基于 Euclidean 距离的纸张z 向截面中墨层图像分割

梁巧萍,徐永建,杨保宏,张新宇

(陕西科技大学,西安 710021)

摘要:目的 通过图像分割方法得到纸张z向截面中印刷墨层区域的图像,利于更好地分析研究油墨在 纸张中的分布。方法 利用物理切割方法和超景深显微镜拍摄,得到高分辨率的纸张z向截面彩色图 像,将该图像从RGB颜色空间转换到HIS空间,采用欧式距离作为相似性度量,实现油墨层的分割。结 果 在HIS空间对油墨层图像进行分割时,分割阈值选取为3倍样本标准差最大值时,分割图像精确;当 分割阈值取4倍或者2倍、1倍时,出现了过度分割或者欠分割。结论 分割得到的油墨层图像有利于定 量计算油墨的渗透深度及渗透分布,为进一步定量研究油墨与纸张的相互作用奠定了一定的基础。 关键词: Euclidean距离;纸张z向截面;墨层图像;颜色空间 中图分类号: TS865 文献标识码:A 文章编号:1001-3563(2015)17-0126-05

Segmentation of the Ink Layer in *z*-direction Cross-section Views of Offset Paper by Using Euclidean Distance and Digital Microscope

LIANG Qiao-ping, XU Yong-jian, YANG Bao-hong, ZHANG Xin-yu (Shannxi University of Science and Technology, Xi' an 710021, China)

ABSTRACT: The aim of this study was to analyze the distribution of printing ink in the paper more precisely by segmenting the ink layer image from the *z* direction cross section view of paper. The physical cutting method was used to cut the paper samples and a digital microscope with extra depth of field was used to capture the high resolution views of *z*-direction cross-section of offset samples printed with cyan ink. After transforming the *z*-direction cross-section view from RGB color model to HIS color model, the ink layer image was segmented using Euclidean distance as the similarity measurement. By using the HIS image and the threshold of three times of T, the optimum segmentation result of ink layer was got and was valuable for the further quantitative research on the penetration of ink into the paper. When the threshold was set four, two or one time of T, oversegmentation result of ink layer which can be applied to further researches on the Interaction between ink and paper.

KEY WORDS: Euclidean distance; z-direction cross-section of paper; ink layer image; color space

随着印刷生产速度的大幅度提升,对传统纸类承 印材料和印刷油墨的印刷性能提出了更高要求。尤其 是要求印刷油墨在纸张表面具有较快干燥速度的同 时,还要求干固后油墨膜层仍具有较高的印刷光泽。 油墨的干燥性取决于纸张和油墨之间的相互作用,在 印刷过程中,油墨干燥是通过部分油墨在印刷压力作 用下渗透进入纸张毛细管结构内部,留在纸张表面的 油墨通过物理或化学变化完成油墨的固着和干燥。纸

收稿日期: 2014-12-22

基金项目:大学生创新项目(201310708017)

作者简介:梁巧萍(1976一),女,陕西咸阳人,博士,陕西科技大学讲师,主要研究方向为印刷材料及其印刷适性。

通讯作者: 徐永建(1970—),男,陕西西安人,博士,陕西科技大学教授,主要研究方向为植物纤维资源高值化利用、清洁生产及碱 回收除硅技术。 张的微观结构及油墨在纸张内部的渗透量是影响印刷 品质量的关键因素,对于油墨在纸张中的渗透深度的 研究,有利于改进纸张的微观结构及油墨的印刷适性。

由于纸张本身材质很薄,人眼无法直接观察,用常 规的检测方法也无法直接测量油墨在纸张中的渗透深 度,因此,寻求适合的油墨渗透深度检测的图像处理方 法(图像分割的策略和方法)是油墨渗透深度分析的难 点。已经有很多学者对油墨在纸张中渗透分布进行研 究。刘福平等叩引利用渗流方程建立了油墨的渗透深度 定量计算模型;刘国栋"利用分形理论研究了微孔结构 的润湿性,这2种研究方法的优点在于没有对纸张造成 损伤,但其计算精度有待于模型的进一步优化。李莹 等15-69利用激光共聚焦显微镜结合荧光染色对油墨的 渗透分布进行了研究,其优点是不会损伤纸张,但荧 光染色剂会随着染色时间的延长而衰减,最终影响观 测结果的精度,同时观测区域太小。杨永刚等[7-10]用 金相显微镜和光学显微镜直观地观察了纸张z向截面 中油墨的渗透分布,但金相显微镜分辨率有限,很难通 过手工准确测量油墨层的厚度。Dahlström¹¹¹利用扫描 电镜(SEM)结合分水岭算法,对涂布纸涂层结构进行 了定量表征,SEM图像分辨率很高,但其灰度图像中 的组分不易区分。这里,以油墨层的颜色特征作为 墨层图像分割的依据,对适用于灰度图像的欧式距 离(Euclidean distance)分割方法进行改进,提出一种 用于纸张z向HIS空间彩色图像的分割技术。用 Matlab编程实现算法,并得到油墨层的分割图像,通 过对比 RGB 和 HIS 颜色空间的油墨层图像分割结 果,验证了该方法分割得到的油墨层图像具有更好 的准确性。

1 彩色图像分割方法

目前,已经有很多成熟的适用于灰度图像的分割 方法,如区域分割、边缘检测分割和分水岭变换等方 法。彩色图像包含了很多的可分辨信息,因此近年来 对彩色图像分割的研究仍然受到关注。彩色图像中 颜色信息丰富,并有多种颜色空间的呈色空间模型, 因此其分割算法与灰度图像有所不同^[12—14]。彩色图像 分割的关键在于如何利用丰富的彩色信息来达到分 割的目的^[15—18]。要分割彩色图像,首先要选择好合适 的颜色空间,其次要采用适合于此空间的分割策略 和方法。HIS(色彩、饱和度、强度)颜色模型将强度 分量与彩色图像中的彩色信息分离,其对于颜色的 描述自然、直观,是开发基于彩色描述图像处理算法 的理想工具。彩色图像分割算法中的一个重要过程 是图像特征的相似性度量,即比较像素与像素之间 图像特征的一致性或相似性。在进行以颜色为图像 特征的相似性度量中,可以采用欧氏空间距离和 Mahalanobis(马氏距离)距离等。在马氏距离计算中, 由于使用协方差矩阵而使得计算结果不稳定,这里 采用欧式距离作为HIS空间中图像像素相似度度量 的方法。

1.1 RGB与HIS 颜色空间模型转换

超景深显微镜拍摄的纸张z向截面彩色图像是32 位 RGB 格式图像,需要将该图像从 RGB 颜色空间转 换到 HIS 颜色空间¹²¹,公式为:

$$\begin{cases} \theta = \arccos\left\{\frac{0.5\left[\left(R-G\right)+\left(R-B\right)\right]}{\left[\left(R-G\right)^{2}+\left(R-B\right)\left(G-B\right)\right]^{1/2}}\right\} \\ H = \left\{\theta, B \leqslant G; 360-\theta, B > G\right\} \\ S = 1-\frac{3}{R+G+B}\left[\min(R,G,B)\right] \\ I = 1/3(R+G+B) \end{cases}$$
(1)

式中:R,G,B分别为红、绿、蓝颜色分量,且R,G, $B \in [0, 1]; H, S, I$ 分别为色调(Hue)、饱和度 (Saturation)和亮度(Intensity),且 $H,S,I \in [0,1]$ 。

1.2 HIS空间的颜色聚类

油墨层图像的分割就是在纸张z向截面图像中, 将墨层颜色的像素区域分割出来。在利用欧式距离 对图像中的像素点进行聚类时,需要先确定阈值T,再 通过阈值T判定像素的相似度。阈值的确定需要借助 目标图像,即需要采集墨层图像的像素样点,并以样 点的彩色数值组成模板图像。再利用模板图像数据 计算模板的像素均值m和H,I,S分量的标准差T(即 阈值T),像素均值m是聚类的中心点。假设输入纸张 z向截面图像为I(h,i,s),则图像像素与聚类中心m之 间的欧式距离D为:

$$D(J,m) = || J-m || = \sqrt{(h-m)^2 + (s-m)^2 + (i-m)^2}$$
(2)

对计算结果进行判断,若D≤T,则认为该像素点 属于油墨层图像。

2 试验结果与分析

2.1 纸张z向截面获取

油墨印刷样张采用C1-7型IGT印刷适性仪(荷

兰)打样,纸张为胶版纸(定量 80 g/m²),油墨为 New EX-200 青色油墨(杭华油墨化学有限公司)。用超 锋裁纸刀切割纸样,z 向截面图像由超景深显微镜 (Digital Microscope KH-8700,日本浩适公司)观察、拍 摄,放大倍率为 500 倍。

以图像分析方法来定量分析印刷油墨在纸张中 的渗透深度,结果的准确性取决于纸张z向截面图像 的质量。试验中印刷样张用青色油墨打样,纸张z向 截面图像用光学显微镜在放大500倍下拍摄,见图1。 纸张z向截面图为RGB彩色图像,因此,采用彩色图像 分割方法能够更好地利用截面图像中的颜色特征,从 而可以实现油墨层的精确分割。



图 1 青墨印刷胶版纸z 向截面 Fig.1 Cross-section view of offset paper with cyan ink

2.2 彩色图像分割结果及评价

油墨层厚度图像分割的目的是将胶版纸z向截面 图中显示青色油墨颜色的像素区域分割出来。油墨 层图像分割结果见图2。分割方法如下所述。



Fig.2 Segmentation results of ink penetration in layer image

1) 在纸张z向截面图中得到油墨层区域的样本 点,即模板矩阵 Mask,并计算样本的协方差矩阵 C 及 均值 m,通过计算协方差矩阵标准差的最小值,得到阈 值 T。

2) 将图像 *I* 由 RGB 空间转换到 HIS 空间, 再利用 欧式距离作为相似度度量方法, 计算图像 *I* 中任意一 点像素(*h*,*i*,*s*)与样本均值*m* 的欧式距离, 将计算结 果与阈值 *T* 进行比较, 如果小于*T*, 则该像素点为油墨 墨层区域。

3) 将分割区域像素以黑色显示在原图中。

4) 重复上述步骤,分别以阈值为2T,3T,4T对图像I进行墨层图像分割。在Matlab 7.6开发编程环境下,编程实现基于Euclidean距离的纸张z向截面中墨层图像分割方法。

采用图像相对分割错误因子^[19-20]评价墨层图像分 割结果的优劣,用像素率表示分割像素占图像总像素 的量。图像相对分割错误因子的定义见式(3)。

$$E_{I_{ac}^{\text{HCB}}} = 1 - \frac{\sum_{k,j=0}^{k,j=n,m} (I(i)_{k,j}^{\text{RCB}} \cap I(i)_{k,j}^{\text{HS}})}{\sum_{k,j=0}^{k,j=n,m} I(i)_{k,j}^{\text{RCB}}} \quad \text{fl}$$

$$E_{I_{ac}^{\text{HS}}} = 1 - \frac{\sum_{k,j=0}^{k,j=n,m} (I(i)_{k,j}^{\text{HS}} \cap I(i)_{k,j}^{\text{RCB}})}{\sum_{k,j=0}^{k,j=n,m} I(i)_{k,j}^{\text{HS}}} \quad (3)$$

式中: $E_{I_{as}}$ 和 $E_{I_{as}}$ 分别为在RGB和HIS颜色空间 内,由图像I的墨层图像分割结果分别计算的图像相 对分割错误因子,取值范围为[0,1]; $I(i)_{k,i}^{RGB}$ 和 $I(i)_{k,i}^{HS}$ 分别为在RGB和HIS颜色空间图像I分割结果的第i个像素,k,j为该像素的行号和列号;m,n分别为图像I的长和宽。像素率为分割像素总量与图像像素总量 的比值,比值越大表明分割的像素越多。

式(3)表明,对2种分割结果进行比较时,其中1 种分割结果相对于2种分割结果交集的偏离程度。相 对分割错误率越大,则表明该种分割结果偏离2种分 割结果交集的偏离程度越大。在计算图像相对分割 错误因子时,如果分别计算2种分割结果的 $E_{I_{ex}}$,其仅 表明每种分割结果相对公共交集的偏离程度,不能表 明该分割方法分割结果的准确程度。因此,需要以某 个墨层分割图像为标准,将试验所得到的分割结果与 标准图像比较计算 $E_{I_{ex}}$,计算结果越大,则表明试验分 割结果与标准图像偏离越大,即分割结果的准确性越 差,见式(4)。

$$E_{I_{un}^{\text{us}}} = 1 - \frac{\sum_{k,j=0}^{k,j=n,m} (I(i)_{k,j}^{\text{HS}} \cap I(i)_{k,j}^{\text{Photo}})}{\sum_{k,j=0}^{k,j=n,m} I(i)_{k,j}^{\text{Photo}}} \quad \text{ff}$$

$$E_{I_{u_{s}}^{\text{RCR}}} = 1 - \frac{\sum_{k,j=0}^{k,j=n,m} (I(i)_{k,j}^{\text{RGB}} \cap I(i)_{k,j}^{\text{Photo}})}{\sum_{k,j=0}^{k,j=n,m} I(i)_{k,j}^{\text{Photo}}}$$
(4)

式中:*I*(*i*)^{Photo}为对图像*I*用PhotoShop中磁性索 套工具进行分割,其分割结果中的第*i*个像素。

以 $E_{I_{ast}}$ 来评价分割结果的优劣,仅仅适用于试验 分割结果小于标准图像。该试验的墨层分割标准图 像,是在PhotoShop CS2软件中用磁性索套工具手动分 割得到的(图2b)。分别计算图像I的 RGB和HIS分割 结果与PhotoShop标准分割图像的 $E_{I_{ast}}$,见表1。

表1 油墨层图像分割结果

Tab.1 Segmentation results of ink layer in RGB and HIS color space %

色空间	像素率				$E_{I_{_{arkappa _{ m x}}}}$			
	Т	2T	3 <i>T</i>	4T	Т	2T	3 <i>T</i>	4T
RGB	0.45	1.20	2.02	23.35	77.99	46.64	24.42	13.50
HIS	0.88	1.60	2.42	10.99	56.59	26.03	6.18	0.15

由表1可知,当阈值由T增加至4T时,像素分割率 随阈值增加而增加,而 $E_{I_{as}}$ 随阈值增大而减小;结合图 2可知,当阈值为4T时产生了严重的过度分割;当阈 值为3T时,产生的分割结果与手动分割结果最为接 近。比较RGB和HIS空间分割结果可知,以相同阈值 分别在RGB和HIS空间分割图像,在HIS空间内分割 得到的像素较多、 $E_{I_{as}}$ 较小。当阈值为3T时,HIS分割 结果的 $E_{I_{as}}$ 为6.18%,结合图2e可知,该分割结果为最 佳分割结果。该研究结果有利于进一步实现油墨渗 透深度的定量表征、纸张结构的定量分析以及纸张结 构的三维重建。

3 结语

在纸张z向截面图中进行油墨渗透层图像的分割,是在HIS和RGB彩色模型空间中以欧氏距离作为相似度实现的。试验结果显示,由于HIS空间对于颜色的描述自然、直观,因此分割的结果较在RGB空间准确,当阈值为37时分割的目标图像最准确。

参考文献:

- 刘福平,王安玲,杨永刚,等.印刷油墨在可压缩纸张中渗 透深度的计算方法[J].中国造纸学报,2013,28(3):8—13.
 LIU Fu-ping, WANG An-ling, YANG Yong-gang, et al. Numerical Calculation Method of Permeating Depth of Printing Ink in Printing on Compressible Porous Papers[J]. Transactions of China Pulp and Paper,2013,28(3):8—13.
- [2] LIU Guo-dong, ZHANG Mei-yun, CATHY R, et al. Pore Wall Rugosity: The role of Extended Wetting Contact Line Length During Spontaneous Liquid Imbibition in Porous Media[J]. Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects, 2014, 443: 286—295.
- [3] 李莹. 涂布纸油墨渗透的表征及影响油墨渗透因素的研究 [D]. 广州:华南理工大学,2011.

LI Ying. Study on Characterization of Ink Penetration into Coated Paper and Affecting Ink Penetration[D]. Guangzhou: South China University of Technology, 2011.

- [4] LI Ying, HE Bei-hai. Characterization of Ink Pigment Penetration and Distribution related to Surface Topography of Paper using Confocal Laser Scanning[J]. BioResources, 2011, 6 (3):2690-2702.
- [5] 杨永刚,胡树花,彭光瑞.胶版纸油墨渗透深度探讨[J].北 京印刷学院学报,2010,18(4):38-40.

YANG Yong-gang, HU Shu-hua, PENG Guang-rui. Exploration on the Ink Penetration Depth in Offset Papers[J]. Journal of Beijing Institute of Graphic Communication, 2010, 18(4): 38—40.

[6] 杨永刚,赵金响,毛峪,等.油墨渗透深度的模型化研究[J]. 北京印刷学院学报,2014,22(8):1--3.

YANG Yong-gang, ZHAO Jin-xiang, MAO Yu, et al. Study on the Model for Ink Penetration Depth inside Paper[J]. Journal of Beijing Institute of Graphic Communication, 2014, 22 (8):1-3.

- [7] 张效林,王汝敏. 胶版纸表面油墨渗透行为的研究[J]. 中国印刷与包装研究,2010 (2):321—323.
 ZHANG Xiao-lin, WANG Ru-min. Study on the Ink Penetration Behavior of the Offset Paper Surface[J]. China Printing and Packaging Study,2010(2):321—323.
- [8] 李鑫,魏先福.油墨在胶版纸中的渗透深度研究[J].北京印刷学院学报,2014,22(2):6—8.
 LI Xin, WEI Xian-fu. The Research on the Penetration Depth of Ink in Offset Paper[J]. Journal of Beijing Institute of Graph-ic Communication,2014,22(2):6—8.
- [9] DAHLSTRM C, ALLEM R, UESAKA T. New Method for Characterizing Paper coating Structures using Argon ion beam Milling and Field Emission Scanning Electron Microscopy[J]. Journal of Microscopy, 2011, 241:179—187.
- [10] RAFAEL C G, RICHARD E W, STEVEN L, 等. 数字图像

处理的MATLAB实现[M]. 阮秋奇,译. 北京:清华大学出版 社,2013.

RAFAEL C G, RICHARD E W, STEVEN L, et al. Digital Image Processing Using MATLAB[M]. RUAN Qiu-qi, Translation. Beijing: Tsinghua University Press, 2013.

- [11] 林开颜,吴军辉,徐立鸿.彩色图像分割方法综述[J].中国 图象图形学报,2005,10(1):1—10.
 LIN Kai-yan, WU Jun-hui, XU Li-hong. A Survey on Color Image Segmentation Techniques[J]. Journal of Image and Graphics,2005,10(1):1—10.
- [12] 朱俊杰,杜小平,范湘涛,等. 三种图像分割算法的对比及 图像分割方法的改进[J]. 计算机应用与软件,2014,31(1): 1-4.

ZHU Jun-jie, DU Xiao-ping, FAN Xiang-tao, et al. Contrast of Three Image Segmentation Algorithms and Improvement of Image Segmentation Methods[J]. Computer Applications and Software, 2014, 31(1): 1—4.

- [13] CHEN Li-jun, WANG Ke-qi, XIE Yong-hua, et al. The Segmentation of Timber Defects based on Color and the Mathematical Morphology[J]. Optik, 2014, 125(26):965—967.
- [14] 吴媛,杨富超. 基于彩色图像分割技术的SMT焊点质量检

(上接第118页)

rithm for Printed Matter[J]. Packaging Engineering, 2012, 28 (3):58-59.

[5] 魏立飞,李情芸.基于像素分布的自适应阈值分割模型应用于印刷图像缺陷检测的研究[J].中国印刷与包装研究, 2013,5(5):44-48.

WEI Li-fei, LI Qing-yun. Research on Printing Image Defects Detection Algorithm Using Adapting Threshold Segmentation Model Based on Pixel Distribution[J]. China Printing and Packing Study, 2013, 5(5):44-48.

- [6] 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—50.
 ZHANG Er-hu, ZHANG Qian. Research and Discussion of On-line Defect Detection Methods for Color Printing[J]. Packaging Engineering,2007,28(4):48—50.
- [7] SHANKAR N G, RAVI N , ZHONG Z W. A Real-time Print-defect Detection System for Web Offset Printing. Measurement[J]. Journal of the International Measurement Confederation, 2009, 42(5):645—652.
- [8] VANS M. Automatic Visual Inspection and Defect Detection on Variable Data Prints[J]. Journal of Electronic Imaging, 2011,20(1):1-13.
- [9] XU M, TANG W. The Application of Line labeling Algorithm to on-line Defect Detection System for Printed-Matter[J]. In Proceedings of 4th International Congress on Image and Signal Processing, 2011(1):310-313.

测[J]. 计算机测量与控制,2012,20(6):1495—1500. WU Yuan,YANG Fu-chao. Study on Detection Method Based on Color Image Segmentation for SMT Solder Joint[J]. Computer Measurement & Control,2012,20(6):1495—1500.

- [15] SAMAN G, SALAR G. Automatic Histogram-based Fuzzy C-means Clustering for Remote sensing Imagery[J]. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 2014, 97: 46-57.
- [16] HONG Xing, HA Jie, HU Ming. Further Improvements in Feature–Weighted Fuzzy C–Means[J]. Information Sciences, 2014,267:1–15.
- [17] 张志斌,罗锡文,臧英,等. 基于颜色特征的绿色作物图像 分割算法[J]. 农业工程学报,2011(7):183—189.
 ZHANG Zhi-bin,LUO Xi-wen,ZANG Ying, et al. Segmentation Lgorithm Based on Color Feature for Green Crop Plants
 [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering,2011(7):183—189.
- [18] GEORGE E M, JOAO C N. Verification of Color Vegetation Indices for Automated Crop Imaging Applications[J]. Computer and Electronics in Agriculture, 2008, 63(2):282-293.
- [10] DING Jian-hua. A Background Subtraction Method for Defect Detection of Printed Image[J]. Applied Mechanics and Materials, 2014, 462—463:421—427.
- [11] TEOH S H. Exploration of Current Trend on Median Filtering Methods Utilized in Digital Grayscale Image Processing[J]. International Journal of Materials, Mechanics and Manufacturing, 2013, 1(1):50-54.
- [12] 王秀泽,庄磊,孟伟.用MacAdam椭圆检验CIE1964 LUV和 CIE1976 LAB 色空间的均匀性[J].包装工程,2006,27(2): 97—98.

WANG Xiu-ze. Verify the Uniformity of CIE1964 LUV and C IE1976 LAB Color Space with MacAdam Ellipses[J]. Packag-ing Engineering, 2006, 27(2):97–98.

- [13] BAY H. Speeded-Up Robust Features (SURF)[J]. Computer Vision and Image Understanding, 2008, 110(3):346—359.
- [14] ZHANG L, DONG Y, PU J. Object Recognition Based on SURF[J]. ICIC Express Letters, Part B: Applications, 2015, 6 (1):259-264.
- [15] TABUSE M, KITAOKA T, ANDNAKAI D. Outdoor Autonomous Navigation Using SURF Features[J]. Artificial Life and Robotics, 2011, 16(3): 356-60.
- [16] 王灿进. 局部不变特征匹配的并行加速技术研究[J]. 液晶 与显示,2014,29(2):266—274.
 WANG Can-jin. Speeding up Local Incariant Feature Matching Using Parallel Technology[J]. Chinese Journal of Liquid Crystals and Displays,2014,29(2):266—274.