

文章编号 1004-924X(2013)06-1605-08

基于视觉阈值及通道融合的立体图像质量评价

郁 梅*, 孔真真, 朱江英

(宁波大学 信息科学与工程学院, 浙江 宁波 315211)

摘要: 根据人眼对彩色图像不同颜色通道的敏感度不同, 利用掩蔽效应对人眼感知立体图像质量产生的影响, 提出了一种基于视觉阈值分析和通道融合的彩色图像客观质量评价方法。利用人眼视觉阈值确定立体图像的失真是否在人眼可察觉的范围, 若失真程度小于视觉掩蔽阈值, 则认为没有失真。利用原始和失真彩色图像 RGB 三通道各自左视点差值图和右视点差值图的奇异值与人眼视觉掩蔽阈值图的奇异值距离来衡量失真图像左右视点图像的质量。原始和失真图像对的绝对差图之差值图像和原始图像对的双目恰可察觉失真阈值图之间的奇异值距离被用于评价失真立体图像的深度感知好坏。不同失真类型下, 左右视点质量融合以及左右视点评价和深度感知评价的融合其加权权值不同。对 JPEG 压缩、JPEG2000 压缩、高斯白噪声、高斯模糊和 H. 264 编码 5 种不同程度失真的 312 幅退化图像进行了测试, 结果显示本文方法与主观感知有较好的一致性, 总体 CC (Pearson Linear Correlation Coefficient) 达到 0.94, 总体 SROCC (Spearman Rank Order Correlation Coefficient) 达到 0.94, 整体均方根误差 (RMSE) 控制在 5.9 以内。

关键词: 立体图像; 质量评价; 视觉阈值; 奇异值分解

中图分类号: TP391.4 **文献标识码:** A **doi:** 10.3788/OPE.20132106.1605

Stereoscopic image quality assessment based on visual threshold and channel fusion

YU Mei*, KONG Zhen-zhen, ZHU Jiang-ying

(Faculty of Information Science and Engineering, Ningbo University, Ningbo 315211, China)

* Corresponding author, E-mail: yumei@nbu.edu.cn

Abstract: According to the different sensitivities of human eyes for different color channels of color images and the effect of tolerable perception range of human eyes on color image perception, a color image objective quality assessment method based on visual threshold and channel integration is proposed. Visual threshold characteristics of human eyes are used to determine whether the distortion of a stereoscopic image can be perceived. If the degree of distortion is within the tolerable range of human eyes, the distortion is ignored. Singular values of difference maps between original and distorted images with respect to the left and right views are compared with singular values of the visual threshold map of original images, so as to assess the quality of the left and right views, respectively. For original and distorted stereoscopic images, the difference between their left view and the right view are calculated, and the difference map of the above two differences is further calculated. The singular val-

收稿日期: 2013-01-18; 修订日期: 2013-02-25.

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (No. 61271270); 浙江省自然科学基金资助项目 (No. Y1101240)

ues of the difference map are then compared with singular value of binocular just noticeable difference to assess the quality of stereo perception. For different types of distortion, the weights for fusing the assessments of the left and right views, and the weights for fusing the assessments of the left-right views and stereo perception are different. The experimental results on 312 stereoscopic images distorted with Gaussian blur, Gaussian white noise, JPEG, JP2K and H. 264 show that the proposed objective model can achieve more than 0.94 Pearson Linear Correlation Coefficient (CC) and general Spearman Rank Order Correlation Coefficient (SROCC), respectively, and the overall Rooted Mean Square Error (RMSE) is less than 5.9, which means that the assessment score obtained by the proposed model is well consistent with that obtained by human subjective perception.

Key words: stereoscopic image; quality assessment; visual threshold; singular value decomposition

1 引言

三维视频系统由于其更加直观真实的场景感受,正受到业界越来越多的关注^[1-3]。立体图像通过双目分别接收来自同一场景的左右视点图像,利用视差在大脑融合形成具有深度感的立体图像^[4]。图像质量好坏是视频系统的重要技术指标^[5],而图像质量评价则是评价图像视频系统和算法优劣的重要技术手段。但是主观评价方法易受多种因素的干扰:如外界客观条件、测试者情绪及各自自身条件等,且不易于集成和实现,结果也因人而异,因此评价结果不够稳定;客观评价则是由软件或仪器进行评估,容易操作且可重复性强,但结果与人的主观感知可能存在一定的偏差^[6],因此研究高效的图像客观评价方法意义重大。

由于图像的最终接收对象是人眼,因此在图像处理 and 评价的各种算法中,充分考虑人眼的视觉特性有助于提高算法的性能^[7-8]。目前,平面图像质量评价对于人眼的视觉特性如亮度和对比度敏感度等考虑较多^[8]。现有立体图像质量评价的研究大多建立在平面模型研究基础上,而对于人眼对立体图像特有的感知因素考虑不多。文献^[9]分析了人眼视觉特性,把平面图像的结构相似度模型直接应用于立体图像的左右视点图像,然后将左右视点评价进行加权作为立体图像的客观质量。文献^[10]考虑到立体深度感知也是立体图像质量的一个重要部分,进一步利用深度或者视差信息的损失来评价立体图像的立体感知失真。但由于目前关于深度图和视差图的估计算法仍不成熟,其深度和视差估计的准确性还有待提高,因此如何对估计所得深度图和视差图进行质量评价

并将其用于立体图像质量评价仍然是一个难点问题。文献^[11]利用人眼的立体掩蔽效应,建立了基于奇异值分解的客观评价模型;文献^[12]提出了一种结合平面图像质量和深度信息的立体图像客观评价方法。然而,目前对左右视点图像在大脑中融合而产生立体感的过程还难以建立准确的数学模型,并且左右视点间存在相互影响,如双目抑制、双目融合等,因此,建立符合人眼视觉感知的立体图像质量客观评价模型仍是一个值得深入探索的过程。

以上研究都是对彩色图像的亮度信息进行客观评价,忽略了其色度信息;此外,人类视觉存在掩蔽效应,当图像失真小于某一范围时,人眼不能感知到这种失真。因此,本文对图像的 RGB 三通道分别分析,在文献^[13]提出的最小可察觉失真 (Just Noticeable Distortion, JND) 模型基础上,考虑了空间对比度模型、亮度模型和纹理模型,而建立了一种有效的立体图像质量客观评价模型。实验结果表明,本文提出的客观模型与人眼主观感知质量具有较强的一致性。

2 立体图像质量客观评价模型

有研究表明,人眼对图像内容的感知并非一视同仁,而是具有掩蔽效应,因而会忽略人眼不感兴趣或者不敏感区域的部分质量。本文从立体图像的视觉掩蔽阈值出发,观察失真立体图像相对于原始参考立体图像的视觉感知失真,如果人眼察觉不到图像的失真,则认为图像是没有失真的,反之,则认为图像是有失真的。根据奇异值特点,把原始图像和失真图像的差值图像对的奇异值与人眼对原始图像的视觉掩蔽阈值的奇异值之间的

距离作为图像失真程度的一个评价指标,最终进行通道融合,建立客观评价模型。

2.1 立体图像左右视点图像质量评价

视觉生理和心理等方面研究发现的人类视觉系统特性和掩蔽效应对视频编码有重要作用。基于视觉掩蔽阈值对人眼视觉的影响,研究者提出了JND模型。常见的掩蔽效应有亮度掩蔽特性和纹理掩蔽特性,背景亮度和纹理是影响JND的重要因素。本文采用文献[13]中建立的空域JND数学模型:

$$JND(x, y) = JND_{lum}(x, y) + JND_t(x, y) - C \min\{JND_{lum}(x, y), JND_t(x, y)\}, \quad (1)$$

其中: JND_{lum} 和 JND_t 分别是亮度和纹理掩蔽阈值, C 是一个加权系数。 JND_{lum} 表示如下:

$$JND_{lum}(x, y) = \begin{cases} 17(1 - \sqrt{\frac{\overline{I(x, y)}}{127}}) + 3, & \text{if } \overline{I(x, y)} \leq 127 \\ \frac{3}{128}(\overline{I(x, y)} - 127) + 3, & \text{otherwise} \end{cases}, \quad (2)$$

$$\overline{I(x, y)} = \frac{1}{32} \sum_{i=0}^5 \sum_{j=0}^5 I(x-3+i, y-3+j) \cdot B(i, j), \quad (3)$$

$I(x, y)$ 是图像 I 在 (x, y) 处的亮度值, $B(i, j)$ 是 5×5 低通滤波器^[13]。纹理掩蔽阈值 JND_t 表示如下:

$$JND_t(x, y) = \alpha(x, y) \cdot G(x, y) + \beta(x, y), \quad (4)$$

其中: $\alpha(x, y) = 0.0001 \cdot \overline{I(x, y)} + 0.115$, $G(x, y)$ 是图像 I 经4个不同方向的 5×5 高通滤波器处理所获得的4个方向梯度中的最大值, $\beta(x, y) = 0.5 - 0.01 \cdot \overline{I(x, y)}$ 。

人眼对图像中的细微差异难以辨别;而当图像被施加小的扰动时,图像奇异值也不会有很大的变化。因此,图像奇异值可用于表征人类视觉感知的这一特性。对于一幅 $M \times N$ 的图像 I ,通过奇异值分解(Singular Value Decomposition, SVD)可表示为 $I = USV^T$,其中, $S = \text{diag}(s_1, s_2, \dots)$,是对角矩阵, U 和 V 均为正交矩阵。 S 中对角线上的元素就是图像 I 的奇异值。因此,设立体图像对应的原始图像和失真图像的差值图为 D ,可通过比较 D 的奇异值与人眼能感知的最小的视觉阈值图的奇异值,即以差值图与原始视觉

阈值图的奇异值距离来表示立体图像内容的失真程度。

设原始图像左右视点图像分别为 I_{org}^l 和 I_{org}^r ,失真图像左右视点图像分别为 I_{dis}^l 和 I_{dis}^r ,则左右视点的差值图分别为 $D_l = |I_{org}^l - I_{dis}^l|$, $D_r = |I_{org}^r - I_{dis}^r|$ 。如果差值图对应的奇异值均小于视觉阈值图对应的奇异值,则认为图像是没有失真的,图像质量很好,反之图像是失真的,而且随着距离的增大,失真越严重,图像质量也就越差。

虽然噪声在各局部的统计特性基本一致,但图像信号在不同局部的强弱却不同^[14]。同时,也为了降低计算复杂度,本文不对全局图像进行奇异值分析,而是先将立体图像的左右视点图像分别分解成小尺寸的图像块,然后再对每个块进行奇异值分解。立体图像左右视点图像的质量评价步骤如下:

Step1:对于原始图像和失真图像的差值图 D_l 和 D_r ,对其RGB三通道分别进行 8×8 图像块的奇异值分解;对原始左右图像的人眼视觉掩蔽阈值图 JND_l 和 JND_r 也进行相同的处理;

Step2:分别计算左右视点图像的差值图 D_l 和 D_r 中每个块与其在视觉掩蔽阈值图 JND_l 和 JND_r 中对应块之间的奇异值距离,以左视点为例,其第 m 个通道的第 n 个块的奇异值距离 $d_{m,n}^l$ 为

$$d_{m,n}^l = \sqrt{\sum_{i=1}^8 [\omega \times (S_{D_{l,n}}^{l,m}(i, i) - S_{JND_{l,n}}^{l,m}(i, i))^2]}, \quad (5)$$

$S_{D_{l,n}}^{l,m}$ 和 $S_{JND_{l,n}}^{l,m}$ 代表左视点第 m 通道的 D_l 和 JND_l 中第 n 个块的奇异值,

$$\omega = \begin{cases} 1, & \text{if } S_{D_{l,n}}^{l,m}(i, i) > S_{JND_{l,n}}^{l,m}(i, i) \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases};$$

Step3:计算左右视点图像的全局失真程度,以左视点为例,其全局失真程度 Q_l 定义为:

$$Q_l = \sum_{m=1}^3 b_m \times \left(\frac{1}{k} \sum_{n=1}^k |d_{m,n}^l - d_{median}^{l,m}| \right), \quad (6)$$

其中: $m = 1, 2, 3$,分别代表RGB三通道, b_m 代表第 m 通道的权值, k 为左视点图像中 8×8 图像块的数量, $d_{median}^{l,m}$ 是左视点第 m 通道所有块的奇异值距离 $d_{m,n}^l$ 的中值。

对于立体图像左右视点的质量,通过线性加权其各自的全局失真程度来进行评价,记为 Q_s ,

$$Q_s = \omega_l \times Q_l + \omega_r \times Q_r, \quad (7)$$

其中: ω_l 和 ω_r 分别是某种失真类型下失真图像左右视点质量所占权重大小, 且 $\omega_l + \omega_r = 1$ 。

2.2 立体图像深度感知评价

立体图像之所以能提供真实感和深度感的主要原因是其左右视点图像之间存在视差。由于视差在物体边缘表现得最明显, 具有人眼标准视差的视点对, 其差值图像是一幅图像的近似边缘轮廓线^[15]。因此, 失真立体图像对的绝对差图越接近原始立体图像对的绝对差图, 或失真在人眼双目视觉阈值范围内, 立体感越强, 反之, 立体感会

$$BJND_1(i, j) = T_c(bg_r(i, j + d(i, j)), eh_r(i, j + d(i, j))) \times \left(1 - \left(\frac{n_r(i, j + d(i, j))}{T_c(bg_r(i, j + d(i, j)), eh_r(i, j + d(i, j)))} \right)^\lambda \right)^{1/\lambda}, \quad (8)$$

其中: $d(i, j)$ 表示左视点图像坐标为 (i, j) 的像素点的水平视差, 参数 λ 控制右视点的噪声影响, 设置为 1.25, bg_r 、 eh_r 和 n_r 分别表示右视点亮度值、边缘强度和噪声强度, T_c 表示在考虑对比度掩蔽效应时, 右视点随机噪声幅度为 0, 左视点加入的能够引起双目感知失真的最大随机噪声幅度。

本文用双目视差感知阈值来判断图像立体感失真是否在人眼的可感知范围之内。评价方法类似于左右视点图像质量的评价。记原始立体图像对的左右视点绝对差图为 D_{org} , $D_{org} = |I_{org}^l - I_{org}^r|$, 失真立体图像对的左右视点绝对差图为 D_{dis} , $D_{dis} = |I_{dis}^l - I_{dis}^r|$, 则原始立体图像的 D_{org} 与失真立体图像的 D_{dis} 之间的差值图像为 $D_{od} = |D_{org} - D_{dis}|$, 又记按公式(8)计算得到的左视点双目视觉阈值图为 $BJND_1$ 。对 D_{od} 和 $BJND_1$, 对其 RGB 三通道分别进行 8×8 图像块的奇异值分解; 然后计算 D_{od} 中每个块与其在 $BJND_1$ 中对应块之间的奇异值距离 $d_{m,n}^s, d_{m,n}^{s_{median}}$ 表示第 m 个通道的第 n 个块的奇异值距离, 则失真立体图像的深度感知客观评价价值如式(9)所示:

$$Q_d = \sum_{m=1}^3 b_m \times \left(\frac{1}{k} \sum_{n=1}^k |d_{m,n}^s - d_{m,n}^{s_{median}}| \right), \quad (9)$$

其中: $d_{m,n}^{s_{median}}$ 是第 m 通道所有块的奇异值距离 $d_{m,n}^s$ 的中值。

2.3 立体图像整体质量客观评价

左右视点图像质量 Q_s 和深度感知评价价值 Q_d

随着失真程度的增大而减弱。

双目恰可觉察失真 (Binocular Just Noticeable Difference, BJND) 是立体图像主观感知察觉不到失真的情况下, 两个视点中的一个视点所允许的最大失真阈值。文献[16]通过主观实验表明对于零视差的立体图像, BJND 值依赖于视点的亮度和对比度。而在实际应用中, 立体图像是存在视差的。本文以右视点为参考图像, 参照文献[16], 求取左视点的双目视觉阈值:

都是随着失真程度的加深而变大, 本文对其进行线性加权, 以评价失真立体图像整体质量。由于不同失真类型所造成的视觉感知的影响不同, 我们为不同类型的失真设置了不同的 Q_s 和 Q_d 线性加权权值, 记为 W_{type} , 则立体图像最终的客观评价价值如下:

$$Q = W_{type} \times Q_s + (1 - W_{type}) \times Q_d. \quad (10)$$

3 实验结果与讨论

为验证本文提出的立体图像质量客观评价模型的有效性和稳定性, 实验采用文献[17]所建立的对称立体图像测试库。该测试库在图像选取时考虑了包括相机间距、分辨率、图像清晰度、背景复杂度、亮度、立体感等多种因素, 其图像包含了源自 12 对高清原始立体图像对遭受 5 种类型的失真处理后得到的 312 幅失真立体图像对, 失真包括 JPEG 失真、JPEG2000 失真、高斯模糊 (Gblur)、高斯白噪声 (WN) 和 H. 264 编码失真 (H264)。该测试库还给出了由 23 位测试者得到的平均主观评分差值 (Difference Mean Opinion Scores, DMOS), DMOS 是主观评分均值 (MOS) 和满分 (100) 的差值, 即 $DMOS = 100 - MOS$, 因此, DMOS 值越大表示图像质量越差, 其取值范围为 $[0, 100]$ 。相对于原始立体图像, 失真立体图像的主观质量从失真不可察觉到失真极大。

本文采用 4 个评价标准^[18]来验证立体图像

质量客观评价模型和主观立体感知质量之间的一致性:第一个指标为非线性回归条件下的主观预测值与 DMOS 之间的线性相关系数 (Pearson Linear Correlation Coefficient, CC), 其非线性回归处理采用了四参数 logistic 回归函数拟合, 反映了立体图像质量客观评价模型的预测精确性; 第二个指标为 Spearman 秩相关系数 (Spearman Rank Order Correlation Coefficient, SROCC), 反映立体图像质量客观评价模型的预测单调性; 第三个指标均方根误差 (Rooted Mean Squared Error, RMSE) 反映立体图像质量客观评价模型的预测准确性; 第四个指标是异常值比率 (Outlier Ratio, OR), 反映立体图像质量客观评级模型的离散程度。CC、SROCC 和 OR 的取值范围为 $[0, 1]$ 。CC 和 SROCC 值越接近 1, 表明评价模型越好。OR 值越接近 0, 表明评价模型越好。RMSE 的取值范围为 $[0, +\infty]$, 值越小表明评价模型越好。

3.1 参数的选取与确定

由于人眼对不同的失真具有不同的立体掩蔽效应, 不同失真下公式(7)和公式(10)中的权值也不相同。 w_l 和 w_r 采用文献[19]中的参数, 如表 1 所示。

表 1 不同失真类型下的 w_l 、 w_r 和 W_{type} 参数设置

Tab. 1 w_l , w_r and W_{type} under different types of distortion

失真类型	高斯模糊	JPEG	JPEG 2000	白噪声	H. 264
w_l	0.10	0.50	0.15	0.20	0.10
w_r	0.90	0.50	0.85	0.80	0.90
W_{type}	0.82	0.52	0.78	0.7	0.8

公式(10)中参数 W_{type} 通过大量的统计优化得到, 以客观评价价值与主观评价价值之间的相关系数 CC 来评价立体感知质量的性能。由于人眼对立体图像内容的感知敏感性比较强, 立体图像质量主要取决于立体图像内容的质量, 因此, 立体感知质量的权重 $1 - W_{type}$ 小于立体图像内容质量的权重 W_{type} , 由此, 不同失真类型的敏感度权重参数可通过式(11)确立

$$\left. \begin{array}{l} \operatorname{argmax}(CC) \\ s. t. \left\{ \begin{array}{l} 0 < W_{type} < 1 \\ W_{type} > 1 - W_{type} \end{array} \right. \end{array} \right\}. \quad (11)$$

表 1 也给出了各种失真类型下的 W_{type} 。从表 1 中可以看到通过 CC 最优得到的权值比重关系, 说明人眼对模糊失真、高斯白噪声失真、H. 264 失真和 JPEG2000 失真的图像内容质量比较敏感, 而对 JPEG 失真的块效应引起的立体感失真和内容失真敏感程度差不多。

参数 b_m 的选择取决于人眼对 RGB 通道的敏感度。对于彩色图像来说, 人眼对亮度分量比较敏感, 而就 RGB 三颜色通道来说, 人眼对红光敏感的锥状体占 65%, 对绿光敏感的锥状体占 33%, 而对蓝光敏感的锥状体只占 2%。通过在立体图像测试库上进行的大量统计优化实验, 红绿蓝三通道对应的 b_m 分别为 0.54、0.38 和 0.08。

3.2 性能比较与分析

为了比较本文所提出评价算法的有效性, 将基于结构相似度的质量评价方法^[20] (Mean Structure Similarity Index Metric, MSSIM)、基于奇异值分解的质量评价方法^[11] (Mean Singular Value Decomposition, MSVD) 及 PSPNR^[21] (Peak Signal to Perceptible Noise Ratio) 方法, 按照本文使用的数据库和参数设置, 扩展到立体图像的质量评价, 即用这 3 种方法分别对左右视点进行评价, 并用表 1 的参数对左右视点图像的评价值进行加权处理, 最后与本模型方法进行性能比较, 同时也与文献[19]的五折交叉验证结果进行了比较, 比较结果如表 2 所示。表 3 为本文客观评价模型在各种不同失真下与主观感知之间的一致性性能评价指标参数。虽然 MSSIM 和 MSVD 评价方法对平面图像质量的评价比较有效, 但从表 2 可知, 它们直接应用于立体图像质量评价效果并不好, 尤其是 MSSIM 方法, 与人眼感知吻合度不高。PSPNR 方法虽然也考虑了人眼对于平面图像失真的可感知性, 但没有考虑双目恰可觉察失真这一立体图像所特有的性质, 因此总体评价效果也不好。从表 3 中可以看出, 本模型的整体混合失真 CC 值和 SROCC 值都能达到 0.94 之上, 均方根误差 RMSE 低于 5.9, 这些性能都优于其它比较算法, 而 OR 值为 0.003 2%, 略差于文献[19], 但也优于其它方法。由此可知, 本文算法性能还是优于其它算法的。

表 2 不同评价方法之间的性能指标

Tab. 2 Performance comparison among different assessment metrics

性能指标	CC	SROCC	OR	RMSE
本文方法	0.940 0	0.944 0	0.003 2	5.859 2
MSVD ^[10]	0.916 0	0.927 3	0.009 6	6.890 8
MSSIM ^[20]	0.828 0	0.854 5	0.038 5	9.634 0
PSPNR ^[21]	0.898 2	0.918 4	0.006 4	7.551 3
文献[19]	0.931 5	0.941 2	0.000 0	6.248 5

表 3 本文客观评价模型与主观感知的一致性

Tab. 3 Consistency between objective evaluation model and subjective perception in proposed method

失真类型	图像数目	CC	SROCC	OR	RMSE
Gblur	60	0.953 6	0.947 4	0	6.352 4
JP2K	60	0.949 7	0.955 2	0	3.754 0
JPEG	60	0.931 9	0.935 1	0	5.165 0
WN	60	0.950 0	0.915 1	0	4.878 2
H.264	72	0.967 0	0.943 4	0	3.577 3
ALL	312	0.940 0	0.944 0	0.003 2	5.859 2

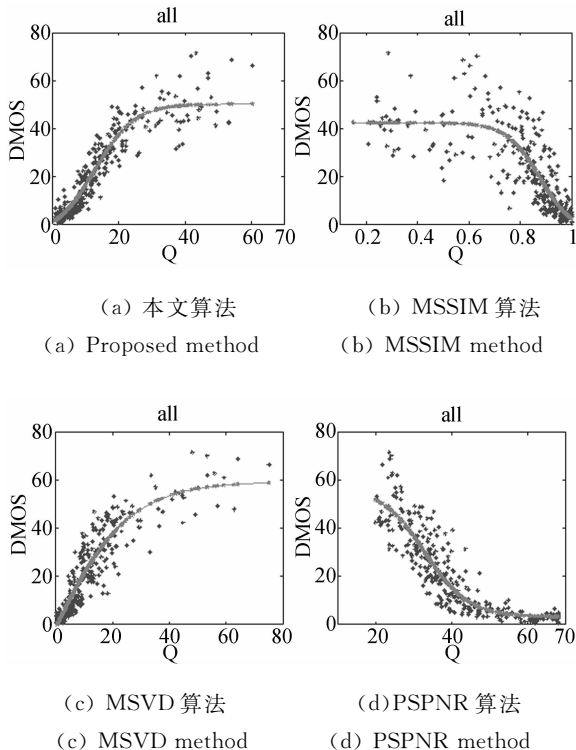


图 1 4 种算法客观评价与主观感知之间的散点图
Fig. 1 Scatter plots between objective evaluation and subjective perception from four methods

图 1 给出了 4 种客观评价模型与主观感知的评价值之间的整体混合失真散点图。图中,红色

的 * 是人眼主观观测的 DMOS 值,红色的曲线是四参数 Logistic 函数非线性拟合得到(彩图见本刊电子版)。而蓝色的 * 是客观评价算法得到客观值,散点越集中,说明客观模型与主观感知的一致性越好。图 1(a)是本文提出算法的散点图,其客观评价值 Q 越小,立体图像质量越好,由图可见其散点相对比较集中,与主观评价数据之间的吻合度较高;图 1(b)是 MSSIM 算法的散点图,其客观评价值 Q 越趋向于 1,表明立体图像质量越好;图 1(c)为 MSVD 算法的散点图,客观评价值 Q 越小立体图像质量越好;图 1(d)则是 PSPNR 方法的散点图,感知峰值信噪比越大,立体图像质量也越好。由图 1 可见,MSSIM 评价方法得到的客观评价与人眼主观感知符合度不太好,两者对应点比较离散;本文方法和 MSVD 方法在评价较差质量图像时与主观感知的一致性没有评价较好质量图像时的一致性,而在评价较好质量图像时本文方法优于 MSVD 方法,但在评价较差质量图像时本文方法散点离散度较大,不如 MSVD 方法;而 PSPNR 方法的散点图相对集中,因为该算法也考虑了人眼的恰可察觉失真,总体性能相对较好,但从表 2 可以看出,本文方法的 CC、SROCC、OR 和 RMSE 四项指标均优于 PSPNR 方法。本文方法对于 JPEG、JP2K 压缩、高斯白噪声(WN),高斯模糊(Gblur),H.264 编码失真及所有图像(ALL)的散点图都比较集中,客观说明该模型的有效性,表明提出的立体图像客观评价模型与主观感知一致性较好,可以有效评价立体图像质量。

4 结 论

本文通过分析对称失真立体图像的人眼掩蔽特性,根据人眼对彩色图像不同颜色通道的敏感度不同,利用掩蔽效应对人眼感知立体图像质量产生的影响,提出了基于视觉阈值的奇异值分解的多通道融合客观质量评价模型。由于人眼对不同失真类型的图像的感知敏感度是不一样的,利用人眼恰可察觉失真阈值确定图像的失真程度是否在人眼容忍的范围内,最后通过计算图像差值图和视觉阈值图之间的奇异值距离作为本模型的评价指标。实验结果证明,提出的评价方法对整体失真的评价与人眼感知具有较好的一致性,混

合失真图像的CC系数达到0.94。但实验中的权值参数都是通过一定数量的不同类型立体失真图像实验统计得到,其值还有待进一步研究。在现

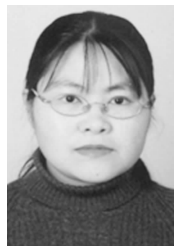
有研究基础上,深入研究双目掩蔽效应对人眼感知的影响和视差对深度感知的影响是未来3D视频图像质量评价的主流方向。

参考文献:

- [1] 张艳,安平,张秋闻,等. 视觉关注度的立体图像质量评价[J]. 中国图像图形学报, 2012, 17(6):722-725.
ZHANG Y, AN P, ZHANG Q W, *et al.*. Stereo image quality assessment based on visual attention [J]. *Journal of Image and Graphics*, 2012, 17(6): 722-725. (in Chinese)
- [2] ZILLY F, KLUGER J, KAUFF P. Production rules for stereo acquisition [J]. *Proceedings of the IEEE*, 2011, 99(4): 590-606.
- [3] SHAO F, JIANG GY, YU M, *et al.*. Asymmetric coding of multi-view video plus depth based 3-D video for view rendering [J]. *IEEE Transactions on Multimedia*, 2012, 14(1):157-167.
- [4] UREY H, CHELLAPPAN K V, ERDEN E, *et al.*. State of the art in stereoscopic and auto stereoscopic displays [J]. *Proceedings of the IEEE*, 2011, 99(4): 540-555.
- [5] 范媛媛,沈湘衡,桑英军. 基于对比度敏感度的无参考图像清晰度评价[J]. 光学精密工程, 2011, 19(10):2485-2493.
FAN Y Y, SHEN X H, SANG Y J. No reference image sharpness assessment based on contrast sensitivity [J]. *Opt. Precision Eng.*, 2011, 19(10): 2485-2493. (in Chinese)
- [6] 袁飞,黄联芬,姚彦. 基于视觉掩盖效应和奇异值分解的图像质量评测方法[J]. 光学精密工程, 2008, 16(4):706-713.
YUAN F, HUANG L F, YAO Y, *et al.*. Study on auto focusing algorithm for automatic microscope [J]. *Opt. Precision Eng.*, 2008, 16(4): 706-713. (in Chinese)
- [7] 唐艳秋,张星祥,李新城,等. 基于人眼视觉灰度识别特性的图像动态范围小波变换处理方法[J]. 液晶与显示, 2012, 27(3):385-390.
TANG Y Q, ZHANG X X, LI X E, *et al.*. Image processing method of dynamic range with wavelet transform based on human visual gray recognition characteristics [J]. *Chinese Journal of Liquid Crystals and Displays*, 2012, 27(3):385-390. (in Chinese)
- [8] 姚军财. 基于人眼对比度敏感视觉特性的图像质量评价方法[J]. 液晶与显示, 2011, 26(3):390-396.
YAO C J. Image quality assessment method based on contrast sensitivity characteristics of human vision system [J]. *Chinese Journal of Liquid Crystals and Displays*, 2011, 26(3):390-396. (in Chinese)
- [9] 沈丽丽,侯春萍,张卓筠,等. 基于三维特征和结构相似度的图像质量评价方法[J]. 光电子·激光, 2010, 21(11):1713-1719.
SHEN L L, HOU C P, ZHANG Z Y, *et al.*. A stereo image quality evaluation method based on three dimensional characteristics and structural similarity [J]. *Journal of Optoelectronics Laser*, 2010, 21(11): 1713-1719. (in Chinese)
- [10] SHAO H, CAO X, ER G H. Objective quality assessment of depth image based rendering in 3DTV system [C]. *Proceedings of 3DTV Conference, Potsdam: IEEE Computer Society Press*, 2009, 5069619: 1-4.
- [11] 周俊明,郁梅,蒋刚毅,等. 利用奇异值分解法的立体图像客观质量评价模型[J]. 计算机辅助设计与图形学学报, 2011, 23(5):870-877.
ZHOU J M, YU M, JIANG G Y, *et al.*. A singular value decomposition based objective quality assessment model on stereoscopic images [J]. *Journal of Computer-Aided Design & Computer Graphics*, 2011, 23(5):870-877.
- [12] SAZZAD Z, YAMAMAKA S, KAWAYOKE Y, *et al.*. Stereoscopic image quality prediction [C]. *International Workshop on Quality of Multimedia Experience, San Diego, CA*, 2009, 5246956: 180-185.
- [13] YANG X K, LIN W S, LU ZH K, *et al.*. Motion-compensated residue preprocessing in video coding based on just noticeable distortion profile [J]. *IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology*, 2005, 15(6):742-752.
- [14] 汪源源,孙志民,蔡铮. 改进的奇异值分解法估计图像点扩散函数[J]. 光学精密工程, 2006, 14(3):520-525.
WANG Y Y, SUN Z M, CAI Z. Estimation of PSF of image system using modified SVD method

- [J]. *Opt. Precision Eng.*, 2006, 14(3):520-525. (in Chinese)
- [15] 杨嘉琛, 侯春萍, 雷建军. 基于人眼视觉特征的立体图像质量客观评价方法[J]. 天津大学学报, 2009, 42(7):622-627.
YANG J C, HOU C P, LEI J J. Objective quality evaluation method of stereo image based on human visual characteristics [J]. *Journal of Tianjin University*, 2009, 42(7):622-627. (in Chinese)
- [16] ZHAO Y, CHEN Z Z, ZHU C, *et al.*. Binocular just-noticeable-difference model for stereoscopic images [J]. *IEEE Transactions on Signal Processing Letters*, 2011, 18(1):19-22.
- [17] ZHOU J M, JIANG G Y, MAO X Y, *et al.*. Subjective quality analyses of stereoscopic images in 3DTV system [C]. *Visual Communications and Image Processing Conference (VCIP2011)*, 2011:1-4.
- [18] BRUNNSTROM K, HANDS D, SPERANZA F, *et al.*. VQEG validation and ITU standardization of objective perceptual video quality metrics standards in a nutshell [J]. *IEEE Transactions on Signal Processing Magazine*, 2009, 26(3): 96-101.
- [19] 顾珊波, 邵枫, 蒋刚毅, 等. 基于支持向量回归的立体图像客观质量评价模型[J]. 电子与信息学报, 2012, 34(2):368-374.
GU S, SHAO F, JIANG G Y, *et al.*. Objective stereoscopic image quality assessment model based on support vector regression [J]. *Journal of Electronics & Information Technology*, 2012, 34(2): 368-374. (in Chinese)
- [20] 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.
- [21] CHOU C H, CHEN C W. A perceptually optimized 3-D sub band codec for video communication over wireless channels [J]. *IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology*, 1996, 6(2):143-156.

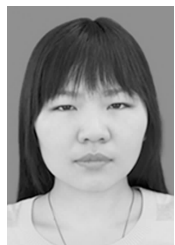
作者简介:



郁梅(1968—),女,江苏无锡人,教授,博士生导师,1993年于杭州电子工业学院获得硕士学位,2000年于韩国Ajou大学获得博士学位,主要从事多媒体信号处理与通信研究。E-mail: yumei@nbu.edu.cn



朱江英(1987—),女,浙江绍兴人,硕士研究生,主要从事多媒体信息处理的研究。E-mail: zhujiangying21@126.com



孔真真(1988—),女,河南许昌人,硕士研究生,主要从事图像处理的研究。E-mail: kongzhenzhen88@126.com