

文章编号:1004-4213(2011)03-0350-4

自由立体显示器观看者瞳孔直径与视疲劳关系*

王琼华, 潘冬冬, 李小方, 李大海, 廖咏川

(四川大学 电子信息学院; 视觉合成图形图像技术重点学科实验室, 成都 610065)

摘 要:提出了一种通过测量瞳孔直径来判断自由立体显示器观看视疲劳程度的方法, 并且建立了一种瞳孔直径的测量装置. 该装置可在连续播放立体视频时记录观看者的瞳孔直径. 通过观看者的主观评价得出视疲劳程度随着观看时间的增加而加剧, 同时实验表明观看者瞳孔直径也随着观看时间的增加而变大, 由此可得出将瞳孔直径作为一种新的视疲劳度量指标. 当观看者的视疲劳处于中等水平时, 观看者的瞳孔直径变化量为 0.4 mm, 可将该值确定为观看舒适度的临界值.

关键词:自由立体显示器; 观看视疲劳; 瞳孔直径; 度量指标

中图分类号: TN141

文献标识码: A

doi: 10.3788/gzxb20114003.0350

0 引言

人类的双眼视网膜对真实世界所成的图像存在差异, 这种差异被称为双目视差. 立体显示器使用二维平面显示屏显示满足双目视差的多幅视差图像, 观看者的视觉系统接收到其中的两幅视差图像, 经过大脑系统融合后就能获得纵深感及层次感等三维信息.

立体显示分为佩戴眼镜的立体显示和自由立体显示, 其中自由立体显示具有不需要配戴特殊眼镜, 观看范围较大等优点, 是一种普遍应用的立体显示方式^[1-3]. 但是自由立体显示在原理及结构上存在一些缺陷, 诸如两眼集合和焦点调节距离不一致、分辨率降低、左右眼图像串扰等问题^[4-5]. 当观看者观看自由立体显示器的时间较长时, 将产生眼胀、复视等视疲劳症状^[6]. 通过对观看者视疲劳症状的度量及评价可判定其不良生理反应程度, 从而及时采取措施来预防和消除视疲劳.

视疲劳的评价分为主观评价和客观评价. 前者让观看者表述观看视疲劳的程度, 但主观表述往往因人而异, 没有统一的量化标准; 后者主要是测量观看者的焦点调节、瞳孔收缩时间、调节近点及融合幅度等指标参量^[7-8], 但它们仍存在一些不足, 例如焦点调节指标的测量是让观看者观看立体显示图像后, 再利用视光学仪器进行测量, 由于观看和测试过程不同步, 将导致测量结果不准确.

本文将研究自由立体显示器观看者瞳孔直径与视疲劳的关系, 并提出将瞳孔直径作为视疲劳度量

的一种指标.

1 实验装置

图 1 所示是一个测量观看者观看自由立体显示器时眼睛瞳孔直径的装置, 主要由计算机、监视器和照相机组成. 自由立体显示器由光栅屏和液晶显示器精密耦合在一起, 其中光栅屏可将位置错开的左右眼图像分开, 从而使观看者的左右眼分别看到左右眼图像^[9]. 该自由立体显示器的显示面积为 $646 \times 404 \text{ mm}^2$, 显示屏分辨率为 2560×1600 , 8 个视点, 立体图像分辨率为 853×600 , 亮度为 220 cd/m^2 , 观看者观看自由立体显示器时, 通过计算机控制的照相机拍摄记录观看者双眼的瞳孔直径.

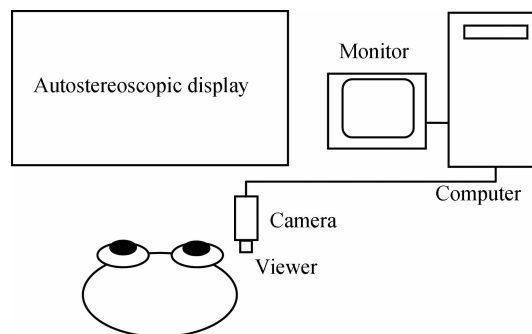


图 1 瞳孔直径的测量装置

Fig. 1 Equipment of the pupil diameter measurement

利用 3DS Max 三维建模软件生成自由立体显示器所需的视差图像. 在获取视差图时将虚拟相机设置为平行式, 相邻视差图像的水平视差控制在 ± 2 个像素范围内. 为了增强观看者的趣味性, 获得更加准确真实的实验结果, 本实验进一步将视差图像合

基金项目: 国家自然科学基金(No. 60877004)资助

第一作者: 王琼华(1969-), 女, 教授, 主要研究方向为信息显示. Email: qhwang@scu.edu.cn

收稿日期: 2010-08-12; 修回日期: 2010-10-13

成为单帧立体图像,并将情节连贯的多帧立体图像制作成立体视频.如图 2 所示是从自由立体显示器所播放立体视频中截取的两帧,视频内容主要由运动的海豚和船组成.



图 2 立体视频中的两帧图像

Fig. 2 Two frames of the stereoscopic video

2 实验方法

参加实验的 22 名观看者包括 11 位女性和 11 位男性,年龄范围在 23~30 岁之间,平均年龄为 26.3 岁.在实验开始之前,对观看者进行常规眼科检查,包括医学验光、视力检查、眼底照相和裂隙灯显微镜检查,以排除观看者的器质性病变和其它眼

部疾病.

利用遮盖及去遮盖法检查观看者的隐斜视.该方法用遮盖板遮盖单眼,其后除去遮盖板.如果在除去遮盖时,眼位保持不变,则该观看者无隐斜视.在 10 名观看者中有 2 名内隐斜和 1 名外隐斜,他们的数据被排除在实验结果之外.最后用随机点立体图检查观看者的自由融合能力.除了 1 名观看者外,剩余的 18 名观看者均能自由融合.

图 3 是立体视频的播放时间表.图 3(a)所示的实验 1 中,立体视频连续播放 3 min,然后暂停 1 min,将该过程重复 5 次,总的时间为 20 min;图 3(b)所示的实验 2 中,立体视频连续播放 5 min 后暂停 1 min,将该过程重复 5 次后总时间为 30 min.当每次播放结束时拍摄记录 1 次观看者双眼瞳孔直径,并在接下来的 1 min 休息时间内进行视疲劳程度的主观评价.

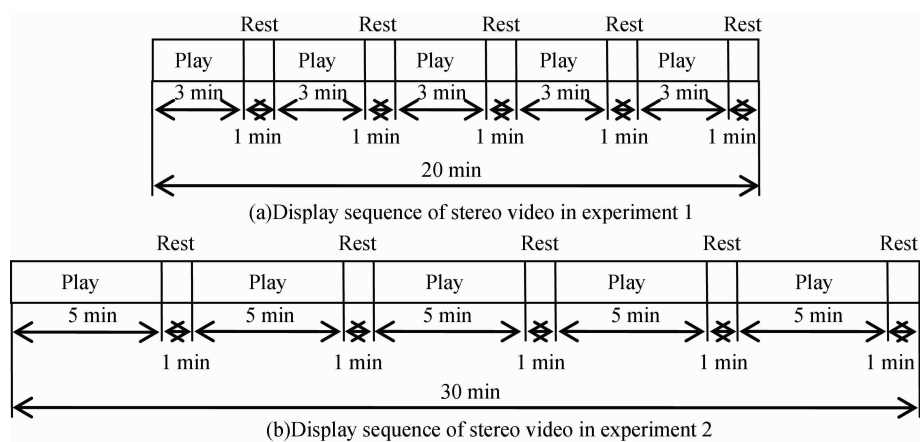


图 3 立体视频的播放时间表

Fig. 3 Display sequences of the stereo video

本文的视疲劳程度主观评价给定 5 个等级:1) 没有视疲劳;2) 轻微的视疲劳;3) 中度视疲劳;4) 明显的视疲劳;5) 很严重的视疲劳.实验中视疲劳程度的主观评定结果由观看者自己负责记录.

该实验在环境亮度适中的实验室中进行,因为环境亮度太强,观看者瞳孔收缩得较小,环境亮度太弱,不方便观察记录瞳孔变化.实验前,观看者的瞳孔直径均值为 4.2 mm.

3 实验结果及讨论

为了比较观看者的视疲劳随时间的变化情况,将 18 名观看者视疲劳程度的主观评价结果进行累加后求平均.如图 4(a)所示是实验 1 的总实验时间为 20 min 时,观看者观看视疲劳程度的主观评价结果.由图 4(a)可知,在观看 3、7、11、15 和 19 min 后,

18 名观看者的视疲劳评价均值分别为 1.7、2.3、3.3、4.2 和 4.7.根据视疲劳程度主观评价的 5 个等级,可得出随着观看时间的增加,观看者的视疲劳程度从轻微增加到严重.

对记录的瞳孔图像进行处理后得到瞳孔直径,然后将 18 名观看者的双眼瞳孔直径进行累加后求平均.图 4(b)是实验 1 总实验时间为 20 min 时,瞳孔直径均值随观看时间变化的结果.由图 4(b)可知,在观看 3、7、11、15 和 19 min 后,18 名观看者的双眼瞳孔直径均值分别为 4.3、4.4、4.6、4.8 和 5.1 mm.即随着观看时间的增加,观看者的瞳孔直径均值逐渐增大.由图 4(a)和(b)可得观看时间的增加引起观看者视疲劳程度的增加,同时引起观看者瞳孔直径的增大.

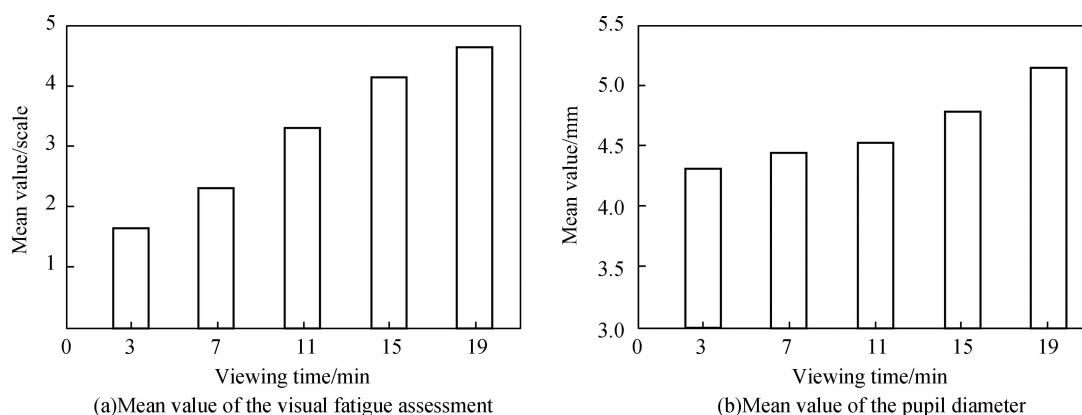


图4 实验1的视觉疲劳评价均值和瞳孔直径均值

Fig. 4 Mean value of visual fatigue assessment and the pupil diameter in experiment 1

实验2的总实验时间为30 min时,观看者观看视疲劳程度的评价结果如图5(a).图5(b)是瞳孔直径均值随观看时间变化的结果.由图5(a)可知,在观看5、11、17、23和29 min后,18名观看者的视疲劳主观评价均值分别为1.9、3.4、4.2、4.8和5.0.

由图5(b)可知,在观看5、11、17、23和29 min后,18名观看者的双眼瞳孔直径均值分别为4.4、4.6、4.8、5.1和5.3 mm.由图5(a)和(b)也可看出观看时间的增加引起观看者视疲劳程度的增加,同时引起观看者瞳孔直径的增大.

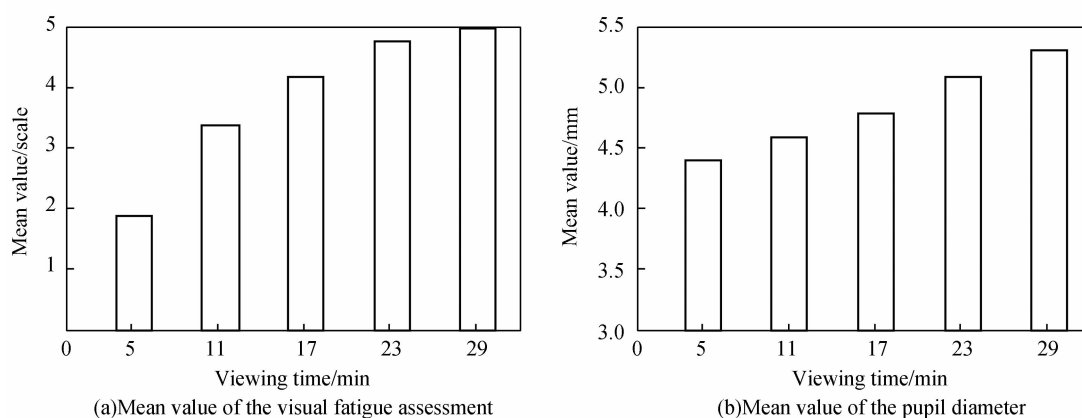


图5 实验2的视觉疲劳评价均值和瞳孔直径均值

Fig. 5 Mean value of visual fatigue assessment and the pupil diameter in experiment 2

综合图4和图5的结论,可得出观看者视疲劳程度的加剧将引起观看者瞳孔直径的增大,由此可将瞳孔直径作为一种新的视疲劳度量指标.当观看时间在11 min时,观看者的视疲劳评价均值为3.3或3.4,此时观看者已达到中度视疲劳程度,与观看者在实验前无疲劳情况下的瞳孔直径均值作比较,瞳孔直径增大0.4 mm.为此本文将该变化量作为衡量观看舒适与否的临界值:如果观看者的瞳孔直径的变化量大于该值时,观看者就会出现明显的视疲劳症状,如果观看者的瞳孔直径的变化量小于该值时,观看者一般可得到舒适的观看效果.

5 结论

本文提出了一种瞳孔直径的测量装置,该装置可在连续播放立体视频时记录观看者的瞳孔直径.通过观看者的主观评价得出视疲劳程度随着观看时间的增加而加剧,同时实验表明观看者瞳孔直径也

随着观看时间的增加而变大,由此可得出将瞳孔直径作为一种新的视疲劳度量指标.当观看者的视疲劳处于中等水平时,观看者的瞳孔直径增大0.4 mm,本文将该值确定为观看舒适度的临界值.该研究将对自由立体显示器观看视疲劳的预防和消除提供参考.

参考文献

- [1] KAWAI T. 3D displays and applications[J]. *Displays*, 2002, **23** (1-2): 48-56.
- [2] TAO Yu-hong, WANG Qiong-hua, GU Jun, et al. Autostereoscopic three-dimensional projector based on two parallax barriers[J]. *Optics Letters*, 2009, **34**(20): 3220-3222.
- [3] MPHEPÖ W, HUANG Y, SHIEH H D. Zero barrier, zero crosstalk auto stereoscopic 3D display system for cinema & home theater multi-user settings[C]. *IEEE, 2009 Society for Information Display, San Antonio*, 2009: 615-618.
- [4] BOEV A, GOTCHEV A, EGI AZARIAN K. Crosstalk measurement methodology for auto-stereoscopic screens [C]. *Proc 3DTV-CON*, 2007, *Kos, Greece*, 2007: 1-4.
- [5] LAMBOOIJ M, FORTUIN M, IJSSELSTEIJN W A, et al.

- Measuring visual discomfort associated with 3d displays[C]. *SPIE*,2009,**7237**:1-12.
- [6] KUZE J, UKAI K. Subjective evaluation of visual fatigue caused by motion images[J]. *Displays*,2008,**29**(2):159-166.
- [7] HOFFMAN D M, GIRSHICK A R, AKELEY K, *et al.* Vergence-accommodation conflicts hinder visual performance and cause visual fatigue[J]. *Journal of Vision*,2008,**8**(3):1-30.
- [8] EMOTO M, NOJIRI Y, OKANO F. Changes in fusional vergence limit and its hysteresis after viewing stereoscopic TV [J]. *Displays*,2004,**25**(2-3):67-76.
- [9] ZHAO Ren-liang,ZHAO Wu-xiang,WANG Qiong-hua, *et al.* Research on stereo viewing zone in autostereoscopic display based on parallax barrier[J]. *Acta Photonica Sinica* ,2008,**37** (5):960-963.
- 赵仁亮,赵梧翔,王琼华,等. 狭缝光栅自由立体显示器立体可视区域的研究[J]. *光子学报*,2008,**37**(5):960-963.

Relation Between Viewer's Pupil Diameter and Visual Fatigue in Autostereoscopic Display

WANG Qiong-hua,PAN Dong-dong,LI Xiao-fang,LI Da-hai,LIAO Yong-chuan

(School of Electronics and Information Engineering; State Key Laboratory of Fundamental Science on Synthetic Vision, Sichuan University, Chengdu 610065, China)

Abstract: A method was proposed to evaluate visual fatigue in autostereoscopic displays by measuring the pupil diameter of viewers. And a pupil diameter measuring device was presented to record the viewers' pupil diameter when the viewers watch three-dimensional videos. The conclusion was made that the degree of visual fatigue increases as the increase of viewing time according to viewers' subjective evaluation, and experiments shown that the pupil diameter increases as the increase of the degree of visual fatigue. As a result, the pupil diameter can be used as a new measurement index of visual fatigue. The variation of viewers' pupil diameter is 0.4 mm when viewers' visual fatigue is medium which can be considered as a critical value of viewing comfort.

Key words: Autostereoscopic display; Visual fatigue; Pupil diameter; Measurement index