

# 基于倾斜刃边的印刷清晰度感知质量测评研究

孔玲君<sup>1,2</sup> 刘 真<sup>2</sup> 姜中敏<sup>2</sup>

(<sup>1</sup> 上海出版印刷高等专科学校, 上海 200093  
<sup>2</sup> 上海理工大学出版印刷与艺术设计学院, 上海 200093)

**摘要** 对印刷清晰度视觉感知质量的检测算法及其评价模型进行了研究。通过对印刷清晰度影响因素的分析,设计了一个含倾斜刃边的印刷清晰度测试靶标,提出了一种优化的基于截断频带的印刷清晰度质量指标检测算法;对26个具有不同清晰度效果的数字印刷品开展了清晰度的客观测量和主观评价,基于主客观数据耦合构建了一种新的印刷清晰度感知质量评价模型。另抽取20个数字印刷品进行验证,对印刷清晰度感知质量的预测得分与主观评价得分的相关性进行了分析,结果显示两者间具有很好的一致性,相关系数达到0.9916,说明印刷清晰度感知质量的定量测评方法可行、有效,可解决印刷业长期以来只能依靠人眼进行主观目测评价印刷清晰度的问题。

**关键词** 视觉光学;印刷清晰度;倾斜刃边;视觉感知质量;评价模型

**中图分类号** TN942.1 **文献标识码** A **doi**: 10.3788/AOS201434.0633001

## Study of the Perceptual Quality Evaluation on Print Sharpness Based on Slanted-Edge

Kong Lingjun<sup>1,2</sup> Liu Zhen<sup>2</sup> Jiang Zhongmin<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Shanghai Publishing and Printing College, Shanghai 200093, China

<sup>2</sup> School of Graphic Communication and Art Design, University of Shanghai for Science and Technology, Shanghai 200093, China

**Abstract** The measurement algorithm and evaluation model for the visual perceptual quality of print sharpness are studied. A test target with slanted-edges is designed for print sharpness evaluation based on the factors analysis for print sharpness, and an optimized measurement algorithm for print sharpness quality metric is proposed based on the truncated frequency band. The objective measurement and subjective evaluation experiment are carried out for 26 digital prints with different sharpness effects, and a new evaluation model of perceptual print sharpness quality is established based on the subjective and objective data coupling. Verification tests of 20 other digital prints show that the predicted scale has a good agreement with the subjective evaluation scale, whose correlation index is 0.9916. This agreement proves that the quantitative evaluation method for the perceptual quality of print sharpness is feasible and effective, and can solve the problem for which is only rely on the subjective visual evaluation by human eyes in the printing industry.

**Key words** visual optics; print sharpness; slanted-edge; visual perceptual quality; evaluation model

**OCIS codes** 330.4060; 330.5000; 330.1880; 330.1800; 330.5510

## 1 引言

印刷清晰度是印刷品质量检测和评价的主要内容之一,要求印刷品中的线条、文字或图像的清晰度高。印刷清晰度指的是印刷品图像中阶调边缘上的反差,描述了印刷图像中的细节层次再现效果或轮

廓实度。在整体画面协调的前提下,相邻细部的阶调差别越明显,印刷品的清晰度就越好,则印刷品上能够呈现的细节就越丰富,印刷画面层次的分辨力和印刷品的质量也就越好。但印刷复制系统的输出分辨率、套印精度以及承印物与墨水或墨粉之间的

收稿日期: 2013-12-27; 收到修改稿日期: 2014-01-24

基金项目: 国家自然科学基金(41271446)

作者简介: 孔玲君(1972—),女,博士,副教授,主要从事色彩再现与图文信息处理、数字印刷及其质量评价等方面的研究。E-mail: ljkong@sina.com

相互作用等因素都有可能影响到印刷品的清晰度,造成印刷清晰度降低。印刷业长期以来采用主观目测评价方法,即通过人眼的主观感受给出定性描述或等级评分的方式来评价印刷品的清晰度,但这种方法因评价者的年龄、教育背景、技术素养、评判经验等不同而不同,且存在主观性、不一致性、对评价环境要求高、效率低等问题。因而非常有必要对印刷清晰度的客观定量评价进行研究。

在图像质量评价领域,客观评价研究的主要目的是构建能够自动准确地预测图像视觉感知质量的计算模型,由该算法模型计算得到的测量值能很好地反映人们的主观评价结果<sup>[1]</sup>。对于印刷清晰度评价而言,客观评价研究的主要目的就是创建能够准确预测人眼对印刷品清晰度质量感知效果的评价模型,由此实现智能化的印刷清晰度质量评价。

徐艳芳等<sup>[2]</sup>通过对线条属性的检测来评价印刷文本的清晰度,李小东等<sup>[3]</sup>则根据图像纹理特征开展对印刷图像清晰度的检测。考虑到印刷品在本质上是一种图像,可以借鉴数字成像领域有关数码相机及其图像清晰度等性能检测的研究成果开展印刷清晰度的测评研究。目前对于数码相机清晰度的评测主要是基于倾斜刃边法的调制传递函数测量,用空间频率来描述数码相机的清晰度性能<sup>[4-6]</sup>,也有采用主观质量因子作为数码相机成像质量和数字图像清晰度的质量判据<sup>[7-8]</sup>。孔玲君等<sup>[9]</sup>曾把基于空间频率响应的数码相机清晰度评价方法直接引入到印刷品清晰度检测中,取得了一定的应用效果,但也发现了其中存在的一些问题。

本文基于影响印刷清晰度的相关因素分析,设计了用于印刷清晰度检测的测试靶标,提出了用于客观描述印刷清晰度的质量指标及其检测算法,并结合主观的心理物理学评价实验结果构建了印刷清晰度感知质量与其客观质量指标的耦合关系模型,应用该测评方法和数学模型对实际的数字印刷品进行了清晰度测评,并对结果进行了分析与讨论。

## 2 印刷清晰度测评原理

### 2.1 测试靶标设计与制备

借鉴 ISO 12233 标准<sup>[6]</sup>对数码相机分辨率检测的建议,用于检测印刷清晰度的测试靶标应该是倾斜放置的正方形色块。同时考虑到印刷清晰度除了受到印刷复制系统的输出分辨率的影响外,还与印刷系统的套印精度等因素有关,因此,设计清晰度检测用的含倾斜刃边的正方形测试靶标时不仅需要包

含由印刷原色填充的单个色块,同时还需要有由青、品红、黄三色叠印得到的黑色块。对于某个印刷复制系统而言,由于青、品、黄、黑四个印刷单元的输出分辨率通常相同,因此测试靶标只需包含一个印刷原色块。图 1 为本文设计的印刷清晰度测试靶标,该测试靶标文件采用 CMYK 图像模式描述颜色信息,两个正方形均以图形方式描述,分别沿顺时针和逆时针绕水平方向的倾斜角度均为  $5^\circ$ ,其中左侧正方形是由单色黑填充的实地色块,但也可以是品红色或青色;右侧正方形是由青、品红、黄三色叠印得到的实地黑色块;图中两个正方形的倾斜方向可以改变。

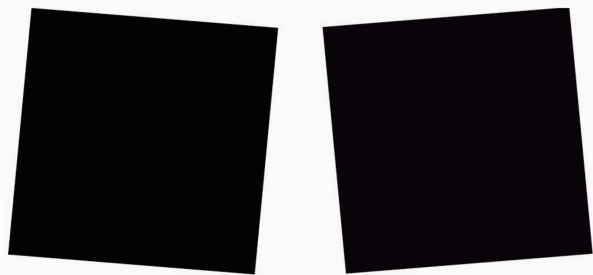


图 1 印刷清晰度测试靶标

Fig. 1 Print sharpness test target

为达到检测与评价印刷清晰度的目的,需要在输出印刷品信息的过程中同时输出图 1 所示的清晰度测试靶标。然后,利用高精度平板扫描仪或数码相机对该印刷测试靶标作数字化处理,获得与该印刷测试靶标对应的 RGB 数字图像,并进一步把 RGB 图像转换为灰度图像,为后续的清晰度检测与评价提供基础依据。

### 2.2 清晰度质量指标计算原理

#### 1) 印刷品空间频率响应计算

根据 ISO 12233 标准提出的倾斜刃边法,依据数字化得到的印刷清晰度测试靶标的灰度图像计算空间频率响应,其具体计算公式如下<sup>[6]</sup>:

$$R_m(f) = \frac{\sum_{k=1}^{4N} \overline{L}_{SF}(k) \exp(-j2\pi fk/4N)}{\sum_{k=1}^{4N} \overline{L}_{SF}(k)}, \quad k = 1, \dots, 4N, \quad (1)$$

$$\overline{L}_{SF}(k) = W(k) \cdot \frac{\overline{E}_{SF}(k) - \overline{E}_{SF}(k-1)}{2}, \quad (2)$$

式中  $R_m(f)$  为检测计算得到的空间频率响应函数(SFR),  $f$  为空间频率,  $k$  为采样点编号,  $N$  为垂直倾斜边缘检测域中的水平像素数,  $\overline{L}_{SF}(k)$  为加窗线扩散函数,  $W(k)$  为窗函数,这里选用汉明窗;  $\overline{E}_{SF}(k)$

为复合的倾斜边缘扩散函数,按 ISO 12233 标准<sup>[6]</sup>中给出的(C.6)式计算获得。

#### 2) 修正数字化输入设备对测量结果的影响

考虑到印刷清晰度测试靶标在数字化过程中会受到输入设备本身所存在空间频率衰减效应的影响而造成测量值的退化,为此需要修正数字化输入设备对测量结果的影响,具体方法为<sup>[10]</sup>

$$R_p(f) = \frac{R_m(f)}{R_{s/c}(f)}, \quad (3)$$

式中  $R_m(f)$  和  $R_{s/c}(f)$  分别代表由印刷清晰度测试靶标测量得到的空间频率响应和高精度平板扫描仪或数码相机的空间频率响应,  $R_p(f)$  表示经过修正计算后得到的印刷品空间频率响应。

#### 3) 人眼视觉系统的滤波处理

由于印刷清晰度的最终评判者是消费者或印刷客户,在印刷清晰度的定量评价研究过程中应考虑到人眼视觉系统对不同空间频率信息的响应特点,需要对上述计算得到的印刷品空间频率响应进行人眼视觉系统滤波处理。人眼视觉系统具有低通滤波的特点,对不同空间频率信息的响应可用对比度敏感函数  $C_{SF}(f)$  加以描述,因此由人眼视觉系统感受到的印刷品空间频率响应  $R_v(f)$  可用(4)式计算获得。

$$R_v(f) = R_p(f) \times C_{SF}(f), \quad (4)$$

$$C_{SF}(f) = 5.05 \exp(-0.138d\pi f/180) \times [1 - \exp(-0.1d\pi f/180)], \quad (5)$$

式中  $C_{SF}(f)$  函数采用(5)式所描述的对比度敏感函数<sup>[11]</sup>,该函数采用周期/毫米(cycle/mm)作为空间频率的度量单位,其中  $d$  代表观察距离。

在研究过程中,选择 250 mm 明视距离作为印刷品质量主观目测时的观察距离,因此计算  $C_{SF}(f)$  时的观察距  $d=250$  mm。

#### 4) 清晰度质量指标计算

在图像清晰度检测领域,Granger<sup>[7,12]</sup> 提出按(6)式计算得到主观质量因子,

$$S_{QF} = K \cdot \int_0^{f_{\max}} M_{TF}(f) C_{SF}(f) d(\log f), \quad (6)$$

$$K = \frac{100}{\int_0^{f_{\max}} C_{SF}(f) df}, \quad (7)$$

式中  $S_{QF}$  为主观质量因子,  $M_{TF}(f)$  为数字成像系统的调制传递函数,  $C_{SF}(f)$  为对比度敏感函数,  $f$  为空间频率,  $f_{\max}$  是  $M_{TF}(f)$  中所包含的最大空间频率

值,  $K$  为归一化参数,由(7)式定义。

基于 Granger 这一理念,优化其算法设计,提出了印刷清晰质量指标。由于图像或印刷品的清晰度质量指标反映的是图像或印刷品中细节再现的情况,印刷品中低频信息即印刷品概貌不属于印刷品清晰度评判的内容,因此在质量指标计算过程中不应该包含描述图像或印刷品概貌的低频信息,这里采用截断频带的方法,剔除空间频率 2 cycle/mm 以下的低频信息。清晰度质量指标由下式计算,

$$S_{\text{sharpness}} = K \cdot \int_2^{f_{\max}} R_v(f) df, \quad (8)$$

式中  $S_{\text{sharpness}}$  为清晰度质量指标,该值的大小反映了印刷清晰度质量的高低,  $f_{\max}$  为  $R_v(f)$  中所包含的最大空间频率值,  $K$  为归一化参数,同样由(7)式定义。

### 2.3 清晰度视觉感知质量得分计算

依据印刷清晰度测试靶标中两个正方形的 8 条倾斜边缘分别计算得到各自的清晰度质量指标,采用计算后的平均结果作为该印刷品的清晰度质量指标。同样,可分别依据水平方向和垂直方向上的 4 条倾斜边缘计算出该印刷品在水平方向和垂直方向上的清晰度质量指标。

此时仍无法直接评判印刷品的清晰度视觉感知质量得分或质量等级。还需要进一步根据清晰度质量评价模型,把印刷清晰度质量指标作为输入参数,计算得到印刷清晰度视觉感知质量的定量描述分值,从而了解人眼对印刷清晰度的视觉感知质量评价结果。其中,印刷清晰度质量评价模型将基于典型的具有不同清晰度感知质量的印刷样本的主观目测评价实验数据和清晰度质量指标检测数据的对应组合,采用数值拟合等算法创建。

## 3 实验与分析

为创建印刷清晰度质量评价模型,需事先准备具有不同清晰度质量等级的印刷样本,通过对各样本中清晰度测试靶标的客观检测,以及对印刷图像清晰度质量的主观目测评价,获得建模所需的主客观质量评价数据,并在此基础上创建印刷清晰度视觉感知质量与客观的清晰度质量指标之间的耦合关系模型。

### 3.1 实验样本制备与质量测评

#### 1) 实验样本输出与选取

选择多种不同类型的数字输出设备,包括不同

品牌及型号的静电成像数字印刷机、喷墨打印机、激光打印机、直接成像数字印刷机等,在双胶纸、铜版纸、普通打印纸、专用喷墨打印纸、艺术纸等多种纸张上输出实验用测试靶标和图像,其中除了包含图 1 所示的单色黑和三色叠印黑清晰度测试靶标外,还有倾斜放置的其他原色填充的正方形、静物照片图像和 ISO 标准人物图像、不同字体的 2 Pt 至 12 Pt 中英文字符。

在印刷输出的 100 多个印刷样本中,有大多数样本具有类似的清晰度效果。大多数印刷样本按数字输出设备的最佳设置输出而具有较好的清晰度,但有些印刷样本因套印不准而导致清晰度较低,也有些印刷样本因输出设备本身的输出分辨率原因而出现清晰度的下降,或者因输出时纸张或其他参数设置有误而导致清晰度下降。此外,为了得到清晰度很差的印刷样本,印刷输出实验过程中故意对测试靶标和图像作了模糊处理,使得输出的印刷样本具有较严重的模糊现象。

考虑到清晰度质量指标测量和主观评价的工作量较大,而选择太多具有类似清晰度质量的印刷样本对实验结果没有实质性的意义,因此在开展主客观测评实验前,从 100 多个样本中选取了 26 个典型样本作为清晰度质量检测、主观评价以及质量评价模型创建的实验对象,另外选取 20 个样本作为模型应用与验证的实验对象。

## 2) 客观清晰度质量指标测量

为了对 26 个印刷样本中测试靶标进行数字化,实验前对多台平板扫描仪的扫描精度、空间均匀性、图像噪声、空间频率响应(SFR)等多项质量性能参数作了检验与标定<sup>[10]</sup>,其中 Epson expression 1680 平板扫描仪能满足本实验研究的基本性能要求。图 2 为该扫描仪以 600 dpi 扫描时的空间频率响应曲线。利用该扫描仪将 26 个印刷样本中倾斜放置的正方形以 600 dpi 的扫描分辨率转换为数字图像。

对 26 个印刷样本中的各个倾斜边缘进行测量计算获得对应的清晰度质量指标值,仔细观察和分析这些测量值后可以发现以下几点:

1) 除黄色块与背景纸张间的反差太小而无法用于清晰度质量指标的计算外,由品红色块、青色块和单色黑色块计算得到的清晰度质量指标测量值基本相当;

2) 同一颜色块沿两个不同方向倾斜(即顺时针旋转  $5^\circ$  和逆时针旋转  $5^\circ$ )时测量得到的结果虽然略有不同,但仍可忽略其差异;

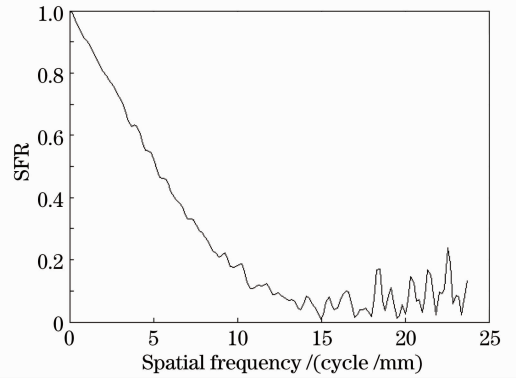


图 2 实验用扫描仪的空间频率响应曲线  
Fig. 2 Spatial frequency response (SFR) curve of the scanner used in the experiment

3) 同一印刷样本上由三色叠印黑得到的测量值与由单色黑得到的测量值之间的差异随输出设备套印精度的不同而变化。套印精度高的印刷样本上获得的这两个测量值相差不大,但套印精度低的印刷样本上测量得到的这两个值之间存在着较大的差异,而且两者的差异随套印不准程度的不同而不同;

4) 由同一个色块的四个测量边缘计算得到的清晰度质量指标值可能会存在微小的差异,尤其是在水平方向和垂直方向上的测量结果可能会有所不同。

由此可见,本文设计的清晰度测试靶标是正确有效的,并且在测量计算中把测试靶标的所有倾斜边缘的测量结果的平均值作为最终的测量结果是必要的。

本文后续研究将只使用每个印刷样本中所包含的如图 1 所示的两个倾斜正方形,依据前文描述的计算原理获得每个印刷样本的清晰度质量指标。在清晰度质量指标计算过程中,分别依据 Granger 提出的(6)式和本文作者提出的(8)式进行计算,最终获得 26 个印刷样本的清晰度质量指标测量结果如表 1 所示。表 1 中的方法 1 和方法 2 分别指根据 Granger 提出的(6)式和本文作者提出的(8)式计算获得的清晰度质量指标测量值。

从表 1 可以看出,实验选取的 26 个印刷样本具有不同的清晰度质量表现,除 1 号和 2 号样本、17 号和 18 号样本的测量值比较接近外,其他印刷样本的清晰度质量指标测量值各不相同,说明采用清晰度质量指标这一客观数据能够描述和反映印刷品的清晰度表现情况。同时,由表 1 可以看出,由两种计算公式获得的清晰度质量指标测量值之间存在着一定的差异,由本文提出的计算公式检测得到的测量值更能反映出各个印刷样本之间的清晰度质量差



异。例如,清晰度极差的 21 号、20 号和 19 号样本与清晰度很好的 17 号和 18 号样本的测量值之间的

表 1 26 个印刷样本的清晰度质量指标测量值

Table 1 Measured sharpness quality metric values of 26 print samples

Print sample No.	Method 1	Method 2	Print sample No.	Method 1	Method 2
1	95.65	90.66	14	90.58	84.59
2	95.15	91.23	15	99.04	95.81
3	71.69	54.74	16	74.27	54.59
4	66.46	49.12	17	100.98	102.59
5	71.34	51.78	18	100.32	99.09
6	87.23	79.63	19	48.09	17.38
7	75.67	60.24	20	30.10	8.18
8	90.73	84.15	21	12.44	2.97
9	84.30	73.22	22	78.97	63.88
10	96.15	94.23	23	57.79	29.37
11	43.07	13.53	24	85.49	73.29
12	70.98	42.45	25	88.25	80.52
13	92.02	86.29	26	69.52	46.45

### 3) 印刷样本的主观评价与数据处理

根据实验设计,对 26 个印刷样本的清晰度视觉感知质量进行主观评价。

主观评价在 cmLite 标准观察箱中进行,该标准观察箱光源选用 D<sub>65</sub> 标准光源,光照度在 1500 lux 左右。参与观察评价的人员为 20 位视力正常的印刷专业学生和教师,其中男女各 10 人。要求每位观察者以 25 cm 左右的距离对每个印刷样本进行观察和评价,并独自根据印刷品中各个区域的清晰度感知效果给出质量分值,主观评价的观察场景如图 3 所示。



图 3 主观评价用的观察场景

Fig. 3 Scene of observation for subjective evaluation

在开展印刷清晰度主观评价前,先对所有评价者进行前期培训,让每位评价人员了解印刷清晰度的评价依据、评分标准和具体评价做法。每个评价者采用排序法对 26 个实验样本依据其清晰度质量感觉进行排序,然后再根据每一个印刷样本中的多个不同区域(见图 4)的清晰度情况分别进行打分。

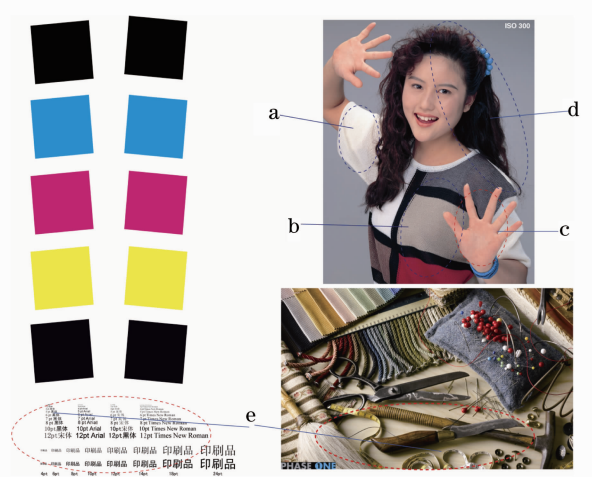


图 4 主观评价的观察区域

Fig. 4 Viewing areas for subjective evaluation

在主观评价过程中,评价者将分别对印刷样本中的白色袖子(图 4 中 a 区域)、胸前毛衣(图 4 中 b 区域)、手掌(图 4 中 c 区域)、头发丝(图 4 中 d 区域)、尺子上的线条和数字以及小号文字(图 4 中 e 区域)的清晰度感觉效果进行评价,按“极差”、“较差”、“合格”、“较好”、“很好”五种等级给出质量分,分别用 1~5 来表示。其中 1 分代表极差,说明模糊不清,无法辨认;2 分代表较差,表示较为模糊,辨认较为吃力;3 分代表合格,说明略有模糊,但仍能接受;4 分代表较好,说明印刷品较为清晰;5 分代表很好,对应印刷品非常清晰,令人满意。

20 位主观评价者对 26 个印刷样本中各区域的清晰度分别做出主观评判后,把 20 个评价者对每个

印刷样本的 5 个不同区域的清晰度质量得分作算术平均处理后的结果作为该评价者对该印刷样本的清晰度质量的主观评价得分。然后,参考电视行业关于图像质量评价的相关标准和有效性判断方法<sup>[13]</sup>,检验每一个印刷样本的评价分值分布是否服从正态分布,并对所有观察者的评价分值进行有效性判断。实验结果表明,所有观察者的评价分值均为有效。

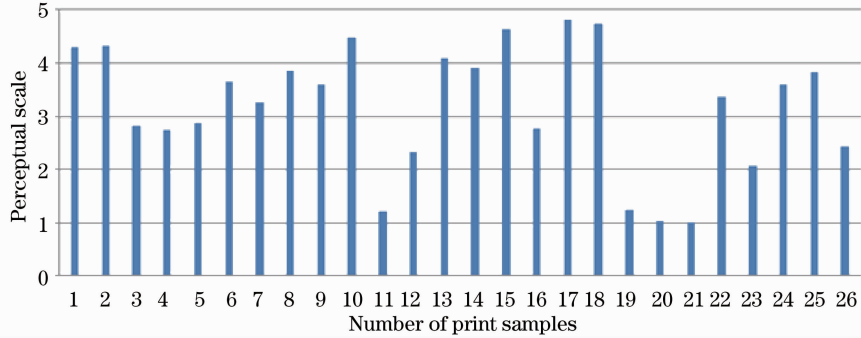


图 5 26 个印刷样本的清晰度视觉感知质量得分

Fig. 5 Visual perceptual scale of sharpness of the 26 print samples

### 3.2 清晰度质量评价模型创建

#### 1) 主客观实验数据对比分析

为了解 26 个印刷样本的清晰度主观评价结论与其客观的清晰度质量指标测量值之间的相互关系,分别组合由两种计算公式获得的清晰度质量指标测量值与其对应的清晰度主观评价分,生成两组印刷品清晰度的客观质量指标值与感知质量分值之间的对应数据集合,然后把这两组数据集合均按主观评价得分的升序进行重新排序,并分析两类数据间的对应关系,如图 6 所示。其中横坐标代表印刷样本的清晰度质量指标测量值,纵坐标表示印刷样本清晰度的主观评价分值;图中的红色“×”点描述了根据(8)式得到的 26 个印刷样本的清晰度质量评价指标与其主观评价得分之间的对应关系,蓝色“◆”点描述了按(6)式计算得到的清晰度质量评价指标与其主观评价得分之间的对应关系。

从图 6 可以发现,由两种计算公式获得的印刷清晰度质量指标与其主观评价得分之间都具有较好的相关性,且根据(8)式得到的清晰度质量评价指标与其主观评价得分之间的相关系数为 0.9953,按(6)式计算得到的清晰度质量评价指标与其主观评价得分之间的相关系数 0.9604,这说明采用本文提出的清晰度质量指标计算公式得到的结果与主观评价结果之间具有更好的一致性。

#### 2) 创建清晰度质量评价模型

从上述主客观实验数据的对比分析可知,本文

把所有评价者给出的评价得分的平均值作为每个印刷样本清晰度视觉感知质量的最终得分,图 5 给出了 26 个印刷样本的清晰度视觉感知质量得分情况。从图 5 可以看出,1 号和 2 号样本,17 号和 18 号样本之间的主观评价得分非常接近,说明这两组样本的清晰度质量相当,这个结论与从表 1 给出的客观测量值获得的结论是一致的。

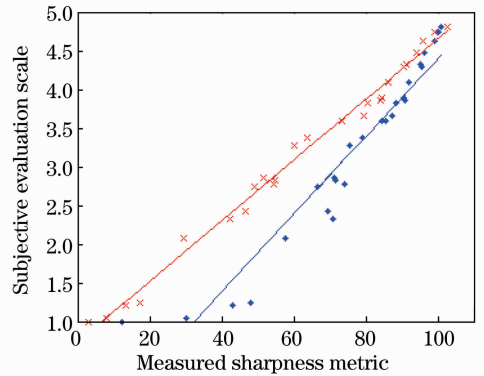


图 6 清晰度主观评价分与客观指标测量值的关系

Fig. 6 Relations between the subjective scale and objective measured metric data

提出的印刷清晰度质量指标计算方法是可行和有效的,能够较好地反映出印刷清晰度视觉感知质量的主观评价结果,因此,可基于该计算方法得到的清晰度质量指标来创建印刷清晰度质量评价模型。

从图 6 可以看出,印刷清晰度的客观质量指标测量值与主观评价分之间具有线性关系,可采用线性拟合算法计算得到印刷品清晰度的视觉感知质量与客观的清晰度质量指标测量值之间的耦合关系表达式,并由此获得印刷清晰度的质量评价模型为

$$S_{\text{subscore}} = 0.0392 \times S_{\text{sharpness}} + 0.7348, \quad (9)$$

式中  $S_{\text{subscore}}$  代表印刷清晰度的视觉感知质量评价得分,  $S_{\text{sharpness}}$  代表客观检测得到的印刷清晰度质量指标测量值,由(8)式计算得到。由此可见,一旦测量获得印刷品的清晰度质量指标,就可根据该评价模

型计算得出印刷清晰度的视觉感知质量评价得分,也可进一步换算得到对应的视觉感知质量评价等级。

### 3.3 应用实验

选取前期实验准备过程中输出的另外 20 个印刷样本,采用上述测评原理和检测方法,得到每一个印刷样本的清晰度质量指标测量结果,然后利用(9)式把每个印刷样本的清晰度质量指标测量值折算得到各个印刷样本的清晰度视觉感知质量评价得分。

为验证印刷清晰度质量客观检测方法及其评价模型的有效性,实验同时对 20 个验证用印刷样本开展了主观评价。主观评价方法仍然采用前文描述的清晰度质量主观评价方法,即要求每个评价人员分别对每个印刷样本中的五个主要区域的清晰度分别进行打分后得到每个人对每个样本清晰度的主观评价分,最后再取 20 个评价者的评价得分的平均值作为各个印刷样本的清晰度视觉感知质量评价得分。

图 7 给出了印刷清晰度质量评价的预测得分与主观评价实验得到的主观评价得分之间的相互关系,两者的相关系数达到 0.9916,均方根误差(RMSE)为 0.1072,平均绝对误差(MAE)为 0.0859,Spearman 等级相关系数(ROCC)为 0.9962,离出率(OR)为 0。这些数据表明本文所创建的清晰度质量评价模型具有较好的预测准确性、单调性和一致性。

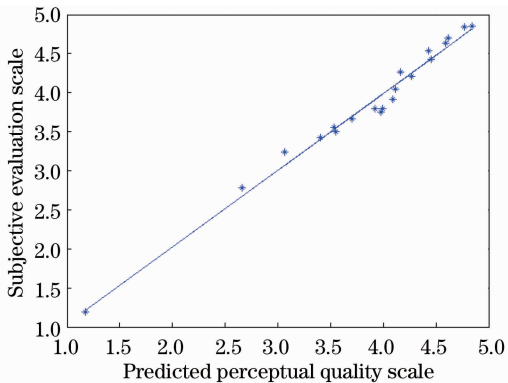


图 7 清晰度主观评价得分与实验预测得分的相关性  
Fig. 7 Correlation between subjective evaluation scale and predicted perceptual quality scale

该实验结果说明,利用本文提出的印刷品清晰度质量检测算法与评价模型得到的清晰度视觉感知质量得分与主观评价得分具有很好的一致性,表明由客观方法得到的印刷清晰度质量的评判结果与人眼的主观目测感觉较为一致,能较好的反映人眼对印刷品清晰度的视觉感受,也表明本文通过实验所建立的印刷清晰度质量评价模型具有较好的计算精

度和实用性。

## 4 结 论

在分析印刷清晰度影响因素的基础上,设计制作了印刷清晰度测评所需的测试靶标。采用基于倾斜刃边的印刷清晰度检测方法,在充分考虑印刷品数字化过程中因输入设备对不同空间频率的衰减影响、人眼视觉系统的观察特点以及印刷品清晰度的细节表现特性的基础上,提出了印刷清晰度质量指标及其检测算法。用 26 个具有不同清晰度特征的印刷样本的客观质量指标检测数据及其主观评价实验数据,创建了印刷清晰度的视觉感知质量评价得分与其清晰度质量指标之间的耦合关系模型。通过实验可以得到以下几点结论:

1) 基于高精度图像捕获设备开展定量的印刷清晰度视觉感知质量评价描述是可行的,为印刷清晰度质量评价提供了新的思路与方法,避免了传统主观评价所固有的繁琐、效率低和不一致性问题;

2) 在实际印刷品的清晰度质量测评中,检测用测试靶标无需太多的测试块,可以只包含单色黑和三色叠印黑的旋转  $5^\circ$  后倾斜放置的正方形色块,不必考虑青色块和品红色块,更不需要在测试图上放置黄色正方形色块,且正方形色块的旋转方向无需规定。该测试靶标不仅考虑到了因输出系统的输出分辨率以及墨水/墨粉与承印材料间的相互作用等因素对印刷清晰度的影响,同时也考虑到了因输出系统套印不准而引起的清晰度质量下降现象;

3) 印刷清晰度质量指标测量值应以单色黑和三色叠印黑色块的测量结果的平均值作为最终的检测结果,且每个色块均以四个倾斜边缘测量值的平均值作为计算依据,必要时可根据水平方向和垂直方向上的倾斜边缘分别获得水平方向和垂直方向上的清晰度质量指标测量值;

4) 基于截断频带的印刷清晰度质量指标检测算法比前人提出的算法能更好地反映印刷清晰度的视觉感知评价结果;

5) 基于实验研究得到的印刷清晰度质量评价模型能较好地描述印刷清晰度的视觉感知评价得分与其客观质量指标测量值之间的关系。在检测获得印刷清晰度质量指标的基础上,根据该质量评价模型可得到印刷品的清晰度在人眼视觉感受中的质量评价结果。实验结果表明该清晰度质量评价模型具有较好的稳定性和有效性。

## 参 考 文 献

- 1 Shaoshu Gao, Weiqi Jin, Lingxue Wang. Quality assessment for visible and infrared color fusion images of typical scenes[J]. Chin Opt Lett, 2012, 10(8): 081101.
- 2 Xu Yanfang, Liu Haoxue, Huang Min, *et al.*. Study on a correlation model for text perceptual distinctness [J]. Acta Optica Sinica, 2012, 32(12): 1233001.  
徐艳芳, 刘浩学, 黄敏, 等. 线条属性对文本感知清晰度的影响模型研究[J]. 光学学报, 2012, 32(12): 1233001.
- 3 Li Xiaodong, Chen Lu, Gong Xiuduan. Research of definition checking algorithm of printing image based on digital image processing [J]. Packaging Engineering, 2009, 30(1): 91-92.  
李小东, 陈路, 龚修端. 基于数字图像处理的印刷品图像清晰度检测算法研究[J]. 包装工程, 2009, 30(1): 91-92.
- 4 Li Tiecheng, Tao Xiaoping, Feng Huajun, *et al.*. Modulation transfer function calculation and image restoration based on slanted edge method [J]. Acta Optica Sinica, 2010, 30(10): 2891-2897.  
李铁成, 陶小平, 冯华君, 等. 基于倾斜刃边法的调制传递函数计算及图像复原[J]. 光学学报, 2010, 30(10): 2891-2897.
- 5 P D Burns, D Williams. Refined slanted-edge measurement for practical camera and scanner testing [C]. IS&T's PICS Conference, 2002. 191-195.
- 6 BS ISO. ISO 12233:2000, Photography. Electronic still picture cameras resolution measurements [S]. 2000.
- 7 Li Zhengjie, Zhou Taogeng, Zhu Tairan, *et al.*. Evaluation method of digital camera image quality based on chinese characters testing chart [J]. Acta Optica Sinica, 2013, 33(1): 0112003.  
李振杰, 周桃庚, 朱泰然, 等. 基于汉字靶板的数码相机像质评测方法 [J]. 光学学报, 2013, 33(1): 0112003.
- 8 D Williams, P D Burns. Measuring and managing digital image sharpening [C]. Proceeding of IS&T Archiving Conference, 2008. 89-93.
- 9 Kong Lingjun, Liu Zhen. Measurement of prints sharpness based on spatial frequency response [J]. Packaging Engineering, 2013, 34(15): 120-125.  
孔玲君, 刘真. 基于空间频率响应的印刷品清晰度检测[J]. 包装工程, 2013, 34(15): 120-125.
- 10 Yao HaiGen, Kong Lingjun, Zheng Liang, *et al.*. Digital Printing Quality Measurement and Assessment [M]. Beijing: Printing Industry Press, 2012. 103-107, 135-136.  
姚海根, 孔玲君, 郑亮, 等. 数字印刷质量检测与评价[M]. 北京: 印刷工业出版社, 2012. 103-107, 135-136.
- 11 N Kaneko, Y Arai. Predicting Graininess Index on Printing Medium When Printing According to Any Ink Quality Set Based on a Graininess Profile: US, 7672016B2 [P]. 2010-03-02.
- 12 E M Granger, K N Cupery. An optical merit function (SQF), which correlates with subjective image judgments [J]. Photographic Science and Engineering, 1972, 16(3): 221-230.
- 13 ITU-R BT. 500-13. Methodology for the subjective assessment of the quality of television pictures[S]. 2012.

栏目编辑: 张浩佳