



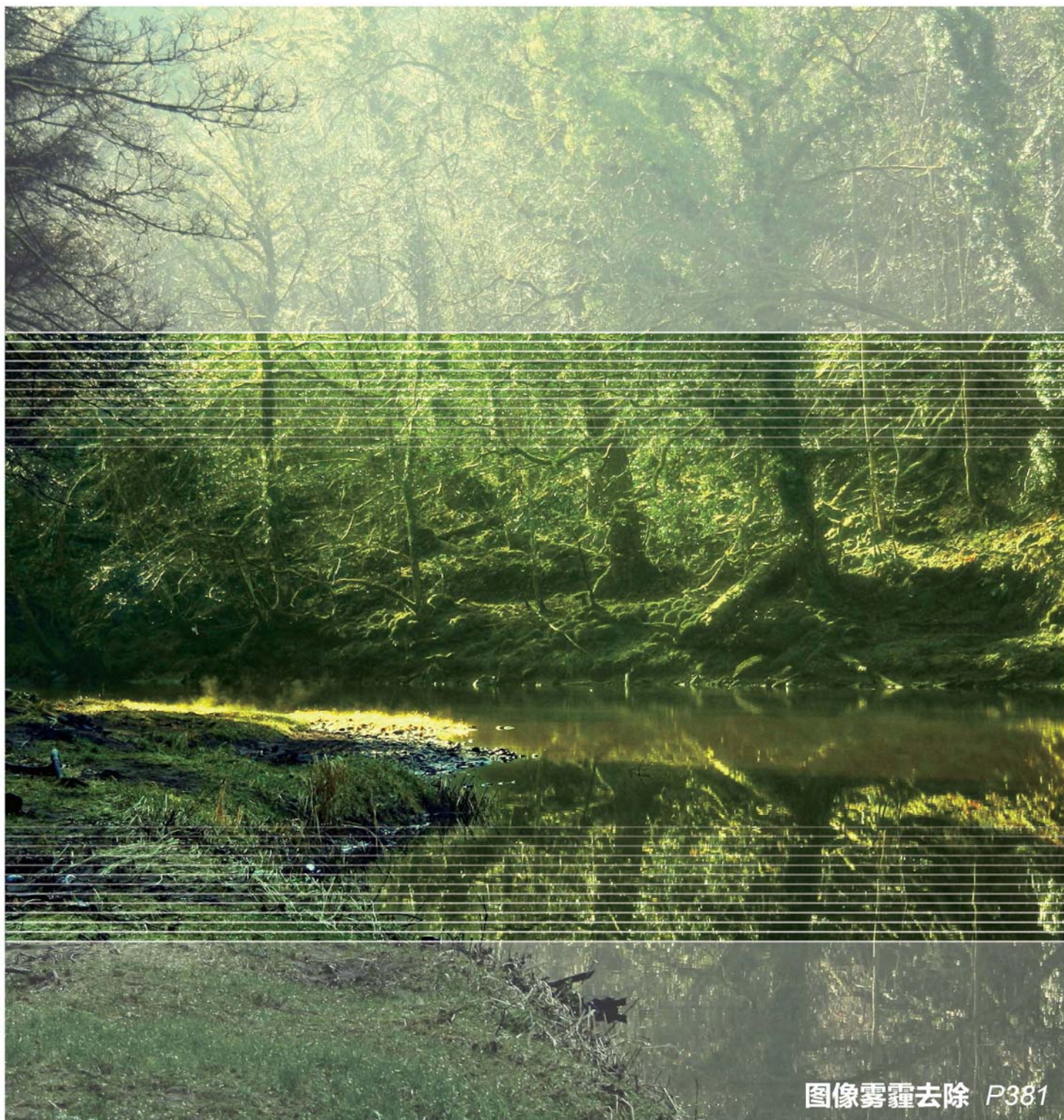
JOURNAL OF IMAGE AND GRAPHICS

主办: 中国科学院遥感与数字地球研究所
中国图象图形学学会
北京应用物理与计算数学研究所

中国图象图形学报

2014
03
VOL.19

ISSN1006-8961
CN11-3758/TB



图像雾霾去除 P381



第19卷第3期（总第215期）

2014年3月16日

中国精品科技期刊
中国国际影响力优秀学术期刊
中国科技核心期刊

版权声明

凡向《中国图象图形学报》投稿，均视为同意在本刊网站及CNKI等全文数据库出版，所刊载论文已获得著作权人的授权。本刊所有图片均为非商业目的使用，所有内容，未经许可，不得转载或以其他方式使用。

Copyright

All rights reserved by Journal of Image and Graphics, Institute of Remote Sensing and Digital Earth, CAS. The content (including but not limited text, photo, etc) published in this journal is for non-commercial use.

主管单位 中国科学院

主办单位 中国科学院遥感与数字地球研究所
中国图象图形学学会
北京应用物理与计算数学研究所

主 编 李小文

编辑出版《中国图象图形学报》编辑出版委员会

邮政信箱 北京9718信箱

邮 编 100101

电子信箱 jig@irsa.ac.cn

电 话 010-64807995

网 址 www.cjig.cn

广告经营许可证 京朝工商广字第0361号

总 发 行 北京报刊发行局

订 购 全国各地邮局

海外发行 中国国际图书贸易集团有限公司
(邮政信箱：北京399信箱 邮编：100048)

印刷装订 北京科信印刷有限公司

Journal of Image and Graphics

Title inscription: Song Jian

Monthly, Started in 1996

Superintended by Chinese Academy of Sciences

Sponsored by Institute of Remote Sensing and Digital Earth, CAS
China Society of Image and Graphics

Institute of Applied Physics and Computational Mathematics

Editor-in-Chief LI Xiaowen

Editor, Publisher Editorial and Publishing Board of Journal of
Image and Graphics

P.O.Box 9718, Beijing, P.R.China

Zip code 100101

E-mail jig@irsa.ac.cn

Telephone 010-64807995

Website www.cjig.cn

Distributed by Beijing Bureau for Distribution of Newspapers and Journals

Domestic All Local Post Offices in China

Overseas China International Book Trading Corporation
(P.O.Box 399, Beijing 100048, P.R.China))

Printed by Beijing Kexin Printing Co., Ltd.

CN 11-3758/TB

ISSN 1006-8961

CODEN ZTTXFZ

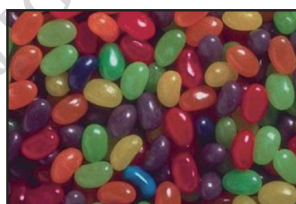
国外发行代号 M1406

国内邮发代号 82-831

国内定价 50.00元



控制关键帧选择的H.264熵编码加密算法(第358页)



显著性检测指导的高光区域修复(第393页)



由灭点进行径向畸变的自动校正(第407页)

综述

图像场景分类中视觉词包模型方法综述

赵理君, 唐娉, 霍连志, 郑柯 0333

面向对象的高分辨率SAR图像处理及应用

张红, 叶曦, 王超, 张波, 吴樊, 汤益先 0344

图像处理和编码

控制关键帧选择的H.264熵编码加密算法

张小红, 袁春经 0358

小波域视觉密码零水印算法

曲长波, 杨晓陶, 袁铎宁 0365

双重轮廓演化曲线的图像分割水平集模型

王相海, 李明 0373

暗原色先验单幅图像去雾改进算法

孙小明, 孙俊喜, 赵立荣, 曹永刚 0381

基于双边滤波的图像去雾

王一帆, 尹传历, 黄义明, 王洪玉 0386

显著性检测指导的高光区域修复

王祎璠, 姜志国, 史骏, 张浩鹏 0393

应用DCT块标准差的自适应隐写算法

凌轶华, 蔡晓霞, 陈红 0401

由灭点进行径向畸变的自动校正

刘丹, 刘学军, 王美珍 0407

图像分析和识别

黎曼流形上的保局投影在图像集匹配中的应用

曾青松 0414

结合全局和局部信息的“两阶段”活动轮廓模型

戚世乐, 王美清 0421

图像理解和计算机视觉

基于超像素的点追踪方法

罗会兰, 钟睿, 孔繁胜 0428

遥感图像处理

结合相位一致与全变差模型的高分辨率遥感图像边缘检测

黄秋燕, 肖鹏峰, 冯学智, 王珂 0439

第9届和谐人机环境联合学术会议专栏

人眼视觉感知特性的非下采样Contourlet变换域多聚焦图像融合

杨勇, 郑文娟, 黄淑英, 方志军, 袁非牛 0447

面向手绘军标图形的旋转自由识别方法

吴玲达, 张友根, 邓维, 宋汉辰 0456

基于深度相机的手腕识别与掌心估测

姚争为, 潘志庚, 滕国栋 0463

多信息融合的快速车牌定位

王永杰, 裴明涛, 贾云得 0471

H.264/AVC中基于决策树的P帧快速模式选择

王萍, 张晓丹, 张磊 0476

互信息域中的无参考图像质量评价

董宏平, 刘利雄 0484

CONTENTS

JOURNAL OF IMAGE AND GRAPHICS



H.264 video entropy coding encryption by controlling key frames(P358)



Algorithm for highlight area inpainting guided by saliency detection(P393)



Automatic approach of lens radial distortion correction based on vanishing points(P407)

Review

- Review of the bag-of-visual-words models in image scene classification
Zhao Lijun, Tang Ping, Huo Lianzhi, Zheng Ke 0333
- The processing and applications of high resolution SAR images with object-based image analysis
Zhang Hong, Ye Xi, Wang Chao, Zhang Bo, Wu Fan, Tang Yixian 0344

Image Processing and Coding

- H.264 video entropy coding encryption by controlling key frames
Zhang Xiaohong, Yuan Chunjing 0358
- Zero-watermarking visual cryptography algorithm in the wavelet domain
Qu Changbo, Yang Xiaotao, Yuan Duoning 0365
- Level set model for image segmentation based on dual contour evolutionary curve
Wang Xianghai, Li Ming 0373
- Improved algorithm for single image haze removing using dark channel prior
Sun Xiaoming, Sun Junxi, Zhao Lirong, Cao Yonggang 0381
- Image haze removal using a bilateral filter
Wang Yifan, Yin Chuanli, Huang Yiming, Wang Hongyu 0386
- Highlight area inpainting guided by saliency detection
Wang Yifan, Jiang Zhiguo, Shi Jun, Zhang Haopeng 0393
- Adaptive steganographic algorithm utilizing block standard deviation of DCT coefficients
Ling Yihua, Cai Xiaoxia, Chen Hong 0401
- Automatic approach of lens radial distortion correction based on vanishing points
Liu Dan, Liu Xuejun, Wang Meizhen 0407

Image Analysis and Recognition

- Locality preserving projection on Riemannian manifold for image set matching
Zeng Qingsong 0414
- "Two-stage" active contour model driven by local and global information
Qi Shile, Wang Meiqing 0421

Image Understanding and Computer Vision

- Method of point tracking based on superpixel
Luo Huilan, Zhong Rui, Kong Fansheng 0428

Remote Sensing Image Processing

- Edge detection from high resolution remote sensing image combining phase congruency with total variation model
Huang Qiuyan, Xiao Pengfeng, Feng Xuezhi, Wang Ke 0439

Special Issue on HHME 2013

- Multi-focus image fusion based on human visual perception characteristic in non-subsampled Contourlet transform domain
Yang Yong, Zheng Wenjuan, Huang Shuying, Fang Zhijun, Yuan Feiniu 0447
- Rotation free recognition of hand-drawn military marking symbols
Wu Lingda, Zhang Yougen, Deng Wei, Song Hanchen 0456
- The wrist recognition and the center of palm estimation based on depth camera
Yao Zhengwei, Pan Zhigeng, Teng Guodong 0463
- License plate detection based on multiple features
Wang Yongjie, Pei Mingtao, Jia Yunde 0471
- Fast intermode decision based on the decision tree for H.264/AVC P-frame encoding
Wang Ping, Zhang Xiaodan, Zhang Lei 0476
- No-reference image quality assessment in mutual information domain
Dong Hongping, Liu Lixiong 0484

中图法分类号: TP301.6 文献标识码: A 文章编号: 1006-8961(2014)03-0484-09

论文引用格式: 董宏平, 刘利雄. 互信息域中的无参考图像质量评价[J]. 中国图象图形学报, 2014, 19(3): 484-492. [DOI: 10.11834/jig.20140220]

互信息域中的无参考图像质量评价

董宏平, 刘利雄

北京理工大学计算机学院智能信息技术北京市重点实验室, 北京 100081

摘要:目的 无参考图像质量评价是近年来的研究热点, 具有深远的现实意义和广泛的应用价值, 提出一种基于互信息的无参考图像质量评价方法。方法 该方法使用原始自然图像及其对应的规范化亮度图像和局部标准差图像作为输入, 利用自相关互信息对输入图像邻近像素间的相关性进行量化, 并引入多尺度分析得到图像在两个尺度上的互信息特征, 最后使用支持向量机(SVM)在 LIVE 图像数据库上训练学习, 从而对多类失真图像进行客观质量评价。结果 在 LIVE 图像数据库中对本文算法进行性能测试, 实验结果显示该算法得到的评价结果与人眼主观评价结果之间的平均相关系数高达 0.93, 总体分类准确率达到 79%, 性能足以与当前主流的全参考、无参考方法相竞争。结论 本文方法有别于传统的基于变换的无参考图像质量评价方法, 将着眼点放于自然图像邻近像素之间的固有联系上, 并取得了较好的实验效果。由于没有使用图像变换并从全局域进行考虑, 本文方法具有较低的时间复杂度。

关键词: 自相关; 互信息; 无参考; 图像质量评价; 支持向量机

No-reference image quality assessment in mutual information domain

Dong Hongping, Liu Lixiong

Beijing Key Laboratory of Intelligent Information Technology, School of Computer Science and Technology,
Beijing Institute of Technology, Beijing 100081, China

Abstract: **Objective** As research hotspot in recent years, no-reference (NR) image quality assessment has profound practical significance and broad application value. We present a new method of no-reference image quality assessment (IQA) based on mutual information (MIQA). **Method** Original natural images and their corresponding normalized luminance field and local standard deviation field are used as inputs. Self-correlated mutual information is used to quantify the correlations between neighboring pixels of three categories of inputs, and the quantization results are used as features. In addition, the multiscale analysis is introduced to obtain the mutual information features across two scales. The image distortion classifier and quality prediction model are trained by using a support vector machine (SVM) on the LIVE image database and conduct the NR IQA across multiple categories of distortions. **Result** We conduct the performance evaluation for our proposed algorithm on the LIVE image database, the experimental results show that the mean correlation coefficient between the quality judgment of this algorithm and the human subjective quality judgment is up to 0.93, and the total classification accuracy is up to 79%, delivering a performance which is competitive with the most popular full-reference (FR) /NR IQA methods. **Conclusion** The method presented is different from the traditional NR IQA methods based on image transforms. Since natural images are highly structured, we focus on the inherent correlations between neighboring pixels of natu-

收稿日期: 2013-09-09; 修回日期: 2013-11-04

基金项目: 国家自然科学基金项目(61133008)

第一作者简介: 董宏平(1988—), 男, 北京理工大学计算机学院计算机科学与技术专业硕士研究生, 主要研究方向为图像质量评价。

E-mail: hijyuki@bit.edu.cn

通信作者: 刘利雄, E-mail: hiyuki@bit.edu.cn

ral images, rather than the distribution of transformed coefficients, and obtain a good performance. Since the method presented is build without any image transforms and it is a global method, it has a relatively low time complexity.

Key words: self-correlation; mutual information; no-reference; image quality assessment; support vector machine

0 引言

无参考图像质量评价是指在没有参考信息的条件下对失真图像直接进行质量评价,是最符合现实需求的一类图像质量评价方法,也是近几年来图像处理领域的研究热点之一。无参考评价方法主要分为两类:基于空域失真效应分析的方法^[1-3],基于自然场景统计特性(NSS)的方法^[4-11]。

基于空域失真效应分析的方法对特定失真类型带来的特定失真效应进行强度度量,从而计算图像质量。例如,Wang 等人^[1]对 JPEG 压缩图像计算块边界平均差异,块内活跃度和零交点率,再对计算结果进行函数映射得到对于 JPEG 压缩图像的客观质量评价。Liu 等人^[2]对 JPEG2000 压缩图像先作双边滤波预处理,再使用边缘算子得到图像的强边缘位置,之后在图像强边缘附近划分出振铃效应区域和局部背景区域,计算比较两种区域的活跃度作为 JPEG2000 压缩图像中振铃效应强度的度量。Narvekar 等人^[3]提出了恰可感知模糊(JNB)的概念,使用边缘算子提取出模糊图像的边缘信息,并将其边缘宽度与 JNB 边缘宽度相比较,从而得到模糊强度的度量。该类方法往往只能对单一特定失真类型的图像做出评价,具有一定的局限性。

研究表明,统计上只占有图像空间极小部分的自然图像具有相似的统计特征,构成了自然图像子空间^[12]。基于自然场景统计特性(NSS)的方法^[4-11],通过机器学习的方式计算失真图像在图像空间中与自然图像子空间之间的距离以对其图像质量做出评价。例如,Brando 和 Queluz^[4]使用拉普拉斯函数拟合 JPEG 压缩图像的 DCT 系数直方图,使用拟合参数对 JPEG 压缩图像质量进行评价。Sheikh 等人^[5]绘制了预测小波系数与实际小波系数的联合直方图,通过此联合直方图的分布特性对 JPEG2000 压缩图像的质量做出预测。Chen 等人^[6]使用多尺度梯度直方图对模糊图像进行质量评价。Shen 等人^[7]将失真图像变换到 Curvelet 域上,使用变换系数振幅对数直方图的峰值点横纵坐标作为特征对噪声和模糊图像进行质量评价。Saad 等人提出

了通用无参考质量评价(即对多类型失真图像进行无参考质量评价)算法 BLIINDS-I^[8]和 BLIINDS-II^[9],这两种算法着重于描述失真图像偏离自然图像子空间的失真程度,而非特定失真效应带来的特殊变化。其中 BLIINDS-II 使用广义高斯分布拟合图像 DCT 系数直方图,使用拟合参数作为特征,利用简单概率模型对多类失真图像构建质量预测模型。同样为了实现通用无参考图像质量评价,Anush 等人^[10-11]提出了另一种解决方案,即先对未知类型的失真类型进行分类识别,再根据分类结果对失真图像进行质量预测的二步框架,该框架在 Anush 等人提出的质量评价算法 BIQI^[13]和 DIIVINE^[11]中得以应用。其中 DIIVINE 对失真图像进行一种基于小波的多方向可控金字塔分解,使用广义高斯分布拟合分解得到的细节子带系数直方图,将拟合参数作为特征训练得到二步框架中所需的失真分类器和质量预测模型,从而对多类型失真图像进行质量评价。直到最近,Anish 等人提出了空域上的质量评价算法 BRISQUE^[13],该方法基于对原图的规范化亮度系数分布进行研究,具有较高的主观一致性和较低的时间复杂度。

近年来,绝大部分基于自然场景统计特性的方法都集中于研究自然图像经过某种变换后其系数分布显示出的自然统计特性,并将其模型化以对失真图像进行质量评价。这些方法都只关注失真对于图像整体造成的影响(对于各类变换系数分布的影响),而忽略了失真对原始像素结构的破坏。互信息在文献[13]中的良好应用证明了其在图像质量评价领域的潜力,本文着眼于自然图像的高度结构化特性,注重考察自然图像及其对应的规范化亮度图像和局部标准差图像中的邻近像素间相关性,并使用互信息对其进行描述,以此为核心提出一种全新的通用无参考图像质量评价算法。

1 基于互信息的无参考图像质量评价

1.1 邻近像素间相关性中的自然场景统计特性

自然图像是高度结构化的^[14],图像邻近像素间的相关性具有一定的统计规律,图像失真过程将会

破坏这种统计规律,例如,模糊效应会使得局部区域内的像素同质化,这将提高邻近像素间相关性,而噪声效应会随机地改变图像中部分像素,从而会破坏原始自然图像的高度结构性,降低邻近像素间的相关性。为了研究自然图像中的像素间相关性存在的统计规律,Ruderman^[15]在足够大的自然图像集合中计算了自然图像中任意像素 ϕ_1 与一定距离外的像素 ϕ_2 之间的香农互信息,即

$$I = \int p_2(\phi_1, \phi_2) \log_2 \frac{p_2(\phi_1, \phi_2)}{p_1(\phi_1)p_1(\phi_2)} d\phi_1 d\phi_2 \quad (1)$$

式中, p_1 是单像素 ϕ_1 或 ϕ_2 的边缘分布, p_2 是两个像素 ϕ_1 和 ϕ_2 的联合分布。Ruderman 在实验中发现,当两像素间距离为 d ,其形成的方向角为 θ 时,则有

$$I(d, \theta) \approx d^{-\alpha(\theta)} \quad (2)$$

式中, $\alpha(\theta)$ 是关于 θ 的函数。这证明自然图像中邻近像素间的相关性确实具有一定的统计规律,基于此,Ruderman 使用一定距离外的已知像素 ϕ_2 对像素 ϕ_1 进行重构预测,即

$$\phi_1^{\text{est}}(\phi_2) = \int \phi_1 p(\phi_1 | \phi_2) d\phi_1 \quad (3)$$

式中, $p(\phi_1 | \phi_2)$ 为像素 ϕ_2 已知时像素 ϕ_1 的条件分布, $\phi_1^{\text{est}}(\phi_2)$ 表示对于像素 ϕ_1 的重构预测。实验结果显示两像素间距离 d 越小时重构结果越准确,这说明越接近的像素之间存在着越稳固的关联性,其像素间相关性也将显示出越强的统计特性,故着重研究间隔距离为 1 的邻近像素间相关性与图像质量之间的联系。

Ruderman 在文献[15]中发现自然图像的局部标准差图像具有近似原图的直方图分布,具有与原图相似的自然场景统计特性,而同样在文献[15]中提出的规范化亮度图像能够将非高斯的原图直方图分布高斯化,该图像在文献[12]中的成功应用证明了其具有自然场景统计特性。认为这两种图像在互信息域上也能够显示出一定的自然场景统计特性,为了进一步提高算法性能,除对原图之外,也对这两种图像的邻近像素间相关性进行考察,这两种图像的计算方式为

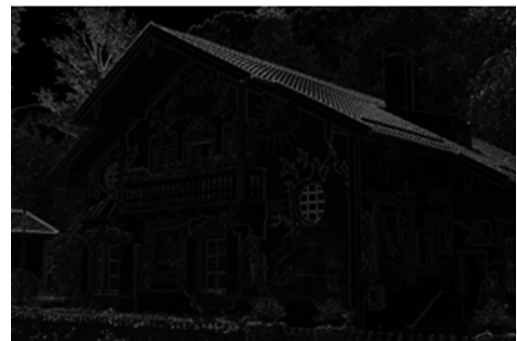
$$\hat{I}(i, j) = \frac{I(i, j) - \mu(i, j)}{\sigma(i, j) + C} \quad (4)$$

式中, I 为原始图像, μ 和 σ 分别为使用 3×3 高斯窗口计算得到的局部均值图像和局部标准差图像, C 为避免分母为 0 的小常量, $\hat{I}$ 为规范化亮度图像。

图 1 显示了自然图像及其对应的规范化亮度图像和局部标准差图像,可以看出,规范化亮度图像与原始图像相比具有更低的对比度和更好的同一性,它以较低能量形式保留了原始图像中的边缘和纹理信息,而其余部分显示出噪声模式。另外,局部标准差图像则在突出显示了原始图像中边缘信息的同时弱化了原始图像中的纹理信息。



(a) 原始图像



(b) 局部标准差图像



(c) 规范化亮度图像

图 1 自然图像的原图及其对应的局部标准差图像和规范化亮度图像

Fig. 1 Original natural image, local standard deviation image and variance normalized image

使用香农互信息作为邻近像素间相关性的度量,分别在上述 3 种输入图像中计算中心像素 (i, j)

与其在水平方向($i, j+1$), 竖直方向($i+1, j$)和副对角线($i+1, j+1$)方向上的邻近像素间的自相关互信息。此外还对中心像素周围的8个邻近像素计算均值, 得到邻近像素均值图

$$\bar{\phi} = \frac{1}{8} \sum_{i=1}^8 \phi_i \quad (5)$$

计算原图和邻近像素均值图之间的互信息作为第4个方向, 即全方向上的自相关互信息。

图2分别显示了4个方向上, 自然图像和 LIVE 数据库中5种不同类型失真图像(分别为 JPEG2000 压缩(JP2k 压缩)、JPEG 压缩、白噪声、高斯模糊和快速衰退)在3类输入图像的自相关互信息空间中的分布状况, 图2中的3个坐标轴分别代表着原始

图像、局部标准差图像和规范化亮度图像中的自相关互信息数值, 从图2中可以看出原始图像和不同类型的失真图像在各个方向上的自相关互信息空间中占据了不同的子空间(图2(d)所示的全方向上最为明显), 这也验证了前面提出的观点, 即在自然图像的原图及其规范化亮度图像和局部标准差图像中, 邻近像素间相关性都将显示出一定的统计特性, 并且不同类型的图像失真会以各自不同的方式改变这种统计特性。直接把这些自相关互信息作为图像质量评价特征使用, 联合构成12维的特征空间(3类输入 $\times$ 4个方向), 特征描述见表1。

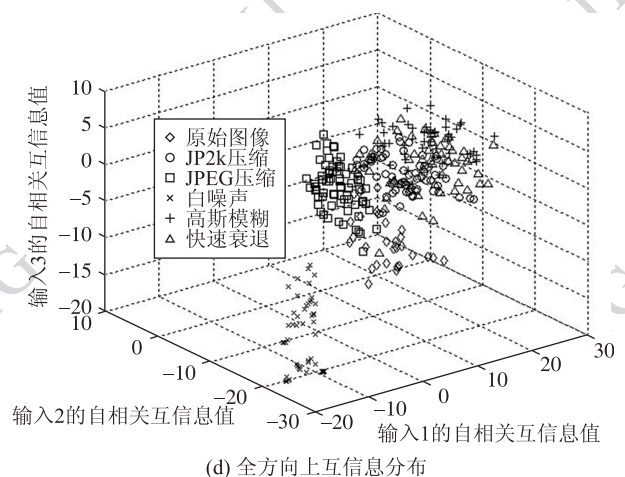
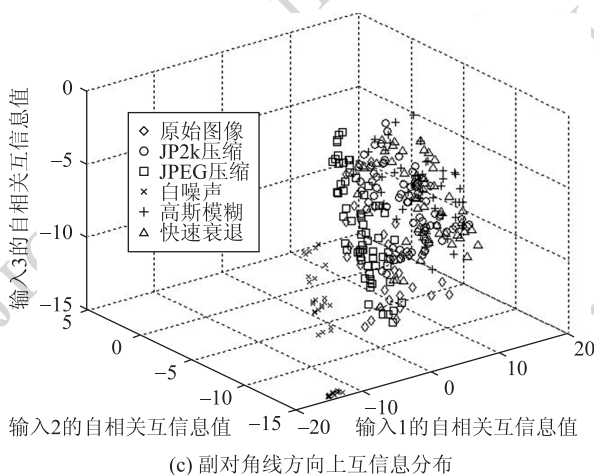
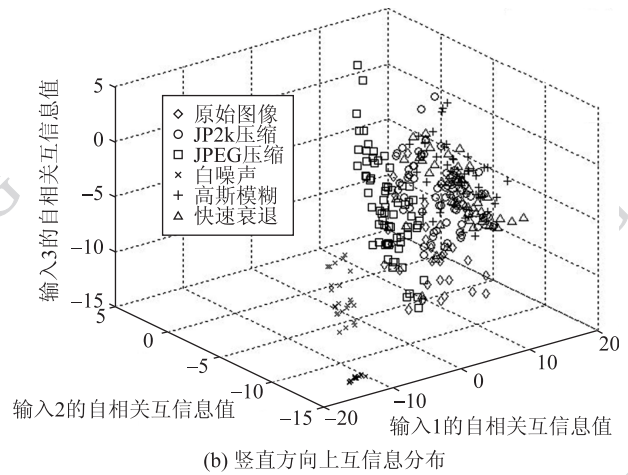
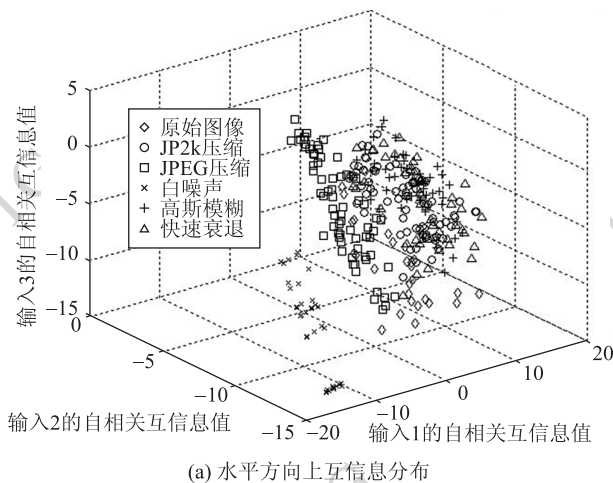


图2 4个方向上自然图像和五种不同类型失真图像在3类输入图像的自相关互信息空间中的分布状况,

其中输入1为原始图像, 输入2为局部标准差图像, 输入3为规范化亮度图像

Fig. 2 Self-correlated mutual information distribution of 3 input images on 4 orientations, where input 1 is original image, input 2 is local standard deviation image and input 3 is variance normalized image

表 1 单尺度特征提取描述

Table 1 Feature extraction description in 1 scale

特征 ID	特征描述
$f_1 \sim f_4$	原始图像中 4 个方向上邻近像素间自相关互信息
$f_5 \sim f_8$	规范化亮度图像中 4 个方向上邻近像素间自相关互信息
$f_9 \sim f_{12}$	局部标准差图像中 4 个方向上邻近像素间自相关互信息

1.2 多尺度分析

自然场景统计特性具有尺度不变性^[15],多尺度信息的引入往往能够改善图像质量评价的算法性能^[8-9,16]。本文采用一种简单的方法对图像进行多尺度分析,对原始图像进行降采样得到其低尺度副本,之后对低尺度副本重复进行前述的互信息特征提取。实验结果表明更高的尺度层次并不能带来算法性能的明显提升,本文从最高的二尺度图像中提取特征构成 24 维的特征空间(每个尺度 12 维)。为了证明这些特征的有效性,图 3 显示了各失真类型下各维特征与主观质量评价结果的相关性(斯皮尔曼等级相关系数, SROCC),即对每一维特征计算其与 LIVE 数据库中各失真类型的主观质量评价 DMOS(difference mean opinion score)值的斯皮尔曼相关系数(注意这并不包含训练过程)。从图 3 中观察到不同的失真类型影响图像中邻近像素间相关性的方式不同,并且进一步证明了同时使用原始图像、规范化亮度图像和局部标准差图像作为输入的必要性。

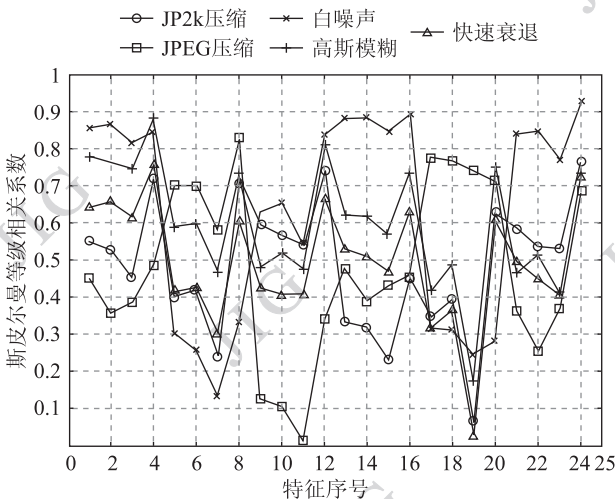


图 3 各失真类型下各维特征与主观质量评价结果 (DMOS) 的相关性 (SROCC)

Fig. 3 Correlation (SROCC) of features with human judgments of quality (DMOS) for different distortions

1.3 质量评价模型

为了实现通用无参考质量评价,采用文献[10-11]中提出的二步框架,先利用图像质量特征对未知类型的失真图像进行分类,然后利用相同的特征对分类后的失真图像进行质量预测。鉴于支持向量机(Support Vector Machine, SVM)的良好性能,借助 LIBSVM-3.12 工具包^[17]用于训练建立二步框架中所需的失真分类器和质量预测模型:1)从全体失真图像中选取训练集,训练集由所选图像的特征及类别标签组成,使用 C-SVC(使用径向基函数核(RBF))训练得到分类器。LIBSVM 支持分类概率估计,对于未知类型的失真图像,可通过该分类器估计它以概率 p_i 属于第 i 种失真类型,从而得到 n 维分类概率估计向量 $\mathbf{p}$ (n 为失真类型总数)。2)针对每种失真类型分别选取各自的训练集,训练集由所选图像的特征及对应的主观质量评价 DMOS 值组成,使用 ν -SVR(RBF 核)对每种失真类型训练得到对应的质量预测模型。对于第 1)步中已完成分类的失真图像,分别输入 n 种质量预测模型中计算得到 n 维质量预测向量 $\mathbf{q}$,再使用分类概率估计向量 $\mathbf{p}$ 对其进行加权求和以得到最终的客观质量评价(预测 DMOS),即

$$\mathbf{Q} = \mathbf{p}^T \mathbf{q} \quad (6)$$

其完整的结构流程图如图 4 所示。

2 性能分析与比较

2.1 算法的主观一致性

在流行的 LIVE 图像质量数据库^[18]上对本文中提出的算法(MIQA)进行性能测试。LIVE 数据库由 29 幅原始自然图像和 779 幅不同类型不同程度的失真图像组成,失真类型包括 JPEG 和 JPEG2000 压缩、白噪声(NOISE)、高斯模糊(BLUR)和快速衰退(FF)5 种,并对所有类型的失真图像进行统一的质量评价(ALL)。LIVE 数据库对每幅图像都给出了相应的人眼主观质量评价 DMOS,取值范围为 0~100,数值越大代表失真越严重。

由于 MIQA 需要通过训练过程建立起从特征空间到质量评价之间的映射,将 LIVE 数据库中的数据划分为训练集和测试集两部分,利用交叉验证得到最优训练参数,使用该参数在训练集上训练出算法中所需的分类模型和回归模型,剩余

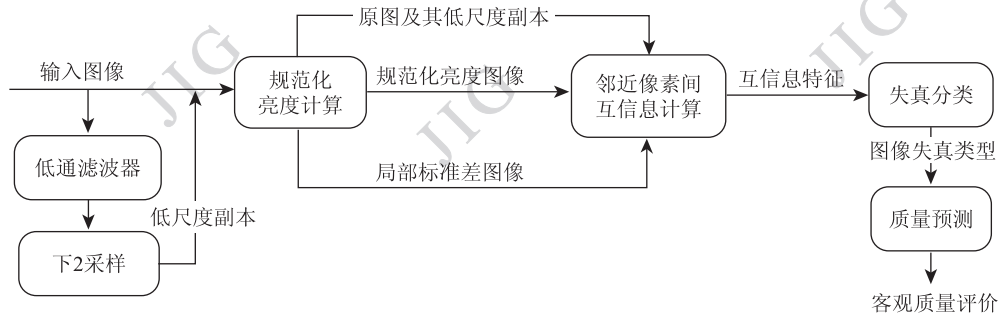


图 4 算法流程图

Fig. 4 Flow chart of the algorithm

的测试集用以测试算法性能。为了提高结果的有效性,在划分训练、测试集时遵循以下几个原则: 1) 训练集和测试集在图像内容上处于绝对隔离; 2) 训练集和测试集各占 80% 和 20% 比例; 3) 在满足条件 1) 2) 的情况下随机划分训练集与测试集 1 000 次, 每一次都对算法做性能测试, 使用 1 000 次测试结果的中间值作为最终的算法性能评价。分别计算了主观质量评价结果与客观质量评价结果之间的 SROCC 和皮尔逊线性相关系数 (PCC) 以衡量算法的主观一致性, 两者的值越接近于 1 说明主观一致性越强。此外, 还计算了两者之间的均方误差根 (RMSE) 以衡量算法的质量预测准确程度, RMSE 值越小说明质量预测越准确。

表 2—表 4 分别列出了 MIQA 和几种主流的图像质量评价算法的性能测试结果, 包含了单失真类型测试结果和全体失真类型测试结果。在所选的算法中, PSNR 和 SSIM^[12] 是经典的全参考图像质量评

价方法, 而 BIQI^[10], DIIIVINE^[11] 和 BLIINDS-II^[9] 则是最近出现的通用无参考图像质量评价方法。为了保证性能比较的公平性, 对于每种算法都采用了随机选取 20% 测试集迭代测试 1 000 次的方式, 并使用测试结果的中间值作为最终的性能测试结果。从表中的分类测试结果可以看出, MIQA 对于大多数失真图像能够做出较为准确的质量评价, 而对于快速衰退失真类型的评价相对而言要略差一些。这是因为快速衰退失真是一种多过程失真, 带来了多重失真效应, 自然要比其余 4 种单过程失真类型难于评价一些。从全体失真类型测试结果上来看, MIQA 的主观一致性要高于 PSNR、SSIM、BIQI 和 DIIIVINE, 而与 BLIINDS-II 不相上下。为了衡量算法的稳定性, 在表 5 中列出了各项性能表征量在 1 000 次测试结果中的标准差, 越低的标准差代表着结果的稳定性越高, 从表 2—表 4 中可看出, MIQA 在几种无参考质量评价方法中具有最高的稳定性。

表 2 1 000 次迭代测试中各评价方法 SROCC 中间值

Table 2 Median SROCC across 1 000 train-test trials

评价方法	JP2k	JPEG	NOISE	BLUR	FF	ALL
PSNR	0.899 0	0.848 4	0.983 5	0.807 6	0.898 6	0.829 3
SSIM	0.951 0	0.917 3	0.969 7	0.951 3	0.955 5	0.899 6
BIQI	0.855 1	0.776 7	0.976 4	0.925 8	0.769 5	0.759 9
DIIIVINE	0.935 2	0.892 1	0.982 8	0.955 1	0.909 6	0.917 4
BLIINDS-II	0.946 2	0.935 0	0.963 4	0.933 6	0.899 2	0.933 1
MIQA	0.940 8	0.925 9	0.982 8	0.957 2	0.880 0	0.933 3

表 3 1 000 次迭代测试中各算法 PCC 中间值
Table 3 Median PCC across 1 000 train-test trials

评价方法	JP2k	JPEG	NOISE	BLUR	FF	ALL
PSNR	0. 883 7	0. 851 5	0. 981 7	0. 800 6	0. 893 9	0. 808 1
SSIM	0. 960 1	0. 948 5	0. 986 1	0. 953 7	0. 961 6	0. 910 0
BIQI	0. 841 4	0. 760 3	0. 973 2	0. 911 8	0. 734 2	0. 742 2
DHIVINE	0. 940 9	0. 909 7	0. 974 4	0. 939 3	0. 912 8	0. 911 6
BLIINDS-II	0. 949 3	0. 950 5	0. 961 4	0. 937 5	0. 907 9	0. 924 1
MIQA	0. 940 5	0. 927 6	0. 980 2	0. 951 5	0. 891 7	0. 923 2

表 4 1 000 次迭代测试中各算法 RMSE 中间值
Table 4 Median RMSE across 1 000 train-test trials

评价方法	JP2k	JPEG	NOISE	BLUR	FF	ALL
PSNR	7. 564 1	8. 326 9	3. 074 1	9. 428 9	7. 399 0	9. 497 3
SSIM	4. 538 9	5. 077 1	2. 658 4	4. 682 3	4. 485 5	6. 635 5
BIQI	13. 787 1	17. 013 3	5. 380 4	9. 656 2	15. 551 5	15. 954 7
DHIVINE	8. 570 3	10. 607 0	5. 213 7	8. 066 3	9. 652 0	9. 934 7
BLIINDS-II	8. 173 0	7. 765 8	6. 500 9	8. 069 6	9. 714 1	9. 047 3
MIQA	8. 789 0	9. 301 7	4. 755 3	7. 210 1	10. 180 6	9. 160 5

表 5 1 000 次迭代测试中各算法各项性能指标标准差
Table 5 Standard deviation of SROCC, LCC and RMSE across 1 000 train-test trials

评价方法	STD		
	SROCC	PCC	RMSE
PSNR	0. 024 9	0. 056 6	2. 585 0
SSIM	0. 009 6	0. 014 4	0. 473 5
BIQI	0. 065 4	0. 066 3	1. 599 4
DHIVINE	0. 027 3	0. 028 6	1. 270 5
BLIINDS-II	0. 023 5	0. 024 7	1. 165 3
MIQA	0. 017 8	0. 018 4	1. 105 0

2.2 统计显著性和假设检验

图 5 显示了各种算法在 1 000 次迭代测试中得到的 SROCC 值的盒装图,从该图和表 2—表 4 中都能看出不同算法在性能上存在一定的差异,但不能保证这种差异是具有统计显著性的。为此对各种算法在 1 000 次迭代测试中得到的 SROCC 值进行基于 t 测试^[19]的假设检验,结果如表 6 所示。在假设检验中,原假设为表 6 中对应行列上的算法具有相同的 SROCC 均值,备择假设为对应行列上的算法具有不同的 SROCC 均值,置信水平为 95%。

从表 6 中可以清晰地看出,MIQA 的算法性能在统计上要优于其余 5 种参与比较的图像质量评价算法。

2.3 分类准确率

为了证明本文设计的特征能够较为准确地对失真类型进行分类,将对 MIQA 的分类性能进行分析。表 7 中列出了 1 000 次迭代性能测试中对于各类失真类型以及全部失真类型的分类准确率中间值。为了更直观地描述哪些类型在分类时容易被混淆,在图 6 中绘制了各类之间分类时的混淆矩阵。混淆矩

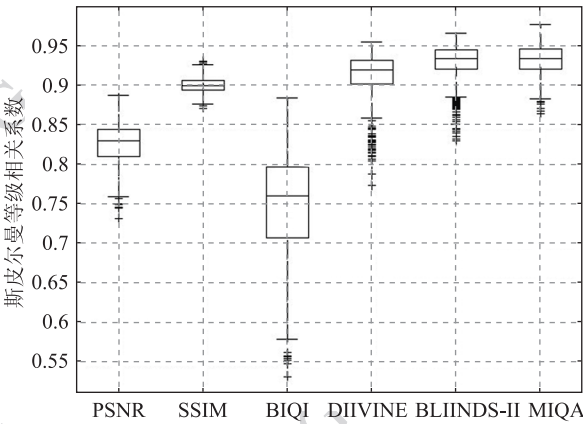


图 5 1 000 次迭代测试中各算法 SROCC 盒装图
Fig. 5 Box plot of SROCC distributions of the algorithms across 1 000 train-test trials

阵中列为真实失真类型,行上为分类预测类型,矩阵中的数值表示对应行列上失真类型间的混淆概率,为 1 000 次迭代测试结果的均值。从表 7 和图 6 可以观察到,噪声是最容易与其他失真类型区分的,这是由于噪声对于自然图像邻近像素间相关性的影响完全与其他 4 种失真类型相反,噪声降低了原图中邻近像素间的相关性,而其他 4 种失真类型因为都包含有模糊效应,从而会在一定程度上提高原图中邻近像素间相关性。快速衰退失真最容易与 JPEG2000 压缩失真混淆,这是由于快速衰退失真是由图像先经过 JPEG2000 压缩后再经过网络传输丢包错误造成的,它与 JPEG2000 压缩失真显示出一些共同的失真效应,故难以区分。

表 6 1 000 次迭代测试中各评价方法 SROCC 单边 t 测试结果

Table 6 Results of one-sided t-test performed between SROCC values of various IQA algorithms

	PSNR	SSIM	BIQI	DIIVINE	BLIINDS-II	MIQA
PSNR	0	-1	1	-1	-1	-1
SSIM	1	0	1	-1	-1	-1
BIQI	-1	-1	0	-1	-1	-1
DIIVINE	1	1	1	0	-1	-1
BLIINDS - II	1	1	1	1	0	-1
MIQA	1	1	1	1	1	0

注:表中‘1’意味着对应行上的算法性能在统计上优于对应列上的算法,‘-1’意味着对应行上的算法的性能在统计上劣于对应列上的算法,‘0’则表示对应行列上的算法在统计上具有相同的性能

表 7 MIQA 失真分类准确率
Table 7 Median classification accuracy across 1 000 train-test trials

/%					
JP2k	JPEG	NOISE	BLUR	FF	ALL
73.529 4	85.294 1	100.000 0	83.333 3	60.000 0	79.122 8

2.4 时间复杂度

在对图像质量评价过程中,提取特征过程所需的计算时间往往要远大于对其进行分类和质量预测的过程,后者的时间复杂度往往也只与特征维数和机器学习方式有关。在这里主要对算法中特征提取过程的时间复杂度进行分析。在 CPU 3.4 GHz Core4, RAM 4 G 的环境下,对 LIVE 数据库中尺寸为 768 × 512 的自然图像 parrots. bmp 进行特征提取,并将其与另外两种主观一致性较高的无参考质量评价算法 DIIVINE 和 BLIINDS-II 在相同环境下所需的时间进行比较,结果见表 8。可以看出,MIQA

	JP2k	JPEG	NOISE	BLUR	FF
JP2k	0.730 1	0.106 5	0.002 2	0.006 5	0.154 6
JPEG	0.079 6	0.847 0	0.001 6	0.005 8	0.066 0
NOISE	0.002 1	0.006 5	0.988 4	0.000 0	0.003 1
BLUR	0.019 3	0.018 9	0.001 4	0.800 7	0.159 8
FF	0.152 9	0.115 9	0.000 9	0.148 3	0.582 0

图 6 MIQA 失真分类混淆矩阵
Fig. 6 Mean confusion matrix for classifier across 1 000 train-test trials

的时间复杂度要远远低于 DIIVINE 和 BLIINDS-II,这是由于 MIQA 中并未采用耗时较多的空频域变

换操作,从全局域考虑,使用了较为简单有效的特征提取方式。

表 8 3 类无参考质量评价方法特征提取耗时对比

Table 8 The comparison of the time complexity (time for feature extraction) of three NR IQA algorithms

评价方法	耗时/s
DHIVINE	30.529 4
BLIINDS-II	133.521 3
MIQA	0.639 6

3 结 论

本文提出了基于互信息的无参考图像质量评价方法,主要研究意义如下:1)突破了传统的自然场景统计特性框架,即考虑自然图像高度结构化的特性,深入研究自然图像中邻近像素间相关性与图像质量之间存在的关联,并使用互信息对邻近像素间相关性进行描述。除此之外,该方法还引入了两种能够准确表征自然图像结构的图像-规范化亮度图像和局部标准差图像,并结合多方向和多尺度分析设计提取出一系列互信息特征来对自然图像进行质量评价;2)该方法不仅具有较高的主观一致性和较好分类性能,还具有较低的时间复杂度,能够满足实际应用中对于实时性的要求,具有较强的实用价值。

在接下来的研究中,将进一步发掘图像邻近像素间相关性在图像质量评价领域的潜力,并考虑将其移植到视频质量评价领域,以期达到良好的效果。

参考文献 (References)

- [1] Wang Z, Bovik A C, Evans B L. Blind measurement of blocking artifacts in images [C]//Proceedings of IEEE International Conference on Image Processing. Vancouver, BC: IEEE, 2000, 3: 981-984.
- [2] Liu H, Klomp N, Heynderickx I. A no-reference metric for perceived ringing artifacts in images [J]. IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, 2010, 20(4): 529-539.
- [3] Narvekar N D, Karam L J. A no-reference image blur metric based on the cumulative probability of blur detection [J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2011, 20(9): 2678-2683.
- [4] Brandao T, Queluz M P. No-reference image quality assessment based on DCT-domain statistics [J]. IEEE Signal Processing, 2008, 88(4): 822-833.
- [5] 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.
- [6] Chen M J, Bovik A C. No-reference image blur assessment using multiscale gradient [J]. EURASIP Journal on Image and Video Processing, 2011, 3: (1-11).
- [7] Shen J, Li Q, Erlebach G. Hybrid no-reference natural image quality assessment of noisy, blurry, JPEG2000, and JPEG images [J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2011, 20(9): 2089-2098.
- [8] Saad M A, Bovik A C, Charrier C. A DCT statistics-based blind image quality index [J]. IEEE Signal Processing Letters, 2010, 17(6): 583-586.
- [9] 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.
- [10] 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.
- [11] 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.
- [12] Sheikh H R, Bovik A C. Image information and visual quality [J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2006, 15(2): 430-444.
- [13] 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.
- [14] 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.
- [15] Ruderman D L. The statistics of natural images [J]. Network: Computation in Neural Systems, 1994, 5(4): 517-548.
- [16] Wang Z, Simoncelli E P, Bovik A C. Multiscale structural similarity image quality assessment [C]//Proceedings of the 37th Asilomar Conference on Signals, Systems & Computers. Washington USA: IEEE computer society 2004, 2: 1398-1402.
- [17] Chang C and Lin C. LIBSVM: a library for support vector machines [EB/OL]. [2013-09-09]. <http://www.csie.ntu.edu.tw/~cjlin/libsvm>, 2001.
- [18] Sheikh H R, Wang Z, Cormack L, et al. LIVE Image Quality Assessment Database Release 2 [EB/OL]. [2013-09-09]. <http://live.ece.utexas.edu/research/quality>, 2006.
- [19] Sheskin D. Handbook of Parametric and Nonparametric Statistical Procedures [M]. London, UK: Chapman & Hall, 2004.