



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

2015

11

VOL.20

ISSN1006-8961
CN11-3758/TB



动作识别 P1462



第20卷第11期（总第235期）

2015年11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
中文核心期刊

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@radi.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@radi.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

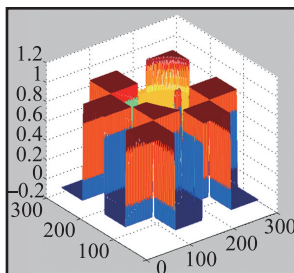
ISSN 1006-8961

CODEN ZTTXFZ

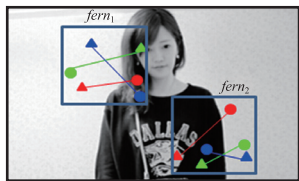
国外发行代号 M1406

国内邮发代号 82-831

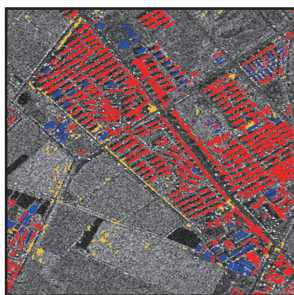
国内定价 50.00元



对偶算法在紧框架域TV-L₁
去模糊模型中的应用
(第1434页)



融合检测和跟踪的实时人脸
跟踪(第1473页)



高分辨率SAR影像形态学
层级分析的建筑物检测
(第1517页)

综述

多媒体技术研究: 2014——深度学习与媒体计算

吴飞, 朱文武, 于俊清 1423

图像处理和编码

对偶算法在紧框架域TV-L₁去模糊模型中的应用

李旭超, 马松岩, 边素轩 1434

融合梯度信息与HVS滤波器的无参考清晰度评价

应凌楷, 李子印, 张聪聪 1446

消除halo效应和色彩失真的去雾算法

刘兴云, 戴声奎 1453

图像分析和识别

融合多姿势估计特征的动作识别

罗会兰, 冯宇杰, 孔繁胜 1462

融合检测和跟踪的实时人脸跟踪

刘嘉敏, 梁莹, 孙洪兴, 段勇, 刘斌 1473

非凸加权核范数及其在运动目标检测中的应用

周宗伟, 金忠 1482

图像理解和计算机视觉

OPTICS聚类与目标区域概率模型的多运动目标跟踪

孙天宇, 孙炜, 薛敏 1492

具有仿反馈机制的图像模式分类认知

陈克琼, 王建平, 李帷韬, 赵丽欣 1500

计算机图形学

带形状控制的自由曲线曲面参数样条

彭丰富, 田良 1511

遥感图像处理

高分辨率SAR影像形态学层级分析的建筑物检测

张恒, 余涛, 柳鹏, 张周威 1517

利用邻域质心投票从分类后影像提取道路中心线

丁磊, 姚红, 郭海涛, 刘志青 1526

单形体体积最小化的差分进化光谱解混算法

覃事银, 罗文斐, 杨斌, 张锐豪 1535

地理信息技术

突破环境限制的导盲方法

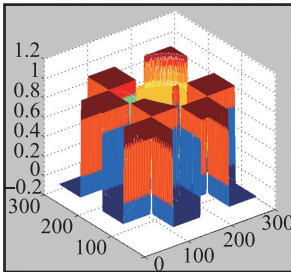
张探, 陈超 1545

MPI和OpenMP混合并行模型下的遥感编目信息检索

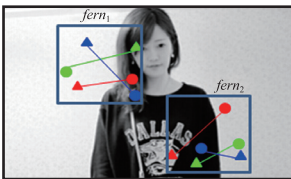
曲海成, 梁雪剑, 刘万军, 籍瑞庆 1552

CONTENTS

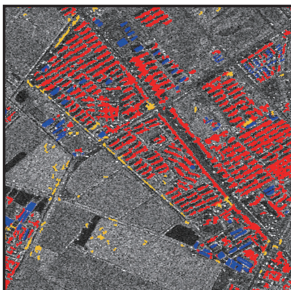
JOURNAL OF IMAGE AND GRAPHICS



Application of dual algorithm to TV-L₁ deblurring model of frame domain(第1434页)



Real-time face tracking based on detecting and tracking (第1473页)



Building detection of high-resolution SAR image based on morphological hierarchy analysis(第1517页)

Review

- Researches on multimedia technology 2014—deep learning and multimedia computing
Wu Fei, Zhu Wenwu, Yu Junqing 1423

Image Processing and Coding

- Application of dual algorithm to TV-L₁ deblurring model of frame domain
Li Xuchao, Ma Songyan, Bian Suxuan 1434
- No-reference sharpness assessment with fusion of gradient information and HVS filter
Ying Ling kai, Li Ziyin, Zhang Congcong 1446
- Halo-free and color-distortion-free algorithm for image dehazing
Liu Xingyun, Dai Shengkui 1453

Image Analysis and Recognition

- Fusing multiple pose estimations for still image action recognition
Luo Huilan, Feng Yujie, Kong Fansheng 1462
- Real-time face tracking based on detecting and tracking
Liu Jiamin, Liang Ying, Sun Hongxing, Duan Yong, Liu Xiao 1473
- Weighted nonconvex nuclear norm and its application in the moving target detection
Zhou Zongwei, Jin Zhong 1482

Image Understanding and Computer Vision

- Tracking multiple moving objects based on OPTICS and object probability model
Sun Tianyu, Sun Wei, Xun Min 1492
- Image pattern cognition with simulated feedback mechanism
Chen Keqiong, Wang Jianping, Li Weitao, Zhao Lixin 1500

Computer Graphics

- Shape parameter spline for free-form curve and surface
Peng Fengfu, Tian Liang 1511

Remote Sensing Image Processing

- Building detection of high-resolution SAR image based on morphological hierarchy analysis
Zhang Heng, Yu Tao, Liu Peng, Zhang Zhouwei 1517
- Using neighborhood centroid voting to extract road centerline from classified image
Ding Lei, Yao Hong, Guo Haitao, Liu Zhiqing 1526
- Simplex volume minimization based differential evolution algorithm for spectral unmixing
Qin Shiyin, Luo Wenfei, Yang Bin, Zhang Ruihao 1535

Geoinformatics

- Guiding the blind to overcome environment limitation
Zhang Tan, Chen Chao 1545
- Remote sensing resources parallel retrieval based on MPI and OpenMP
Qu Haicheng, Liang Xuejian, Liu Wanjuan, Ji Ruiqing 1552

中图法分类号: TN911.73 文献标识码: A 文章编号: 1006-8961(2015)11-1446-07

论文引用格式: Ying L K, Li Z Y, Zhang C C. No-reference sharpness assessment with fusion of gradient information and HVS filter[J]. Journal of Image and Graphics, 2015, 20(11): 1446-1452. [应凌楷, 李子印, 张聪聪. 融合梯度信息与 HVS 滤波器的无参考清晰度评价[J]. 中国图象图形学报, 2015, 20(11): 1446-1452.] [DOI:10.11834/jig.20151103]

融合梯度信息与 HVS 滤波器的 无参考清晰度评价

应凌楷, 李子印, 张聪聪

中国计量学院光学与电子科技学院, 杭州 310018

摘要: 目的 目前无参考图像质量评价算法的性能存在较大的提升空间, 为了提高清晰度评价技术, 提出了一种基于梯度信息与 HVS 滤波器的无参考清晰度评价算法 (GI-F)。方法 该算法首先利用梯度算子计算各像素点的梯度信息, 再通过 HVS 滤波器得到加权和作为图像的清晰度指标。结果 在公开数据库 LIVE、TID2008 和 CSIQ 上进行的实验, GI-F 与 S3 (Spectral and Spatial Sharpness)、CPBD (Cumulative Probability of Blur Detection) 和 LPC-SI (Local Phase Coherence-based Sharpness Index) 相比, 性能指标 RMSE (Root Mean Squared Error)、PLCC (Pearson Linear Correlation Coefficient) 和 SROCC (Spearman Rank-Order Correlation Coefficient) 分别提升了 20.66%、4.61% 和 3.33%; 同时 GI-F 还具有更低的计算复杂度, 即使与目前最好的 BRISQUE (Blind/Referenceless Image Spatial Quality Evaluator) 算法相比, 耗时也降低了 79.72%。结论 该算法只需耗费更少的时间即可计算出与人眼感知更加接近的客观清晰度指标, 可广泛用于无参考图像情况下的清晰度指标计算场合, 同时还可以通过并行计算进一步降低其计算时间。

关键词: 图像质量评价; 无参考清晰度评价; 梯度信息; 人眼视觉系统 (HVS); 高通滤波器; 自动聚焦

No-reference sharpness assessment with fusion of gradient information and HVS filter

Ying Lingkai, Li Ziyin, Zhang Congcong

College of Optical and Electronic Technology, China Jiliang University, Hangzhou 310018, China

Abstract: **Objective** Distortion in digital images is very common. To some extent, distorted image can affect research, such as analyzing and understanding images. In addition, the method of calculating the sharpness of an image is essential for the implementation of autofocus. Exploring its deeper mechanisms is of research importance. The performance of no-reference image quality assessment (IQA) has room for improvement. To upgrade the technology of sharpness assessment, an algorithm, which is called GI-F and is based on gradient information and human vision system (HVS) filter, is proposed.

Method HVS is highly sensitive to gradient information. In the proposed algorithm, gradient information is first calculated

收稿日期: 2015-05-08; 修回日期: 2015-06-24

基金项目: 国家自然科学基金项目 (61007012); 国家科技支撑计划项目 (2012BAF07B05-3); 浙江省自然科学基金项目 (LY12F05007)

第一作者简介: 应凌楷 (1992—), 男, 中国计量学院光学工程专业硕士研究生, 主要从事图像处理、模式识别、图像质量评价的研究。

E-mail: 1063373337@qq.com

通信作者: 李子印, 副教授, 硕士生导师, E-mail: liziyin@cjlu.edu.cn

Supported by: National Natural Science Foundation of China (61007012); National Key Technology Research and Development Program of the Ministry of Science and Technology of China (2012BAF07B05-3); Natural Science Foundation of Zhejiang Province, China (LY12F05007)

using a gradient operator that researchers apply when computing image quality. Human studies in neurology also contributed to the development of other disciplines. Among visual cortex neurons, a mechanism occurs in which local excitation with higher amplitude can inhibit other impulses from global region. Therefore, HVS filter based on this characteristic is employed as a weighing function, in which the variable ranging from 0 to 1 stands for the relative impulse produced by each pixel in the picture, to obtain the sum of gradient information which represents the sharpness of image. **Result** Performance test can quantitatively evaluate different algorithms from the same perspectives, which generally include root-mean-squared error (RMSE), Pearson linear correlation coefficient (PCC), Spearman's rank-order correlation coefficient (SROCC), and time cost. To supplement, higher PCC and SROCC means that the score calculated using the proposed algorithm is more relevant with human vision system. Meanwhile, lower RMSE shows a smaller difference between two groups of samples. To ensure fairness of comparison among different algorithms, the test should be conducted under the same circumstance. The test is performed on public databases such as LIVE, TID2008, and CSIQ. Calculated results reveal that GI-F outperforms S3, CPBD and LPC-SI by using the metrics of RMSE, PCC and SROCC, which improved by 20.66%, 4.61% and 3.33%, respectively. In addition, the proposed method has lower computational complexity, and saves 79.72% computational time, compared with the currently best algorithm, BRISQUE. **Conclusion** The proposed algorithm, applying gradient information and HVS filter, costs less time to compute objective sharpness, which is closer to the perceptive sharpness provided in public databases. In addition, such an algorithm can be widely used in sharpness assessment when reference images cannot be provided. In autofocus camera applications, more accurate and more stable sharpness results in improved performance of GI-F compared with other methods. Meanwhile, parallel computation is considered to save additional time as well.

Key words: image quality assessment (IQA); no-reference sharpness assessment; gradient information; human vision system (HVS); high-pass filter (HPF); autofocus

0 引言

数字图像在采集、处理、存储和传输等过程中会或多或少地发生失真。这些失真不仅会降低消费者们的视觉体验,而且还会影响更高语义层次上图像分析与理解算法的效果。

图像质量评价技术可分为3种:全参考图像质量评价(FR)^[1-6]、无参考图像质量评价(NR)^[7-17]和部分参考图像质量评价(RR)^[18-20]。目前全参考图像质量评价的研究已经取得了很大的进展^[1-6]。然而,在实际应用中,大多数情况无法获取完美的参考图像;因而,进行无参考图像质量评价的研究就非常有意义。

在无参考清晰度评价中,已经提出的众多算法可分为两大类:基于空域和基于变换域的算法。Mittal等人^[9,11]提出了一种需要训练的基于自然场景统计特征的无参考质量评价泛型失真模型,但其算法效果依赖于训练样本。之后,他们还提出了一种无需训练的模型^[8],这种模型从自然拍摄的场景图片中提取自然场景统计模型(NSS),但其依赖于这些图片样本是否具有代表性。JNB(just noticeable

blur)算法在空域上使用边缘宽度进行清晰度计算^[15]。CPBD算法在图像中的每一个边缘上使用一个概率模型来评估模糊的检出概率值^[12],形成一个模糊检测的累积概率模型,但其性能在很大程度上依赖JNB算法的可靠性。在变换域中研究图像清晰度评价时,人们使用了频域变换和小波变换的方法。比如,Hassen等人提出的LPC-SI算法^[13]在Gabor小波变换域中进行图像清晰度的计算。Saad等人^[10]从DCT(discrete cosine transform)变换域中提取出NSS模型特征,再通过贝叶斯推理模型预测图像的感知质量。S3是一种基于空域和频域结合的算法^[14],其认为频域算子S1和空域算子S2能够互相弥补缺点以达到预测感知清晰度的目的,但是S1中的频域斜率变化情况并不能全面地反映图像中对比度的实际情况。

目前,无参考的图像清晰度评价算法无论是在性能上还是在计算复杂度上还存在较大的提升空间^[8,12-14]。本文算法首先在空域上计算各像素点的梯度信息,然后通过HVS(human vision system)滤波器求加权并获得图像的清晰度指标,与最新的同类算法^[7-15]相比不仅提高了算法的性能,同时还降低了时间复杂度。

1 无参考清晰度评价算法 GI-F

图 1 为 GI-F (gradient information filter) 算法的流程, 本文算法首先通过改进的梯度算子计算每个像素点的梯度信息, 然后再基于像素间的相互“竞争”机制构造了 HVS 滤波器作为权函数模型, 最终求得梯度信息加权和作为图像的清晰度指标。

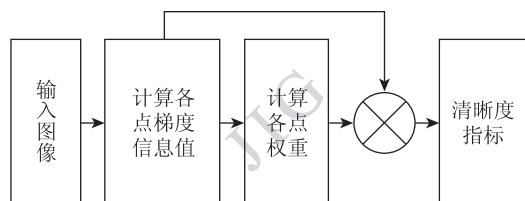


图 1 GI-F 算法流程

Fig. 1 Workflow of GI-F

所使用的梯度算子是基于 MLV (maximum local variation) 算子改进^[7]的 MMD (maximum mean difference) 算子, 通过当前像素点与其 8 邻域像素点的最大变化率与平均变化率之差来计算当前像素点对应的梯度信息。

在计算各点权重时, 利用视觉皮层神经元之间存在局部兴奋全局抑制的视觉特性, 基于像素间的相互“竞争”机制构造了 HVS 滤波器用于各像素点的权重计算, 该 HVS 滤波器的数学模型来源于参数化的广义高斯分布模型。

2 梯度信息的计算

梯度 $\text{grad}(f) = [g_x, g_y]$ 在图像中用于描述空间变化率大小, 目前常用 Robert、Prewitt、Sobel 和 Canny 等算子来计算每个像素位置的梯度, 其值在一定程度上反映了该点的清晰程度^[8,12,14,16-17,21]。

NIQE (natural image quality evaluator) 算法^[8]利用高斯核提取了图片中每个小分块的梯度信息。在文献^[7-9,11,14]中都通过各种不同的方法计算梯度值来衡量清晰度。本文所提到用于计算梯度的算子由已有算子^[7]加以改进而得。实验结果表明, 这种改进过的算子可以很好地用于无参考图像的清晰度指标计算。

2.1 改进的 MMD 算子

一个最新提出的无参考清晰度评价算法基于局部最大变化率 MLV^[7]进行图像清晰度评价。MLV

计算当前像素与其 8 邻域像素的灰度差值绝对值, 取 8 个绝对值中的最大值以代表该点的清晰度, 并认为能够比 S3 中使用的空域方法^[14]更好地代表该点的变化率。

但该算子过分强调了每个像素点中最大变化率的作用, 没有充分考虑变化率的具体情况, 由此计算出的清晰度指标丢弃了太多当前像素附近的梯度信息, 且不具有较好的抗噪声能力。GI-F 通过当前像素点与其 8 邻域像素点的最大变化率与平均变化率之差 MMD 来计算当前像素点对应的梯度信息; 该算子可以很好地抵抗白噪声以反映图片真实的感知清晰度, 同时与 MLV^[7]比较能更好地利用该点的梯度信息, 在此之前需要先将彩色图转换为灰度图, 转换方式为

$$I = 0.299R + 0.587G + 0.114B \quad (1)$$

MMD 算子的计算方法为

$$\mu = \frac{1}{8} \sum |I_{i,j} - I_{x,y}|$$

$$G(x,y) = \frac{1}{255} (|I_{i,j} - I_{x,y}|_{\max} - \mu) \quad (2)$$

$$i = x - 1, x, x + 1; j = y - 1, y, y + 1$$

式中, $I_{i,j}$ 为像素点 (x, y) 处的 8 邻域像素, 通过该公式在 8 邻域中计算变化率绝对值的均值 μ , 再利用 8 邻域中最大变化率减去 μ , 最后除以 255 得到归一化梯度信息 $G(x, y)$ 。图 2 为被测图及其通过该算子计算获得的用于表征每点清晰情况的梯度图。



(a) 被测图 (b) MMD 算子计算的梯度图

图 2 原图与 MMD 算子梯度图

Fig. 2 The tested image and its gradient map via MMD

通过与图 2 (a) 中物体的边缘对比发现, MMD 计算的梯度图出现了双边边缘现象, 对于边缘上的某点, 在其两边的梯度值都反映了该点的梯度大小, 使得对于不同图像的计算结果之间的分辨率更高。

2.2 MMD 算子抗白噪声的对比分析

白噪声常见于各种图像处理系统中, 在进行图像清晰度评价时, 有时难免会遇到存在白噪声的图像,

这就要求本文算法具有一定的抗白噪声能力。在 S3 算法^[14]中,通过全局白噪声和局部白噪声对算法效果的影响进行了简单的分析,其认为感知清晰度决定于图像中最清晰的部分,而不是清晰区域的数量;即白噪声对图像感知清晰度的影响不应太大。本文使用类似的方法对 MMD 算子与 MLV 算子^[7]的抗白噪声能力进行对比测试。如图 3,图片来源于 CSIQ 库^[22]图 3(b)添加了 4 级高斯白噪声(WGN)的失真图^[22]。



(a) 原图 (b) 4级WGN失真图

图 3 原图与 4 级 WGN 失真图

Fig. 3 Undistorted and level-4 WGN distorted image

MLV 算法评分结果分别为: $3.636\text{E} + 04$ 和 $5.332\text{E} + 04$;基于 MMD 算子的 GI-F 评分结果分别为: 0.470 9 和 0.475 4。可见在同样的白噪声中, MLV 算法的评分结果变化了 46.44%,而本文算法评分值仅变化了 0.955 6%,可见本文算法具有较好的抗白噪声能力,更能反映图片原本的感知清晰度。

3 HVS 滤波器模型

3.1 HVS 模型研究进展

为了研究出一个与 HVS 感知图像质量相符的数学模型,研究者试图探秘人眼视觉系统的奥秘^[7-8,10,13-14]。Saad 等人^[10]提出了 HVS 的进化概念,其认为 HVS 的形成衍变与自然的视觉环境变化是息息相关的,故而采用了 NSS 模型来近似 HVS,认为其能够反映 HVS 所决定的感知函数。Cuong 等人^[14]认为人眼视觉与空间邻域关系和频谱结构都有关系。LPC-SI 算法^[13]中提出人眼鉴别图像的清晰度在机理上是以小波变换域中局部相位一致性为量度的。但是,这些模型的计算过于复杂,用于无参考图像的质量评价时计算复杂度过高。

另一方面,Mittal 等人^[8]粗略计算清晰度因子,认为图像中只有最清晰的一些分块会最大地影响人们的视觉,从而以此为依据预测感知质量。Niranjan

等人^[12]提出的算法同样基于对比度,其增大了高对比度区域的权重,同时减小了低对比度区域的权重。S3 算法^[14]的清晰度指标计算中也采用类似的方法增强了高对比度成分对清晰度计算的贡献。然而,他们很少研究如何设计一个权函数滤波器使其算法与 HVS 感知特性更相符,以使性能进一步提升。

3.2 HVS 滤波器的设计

Bahrami 等人^[7]着眼于设计一种权函数以增加高对比度的权重,该算法参考 MLV 的分布情况设计了一种权函数用于计算清晰度;然而其权函数滤波器模型并不能代表其所分析的实际分布情况。人眼的视觉系统存在这样的特性:视觉皮层神经元之间存在局部兴奋全局抑制机制^[23]。基于这种原理,提出了像素间相互“竞争”的机制,即当一幅图像有更清晰的像素点出现时,其他点产生的神经冲动将被不同程度地削弱,因此需要设计一种滤波器以模拟这样的机制。提出了一个用于描述该人眼视觉特性的模型:首先,在图像中计算像素点的梯度与梯度最大值的比值,以代表各像素点在视觉神经中引起的神经冲动相对大小,其运算为

$$\omega_1(x, y) = \frac{G(x, y)}{\max[G(x, y)]} \quad (3)$$

式中,分子部分为 (x, y) 点的梯度信息值,分母部分为整幅图像的梯度信息最大值。概率模型广义高斯分布(GGD)^[24]被广泛运用于图像质量评价算法中^[7-11],他们用该模型描述在计算图像感知质量时某种特征分布情况。以该模型作为 HVS 滤波器的设计原型,即

$$\beta = \sigma \sqrt{\frac{\Gamma(\frac{1}{\alpha})}{\Gamma(\frac{3}{\alpha})}} \quad (4)$$

$$\omega(x, y, \alpha, \beta) = \frac{\alpha}{2\beta\Gamma(\frac{1}{\alpha})} \cdot e^{[-(\frac{\omega_1-1}{\beta})^\alpha]}$$

式中, ω_1 为式(3)计算出的神经冲动相对大小, α 和 σ 为该滤波器的构造参数, α 决定了该高斯函数的形状。 σ 决定了该高斯函数的方差^[11],在本文中用于控制其响应特性。由式(4)计算出各像素点梯度信息的权重 $\omega(x, y, \alpha, \beta)$ 。确定了滤波器的模型之后,还需要确定该滤波器的构造参数 α 和 σ 。从 NIQE 算法^[8]中的阈值法出发,通过反复实验,确定了一组与 HVS 相符的滤波器构造参数: $\alpha = 1$ 和 $\sigma =$

0.1。图4即为该滤波器示意图,其横轴为由式(3)计算出的量化的相对神经冲动,纵轴为式(4)计算出的函数值,其大小反映了用于计算图像清晰度的各点梯度信息的权重。

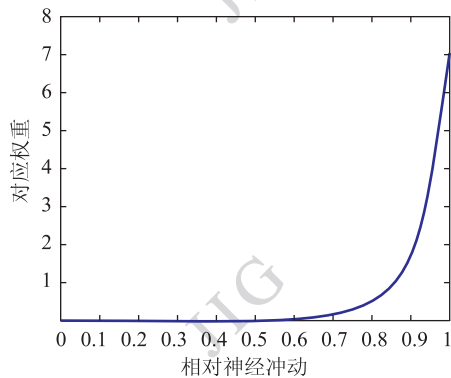


图4 HVS 滤波器

Fig. 4 HVS filter

根据式(4),获得了每个像素点的权值,再根据式(5)将权值总和进行归一化,得到每个像素点的归一化权重 W ,最后通过式(6)即可计算出整幅图像梯度信息的加权和,即该图像的清晰度指标

$$W(x, y) = \frac{\omega(x, y)}{\sum \omega(x, y)} \quad (5)$$

$$S = \sum W \cdot G \quad (6)$$

4 实验结果与分析

4.1 PLCC、SROCC 和 RMSE 指标对比

在图像质量评价中,由于不同基准测试数据库

在人工测定主观评价结果 DMOS (differential mean opinion scores) 或 MOS (mean opinion scores) 值时对观察距离、光照条件以及图像显示分辨率等控制条件有所不同,所以,为了全面测试 GI-F 算法的性能,使用 3 个主要的公开数据库 LIVE^[25]、TID2008^[26] 和 CSIQ^[22] 中的高斯模糊 (GB) 失真类型图片集进行实验。实验环境为 Intel Core i5 M480 @ 2.67 GHz CPU, 8 GB 内存, 5400r/m 8 MB 缓存的硬盘, 64 位 Windows 7 操作系统, Matlab R2009a。

为了评价算法的性能优劣,将本文算法与 BLIINDS2^[10]、BRISQUE^[9,11]、NIQE^[8]、CPBD^[12]、S3^[14]、LPC-SI^[13] 和 MLV^[7] 进行了对比实验。结果如表 1 所示。其中,BLIINDS2、BRISQUE 和 NIQUE 是面向所有失真类型提出的无参考算法,CPBD、S3 和 LPC-SI 则属于无参考清晰度评价算法。实验中 BLIINDS2 和 BRISQUE 先使用 LIVE 图像数据库进行训练,再使用 TID2008 和 CSIQ 数据库进行测试。

客观 IQA 算法最终的目标是使其所给出的客观评价能与人工评价结果 DMOS 或 MOS 值一致,因此衡量各种算法性能的高低可以通过计算客观评价结果与主观评价结果之间的相关系数或偏差来评定。常用的有 PLCC (Pearson 线性相关系数,表示预测精度) 和 SROCC (Spearman 等级相关系数,表示预测的单调性),指标越高说明算法越好^[27]。同时,还可以通过 RMSE (根均方差)^[27] 反映算法预测值与真实值的一致性,其值越小说明两者的偏离程度越小,即算法更加稳定。

表 1 GI-F 与最新的算法在 LIVE、TID2008、CSIQ 数据库上的算法性能对比

Table 1 Comparison among GI-F and the state-of-the-art algorithms on LIVE, TID2008 and CSIQ

算法		LIVE 数据库(145 幅) ^[25]			TID2008 数据库(100 幅) ^[26]			CSIQ 数据库(150 幅) ^[22]		
		PLCC	SROCC	RMSE	PLCC	SROCC	RMSE	PLCC	SROCC	RMSE
通用失真类型的无参考算法	BLIINDS2 ^[10]	训练			0.841 9	0.838 7	0.633 3	0.907 2	0.891 5	0.120 6
	BRISQUE ^[9,11]	训练			0.821 5	0.835 5	0.671 8	0.927 7	0.903 3	0.107 0
	NIQE ^[8]	0.943 6	0.932 9	6.117 1	0.816 7	0.816 5	0.677 1	0.925 9	0.894 4	0.108 2
清晰度评价算法	CPBD ^[12]	0.905 3	0.918 6	7.846 2	0.832 8	0.841 4	0.649 7	0.880 5	0.885 3	0.135 9
	S3 ^[14]	0.943 8	0.937 0	6.105 7	0.842 9	0.855 1	0.631 5	0.908 7	0.896 3	0.119 6
	LPCSI ^[13]	0.917 0	0.938 9	7.367 1	0.857 1	0.856 1	0.604 5	0.924 8	0.907 1	0.109 0
	MLV ^[7]	0.942 9	0.931 2	6.153 5	0.858 7	0.854 8	0.601 3	0.947 7	0.923 7	0.091 5
	本文算法 GI-F	0.953 7	0.945 6	5.554 3	0.886 9	0.888 6	0.542 1	0.952 2	0.932 3	0.087 6

根据表 1 对本文算法与现有无参考清晰度评价算法进行对比, PLCC 指标比 CPBD、S3、LPC-SI 和 MLV 分别提升了 6.66%、3.68%、3.48% 和 1.64%; 本文算法的 SROCC 指标比这 4 种清晰度评价算法分别提升了 4.62%、2.95%、2.43% 和 2.14%, 而 RMSE 指标分别提升了 27.11%、16.66%、18.20% 和 7.96%。同时, 在进行清晰度评价时, GI-F 与 BLIINDS2、BRISQUE 和 NIQE 相比, 相关性指标 (SROCC 和 PLCC) 平均提升了 4.85%, RMSE 指标平均提升了 18.20%。综上所述, 本文算法 GI-F 与

最新的算法相比, 保证了在不同评测数据库中的鲁棒性; 同时其计算出的客观评分与主观评分的相关性不仅有了较大的提升, 而且算法更加稳定与可靠。

4.2 耗时分析

对本文算法和现有的 7 种算法进行计算复杂度对比时, 使用 100 幅彩色图像进行评价测试且重复 5 次, 这 100 幅图像从 LIVE^[25]、TID2008^[26] 和 CSIQ^[22] 3 大数据库共 429 幅高斯模糊失真图像中随机选取。表 2 列出了各种算法的实际测试结果。

表 2 各算法运行时平均耗时对比

Table 2 Runtime comparison of average time cost among different algorithms

	BLIINDS2 ^[10]	BRISQUE ^[9,11]	NIQE ^[8]	CPBD ^[12]	S3 ^[14]	LPC-SI ^[13]	MLV ^[7]	本文算法 GI-F
平均耗时/s	87.332 0	0.461 1	0.961 2	2.433 6	33.435 0	2.121 2	0.148 9	0.094 5

由表 2 可知, BRISQUE、MLV 和本文算法 GI-F 的计算复杂度较低, 而本文算法的计算复杂度是最低的, 其计算速度分别是 BRISQUE、MLV 的 4.88 倍和 1.58 倍。由于使用了频域的方法, BLIINDS2 和 S3 的实测耗时最长, 分别是 GI-F 的 924 倍和 354 倍, 而 CPBD 和 LPC-SI 的耗时分别为 GI-F 的 26 倍和 22 倍。可见 GI-F 具有最低的计算复杂度, 实现简单且高效; 另外, 本文算法还可以通过分块等并行计算方法进一步提高运算速度。

5 结 论

基于梯度信息与 HVS 滤波器建立了一种新的清晰度评价算法。该算法计算每个像素点的梯度值, 得到每点的清晰度描述, 提出的梯度算子能够较好地抗白噪声。另外, 根据视觉神经元活动中兴奋与抑制的特点, 设计了一种基于“竞争”机制的 HVS 权函数滤波器。实验结果表明, 本文算法与已有的算法相比具有更优越的精确度和鲁棒性, 同时还大大降低了计算复杂度, 使得算法的实现更加简单高效, 对于图像质量评价等理论研究和自动聚焦等实际工程应用都具有较大价值。

当然, 根据全参考质量评价的研究情况^[1-6], 如何使无参考图像质量评价算法的性能更加接近于全参考质量评价, 将是下一步的研究工作, 尤其需要更加深入地探究 HVS 的感知机制。

参考文献 (References)

- [1] 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. [DOI: 10.1109/tip.2003.819861]
- [2] Sheikh H R, Bovik A C. Image information and visual quality [J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2006, 15 (2): 430-444. [DOI: 10.1109/TIP.2005.859378]
- [3] Sheikh H R, Bovik A C, Veciana G D. An information fidelity criterion for image quality assessment using natural scene statistics [J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2005, 14 (12): 2117-2128. [DOI: 10.1109/TIP.2005.859389]
- [4] Wang Z, Simoncelli E P, Bovik A C. Multiscale structural similarity for image quality assessment [C] // Proceedings of the 37th IEEE Asilomar Conference on Signals, Systems and Computers. Pacific Grove, CA, USA: IEEE, 2003, 2: 1398-1402. [DOI: 10.1109/ACSSC.2003.1292216]
- [5] Chandler D M, Hemami S S. VSNR: a wavelet-based visual signal-to-noise ratio for natural images [J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2007, 16 (9): 2284-2298. [DOI: 10.1109/TIP.2007.901820]
- [6] Laparra V, Mu09oz-Marí J, Malo J. Divisive normalization image quality metric revisited [J]. Journal of the Optical Society of America A, 2010, 27 (4): 852-864. [DOI: 10.1364/JOSAA.27.000852]
- [7] Bahrami K, Kot A C. A fast approach for no-reference image sharpness assessment based on maximum local variation [J]. IEEE Signal Processing Letters, 2014, 21 (6): 751-755. [DOI:

10. 1109/LSP. 2014. 2314487]
- [8] Mittal A, Soundararajan R, Bovik A C. Making a “completely blind” image quality analyzer[J]. IEEE Signal Processing Letters, 2013, 20 (3): 209-212. [DOI: 10. 1109/LSP. 2012. 2227726]
- [9] Mittal A, Moorthy A K, Bovik A C. Blind/referenceless image spatial quality evaluator [C] // Proceedings of the Forty Fifth Asilomar Conference on Signals Systems and Computers. Piscataway: IEEE, 2011: 723-727. [DOI: 10. 1109/ACSSC. 2011. 6190099]
- [10] 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. [DOI: 10. 1109/TIP. 2012. 2191563]
- [11] 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. [DOI: 10. 1109/TIP. 2012. 2214050]
- [12] Narvekar N D, Karam L J. A no-reference image blur metric based on the cumulative probability of blur detection (CPBD) [J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2011, 20 (9): 2678-2683. [DOI: 10. 1109/TIP. 2011. 2131660]
- [13] Hassen R, Wang Z, Salama M. Image sharpness assessment based on local phase coherence[J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2013, 22 (7): 2798-2810. [DOI: 10. 1109/TIP. 2013. 2251643]
- [14] Vu C T, Phan T D, Chandler D M. S3: a spectral and spatial measure of local perceived sharpness in natural images[J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2012, 21 (3): 934-945. [DOI: 10. 1109/TIP. 2011. 2169974]
- [15] Ferzli R, Karam L J. A no-reference objective image sharpness metric based on the notion of just noticeable blur (JNB) [J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2009, 18 (4): 717 - 728. [DOI: 10. 1109/TIP. 2008. 2011760]
- [16] Marziliano P, Dufaux F, Winkler S, et al. A no-reference perceptual blur metric [C] // Proceedings of International Conference on Image Processing. New York: IEEE, 2002: 57-60. [DOI: 10. 1109/ICIP. 2002. 1038902]
- [17] Ong E, Lin W, Lu Z, et al. A no-reference quality metric for measuring image blurs [C] // IEEE International Symposium on Signal Processing and Its Applications. Paris, France: IEEE Press, 2003: 469-472. [DOI: 10. 1109/ISSPA. 2003. 1224741]
- [18] Soundararajan R, Bovik A C. RRED indices: reduced reference entropic differencing for image quality assessment [J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2012, 21 (2): 517-526. [DOI: 10. 1109/TIP. 2011. 2166082]
- [19] Tao D, Li X, Lu W, et al. Reduced-reference IQA in contourlet domain[J]. IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part B: Cybernetics, 2009, 39 (6): 1623-1627. [DOI: 10. 1109/TSMCB. 2009. 2021951]
- [20] Gao X, Lu W, Tao D. Image Quality assessment based on multi-scale geometric analysis[J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2009, 18 (7): 1409-1423. [DOI: 10. 1109/TIP. 2009. 2018014]
- [21] Zhu X. 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. [DOI: 10. 1109/TIP. 2010. 2052820]
- [22] 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): 011006-011006-21. [DOI: 10. 1117/1. 3267105]
- [23] Chen W W. A research on the model based on the biological characters of human vision system and applications [D]. Changsha: National University of Defense Technology, 2004. [陈薇薇. 基于人类视觉系统生理特性的模型及应用研究 [D]. 长沙: 国防科学技术大学, 2004.]
- [24] 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. [DOI: 10. 1109/76. 350779]
- [25] Sheikh H R, Wang Z, Cormack L, et al. LIVE image quality assessment database release 2 [DB/OL]. [2014-10-2]. <http://live.ece.utexas.edu/research/quality>.
- [26] Ponomarenko N, Lukin V, Zelensky A, et al. TID2008-a database for evaluation of full-reference visual quality assessment metrics[J]. Advances of Modern Radioelectron, 2009, 10 (4): 30-45.
- [27] Sheikh H R, Sabir M F, Bovik A C. A statistical evaluation of recent full reference image quality assessment algorithms [J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2006, 15 (11): 3440-3451. [DOI: 10. 1109/TIP. 2006. 881959]