

# 裸眼立体显示器效果评定方法研究

梁发云<sup>1)</sup> 邓善熙<sup>2)</sup> 杨永跃<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup>(南昌大学机电工程学院, 南昌 330029) <sup>2)</sup>(合肥工业大学仪器仪表学院, 合肥 230009)

**摘要** 裸眼立体显示器使用光学空分法使屏幕上左右眼视图的可见区域按一定规律重新排列,产生对应于左右眼的独立视区,在独立视区内立体对图像的相互串扰应限制在一定的范围内。本文根据视图分离的光学特性提出使用立体度参数作为立体显示器效果的评价指标,并设计了一套测试装置,对立体显示器效果进行测量和评定。实验证明提出的理论和方法正确。

**关键词** 立体显示器 亚屏幕 亮度 立体度

中图分类号: TN873 文献标识码: A 文章编号: 1006-8961(2007)08-1407-05

## Research on Effect Assess Method for Glass-less Stereoscopic Display

LIANG Fa-yun<sup>1)</sup>, DENG Shan-xi<sup>2)</sup>, YANG Yong-yue<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup>(School of Mechanical & Electrical Engineering, Nanchang University, Nanchang 330029)

<sup>2)</sup>(School of Instrumentation, Hefei University of Technology, Hefei 230009)

**Abstract** Glassless stereoscopic display uses special optic element to separate the sight for left and right eye, and produces corresponding independent view zones. The stereo-pair must have little cross-talk in these zone. In this paper, the author brought forward a parameter 'stereo degree' to evaluate 3D display quality according to optic theory, and designed a testing equipment to measure and assess 3D display result. The theory and method have been verified through experiment.

**Keywords** stereoscopic display, sub-screen, brightness, stereo degree

## 1 引言

裸眼立体显示器是一类不需要配戴助视眼镜就可以得到立体场景显示的3维显示技术,其方便简捷的特性将在军事模拟、视景仿真、石油地质、建筑设计、医学生物、游戏娱乐等领域获得广泛的应用<sup>[1,2]</sup>。

基于平板技术的立体显示器大都使用视图的光学空分法,把整个屏幕分割成显示像素相互交错的两个或多个亚屏幕,用以显示从不同角度拍摄的立体对视差图像。由于在屏幕前方或后方安装了特殊的光学器件,使显示平面上左右眼视图的可视空间在显示器前方重新会聚排列,这时左眼只能看到左眼视图,而右眼只能看到右眼视图,再经过大脑视觉

中枢的立体融合,就得到了立体显示效果<sup>[3]</sup>。

立体显示的效果决定于左右眼视图的分离程度,如果不存在纯净的左、右眼视区,或两个视区间的图像存在严重的相互串扰,则达不到良好的视图分离,人脑就无法进行立体融合了。因此,对于一款立体显示器是否具有立体效果,如何评价和比较这种效果需要建立一套合适的理论和方法。专家、学者可以通过主观评价方法作出立体效果的判定,他们是基于图像是否显示出深度感,景物能否呈现为突出屏幕之外或陷入屏幕后方来判定立体显示器的效果优劣。而使用测量的方法则可以更客观地使用量值来表示这种效果。文献[4]、[5]中,使用亮度传感器测量显示器周围的亮度分布,用亮度的相对值来表示立体显示器的测量特性。这种方法只是在

基金项目:江西省教育厅科技项目(赣教技字[2007]43号)

收稿日期:2005-09-26;改回日期:2006-04-13

第一作者简介:梁发云(1970~),男,2005年获合肥工业大学博士学位。主要研究方向为裸眼立体显示技术、虚拟现实技术、智能仪器。E-mail: stereoscopic@126.com

观察区域的一个横向位置进行检测,从而无法完整地体现立体显示器观察区域的特性,也无法使用一个具体的量值来表示立体显示效果的优劣。

本文试图从裸眼立体显示器的屏幕分区,以及独立视区的分布特点出发,探讨裸眼立体显示器的光学分离效果及其测量评定方法。

## 2 亚屏幕分区

裸眼立体显示器的左右眼视图是同时显示在屏幕上的,这一点同需要开关眼镜的场序列或帧序列类显示器不同。例如,利用狭缝背光照明技术研制的立体显示器<sup>[1]</sup>,把整个屏幕按奇偶列分成两个相互交错的图像显示区,即左、右视图的亚屏幕,在屏幕后面使用密集排列的细长照明光线给两幅图像同时提供照明,由于照明光线的作用,奇、偶列图像的可视光线沿一定角度分离,在显示器前方会聚形成了可供双眼分别观看的左眼独立视区和右眼独立视区,使眼睛位于这些区域时能分别获得对应的视差图像。

图 1 表示左右眼视图在屏幕上的分布情况,有奇列的所有像素组成一个新的屏幕,而偶列所有像素组成另一个屏幕,可以用亚屏幕分区来表示这种组合情况。亚屏幕的可视区域通常位于显示器前方适合观看的位置,这时眼睛位于相应的视区就可以看到相应的图像。

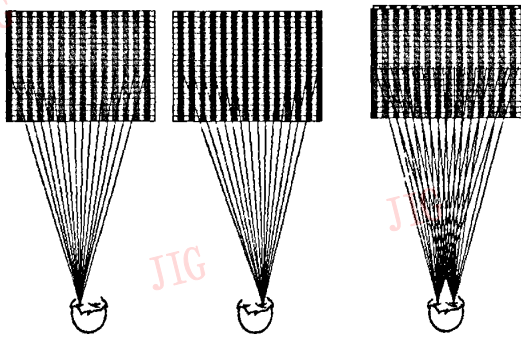


图 1 裸眼立体显示器的左右眼视图  
Fig. 1 Image corresponding two eyes

这种亚屏幕分区方法适合于任何类型的基于双眼视差原理的裸眼立体显示器。这些立体显示器需要同时显示一幅或多幅立体对图像,通常把屏幕按照一定的像素间距进行等分。以 XGA 规格的 TFT LCD 液晶显示器为例,它的像素矩阵为 768(行) ×

1024(列),如果把它分割为两个亚屏幕,则可以用奇列的 768 × 512 像素点阵显示左视图,以偶列的 768 × 512 像素点阵显示右视图。用  $i$  表示行坐标,  $j$  表示列坐标,  $f(i, j)$  表示处于  $i$  列  $j$  行像素的颜色值 ( $i = 1, 2, \dots, 768, j = 1, 2, \dots, 1024$ )。

则对于整个屏幕的像素来说,可以表示为

$$P_{2D} = \begin{bmatrix} f(1,1) & f(1,2) & \dots & f(1,1024) \\ f(2,1) & f(2,2) & \dots & f(2,1024) \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ f(768,1) & f(768,2) & \dots & f(768,1024) \end{bmatrix} \quad (1)$$

左眼亚屏幕为

$$P_{3DO} = \begin{bmatrix} f(1,1) & 0 & f(1,3) & 0 & \dots & f(1,2m-1) & \dots & 0 \\ f(2,1) & 0 & f(2,3) & 0 & \dots & f(2,2m-1) & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ f(768,1) & 0 & f(768,3) & 0 & \dots & f(768,2m-1) & \dots & 0 \end{bmatrix} \quad (2)$$

其中,  $m = 1, 2, \dots, 512$ 。

右眼亚屏幕为

$$P_{3DE} = \begin{bmatrix} 0 & f(1,2) & 0 & f(1,4) & \dots & f(1,2m) & \dots & f(1,1024) \\ 0 & f(2,2) & 0 & f(2,4) & \dots & f(2,2m) & \dots & f(2,1024) \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 0 & f(768,2) & 0 & f(768,4) & \dots & f(768,2m) & \dots & f(768,1024) \end{bmatrix} \quad (3)$$

其中,  $m = 1, 2, \dots, 512$ 。

因此,

$$P_{2D} = P_{3DO} + P_{3DE} \quad (4)$$

由以上的公式确定的两个亚屏幕,可以显示幅大小一致的左右眼视图。

## 3 立体观察区域的位置分布

根据亚屏幕的分区和狭缝照明式立体显示的分光原理,左视图和右视图的独立观察区域位于显示器的前方。图 2 是观察区域的计算结果。在线光源照明的作用下,改变了屏幕列像素的散射而沿着像素与线光源开口的方向传播,深灰色是左眼列像素图像光线传播的路径,浅灰色是右眼列像素图像光线传播的路径,最终形成了两组独立的可以完全观看左右眼亚屏幕的 L、R 独立视区。在独立视区内只能看到对应亚屏幕上的立体对图像。

计算表明独立视区的形状呈菱形,并在显示器前方相间隔排列。它们的主要参数为观察距离  $D$  和左右独立视区间距  $W$ ,  $W$  同时也是独立视区的横

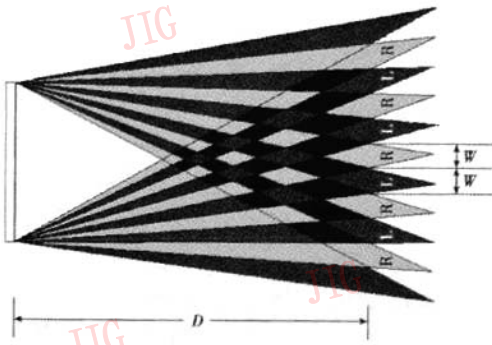


图 2 立体观察区域  
Fig. 2 Stereo view zone

向宽度。这两个参数是照明间距  $s$  和列像素宽度  $P$  的函数,可以表示为  $D = f(s, p)$ ;  $W = g(s, p)$ 。在研制的立体显示器中,这两个典型参数值分别为  $D \approx 700\text{mm}$ ;  $W \approx 50\text{mm}$ 。由于人类双眼的瞳距均值约为  $65\text{mm}$ ,立体显示器形成的左右视区间距达  $50\text{mm}$ ,满足立体观察时的空间需求。

裸眼立体显示器使用光学元件改变亚屏幕上图像光线的走向,使立体对图像能够分离并重新会聚,其会聚点通常位于显示器的前方。图 2 所得的结果同样适合于柱透镜立体图显示器和屏障式立体显示器。

#### 4 立体显示效果的度量方法

从上文的研究中,我们知道了立体显示器的实现方法是围绕着如何使视图成功分离并会聚成对应于亚屏幕的独立视区。从图 2 可以看出,在 L 区、R 区应该只能看到与该区对应的图像,而不会发生在 L 区看到 R 区图像、在 R 区看到 L 区图像的情况,即图像不产生相互串扰。而在其他区域就不可能是这种情况了,在菱形区域以外,图像的相互串扰很严重,会导致左右视图的亮度比例失当,甚至左右倒错。现在的问题是:

(1) 如何评定研制的立体显示器的光学参数设计正确?

(2) 如何评价一款立体显示器具有立体显示效果?

(3) 独立视区内看到的图像是否具有唯一性? 如果存在串扰,它们应限制在什么范围内?

(4) 如何测量独立视区的分布及其位置?

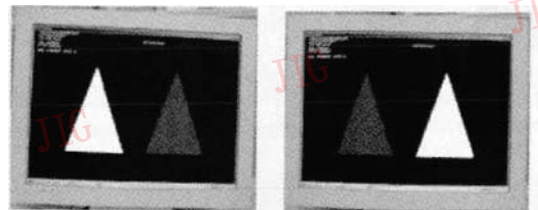
(5) 能否建立一个参数直接明了地表明显示器的立体效果?

由于立体显示是基于双眼视差理论,即要求裸眼立体显示器的左右眼视图能够完全分离。尝试从这个特性出发来设计相应的评定方法和测量方案。

文献[4]、[5]中使用亮度检测方法,首先在左视图亚屏幕显示单色,右视图亚屏幕不显示,在显示器前方观察区的横向位置测量亮度,可以得到左眼视图的亮度曲线,然后对调屏幕显示测量出右眼视图的亮度曲线。通过相同位置的左右视图的亮度对比给出立体显示器的亮度分布特性。通常认为亮度比值优于  $10\%$  时,立体显示器拥有良好的效果。但由于亮度检测设备复杂、昂贵,且需要两次重复测量而引入定位误差,所得结果无法直观显示立体效果及独立视区的情况,因此使用改进的检测方法并提出一个独立的参数来表征立体显示的效果。

CCD 及计算机图像处理技术的使用给这项工作带来很大的帮助,测量方案直接用图像检测方法,使用 CCD 代替人的眼睛来检测 L 区、R 区显示的图像,并对 CCD 拍摄的图像进行处理,来获得立体效果评定的参数。

使用两只关闭了亮度自动调整功能的 CCD,以间距  $65\text{mm}$  安装于复合坐标定位系统中,作为拾取图像信号的测头。而定位系统可以保证测头在显示器前方任意位置移动并使 CCD 始终对准显示器。在显示器两个亚屏幕上同时显示等亮度的标志图形块,如白色的三角形图块,也可以选用三基色的其他颜色。图 3 是实验中拍摄的照片。其中图 3(a)是从 L 区拍摄的,左眼亚屏幕图像清晰可见,而右眼亚屏幕的图像可见度很低,只显示出轮廓形状;图 3(b)从 R 区拍摄到的,右眼亚屏幕图像清晰而左眼亚屏幕图像的可见度很低。由此可以证实在 L 区和 R 区的立体对视图是充分分离的,轮廓的存在



(a) L 区拍摄

(b) R 区拍摄

图 3 亚屏幕的自属和他属图像

Fig. 3 Self-contained and other-contained image of sub-panel

说明另一亚屏幕图像的像素只有微弱的散射光干扰。由此,可以使用在一个位置拍摄的左右亚屏幕上显示图像的颜色亮度的比值来表示立体显示器的视图分离效果,作为立体度优劣的判断参数。

可以定义:在裸眼立体显示器的独立视区内,左右视图应该显著分离,在单眼视区内观测到自属图像的亮度与他属图像的亮度的比值,表达了视图分离的效果,即是裸眼立体显示器的立体度。

以“ $St$ ”表示立体度,“ $L$ ”表示自属图像的亮度,“ $L'$ ”表示他属图像的亮度,则

$$St = \frac{L}{L'} \quad (5)$$

建立立体度这样的参数来表征裸眼立体显示器的立体效果,比较直观、简洁和便于理解。同样的道理,这个定义对于基于空分法的其他类型的裸眼立体显示器具有普适性。

## 5 立体度测量数据处理及讨论

对独立视区拍摄的 CCD 照片进行处理,通过图像处理的方法获取自属图像的亮度和他属图像的亮度。由于显示的亮度值能够用图像色素的亮度值来表示,它们已经通过 CCD 实现了线性转换。另外,在实验中有意识地使用了三基色的单色图块作为检测对象,由颜色的亮度公式可知,图块的亮度由颜色值即可确定,最后的结果是以比值来计算的,因此只需获取对应于图块颜色的亮度值即可。这个特点也决定了图块的颜色与测量结果无关,可以选择红、绿、蓝三基色的任一颜色。

图块的亮度值很容易获得,无论是使用专业的图像处理软件,还是编写的专门处理软件都可以获得感兴趣区域的亮度值。以图 3 的测试图像为例,图 3(a)从 L 独立视区拍摄的自属图像的亮度值为 237,他属图像的亮度平均值约为 14;图 3(b)从 R 独立视区中拍摄的自属图像的亮度为 239,他属图像的亮度为 14。

由立体度计算公式,L 独立视区数据计算的结果为

$$St_{\pm} = \frac{L}{L'} = \frac{237}{14} \approx 16.9$$

R 独立视区计算结果为

$$St_{\text{右}} = \frac{L}{L'} = \frac{237}{14} \approx 17.1$$

这个结果表明左右视区中自属图像的亮度显著大于他属图像的亮度,且左右独立视区的数值非常接近,这与裸眼立体显示器的原理是相符的。可以对数值进行取整处理,那么这款立体显示器的立体度即为 17。

$St$  的值应该大于 10 以上,同光阀眼镜立体显示相比,左、右眼的图像串扰比小于 10% 即可,用立体度表示时大于 10 即表示良好的分光效果。实际测量中得到的  $St$  值为 17 左右,此值表示在适合观看的左眼独立视区和右眼独立视区内立体度的标准值,按照本文的理论,也就是表示该类型的立体显示器拥有良好的立体度。由于是处于研制阶段,包括工艺性能等因素的影响,使得立体度为 17 已经极为接近最佳状态,如果能达到 20~30 就已经是非常理想的立体显示效果了。

本测量方法操作方便,在显示器前使用坐标定位 CCD,则可以测量任意观看区间内的立体度情况。对裸眼的立体显示器而言,观察区间存在立体度好的区域(独立视区)和不好的区域,这个特性由裸眼立体显示器的实现方法本身确定,可以很方便地使用立体度测量方法在显示器前方精确测量出独立视区的位置。因而基于同样的道理,立体度的概念及其测量方法也适用于其他类型的裸眼立体显示器。

以立体度作为裸眼立体显示器的效果定量标准可以表达这款显示器的立体度为 17,另一款的立体度为 20,如此,也得到了不同立体显示器效果的比较标准和方法。

## 6 结论

本文研究了立体显示器的亚屏幕分区情况,并计算出独立视区的分布位置。提出使用立体度来表达立体显示的效果,以期解决立体显示器效果的测量与标准问题。

对于理想的立体显示器,其左、右视图能够显著分开,立体度的量值应该尽可能大,在这种情况下,他属图像的视觉影响弱于自属图像,由于人眼的色调对比效应,基本上不对自属图像产生干扰。

建立立体度参数,有助于定量分析空分法裸眼立体显示器的视图分离效果,这个量化标准也适合检验各种基于视差原理立体显示的技术质量。使用 CCD 图像的立体度检验方法,技术手段简单易行,

测试结果一目了然。

### 参考文献 (References)

- 1 Jesse B Eichenlaub. Progress in autostereoscopic display technology at dimension technologies[J]. Proceedings of SPIE, 1991, 1457: 290 ~ 301.
- 2 Jesse B Eichenlaub. A lightweight, compact 2D/3D autostereoscopic LCD backlight for games, monitor, and notebook application [J]. Proceedings of SPIE, 1998, 3295: 180 ~ 185.
- 3 Liang Fa-yun, Deng Shan-xi, Yang Yong-yue, *et al.* Research on nakedness-eye liquid crystal stereoscopic display technology[A]. In: 3<sup>rd</sup> International Symposium on Instrumentation Science and Technoloh[C], Xi'an, China, 2004, 2: 1022 ~ 1026.
- 4 Graham J Woodgate, David Ezra, Jonathan Harrold, *et al.* Autostereoscopic 3D display systems with observer tracking [J]. Proceedings of SPIE, 1998, 14: 131 ~ 145.
- 5 Huang Wan-jian, Tsai Chao-Hsu, Wang Nai-Yueh, *et al.* The fabrication of a novel projection screen for autostereoscopic display systems[J]. Proceedings of SPIE, 2004, 5291: 285 ~ 292.