

纸张印刷墨斑检测方法研究

黄英, 陈广学, 陈奇峰, 潘丹红
(华南理工大学, 广州 510640)

摘要: **目的** 基于扫描仪和STFI-Mottling Expert 斑纹测试软件, 提出一种使用改进型变异系数Mod CoV表征纸张印刷墨斑的新方法。 **方法** 纸张表面的印刷墨斑图像通过扫描仪获取, 再经过软件分析, 从数字图像处理的角度研究印刷斑纹; 实验选用新闻纸、双胶纸、铜版纸和喷墨纸等4种纸张, 分析不同波长范围和不同方向的印刷墨斑情况。 **结果** 使用改进型变异系数Mod CoV表征印刷墨斑, 其视觉判定的相关性比使用变异系数CoV表征印刷墨斑的传统方法更好, 在研究不同波长的墨斑水平和墨斑取向问题方面也表现出一定的优越性。 **结论** 该方法操作简单, 能更加客观地对印刷墨斑进行度量, 更加方便地解决印刷墨斑所引起的问题, 提高了印品质量。

关键词: 变异系数; 印刷墨斑; 纸张性能; 检测方法

中图分类号: TS801.41 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2015)21-0108-07

A New Method to Detect Print Mottle of Papers

HUANG Ying, CHEN Guang-xue, CHEN Qi-feng, PAN Dan-hong
(South China University of Technology, Guangzhou 510640, China)

ABSTRACT: Based on the scanner and STFI-Mottling Expert testing software, a new method using the COVM (modified coefficient of variation) to characterize the print mottle of papers was introduced. The print mottle image on paper surface was acquired through a scanner, and then studied from the perspective of digital image processing through software analysis. The experiment selected newspaper, offset paper, coated paper and inkjet paper to analyze print mottle in different wavelength ranges and different orientations. The method using the modified COVM proposed in this paper could effectively detect printing mottle. The correlation with visual judgment was better than that of traditional methods using the COVM to characterize the print mottle of papers. There were also some advantages in detecting the print mottle within different wavelength ranges and orientations of mottle. In conclusion, the new method is simpler and more objective as compared to the traditional method. It is more convenient to solve the problems caused by print mottle, and then improve the printing quality.

KEY WORDS: coefficient of variation; print mottle; paper's property; detection method

印刷墨斑是长期困扰造纸和印刷工业的技术难题。所谓印刷墨斑是指在一个色调均匀的印刷区域中产生的非预期的、变化的光反射, 呈模糊的云状、粒状或其他规则的图案^[1]。在ISO/IEC13660标准中, 更专业的定义^[2]是: 在印品所有方向上, 密度无周期波动

的空间频率小于0.4周期/mm。墨斑主要分为转印墨斑、水扰墨斑和湿粘印墨斑^[3], 导致墨斑产生的因素可能是油墨、纸张、印刷条件及其组合。

传统的印刷墨斑检测方法有很多, 主要分为主观和客观判定方法。郭丽娜等人^[4]认为, 背面剥离墨斑使

收稿日期: 2015-04-02

作者简介: 黄英(1990—), 女, 湖北咸宁人, 华南理工大学硕士生, 主攻印刷包装材料与印前图文处理。

通信作者: 陈广学(1963—), 男, 河南杞县人, 博士, 华南理工大教授、博导, 主要研究方向为数字印刷、3D打印、防伪技术、印刷包装新型功能性材料等。

用IGT测试法、VANDERCOOK印刷测试法、CRODA测试法检测,水干扰墨斑和湿粘印墨斑使用IGT测试法检测。陈春霞等人^[5]提出了基于德国PTS公司的DOMAS定量分析软件的灰度法、PTS法和光谱法,与主观评价方法进行相关性分析,预测光谱法和PTS法有望作为评价纸张转印墨斑的新方法。房光峻^[6]使用PIAS-II图像分析仪测定印刷墨斑。王倩等^[7-8]使用基于数字图像分析技术的印刷墨斑检测方法。Dube等^[9]和刘国栋^[10]等基于印刷墨斑图像灰度变化的评价模型及小波去噪,建立去噪后的印刷墨斑图像评价模型。由于主观判定方法测试比较繁琐、耗时,而且实施起来相当昂贵,又易受到观察者本身的知识背景、情绪及疲劳程度等因素的影响,使得在很多情况下进行主观测试不太现实。现有的一些仪器测试方法虽然准确,但是大多采用贵重的实验仪器,成本高,难以普及。因此,提出一种方便快捷有效的印刷墨斑检测方法非常必要。这里从数字图像处理的角度出发,提出了一种结合扫描仪和STFI-Mottling Expert斑纹测试软件,使用改进型变异系数COVM表征纸张印刷墨斑的新方法。

1 印刷墨斑模型

目前,印刷墨斑主要从主观方面进行评价,在不同的尺度下非均匀性感知不同,人所感知到的视觉信息(光谱频率)决定对照灵敏度,这就意味着预测印刷墨斑必须要考虑这个因素。人眼对照灵敏度是人眼观察刺激物刺激值变化的能力。

由空间频率的定义可知,最大波长16 mm的倒数就是最小频率0.0625周期/mm,而最短波长0.5 mm的倒数就是最大频率2周期/mm^[11]。提出的方法对于扫描分辨率和评估所用分区的尺寸,会限制可用的波长范围。使用150 dpi进行扫描,检测时所选用的分区尺寸为43.3 mm × 43.3 mm,所限定的波长范围是0.5~16 mm,这个范围对于墨斑的评估影响巨大。

Epson Perfection V700平板扫描仪带有一个反射率标准校准片,与样品一同进行扫描,这样可以将扫描仪所扫描到的灰度水平转换为反射率。斑纹测试软件利用快速傅里叶变换,将所获得的图像从时域变换到频域,基于一系列带通滤波器,计算图像灰度值的变异系数作为印刷墨斑指数。STFI-斑纹专家的工作流程见图1。

1.1 变异系数

印刷墨斑数学模型的传统方法是根据印刷墨斑

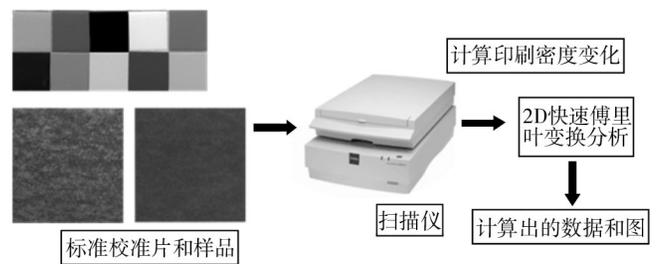


图1 STFI-斑纹专家工作流程

Fig.1 The work flow of STFI- Mottling Expert

的定义得到的,对于含有印刷墨斑的数字图像 $f(x,y)$,计算 $f(x,y)$ 灰度值的变异系数 C_{ov} (Coefficient of Variation, CoV),可以反映出印刷墨斑的不均匀性,变异系数越大,不均匀性越明显,具体方法如下所述。

将含有印刷墨斑的图像采集到计算机中变为数字图像,经采样后,根据数理统计的相关知识计算图像灰度值的平均值、标准差及灰度值的变异系数。为了便于计算,将原稿图像 $f(x,y)$ 离散成 $N \times N$ 大小的矩阵,其中, x,y 为印刷墨斑图像离散矩阵的横、纵坐标, $f(x,y)$ 为印刷墨斑图像离散矩阵的灰度值; N 为离散矩阵的大小。利用公式(1)计算^[12]该墨斑图像的变异系数。

$$C_{ov} = \frac{\sigma}{\bar{f}} \quad (1)$$

式中: \bar{f} , σ 分别为印刷墨斑图像离散矩阵灰度值的平均值和标准差; C_{ov} 为印刷墨斑图像离散矩阵灰度值的变异系数。

1.2 改进型变异系数

变异系数CoV存在很多不足之处,仅考虑了印品的光谱频率。基于此,改进型变异系数 C_{ovm} (Modified Coefficient of Variation, Mod CoV)是改进型的CoV,是标准偏差除以平均反射率的平方根,使用的是人眼对比灵敏度能够感知的波长范围。人眼所能分辨亮度差异的能力被称为对比度敏感度,而常说的亮度辨别阈值是指人眼辨别亮度差异所需的最小光亮度差^[13]。当空间频率不同时,对比度敏感度的响应也不同,对比度敏感度一般用对比度敏感度函数(Contrast Sensitivity Function, CSF)来描述,定义为入眼刚好能分辨差异时的调制度随空间频率的变化,与临界对比度(也称为视觉阈值)互为倒数^[14]。通过大量实验证明,CSF主要对中频敏感,对高频和低频并不是特别敏感,具有带通滤波器的一些性质。常用的CSF函数是由Mannos和Sakrison^[15]提出的,具体形式为:

$$A(f) = 2.6(0.192 + 0.114f) \exp(-(0.114f)^{1.1}) \quad (2)$$

式中: $f = \sqrt{f_x^2 + f_y^2}$, 为空间频率(周期/°); f_x , f_y 分别为水平、垂直方向的空间频率(周期/°)。根据式(2)画出的CSF函数特性曲线见图2。

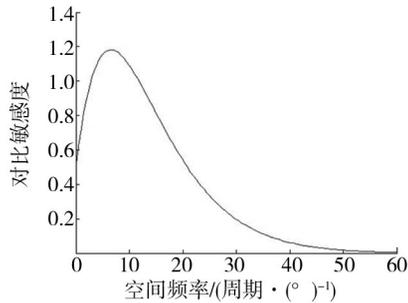


图2 CSF函数特性曲线

Fig.2 CSF characteristic curve

人眼对比灵敏度能够感知的波长范围为0.25~16 mm,不是直接使用平均反射率来分割反射的标准偏离值,而是用平均反射值的开方值来分割印品反射的标准偏离值。

$$C_{\text{ovm}} = \frac{\sigma_f}{\sqrt{R}} \quad (3)$$

式中: σ_f 为印刷墨斑图像离散矩阵灰度值的标准差; R 为印品的平均反射率; C_{ovm} 为改进的变异系数。

考虑对比敏感度对印刷墨斑评价的影响,使用参数改进型变异系数 C_{ovm} 表征印刷墨斑是一种改进过的评估墨斑方法,尤其是在评估样品之间平均反射率的水平差异时,不同于使用1~8 mm范围内的变化量,是采用将一个权函数补偿到人类视觉系统的工作方式。

2 实验过程与结果

2.1 实验过程

2.1.1 实验材料和仪器

实验材料:准备实验室常用喷墨纸、新闻纸、铜版纸、双胶纸各30张。使用L&W白度仪、Novo-Gloss TM光泽度仪、L&W CE165纸张表面粗糙度测定仪、残余油墨测定仪等仪器测试纸张的性能,结果见表1。

仪器:STFI-斑纹专家软件,Epson Perfection V700 平板扫描仪,IGT印刷适性仪(IGT2),墨斑测试油墨/

表1 4种纸的性能

Tab.1 The properties of four types of paper

纸张类型	定量/(g·m ⁻²)	粗糙度/μm	不透明度/%	光泽	白度(ISO)/%	匀度
新闻纸	47	5.05	94.56	3.95	57.47	110.63
双胶纸	68	4.34	92.54	3.85	99.79	72.15
喷墨纸	137	2.91	99.34	2.58	90.58	67.75
铜版纸	157	0.86	99.12	27.83	90.59	37.75

404.800.010。

2.1.2 实验步骤

1) 将4种纸张裁切成55 mm × 340 mm大小,并保证纸样上无皱褶裂纹等纸病。

2) 将裁剪好的纸张、油墨和设备,在标准大气压环境中放置6 h以上,印刷环境温度为(25 ± 1)℃,相对湿度RH为(50 ± 1)%,用IGT印刷适性仪印刷。其中,印刷压力为500 N(预设值),印刷速度为0.2 m/s(预设值),匀墨时间为10 s,上墨时间为5 s,印刷与转印的间隔时间为10 s(预设值),油墨层厚度为8 μm (0.35 cm³)。

3) 对于首次印刷好的样张,每隔10 s后,更换1个干净的印刷盘进行印刷,共剥离4次。印刷完成之后,取样5 cm × 5 cm大小的区域(主要是因为评价墨斑时一般选取在5 cm左右就行)。

4) 利用扫描仪将图像转化为数字图像,为得到最

佳效果,图像类型选取16位灰度,分辨率选择150 dpi。

5) 使用基于数字图像处理技术的STFI-斑纹专家软件检测印刷墨斑情况,选择43.3 mm × 43.3 mm大小的区域,每个样张测试3次后取平均值。

6) 进行主观评价,选定20位视力正常的印刷工程专业背景的观察者在同一条件下进行评价,分1~3个等级。

7) 对实验数据进行分析。

2.2 结果与讨论

2.2.1 不同墨斑参数与视觉观察表现的相关性

选定印刷工程专业20人进行评价,所有的观测者都具有正常视力,且在评价前对所有观察者如何评价印刷墨斑进行培训。试验评价印刷墨斑的条件为:在标准光源的照射下,观测距离为30 cm。评价等级限制在0~3。为了确保结果的可靠性,从120张

试样中选取30张印刷完成的试样进行评价。得到的视觉结果 $V=[2.4 \ 2.32 \ 2.1 \ 2.18 \ 2.5 \ 2.56 \ 2.8 \ 2.86 \ 1.25 \ 1.41 \ 1.04 \ 2.63 \ 1.16 \ 1.05 \ 2.51 \ 2.4 \ 2.8 \ 2.73 \ 2.75 \ 2.61 \ 2.92 \ 2.95 \ 1.55 \ 1.35 \ 1.81 \ 1.75 \ 0.91 \ 0.91 \ 1.03 \ 1.08]$ 。

不同墨斑参数与视觉观察表现的相关性见图3。

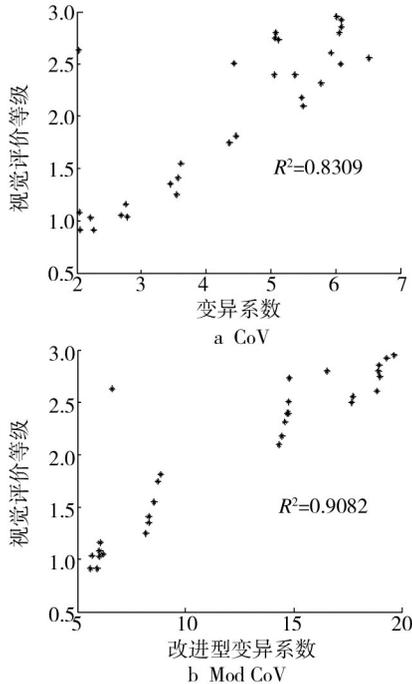


图3 不同墨斑参数与视觉评价的相关性

Fig.3 The correlation between different print mottle parameters and visual evaluation

由图3可知,采用传统方法建立墨斑评价模型,使用参数变异系数表征印刷墨斑时,相关系数为0.8309;采用改进型方法建立墨斑评价模型,使用参数改进型变异系数表征印刷墨斑时,相关系数为0.9082。因此,考虑对比敏感度对印刷墨斑评价的影响,使用参数改进型变异系数 Mod CoV 表征印刷墨斑是一种更好的方法。

2.2.2 纸张印刷墨斑分析

将传统墨斑模型和改进型墨斑模型分别应用于实验所用的新闻纸、双胶纸、喷墨纸和铜版纸中,得到的分析结果见表2。

由表2可知,在1~8 mm 波长范围内,4种纸的变异系数由大到小依次是双胶纸、新闻纸、喷墨纸和铜版纸。变异系数越小,也就是墨斑数值越小,视觉感知到的墨斑越少;反之,变异系数越大,也就是墨斑数值越大,视觉感知到的墨斑越多。4种纸的改进型变异系数由大到小依次是双胶纸、新闻纸、喷墨纸和铜版纸。2种方法所得的结果是非常吻合的。评估样品之

表2 不同纸张印刷墨斑情况

Tab.2 The print mottle values of four types of paper

纸张类型	1~8 mm 变异系数	1~8 mm 改进型变异系数	2~4 mm 对比敏感度
新闻纸	5.25	14.95	1.16
双胶纸	6.21	18.91	1.38
喷墨纸	3.55	8.25	0.86
铜版纸	2.14	5.88	0.45

间平均反射率的水平有差异,使用权函数补偿到人类视觉系统,由于2~4 mm 范围的变化量在其中占有很大的权重,在较短和较长波长范围的变化量所占的权重比较低,因此,重点研究2~4 mm 波长范围内人眼对4种纸印刷墨斑的对比敏感度,由大到小依次是双胶纸、新闻纸、喷墨纸和铜版纸。双胶纸墨斑情况最严重,视觉感知到的墨斑最多,人眼对此敏感度最高。铜版纸墨斑情况最不严重,视觉感知到的墨斑最少,人眼对此敏感度最低。在相同印刷条件下,其主要原因是由于纸张本身的性能差异,包括纸张的微细结构、孔隙大小、细小纤维分布、表面粗糙度及涂布纸涂层特性等。

2.2.3 不同波长印刷墨斑水平

扫描的分辨率和评估所用分区的尺寸会限制可用的波长范围。使用150 dpi 进行扫描,评估时所选用的分区尺寸为43.3 mm × 43.3 mm,使所限定的波长范围是0.5~16 mm,当波长小于0.5 mm 时,这段波长的可取性变小,因为人眼基本上不能观测到这么微小的变化;反之,波长大于16 mm 时的使用价值则比较大。但是,通常用于视觉预测的印刷区域是大约5 mm 大小的颗粒,而且波长大于快速傅里叶变换中规定的波长时不易于求方根,因此,在模型中波长的取值为0.5~16 mm^[6],其对于印刷墨斑的评估影响巨大。结果表明,4种纸的印刷墨斑情况与对比敏感度权函数所运用的波长范围有关,见图4。在0.5~1, 1~2 和2~4 mm 波长范围内,4种纸的印刷墨斑严重程度依次是双胶纸、新闻纸、喷墨纸、铜版纸;在4~8 mm 和8~16 mm 波长范围内,4种纸的印刷墨斑严重程度依次是新闻纸、双胶纸、喷墨纸、铜版纸。且随着波长的增大,其变异系数 C_{ov} 和改进型变异系数 C_{ovM} 呈现下降趋势,最后基本趋于稳定。这是因为印刷墨斑在不同频段对比敏感度略有不同,在正常臂长视觉距离内,人眼对不同波长范围内的尺度特征敏感度不同,超出一定的范围就无法感知。另外,同种纸在不同波长范围内的改进型变异系数墨斑模型比变异系数墨斑模型在

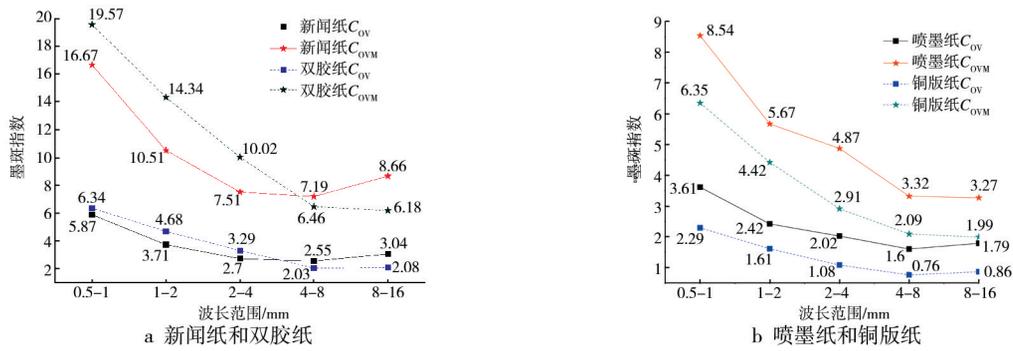


图4 不同波长的墨斑情况

Fig.4 The print mottle of four types of paper within different wavelength ranges

数值上差异较大,更能体现这种规律。

2.2.4 印刷墨斑取向

一般认为纸张及印刷表面是漫反射源,向全方向反射光线,与入射角度无关^[7]。纸张表面细小的起伏,皱纹、裂痕及其他表面特性,都会明显影响光的反射,表现出变化的反射率,这使得在不同方向上感知到的印刷墨斑不一样。计算墨斑的不同取向,用来判断是否同个样品在某些方向具有较高的墨斑数值。实验选取90°、45°,0°和-45°等4个方向研究印刷墨斑的取向,得到的分析结果见表3。

由表3可知,同种纸在同一波长范围内的相同方向上,C_{OV}值总是小于C_{OVM}值。对于双胶纸、喷墨纸和铜版纸的印刷墨斑,C_{OVM}值在4个方向上的变化都是随着波长的增大先减小后趋于稳定,在0.5~4 mm波长范围内,各个方向上的C_{OVM}值几乎没有太大差别;在4~6 mm波长范围内,各个方向上的C_{OVM}值出现了明显差异。对于新闻纸的印刷墨斑,C_{OV}值在90°方向的变化是随着波长的增大先增大、后趋于稳定,C_{OVM}值在90°方向的变化是随着波长的增大先减小、后增大、再趋于稳定,出现这种情况主要是因为墨斑发生程度

表3 斑纹取向

Tab.3 The orientation of mottle of four types of paper

纸张类型	波长范围/mm	C _{OV}				C _{OVM}			
		90°	45°	0°	-45°	90°	45°	0°	-45°
新闻纸	0.5~1.0	0.14	0.13	0.12	0.12	9.16	8.19	7.81	8.17
	1~2	0.41	0.31	0.31	0.29	6.23	4.86	4.90	4.68
	2~4	0.92	0.47	0.42	0.44	5.56	3.12	2.81	3.06
	4~8	1.33	0.51	0.25	0.50	6.87	2.33	1.49	2.63
	8~16	1.24	0.48	0.28	0.38	7.49	3.24	1.48	2.05
双胶纸	0.5~1.0	3.16	3.13	3.34	3.07	9.70	9.69	10.34	9.50
	1~2	2.45	2.32	2.38	2.25	7.45	7.04	7.24	7.06
	2~4	1.74	1.57	1.57	1.63	5.29	4.60	5.01	4.92
	4~8	1.28	0.92	0.95	0.87	4.20	3.15	2.86	2.72
	8~16	1.52	0.96	1.03	0.67	3.90	3.18	2.74	2.08
喷墨纸	0.5~1.0	0.08	0.07	0.07	0.07	4.47	4.15	4.19	4.27
	1~2	0.25	0.22	0.23	0.22	2.94	2.83	2.82	2.78
	2~4	0.46	0.42	0.45	0.41	2.59	2.34	2.57	2.29
	4~8	0.53	0.36	0.63	0.29	2.01	1.33	2.04	1.24
	8~16	0.53	0.29	0.57	0.29	2.12	1.05	1.95	1.25
铜版纸	0.5~1.0	0.05	0.05	0.05	0.05	3.35	3.12	3.09	3.14
	1~2	0.16	0.15	0.14	0.14	2.34	2.12	2.20	2.14
	2~4	0.23	0.2	0.26	0.21	1.55	1.26	1.59	1.34
	4~8	0.23	0.18	0.27	0.17	1.06	0.93	1.41	0.83
	8~16	0.20	0.13	0.31	0.21	1.13	0.72	1.04	1.27

的高低在一定程度上取决于纸张的均匀性,新闻纸的匀度最差,纸张表面抗拒流体渗透的性能差,导致各个方向上出现的印刷墨斑情况不一致, C_{ovm} 值更能反映这种不规律性。铜版纸在同一波长范围内、不同方向上使用2种方法反映出的墨斑情况比较稳定,主要是因为铜版纸匀度较好。

3 结语

从数字图像处理的角度研究新闻纸、双胶纸、铜版纸和喷墨纸等不同类型的纸张的印刷墨斑情况,比较传统的以变异系数 C_{ov} 为表征参数的STFI印刷墨斑模型和以改进型变异系数 C_{ovm} 为表征参数的印刷墨斑模型,分别与视觉判定进行相关性分析, C_{ov} 与视觉评价的相关系数是0.8309, C_{ovm} 与视觉评价的相关系数是0.9082,表明改进型变异系数与视觉评价的相关性更好。在环境及印刷条件等均相同的情况下,纸张性能影响到印刷墨斑。在人眼能感知到的波长范围内,4种纸的印刷墨斑严重程度由大到小依次是双胶纸、新闻纸、喷墨纸、铜版纸。同种纸在同一波长范围内的相同方向上, C_{ov} 值总是小于 C_{ovm} 值,采用 C_{ovm} 值更能反映相互之间的差异性。在研究印刷墨斑取向情况时,同种纸在0.5~16 mm的不同波长和 90° 、 45° 、 0° 和 -45° 的不同取向下,印刷墨斑水平也有差异, C_{ovm} 值更能反映出这种不同方向上墨斑的差异性。在实际生产过程中,该方法操作简单,能更加客观地对印刷墨斑进行度量,更加方便地解决印刷墨斑所引起的问题,提高了印品质量。

参考文献:

- [1] 李为昌. 墨斑产生原因及确定方法[J]. 印刷技术, 2006, 2(6): 23—24.
LI Wei-chang. The Cause of The Mottle and The Determined Method[J]. Printing Technology, 2006, 2(6): 23—24.
- [2] ISO/CIE 13660. Information Technology—Office Equipment—Measurement of Image Quality Attributes for Hardcopy Output—Binary Monochrome Text and Graphic Images[S]. 2001.
- [3] SANDREUTER, PLOWMAN N. Predicting Print Mottle a Method of Differentiating between Three Types of Mottle [J]. Tappi Journal, 1994, 77(7): 173—187.
- [4] 郭丽娜, 陈蕴智. 印刷墨斑的类型及测定方法[J]. 印刷杂志, 2009, 23(4): 47—49.
GUO Li-na, CHEN Yun-zhi. The Type and Method of Print Mottle[J]. Printing Field, 2009, 23(4): 47—49.
- [5] 陈春霞, 徐梅英, 邓健信, 等. 纸张转印墨斑检测方法初探[J]. 中国造纸, 2011, 30(4): 11—17.
CHEN Chun-xia, XU Mei-ying, DENG Jian-xin, et al. Studies on Measurement of Mottle[J]. China Pulp & Paper, 2011, 30(4): 11—17.
- [6] 房光峻. 高速喷墨纸张涂层的研制及性能研究[D]. 广州: 华南理工大学, 2013.
FANG Guang-jun. Preparation of High Speed Inkjet Paper Coating Layer and Study on Its Properties[D]. Guangzhou: South China University of Technology, 2013.
- [7] 王倩, 徐勇建. 基于数字图像分析技术的印刷墨斑与纸张匀度检测方法的研究[D]. 西安: 陕西科技大学, 2014.
WANG Qian, XU Yong-jian. Research on Detecting Method for Print Mottle and Paper Formation Using Digital Image Analysis Technology[D]. Xi'an: Shaanxi University of Science and Technology, 2014.
- [8] 刘国栋, 张美云, 梁巧萍. 基于离散小波分析的印刷墨斑评价方法研究[C]// 2012第二届中国印刷与包装学术会议论文摘要集. 北京: 中国社会科学出版社, 2012.
LIU Guo-dong, ZHANG Mei-yun, LIANG Qiao-ping. Study on the Assessment Method of Print Mottle Using Discrete Wavelet Analysis[C]// 2012 The Second China Academic Conference on Printing and Packaging. Beijing: China Social Sciences Press, 2012.
- [9] DUB M, MAIRESSE F, BOISVERT J P, et al. Wavelet Analysis of Print Mottle [EB/OL]. (2007-12-20) [2014-08-17]. <http://www.uqtr.ca/~dubma/double.pdf>.
- [10] 刘国栋, 陈艳, 陈永常. 图像噪声对印刷墨斑评价的影响[J]. 包装工程, 2014, 35(11): 105—108.
LIU Guo-dong, CHEN Yan, CHEN Yong-chang. Effect of Image Noise on Evaluation of Print Mottle[J]. Packaging Engineering, 2014, 35(11): 105—108.
- [11] 姜燕. 印刷墨斑预测模型的分析与研究[D]. 无锡: 江南大学, 2008.
JIANG Yan. Analysis and Investigation of Print Mottle[D]. Wuxi: Jiangnan University, 2008.
- [12] 许录平. 数字图像处理学习指导[M]. 北京: 科学出版社, 2009.
XU Lu-ping. Digital Image Processing Study Guide[M]. Beijing: Science Press, 2009.
- [13] 栾孟杰. 基于人眼视觉和低频提升滤波的乳腺图像增强方法[J]. 渤海大学学报: 自然科学版, 2013, 34(3): 310—314.
LUAN Meng-jie. Mammogram Image Enhancement Method Based on Human Visual and High-frequency Emphasis Filtering[J]. Journal of Bohai University: Natural Science Edition, 2013, 34(3): 310—314.
- [14] GORLEY P, HOLLMAN N. Stereoscopic Image Quality Metrics and Compression[J]. The International Society for Optical Engineering, 2008, 68(3): 51—62.
- [15] MANNOS J L, SAKRISON D J. The Effects of a Visual Fidelity Criterion on the Encoding of Images[J]. IEEE Transactions

- on Information Theory, 1974, 20(4): 525—536.
- [16] JOHANSSON P A. Print Mottle Evaluation by Band-pass Image Analysis[J]. Advances in Printing Science and Technology, 1993(22): 403—411.
- [17] 孟湛樟梁. 实地印刷中斑纹的定义指数以及其试验方法[EB/OL]. (2011-09-05) [2015-4-8]. http://blog.sina.com.cn/s/blog_88c0ea440100ta8d.html.
- MENG Zhan-zhang-liang. The Define Index and Its Test Methods of Mottle in Field Printing [EB/OL]. (2011-09-05) [2015-4-8]. http://blog.sina.com.cn/s/blog_88c0ea440100ta8d.html.

(上接第 107 页)

- and Machine Intelligence, 2005, 27(10): 1615—1630.
- [8] 何利英, 李智勇, 刘伟灵, 等. 基于 SIFT 特征点的抗几何失真数字水印算法[J]. 计算机工程与应用, 2007, 43(13): 58—60.
- HE Li-ying, LI Zhi-yong, LIU Wei-ling, et al. Watermarking Algorithm Robust to Geometric Distortion Based on SIFT Feature Points[J]. Computer Engineering and Applications, 2007, 43(13): 58—60.
- [9] 孙劲光, 何巍, 杨忠旭. 基于 SIFT 和伪 Zernike 矩归一化的抗几何攻击水印[J]. 计算机工程与应用, 2009, 45(36): 154—157.
- SUN Jin-guang, HE Wei, YANG Zhong-xu. Anti-geometric Attacks Image Watermarking Scheme Based on SIFT and Normalization of Pseudo-Zernike Moment[J]. Computer Engineering and Applications, 2009, 45(36): 154—157.
- [10] 陈宁, 黄璐, 马会杰, 等. 基于 SIFT 特征点匹配校正的抗几何攻击水印算法[J]. 电路与系统学报, 2013(2): 158—165.
- CHEN Ning, HUANG Lu, MA Hui-jie, et al. An Anti-geometric Attack Watermarking Algorithm Based on SIFT Feature Point Matching Correction[J]. Journal of Circuits and Systems, 2013(2): 158—165.
- [11] CHEN B, WORNELL G W. Dither Modulation: A New Approach to Digital Watermarking and Information Embedding [A]. Proc. of SPIE: Security and Watermarking of Multimedia Contents[C]// 1999, 3657: 342—353.
- [12] 张雷洪, 唐波, 李碧程, 等. 基于 DWT-SVD 的强鲁棒全息水印算法研究[J]. 包装工程, 2013, 34(21): 105—109.
- ZHANG Lei-hong, TANG Bo, LI Bi-cheng, et al. Strong Robustness Holographic Watermarking Algorithm Based on DWT-SVD[J]. Packaging Engineering, 2013, 34(21): 105—109.
- [13] 熊顺清, 王玉红, 周卫红. 一种基于尺度不变特征变换 SIFT 的图像水印算法[J]. 云南民族大学学报: 自然科学版, 2012, 21(5): 361—364.
- XIONG Shun-qing, WANG Yu-hong, ZHOU Wei-hong. A New Anti-geometric Attack Digital Watermarking Algorithm Based on SIFT Transform[J]. Journal of Yunnan University of Nationalities: Natural Sciences Edition, 2012, 21(5): 361—364.
- [14] PEREIRA A, PUN T. Robust Template Matching for Affine Resistant Image Watermarks[J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2000, 9(6): 1123—1129.
- [15] 王向阳, 朱丹丹, 杨红颖. 基于图像归一化的 Contourlet 域数字水印方案[J]. 小型微型计算机系统, 2009, 30(11): 2272—2276.
- WANG Xiang-yang, ZHU Dan-dan, YANG Hong-ying. Image Normalization Based Robust Digital Watermarking Scheme in Contourlet Domain[J]. Journal of Chinese Computer Systems, 2009, 30(11): 2272—2276.