

无需学习的无参考彩色噪声图像质量评价方法



杨云铄 桑庆兵

江南大学物联网工程学院 江苏 无锡 214122

(907715306@qq.com)

摘要 噪声失真是一种最常见且种类最多的失真类型,但目前针对除高斯噪声外的噪声失真类型的研究较少。文中提出了一种无需学习的且能同时评价5种噪声失真的无参考彩色噪声图像质量评价方法。该方法基于四元数奇异值分解,利用图像的奇异值倒数曲线所围成的面积与噪声图像失真程度的关系,推导出表示图像失真的质量指数。该方法不需要任何图像或失真的先验知识,也不需要任何训练过程。4个通用的自然场景图像数据库上的实验结果表明,该方法的预测结果与人类主观质量评分具有较好的一致性,与最新的全参考图像质量评价算法和无参考图像质量评价算法相比具有更好的性能。

关键词: 四元数奇异值分解;无参考;奇异值倒数曲线;图像质量评价

中图分类号 TP391

No-reference Color Noise Images Quality Assessment Without Learning

YANG Yun-shuo and SANG Qing-bing

School of Internet of Things Engineering, Jiangnan University, Wuxi, Jiangsu 214122, China

Abstract Noise is one of the most common and varied types of distortion, but there are few studies on the noise types other than Gaussian noise. This paper proposed a non-reference color noise image quality assessment method that can evaluate five kinds of noise types without learning. The method is based on the quaternion singular value decomposition, and uses the relationship between the area enclosed by the reciprocal singular value curves of the image and the degree of the image distortion to derive a quality index. The method almost requires very little prior knowledge of any image or distortion nor any process of training. Experimental results on four simulated databases show that the proposed algorithm delivers quality predictions that have high correlation with human subjective judgments, and achieves better performance in comparison with the relevant state-of-the-art full-reference and non-reference quality metrics.

Keywords Quaternion singular value decomposition, No-reference, Reciprocal singular value curve, Image quality assessment

1 引言

随着计算机技术和数字成像系统的发展,人们通过图像传递信息越来越方便。众所周知,图像在获取、预处理、编码、传输、解码等过程中均会引入失真。因此,在图像处理过程中,图像质量评价(Image Quality Assessment, IQA)是一种基础技术。它在图像增强^[1]、编码^[2]、传输^[3]、水印^[4]和压缩^[5]等实际应用中,不仅能够指导选择图像处理算法的参数指标,还可以判断图像处理算法性能的优劣。

图像质量评价^[6]分为使用人力的主观评价和使用机器算法的客观评价。客观评价方法又包括全参考、半参考和无参考3种。全参考图像质量评价方法,利用原始参考图像和失真图像之间的相似程度来评价图像质量。半参考图像质量评价方法,利用原始图像的部分信息,对失真图像进行质量评价。无参考图像质量评价方法,则是在没有任何图像参考的

情况下,直接对失真图像进行图像质量评价。

目前,针对全参考图像质量评价方法的研究较为成熟。Wang等提出了结构相似性算法(Structural Similarity Index, SSIM)^[7],该算法从亮度、对比度和结构信息3个方面对图像的失真程度进行衡量。Wang等提出了基于四元数奇异值分解的彩色图像质量评价算法^[8],该算法先将参考图像和失真图像分别用四元数表示,再进行奇异值分解处理,最后将两个奇异值向量的夹角作为评价指标。Zhang等提出了一种基于梯度幅值和相位一致性特征相似度的全参考图像质量评价算法(Feature Similarity Index, FSIM)^[9],该算法根据HVS理解图像的特征,将相位一致性(Phase Congruency, PC)作为主要特征;同时考虑到PC特征无法响应图像对比度的变化,因此将图像的梯度幅值(Gradient Magnitude, GM)作为次要特征。该算法结合提取的PC和GM两个互补特征,得出图像的质量分数。Azadeh等提出了基于结构SVD的图像质量评价算

收稿日期:2019-09-06 返修日期:2020-01-03 本文已加入开放科学计划(OSID),请扫描上方二维码获取补充信息。

基金项目:江苏省自然科学基金(BK20171142)

This work was supported by the Natural Science Foundation of Jiangsu Province, China (BK20171142).

通信作者:桑庆兵(sangqb@163.com)

法 (Structural SVD-based image quality assessment, SS-VD)^[10], 该算法通过对奇异值向量矩阵的反射来获取图像的结构信息, 再将计算的失真图像与参考图像的结构信息偏差作为图像质量的评价指标。

大多数现实应用场景不具备参考图像, 因此无参考的方法最为实用。Mittal 等提出的自然图像质量评价算法 (Natural Image Quality Evaluator, NIQE)^[11] 计算在自然图像中观察到的统计规律与失真图像之间的距离值, 并将其作为图像的失真指标。Xue 等提出了梯度幅度 (Gradient Magnitude, GM) 和拉普拉斯特征 (Laplacian of Gaussian, LOG) 的联合统计的无参考图像质量评价算法 (GM-LOG)^[12]。Ma 等提出了 dipIQ^[13] 方法, 主要通过生成质量可辨别图像对 (Quality Discriminable Image Pairs, DIPs) 解决训练数据不足的问题, 然后使用 RankNet^[14] 进行学习, 最终用非线性逻辑函数将其映射成质量分数。Liu 等提出基于学习排序的无参考图像质量评价算法——RankQA^[15]。该算法生成不同失真级别的图像, 将其作为训练数据传输到孪生网络中学习图像间的相对排序, 再将其迁移学习到 CNN 中来预估单幅图像的绝对图像质量分数。Ma 等提出基于深度神经网络端到端的无参考图像质量评价算法 (Multi task End to End Optimized deep Neural Network, MEON)^[16], 其包含两个子网络, 即失真类型识别网络和质量预测网络。该算法通过失真类型识别网络获得大量的训练样本, 再用随机梯度下降的方法训练质量预测网络, 最终获得预测的图像质量分数。Zhang 等提出了基于广义局部二值模式 (Generalized Local Binary Pattern, GLBP)^[17] 的无参考图像质量评价算法。首先, 从原始图像中学习的统计 GLBP 特征向量被分成不同的子组; 其次, 从每个子组特征拟合中学习一组多元高斯函数 (MVG) 模型; 最后, 通过计算每个 MVG 模型的对称参数与从原始图像中学习到的 MVG 模型之间的距离作为测试图像的质量分数。

大多数无参考图像质量评价算法存在着训练样本量不足、训练出来的模型泛化性能差等缺点, 因此不使用学习的方法有着天然的优势。本文提出的无参考彩色噪声图像质量评价方法是通过推导公式计算图像质量分数, 与样本无关, 也无需学习, 因此适用性好。

2 四元数奇异值分解

传统的客观图像质量评价算法通常需要提取图像中的视觉特征, 然后将特征映射为图像质量分数。在图像质量评价领域, 特征提取可以采用奇异值分解 (SVD)、离散傅里叶变换 (DFT)、离散余弦变换 (DCT) 等多种变换。对于 DFT 和 DCT 等的频域变换通常会将所有失真图像分解为若干个相同的基图像, 图像质量的变化只能通过变换域中的系数来体现。而 SVD 变换对于不同的失真图像生成的基图像是不同的, 图像质量的变化都反映在基图像中。因此, SVD 在对图像特征的提取方面更有优势。本文算法考虑到彩色图像中 R, G, B 三通道之间的相关性, 采用四元数来表示彩色图像。

四元数最早是由著名数学家 Hamilton 于 1843 年提出来的数学概念^[18], 一个四元数 q 的基本形式可以表示为:

$$q = a + bi + cj + dk \quad (1)$$

其中, a, b, c, d 均是实数, i, j, k 均是虚数单位且满足:

$$i^2 = j^2 = k^2 = -1 \quad (2)$$

$$j = -ji = k, ki = -ik = j, jk = -kj = i \quad (3)$$

当实部 $a=0$ 时, 称 q 为纯四元数。最初提出的四元数 q 与彩色图像表示并没有直接关系, 直到 Pei 等第一次提出了关于彩色图像的四元数模型^[19]。

一幅彩色图像中的每个像素都是由 R, G, B 分量构成的图像, 其中 R, G, B 分别代表红、绿、蓝 3 个通道。因此, 彩色图像的每个像素可以用一个纯四元数来表示:

$$q(x, y) = r(x, y)i + g(x, y)j + b(x, y)k \quad (4)$$

其中, $r(x, y)$, $g(x, y)$ 和 $b(x, y)$ 分别表示彩色图像在像素 (x, y) 处的红、绿、蓝的灰度值。

根据文献[20]的四元数奇异值分解方法, 可将秩为 r 的 $m \times n$ 的四元数矩阵 Q 分解成 3 个子矩阵:

$$Q_{m \times n} = U_{m \times m} \times S_{m \times n} \times V_{n \times n}^H \quad (5)$$

$$U = \{U_1, U_2, \dots, U_m\} \quad (6)$$

$$V = \{V_1, V_2, \dots, V_n\} \quad (7)$$

$$S = \text{diag}\{\sigma_1, \sigma_2, \dots, \sigma_r\} \quad (8)$$

其中, $U \in H^{m \times m}$, $V \in H^{n \times n}$ 是四元数酉矩阵, 并且两个矩阵元素也均为四元数, U 和 V 的列向量分别是四元数矩阵 Q 的左奇异值向量和右奇异值向量; S 是一个对角矩阵, 对角线上的元素是四元数矩阵的奇异值, 且奇异值是按照降序排列的, 即 $\sigma_1 > \sigma_2 > \dots > \sigma_r$; H 表示共轭转置。

由式(5)得知, 四元数奇异值分解能够将彩色图像分解成两部分: 第一部分为奇异值, 可用来表示图像的色彩信息; 第二部分为奇异值向量, 可用来表示图像的结构信息^[21]。

3 奇异值倒数曲线与图像失真程度

3.1 奇异值倒数曲线

文献[22]中的研究发现奇异值大小与频率变化有关, 图像噪声级别越高, 其频率越大, 故其对应的奇异值越大。因此, 彩色图像的奇异值倒数曲线所围成的面积也会随着噪声级别的变化而变化。本文从 Tid2013 图像数据库 (Tampere Image Database 2013)^[23] 中随机选取了一幅参考图像, 以及它的高频噪声失真图像, 如图 1 所示。

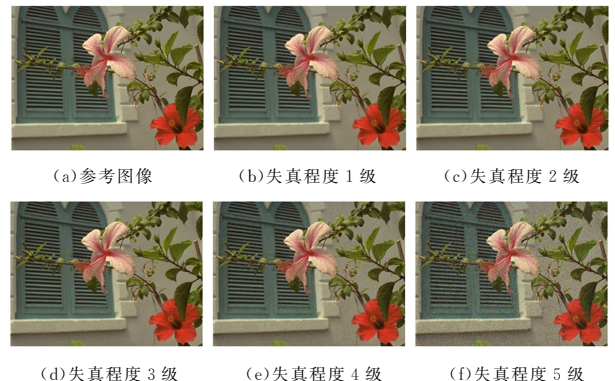


图 1 Tid2013 图像数据库中的高频噪声图像

Fig. 1 High frequency noise image in Tid2013 database

图 1(b)~图 1(f) 的失真程度是呈递增的。对每幅图像进行四元数奇异值分解处理, 获得相应的奇异值 $S(i)$ 。以

奇异值 $S(i)$ 的倒数为 y 轴, 奇异值 $S(i)$ 的序号 i 为 x 轴, 绘制奇异值倒数曲线。从奇异值倒数曲线图可以发现, 曲线围成的面积与图像的失真程度成反比, 即面积越小失真程度越大, 如图 2 所示。

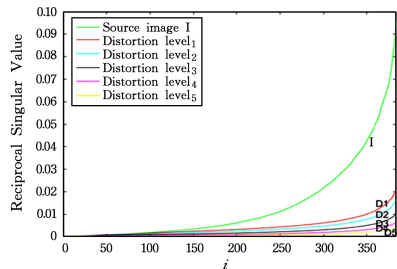


图 2 Tid2013 图像数据库中高频噪声图像的奇异值倒数曲线
Fig. 2 Reciprocal singular value curves of high-frequency noise image in Tid2013 database

本文在加性高斯噪声、对彩色成分更为敏感的高斯白噪声、脉冲噪声、白噪声失真类型的图像上进行了验证。以同样的方式分别绘制奇异值倒数曲线, 如图 3 所示。从图 3 可以看到, 奇异值倒数曲线所围成的面积与失真程度也成反比, 即面积越小, 失真程度越大。

为了进一步验证奇异值倒数曲线所围成的面积与噪声级别的关系, 本文从 Tid2013 图像数据库中随机选取了一幅参考图像对应的加性高斯噪声、对彩色成分更为敏感的高斯白噪声、高频噪声、脉冲噪声 4 种失真类型的同一失真级别的失真图像, 并绘制出了对应的奇异值倒数曲线, 如图 4 所示。观察图 4 可知, 不同失真类型相同失真级别的失真图像奇异值倒数曲线所围成的面积几乎相同, 这也进一步证实了将图像奇异值倒数曲线围成的面积作为图像质量评价标准的可靠性及有效性。

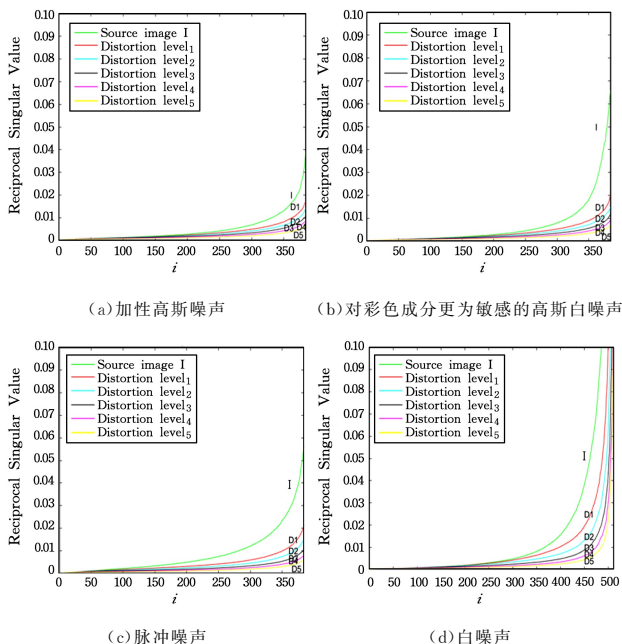


图 3 图像数据库中不同失真类型图像的奇异值倒数曲线
Fig. 3 Reciprocal singular value curves of images of different distortion types in Tid2013 database

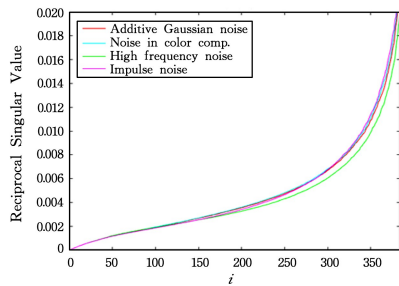


图 4 Tid2013 图像数据库中不同失真类型同一失真级别图像的奇异值倒数曲线
Fig. 4 Reciprocal singular value curves of different distortion types with the same distortion level images on Tid2013 database

3.2 基于奇异值倒数曲线的无参考失真指数

从图 2 和图 3 中可以看出, 曲线所围成的面积大小可对应图像的失真程度。因此, 本文将计算出的曲线所围成的面积作为评估噪声图像失真级别的指标。

奇异值倒数曲线的函数公式如下:

$$y = \frac{1}{S(i)} \quad (9)$$

其中, $S(i)$ 为奇异值。曲线所围面积的计算是一个简单的数学积分问题, 可以通过式 (10) 来估算奇异值倒数曲线所围成的面积值:

$$\begin{aligned} S_c &= \int_0^r f(i) di \\ &= \int_0^1 f(i) di + \int_1^2 f(i) di + \dots + \int_{r-1}^r f(i) di \\ &\approx \sum_{i=1}^r \left(\frac{1}{S(i)} \right) \end{aligned} \quad (10)$$

其中, r 是奇异值的个数, $S(i)$ 是奇异值。

为了消除图像尺寸的影响, 本文用平均面积来表示图像质量分数。因此, 本文定义的无参考图像质量评价指标如下:

$$Q = \frac{\sum_{i=1}^r \left(\frac{1}{S(i)} \right)}{r} \quad (11)$$

其中, $S(i)$ 为图像的奇异值; i 为相对应的奇异值的序号。

4 性能评估

4.1 图像质量数据库及质量评价指标

本文用 4 个通用的自然场景图像数据库, 即 CSIQ 库 (Categorical Subjective Image Quality database)^[24]、LIVE 库^[25]、TID2008 库 (Tampere Image Database 2008)^[26] 和 TID2013 库, 来测试所提算法的性能。表 1 列出了不同图像数据库的特点。

数据库名称	参考图像数	失真类型数	失真图像数
CSIQ	30	6	866
LIVE	29	5	982
TID2008	25	17	1700
TID2013	25	24	3000

每个图像质量评价算法的设计理念和定义的标准都是不同的, 因此通过每种算法得到的质量分数只是一些杂乱的数值分布。因此, 本文将这些数值通过逻辑拟合函数拟合成一

个曲线,该曲线衡量了算法预测的质量分数与图像主观评价分数之间的相关性。本文使用含有 5 个参数的逻辑拟合函数^[27],如式(12)所示:

$$S_m = f(s_0) = \beta_1 \cdot \left(\frac{1}{2} - \frac{1}{1 + \exp(\beta_2 \cdot (s_0 - \beta_3))} \right) + \beta_1 \cdot s_0 + \beta_5 \quad (12)$$

其中, $\beta_1, \beta_2, \beta_3, \beta_4, \beta_5$ 为拟合参数; s_0 为图像质量评价算法得出的质量分数。当每个图像的 S_m 和主观评价分数之间的差值的平方和最小时,拟合参数取得最佳值。

在图像质量评价领域,常用 4 个绩效指标来评估 IQA 算法。

(1)Sperman 等级相关系数 (Sperman Rank Order Correlation Coefficient, SROCC)^[27]

该系数利用两组数据之间的秩次大小做线性相关性分析,既体现两组数据之间的相互变化关系,也衡量算法预测值的单调性。其定义的具体形式如式(13)所示:

$$SROCC = 1 - \frac{6 \sum_{i=1}^N d_i^2}{N(N^2 - 1)} \quad (13)$$

其中, d_i 是主观评价与客观评价分数的差值。

(2)Kendall 等级相关系数 (Kendall Rank Order Correlation Coefficient, KROCC)^[27]

KROCC 通过反映分类变量的相关性来衡量算法预测值的单调性。其定义的具体形式如式(14)所示:

$$KROCC = \frac{N_c - N_d}{\frac{1}{2} N(N-1)} \quad (14)$$

其中, N_c 表示主观评价质量分数与客观评价质量分数相一致的数据集合; N_d 表示主观评价质量分数与客观评价质

量分数不一致的数据集合。

(3)Person 线性相关系数 (Pearson Linear Correlation Coefficient, PLCC)^[27]

PLCC 系数衡量两组数据的相关性,即算法预测值与主观真实值之间的相关性,该系数也反映了算法预测值的准确性。其定义的具体形式如式(15)所示:

$$PLCC = \frac{\sum_i (s_i - \bar{s}) \cdot (o_i - \bar{o})}{\sqrt{\sum_i (s_i - \bar{s})^2 \cdot (o_i - \bar{o})^2}} \quad (15)$$

(4)均方误差根(Root Mean Squared Error, RMSE)^[27]

RMSE 用来比较算法预测值与主观真实值之间的绝对误差,衡量算法预测的准确性。其定义的具体形式为:

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_i (s_i - o_i)^2} \quad (16)$$

一幅质量良好的图像,其客观图像质量评价算法得到的 SROCC, KROCC 和 PLCC 值较大,得到的 RMSE 值较小。

4.2 图像块大小的设置

为了提高算法效率,本文对图像进行分块处理,取所有图像块的质量分数的均值作为整个图像的质量分数。分块处理会提高算法效率,但也有可能影响算法的性能。为了设置恰当的图像块大小,本文在 CSIQ, LIVE, Tid2008 和 Tid2013 图像数据库上进行实验,设置不同图像块大小获得 SROCC 值、KROCC 值、PLCC 值、RMSE 值及处理一张图像的运行时间。

表 2—表 5 中的失真类型为白噪声 (White Noise, WN)、加性高斯噪声 (Additive Gaussian noise, AGN)、对彩色成分更为敏感的高斯白噪声 (Additive white Gaussian Noise which is more intensive in Color components than in the luminance component, ANC)、高频噪声 (High Frequency Noise, HFN) 和脉冲噪声 (Impulse Noise, IN)。

表 2 在不同图像数据库上设置不同图像块大小时本文算法的 SROCC 值

Database	Type	Size=8	Size=16	Size=32	Size=64	Size=128	Size=256	Size=512
CSIQ	WN	0.9173	0.9161	0.9127	0.9087	0.9087	0.9023	0.8908
	LIVE	WN	0.9848	0.9838	0.9829	0.9826	0.9818	0.9761
TID2008	AGN	0.8869	0.8825	0.8803	0.8731	0.8854	0.8269	0.8629
	ANC	0.8982	0.8948	0.8947	0.9020	0.8927	0.8699	0.8843
	HFN	0.9510	0.9512	0.9506	0.9476	0.9393	0.9254	0.9489
	IN	0.7442	0.8162	0.8810	0.9194	0.9297	0.9343	0.9495
TID2013	AGN	0.9160	0.9117	0.9058	0.9008	0.9046	0.8514	0.8898
	ANC	0.8862	0.8839	0.8882	0.8855	0.8779	0.8685	0.8951
	HFN	0.9428	0.9430	0.9431	0.9413	0.9394	0.9295	0.9513
	IN	0.7479	0.8126	0.8777	0.9140	0.9280	0.9298	0.9468
Avg.		0.8875	0.8996	0.9117	0.9175	0.9188	0.9014	0.9077

表 3 在不同图像数据库上设置不同图像块大小时本文算法的 KROCC 值

Database	Type	Size=8	Size=16	Size=32	Size=64	Size=128	Size=256	Size=512
CSIQ	WN	0.7394	0.7366	0.7294	0.7199	0.7215	0.7145	0.6955
	LIVE	WN	0.8975	0.8933	0.8900	0.8902	0.8870	0.8696
TID2008	AGN	0.6904	0.6855	0.6839	0.6762	0.6908	0.6249	0.6811
	ANC	0.7066	0.7042	0.7062	0.7175	0.7005	0.6657	0.6965
	HFN	0.8015	0.8043	0.8035	0.7975	0.7776	0.7517	0.7970
	IN	0.5514	0.6246	0.7023	0.7585	0.7767	0.7727	0.8022
TID2013	AGN	0.7417	0.7360	0.7267	0.7213	0.7247	0.6516	0.7107
	ANC	0.7038	0.7025	0.7110	0.7038	0.6911	0.6759	0.7141
	HFN	0.7988	0.8022	0.8032	0.7939	0.7942	0.7746	0.8177
	IN	0.5645	0.6350	0.7011	0.7468	0.7711	0.7688	0.8060
Avg.		0.7196	0.7324	0.7457	0.7526	0.7535	0.7270	0.7395

表 4 在不同图像数据库上设置不同图像块大小时本文算法的 PLCC 值

Table 4 PLCC of proposed algorithm using different block sizes on different databases

Database	Type	Size=8	Size=16	Size=32	Size=64	Size=128	Size=256	Size=512
CSIQ	WN	0.9231	0.9223	0.9195	0.9178	0.9142	0.9082	0.8963
LIVE	WN	0.9766	0.9245	0.9718	0.9306	0.9656	0.9077	0.7270
TID2008	AGN	0.8929	0.8869	0.8833	0.8753	0.8847	0.8283	0.8589
	ANC	0.9074	0.9054	0.9020	0.9008	0.8979	0.8600	0.8852
	HFN	0.9662	0.9642	0.9624	0.9613	0.9569	0.9342	0.9638
	IN	0.7404	0.8049	0.8706	0.9158	0.9292	0.9251	0.9406
TID2013	AGN	0.9211	0.9156	0.9111	0.9076	0.9111	0.8631	0.8942
	ANC	0.9059	0.9029	0.9043	0.8991	0.8900	0.8853	0.9042
	HFN	0.9700	0.9694	0.9692	0.9688	0.9668	0.9553	0.9736
	IN	0.7540	0.8087	0.8715	0.9065	0.9201	0.9266	0.9404
Avg.		0.8958	0.9005	0.9166	0.9184	0.9237	0.8994	0.8984

表 5 在不同图像数据库上设置不同图像块大小时本文算法的 RMSE 值

Table 5 RMSE of proposed algorithm using different block sizes on different databases

Database	Type	Size=8	Size=16	Size=32	Size=64	Size=128	Size=256	Size=512
CSIQ	WN	0.0645	0.0648	0.0660	0.0666	0.0680	0.0702	0.0744
LIVE	WN	4.7270	8.3782	5.1842	8.0486	5.7192	9.2238	15.0943
TID2008	AGN	0.2751	0.2823	0.2864	0.2954	0.2848	0.3423	0.3129
	ANC	0.2150	0.2172	0.2209	0.2222	0.2252	0.2611	0.2380
	HFN	0.2472	0.2542	0.2602	0.2641	0.2783	0.3419	0.2555
	IN	0.3442	0.3039	0.2519	0.2056	0.1893	0.1944	0.1738
TID2013	AGN	0.2760	0.2851	0.2922	0.2977	0.2923	0.3582	0.3175
	ANC	0.2477	0.2513	0.2496	0.2560	0.2666	0.2720	0.2497
	HFN	0.2466	0.2494	0.2500	0.2516	0.2595	0.3001	0.2318
	IN	0.3857	0.3454	0.2880	0.2480	0.2301	0.2208	0.1996
Avg.	0.7029	1.0632	0.7349	1.0156	0.7813	1.1585	1.7148	

通过观察表 2—表 5 发现,分块处理对每种噪声类型图像的影响不同。为了使算法的综合性能最优,本文取同一图像块尺寸下所有取值的平均值作为标准。比较表 2—表 5 的实验结果可以发现,当图像块尺寸取 $Size=128$ 时,算法综合

性能最优。通过观察表 6 中处理一张图像的运行时间发现,当 $Size=256$ 与 $Size=128$ 时,运行时间相差不大。因此,本文将图像块大小设置为 128,既可以提高算法效率,也可以使算法的综合性能最优。

表 6 设置不同图像块大小时本文算法的运行时间

Table 6 Runtimes of proposed algorithm using different block sizes

	Size	8	16	32	64	128	256	512
	Time	69.7884	43.1694	21.0169	11.5998	9.8364	8.4241	36.1914

(单位:s)

4.3 算法综合性能比较

本节将在 CSIQ,LIVE,Tid2008 和 Tid2013 图像数据库上对四元数奇异值倒数曲线算法进行综合性能比较。

表 7 列出了不同图像数据库上不同失真类型下本文算法与全参考图像质量评价算法 NQM^[28],IFC^[29],VIF^[30],SSIM,MSSIM^[31],IWSSIM^[32],FSIM 和 SSVD 计算所得的 SROCC

值比较(其中前两个最优值以粗体突出显示)。

全参考图像质量评价算法已知参考图像信息,其评价性能往往优于无参考图像质量评价算法。但是观察表 7 可知,本文算法在 4 个图像数据库上占 7 个最优值,而全新的全参考图像质量评价算法 SSVD 只占 2 个最优值。因此,本文算法的性能相较全参考图像质量评价算法具有较强的竞争力。

表 7 不同图像数据库不同噪声类型的 SROCC 值

Table 7 SROCC of different distortion types images on different databases

DB	Type	Proposed	FR							
			NQM	IFC	VIF	SSIM	MSSIM	IWSSIM	FSIM	SSVD
CSIQ	WN	0.9087	0.9384	0.8431	0.9575	0.8974	0.9471	0.9380	0.9262	0.9474
LIVE	WN	0.9818	0.9595	0.8743	0.9688	0.9138	0.9398	0.9405	0.9331	0.9545
TID2008	AGN	0.8854	0.7679	0.5806	0.8797	0.8107	0.8086	0.7869	0.8566	0.8955
	ANC	0.8927	0.7490	0.5460	0.8757	0.8029	0.8054	0.7920	0.8527	0.8208
	HFN	0.9393	0.9015	0.7318	0.9075	0.8729	0.8694	0.8662	0.9093	0.9113
	IN	0.9297	0.7616	0.5345	0.8327	0.6732	0.6907	0.6464	0.7452	0.7005
TID2013	AGN	0.9046	0.8171	0.6612	0.8994	0.8671	0.8646	0.8438	0.8973	0.9221
	ANC	0.8779	0.7403	0.5352	0.8299	0.7726	0.7730	0.7515	0.8208	0.8289
	HFN	0.9394	0.8700	0.7406	0.8972	0.8634	0.8604	0.8553	0.8984	0.8995
	IN	0.9280	0.7907	0.6408	0.8537	0.7503	0.7629	0.7281	0.8072	0.7671
Count		7	0	0	1	0	0	0	0	2

表 8 列出了本文算法与无参考图像质量评价算法 BIQ^[33], DIIVINE^[34], BLIINDS-II^[35], CORNIA-10k^[36], CORNIA-100^[36], BRISQUE^[37], ILNIQE^[38], HOSA^[39], dipIQ 和 GLBP, 在 CSIQ 和 LIVE 图像数据库上针对白噪声失真类

型的 SROCC 值的比较结果(其中最优值以粗体突出显示)。通过观察表 8 可以发现,在 CSIQ 库中评估白噪声失真图像的所有算法中,本文算法的排名第 4;在 LIVE 库中,本文算法的评估值最优。

表 8 CSIQ 和 LIVE 图像数据库白噪声失真类型图像的 SROCC 值
Table 8 SROCC of white noise images on CSIQ and LIVE databases

DB	Proposed	NR									
		BIQI	DIIVINE	BLIINDS-II	CORNIA-10000	CORNIA-100	BRISQUE	ILNIQE	HOSA	dipIQ	GLBP
CSIQ	0.9087	0.8750	0.9034	0.9368	0.8080	0.6196	0.9379	0.8692	0.9192	0.9040	—
LIVE	0.9818	0.9640	0.9813	0.9471	0.9568	0.9241	0.9800	0.9746	0.9729	0.9750	0.9740

表 9 列出了 TID2013 图像数据库上不同失真类型下本文算法与无参考图像质量评价算法 DIIVINE, BLIINDS-II, BRISQUE, CORNIA-10k, CORNIA-100, GM-LOG, ILNIQE, RANKIQA, HOSA 和 MEON 计算所得的 SROCC 值的比较结果(其中最优值以粗体突出显示)。通过观察表 9 可以发现,本文算法优于其他算法。在加性高斯噪声 AGN 失真类型图像上,本文算法评估结果比其他算法最高提高了

165.43%,最低提高了 1.54%;在对彩色成分更为敏感的高斯白噪声 ANC 失真类型图像上,本文算法评估结果比其他算法最高提高了 370.72%,最低提高了 6.66%;在高频噪声 HFN 失真类型图像上,本文算法评估结果比其他算法最高提高了 54.74%,最低提高了 3.12%;在脉冲噪声 IN 失真类型图像上,本文算法评估结果比其他算法最高提高了 6624.64%,最低提高了 3.00%。

表 9 TID2013 图像数据库不同失真类型图像的 SROCC 值
Table 9 SROCC of different distortion types images on TID2013 database

Type	Proposed	NR									
		DIIVINE	BLIINDS-II	CORNIA-10000	CORNIA-100	BRISQUE	GM-LOG	ILNIQE	HOSA	RANKIQA	MEON
AGN	0.9046	0.7560	0.7142	0.3408	0.5591	0.6300	0.7808	0.8909	0.8529	0.6670	0.8130
ANC	0.8779	0.4640	0.7282	-0.1962	0.1865	0.4235	0.5881	0.8231	0.6250	0.6200	0.7220
HFN	0.9394	0.7940	0.8523	0.6071	0.7143	0.7754	0.8892	0.8811	0.9046	0.7600	0.9110
IN	0.9280	0.7040	0.6641	-0.0138	0.2945	0.6692	0.6593	0.8023	0.7746	0.7360	0.9010

非线性回归衡量了算法预测的质量分数与主观评价质量分数之间的相关性。图 5 和图 6 分别给出了本文算法对 Tid2008 和 Tid2013 图像数据库中不同噪声类型图像预测分

数和相对应的主观分数 MOS 值的非线性拟合曲线。非线性回归曲线进一步说明了本文算法预测的质量分数与主观评分具有较好的一致性。

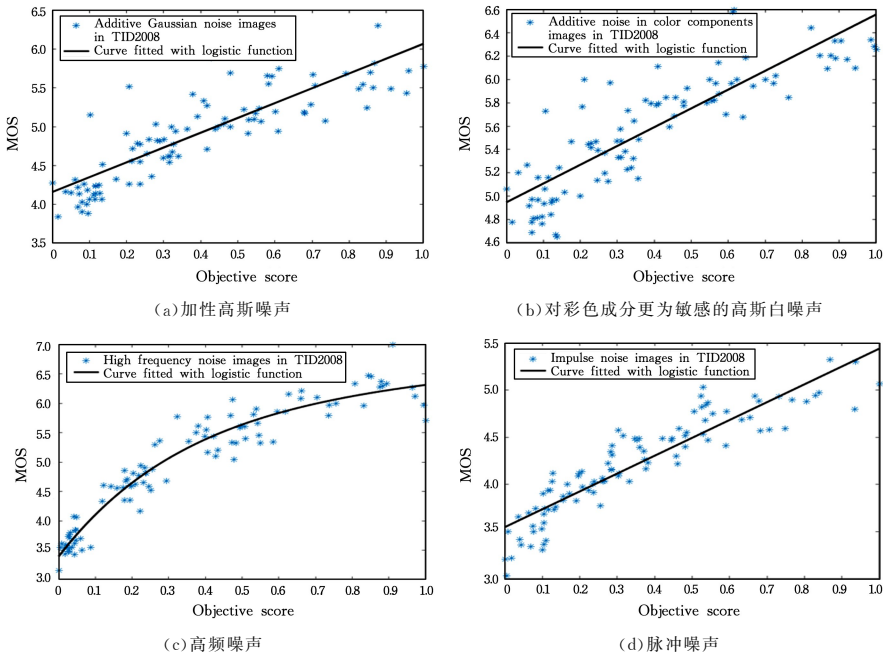


图 5 Tid2008 图像数据库上不同噪声图像的非线性回归曲线

Fig. 5 Nonlinear regression curve of different distortion types images on Tid2008 database

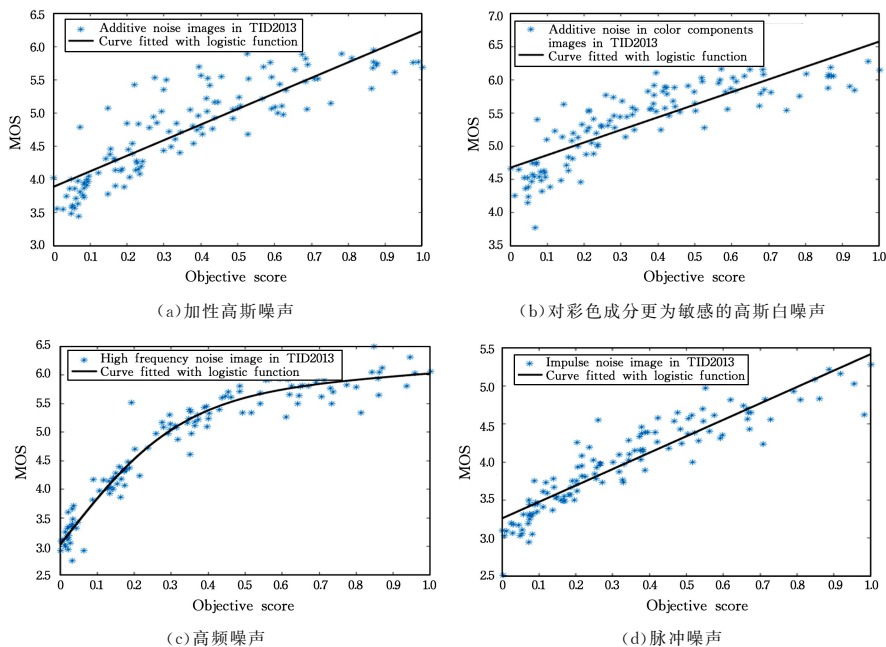


图6 Tid2013 图像数据库上不同噪声图像的非线性回归曲线

Fig. 6 Nonlinear regression curve of different distortion types images on Tid2013 database

结束语 本文提出了一种用四元数奇异值倒数曲线所围成的面积作为噪声失真图像评价指标的方法。该方法考虑到了彩色图像的三通道相关性和奇异值的特性,因此四元数奇异值倒数曲线所围成的面积与图像的失真程度具有很强的相关性。实验结果表明,本文算法能够较好地评价 5 种噪声失真图像。本文算法的数学表达式简单,计算复杂度低,并且无需参考图像,也无需学习。

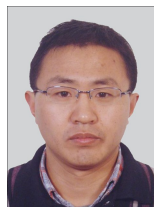
参考文献

- [1] GU K, ZHAI G, YANG X, et al. Automatic Contrast Enhancement Technology With Saliency Preservation [J]. IEEE Transactions on Circuits & Systems for Video Technology, 2015, 25(9): 1480-1494.
- [2] TIAN X, LI T, TIAN J W, et al. Prediction Method for Image Coding Quality Based on Differential Information Entropy [J]. Entropy, 2014, 16(2): 990-1001.
- [3] WU H R, REIBMAN A R, LIN W, et al. Perceptual Visual Signal Compression and Transmission [J]. Proceedings of the IEEE, 2013, 101(9): 2025-2043.
- [4] PAPAKOSTAS G A, TSOUGENIS E D, KOULOURIOTIS D E. Moment-based local image watermarking via genetic optimization [J]. Applied Mathematics & Computation, 2014, 227(227): 222-236.
- [5] ZIMBICO A, SCHNEIDER F, MAIA J. Comparative study of the performance of the JPEG algorithm using optimized quantization matrices for ultrasound image compression [C]//ISSNIP Biosignals and Biorobotics Conference. Piscataway NJ: IEEE, 2014: 89-94.
- [6] LU W, ZENG K, TAO D, et al. No-reference image quality assessment in contourlet domain [J]. Neurocomputing, 2010, 73(4): 784-794.
- [7] WANG Z, BOVIK A C, SHEIKH H R, et al. Image Quality Assessment: From Error Visibility to Structural Similarity [J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2004, 13(4): 600-612.
- [8] WANG Y Q, LIU W Y, WANG Y. Color image quality assessment based on quaternion singular value decomposition [J]. 2008 Congress on Image and Signal Processing, 2008, 1(1): 433-439.
- [9] ZHANG L, ZHANG L, MOU X, et al. FSIM: A Feature Similarity Index for Image Quality Assessment [J]. IEEE Trans on Image Processing, 2011, 20(8): 2378-2386.
- [10] AZADEH MANSOURI A, AHMAD MAHMOUDI-AZNAVEH. SSVD: Structural SVD-based image quality assessment [J]. Signal Processing: Image Communication, 2019, 74: 54-63.
- [11] MITTAL A, SOUNDARARAJAN R, BOVIK A C. Making a "Completely Blind" Image Quality Analyzer [J]. IEEE Signal Processing Letters, 2013, 20(3): 209-212.
- [12] XUE W, MOU X, ZHANG L, et al. Blind image quality assessment using joint statistics of gradient magnitude and Laplacian features [J]. IEEE Trans. Image Process., 2014, 23(11): 4850-4862.
- [13] MA K, LIU W, LIU T, et al. dipIQ: Blind image quality assessment by learning to rank discriminable image pairs [J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2017, 26(8): 3951-3964.
- [14] BURGESS C, SHAKED T, RENSHAW E, et al. Learning to rank using gradient descent [C]// Proceedings of the 22nd International Conference on Machine Learning. 2005: 89-96.
- [15] LIU X, WEIJER J V D, BAGDANOV A D. RankIQ: Learning from Rankings for No-Reference Image Quality Assessment [J]. IEEE International Conference on Computer Vision (ICCV), 2017: 1040-1049.
- [16] MA K, LIU W, ZHANG K, et al. End to end blind image quality assessment using deep neural networks [J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2018, 27(3): 1202-1213.
- [17] ZHANG M, LI Y, CHEN Y. Completely blind image quality as-

- essment using latent quality factor from image local structure representation [C]// IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP), 2019; 2372-2376.
- [18] THOMPSON H W B. Proceedings of the Royal Irish Academy [J]. Rendiconti Del Circolo Matematico Di Palermo, 2010, 6(1): 59-59.
- [19] PEI S C, CHENG C M. A novel block truncation coding of color images by using quaternion moment preserving principle [C]// IEEE International Symposium on Circuits & Systems. IEEE, 1996; 684-687.
- [20] WANG R, CUI Y, YUAN Y. Image quality assessment using full parameter singular value decomposition [J]. Optical Engineering, 2011, 50(5): 1-8.
- [21] TANG L J. Research on Blind Camera Image Quality Assessment Based on Visual Perceptual Representation [D]. Jiangsu: China University of Mining and Technology, 2018.
- [22] NARWARIA M, LIN W. SVD-based quality metric for image and video using machine learning [J]. IEEE Trans. Syst. Man, and Cybern, 2012, 42(2): 347-364.
- [23] PONOMARENKO N, JIN L, et al. Image database TID2013: peculiarities, results and perspectives [J]. Signal Processing Image Communication, 2015, 30(8): 57-77.
- [24] LARSON F C, CHANDLER D M. Categorical image quality (CSIQ) database [OL]. Available; <http://www.vision.okstate.edu/csiq>.
- [25] SHEIKH H R, SESHADRINATHAN K, et al. Image and video quality assessment research at LIVE [OL]. <http://live.ece.utexas.edu/research/quality>.
- [26] PONOMARENKO N, LUKIN V, et al. TID2008 - A Database for Evaluation of Full-Reference Visual Quality Assessment Metrics [J]. Advances of Modern Radioelectronics, 2009, 10: 30-45.
- [27] MITTAL A, MOORTHY A K, BOVIK A C. No-Reference Image Quality Assessment in the Spatial Domain [J]. IEEE Transactions on Image Processing A Publication of the IEEE Signal Processing Society, 2012, 21(12): 4695-4708.
- [28] DAMERA-VENKATA N, KITE T D, et al. Image quality assessment based on a degradation model [J]. IEEE Trans on Image Processing, 2000, 9: 636-650.
- [29] SHEIKH H R, BOVIK A C, DE VECIANA G. An information fidelity criterion for image quality assessment using natural scene statistics [J]. IEEE Trans on Image Processing, 2005, 14: 2117-2128.
- [30] SHEIKH H R, BOVIK A C. Image information and visual quality [J]. IEEE Trans on Image Processing, 2006, 15: 430-444.
- [31] WANG Z, SIMONCELLI E P, BOVIK A C. Multi-scale structural similarity for image quality assessment [J]. ACSSC, 2003, 3: 1398-1402.
- [32] WANG Z, LI Q. Information content weighting for perceptual image quality assessment [J]. IEEE Trans on Image Processing, 2011, 20: 1185-1198.
- [33] MOORTHY A K, BOVIK A C. A two-step framework for constructing blind image quality indices [J]. IEEE Signal Processing Letters, 2010, 17(5): 513-516.
- [34] MOORTHY A K, BOVIK A C. Blind image quality assessment: From natural scene statistics to perceptual quality [J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2011, 20(12): 3350-3364.
- [35] SAAD M A, BOVIK A C, CHARRIER C. Blind image quality assessment: A natural scene statistics approach in the DCT domain [J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2012, 21(8): 3339-3352.
- [36] YE P, KUMAR J, KANG L, et al. Unsupervised feature learning framework for no-reference image quality assessment [C]// Proceedings of 2012 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. 2012: 1098-1105.
- [37] MITTAL A, MOORTHY A K, BOVIK A C. No-reference image quality assessment in the spatial domain [J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2012, 21(12): 4695-4708.
- [38] ZHANG L, ZHANG L, BOVIK A C. A feature enriched completely blind image quality evaluator [J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2015, 24(8): 2579-2591.
- [39] XU J, YE P, LI Q, et al. Blind image quality assessment based on high order statistics aggregation [J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2016, 25(9): 4444-4457.



YANG Yun-shuo, born in 1995, post-graduate. Her main research interests include image quality assessment and so on.



SANG Qing-bing, born in 1973, Ph.D., associate professor. His main research interests include image processing, quality assessment, and machine learning.