

doi:10.3969/j.issn.1674-7100.2016.04.007

# 一种基于NIQE的印刷图像无参考质量评价方法

邵雪, 曾台英, 汪祖辉

(上海理工大学 出版印刷与艺术设计学院, 上海 200093)

**摘要:** 客观评价印刷图像质量的方法未能与主观评价达到很好的一致性, 印刷图像全参考质量评价方法过于依赖参考图像, 不能较好地应用在实时印刷图像质量检测系统中。因此, 提出一种不需要参考图像主观评价分数的NIQE质量评价模型, 并将其应用在印刷图像质量的客观评价中, 结合主观实验, 对印刷图像质量加以整体评价。NIQE算法与主观评价的相关性分析结果表明, 皮尔逊相关系数为0.910 1, 斯皮尔曼秩相关系数为0.946 1, 平均绝对值误差为0.016 0; 相较于MSE、PSNR、SSIM和MS-SSIM 4种全参考评价算法以及无参考评价算法BIQI, NIQE算法表现出更好的预测稳定性、单调性和一致性。因此可得, NIQE算法与人眼主观质量评价有着更好的一致性, 更接近人类视觉系统, 能够有效地进行实时印刷图像质量评价。

**关键词:** 印刷图像质量; 人类视觉系统; NIQE; 主观评价

中图分类号: TP391.9

文献标志码: A

文章编号: 1674-7100(2016)04-0035-05

## No-Reference Quality Assessment Method for Printed Image Based on NIQE

SHAO Xue, ZENG Taiying, WANG Zuhui

(College of Communication and Art Design, Shanghai University of Science and Technology, Shanghai 200093, China)

**Abstract :** The objective evaluation method of printing image quality has not achieved good agreement with the subjective evaluation, and the reference image quality assessment method was too dependent on the reference image, which could not be used in real-time printing image quality detection system. A quality evaluation model NIQE which could do without a subjective evaluation score was proposed and applied in objective evaluation of the printed image quality to evaluate the overall quality with the combination of subjective experiments. NIQE algorithm's results on a subjective evaluation of the correlation analysis showed the CC value being 0.910 1, the SROCC value 0.946 1, the MAE value 0.016 0, compared to the four full reference algorithms MSE, PSNR, SSIM and MS-SSIM and a no-reference evaluation algorithm BIQI, the NIQE algorithm performed better in stability, monotony and consistency. Therefore, NIQE algorithm subjective quality evaluation of the human eye had a better consistency, closer to the human visual system and could effectively evaluate the real time quality of the printed image.

**Key words:** printing image quality; human visual system; NIQE; subjective evaluation

## 1 研究背景

印刷图像的质量评价研究是指用一定的数据和

指标控制产品质量误差的允许范围和质量衰退, 保证图像复制的可重复性和质量稳定性, 是印刷工业领域中至关重要的一个环节<sup>[1]</sup>。目前, 评价印刷图像

收稿日期: 2016-03-07

基金项目: 新闻出版总署数字印刷工程研究中心数字传播重点实验室基金资助项目 (No.10-00-309-000)

作者简介: 邵雪 (1994-), 女, 河南商丘人, 上海理工大学硕士生, 主要研究方向为图像质量评价,

E-mail: shaoxue85115@126.com

质量的方法主要有主观评价方法、客观评价方法及主客观结合的综合评价方法3种。其中,主观评价方法能够反映观察者对图像的感受,但是其自身的问题制约了它的应用领域<sup>[2]</sup>。客观评价方法是利用某些检测方法,对印刷品的各个质量特性进行检测,并用数值表示,其本质是用恰当的物理量对图像质量进行量化描述,为有效控制和管理印刷质量提供依据<sup>[3]</sup>。现有的客观评价方法无法直接得到图像的质量数据,不能用准确的数学模型表达。应用在数字图像质量评价方面的客观评价方法,比如均方根误差(mean squared error, MSE)和峰值信噪比(peak signal to noise ratio, PSNR),其数学模型简单,但结果有时与主观评价的一致性不好;如文献[4]将结构相似度(structural similarity index, SSIM)应用在印刷图像质量评价中,取得了一定的效果,但该方法过于依赖参考图像,最终导致评价结果与主观评价不太一致,影响了评价的准确性,不能够应用在实时系统中。而主客观结合的综合评价方法结合了人眼的主观视觉评价,与人眼视觉系统达到更好的一致性,评价更为准确。

由于现实中无法获取完全不失真图像作为参考图像,而无参考图像质量评价(natural image quality evaluator, NIQE)<sup>[5-6]</sup>方法不依赖原始无失真图像的信息,因此应用前景广阔,可以作为印刷图像质量评价的一种方法。基于此,本文提出基于NIQE的印刷图像质量评价方法,该方法不需要图像的主观评价分数,而是利用人眼对图像中对比度较高区域更敏感的特征,在计算过程中选取图像中的显著区域建立多元高斯特征模型<sup>[6]</sup>,构造图像质量评价算法,从而评价印刷图像的质量。该算法的复杂度较低,并且符合人类的视觉系统,与主观评价具有很好的一致性。

## 2 NIQE 质量评价模型

NIQE 质量评价模型不需要原始图像的主观评价分数,其在原始图像库中提取图像特征,再利用多元高斯(multivariate Gaussian, MVG)模型进行建模<sup>[6]</sup>。

### 2.1 图像像素归一化

通过分离归一化方法<sup>[7]</sup>计算一幅图像的归一化亮度。假设亮度图像为 $I(i, j)$ ,则其分离归一化计算公式如下:

$$\hat{I}(i, j) = \frac{I(i, j) - \mu(i, j)}{\sigma(i, j) + C}, \quad (1)$$

$$\sigma(i, j) = \sqrt{\sum \sum w_{k,l} (I_{k,l}(i, j) - \mu(i, j))^2}, \quad (2)$$

$$\mu(i, j) = \sum \sum w_{k,l} I_{k,l} \circ \quad (3)$$

以上各式中:

$i$ 和 $j$ 为空域系数,且 $i \in 1, 2, \dots, M$ ,  $j \in 1, 2, \dots, N$ ,

其中 $M$ 和 $N$ 分别为图像的高度和宽度;

$C$ 为常数;

$w$ 为圆形对称的高斯权重函数,且

$$w = \{w_{k,l} | k = -3, -2, \dots, 3, l = -3, -2, \dots, 3\}。$$

### 2.2 显著图像块的特征提取

1) 将图像分为 $P \times P$ 尺寸的图像块,计算图像块 $b$ 局部的平均方差<sup>[6]</sup>:

$$\sigma(b) = \sum \sum_{(i,j) \in b} \sigma(i, j)。 \quad (4)$$

式中 $\sigma$ 为局部图像块的平均方差。

选取 $\sigma > T$ 的图像块作为特征显著图像块, $T$ 取最大局部方差的0.6~0.9倍。

2) 对特征显著图像块的归一化系数利用广义高斯分布模型(generalized Gaussian distribution, GGD)进行拟合,采用快速匹配法<sup>[8]</sup>估计归一化后的广义高斯分布参数( $a, \sigma^2$ )。

3) 对4个相邻系数乘积用非对称广义高斯分布模型(asymmetric generalized Gaussian distribution, AGGD)<sup>[9]</sup>进行拟合,然后采用快速匹配法得到16个相邻系数参数。在两个尺度下提取图像统计特征,一共有 $(2+16) \times 2 = 36$ 个特征。

### 2.3 图像质量计算

首先,将提取的36个特征采用拟合MVG模型计算参数 $\nu$ 和 $\Sigma$ ,其中 $\nu$ 为均值, $\Sigma$ 为方差矩阵。MVG模型的公式如下:

$$f_x(\mathbf{x}_1, \mathbf{x}_2, \dots, \mathbf{x}_k) = \frac{1}{(2\pi)^{k/2} |\Sigma|^{1/2}} \exp\left(-\frac{1}{2}(\mathbf{x} - \nu)^T \Sigma^{-1}(\mathbf{x} - \nu)\right)。 \quad (5)$$

式中: $(\mathbf{x}_1, \mathbf{x}_2, \dots, \mathbf{x}_k)$ 是提取的图像特征, $\nu$ 和 $\Sigma$ 可利用最大似然估计法得到。

其次,提取失真图像统计特征,进行MVG模型拟合得到 $(\nu', \Sigma')$ ,通过计算失真图像与自然图像拟合参数之间的距离来衡量图像质量,具体的计算公式如下:

$$D(\nu_1, \nu_2, \Sigma_1, \Sigma_2) = \sqrt{(\nu_1 - \nu_2)^T \left( \frac{\Sigma_1 + \Sigma_2}{2} \right)^{-1} (\nu_1 - \nu_2)}。 \quad (6)$$

式中: $\nu_1, \nu_2, \Sigma_1, \Sigma_2$ 分别为自然图像和失真图像的MVG模型均值和方差矩阵,这些参数的值越大,表明图像的质量越好。

### 3 实验结果与分析

#### 3.1 主观实验评价

##### 3.1.1 实验图像选择

本实验选择 ISO 标准测试图像中 8 幅具有明显特征的图像作为参考图像,各缩略图见图 1。



图 1 选用的标准图像缩略图

Fig. 1 Standard image thumbnails

选用各图像的特征说明如下<sup>[10-11]</sup>:

a 图像中,金属和玻璃用于考察图像的光泽及透明感,灰色背景考察图像的灰平衡。

b 图像中,玻璃杯和陶瓷器皿用于考察图像的高光和暗调的再现和两者的质感,花考察图像的颜色再现及颜色是否浑浊。

c 图像中,水果、蔬菜和餐巾用于考察图像的颜色再现,大蒜的亮调考察图像的阶调再现性。

d 图像中,不同肤色的人考察不同肤色的再现,背景考察图像的灰平衡。

e 图像中,人物考察不同肤色的再现,人物穿的

亮灰或中灰色 T 恤衫考察图像的中性灰平衡。

f 图像中,浅色的墙壁、织物和桌布考察输出设备再现的平滑性;车轮、球拍以及背面墙壁上的线条检查图像系统再现的影响,观察是否产生锯齿纹,考察套印精度。

g 图像中,蓝天、白云、房屋、树木、栅栏考察自然图像的颜色再现。

h 图像中,香蕉、苹果、葡萄等水果的记忆色适合于颜色再现过程的自然性评估。

##### 3.1.2 实验图像输出

采用 Epson Stylus Pro 7910 设备打印,承印材料为 170 g/m<sup>2</sup> 的高级半光面相片纸,打印输出之前对打印设备做严格的色彩管理。

##### 3.1.3 主观评价

选择 10 位视觉正常的研究生(6 男 4 女,平均年龄 23 岁)作为本实验的观察者,在 EIZO Color Edge CG224 显示器上,亮度为 80 cd/m<sup>2</sup>,色温为 6 500 K,环境照明光源设定为 5 200 K,显色性指数为 96,照明光源照度约为 1 500 lx<sup>[4]</sup>,对显示器做严格的色彩管理后向观察者同时展示参考图像和印刷图像,对图像进行主观质量打分。为了与文献[4]进行对比,采用文献[4]给出的主观平均分数(mean opinion score, MOS)评价方法,取人眼视觉更为敏感的颜色、阶调、清晰度、对比度、整体 5 类指标,分为非常差、差、一般、好、非常好 5 个等级,分别用 1~5 分表示。观察者在观测完图像后,分别给出每一个印刷图像相对于参考图像的质量分数,所得结果见表 1。

表 1 各图像的主观评价结果

Table 1 Subjective evaluation results of images

序号	颜色	阶调	清晰度	对比度	整体
a	0.72	0.68	0.84	0.66	0.74
b	0.80	0.71	0.68	0.78	0.80
c	0.78	0.76	0.80	0.69	0.74
d	0.80	0.74	0.68	0.85	0.87
e	0.69	0.76	0.74	0.62	0.78
f	0.70	0.78	0.73	0.67	0.76
g	0.80	0.78	0.80	0.82	0.88
h	0.82	0.69	0.74	0.86	0.84

从表 1 所示对待测印刷图像主观质量评价结果可看出,8 幅图像的颜色分数值范围为 0.69~0.82,阶调范围为 0.68~0.78,清晰度范围为 0.68~0.84,对比度范围为 0.62~0.86,整体范围为 0.74~0.88。各个指标的标准偏差见表 2。

表 2 主观评价结果的标准偏差

Table 2 The standard deviation of the subjective evaluation results

主观评价标准偏差	颜色	阶调	清晰度	对比度	整体
	0.017	0.013	0.019	0.031	0.019



分析表2中的数据可知,人眼在观察图像的阶调和颜色上给出的分数波动不大,标准偏差相对较小,表明能够在视觉上表现出较好的一致性;在清晰度和对比度的认知上,由于观察者的心理和所处环境的影响,表现出一定的偏差。

### 3.2 客观实验评价

1) 对待测印刷图像进行数字化,采用经过严格的色彩管理的HP Scan Jet G4050扫描仪,在600 dpi分辨率下进行扫描。

2) 采用文献[4]的客观评价方法中的均方误差(MSE)、峰值信噪比(PSNR)、结构相似度(SSIM)质量模型,多尺度结构相似度(multiscale structural similarity index, MS-SSIM)<sup>[12]</sup> 4种全参考评价算法,以及无参考评价算法中的BIQI质量模型,与本文提出的NIQE质量模型,分别计算8幅待测印刷图像的质量分数,归一化后的结果见表3。

表3 各模型对图像客观质量的归一化评价结果

Table 3 Normalized evaluation results of objective quality of image in different models

图序	算 法					
	MSE	PSNR	SSIM	MS-SSIM	BIQI	NIQE
a	0.150 3	0.120 7	0.718 1	0.775 2	0.780 2	0.854 8
b	0.075 9	0.132 6	0.701 1	0.852 7	0.843 7	0.890 2
c	0.098 4	0.128 1	0.661 0	0.744 9	0.774 7	0.863 6
d	0.145 7	0.121 2	0.480 3	0.807 1	0.828 9	0.899 2
e	0.143 8	0.121 5	0.496 9	0.750 9	0.783 8	0.870 6
f	0.211 4	0.114 7	0.595 1	0.789 7	0.819 3	0.865 0
g	0.104 6	0.127 0	0.636 1	0.865 9	0.872 1	0.890 6
h	0.067 0	0.134 1	0.648 8	0.861 2	0.871 5	0.884 4

表3是对参考图像和待测印刷图像进行上述各质量模型计算后得到的客观质量评价结果。由于2种全参考SSIM和MS-SSIM算法与2种无参考BIQI和NIQE算法得到的评价结果值在0和1之间,且分数越大,表明待测图像的质量越好,越接近于参考图像。分析表3中的数据可知,SSIM算法的质量分数范围为0.480 3~0.718 1,MS-SSIM算法的质量分数范围为0.744 9~0.865 9,BIQI和NIQE算法的质量分数范围为0.7~0.9,且各图像NIQE算法的质量分数均优于无参考评价算法中的BIQI算法。而MSE和PSNR算法得到的质量分数无法准确地评价印刷图像的质量。由此可得,采用NIQE算法可以更有效地评价待测印刷图像质量。

3) 将各个质量评价模型得到的客观评分和主观评价得分(mean opinion score, MOS),采用皮尔逊相关系数(Pearson product-moment correlation coefficient, CC)、斯皮尔曼秩相关系数(Spearman rank correlation coefficient, SROCC)、平均绝对值误差(mean absolute error, MAE)<sup>[13-15]</sup>3个量化指标对评估

算法的性能进行衡量。

客观评分和主观评分经过非线性回归分析后的CC值越大,说明评价预测的准确度越高;客观评分和主观评分之间的SROCC用于评价预测的单调性,其值越大单调性越好,图像的客观质量与主观视觉有着更好的一致性;MAE值越小,待测图像的质量越好<sup>[5]</sup>。所得实验结果见表4。

表4 各算法下的图像客观质量评价指标

Table 4 Objective image quality evaluation index of different models

算 法	评 价 指 标		
	$C_{CC}$	$C_{SROCC}$	$\delta_{MAE}$
MSE	0.334 9	0.311 4	0.041 0
PSNR	0.312 7	0.311 4	0.041 7
SSIM	0.352 6	0.479 1	0.046 1
MS-SSIM	0.744 7	0.838 3	0.030 3
BIQI	0.816 8	0.898 2	0.025 9
NIQE	0.910 1	0.946 1	0.016 0

分析表4中的数据可以得知,NIQE算法的皮尔逊相关系数为0.910 1,相比无参考评价BIQI算法约高出11.4%,而相比全参考评价MS-SSIM算法约高出22.2%。分析表中数据还可知,NIQE算法相比SSIM、MSE、PSNR算法提高的幅度更大,该指标有着较好的预测稳定性。NIQE算法的斯皮尔曼秩相关系数为0.946 1,相比无参考评价BIQI算法约高出5.3%,相比MS-SSIM算法约高出12.9%,而MS-SSIM算法相比SSIM算法约高出75.0%。由以上分析可知,完全无参考评价算法NIQE相对SSIM和MS-SSIM预测单调性有了明显提高:平均绝对值预测误差为0.016 0,相比MS-SSIM算法约减小了47.2%,相比SSIM算法约减小了65.3%,因此NIQE的预测准确性优于其他5种模型。本文所提出的方法预测稳定性、单调性和一致性相较于传统的4种全参考和1种无参考方法都有明显提高,整体性能较好。

## 4 结论

本文在考虑不依赖原始图像信息的基础上,采用无参考NIQE质量评估算法,并结合主观评价实验,对印刷图像质量进行评价,可得到如下结论:

1) 主观实验结果表明,人眼在观察图像的阶调和颜色上给出的分数波动不大,标准偏差相对较小,表明能够在视觉上表现出较好的一致性;在清晰度和对比度的认知上,由于观察者的心理和所处环境的影响,表现出一定的偏差。

2) 客观质量评价结果表明,采用NIQE算法可以更有效地评价待测印刷图像质量。

3) 在与主观评价的相关性分析上, 本文所提算法的 CC 值达到 0.910 1, SROCC 值达到 0.946 1, 相比其他印刷图像的客观评价方法与主观评价的相关性上有了较大的提高。

以上实验结果表明, 本文算法与人眼主观质量评价有着更好的一致性, 相较于传统全参考质量评价方法 MSE、PSNR、SSIM 和 MS-SSIM 算法以及无参考 BIQI 算法, 本算法更接近人类视觉系统, 能够有效地进行印刷图像质量评价, 在实时印刷图像质量评价系统中有着实用意义。

#### 参考文献:

- [1] 卢军, 田靛. 印刷图像质量评价及控制方法[J]. 印刷质量与标准化, 2007(8): 65-69.  
LU Jun, TIAN Liang. Printing Image Quality Evaluation and Control Method[J]. Printing Quality and Standardization, 2007(8): 65-69.
- [2] 赵文哲, 秦世引. 图像质量评价的研究进展和若干问题的解决途径[J]. 激光与光电子学进展, 2010, 47(4): 46-54.  
ZHAO Wenzhe, QIN Shiyin. Image Quality Assessment and Some Solving Approaches to Current Issues[J]. Laser and Optoelectronics Progress, 2010, 47(4): 46-54.
- [3] 郑元林. 印刷品质量检测与控制技术[M]. 北京: 化学工业出版社, 2010: 78-80.  
ZHENG Yuanlin. Quality Inspection and Control Technology of Printed Matter[M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2010: 78-80.
- [4] 徐敏, 郑元林. 基于 SSIM 的印刷图像质量评价研究[J]. 包装工程, 2012, 33(3): 98-101.  
XU Min, ZHENG Yuanlin. Research of Printed Image Quality Based on SSIM[J]. Packaging Engineering, 2012, 33(3): 98-101.
- [5] 王志明. 无参考图像质量评价综述[J]. 自动化学报, 2015, 41(6): 1062-1079.  
WANG Zhiming. Review of No-Reference Image Quality Assessment[J]. Acta Automatica Sinica, 2015, 41(6): 1062-1079.
- [6] 张淑芳, 张聪, 张涛, 等. 通用型无参考图像质量评价算法综述[J]. 计算机工程与应用, 2015, 51(19): 13-23, 151.  
ZHANG Shufang, ZHANG Cong, ZHANG Tao, et al. Review on Universal No-Reference Image Quality Assessment Algorithm[J]. Computer Engineering and Applications, 2015, 51(19): 13-23, 151.
- [7] SIMONCELLI E P, FREEMAN W T, ADELSON E H, et al. Shiftable Multiscale Transforms[J]. IEEE Transactions on Information Theory, 1992, 38(2): 587-607.
- [8] SHARIFI K, LEON-GARCIA A. Estimation of Shape Parameter for Generalized Gaussian Distributions in Subband Decompositions of Video[J]. IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, 1995, 5(1): 52-56.
- [9] BISHOP C M. Pattern Recognition and Machine Learning [M]. New York: Springer, 2006: 93-94.
- [10] 梁巧萍, 智川, 杨保宏. 印刷品质量的主观评价[J]. 包装工程, 2009, 30(9): 105-106.  
LIANG Qiaoping, ZHI Chuan, YANG Baohong. Subjective Assessment of Printing Quality[J]. Packaging Engineering, 2009, 30(9): 105-106.
- [11] 曾台英, 邵雪, 汪祖辉. 基于灰平衡的印刷质量控制和评价[J]. 包装学报, 2015, 7(4): 41-46.  
ZENG Taiying, SHAO Xue, WANG Zuhui. Printing Quality Control and Evaluation Based on Gray Balance[J]. Packaging Journal, 2015, 7(4): 41-46.
- [12] ZHU T, KARAM L. A No-Reference Objective Image Quality Metric Based on Perceptually Weighted Local Noise [J]. EURASIP Journal on Image & Video Processing, 2014 (1): 1-8.
- [13] 褚江, 陈强, 杨曦晨. 全参考图像质量评价综述[J]. 计算机应用研究, 2014, 31(1): 13-22.  
CHU Jiang, CHEN Qiang, YANG Xichen. Review on Full Reference Image Quality Assessment Algorithms[J]. Application Research of Computers, 2014, 31(1): 13-22.
- [14] 黄晓妹, 田绪红. 无参考的模糊图像清晰度评价方法[J]. 小型微型计算机系统, 2015, 36(5): 1117-1121.  
HUANG Xiaomei, TIAN Xuhong. No-Reference Sharpness Assessment for Blurred Image[J]. Journal of Chinese Computer Systems, 2015, 36(5): 1117-1121.
- [15] 苗莹, 易三莉, 贺建峰, 等. 结合梯度信息的特征相似性图像质量评估[J]. 中国图象图形学报, 2015, 20(6): 749-755.  
MIAO Ying, YI Sanli, HE Jianfeng, et al. Image Quality Assessment of Feature Similarity Combined with Gradient Information[J]. Journal of Image and Graphics, 2015, 20 (6): 749-755.

(责任编辑: 廖友媛)