

3 NSNRS 无参考算法

3.1 算法框架

屏幕内容图像的文本区域和图像区域带给人的视觉感受是不同的,这一点已在文献中得到证实.本文进一步发现图像区域和文本区域的统计特性也是不同的,甚至对于同一区域,当图像区域或者文本区域遭受不同失真的时候,这一区域的统计特性也是不同的.基于上述结论以及自然场景统计的无参考算法的思想,本文提出了针对屏幕内容图像的 NSNRS 无参考算法.算法框架如图 4 所示.

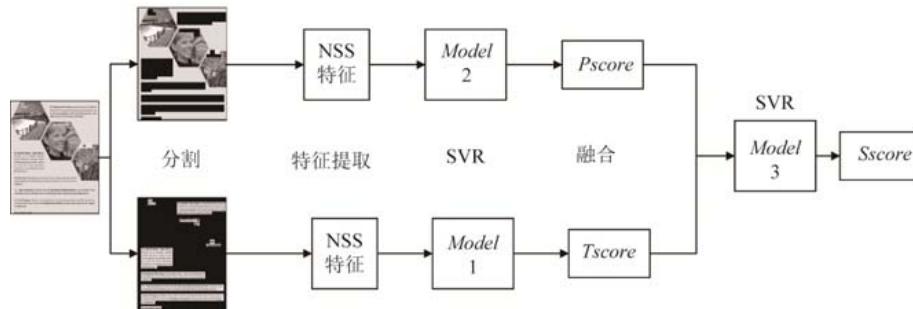


Fig.4 Framework of our proposed no reference metric

图 4 本文提出的无参考算法框架

本文提出的方法是基于学习的,因此包含训练和测试阶段.在训练阶段训练,Model 1,Model 2 和 Model 3 一共 3 个模型.Model 1 是文本区域质量分数模型,用来预测文本区域的质量分数.Model 2 是图像区域质量分数模型,用来预测图像区域质量分数.Model 3 是结合模型,用来结合文本区域和图像区域的质量分数而得到失真图像的质量分数.NSNRS 无参考算法首先将屏幕内容图像划分为图像区域和文本区域,然后在划分的两个区域上分别提取自然场景统计特征,区域的具体划分后面会加以介绍.在每一个区域上,用提取的自然场景统计特征以及对应的整幅失真图像的主观质量分数 DMOS,利用支持向量回归(support vector regression,简称 SVR)可以训练得到 Model 1 和 Model 2.反过来,分别在两个区域上提取的自然场景统计特征还要再次输入,利用它们训练的对应的模型来得到训练集中失真图像文本区域和图像区域的质量分数 T_score 和 P_score .将 T_score 和 P_score 组合成二维向量,将它们对应的整幅失真图像的主观质量分数 DMOS 作为标签,利用支持向量回归可以训练得到 Model 3.

在测试阶段,首先,屏幕内容图像同样被划分为图像区域和文本区域,然后,分别在两个区域上提取与训练阶段同样的统计特征.将提取的统计特征输入 Model 1 或 Model 2 就可以得到两个区域的质量分数.最后,将得到的两个区域的质量分数组合成二维向量输入到 Model 3,就可以得到失真图像的质量分数.

3.2 图像区域和文本区域的划分

本文基于文献[31]中的算法对屏幕内容图像进行区域的划分.为了将屏幕内容图像划分为图像区域和文本区域,首先计算屏幕内容图像的文本区域索引图 T .给定一幅屏幕内容图像,其文本区域索引图 T 是与屏幕内容图像的灰度图一样大小的矩阵,本文的工作都是在灰度级上进行的.在文本区域,索引图 T 中对应着屏幕内容图像中文本区域的值全为 1,其他地方的值全为 0.得到屏幕内容图像的文本区域索引图之后,可以非常容易地得到屏幕内容图像的图像区域索引图 P ,它仅仅是屏幕内容图像文本区域索引图的取反,也就是屏幕内容图像文本区域索引图 T 中 1 值变 0 值,0 值变 1 值就可以得到对应的屏幕内容图像的图像区域索引图 P .当得到屏幕内容图像的文本区域索引图和图像区域索引图之后,文本区域和图像区域可以通过相应的区域索引图和屏幕内容图像的点积得到.一幅屏幕内容图像和对应的文本区域索引图、图像区域索引图以及文本区域和图像区域如图 5 所示.其中,图 5(a)所示为参考图像,图 5(b)所示为文本区域索引图,图 5(c)所示为图像区域索引图,图 5(d)所

示为文本区域,图 5(e)所示为图像区域.在索引图中,黑色区域代表索引图中的 0 值,白色区域代表索引图中的 1 值.在区域图中,无论是文本区域还是图像区域,黑色区域均代表该区域的灰度值为 0.因此可知,区域图中,文本区域或图像区域,只是保留了屏幕内容图像中相应区域的灰度值而让其他区域的灰度值为 0.区域图中大量的零灰度值会对在区域图提取的特征对视觉感知的表示造成影响,在区域图上提取特征时需要排除这些零值的影响,具体细节会在后面详细加以介绍.

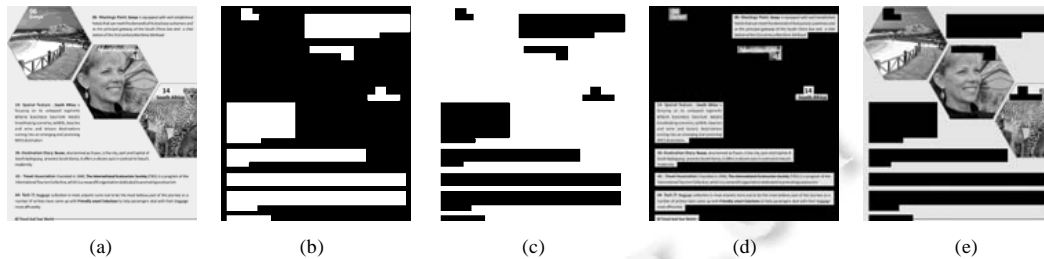


Fig.5

图 5

3.3 图像区域和文本区域的统计差异性

屏幕内容图像不同于自然图像,它一般同时包含图像和文本,然而人们对这两个区域的视觉感知是不一样的.为了探究屏幕内容图像文本区域和图像区域的统计差异性,本文选择了 IML-SCIQD 数据库中的一幅参考图像以及与其对应的 10 幅分别经过 10 种失真类型最高失真级别处理的失真图像.该参考图像如图 6 所示.这 11 幅图像首先被划分为图像区域和文本区域.由这些划分得到的总共 22 幅区域图都进行 Daubechies 9/7 小波基的小波变换.在上一小节提到区域图像中包含大量的零值,为了更好地研究区域图像的统计特性,就需要排除这些零值的影响.由于这些零值区域在变换后也会产生大量的零值和一些奇异值,因此,在变换之后,首先丢弃这些变换之后的零值和奇异值,然后再进行下一步的研究.在丢弃变换之后的零值和奇异值之后,本文分区地画出了图像区域和文本区域变换之后系数的直方图.结果如图 7 所示.

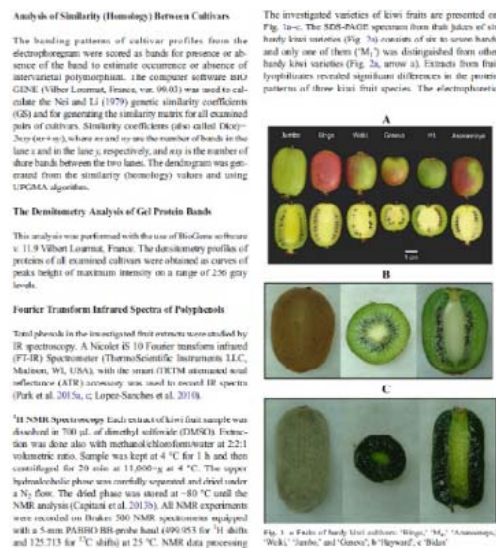


Fig.6 Reference image selected for research of statistical properties

图 6 选作统计特性研究的参考图像

从图 7 可以看出,屏幕内容图像的图像区域和文本区域的统计特性有明显的不同.文本区域的直方图相比

较图像区域的直方图要平滑一些.对于图像区域,特别是除3种噪声失真以外的7种失真,其直方图异常地尖锐,表明其大部分数据都集中于零值附近,近似服从拉普拉斯分布.对于文本区域,除了两种模糊失真的直方图较尖锐之外,其他失真的直方图都较平滑,近似服从正态分布.根据统计特性的差异,可以分开考虑屏幕内容图像的文本区域和图像区域.至于单个区域,其文本区域或图像区域当遭受不同失真的影响时,统计特性也是不同的.因此,可以在单个区域上运用基于自然场景统计方法的思想来预测单个区域的质量.

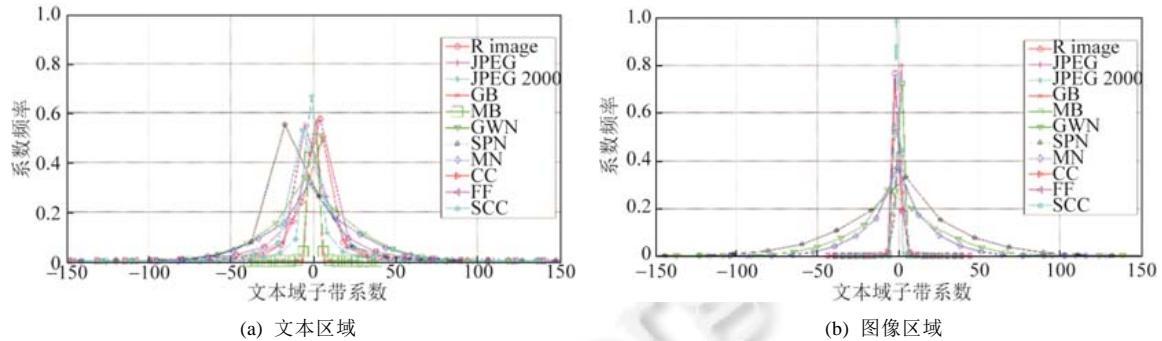


Fig.7 Histogram of transform coefficients of textual region and pictorial region of screen content image and corresponding 10 distorted ones

图7 屏幕内容图像以及与其对应的10种失真图像的文本区域和图像区域变换系数的直方图

3.4 算法中提取的自然场景统计特征

目前已有大量基于自然场景统计思想的算法被提了出来,因而在这些算法中包含了各种各样的自然场景统计特征.自然场景统计特征的设计非常耗时,而且需要足够强大的背景知识.本文没有自己设计自然场景统计特征,而是选取他人的适合于本文的自然场景统计特征.正如上面提到的划分得到的区域图像中存在大量的零灰度值,这会严重影响提取的特征对区域图像视觉感知质量的表示,因此,选取的自然场景统计特征应该可以较好地避开这些零值的影响.就如本文在探究屏幕内容图像文本区域和图像区域统计特性时所做的那样.

不论是文本区域图像还是图像区域图像,本文都提取同样的90个自然场景统计特征.这90个自然场景统计特征来自于4种经典的基于自然场景统计的无参考评价方法:SSEQ、BLIINDS-II^[32]、BIQI^[33]和BRISQUE^[34].SSEQ方法提取12个自然场景统计特征,BLIINDS-II方法提取24个自然场景统计特征,BIQI方法提取18个自然场景统计特征,BRISQUE方法提取36个自然场景统计特征.这些特征可以排除大量零灰度值的影响.

SSEQ算法先将图像分为许多小块,之后分别在每个小块上计算特征,然后将所有小块上计算得到的相同的特征聚成一个向量,最后对得到的特征向量进行池化,将池化后得到的特征作为图像最后的特征.为了摆脱零灰度值的影响,在提取SSEQ方法的特征时,在图像小块上计算完特征之后,先丢弃那些图像小块上计算得到的零值或奇异值特征,这是因为,由包含大量零值的图像小块计算得到的特征肯定也是零值或是一些奇异值.在丢弃这些图像小块上计算得到的零值或奇异值特征之后,再进行最后的池化操作,这样就可以摆脱零值的影响.BLIINDS-II方法也是先将图像分为许多小块,然后分别在这些小块上计算特征,最后将在所有小块上计算得到的相同的特征聚成一个向量进行池化,以得到最后的特征.这里摆脱上面提到的零灰度值的影响的方法与SSEQ方法一样.

BIQI方法先将图像在3个尺度和3个方向上进行小波变换,然后将变换得到的系数利用广义高斯分布进行拟合,最后将广义高斯分布拟合得到的参数作为特征.为了摆脱上面提到的零灰度值的影响,在提取BIQI方法的特征时,对于图像小波变换之后的系数先丢弃那些零值和奇异值系数,再去进行拟合,这是因为,区域图像矩阵中大量的零灰度值经过小波变换后会产生大量零值和奇异值,这样就可以摆脱零灰度值的影响.BRISQUE方法和BIQI方法类似,只不过它没有将图像先进行类似于小波变换这样的频域处理,而只是在空间域中进行了相应的处理,然后将处理得到的系数进行拟合,最后将拟合的系数作为特征.为了摆脱上面提到的零灰度值的影

响,在提取 BRISQUE 方法的特征时的处理方法与 BIQI 方法类似,这里不再赘述.

4 实验结果

4.1 测试数据库及评估标准

为了探究提出的无参考算法的性能,本文将提出的 NSNRS 无参考算法与 12 种客观评价算法在 IML-SCIQD 数据库以及 SIQAD 数据库上进行了性能对比,这 12 种客观评价算法分别是:(1) GSS;(2) SQMS;(3) RSS;(4) PSNR;(5) FSIM;(6) SSIM;(7) VIF;(8) SSEQ;(9) BIQI;(10) DIIVINE;(11) BLINDS-II;(12) BRISQUE.前两种算法是专门针对屏幕内容图像的全参考评价方法,第 3 种算法是专门针对屏幕内容图像所提出来的部分参考评价算法,第 4 种~第 7 种是经典的针对自然图像提出来的全参考算法,最后 5 种是经典的基于自然场景统计的无参考评价算法.IML-SCIQD 数据库包含参考图像 25 幅,10 种失真类型,每种失真类型又有 5 个失真等级,因此一共有 $25 \times 10 \times 5 = 1250$ 幅失真图像.SIQAD 数据库包含参考图像 20 幅,7 种失真类型,每种失真类型又有 7 个失真等级,因此一共有 $20 \times 7 \times 7 = 980$ 幅失真图像.这 7 种失真类型是:(1) 高斯噪声(GN);(2) 高斯模糊(GB);(3) 运动模糊(MB);(4) 对比度变化(CC);(5) JPEG 压缩(JPEG);(6) JPEG 2000 压缩(JPEG 2000);(7) 基于层划分的压缩(LSC).前 6 种失真经常出现在与自然图像相关的应用中,最后一种失真是为提高屏幕内容压缩效率的压缩算法.

人是图像视觉信息的最终接收者,客观评价方法性能的评估需要通过对比客观评价算法预测得到的质量分数和主观分数的相关性而得到.本文用到的评估标准有斯皮尔曼等级相关系数(the Spearman rank-order correlation coefficient,简称 SROCC)、皮尔森线性相关系数(Pearson product-moment correlation coefficient,简称 PLCC)和根均方误差(root mean square error,简称 RSME).斯皮尔曼等级相关系数衡量算法预测的单调性,其值位于 0~1 之间,值越大表示算法的性能越好.皮尔森线性相关系数衡量算法预测值与主观分数之间的线性相关程度,其值位于 0~1 之间,值越大表明算法的性能越好.根均方误差衡量算法预测值和主观分数之间的绝对差异,值越小表明算法的性能越好.

4.2 结果分析

所有参与比较的 12 种客观算法的源代码均来自于相关作者和项目的网站.因为本文所提出的算法和最后 5 种方法都是基于学习的算法,因此在数据库上进行测试时,数据库中 80%的失真图像用于训练,20%的失真图像用于测试.在 IML-SCIQD 数据库上进行测试时,20 幅参考图像对应的失真图像用于训练,剩下的 5 幅参考图像对应的失真图像用于测试.在 SIQAD 数据库上进行测试时,16 幅参考图像对应的失真图像用于训练,剩下的 4 幅参考图像对应的失真图像用于测试.由于图像内容的不同可能对算法的性能产生影响,因此,这种根据图像内容而进行的训练和测试集划分随机进行 1 000 次,最后所有 1 000 次的平均性能作为算法最后的性能.因为本文提出的算法是基于学习的,我们使用 LIBSVM 软件包实现 SVR^[35].在 Model 1 和 Model 2 的训练中,使用径向基核函数.在 Model 3 的训练中使用线性核函数.

为了消除主观评价过程中的非线性以及便于不同的图像质量评价算法之间的性能对比,MATLAB 中的非线性最小二乘回归函数 nlinfit 被用来先将客观算法的预测分数映射到 $DMOS_p$,然后再与主观分数进行相关系数的计算.映射函数是具有 5 个参数的逻辑斯蒂函数:

$$DMOS_p = \frac{p_1}{2} - \frac{p_1}{1 + \exp(p_2 \cdot (q - p_3))} + p_4 \cdot q + p_5 \quad (6)$$

p_1, p_2, p_3, p_4 和 p_5 是逻辑斯蒂函数的参数.

在 IML-SCIQD 数据库和 SIQAD 数据库上的测试结果分别见表 1 和表 2.从表 1 可以看出,本文提出的算法相比 5 种经典的基于自然场景统计的无参考算法,在整个数据库上针对 SROCC、PLCC 和 RSME 这 3 个评估标准都有一定程度的提升.对于针对某种特定失真的情况,在 CC、FF、SCC 这 3 种失真上,本文提出的算法在性能上有明显的提升.对于其他失真,本文提出的算法也有可比的性能.然而,对于全参考方法,本文提出的算法在性能上还有一定的差距,特别是在针对特定失真的情况下.因为本文提出的方法是无参考方法,无法像全参考

方法那样获取参考图像.但是考虑到整个数据库,本文提出的算法依然可以达到与全参考方法相当的性能,至于在 SIQAD 数据库上的表现,从表 2 可以看出,与在 IML-SCIQD 数据库上的结果类似,本文提出的算法在总体上均要优于其他的无参考方法.至于全参考方法的情况,本文提出的算法性能总体上还是与在 IML-SCIQD 数据库上的情况一样,而且在某些情况下,本文提出的算法的性能甚至超越了全参考方法.比如对于整个数据库而言,本文提出的算法的性能超过了 PSNR 和 FSIM 算法.

Table 1 Test result on the IML-SCIQD database

表 1 IML-SCIQD 数据库上的测试结果

	Distortion	GSS ¹	SQMS ¹	RRS ²	PSNR ³	FSIM ³	SSIM ³	VIF ³	SSEQ ⁴	BIQI ⁴	DIIVINE ⁴	BLIINDS-II ⁴	BRISQUE ⁴	NSNRS
SROCC	JPEG	0.821	0.888	0.788	0.851	0.863	0.899 1	0.906 3	0.2533	0.243 8	0.110 5	0.331 7	0.155	0.461 8
	JP2K	0.867 7	0.946 3	0.887 2	0.917 4	0.943 5	0.922 2	0.945 7	0.3758	0.137 2	0.225 1	0.589 8	0.385 2	0.636 9
	GB	0.932 5	0.918 8	0.952 7	0.892	0.887	0.938 4	0.925 3	0.1377	0.744 4	0.607 4	0.202	0.697	0.624 2
	MB	0.886 5	0.864 8	0.944 9	0.778 3	0.785 9	0.919 8	0.847 5	0.1348	0.621 6	0.574 3	0.163 6	0.623 2	0.576 5
	GWN	0.847 2	0.916 9	0.922 8	0.882 8	0.849 6	0.904	0.918 6	0.8197	0.907 7	0.810 8	0.694 2	0.886 3	0.884 8
	SPN	0.278 6	0.862 3	0.862 3	0.778 5	0.737 3	0.842 4	0.847 9	0.7693	0.826 7	0.755 9	0.659 7	0.816	0.868
	MN	0.796	0.862	0.889 4	0.804 3	0.827 9	0.824	0.872 5	0.7184	0.856 6	0.729	0.629 4	0.796 9	0.835 5
	CC	0.219 3	0.493 7	0.438	0.606 7	0.554 2	0.257 9	0.485 3	0.2006	0.514 5	0.361 5	0.166 7	0.189 5	0.398 7
	FF	0.680 7	0.860 5	0.763 9	0.839 8	0.877 1	0.857 8	0.869 4	0.517	0.322 5	0.329	0.363 8	0.405 4	0.543 4
	SCC	0.726 5	0.817 7	0.736 7	0.797 1	0.794 2	0.792 7	0.809 1	0.13	0.155 3	0.182	0.178	0.225 8	0.266 4
	ALL	0.833 1	0.890 6	0.842 3	0.762 1	0.807 9	0.881 4	0.862 9	0.5597	0.665 6	0.630 3	0.555	0.651 6	0.731 6
PLCC	JPEG	0.837	0.902 3	0.825 6	0.719 9	0.872	0.891 5	0.941 3	0.3426	0.266 5	0.224 2	0.444 7	0.225 8	0.439 2
	JP2K	0.884 7	0.961 4	0.894 9	0.841 1	0.953 1	0.930 2	0.956 8	0.4063	0.256	0.288 6	0.594 1	0.405 1	0.645 8
	GB	0.952 5	0.932 4	0.969 9	0.777 7	0.885 7	0.957 7	0.945 2	0.2313	0.780 6	0.622 4	0.337	0.744 2	0.661 4
	MB	0.898 1	0.890 2	0.950 6	0.783 9	0.803 5	0.921	0.876 5	0.2046	0.616 6	0.565 8	0.282 9	0.655 7	0.586 5
	GWN	0.872 7	0.959	0.954 5	0.949 4	0.934 1	0.944 7	0.960 1	0.8709	0.942 2	0.902 2	0.72	0.942 2	0.903 9
	SPN	0.678 3	0.901 1	0.891 4	0.870 7	0.808 9	0.882 6	0.893 3	0.8123	0.897 6	0.832 4	0.724 4	0.895 2	0.899 2
	MN	0.88	0.940 3	0.945	0.917 7	0.923 9	0.919 4	0.948 9	0.7863	0.901 7	0.848 1	0.677 8	0.850 9	0.821 7
	CC	0.292 1	0.597 9	0.430 4	0.739 4	0.685	0.379 7	0.505 2	0.2438	0.694 7	0.500 9	0.226	0.251 7	0.615 6
	FF	0.86	0.942 6	0.914 9	0.915 8	0.951 8	0.940 1	0.940 3	0.6439	0.422 6	0.398 2	0.491 5	0.429 4	0.648 2
	SCC	0.816 8	0.897 2	0.814 9	0.873 4	0.905 7	0.868 1	0.931 4	0.2081	0.225 9	0.242 5	0.317 1	0.273 3	0.387 4
	ALL	0.863 8	0.897 5	0.856 3	0.777 6	0.815 6	0.886 1	0.871 9	0.5921	0.455 1	0.567 1	0.556 3	0.602 4	0.710 3
RMSE	JPEG	4.164 9	3.281 1	4.295 4	5.282 7	3.725 8	3.448 7	2.570 4	6.8723	7.080 6	7.211 4	6.558 5	7.272 4	6.552 3
	JP2K	5.754 8	3.396 6	5.507 5	6.676 9	3.737 1	4.530 5	3.587 4	10.768	11.68 7	11.384	9.193 1	10.751	8.743 5
	GB	3.254	3.861	2.603 4	6.715 4	4.959 6	3.074 4	3.487 7	10.218	6.053 8	7.285 6	9.735 2	6.604 4	7.462 9
	MB	3.655 6	3.786 3	2.581 2	5.161	4.947 9	3.238	4.000 7	7.9817	6.082 4	6.066 6	7.754 1	5.767 3	6.368 6
	GWN	5.242 9	3.042 6	3.203 8	3.373 5	3.834 5	3.520 9	3.001 7	4.8147	3.323 1	4.381 9	6.814 8	3.173 3	3.589 1
	SPN	5.877 6	3.469 1	3.625 2	3.939 6	4.703 7	3.760 2	3.596	4.2604	3.360 9	4.164 6	5.145 5	3.393	3.337 3
	MN	4.725 7	3.385 6	3.254 6	3.954 1	3.807 4	3.914 4	3.140 1	5.7079	3.480 8	5.047 5	6.833 8	4.502 8	4.267 6
	CC	6.281 2	5.264 4	5.928 4	4.421 5	4.785	6.075 8	5.667 8	6.1562	4.192 4	4.976 2	6.247 3	6.143 9	4.703 6
	FF	5.875 1	3.845 2	4.647 1	4.625 1	3.532 8	3.923 5	3.917 3	8.1352	9.814 9	9.957 1	9.301 6	9.665 9	7.926 6
	SCC	4.493 8	3.440 2	4.514 7	3.793 6	3.301 6	3.865 8	2.835	7.4015	7.414	7.255 6	7.050 3	7.208 1	6.870 8
	ALL	6.170 8	5.401 7	6.325 7	7.699 9	7.086 3	5.675 8	5.996 7	9.2651	9.589	9.186 3	9.489	8.963	8.045 7

说明:注 1 为针对屏幕内容图像的全参考评价算法;注 2 为针对屏幕内容图像所提出来的部分参考评价算法;注 3 为经典的针对自然图像提出来的全参考算法;注 4 为经典的基于自然场景统计的无参考评价算法

Table 2 Test result on the SIQAD database

表 2 SIQAD 数据库上的测试结果

	Distortion	GSS ¹	SQMS ¹	RRS ²	PSNR ³	FSIM ³	SSIM ³	VIF ³	SSEQ ⁴	BIQI ⁴	DIIVINE ⁴	BLIINDS-II ⁴	BRISQUE ⁴	NSNRS
SROCC	GN	0.852	0.886	0.866 4	0.879	0.737 3	0.869 4	0.888 8	0.816 1	0.870 9	0.878 7	0.780 2	0.887 5	0.855 4
	GB	0.904 9	0.914 9	0.871 5	0.857 3	0.728 6	0.892 1	0.905 9	0.809 6	0.812 9	0.862 6	0.703 8	0.871 5	0.892 5
	MB	0.839	0.869 5	0.843 4	0.713	0.664 1	0.804 1	0.849 2	0.774 1	0.661 9	0.840 7	0.501 8	0.865 3	0.825 3
	CC	0.449 7	0.694 9	0.529 1	0.682 8	0.717 5	0.640 5	0.643 3	0.215 4	0.414 4	0.386 8	0.333 8	0.313 5	0.461 8
	JPEG	0.795 9	0.789 3	0.760 5	0.756 9	0.587 9	0.757 6	0.792 4	0.321	0.327 3	0.292 2	0.219 8	0.220 8	0.466 4
	JP2K	0.813 7	0.819 4	0.661 7	0.774 6	0.636 3	0.760 3	0.813 1	0.269 2	0.443 4	0.491 5	0.498 4	0.301 8	0.584 4
	LSC	0.814 2	0.829 3	0.711 6	0.793	0.597 9	0.737 1	0.846 3	0.193 8	0.230 2	0.217 4	0.185 9	0.184 4	0.412 6
	ALL	0.835 6	0.880 3	0.765 5	0.560 4	0.527 9	0.756 6	0.806 5	0.569 6	0.639 5	0.655 8	0.526	0.662 2	0.737 4
PLCC	GN	0.879 9	0.900 4	0.879 8	0.905 3	0.742 8	0.880 6	0.901 1	0.827 2	0.884 6	0.904 4	0.727 2	0.904 5	0.871 7
	GB	0.908 5	0.912 6	0.881	0.860 3	0.720 6	0.901 4	0.910 2	0.826 9	0.84	0.869 6	0.695 8	0.890 9	0.910 4
	MB	0.839 9	0.867 3	0.846 5	0.704 4	0.687 4	0.806	0.849	0.786 5	0.682 9	0.841 2	0.515 5	0.857 1	0.839 6
	CC	0.61	0.802 7	0.681 2	0.740 1	0.750 7	0.743 5	0.707 6	0.307 7	0.533 2	0.522 2	0.445 2	0.541 7	0.554 4

Table 2 Test result on the SIQAD database (Continued)
表 2 SIQAD 数据库上的测试结果(续)

	Distortion	GSS ¹	SQMS ¹	RRS ²	PSNR ³	FSIM ³	SSIM ³	VIF ³	SSEQ ⁴	BIQI ⁴	DIIVINE ⁴	BLIINDS-II ⁴	BRISQUE ⁴	NSNRS
PLCC	JPEG	0.793 5	0.785 7	0.763 8	0.754 5	0.556 6	0.748 7	0.798 6	0.414 9	0.323 3	0.337 8	0.319 8	0.288 7	0.492
	JP2K	0.820 8	0.826 3	0.680 7	0.789 3	0.667 5	0.774 9	0.820 5	0.363 7	0.49	0.515 2	0.512 1	0.350 9	0.595
	LSC	0.806 8	0.812 5	0.711	0.780 5	0.596 4	0.730 7	0.838 5	0.337 8	0.279	0.287 6	0.258 6	0.286 5	0.442 4
	ALL	0.851 5	0.887 2	0.801 4	0.586 9	0.538 9	0.756 1	0.819 8	0.595	0.492 1	0.520 5	0.534 6	0.359 1	0.784 8
RMSE	GN	7.085 8	6.490 6	7.089 5	6.337 2	9.986	7.067 9	6.467 3	7.507	6.350 9	6.150 4	9.006 5	6.013 7	6.957 7
	GB	6.341	6.204 1	7.179 2	7.737 6	10.523	6.570 1	6.285 9	7.958 9	7.617 2	6.935 2	9.934 5	6.479 2	5.931 6
	MB	7.054 7	6.472 2	6.921 2	9.228 7	9.443 2	7.696 7	6.870 4	7.541 6	8.815 2	6.515 8	10.353	6.198 2	6.676 3
	CC	9.966 6	7.501 3	9.208 4	8.459 1	8.319	8.411 6	8.887 6	11.486	9.817 4	9.586 9	10.65	9.966	9.694 2
	JPEG	5.717 7	5.812 4	6.065 4	6.166 5	7.807 2	6.229 5	5.655 1	8.134 3	8.388 3	8.412 7	8.443 9	8.603 7	7.572 3
	JP2K	5.935 5	5.854	7.614 1	6.381 9	7.740 4	6.569 1	5.941 2	8.988 2	8.202 3	8.154 1	7.983 5	9.094	7.422 6
	LSC	5.039 7	4.973 3	5.999 2	5.333 6	6.848 6	5.825 3	4.649 7	7.716	7.852 8	7.854 2	7.980 3	7.871 2	7.266 2
	ALL	7.504 5	6.603 9	8.562	11.589	12.058	9.367 6	8.196 9	10.888	11.287	10.871	11.538	11.717	8.694 1

说明:注 1 为针对屏幕内容图像的全参考评价算法;注 2 为针对屏幕内容图像所提出来的部分参考评价算法;注 3 为经典的针对自然图像提出来的全参考算法;注 4 为经典的基于自然场景统计的无参考评价算法

5 总结与展望

目前屏幕内容图像质量评价的研究还处于起步阶段,SIQAD 数据库是目前仅有的一个大规模的屏幕内容图像质量评价数据库,单一数据库难以覆盖实际应用中出现的各种可能的情况.图像质量评价数据库是客观图像质量评价算法研究的基础,本文因此首先构建了一个大规模的具有一定代表性的屏幕内容图像质量评价数据库 IML-SCIQD.在参考图像的视觉内容、视觉内容分布以及失真类型种类等属性上,IML-SCIQD 数据库都具有一定的代表性.IML-SCIQD 数据库中所有失真图像的质量分数覆盖了分数区间的大部分区域,这说明,IML-SCIQD 数据库中的失真图像都考虑到了各种可能的失真等级的情况.通过对失真图像主观质量分数和失真参数之间关系的分析,本文了解到图像的视觉质量与图像的视觉内容之间具有一定的关系.在进行屏幕内容图像相关课题,如针对屏幕内容图像的压缩算法的研究时需要将其考虑进来.

基于在构建 IML-SCIQD 数据库过程中的主观经验,本文进一步证实了屏幕内容图像的文本区域和图像区域带给人们的视觉感知特性的不同,并且发现屏幕内容图像的文本区域和图像区域的统计特性也是不同的.单个区域的统计特性在不同失真情况下所受到的影响也随之变化.与 12 种客观评价算法的性能对比表明,本文提出的算法与 5 种无参考评价算法相比在性能上有一定提升.相比 7 种全参考算法,本文提出的算法的性能虽然还有一定差距,但仍然具有相当的性能,并且在个别情况之下的性能甚至超越了全参考方法.

本文利用基于自然场景统计的无参考方法的思想来评估单个区域的视觉质量,以后的工作中可以考虑其他的方法.将屏幕内容图像分区域分析是考虑到了各自区域不同的视觉感知特性.未来的工作中可以从屏幕内容图像整体的视觉感知特性出发.深度学习方法目前已被广泛应用于计算机视觉、语音识别、自然语言处理、音频识别与生物信息学等领域,并获取了令人满意的效果.未来的工作中运用深度学习的方法来进行屏幕内容图像质量评价的研究也是一个不错的方向.

References:

- [1] Lu Y, Li SP, Shen HF. Virtualized screen: A third element for cloud-mobile convergence. *IEEE Multimedia*, 2011,18(2):4-11. [doi: 10.1109/MMUL.2011.33]
- [2] Shen HF, Lu Y, Wu F, Li SP. A high-performance remote computing platform. In: *Proc. of the IEEE Int'l Conf. on Pervasive Computing and Communications*. 2009. 1-6. [doi: 10.1109/PERCOM.2009.4912855]
- [3] Yang H, Fang YM, Yuan Y, Lin WS. Subjective quality evaluation of compressed digital compound images. *Journal of Visual Communication and Image Representation*, 2015,26:105-114. [doi: 10.1016/j.jvcir.2014.11.001]
- [4] Zhu WJ, Ding WP, Xu JZ, Shi YH, Yin BC. Screen content coding based on HEVC framework. *IEEE Trans. on Multimedia*, 2014,16(5):1316-1326. [doi: 10.1109/TMM.2014.2315782]

- [5] Jiang GY, Huang DJ, Wang X, Yu M. Overview on image quality assessment methods. *Journal of Electronics & Information Technology*, 2010,32(1):219–226 (in Chinese with English abstract). <http://jeit.ie.ac.cn/CN/abstract/abstract13977.shtml> [doi: 10.3724/SP.J.1146.2009.00091]
- [6] Wang ZM. Review of no-reference image quality assessment. *Acta Automatica Sinica*, 2015,6:1062–1079 (in Chinese with English abstract). <http://www.aas.net.cn/CN/abstract/abstract18682.shtml> [doi: 10.16383/j.aas.2015.c140404]
- [7] Vipin K, Bhurchandi KM. No-Reference image quality assessment algorithms: A survey. *Optik-Int'l Journal for Light and Electron Optics*, 2015,126(11):1090–1097. [doi: 10.1016/j.ijleo.2015.02.093]
- [8] Manap RA, Shao L. Non-Distortion-Specific no-reference image quality assessment: A survey. *Information Sciences*, 2015,301:141–160. [doi: 10.1016/j.ins.2014.12.055]
- [9] Chandler DM, Hemami SS. VSNR: A wavelet-based visual signal-to-noise ratio for natural images. *IEEE Trans. on Image Processing*, 2007,16(9):2284–2298. [doi: 10.1109/TIP.2007.901820]
- [10] Wang Z, Bovik AC, Sheikh HR, Simoncelli EP. Image quality assessment: From error visibility to structural similarity. *IEEE Trans. on Image Processing*, 2004,13(4):600–612. [doi: 10.1109/TIP.2003.819861]
- [11] Zhang L, Zhang L, Mou XQ, Zhang D. FSIM: A feature similarity index for image quality assessment. *IEEE Trans. on Image Processing*, 2011,20(8):2378–2386. [doi: 10.1109/TIP.2011.2109730]
- [12] Sheikh HR, Bovik AC. Image information and visual quality. *IEEE Trans. on Image Processing*, 2006,15(2):430–444. [doi: 10.1109/TIP.2005.859378]
- [13] Moorthy AK, Bovik AC. Statistics of natural image distortions. In: *Proc. of the IEEE Int'l Conf. on Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP)*. 2010. 962–965. [doi: 10.1109/ICASSP.2010.5495298]
- [14] Xu L, Lin WS, Jay Kuo C-C. *Visual Quality Assessment by Machine Learning*. Singapore: Springer-Verlag, 2015. 1–142. [doi: 10.1007/978-981-287-468-9]
- [15] Moorthy AK, Bovik AC. Blind image quality assessment: From natural scene statistics to perceptual quality. *IEEE Trans. on Image Processing*, 2011,20(12):3350–3364. [doi: 10.1109/TIP.2011.2147325]
- [16] Liu LX, Liu B, Huang H, Bovik AC. No-Reference image quality assessment based on spatial and spectral entropies. *Signal Processing: Image Communication*, 2014,29(8):856–863. [doi: 10.1016/j.image.2014.06.006]
- [17] Li CF, Bovik AC, Wu XJ. Blind image quality assessment using a general regression neural network. *IEEE Trans. on Neural Networks*, 2011,22(5):793–799. [doi: 10.1109/TNN.2011.2120620]
- [18] Ye P, Doermann D. No-Reference image quality assessment using visual codebooks. *IEEE Trans. on Image Processing*, 2012,21(7):3129–3138. [doi: 10.1109/TIP.2012.2190086]
- [19] Xue WF, Zhang L, Mou XQ. Learning without human scores for blind image quality assessment. In: *Proc. of the IEEE Conf. on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)*. 2013. 995–1002. [doi: 10.1109/CVPR.2013.133]
- [20] Yang H, Fang YM, Lin WS. Perceptual quality assessment of screen content images. *IEEE Trans. on Image Processing*, 2015, 21(11):4408–4421. [doi: 10.1109/TIP.2015.2465145]
- [21] Ni ZK, Ma L, Zeng HQ, Cai CH, Ma K-K. Gradient direction for screen content image quality assessment. *IEEE Signal Processing Letters*, 2016,23(10):1394–1398. [doi: 10.1109/LSP.2016.2599294]
- [22] Gu K, Wang SQ, Yang H, Lin WS, Zhai GT, Yang XK, Zhang WJ. Saliency-Guided quality assessment of screen content images. *IEEE Trans. on Multimedia*, 2016,18(6):1098–1110. [doi: 10.1109/TMM.2016.2547343]
- [23] Wang SQ, Gu K, Zhang XF, Lin WS, Ma SW, Gao W. Reduced-Reference quality assessment of screen content images. *IEEE Trans. on Circuits and Systems for Video Technology*, 2016,PP(99):1–1. [doi: 10.1109/TCSVT.2016.2602764]
- [24] Sheikh HR, Wang Z, Cormack L, Bovik AC. LIVE image quality assessment database release 2. 2005. <http://live.ece.utexas.edu/research/quality>
- [25] Larson EC, Chandler DM. Categorical image quality (CSIQ) database. 2009. <http://vision.okstate.edu/csiq>
- [26] Ponomarenko N, Egiazarian K. Tampere image database 2008 TID2008. 2008. <http://www.ponomarenko.info/tid2008.html>
- [27] Ponomarenko N, Jeremeiev O, Tampere V. Image database (TID2013). 2013. <http://www.ponomarenko.info/tid2013.html>

- [28] ITU, International Telecommunication Union. BT.500: Methodology for the subjective assessment of the quality of television pictures. 2002. <https://www.itu.int/rec/R-REC-BT.500>
- [29] NTIA/ITS. Web-Enabled subjective test (WEST) software. 2014. <http://www.its.bldrdoc.gov/resources/video-quality-research/web-enabled-subjective-test-west.aspx>
- [30] Seshadrinathan K, Soundararajan R, Bovik AC, Cormack LK. Study of subjective and objective quality assessment of video. IEEE Trans. on Image Processing, 2010,19(6):1427–1441. [doi: 10.1109/TIP.2010.2042111]
- [31] Yang H, Lin WS, Deng CW. Image activity measure (IAM) for screen image segmentation. In: Proc. of the IEEE Int'l Conf. on Image Processing. 2012. 1569–1572. <https://sites.google.com/site/yanghuan689/>
- [32] Moorthy AC, Bovik AC. Blind image quality assessment: From scene statistics to perceptual quality. IEEE Trans. on Image Processing, 2011,20(12):3350–3364. [doi: 10.1109/TIP.2011.2147325]
- [33] Moorthy AK, Bovik AC. A two-step framework for constructing blind image quality indices. IEEE Signal Processing Letters, 2010,17(5):513–516. [doi: 10.1109/LSP.2010.2043888]
- [34] Mittal A, Moorthy AK, Bovik AC. No-Reference image quality assessment in the spatial domain. IEEE Trans. on Image Processing, 2012,21(12):4695–4708. [doi: 10.1109/TIP.2012.2214050]
- [35] Chang CC, Lin CJ. LIBSVM: A library for support vector machines. 2001. <http://www.csie.ntu.edu.tw/~cjlin/index.html>

附中文参考文献:

- [5] 蒋刚毅,黄大江,王旭,郁梅.图像质量评价方法研究进展.电子与信息学报,2010,32(1):219–226. <http://jeit.ie.ac.cn/CN/abstract/abstract13977.shtml> [doi: 10.3724/SP.J.1146.2009.00091]
- [6] 王志明.无参考图像质量评价综述.自动化学报,2015,6:1062–1079. <http://www.aas.net.cn/CN/abstract/abstract18682.shtml> [doi: 10.16383/j.aas.2015.c140404]



朱映映(1976—),女,山东莒南人,博士,研究员,主要研究领域为多媒体信息处理,多媒体信息安全.



王旭(1986—),男,博士,研究员,CCF 专业会员,主要研究领域为视频编码压缩,图像,视频质量评价.



曹磊(1989—),男,硕士,主要研究领域为图像质量评价.