

DOI:10.7652/xjtuxb201408003

采用形状一致性特征的盲图像质量评价方法

储颖^{1,2}, 牟轩沁¹, 洪伟¹

(1. 西安交通大学电子与信息工程学院, 710049, 西安; 2. 深圳大学计算机与软件学院, 518060, 广东深圳)

摘要: 针对基于学习的盲图像质量评价方法评估性能易受训练样本库内容和学习策略影响的问题,提出一种无需训练学习的、采用条件直方图形状一致性特征的盲图像质量评价(SCCH)方法。该方法首先计算失真图像中相邻区分归一化变换系数的联合条件直方图,从中提取形状一致性特征;接着依尺度分解特征矢量,并利用公开数据库构造特征属性-主观评分字典;最后将特征子矢量一范数与字典中各特征属性比较排序,对字典中主观得分进行插值以计算失真图像质量评分。在两大公开数据库的实验结果表明,SCCH方法与图像质量主观评分的线性相关系数值大于0.82,稳定保持在较高水平。与传统盲图像质量评价方法相比,SCCH方法无需训练学习,质量评分公式形式简单,质量评价系统容易实现。

关键词: 图像质量评价;形状一致性;直方图;字典

中图分类号: TN911.73 **文献标志码:** A **文章编号:** 0253-987X(2014)08-0012-06

A Blind Quality Assessment Method for Images Using Shape Consistency Feature

CHU Ying^{1,2}, MOU Xuanqin¹, HONG Wei¹

(1. School of Electronics and Information Engineering, Xi'an Jiaotong University, Xi'an 710049, China;
2. College of Computer Science and Software Engineering, Shenzhen University, Shenzhen, Guangdong 518060, China)

Abstract: A new blind quality assessment method for images is proposed to solve the problem that the evaluation performances of learning based blind image quality assessment (BIQA) methods are sensitive to the contents of training samples and learning strategies. The method uses the shape consistency of conditional histogram based BIQA metric (SCCH) and does not need training and learning. The method calculates the joint conditional histograms of neighboring divisive normalization transform coefficients in distorted images, and then extracts shape consistency features from the histograms. Then the feature vectors are decomposed by scale, and a feature characteristic-subjective score dictionary is constructed by using public database. The lengths of the extracted features in the dictionary are compared with that of the distorted image and are sorted, and an interpolation using the subjective scores in the dictionary is then performed to calculate the quality score of the distorted image. Experimental results in two public databases show that the linear correlation coefficient between the SCCH and the image quality subjective scores of distorted images is more than 82%, and maintains a relatively high level. Compared with traditional BIQA methods, the SCCH has the following features, it does not need training, its quality score formula is simple, and the quality assessment system is easy to implement.

Keywords: image quality assessment; shape consistency; histogram; dictionary

收稿日期: 2013-12-18。 作者简介: 储颖(1978—),女,博士生;牟轩沁(通信作者),男,教授,博士生导师。 基金项目: 国家自然科学基金资助项目(90920003);国家自然科学基金委员会-广东省人民政府自然科学基金重点资助项目(U1201256);深圳市科技研发资金基础研究计划资助项目(JC201105160492A)。
网络出版时间: 2014-06-18 网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/61.1069.T.20140618.1138.008.html>

图像质量评价 (image quality assessment, IQA) 在图像处理、网络传输质量监控、视频编码与通信等领域都有着广泛应用^[1], 其研究的目的是构造与人类主观感知质量相一致的图像质量客观评分, 作为自动化方法参数选择或传输系统性能比较的依据^[2]。其中, 盲图像质量评价不需要图像退化之前的信息, 最具难度和挑战性。另外, 由于实际应用中往往无法获得原始图像, 研究盲图像质量评价方法具有重要的实用价值。

盲图像质量评价需要解决的关键问题之一是如何从图像中提取代表图像感知质量的有效特征。Bovik 研究小组指出, 自然场景统计特性在图像质量退化时随之变化, 通过研究变化规律, 可以从中提取有效特征^[3]。从生物进化的角度, 可以理解为: 人类视觉系统对自然场景的感知经历了漫长的进化过程, 质量完好自然图像的统计特性已趋于稳定, 感知质量已与图像内容无关。当自然图像经历某种质量退化过程, 这种潜在的、稳定的统计特性被破坏, 从而被人眼察觉, 辨别出图像失真类型及程度。

传统盲图像质量评价方法提取特征方式各不相同。例如, 文献[4]从图像小波域提取统计特征, 文献[5]从 contourlet 域抽取图像特征, 文献[6]将图像灰度、图像熵和相位一致性特征结合以预测图像质量, 文献[7]提取图像相邻区分归一化变换 (divisive normalization transform, DNT) 系数的联合直方图互信息作为特征。虽然提取的感知特征互不相同, 但这些方法均采用训练-测试方式学习图像特征和主观评分。然而, 这类基于机器学习的方法需要进行复杂的数据训练, 评价结果易受图像内容及训练策略的影响^[8]。因此, 文献[9]和[10]相继提出无需对人类主观评分训练的盲 IQA 方法, 但这两种方法对感知特征仍采用学习策略, 并未实现真正意义上的“无训练”。文献[11]和[12]提出完全不需要训练学习的盲图像质量评价方法, 然而前者评估混合失真图像质量时, 利用支持向量机对失真类型分类, 在此意义上仍是基于机器学习的, 后者的建模和参数估计过程则相当复杂, 实用性较差。综上, 有必要寻找一种既无需训练、又形式简单的盲图像质量评价方法。

本文提出一种采用形状一致性特征的、无需训练的盲图像质量评价 (SCCH) 方法, 以解决传统盲 IQA 系统训练学习过程复杂、评价指标性能稳定性差等问题。通过提取图像 DNT 域形状一致性特征, 以及构造特征属性-主观评分字典, 确立了具有

明确映射关系的图像质量评分公式。SCCH 方法在两大公开数据库上同图像质量主观评分的线性相关系数值稳定保持在较高水平。同时, SCCH 方法无需对所提取感知特征以及人类主观评分进行训练, 比起传统基于学习策略的盲 IQA 方法, 具有更好的稳定性和实用性。

1 基于相邻 DNT 系数联合条件直方图的形状一致性特征

传统盲图像质量评价方法普遍从图像本身或其线性变换系数的分布中抽取感知意义下的图像质量敏感特征。然而, 研究者们忽略了人类视觉系统的重要生理物理学特性。根据视神经生理学研究, 早期视神经元处理的目的是尽量增加神经响应间的统计独立性, 以便更高效地表达图像^[13]。对自然图像, 空间域中相邻图像像素之间存在极强的相关性; 在线性分解域中, 相邻系数之间也存在高阶统计依赖性。因此, 文献[14]提出显著降低所提取分量间统计依赖性的 DNT 变换, 以更好地描述生物视觉系统非线性机制。

1.1 相邻 DNT 系数联合条件直方图

DNT 变换是一种建立在图像线性分解基础上的非线性变换, 其操作针对线性分解系数进行, 主要模拟视神经生理学中的局部增益控制功能。理论上, 图像 DCT 系数或任意小波变换系数均可作为 DNT 变换的输入。此处选用可操纵金字塔分解小波^[15], 因为该小波变换允许设置分解的尺度数和方向数, 方便获得图像在尺度、方向和空间位置上的局部描述。设 y 代表小波系数, DNT 系数 z 定义如下

$$z = y/p \quad (1)$$

式中: p 为 DNT 因子 ($p > 0$), 代表小波系数 y 在尺度、方向和空间相邻系数集上的能量总和。

计算 DNT 因子的方法有很多, 此处采用高斯尺度混合模型计算, 具体方法参见文献[15]。

对自然图像, 经 DNT 分解后相邻系数间的统计独立性得到增强, 这可以通过相邻 DNT 系数间联合条件直方图展示。定义一对水平相邻 DNT 系数组成的二维随机变量 (X, Y) , 其样本值从 DNT 子带左上角 (x_1, y_1) 逐行逐列遍历至右下角 (x_N, y_N) , N 为样本个数。设离散化级数等于 17, 现统计 (X, Y) 的归一化联合直方图 $H(X, Y)$ 。为进一步观察 X 与 Y 间的统计依赖程度, 绘制归一化条件直方图 $H(Y|X)$ 如图 1 所示。

由图 1 可以看出, 无论 X 取何值, 各条 $H(Y|$

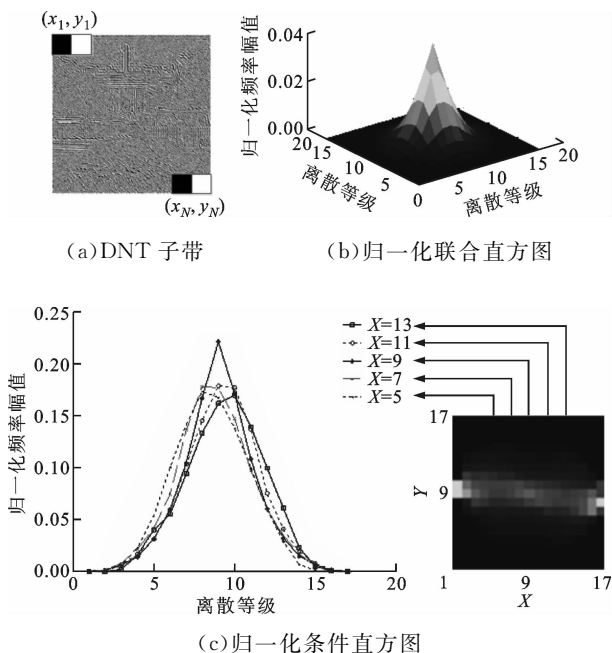


图1 自然图像水平相邻 DNT 系数联合条件直方图

X) 曲线的形状都非常接近, 整组曲线在很大程度上保持了形状一致性。这说明, Y 的分布不依赖于 X 的取值, X 和 Y 是近似统计独立的。

考察自然图像垂直相邻、对角相邻以及尺度相邻关系下 DNT 系数联合条件直方图, 均可观察到各条曲线形状保持一致。接下来, 需考察相邻 DNT 系数联合条件直方图形状一致性在失真图像上的变化情况。

1.2 失真图像联合条件直方图的形状一致性

以 JPEG2 000、JPEG、高斯白噪声和高斯模糊

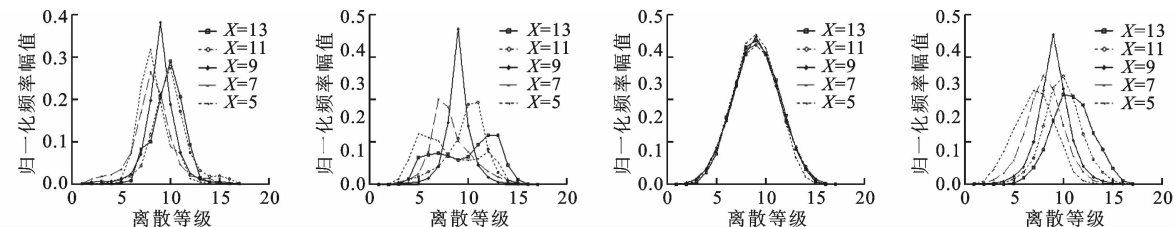
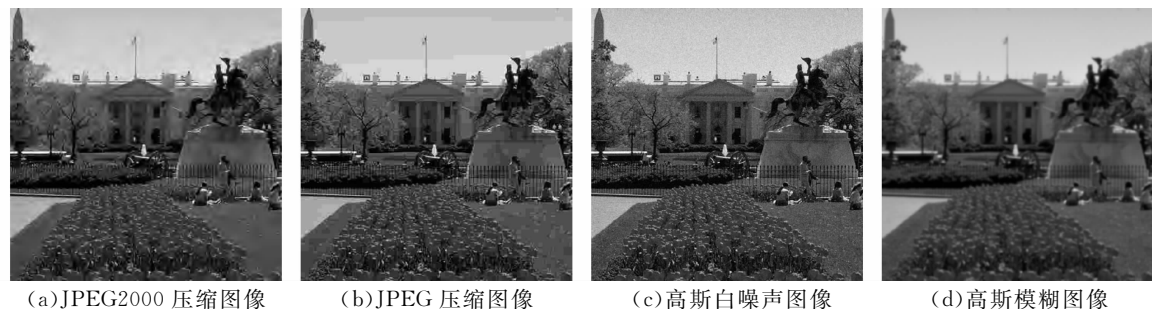


图2 不同失真类型图像及对应的水平相邻 DNT 系数联合条件直方图

典型失真为例, 当失真程度加剧时, 图 2 展示了 DNT 子带水平相邻 DNT 系数联合条件直方图形状的变化情况。

由图 2 可见, 随着失真程度加剧, 图 2e、2f、2h 中各条件直方图曲线形状一致性变差, 说明相邻 DNT 系数间统计独立程度下降。这可以解释为: JPEG2000 压缩、JPEG 压缩和高斯模糊这 3 种图像在退化过程中, 图像结构被破坏导致了 DNT 分量间统计独立性的丧失, 并且失真越严重, 这种独立性的改变也越大。图 2c 中, 对白噪声失真, 曲线形状一致性变化趋势却相反。随着失真程度加剧, 各联合条件直方图形状趋向一致, 表明相邻 DNT 系数间的统计独立性加强。这一现象也符合逻辑, 因为白噪声信号与图像信号完全独立, 在图像中加入白噪声信号, 意味着引入了更多统计独立成分。

综上, 无论相邻 DNT 系数间统计独立性加强或减弱, 其联合条件直方图形状一致性改变程度均可表征图像质量退化程度。可选取相邻 DNT 系数联合条件直方图形状一致性作为感知特征, 以构造无需训练学习的盲图像质量评价指标。

1.3 联合条件直方图形状一致性特征

为定量描述相邻 DNT 系数联合条件直方图间形状一致性, 定义平均条件直方图 $\overline{H(Y|X)}$ 如下

$$\overline{H(Y|X)} = \frac{1}{9} \sum H(Y|X), \quad X = 5, 6, \dots, 13 \quad (2)$$

考虑到在联合直方图两侧边缘区域, 归一化条件直方图曲线形状规律性不强, 不适宜参与整组曲

线形状一致性计算,因此为降低边缘区域的影响,仅选取 $X=5,6,\cdots,13$ 的中心区域曲线参与运算。

若整组联合条件直方图形状较一致,则平均条件直方图与各条件直方图曲线重合度应较高,各曲线与平均条件直方图间距离应较小。每一根条件直方图曲线与平均条件直方图曲线的距离可用 KL (Kullback-Leibler)距离描述,定义如下

$$d_{\text{KL}}(X) = \sum_{Y=1}^{17} H(Y | X) \ln \frac{H(Y | X)}{H(Y)},$$
$$X = 5, 6, \cdots, 13 \tag{3}$$

从而整组联合条件直方图曲线的形状一致性特征定义为

$$f = \frac{1}{9} \sum_{X=5}^{13} k(X) \tag{4}$$

f 越小,联合条件直方图曲线组形状一致性越好; f 越大,整组曲线的形状一致性越差。

对整幅图像,小波及 DNT 分解中存在 3 种基本相邻关系:空间相邻、尺度相邻和方向相邻。其中,空间相邻关系对盲 IQA 模型的性能起关键主导作用^[7]。基于此,仅从空间相邻子带中提取特征,本文中 DNT 变换的分解尺度为 3、分解方向为 4,将每个 DNT 子带分别沿 0° 、 -45° 、 -90° 和 -135° 方向平移一个像素,可得到 4 组空间相邻子带,从而构造出 4 幅联合条件直方图,提取出 4 个形状一致性特征。

2 盲图像质量评价方法

对于每一幅自然图像,均可提取出感知特征矢量 $\mathbf{f}=(f_1,f_2,\cdots,f_{48})$ 。从表面上看,这些矢量在特征空间中分散分布,观察不到明显的相似性。事实上,作为自然图像感知质量特征,某种潜在的聚集性是存在于这些特征属性之间的。例如,对两大公开数据库 LIVE^[16]和 CSIQ^[17]中自然参考图像的形状一致性特征矢量一范数进行统计,发现近似等于常数

$$\|\mathbf{f}\|_1 = \sum_{i=1}^{48} |f_i| \tag{5}$$

定义 $\mathbf{f}^1$ 、 $\mathbf{f}^2$ 和 $\mathbf{f}^3$ 分别代表尺度 1、2 和 3 的形状一致性特征子矢量,则

$$\mathbf{f} = (\mathbf{f}^1, \mathbf{f}^2, \mathbf{f}^3) \tag{6}$$

$$\mathbf{f}^i = (f_1, f_2, \cdots, f_{16})_i, \quad i = 1, 2, 3 \tag{7}$$

令 $\|\mathbf{f}^1\|_1$ 、 $\|\mathbf{f}^2\|_1$ 和 $\|\mathbf{f}^3\|_1$ 分别代表各子矢量的一范数,比较结果如表 1 所示。

为了更好地观察自然及失真图像形状一致性特

征矢量长度属性的变化规律,定义一范数矢量 $\mathbf{m}=(\|\mathbf{f}^1\|_1, \|\mathbf{f}^2\|_1, \|\mathbf{f}^3\|_1)$,并将 LIVE 数据库中所有图像的一范数矢量绘制于图 3。

表 1 LIVE 和 CSIQ 数据库中自然图像形状一致性特征矢量一范数均值和标准差比较

一范数	一范数均值		一范数标准差	
	LIVE	CSIQ	LIVE	CSIQ
$\ \mathbf{f}\ _1$	0.188 9	0.189 9	0.019 7	0.021 8
$\ \mathbf{f}^1\ _1$	0.192 4	0.199 6	0.013 5	0.029 5
$\ \mathbf{f}^2\ _1$	0.185 5	0.186 3	0.017 2	0.023 3
$\ \mathbf{f}^3\ _1$	0.188 7	0.183 8	0.039 3	0.023 4

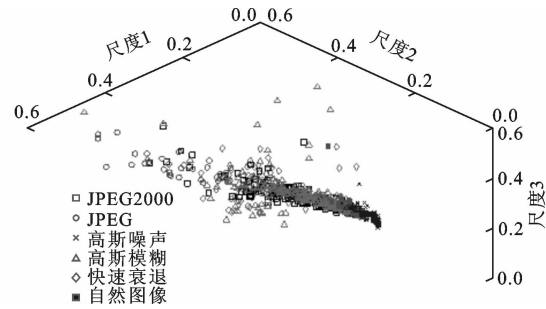


图 3 LIVE 数据库中自然参考图像和 5 种典型失真图像的形状一致性特征一范数矢量分布图

由图 3 可见:LIVE 数据库中自然参考图像一范数矢量的位置很接近,可以认为近似聚集于一点;各失真图像的一范数矢量随失真程度加剧,沿同方向近似成束状延伸;对于 JPEG2000、JPEG 和高斯白噪声失真,可以观察到良好的线性和单调性。构造特征属性-主观得分字典如下

$$D = (\mathbf{m}_i, o_i), \quad i = 1, 2, \cdots, N \tag{8}$$

式中: o_i 代表 LIVE 数据库中第 i 幅自然图像或失真图像的主观得分; $\mathbf{m}_i$ 代表第 i 幅图像的一范数矢量; N 代表 LIVE 数据库中参考和失真图像总数。

对每一幅待评价失真图像,分别计算其 $\mathbf{m}$ 与字典中所有 $\mathbf{m}_i$ 的欧氏距离 d_i

$$d_i = \|\mathbf{m} - \mathbf{m}_i\|_2, \quad i = 1, 2, \cdots, N \tag{9}$$

按照升序对计算结果 $\{d_i\}$ 排序,并选择最小的 L 个值构造集合 $\{s_j\}$;利用 $\{s_j\}$ 及对应的主观得分插值,构造图像质量评分 q 如下

$$q = \frac{\sum_{j=1}^L o_j \exp(-s_j/\lambda)}{\sum_{j=1}^L \exp(-s_j/\lambda)} \tag{10}$$

式中: λ 是控制插值加权衰减速度的参数,借鉴参考文献[10]的设置值取为 32(实验表明,当 λ 在 $[1, 64]$ 区间变化时,方法评估值的波动范围仅为万分之几,

几乎不受 λ 取值影响); L 为特征属性空间中距离测试图像最近的插值图像数目,经 LIVE 和 CSIQ 数据库实验验证,设定为经验值 80,即 LIVE 数据库中图像总数的 10%。

3 实验与结果分析

本文采用图像质量客观分与主观评分之间的线性相关系数 C_{LC} 评估盲 IQA 方法性能。 C_{LC} 越接近于 1,说明图像质量客观得分与人类主观评分的一致性越高。

采用本文 SCCH 方法对 LIVE 数据库全体失真图像进行计算,包括 1000 次独立重复实验(SCCH1)和直接计算(SCCH2),以便与其他 IQA 方法公平比较。比较结果参见表 2。

由表 2 可见:作为盲 IQA 方法,SCCH2 与全参考型方法 PSNR 的差距较小,特别是 SCCH2 在高

斯模糊类型上的性能比 PSNR 好;与基于机器学习策略的 pLSA 相比,除快速衰落外,SCCH1 在其余单一和混合失真类型上的表现明显优于 pLSA;与无需特征训练的 NIQE 相比,SCCH1 的性能有一定差距,说明 NIQE 方法经过复杂的建模和参数估计,比较准确地提取了图像感知特征,但 SCCH1 在方法的简明性和实用性方面具有明显优势;与 QAC 相比,SCCH2 在 JPEG2 000 失真类型上的性能相当,在其余 3 种单一失真类型的比较中处于劣势,这是由于 QAC 采用聚类方式构造特征字典,从本质上说仍是基于训练的。综上,在不同失真类型上,SCCH2 与 NRQI 的比较各有胜负,然而由于 NRQI 在对混合失真类型进行盲 IQA 评价时,引入了支持向量机进行分类学习,也是基于训练的,因此就综合性而言,SCCH 方法各项指标均属于中等偏上,具有综合性价比高的优点。

表 2 LIVE 数据库不同 IQA 方法性能比较

方法	IQA 类型	是否统计值	C_{LC}					
			JPEG2000	JPEG	高斯白噪声	高斯模糊	快速衰落	混合失真
pLSA ^[9]	盲	是	0.870 0	0.900 0	0.870 0	0.880 0	0.840 0	0.790 0
NIQE ^[12]	盲	是	0.937 0	0.956 4	0.977 3	0.952 5	0.912 8	0.914 7
SCCH1	盲	是	0.907 8	0.915 9	0.906 0	0.880 8	0.813 9	0.855 6
PSNR	全参考型	否	0.899 7	0.889 6	0.987 9	0.784 1	0.889 7	0.872 3
QAC ^[10]	盲	否	0.838 1	0.932 6	0.923 6	0.906 4		
NRQI ^[11]	盲	否	0.812 6	0.891 1	0.948 2	0.876 5	0.843 5	0.835 0
SCCH2	盲	否	0.834 7	0.859 3	0.897 4	0.833 9	0.776 3	0.822 4

在 LIVE 数据库,SCCH 方法对混合失真图像质量评价与主观得分的线性相关系数大于 0.82,相关程度较好,且该方法无需训练学习阶段,图像质量评分公式具有明确映射关系。为进一步考察 SCCH 方法的鲁棒性,在 CSIQ 数据库上开展跨库实验(包括 4 种公共失真类型),结果见表 3。

表 3 CSIQ 数据库不同 IQA 方法性能比较

方法	C_{LC}				
	JPEG2000	JPEG	高斯 噪声	高斯 模糊	混合 失真
QAC ^[10]	0.882 2	0.937 6	0.873 5	0.843 9	0.876 8
PSNR ^[10]	0.927 0	0.789 8	0.943 8	0.908 1	0.846 3
SCCH	0.864 2	0.877 9	0.832 4	0.816 7	0.854 8

表 3 中,SCCH 方法在 CSIQ 数据库上的表现相当不错,线性相关系数数值达到 0.85 以上,优于全

参考型图像质量评价方法 PSNR,说明 SCCH 方法具有较好的鲁棒性和稳定性。

4 结 论

本文对图像中由相邻 DNT 系数所构成的条件直方图的形状一致性特征进行分析,提出一种不需要训练的盲图像质量评价方法——SCCH 方法。该方法对自然图像所提取感知特征的一范数呈现出点聚集趋势,对于失真图像,其在特征属性空间中近似成束状聚集。SCCH 方法利用公开数据库构造特征属性-主观得分字典,并采用插值方式计算失真图像质量评分。在 LIVE 和 CSIQ 两大公开数据库上的实验结果表明,本文方法性能良好(线性相关系数值均大于 0.82)、无需训练学习、且评分公式形式简单。

SCCH 方法有进一步优化的可能。例如,在构造特征属性-主观得分字典时,仅利用了 LIVE 数据库信息。未来研究中可考虑引入其他数据库,以及

设计更高效和完备的字典,进一步提高算法性能。

参考文献:

- [1] WANG Zhou. Applications of objective image quality assessment methods [J]. IEEE Signal Processing Magazine, 2011, 28(6): 137-142.
- [2] ZHU X, MILANFAR P. Automatic parameter selection for denoising algorithms using a no-reference measure of image content [J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2010, 19(12): 3116-3132.
- [3] 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.
- [4] SHEIKH H R, BOVIK A C, CORMACK L. No-reference quality assessment using natural scene statistics: JPEG2000 [J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2005, 14(11): 1918-1927.
- [5] 楼斌, 沈海斌, 赵武锋, 等. 基于自然图像统计的无参考图像质量评价 [J]. 浙江大学学报: 工学版, 2010, 44(2): 248-252.
LOU Bin, SHEN Haibin, ZHAO Wufeng, et al. No-reference image quality assessment based on statistical model of natural image [J]. Journal of Zhejiang University: Engineering Science, 2010, 44(2): 248-252.
- [6] 李朝锋, 唐国凤, 吴小俊, 等. 学习相位一致特征的无参考图像质量评价 [J]. 电子与信息学报, 2013, 35(2): 484-488.
LI Chaofeng, TANG Guofeng, WU Xiaojun, et al. No-reference image quality assessment with learning phase congruency feature [J]. Journal of Electronics & Information Technology, 2013, 35(2): 484-488.
- [7] CHU Ying, MOU Xuanqin, HONG Wei, et al. A novel blind image quality assessment metric and its feature selection strategy [C] // Proceedings of the 2013 IS&T/SPIE Symposium on Electronic Imaging. San Francisco, CA, USA: SPIE, 2013: 1-8.
- [8] 蒋刚毅, 黄大江, 王旭, 等. 图像质量评价方法研究进展 [J]. 电子与信息学报, 2010, 32(1): 219-226.
JIANG Gangyi, HUANG Dajiang, WANG Xu, et al. Overview on image quality assessment methods [J]. Journal of Electronics & Information Technology, 2010, 32(1): 219-226.
- [9] MITTAL A, MURALIDHAR G S, GHOSH J, et al. Blind image quality assessment without human training using latent quality factors [J]. IEEE Signal Processing Letters, 2012, 19(2): 75-78.
- [10] XUE Wufeng, ZHANG Lei, MOU Xuanqin. Learning without human scores for blind image quality assessment [C] // Proceedings of the 2013 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. Piscataway, NJ, USA: IEEE, 2013: 1-8.
- [11] LI Chaofeng, JU Yiwen, BOVIK A C, et al. No-training, no-reference image quality index using perceptual features [J]. Optical Engineering, 2013, 52(5): 057003. 1-6.
- [12] MITTAL A, SOUNDARARAJAN R, BOVIK A C. Making a 'completely blind' image quality analyzer [J]. IEEE Signal Processing Letters, 2013, 20(3): 209-212.
- [13] BARLOW H B. Possible principles underlying the transformation of sensory message [M] // Sensory Communication. Cambridge, MA, USA: MIT Press, 1961: 217-234.
- [14] SCHWARTZ O, SIMONCELLI E P. Natural signal statistics and sensory gain control [J]. Nature Neuroscience, 2001, 4(8): 819-825.
- [15] WAINWRIGHT M J, SIMONCELLI E P. Scale mixtures of Gaussians and the statistics of natural images [J]. Advances in Neural Information Processing Systems, 2000, 12(1): 855-861.
- [16] SHEIKH H R, WANG Zhou, CORMACK L, et al. LIVE image quality assessment database release 2 [EB/OL]. [2013-11-08]. <http://live.ece.utexas.edu/research/quality/release2/databaserelease2.zip>.
- [17] LARSON E C, CHANDLER D M. Most apparent distortion: full-reference image quality assessment and the role of strategy [J]. Journal of Electronic Imaging, 2010, 19(1): 011006. 1-21.

[本刊相关文献链接]

- 周秦武, 隋芳芳, 白平, 等. 嵌入式无接触视频心率检测方法. 2013, 47(12): 55-60. [doi:10.7652/xjtuxb201312010]
- 郝红侠, 刘芳, 焦李成, 等. 采用结构自适应窗的非局部均值图像去噪算法. 2013, 47(12): 71-76. [doi:10.7652/xjtuxb201312013]
- 穆为磊, 高建民, 王昭, 等. 考虑人眼视觉特性的射线检测数字图像质量评价方法. 2013, 47(7): 91-95. [doi:10.7652/xjtuxb201307017]
- 李玉花, 齐春. 利用位置字典对的人脸图像超分辨率方法. 2012, 46(6): 7-11. [doi:10.7652/xjtuxb201206002]
- 穆为磊, 高建民, 陈富民, 等. 符合人眼视觉特性的焊缝射线数字图像增强方法. 2012, 46(3): 90-93. [doi:10.7652/xjtuxb201203016]

(编辑 刘杨)