

基于小波细节能量的印刷墨斑评价方法及应用

郭凌华, 张欣亚, 刘国栋, 刘明磊, 方湖
(陕西科技大学, 西安 710021)

摘要: **目的** 针对印刷墨斑的评价和测量, 构建基于小波细节能量的印刷墨斑评价方法及模型。**方法** 以铜版纸印刷品的印刷墨斑为例, 利用图像小波去噪后的细节能量求和作为印刷墨斑的评价指标, 与人眼视觉评价体系做相关性分析, 对比两者的评价结果。**结果** 构建的小波细节能量墨斑模型比传统 COV 模型具有较高的精确度。传统模型的相关系数为 0.2009, 经小波细节能量处理后的相关系数最小为 0.5256, 相关系数得到明显提高。**结论** 小波细节能量模型能够作为一种有效的方法代替人眼视觉进行印刷墨斑的评价与分析。

关键词: 印刷墨斑; 小波细节能量; 相关系数

中图分类号: TS801.8 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2017)05-0190-04

Evaluation Method and Application of Printing Mottle Based on Wavelet Detail Energy

GUO Ling-hua, ZHANG Xin-ya, LIU Guo-dong, LIU Ming-lei, FANG Hu
(Shaanxi University of Science & Technology, Xi'an 710021, China)

ABSTRACT: The work aims to establish the evaluation method and model of printing mottle based on wavelet detail energy regarding the evaluation and measurement of printing mottle. Taking the printing mottle of copperplate paper for example, the sum of detail energy of denoised image wavelet was used as the evaluation indicator of printing mottle and the correlation analysis was made with the human visual system. Then the evaluation results of the both were compared. The established mottle model of wavelet detail energy was more accurate than the traditional COV model. The correlation coefficient of the traditional model was 0.2009. The minimum correlation coefficient was 0.5256 and it was significantly improved after wavelet detail energy treatment. Taken together, wavelet detail energy model can be used as an effective method for the evaluation and analysis of printing mottle instead of human vision.

KEY WORDS: printing mottle; wavelet detail energy; correlation coefficient

墨斑是影响印品质量的重要因素之一, 实际生产中由于印刷机高速运行而难以解决, 一直困扰着印刷企业。印刷墨斑是指在印品表面的实地区域, 由于油墨分布不均而产生颜色深浅不同的斑点或条纹^[1]。墨斑的形成受很多因素的影响, 不仅与印刷方式, 油墨种类有关, 也与纸张的结构有一定的关系, 而且产生具有一定的随机性。在实际中的检测主要是根据人眼和抽查^[2], 并不能做到逐张检查, 高效的墨斑检测方法备受关注。

随着计算机技术和传统行业的融合, 出现了各种墨斑评价模型。最早的模型是依据 ISO 印刷墨斑算法^[3]构建墨斑的评价模型, 它是依据墨斑的定义, 计算标准差, 实验表明此方法的精度低, 但对研究墨斑具有指导意义。在 ISO 算法的基础上, 研究得到了图像的 COV 带通分析法^[4], 这种方法考虑了图像带通滤波变异系数, 利用傅里叶变换将图像从时域转变为频域^[5], 进而解决时域问题, 具有重要意义。小波理论是一种时频分析方法, 具有多分辨功能, 近年来, 在图像处

收稿日期: 2016-09-09

基金项目: 国家自然科学基金(51402180); 陕西省协同创新计划(2015XT-64); 陕西省工业科技攻关项目(2016GY-017, 2016GY-079); 宝鸡市科技计划(16KJHZI-2)

作者简介: 郭凌华(1970—), 女, 博士, 陕西科技大学教授, 主要研究方向为防伪印刷及颜色科学。

理和信号传递领域^[6]应用广泛。其中小波细节能量是基于小波理论对图像细节所含的能量进行计算。文中考虑细节能量对墨斑的影响,利用图像小波去噪后的细节能量求和作为印刷墨斑的评价指标,构建新的墨斑评价模型,实现更好的墨斑检测。

1 灰度值变异系数模型及小波细节评价模型

1.1 灰度值变异系数模型

墨斑的表示有很多方式,灰度值变异系数表征法^[3]是最基本的表达。对于含有墨斑的印刷图像来说,图像所含墨斑的程度可以用灰度值的变化系数来表示,即灰度变异系数(COV)。传统的 COV 模型是根据墨斑的定义得来的,对一幅图像来说,灰度值的变异系数越大,图像越不均匀,所含的墨斑越多。

通过计算图像灰度值的平均值和标准差求得灰度值的变异系数,即墨斑指数。具体是将图像离散为 $L \times L$ 大小的矩阵,求出其平均值和标准差,根据式(1)~(3)^[7]计算图像的灰度值变异系数。

$$M_a = \frac{1}{L} \sum_{x,y} M(x,y) \quad (1)$$

$$\sigma_M = \sqrt{\frac{1}{L^2} \sum_{x,y} (I(x,y) - \langle I \rangle)^2} \quad (2)$$

$$\sigma_{COV} = \frac{\sigma_M}{M_a} \quad (3)$$

式中: x, y 为图像离散矩阵的横坐标和纵坐标; $M(x, y)$ 为平滑图像离散后矩阵的灰度值; $L \times L$ 为离散矩阵的大小; M_a 为图像的平均灰度值; σ_M 为图像灰度值的标准差; σ_{COV} 为图像灰度值的变异系数。此模型在实际评价中与人眼视觉的相关性较低,考虑图像细节的影响,小波细节能量主要是通过小波离散对图像进行分解,对图像的细节信息进行求和,以此增大与人眼视觉的相关性。

1.2 小波细节评价模型

对含有墨斑的数字图像进行小波离散分解^[8-9],分解见式(4),可以得到高频和低频部分,高频部分代表了印刷墨斑图像的细节信息,低频部分忽略不计,对图像进行多级分解,每一个分解级数上都可以获得水平、垂直和对角 3 种类型的细节信息^[10]。

$$Q_i(j; k, l) = \frac{1}{2^j} \sum_{m=0}^{M-1} \sum_{n=0}^{N-1} \left[f(x,y) \psi\left(\frac{x-k2^j}{2^j}, \frac{y-l2^j}{2^j}\right) \right] \Delta x \Delta y \quad (4)$$

式中: j 为分解级数; k 和 l 为位置信息; $\psi(x, y)$ 为小波函数; $f(x, y)$ 为印刷墨斑图像。对灰度图像 M , 所有特定方向的小波细节能量的总和可以表示墨斑灰度值变异系数,文中利用图像去噪^[11-12]后小波细节能量求和对图像进行处理,并构建印刷墨斑评价模

型。采用不同的小波基对图像进行不同级数的分解^[13],提取小波基函数处理下高频部分的数值^[14],得到不同的高频细节系数。利用式(5)对提取的系数进行求和,为墨斑灰度值变异系数。

$$E_M = E_{hM} + E_{vM} + E_{dM} \quad (5)$$

$$E_{hM} = \sum_{i,j} (d_{i,j}^h)^2 \quad (6)$$

式中: E_{hM}, E_{vM}, E_{dM} 为图像 M 在水平方向、垂直方向和对角方向的细节矩阵的平方和。式(6)表示水平方向细节信息的计算,式中 $d_{i,j}^h$ 为图像水平方向的位置信息。在模型中,利用不同的小波基函数对图像进行 1 级、3 级、5 级、7 级分解,对应波长为 0.2, 0.8, 3.2, 12.8 mm。通过不同级数的分解,得到相应的墨斑指数。

2 印刷墨斑实验

常见的印刷墨斑主要是背面剥离墨斑、水干扰墨斑和湿粘印墨斑。在实验条件下以背面剥离墨斑为主,将实验所需物品放在特定实验环境下预处理 10 h,与环境达到平衡。实验仪器: IGT 印刷适性仪, 扫描仪。实验条件: 温度为 $(22 \pm 1)^\circ\text{C}$, 相对湿度为 $(55 \pm 2)\%$, 恒温恒湿, 印刷压力为 300 N, 印刷速度为 0.2 m/s。实验样张: 铜版纸, 80 mm×250 mm, 样张数为 100 张。实验步骤: 在铜版纸样张上印刷油墨; 印刷完后, 使用另一只干净的橡皮布辊筒以同样方式再次印刷, 用干净的辊筒印刷一次, 样张上的油墨就会部分转移到印刷盘上, 完成 1 次剥离。运用同样方式剥离 4 次; 将印刷好的样张进行干燥, 并随机选择 70 张作为测试样张。

3 视觉评价体系

视觉评价体系采用在国际上流行的 3 分评价系统。评价的方法为: 假设评价的样本总数为 N , 对 N 个样品在标准条件下进行打分, 选出人眼视觉观测下最好和最差的样品。将最好样品的视觉值定为 1, 见图 1a, 最差的为 3, 见图 1b。接下来对所有的样品

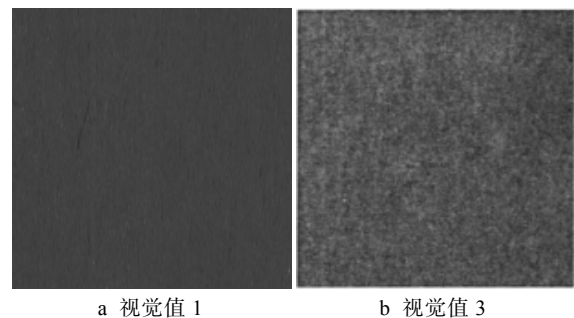


图 1 样品视觉值
Fig.1 Sample

进行评价,视觉值范围在1和3之间。将印刷得到的墨斑图像裁成一定尺寸,利用扫描仪转化为数字图像,图像以6 cm×6 cm大小在计算机上显示。为了使评价结果更加准确,选若干人进行评价,将评价结果平均后即为该图像的视觉值。评价者需对色彩有一定的了解,评价条件包括对比度、亮度、正常视距(300 mm)的范围。

70张墨斑图像最终的视觉变化值为: $V=[1.62$
2.59 2.57 1.42 2.69 2.28 2.39 2.79 1.93 2.29 3.00 2.86
2.12 2.98 2.85 3.00 1.36 2.21 2.65 2.02 1.10 2.46 2.23
2.97 1.97 1.67 2.65 1.89 2.89 2.25 2.03 2.96 1.00 2.36
1.39 2.69 2.59 2.79 3.00 2.75 2.36 2.49 2.56 2.46 2.87
1.98 2.98 1.32 1.79 1.00 2.86 2.03 2.61 1.67 1.16 1.36
1.27 1.29 1.97 2.63 2.91 1.23 1.16 1.69 2.52 1.63 1.03
1.59 2.46 2.62]。

4 相关性分析

相关性分析是指当2个因素之间存在某种联系时,对2个或多个具备相关性的变量元素进行分析,从而衡量2个变量因素的相关密切程度。相关系数是指2个变量之间的线性关系,相关系数大表示两者可以互相替代。为了检验墨斑模型的准确性,将建立好的模型与人眼视觉做相关性分析^[15],见式(7)。

$$R_{XY} = \frac{\sum_{i=1}^N (X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y})}{(n-1)S_X S_Y} \quad (7)$$

式中: X_i , Y_i 分别为色彩均匀性的视觉和模型评价; S_X , S_Y 分别为色彩均匀性视觉评价和模型评价的标准差; $\bar{X}$, $\bar{Y}$ 为色彩均匀性视觉评价和模型评价的均值; R_{XY} 为相关性指数。

利用墨斑的COV模型及小波细节能量评价模型对印刷墨斑评价,并根据相关性分析公式与视觉评价结果做相关性分析,结果见图3—4,具体数值见表1。

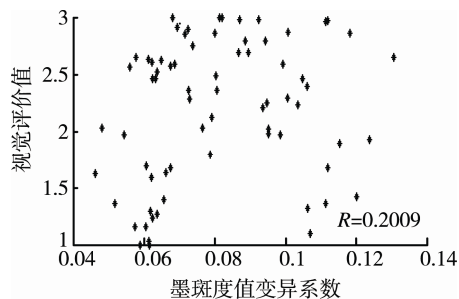


图2 传统COV模型的相关系数

Fig.2 Correlation coefficient of traditional COV model

在图2中,点的离散性较大,所得的相关系数较小。图3是图像经过不同级分解后,得到的相关系数,从表1可以看到,经过小波细节能量处理后,得到的相关系数均大于传统COV模型的相关系数,相关系数有了明显地提高,并且在5级分解时相关系数最大,

为最优分解级数,与人眼视觉具有很好的一致性。

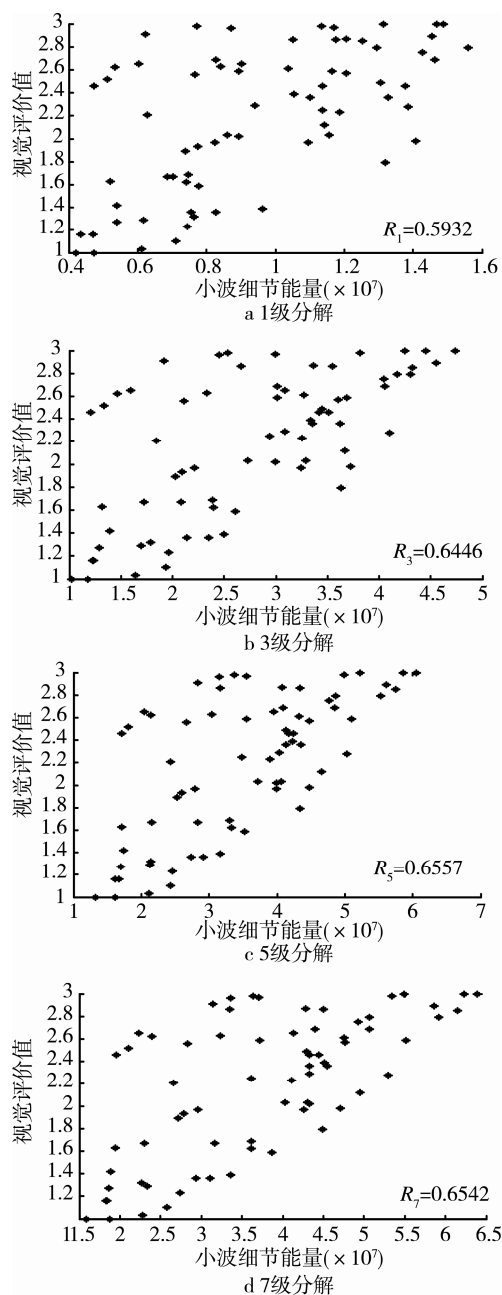


图3 小波细节能量模型不同级数分解的相关系数

Fig.3 Correlation coefficients of different series decomposition of wavelet detail energy model

表1 铜版纸在2种小波基下不同级数分解的相关系数
Tab.1 The correlation coefficient of copperplate paper in different decomposition series of two wavelets

小波基函数	1级	3级	5级	7级	传统cov模型
Haar	0.5932	0.6446	0.6557	0.6542	0.2009
sym4	0.5256	0.6402	0.6590	0.6576	

5 结语

针对墨斑的评价,通过对图像进行离散分解和能量求和,构建了小波细节能量的印刷墨斑评价模型。

利用铜版纸验证模型的准确性, 并与人眼视觉变化做相关性分析, 从结果中可以得到, 小波细节能量评价模型的相关系数比传统的灰度值变异系数模型高, 与人眼视觉评价有较好的相关性, 能够作为一种有效的方法代替人眼视觉来评价墨斑。

参考文献:

- [1] 刘春林, 臧冬娟, 张逸新, 等. 印刷墨斑成因分析与控制[J]. 上海造纸, 2007, 13(1): 19—22.
LIU Chun-lin, ZANG Dong-juan, ZHANG Yi-xin, et al. The Cause of Print Mottle and the Method of Prevention[J]. Shanghai of Pulp and Paper, 2007, 13(1): 19—22.
- [2] 张二虎, 张倩. 彩色印刷品缺陷在线检测方法的研究与探讨[J]. 包装工程, 2007, 28(4): 48—49.
ZHANG Er-hu, ZHANG Qian. Research and Discussion of On-line Defect Detection Methods for Color Printing[J]. Packaging Engineering, 2007, 28(4): 48—49.
- [3] 姜燕, 张逸新. 印刷墨斑计算模型及其分析[J]. 包装工程, 2008, 18(8): 38—40.
JIANG Yan, ZHANG Yi-xin. Print Mottle Evaluation Models and Its Analysis[J]. Packaging Engineering, 2008, 18(8): 38—40.
- [4] JORDAN B D, NGUYEN N G. Specific Perimeter-A Graininess Parameter for Formation and Print Mottle Textures[J]. Paperi Japuu, 1986, 6(7): 476—482.
- [5] 姚敏. 数字图像处理[M]. 北京: 机械工业出版社, 2006.
YAO Min. Digital Image Processing[M]. Beijing: China Machine Press, 2006.
- [6] 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.
- [7] LIU Guo-dong, ZHANG Mei-yun, Guo Xin-hua, et al. An Evaluation Method for Print Mottle Using Two-dimensional Discrete Wavelet Analysis[J]. Appita Journal Journal of the Technical Association of the Australian & New Zealand Pulp & Paper Industry, 2012, 65(3): 250—254.
- [8] 李建平, 唐远炎. 小波分析方法的应用[M]. 重庆: 重庆大学出版社, 1999.
LI Jian-ping, TANG Yuan-yan. Application of Wavelet Analysis Method[M]. Chongqing: Chongqing University Press, 1999.
- [9] 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.
- [10] REIS M S, BAUER A. Wavelet Texture Analysis of Online Acquired Images for Paper Formation Assessment and Monitoring[J]. Chemo-metrics and Intelligent Laboratory Systems, 2009, 95(2): 129—137.
- [11] LIU Guo-dong, ZHANG Mei-yun, Qian Wang, et al. An Evaluation Method for Print Mottle Using Wavelet Denoising and Image Grey Level Intensity Gradient[J]. Nordic Pulp & Paper Research Journal, 2014, 29(2): 280—285.
- [12] 王倩. 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. 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.
- [13] 张铮, 倪红霞, 苑春苗, 等. 精通 Matlab 数字图像处理与识别[M]. 北京: 人民邮电出版社, 2013.
ZHANG Zheng, NI Hong-xia, YUAN Chun-miao, et al. Proficient Digital Image Processing and Recognition in Matlab[M]. Beijing: Posts and Telecommunications Press, 2013.
- [14] 张德丰. 小波分析与工程应用[M]. 北京: 国防工业出版社, 2008.
ZHANG Deng-feng. Wavelet Analysis and its Application in Matlab Platform[M]. Beijing: National Defence Industry Press, 2008.
- [15] FAHLCRANTZ C M, JOHANSSON P, SLUND P. The Influence of Mean Reflectance on Perceived Print Mottle[J]. Image Sci Technol, 2003, 47(1): 54—59.