

基于双目视差的立体显示运动模糊评价方法研究

夏振平¹ 李晓华² 陈磊² 王坚²

¹苏州科技学院电子与信息工程学院, 江苏 苏州 215009

²东南大学电子科学与工程学院, 江苏 南京 210096

摘要 为了更为客观、准确地评价立体显示的运动图像质量,基于平面运动模糊评价模型和立体运动视觉感知实验建立了立体显示运动模糊评价方法。通过对双目视差图像分别进行平面运动模糊模拟,然后再三维重现,再进行实际感知和模拟效果对比的视觉感知实验,结果表明,“视差”因素对模糊程度感知没有显著性影响,据此利用双目视差图像模糊程度平均的方法建立了立体显示运动模糊的客观评价方法。该评价方法的建立使立体运动图像质量的评价更加客观、准确,同时为立体显示运动图像质量的提升提供参考。

关键词 图像处理; 立体显示; 液晶显示器; 运动模糊; 测量; 评价

中图分类号 TN27

文献标识码 A

doi: 10.3788/AOS201535.0111001

Study on Evaluation of Motion Blur in Binocular Parallax Based Stereoscopic Displays

Xia Zhenping¹ Li Xiaohua² Chen Lei² Wang Jian²

¹College of Electronic and Information Engineering, Suzhou University of Science and Technology, Suzhou, Jiangsu 215009, China

²School of Electronic Science and Engineering, Southeast University, Nanjing, Jiangsu 210096, China

Abstract To evaluate the motion image quality of binocular parallax based stereoscopic displays more objectively and precisely, the evaluation method is established based on two dimensional (2D) motion blur evaluation model and three dimensional (3D) perception experiment. The 2D motion blur simulation is applied on the binocular parallax images, and then displayed on the 3D space. After that, the comparison perception experiment is completed between real motion blur perception and simulation. The experiment result shows that factor “parallax” has no significant effect on motion blur perception. Based on these, the average motion blur level of two parallax images is used to establish objective motion blur evaluation method of binocular parallax based stereoscopic displays. The proposed method makes the motion image quality evaluation of binocular parallax based stereoscopic displays more objective and precise. Meanwhile, it provides reference for the motion image quality improvement in stereoscopic displays.

Key words image processing; three dimensional display; liquid crystal display; motion blur; measurement; evaluation

OCIS codes 110.2990; 110.3000; 120.1880; 120.2040; 330.5020

1 引言

液晶显示慢响应的显示特性以及采样保持型的显示机理是产生运动模糊的主要原因^[1]。对基于平面液晶显示运动模糊的研究已经比较深入,包括过驱动^[2]等技术的应用提高液晶显示的响应速度,采用倍频插帧^[3]等技术降低液晶显示的维持效应等,这些都在一定程度上提高了液晶显示的动态图像质量。除此之外,液晶显示运动图

收稿日期: 2014-06-26; 收到修改稿日期: 2014-08-14

基金项目: 国家973计划(2013CB328803)、国家863计划(2013AA011004)、江苏省自然科学基金(BK2012166)

作者简介: 夏振平(1985—),男,博士,讲师,主要从事立体显示图像质量测量、评价和优化方面的研究。

E-mail: xzp@mail.usts.edu.cn

本文电子版彩色效果请详见中国光学期刊网 www.opticsjournal.net

像质量评价方法^[4]的研究也为动态图像质量的提升提供了参考。近年来,立体(3D)显示技术发展迅速^[5-10],已经逐步进入各个应用领域。基于双目视差的立体显示由于技术比较成熟,应用最为广泛,主要是偏振式和快门式立体显示,而这两种立体显示技术也多基于成熟的液晶显示器,因此运动模糊成为继串扰后又一影响立体显示图像质量的重要因素^[11]。本文基于平面运动模糊评价方法和立体显示视觉感知实验提出了基于双目视差的立体显示运动模糊评价方法,客观评价立体显示运动图像质量的同时为质量的提高提供参考。

2 平面显示运动模糊评价方法

平面显示运动模糊的测量和评价方法主要可以分为两类:直接法和间接法。直接法使用追踪相机追踪拍摄运动图像边缘的方式获取边缘模糊图像,再对拍摄的模糊图像进行模糊程度提取^[12]。直接法根据其使用的追踪方式的不同又分为相机平动追踪和镜面旋转追踪,而这些方法都需要精密的机械装置控制,所以成本比较高。间接法利用高响应瞬态亮度测试仪对灰阶跳变时显示器的亮度响应进行测量,根据亮度响应数据再采用数学模型模拟人眼的平滑追踪以及亮度感知的积分效果^[13]。由于成本较低,并且评价效果与人眼实际观看效果吻合度高,间接法得到广泛认可。

间接法利用高速响应的亮度计测量得到灰阶跳变时的亮度响应曲线(LCRC),然后对亮度响应曲线进行一帧宽度的移动窗口积分[图1(a)],以模拟人眼的积分效果,得到运动图像响应曲线(MPRC),积分计算如(1)式所示。在此基础上,间接法定义了MPRC[图1(b)]上10%~90%之间的模糊边缘响应时间(BET)以及扩展模糊边缘响应时间(EBET)来评价特定灰阶组合跳变的边缘模糊程度[(2)式]。为了更为全面地评价整个显示系统的运动图像质量,又定义了运动图像响应时间(MPRT)的概念,它是各个灰阶组合下运动模糊边缘EBET的平均值[(3)式]。

$$L_{MPRC}(t) = \int_t^{t+1} Y_{LCRC}(T-\tau) d\tau, \quad (1)$$

$$t_{EBET} = \frac{t_{BET}}{90\% - 10\%} = 1.25 \times t_{BET}, \quad (2)$$

$$t_{MPRT} = \frac{1}{M} \sum_{i \neq j} t_{EBET_{i,j}}. \quad (3)$$

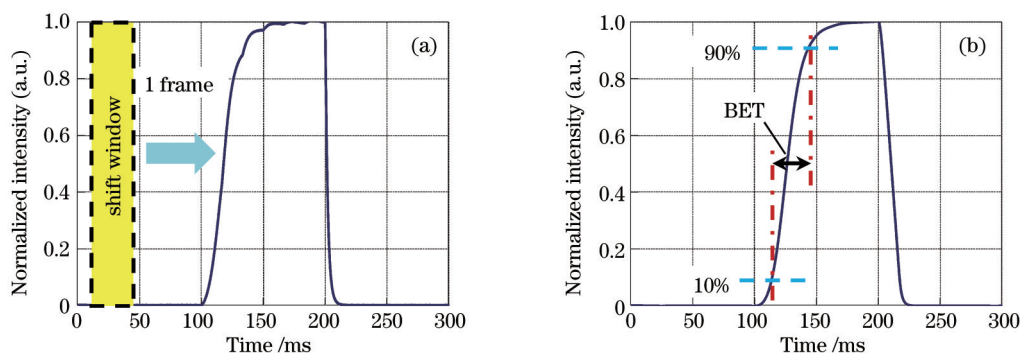


图1 间接法评价运动模糊。(a)液晶响应曲线;(b)运动图像响应曲线

Fig.1 Evaluation of motion blur using indirect method. (a) Liquid crystal response curve; (b) motion picture response curve

3 立体显示运动图像特性

立体显示运动图像的特性与技术的种类息息相关,研究基于双目视差立体显示技术以及液晶显示技术,涉及基于液晶的偏振式立体显示以及快门式立体显示。这两种立体显示技术通过空间或者时间上的分离方法显示双目视差图像,表现立体图像空间运动时,对应左右视图在平面上的运动,左右眼分别感知到平面的运动模糊后经过大脑融合,形成空间运动模糊的感知,基本原理如图2所示。

偏振式立体显示的左右视图在空间上进行分离,左右视图各自在空间上是独立的,不会互相干扰,在左右视图运动速度一致时,两者的运动模糊程度也一样。快门式立体显示在同一位置以时间交替的方式显示

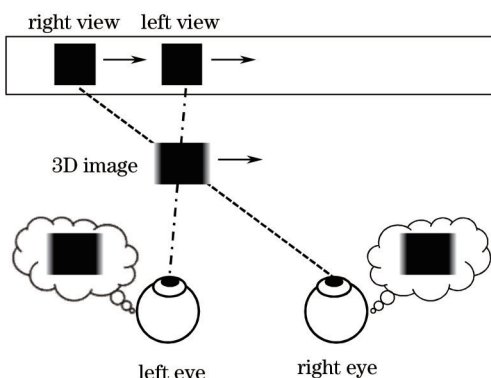


图2 基于双目视差的立体运动图像感知原理

Fig.2 Perception principle of motion image in binocular parallax based stereoscopic displays

左右视图,由于液晶响应的连续性以及慢响应的存在,左右视图的亮度响应存在一定差异,对应同一运动速度下左右视图的运动模糊程度不一样。

4 立体显示运动模糊模拟模型

立体显示运动模糊是平面显示运动模糊在大脑中再融合的结果,其机理与平面运动模糊一致,唯一的区别在于立体运动图像由于左右视图的相对位置不同会存在不同景深,而景深对运动模糊的影响尚不可知,故采用平面显示运动模糊的模拟方法对左右运动视图分别进行模拟后再三维空间重现。

4.1 平面运动模糊模拟模型

平面显示运动模糊的模拟采用了快速、简单的“帧宽移动窗口积分法”^[13],该方法利用移动窗口 $[G_{T_f}(t)]$ 对亮度响应曲线 $LCRC[Y_0(t)]$ 进行卷积[(4)式],移动窗口的宽度是一帧时间,卷积后的结果 $L_c(t)$ 就是运动图像响应曲线MPRC,它仍在时间域上,卷积后的响应曲线变得更平缓。MPRC与运动速度无关,它是反映运动边缘模糊的亮度轮廓,经过从时间到空间的转换后,可以得到空间上运动模糊的边缘轮廓。

$$L_c(t) = \frac{1}{T_f} Y_0(t) * G_{T_f}(t) = \frac{1}{T_f} \int_0^{T_f} Y_0(t - \tau) \cdot G_{T_f}(\tau) d\tau. \quad (4)$$

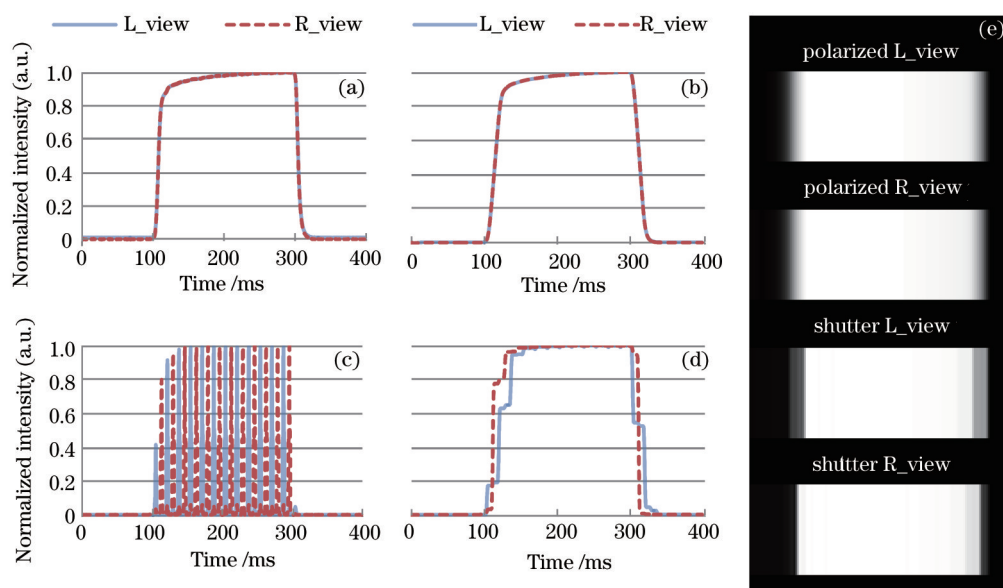


图3 基于双目视差的立体显示运动模糊模拟。(a)偏振式LCRC;(b)偏振式MPRC;(c)快门式LCRC;(d)快门式MPRC;(e)模糊边缘轮廓

Fig.3 Simulation of motion blur in binocular parallax based stereoscopic displays. (a) Polarized type LCRC; (b) polarized type MPRC; (c) shutter type LCRC; (d) shutter type MPRC; (e) blur edge profile

图3是平面运动模糊模拟的过程,从测量亮度响应曲线 LCRC 到卷积后的运动图像响应曲线 MPRC,再从时间转换到空间的模糊边缘轮廓,模拟速度为 8 ppf。偏振式的左右视图(L_view 和 R_view)保持一致,快门式的左右视图不一致。

4.2 三维重现视觉感知实验设计

为了研究立体显示中“视差”因素对运动模糊感知的影响以及探索立体运动模糊模拟模型,设计了基于平面运动模糊模拟的三维重现视觉感知实验。由于涉及的影响因素较多,实验分为两组实施。

测试时,显示器屏幕上半屏显示运动的清晰图像,下半屏显示对应速度的静止模糊模拟图像,受测者对运动图像和静止图像边缘模糊的相似程度进行判断并评分。实验设置如图4所示,运动方块的边长设置为显示屏高度的十分之一($V/10$),运动图像和静止图像的垂直距离为显示屏高度的二十分之一($V/20$),运动图像以特定的速度从左往右水平运动,受测者以运动图像运动到与静止图像垂直对应位置时的相似程度为准进行评分,这样可以避免运动图像和静止图像不在同一垂直位置时,视角等问题所造成的误差。受测者在距离显示屏三倍屏高的位置观看。

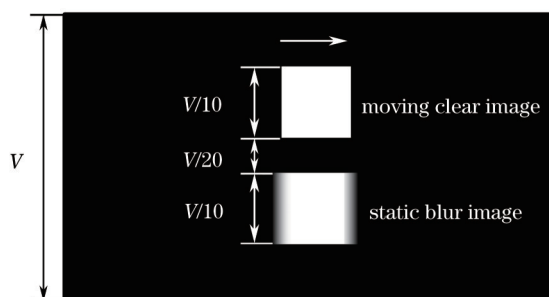


图4 视觉感知实验设置

Fig.4 Perception experiment set up

实验一使用的显示器是一款 47 inch(1 inch=2.54 cm)的偏振式立体电视,同时考虑了不同明度等级之间的跳变来选择测试图。首先将显示器的明度分为 7 个等级,每个明度等级对应显示器的不同显示灰度,共选择了 5 个明度等级的方块在背景下运动,包含了 5 个上升沿和 5 个下降沿。运动方块的运动速度选择了 4 ppf、8 ppf 和 12 ppf 三种常用速度,立体视差设计了两种(0° 无视差和 0.3° 屏前成像视差),整个测试共 30 个样本,运动前后边缘分别评分,每个受测者共 60 次评分。实验时,受测者将以 5 分制的标准分别对运动前后边缘的模拟相似程度进行评分。

实验二考虑到不同类型立体显示器的影响,使用实验一中显示器的同时使用了另一款 55 inch 的快门式立体电视。立体视差在实验一的基础上增加了 0.6° 屏前成像视差。另外,运动速度的选择和实验一相同,跳变等级选择了 0~255 之间的跳变。整个测试共 18 个样本,运动前后边缘分别评分,每个受测者共 36 次评分。

4.3 实验结果分析

所有评分数据经过处理,并利用 SPSS 软件(Version 13.0)进行分析。方差分析(ANOVA)(表1)表明,实验一中的测试“图像”、运动“速度”对模拟相似度评分有高度显著的影响($p < 0.01$),而立体图像“视差”对评分没有显著性影响($p > 0.05$)。其中,测试“图像”的显著性影响在于该显示器采用的过驱动技术,不同的灰阶跳变过驱动带来的影响不同。另外,模拟图像采用了插值的方法获得,运动速度不同,插值的精度不同,这导致了运动速度对相似度评分的显著性影响。实验二中的立体“显示器”类型、立体图像“视差”对评分没有显著性影响,运动“速度”对运动前边缘评分有显著性影响而对运动后边缘的评分没有显著性影响,这是由于实验二中采用了 0~255 之间的灰阶跳变图像,其运动后边缘为下降沿,响应速度很快,因此运动速度不同导致的插值精度差异不会对感知产生明显影响。

然而,相似程度的评分几乎都在 4 分(对应相似程度稍有不同)以上,说明人眼实际观察到的立体运动模糊效果与模拟效果非常相似。两组实验的模拟相似程度评分平均值及其 95% 置信区间如图 5 和图 6 所示。

表 1 各变量因素对运动模糊相似度评分的 ANOVA 分析结果

Table 1 Results of the ANOVA analysis, investigating the effect of all factors on motion blur similarity

Group	Factor	Motion front edge (rising edge)			Motion back edge (falling edge)		
		df	F	Sig.	df	F	Sig.
Experiment 1	Image	4	1.334	0.001	4	1.415	0.001
	Speed	2	8.432	<0.001	2	6.265	<0.001
	Parallax	1	0.713	0.100	1	0.052	0.685
Experiment 2	Display	1	0.028	0.869	1	0.419	0.520
	Speed	2	10.982	<0.001	2	1.961	0.151
	Parallax	2	0.248	0.781	2	0.050	0.951

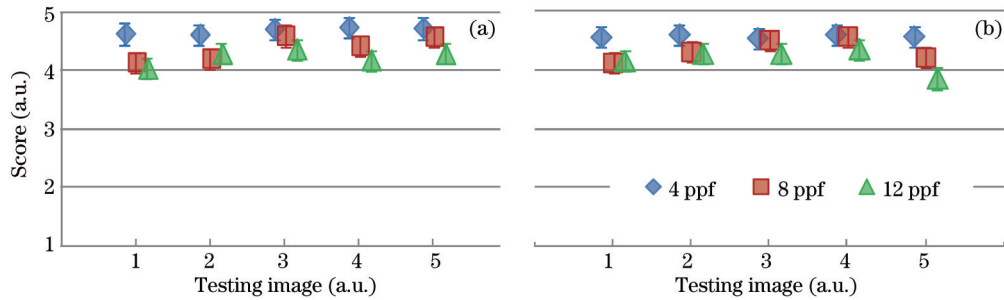


图 5 实验一的模拟相似度评分结果。(a)运动前边缘(上升沿);(b)运动后边缘(下降沿)

Fig.5 Result of simulation similarity score in experiment one. (a) Motion front edge (rising edge); (b) motion back edge (falling edge)

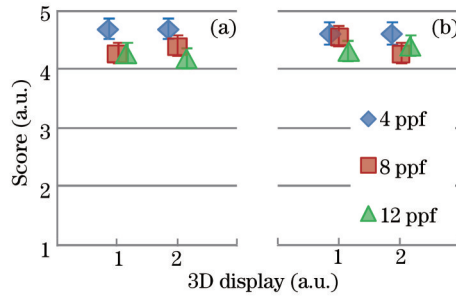


图 6 实验二的模拟相似度评分结果。(a)运动前边缘(上升沿);(b)运动后边缘(下降沿)

Fig.6 Result of simulation similarity score in experiment two. (a) Motion front edge (rising edge); (b) motion back edge (falling edge)

4.4 立体运动模糊模拟模型

实验结果表明,因素“视差”对模拟相似度评分结果没有显著性影响,也就是立体图像的景深对模拟效

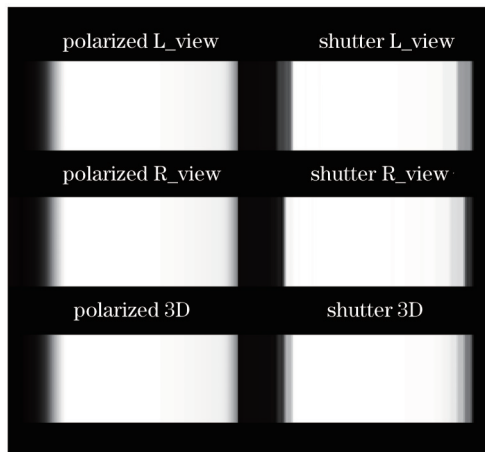


图 7 立体运动图像感知效果模拟

Fig.7 3D moving image perception effect simulation

果没有显著性影响,因此立体运动图像的感知效果可以用平面模拟图像通过平均的方法来表现,感知的立体图像亮度是平面左右视图亮度的平均值[(5)式],平均方法参考了ICDM中算术平均的做法。利用这种方法,两种主要立体显示的运动图像感知效果模拟图如图7所示。

$$L_{3D} = \frac{L_{2D}(L_view) + L_{2D}(R_view)}{2} \quad (5)$$

5 立体显示运动模糊评价方法

客观的量化必须以客观测量为前提,而立体显示的客观测量只能测量显示的左右视图,立体显示中立体图像与左右视图之间的关系是影响立体显示运动模糊评价的关键。第四节中的视觉感知实验表明,立体图像中的景深因素对运动模糊的感知没有显著性的影响,可以认为立体运动图像模糊是左右视图运动模糊的融合。因此,立体显示运动模糊的评价可以建立在立体显示左右视图运动模糊评价的基础之上。具体的评价方法是左右视图亮度响应曲线LCRC[$Y_l(t)$ 和 $Y_r(t)$]单独测量,它们的算术平均值曲线进行一帧的移动窗口积分[(6)式],最终得到立体运动图像响应曲线MPRC(3D)(如图8所示),根据MPRC(3D)以及采用与平面显示运动模糊一致的方法可以计算相应的BET、EBET、MPRT等立体显示运动模糊的评价指标。

$$V_{3D}(\tau) = \frac{1}{2T_f} \int_{\tau}^{\tau+T_f} [Y_l(t) + Y_r(t)] dt \quad (6)$$

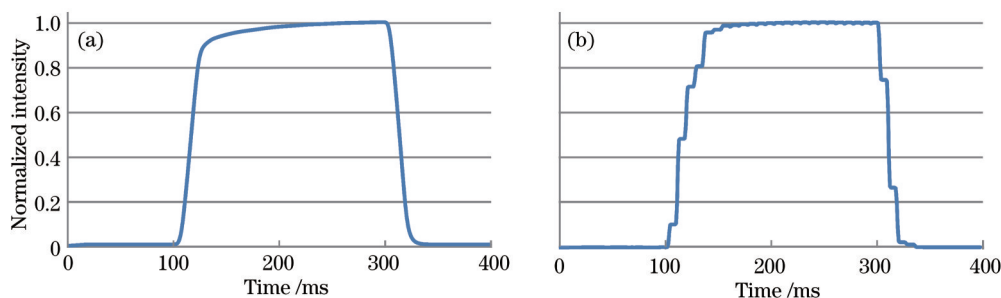


图8 立体显示运动图像响应曲线。(a)偏振式MPRC;(b)快门式MPRC

Fig.8 3D motion picture response curve. (a) Polarized type MPRC; (b) shutter type MPRC

6 结 论

基于双目视差以及液晶显示的立体显示技术中存在运动边缘模糊的问题,立体图像的运动模糊是左右眼感知到的左右视图的平面运动模糊在大脑中再融合处理后的结果。通过平面运动模糊模拟后三维重现的方法研究了“视差”因素对立体图像运动模糊感知程度的影响,从而提出了利用左右视差图像模糊程度平均的方法建立立体显示运动模糊的模拟和评价模型。该评价模型的建立将使立体显示运动图像质量的评价更加客观和准确,同时为立体显示运动图像质量的提升提供参考。

参 考 文 献

- 1 T Yamamoto, S Sasaki, Y Igarashi, *et al.*. Guiding principles for high-quality moving picture in LCD TVs [J]. Journal of SID, 2006, 14(10): 933-940.
- 2 Y W Fang, J F Chen, R L Dong., *et al.*. A novel algorithm for over-drive optimization [J]. SID Symposium digest of Technical Papers, 2009, 40(1): 709-712.
- 3 H Nam, J Oh, B H Shin, *et al.*. Novel impulsive driving schemes for 120 Hz LCD panels [J]. Journal of Information Display, 2008, 9 (1): 1-5.
- 4 Xia Zhenping, Li Xiaohua, Cui Yuan, *et al.*. Response time estimation of blinking backlight LCD based on wavelet transformation [J]. Journal of Southeast University (Natural Science Edition), 2011, 41(1): 37-40.
夏振平, 李晓华, 崔 渊, 等. 基于小波变换的闪烁背光LCD响应时间估算[J]. 东南大学学报(自然科学版), 2011, 41(1): 37-40.
- 5 Yang Lei, Xia Jun, Zhang Xiaobing, *et al.*. Three-dimensional display by holographic imaging on multiple focal planes [J]. Chinese J Lasers, 2014, 41(2): 0209017.

- 杨 磊, 夏 军, 张晓兵, 等. 基于多平面全息成像的三维显示[J]. 中国激光, 2014, 41(2): 0209017.
- 6 Wang Shulu, Ming Hai, Wang Anting, *et al.*. Three-dimensional display based on human visual perception [J]. Chinese J Lasers, 2014, 41(2): 0209007.
- 王书路, 明 海, 王安廷, 等. 基于人眼视觉特性的三维显示技术[J]. 中国激光, 2014, 41(2): 0209007.
- 7 Shen Chuan, Wei Sui, Liu Kaifeng, *et al.*. Survey on methods and systems of color holographic display [J]. Laser & Optoelectronics Progress, 2014, 51(3): 030005.
- 沈 川, 韦 穗, 刘凯峰, 等. 彩色全息显示方法与系统概述[J]. 激光与光电子学进展, 2014, 51(3): 030005.
- 8 Xia Zhenping, Li Xiaohua, Cui Yuan, *et al.*. Crosstalk analysis and cancellation method study in stereoscopic displays [J]. Acta Optica Sinica, 2012, 32(10): 1012002.
- 夏振平, 李晓华, 崔 渊, 等. 眼镜式立体显示中的串扰分析及消除方法研究[J]. 光学学报, 2012, 32(10): 1012002.
- 9 Xia Zhenping, Li Xiaohua, Chen Lei, *et al.*. Objective evaluation of flicker in stereoscopic display with active shutter glasses [J]. Acta Optica Sinica, 2013, 33(12): 1233001.
- 夏振平, 李晓华, 陈 磊, 等. 快门眼镜式立体显示中闪烁的客观评价[J]. 光学学报, 2013, 33(12): 1233001.
- 10 Xia Zhenping, Li Xiaohua, Chen Lei, *et al.*. Study on the effect of ambient light flicker in stereoscopic display with active shutter glasses [J]. Acta Optica Sinica, 2014, 34(7): 0733002.
- 夏振平, 李晓华, 陈 磊, 等. 对快门式立体显示中环境光闪烁的影响研究[J]. 光学学报, 2014, 34(7): 0733002.
- 11 H J Choi, J H Jung, H Kim, *et al.*. Analysis of the motion picture quality of stereoscopic three-dimensional images [J]. Journal of the Optical Society of Korea, 2010, 14(4): 383-387.
- 12 K Oda, A Yuuki. Evaluation of moving picture quality using the pursuit camera system [C]. 22nd International Display Research Conference Nice, France, 2002. 115-118.
- 13 X Li, K Teunissen, W Song, *et al.*. Characterizing motion performance with the simulation method [C]. Imid/Idmc/Asia Display IIsan, Korea, 2008. 1573-1576.

栏目编辑: 张浩佳