

印刷网点微观图像阈值分割算法研究

柴江松, 王琪, 刘洪豪
(南京林业大学, 南京 210037)

摘要: **目的** 通过阈值处理方法, 准确获取网点微观图像的特征参数, 将其与仪器测量值相结合, 综合评价印刷品复制质量。 **方法** 提出一种基于高斯函数模型拟合网点图像灰度直方图数据的阈值分割算法, 寻找网点类图像最佳分割阈值, 对图像进行二值化处理, 得到准确的网点参数。 **结果** 得到的印刷品网点面积率在全阶调范围内更接近于测量值, 分割效果明显优于传统的阈值分割算法。 **结论** 提出的高斯拟合阈值分割算法更有利于提取网点类图像的微观参数, 精度高, 稳定性好, 为获取准确的网点图像微观参数提供了理论与实践参考。

关键词: 网点微观提取; 阈值分割; 高斯拟合; 网点特征参数

中图分类号: TS801.3 文献标识码: A 文章编号: 1001-3563(2015)13-0115-07

Threshold Segmentation Algorithm for Printing Dot Microscopic Image

CHAI Jiang-song, WANG Qi, LIU Hong-hao
(Nanjing Forestry University, Nanjing 210037, China)

ABSTRACT: In this paper, by the method of threshold segmentation, the characteristic parameters of dot microscopic image were accurately acquired which were used in combination with the instrument measured value to comprehensively evaluate the quality of printing. This experiment presented a threshold segmentation algorithm based on Gaussian function model to fit the gray histogram data of dot microscopic image to find the optimal threshold of the dot image and use this threshold to do binarization processing of image and getting accurate dot parameters. The obtained printing dot area rate by using this method was closer to the measurements throughout the tone range, the segmentation effect was better than the traditional threshold segmentation algorithm. In conclusion, Gaussian fitting threshold segmentation algorithm proposed in this paper is more beneficial to extract the microscopic parameters of the dot image, with high extraction precision and good stability, which provides a theoretical and practical reference for obtaining accurate dot image microscopic parameters.

KEY WORDS: dot microscopic extraction; threshold segmentation; Gaussian fitting; dot characteristic parameters

对印刷品质量深入研究, 需要对网点微观特征进行分析。网点微观特征包括面积、纹理和边缘等特征。对于印刷品这类复杂的图像而言, 准确获取网点的微观特征, 对表征印刷品质量起着至关重要的作用。由于获得网点微观参数的仪器、设备精度, 软件参考的图像分割算法等不同, 获得的二值图像及其微观参数并不能准确表达印刷网点的真实属性, 从而造成所得到的量化值与实际印刷效果无法匹配^[1]。这里, 针对网点微观图像的面积特征进行研究, 旨在准

确地获取网点图像的面积率, 将其与仪器测量得到的面积率相结合, 从而综合评价印刷品的复制质量^[2-3]。传统的阈值分割算法有很多, 包括人工选择阈值法、Otsu最大类间方差法、最大熵法、迭代法及最小误差法, 但是各自的效果并非十分理想^[4-8]。为此, 采用高斯函数对网点图像灰度直方图进行曲线拟合, 将曲线拟合结果求导求极小值计算, 寻找最佳分割阈值, 应用该方法完成图像的自动分割。

收稿日期: 2014-12-08

作者简介: 柴江松(1991—), 男, 安徽安庆人, 南京林业大学硕士生, 主攻数字印前、印刷品质量管理与控制。

通讯作者: 王琪(1971—), 女, 河南驻马店人, 博士, 南京林业大学副教授, 主要研究方向为数字印前及色彩控制。

1 传统网点图像阈值分割理论

图像分割的经典方法是基于灰度阈值的分割方法,它主要通过设置 $n(n \geq 1)$ 个阈值,把图像像素点按照灰度等级划分为 $n+1$ 类,从而实现对图像的分割。其中,当 $n=1$ 时,即是将1幅灰度图像分割成二值图像,这是图像分割中最简单的形式。

设灰度图像为 $f(x,y)$,使用一定方法在图像的灰度级中选择合适的阈值 T ,将大于或等于阈值 T 的原图像像素点设置为1,小于阈值 T 的图像像素点设置为0,以此把图像 $f(x,y)$ 分割为2部分^[9]。阈值分割后的图像用二值图像 $h(x,y)$ 表示:

$$h(x,y) = \begin{cases} 1 & f(x,y) \geq T \\ 0 & f(x,y) < T \end{cases} \quad (1)$$

可见,阈值 T 的选择直接决定着图像分割的效果,通常可以通过分析图像灰度直方图来确定最佳的阈值 T 。对于网点图像这一特殊的图像而言,由于网点对象与纸张背景之间的差距较大,因而其灰度直方图的分布通常呈现双峰形式,而最佳的阈值 T 即在双峰之间的谷底^[10]。

1.1 最大类间方差法

Otsu提出的最大类间方差法又称为大津阈值分割法^[10-13],其基本原理是利用最小二乘法思想推导出基于图像灰度直方图的图像分割方法。定义某分割图像类间方差 σ_B^2 :

$$\sigma_B^2 = \omega_0(\mu_0 - \mu)^2 + \omega_1(\mu_1 - \mu)^2 \quad (2)$$

由于方差是表征分布均匀性的参数,因而类间方差越大则表示目标区域与背景区域的差别越大,当目标被错分到背景中或者背景被错分到目标中,都会导致类间方差变小。Otsu图像分割法的实质是选择使得目标和背景区域类间方差 σ_B^2 最大化的阈值 T ^[14]。

1.2 迭代法

迭代阈值^[9]的基本思想是将灰度图像的中间灰度等级 T_0 作为分割的初始阈值,利用该阈值将图像 $f(x,y)$ 分为目标区域 R_0 和背景区域 R_1 ,对于分割结果进行加权累加计算,并将计算结果求平均作为新的分割阈值,即新的阈值通式可表示为:

$$T_{i+1} = \frac{1}{2} \left[\frac{\sum_{k=0}^{T_i} kp_k}{\sum_{k=0}^{T_i} p_k} + \frac{\sum_{k=T_i+1}^{L-1} kp_k}{\sum_{k=T_i+1}^{L-1} p_k} \right] \quad (3)$$

式中: T_i 为当前分割阈值; T_{i+1} 为下一轮迭代的分割阈值; L 为图像的灰度等级; p_k 为图像中灰度等级为 k 的像素点个数。以新的分割阈值对图像进行分割,直到 T_{i+1} 与 T_i 的差值小于某设定值时(通常为1)终止迭代。同时研究表明^[1],当图像灰度直方图呈现明显的双峰形式时,迭代法与Otsu法的分割效果相近。

2 高斯函数拟合法

由于在实验条件下采集得到的网点图像中,对象区域与背景区域之间并不是很理想的各自分布在相对固定且相差较大的灰度等级里,而是在一定的灰度区间内呈现高斯分布状态。另外,在图像采集、数据量化和数据转换过程中会引入噪声,而由于成像系统所产生的噪声在图像灰度区间范围内亦近似呈现高斯分布状态。由此可见,对于1幅实际获取到的网点图像而言,其图像灰度分布是由3个高斯分布叠加而成的。其用数学语言描述为:设图像背景区域灰度频数分布函数为 $f_1(x,y)$,图像对象区域灰度频数分布函数为 $f_2(x,y)$,图像噪声灰度频数分布函数为 $f_3(x,y)$,该图像的灰度频数分布函数为 $f(x,y)$ 。由于其3个组成部分都服从高斯分布,则有式(4)~(7)成立。

$$f_1(x,y) = a_1 e^{[-(\frac{x-\mu_1}{\sigma_1})^2]} \quad (4)$$

$$f_2(x,y) = a_2 e^{[-(\frac{x-\mu_2}{\sigma_2})^2]} \quad (5)$$

$$f_3(x,y) = a_3 e^{[-(\frac{x-\mu_3}{\sigma_3})^2]} \quad (6)$$

$$f(x,y) = f_1(x,y) + f_2(x,y) + f_3(x,y) \quad (7)$$

另外,由于1幅正常采集状态下得到的网点图像 $f(x,y)$ 中噪声所占的比例很小,因而对于网点图像依然呈现明显的双峰形式^[14]。

采用式(7)所述的高斯函数模型,依据最小二乘原理,对图像灰度直方图离散数据组 $(x_i, y_i) (i=0, 1, 2, \dots, 255)$ 进行曲线拟合^[15-16],得到拟合后的图像 $f(x,y)$,对其进行求导运算,得到其极小值,以极小值点的灰度值作为拟合法的分割阈值 T ,对图像进行二值分割。

3 实验

1) 利用分光光度计测量网点面积率。选取标准调幅网点(FM)及调频率网点(AM)印刷样张上的灰梯尺部分(10%~90%),使用Spectroeye分光光度计测量该部分的网点面积率,以此作为评价阈值算法是否能忠实还原印刷网点真实属性的标准值。

2) 采集网点微观图像。裁取灰梯尺部分,将其置于显微镜下,调整焦距使成像清晰,利用图像采集系统获取网点微观图像。

3) 网点微观图像阈值分割。基于MATLAB软件平台,采用传统的Otsu 阈值分割算法、迭代阈值分割算法及提出的高斯拟合算法,对FM、AM 网点图像进行阈值分割处理。

4) 计算网点面积率。对于经上一步处理后的二值图像,计算其网点面积率为图像中“0”的像素点个数占总像素点个数的比率。

5) 根据实验数据对结果进行分析评价。

4 结果分析

4.1 调频网点显微图像高斯拟合效果

基于高斯函数模型对调频网点显微图像的灰度直方图进行曲线拟合,结果见图1。通过对拟合后的函数求导求极小值的方法获得网点图像分割阈值 T ,应用该值对图像进行二值分割,即可得到分割后的网点特征图像。

从图1可以看出,提出的高斯函数模型拟合调频

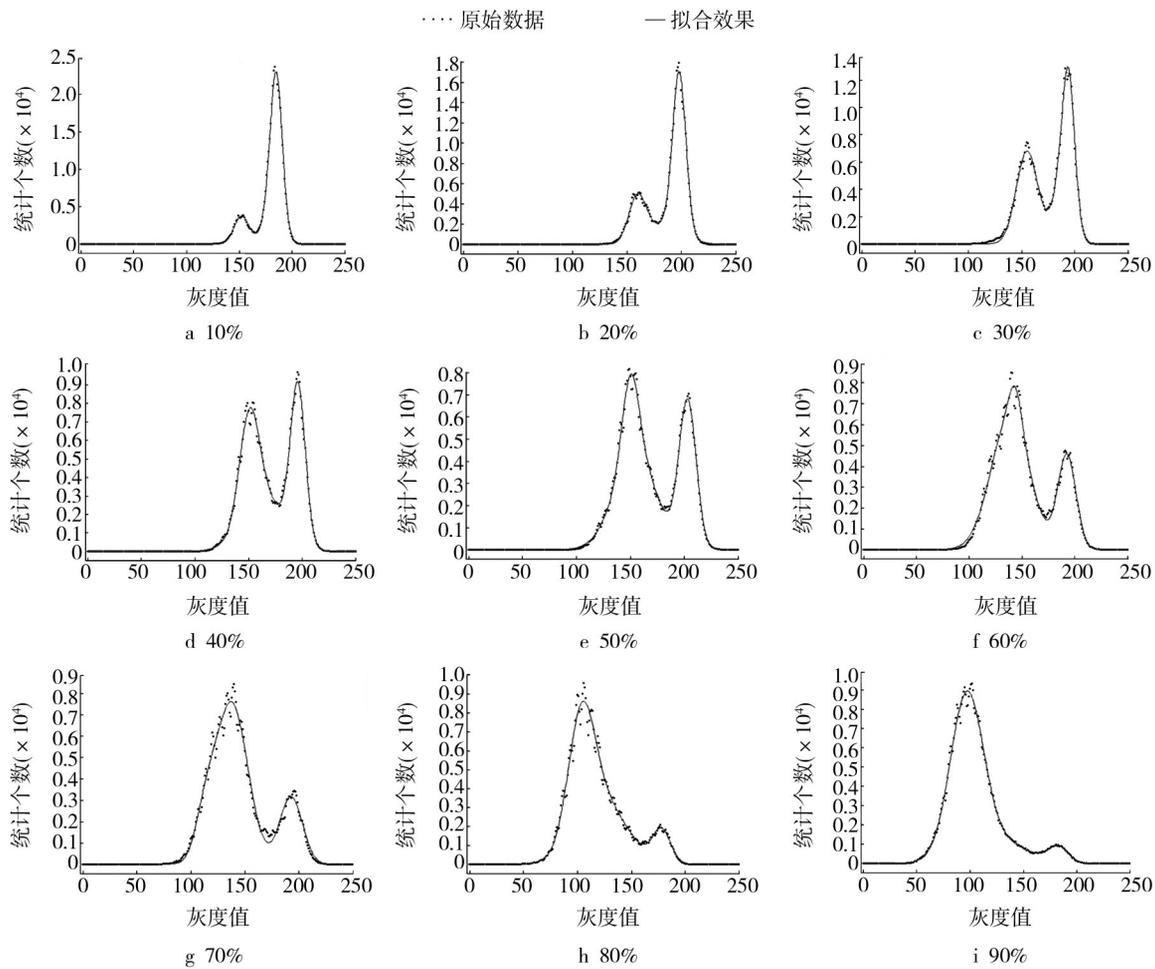


图1 调频网点显微图像灰度直方图高斯拟合效果

Fig.1 Gaussian fitting effect of gray histogram of FM dot microscopic image

网点微观图像的灰度数据有很好的拟合效果,图像灰度直方图中的离散点均匀地分布在拟合曲线的两侧,其得到的拟合函数特征与图像灰度直方图特征基本一致,波峰与波谷的位置基本吻合。

3种不同的阈值分割算法,对40%的调频网点显微图像进行处理后的效果见图2,其他阶调的处理效果与此相似,在此不一一列出。

从图2的效果来看,3种算法都能较好地对待频网点图像进行分割,且提出的高斯拟合方法,分割处理得到的网点图像较其他2个算法更加优异,通过放大图像可以清楚看到,经最大类间方差法及迭代法分割处理后,图像中网点实地部分出现了较多的空洞,且对于单个网点而言,经网点处理后有略微的缩小,反映到网点参数特征上使得网点面积率偏小;另外,最

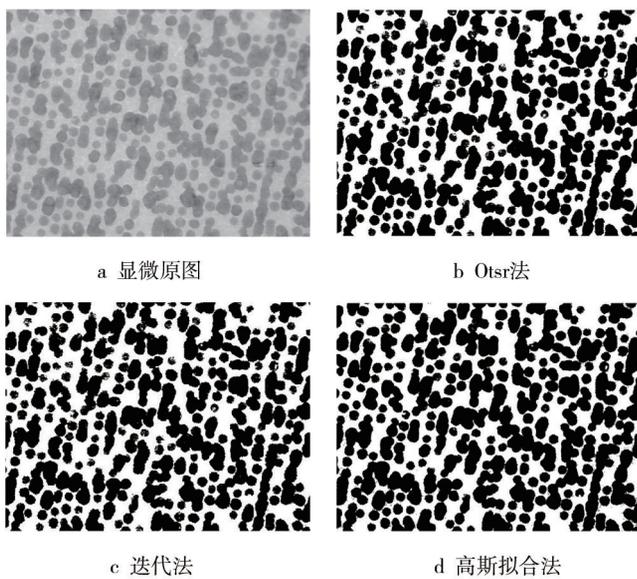


图2 3种阈值分割算法处理的40%调频网点图像效果

Fig.2 The processing effects by the three threshold segmentation algorithms for 40% FM dot image

大类间方差法与迭代法,在对网点这类具有明显双峰特征的图像进行阈值分割时得到的结果基本一致,这也验证了1.2中对该种情况分析的合理性。从实验过程中可以明显看到,迭代法处理网点图像所需要的时间远大于最大类间方差法,这与迭代法的原理有关,其计算过程是在不停地进行迭代处理,直至迭代阈值之差小于1时停止,因而其需要的时间更长,而提出的高斯拟合法运算所需时间介于两者之间,且与最大类间方差法接近,分析其原因,是由于提出的算法有拟合运算过程,相对增加了其运算时间。

传统的最大类间方差法、迭代法及提出的高斯拟合法等3种不同的阈值分割算法,提取网点面积率的计算结果见表1。标准值为Spectroeye分光光度计的测量值,为了更加直观地对算法的分割效果进行比较,将表1绘制成折线图,见图3。

从表1及图3可以看出,3种不同分割算法在网点面积率较小,即在亮调情况下都有较好的分割效果,但是在较高的网点面积率,即在暗调的情况下分割效果差别较大;提出的高斯拟合算法的分割效果在全阶调范围内与标准值保持很好的契合度,其曲线几乎与标准值曲线重合,而最大类间方差法及迭代法得到的网点面积率曲线在暗调区域出现下降趋势,这也与前人的研究结论保持一致;另外,实验值普遍比标准值小,这可能是因为在实验过程中显微镜的光通量太大使得图像亮度增大,采集到的实际网点比真实网点略小的原因导致。

表1 调频网点面积率

Tab.1 FM dot area rate

%

原稿	Spectroeye测量值	Otsu法	迭代法	高斯拟合法
10	16	16.39	16.81	15.32
20	29	28.27	28.27	27.76
30	43	41.30	41.30	42.52
40	56	51.80	51.80	55.65
50	66	59.02	59.02	64.15
60	75	67.20	67.20	74.02
70	82	73.55	72.90	79.99
80	90	73.44	72.61	88.90
90	95	82.95	82.95	94.07

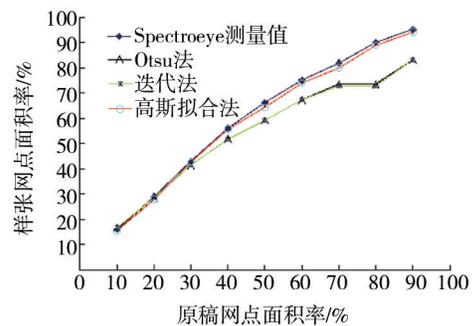


图3 3种阈值算法对调频网点图像分割的实验结果

Fig.3 The results of image segmentation for FM dot by using the three threshold algorithms

4.2 调幅网点显微图像高斯拟合效果

基于高斯函数模型,对调幅网点显微图像的灰度直方图进行曲线拟合的结果见图4。

从图4可以看出,提出的高斯函数模型,拟合调幅网点微观图像的灰度数据有很好的拟合效果,但是从直方图数据上可以发现,调幅网点的直方图并没有调频网点直方图呈现的双峰形式那么完美,分析其原因,可能是由于调幅样张在通过胶印方式获取的过程中,其单个网点部分的油墨是先经印版转移到橡皮布上,再转移到纸张上,在这个网点复制的过程中油墨并不能完全转移,导致单个网点中间出现空洞或者灰度变浅的现象,从而使得部分对象区域的像素点灰度值往背景区域迁移,出现在对象区域与背景区域之间形成一段较为明显的突起(图4),不过从灰度直方图整体分布上可以看到,其并不影响阈值分割中波峰与波谷的位置分布。

3种不同阈值算法对40%的调幅网点显微图像处理效果见图5。

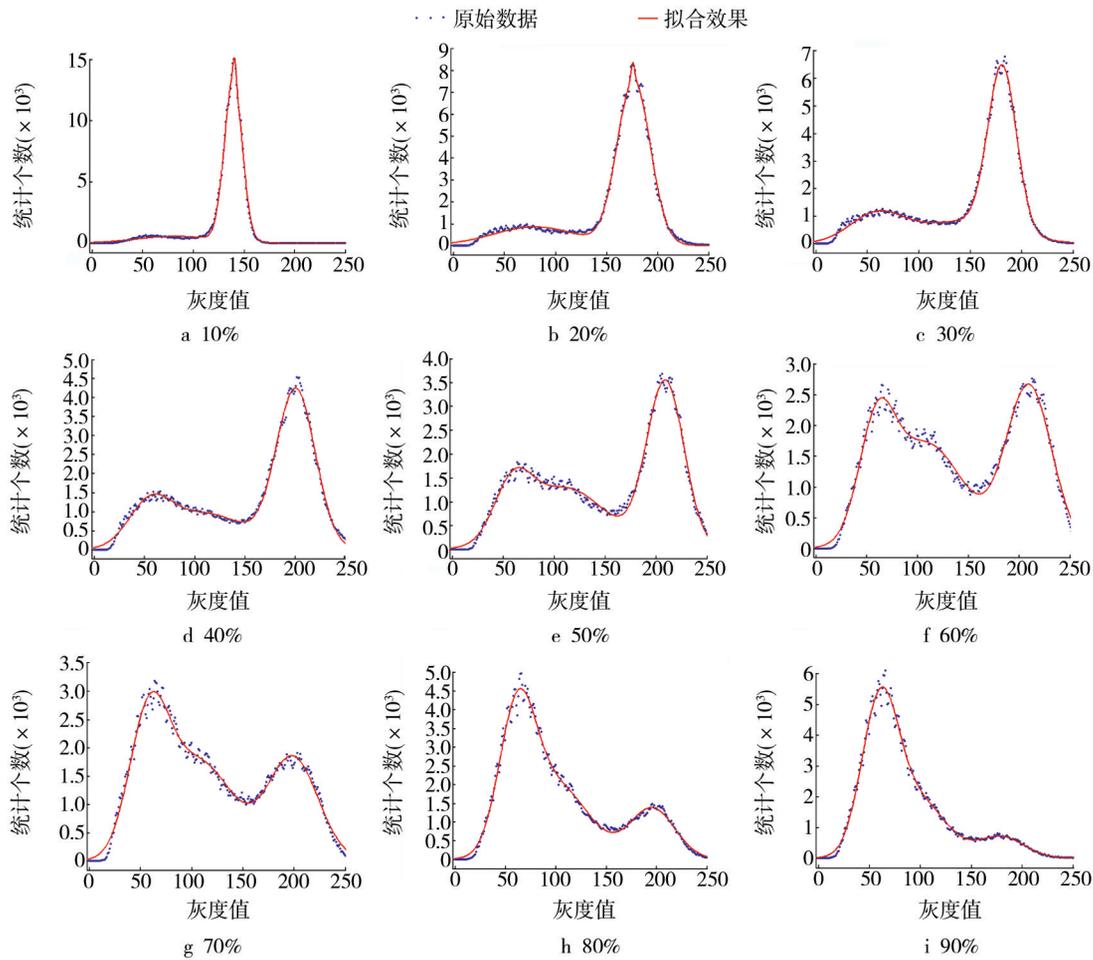


图4 调幅网点显微图像灰度直方图高斯拟合效果

Fig.4 Gaussian fitting effect of gray histogram of AM dot microscopic image

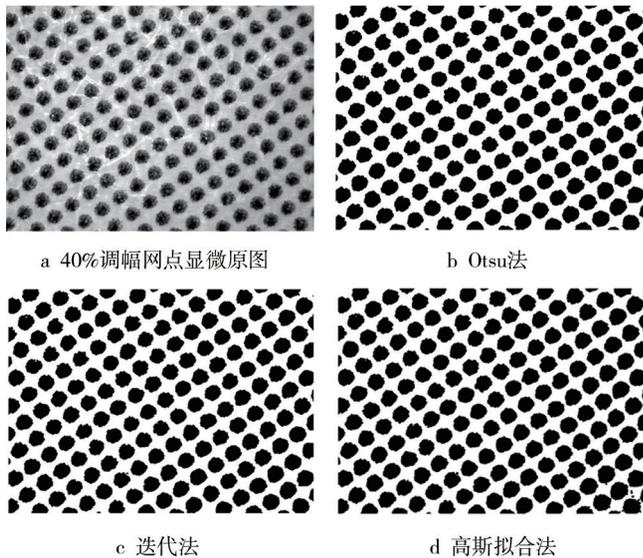


图5 3种阈值分割算法处理的40%调幅网点图像效果

Fig.5 The processing effects by the three threshold segmentation algorithms for 40% AM dot image

从图5可以看出,3种算法都能较好地调幅网点

图像进行分割,但同时可以发现,高斯拟合算法对于分割阈值的选取稍大,在图像右下角处分割出少量的图像噪声,分析其原因有可能是在网点显微图像采集时,由于点光源的照射造成光照并非完全均匀,导致图像边缘部分比中间部分略暗,其纸白区域部分灰度接近分割阈值 T 的灰度,从而在分割后少量噪声被误判为网点,并作为检测结果输出。

传统的最大类间方差法、迭代法及提出的高斯曲线拟合法提取网点面积率的计算结果见表2,标准值为 Spectroeye 分光光度计的测量值,为了更加直观地对这几种算法的分割效果进行比较,将表2绘制成折线图,见图6。

从表2及图6可以发现,3种阈值算法都能较好地实现对网点微观图像的阈值分割处理,且提出的高斯拟合算法分割后的结果在全阶调范围内更接近于标准值,而最大类间方差法和迭代法得到的网点面积率曲线出现了类似于调频网点分割的效果,曲线在暗调区域出现下降趋势。

表2 调幅网点面积率

Tab.2 AM dot area rate %

原稿	Spectroeye测量值	Otsu法	迭代法	高斯拟合法
10	13	11.66	11.66	12.58
20	25	24.33	24.53	24.89
30	37	34.77	35.00	34.38
40	47	44.73	44.73	47.04
50	59	54.42	54.42	58.87
60	70	64.46	64.46	69.64
70	79	72.25	72.25	78.65
80	87	81.67	81.67	86.97
90	94	88.00	88.00	92.77

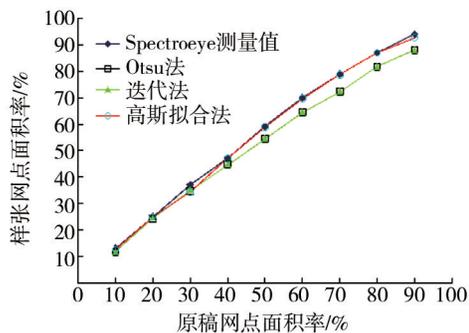


图6 3种阈值算法对调幅网点图像分割的实验结果

Fig.6 The results of image segmentation for AM dot by using the three threshold algorithms

5 结语

针对印刷网点显微图像中灰度直方图特征进行研究,提出采用高斯函数模型的方法进行曲线拟合,求取图像分割阈值,并对网点图像进行阈值分割,将其结果与当下应用最广泛的极大类间方差阈值分割法及迭代阈值分割法进行图像分割的结果相比较,结果表明:提出的高斯拟合法对调频和调幅网点显微图像都能较好地完成分割处理,具有算法简单、运行高效的特点,对于复杂图像能获得清晰、高质量的分割结果,且较极大类间方差法及迭代法更加优异,在全阶调范围内分割得到的网点微观参数与仪器测量值更加接近。同时,提出算法得到的网点微观量化值为绝对参数,可以准确表达网点的二维形态,为网点三维立体结构的恢复打下基础,网点二维及三维的微观量化参数可以表征印刷网点复制过程中的传递属性,为进行印刷品质量客观评价提供了理论依据。

参考文献:

- [1] 王琪. 基于网点结构形态的图像信息印刷复制研究[D]. 南京:南京林业大学,2013.
WANG Qi. Research of Image Information Printing Reproduction Based on Dot Structure Form[D]. Nanjing: Nanjing Forestry University, 2013.
- [2] 彭彦平, 马步庄, 徐锦林. 网点面积检测算法的比较研究[J]. 包装工程, 2006, 27(1): 76—78.
PENG Yan-ping, MA Bu-zhuang, XU Jin-lin. Comparison Research of Dot Area Measurement Algorithm[J]. Packaging Engineering, 2006, 27(1): 76—78.
- [3] 张旭亮. 网点微观结构解析[J]. 测绘通报, 2007(12): 21—23.
ZHANG Xu-liang. Analysis of Dot Microstructure[J]. Bulletin of Surveying and Mapping, 2007(12): 21—23.
- [4] QIAO Nao-sheng, SUN Ping. Study of Improved Otsu Algorithm and Its Ration Evaluation Analysis for PCB Photo Electric Image Segmentation[J]. Optik-International Journal for Light and Electron Optics, 2014, 124(17): 4784—4787.
- [5] ZOU Yao-bin, DONG Fang-min, LEI Bang-jun, et al. Maximum Similarity Thresholding[J]. Digital Signal Processing, 2014, 28: 120—135.
- [6] 龙建武, 申铨京, 陈海鹏. 自适应最小误差阈值分割算法[J]. 自动化学报, 2012, 38(7): 1134—1144.
LONG Jian-wu, SHEN Xuan-jing, CHEN Hai-peng. Adaptive Minimum Error Thresholding Algorithm[J]. Acta Automatica Sinica, 2012, 38(7): 1134—1144.
- [7] 王晓红, 衣永政. 印刷网点图像模糊聚类分割方法的研究[J]. 包装工程, 2006, 27(3): 54—56.
WANG Xiao-hong, YI Yong-zheng. Research of Printing Dot Image Segmentation Using Fuzzy Cluster Method[J]. Packaging Engineering, 2006, 27(3): 54—56.
- [8] 周春霞, 魏敏, 唐正宁. 基于数学形态学的印刷网点图像分割方法[J]. 包装工程, 2007, 28(6): 14—15.
ZHOU Chun-xia, WEI Min, TANG Zheng-ning. Printing Dot Image Segmentation Method Based on the Mathematical Morphologic[J]. Packaging Engineering, 2007, 28(6): 14—15.
- [9] CHEN Xian-qiao, LIU San-lin, LIU Wei. Research on Image Technology with Algorithm of Image Threshold Segmentation Based on Gray Level Characteristics[C]// Applied Mechanics and Materials, 2013: 190—193.
- [10] 龙建武. 图像阈值分割关键技术研究[D]. 长春: 吉林大学, 2014.
LONG Jian-wu. Research on Key Techniques of Image Thresholding[D]. Changchun: Jilin University, 2014.
- [11] 于惠钧, 吴婉, 成运. 改进Otsu算法在铝塑泡罩药品包装缺陷检测中的应用[J]. 包装工程, 2014, 35(15): 15—18.
YU Hui-jun, WU Wan, CHENG Yun. Application of Im-

- proved Otsu Algorithm in the Defect Detection of Aluminum-plastic Blister Drugs[J]. Packaging Engineering, 2014, 35(15):15—18.
- [12] 邱丽君. Otsu 图像分割方法的研究与应用[D]. 济南: 山东大学, 2011.
- QIU Li-jun. Research and Application of Otsu Image Segmentation Algorithm[D]. Jinan: Shandong Normal University, 2011.
- [13] 吕燕. 基于阈值算法图像分割的研究[D]. 重庆: 重庆大学, 2011.
- LYU Yan. The Study of Image Segmentation Based on Thresholds[D]. Chongqing: Chongqing University, 2011.
- [14] 杨修国. 图像阈值分割方法研究与分析[D]. 上海: 华东师范大学, 2009.
- YANG Xiu-guo. Threshold Image Segmentation Research and Analysis[D]. Shanghai: East China Normal University, 2009.
- [15] 胡庆婉. 使用 MATLAB 曲线拟合工具箱做曲线拟合[J]. 电脑知识与技术, 2010, 6(21):5822—5823.
- HU Qing-wan. Curve Fitting by Curve Fitting Toolbox of Matlab[J]. Computer Knowledge and Technology, 2010, 6(21):5822—5823.
- [16] 梁忠伟, 叶邦彦, 彭锐涛, 等. 基于灰度直方图拟合曲线的数字图像多阈值分割技术研究[J]. 现代制造工程, 2007(9):103—106.
- LIANG Zhong-wei, YE Bang-yan, PENG Rui-tao, et al. Multi-threshold Dividing Technology of Digital Image Based on Gray Histogram Fitting Curves[J]. Modern Manufacturing Engineering, 2007(9):103—106.

(上接第 114 页)

- [8] 孙刘杰, 庄松林. 双随机相位加密同轴傅里叶全息水印防伪技术[J]. 光学学报, 2007, 27(4):6218—6224.
- SUN Liu-jie, ZHUANG Song-lin. Forgery Prevention Based on In-Line Fourier Holographic Watermark with Double Random Phase Encryption[J]. Acta Optica Sinica, 2007, 27(4):6218—6224.
- [9] 孙刘杰, 庄松林. 双随机相位加密全息标识防伪技术研究[J]. 光学学报, 2007, 27(1):31—34.
- SUN Liu-jie, ZHUANG Song-lin. Anti-fake Technique by Double Random Phase Encrypted Holographic Mark[J]. Acta Optica Sinica, 2007, 27(1):31—34.
- [10] 李国明, 李象霖. 采用 DFT 域嵌入的全息水印方法[J]. 计算机系统应用, 2011, 20(5):42—46.
- LI Guo-ming, LI Xing-lin. Holographic Watermarking Scheme Based on DFT Domain Embedding[J]. Computer Systems & Applications, 2011, 20(5):42—46.
- [11] 刘旺, 姜守达, 孙圣和. 基于三维 DCT 变换的体数据鲁棒数字水印嵌入算法[J]. 电子学报, 2005, 33(12):2174—2177.
- LIU Wang, JIANG Shou-da, SUN Sheng-he. Robust Watermarking for Volume Data Based on 3D-DCT[J]. Acta Electronica Sinica, 2005, 33(12):2174—2177.
- [12] 张小梅, 刘泉. 基于全局几何特征的三维模型数字水印算法[J]. 武汉理工大学学报, 2007, 29(12):123—126.
- ZHANG Xiao-mei, LIU Quan. Geometric Feature Based Digital Watermarking Algorithm for 3D Models[J]. Journal of Wuhan University of Technology, 2007, 29(12):123—126.
- [13] KALIVAS A, TEFAS A, PITAS I. Watermarking of 3D Models Using Principal Component Analysis[C]// Proceedings of IEEE International Conference on Acoustics, Speech, & Signal Processing, 2003:6—10.
- [14] 刘晓宁, 周明全, 耿国华, 等. 三维几何模型综述[J]. 计算机应用与软件, 2007, 24(6):14—17.
- LIU Xiao-ning, ZHOU Ming-quan, GENG Guo-hua, et al. A Summary of Watermarking Three-Dimensional Polygonal Models[J]. Computer Applications and Software, 2007, 24(6):14—17.
- [15] 王索真. 三维模型数字水印典型算法研究与实现[D]. 济南: 山东大学, 2008.
- WANG Suo-zhen. Research and Implementation of Typical Algorithms for 3D Model Watermark[D]. Jinan: Shandong University, 2008.
- [16] 潘志庚, 孙树森, 李黎. 三维模型数字水印综述[J]. 计算机辅助设计与图形学报, 2006, 18(8):1103—1110.
- PAN Zhi-geng, SUN Shu-sen, LI Li. An Overview of 3D Model Watermarking[J]. Journal of Computer-aided Design & Computer Graphics, 2006, 18(8):1103—1110.