

doi:10.3788/gzxb20184701.0133001

# 基于显著性区域的立体图像舒适色度范围的测量

段志成,常永莉,李素梅,胡佳洁

(天津大学 电气自动化与信息工程学院 无线宽带通信和立体成像研究所,天津 300072)

**摘 要:**结合视觉注意机制,通过大量主观实验定量地对影响立体图像视觉舒适度的色度因素进行了研究.首先,结合视差图和平面显著图获得立体显著度图,再利用模糊隶属度和掩膜对其优化得出最终的显著立体图像,并采用眼动仪对所得显著立体图像的合理性进行验证;然后,采用由粗到细的逐级逼近法获得实验数据,利用视觉感知正常的被试者进行主观实验,得到不同场景显著立体图像的舒适色度匹配图和差异图.实验结果表明,左右视图舒适色度区间会随着不同场景而不同,双目视图舒适色度差异值平均最大可为  $122.5^\circ$ ,即左右视图色度差异不能过大.所得舒适色度范围很好地反映了立体图像的舒适度,不仅为立体信息的质量评价提供了评判依据而且为立体内容的制作提供了更有力的技术支持.

**关键词:**视觉舒适度;双目立体图像;色度;视觉显著性区域;主观评价

中图分类号:TN911.73

文献标识码:A

文章编号:1004-4213(2018)01-0133001-9

## Measurement of Comfort Degree and Chromaticity Range of Stereo Image Based on Saliency Region

DUAN Zhi-cheng, CHANG Yong-li, LI Su-mei, HU Jia-jie

(Institute of Broadband Wireless Communication and Stereo image, School of Electrical and Information Engineering, Tianjin University, Tianjin 300072, China)

**Abstract:** Based on the visual attention mechanism, a large number of subjective experiments were conducted to quantitatively study the chromaticity factors that affect the visual comfort of stereo images. First, the stereo salient map was obtained by combining disparity map and flat salient map, then the stereo salient map was optimized by using fuzzy membership and mask to get final salient image, and the eye tracker was used for the salient stereoscopic images to verify the rationality; then, a gradual approach method was used for subjective experiments to obtain experimental data, and after that remarkable comfortable color matching map and difference map of three-dimensional images in different scenes were obtained by a large number of subjective experiments. The experimental results show that the comfort and chromaticity interval of left and right view will vary with different scenes, and the maximum average chromaticity comfort difference of binocular vision can be  $122.5^\circ$ , that is to say, the chromaticity difference between left and right views should not be too large. The comfort and chromaticity range obtained can reflect the comfort of stereo images well, and provide the basis for judging the quality of stereoscopic information and more powerful technical support for stereo content making.

**Key words:** Degree of visual comfort; Binocular stereo; Chromaticity; Visual salient region; Subjective evaluation

**OCIS Codes:** 330.0330; 330.1400; 330.1690; 330.1710; 330.7310

基金项目:国家自然科学基金(Nos.61520106002,161471262)资助

第一作者:段志成(1993-),男,硕士研究生,主要研究方向为立体图像质量评价. Email:duanzhch@tju.edu.cn

导师(通讯作者):李素梅(1975-),女,副教授,博士后,主要研究方向为立体图像质量评价、模式识别及神经网络. Email:lisumei@tju.edu.cn

收稿日期:2017-05-31;录用日期:2017-09-11

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

## 0 引言

近年来,三维立体显示技术发展迅猛,特别是在商业立体电影和虚拟现实(Virtual Reality,VR)等方面,虽然3D显示技术有效地增强了观众的视觉体验,提供更加身临其境的立体可视化,但是低质量的立体图像可以引发视觉不舒适<sup>[1]</sup>,视觉不舒适是一种主观感受,通常用视觉舒适度衡量<sup>[2]</sup>.视觉不舒适的主要来源有显示设备本身、立体内容、人的生理心理等.立体内容缺乏是制约立体成像技术普及的重要因素<sup>[3]</sup>,因此,制作丰富的立体内容显得尤为重要,而影响立体内容不舒适的因素有很多,比如亮度、色度、饱和度等.如果能够得到关于各影响因素的量化标准,将为立体内容的制作提供强有力的技术支持.

文献[4]定性研究了亮度、色度、对比度等因素对双目立体图像舒适度的影响,结果表明,如果双目视图不匹配程度超过一定的门限将会严重降低立体图像视觉舒适度.文献[5]指出,大视差能够增强立体感,但也经常导致视觉不舒适.文献[6]提出了一种新的视觉舒适度增强方法用于处理立体图像视觉信号,在观看立体电影时提供给观众更舒适的感觉.文献[7]定性研究了色度、亮度、对比度以及分辨率4个参数对双视点立体成像系统显示效果的影响,并分析说明了参数变化对成像效果造成影响的原因.文献[8]系统地阐述了观看立体图像引起视觉疲劳的生理因素,指出引起视疲劳的原因之一是颜色和亮度差异过大的左右视图在观看者眼中出现不匹配视差图像对.

目前,国内外对立体图像舒适度的研究大都是定性的,且没有统一的评定标准.为了更直接、更准确地判断给定的立体图像视觉舒适度与否,需要进行定量地研究.部分文献对影响观看舒适度的各种因素进行了定量研究.文献[9]对影响立体图像舒适度的色度因素进行了定量研究.文献[10]对影响立体图像舒适度的对比度和视差等因素进行了定量研究,但这些方法都是基于整幅立体图像.文献[11]表明,人类视觉系统的一个重要特性是视觉注意,而人眼视觉往往只关注场景的感兴趣区域.图像显著性区域是人眼视觉的一个重要特性,该特性已应用在很多方面,并取得了很好的结果.本文结合人眼视觉注意机制,定量研究色度因素对立体图像观看舒适度的影响.实验结果表明,依据本文方法得到的舒适色度的量化范围更加符合人眼视觉主观观测的结果.

## 1 实验

### 1.1 实验设备及素材

立体显示器采用冠捷(AOC)公司的22in偏光式3D立体显示器.眼动仪采用德国SMI公司的iView X RED,眼动仪用来验证论文算法所获得立体显著区域的正确性.实验素材选用韩国先进科学技术院所提供的立体图像数据库作为立体图像样本数据集<sup>[12]</sup>,该立体图像库包含120对分辨率为1920x1080的多种类型的图像(人、树木、建筑等).实验选取该立体图像库中四幅源立体图像 pingpang.bmp、signboard.bmp、kid.bmp 和 flower.bmp,如图1所示.

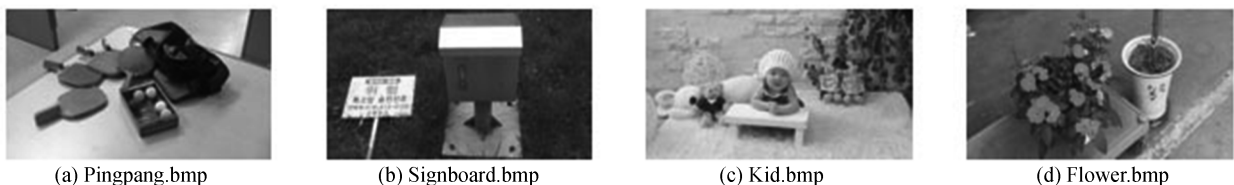


图1 4幅源立体图像  
Fig.1 4 source of stereo images

### 1.2 实验环境及被试者

为避免杂散光影响被试者的主观评价结果,实验需在暗室中进行.对于22英寸全高清显示器,观看距离应为屏幕高度的三倍距离<sup>[13]</sup>.

为保证实验结果的正确性,所有参与实验的人员均为天津眼科医院进行双目视觉功能测试的合格被试者.实验选取双目视觉生理正常的被试者共28人,其中男性13人,女性15人;有立体技术研究背景的12人,没有立体技术研究背景的16人,且被试者主眼都是右眼.

### 1.3 主观评价

主观评价是该论文实验定量研究的重要依据.实验前,先向被试者介绍实验评价方法和评分等级,并对被试者进行实验训练使其更加明白评分规则,保证实验评分结果的准确性.

实验测试采用单刺激方法,同一幅待测图像在实验中显示 2 次,若同一被试者对同一立体图像给出相差 2 级及以上的评分时,此分值视为无效评分.根据 ITU-R BT.1438 立体图像主观评价推荐准则,将立体图像的舒适度分为 5 个等级.允许被试者给出半分的分值,舒适度良好的立体图像应达到 4 分(含)以上,即舒适立体图像有效评分的统计平均值  $\bar{C} \geq 4$  分.

### 1.4 实验过程

实验流程为:1)立体显著度图的提取.二维图像显著图与立体图像视差图结合得到立体显著度图.2)显著立体图像的获取.对立体显著度图进行优化处理,立体显著度图经过模糊原理处理及掩膜优化得到显著立体图像.3)主观实验.将显著立体图像进行色度分级步长变换并进行主观实验.4)得到舒适色度匹配图和舒适色度差异图.实验流程图如图 2 所示.

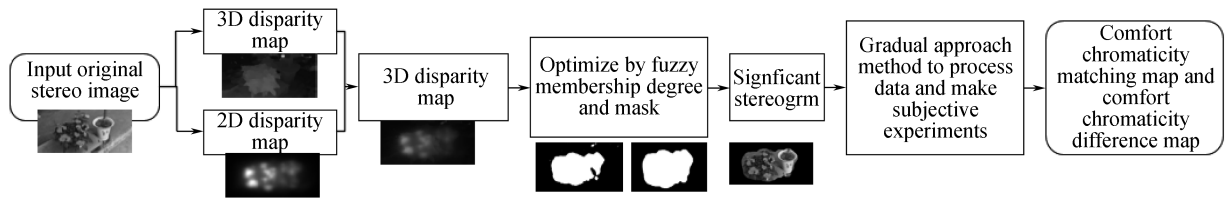


图 2 算法流程

Fig.2 The algorithm flowchart

#### 1.4.1 立体显著度图的获取

根据人眼的立体视觉注意特性,观察者会对图像中显著区域的内容更为关注.因此,可以采用显著立体图像的舒适度来反映整幅立体图像的舒适度情况,以提高测试准确率并减少计算复杂度.立体图像视差特性和空间频率都会影响视觉舒适度<sup>[14]</sup>.因此,通过立体图像视差图和二维图像显著图最终获得立体显著度图.

二维图像显著图通过图像本身的亮度、色度、对比度和空间频率等因素进行计算.本文采用基于图的显著性算法(Graph-based Visual Saliency, GBVS)<sup>[15]</sup>计算得到右视点平面显著图,记为  $SM_R(x, y)$ .采用快速立体匹配算法<sup>[16]</sup>得到以右视点为基准的视差图,记为  $d_R(x, y)$ .采用线性方式将平面视觉显著图  $SM_R(x, y)$ 和右视差图像  $d_R(x, y)$ 进行加权得到立体显著度图  $I(x, y)$ 为

$$I(x, y) = w_1 d_R(x, y) + w_2 SM_R(x, y) \quad (1)$$

式中,  $I(x, y)$ 为立体显著度图;  $w_1$  和  $w_2$  为加权比重,且  $w_1 + w_2 = 1$ ;本文取  $w_1 = w_2 = 0.5$ .

#### 1.4.2 显著立体图像的获取

由于得到的立体显著度图的灰度值  $L \in (0, 255)$ ,图像的灰度分布和显著区域边缘等信息都具有模糊性,因此需要确定一个阈值,使之能够将灰度显著度图进行显著区域与非显著区域的划分.本文利用模糊数学的理论来描述图像的特征信息<sup>[17]</sup>,将立体显著度图进行优化,得到优化后的显著图为二值图像,称为掩膜图像,像素点的像素值为 1 表明原立体图像中的该点属于显著区域,反之属于非显著区域.

假设论域  $X$  为立体显著度图,将论域中的元素分为两类,显著区域  $A$  和非显著区域  $B$ ,  $A$  和  $B$  是  $X$  的一个划分,即

$$A \cup B = X, A \cap B = \emptyset$$

立体显著度图的灰度值表示原始图像中该像素点属于显著区域的程度,因此可以直接给出隶属函数,如  $A(x, y)$ 表示像素点  $(x, y)$ 处的灰度值  $L$  对显著区域  $A$  的隶属度.因为最终目标是得到显著区域  $A$ ,因此需要去模糊.采用阈值分割的方法,分割阈值  $T$  由最大类间方差方法确定<sup>[18]</sup>.通过该阈值去模糊得到掩膜图像  $M(x, y)$ ,如

$$M(x, y) = \begin{cases} 1 & (A(x, y) > T) \\ 0 & (\text{其他}) \end{cases} \quad (2)$$

对于立体显著度图  $I(x, y)$ 中的任一像素点  $(x, y)$ ,若  $A(x, y)$ 对显著区域的的隶属度大于阈值  $T$ ,则

该像素点属于视觉显著性区域,对应掩膜图像  $M(x, y)$  中的白色区域,否则属于黑色区域.为了去除掩膜图像边缘的毛刺及空洞现象,采用形态学的开闭运算对掩膜图像  $M(x, y)$  进行优化得到优化掩膜图像  $M'(x, y)$ .

将优化掩膜图像与原始视点图像相乘得到显著立体图像,图 3 分别给出了 4 组立体图像右视点、视差图、平面显著图、立体显著度图、掩膜图像、优化掩膜图像和显著立体图像.

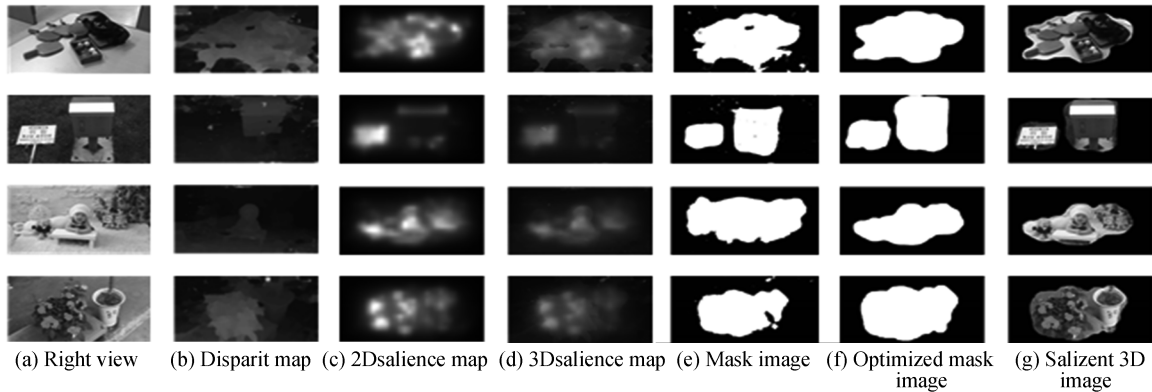


图 3 显著立体图提取过程

Fig.3 Extraction process of significant stereo image

#### 1.4.3 眼动仪实验验证

为了验证本文算法所得显著立体图像的显著性区域是否为真值,采用眼动仪对源立体图像的显著区域进行主观测量.图 4 为眼动仪测量出的图像感兴趣区域的热图.

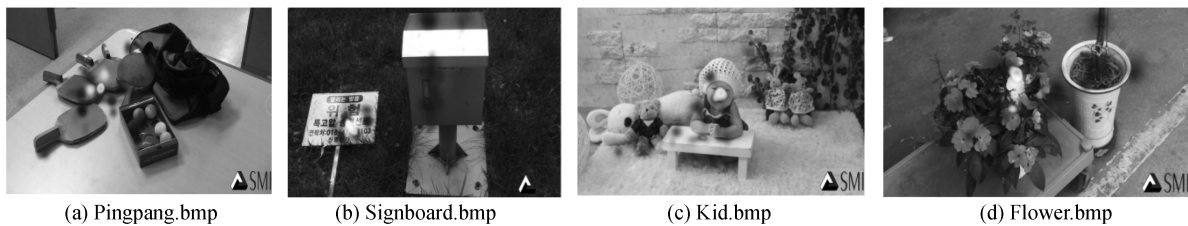


图 4 眼动仪实验显著热图

Fig.4 The eye tracking experiment to show significant infrared images

图 4 中标记的不同灰度表示被试者关注的程度不同:白色标记的区域为被试者观看时间最长,也是最为显著的部分;灰色标记部分表示较为重要,被试者在实验中对此部分较为感兴趣;深色标记部分表示重要程度较低,但在实验中被试者也对深色标记部分进行了关注;无标记部分表示被试者在实验阶段内对此部分关注很少或没有关注,表示非显著区域.通过将图 4 眼动仪实验显著热图与图 3 的立体显著图对比发现,本文算法获得的立体显著区域与主观实验的结果基本一致,表明该方法能够很好的提取立体图像的显著区域,且与主观实验的结论有很强的一致性.

#### 1.4.4 主观实验

HSV 颜色模型是根据颜色的直观特性创建的一种颜色空间,比 RGB 颜色空间更接近于人们的经验和对彩色的感知.因此,实验采用 HSV 颜色模型提取图像的色度分量.在 HSV 颜色模型中,人眼大约可分辨 128 种色度,色调变化范围从  $0^{\circ}$  到  $360^{\circ}$ ,故人眼可分辨的最小色度变化值约为  $3^{\circ}$ .若对立体图像左右视点分别进行以 3 为步长的色度变化处理,那么,左右视图各得到 120 幅色度变化后的图像,左右视图两两组合后共得到 14 400 幅立体色度图像,这么多幅图像进行主观实验显然费时费力.因此本文采用由粗到细的逐级逼近法<sup>[8]</sup>进行数据处理,该方法的中心思想是先以大步长分级找出立体图像舒适与不舒适色度的两个边界;然后用小步长将两个色度边界中间的色度值细化,最终找出小步长舒适与不舒适的色度边界.若对立体图像左右视图分别进行三级步长处理,则主观实验测试图像数量依然很多,且第一级色度步长变化较大,意味着色度变化很明显,主观实验时人眼不好判断舒适色度范围.主观评价实验表明,当显著立体图像左右视图中一个视图(左或右)色度值在  $[0^{\circ}, 360^{\circ}]$  范围内变化时,另一视图(右或左)总能找到相应的色度值范围,使他们

组合而成的立体图像的舒适度良好.因此,本实验仅对左视图进行第 2 级步长分段,对右视图进行第 1 级、第 2 级、第 3 级步长分段.

实验使用 MATLAB2014b 对显著立体图像的获取和各级色度变化进行处理,处理步骤为:

1) 选取源立体图像,得到立体显著度图并最终得到显著立体图像.

2) 将显著立体图像进行颜色空间变换,由 RGB 空间转换到 HSV 颜色空间,提取图像色度 H.根据 1) 中的显著立体图像确定图像的显著与非显著部分.显著区域为源立体图像中对应的像素,非显著部分用灰度为 255 的图像进行覆盖,如图 5.

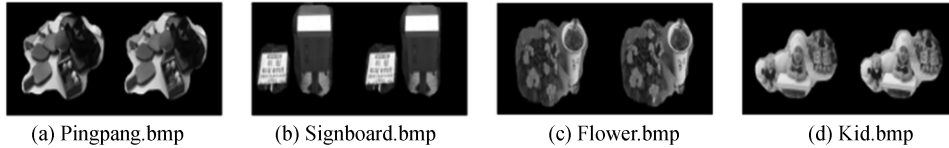


图 5 显著立体图像

Fig.5 Significant stereo images

3) 对显著立体图像左右视图色度分别以步长 15、72 进行变换,得到 24 幅左视图和 5 幅右视图,两两组组合后得到 120 幅待测显著立体图像.

4) 对步骤 3) 中的 120 幅显著立体图像进行主观评分,选取  $\bar{C} \geq 4$  分的图像为满足舒适度要求的显著立体图像.分别记录  $\bar{C} \geq 4$  的右视图的最大最小色度值  $n_{1rup}$ 、 $n_{1rdown}$  以及记录  $\bar{C} < 4$  的右视图的最大最小色度值  $n'_{1rup}$ 、 $n'_{1rdown}$ .

5) 由于第一级步长较大,对满足舒适度要求的边界处的视图进行第二级步长的细化.对步骤 4) 中色度值范围  $n_{1rup}$ 、 $n'_{1rup}$  和  $n_{1rdown}$ 、 $n'_{1rdown}$  进行第二级的步长变化,得到 10 幅二级右视图,因此左右视图两两组合后得到 240 幅待测显著立体图像.

6) 对步骤 5) 中的 240 幅显著立体图像进行主观评分,选取  $\bar{C} \geq 4$  分的图像为满足舒适度要求的显著立体图像.分别记录  $\bar{C} \geq 4$  的右视图的最大最小色度值  $n_{2rup}$ 、 $n_{2rdown}$  以及记录  $\bar{C} < 4$  的右视图的最大最小色度值  $n'_{2rup}$ 、 $n'_{2rdown}$ .

7) 同理,对步骤 6) 中色度值范围  $n_{2rup}$ 、 $n'_{2rup}$  和  $n_{2rdown}$ 、 $n'_{2rdown}$  进行第三级的步长变化,得到 12 幅三级右视图,因此左右视图两两组合后得到 288 幅待测显著立体图像.

8) 对步骤 7) 中的 288 幅显著立体图像进行主观评分,选取  $\bar{C} \geq 4$  分的图像为满足舒适度要求的显著立体图像.分别记录  $\bar{C} \geq 4$  的右视图的最大最小色度值  $n_{3rup}$ 、 $n_{3rdown}$ .

采用三级步长逼近法共得到 648 幅待测图像,远小于理论上得到的 14 400 幅待测图像数量,大大减少了实验的数量,而且实验结果表现良好.

## 2 数据分析

对 4 组实验数据采用最小二乘分段线性拟合来进行处理<sup>[19]</sup>.如图 6、图 7,图 6 横坐标为左视图色度值,纵坐标为右视图色度值;图 7 横坐标为左视图色度值,纵坐标为左视点和右视点的色度差值;图 7 中以左视图为基准,正值表示右视点色度值比左视点色度值大,负值表示右视点色度值比左视点色度值小.

表 1 不同场景的色度差异门限值

Table 1 The threshold of chromaticity difference in different scenes

Scene category	Pingpang.bmp	Signboard.bmp	Flower.bmp	Kid.bmp
Maximum range of positive chromatic difference	$[0^\circ, 133.7^\circ]$	$[0^\circ, 122.2^\circ]$	$[0^\circ, 134.9^\circ]$	$[0^\circ, 120.9^\circ]$
Maximum range of negative chromatic difference	$[-135.9^\circ, 0^\circ]$	$[-137.0^\circ, 0^\circ]$	$[-135.1^\circ, 0^\circ]$	$[-104.0^\circ, 0^\circ]$

1) 不同的场景对立体图像舒适度匹配区间大小有一定的影响.图 6 中 Flower 和 Kid 形成鲜明对比,Kid 舒适色度区间明显比 Flower 舒适色度区间小.对于人物图像,观察者最先观察到的是人的肤色问题,对于颜色匹配有一定的限制.人的眼睛内有几种辨别颜色的锥形感光细胞,分别对黄绿色、绿色和蓝紫色的光最敏

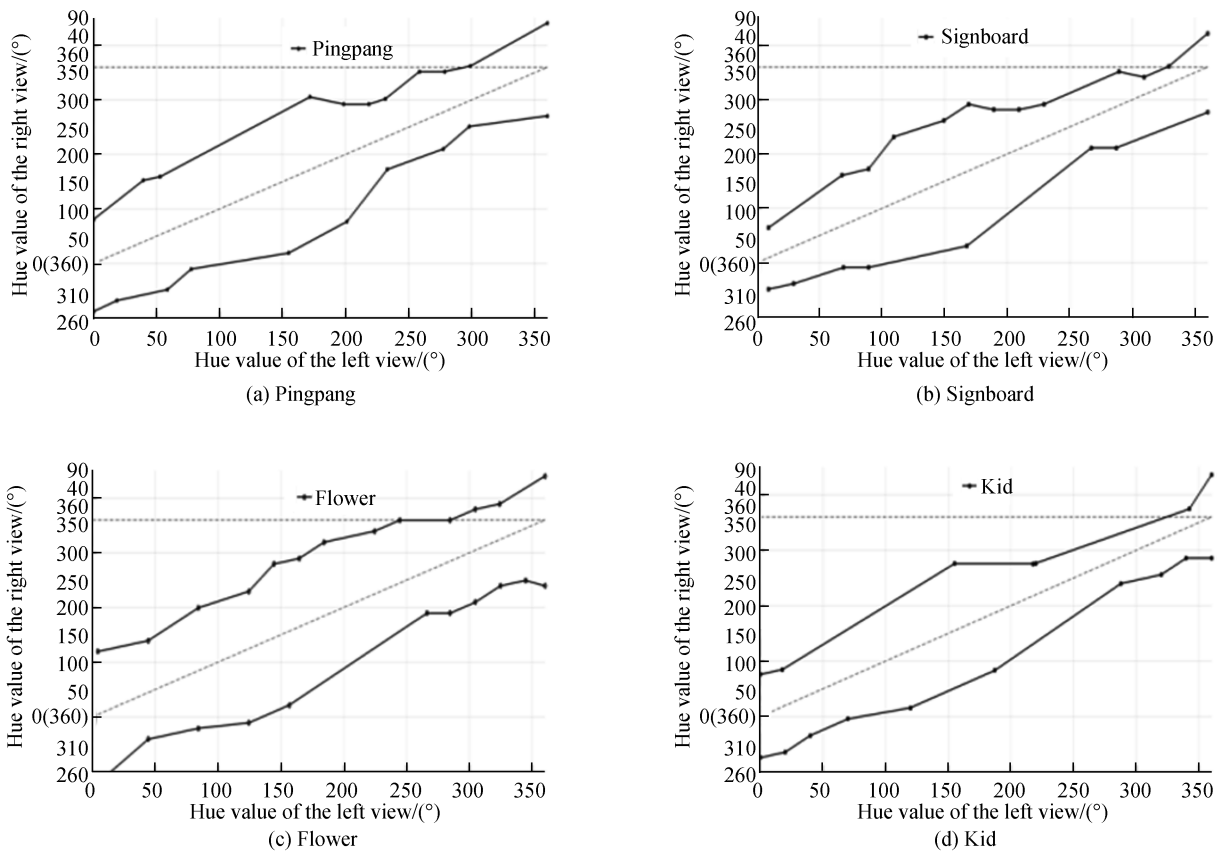


图6 四组立体图像视觉舒适度匹配图  
Fig.6 4 stereo image visual comfort matching image

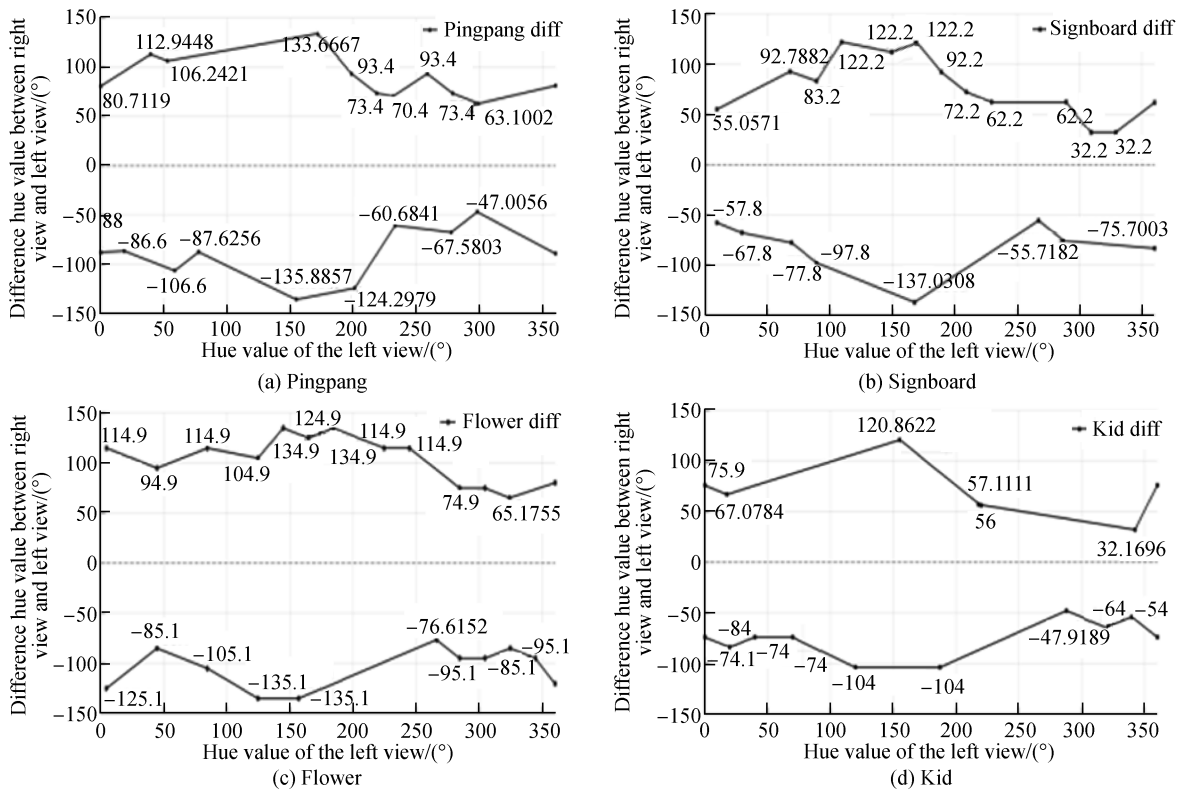


图7 四组立体图像视觉舒适度差异图  
Fig.7 4 stereo image visual comfort difference image

感,如果辨别黄绿色的细胞受到的刺激略大于辨别绿色的细胞,人的感觉是黄色;如果辨别黄绿色的细胞受到的刺激大大高于辨别绿色的细胞,人的感觉是红色.区间(50°,220°),对应颜色由红色变为黄色至蓝色,此区间左右色度合成的颜色更符合人对于肤色的主观意识,所以此区间范围相对较大;而其他区间对于左视图色度所能匹配的色度区间相对较小.对于 Flower 这类图像,由于人的喜好不同,各色的花都很受欢迎,所以其左视图在任何色度区域与其匹配的右视图色度范围较大.

2) 图 6 为四组立体图像舒适色度匹配图,分段直线围成的区域表示左右视图的色度值在此区间组合下形成的立体图像给观看者的感觉是舒适的.图 7 为四组立体图像舒适色度差异图,分段直线围成的区域表示左右视图色度值差异在何种范围时,立体图像视觉舒适度良好.根据图 7 得出表 1 不同场景的舒适色度正最大差异值范围和负最大差异值范围.此数据证明了不同场景所对应的色度区间不同.根据图 6、图 7 和表 1 能够看出,对于不同的场景,其舒适色度范围是不同的.因此,为了使本文的方案具有普适性,对图 6 和图 7 所示的四组立体图像舒适色度匹配图和差异图的实验数据进行平均,分别得到立体图像舒适色度匹配图和立体图像舒适色度差异图,如图 8 和图 9 所示.将图 8 与图 9 中直线拟合包围区域分为  $R_1$ 、 $R_2$ 、 $R_3$ 、 $R_4$ 、 $R_5$  等五个部分:

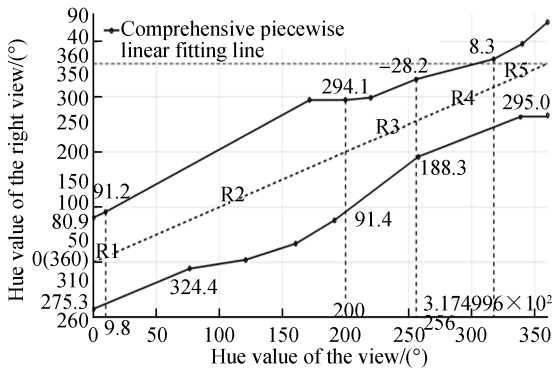


图 8 立体图像舒适色度匹配图

Fig.8 Comfortable chrominance mapping of stereo image

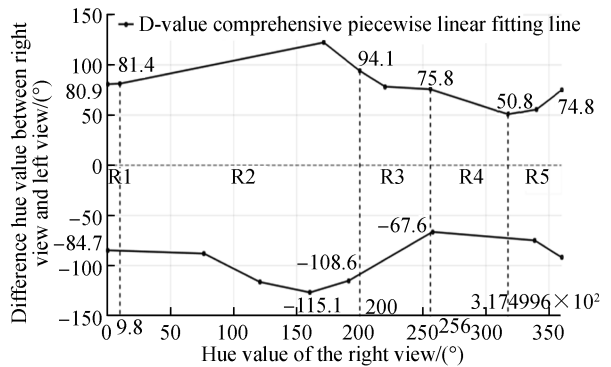


图 9 立体图像舒适色度差异图

Fig.9 comfortable chrominance difference of stereo image

$R_1$ 、 $R_2$ 、 $R_3$ 、 $R_4$ 、 $R_5$  五部分为立体图像评分  $\bar{C} \geq 4$  的色度舒适区域.从图 8 和图 9 可以看出,立体图像舒适色度匹配图是关于正对角线轴对称的,立体图像舒适色度差异图是关于水平轴对称的.因此,主辅眼对舒适色度区域的影响并不大.对于不同的左视图色度值区间,右视图舒适色度范围大小也不一样,可以得出人眼对于不同的颜色光的敏感度不同.在  $R_1$ 、 $R_2$ 、 $R_3$ 、 $R_4$ 、 $R_5$  区域外的色度值,是人眼不舒适色度范围,因此可知,左右眼的色度只有在一定的范围内,给人的感觉才是舒适的,若左右眼色度差值过大,人眼将无法融合左右视点图像,造成双眼竞争现象,导致不舒适.

2) 在  $R_1$  和  $R_5$  区域,左视图色调变化范围约为(320.0°,9.8°),对应颜色由紫色过渡至品红至红色.由于不同颜色的光子能量不同,人眼受刺激程度也不同.在 HSV 颜色模型中,当色调从 300.0°到 360.0°,紫色分量衰减,色谱变成红色.红色波长能量较小,对人眼的刺激也较小;由于所选图片场景不同,对于花朵类型的图片在此区域舒适色度区域较宽,但是人物图片在此区间的舒适色度变小,而图 8 和图 9 是四组立体图像数据的统计平均,所以从图中可以看出  $R_1$  和  $R_5$  区域的色度范围会比  $R_2$  小.

3) 在  $R_2$  区域,左视图色调变化范围约为(9.8°,200°),对应颜色由红色变为黄色至蓝色,从图中可以看出立体图像舒适色度良好的范围较宽.一是因为在此区间的色谱光子能量大小适中,对人眼的刺激较温和,比较适宜人眼观看;二是因为此区间对于多种类型的图片颜色较适宜;因此,当左右视图的色调值在此区间,立体图像视觉舒适度范围较宽.

4) 在  $R_3$  区域,左视图色调变化区间约为(200°,220°),对应颜色为蓝色,蓝色等短波能量较大,对人眼的刺激过于强烈,导致视觉不舒适,但是由于此实验为主观实验,人脑对于蓝色光和绿色光有一定的偏爱.所以,舒适色度范围较  $R_2$  区域变窄但是比  $R_4$  舒适色度范围宽.

5) 在  $R_4$  区域,左视图色调变化区间约为(220°,320°),对应颜色有蓝色变为紫色,由于蓝色和紫色均为短波,紫色光的光子能量较大,对人眼的刺激也较大,导致人眼不舒适;而且,对于好多场景的图片,紫色并不适合作为其图片主色,先验条件下,给人一种不舒适的感觉,因此从图 8 和图 9 可以看出  $R_4$  区间色度范围在

整个舒适区域是最窄的.

### 3 实验验证

#### 3.1 对比验证

文献[9]在没有考虑视觉显著性的情况下定量研究色度因素对视觉舒适度的影响,从图 10 可以看出,折线包围的色度范围基本一致,说明显著区域的舒适度能够代表整幅立体图像的舒适度,与理论一致.文献[9]采用双刺激的实验方法,即给定原始图像,让被试者对测试图像舒适与否进行评价,会对被试者的主观性有一定的限制.由于是有参考的主观实验,所以对于某些场景,其左视图色度区间( $0^{\circ}, 360^{\circ}$ ),右视图并不应该都有舒适色度区间与之匹配.本文采用单刺激的实验方法,较文献[9]的双刺激方法更符合人眼视觉的主观性,其左视图色度区间( $0^{\circ}, 360^{\circ}$ )右视图都有一定的舒适色度区间,而且场景不同舒适色度区间大小也不同.该结论具有真实性,更能够为立体内容的制作提供有利的技术支撑,为立体内容舒适标准的制作提供合理的方案.

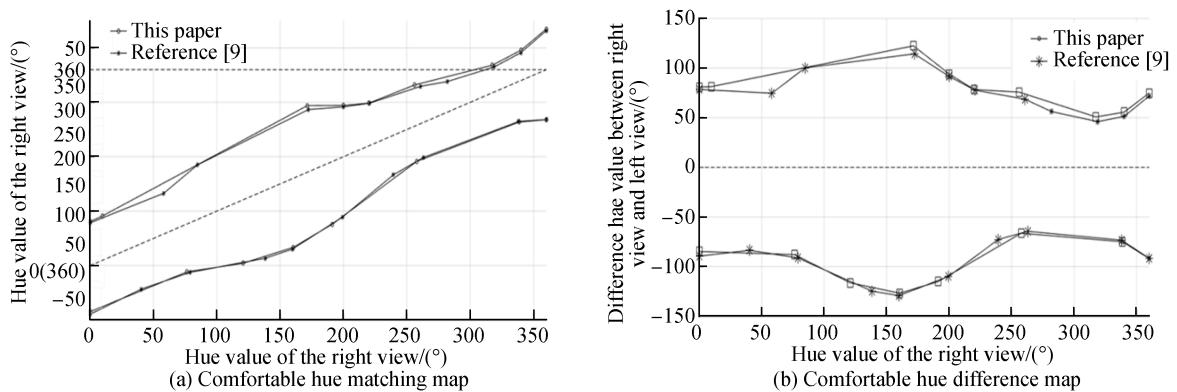


图 10 本文实验结果与文献[9]结果对比

Fig.10 The experimental results are compared with literature [9]

#### 3.2 测试验证

为了验证本文实验得到的立体图像舒适色度匹配图和立体图像舒适色度差异图是否具有普适性,另外选取了两幅源立体图像进行结果验证.所选图像如图 11,将这两幅立体图像按照本文步骤进行色度处理,由于考虑到图片数量问题,因此实验验证仅仅对右图片进行第三级步长变化,每幅立体图像得到 120 幅色度变化图像,选取其中的 80 幅图像进行主观实验.然后按照本文上述主观实验方法让被试者进行主观评分.对实验结果进行统计,其中,Flower one 这组图片中统计平均分  $\bar{C} \geq 4$  分的合格立体图像有 45 幅,其中左右视图色度平均值落在立体图像舒适色度匹配图内的立体图像有 43 幅.因此,在合格立体图像中所占比例为 95.5%;同理,Boy 这组图片中正确率为 96.9%.两组图片的正确率都超过了 95%,从而验证了本文实验结果立体图像舒适色度匹配图和立体图像舒适色度差异图具有普适性.所以,本文所得结论可以很容易的判断一幅立体图像的视觉舒适问题,在一定程度上改善了主观实验的费时、费力问题.



图 11 2 幅源立体图像

Fig.11 2 source of stereo images

### 4 结论

本文算法加入了视觉注意机制特性,很好地反应了人眼的视觉感受,实验证明本文算法具有较高的准确性,能够很好地反映一幅图像是否舒适的问题;经过大量的主观实验定量地研究了色度变化对舒适度的影



响,给出了立体图像舒适色度匹配图和立体图像舒适色度差异图,将结果用于评价双目立体图像の色度变化对人眼舒适性的影响,为立体视频以及立体图像处理的研究提供了新思路;同时也为立体视频质量评价提供了一个新的评价依据.但是,影响立体图像、立体视频内容舒适度的因素还有很多,因此需要进一步分析其他主要因素,如:饱和度、对比度以及视差的舒适度范围,只有这样才能得到一个更全面的舒适度评价方案.

#### 参考文献

- [1] ZHOU Jun, GU Xiao, ZHANG Ya. On evaluation the quality of subjective S3D comfort assessment [C]. IEEE International Symposium on Broadband Multimedia Systems and Broadcasting. 2017.
- [2] LAMBOOIJ M, IJSSELSTEIJN W, FORTUIN M, *et al.* Visual discomfort and visual fatigue of stereoscopic displays: a review[J]. *Journal of Imaging Science and Technology*, 2009, **53**(3): 1-14.
- [3] ZHENG He-dong, YU Ying-jie, CHEN Wei-ming. A review on three-dimensional display techniques [J]. *Optical Technique*, 2008, **34**(3): 426-430.  
郑华东,于瀛洁,程维明. 三维立体显示技术研究新进展[J]. *光学技术*, 2008, **34**(3): 426-430.
- [4] FRANK L K. Visual comfort of binocular and 3D displays[J]. *Display*, 2004, **25**(2): 99-108.
- [5] PAN H, YUAN CH, DALY S. 3D video disparity scaling for preference and prevention of discomfort [C]. The International Society For Optical Engineering, 2011, **7863**(4): 1-8.
- [6] HEESEOK O, KIM J, KIM J, *et al.* Enhancement of visual comfort and sense of presence on stereoscopic 3D images [J]. *Image Processing*, 2017, **26**(8): 3789-3801.
- [7] 杨蕾. 多视点静止自由立体图像处理的理论分析及实验研究[D]. 天津:天津大学,2007.
- [8] LI Xiao-fang, WANG Qiong-hua. Auto stereoscopic display for visual fatigue[J]. *Liquid Crystals and Displays*, 2008, **23**(4): 464-466.  
李小方,王琼华. 自由立体显示器观看视疲劳[J]. *液晶与显示*, 2008, **23**(4): 464-466.
- [9] LIU Chang, LI Su-mei, ZHU Dan, *et al.* Quantitative research of the hue parameter influence on the visual comfort of stereoscopic images[J]. *Journal of Optoelectronics Laser*, 2014, **25**(1): 178-185.  
刘畅,李素梅,朱丹,等. 色度对立体图像视觉舒适度影响的定量研究[J]. *光电子·激光*, 2014, **25**(1): 178-185.
- [10] LI Su-mei, FU Bei-bei, ZANG Yan-jun, *et al.* Measurement of the range of saturation parameter influencing the comfort of stereoscopic images[J]. *Journal of Tianjin University*, 2012, **45**(8): 669-676.  
李素梅,付贝贝,臧艳军,等. 影响立体图像舒适度的饱和度范围的测定[J]. *天津大学学报*, 2012, **45**(8): 669-676.
- [11] QIN M P, YIU M CH, XIN G Y, *et al.* A hybrid of local and global saliencies for detecting image salient region and appearance[J]. *IEEE Transactions on Systems Man & Cybernetics Systems*, 2017, **47**(1): 86-97.
- [12] SOHN H, JUNG Y J, LEE S, *et al.* Korea advanced institute of science and technology: IVY LAB stereoscopic image database[EB/OL]. [2016-10-11]. <http://ivylib.kaist.ac.kr/demo/3DVCA/3DVCA.htm>.
- [13] Rec.ITU-R BT.1438, Subjective assessment of stereoscopic television pictures[S]. 2000.
- [14] 王飞. 基于上下文和背景的视觉显著性检测[D]. 大连:大连理工大学,2013.
- [15] HAREL M, JONATHAN M, CHRISTOF K, *et al.* Graph-based visual saliency[C]. *Advances in Neural Information Processing Systems*, 2007, **19**: 545-552.
- [16] RHEMANN C, HOSNI A, BLEYER M, *et al.* Fast cost-volume filtering for visual correspondence and beyond[C]. *Computer Vision and Pattern Recognition*, 2011, **35**: 3017-3024.
- [17] 李志梅. 基于模糊聚类的图像分割算法研究[D]. 湖南:湖南大学,2009.
- [18] 余文姣. 基于改进遗传算法的最大类间方差图像分割方法研究[D]. 海南:海南大学,2012.
- [19] LIU Jian-lei. No-reference color image quality assessment based on local features[J]. *Optics and Precision Engineering*, 2016, **24**(5): 1176-1184.  
刘建磊. 结合局部特征的无参考彩色图像质量评价[J]. *光学精密工程*, 2016, **24**(5): 1176-1184.