

基于图像处理的数字印刷线条质量检测方法研究

孙小鹏¹, 孔玲君^{1,2}

(1. 上海理工大学, 上海 200093; 2. 上海出版印刷高等专科学校, 上海 200093)

摘要: 从 ISO 13660 标准定义的数字印刷品线条质量的客观测量指标出发, 从图像处理的角度, 分析了各个主要质量指标的测量方法。一方面, 按照 ISO 13660 的规定, 使用扫描仪以 600 dpi 获取需要测量的图像, 然后通过 Hough 变换、边缘跟踪、直线拟合等手段对线宽、粗糙度、模糊度等各个指标进行分析计算; 另一方面, 通过函数拟合建立了灰度值与密度值之间的关系, 实现了 ISO 13660 中关于暗度的计算。最终选取 5 组样本, 以验证算法效果, 结果表明该算法能够较好地实现对数字印刷线条质量各个指标的测量计算。

关键词: ISO 13660; 线条质量; 图像处理

中图分类号: TS807 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2013)07-0084-06

Research on Measurement Method of Digital Printed Line Quality Based on Image Processing

SUN Xiao-peng¹, KONG Ling-jun^{1,2}

(1. University of Shanghai for Science and Technology, Shanghai 200093, China; 2. Shanghai Publishing and Printing College, Shanghai 200093, China)

Abstract: According to the objective measurement indexes of digital printed line quality defined in ISO 13660 standard, the measuring method of each main quality indicator was analyzed. On the one hand, the required 600 dpi measuring image was obtained by scanner on the basis of the rules in ISO 13660 standard. Then the indicators such as line width, raggedness, blurriness and so on were analyzed and calculated by means of Hough transform, edge tracing, and lines fitting. On the other hand, the relationship between gray value and density value was established through function fitting, which made the calculation of opacity in ISO 13660 standard come true. At last, the algorithm was tested through selecting five samples. Experimental results showed that the algorithm can better realize the measurement and calculation of each line quality indicator.

Key words: ISO 13660; line quality; image processing

近几年来,数字印刷凭借其自身优势得到了飞速发展,同时人们对于数字印刷质量的要求也越来越高,数字印刷质量的控制、检测与评价也逐渐成为业内关注的重点。ISO/TEC 13660 是首个国际性的图像质量客观评价标准,定义了单色数字印刷品大面积填充区域和文本/线条质量的各个属性,该标准的制定者还明确指明该标准适用于数字印刷^[1]。然而,ISO 13660 本身并不提供各个属性基于图像捕获设备

的测量和计算方法,仅仅只是对各属性进行了定义,如何从图像处理和分析的角度定量地测量文本和线条质量依然需要更多算法的支持。

线条与文本质量的测量和评价历来是印刷领域的难题,传统测量仪器在定量地测量文本和线条质量方面显得无能为力。数字成像和图像质量分析技术的发展为文本和线条质量的定量检查和评价提供了最基本的技术支持,靠传统仪器不能测量的许多质量

收稿日期: 2013-01-08

基金项目: 国家新闻出版总署数字印刷工程研究中心开放基金项目资助

作者简介: 孙小鹏(1991-),男,河南洛阳人,上海理工大学硕士生,主攻数字印刷质量检测与评价。

通讯作者: 孔玲君(1972-),女,浙江温岭人,上海出版印刷高等专科学校副教授、上海理工大学硕士生导师,主要研究方向为数字印刷及其质量评价、色彩再现与图文信息处理等。

指标已变的切实可行,目前,国外已经有公司开发研制了相关的测量系统,比如目前较为常见的专门针对印刷质量检测的 Image Quality 软件以及美国 QEA 公司的 PIASTM-II 图像分析系统^[2]。国内也有许多专家学者提出了一些关于线条质量属性的测量方法以及应用,孔玲君^[3]、姚海根^[4]等人在 ISO 13660 的基础上,提出了基于数字成像设备的数字印刷质量检测与分析技术;金张英等人也曾基于 ISO 13660 对数字印刷线条质量进行过分析和评价^[5]。

笔者旨在运用图像处理的方法来测量计算线条的质量属性,一方面,文本与线条都适合于矢量数据描述,因而有不少共同点,比如输出时由设备的记录精度决定印刷质量,作为逻辑对象时可任意缩放,旋转变换无需插值计算等;另一方面,线条是字符的基本结构成分,大多数字符笔画以线条为主要结构。因此,ISO 13660 将文本和线条质量归并到一起,可理解为只要测量了同一页面内线条的边缘质量,就等同于测量了文本质量,因而本文将讨论线条质量属性的测量计算为主。

1 线条的质量属性及其定义

ISO 13660 定义线条的质量属性有 8 个,分别是模糊度、粗糙度、线条宽度、暗度、填充、对比度、字符域无关斑痕以及字符域模糊背景,各个属性都经过了严格的定义。其中,线宽、粗糙度、模糊度以及暗度这 4 个指标最能体现线条的特性,为评价线条质量提供了重要依据^[6]。将着重讨论这 4 个属性的测量计算方法。

1.1 线宽

线宽是指线条一侧的阈值边缘到另一侧的阈值边缘的平均宽度,按照 ISO 13660 的规定,阈值边缘是由反射率为 R_{60} 的点集构成,其中 R_{60} 按下式进行定义:

$$R_{60} = R_{\max} - 0.6(R_{\max} - R_{\min}) \quad (1)$$

其中: R_{\max} , R_{\min} 分别是承印材料和着色剂的反射系数。ISO 13660 规定测量线宽时沿垂直于图像单元中心线方向,采样频率至少 600 dpi。

1.2 粗糙度

粗糙度是指线条边缘从理想位置产生几何畸变后形成的粗糙外观,必然形成高低不平的锯齿形状或波浪形状,从而偏离了线条理想的平滑边缘以及直线

形态。ISO 13660 规定根据线条阈值边缘拟合成一条直线,该拟合直线到阈值边缘的距离的标准离差作为粗糙度的衡量指标。

1.3 模糊度

模糊度是指复制对象的轮廓呈现朦胧或模糊的外貌,从背景过渡到线条时存在黑色程度可以察觉的渐变;ISO 13660 规定模糊度用边缘内边界和外边界的平均距离来衡量,其中内边界是由反射率为 R_{90} 的点集组成的,外边界是由反射率为 R_{10} 的点集组成的, R_{90} 和 R_{10} 分别按下式定义:

$$R_{90} = R_{\max} - 0.9(R_{\max} - R_{\min}) \quad (2)$$

$$R_{10} = R_{\max} - 0.1(R_{\max} - R_{\min}) \quad (3)$$

1.4 暗度

暗度是指线条类对象内部黑色填充的黑色程度,若非黑色填充,则字符暗度指填充颜色的色调深浅。ISO 13660 规定暗度为反射率为 R_{75} 对应的边缘以内的平均密度,其中:

$$R_{75} = R_{\max} - 0.75(R_{\max} - R_{\min}) \quad (4)$$

2 线条属性的测量与计算方法

算法建立在通过图像设备获取到的数字图像的基础之上,所以在研究算法之前必须通过图像获取设备获得数字图像。以 EPSON 平板扫描仪作为图像获取设备,对一张通过喷墨印刷输出的印刷样张进行扫描,设定扫描分辨率为 600 dpi,获取线条部分的图像见图 1。

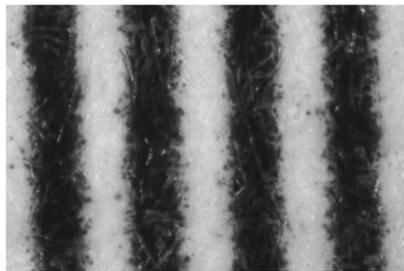


图 1 扫描得到的线条图像

Fig. 1 The line image got by scanning

2.1 倾斜校正处理

通过扫描仪获取图像时无法完全保证图像不出现倾斜,从图 1 可以看出,通过扫描获取的线条存在一定的倾斜,对以后各指标的准确测量存在一定程度上的影响,所以必须对扫描得到的图像进行倾斜校正处理。采用了经典的 Hough 变换理论^[7]对图像进行

倾斜校正处理。Hough 变换是一种从图像空间到正弦函数空间的映射,该理论已经被很多学者研究和论证,并且已经应用于各个领域。Hough 变换所处理的图像是经过处理的二值图像。其基本原理如下。设 $x-y$ 平面内一条直线的方程为:

$$y = ax + b \quad (5)$$

其中: a 表示斜率; b 为截距。(1)式可变为:

$$b = -ax + y \quad (6)$$

为了确保能够检测任意方向和位置的直线,必须解决垂直线的斜率无限大这一问题,所以使用了直线的极坐标形式:

$$\rho = x \cos \theta + y \sin \theta \quad (7)$$

其中: ρ 是原点到直线的距离; θ 是 ρ 与 x 轴的夹角。转换后:直角坐标系中的一个点就对应极坐标中的一条曲线;而直角坐标系中的一条直线在极坐标系中就对应一族有公共交点的曲线。其实质就是把在图像空间中对直线的识别问题转换为在参数空间中对点的检测问题,通过在参数空间里进行简单的累加统计达到检测的目的。如图 2,在图 2b 中所有曲线都交于一点,该点坐标值 (ρ_0, θ_0) 就是所求直线参数。该变换的最大优点是无论直线是否间断,是否存在噪声,都不会影响检测效果。

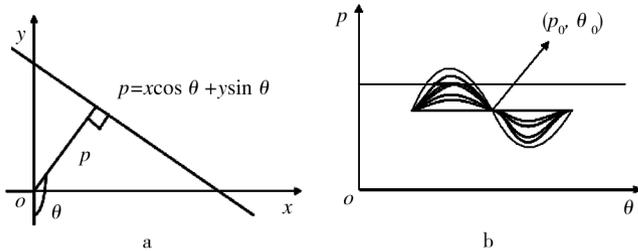


图 2 Hough 变换原理

Fig. 2 Schematic diagram of Hough transform

对原图进行倾斜校正处理前必须先得到图像的倾斜角度,利用 Hough 变换检测扫描图像的边。对于本文的线条图像而言,可以从图像边缘中检测到多条直线,同时可得到这些直线的倾斜角度,取多条直线倾斜角度的平均值作为原图像的倾斜角度进行校正处理。具体实现校正的步骤如下:

1) 对扫描得到的线条图像变成灰度图像,然后利用经典的 Canny 算子进行边缘提取,得到边缘图像,见图 3。

2) 利用 Hough 变换从提取到的边缘图像上检测

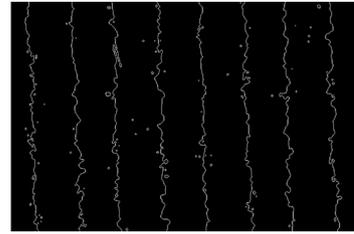


图 3 Canny 算子提取的边缘

Fig. 3 Edge extracted by Canny

直线,并把检测到的多条直线的倾斜角度的平均值作为整幅图像的倾斜角。图 4 中所示的线段就是检测到的直线。

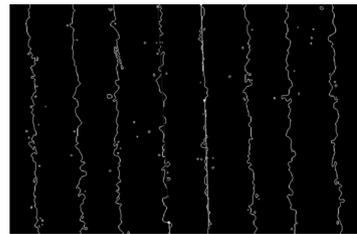


图 4 Hough 变换检测到的直线

Fig. 4 Lines extracted by Hough transform

3) 根据倾斜角度对原图像进行旋转。旋转过程中采用了双线性插值算法。旋转后的图像见图 5。

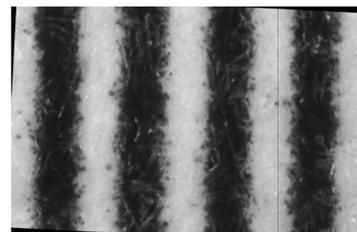


图 5 旋转校正后的图像

Fig. 5 Rotating corrected image

4) 利用交互式裁剪的方法从图像中选取感兴趣的区域,见图 6。

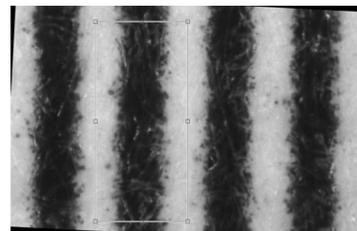


图 6 选取感兴趣的区域

Fig. 6 Selecting the region of interest

2.2 线宽的测量与计算

在完成倾斜校正以后,就可以对各个指标进行测

量计算,此时选取的直线区域可以被近似看作一个矩形。根据 ISO 13660 的定义,线宽被定义为线条的平均宽度,而线条的边缘是由反射率为 R_{60} 的点集构成的,针对这一特殊定义,首先在获取感兴趣区域后进行灰值化处理,见图 7a,然后以 R_{60} 点的像素值为阈值对该灰度图像进行二值化处理,见图 7b,此时图像的边缘可以被认为是完全由 R_{60} 的点集构成。根据矩形面积的计算方法,统计图 7b 中像素值为 0 的点的个数,除以该图的高度,即图像的垂直分辨率,可以得到水平方向上 0 像素值点的平均个数,乘以单个像素的宽度,即可得到线宽。

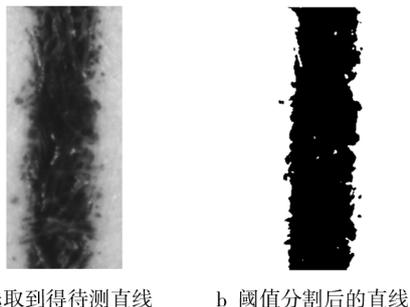


图 7 线宽的测量

Fig. 7 Measurement of line width

2.3 粗糙度的测量与计算

粗糙度的计算前提是得到线条的实际边界以及理想边界。使用边界跟踪和最小二乘法拟合的算法。首先对图 7b 中的二值图像进行边界跟踪处理^[8],边界跟踪的基本原理是根据图像特征,先大步距寻找边缘起始点,再从起始点开始,以小步距递进式寻找各个要素点,最后将这些要素点连成线,以常用的 8 邻域边界跟踪的方法对二值图像进行处理,获取两条边界,这两条边界可以认为是该直线的实际边界。见图 8 中的白色曲线。

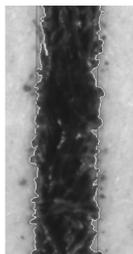


图 8 实际边界以及理想边界

Fig. 8 The actual boundary and ideal boundary

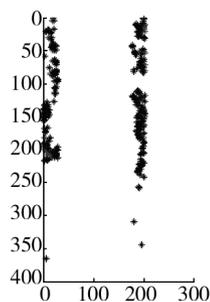
根据粗糙度的定义,需要通过实际边界确定该直线的理想边界,根据最小二乘法的思想^[9],把到一条

实际边界上所有点的距离的平方和最小的那条直线作为其理想边界,分别拟合出 2 条竖直的直线,作为 R_{60} 点集的理想边界,见图 8 中深色直线。由此计算 R_{60} 边界上的点到相应理想边界的距离的平均离差,即可得到粗糙度。

2.4 模糊度的测量与计算

模糊度用边缘内边界和外边界的平均距离来衡量,即 R_{90} 点集边界与 R_{10} 点集边界之间的平均距离。

1) R_{10} 点集边界点的选取:见图 9,图中“*”标出

图 9 R_{10} 边界点Fig. 9 Boundary point of R_{10}

的点就是图像中像素值为 R_{10} 的所有点,由于 R_{10} 点与背景颜色较为接近,点数比较多而且在质量较差的图中分布不均匀,计算模糊度时,只取每行上最接近中心的点,如果在一行上中心线的左右两侧都有点,则该行取 2 个点;如果只有一侧有点,则该行取一个点;如果两侧都没有点,则该行不取点。图 9 中红色的点就是选取用于计算的点。

2) R_{90} 点集边界点的选取方法与 R_{10} 点集边界点的选取方法相似。由于 R_{90} 点与线条内部点的颜色较为接近,点数比较多而且分布不均匀,计算模糊度时,我们只取每行上边缘最外侧的点,即每行上的第一个点和最后一个点。使用拟合理想边界的方法拟合出 2 条竖直的线作为 R_{90} 点的边界。计算 1) 中取到的 R_{10} 点与 2) 中 R_{90} 点拟合成的直线的平均距离,即可得到模糊度。

2.5 暗度的测量与计算

根据暗度的定义,暗度是线条 R_{75} 范围内的像素的平均密度值。与取 R_{90} 的范围的方法一样,先取 R_{75} 点,再根据这些点使用最小二乘法拟合直线,与图像的上下边界构成的矩形区域就是 R_{75} 的区域范围。确定范围后,还必须确定灰度值与密度值之间的关系,通过 21 级灰梯尺的灰度值与密度值的拟合函数确定两者之间的关系,首先以 5% 的网点面积率为步长打

印 21 级的灰梯尺,使用 XRite 530 测量该梯尺每一级的密度值,并在同一台扫描仪下以同样的参数扫描,以获取其灰度值,灰梯尺的扫描图见图 10。使用测



图 10 21 级灰梯尺的扫描图

Fig. 10 Scanned image of 21 level grey

得的密度值以及相应的灰度值通过曲线拟合建立两者的函数关系,密度值与灰度值拟合的函数曲线见图 11。根据灰度值与密度值之间的函数关系, R_{75} 范围

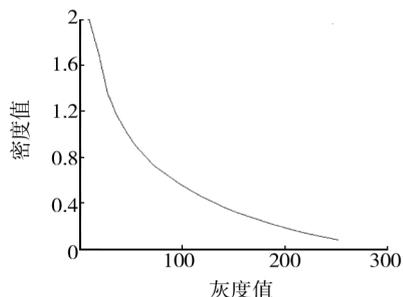


图 11 灰度值与密度值拟合的函数曲线

Fig. 11 The function curve fitted by gray value and density value

内所有像素对应的密度值都可以计算得到,进而计算平均值即可得到暗度值。

3 算法应用实例

将算法应用于实际印刷样张的测量计算中,通过在 5 种不同材质的纸张上输出同样的宽度为 1 mm 的线条图像,得到 5 组有明显质量差别的印刷品,同样使用 EPSON Expression 1680 平板扫描仪,在 600 dpi 分辨率进行扫描,得到如图 12 的 5 个图像。使用本方法测量计算以上 5 组线条的线宽、粗糙度、模糊度以及暗度,测量数据见表 1。

从表 1 中的数据可以看出,使用所提出的方法,可以完成 ISO 13660 规定的线条的客观属性的测量计算。不难看出模糊度在计算过程中存在一定问题,对于质量较差的线条图像,容易出现误差较大的值,有待继续改进。另一方面,排列紧密的同一线宽测量得到的同一质量属性有的会存在不小的差异,究其原因,认为应在于输出设备、油墨、纸张以及加网算法,比如喷墨设备喷墨头排列的不均匀;纸张的不均匀、不平整以及对油墨的吸收性;油墨在边缘的扩展性和

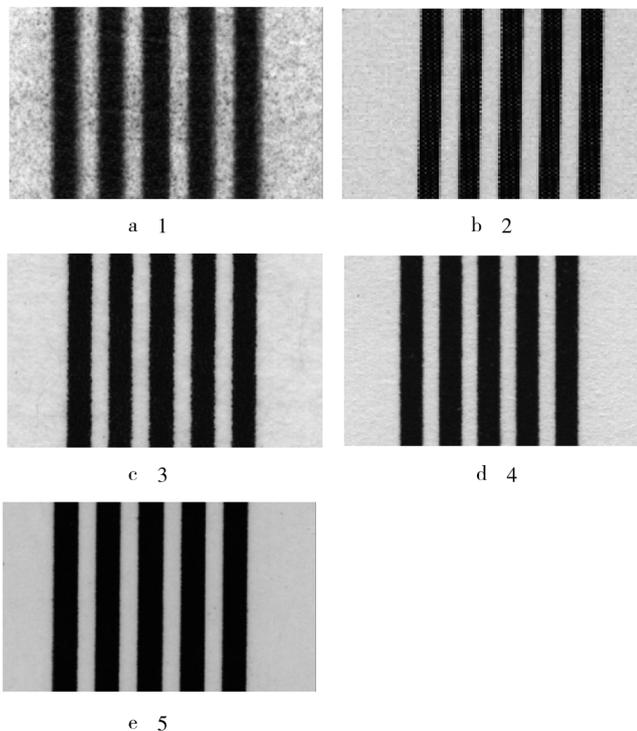


图 12 质量不同的线条图像

Fig. 12 Line images with different quality

表 1 5 组线条的测量数据

Tab. 1 Five groups of line measurement data

编号	线宽	粗糙度	模糊度	暗度
1	1.172	0.023	0.374	0.874
	1.169	0.022	0.3995	0.896
	1.177	0.029	0.381	0.912
	1.17	0.025	0.3905	0.907
	1.164	0.025	0.401	0.889
2	0.985	0.0145	0.176	1.195
	0.938	0.0175	0.189	1.213
	0.986	0.013	0.196	1.185
	0.957	0.0085	0.168	1.22
	0.98	0.0125	0.198	1.21
3	1.121	0.0128	0.24	0.914
	1.125	0.0135	0.2395	0.914
	1.126	0.0135	0.237	0.918
	1.126	0.0129	0.273	0.903
	1.132	0.0135	0.2525	0.909
4	1.118	0.011	0.2165	0.834
	1.122	0.0105	0.209	0.832
	1.156	0.01	0.2055	0.839
	1.121	0.0105	0.2555	0.831
	1.128	0.0105	0.2205	0.830
5	1.103	0.0035	0.179	1.396
	1.097	0.0065	0.163	1.406
	1.173	0.0045	0.169	1.392
	1.1	0.005	0.168	1.398
	1.097	0.007	0.173	1.379

