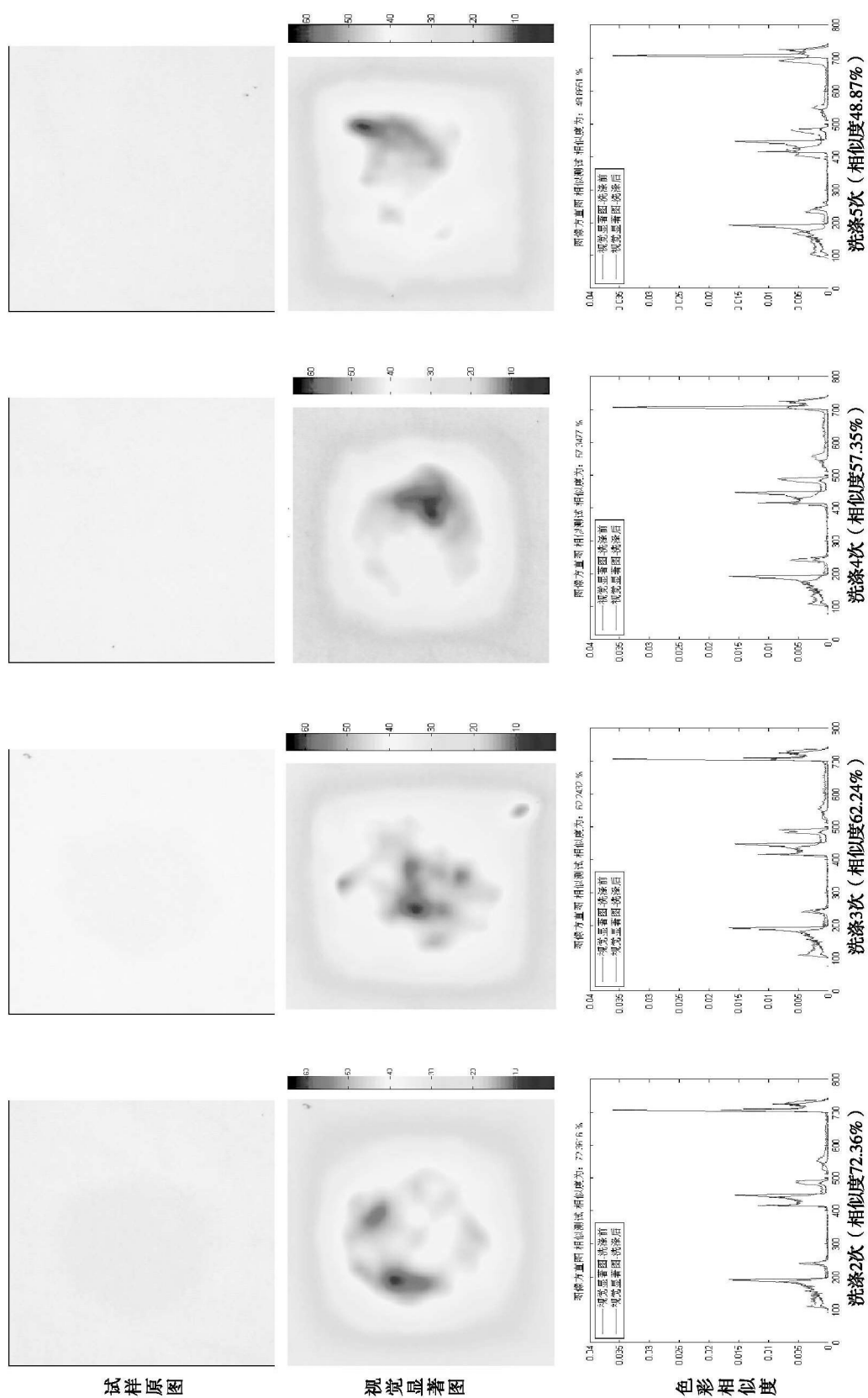


图8 不同洗涤次数下的视觉显著性相似度量

参考文献

- [1] AATCC. AATCC Test Method 130 - 2000. Soil Release:Oily Stain Release Method,AATCC,2000
- [2] Pinghua Xu, Xuemei Ding, Rongwu Wang 等. Feature-based 3D Reconstruction of by Binocular Stereo-vision [J]. Journal of the Textile Institute,2016(1):12-22
- [3] 徐平华,丁雪梅,吴雄英. 基于机器视觉的衣物洗护形变评级研究[C]. 2015
- [4] 徐平华,丁雪梅,王荣武等. 洗后织物外观平整度客观评级中的若干问题[J]. 纺织学报,2014(12):159
- [5] 贾婷婷. 数字图像处理在原棉异物识别应用中的研究[D]2007
- [6] Bugao Xu, Patricia Bel. Evaluation of Color Alterations on Fabrics by Image Analysis[J]. Aatcc Review, 2009 (10):37-42
- [7] KAMALAKANNAN, S., GURURAJAN 等. Assessing Fabric Stain Release Using a GPU Implementation of Statistical Snakes[J]. Proceedings of Spie the International Society for Optical Engineering,2009,
- [8] Cui Mao, Arunkumar Gururajan, Hamed Sari-Sarraf 等. Machine Vision for Stain-release Evaluation Using Gabor with Optimized Coefficients[J]. Machine Vision & Applications,2012(2):349-361
- [9] Zhaoping Li. Contextual Influences in V1 as a Basis for Pop Out and Asymmetry in Visual Search[J]. Proceedings of the National Academy of Sciences,1999(18):10530
- [10] 沈菁. 基于机器视觉的洗涤去污效果评价[D]. 江南大学,2013
- [11] 古晶. RGB 到 Lab 颜色空间转换[J]. 广东印刷, 2009(5):11-14