



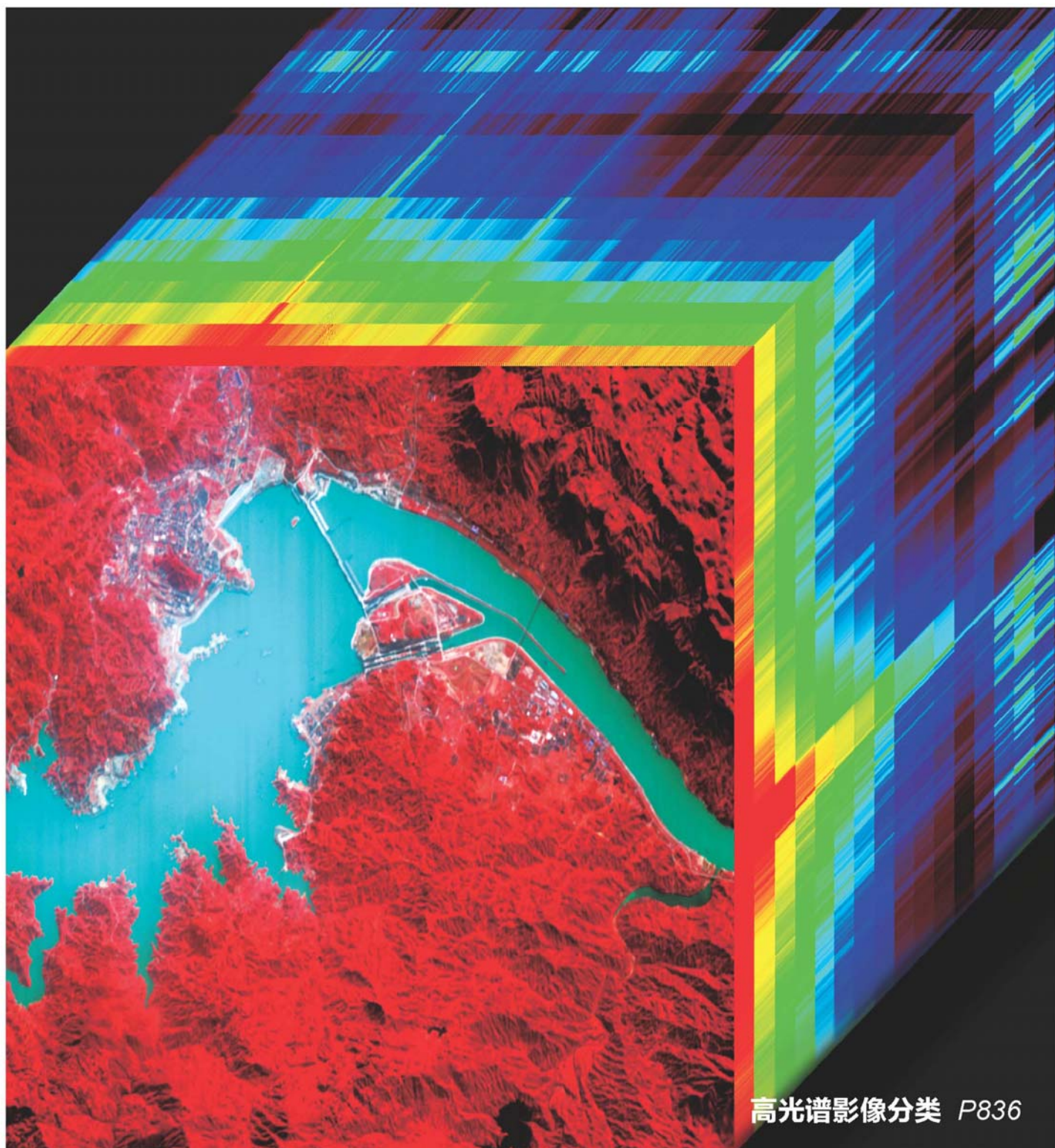
JOURNAL OF IMAGE AND GRAPHICS

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

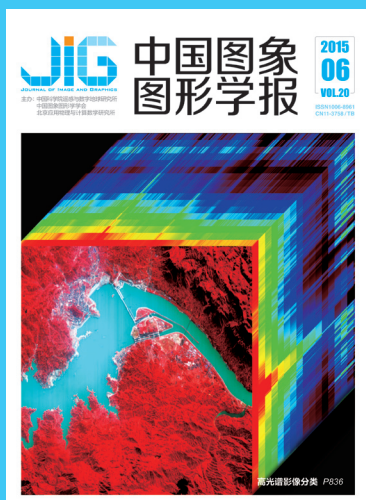
中国图象图形学报

2015
06
VOL.20

ISSN1006-8961
CN11-3758/TB



高光谱影像分类 P836



第20卷第6期（总第230期）

2015年6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

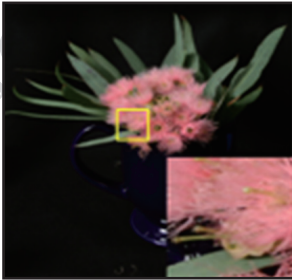
ISSN 1006-8961

CODEN ZTTXFZ

国外发行代号 M1406

国内邮发代号 82-831

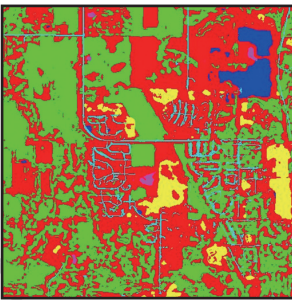
国内定价 50.00元



边缘结构保持的加权BDTV
全光场图像超分辨率重建
(第0733页)



基于超像素的多主体图像交
互分割(第0764页)



谐波分析光谱角制图高光谱
影像分类(第0836页)

图像处理和编码

边缘结构保持的加权BDTV全光场图像超分辨率重建

张旭东, 李梦娜, 张骏, 胡良梅, 王一 0733

基于Arnold映射的分块双层自适应扩散图像加密算法

徐亚, 张绍武 0740

结合梯度信息的特征相似性图像质量评估

苗莹, 易三莉, 贺建峰, 邵党国 0749

图像分析和识别

复杂场景下自适应背景减除算法

邵奇可, 周宇, 李路, 陈庆章 0756

基于超像素的多主体图像交互分割

伯彭波, 袁野, 王宽全 0764

采用金字塔纹理和边缘特征的图像烟雾检测

李红娣, 袁非牛 0772

结合手指检测和HOG特征的分层静态手势识别

刘淑萍, 刘羽, 於俊, 汪增福 0781

形状角计算改进及其在矩形目标识别中的应用

孟伟荣, 李辉, 方黎勇, 白金平 0789

融合图像感知哈希技术的运动目标跟踪

李子印, 朱明凌, 陈柱 0795

利用快速傅里叶变换的目标尺度自适应回归跟踪

张浪, 侯志强, 余旺盛, 许婉君 0805

基于点云属性信息的平面标靶特征提取

刘燕萍, 贾东峰 0815

融合局部思想和协作表达的鲁棒分类

楼宋江, 赵小明, 于海涛, 张石清 0822

计算机图形学

草绘3维人体建模的模板形变方法

李毅, 刘兴川, 孙亭 0828

遥感图像处理

谐波分析光谱角制图高光谱影像分类

杨可明, 刘飞, 孙阳阳, 魏华锋, 史钢强 0836

倾斜航空影像的城区DSM生成

吴军, 程门门, 姚泽鑫, 彭智勇, 李俊, 马峻 0845

封面图片由中国科学院遥感与数字地球研究所高光谱遥感应用技术研究室张霞研究员提供

CONTENTS

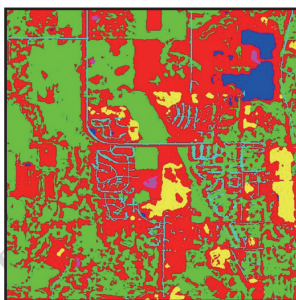
JOURNAL OF IMAGE AND GRAPHICS



Edge preserved light field image super-resolution based on weighted BDTV model (P0733)



Interactive multiphase image segmentation based on superpixels (P0764)



Classification algorithm of hyperspectral imagery by harmonic analysis and spectral angle mapping (P0836)

Image Processing and Coding

Edge preserved light field image super-resolution method based on weighted BDTV model

Zhang Xudong, Li Mengna, Zhang Jun, Hu Liangmei, Wang Yi 0733

Encryption algorithm of image blocking and double adaptive diffusion with Arnold mapping

Xu Ya, Zhang Shaowu 0740

Image quality assessment of feature similarity combined with gradient information

Miao Ying, Yi Sanli, He Jianfeng, Shao Dangguo 0749

Image Analysis and Recognition

Adaptive background subtraction approach of Gaussian mixture model

Shao Qike, Zhou Yu, Li Lu, Chen Qingzhang 0756

Interactive multiphase image segmentation based on superpixels

Bo Pengbo, Yuan Ye, Wang Kuanquan 0764

Image based smoke detection using pyramid texture and edge features

Li Hongdi, Yuan Feiniu 0772

Hierarchical static hand gesture recognition by combining finger detection and HOG features

Liu Shuping, Liu Yu, Yu Jun, Wang Zengfu 0781

Improved shape angle computation and its application in detection of rectangular

Meng Weirong, Li Hui, Fang Liyong, Bai Jinping 0789

Object tracking algorithm based on perception hash technology

Li Ziyin, Zhu Mingling, Chen Zhu 0795

Scale adaptive regression tracking method based on fast Fourier transform

Zhang Lang, Hou Zhiqiang, Yu Wangsheng, Xu Wanjuan 0805

Feature extraction of flat target based on point cloud attribute information

Liu Yanping, Jia Dongfeng 0815

Locality constrained collaborative representation classification for robust classification

Lou Songjiang, Zhao Xiaoming, Yu Haitao, Zhang Shiqing 0822

Computer Graphics

Sketch-based method for 3D human modeling using template deformation

Li Yi, Liu Xingchuan, Sun Ting 0828

Remote Sensing Image Processing

Classification algorithm of hyperspectral imagery by harmonic analysis and spectral angle mapping

Yang Keming, Liu Fei, Sun Yangyang, Wei Huafeng, Shi Gangqiang 0836

Automatic generation of high-quality urban DSM with airborne oblique images

Wu Jun, Cheng Menmen, Yao Zexin, Peng Zhiyong, Li Jun, Ma Jun 0845

中图法分类号: TP391.41 文献标识码: A 文章编号: 1006-8961(2015)06-0749-07

论文引用格式: Miao Y, Yi S L, He J F, Shao D G. Image quality assessment of feature similarity combined with gradient information[J]. Journal of Image and Graphics, 2015, 20(6): 0749-0755. [苗莹, 易三莉, 贺建峰, 邵党国. 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): 0749-0755.] [DOI:10.11834/jig.20150603]

结合梯度信息的特征相似性图像质量评估

苗莹, 易三莉, 贺建峰, 邵党国

昆明理工大学信息工程与自动化学院, 昆明 650500

摘要: 目的 图像的边缘信息对于图像质量的评估非常重要。基于底层特征的图像质量评估算法(FSIM),虽然考虑了图像的底层特征,但该算法对边缘信息的识别能力不理想。针对以上问题,将FSIM算法与对边缘信息更敏感的梯度结构相似度(GSSIM)算法相结合得到一种既符合人眼视觉系统特点又能有效识别图像边缘的新的图像质量评估算法(FGSIM)。**方法** 该算法将FSIM算法的相位一致性部分与GSSIM算法的提取图像信息的部分相结合从而得到一种新的图像质量评估算法FGSIM。其中,采用相位一致性表示图像的特征,用于保持评估算法接近人类视觉系统的特点,提取图像信息的部分通过图像的梯度来实现,用于更有效的识别图像边缘。**结果** 分别使用FSIM、GSSIM以及FGSIM算法对不同运动模糊程度、不同高斯模糊程度以及不同高斯噪声的图像进行质量评估,将得到的数据用曲线图表示,从图中可以看出:在运动模糊实验中,随图像模糊程度的增大,FGSIM算法的数值由0.8943下降到0.3443,变化更加明显,对运动模糊表现出更好的敏感性;在高斯模糊和高斯噪声实验中,FGSIM算法数值变化的程度虽然不如GSSIM算法好,但相较FSIM算法有一定的提高。FGSIM算法在公共测试图像库中与FSIM、GSSIM算法进行实验比较,FGSIM算法的散点图较FSIM算法稍差些,但与GSSIM算法相比具有非常大的改进,其散点图比GSSIM更为集中。采用较为常用的衡量评估方法性能的指标:皮尔逊相关系数、斯皮尔曼秩相关系数、KROCC和均方根误差对评估算法的性能进行衡量,数据显示,FGSIM算法的性能比GSSIM算法好。**结论** 实验结果表明,FGSIM算法是一种既符合人眼视觉系统特点又能有效识别图像边缘的新的图像质量评估算法,该算法对边缘信息的识别能力更强,对图像质量的变化更加敏感。

关键词: 图像质量评估;特征相似性;梯度特征;结构相似度;边缘信息

Image quality assessment of feature similarity combined with gradient information

Miao Ying, Yi Sanli, He Jianfeng, Shao Dangguo

Institute of Information Engineering and Automation, Kunming University of Science and Technology, Kunming 650500, China

Abstract: **Objective** The edge information of images is important in image quality assessment. Nonetheless, the image quality evaluation method of feature similarity (FSIM) based on low-level features is not ideal for edge information detection although this algorithm considers the significance of low-level features. On the basis of the information provided above, this study combines the FSIM algorithm with the grid scheduling simulator (GSSIM) algorithm, which is sensitive to edge information, to generate the new image quality assessment method FGSIM. The new method is not only consistent with the characteristics of human visual systems, but it can also identify image edges effectively. **Method** The algorithm combines the

收稿日期:2014-12-23;修回日期:2015-03-06

基金项目:国家自然科学基金项目(11265007);云南省人才培养基金项目(KKSY201203030)

第一作者简介:苗莹(1990—),女,现为昆明理工大学计算机技术专业硕士研究生,主要研究方向为数字图像处理。E-mail:811206006@qq.com

通信作者:易三莉,硕导,E-mail:152514845@qq.com

Supported by: National Natural Science Foundation of China (11265007)

part of FSIM that represents phase consistency with the component of GSSIM algorithm that can extract image information to generate the new image-quality assessment method FGSIM. The use of phase congruency represents image features, the part of phase consistency that can be used to keep the algorithm close to the human visual system, and the part of the GSSIM algorithm that can extract image information realized by Gradient. This part can be employed to identify image edges. **Result** FSIM, GSSIM, and FGSIM algorithms were used to evaluate images containing different motion blurs, and graphs were constructed to represent the obtained data. In the motion blur experiments, the numerical value of the FGSIM algorithm declines from 0.894 3 to 0.344 3 with the increase in image blur. Changes are significant, and the motion blur is highly sensitive. In the Gaussian blur and Gaussian noise experiments, the changes in the numerical degree value of the FGSIM algorithm are superior to those in the FSIM algorithm to some extent, although the former is inferior to the GSSIM algorithm. Experimental results on public image quality databases show that the scatter diagram of the FGSIM algorithm is slightly inferior to that of the FSIM algorithm. However, the former is significantly better than that of the GSSIM algorithm. Furthermore, the scatter diagram of the FGSIM algorithm is more concentrated than that of the GSSIM algorithm. The FGSIM algorithm also performs better than the GSSIM algorithm in terms of Pearson correlation coefficient, Spearman rank-order correlation coefficient, Kendall rank-order correlation coefficient, and root mean square error. These factors are commonly used to measure performance. **Conclusion** Experimental results indicate that the FGSIM algorithm is a new image-quality assessment method that is not only consistent with human visual system characteristics but can also identify image edges effectively. Thus, this algorithm can identify edge information well and is sensitive to variations in image quality.

Key words: image quality assessment; feature similarity; gradient feature; structural similarity; edge information

0 引言

随着数字图像处理技术在图像的采集、编码压缩、传输和显示等各领域的发展,图像质量对所获取信息的充分性和准确性具有决定性作用,因此建立有效的图像质量评估机制具有重要意义。

图像质量评估算法可以分为主观图像质量评估算法和客观图像质量评估算法。主观图像质量评估算法,曾经被认为是图像视觉质量量化的唯一“正确”的方法,然而,在实践中,主观图像质量评估通常是既费时又费力的^[1]。客观图像质量评估算法,主要是通过模拟人眼,设计出一种算法来对图像质量进行评估^[2]。客观图像质量评估算法又分为全参考图像质量评估算法、半参考图像质量评估算法和无参考图像质量评估算法。目前最常用的方法是全参考图像质量评估算法。传统的全参考客观图像质量评估算法有均方误差(MSE)和峰值信噪比(PSNR)^[3],由于其简单的计算方法和清晰的物理意义一直被广泛使用,但这些算法只是从统计意义上对图像进行分析,没有考虑到像素之间的相关性。Wang 等人^[1]利用图像像素间的相关性提出了一种新的图像质量客观评估算法:结构相似度(SSIM),该算法从图像组成的角度将结构信息^[4]定义为独立于亮度、对比度的反映场景中物体结构的属性,并将失真建模为亮度、对

比度和结构 3 个不同因素的组合^[3],该算法计算简单易于实现,并且其评估性能优于 PSNR(或 MSE),但是忽视了图像中携带着重要信息的边缘信息,对模糊失真图像不敏感。杨春玲等人^[5]提出基于梯度特征的结构相似度算法 GSSIM,该算法是在 SSIM 算法的基础上通过梯度来表示图像的边缘信息,弥补了 SSIM 算法对模糊失真图像的不足。文献[6-7]提出基于底层特征的图像质量评估算法 FSIM,该算法运用相位一致性^[8-9]提取图像的底层特征,比较接近人类视觉系统^[10],但其对图像失真的变化程度尤其是图像边缘信息的变化程度不敏感。

根据以上分析,本文在 FSIM 算法的基础上,将其与具有较强边缘识别能力的 GSSIM 算法相结合,提出一种即符合人眼视觉系统特点又能有效识别图像边缘的新的图像质量评估算法 FGSIM。

1 图像质量评估算法

1.1 特征相似性图像质量评估

基于底层特征的图像质量评估算法 FSIM^[6]在 2011 年提出,该算法的计算方法为

$$FSIM = \frac{S_{PC}(x, y) \cdot S_G(x, y) \cdot PC_m(x, y)}{\sum_{x, y \in \Omega} PC_m(x, y)} \quad (1)$$

$$S_{PC}(x, y) = \frac{2PC(x) \cdot PC(y) + T_1}{PC^2(x) + PC^2(y) + T_1} \quad (2)$$

$$S_G(x, y) = \frac{2G(x) \cdot G(y) + T_2}{G^2(x) + G^2(y) + T_2} \quad (3)$$

式中, $PC_m(x, y) = \max(PC(x), PC(y))$ 用于对图像 x, y 整体的相似性进行加权; $S_{PC}(x, y)$ 表示图像 x, y 的特征相似性, $S_G(x, y)$ 表示图像 x, y 的梯度相似性; PC 分别表示图像 x, y 的相位一致性信息, G 表示图像的梯度幅值; 引入常量 T_1, T_2 是为了避免上述各式出现分母为零的情况。FSIM 的值越大, 参考图像和待测图像越相似, 待测图像的质量越高, 反之, 待测图像质量越低。

人眼主要是根据图像中的底层特征来理解图像, 而 FSIM 算法中的相位一致性恰好能够很好地表示图像的底层特征 (颜色、纹理和形状特征), 使得该算法在评估图像质量时更加接近图像视觉质量量化的唯一“正确”的方法即人眼视觉系统, 评价结果比较稳定^[11], 但该算法对图像失真的变化程度, 尤其是对图像边缘信息的变化程度并不敏感, 因而对边缘信息丰富图像的质量评估不理想。

1.2 基于梯度特征的结构相似度

文献[5]提出一种基于梯度信息的图像质量评估算法——基于梯度特征的结构相似度 GSSIM, 该算法是在结构相似度图像质量评估算法 SSIM^[1] 的基础上通过用梯度表示边缘信息进行的改进, 其计算方法为

$$GSSIM = [l(x, y)]^\alpha \cdot [C_g(x, y)]^\beta \cdot [S_g(x, y)]^\gamma \quad (4)$$

$$l(x, y) = \frac{2\mu_x\mu_y + C_1}{\mu_x^2 + \mu_y^2 + C_1} \quad (5)$$

$$G_g(x, y) = \frac{2\sigma_{x'}\sigma_{y'} + C_2}{\sigma_{x'}^2 + \sigma_{y'}^2 + C_2} \quad (6)$$

$$S_g(x, y) = \frac{(\sigma_{x'y'} + C_3)}{\sigma_{x'}\sigma_{y'} + C_3} \quad (7)$$

式中, $l(x, y)$ 表示图像的亮度比较函数, $G_g(x, y)$ 表示梯度图像的对比度比较函数, $S_g(x, y)$ 表示梯度图像的相关系数比较函数, μ_x, μ_y 分别表示图像 x 和 y 的均值, $\sigma_{x'}, \sigma_{y'}$ 分别表示图像 x, y 的梯度图像的标准差, $\sigma_{x'y'}$ 表示图像 x 和 y 梯度图像的协方差, $\alpha, \beta, \gamma > 0$, 这 3 个参量用于调整亮度、对比度、结构失真度这 3 个分量的相对重要性, 加入常数 C_1, C_2, C_3 是为了避免分母为零的情况出现。

由于 GSSIM 算法在评估图像质量时引入了梯度信息, 并且梯度信息能很好地表示图像的边缘信息, 从而使算法对图像尤其是边缘信息丰富的图像

的质量评估更准确。GSSIM 的值越大, 参考图像和待测图像越相似, 待测图像的质量越好, 反之, 待测图像的质量越差。

2 结合梯度信息的特征相似性图像质量评估

2.1 GSSIM 与 FSIM 对边缘信息敏感程度的比较

FSIM 算法对图像失真的变化程度尤其是对图像边缘信息的变化程度并不敏感, 因而对边缘信息丰富的图像的质量评估不理想。而 GSSIM 算法在评估图像质量时引入了梯度信息, 并且梯度信息能很好地表示图像的边缘信息, 从而使算法对边缘信息丰富的图像的质量评估更准确。

由 1.2 节可知, GSSIM 算法中提取图像边缘信息的部分表示为

$$GS = G_g \cdot S_g \quad (8)$$

式中, GS 表示 GSSIM 算法中提取图像边缘信息的部分; $G_g(x, y)$ 表示梯度图像的对比度比较函数, 其计算方式如式(6)所示, $S_g(x, y)$ 表示梯度图像的相关系数比较函数, 其计算方式如式(7)所示。

FSIM 算法中提取图像边缘信息的部分由式(3)表示。

为了证明 GSSIM 算法对图像边缘信息的敏感性比 FSIM 算法强, 采取如下实验方案: 首先对边缘信息丰富的自然图像加入窗口大小为 5×5 , 方差为 $1 \sim 6$ 的高斯模糊。分别采用式(3)(4)对不同模糊程度的图像进行质量评估。然后对 GS 和 S_g 的评估性能进行比较。自然图像的原始图像及其高斯模糊图像如图 1 所示。



(a) 原始图像

(b) 高斯模糊图像

图 1 原始图像及其高斯模糊图像

Fig. 1 Original image and its Gaussian blur image

评估结果如图 2 所示, 从图 2 中可以看出, 当高斯模糊的模糊方差由小到大 (即图像越来越模糊) 时, GS 和 S_g 的质量评估值都表现出减小的趋势, 但

其数值变化的程度存在明显的差异, GS 比 S_G 更加显著, 说明 $GSSIM$ 对模糊表现出更好的敏感性。

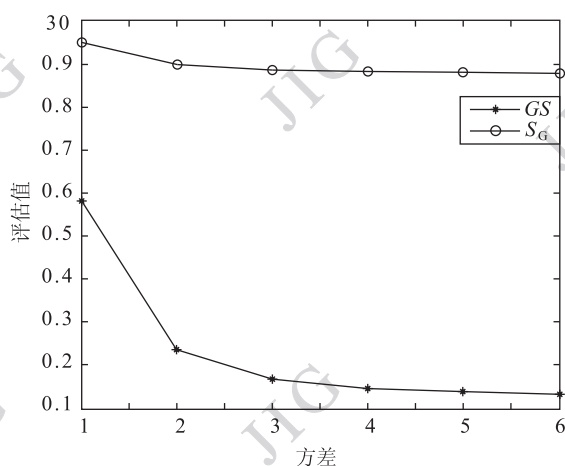


图2 不同高斯模糊程度下评估值的曲线

Fig. 2 The curve of the evaluation values under different degrees of Gaussian blur

2.2 FGSIM 算法

$FSIM$ 算法虽然对边缘信息的敏感性不强, 但该算法由于使用了相位一致性, 在图像质量评估上更接近人类视觉系统; $GSSIM$ 算法虽然在图像质量评估上与人类视觉系统有一定的偏差, 但该算法对图像的边缘信息很敏感。针对以上结论, 将 $FSIM$ 算法与对边缘信息比较敏感的 $GSSIM$ 算法相结合得到一种新的算法——结合梯度信息的特征相似性图像质量评估算法 $FGSIM$ 。该算法的计算方法为

$$FGSIM =$$

$$\frac{\sum_{x,y \in \Omega} S_{PC}(x,y) \cdot GS(x,y) \cdot PC_m(x,y)}{\sum_{x,y \in \Omega} PC_m(x,y)} \quad (9)$$

$FGSIM$ 算法在保持与人类视觉系统接近的同时对图像的边缘信息更加敏感, 对失真图像的质量变化更准确。 $FGSIM$ 的值越高, 表示待测图像与参考图像越相似, 待测图像的质量越好。反之, 值越低表示待测图像与参考图像的差异越大, 待测图像的质量越差。

3 实验结果及分析

为了验证本文算法对图像边缘失真程度的敏感性, 采用以下实验方案进行实验: 对边缘信息比较丰富的自然图像加入不同模糊程度的运动模糊。然后, 采用 $GSSIM$ 、 $FSIM$ 以及本文算法进行质量评估。最后, 将本文算法与 $GSSIM$ 、 $FSIM$ 作性能比较。运动模糊的实验采用两种方案:

1) 运动距离变化、运动角度不变的运动模糊实验。对自然图像加入运动距离 d 为 5 ~ 30 像素, 步长为 5 像素, 运动角度 θ 为 5° 的运动模糊, 分别采用 $GSSIM$ 、 $FSIM$ 以及本文算法对其进行图像质量评估并对 3 种算法的评估性能作比较。原始图像及其不同模糊程度的运动模糊图像如图 3 所示。



(a) 原始图像

(b) $d=5, \theta=5^\circ$

(c) $d=10, \theta=5^\circ$



(d) $d=15, \theta=5^\circ$

(e) $d=20, \theta=5^\circ$

(f) $d=25, \theta=5^\circ$

(g) $d=30, \theta=5^\circ$

图3 原始图像及其不同模糊程度的运动模糊图像

Fig. 3 Original image and its different fuzzy degrees of motion blurred images

2) 运动距离不变、运动角度变化的运动模糊实验。对自然图像加入运动距离为5像素, 运动角度为 0° , 30° , 45° , 60° , 90° 的运动模糊, 分别采用GSSIM、FSIM以及本文算法对其进行图像质量评估并对3种算法的评估性能作比较。原始图像及其运动模糊图像如图4所示。



图4 原始图像及其运动模糊图像

Fig. 4 Original image and its motion blurred image

用上述3种算法对运动距离变化、运动角度为定值 5° 的运动模糊后的图像进行质量评估, 其评估结果如图5所示, 从图5可以看出: 当运动模糊的运动距离由小到大(即图像越来越模糊)时, 3种算法的质量评估值都表现出减小的趋势, 但数值变化的程度存在明显的差异, GSSIM算法的数值由0.5823下降到0.2512, FSIM算法数值由0.9484下降到0.7377, 本文算法由0.8943下降到0.3443, 由此可以看出, 本文算法数值变化更加明显, 对运动模糊表现出更好的敏感性, 说明本文算法对运动模糊失真的自然图像的质量评估更加优越。

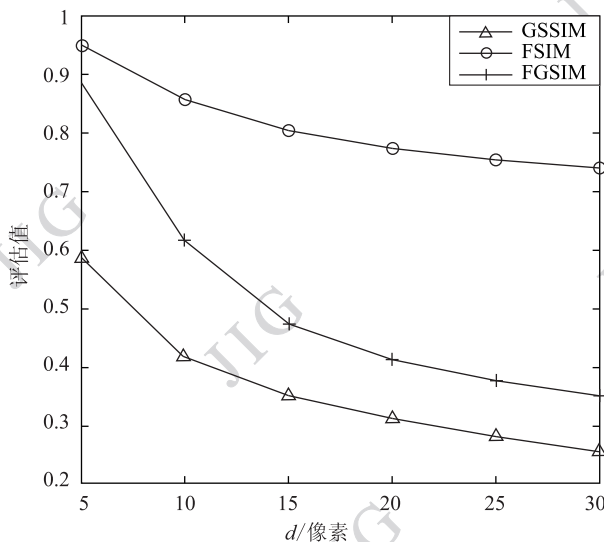


图5 不同运动模糊程度下评估值的曲线($\theta=5^\circ$)

Fig. 5 The curve of the evaluation values under different degrees of motion blur($\theta=5^\circ$)

用GSSIM、FSIM、FGSIM 3种算法对加入运动距离不变、运动角度变化的不同运动模糊的图像进行质量评估, 其评估结果如图6所示, 从图6可以看出, 当加入运动模糊的运动角度由小到大(即图像越模糊)时, 3种算法的质量评估值都表现出减小的趋势, 但数值变化的程度存在明显的差异, FGSIM算法数值变化的程度虽然不如GSSIM算法好, 但相较FSIM算法有一定的提高。

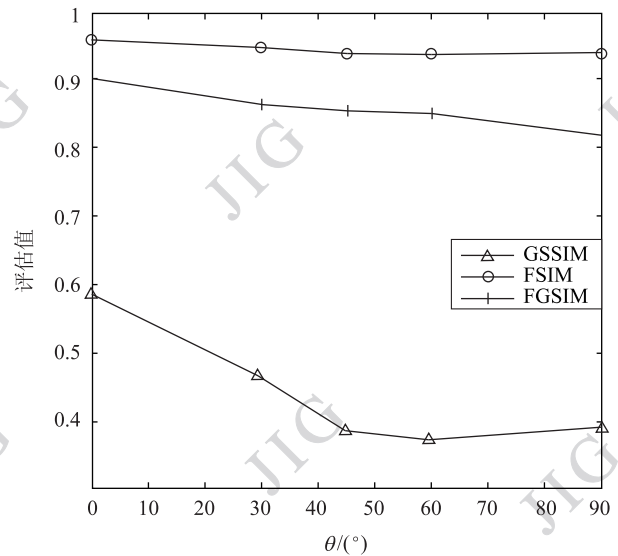


图6 不同运动模糊程度下评估值的曲线(d 不变)

Fig. 6 The curve of the evaluation values under different degrees of motion blur (movement distance is unchanged)

为了更全面地验证算法性能, 分别对加入高斯模糊和高斯噪声的图像进行了实验:

1) 对图像加入窗口大小为 5×5 、方差为1~6的高斯模糊, 进行实验后得到不同程度的高斯模糊失真的评估值曲线如图7所示。

2) 对图像加入方差0.001~0.009的高斯噪声, 进行实验后得到不同程度的高斯噪声失真的评估值曲线如图8所示。

从图7、图8可以看出, 当加入的高斯模糊(高斯噪声)的方差由小到大(即图像的失真程度由小到大)时, 3种算法的质量评估值都表现出减小的趋势, 但数值变化的程度存在明显的差异, FGSIM算法数值变化的程度虽然不如GSSIM算法好, 但相较FSIM算法有一定的提高。

为了进一步验证FGSIM算法的性能, 分别运用FSIM算法、GSSIM算法以及本文算法对TID2008数据库的图像进行了图像质量评估, 并将实验结果与

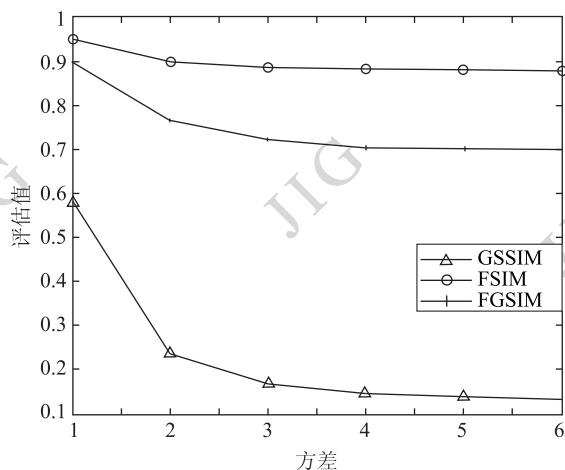


图7 不同程度的高斯模糊失真的评估值曲线

Fig. 7 The curve of the evaluation values under different levels of Gaussian blur

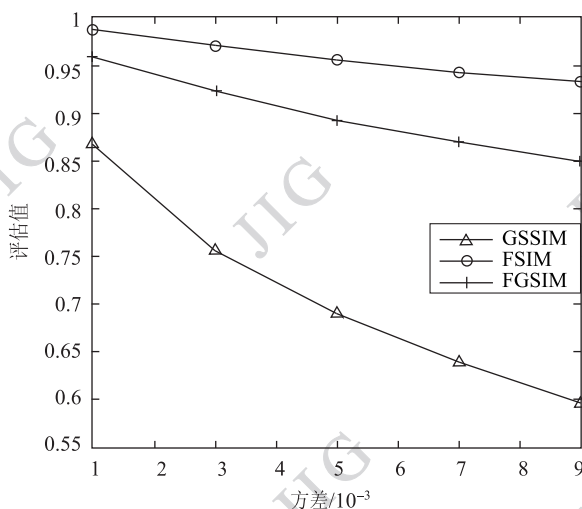
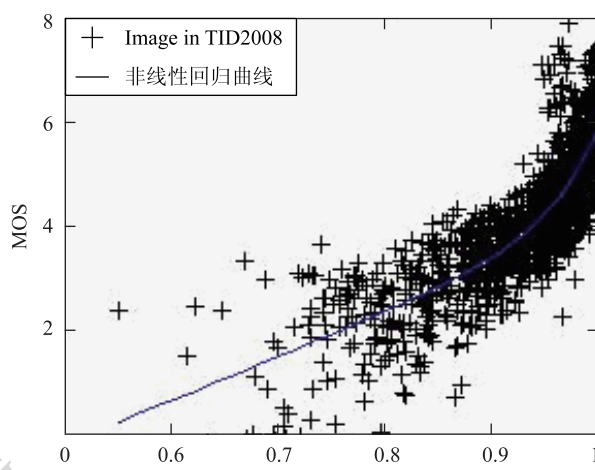


图8 不同程度的高斯噪声失真的评估值曲线

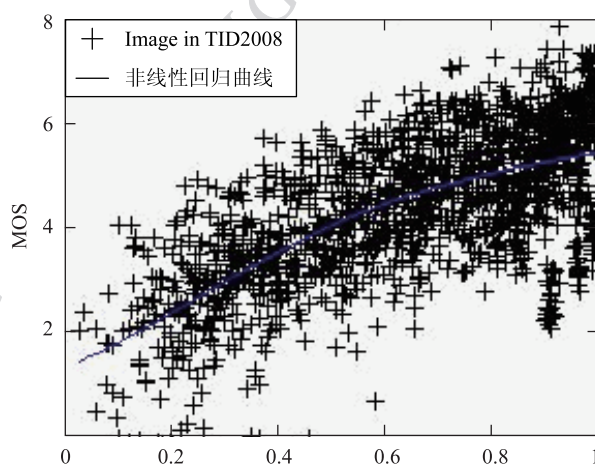
Fig. 8 The curve of the evaluation values under different levels of Gaussian noise

其自带的 MOS(平均主观分值)值进行非线性曲线拟合。实验结果如图 9 所示。TID2008 数据库^[12]是欧洲科研机构推出的一个用来专门评估全参考的图像质量评估方法的数据库。该数据库同时给出了每幅失真图像的平均主观分值(MOS 值),其取值范围为 $[0, 9]$,值越大表示人眼感知的图像质量越好。

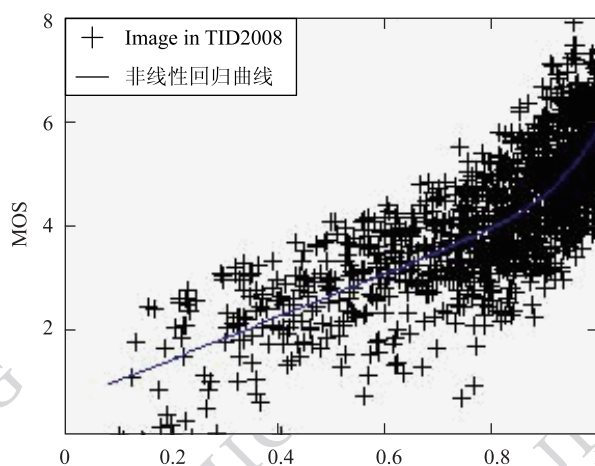
图 9(a)为 FSIM 算法的散点图,可以看出,FSIM 算法的散点图最集中,拟合效果最好,说明该算法的性能最接近人类视觉系统,由于该算法运用了相位一致性来提取图像的底层特征,而人眼主要是根据图像中的底层特征来理解图像,所以其拟合效果最好;图 9(b)为 GSSIM 算法的散点图相比之



(a) FSIM 的散点图



(b) GSSIM 的散点图



(c) FGSIM 的散点图

图9 图像质量评估模型对 TID2008 图像库的散点图

Fig. 9 Scatter diagrams of image quality assessment models for TID2008 image database

下最分散,最不接近曲线拟合,说明其结果与人类视觉系统差异较大,由于该算法没有考虑人眼感兴趣的底层特征,故其拟合效果非常不理想;图 9(c)为

FGSIM 算法的散点图较 FSIM 算法稍差些, 但与 GSSIM 算法相比具有非常大的改进, 其散点图比 GSSIM 更为集中。这表明该算法在具有 GSSIM 算法边缘识别能力的基础上同时具有 FSIM 算法的优点, 能够有效识别图像的底层特征, 使其评价结果相较于 GSSIM 更接近人类视觉系统。

采用较为常用的衡量评估方法性能的指标皮尔逊相关系数(CC)、斯皮尔曼秩相关系数(SROCC)、KROCC(Kendall rank-order correlation coefficient)和均方根误差(RMSE)对评估算法的性能进行衡量。实验结果如表1所示。

表1 图像质量评估模型对于部分 TID2008 图像库的性能比较

Table 1 Image quality evaluation model for TID2008 image library in part of performance comparison

算法	CC	SROCC	KROCC	RMSE
FSIM	0.873 8	0.880 5	0.694 6	0.652 5
GSSIM	0.678 7	0.626 1	0.458 4	0.985 6
FGSIM	0.821 1	0.809 8	0.605 8	0.765 9

从表1可以看出,FSIM 算法的 CC 值,SROCC 值,KROCC 值最大,FGSIM 算法的次之,GSSIM 算法的最小;FSIM 算法的 RMSE 值最小,FGSIM 算法的次之,GSSIM 算法的最大,表明 FGSIM 算法在具有 GSSIM 算法边缘识别能力的基础上同时具有 FSIM 算法的优点,能够有效识别图像的底层特征,使其评价结果相较于 GSSIM 更接近人类视觉系统。

4 结 论

本文在特征相似性图像质量评估算法(FSIM)的基础上,将 FSIM 算法与对边缘信息更敏感的梯度结构相似度 GSSIM 算法相结合得到一种即符合人眼视觉系统特点又能有效识别图像边缘的新的图像质量评估算法 FGSIM。实验结果表明,本文算法(FGSIM)对图像的模糊失真评估的准确性明显高于 GSSIM 算法和 FSIM 算法,因此本文 FGSIM 算法相较于 GSSIM 以及 FSIM 算法能够更加有效地进行图

像质量评估。

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): 1-14.
- [2] Chang H W, Yang H, Gan Y, et al. Sparse feature fidelity for perceptual image quality assessment [J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2013, 22(10): 4007-4018.
- [3] Wang J, Li L Y, Wang W, et al. Digital image quality assessment [J]. Journal of the Hebei Academy of Sciences, 2013, 30(2): 30-34. [王进, 李俐莹, 王万, 等. 数字图像的质量评估[J]. 河北省科学院学报, 2013, 30(2): 30-34.]
- [4] Wang Z, Bovik A C. A universal image quality index [J]. IEEE Signal Processing Letters, 2002, 9(3): 81-84.
- [5] Yang C L, Chen G H, Xie S L. Gradient information based on image quality assessment [J]. Acta Electronica Sinica, 2007, 35(7): 1313-1317. [杨春玲, 陈冠豪, 谢胜利. 基于梯度信息的图像质量评判方法的研究[J]. 电子学报, 2007, 35(7): 1313-1317.]
- [6] Zhang L, Zhang L, Mou X Q, et al. FSIM: a feature similarity index for image quality assessment [J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2011, 20(8): 2378-2386.
- [7] Guo L, Chen W L, Liao Y, et al. Multi-scale structural image quality assessment based on two-stage low-level features [J]. Computers and Electrical Engineering, 2014, 40: 1101-1110.
- [8] Kovess P. Image features from phase congruency [J]. Videre: J Comp. Vis. Res., 1999, 1(3): 1-26.
- [9] Liu Z, Laganie're R. Phase congruence measurement for image similarity assessment [J]. ScienceDirect, 2007, 28(1): 166-172.
- [10] Abdou I E, Dusaussay N J. Survey of image quality measurements [C]// Proceedings of ACM Fall joint Computer Conference. Washington DC: IEEE, 1986: 71-78.
- [11] Chu J, Chen Q, Yang X C. Review on full reference image quality assessment algorithms [J]. Application Research of Computers, 2014, 31(1): 13-22. [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.]
- [12] Ponomarenko N, Lukin V, Zelensky A, et al. TID2008-a database for evaluation of full reference visual quality assessment metrics [J]. Advances of Modern Radio Electronics, 2009, 10: 30-45.