

基于局部锐度特征的无参模糊图像 质量评估算法研究

相入喜^{1,2}, 许清泉¹, 朱锡芳^{1,2}, 吴 峰¹, 汤 毅¹

(1 常州工学院 电气与光电工程学院 江苏 常州 213022; 2 常州光电子材料重点实验室, 江苏 常州 213022)

摘 要: 为了有效评估模糊图像的质量, 在图像局部锐度特征的基础上, 提出一种基于局部锐度特征和双树复小波相结合的无参图像的质量评估算法。该算法首先对评估图像进行多层双树复小波分解, 进而重构 6 个不同方向的图像, 接着计算每个方向图的局部锐度特征, 最后通过加权线性融合得到评估图像的锐度值。通过在 4 个公共的图像评估数据集验证, 结果表明所提出评估方法在模糊图像评估中优于其他 6 种传统的图像质量评估方法, 同时也证明了评估结果更接近人的主观视觉特性。

关键词: 双树复小波; 图像模糊; 图像质量评估; 图像锐度; 局部相位一致性

中图分类号: TP391

文献标识码: A

文章编号: 1000-7180(2017)03-0125-04

No-reference Blur Image Assessment Based on Local Sharpness

XAING Ru-xi^{1,2}, XU Qing-quan¹, ZHU Xi-fang^{1,2}, WU Feng¹, TANG Yi¹

(1 School of Electrical and Photoelectric Engineering, Changzhou Institute of Technology,
Changzhou 213022, China; 2 Key Laboratory of Optoelectronic Materials and
Devices of Changzhou, Changzhou 213022, China)

Abstract: In order to effectively assess the quality of the image, the paper proposes a novel assessment method without the reference image that effectively combines the dual tree complex wavelet transform with the local sharpness of the image on the basis of the local sharpness of the image. Firstly, the image is decomposed multilayers by the dual tree complex wavelet and 6 different directions of the image are reconstructed, then the local sharpness of each direction is computed. Finally, the final local sharpness is computed by the linearly fusion with the weight. In 4 publicly available image databases, experimental results show that the proposed method is superior to other 6 kinds of the state-of-the-art methods in the blur images from the above databases and testify that the proposed method is closer to the human vision.

Key words: dual complex wavelet; image blur; image quality assessment; image sharpness; local phase congruency

1 引言

近年来,随着智能便携设备日益普及,数字图像逐渐成为一种重要的信息载体,在获取、存储、传输等过程中都存在着不同程度的质量退化,影响了信息的进一步处理,亟需有一种可以有效的评估图像的质量的方法。目前图像质量评估方法主要分为两

大类:主观评估法和客观评估法^[1]。

目前,在客观评估法中,无参图像质量评估已取得一些令人鼓舞的研究成果^[2],R. Hassen 通过计算图像的相位一致性索引评估图像的质量,目前已取得不错的评估效果^[3]。韩沁等人利用图像邻域像素间的互相关系数进行图像质量的评估^[4]。双树复小波算法是近年来应用最为广泛的小波增强算法之

收稿日期: 2016-07-18; 修回日期: 2016-08-29

基金项目: 国家自然科学基金面上项目(61475027);江苏省高校自然科学研究面上项目(16KJB520002);江苏省文化协同创新基金(XYN1408, XYN1513)

—[5],该算法既保持了经典小波的多分辨率特性,又明显改善了小波的方向选择性.本文结合双树复小波方向选择性和图像的局部锐度特性,提出了一种有效的无参模糊图像质量评估算法.

2 基于局部锐度特征的评估模型

2.1 双树复小波原理

双树复小波算法是近年来应用最为广泛的小波增强算法之一[5],该算法既保持了经典小波的多分辨率特性,又明显改善了小波的方向选择性,而且在图像重构时具有比小波更好的重构效果.分解时,每一个分解层都从 6 个不同的方向($\pm 15^\circ, \pm 45^\circ, \pm 75^\circ$)进行分解,获取比小波更多的边缘和纹理信息,重构时,能完全重构不同方向的图像,具体信息可参照文献[5].

2.2 基于双树复小波的锐度评估算法

图像锐度既是图像的重要表征特征,又是影响人们评估图像质量的重要因素.如果锐度比较高,图像的质量就比较好,反之,图像质量比较差,尤其在模糊图像质量评估更明显.在频域中,用图像局部相位一致性表征图像的锐度特征[3],如图 1(b)和图 1(d)所示,随着图像的模糊加深,图像的锐度特征越来越少.

评估一副模糊图像质量,先计算频域中的局部相位一致性值,接着统计图像的边缘锐度值,即先对图像进行一系列 L 层的双树复小波和 N_s 个尺度和 M_o 个方向的 gabor 滤波变换后,共产生 LM_oN_s 个子波段和 LM_oN_s 个空间位置的复系数,频域中的局部相位一致性值 V^{jk} ,即边缘锐度值可以定义为:

$$v^{jk} = \cos(\rho(\alpha_{ijk}))$$

$$\alpha_{ijk} = \text{atan}\left(\frac{\text{Im}(\prod_{l=1}^{N_s} cn_{ijkl})}{R(\prod_{l=1}^{N_s} cn_{ijkl})}\right) \quad (1)$$

式中, $\rho(x) = \max(x, th)$, th 是阈值, $\alpha_{l,j,k}$ 是频域中局部相位一致性的相位频; cn_{ijkl} 表示第 l 个角度,第 i 个尺度,第 j 个方向中的第 k 个空间像素的复系数, $R(\cdot)$ 是复系数 cn_{ijkl} 的实部, $\text{Im}(\cdot)$ 是复系数 cn_{ijkl} 的虚部,则第 k 点的边缘锐度值 v^k 为

$$v^k = \sum_{l=1}^L \lambda_l \sum_{j=1}^{M_o} \omega_j v_{ljk}$$

$$\lambda_l = \frac{\|cn_{ljk}\|_2^2}{\sum_{l=1}^L \|cn_{ljk}\|_2^2 + con} \quad (2)$$

式中, λ_l 为第 l 个角度对应的权值,且满足 $\sum \lambda_l = 1$,

ω_j 是第 j 个方向对应的权值,在本文中值为 $[1 \ -3 \ 2]$,常量 con 主要为了避免分母趋向于 0 时导致边缘锐度计算不稳定.由于双树复小波具有更好的方向选择性和近似平移不变性,从而可以更有效地表征不同模糊图像的边缘锐度特性,如图 1 所示.图 1(a~c)对应不同层次的模糊图像,图(d)是图(a)的双树复小波变换的分量图和对应的锐度图,图(e)是图(b)的双树复小波变换的分量图和对应的锐度图,图(f)是图(c)的双树复小波变换的分量图和对应的锐度图.

图像的锐度特征计算后,接着计算图像的质量评估值,即分析整个图像中在不同角度、不同尺度下锐度特征值的统计特性,计算锐度特征的带权均值,即计算图像的质量评估值为

$$q = \frac{\sum_{p=1}^{N_p} \beta_p \rho(v^p)}{\sum_{p=1}^{N_p} \beta_p} \quad (3)$$

式中, N_p 是排序后大于阈值的像素总数, $\rho(\cdot)$ 和式(1)中含义一样.计算图像质量评估值之前,先按照每个像素的锐度特征值由大到小排序,接着计算权值 β_p ,即第 p 个像素对应的权值 $\beta_p = 1 - \tanh((p-1)/(\eta_p \times (N_p-1)))$,其中参数 η_p 用来控制权重下降的速度,文中取 0.000 1.

3 实验结果及讨论

为了验证本文提出的无参图像质量评估算法的有效性,本文在国际通用的图像质量评估数据库进行质量评估,所用评估算法主要包括 CPBD[6], LSC-SI[3], SSEQ[7], BRISQUE[8], S_3 [9] 等五种常用算法.实验硬件平台为 Intel CPU,主频 3.2 GHz i7,内存 4 GB 内存笔记本电脑,软件平台为 win7 系统和 Matlab 2010a.所有参考评估算法的源码都是采用作者公开提供的源代码.

3.1 评估数据库介绍

CSIQ(Categorical Subjective Image Quality 图像评估数据库是由美国俄克拉荷马州立大学建立的一个公用的图像评估数据库,该库包含了 30 幅不同图像产生的 150 幅不同层次失真的退化图像集;IVC 数据库由法国南特中央理工大学 Ecole Polytechnique de l'universite de Nantes)构建的一个有影响力的图像质量评估数据库,数据库中是由 4 幅不同图像产生的 20 幅失真度不同的退化图像集. TID 2008/2013 (Tampere image database 2008/2013) 由乌克兰国家航空航天大学 25 幅不同图像生成的 100 幅/125 幅失

真度不同的退化图像集组成. 在所有数据库中都提供了主观平均差异值 MOS/DMOS(mean opinion score/difference mean opinion score),其中,对于 DMOS 值

越大图像质量越差,相反 MOS 值越大图像质量越好,这些主观值是由多组不同测试人员主观评分统计得到的.

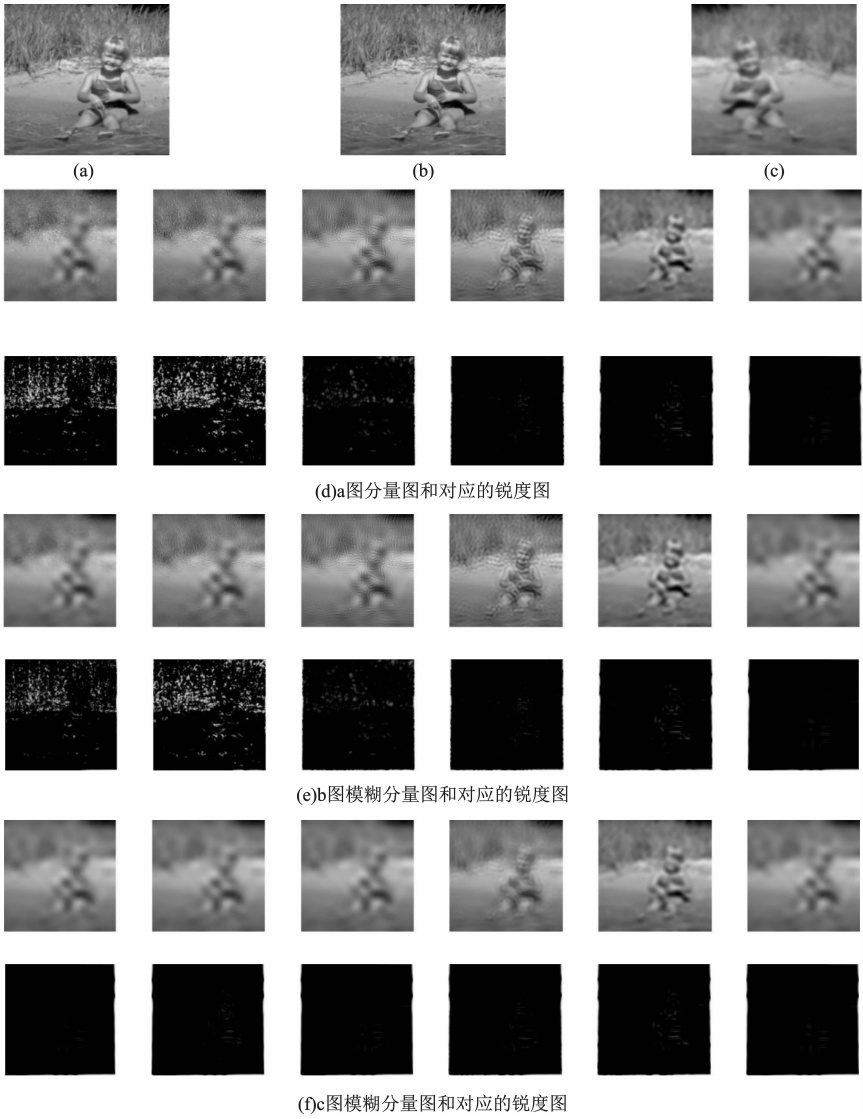


图 1 二维双树复小波分解每个方向重构图和对应的锐度图

3.2 评估指标

为了衡量提出算法和人眼主观值的相关性,本文采用了常用的 4 种评估指标:斯皮尔曼等级相关系数 SRCC(Spearman Rank-order Correlation Coefficient),皮尔逊相关系数 PLCC (Pearson Linear Correlation Coefficient),KRCC (Kendall’s Rank Correlation Coefficient),均方根误差 RMSE(Root Mean Squared Error) . 其中,SRCC 和 PLCC 首先要将不同算法获得的评估值通过改善后的非线性 logistic 回归映射^[18]后,计算与主观评分的相关性. 非线性 logistic 回归主要采用 5 个参数进行式(4)拟

合.

$$q\text{lin}(x)=\beta_1(\frac{1}{2}-\frac{1}{1+e^{\beta_2(x-\beta_3)}})+\beta_4x+\beta_5 \tag{4}$$

式中,这 5 个参数通过优化工具获得. 将所有算法经非线性映射后,分别计算 PLCC,SRCC,KRCC 和 RMSE 的值,在这些指标中 RMSE 值越小,相关性就越高,而 PLCC,SRCC,KRCC 值越高相关性就越好.

3.3 实验结果与分析

不同评估算法在上述 4 个数据库中的实验结果

总结在表 1~4 中,评估准则采用了 PLCC,SRCC, KRCC,和 RMSE. 对于每个数据集和每一种评估准则,本文重点突出前两种性能比较优的算法(表中用黑体表示). 表 1~4 分别展示了 5 种算法在数据库 TID2008,IVC,CSIQ 和 TID2013 中与人的主观评估值的相关性. 同时根据表 1-表 4 中实验结果,可以发现本文算法和 LPC_SI 算法的评估指标都较优,与人主观平均建议值一致性较好,相反对其他 3 种经典评估算法评估指标相对差些,主要前两种算法采用表征度较好的边缘锐度特征,而后三种评估算法采用表征区别性差一些,因而和人的主观评估值的相关性就相对差些. 特别对于前两种算法来说,虽然都采用了鉴别性较好的边缘锐度特征,但本文利用了双树复小波的多方向选择性,从不同尺度 6 个方向计算高频分量图,进而获得更多的边缘锐度特征,同 LPC_SI 相比较,本文计算的指标值 PLCC, SRCC,和 KRCC 值更大,RMSE 更小. 这说明了基于双树复小波的边缘锐度特征可以有效区分不同模糊图像,可以获得和人主观评估值一致性较好的的评估结果.

表 1 不同算法在 TID2008 模糊图像数据集评估

指标 Measure	SRCC	PLCC	KRCC	RMSE
SSEQ ^[7]	0. 845 1	0. 844 6	0. 643 1	0. 628 3
Brisque ^[8]	0. 798 9	0. 857 3	0. 675 0	0. 604 0
CPBDM ^[6]	0. 841 4	0. 833 4	0. 630 1	0. 648 6
S3 ^[9]	0. 841 8	0. 854 2	0. 615 6	0. 610 1
LPC-SI ^[3]	0. 856 1	0. 858 6	0. 630 7	0. 601 7
Proposed	0. 864 8	0. 866 9	0. 654 8	0. 585 0

表 2 不同算法在 IVC 模糊图像数据集评估指标

Measure	SRCC	PLCC	KRCC	RMSE
SSEQ ^[7]	0. 823 9	0. 893 7	0. 666 7	0. 512 1
Brisque ^[8]	0. 823 9	0. 902 4	0. 656 1	0. 491 9
CPBDM ^[6]	0. 769 0	0. 839 3	0. 613 8	0. 622 0
S3 ^[9]	0. 869 1	0. 927 9	0. 709 0	0. 425 6
LPC-SI ^[3]	0. 929 8	0. 963 5	0. 784 2	0. 331 2
Proposed	0. 940 7	0. 977 3	0. 792 5	0. 230 2

4 结束语

本文针对无参模糊图像质量评估,提出了一种基于双树复小波和图像锐度特征的评估算法. 该方法首先对图像进行双树复小波分解然后重构每一个方向的高频份量图,接着计算每个高频分量图的局

表 3 不同算法在 CSIQ 模糊图像数据集评估指

Measure	SRCC	PLCC	KRCC	RMSE
SSEQ ^[7]	0. 873 2	0. 871 1	0. 687 2	0. 140 7
Brisque ^[8]	0. 903 3	0. 927 9	0. 736 4	0. 106 6
CPBDM ^[6]	0. 885 3	0. 916 1	0. 709 0	0. 114 9
S3 ^[9]	0. 905 9	0. 917 5	0. 729 4	0. 114 0
LPC-SI ^[3]	0. 907 4	0. 909 0	0. 721 6	0. 119 4
Proposed	0. 915 2	0. 938 1	0. 751 8	0. 093

表 4 不同算法在 TID2013 模糊图像数据集评估

Measure	SRCC	PLCC	KRCC	RMSE
SSEQ ^[7]	0. 813 4	0. 846 4	0. 648 3	0. 664 6
Brisque ^[8]	0. 857 9	0. 854 9	0. 654 4	0. 647 3
CPBDM ^[6]	0. 851 5	0. 862 1	0. 646 2	0. 632 3
S3 ^[9]	0. 860 9	0. 881 6	0. 639 7	0. 589 0
LPC-SI ^[3]	0. 894 2	0. 838 0	0. 693 2	0. 553 0
Proposed	0. 895 6	0. 892 2	0. 712 6	0. 533 5

部边缘锐度,最后通过加权平均得到最终的边缘锐度. 通过在 4 个有代表性图像评估数据集仿真,结果表明所提出评估方法优于传统的图像质量评估方法,同时本文评估更接近人的主观视觉特性.

参考文献:

[1] 桑庆兵,梁狄林,吴小俊,等. 基于支持向量回归的无参考模糊和噪声图像质量评价方法[J]. 光电子·激光, 2014,24(3):595-601.

[2] Xue W, Mou X, Zhang L, et al. Blind image quality assessment using joint statistics of gradient magnitude and Laplacian features[J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2014,23(11):4850-62.

[3] Rania Hassen, Zhou Wang, Magdy M A Salama. Image sharpness assessment based on local phase coherence[J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2013, 22(7):2798:2810.

[4] 韩沁,李凡,汪烈军. 基于互相关系数的边缘加权质量预测评估算法[J]. 微电子学与计算机,2014,31(10): 107-112.

[5] Kingsbury N G. Complex wavelets for shift invariant analysis and filtering of signals [J] . Applied and Computational Harmonic Analysis, 2001, 10 (3) : 234-253.

[6] Narvekar N,Karam L. 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.

(2) 假设系统出现硬件故障,导致网络服务系统无法运行,其在 Petri 网模型中对应的数据库为 $P36$,硬件导致服务系统故障的数据库指向 $P36$ 的路径有 5 条,分别是: $P21 \rightarrow P36, P22 \rightarrow P36, P23 \rightarrow P36, P24 \rightarrow P36, P25 \rightarrow P36$. 通过查询故障变迁 $t21, t22, t23, t24, t25$ 的置信度,其中 $P23 \rightarrow P36$ 的置信度最大 CF_{2336} ,对 $P23$ 进行标记,说明已经访问过该库,可避免在进行深度优先策略搜索时重查到该库. 通过反向查询引发 $P23$ 数据库故障路径有 4 条,分别是: $P24 \rightarrow P33, P25 \rightarrow P33, P26 \rightarrow P33, P27 \rightarrow P33$,其中 $P27 \rightarrow P33$ 置信度最大 CF_{2733} . 以置信度最大选择原则,选择变迁 $t27$ 的输入库 $P27$. 当 $P27$ 的可信度大于所设定的阈值, $P33$ 的可信度也大于所设定的阈值,则 $P27$ 对应的初始数据库中的硬件诊断故障则为故障的真实原因. 如果 $P27$ 和 $P33$ 的可信度低于所设定的阈值,则返回执行推理过程,直至找到硬件故障原因.

6 结束语

本文针对大规模网络服务系统故障诊断及可靠性分析,建立基于模糊 Petri 网的网络服务系统故障预测模型,并以软件故障及硬件故障为例,验证预测模型的准确性和实用性,得出的结论是利用模糊

Petri 网矩阵正向推理能够较为理想地计算出初始故障检测数据库与目标库的概率重要度,通过对初始故障检测数据库的重要度分析,模糊 Petri 网能够快速、准确、清晰地反映出网络服务系统故障之间的因果关系.

参考文献:

[1] 吴哲辉. Petri 网导论[M]. 北京:机械工业出版社,2006.
[2] 宋敏,韦正现,印桂生. 面向数据流的网构软件服务动态演化分析[J]. 软件学报,2013,24(12):2797-2813.
[3] 谢仲文,李彤,代飞,等. 基于 Petri 网的面向动态演化的软件体系结构建模[J]. 计算机应用与软件,2012,29(10):36-39.
[4] 庞善臣,林闯. 可重写 Petri 网:位置可重写及性质分析[J]. 计算机学报,2012,35(10):2182-2193.
[5] 丁博,王怀民,史殿习. 构造具备自适应能力的软件[J]. 软件学报,2013,24(9):1981-2000.

作者简介:

郭立志 男,(1978-),硕士,讲师. 研究方向为互联网信息化技术. E-mail:nmglaoguo@126.com.
王 苓 女,(1973-),硕士,工程师. 研究方向为互联网信息化技术.

(上接第 128 页)

[7] Liu Lixiong, Liu Bao, Huang Hua, et al. No-reference image quality assessment based on spatial and spectral entropies[J]. Signal Processing: Image Communication, 2014, 29(8): 856-863.
[8] Mittal A, Moorthy A, Bovik. No-reference image quality assessment in the spatial domain[J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2012, 21(12): 4695-4708.
[9] Vu C, Phan T, Chandler D. S3: A spectral and spatial measure of local perceived sharpness in natural images[J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2012,

21(3): 934-945.

作者简介:

相入喜 男,(1976-),博士,讲师. 研究方向为图像处理、模式识别和计算机视觉.
许清泉 男,(1979-),硕士,讲师. 研究方向为计算机视觉.
朱锡芳(通讯作者) 男,(1965-),博士,教授. 研究方向为图像处理,模式识别. E-mail:zhuxfcz@yeah.net.
吴 峰 男,(1978-),博士,副教授. 研究方向为计算机视觉.