

文章编号:1007-2780(2019)07-0659-08

垂直/倾斜型交错狭缝光栅对立体显示效果的影响

陈 瑜,赵 焱,曾祥耀,姚剑敏,叶 芸,林志贤,陈恩果*

(平板显示技术国家地方联合工程实验室,福州大学 物理与信息工程学院,福州,350116)

摘要:利用传统狭缝光栅实现的自由立体显示器,存在着串扰严重、莫尔条纹明显、可视区域较小、在水平和竖直方向上光损失不平衡等缺陷。针对这些问题,本文就狭缝光栅的倾斜角度、狭缝宽度、狭缝错开距离等光栅关键参数对立体显示莫尔条纹、串扰、可视区域的影响展开研究,分析了交错狭缝光栅设计方案,优化设计了两种狭缝光栅立体显示器件,分别采用了垂直交错狭缝光栅和倾斜交错狭缝光栅。以 4 视点的自由立体显示器为例,以像素半高度将相邻的两段狭缝错开。实验测试结果表明,当倾角 θ 为 12.2° ,错开距离分别为 0.053 7 mm 和 0.030 2 mm 时,垂直/倾斜交错光栅均能有效减少莫尔条纹的发生。对比发现,倾斜交错光栅的串扰仅增加 1.57%,但可视区域增加了 17.9%,且在水平和竖直方向上光损失率匹配度较高,立体显示效果明显改善。

关 键 词:自由立体显示;垂直交错光栅;倾斜交错光栅;莫尔条纹;串扰

中图分类号:TN141 **文献标识码:**A **doi:**10.3788/YJYXS20193407.0659

Effect of the vertical/slanted staggered barrier on autostereoscopic displays

CHEN Yu, ZHAO Yan, ZENG Xiang-yao, YAO Jian-min, YE Yun,
LIN Zhi-xian, CHEN En-guo*

(National & Local United Engineering Laboratory of Flat Panel Display Technology,
School of Physics and Information Engineering, Fuzhou University, Fuzhou 350116, China)

Abstract: Autostereoscopic three-dimensional (3D) displays realized by traditional parallax barriers exists the limitations of serious crosstalk, obvious Moire fringe, narrow visual area and the lopsided loss of light in the horizontal and vertical directions. In this paper, the effects of the parameters of the parallax barrier on the Moire fringe, crosstalk, and visible area are studied, including the tilt angle of

收稿日期:2018-12-03;修订日期:2019-03-05.

基金项目:国家自然科学基金(No.61405037);国家重点研究发展计划(No.2017YFB0404604);福建省自然科学基金(No.2018H6011);福建省高等学校学科带头人培养计划

Supported by National Natural Science Foundation of China (No.61405037); National Key Research and Development Plan (No.2017YFB0404604); Fujian Natural Science Foundation(No.2018H6011); Training Program of Fujian Excellent Talents in University (FETU)

* 通信联系人, E-mail:ceg@fzu.edu.cn

the slit grating, the slit width, and the slit offset distance. The design detail of the proposed staggered barrier is analyzed. Two kinds of parallax barrier devices are optimized, which adopt a vertical staggered barrier and a slanted staggered barrier, respectively. Based on 4 viewpoints slanted staggered barrier, the adjacent slits are divided into sub sections at the half point of pixel height. Experimental results show that the vertical staggered barrier and slanted staggered barrier are effective in reducing the Moire fringe with the staggered distance of 0.053 7 mm and 0.030 2 mm respectively when the inclination angle θ is 12.2° . It is proved that the slanted staggered barrier can increase the visual area by 17.9% higher than that of vertical staggered barrier at the cost of increasing the crosstalk by 1.57%. Moreover, the light energy loss in the horizontal and vertical directions can match more effectively, which demonstrates that slanted staggered barrier improves the 3D visual effect for the autostereoscopic displays.

Key words: autostereoscopic display; vertical staggered barrier; slanted staggered barrier; moire fringe; crosstalk

1 引言

自由立体显示器由于无需佩戴立体眼镜等辅助设备、结构简单、成本低廉和显示效果好等优点,已成为立体显示研究的热点^[1]。利用传统垂直狭缝光栅实现自由立体显示的方法,存在着一些明显的缺陷。比如不同视点的图像间会发生相互串扰^[2],可视区域变小^[3],存在莫尔条纹现象等^[4]。莫尔条纹是由于光栅的狭缝与液晶显示器的列像素平行排列,当人眼通过狭缝看到相邻子像素之间的黑矩阵时,产生明显的周期性黑白渐变条纹。针对立体显示的串扰问题和莫尔条纹现象方面,Liang 等使用遗传算法来优化改善柱透镜参数来降低串扰^[5]; Hanhart 等通过优化系统输出视图、执行智能动态分配以最小化串扰^[6]; Zhuang 等提出了一种确定双凸透镜薄膜的优选倾斜角度的方法,使准立体显示器中的莫尔条纹最小化^[7]。因此,如何提高狭缝光栅自由立体显示器的立体显示效果成为众多高校和研究机构的研究热点。

交错式光栅设计方案能够增加可视区域的大小,而对莫尔条纹影响较小,兼顾了可视区域和莫尔条纹之间的平衡关系^[8]。本文从狭缝光栅的立体显示原理出发,理论分析狭缝光栅的倾斜角度、狭缝宽度、狭缝错开距离对立体显示效果的影响,优化了倾斜交错狭缝光栅和垂直交错狭缝光栅两种立体显示器件,实验对比了两种器件的立体显示效果。

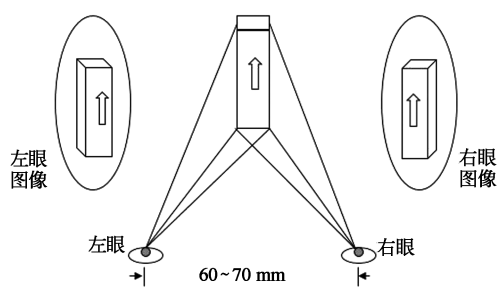
2 狭缝光栅立体显示原理及光栅参数的影响

2.1 狭缝光栅自由立体显示原理

人类双眼能够感知不同物体的距离是由于左右眼的视差特性,使得人眼可以根据看到的画面判定物体的深度,确定物体的立体特性。图 1(a)所示为双目视觉模型。人眼两瞳孔之间存在着大致 60~70 mm 的间距,这样使得人的双眼会从稍有不同的两个角度去观察物体,由于几何光学投影,左右眼视网膜的成像存在着细微的差别,这就是双目视差。双目视差能反映场景中物体的深度信息,人类大脑皮层对存在视差的左右眼图像进行融合后,便能提取信息并感受到具有层次感的立体视效。

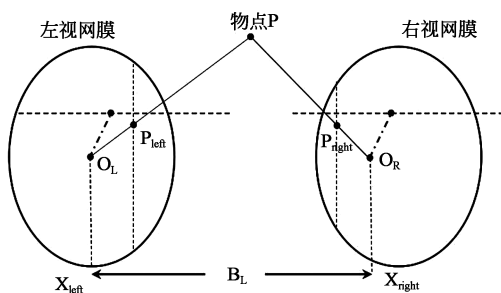
如图 1(b)所示,实际场景中的点 P 在人左右视网膜上的成像点分别为 P_{left} 、 P_{right} ,焦距为 f , O_L 和 O_R 是左右眼睛成像中心,左右眼成像中心之间距离的用 B_L 表示。左右眼睛在同一平面上,因此他们的投影中心的 y 轴坐标相等。同一时刻空间点 $P(x, y, z)$ 在两相机上成像点分别为 P_{left} 和 P_{right} 。根据三角关系可得:

$$\begin{cases} X_{\text{left}} = f \frac{x}{z} \\ X_{\text{right}} = f \frac{(x - B_L)}{z}, \\ Y = f \frac{y}{z} \end{cases} \quad (1)$$



(a) 双目视觉模型

(a) Binocular vision model



(b) 双目成像原理图

(b) Schematic diagram of binocular vision imaging

图 1 双目视觉原理图

Fig.1 Schematic diagram of binocular vision

设视差为 $D = X_{\text{left}} - X_{\text{right}}$, 引入参数视差 D 后可得出特征点 P 在人眼坐标系下的三维坐标为:

$$\begin{cases} x = \frac{B_L X_{\text{left}}}{D} \\ y = \frac{B_L Y_{\text{left}}}{D} \\ z = \frac{B_L f}{D} \end{cases}, \quad (2)$$

由此人眼可以拟合出物体 P 点的三维信息, 场景中物体的立体效果就被人所接收。

狭缝光栅自由立体显示的原理正是利用了人眼视差特性进行设计的, 显示原理如图 2 所示, 狭缝光栅位于显示器前方, 与液晶显示器精密耦合而成。观察者左(右)眼透过光栅上的狭缝只能看到显示器上的奇(偶)像素列。其实现立体显示的原理如图 1 所示。在图 2 中, 一般说来, 两眼之间的距离 B_L 的取值为 65 mm, 并假定狭缝透光宽度为 a , 狭缝光栅的黑条宽度为 b , 液晶显示器的子像素宽度为 c , 狭缝光栅与液晶屏的距离为 d , 最佳观看距离为 L 。而 L 的取值由显示器制备者根据显示器摆放的环境不同而各有不同。在本

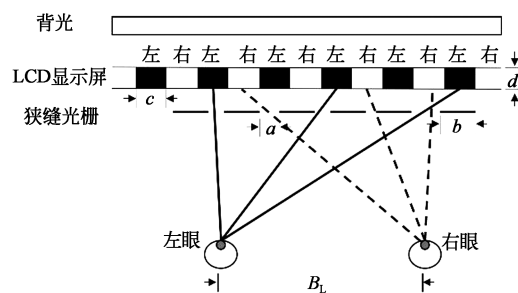


图 2 狭缝光栅显示原理图

Fig.2 Slit grating display principle diagram

文中, L 取值为 210~220 cm。

2.2 狭缝光栅参数条件的影响

2.2.1 光栅倾斜角度对莫尔条纹和分辨率的影响

为了防止背景光泄露, 提高显示对比度, 防止液晶混色, 在 2D 液晶屏的子像素之间加入不透光的周期性黑矩阵, 形成像素阵列。黑矩阵与光栅狭缝产生一系列交叉点, 无论横向、纵向或斜向都会形成不同方向的条纹, 即莫尔条纹。莫尔条纹是两条线或两个物体之间以恒定的角度和频率发生干涉的视觉现象, 人眼无法分辨这两条线或两个物体, 只能看到干涉的花纹, 如图 3 所示。通过沿不同方向连接交叉点, 得到不同方向莫尔条纹的宽度为 W [9]

$$W = \frac{AB}{\sqrt{n^2 A^2 + B^2 - 2nAB \cos \theta}}, \quad (3)$$

n 为正整数, A 是子像素宽度, B 是狭缝光栅的狭缝宽度(常数)。根据公式(3)可知, 当 A 、 B 一定时, 通过调整光栅与黑矩阵之间的倾角 θ , 就能减小莫尔条纹的宽度, 从而有效减轻莫尔条纹现象 [9]。

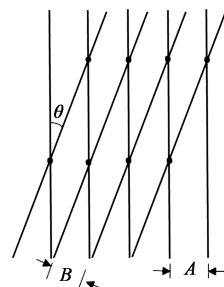


图 3 莫尔条纹形成的原理图

Fig.3 Moire fringe pattern formation

此外, 对于多视点 (视点数量 $K \geq 2$) 的狭缝光栅 3D 屏, 因为 2D 显示屏的分辨率是固定的, 所

以单幅视差图像的分辨率只能占 2D 显示屏分辨率的 $1/K$, 相应的 3D 屏分辨率也下降为 2D 屏分辨率的 $1/K$ 。显然, 若光栅竖直放置, 立体分辨率相对于 2D 屏分辨率只在水平方向上降低为原来的 $1/K$ ^[10], 而竖直方向上没有降低, 这种不平衡将降低立体图像质量。解决这个问题的方法是光栅倾斜一定角度, K 视点 3D 显示屏的分辨率在水平方向和竖直方向同时降低为 2D 显示屏分辨率的 $1/\sqrt{K}$ 。这样, 光栅倾斜放置能有效减轻莫尔条纹的影响, 平衡 3D 屏分辨率在水平和竖直方向的光亮度损失。

2.2.2 狭缝宽度对可视区域和串扰的影响

自由立体显示器在播放视点图像时, 人眼能在显示器前方观看到视点图像而形成的立体区域称为可视区域, 如图 3 所示。当人眼偏离可视区域之外, 双眼接收到的或者是无视差的左右眼图像, 或者是左右眼图形的混叠, 称之为立体图像串扰。由图 4 可知, 直线 D_1F_1 和 C_2F_2 的交点与直线 B_1G_1 和 D_2G_2 的交点横坐标之差 u 表示水平方向可视区域的大小。当视点数 K 确定时, 狭缝光栅的周期是定值。为了尽可能减小人眼看到串扰的几率, 要尽量增大可视区 u 值, 由式 (4) 可得^[11], 可视区域 u 随着狭缝宽度 a 的值改变而改变。若减小狭缝宽度 a , 图像亮度降低, 但可视区域 u 变大, 图像串扰值减小。说明减小串扰值, 增大可视区域 u 是以牺牲亮度值为代价。因此, 设计狭缝宽度的基本思路是平衡这 3 个参量的关系, 保证显示亮度足够的情况下, 适当调整狭缝宽度 a 的值以降低串扰, 增加可视区域 u 。通常 a_1 为狭缝宽度理论值, 与子像素宽度 c 相同, 以 24 英寸 LCD 屏为例 (分辨率为 $1\,920 \times 1\,080$, 子像

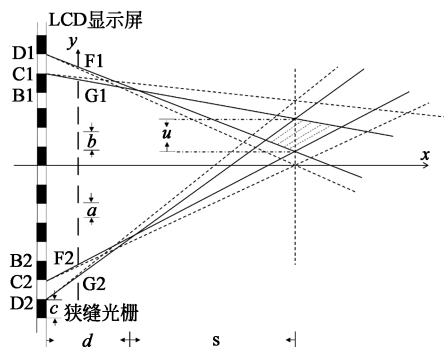


图 4 狭缝光栅自由立体显示器的几何模型

Fig.4 Geometric model of a slit grating free stereo display

素宽度为 $0.092\,2\text{ mm}$), 此时 a_1 取 $0.092\,2\text{ mm}$ 。为保证显示亮度, 串扰度 C_L 应小于 15% , 光损失不大于 60% ^[12]。公式 (4) 是 3 个参量之间的关系。

$$u = \frac{(b-a)c}{2c-b-a}, \quad (4)$$

其中: a 为狭缝透光宽度, b 是狭缝不透光宽度, c 是子像素宽度。

2.2.3 狭缝错开宽度对莫尔条纹亮度的影响

狭缝错开宽度 e 不同对莫尔条纹亮度和可视区域 u 会产生不同的影响。对于竖直交错光栅而言, 如图 5(a)~5(d) 所示。液晶屏的黑矩阵宽度 f 为 $0.020\,0\text{ mm}$, 光栅狭缝宽度 a 为 $0.073\,8\text{ mm}$ 。图 5(a)、(b) 为光栅狭缝错开宽度 e 分别为 0 mm 和 $0.053\,8\text{ mm}$ 的结构图。从图 5(a)、5(b) 中可知, 上下错开的狭缝始终都覆盖黑矩阵边框 f 的整个宽度, 因此光栅狭缝错开宽度 e 小于 $0.053\,8\text{ mm}$ 时, 莫尔条纹的可视亮度最低。图 5(c) 为光栅狭缝错开 $0.073\,8\text{ mm}$ 的结构图。从图 5(b) 和 5(c) 可知, 狭缝错开宽度从 $0.053\,8\text{ mm}$ 增加到 $0.073\,8\text{ mm}$ 时, 莫尔条纹的最低可视亮度随着错开宽度的增加而增加。可见图 5(c) 的莫尔条纹可视亮度要大于图 5(b) 的莫尔条纹可视亮度。图 5(d) 为光栅狭缝错开距离大于 $0.073\,8\text{ mm}$ 的结构图。考虑到一个子像素的宽度为 $0.092\,2\text{ mm}$, 当错开距离在 $0.073\,8 \sim 0.092\,2\text{ mm}$ 区间时, 由图 5(d) 可知, 光栅狭缝错开距离无论怎样变化, 莫尔条纹的最低可视亮度始终是 $0.073\,8\text{ mm}$, 最低可视亮度无变化。因此, 合理的错开距离应选择在 $0.053\,8 \sim 0.0738\text{ mm}$ 之间。

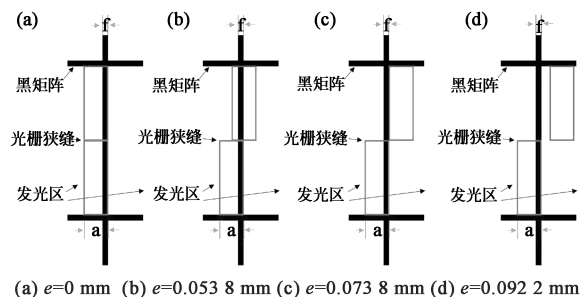


图 5 狭缝错开距离示意图

Fig.5 Schematic diagram of slit staggered distance

对倾斜交错光栅而言, 两个相邻光栅狭缝错开的距离为 e , 由三角形公式得^[11]

$$e = h \times \tan \theta, \quad (5)$$

其中 θ 是光栅与竖直方向的夹角。这样倾斜交错光栅的狭缝变为矩形状结构,跟子像素的形状相同,可以很好地区分开各视点的子像素,并且减小串扰。

3 垂直交错和倾斜交错狭缝光栅的设计与实验

3.1 狭缝倾角对莫尔条纹影响的实验

本实验采用 609.6 mm (24 in) 液晶显示器,该 2D 液晶显示器,具体参数如下:分辨率为 $1\,920 \times 1\,080$,子像素宽度为 0.092 2 mm,高度为 0.276 6 mm,黑矩阵宽度为 0.020 0 mm,狭缝宽度为 0.073 8 mm,黑条宽度为 0.221 4 mm,(视点数 K 为 4,光栅与显示屏黑矩阵水平方向的频域信号的频率^[13]之比 $q = 0.380\,1$),理论和实验证明,光栅倾斜角度 θ 不同,会产生不同的莫尔条纹。如图 6(a)~6(g) 为光栅倾角 θ 分别为 2.94° , 6.13° , 9.56° , 12.30° , 18.28° , 26.37° , 44.81° 时,用佳能 G10 相机(有效像素 1470 万,拍摄最高分辨率 4416×3312) 拍摄实验样机产生的莫尔条纹。实验发现光栅狭缝与竖直坐标轴夹角 θ 增加时,莫尔条纹出现周期性变化趋势。当光栅狭缝倾斜 2.94° 时,产生的莫尔条纹最明显,如图 6(a); θ 为 6.13° 时,莫尔条纹几乎无法识别; θ 为 9.56° 时,莫尔条纹相对明显; θ 为 12.30° 时,莫尔条纹再次无法识别; θ 为 18.28° 时,莫尔条纹又比较明显; θ 为 26.37° 时,莫尔条纹第三次无法识别; θ 为 44.81° 时,出现由于像素发光区域的矩阵结构和光栅重叠而产生的彩色莫尔条纹。整个变化过程发现莫尔条纹随着 θ 的增大,周期性变化。并且狭缝光栅倾角 θ 仅在 6.13° , 12.30° , 26.37° 3 个特定值附

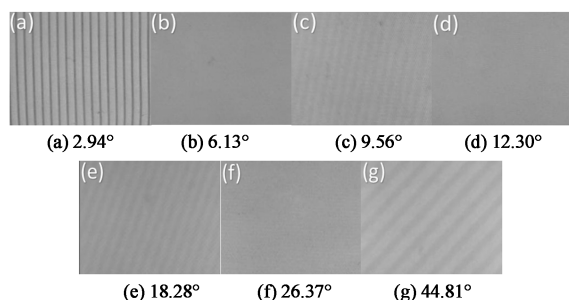


图6 不同光栅倾斜角度产生的莫尔条纹实拍图

Fig.6 Test pattern of different tilted angle of moire fringes

近(图 6(b)、6(d)、6(f)),莫尔条纹才能有效消除。

3.2 狭缝错开距离对莫尔条纹影响的实验

本实验在上述 2D 液晶屏上分别设计垂直交错和倾斜交错两款狭缝光栅器件。对于垂直交错光栅,狭缝错开距离 e 应大于黑矩阵的宽度,小于光栅狭缝的宽度,即在狭缝宽度和黑矩阵宽度之差到狭缝宽度之间的距离取值,计算可得该距离取值范围在 0.053 7~0.073 7 mm 之间。本垂直交错狭缝光栅器件错开距离参数 e_1 选择 0.053 7 mm。此外,液晶屏是由像素矩阵组成,每个像素单元分解成 RGB 三基色的子像素。像素的高和宽尺寸相等,是一个正方形,则一个子像素的宽度是其高度的 $1/3$ 。狭缝光栅分段的长度应该选择在一定的范围,否则若狭缝太长,则双目视差图像在垂直方向上的过渡区不是平滑的过渡,而显示两幅行交错的图像,严重影响显示屏光亮度的均匀性。以本实验所采用的液晶屏为例,狭缝的高度以像素高度的一半以下比较合适,结合目前制备工艺技术的限制,我们截取狭缝分段高度为像素高度的 $1/2$,即 h 取 0.138 3 mm。因此对于倾斜交错光栅器件,由公式(5)计算可得,错开距离 e_2 为 0.030 2 mm(θ 为 12.30°)。图 7(a)、7(b) 是垂直交错狭缝和倾斜交错狭缝的结构示意图。

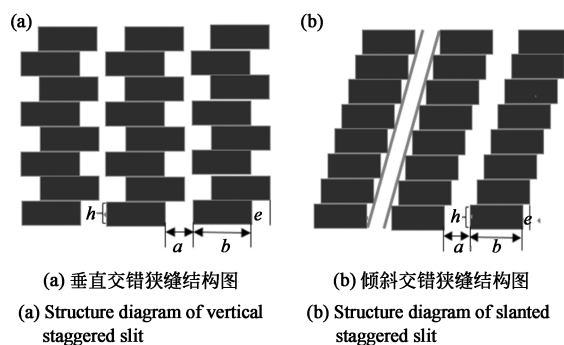


图7 垂直交错和倾斜交错狭缝结构图

Fig.7 Structure diagram of vertical staggered slit and slanted staggered slit

莫尔条纹测试方法是将佳能 G10 相机放在最佳观看位置并固定,测试的图像为左视点和右视点都是全白的图像。分别将垂直交错狭缝光栅和倾斜交错狭缝光栅用 UV 固化胶贴在玻璃上,曝光固化,玻璃厚度为 3 mm,玻璃再粘在液晶显

示屏的屏幕表面并对齐,拍摄到的莫尔条纹如图 8 所示。

图 8(a)中光栅倾斜角度 θ 为 0° ,是传统的垂直光栅,其莫尔条纹频率为 $0.02/\text{mm}$,莫尔条纹十分明显;图 8(b)是垂直交错狭缝光栅,莫尔条纹频率为 $0.2/\text{mm}$,莫尔条纹隐约可见,条纹边缘相对整齐;图 8(c)为倾斜交错狭缝光栅,倾角 θ

为 12.30° ,莫尔条纹频率为 $0.019/\text{mm}$,莫尔条纹边缘轮廓模糊,比图 8(b)中垂直交错狭缝光栅的莫尔条纹淡,几乎看不到莫尔条纹,光亮度均匀性最好。可见,垂直交错及倾斜交错狭缝光栅其莫尔条纹均远远小于传统的垂直光栅的莫尔条纹。这两款光栅的设计参数均达到减小莫尔条纹对立体图像影响的目的。

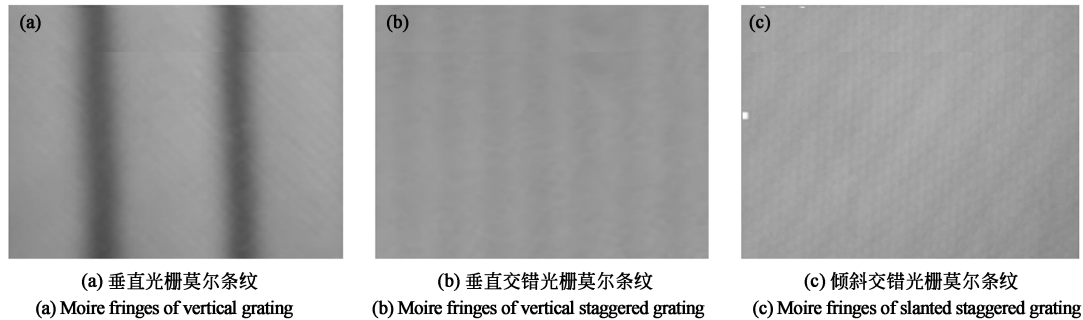


图 8 垂直光栅、垂直交错光栅、倾斜交错光栅莫尔条纹测试图。

Fig.8 Test pattern of Moiré fringes of vertical grating, vertical staggered grating and slanted staggered grating.

3.3 单个视点串扰值及左右尺寸测试

测试时,将佳能相机放置在视点 1 位置。测试步骤为:(1)视点 1 图像显示全白,其它图像显示全黑,记录亮度值 L_{Lwb} ; (2)视点 1 图像显示全黑,其他图像显示全白,记录亮度值 L_{Lbb} ; (3)全部图像都显示全黑,记录亮度值 L_{Lbb} 。则视点 1 通道的串扰值 C_1 如式(6)所示:

$$C_1 = \frac{L_{Lbw} - L_{Lbb}}{L_{Lwb} - L_{Lbb}} \times 100\%, \quad (6)$$

同理可求得其他视点通道的串扰值。

从表 1 可得,垂直光栅的串扰均值 C_L 最小,比倾斜交错光栅小 1.57% ;垂直交错光栅和倾斜交错光栅串扰均值 C_L 接近;垂直交错光栅略优于倾斜交错光栅。

表 1 3 种不同结构光栅串扰的测量值(%)

Tab.1 Measurement of crosstalk for three different structures(%)

结构	垂直光栅	垂直交错光栅	倾斜交错光栅
1st	8.6	10.2	10.4
2nd	8.7	10.1	10.3
3rd	8.7	10.8	10.5
4th	9.1	9.9	10.2
平均值	8.78	10.23	10.35

单个视点可视区域 u 测试方法是设置左右视差图像一个视点为全白图像,另一个视点为全黑图像,将佳能相机位于视点 1,这时看到全白图像,然后将相机在水平方向上慢慢移动,直到只看到全黑图像,这时相机位于视点 2,测量相机移动的水平距离,就是单个视点可视区域 u_1 。考虑到所有视点可视区域相同,所以只需要测量一个视点宽度。表 2 为 3 种不同结构光栅的单个视点可视区域 u 。

表 2 三种不同结构光栅的可视区域测量值(cm)

Tab.2 Measurement of grating size of single visual area for three different structures(cm)

结构	垂直光栅	垂直交错光栅	倾斜交错光栅
1st	21.7	16.4	18.7
2nd	22.0	16.5	19.4
3rd	20.7	16.0	19.1
4th	21.8	16.4	19.8
平均值	21.55	16.33	19.25

由表 2 可知,垂直光栅的单个视点可视区域 u 最大,均值为 21.55 cm ,比倾斜交错光栅大 2.3 cm ;而倾斜交错光栅的单个视点可视区域 u 与垂直交错光栅相比,大 2.92 cm 。说明自由立体显

示器采用倾斜交错光栅设计可获得远大于采用垂直交错光栅的可视区域,人眼的左右移动范围变大。通过比较垂直交错光栅和倾斜交错光栅,发现两款器件均有效减轻了莫尔条纹,尽管增加了一些串扰,但在串扰仍在15%的范围内。就单个视点可视区域 u 而言,倾斜交错比垂直交错光栅大2.92 cm,提高了17.9%。再加上倾斜交错光栅所产生的3D图像的分辨率在水平和竖直方向,均有所下降,解决了垂直交错光栅所产生的3D图像分辨率只在水平方向上下降的问题。

从可视区域的实拍图9中可以看出,图9(a)

中垂直光栅的黑白过渡区域较小,容易分辨黑白条纹,可视区域最大;图9(b)中垂直交错光栅的黑白过渡区域较大,即串扰区域较大,可视区域较小;图9(c)中倾斜交错光栅的黑白条纹过渡区域较图9(b)的黑白条纹过渡区域而言,倾斜交错光栅的黑白条纹相对更加分明,说明左右眼光线相对集中,即倾斜交错光栅可视区域要好于垂直交错光栅。

综上所述,倾斜交错光栅的3D图像串扰略微大于垂直交错光栅,但是可视区域却有一定程度的增加。

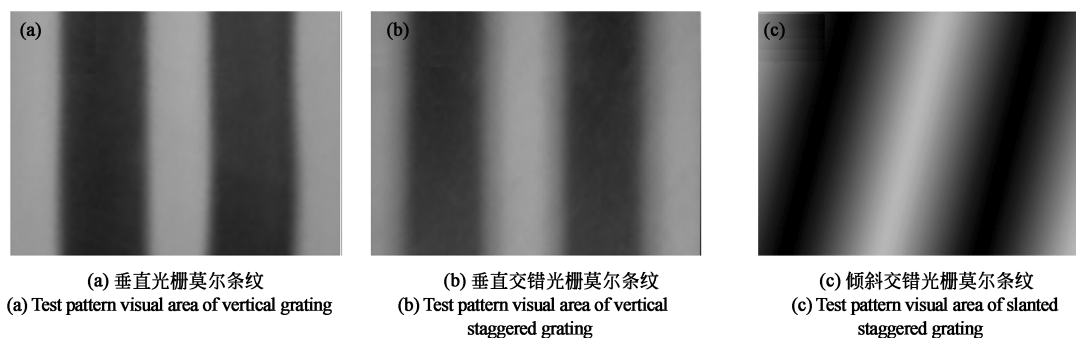


图9 垂直光栅、垂直交错光栅、倾斜交错光栅可视区域实拍图。

Fig.9 Test pattern visual area of vertical grating, vertical staggered grating and slanted staggered grating.

3.4 实验样机及左右眼视差实拍效果图

如图10所示为样机3D显示效果实拍图。图10(a)是白底黑字的“1”,图10(b)是黑底白字的

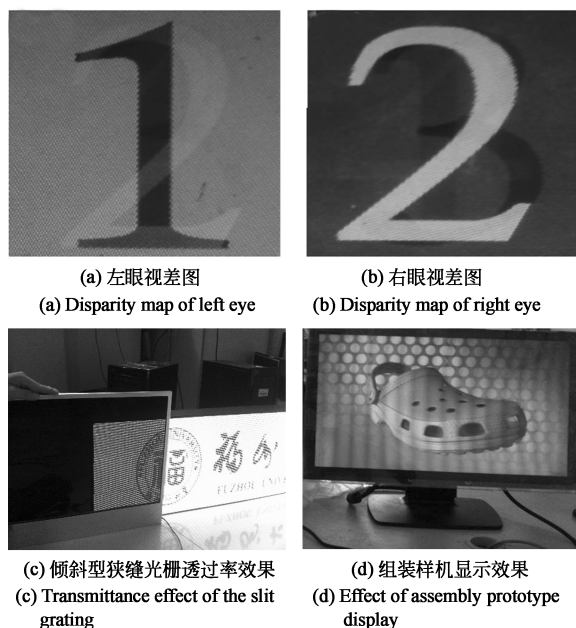


图10 实拍效果图

Fig.10 The pictures of actual effect

的“2”,将佳能相机放在显示器前视点观测距离处,从左向右水平移动,在视点1,视点2拍摄的图像。可以看到图10数字边缘轮廓清晰细腻,锯齿状条纹不明显,图像黑白分明,白光显示亮度高,且背景亮度均匀性好,几乎看不到莫尔条纹。说明3D立体显示效果佳。如图10(c)和(d)所示,分别为倾斜型狭缝光栅透过率效果和组装样机显示效果。图10(d)中所示显示屏实拍结果可见,莫尔条纹中暗带的亮度高,在有效减少莫尔条纹的同时又不会引起严重的串扰。

4 结 论

本文就狭缝光栅的倾斜角度,狭缝宽度,狭缝错开距离等光栅参数对莫尔条纹,串扰,可视区域的影响展开研究。通过理论和实验证明,在控制串扰在允许范围15%内的同时,设计的垂直交错光栅和倾斜交错光栅均能够有效减少莫尔条纹,提出要兼顾可视区域和莫尔条纹之间平衡、光损失匹配的设计理念。优化设计的倾斜交错光栅比垂直交错光栅的

可视区域更大,提高了 17.9%,并解决了水平和竖直方向上光损失率不匹配的问题,获得亮度均匀性更

好的立体显示效果。通过实验样机的拍摄图片证明该光栅器件设计方法的有效性和实用价值。

参 考 文 献:

- [1] SALMIMAA M, JARVENPAA T. Characterizing autostereoscopic 3D displays [J]. *Information Display*, 2012, 25: 8-11.
- [2] 王琼华, 潘冬冬, 李大海, 等. 狭缝光栅自由立体显示器立体图像串扰度[J]. 光电子·激光, 2010, 21(7): 1058-1061.
WANG Q H, PAN D D, LI D H, *et al.* Stereoscopic image crosstalk factor for autostereoscopic display based on parallax barrier [J]. *Journal of Optoelectronics · Laser*, 2010, 21(7): 1058-1061. (in Chinese)
- [3] 林婷, 张永爱, 褚子航, 等. 时分全分辨率可控液晶光栅设计 [J]. 光子学报, 2015, 44(11): 1105003-1-6.
LIN T, ZHANG Y A, CHU Z H, *et al.* Study of a controllable full resolution liquid crystal grating based on time division [J]. *Acta Photonica Sinica*, 2015, 44(11): 1105003-1-6. (in Chinese)
- [4] 苏剑邦, 梁浩文, 陈海斌, 等. 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 [J]. 液晶与显示, 2015, 30(5): 877-882.
SU J B, LIANG H W, CHEN H Y, *et al.* Optimization of backlight scanning on auto-stereoscopic display with spatial and sequential hybrid control [J]. *Chin. J. Liq. Cryst. Disp.*, 2015, 30(5): 877-882. (in Chinese)
- [5] LIANG H, AN S, WANG J, *et al.* Optimizing time-multiplexing auto-stereoscopic displays with a genetic algorithm [J]. *Journal of Display Technology*, 2014, 10(8): 695-699.
- [6] HANHART P, NOLFO C D, EBRAHIMIT. Active crosstalk reduction system for multiview autostereoscopic displays [C]// *IEEE International Conference on Multimedia & Expo*. IEEE, 2015.
- [7] ZHUANG Z, SURMAN P, ZHANG L, *et al.* Moiré-reduction method for slanted-lenticular-based quasi-three-dimensional displays[J]. *Optics Communications*, 2016, 381: 314-322.
- [8] 黄炳乐, 郭太良, 姚剑敏, 等. 倾斜交错狭缝光栅的设计[J]. 福建师范大学学报, 2015, 31(1): 60-65.
HUANG B L, GUO T L, YAO J M. The design of slanted staggered barrier [J]. *Journal of Fujian Normal University*, 2015, 31(1): 60-65. (in Chinese)
- [9] 龚仲华. 论莫尔条纹的计算[J]. 工艺与检测, 2011, 3: 106-108.
GONG Z H. Calculation of moire fringe [J]. *Technology and Test*, 2011, 3: 106-108. (in Chinese)
- [10] ZHU J P, HU S, YU J S. Influence of tilt moire fringe on alignment accuracy in proximity lithography [J]. *Optics and Lasers in Engineering*, 2013, 51: 371-381.
- [11] 侯春萍, 许国, 沈丽丽. 基于狭缝光栅的自由立体显示器视区模型与计算仿真[J]. 天津大学学报, 2012, 45(8): 677-681.
HOU C P, XU G, SHEN L L. Calculation and simulation of viewing zone based on parallax barrier autostereoscopic display[J]. *Journal of Tianjin University*, 2012, 45(8): 677-681. (in Chinese)
- [12] 侯春萍, 王晓燕. 基于倾斜狭缝光栅的自由立体显示串扰比[J]. 天津大学学报, 2012, 45(8): 663-668.
HOU C P, WANG X Y. Crosstalk ratio evaluation of autostereoscopic display based on the slanted parallax barrier [J]. *Journal of Tianjin University*, 2012, 45(8): 663-668. (in Chinese)
- [13] XIE S L, WANG P, SANG X Z, *et al.* Depth-tunable three-dimensional display with interactive light field control [J]. *Optics Communications*, 2016, 371(15): 166-172.

作者简介:



陈 瑜(1997—),女,福建大田人,硕士研究生,2018 年于福州大学获得学士学位,主要从事平板显示、量子点显示应用的研究。E-mail: 316413614@qq.com



陈恩果(1984—),男,福建福州人,博士,副教授,2013 年于浙江大学获得博士学位,主要从事光学系统设计方面的研究。E-mail: ceg@fzu.edu.cn