

文章编号:1007-2780(2015)05-0877-06

# 时空混合控制式自由立体显示系统背光刷新方式优化研究

苏剑邦<sup>1</sup>,梁浩文<sup>1</sup>,陈海域<sup>1</sup>,周延桂<sup>1</sup>,范 杭<sup>1</sup>,林岱昆<sup>1</sup>,周建英<sup>1,2</sup>,王嘉辉<sup>1,2\*</sup>

(1. 中山大学 光电材料与技术国家重点实验室,广东 广州 510275;

2. 中山大学 物理科学与工程技术学院,广东 广州 510275)

**摘要:**时空混合控制式自由立体显示是一种新型的自由立体显示技术,具有全分辨率和低串扰率优点,消除了背光源刷新与屏幕图像刷新不同步所导致的时域串扰率升高,这是时空混合控制式自由立体显示的关键问题之一。本文介绍了时空式立体显示系统的原理和动态背光的工作方式,提出了扫描式和垂直式两种不同的背光源刷新方式,着重对比了两种背光源刷新方式对屏幕亮度和串扰率的影响。通过实验测量给出了时空式自由立体显示系统背光源刷新的最优优化参数设置。在优化配置条件下,系统串扰率低至 2.64%,证明动态背光同步技术可以有效降低系统的时域串扰率。

**关 键 词:**自由立体显示;动态背光;时域串扰

**中图分类号:**TN141.9 O436.3      **文献标识码:**A      **doi:**10.3788/YJYXS20153005.0877

## Optimization of backlight scanning on auto-stereoscopic display with spatial and sequential hybrid control

SU Jian-bang<sup>1</sup>, LIANG Hao-wen<sup>1</sup>, CHEN Hai-yu<sup>1</sup>, ZHOU Yan-gui<sup>1</sup>,  
FAN Hang<sup>1</sup>, LIN Dai-kun<sup>1</sup>, ZHOU Jian-ying<sup>1,2</sup>, WANG Jia-hui<sup>1,2\*</sup>

(1. *State Key Laboratory of Optoelectronics Materials and Technologies, Sun Yat-sen University, Guangzhou 510275, China;*

2. *School of Physics and Engineering, Sun Yat-sen University, Guangzhou 510275, China*)

**Abstract:** Auto-Stereoscopic with improved spatial and sequential hybrid control (SSHC) is a new type of auto-stereoscopic display technology which retains full resolution and low crosstalk ratio. It eliminates the temporal crosstalk caused by the non-synchronization between the screen and the backlight module, which is one of the key issues of auto-stereoscopic display with SSHC. The paper explains principles of auto-stereoscopic display with SSHC and dynamic backlight system. Two different refreshing strategies of backlight module are introduced, which are the scanning type and the vertical type. Comparison on the influences on the luminance and crosstalk ratio of the display system for both strategies is mainly discussed. The optimal settings for backlight module are achieved through experimental results. Experimental results show that the crosstalk ratio of the display system can be suppressed as low as 2.64% with the optimal settings, which proves that the dynamic backlight control technique can effectively lowers temporal crosstalk.

**Key words:** auto-stereoscopic display; dynamic backlight; temporal crosstalk

收稿日期:2014-10-16;修订日期:2014-11-13.

基金项目:国家“973”计划项目(No. 2012CB921904);2014 年广州市科技计划项目科学研究专项(No. 2014J4100115)

\* 通信联系人,E-mail:wangjh@mail.sysu.edu.cn

1 引 言

自由立体显示已被广泛认为是未来显示技术的重要方向<sup>[1]</sup>。目前主流的自由立体显示主要是基于双目视差原理<sup>[2]</sup>工作。而根据具体实现的原理不同,自由立体显示可分为空间复用技术和时间复用技术两大类<sup>[3-4]</sup>。常见的视障光栅和柱透镜阵列式自由立体显示技术<sup>[5]</sup>属于空间复用技术,此类技术的优点是分光器件便于加工并且容易实现多视点系统,缺点是会导致立体图像分辨率降低。时间复用技术中比较有代表性的是指向光源式技术<sup>[6-7]</sup>,其优点是保持立体图像的分辨率,但由于所需的特殊光学膜层设计加工困难,而且不容易应用于多视点系统,所以未被广泛应用。另外以上两类自由立体显示技术的串扰率<sup>[8]</sup>均在 5% 以上,而研究显示当立体图像的串扰率高于 5% 时会明显影响观看者的观看舒适度<sup>[9]</sup>。

基于以上现状,本文提出了一种基于时空混合控制式的自由立体显示解决方案<sup>[10]</sup>。这种技术结合了时间复用技术和空间复用技术的特点,在不降低立体图像分辨率的基础上提高显示亮度和降低串扰率。实验证明此系统的串扰率在 3% 左右。本文对此技术的背光刷新方式进行研究,对两种不同的背光刷新方式进行比较,得出背光刷新方式参数的最优化设置,有效降低立体串扰率和提高显示亮度。

2 系统结构与原理

2.1 系统结构

时空混合控制式自由立体显示系统由 LED 背光模组、120 Hz 液晶面板和菲涅尔透镜阵列组成,结构原理如图 1。系统工作原理如图 2 所示,液晶面板以 120 Hz 刷新率交错播放左右眼立体图像对,当屏幕显示左眼图像时(如图 2(a)所示),只打开对应左眼的 LED 背光源,经过菲涅尔透镜阵列的分光,使得观看者只有左眼看到屏幕上的图像;屏幕显示右眼图像时(如图 2(b)所示)只打开对应右眼的 LED 背光,仍然是通过菲涅尔透镜的分光功能把图像只投影到观看者的右眼。这样观看者就能看到视差图像对,实现立体图像

的播放。图 3 所示是时空混合控制式的自由立体显示样机。

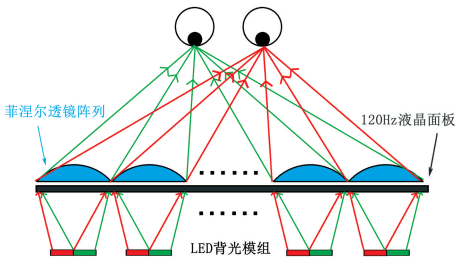


图 1 时空混合控制式自由立体显示系统结构  
Fig. 1 Structure of auto-stereoscopic display with SSH

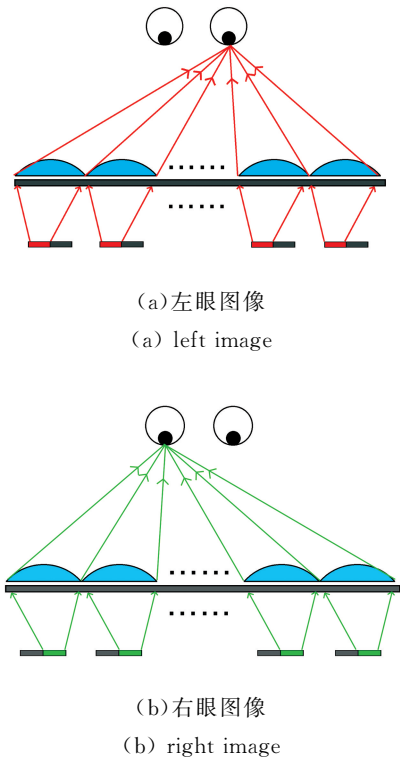


图 2 时空混合控制式自由立体显示原理  
Fig. 2 Principle of auto-stereoscopic display with SSHC



图 3 时空混合控制式自由立体显示样机  
Fig. 3 Prototype of auto-stereoscopic display with SSHC

2.2 动态背光原理

显示系统所用的 120 Hz 液晶面板的图像刷新方式是每一帧图像从屏幕的顶部开始从顶部向底部逐行刷新,未刷新的区域保留前一帧图像的画面,如图 4 所示(图中左、右眼图像分别用红色和绿色表示)。由图 4 及图 2 可知在时空混合控制式自由立体显示中对应左(右)眼的背光源不能在左(右)眼图像刚开始刷新就全部打开从而照亮全部屏幕,否则观看者的左(右)眼将会看到左眼图像和右眼图像的混合图像,产生串扰。这种由于背光源和屏幕刷新不同步而造成的串扰称为时域串扰。因此 LED 背光模组需要使用如图 5 所示的动态背光刷新方式来与屏幕图像刷新同步,达到消除时域串扰的效果。

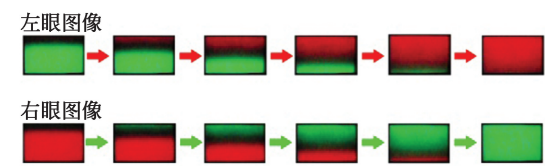


图 4 120 Hz 液晶面板刷新过程  
Fig.4 Refresh of 120 Hz LCD panel

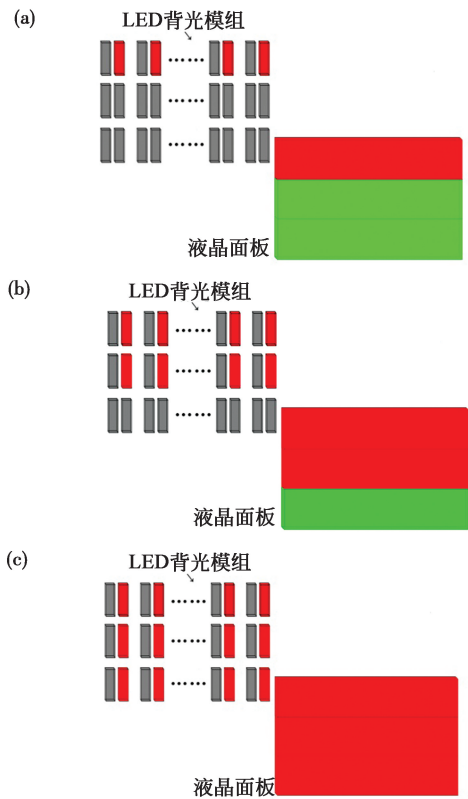


图 5 动态背光过程(左眼图像)

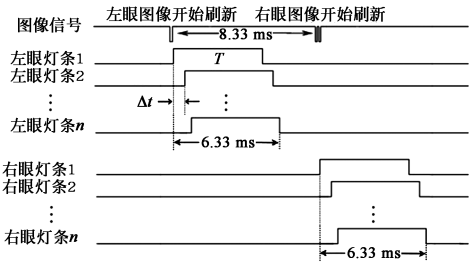
Fig.5 Principle of dynamic backlight control (left image)

时空混合控制式自由立体显示系统的 LED 背光模组由如图 5 所示分成 3 行的 LED 灯条阵列组成。当屏幕刷新左眼图像时,对应右眼的 LED 灯条始终保持关闭,当左眼图像(红色)刷新到屏幕的 1/3 时打开第 1 行的 LED 光灯条,刷新到屏幕的 2/3 时打开第 2 行 LED 光灯条,最后左眼图像占满屏幕时打开全部的对应该左眼的 LED 灯条。屏幕刷新右眼图像(绿色)时的动态背光过程与左眼图像的相同。上述动态背光使背光模组与屏幕图像同步刷新,有效避免了左右眼图像被传送到错误视区的情况,降低了系统的时域串扰。

2.3 动态背光的刷新时序

图 4 所示的 120 Hz 液晶面板刷新过程是由帧率为 1 000 fps 的高速相机拍摄的。拍摄过程显示:当屏幕完成刷新当前帧之后,大约有 2 ms 的维持阶段,使得屏幕图像维持在当前帧不变,然后再开始刷新下一帧。所以对应的 LED 灯条在每个帧刷新周期内刷新动作所占的总时长不应该大于 6.33 ms,否则将会产生时域串扰。对如图 5 所示的 LED 灯条阵列,其刷新方式有两种,分别是扫描式刷新和垂直式刷新。扫描式刷新方式是指 LED 背光模组中所有 LED 灯条在一个帧刷新周期内的打开时刻都不一样,相邻两条灯条打开时刻之间的时间是固定的。垂直式刷新是指背光模组中的灯条与屏幕对应分成 3 行,当屏幕图像刷到 1/3 时才同时打开第 1 行的灯条,刷到 2/3 的时候同时打开第 2 行的灯条,占满全屏的时候才全部打开背光源,相邻两行背光源打开时刻之间的延时也是固定的。两种刷新方式对应的时序如图 6。图 7 是两种刷新方式的效果对比。

图 6 所示的两种刷新方式的时序中,高电平表示 LED 灯条被打开,低电平表示被关闭。 $T$  表示每条灯条在一个帧刷新周期(8.33 ms)内的打



(a) 扫描式刷新

(a) scanning refresh

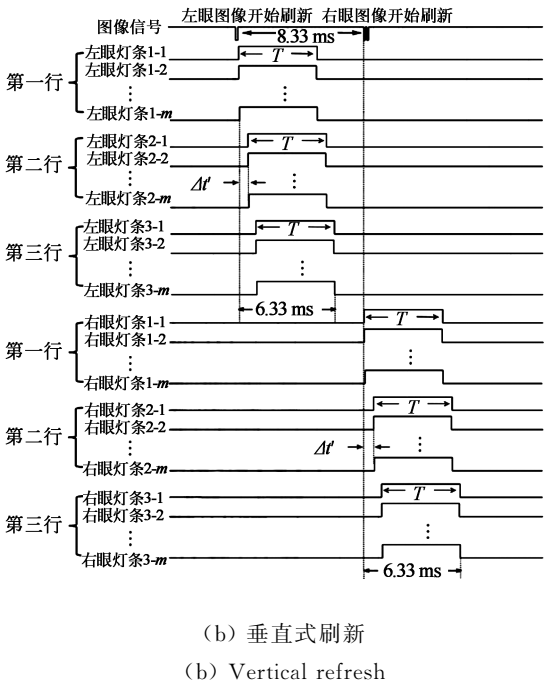


图 6 两种刷新方式时序对比

Fig. 6 Timing sequences comparison of two refresh strategies

开时长。对扫描式刷新,  $\Delta t$  表示相邻两条灯条打开时刻之间的延时; 对垂直式刷新,  $\Delta t'$  表示相邻两行背光源打开时刻之间的延时。上文已提及背光源打开总时长不应超过 6.33 ms, 所以对扫描式刷新, 有:

$$T + (n - 1) \Delta t \leq 6.33 \text{ ms}, \quad (1)$$

其中  $n$  代表背光模组中 LED 灯条的数量。对垂直式刷新, 有:

$$T + 2 \Delta t' \leq 6.33 \text{ ms}. \quad (2)$$

### 2.4 实验测量

为了研究两种背光源刷新方式对系统显示效果的影响, 需要测量这两种方式下系统的串扰率。测量内容如下:

(1) 对扫描式刷新, 改变  $T$ , 取值范围是 0.8 ~ 5.4 ms, 每一个  $T$  的值均取一个  $\Delta t$  使其满足 (1) 式, 测量屏幕上的亮度分布曲线以计算其串扰率。

(2) 对垂直式刷新,  $T$  同样在 0.8 ~ 5.4 ms 范围内取值, 改变  $\Delta t'$  使得对每一个  $T$  的值均满足 (2) 式, 同样测量屏幕上的亮度分布曲线以计算其串扰率。

测得屏幕的亮度分布后, 串扰率可用以下公式计算<sup>[11]</sup>:

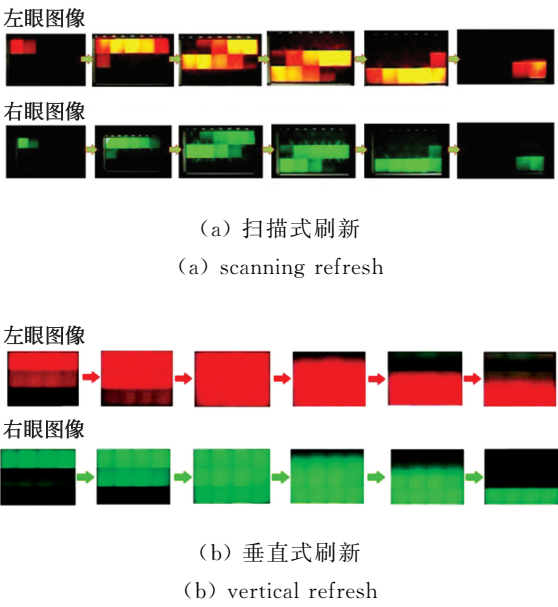


图 7 两种刷新方式效果对比

Fig. 7 Visual effect comparison of two refresh strategies

$$\text{Crosstalk ratio} = \frac{I_{\text{leakage}} - I_{\text{background}}}{I_{\text{right}} - I_{\text{background}}} \times 100\%, \quad (3)$$

$I_{\text{leakage}}$  和  $I_{\text{right}}$  分别表示错误串扰到该视区的光强 (串扰光强) 和本应进入该视区的光强。  $I_{\text{background}}$  是指背景光强, 测量背景光强的方法是同时把左右眼图像设为全黑图像后测量此时屏幕的亮度。

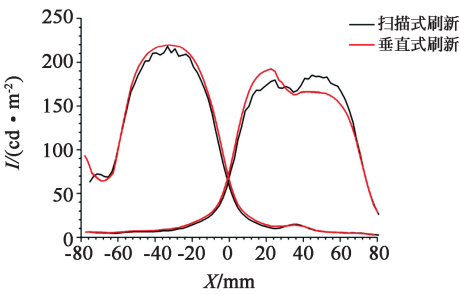
## 3 结果与讨论

### 3.1 实验测量结果

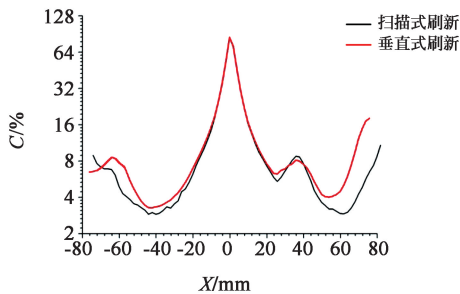
图 8 所示是当  $T$  设定为 2.0 ms 时两种刷新方式的屏幕亮度分布和串扰率分布对比。其中横向距离  $X$  是指最佳视距上的横向观看位置, 坐标 0 的点就是屏幕的中心法线方向。可以看到两种刷新方式下的光强分布都能集中在视区内, 但垂直式刷新下的屏幕亮度比扫描式刷新下的要稍微高一点, 而串扰率对比则是垂直式刷新方式比扫描式稍高 0.1%。

$T$  在 0.8 ~ 5.4 ms 内两种刷新方式的最大屏幕亮度对比如图 9。

从图 9 可以看到, 两种刷新方式下的屏幕亮度都随着  $T$  的增大而升高。但对于同一个打开时长  $T$ , 垂直式刷新下的屏幕亮度比扫描式刷新下的高。



(a) 光强对比  
(a) luminance comparison



(b) 串扰率对比  
(b) crosstalk ratio comparison

图 8  $T=2.0\text{ ms}$  下两种刷新方式对比

Fig. 8 Comparisons of two refresh strategies when  $T=2.0\text{ ms}$

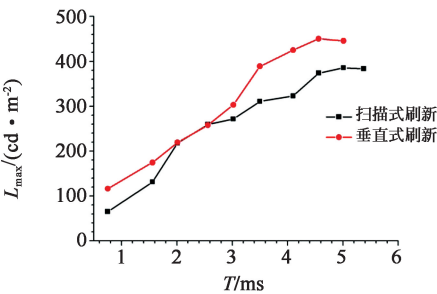


图 9 两种刷新方式下屏幕亮度对比

Fig. 9 Luminance comparison of two refresh strategies

根据式(3)及测得的屏幕亮度数据可以计算出两种刷新方式下串扰率与打开时长  $T$  的关系曲线如图 10。可以明显看到扫描式刷新下的串扰率比垂直式刷新的低。 $T$  在  $0.8\sim4.0\text{ ms}$  范围内时,扫描式刷新的串扰率在  $2.6\%\sim3\%$  范围内波动,垂直式刷新的串扰率在  $3.5\%$  上下波动。当  $T$  超过  $4.0\text{ ms}$  后,两种刷新方式下的串扰率都急剧上升。在扫描式刷新下, $T$  在  $2.0\sim3.0\text{ ms}$  且与  $\Delta t$  符合式(1)时系统的串扰率始终小于

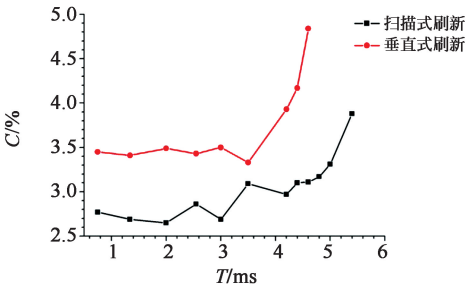


图 10 两种刷新方式下串扰率对比

Fig. 10 Crosstalk ratio comparison of two refresh strategies

$3\%$ ,在  $T$  为  $2.0\text{ ms}$  时的串扰率达到最小,为  $2.64\%$ 。

3.2 实验数据分析

结合图 9 和图 10 的数据分析可以知道虽然扫描式刷新的屏幕亮度较低,但同时降低了串扰率。按照动态背光的理论,当背光源与屏幕图像刷新之间的同步程度越高,对时域串扰的压制就越有效,理论上系统的串扰率更低。所以根据图 9,扫描式刷新与屏幕图像刷新的同步程度比垂直式刷新的高。

由图 4 和图 7(b)可以看到垂直式刷新与屏幕刷新具有更相似的形式,但同步程度却低于扫描式刷新。造成这个现象的原因是虽然垂直式刷新可以提高视区的亮度,但同时也提高了串扰到错误视区的光强,使得串扰率升高。图 11 所示是两种刷新方式下的串扰光强  $I_{\text{leakage}}$  比较。

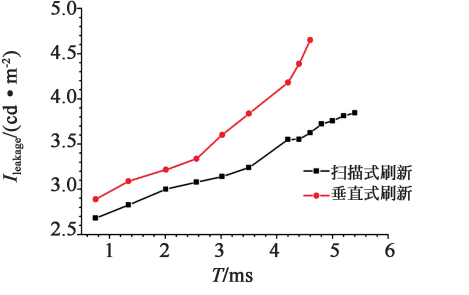


图 11 两种刷新方式下串扰光强对比

Fig. 11 Crosstalk luminance comparison of two refresh strategies

由图 11 看到垂直式刷新的串扰光强比扫描式刷新的高,平均高约  $60\%$ 。而由图 10 数据可以计算得到垂直式刷新下的屏幕亮度只比扫描式刷新下的高约  $20\%$ ,结合(3)式就可以解释垂直

式刷新的串扰率比扫描式刷新的高这个现象。

因此,垂直式刷新对串扰光强的影响比屏幕亮度的大,造成串扰率比较高。结合图 9 和图 10 分析可知, $T$  在  $2.0 \sim 3.0$  ms 时两种刷新方式下的屏幕亮度都在  $200 \sim 300$  cd/m<sup>2</sup> 范围内,差距极小,而且达到一般二维平面显示器的平均水平,但在这个时序范围内扫描式刷新的串扰率明显比垂直式刷新的低,并始终低于 3%。

综上所述,综合实验测量结果并权衡亮度和串扰率这两个影响立体显示的关键因素后,可以得出时空混合控制式自由立体显示系统背光刷新方式的最优化设置:采用扫描式刷新方式,背光打开时长  $T$  设定在  $2.0 \sim 3.0$  ms 之间并与打开延时  $\Delta t$  满足(1)式,此时显示系

统的屏幕亮度可达到一般平面显示器的水平,而串扰率始终保持在 3% 以下,立体图像显示效果较好。

## 4 结 论

本文提出了两种基于时空混合控制式自由立体显示技术的背光源刷新方式并对比测试了两种刷新方式对系统显示效果的影响,研究得出背光源的最优化时序设置并降低系统的时域串扰。实验测得使用此最优化设置的动态背光模组的显示系统的串扰率低于 3%,其中扫描式背光的串扰率更低至 2.64%。实验证明,这种动态背光技术可有效提高立体显示效果。

## 参 考 文 献:

- [1] Liou J C, Lee K, Huang J F. Low crosstalk multi-view tracking 3-D display of synchro-signal LED scanning backlight system [J]. *J. Display Technol.*, 2011, 7(8): 411-419.
- [2] 王琼华. 3D 显示技术与器件[M]. 北京: 科学出版社, 2011: 11-27.  
Wang Q H. *3D display Technology and Devices* [M]. Beijing: Science Press, 2011: 11-27. (in Chinese)
- [3] Son J Y, Javidi B, Yano S, *et al.* Recent developments in 3-D imaging technologies [J]. *J. Display Technol.*, 2010, 6(10): 394-403.
- [4] Peterka T, Kooima R, Sandin D, *et al.* Advances in the dynallax solid-state dynamic parallax barrier autostereoscopic visualization display system [J]. *IEEE Trans. Vis. Comput. Graphics*, 2008, 14(3): 487-499.
- [5] Son J Y, Saveljev V V, Kim J S, *et al.* Viewing zones in 3-D imaging systems based on lenticular, parallax barrier and microlens array plates [J]. *Appl. Opt.*, 2004, 43(26): 4985-4992.
- [6] Chien K W and Shieh H P. Time-multiplexed three-dimensional displays based on directional backlights with fast-switching liquid-crystal displays [J]. *Appl. Opt.*, 2006, 45: 3106-3110.
- [7] Chen C H, Yeh Y C, Shieh H P. 3-D mobile display based on Moiré-free dual directional backlight and driving scheme for image crosstalk reduction [J]. *J. Display Technol.*, 2008, 4(1): 92-96.
- [8] 王嘉辉, 邓玉桃, 苏剑邦, 等. 全高清裸眼 3D 显示效果的评价与测量[J]. *液晶与显示*, 2013, 28(5): 805-809.  
Wang J H, Deng Y T, Su J B. Evaluation and measurement of the display effect in full high resolution autostereoscopic display [J]. *Chinese Journal of Liquid Crystals and Displays*, 2013, 28(5): 805-809. (in Chinese)
- [9] Kooi F L, Toet A. Visual comfort of binocular and 3D displays [J]. *Displays*, 2004, 25: 99-108.
- [10] Wang J H, Liang H W, Fan H, *et al.* High-quality autostereoscopic display with spatial and sequential hybrid control [J]. *Appl. Opt.*, 2013, 52(35): 8549-8553.
- [11] 王嘉辉, 邓玉桃, 黎奕宁, 等. 眼镜式 3D 显示设备综合性能测试方案的研究[J]. *液晶与显示*, 2014, 29(6): 1071-1076.  
Wang J H, Deng Y T, Li Y N. Measurement and evaluation of comprehensive performance in 3D Display with glasses [J]. *Chinese Journal of Liquid Crystals and Displays*, 2014, 29(6): 1071-1076. (in Chinese)

作者简介: 苏剑邦(1989—), 男, 广东广州人, 硕士研究生, 主要从事 3D 显示背光控制、光学测量方面的研究, E-mail: sujibang@mail2.sysu.edu.cn