



多特征融合的合成视点立体图像质量评价

崔帅南¹, 彭宗举¹, 邹文辉^{1,2}, 陈芬¹, 陈华¹

(1. 宁波大学信息科学与工程学院, 浙江 宁波 315211;

2. 西华师范大学电子信息工程学院, 四川 南充 637009)

摘要: 提出一种多特征融合的方法, 该方法融合了合成视点立体图像中失真区域、失真边缘和奇异值的特征。首先, 利用视差和阈值得到符合人眼感知的失真区域, 计算该区域的平均结构相似度; 然后, 提取合成视点边缘图像中符合人眼感知的失真边缘, 计算在该区域的平均结构相似度; 接着, 计算原始图像与失真图像奇异值差异; 最后, 将上述特征值进行融合得到最终的客观质量分数。在合成视点立体图像库上进行测试, 实验结果表明, Pearson 线性相关系数和 Spearman 相关系数均高于 0.86。与现有评价方法相比, 能更准确地反映合成视点立体图像质量。

关键词: 虚拟视点; 立体图像; 质量评价; 特征融合; 人眼视觉特性

中图分类号: TN391.41

文献标识码: A

doi: 10.11959/j.issn.1000-0801.2019070

Quality assessment of synthetic viewpoint stereo image with multi-feature fusion

CUI Shuainan¹, PENG Zongju¹, ZOU Wenhui^{1,2}, CHEN Fen¹, CHEN Hua¹

1. Faculty of Information Science and Engineering, Ningbo University, Ningbo 315211, China

2. School of Electronics and Information Engineering, China West Normal University, Nanchong 637009, China

Abstract: A multi-feature fusion method was proposed, the features of the distortion areas, the distortion edges and the singular value were fused. Firstly, the distortion areas corresponding to the human eyes were obtained by using the parallax and the threshold, and then the average structural similarity in these areas was calculated. Secondly, the distorted edges in the synthetic viewpoint edge image were extracted, and then the average structural similarity was calculated. Thirdly, the difference between the original image and the distorted image singular value was calculated. Finally, the three features were fused to obtain the final objective quality score. The experiment was carried out on the synthetic viewpoint stereo image library. The experimental results show that the Pearson linear correlation coefficient and the Spearman correlation coefficient are both higher than 0.86. Compared with the existing assessment methods, it can better reflect the quality of synthetic viewpoint stereo images.

Key words: virtual viewpoint, stereo image, quality assessment, feature fusion, human visual characteristic

收稿日期: 2018-10-24; 修回日期: 2019-05-01

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (No.61771269, No.61620106012, No.61671258); 浙江省自然科学基金资助项目 (No.LY17F010005); 宁波市自然科学基金资助项目 (No.2018A610052)

Foundation Items: The National Natural Science Foundation of China (No.61771269, No.61620106012, No.61671258), The Natural Science Foundation of Zhejiang Province of China (No.LY17F010005), The Natural Science Foundation of Ningbo of China (No.2018A610052)

1 引言

随着 4G/5G^[1-2]时代的到来, 三维 (three dimensional, 3D) 视频因其能够为用户提供沉浸感而备受关注。多视点视频加深度 (multi-view video plus depth, MVD) 的场景表示方式减少了需传输和存储的数据^[3], 并可以通过基于深度图的绘制技术生成两个参考视点之间的多个合成视点^[4-5]。为了进一步提高编码效率, 国际标准组织发布了用于对多视点彩色图和深度图进行高效视频编码的 3D 扩展标准 (3D-HEVC)^[6]。在率失真优化过程中需要以原始图像为标准衡量合成视点图像失真变化^[7-8], 均方误差已不能反映绘制失真对人类视觉感知的影响。研究符合人眼主观感知的合成视点的质量评价方法对提高 MVD 编码性能有非常重要的意义。

在自由视点视频系统中, 合成视点图像的失真表现为空洞、伪影和形变等几何失真。传统的质量评价方法有结构相似度 (structural similarity, SSIM)^[9] 指标和峰值信噪比 (peak signal-to-noise ratio, PSNR) 等。Benoit 等人^[10]通过比较原始图像与失真图像得到结构相似度, 并将左右视点图像质量分数的平均值与视差图的质量分数进行融合得到客观质量分数。Chen 等人^[11]首先将左右视点合成独眼图, 然后计算独眼图的平均相似度得到最终的质量分数。Zhou 等人^[12]通过提取原始图像与失真图像的边缘强度和方向特征得到虚拟视点图像质量分数。Battisiti 等人^[13]通过比较图像小波子带的统计特征提出了一种全参考的虚拟视点图像质量评价方法。Bosc 等人^[14]通过分析虚拟视点图像失真特点, 提取失真区域, 计算在失真区域的 SSIM 值得到最终的质量评分。Gu 等人^[15]提出一种无参考虚拟视点图像质量评价方法, 计算失真区域占整幅图像的比例得到最终质量分数。Tian 等人^[16]通过对不同失真类型的虚拟视

点图像提取特征提出一种无参考虚拟视点图像质量评价方法。Yong 等人^[17]考虑人眼观看立体图像时双目匹配特性, 计算失真图像与视差映射后的图像在失真区域的 SSIM 值, 然后对左右视点进行加权平均得到最终的质量评分。

本文结合合成视点图像失真特点以及人眼双目感知特性, 提出了一种多特征融合的合成视点立体图像质量评价方法。本文主要思路如下:

- 人眼在观看立体图像时对左右视点图像匹配区域的失真较敏感, 因此, 利用视差和阈值提取匹配区域中符合人眼感知的失真区域, 计算在该区域上的平均 SSIM 值;
- 由于绘制算法的不准确, 合成视点图像失真主要出现在物体的边缘以及前景与背景交界处, 因此, 通过提取图像边缘, 然后利用阈值得到符合人眼感知的失真边缘区域, 最后计算在该区域上的平均 SSIM 值;
- 考虑局部特征不能充分反映整幅图像质量, 因此, 将原始图像与失真图像奇异值差异作为全局特征并计算其质量分数。实验表明, 本文算法与人眼主观感知一致性较好。

2 多特征融合的合成视点立体图像质量评价

本文提出一种多特征融合的合成视点立体图像质量评价方法, 主要包括 3 部分: 基于失真区域的质量评价、基于失真边缘区域的质量评价和基于奇异值的质量评价。通过对 3 部分质量分数分配不同的权重线性加权求和, 得到最终的客观质量分数。

2.1 整体框架

本文算法整体框架如图 1 所示。根据合成视点图像失真特性, 首先, 分别提取左右视点基于失真区域、失真边缘以及奇异值特征的质量分数; 然后, 分别对其左右视点分配 0.5 权重线性加权得到 3 部分的立体质量分数; 最后对每部分立体质

$$G_1(x, y) = \begin{cases} |I_1(x, y) - I'_1(x, y)|, & (x, y) \notin K_1(x, y) \\ 0, & \text{其他} \end{cases} \quad (2)$$

其中, $K_1(x, y)$ 表示左视点图像非匹配区域像素点。考虑人眼并不能观看到所有像素点的失真情况, 通过设定阈值 $Th_1(x, y)$ 得到符合人眼感知的失真区域:

$$Th_1(x, y) = \frac{\ln(|D_1(x, y)| \times G_1(x, y) + 1)}{C} + BJND(x, y) \quad (3)$$

其中, $D_1(x, y)$ 为左视点图像视差图像像素点, C 为常数。BJND 为双目恰可察觉失真模型^[18], 考虑当视差较小时, 主要通过双目恰可察觉失真模型设定阈值提取人眼感知失真区域。当失真图像与映射后图像像素点差异大于阈值时, 即把当前像素值设为 1, 其他设为 0, 即:

$$H_1(x, y) = \begin{cases} 1, & G_1(x, y) \geq Th_1(x, y) \\ 0, & \text{其他} \end{cases} \quad (4)$$

其中, $H_1(x, y)$ 为左视点人眼感知失真区域的像素点。对比左视点失真图像与映射后得到的图像在人眼感知失真区域的平均结构相似度, 得到左视点图像失真区域的质量分数, 即:

$$Block_1 = \frac{\sum_{(x, y) \in Q_1} SSIM(P_1(x, y), P'_1(x, y))}{k} \quad (5)$$

$Q_1 = \{(x, y) | H_1(x, y) = 1\}$, 表示左视点人眼感知失真区域, $P_1(x, y)$ 表示左视点失真图像中人眼能感知的失真区域各像素点, $P'_1(x, y)$ 表示利用视差映射得到的匹配区域中人眼感知失真区域各像素点, k 表示人眼感知失真区域像素点的个数, $Block_1$ 即 Q_{1L} 。同理可以得到 Q_{1R} , 最后将 Q_{1L} 和 Q_{1R} 取平均得到立体图像失真区域质量分数 Q_1 。

以 Reindeer 序列为例, 取其左视点失真图像、右视点失真图像以及右视点视差图像, 利用上述方法提取特征, 结果如图 3 所示。其中, 图 3 (a) 为左视点失真图像的灰度图, 图 3 (b) 为利用视

差得到的映射后左视点图像, 图 3 (c) 为左视点失真图像与映射后左视点图像之间的差值图, 图 3 (d) 为利用阈值得到的左视点符合人眼感知的失真区域。

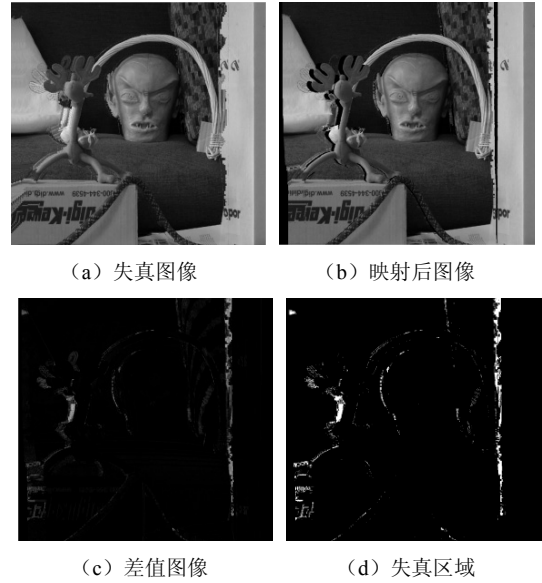


图3 人眼感知失真区域提取过程

2.3 基于失真边缘的质量评价

边缘失真虚拟视点绘制过程难免会出现的问题, 人眼在观看图像时往往对图像边缘区域比较敏感, 而不同纹理边缘对人眼感知是不同的。因此本文进一步对图像边缘部分提取特征信息。首先将 RGB 彩色图像转换为 YCbCr 通道图像, 然后对图像亮度通道 Y 提取形态学边缘, 即通过一个 4×4 圆形结构元对图像进行腐蚀, 再将图像与腐蚀后的图像做绝对差值得到图像的边缘, 即:

$$E = I_Y - (I_Y \ominus se) \quad (6)$$

其中, I_Y 表示图像亮度通道 Y, se 表示 4×4 大小的圆形结构元, $\ominus$ 表示形态学腐蚀。通过形态学边界提取分别得到左视点原始图像与失真图像的边缘 E_{org}^1 和 E_{dis}^1 , 计算二者之间的差异, 即:

$$D_1(x, y) = |E_{org}^1(x, y) - E_{dis}^1(x, y)| \quad (7)$$

通过设定阈值 T 得到符合人眼感知的失真边缘区域 (对于不同序列, 综合考虑失真边缘区域



提取的准确性问题, 将 T 设定为 30, 即:

$$M_1(x, y) = \begin{cases} 1, & D_1(x, y) \geq T \\ 0, & \text{其他} \end{cases} \quad (8)$$

比较左视点原始图像与失真图像在失真边缘区域的平均结构相似度, 得到左视点图像边缘区域的客观质量评分, 即:

$$\text{Edge}_1 = \frac{\sum_{(x,y) \in L_1} \text{SSIM}(f_{\text{org}}^1(x, y), f_{\text{dis}}^1(x, y))}{n} \quad (9)$$

$L_1 = \{(x, y) | M_1(x, y) = 1\}$ 表示人眼感知的失真边缘区域, $f_{\text{org}}^1(x, y)$ 和 $f_{\text{dis}}^1(x, y)$ 分别表示左视点原始图像和失真图像在人眼感知失真边缘区域的各像素点, n 表示人眼感知的失真边缘区域像素点的个数, Edge_1 即 Q_{2L} 。同理可以得到 Q_{2R} , 最后将 Q_{2L} 和 Q_{2R} 取平均得到立体图像失真区域质量分数 Q_2 。

以 Bookarrival 序列为例, 计算原始图像边缘与失真图像边缘之间的差异并利用阈值得到符合人眼感知的失真边缘区域, 结果如图 4 所示。其中, 图 4 (a) 和图 4 (b) 为左视点原始图像和失真图像; 图 4 (c) 和图 4 (d) 为左视点原始图像边缘和失真图像边缘; 图 4 (e) 为原始图像边缘与失真图像边缘的差值图; 图 4 (f) 为利用阈值得到的符合人眼感知的失真边缘区域。

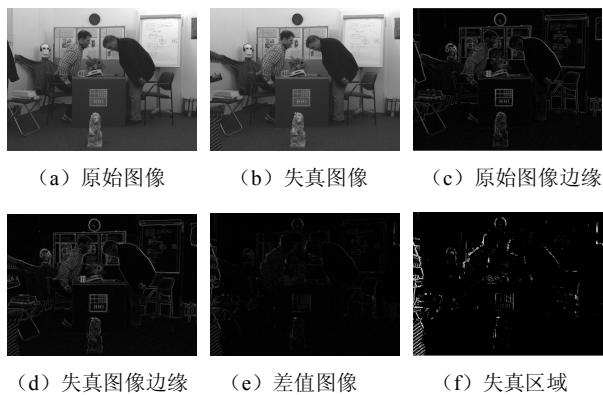


图 4 人眼感知失真边缘区域提取过程

2.4 基于奇异值的质量评价

一幅 $M \times N$ 图像可以表示为 $M \times N$ 的矩阵 I 。

根据奇异值分解, I 可表示为 $I = USV^T$ 。其中, U 为 $M \times M$ 维正交矩阵, V 为 $N \times N$ 维正交矩阵, S 为 $M \times N$ 维对角矩阵, S 矩阵中的对角元素即图像的奇异值。由于图像的奇异值具有很好的稳定性且能够作为一项特征反映图像的质量变化^[19], 因此本文选择奇异值作为全局特征信息。分别对左视点原始图像和失真图像进行奇异值分解, 统计左视点原始图像与失真图像差异的总和所占原始图像奇异值总和的比例, 即左视点奇异值质量分数:

$$\text{SVD}^1 = \frac{\sum_i^M \sum_j^N |S_{\text{org}}^1(i, j) - S_{\text{dis}}^1(i, j)|}{\sum_i^M \sum_j^N |S_{\text{org}}^1(i, j)|} \quad (10)$$

其中, $S_{\text{org}}^1(i, j)$ 和 $S_{\text{dis}}^1(i, j)$ 分别表示左视点原始图像和失真图像在 (i, j) 像素点上的奇异值, M 与 N 表示图像的行数与列数, SVD^1 即 Q_{3L} 。同理可以得到 Q_{3R} , 最后将 Q_{3L} 和 Q_{3R} 取平均得到基于奇异值部分的立体客观质量分数 Q_3 。

2.5 特征融合

本文分别提取图像的失真区域、失真边缘区域、奇异值 3 部分特征, 通过将 3 部分质量分数线性加权得到最终的客观质量评分, 即:

$$Q = w_1 \times Q_1 + w_2 \times Q_2 + w_3 \times Q_3 \quad (11)$$

其中, w_1 、 w_2 、 w_3 分别表示各部分的权值系数, 取值范围均为 $[0, 1]$ 。首先赋予 w_3 初始值为 0.05, w_3 每隔 0.05 取一次值, 然后设定 w_1 与 w_2 为不同的比例关系, 根据 $w_1 + w_2 + w_3 = 1$ 的条件得到权重 w_1 、 w_2 的值。当 w_3 为不同值, w_1 与 w_2 为不同比例关系时, 观测客观指标 Spearman 秩相关系数 (Spearman rank order correlation coefficient, SROCC) 的变化, 如图 5 所示。综合考虑各权重选取的合理性以及其他客观指标, 选取出最优权重系数。从图 5 中可以看出, 在 w_3 为 0.25 及 w_1 与 w_2 比例为 2:3 时, 客观指标 SROCC 较好, 因此本文选取权重 w_1 为 0.3, w_2 为 0.45, w_3 为 0.25。

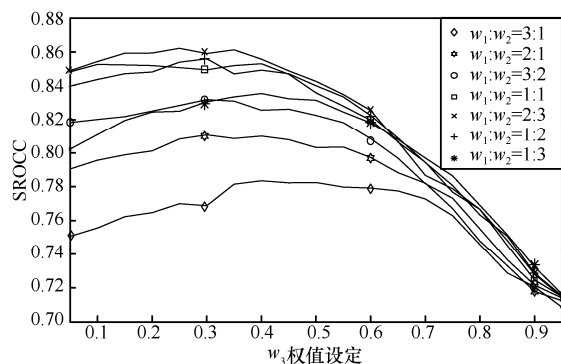


图5 权重选取

3 实验结果与分析

3.1 数据库

本文采用 Yong 提供的虚拟视点立体图片数据库作为合成视点立体图像样本数据集^[20], 该数据库中包含 7 个序列, 每个序列包含左右视点图像, 其中 Laundry、Reindeer、Dolls 和 Aloe 4 种图片序列来自 Middlebury 数据库^[20-21], 另 3 种图片序列 Newspaper (41 帧)、Bookarrival (85 帧)

和 Lovebird1 (14 帧) 来自 MPEG 3DV 多视点加深度序列。图片序列通过 Ahn、Criminisi、Inter-view Consistent 和 VSRS 4 种绘制算法得到不同种类以及不同程度的失真图片序列。每组图片序列包含 4 个视点, 相邻视点间形成 3 对立体图像对, 最终形成 84 对立体图像对 (7 种序列 × 3 个立体图像对 × 4 种绘制算法)。同时, 该数据库还提供了每对立体图像对的主观感知质量评价 (difference mean opinion score, DMOS), DMOS 值越大, 表示该立体图像对的质量越好。

3.2 主观实验对比

本文算法包含基于失真区域的质量评价、基于失真边缘的质量评价以及基于奇异值的质量评价 3 部分特征。为了验证本文客观评价算法与主观感知的一致性, 对不同测试序列提取失真区域以及失真边缘区域, 如图 6 所示, 共包含 Bookarrival、Laundry、Newspaper 和 Reindeer 4 种测试序列。从图 6 中可以看出, 不同测试序列下, 本文提取

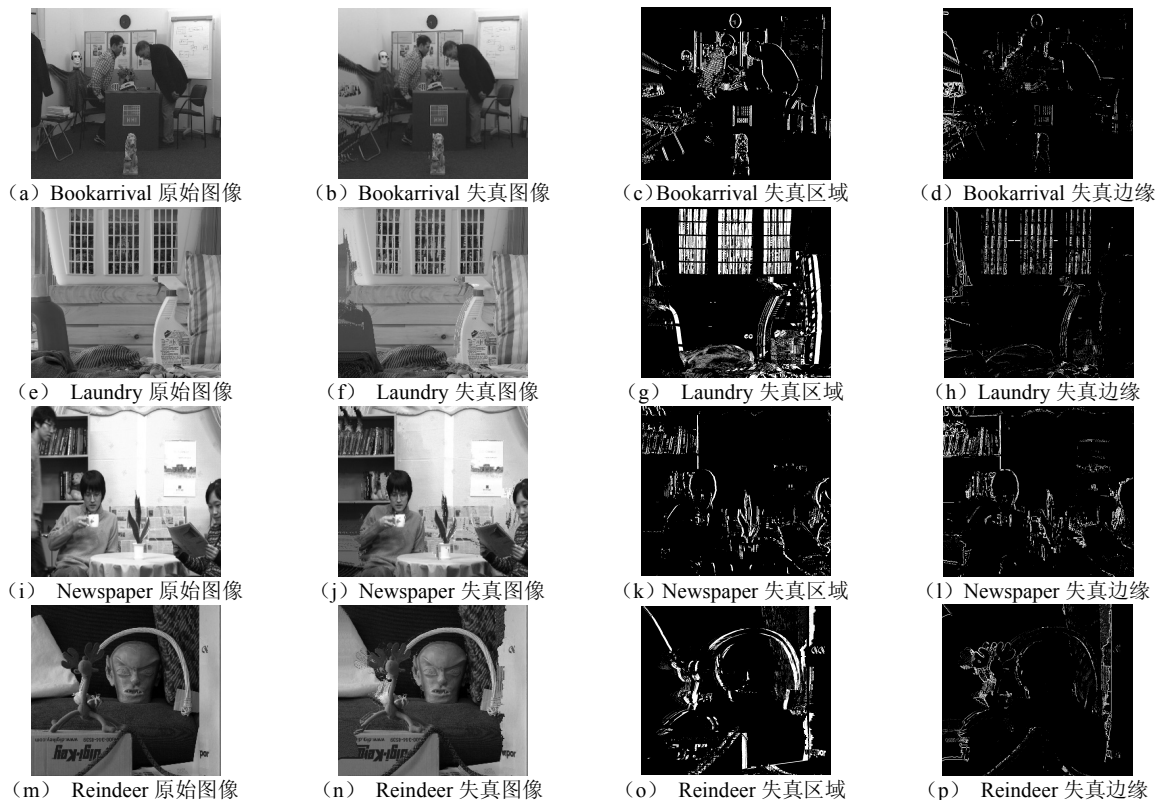


图6 不同测试序列下的图像结果对比



的失真区域以及失真边缘较为准确,与人眼主观感知较为一致,也是客观性能指标较好的前提基础。

3.3 客观算法性能对比

由于在主观实验质量评价过程中会引入一系列非线性因素,为了避免这些因素对客观评价模型的影响,需要对客观质量评分 Q 进行非线性拟合。本文采用 Logistic4 参数拟合 Q 值,得到客观模型预测值 $DMOS_p$:

$$DMOS_p = \frac{a-b}{1 + \exp\left[-\frac{Q-c}{abs(d)}\right]} + b \quad (12)$$

其中, a 、 b 、 c 、 d 为常数。图 7 为 $DMOS_p$ 与主观分数 $DMOS$ 的曲线拟合图。可以看出本文提出的多特征融合的合成视点立体图像质量评价算法与主观分数一致性较好,能够较好地评价合成视点立体图像质量。

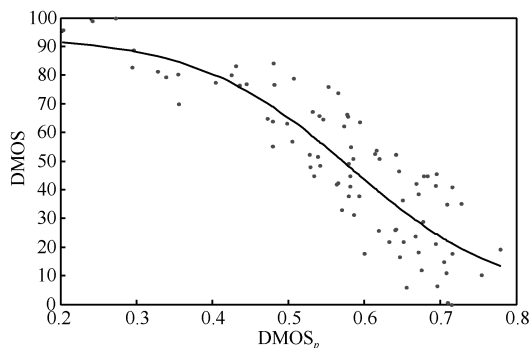


图 7 客观与主观拟合结果

为了进一步验证通过本文算法所得到的客观质量评分与主观质量评分具有较好的一致性,采用 SROCC (Spearman rank order correlation coefficient, Spearman 相关系数)、PLCC (Pearson linear correlation coefficient, Pearson 相关系数) 和 RMSE (root mean squared error, 均方根误差) 3 种常用的评价指标来判断本文算法性能。其中, SROCC 用于反映客观评价模型的单调性, PLCC 和 RMSE 用于反映客观评价模型的准确性。PLCC 和 SROCC 的值越接近 1, RMSE 的值越小,说明客观评分与主观评分的相关性越好。将本文客观算

法与 SSIM、MS_SSIM、VIF 等 8 种算法在数据库上进行对比,见表 1。从实验结果可以看出,本文算法结果与主观评分拟合较好, PLCC 与 SROCC 均在 0.86 以上且优于其他 8 种算法,但均方根误差 RMSE 有所提高。

表 1 不同客观评价算法的指标对比

算法	PLCC	SROCC	RMSE
SSIM	0.351	0.381	13.585
MS_SSIM	0.637	0.647	11.180
VIF	0.388	0.299	13.373
Benoit	0.452	0.438	12.944
3DSwIM	0.527	0.499	12.330
Bosc	0.642	0.596	11.135
Chen	0.687	0.695	10.631
Jung	0.826	0.829	8.181
本文算法	0.865	0.862	12.339

为了分析均方根误差提高的原因,单独测试每个序列的指标,见表 2,可以看出除序列 Lovebird1 以外,其他序列 PLCC 与 SROCC 均在 0.90 以上, RMSE 也均比较接近 5。Lovebird1 序列场景中存在两片树林,树叶分布比较密集,树叶间亮度变化比较大,本文所提算法的基于失真区域与基于失真边缘两部分均基于结构相似度对失真图像进行评价,对亮度失真区域比较敏感,而人们在观看图像时往往存在纹理掩蔽效应,并不能很好地识别出树叶间的失真,所以本文所提算法对 Lovebird1 序列效果较差,从而导致 RMSE 有所提高。

表 2 每个序列指标测试

序列名称	PLCC	SROCC	RMSE
Aloe	0.924	0.923	7.913
Bookarrival	0.939	0.930	6.731
Dolls	0.970	0.958	5.318
Laundry	0.918	0.930	9.988
Lovebird1	0.727	0.664	15.322
Newspaper	0.962	0.909	7.048
Reindeer	0.942	0.965	6.474

传统的图像质量评价方法大多基于整幅图像

提取失真,而虚拟视点图像失真大多体现在局部区域上的几何失真,所以用传统的图像质量评价方法评价虚拟视点图像并不适用;Bosc等^[14]和Yong等^[17]在考虑虚拟视点绘制失真的基础上提出客观评价算法,Bosc等^[14]未考虑左右视点根据视差形成立体图像时双目匹配特性带来的影响,Yong等^[17]未考虑失真区域不同的纹理边缘给人眼感知带来的不同影响。与其他算法相比,本文算法比较符合人眼感知特性。

4 结束语

本文提出一种多特征融合的合成视点立体图像质量评价方法。通过提取虚拟视点图像的局部特征与全局特征,得到符合人眼感知的客观质量分数。实验结果表明,本文的客观评价模型与主观质量分数有较好的一致性,能够较为准确地反映合成视点立体图像质量,PLCC为0.865,SROCC为0.862,RMSE为12.339。但是,本文所提算法在RMSE指标上有所提高,从实验结果上反映出本文算法没有充分考虑人眼纹理掩蔽效应,因此本文算法还有待改进优化。下一步尝试将本文所提出的方法用到MVD编码过程中,作为反馈指导率失真优化编码。

参考文献:

- [1] 林金桐,许晓东. 第五代移动互联网[J]. 电信科学, 2015, 31(5): 1-8.
LIN J T, XU X D. The 5th generation of mobile internet[J]. Telecommunications Science, 2015, 31(5): 1-8.
- [2] 高峰,王丽芳,朱文涛. 移动通信天线的未来技术发展[J]. 电信科学, 2016, 32(Z1): 78-82.
GAO F, WANG L F, ZHU W T. Further technology development of mobile communication antenna[J]. Telecommunications Science, 2016, 32(Z1): 78-82.
- [3] ZHI J, TAMMAM T, XIAO J, et al. Multiview video plus depth transmission via virtual-view-assisted complementary down/upsampling[J]. Eurasip Journal on Image & Video Processing, 2016(1): 19-19.
- [4] SANDIC-STANKOVIC D, KUKOLI D, CALLET P L. DIBR synthesized image quality assessment based on morphological wavelets[C]//International Workshop on Quality of Multimedia Experience, May 26-29, 2015, Pylos Nestoras. Piscataway: IEEE Press, 2015: 1-4.
- [5] STANKOVIC D S, KUKOLJ D, CALLET P L. DIBR synthesized image quality assessment based on morphological pyramids[C]//2015 International Workshop on Quality of Multimedia Experience, May 26, 2015, Pylos-Nestoras, Greece. Piscataway: IEEE Press, 2015: 1-4.
- [6] MILLERK, SCHWARZ H, MARPE D, et al. 3D high-efficiency video coding for multi-view video and depth data[J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2013, 22(9): 3366-3378.
- [7] ZHU L, ZHANG Y, WANG S, et al. Convolutional neural network based synthesized view quality enhancement for 3D video coding[J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2018, 27(11): 5365-5377.
- [8] TECH G, SCHWARZ H, MILLER K, et al. 3D video coding using the synthesized view distortion change[C]//2012 IEEE International Conference on Multimedia and Expo, July 9-13, 2012, Melbourne, VIC, Australia. Piscataway: IEEE Press, 2012: 25-28.
- [9] 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.
- [10] BENOIT A, CALLET P L, CAMPISI P, et al. Using disparity for quality assessment of stereoscopic images[C]//IEEE International Conference on Image Processing, Oct 12-15, 2008, San Diego, CA, USA. Piscataway: IEEE Press, 2008: 389-392.
- [11] CHEN M J, SU C C, KWON D K, et al. Full-reference quality assessment of stereopairs accounting for rivalry[J]. Signal Processing Image Communication, 2013, 28(9): 1143-1155.
- [12] ZHOU Y, LI L, GU K, et al. DIBR-synthesized image quality assessment via statistics of edge intensity and orientation[J]. Transactions on Information & Systems, 2017, 100(8): 1929-1933.
- [13] BATTISITI F, BOSCH E, CARLI M, et al. Objective image quality assessment of 3D synthesized views[J]. Signal Processing Image Communication, 2015, 30(C): 78-88.
- [14] BOSCH E, PEPION R, CALLET P L, et al. Towards a new quality metric for 3D synthesized view assessment[J]. IEEE Journal of Selected Topics in Signal Processing, 2011, 5(7): 1332-1343.
- [15] GU K, JAKHETIYA V, QIAO J F, et al. Model-based referenceless quality metric of 3D synthesized images using local image description[J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2018, 27(1): 394-405.
- [16] TIAN S, ZHANG L, MORIN L, et al. NIQSV+: a no-reference synthesized view quality assessment metric[J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2018, 27(4): 1652-1664.
- [17] YONG J J, KIM H G, YONG M R. Critical binocular asymmetry measure for the perceptual quality assessment of synthesized stereo 3D images in view synthesis[J]. IEEE Transactions on Circuits & Systems for Video Technology, 2016, 26(7): 1201-1214.
- [18] ZHAO Y, CHEN Z, ZHU C, et al. Binocular just-noticeable-difference model for stereoscopic images[J]. IEEE Signal Processing Letters, 2010, 18(1): 19-22.
- [19] SHANYDERMAN A, GUSEV A, ESKICIOGLU A M. An



SVD-based grayscale image quality measure for local and global assessment[J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2006, 15(2): 422-429.

[20] IVY LAB Stereoscopic 3D image database for quality assessment of synthesized stereoimages[EB]. 2014.

[21] Middlebury stereo datasets[Z]. 2015.



邹文辉（1979- ），女，宁波大学信息科学与工程学院博士生，主要研究方向为虚拟视点绘制及其质量评价。

[作者简介]



崔帅南（1993- ），女，宁波大学信息科学与工程学院硕士生，主要研究方向为虚拟视点绘制及其质量评价。



陈芬（1973- ），女，博士，宁波大学信息科学与工程学院副教授，主要研究方向为三维视频信号处理与编码。



彭宗举（1973- ），男，博士，宁波大学信息科学与工程学院教授，主要研究方向为三维视频信号处理与编码。



陈华（1988- ），男，博士，宁波大学信息科学与工程学院讲师，主要研究方向为信号与信息处理。