

基于奇异值分解的无参考模糊图像质量评价方法

殷莹

(江南大学理学院,江苏 无锡 214122)

摘要:提出了一种针对模糊图像的无参考图像质量评价算法。首先,对图像进行高斯低通滤波变换产生参考图像,其次对高斯低通滤波前后的图像分别进行奇异值分解,然后构造公式计算图像高斯滤波前后的奇异值改变量作为图像的特征向量,最后应用广义回归神经网络模型对图像的特征向量进行训练学习,得到图像的模糊值。在3个图像数据库上的大量实验结果表明,新方法计算简单。预测得分与主观得分有较好的一致性,取得了比较好的评价指标。

关键词:无参考图像质量评价;奇异值分解;广义回归神经网络;模糊图像

中图分类号:TP391 **文献标识码:**A **DOI:**10.3969/j.issn.1001-5078.2013.07.020

Non-reference blur image quality evaluation based on singular value decomposition

YIN Ying

(School of science, Jiangnan University, Wuxi 214122, China)

Abstract: A non-reference blur image quality evaluation algorithm is proposed. Firstly, the reference image is produced through the Gauss low-pass filter transformation, then the singular value decomposition is made for the image before and after gauss low-pass filter transformation, and then by constructing the formula the change of singular value is computed, and it is made as the image feature vector, finally the image feature vector is trained by applying generalized regression neural network model, the blur value of image is gotten. A lot of experimental results in the three image database show that the new method is simple. Prediction scores and subjective scores have good consistency. The algorithm has obtained a good evaluation index.

Key words: no-reference image quality assessment; singular value decomposition; generalized regression neural network; blur image

1 引言

研究判定图像质量好坏的算法可以解决图像伴有的模糊失真难题,据此可进一步找到保持和提高图像质量的途径。目前,图像质量评价已成为许多研究方向中的前沿问题^[1-2]。图像质量评价方法分为主观图像质量评价方法和客观图像质量评价方法两类,前者是根据观察者对图像的直接感受进行打分,虽然真实可靠,但是由于成本昂贵,耗费时间长等缺点,使其在实际应用中难以实施。后者则是一种能够自动预测图像质量的计算模型,与前者相比,

成本低,耗时短,更容易被嵌入到实时应用系统中,具有很好的应用价值。

根据需要的参考信息量,客观图像质量评价方法可分为全参考(Full-Reference, FR)图像质量评价

基金项目:国家自然科学基金(No. 61170120),江苏省自然科学基金(No. BK2011147),国家自然科学基金青年基金(No. 61103128),中央高校基本科研业务费专项资金资助。

作者简介:殷莹(1975-),女,讲师,硕士,主要研究工作是模式识别,光学图像信息分析与处理。E-mail: sqbyy@hotmail.com

收稿日期:2012-12-10; **修订日期:**2012-12-18

方法、半参考 (Reduced-Reference, RR) 图像质量评价方法和无参考 (No-Reference, NR) 图像质量评价方法。目前,全参考质量评价方法的研究比较成熟,很多学者在全参考质量评价算法方面取得了一定的成就^[3-5]。然而全参考和半参考质量评价方法需要参考图像的信息,而在很多应用场合没有或无法获得此信息,因此无参考图像质量评价方法更加实用。

近年来,针对模糊图像的无参考质量评价研究非常活跃。Rony Ferzl 等使用恰可觉察模糊的概念对模糊图像进行评价^[6],Rania Hassen 等利用局部相位一致的方法对模糊图像进行评价^[7]。Ming-Jun Chen 等人采用多尺度梯度的方法对模糊图像进行评价^[8]。Li 等通过比较模糊和再模糊图像边缘点区域的统计特征,构建模糊图像质量评价指标^[9]。这些方法从不同角度构建了模糊图像质量评价指标,取得了一定进展。

本文在图像矩阵奇异值分解 (singular value decomposition, SVD) 的基础上,构造公式计算奇异值变化量,作为图像质量的特征向量,最后利用广义回归神经网络 (generalized regression neural network, GRNN) 预测图像质量得分。实验结果表明,本文方法具有较好的主观一致性和推广性。

2 图像的奇异值分解

矩阵奇异值分解是指:令 $A \in \mathbf{R}^{m \times n}$, 则存在正交 (或酉) 矩阵 $U \in \mathbf{R}^{m \times m}$ 和 $V \in \mathbf{R}^{n \times n}$, 使得: $A = USV^T$, 式中 $S = \begin{bmatrix} S_2 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix}$, 且 $S_2 = \text{diag}(\sigma_1, \sigma_2, \dots, \sigma_n)$, 其对应角元素按照顺序 $\sigma_1 \geq \sigma_2 \geq \dots \geq \sigma_n \geq 0$ 排列, $r = \text{rank}(A)$, U 为左奇异值矩阵, 大小为 $m \times m$, U 的列向量为矩阵 A 的左奇异值向量, V 为右奇异值矩阵, 大小为 $n \times n$, V 的列向量为 A 的右奇异值向量^[10]。

作为二维矩阵的数字图像因此也可以进行奇异值分解,以 SVD 为基础的全参考图像质量评价算法主要分为两类^[11-16],一类是以奇异值为基础的图像质量评价算法,如将奇异值的改变量作为图像质量评价标准的 MSVD 算法^[11];另一类是以左奇异值矩阵算法,如 Q 算法^[12]。上述文献实验结果均证明,奇异值分解在图像质量评价上有着优越性能。

图 1 所示的 2 幅图片中,其中图 1(a) 为原图像,图 1(b) 为图 1(a) 去掉奇异值后的图像。对比可知,当图像去掉奇异值后,图像的质量严重下降。

本文将讨论图像奇异值与图像质量关系,并据此进行图像质量评价。



(a) 原图像 (b) $U * V^T$ 图像

图 1 原图像和 $U * V^T$ 图像

Fig. 1 original image and associated $U * V^T$ image

3 广义回归神经网络

1991 年,Donald F. Specht 提出了广义回归神经网络 (Generalized Regression Neural Network, GRNN)。作为径向基函数 (RBF) 网络的一种变化形式,广义回归神经网络较 RBF 网络性能优越,尤其体现在学习速度和逼近能力上^[17]。

GRNN 由四层构成,分别为输入层、模式层、求和层和输出层,如图 2 所示。

对于输入向量 X ,GRNN 的输出 \hat{Y} 为:

$$\hat{Y}(X) = \frac{\sum_{i=1}^n Y_i \exp\left(\frac{-D_i^2}{2\sigma^2}\right)}{\sum_{i=1}^n \exp\left(\frac{-D_i^2}{2\sigma^2}\right)} \quad (1)$$

其中, n 是样本观测值的数目; X_i 和 Y_i 是样本的值,模式层神经元传递函数 $P_i = \exp\left[\frac{(X - X_i)^T (X - X_i)}{2\sigma^2}\right]$, $D_i^2 = (X - X_i)^T (X - X_i)$ 。 σ 是传递参数, σ 值越大,函数逼近越光滑。传递参数值的选择一般小于输入向量之间的平均距离。

广义回归神经网络的结构如图 2 所示。

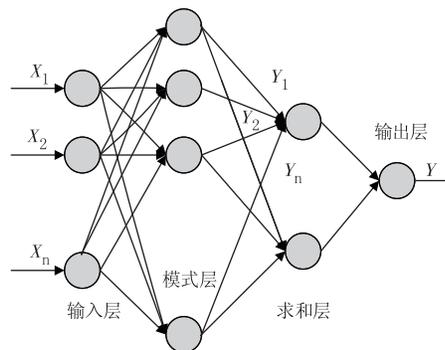


图 2 广义回归神经网络结构图

Fig. 2 schematic diagram of GRNN

4 基于 SVD 的无参考质量评价方法

4.1 图像奇异值改变量与图像质量

我们选取两幅图像的 4 种不同失真等级的图

像,用以说明图像的奇异值改变量和图像质量之间的关系。如图2所示,图像依次变得模糊。



图3 2个不同图像的4个失真等级

Fig.3 four distortion level of two different images

定义奇异值的改变量:

$$X_DIFF(i) = \frac{2(S_1(i) - S_2(i))}{(S_1(i))^p + (S_2(i))^p + C} \quad (2)$$

其中, $i = 1, 2, \dots, r$, $S_1 = [\sigma_{a1}, \sigma_{a2}, \dots, \sigma_{ar}]$ 为原图像的奇异值向量, $S_2 = [\sigma_{b1}, \sigma_{b2}, \dots, \sigma_{br}]$ 为失真图像的奇异值向量, $X_DIFF_{(i)}$ 为特征向量, p 为常数, C 为可调节的算法精度参数。

表1 计算了各图像的 X_DIFF 的值。数据表明: X_DIFF 值越大, 图像越模糊, 图像质量越差, 反之结论亦然。

表1 不同模糊图像的 X_DIFF 值

Tab.1 The X_DIFF value of different blur images

图像	#1	#2	#3	#4
Img1	0.0668	0.1203	0.1726	0.2125
Img2	0.0673	0.1305	0.1784	0.2140

4.2 本文算法具体实现

广义回归神经网络可以建立下述映射问题:把奇异值的改变量映射成图像的质量得分。本文通过对图像进行高斯低通滤波,使图像变得更模糊,以此构造参考图像来计算图像的奇异值改变量。下文给出该模型的具体实验流程。

(1) 对待评价图像进行高斯滤波变换(模板大小为 11×11 , 方差 $\sigma = 5$) 构造参考图像;

(2) 对高斯滤波前的图像进行奇异值分解, 奇异值向量为 S_1 , 同时对高斯滤波后的图像进行奇异值分解, 奇异值向量为 S_2 ;

(3) 根据公式(2) 计算高斯滤波前后的图像的奇异值计算与图像质量相关的特征向量, 即每个奇异值的改变量;

(4) 将步骤(3) 所得到的特征向量 X_DIFF 用广义回归模型进行学习训练来预测图像质量得分。

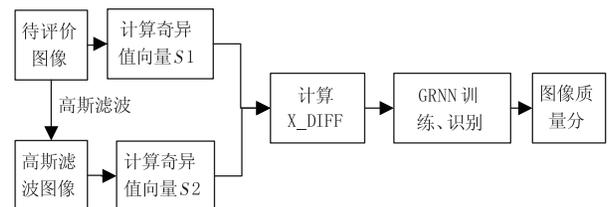


图4 基于SVD和GRNN的质量评价流程

Fig.4 flow chart of IQA based on SVD and GRNN

5 实验结果及分析

5.1 在3种数据库上的实验结果

利用3个常用的公开数据库(LIVE2^[18]、CSIQ^[19]和TID2008^[20])的失真图像和主观得分(DMOS)值进行训练和测试。

判断客观图像质量评价与主观质量评价一致性的性能指标是Spearman等级相关系数(Spearman Rank-Order Correlation Coefficient, SROCC)和Pearson相关系数(Pearson Correlation Coefficient, CC)。SROCC和CC的值在[0, 1]之间, SROCC和CC的值越接近1, 说明客观图像质量评价与主观质量评价越一致, 客观图像质量评价算法性能越好。

采用5折交叉验证进行实验, 且公式(2)中的参数 $p = 2$, 参数 $C = 10$ 。其实验结果如表2所示(test1~5分别对应Train5432、5431、5412、5132和1432、5、4、3、2、1分别代表不同的数据子集)。

从表2中的CC和SROCC值可以看出, 本文的算法在三个数据库中都取得了较好的性能指标。同

时本文还分别对 TID2008、CSIQ 和 LIVE 数据库进行了交叉训练测试,其实验结论如表 3 所示。

表 2 实验在各数据库中的性能指标

Tab. 2 test result in database LIVE2,CSIQ and TID2008

数据库	LIVE2		CSIQ		TID2008	
	CC	SROCC	CC	SROCC	CC	SROCC
性能指标						
Test1	0.9512	0.9673	0.9644	0.9656	0.6690	0.6867
Test2	0.9593	0.9924	0.8920	0.8953	0.8889	0.8977
Test3	0.9209	0.9570	0.8910	0.8608	0.7177	0.7128
Test4	0.9094	0.9379	0.8721	0.8941	0.8787	0.8707
Test5	0.9276	0.9495	0.9100	0.9346	0.9308	0.9459
平均	0.9337	0.9604	0.9059	0.9101	0.8158	0.8228

表 3 交叉训练测试性能指标

Tab. 3 test result of cross validation in database LIVE2,CSIQ and TID2008

测试数据库	性能指标	TID2008 训练	LIVE 训练	CSIQ 训练
TID2008	CC	—	0.7639	0.7829
LIVE		0.8767	—	0.8919
CSIQ		0.9073	0.8634	—
TID2008	SROCC	—	0.8024	0.8141
LIVE		0.9383	—	0.9302
CSIQ		0.8971	0.9091	—

本文同时给出与表 3 实验数据所对应的 DMOS 值拟合图,如图 5 所示。

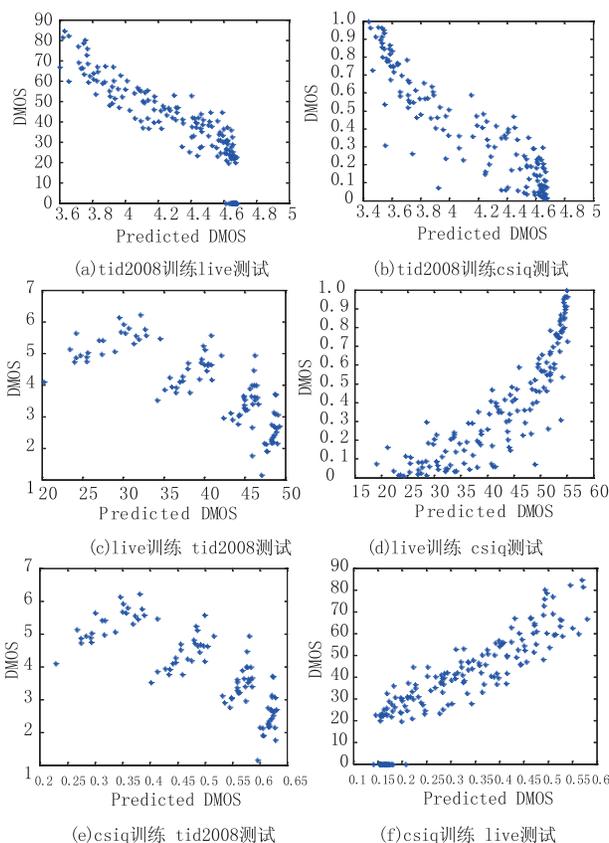


图 5 交叉训练测试的 DMOS 拟合图

Fig. 5 DMOS fitting figure of cross training test

5.2 与其他算法的实验比较

为了验证本文算法的推广性,表 4 给出与相关文献的实验结果比较。

表 4 在 LIVE2、CSIQ 和 TID2008 的性能比较

Tab. 3 results on database (LIVE2,CSIQ&TID 2008)

评价指标	算法	LIVE2	CSIQ	TID2008
SROCC	文献[6]	0.7876	0.7625	0.6667
	文献[7]	0.9368	—	0.8030
	文献[8]	0.9352	—	—
	文献[9]	0.9375	0.8963	0.8154
	本文算法	0.9604	0.9101	0.8228
CC	文献[6]	0.8189	0.8572	0.6567
	文献[7]	0.9239	—	0.8133
	文献[8]	—	—	—
	文献[9]	0.9478	0.9347	0.8547
	本文算法	0.9337	0.9059	0.8158

从表 3 中的 CC 和 SROCC 值可以看出,本文的算法与其他文献的算法相比,本文的算法性与现有的较优算法的性能相当。

5 结论

本文提出的无参考模糊图像质量评价算法,其主要应用图像奇异值分解来计算图像特征向量,并通过广义回归神经网络对图像特征向量进行训练学习来得到图像特征向量与图像质量之间的映射关系,来完成图像质量评价。通过对 LIVE、CSIQ 和 TID2008 三个数据库进行实验的实验结果表明,本文的算法性能优越,扩展性良好。下一步的研究方向是把图像的奇异值分解方法应用到其他失真类型进行质量评价。

参考文献:

[1] L Song, Y Lin. Novel evaluation model for different-source image fusion quality[J]. Laser & Infrared, 2010, 40(1):99 - 102. (in Chinese)
宋乐,等.一种新型异源图像融合质量评价模型[J],激光与红外,2010,40(1):99 - 102.

[2] D Dai. Image quality assessment of laser active imaging system[J]. Laser & Infrared, 2009, 39(9):986 - 990. (in Chinese)
戴得德,等.激光主动成像系统目标图像质量评价参数研究[J].激光与红外,2009,39(9):986 - 990.

[3] Zhou Wang, Alan C Bovik, Hamid R Sheikh, et al. Image

- quality assessment: from error visibility to structural similarity[J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2004, 13(4): 600–612.
- [4] Fu Wei, Gu Xiaodong, Wang Yuanyuan. Image quality assessment using edge and contrast similarity[C]//Neural Networks, 2008. IJCNN 2008. (IEEE World Congress on Computational Intelligence). IEEE International Joint Conference, 2008: 852–855.
- [5] Zhang Lin, Zhang Lei, Mou Xuanqin, et al. FSIM: A feature similarity index for image quality assessment[J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2011, 20(8): 2378–2386.
- [6] Rony Ferzli, Lina J. Karam. 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.
- [7] Rania Hassen, Zhou Wang and Magdy Salama. No-reference image sharpness assessment based on local phase coherence measurement[C]//IEEE International Conference on Acoustics, Speech & Signal Processing (ICASSP), 2010: 2434–2437.
- [8] Chen MingJun, Bovik. No-reference image blur assessment using multiscale gradient Ming-Jun Chen and Alan CEURASIP Journal on Image and Video Processing[J]. 2011, 3: 1–11.
- [9] C Li, W Yuan, A C Bovik. No-reference blur index using blur comparisons[J]. Electronics Letters, 2011, 47(17): 962–963.
- [10] X D Zhang. Matrix analysis and Applications[M]. Beijing: Tsinghua University Press, 2004, : 344–350. (in Chinese)
张贤达. 矩阵分析与应用[M]. 北京: 清华大学出版社, 2004: 344–350.
- [11] Aleksandr Shnayderman, Alexander Gusev, Ahmet M. Eskicioglu. An SVD-based grayscale image quality measure for local and global assessment[J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2006, 15(2): 422–429.
- [12] Manish Narwaria, Weisi Lin. Objective image quality assessment with singular value decomposition[C]//Proc. Fifth International Workshop on Video Processing and Quality Metrics for Consumer Electronics (VPQM), 2010.
- [13] Manish Narwaria, Weisi Lin. Objective image quality assessment based on support vector regression[J]. IEEE Transactions on Neural Networks, 2010, 21(3): 515–519.
- [14] Manish Narwaria, Weisi Lin. Scalable image quality assessment based on structural vectors[C]//Multimedia Signal Processing, 2009. MMSP '09. IEEE International Workshop, 2009: 1–6.
- [15] Manish Narwaria, Weisi Lin. SVD-based quality metric for image and video using machine learning[J]. IEEE Transactions on Systems, 2012, 42(2): 347–364.
- [16] F Y Zhang, W Xie, et al. Compression image quality assessment based on human vision weight and signal value decomposition[J]. Journal of Electronics and Information Technology, 2010, 32(5): 1061–1065. (in Chinese)
张飞艳, 谢伟, 陈荣元, 等. 基于视觉加权的奇异值分解压缩图像质量评价测度[J]. 电子与信息学报, 2010, 32(5): 1061–1065.
- [17] Q Li, Q Meng, J Cai, et al. Predicting hourly cooling load in the building: A comparison of support vector machine and different artificial neural networks[J]. Ener Conv Manage, 2009, 50(1): 90–96.
- [18] Sheikh H R, Seshadrinathan K, et al. Image and video quality assessment research at LIVE 2004[EB/OL]. Available: <http://live.ece.utexas.edu/research/quality>.
- [19] Larson E C, Chandler D M. Categorical image quality (CSIQ) database 2009[EB/OL]. Available: <http://vision.okstate.edu/csiq>.
- [20] 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.