

图文信息技术

基于多对象匹配与融合字符特征的印刷质量检验方法

徐珩, 刘学平

(清华深研院, 深圳 518055)

摘要: **目的** 为了增强字符配准对字符位姿变化的鲁棒性和识别能力, 以及印刷质量检验精度和缺陷类型分析对不同字符产品的自适应性, 提出一种基于多对象匹配与融合字符特征的印刷质量检验方法。**方法** 采用多张合格字符样品图像进行模板构建; 借助多对象匹配来配准多个待检验的字符, 消除字符位姿的变化对字符配准的影响; 进行逐像素的比对, 检验字符区域的质量; 利用灰度阈值分割以及 Sobel 边缘检测, 将字符区域分成 3 个待检验的局部特征区域: 边缘、前景、后景; 进而获取边缘完整性, 前景面积和灰度, 背景面积和灰度这些显著的字符特征, 由多张字符样品训练每个特征的自适应的合格范围; 将其组合, 形成融合字符特征, 分析缺陷的类型。**结果** 测试数据表明, 针对不同种类、不同精度要求的字符产品, 所提方法对于字符质量的判断准确率达到 100%, 对缺陷类型的分类准确率保持在 84.2% 以上。**结论** 所提字符质量检验方法拥有良好的鲁棒性与自适应性, 在包装、印刷等行业具备较高的应用价值。

关键词: 印刷质量检验; 融合字符特征; 自适应的合格范围; 多对象匹配; 缺陷类型分析

中图分类号: TS801.8; TS807 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2019)11-0188-06

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2019.11.029

Printing Quality Inspection Method Based on Multi-object Matching and Fusion Character Features

XU Heng, LIU Xue-ping

(Graduate School of Tsinghua in Shenzhen, Shenzhen 518055, China)

ABSTRACT: This work aims to propose a character printing quality inspection method based on multi-object matching and fusion character features, to enhance the robustness and recognition of character registration to changes in character pose, as well as print quality inspection accuracy and defect type analysis for different character products. Firstly, multiple qualified character sample images were applied to template construction. Then the multi-object matching method was introduced to match the characters to be inspected to eliminate the effect of changes in character pose on character registration. Then a pixel-by-pixel comparison was performed to verify the quality of the character area. Last, with gray threshold segmentation and Sobel edge detection, the character region was divided into three local feature regions to be tested: edge, foreground, and background. Significant character features such as edge integrity, area and gray scale of foreground and background were collected. The adaptive qualifying range for each feature was trained from multiple character samples. The type of defect was given with the fused character features. Experimental results show that, when it came to different types of character products with different precision requirements, the accuracy of the proposed method for character quality was 100%, and the accuracy of classification of defect types remained above 84.2%. Featured by good robustness

收稿日期: 2019-01-27

作者简介: 徐珩 (1994—), 男, 清华大学硕士生, 主攻自动化检测。

通信作者: 刘学平 (1965—), 男, 博士, 清华大学副研究员, 主要研究方向为智能控制。

and adaptability, the proposed character quality inspection method has good application value in packaging, printing and other industries.

KEY WORDS: print quality inspection; fused character features; adaptive qualification range; multi-object matching; defect type analysis

近来，字符印刷的质量越来越受关注^[1]，而字符质量的检验是确保字符产品出厂质量的重要工序。由于人工检验在一致性、稳定性、持续性方面的不足，因此基于机器视觉的字符印刷质量的自动化检验^[2]的研究在不断地进行着。

一般而言，字符印刷质量检验方法主要分为模板构建、字符区域配准和字符缺陷检验这 3 个过程。字符在相机视野中出现的位姿的变化，对字符区域配准结果有影响。尽管已有许多研究人员引入字符可能出现的区域或不同字符出现区域的相对位姿进行配准的搜寻范围的限定，但仅仅限于获取字符可能出现的区域，缺少对配准结果的检验，这可能会导致配准错误，如搜寻区域里出现多个相同或相似的字符。为了应对字符位姿变化较明显的字符产品的检验，而不仅仅限于检验有固定格式的字符产品，如文本，文中引入多对象匹配的方法来进行字符配准，利用多个字符之间的相对位姿的特征，快速配准字符，并且对配准的结果进行验证和取舍。

字符印刷的缺陷有很多种类，如飞墨、刀丝、刮板和墨色浓淡等^[3]，国内外研究人员对基于机器视觉和图形处理技术的印刷缺陷检测作出了许多努力。例如，引入神经网络增强特征信息的使用^[4]，逐像素比较检测缺陷^[5]，基于 Blob 算法的缺陷形态分析^[6]等。然而，神经网络的训练需要大量的样本数据，过少的样本训练会陷入过拟合；将字符印刷缺陷的类型和字符样本是否合格，构成一个多分类问题，会带来更多的检验时间的开销；对缺陷的形态特征的分析，虽然可以尽可能地对应缺陷类型，但并不能很好地表征检测出的字符缺陷。文中所提检验方法，将字符印刷质量检验视为判断字符产品是否合格的二分类和缺陷类型分析的多分类问题的结合。对字符区域进行划分，得到影响字符印刷质量的 3 个重要区域：字符边缘、字符前景和字符背景，并提取字符边缘完整性、字符前景的面积和灰度、字符背景的面积和灰度这 5 个显著的字符特征，形成融合特征构成向量，进行缺陷类型的决策判断。最后测试所提字符印刷质量检验方法的鲁棒性和识别准确性。

1 字符印刷质量检验方法

字符印刷质量检验，是将待检验的字符与模板进行比对分析，根据误差情况来判断字符质量是否满足要求。Verikas 等^[7]指出，打印机印刷出来的字符产品

都是有一定的差异的。人眼对于误差的自适应性较好，且对印刷质量有主观性的认知，但进行计算机视觉的图像处理的时候，对于每个像素的误差较为敏感。

选用合适的工业相机，构建人工照明的环境，获取要检验的字符产品的图像^[8]。文中所提字符印刷质量的检验方法的主要步骤：构建字符模板或模板库；采用多对象匹配的方法对待检验字符图像进行字符配准；逐像素检验字符区域，得到二分类结果；对不良产品进行多级判断，给出缺陷类型。检验方法的流程见图 1。

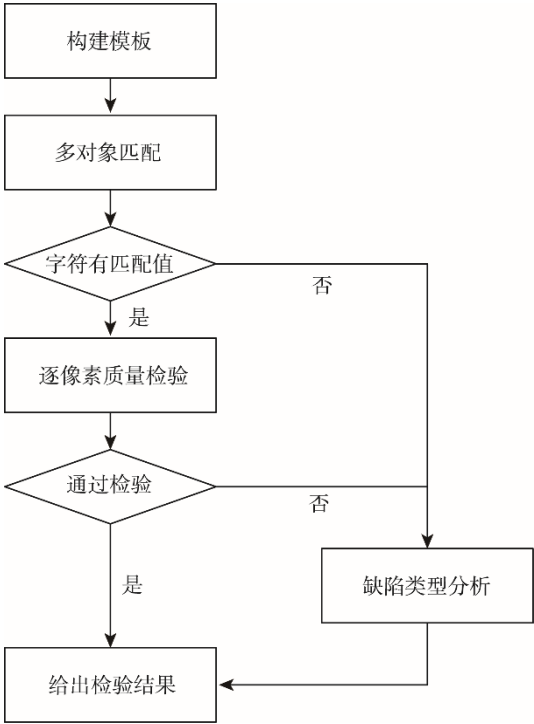


图 1 字符印刷质量检验方法流程
Fig.1 Process of the proposed character printing quality inspection method

1.1 构建模板

现有的字符印刷质量的自动化检验的方法，选取模板的方式有：由理想的字符图像生成模板或者模板集^[9]，这种数字化的模板是最为精确的标准，但同时也过于理想化；在合格的字符样品中选取一个作为模板，这样的模板结合了实际的生产，但也忽视了字符产品在实际生产和获取图像的过程中存在的质量的波动^[10]。

在该自动化检验方法中,字符产品的质量体现在每个像素的灰度值在模板给出的合适范围内,如相机采集的是 RGB 彩色图像^[11],转化为灰度值进行检验:

$$\text{Gray} = R \cdot 0.299 + G \cdot 0.587 + B \cdot 0.114$$

字符产品图像的每像素的灰度值,会在其本来的数值上,加入印刷机器和相机采集图像带来的扰动。

因为每张图像的扰动量是随机的,所以仅仅以数字化字符或者某一张合格品图像构建模板,并不能很好地检验字符产品的质量,而采用图像滤波再增强图像的预处理,会对提出的检验方法的识别准确性有影响。采用多张合格字符产品图像,进行统计后构建模板。

1.2 多对象匹配

待检验的字符产品一般包含多个或多组字符,它们在相机视野里出现的位姿并非总是一致的,它们彼此之间的相对位姿也会有细微的变化,而有些字符产品的设计为了体现多样性,会刻意改变字符的位姿。人眼可以自适应这些变化,但在与模板图像进行比对的时候,如果相应字符的位姿不能很好地配准,会影响检验结果的准确性,见图 2。

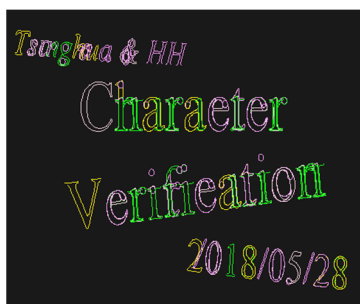


图 2 字符位姿变化导致混乱的配准结果
Fig.2 Chaotic registration resulted from changes of character pose

采用多对象匹配的方法^[12-13],根据多个合格的字符样品,将要检验的多个字符建立搜索树的拓扑结构^[14],形成先后检验顺序,由上一个字符的位姿计算下一个字符位姿的范围,从而减少匹配搜寻的代价,同时能够很好地解决字符产品中存在的多个相同字符匹配干扰问题,见图 3。

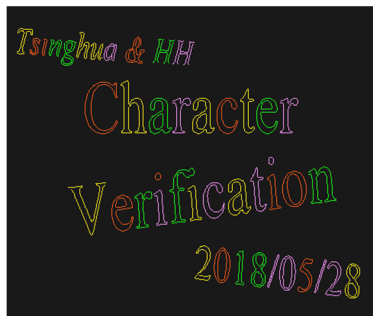


图 3 应用多对象匹配后的配准结果
Fig.3 Registration results after applying multi-object matching

1.3 字符缺陷检验

1.3.1 逐像素质量检验

字符区域内每像素的灰度值以模板中对应像素的灰度值为基准,在给定的变化范围内,被认为是合格的。人眼对于灰暗区域的分辨能力弱于分辨明亮区域,为了适应人眼对于字符产品的检验^[15],设计了相对于基准灰度值的两侧不对称的误差容许范围,偏暗的一侧的范围较大,且随着基准灰度值的不同,偏暗一侧的放大系数也不同。基准灰度值越小(即模板中像素的灰度越暗),偏暗一侧的误差容许范围越大。

$$T_{xy} = (1 - \alpha)T + \alpha\beta g(f_{xy})T$$

$$g(f_{xy}) = \arctan[s(f_{xy} - 128)]$$

式中: T 是设定的合格范围; T_{xy} 表示动态的合格范围; α 是修正系数,若 $\alpha=0$,表明每像素的灰度值的合格范围按全局灰度特性设定,若 $\alpha=1$,表明每像素的灰度值的合格范围按局部灰度特性设定; β 为调控系数,不同的检验精度的要求下,按比例放缩合格范围; f_{xy} 是该像素位置的灰度值; $g(f_{xy})$ 表示局部灰度特性系数,符合人眼特性; s 是局部合格范围曲线的形状调节参数。

字符区域的灰度经过逐像素比对分析后,不合格的像素会被标记^[16],采用连通域分析的方法,将八邻位相连的不合格像素聚集成一个不合格区域。不合格区域的面积和形状会影响人眼的识别。面积过小,人眼会忽略这个不合格区域;人眼无法忽略的面积,由于形状过于分散,如丝状,也会忽略其影响。

在腐蚀操作中,宽度均匀的区域在较小的半径值范围内,可以实现全部被腐蚀,见图 4。通过多个腐蚀半径值设定的操作结果,可以了解缺陷形状和面积大小,因此在进行连通域分析后,会对不合格区域进行腐蚀操作^[17],判断其面积和形状是否会被人眼忽略。

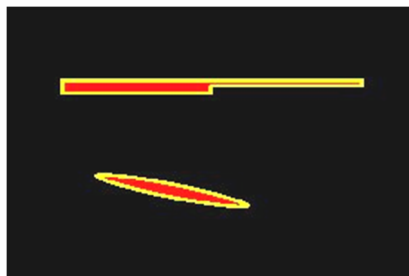


图 4 对不同形状区域进行腐蚀操作的结果
Fig.4 Results of corrosion operations on differently shaped areas

1.3.2 缺陷类型分析

字符的印刷质量缺陷的出现位置,可以分为 3 种,即位于字符边缘、字符前景区域和字符背景区域。字符边缘印刷的完整性,对于字符来说至关重要。该

方法在多对象匹配阶段，采用边缘特征进行匹配。

字符区域以灰度阈值分割的方式，分出前景和背景区域，见图 5。经过匹配，在待检测图像中会确定待检验的字符区域的位姿。经过灰度阈值分割，可以得到待检验的字符区域的前景和背景。此时的前景和背景的面积属性，不足以衡量字符区域的前景和背景的形状是否和模板中的一致，例如，字母“C”如果在待检验图像中是镜像，待检验区域的前景和背景的面积也符合模板要求。文中待检验字符区域的前景和背景，是将待检验字符区域进行灰度阈值分割后的前景和背景区域，分别与模板图像中的字符区域的前景和背景取交集的结果：

$$S = \text{Area}(R_b \cap R_M)$$

式中： S 表示待检验字符区域的前景或者背景； R_b 指的是待检验字符区域进行灰度阈值分割后得到的区域； R_M 指代模板图像中字符区域的前景或者背景。

如果待检验字符区域的前景面积不合格，说明字符覆盖区域的印刷有问题，可能是字符印刷扭曲或者断墨等原因；而后景不合格，说明字符背景覆盖区域有问题，可能是油墨溢出字符覆盖区域等原因。

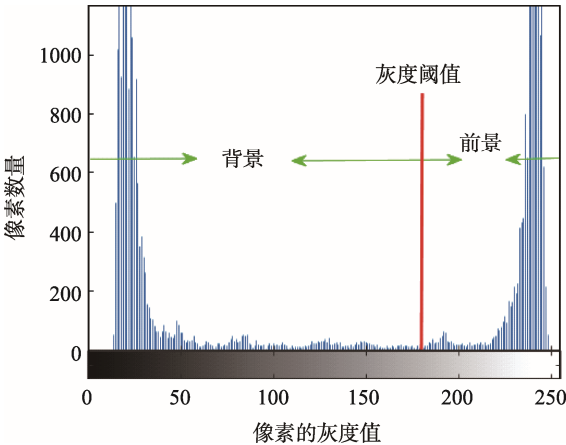


图 5 字符区域的灰度阈值分割
Fig.5 Gray threshold segmentation of character regions

字符区域的前景和背景的灰度，是衡量前景和背景区域的灰度情况。如果灰度不合格，出现异色，可能是油墨的浓淡(彩印字符可能是颜色差异)等原因。采用的字符区域前景和背景的灰度的计算公式为：

$$G_F = \sum_{(x,y) \in R_F} \frac{|f(x,y) - \overline{f_B}|}{255 - \overline{f_B}}$$
$$G_B = \sum_{(x,y) \in R_B} \frac{|f(x,y) - \overline{f_F}|}{\overline{f_F}}$$

利用字符完整性，前景的面积和灰度，背景的面积和灰度等 5 个字符特征构建字符缺陷类型的分类特征空间，可以划分缺陷产品的缺陷类型。例如，针对表 1 的样品，应用融合特征进行分析，结果见图 6，

可以看出与前景印刷质量相关的融合特征能够很好地表征字符的印刷质量。

表 1 应用融合特征进行分析的样品
Tab.1 Samples analyzed with fusion features

分类	数量	印刷质量情况
第 1 类	25	合格
第 2 类	5	字符溢墨 (1 个)；字符部分异色 (1 个)；墨色过浓 (1 个)；断墨 (1 个)；边缘不完整 (1 个)

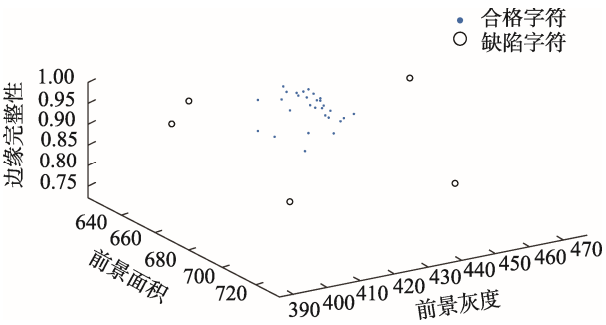


图 6 部分融合特征的分析结果示例
Fig.6 Analysis results of partial fusion features

此外，文中的缺陷分类算法能够自动给出 5 个字符特征的合格范围，使其能够兼容多种字符产品的缺陷分类的需求，同时降低对操作人员的技术和经验的要求。如图 7 所示，根据模板给出每个特征合格范围的初值后，采用多个样品进行训练，算法自适应地调整每个字符特征的合格范围。图 7 中， μ 表示该特征的均值； σ 表示该特征设定的合格误差范围； k 为缩放系数。由多张样品进行训练，并不断优化其值，例如，合格样品的该特征值没有落在合格范围里，那么就依次增加 0.1，直到该样品通过该特征的合格范围；反之，不合格样品的该特征值如果落在了合格范围里，那么就依次减少 0.01，直到通过。

综合考虑融合特征的检验结果，可以分析出符合生产厂商认知习惯的缺陷类型。如果对缺陷类型的形状有需求的话(如判断缺陷是飞溅的墨点或者刮刀导致的线型缺陷)，则可以考虑增加曲率半径等特征来进行判断。

2 实验结果及分析

为了验证所提的字符印刷质量检验方法对不同种类的字符产品的自适应性和鲁棒性，以及识别结果的准确性，挑选了 3 种不同的字符产品，并作了些影响其质量的破坏，来获得印刷不合格的产品，例如，墨色浓淡、脏污、断墨缺印等明显缺陷，和飞墨、刀丝、刮板等细微缺陷。展示的 3 种字符产品的基底的软硬程度不同，分别是薄膜、硬纸板和硬塑料板，见表 2。

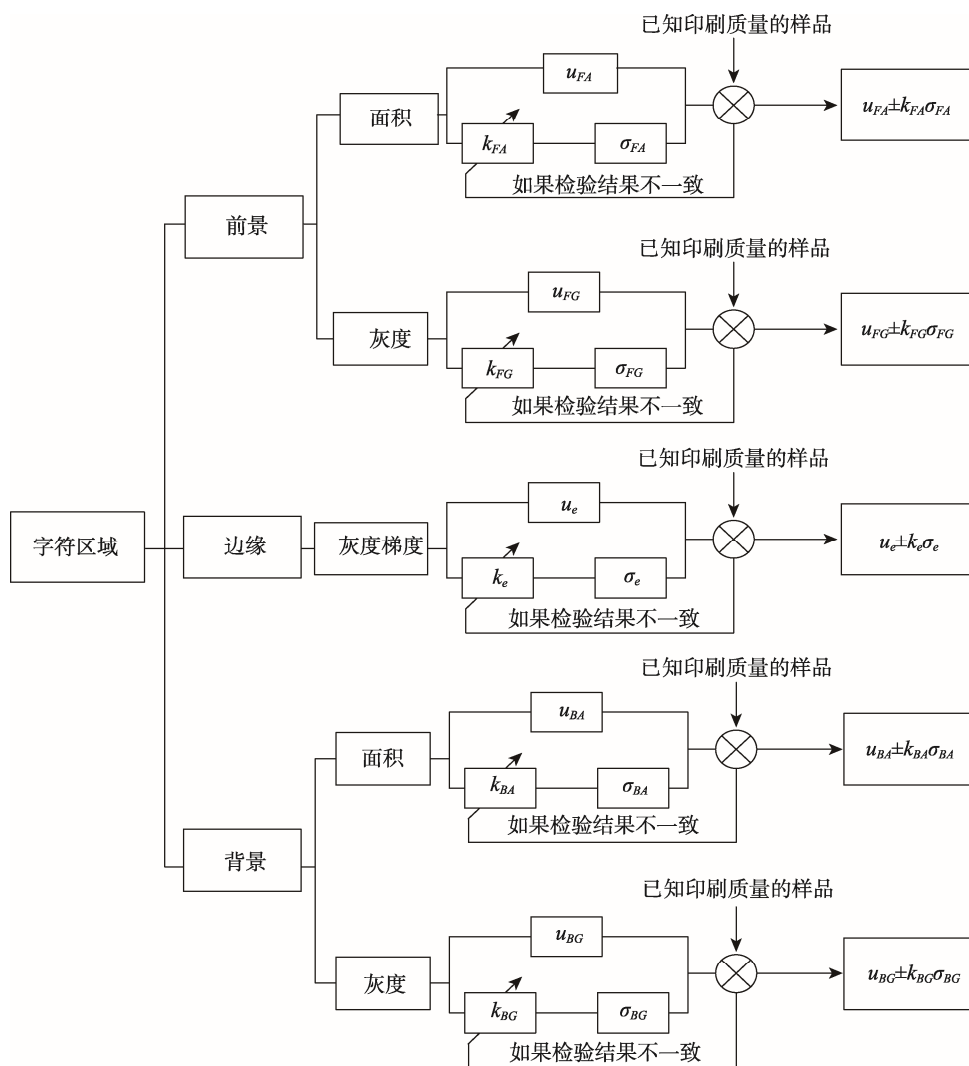


图7 融合特征的自适应的合格范围的训练

Fig.7 Training of adaptive qualified range of fusion features

表2 3种样品

Tab.2 Three character samples

基底刚度	字符产品	明显缺陷	细微缺陷
软			
中等			
硬			

每种字符产品选择50张合格的产品图像和50张不合格产品图像进行训练,得到检验的字符模板,优化逼近5个判断依据的自适应合格范围的极限值(向量 σ)。选用100张已知质量情况的样品进行印刷质量的检验,以测试所提方法的识别准确性。选用

样品的组成:无法匹配10张,明显缺陷30张,细微缺陷30张,合格30张。

对以上100个样品的检验结果:字符印刷质量是否合格的二分类的判断结果准确率是100%,缺陷类型的分类判断准确率达到84.2%以上,具体的检验结果见表3。

表3 软基底字符产品的缺陷类型检验结果

Tab.3 Test result of defect type of soft base character product

样品缺陷类型	数量	识别准确的数量
字符边缘破坏	10	10
墨色浓淡	10	10
脏污	10	9
断墨	10	10
飞墨	10	8
刀丝	10	6
刮板	10	6

实验结果表明所提检验方法: 判断印刷质量是否合格的准确率已经达到工程应用的要求, 但缺陷类型分类的结果可作为操作人员的参考, 准确率尚待进一步提高。

3 结语

为了获取自适应印刷精度要求的字符模板和缺陷特征分类空间, 兼顾字符位姿的变化, 提出了基于多对象匹配与融合字符特征的字符印刷质量检验方法。以 50 张合格样品图像和 50 张不合格图像作为训练样本, 确定了多个字符相对搜索的拓扑关系, 逐像素比对的自适应的灰度合格范围, 和基于融合特征的缺陷类型的特征空间划分。测试结果显示了所提检验方法能够很好地应对不同种类不同精度要求的字符产品生产, 有良好的自适应性。

参考文献:

- [1] 陈华彩, 李梅. 试论印刷品质量的内容及其实际意义[J]. 广东印刷, 2013(1): 7—10.
CHEN Hua-cai, LI Mei. Content of Print Quality and Its Practical Significance[J]. Guangdong Print, 2013(1): 7—10.
- [2] 王国庆. 浅谈印刷品质量在线检测技术[J]. 广东印刷, 2014(4): 54—55.
WANG Guo-qing. Content of Print Quality Online Detection Technology[J]. Guangdong Print, 2014(4): 54—55.
- [3] 李雪枚, 罗世永, 李绍国, 等. 喷墨印刷质量缺陷的产生原因和解决对策[J]. 包装工程, 2018, 39(1): 174—178.
LI Xue-mei, LUO Shi-yong, LI Shao-guo, et al. Causes and Solutions for Inkjet Printing Quality Defects[J]. Packaging Engineering, 2018, 39(1): 174—178.
- [4] 和红顺. 利用证据神经网络的多分类器系统构造[J]. 西安交通大学学报, 2018, 52(11): 97—103.
HE Hong-shun. Research and Application of Image Defect Recognition Algorithm Based on Dynamic Threshold and Storied Inspect[J]. Journal of Xi'an Jiaotong University, 2018, 52(11): 97—103.
- [5] 胡方尚, 郭慧. 基于改进多类支持向量机的印刷缺陷检测[J]. 华东理工大学学报(自然科学版), 2017, 43(1): 143—148.
HU Fang-shang, GUO Hui. Printing Defects Inspection Based on Improved Multi-Class Support Vector Machine[J]. Journal of East China of Science and Technology, 2017, 43(1): 143—148.
- [6] 徐敏, 唐万有, 马千里, 等. 基于 blob 算法的印刷缺陷在线检测的研究[J]. 包装工程, 2011, 32(9): 20—23.
XU Min, TANG Wan-you, MA Qian-li, et al. Research on Online Detection of Printing Defects Based on Blob Algorithm[J]. Packaging Engineering, 2011, 32(9): 20—23.
- [7] VERIKAS A, LUNDSTRÖM J, BACAUSKIENE M, et al. Advances in Computational Intelligence-Based Print Quality Assessment and Control in Offset Colour Printing[J]. Expert Systems with Applications, 2011, 38(10): 13441—13447.
- [8] 王兮之. 浅谈印刷质量视觉检测系统的设计与应用[J]. 大科技, 2013(15): 282—283.
WANG Xi-zhi. Content of the Design and Application of Printing Quality Visual Inspection System[J]. Super Science, 2013(15): 282—283.
- [9] 杨艺, 南建昌, 赵严, 等. 一种印刷品质量检测方法. CN106251341A[P]. 2016-07-22.
YANG Yi, NAN Jian-chang, ZHAO Yan, et al. A Print Quality Inspection Method, CN106251341A[P]. 2016-07-22.
- [10] 程小飞. 一种印刷品质量检测方法, CN105844621A [P]. 2016-03-17.
CHENG Xiao-fei. A Print Quality Inspection Method, CN105844621A[P]. 2016-03-17.
- [11] 李瑞娟, 楚高利, 邓倩, 等. 印刷品质量检测颜色转换模型研究[J]. 包装工程, 2015, 36(11): 145—148.
LI Rui-juan, CHU Gao-li, DENG Qian, et al. Research On Color Conversion Model of Print Quality Inspection[J]. Packaging Engineering, 2015, 36(11): 145—148.
- [12] ULRICH M, BAUMGARTNER A, STEGER C. Automatic Hierarchical Object Decomposition for Object Recognition, 2002, 14: 99—104.
- [13] ULRICH M, STEGER C. Hierarchical Model Construction for Hierarchical Component Based Object Recognition Involves Determining Relative Search Spaces of Object Portions, from Which Hierarchical Model Is Formed, for Utilization in Object Recognition Phase. EP1394727-A1; JP2004094954-A; US2004042661-A1; US7239929-B2; JP2009104666-A; JP4334301-B2; EP1394727-B1; JP2012212476-A; JP5329254-B2; JP5330579-B2[P].
- [14] 朱保平, 张张. 数据结构与算法分析[M]. 北京: 人民邮电出版社, 2016.
ZHU Bao-pin, ZHANG Zhang. Data Structure and Algorithm Analysis[M]. Beijing: People Post Press, 2016.
- [15] 范晓鹏. 人眼灰度感知建模及其在图像增强中的应用[J]. 计算机工程与应用, 2018, 54(13): 215—221.
FAN Xiao-peng. Human Eye Gray level Perception Modeling and Its Application in Image Enhancement[J]. Computer Engineering and Applications, 2018, 54(13): 215—221.
- [16] 刘海娟. 基于图像处理的印刷品缺陷检测技术研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2012.
LIU Hai-juan. Research on Print Defect Detection Technology Based on Image Processing[D]. Harbin: Harbin Institute of Technology, 2012.
- [17] 孙云. 图像腐蚀在 pcb 喷墨打印中的应用[J]. 电脑知识与技术, 2016, 12(4): 186—187.
SUN Yun. The Application of Image Corrosion in PCB Inkjet Printer[J]. Computer Knowledge and Technology, 2016, 12(4): 186—187.