

线条属性对文本感知清晰度的影响模型研究

徐艳芳 刘浩学 黄 敏 宋月红

(北京印刷学院印刷与包装工程学院, 北京 102600)

摘要 对数字硬拷贝成像 ISO13660 标准的线条客观属性量与其形成文本的感知清晰度的相关性进行了研究。实验针对 6.5 磅和 10.5 磅简单笔划的黑体汉字、Times New Roman 西文字符,以及等价宽度的线条组成的等宽度明暗条纹,进行了清晰度感知质量的主观测评和相应单线条客观质量属性的测量,并建立了两者间的相关模型。结果表明,线条的对比度、粗糙度、相对模糊度及线宽与文字的感知清晰度具有线性相关性,且感知清晰度与线条的对比度正相关,与粗糙度和相对模糊度负相关;对少笔划或多笔划但间距较大的情况,感知清晰度与线宽正相关,反之,负相关。此外,各线属性量对感知清晰度的影响权重相互间至少有 1 倍的差距。

关键词 视觉光学;感知清晰度;线条/文本属性;线性相关

中图分类号 TN942.1 **文献标识码** A **doi**: 10.3788/AOS201232.1233001

Study on a Correlation Model for Text Perceptual Distinctness

Xu Yanfang Liu Haoxue Huang Min Song Yuehong

(School of Printing and Packaging Engineering, Beijing Institute of Graphic Communication, Beijing 102600, China)

Abstract The effect of line attributes, defined by ISO13660 standard for digital hardcopy imaging, on text perceptual distinctness is investigated. For lines with equivalent widths and strokes of Black Type Chinese characters and Times New Roman English letters with 6.5 points and 10.5 points, the line attribute parameters of their hardcopy prints are measured. And evaluations of the psychophysical distinctness on the text with a little strokes and line stripe, are carried out. Then a linear correlation model is built up between them. Experimental results indicate that the text perceptual distinctness can be linearly related to line's contrast, raggedness, relative blurriness and line width, and always positively related to the contrast and negatively related to the raggedness and the relative blurriness. Whereas, in the case of simple strokes or strokes with large distance, there is a positive correlation between the text perceptual distinctness and line width, otherwise, negative correlation. Additionally, there is at least 1 time difference in the influence weight of each line attribute on the text perceptual distinctness.

Key words visual optics; perceptual distinctness; line/text attributes; linear correlation

OCIS codes 330.4060; 330.1880; 330.5000; 330.5020; 330.7326

1 引 言

目前,基于调频加网技术的静电、喷墨等数字硬拷贝成像技术,输出图像的微观质量尚不及传统的模拟印刷。例如,数字硬拷贝成像的线条边缘较为模糊和粗糙,大面积的颜色区域常出现较明显的颗粒感和条道等。

2001 年,国际标准协会(ISO)针对数字硬拷贝输出的质量特点,建立了 ISO13660 国际标准^[1],对

数字方式输出的线条、文本及大面积均匀色的客观质量属性进行了定义。输出线条的质量将直接影响文本字符的清晰度。ISO13660 标准规定了一系列测量黑白打印及数字印刷的客观质量属性指标,为定量而多方面地测量数字硬拷贝成像的质量规定了指导准则。但这些指标如何影响线条和文本的主观感知质量,标准中并没体现,即没有引入视觉影响因素。无疑,视觉上线条笔划及组成文字的感知清晰

收稿日期: 2012-06-05; **收到修改稿日期**: 2012-07-23

基金项目: 国家自然科学基金(61040066)和北京市教委面上科技项目(KM201210015009)资助课题。

作者简介: 徐艳芳(1963—),女,博士,副教授,从事颜色科学、视觉与图像工程和印刷工程等方面的研究。

E-mail: xuyanfang63@163.com

度取决于线条这一基本元素的客观质量属性,但各属性指标对感知清晰度的影响程度不一定相同,有待进一步研究。为此,国际组织已开始着手这方面的工作,起草了 ISO17951 标准,设计将视觉评判要素体现在该标准规则中^[2]。但目前,有关线条和文本的感知清晰度方面的工作尚没有明朗的结果,也没有针对汉字情况的规则内容。

国外已有一些针对 ISO13660 标准指标的测量仪器设备^[3,4]以及利用仪器进行客观指标的测量、分析与与主观感知质量的相关性研究^[5~8]。因感知性能的复杂性和多维性,线条和文本的质量分析仍具挑战性,已有研究也各具一定的条件,仍需大量研究积累数据结果^[7]。国内这方面的工作较少,主要集中在利用仪器进行客观质量属性的研究上^[9~11]。

本文针对两种字号简单笔划的汉字和等间距明暗条纹,进行了客观属性测量和感知清晰度的主观评价,并进一步探求了两者间的相关性。通过建立相关模型,以及模型关联性的分析,阐述了各个客观属性量对感知清晰度的影响程度及特点。

2 硬拷贝输出的线条属性

对于目前的数字硬拷贝输出线条质量,ISO13660 标准中定义了 8 个客观属性量,其中 5 个最为重要,分别为线宽、粗糙度、模糊度、线条暗度和对比度。下面结合实际线条输出结果进行介绍。

图 1(a)为一个喷墨打印机上输出的直线线条高分辨率扫描影像的一段。可清楚地看到,线条的填充来源于众多墨点的聚集,但线条内部不像设计的数字影像那样填充均匀,线条的边缘也不像设计的数字线条那样平直和锐利。实际上,输出形成的线条,在沿垂直线条的方向上,线条边缘区域的反射率总是逐渐变化,没有了设计的突变,线条的边界线

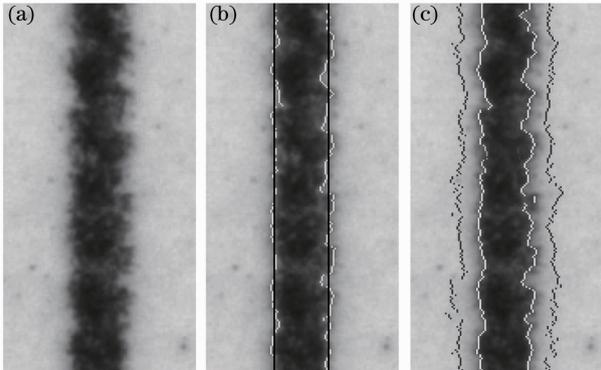


图 1 输出线条的扫描影像

Fig. 1 Scanning image of printed line

也变得凹凸不齐。

据此,ISO13660 标准中首先在垂直线条方向上定义了某些光反射率 ρ 达到特定数值的点,表示为

$$\rho_V = \rho_{\max} - (\rho_{\max} - \rho_{\min})V\%, \quad (1)$$

式中数值 V 在 0~100 间取值, ρ_{\max} 和 ρ_{\min} 为最大和最小反射率,分别对应输出材质和线条内部的光反射率。

进一步,定义 V 为 60 的点为线(轮廓)边界点,满足该条件的点在线条方向上构成的边界线如图 1(b)中左右两个浅色的曲线所示; V 为 90 和 10 的点则分别为线的内边界和外边界点,满足该条件的点在线条方向上构成的边界线分别如图 1(c)中内部两个浅色曲线和外侧两个深色曲线所示。

由此,定义线条的客观属性量为

1) 线宽:直线的平均宽度,如图 1(b)中两个黑色直线为线的左右边界线决定的两个平行的拟合直线间的距离,记为 W ;

2) 粗糙度:线的边界点到线宽拟合线垂直距离的标准偏差,记为 R ;

3) 模糊度:为图 1(c)中线的同侧内、外边界线之间的平均距离,记为 B ;

4) 线条暗度:线的两侧 V 值取 75 的点决定的曲线内的平均密度,记为 D ,定义为 $D = -\lg \rho$;

5) 对比度:记为 C ,定义为

$$C = (\rho_{\max} - \rho_{\min})/\rho_{\max}. \quad (2)$$

3 线条属性对文本感知清晰度的影响模型

为了探讨线条的客观质量属性对其组成文字感知清晰度的影响关系,首先选择了有代表性的字号和字体。10.5 磅(pt)字号(五号)是书籍、杂志等刊物正文文本常用的字号,6.5 pt 字号(小六号)则是药品、化妆品等商品说明书和各种卡制品上的说明性文字常用的字号。黑体是一种笔划宽度较为均匀一致的常用字体,便于与 ISO13660 标准中规定的规则线条的客观质量属性相关联开展实验研究。因此,实验选择 10.5 pt 和 6.5 pt 黑体汉字“工”和“口”、Times New Roman 英文字体的“L T E”以及“口”字横、竖笔划宽度相当的横、竖等间距条纹作为视觉评价对象,并以“口”字横、竖笔划等宽度的单线条属性量作为与上述主观评价内容基本组成元素的客观相关量,进行客观属性与主观感知量关系的研究。图 2 为上述各评价内容所组成图标实际输出的扫描影像。



图2 实验图样(放大到1.5倍)

Fig. 2 Test pattern (showed at 1.5 times)

3.1 实验图样的制备和评价

1) 图样输出和客观属性测量

首先选择一些不同类型的数字输出设备,如激光打印机、喷墨打印机及数字印刷机等,它们分别有各自适用的输出纸张或黑色单色打印或彩色打印,但都具有 600 dpi(dpi 为分辨率单位, dot/inch)或其整数倍的输出分辨率。这样,针对同一宽度的线条数字信息可分配以相同或成整数倍的像素数来表现。

其次,选择设备专用和非专用的各种输出纸张,包括专用的激光打印纸、具有涂层的喷墨打印纸及各种档次的不带涂层的普通打印纸等。不同的纸张表面性能,对墨水或墨粉的吸附性能不同,因而会形成不同的印迹质量;纸张表面的涂层可改善纸张的表面性能,从而提高打印质量。

实验选用不同类型的纸张,并配合设备使用,以期得到较大范围内各种不同印迹质量的实验图样。

针对上述设备的输出分辨率,确定以 600dpi 的数字影像构建输出图标文件,以与输出分辨率相匹配,可避免等间距条纹输出时的二次条纹现象。此时,6.5 pt“口”字的横、竖线条宽度分别相当于 4 pixel(169.3 μm)和 5 pixel(211.7 μm),因此,确定 4 pixel 宽的单个横线条和 5 pixel 宽的单个竖线条作为测量客观属性量的对象;并分别以 4 pixel 和 5 pixel 构建等宽度的横、竖明暗条纹。10.5 pt 字号的情况则分别对应 6 pixel(254 μm)和 7 pixel(296.3 μm)的单一横、竖线条和等宽度的横、竖明暗条纹,如图 2 所示。

实验针对黑色图标,用选用的纸张在不同设备上输出,共形成了 36 个不同的图样。图 2 为其中一个。

对 36 个图样,测量其中 4 个单一线条的客观属性值。对于图案微观信息的测量,现代电荷耦合器件(CCD)数字成像及处理技术具有独特的优势,无论是 CCD 光电转换器件,还是图像处理技术,都有广泛应用^[12~14]。实验采用基于工业 CCD 摄像头和图像处理技术、专门用于印刷品质量检测的商业设备系统 ImageQuality,包括白光光源、高精度(4530dpi)的 CCD 和镜头图像采集器及检测软件,

能够通过捕获的数字影像信息求解出 ISO13660 标准中线条的客观属性值。

测量结果发现,无论哪个属性指标中,都有不少数值相近的样张,会形成不少没必要的数据。因此,去掉在 5 个客观指标中均有可替代数据存在的样张共 20 个,剩余 16 个有效样张,使其共同构成的每个客观指标数值都能覆盖取样范围且分布较为均匀,形成 16 组有效的客观属性指标数据。

实验测试数据量较大,仅以 4 pixel 横线条和 5 pixel 竖线条的宽度测量值为例,给出其线宽的测量结果,如图 3 所示。

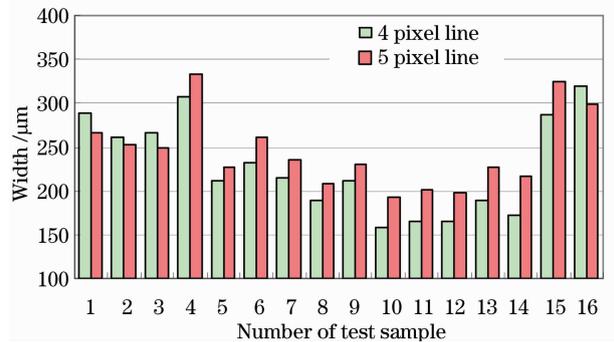


图3 实验图样 4 pixel 和 5 pixel 线条的宽度测量值

Fig. 3 Measured line widths of the 4 pixel and 5 pixel lines

2) 图样的主观评价

根据实验设计,对图样中的文字及等间距明暗条纹进行视觉感知清晰度的主观评价。

对图样的观察评价在一个标准光源观察箱中进行。观察箱能在其内部一定面积区域产生较为均匀的照明,其箱壁为中性灰色,以避免环境杂色的影响;光源为 D65 标准白光,图样表面的光照度在 1500lx 左右。观测时的观察距离为 30 cm,且为了避免图样纸张上周围信息对被观测内容的影响,均将图样上被观测内容之外的部分用中灰色纸张遮挡。实际观测场景如图 4 所示。

实验采用的评价方法为比较法。具体为:针对评价内容,首先将两个任意选择的图样相邻并排放置,利用人眼同时观测两个图样时比较能力非常强的特点,进行优劣判断,择优选出 1 个;然后,针对选



图 4 图样的观测场景

Fig. 4 Scene of observation for sample

出的较优图样与一新图样再进行优劣比较,再择优选出;依次进行,最终选出 16 个图样中的最优。剩余的 15 个图样重复上述过程,再选出最优,成为 16 个图样中的次优。依次重复下去,完成所有图样感知清晰度由优到劣的排序。最后,依照评分标准,完成图样的感知清晰度质量打分。

主观清晰度感知质量评价分值设定为 0~10 分。0~2 分意味着模糊不清,不能接受;3~4 分对应较为模糊,辨认较为吃力;5~6 分则为略微模糊,但可以接受;7~8 分对应着线条或笔划较为清晰,规整;9~10 分则为很清晰、规整,令人满意,在每一分值档次中,根据感觉程度给予具体分值,可给小数。

对图样感知清晰度质量打分的方法和过程是:对照评分规则,首先找出 1 个认为是 6 分左右的图样给与分值;然后,再给最好和最劣的 2 个图样打分;最后,给其他图样打分。由于已对图样进行了优劣排序,所以打分过程中易于做到对好于它的图样进行分值越来越高的打分,对劣于它的图样则进行分值越来越低的打分。此外,对 6 分左右中等分值图样的确定,也能较好地保证这一具有质量“阈值”特征图样的准确定位。

观测者皆为年龄在 22~28 岁间视力正常的年轻人,共 16 人,其中 8 男 8 女。

在众人的主观评价中,可能某些人的评价结果与众人评价的平均结果差异很大,则认为这些个体的评价不具普遍性,其评价结果是不可靠的,因而也不再计入其结果。这种可靠性评估常采用性能因子(PF)分析的方法^[15],个体主观评价的 PF/3 值要至少小于 30,越小越好。该实验中,对所有观测者的评价进行了分析,剔除了 PF/3 因子值大于 20 的评价。最后,以保留下来的评价值的平均值作为最终的主观评价结果。

对选出的 16 个输出图样中如图 2 所示的 6.5 pt 和 10.5 pt 字体,以及 4、5、6、7 pixel 宽等间距条纹分别进行了上述主观评价和数据处理,剔除的主观评价通常在 1~3 个。结果表明,每个评价对象的感知清晰度分值都在 3~9 之间,且具有合理的数值分布。以其中一组评价为例,图 5 为对 6.5 pt 实验文字 16 个图样感知清晰度的评价分值排序后的分布,评价值在一个较大的范围内分布较为均匀,表明实验的采样较为合理和充分。因大小排序后的样品标号不同于图 3 情况,所以图 5 中的横坐标未给出样品的具体编号。

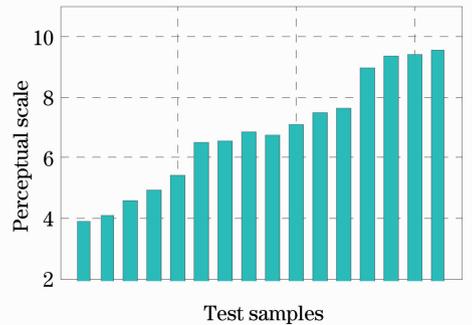


图 5 6.5 pt 实验文字的主观评价分值

Fig. 5 Scores of visual rating for 6.5 pt text

3.2 文本感知清晰度模型及分析

建立由客观属性值预测主观感知质量值的数学模型具有重要的意义。一方面可以利用模型关系,以客观测量值预测主观感知质量;另一方面,可以通过模型关系分析各个客观物理量对主观质量的影响程度。

假定主观感知质量与 5 个客观线条属性量成线性关联。多次的测量结果发现,线条属性量中的对比度与线条暗度间总有很好的线性关系,那么它们在线性组合中的作用是等价的,因此,只保留对比度一个指标。此外,考虑到模糊度对线条边缘变化的作用程度应更加与其占线宽的比重相关,而不是其模糊的线度范围本身,因此,用模糊度与实际线宽的比值(相对模糊度)与感知质量进行线性关联。实验发现, R 常在几到几十微米, B 和 W 则常在 $100 \mu\text{m}$ 以上,考虑到此时 C 、 R 和 B/W 的数值有了相近的数量级,但与 W 的数值相差较大,因此,采用了 $W/100$ 的处理方式,尽量使各个参量有相近的数量级。于是,模型关系式可表示为

$$Q = \alpha_1 C + \alpha_2 R + \alpha_3 B/W + \alpha_4 W/100, \quad (3)$$

式中 Q 为预测的感知清晰度分值, $\alpha_1 \sim \alpha_4$ 为待定的相关系数。

采用最小二乘法,由符合要求的实验图样的主、客观评价进行关系拟合确定(3)式中的关系系数,得到各图样内容的关系模型如下。

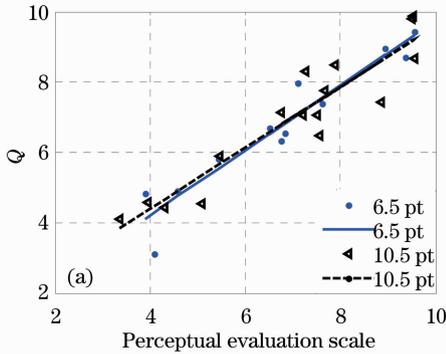
1) 单线条属性对简单文本感知清晰度的预测模型

$$Q_{6.5 \text{ pt}} = 4.89C - 2.64R - 1.94B/W + 3.68W/100, \quad (4)$$

$$Q_{10.5 \text{ pt}} = 12.28C - 3.19R - 4.12B/W + 1.13W/100, \quad (5)$$

式中 $Q_{6.5 \text{ pt}}$ 和 $Q_{10.5 \text{ pt}}$ 的下角标代表字号。

将该模型得到的预测清晰度 Q 值与实际评价分值进行关联,可看到两者间有较好的线性关系,如图 6(a)所示,其线性相关系数分别为 0.95 和 0.94。



2) 单线条属性对等间距条纹感知清晰度的预测模型

$$Q_{4 \text{ pixel}} = 11.57C - 1.29R - 4.26B/W - 0.94W/100, \quad (6)$$

$$Q_{5 \text{ pixel}} = 16.19C - 2.46R - 4.03B/W - 0.38W/100, \quad (7)$$

$$Q_{6 \text{ pixel}} = 18.28C - 3.18R - 5.27B/W - 0.22W/100, \quad (8)$$

$$Q_{7 \text{ pixel}} = 11.38C - 2.66R - 5.90B/W + 1.22W/100, \quad (9)$$

式中 $Q_{4 \text{ pixel}} \sim Q_{7 \text{ pixel}}$ 的下角标代表等间距条纹的线条宽度。

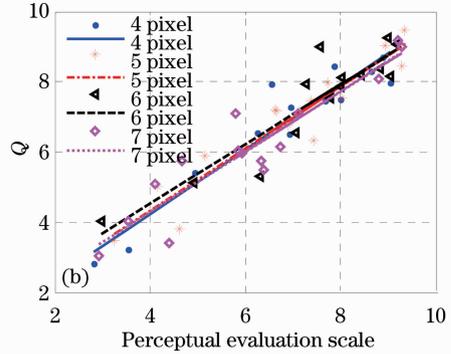


图 6 感知清晰度计算值与主观评价间的关系。(a)文字情况;(b)等间距条纹情况

Fig. 6 Relations between model Q values and perceptual scales. (a) Cases of texts; (b) cases of equidistant stripes

同样,将该模型得到的预测清晰度 Q 与实际评价分值进行关联,两者间亦具有较好的线性关系,如图 6(b)所示,其线性相关系数分别为 0.95、0.94、0.92 和 0.93。

分析上述模型可知,首先,模型均表现为感知清晰度质量与线条的对比度成正相关,与粗糙度及模糊度与线宽的比值成负相关。因此,提高线条的明暗对比度有助于提高文本的感知清晰度;而降低线条的粗糙度和模糊度有助于感知清晰度的提高。

其次,在简单字体和 7 pixel 宽等间距条纹的情况,感知清晰度与单线条的宽度成正相关,即线条宽度的加宽有助于提高简单文字或条纹图案的感知清晰度;但在 4、5、6 pixel 宽等间距条纹的情况,二者成负相关,即单线条宽度的增加会减弱条纹图案的感知清晰度。

合理的解释是,在被评价内容中,若线条间的间距较大,如简单字体和 7 pixel 宽的线条间距,在目前的数字输出情况下,尚有一定的空隙供线条宽度增加以提高人眼的视觉感知强度。如同对于孤立的

线条,线条越宽越感觉清晰一样。简单字体中这一结果是很容易验证的,如相同字号的情况,Times New Roman 字体的字符就较 MingliU 字体的清晰,因前者的笔划线条较后者宽。只是这里的结果给出,当线条间距为 7 pixel (296.3 μm) 宽时,这一结论仍成立。其实,以往的初步研究就表明,尽管不同宽度的线条都设计为相同的暗度,但数字成像输出的结果都表现为线条输出宽度越宽其密度及对比度就越大^[16]。因此,输出宽度的增加实质上提高了线条的对比度,更加有助于提高感知清晰度。

7 pixel (296.3 μm) 宽的等间距明暗条纹的情况,可看作一种多笔划的复杂字体情况,在汉字中是常见的,比如“情”等。因此,这里的结果指出,当字体由简单到一定的复杂程度时,实际输出线宽的增加对提高文字的感知清晰度是有益的。但是,当笔划的间距再小时,如实验中的 6 pixel (254 μm) 及以下的间距,笔划线条的宽度增加会因其模糊程度的作用而有相互搭接的趋势,从而会降低笔划与背景的对比度而降低文字的感知清晰度,另外,这时人眼

视觉分辨率的降低也会加重这一趋势。其他实验中^[17],对黑色 10.5 pt 的“龍”字进行的清晰度感知特性研究也属于这种情况。

文献[6]针对边缘设计为单一频率正弦波规律变化、具有波纹状和团块结构状的线条感知特性进行了研究,只考虑了边缘粗糙和波纹幅度的影响,没有宽度、模糊度等性能的变化及影响,但相关模型中得到的线条感知质量与其粗糙度成反比的结论与这里的结论是一致的。文献[7,8]分别针对 12 pt 的 Arial 字体和 10 pt 的 Times New Roman 字体英文字符进行了感知质量模型研究。前者只计量了对比度、线宽和模糊度 3 个线属性指标,粗糙度参量因样品测试的结果认为与模糊度线性相关而没有考虑。后者则使用了一些不同于 ISO13660 标准定义的属性指标,相同的参量只有线条的对比度。这两个文献中采用的客观属性参量或参量的计算方法与这里的工作不同。但可以从中借鉴的是,两个文献工作的感知清晰度线性模型中也表现出感知清晰度与

线条的对比度正相关。但对于线条宽度,二者的结果也不相同,可能与字体、笔划本身设计宽度的不同有关。这里的结果,不同字号情况下,感知清晰度与线宽正、负不同的相关性也说明了这点。

最后,由(4)~(9)式可看出,不同的字号、条纹宽度情况下,模型中各参量的系数值并不固定,可能是不同情况下各个客观参量对文字或图案整体感知清晰度的贡献本质上就不相同的结果。

(4)~(9)式中各变量系数虽不固定,但大小变化却显示出些规律,应该反映出各参量作用程度的变化特性。为此,将模型表示为

$$Q = A_1 + A_2 + A_3 + A_4 = \sum_{i=1}^4 A_i, \quad (10)$$

由 $A_i/\max(A_1, A_2, A_3, A_4) = \eta_i (i = 1, 2, 3, 4)$ 来分析各个属性量的相对作用程度, η 为相对权重。由实验数据的平均结果得到图 7 所示的结果。 η 的正值表示正相关,负值则表示负相关。

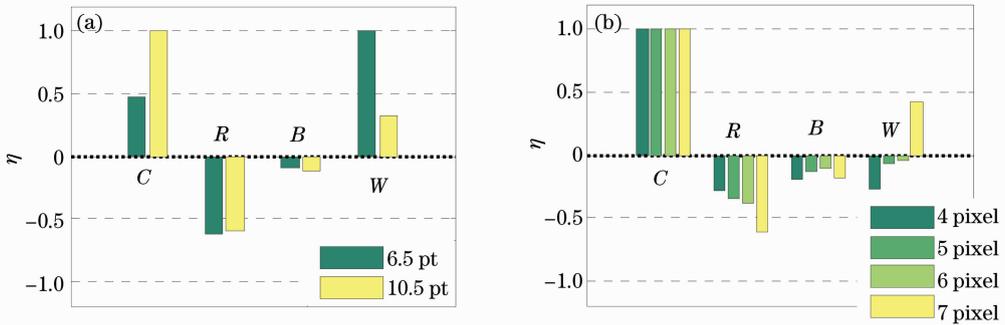


图 7 线属性量对感知清晰度的相对影响权重。(a)文本情况;(b)等间距条纹情况

Fig. 7 Relative weight factors of attribute values for perceptual distinctness. (a) Case of text; (b) case of equidistant stripes

分析和比较图 7(a)和图 7(b),首先仅从 η 的大小看,只有 6.5 pt 简单字体的情况,线宽的作用权重最大(即 $\eta_i = 1$),其他情况均是对比度最大。这表明,只有设计线宽小到一定程度(如 4 pixel 宽)、而笔划线条间又有足够的空间时,增加线宽才是提高文字感知清晰度的最有效途径。其他情况下对比度的提高才是提高文字感知清晰度的最有利方式。

其次,在少笔划的简单字体情况,模糊度的作用权重都相对最小,只有 10%左右,较其他属性量的作用权重小很多,最多只占其他权重的 1/3。在等间距条纹代表的多笔划复杂字体情况下,模糊度的作用虽有所增大,但也相对较小。在对 100 μm 黑色宽等间距条纹的清晰度评价分析中^[18],同样有模糊度的作用相对最小的结论。

另外,粗糙度所起的作用总是第二位的,且与感知质量负相关。因此,任何情况下,降低线条笔划的边缘粗糙度是一个提高文字感知清晰度的有效手段。

最后单独分析线宽。文字笔划越少、字号越小(设计宽度随之变小),其作用权重就越大,且笔划越宽越有利;反之,则在一定范围内随文字笔划增多、字号增大,其作用权重越来越小,且笔划越宽越不利。线宽作用的这种复杂性,在笔划丰富、形态各异的汉字中表现最为充分。或许根据笔划的多少动态地设计笔划宽度会成为改进输出文本质量的一项有效措施。

4 结 论

实验通过对黑色的 6.5 pt 和 10.5 pt 的黑体简

单笔划汉字、Times New Roman 英文字符和其等价宽度的 4、5、6 和 7 pixel 宽明暗条纹输出图像感知清晰度的主、客观评价研究,建立了不同字体、字号情况下主观清晰度感知质量与线条笔划的客观属性之间的关联关系。可概括为:

1) 文字的感知清晰度质量与组成文字的线条笔划的对比度、粗糙度、相对模糊度以及线宽四个客观属性量成线性关系;

2) 任何情况下,文字的感知清晰度总与组成线条笔划的对比度正相关,而与粗糙度和模糊度负相关,即增大对比度、降低粗糙度和模糊度有助于提高人眼视觉的感知清晰度。粗糙度的作用在各属性量中几乎总处于第二重要的地位,但其作用权重较首要因素的至少小一半,而较模糊度的作用权重又至少大 1 倍;

3) 在 6.5pt 这样的小字号、少笔划文字情况,线宽成为影响文字感知清晰度的第一要素;而在大字号或多笔划文字的情况,线条笔划与背景的对比度为第一影响要素,且其作用权重较第二影响粗糙度权重至少大 1 倍;

4) 对于文字中线条笔划宽度的作用,从少笔划的简单文字到多笔划的复杂文字,其与感知清晰度从正相关变化为负相关,作用程度由最大到最小。文字笔划越少、字号越小,其作用权重就越大,笔划越宽越有利;反之,在一定范围内文字笔划增多、字号增大,其作用权重则越来越小,且笔划越宽越容易在多笔划情况出现搭接而影响整体字体的清晰度。

可以明确的是,提高对比度、减小粗糙度和模糊度,总是改善和提高文本输出感知清晰度的有利措施;宽度的作用则依字号和笔划多少而利害不同,针对不同的字号和笔划复杂度,可设计不同的宽度以满足文本视觉清晰度的需要。

参 考 文 献

- 1 International Organization for Standardization. ISO/TEC13660: 2001 Information Technology-Office Equipment-Measurement of Image Quality Attributes for Hardcopy Output-Binary Monochrome Text and Graphic Images[S]. 2001-09-01
- 2 Yao Haigen. ISO17951 standard development process [J]. *Printing Quality & Standardization*, 2010, (4): 61~64
姚海根. ISO17951 标准的开发进程[J]. *印刷质量与标准化*, 2010, (4): 61~64
- 3 Quality Engineering Associates, Inc.. Image Quality Analysis [OL]. http://www.qea.com/products-image_quality_analysis.htm, 2012-08-23
- 4 M. K. Tse, E. Hong, D. Forrest. A second-generation portable instrument for DOI (distinctness of image) measurement [C]. Louisville: 25th International Conference on Digital Printing Technologies and Digital Fabrication, 2009. 744~747

- 5 J. Oliver, J. Chen. Use of signature analysis to discriminate digital printing technologies [C]. California: 2002 International Conference on Digital Printing Technologies, San Diego, 2002. 218~222
- 6 W. C. Wu, E. N. Dalal. Perception-based line quality measurement [C]. San Jose: IS&T/SPIE 17th Annual Symposium: Electronic Imaging Science and Technology, 2005. 111~222
- 7 M. K. Tse. A predictive model for text quality analysis: case study [C]. Alaska: 22th International Conference on Digital Printing Technologies and Digital Fabrication 2007, Anchorage, 2007. 419~423
- 8 S. K. Jang, C. W. Kim, Y. Bang. An evaluation model for character quality on scanned image [C]. Pittsburgh: 24th International Conference on Digital Printing Technologies and Digital Fabrication, 2008. 417~420
- 9 Yao Haigen. Proposed test regulation to edge quality of lines[J]. *China Printing and Packaging Study*, 2011, 3(5): 28~33
姚海根. 线条边缘质量建议测量规程[J]. *中国印刷与包装研究*, 2011, 3(5): 28~33
- 10 Kong Lingjun, Liu Zhen, Jiang Zhongmin. CCD-based digital print quality measurement and analysis techniques[J]. *Packaging Engineering*, 2010, 31(3): 92~95
孔玲君, 刘真, 姜中敏. 基于 CCD 的数字印刷质量检测与分析技术[J]. *包装工程*, 2010, 31(3): 92~95
- 11 Liu Zhen, Hong Jian, Li Shenghui. Evaluation of quality for ink-jet printing based on capturing measurement and control elements by CCD[J]. *China Printing and Packaging Study*, 2010, (S1): 208~212
刘真, 洪剑, 李胜辉. 基于 CCD 获取测控元素评价喷墨打印质量[J]. *中国印刷与包装研究*, 2010, (S1): 208~212
- 12 Song Zongxi, Zhao Baochang, Gao Wei et al.. Focal plane design of Chang'e-1 satellite CCD stereo-camera and laboratory radiation calibration[J]. *Acta Optica Sinica*, 2010, 30(12): 3508~3504
宋宗玺, 赵葆常, 高伟等. 嫦娥一号卫星 CCD 立体相机焦平面设计及辐射定标[J]. *光学学报*, 2010, 30(12): 3508~3504
- 13 Li Kexin, Zhang Wei, Cong Mingyu et al.. A streak detection algorithm of space target in deep space background [J]. *Acta Optica Sinica*, 2010, 30(2): 445~450
李克新, 张伟, 丛明煜等. 一种深空背景空间小目标条痕检测算法[J]. *光学学报*, 2010, 30(2): 445~450
- 14 Wang Qinghua, Lu Rongsheng, Yang Lei et al.. Grinding surface roughness measurement based on the spatial filtering of speckle pattern texture [J]. *Acta Optica Sinica*, 2010, 30(8): 2324~2328
汪庆花, 卢荣胜, 杨蕾等. 基于散斑图纹理空域滤波的磨削表面粗糙度测量[J]. *光学学报*, 2010, 30(8): 2324~2328
- 15 J. H. Xin, C. C. Lam, M. R. Luo. Investigation of parametric effects using medium colour-difference pairs [J]. *Color Research and Application*, 2001, 26(5): 376~383
- 16 Nan Lin, Xu Yanfang. A study on line's quality of Océ monochrome digital prints [J]. *Information Recording Material*, 2011, 12(2): 12~15
南林, 徐艳芳. 奥西黑白数字印刷机线条印刷质量的分析[J]. *信息记录材料*, 2011, 12(2): 12~15
- 17 Xu Yanfang, Nan Lin. Study on a model for perceived text definition of multi-stroke Chinese character [C]. Shenzhen: ICAMMM 2011, 2011. 1802~1805
- 18 Jiang Guiping, Xu Yanfang. Research on a method for evaluating the line sharpness in digital printings [C]. Beijing: 2010 China Academic Conference on Printing and Packaging (CACPP), 2010. 223~226