

文章编号:1007-2780(2013)05-0805-05

全高清裸眼 3D 显示效果的评价与测量

王嘉辉, 邓玉桃, 苏剑邦, 周延桂,
范 杭, 梁浩文, Peter Krebs, 程 义, 周建英*

(中山大学 光电材料与技术国家重点实验室, 广东 广州 510275, E-mail: wangjh@mail.sysu.edu.cn)

摘 要: 描述了裸眼 3D 显示设备的关键指标, 包括左右通道串扰率、显示色温、色域覆盖率、分辨率的检测方式与结果。研究结果表明, 双视点全高清裸眼 3D 显示原型机在 2D 模式以及 3D 模式下均能保持 $1\,920 \times 1\,080$ 像素的分辨率, 亮度为 258 cd/m^2 , 色温值为 $5\,686\text{ K}$, 色域为 70.83% 的 NTSC 色域饱和度, 视区内的串扰率低至 3.62% 。

关 键 词: 全高清; 裸眼 3D 显示; 串扰率; 分辨率

中图分类号: TN141.9 O436.3

文献标识码: A

DOI: 10.3788/YJYXS20132805.0805

Evaluation and Measurement of Display Effect in Full High Resolution Autostereoscopic Display

WANG Jia-hui, DENG Yu-tao, SU Jian-bang, ZHOU Yan-gui,
FAN Hang, LIANG Hao-wen, Peter Krebs, CHENG Yi, ZHOU Jian-ying*

(State Key Laboratory of Optoelectronic Materials and Technologies, Guangzhou 510275,
China, E-mail: wangjh@mail.sysu.edu.cn)

Abstract: Key indicators of autostereoscopic display, including crosstalk ratio, color temperature, color gamut, and resolution are characterized. Measurement results show that the full high definition autostereoscopic display prototype, which is produced in the 3D display laboratory, can maintain the definition of $1\,920 \times 1\,080$ pixel in both 3D and 2D mode. The luminance of the prototype can reach 258 cd/m^2 and the color temperature is $5\,686\text{ K}$. The color gamut is 70.83% in a standard of NTSC. The crosstalk ratio in the viewing zone is as low as 3.62% .

Key words: full-high resolution; glasses-free autostereoscopic display; crosstalk; resolution

1 引 言

裸眼 3D 显示由于具有广泛的市场前景而备受关注, 然而, 相比起辅助式 3D 显示设备, 裸眼 3D 显示效果差强人意, 主要表现在 3 个方面: 第一, 目前串扰率高, 画面存在明显重影, 容易使观众产生视觉疲劳、眼花、晕眩等不适; 第二, 由于增

加了光学器件(如柱透镜阵列和液晶视障光栅等), 所以裸眼 3D 显示设备的色域会缩减, 而色温也会发生改变, 从而使图像出现偏色; 第三, 裸眼 3D 显示产品 3D 工作状态相对于 2D 的分辨率显著下降, 是影响显示效果的重要因素。

然而, 针对裸眼 3D 显示的各项光学和电学性能指标, 业内并未确立标准化的测试标准。这

收稿日期: 2013-02-25; 修订日期: 2013-03-29

基金项目: “973”计划及重大科学研究计划(No. 2012CB921904)

作者简介: 王嘉辉(1979—), 男, 广东广州人, 硕士, 实验师, 主要从事 3D 显示技术、光电测量方面科研。

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

导致裸眼 3D 显示产品质量参差不齐,同时也影响消费者对裸眼 3D 显示产品的信心。为更好地推动裸眼 3D 显示技术的发展和规范产品质量,制定裸眼 3D 相关指标的标准化测试方案实属必要。本文针对裸眼 3D 显示设备的串扰率、亮度、色温、色域、分辨率等关键指标提出了一套可行、可靠、系统的测试方案。

2 实 验

2.1 裸眼 3D 显示设备的关键指标

(1)串扰率:对于双视点的 3D 显示设备,指的是在观看 3D 影像时,本该进入左眼的光线进入右眼,反之亦然;对于多视点的 3D 显示设备,串扰是指相邻视点的光线进入了人眼所在视点。

从立体视觉原理来分析,目前主流裸眼 3D 显示技术原理主要是基于双目视差的深度暗示^[1],无论是双视点还是多视点的裸眼 3D 显示系统,其作用均是将立体子图像对分离,使之分别进入所对应的眼睛,若立体子图像错误送入另一只眼睛,便会产生串扰。

串扰率作为 3D 显示技术最重要的评价指标,在科研和生产中备受关注。一些研究机构对串扰率提出了各自的表述。如台湾交通大学的 Yung-Yuan Kao^[2]等人把双视点的自由立体显示器的串扰率定义为:

$$CR(x) = \frac{I_R(x)}{I_L(x) + I_R(x)} \times 100\% \quad (1)$$

$$\text{or } \frac{I_L(x)}{I_R(x) + I_L(x)} \times 100\%$$

式(1)中 x 是观看平面上的水平坐标, $CR(x)$ 是串扰率的水平分布, $I_R(x)$ 和 $I_L(x)$ 分别是当屏幕右视点打开左视点关闭以及左视点打开右视点关闭时的亮度分布。日本电气股份有限公司的 Shinichi Uehara 等人^[3]则认为双视点的自由立体显示器的串扰率的定义是:

$$C_L = \frac{Y_{BRWL}(\theta_L, \varphi_L) - Y_{BRBL}(\theta_L, \varphi_L)}{Y_{WRBL}(\theta_L, \varphi_L) - Y_{BRBL}(\theta_L, \varphi_L)} = \frac{1}{\chi_L} \quad (2)$$

$$C_R = \frac{Y_{WRBL}(\theta_R, \varphi_R) - Y_{BRBL}(\theta_R, \varphi_R)}{Y_{BRWL}(\theta_R, \varphi_R) - Y_{BRBL}(\theta_R, \varphi_R)} = \frac{1}{\chi_R}$$

式(2)中 C_L 和 C_R 分别是左右眼的 3D 对比度, χ_L 和 χ_R 分别是左右眼串扰值, (θ_L, φ_L) 和 (θ_R, φ_R) 分别是用极坐标表示的左右眼的位置坐标, Y 是亮度分布,而下标 BRWL 表示左眼打开右眼关闭,以此类推。

(2)分辨率:是指设备显示的像素数,其常用表示方式为横向像素数乘以纵向像素数。在自由立体显示中,2D 和 3D 显示状态下每个立体子图像通道的实际分辨率具有明显差异。目前有商品化的裸眼 3D 设备标榜全高清效果,但只是采用全高清的液晶面板,而人眼感受到的图像质量是否具有高清效果,却未进行科学合理的测量以及评价。本文将针对裸眼 3D 成像的原理制定具体的测量方法,对自主开发的全高清裸眼 3D 实验室原型机进行分辨率测量以及评价,并与市面常见的裸眼 3D 显示器比较。

(3)亮度:是指从某方向观察的任一表面的单位投射面积上的发光强度(单位: cd/m^2),它表征每一单位面积在这个方向上的发光能力^[4]。亮度作为显示设备的基本性能指标,并与画面对比度相关,直接影响观看感受。研究表明,当左右视差图像的亮度偏差小于 25% 时,就不会严重影响立体沉浸感^[5]。

(4)色温:是表示光源光谱质量的通用指标。色温表示法是将物体看作一个黑体辐射源,用于该物体发出光的颜色相当辐射光的黑体的绝对温度来表示该物体的色温(单位为 K)^[6]。色温在 3D 显示设备中是一个衡量背光光源品质的指标,体现设备对白色的还原能力。纯白色的色温是 5 603 K,色温越高,颜色越偏蓝,而色温越低,颜色越偏红。裸眼 3D 显示设备的实现方法均需要在液晶面板前加入光学元件(如视障光栅和柱透镜阵列),所以裸眼 3D 显示的色温不完全等同于 2D 显示的色温。

(5)色域:色域是对一种颜色进行编码的方法,也指一个技术系统能够产生的颜色的总和。它与色温一起组成描述显示设备对颜色还原能力的综合评价标准。显示系统的色域越大,其对颜色的表现能力便越强,图像的色彩便越丰富生动,反之亦然。色域有多种定义标准,本文采用 NT-SC 国际标准。

2.2 测试仪器与测量对象

仪器:光谱辐射度计 PR650,索尼 Nex5C 数码相机(配 E18-55mm F3.5-5.6 OSS 镜头)。

对象:自行研发的全高清裸眼 3D 显示实验室原型机及富士 Real 3D V1 数码相框。

2.3 裸眼 3D 显示设备串扰率的测量

在裸眼 3D 显示器的视区位置上放置光谱辐

射度计,分别在平行于屏幕方向上以及垂直于屏幕方向上进行扫描式测量。平行、垂直方向的测量范围分别为 16 cm 和 10 cm。针对测量对象是双视点的裸眼 3D 显示器,根据双眼的视觉并结合信号与系统的原理,故本文串扰的定义为本该进入左眼的光线进入右眼,反之亦然,串扰率数学表示为:

$$R_{\text{crosstalk}} = \frac{I_w}{I_r} \times 100\%$$

(3)

式(3)中 I_w 是指错误进入该眼的光亮度, I_r 是指本该进入该眼的光亮度。上述两个亮度均已扣除环境背景光的大小。

播放的左图像为全白图像(三基色色阶均为 255),右图像为全黑图像(三基色色阶均为 0),测量时,保持垂直方向距离不变,水平方向上用光谱辐射度计从左往右测量视区内的亮度分布,每隔 2 mm 测量一次亮度值,这时在该垂直位置上测得左视区内的光亮度分布为 I_r ,而当播放左右图像反转时,在测量区域内测得左视区内的光强分布为 I_w ,故在该垂直位置上左视区的串扰率分布的计算可用公式(3)计算。同理可计算右视区的串扰率分布。垂直方向上以 2.5 cm 为间隔,变换不同的垂直位置,并测量不同垂直位置下的水平亮度分布,进而计算出整体的串扰率分布。

2.4 裸眼 3D 显示设备色温、色域覆盖率、亮度的测量

通过串扰率的测试,可找到左右视区串扰率最小的位置,业界将其定义为左右视区甜点(sweetpoint)。显示设备的色温、色域、亮度的测量都仅在视区甜点上用光谱辐射度计进行。

屏幕播放左、右图像的均为全白图像时,在左、右视区甜点上记录设备的亮度和色温值。当播放左、右图像均为纯红、纯绿、纯蓝图像时,在左(或右)视区甜点上测量并分别记录相应的色坐标,并在 1931CIE Yxy 色坐标图中标注 3 个色坐标位置,计算它们在 1931CIE Yxy 色坐标中所围成三角形的面积,及其相对于 NTSC 标准的色域覆盖率。

2.5 裸眼 3D 显示设备分辨率的测量

由于全高清裸眼 3D 显示器所用的面板为全高清分辨率 1 920×1 080 像素的面板,测量显示器分辨率所用的实验设备是索尼 Nex5C 数码相机,相机的最大分辨率为 4 592×3 056,远高于全高清

显示器的 1 920×1 080 像素数的分辨率,因此使用该相机拍摄屏幕的实际显示情况具有可行性。

测量时,裸眼 3D 显示设备加载与面板全分辨率相符的测试图片后,在 2D 和 3D 模式下分别用相机在左(或右)视区甜点处拍摄显示器屏幕,把两拍摄图像放至分辨率为 1 920×1 080 像素的普通液晶显示器上播放,并把其缩放至原图大小,对比两张拍摄图像的显示效果,若两张图像的分辨程度一致,便认为裸眼 3D 显示设备的分辨率没有损失。反之亦然。

3 结果与讨论

3.1 全高清裸眼 3D 显示实验室原型机串扰率的分布情况

通过实验所测得的裸眼 3D 显示器的串扰率分布情况如图 1 所示。图 2 是距离显示器屏幕 93 cm 的亮度分布,红线是当播放的左图像为全白图像,右图像为全黑图像时的光亮度分布,图 3 是对应的串扰率分布。测量结果表明,自主研发的全高清裸眼 3D 显示实验室原型机串扰率高达 3.62%,而视区中的串扰率稳定在 4% 以内。

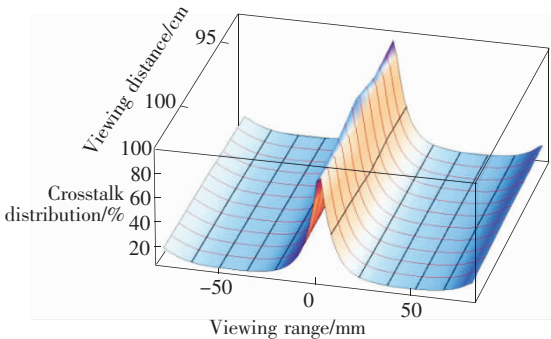


图 1 全高清裸眼 3D 显示实验室原型机的串扰率分布
Fig. 1 Crosstalk distribution of the full high definition autostereoscopic display prototype

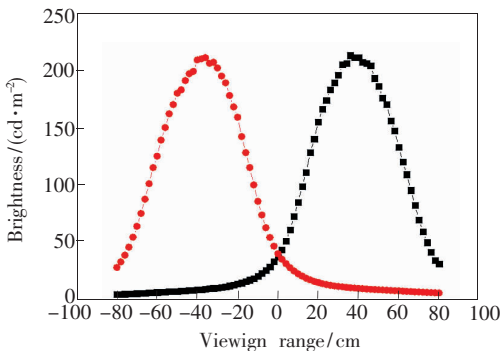


图 2 垂直距离为 93 cm 的亮度分布
Fig. 2 Luminance distribution in the viewing distance of 93 cm

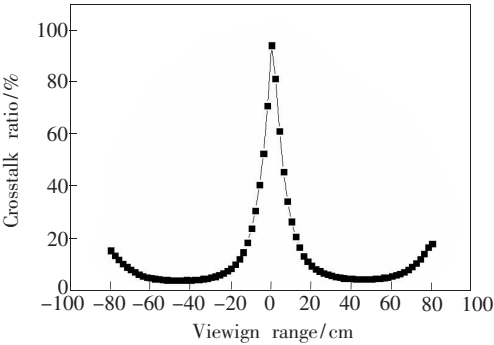


图 3 垂直距离为 93 cm 的串扰率分布

Fig. 3 Crosstalk distribution in the viewing distance of 93 cm

低串扰率不仅可获得良好的 3D 显示画面,而且视区内稳定的低串扰率分布可以降低视区的敏感程度,让观众在一定范围有舒适的观赏体验。

3.2 全高清裸眼 3D 显示实验室原型机的亮度、色温与色域的评价

全高清裸眼 3D 显示实验室原型机左右视区甜点的亮度经测量均为 258 cd/m^2 ,色温值为表 1 全高清裸眼 3D 显示实验室原型机在播放蓝、绿、红图片时的色坐标值

Table 1 Color coordinate of the full high definition autostereoscopic display prototype when it plays the blue, green, red picture.

pictures	x	y
blue=(0,0,255)	0.159	0.087
green=(0,255,0)	0.312	0.635
red=(255,0,0)	0.64	0.345

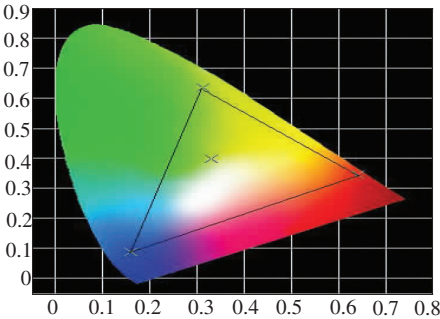


图 4 全高清裸眼 3D 显示实验室原型机的色域与色温在 1931CIE-Yxy 图上的表示效果

Fig. 4 Color gamut and color temperature of the full high definition autostereoscopic display prototype presented in the figure 1931CIE-Yxy

5 686 K,色域覆盖率为 NTSC 标准的 70.83%。表 1 是当左右图像均播放纯蓝、纯绿、纯红图像时,在视区甜点处测得的色坐标值,图 4 为色域和色温的实测效果。

由测试数据,全高清裸眼 3D 显示实验室原型机的亮度处于行业的中上水平;5 686 K 的色温显示该系统对白色有准确的还原能力;LCD 显示器的色域覆盖率是 NTSC 标准的,该裸眼 3D 显示器的 70.83% NTSC 色域表明其对颜色的表现能力在行业平均范围(64%~84%^[7])之内。

3.3 全高清裸眼 3D 的分辨率的评价

图 5~图 7 分别是分辨率被试图片的原图、全高清裸眼 3D 显示实验室原型机在 2D 和 3D 模式下分辨率被试图片的实拍效果。不难看出,全高清裸眼 3D 显示实验室原型机在 2D 和 3D 模式



图 5 分辨率测试图片

Fig. 5 Test photo of resolution experiment

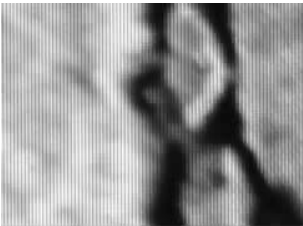


图 6 全高清裸眼 3D 显示实验室原型机 2D 模式下的分辨率显示效果

Fig. 6 Viewing effect of the FHD autostereoscopic display prototype in 2D mode

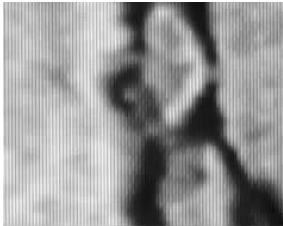


图 7 全高清裸眼 3D 显示实验室原型机 3D 模式下的分辨率显示效果

Fig. 7 Viewing effect of the FHD autostereoscopic display prototype in 3D mode

下分辨率均保持一致,即在两种显示模式下分辨率均无损失,保持在 $1\,920\times 1\,080$ 像素的分辨率。

同样的方法我们也用来对富士 REAL 3D V1 数码相框进行测试,图8和图9分别是富士3D相框在2D和3D模式下所拍到的显示效果。

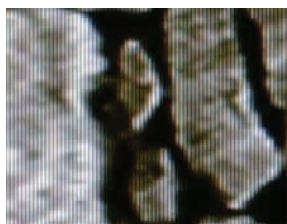


图8 富士3D相框在2D模式下的分辨率显示效果

Fig. 8 Resolution effect of the Fuji 3D photo frame in 2D mode



图9 富士3D相框在3D模式下的分辨率显示效果

Fig. 9 Resolution effect of the Fuji 3D photo frame in 3D mode

尽管由于两种设备的亮度以及色温不同,导致实拍的显示效果图在色调及对比度上存在差

异,但仍能清晰地反映出,富士 REAL 3D V1 相框的分辨率在3D模式下急速下降,且产生明显的莫尔条纹。这解释了常规裸眼3D显示设备在3D模式下产生画质劣化和清晰度降低,继而导致视觉和生理不适原因。相比之下,全高清裸眼3D显示实验室原型机的分辨率在两种模式的显示下均无损失,因而能表现全高清立体视觉效果。

4 结 论

对全高清裸眼3D显示样机进行串扰率、亮度、色温、色域、分辨率5项显示性能进行测量与评价,其结果发现,双视点的全高清裸眼3D显示实验室原型机在2D以及3D模式下均能保持 $1\,920\times 1\,080$ 像素数的分辨率,亮度为 258 cd/m^2 ,色温值为 $5\,686\text{ K}$,色域为 70.83% 的NTSC色域饱和度,串扰率低至 3.62% ,视区内能稳定地保持在 4% 左右。

总体而言,全高清裸眼3D显示实验室原型机凭借视区内稳定的低串扰率以及全高清的立体视觉效果,不仅提高了观看的舒适度,还可为工商业、医学、教学、军事、安全、建筑、艺术等领域提供优秀的3D显示平台^[8-12]。

致谢:论文得以顺利完成,离不开蔡志岗教授的悉心指导,他对整个实验过程提供测试设备和实验指导,在此,我向蔡志岗教授和中山大学光信息科学与技术实验室致以最诚挚的谢意。

参 考 文 献:

- [1] 王琼华. 3D显示技术与器件 [M]. 北京:科学出版社,2011:11-27.
- [2] Kao Yung-yuan, Lin Shang-Chih, Chao P C P. A mobile dual-directional auto-stereoscopic display using a new double electrode-layered LCL lens on an OLED panel [J]. *SID Symposium Digest of Technical Papers*, 2012,43(1):714-717.
- [3] Uehara Shin-ichi, Hiroya Tsutomu, Shigemura Kouji. High-visibility 2D/3D LCD with HDDP arrangement and Its evaluation results using fourier optics instrument [J]. *SID Symposium Digest of Technical Papers*, 2009,40(1):1363-1366.
- [4] 国家广播电视产品质量监督检测中心,中国电子科技集团公司第三研究所,天津大学电子信息工程学院. 数字电视原理与检测技术 [M]. 北京:人民邮电出版社,2011:265-267.
- [5] 王琼华. 3D显示技术与器件 [M]. 北京:科学出版社,2011:210-214.
- [6] 刘旭,李海峰. 现代投影显示技术 [M]. 杭州:浙江大学出版社,2009:57-58.
- [7] 倪孟麟,倪泽成. 彩色显示器的色域覆盖率 [J]. 世界广播电视,2010,24(1):90-93.
- [8] 王元庆. 自由立体显示器的应用于现状 [J]. 现代显示,2003,(1):39-41.
- [9] 李艳,苏萍,马建设,等. 立体投影质量的评价方法及系统 [J]. 液晶与显示,2012,27(1):31-37.
- [10] 田丰,夏雪,王鹤. 真三维显示在医学教育与仿真中的应用 [J]. 液晶与显示,2012,27(4):535-538.
- [11] 马建设,张波常,苏萍,等. 应用微柱透镜的自由立体前投影屏幕设计 [J]. 液晶与显示,2012,27(6):759-764.
- [12] 邢建芳,龚华军,张赵行,等. 三维数据场在扫描式体显示器中的可视化 [J]. 液晶与显示,2012,27(4):529-537.