

doi:10.3788/gzxb20184712.1210002

基于立体图像感兴趣区域及对比度的舒适度评价模型

权巍, 赵云秀, 韩成, 丁莹, 姜珊, 李波

(长春理工大学 计算机科学技术学院, 长春 130022)

摘 要: 针对立体图像舒适度难以有效地进行客观评价的问题, 结合人眼视觉注意机制, 提出了基于区域对比度的舒适度评价模型. 根据显著图与视差图提取感兴趣区域作为前景区域; 量化前景和背景区域颜色空间, 估计空间加权区域对比度, 计算前景区域视差角、宽度角; 根据主观评价利用最小二乘法拟合曲线得出客观评价模型. 对比视差+宽度模型可知, 模型预测值与主观评价值的 Pearson 相关系数、Kendall 相关系数较原模型分别提高了 8.1%、3.9%, 且平均绝对值误差减小了 13%, 均方根误差减小了 22.1%. 本文模型的普适性更优, 结果更接近主观评价值.

关键词: 双目立体图像; 视觉舒适度; 对比度; 感兴趣区域; 客观评价; 颜色空间; 最小二乘法

中图分类号: TN911.73

文献标识码: A

文章编号: 1004-4213(2018)12-1210002-7

Comfort Evaluation Model Based on Region of Interest and Contrast of Stereo Images

QUAN Wei, ZHAO Yun-xiu, HAN Cheng, DING Ying, JIANG Shan, LI Bo

(School of Computer Science and Technology, Changchun University of Science and Technology, Changchun 130022, China)

Abstract: A comfort evaluation model was proposed based on regional contrast, aiming at the problem that the stereo image comfort is difficult to effectively evaluate objectively, combined with the human visual attention mechanism. The region of interest was extracted as the foreground region according to the saliency map and the disparity map. Then, the color spaces of the foreground and background region were quantized, and the regional contrast with the spatial weighted was estimated. The parallax angle and width angle of the foreground area were calculated. Finally, according to the subjective evaluation values, the objective evaluation model was obtained by fitting the curve with least-square method. Comparing the D+W model, the Pearson correlation coefficient and the Kendall correlation coefficient of the model prediction value and the subjective evaluation value are 8.1% and 3.9% higher respectively than the original model. The average absolute value error is reduced by 13%, and the root mean square error is reduced by 22.1%. The experimental results show that the model has better universality and the result is closer to the subjective evaluation value.

Key words: Binocular stereo images; Degree of visual comfortable; Contrast; Region of interest; Objective evaluation; Color space; Least square method

OCIS Codes: 100.6890; 330.1400; 330.4060; 330.1800

0 引言

立体显示技术应用广泛, 但由于立体图像的显示机理与人眼视觉生理之间的矛盾, 使得辐辏与聚焦调节不一致, 导致用户在观看时引发眼睛干涩、眼疲劳、恶心、头疼等问题, 甚至造成眼部疾病的发生^[1], 从而限制了立体显示的发展及应用. 为了提高立体影片的观影质量, 在对立体图像或视频进行评价时, 将视觉舒适度

基金项目: 国家自然科学基金(No.61602058)和吉林省科技攻关计划(Nos.20170203003GX, 20170203004GX, 20180201069GX)资助

第一作者: 权巍(1981-), 女, 副教授, 博士, 主要研究方向为计算机视觉、数字图像处理. Email: quanwei@cust.edu.cn

通讯作者: 韩成(1978-), 男, 副教授, 博士, 主要研究方向为数字媒体与虚拟现实. Email: hancheng@cust.edu.cn

收稿日期: 2018-07-30; 录用日期: 2018-09-14

<http://www.photon.ac.cn>

纳入考量范围^[2],将其作为评判标准之一。

目前对立体图像的舒适度评价多采用人工评分主观评价模式,这种评价模式需要专业的评价环境和巨大的人力耗费.因此,亟需建立一套高效、准确的视觉舒适度评价模型,以指导立体拍摄.影响视觉不适的原因除设备本身、人的生理^[3]及心理的影响外还包括立体图像的视差^[4]、视差梯度、物体宽度、空间频率、图像的特征(亮度、色度、对比度 \dots)^[5-7]等.对于立体图像舒适度的评价研究,目前已取得了较好的成果.LEE S I等^[8]对前景目标宽度定量分析得出视差+宽度(D+W)的立体视觉舒适度评价模型.SOHN H等^[9]分析前景目标宽度、视差的均值、方差、最大值、范围等因素,将影响因素组合提出加权视差最大值、相对视差和物体宽度相结合的视觉舒适度模型.王勤等^[10]逐步调整视差角和空间频率得出立体显示较好的视差范围和与之对应的空间频率范围.胡佳洁、刘畅等^[11-12]通过实验得出左右视图的对比度差异门限值范围,其正确率可达到90%以上.姜求平等^[13]根据视觉重要区域提取了视差幅度特征、视差梯度边缘特征以及空间频率特征,并根据平均主观意见分(Mean Opinion Score, MOS)建立了客观预测模型。

虽然以上的研究都对立体舒适度客观评价起到了积极的作用,但并没有具体阐明对比度对立体舒适度的量化影响.同时,立体舒适度是一种多因素综合影响的结果,还需要考虑多种影响因素并量化其影响程度,因此本文通过提取感兴趣区域的视差图,综合视差角、宽度角、区域对比度等影响视觉舒适度的因素,建立了多维度的立体图像舒适度评价模型.通过模型量化视觉舒适度,并计算与主观评分值间的一致性系数与误差系数,得出在自然立体图像视觉舒适度评测上,本文模型较D+W模型^[8]更接近主观评分值。

1 基于立体图像感兴趣区域的特征提取

在进行立体舒适度评价时,仍有大量不能被量化因素,故将人眼主观感受作为参考依据,提出了一种基于感兴趣(Region of Interest, ROI)区域及区域对比度的立体舒适度评价方法,其流程如图1所示.首先,选择右眼为主视点,根据主视点图像获取显著区域,结合视差信息进一步获得感兴趣区域^[13];然后,将感兴趣区域作为前景区域,提取前景区域的视差与宽度信息,计算前景与背景对比度;最后,建立立体舒适度评测模型。

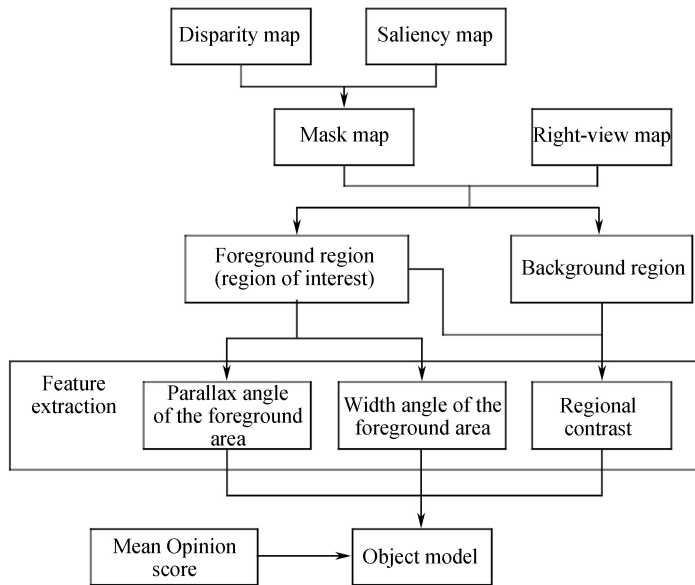


图1 基于感兴趣区域及区域对比度的立体舒适度评价方法流程

Fig.1 The flowchart of stereo comfort evaluation method based on region of interest and region contrast

1.1 获取感兴趣区域

人类可以从复杂的场景中快速地找出感兴趣区域,实现场景的理解,得益于人类视觉系统的信息选择策略,利用视觉注意机制引导人眼在海量数据中优先选择“感兴趣区域”,并对其分配资源优先处理.所以在评价立体视觉舒适度的过程中,有效地利用感兴趣区域提取舒适度特征信息尤为重要.由于基于图形的视觉显著性(Graph-Based Visual Saliency, GBVS)检测算法利用标准技术从一幅图像中提取出一系列的特性,如强度、方向、颜色和对比度等以形成低阶特征图,定义在不同特征图谱下的马尔科夫链,然后将图像上均衡分布

的区域作为活动的显著区域,故通过 GBVS 显著性检测算法对右眼图像(以右视点为主导眼)进行显著区域提取,得到显著图 $IS_R(x, y)$.采用线性方式将显著图与视差图 $D_R(x, y)$ 进行结合,得到同时包含平面显著信息和立体深度信息的立体显著图 $IIS(x, y)$,如式(1)所示,式中 $\omega_1 + \omega_2 = 1$,本文取 $\omega_1 = \omega_2 = 0.5$ ^[14].

$$IIS(x, y) = \omega_1 IS_R(x, y) + \omega_2 D_R(x, y) \quad (1)$$

为得到感兴趣区域,先将立体显著图进行阈值分割处理得到掩膜图像 $IIM(x, y)$,具体方法如式(2),式中 $C(x, y)$ 为 (x, y) 处的像素值, T 为其分割阈值.若 $C(x, y) > T$ 则该像素属于感兴趣区域,对应掩膜图像中白色区域,否则属于黑色区域.使用预置的感兴趣区掩膜与右视图、视差图相乘,分别得到感兴趣区图像和感兴趣区视差图,将感兴趣区域作为前景区域.对感兴趣区掩膜图像取反,并与右视图相乘可得背景区域.感兴趣区域获取的具体过程如图 2 所示,其中第一列为简单场景与复杂场景下图像的右视图,第二列到第七列分别为对应的是视差图、显著图、立体显著图、感兴趣区域掩膜图、感兴趣区域图与感兴趣区域视差图.

$$IIM(x, y) = \begin{cases} 1 & C(x, y) > T \\ 0 & \text{else} \end{cases} \quad (2)$$

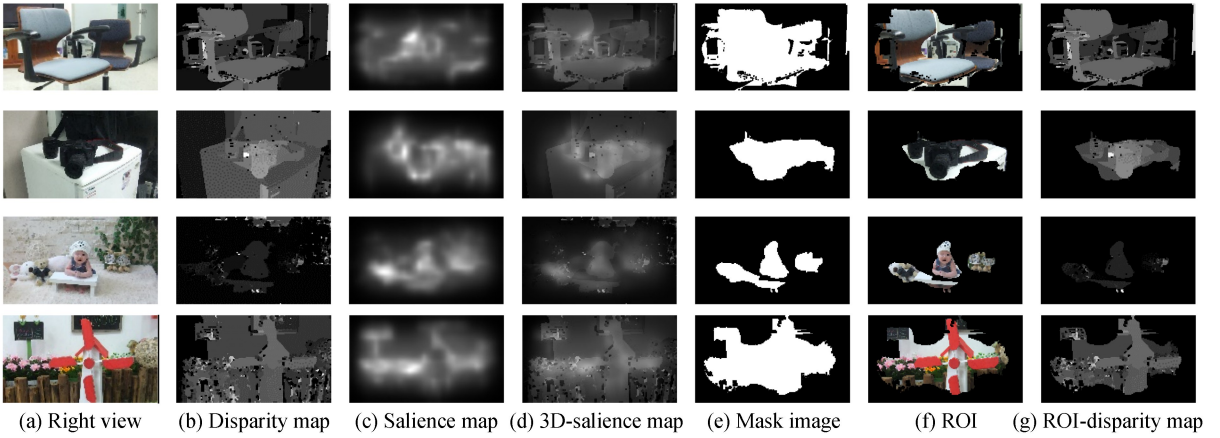


图 2 感兴趣区域获取过程
Fig.2 Acquisition process of ROI

1.2 获取视差角

在传统的立体显示器中,双眼的聚散运动随着屏幕差异而变化,而调节倾向于保持固定在显示屏幕上,这种现象导致辐辏和调节之间的冲突(Accommodation and Vergence, AV 冲突).根据以往的研究发现,视差是影响视觉舒适度的一个关键因素,屏幕视差的大小会影响 AV 冲突,导致视觉不适.当视差超过人类视觉系统(Human Visual System, HVS)耐受水平后,可能诱发各种不适症状(例如眼睛疲劳和头痛).

视差角是衡量视差的一种方法,主要由屏幕视差与观看者距屏幕距离决定.根据研究^[8]发现视差角的范围应在 0.5 到 2.0 之间,当视差角为 0.5 时对视觉舒适度的影响较小,而当视差角的度数大于 2.0 时,许多受试者会出现复视,因此需要控制视差角在合理范围内.为获取视差角,本文首先在感兴趣区域视差图中,令 $d(x, y)$ 为视差图中像素 (x, y) 处的视差值,设前景区域的平均视差值为 D_f ,如式(3)所示,其中 o_f 表示前景区域, $|o_f|$ 表示 o_f 区域内像素总数.则前景区域的平均视差角 d_θ 可由式(4)计算得出.其中, k 为放映放大率, D 表示视差, L 为观看时距屏幕距离.

$$D_f = \frac{1}{|o_f|} \sum_{(x, y) \in o_f} d(x, y) \quad (3)$$

$$d_\theta = 2 \arctan \frac{kD}{2L} \quad (4)$$

1.3 获取宽度角

宽度对视觉舒适度的影响随视差幅度而变化,当视差一定时,双眼融合时间随着宽度的减小而增加.也就是说,当宽度减小时,造成视觉压力增大,调节聚光系统可能需要更多的时间来解决视觉压力.当视差较大且对象宽度较小时,双眼融合困难可能增加视网膜图像融合的压力,导致融合失败,即复视.

本文通过从宽度角的角度来反映宽度对视觉舒适度的影响,根据研究^[8]发现宽度角的范围应为 0.25 到 4.0,D+W 模型中的宽度角为图像所示场景中前方物体的宽度角,而本文中的宽度角为感兴趣区域平均宽度角,由于此宽度角为视觉注意区域的宽度角,因此取值范围与 D+W 模型中的范围有所不同.为获取宽度角,首先,扫描前景区域的水平线,并使用水平线的平均宽度来估计前景区域宽度 W_f ,即

$$W_f = \frac{1}{N_f} \sum_{n=1}^{N_f} l_f^n \quad (5)$$

式中 N_f 表示前景区域内水平线的数量, l_f^n 表示前景区域内第 n 条水平线长度.则宽度角 ω_a 为

$$\omega_a = 2\arctan\left(\frac{k\omega}{2L}\right) \quad (6)$$

式中 ω 表示宽度, k 为放映放大率, L 为观看时距屏幕距离.

1.4 提取基于场景分割的对比度

人们对于与周围环境具有强烈对比的那些图像目标区域更注意.除了空间关系,对比度也在人类注意力中扮演了重要角色.参考文献^[15]的方法,对比度值通过区域间的对比以及对应的空间距离进行度量.根据文中阐述,如果仅用亮度来计算的话,颜色信息的差异会被忽略,因此,使用全颜色空间用亮度近视代替.为减少需要被考虑的颜色数量,本文将每个颜色通道量化为 16 个不同值,这就将颜色的数量减少了 4 096 倍.考虑到自然图像中的颜色仅仅包含全颜色空间中很小的一部分,通过忽略出现频率较低的颜色来进一步减少颜色数量.通过选择高频颜色并且保证这些颜色覆盖图像像素不低于 95% 的颜色.剩下的像素颜色,包含不高于 5% 的图像像素,这部分颜色被直方图中最邻近颜色替代,最后通过该方法建立前后景区域的颜色直方图.图 3 为通过颜色量化与阈值截断后得到的前景区域的空间颜色直方图.



图 3 颜色通道量化及量化后前景颜色直方图

Fig.3 Color channel quantization and the color histogram of quantized foreground

Lab 颜色模型基于人对颜色的感觉,其中数值描述正常视力的人能够看到的所有颜色.由于不是所有在范围 $L \in [0,100]$, $a, b \in [-128,127]$ 中的颜色都与实际颜色对应,所以颜色的量化在 RGB 空间中进行,但是为了与人类感知相符合,在 Lab 的颜色空间中进行空间颜色距离的度量.然后在 Lab 空间内,获取前后景区域间的颜色距离集合.区域 r_1 和 r_2 之间的颜色距离 $d_r(r_1, r_2)$ 被定义为

$$d_r(r_1, r_2) = \sum_{i=1}^{n_1} \sum_{j=1}^{n_2} f(c_{1,i}) f(c_{2,j}) d(c_{1,i}, c_{2,j}) \quad (7)$$

式中 $f(c_{k,i})$ 表示第 i 个颜色 $c_{k,i}$ 在第 k 个区域 r_k 的所有颜色 n_k 中出现的频率, $d(c_{1,i}, c_{2,j})$ 表示区域 1 中第 i 个颜色与区域 2 中第 j 个颜色在 Lab 空间内的颜色距离.

为调整前、后景区域的影响,在对比度中进一步包含空间信息,引入空间加权.基于空间加权的区域对比度 C_{r_k, r_i} 定义为

$$C_{r_k, r_i} = \exp(-S_r(r_k, r_i)/\sigma_s^2) d_r(r_k, r_i) \quad (8)$$

式中 $S_r(r_k, r_i)$ 是区域 r_k 与 r_i 之间的空间距离, σ_s 控制空间权值的强度. σ_s 越大空间权值的影响越小,则背景区域的影响越显著.两区域间的空间距离被定义为区域重心间的欧几里得距离.其中,像素坐标为归一化后结果,取 $\sigma_s^2 = 0.4^{[15]}$.

2 结果与分析

2.1 建立模型

D+W 模型反映了视差角与宽度角对舒适度(Visual Comfortable, VC)的影响,其模型可表示为

$$VC(D, \omega) = 80.07 - 17.71D + 4.78\ln(\omega) - 0.52D\ln(\omega) \quad (9)$$

式中, $0.50 \leq D \leq 2.00$ 且 $0.25 \leq \omega \leq 4.00$. 该模型根据韩国先进科学院立体图像库^[16]提供的图像和对应的主观评分得出. 该立体图像库由 120 幅分辨率为 1920×1080 的立体图像组成, 包含各种生物与非生物实体的自然、非自然场景. 同时, 该数据库提供了每幅立体图像的平均主观评价分数(MOS), MOS 值越大表示立体图像舒适度越高. 该立体图像库的主观评价环境按照 ITU-R BT.500-11^[17] 和 ITU-R BT.1438^[18] 推荐设置. 使用了一个线性偏振光立体显示(Redrover SDM-400[®]). 18 名受试者戴着偏光眼镜观看视觉刺激, 观看距离为 1.5 米, 约为显示器高度的三倍, 水平和垂直视角分别为 32.91° 和 18.85° . 对实验者进行训练, 按照 5 个评分等级(5-非常舒适, 4-舒适, 3-一般舒适, 2-比较不舒适, 1-非常不舒适)对图像进行评价. 将式(9)量化为 5 分制, 如式(10)所示, 将对比度加入到此模型中, 首先将式(10)中包含变量 D 与 ω 的函数项提取出来, 用 $f(D, \omega)$ 表示, 如式(11). 令 $VC(D, \omega) = VC(D, \omega_a, c) = MOS$, 则常数项与对比度项由式(12)表示.

$$VC(D, \omega) = 4.2028 - 0.7084D + 0.1912\ln(\omega) - 0.0208D\ln(\omega) \quad (10)$$

$$f(D, \omega) = 0.7084D - 0.1912\ln(\omega) + 0.0208D\ln(\omega) \quad (11)$$

$$VC(D, \omega_a, c) + f(D, \omega_a) = f(c) \quad (12)$$

图 4 显示了 IVY 数据库中符合模型条件的 72 组图像的 $VC(D, \omega_a, c) + f(D, \omega_a)$ 与对比度的关系, 横坐标表示对比度, 纵坐标表示舒适度评分与包含 $D+W$ 变量的函数的和, 从中可以看出两者间存在相关关系. 在 Matlab 中使用最小二乘法做曲线拟合得到式(13), 将 $f(D, \omega_a)$ 右移整理得舒适度模型为式(14). 在本文中, (9)~(14)中 D 的取值范围均为 $0.50 \leq D \leq 2.00$.

$$VC(D, \omega_a, c) + f(D, \omega_a) = 0.0015c^2 - 0.0572c + 4.8736 \quad (13)$$

$$VC(D, \omega_a, c) = 4.8736 - 0.7084D + 0.1912\ln(\omega_a) - 0.0208D\ln(\omega_a) + 0.0015c^2 - 0.0572c \quad (14)$$

$(0.50 \leq D \leq 2.00)$

2.2 模型性能分析

为验证模型客观性能, 在韩国先进科学院提供的立体图像库(IVY)中随机选取 70 组满足视差角条件 ($0.50 \leq D \leq 2.00$) 的图像作为本次试验的样本数据集. 通过计算客观模型预测值与主观评分的相关性来度量客观模型的性能, 通过计算主观评分与客观模型预测值间的 Pearson 相关系数 (Pearson Linear Correlation Coefficient, PLCC), Kendall 相关系数 (Kendall Rank-order Correlation Coefficient, KRCC), 平均绝对值误差 (Mean Absolute Error, MAE) 和均方根误差 (Root Mean Squared Error, RMSE) 4 组客观参量对模型进行性能度量^[19]. 其中 PLCC, KRCC 相关系数反映的是两变量间变化趋势的方向及程度, 范围为 -1 到 $+1$. 正值表示正相关, 负值表示负相关, 0 表示两变量不相关, 值越大相关性越强. 平均绝对值误差和均方根误差反映预测值与真值间的偏差情况, 值越小说明相关性越强. 图 5 为主观评价与模型预测值间的关系. 通过计算得出 Pearson 相关系数为 0.870 , Kendall 相关系数为 0.673 , 平均绝对值误差和均方根误差分别为 0.247 、 0.294 . 而原 $D+W$ 模型的 Pearson 相关系数为

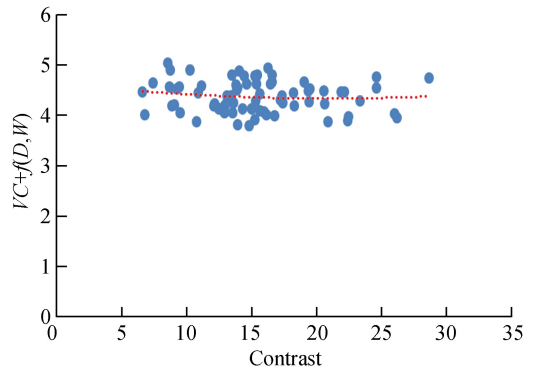


图 4 $VC(D, \omega_a) + f(D, \omega_a)$ 与对比度的关系
Fig.4 The relationship of $VC(D, \omega_a) + f(D, \omega_a)$ with contrast

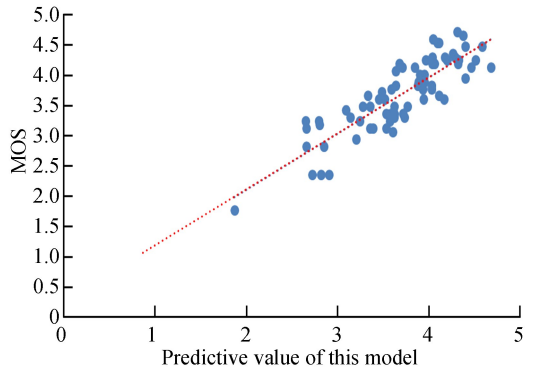


图 5 模型预测值与主观评价值的关系
Fig.5 The relationship between the predictive value of the model and the subjective evaluation value

0.829, Kendall 相关系数为 0.628, 平均绝对值误差为 0.332, 均方根误差为 0.450. 本文性能高于原 D+W 模型, 且评估误差较小, 较原模型有所改进.

为验证本模型的普适性, 另外选取 20 组立体图像进行结果性能验证, 图 6 为 20 组室内外简单或复杂场景下的图像的右视图. 根据本文的模型计算得出 20 组测试集的视觉舒适度预测结果, 并与对应的主观评价价值进行趋势对比, 如图 6 所示. 计算出预测结果与主观评价价值的 Pearson 相关系数、Kendall 相关系数、平均绝对值误差和均方根误差, 并分别与 D+W 模型、SMMO 模型、SMM 模型进行对比, 如表 1 所示. 通过表 1 的分析可知本文方法的 Pearson 相关系数与 Kendall 相关系数高于 D+W 模型, 平均绝对值误差和均方根误差较 D+W 模型小. 对比 SMMO 模型, 本文方法的 Pearson 相关系数较优, 且两组误差值均较小. 而对比 SMM 模型, 虽然主观评价价值与客观模型预测值间的相关性低于 SMM 模型, 但是平均绝对值与均方根误差结果较好, 且 SMMO 与 SMM 模型是在基于场景模式分类的基础上提出, 分类讨论较为复杂, 不易实现. 而本文方法的实效性能较好, 且评价过程简单快速, 能够适用于立体视频客观舒适度的评测. 通过表 1 和图 7 的分析, 可得出本文方法不仅适用各种场景且在性能上较优, 与主观评测值之间的误差较小, 能真实反映出客观舒适度.



图 6 20 组测试集中的右视图
Fig.6 Right-view images of 20 test sets

表 1 模型性能指标及对比
Table 1 The analysis of model performance

Model	PLCC	KRCC	MAE	RMSE
D+W ^[8]	0.829	0.628	0.332	0.450
SMMO ^[19]	0.855	0.723	0.300	0.418
SMM ^[20]	0.919	0.748	0.237	0.318
Proposed	0.910	0.667	0.202	0.239

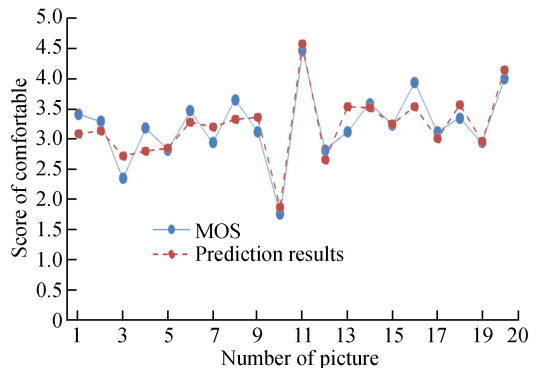


图 7 测试集的预测结果与主观评价价值的对比趋势图
Fig.7 The trend chart for comparison of test set prediction results and subjective evaluation values

3 结论

基于视觉注意机制, 在 D+W 模型基础上加入区域对比度特征, 建立了一种包含视差、宽度及对比度信息的立体图像客观评价模型. 根据显著信息及视差信息提取感兴趣区域划分前景, 提取相应的视差信息、

宽度信息及对比度信息,定量分析这些特征对视觉舒适度的影响.并通过最小二乘法做曲线拟合分析得出舒适度模型,并检验模型的性能.实验结果表明本文方法较好地反映了人眼的视觉感受,性能较原模型有大幅度提升.

参考文献

- [1] KOOI F L, LUCASSEN M. Visual comfort of binocular and 3D displays[C]. Human Vision and Electronic Imaging VI. International Society for Optics and Photonics, 2001: 99-108.
- [2] CHEN W, FOURNIER J, BARKOWSKY M, *et al.* Quality of experience model for 3DTV[C]. SPIE, 2012, **8288**(59): 82881P.
- [3] WANG Qiong-hua, PAN Dong-dong, LI Xiao-fang, *et al.* The relationship between pupil diameter and visual fatigue in autostereoscopic display[J]. *Acta Photonica Sinica*, 2011, **40**(3): 350-353.
王琼华,潘冬冬,李小方,等.自由立体显示器观看者瞳孔直径与视疲劳关系[J].光子学报,2011,**40**(3):350-353.
- [4] PAN H, DALY S. 3D video disparity scaling for preference and prevention of discomfort[C]. SPIE, 2011, **7863**(4): 786306.
- [5] ZANG Yan-jun, LI Su-mei, WEI Jin-jin, *et al.* Range measurement of the brightness parameter influencing the comfort of stereoscopic images[J]. *Electronic Measurement Technology*, 2012, **35**(2): 59-64.
臧艳军,李素梅,卫津津,等.影响立体图像舒适度的亮度范围测定[J].电子测量技术,2012,**35**(2):59-64.
- [6] WANG Xiao-yan, WANG Shi-gang, JIANG Xiu-hong, *et al.* Evaluation of stereo video visual comfort based on luminance optimization[J]. *Chinese Optics*, 2015, **8**(3): 394-400.
王晓燕,王世刚,姜秀红,等.亮度优化立体视频视觉舒适度评价[J].中国光学,2015,**8**(3):394-400.
- [7] DUAN Zhi-cheng, CHANG Yong-li, LI Su-mei, *et al.* Measurement of comfort degree and chromaticity range of stereo image based on saliency region[J]. *Acta Photonica Sinica*, 2018, **47**(1): 0133001.
段志成,常永莉,李素梅,等.基于显著性区域的立体图像舒适色度范围的测量[J].光子学报,2018,**47**(1):0133001.
- [8] LEE S I, YONG J J, SOHN H, *et al.* Effect of stimulus width on the perceived visual discomfort in viewing stereoscopic 3-D-TV[J]. *IEEE Transactions on Broadcasting*, 2013, **59**(4): 580-590.
- [9] SOHN H, YONG J J, LEE S I, *et al.* Predicting visual discomfort using object size and disparity information in stereoscopic images[J]. *IEEE Transactions on Broadcasting*, 2013, **59**(1): 28-37.
- [10] WANG Qin, WANG Qiong-hua, LIU Chun-ling. Effects of parallax and spatial frequency on visual comfort of autostereoscopic display[J]. *Journal of Optoelectronics & Laser*, 2012, **23**(8): 1604-1608.
王勤,王琼华,刘春玲.视差与空间频率对自由立体显示器观看舒适度的影响[J].光电子·激光,2012,**23**(8):1604-1608.
- [11] HU Jia-jie, LI Su-mei, CHANG Yong-li, *et al.* Measurement of comfortable contrast range of stereo image based on salient region[J]. *Acta Optica Sinica*, 2018, **38**(2): 0215001.
胡佳洁,李素梅,常永莉,等.基于显著区域的立体图像舒适对比度范围的测量[J].光学学报,2018,**38**(2):0215001.
- [12] LIU Chang, LI Su-mei. Measurement of the range of contrast parameter influencing the comfort of stereoscopic images [J]. *Journal of Optoelectronics & Laser*, 2014, **25**(4): 748-755.
刘畅,李素梅.影响立体图像舒适度的对比度范围的测定[J].光电子·激光,2014,**25**(4):748-755.
- [13] JIANG Qiu-ping, SHAO Feng, JIANG Gang-yi, *et al.* An objective stereoscopic image visual comfort assessment metric based on visual important regions[J]. *Journal of Electronics and Information Technology*, 2014, **36**(4): 875-881.
姜求平,邵枫,蒋刚毅,等.基于视觉重要区域的立体图像视觉舒适度客观评价方法[J].电子与信息学报,2014,**36**(4): 875-881.
- [14] WANG J, DA S M, LE C P, *et al.* Computational model of stereoscopic 3D visual saliency[J]. *IEEE Transactions on Image Processing*, 2013, **22**(6): 2151-2165.
- [15] CHENG M M, MITRA N J, HUANG X, *et al.* Global contrast based salient region detection[C]. Computer Vision and Pattern Recognition, IEEE, 2011: 409-416.
- [16] IVY Lab stereoscopic image database[OL]. [2013-03-12]. <http://ivylib.kaist.ac.kr/demo/3DVCA/3DVCA.htm>.
- [17] RECOMMENDATION I. ITU-R BT.500-11: Methodology for the subjective assessment of the quality of television pictures[S]. 2002.
- [18] ITU-R BT.1438: Subjective assessment for stereoscopic television pictures[S]. 2000.
- [19] YING H, JIANG G, YU M, *et al.* New stereo visual comfort assessment method based on scene mode classification [C]. International Workshop on Quality of Multimedia Experience, IEEE, 2015.
- [20] YING Hong-wei, JIANG Gang-yi, YU Mei, *et al.* Objective visual comfort assessment model of stereo image based on scene mode[J]. *Journal of Electronics and Information Technology*, 2016, **38**(2): 294-302.
应宏微,蒋刚毅,郁梅,等.基于场景模式的立体图像舒适度客观评价模型[J].电子与信息学报,2016,**38**(2):294-302.

Foundation item: National Natural Science Foundation of China (No.61602058), Key Science and Technology Program of Jilin Province, China (Nos.20170203003GX, 20170203004GX, 20180201069GX)

引用格式:QUAN Wei, ZHAO Yun-xiu, HAN Cheng, *et al.* Comfort Evaluation Model Based on Region of Interest and Contrast of Stereo Images[J]. *Acta Photonica Sinica*, 2018, **47**(12): 1210002

权巍,赵云秀,韩成,等.基于立体图像感兴趣区域及对比度的舒适度评价模型[J].光子学报,2018,**47**(12):1210002