

文章编号: 1007-2780(2013)01-0059-05

狭缝光栅分光特性及其对视区的影响

王 涛^{1,2}, 张 涛^{1,2}, 张春光^{1,2}, 翟思洪^{1,2}, 杨新军^{1,2}

(1. 现代显示技术国家重点实验室, 特种显示国家工程实验室, 上海 201114, E-mail: wantall@shu.edu.cn;

2. 中航华东光电(上海)有限公司, 上海 201114)

摘 要: 应用光栅等分光元件对视差图进行空间分离是实现立体显示的重要方法之一, 介绍了狭缝光栅作为分光元件实现立体显示的原理, 建立了子像素发光经过多个周期狭缝光栅的数学模型, 分析狭缝光栅参数及子像素发光宽度对视区及立体显示器亮度的影响。结果表明, 在对狭缝光栅参数设计过程中需要综合考虑视区特性与显示器亮度, 狭缝的透光比应控制在 0.2~0.3, 在样机生产过程中将透光比定为 0.25, 采用高亮背光模式以补偿立体显示器亮度, 取得了较好效果。结果对狭缝光栅的参数设计具有指导意义。

关 键 词: 自由立体显示; 狭缝光栅; 透光比; 视区

中图分类号: TN 27

文献标识码: A

DOI: 10.3788/YJYXS20132801.0059

Optical Properties of Parallax Barrier and It's Influence on View Zone

WANG Tao^{1,2}, ZHANG Tao^{1,2}, ZHANG Chun-guang^{1,2},

ZHAI Shi-hong^{1,2}, YANG Xin-jun^{1,2}

(1. National Engineering Laboratory for Special Display, State Key Laboratory of Modern Display, Shanghai 201114, China, E-mail: wantall@shu.edu.cn;

2. Avic Huadong photoelectric (Shanghai) Co., Ltd, Shanghai 201114, China)

Abstract: Redistributing parallax images by light directing element such as grating is one of the most important methods to achieve 3D display. This paper gives an introduction of how parallax barrier works to realize 3D display. The mathematical model of beams out of multi-period of barrier has been built to explore the roles played by barrier and width of sub pixel. Software to simulate the optical field in front of the 3D display has been developed. Both property of view zone and brightness of the display should be considered in order to get better 3D result. This study shows that the slit ratio for parallax barrier should between 0.2 and 0.3. In the process of prototype making the scale was set to 0.25. Particular bright backlight module was applied to compensating the lower brightness caused by lower scale and the display got a satisfactory result. The result has directive meaning for design of 3D display based on parallax barrier.

Key words: autostereoscopic display; parallax barrier; slit ratio; view zone

1 引 言

双目立体显示将含有视差的图像信息通过一定方法分别传输至观看者的左眼与右眼, 人的大脑

根据双目接收到的含有视差的信息产生立体感。具体实现方法可以分为两种, 一种是配戴特殊眼镜等辅助设备实现立体效果观看, 一种是裸眼直接观看, 第二种方法又称为自由立体显示^[1-2]。由于自

由立体显示可以直接观看,在研究中更受关注。常见的基于双目视差的自由立体显示器终端多为光栅式立体显示器,其硬件主要由平板显示器(包括液晶显示器,等离子显示器等)及分光元件(光栅)组成,目前使用的光栅主要包括:柱透镜阵列、狭缝光栅等。现有技术中由于狭缝光栅可由液晶光阀实现,而且液晶光阀的可开关特性使基于液晶光阀的立体显示器容易实现 2D/3D 兼容,该方法产生的立体显示器亮度不足可以采用高亮背光模块进行补偿^[3];Philips 公司提出一种在柱透镜阵列中注入液晶实现 2D/3D 兼容,该技术实现工艺复杂,技术难度较大^[4],因此研究狭缝光栅特性对立体显示效果的影响仍具有现实意义。

国际上美国 DTI (Dimension Technologies Inc.)、日本夏普公司较早对基于狭缝光栅的立体显示技术进行了研究^[5-6]。国内南京大学、四川大学、合肥工业大学、安徽华东光电技术研究所等单位研究了基于狭缝光栅的立体显示器^[7-9]。在现有的狭缝光栅参数设计中,根据几何光学原理,以子像素发光宽度及观看距离为参数对光栅进行设计,该过程中只考虑了子像素发光经过单个光栅的出射光束特性,得到的理论设计值不能较好应用于实际的狭缝光栅加工中。在狭缝光栅的实际生产过程中,往往需要在设计参数的基础上进行经验设计,以获取较好的显示效果,目前为止该过程尚缺少必要的理论支撑。为了进一步研究光栅参数及平板显示器参数对立体显示效果的影响,本文建立了子像素发光经过多个周期狭缝光栅的模型,研究了子像素经过多个狭缝光栅后的出射光束特性,根据出射光束特性得到了立体显示器前方的光场,着重分析了光栅透光比及子像素发光宽度对视区特性的影响。

2 前置式狭缝光栅立体显示原理

根据狭缝光栅位置不同可分为前置狭缝与后置狭缝。后置狭缝是指在背光及液晶像素之间放置狭缝以产生线光源,该方案需要将现有的液晶显示模块背光及显示显示屏分离,然后将狭缝光栅置于中间,制作工艺复杂。前置式狭缝光栅只需将光栅置于屏幕表面即可,不需要改变液晶显示模块,工艺过程简单,在实际生产中更具备优势。

2.1 前置式狭缝立体显示原理

图 1 所示为前置式狭缝实现立体显示原理,

图中所示下方为平板显示器的子像素,子像素的宽度为 P ,子像素发光面到光栅的距离为 h ,观看距离为 H 。视差光栅的周期为 W_s ,狭缝光栅的透光部分宽度为 W_w ,定义透光部分宽度与周期的比值为透光比。图中所示 L(左)视点信息经过光栅透光部分后汇聚到观看者左眼,即左眼通过狭缝光栅可以看到显示器上的左视点信息,同理,观看者右眼可以看到平板显示器上的右视点信息,当观看者的左眼与右眼与图中所示左、右眼位置重合时即可以观看到 3D 效果。

图 1 中仅考查了某一个观察位置的特殊情况,即单个子像素发光后经过视差光栅中的某一个周期的透光部分到达人眼,而显示器前方光场是由各个子像素发光经过多个周期光栅后在空间叠加而成。因此,研究光场特性需要研究单个子像素经过多个周期狭缝光栅后的出射光束特性,如图 2 所示为单个子像素经过 9 个周期光栅后的出射光束示意图,其各个出射光束的特性将在下节分析。

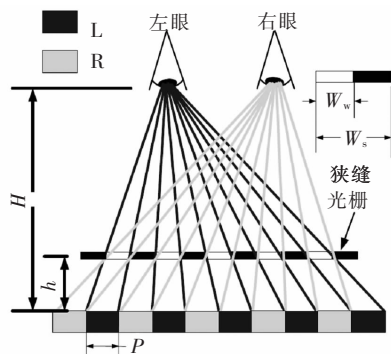


图 1 前置式狭缝光栅立体显示原理

Fig. 1 Principle of 3D display based on parallax barrier

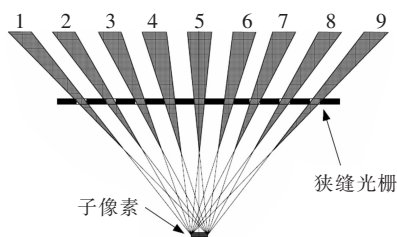


图 2 子像素出射光束

Fig. 2 Beams out of multi-period barriers

2.2 子像素出射光束特性分析

为了对子像素出射光束特性进行分析,建立子像素发光经过多个周期光栅的数学模型。如图 3 所示, x 轴经过子像素发光平面, y 轴经过一狭

缝中心,AB 为子像素发光面,A 点坐标为 $(-P/2,0)$,B 点坐标为 $(P/2,0)$ 。定义过 y 轴的狭缝序号为 0, x 轴正方向狭缝序号为 $1,2,\dots,n$,相应序号的狭缝区间为 $(n \cdot W_s - W_w/2, n \cdot W_s + W_w/2)$; x 轴负方向的狭缝序号为 $-1,-2,\dots,-n$ 。以子像素 AB 为例,研究其经过序号 1 狭缝的出射光束特性,A 点发光经过透光部分后的光束为 $A'A''$,发光点 B 发光后经过光栅后出射光束为 $B'B''$,易知其出射光束将以 BB' 及 AA'' 为边界, BB' 方向角的正切值为 $h/(W_s - W_w/2 - P/2)$, AA'' 方向角的正切值为 $h/(W_s + W_w/2 + P/2)$ 。定义该光束的发散角为两边界 BB' 及 AA'' 的夹角,根据 BB'' 方向角及 AA'' 方向角可求得子像素发光经过狭缝 1 后的发散角,即图中所示 θ_1 。

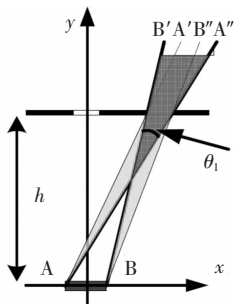


图 3 出射光束发散角

Fig. 3 Emergence angle of beams out of barrier

平板显示器的分辨率为: $1\ 280 \times 1\ 024$,子像素宽度为 0.098 mm ,选取观看距离为 $1\ 000\text{ mm}$,根据狭缝光栅的参数设计^[10],狭缝光栅的周期为 0.1957 mm ,透光比为 0.5 , $h=1.5405\text{ mm}$,实际应用中透光比取为 0.25 。根据子像素边界发光点 A、B 坐标及狭缝区间,根据光线的直线传播原理,计算可得子像素发光经过不同狭缝的出射光束发散角如表一所示。编制软件对子像素经狭缝后出射光束进行模拟,得到结果如图 4 所示,图中 θ_4 为子像素发光经过序号 4 狭缝后的出射光束夹角。

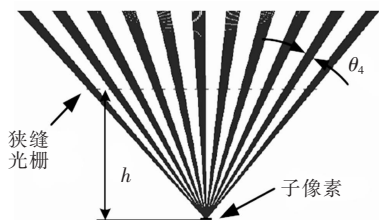


图 4 出射光束模拟结果

Fig. 4 Simulation result of beams out of barrier

表 1 子像素发光经过各狭缝后的发散角(单位:度)

Table 1 Emergence angle of beams out of barrier (unit: degree)

狭缝序号	发散角	狭缝序号	发散角
-4	2.933 6	1	3.663 9
-3	3.234 5	2	3.490 2
-2	3.490 2	3	3.234 5
-1	3.663 9	4	2.933 6
0	3.725 7		

3 透光比及子像素宽度对视区的影响

3.1 透光比对视区的影响

立体显示器前方所形成的光场将决定立体显示的效果,根据图 4 所示的子像素经多个狭缝后的出射光束特性,编制程序获取立体显示器前方光场。定义光场中的可以连续观看到某一个视图的宽度为视区宽度。显示器横向宽度为 376.3 mm ,根据光栅周期可知,光栅周期数为 $1\ 923$ 个,子像素发光的个数为 $1\ 920$ 个。当狭缝光栅透光比例分别为 $0.1,0.2,0.25,0.4,0.5,0.6$ 时,显示器前方形成的光场分别如图 5(a)、(b)、(c)、(d)、(e)、(f) 所示。其中左视点子像素发光光线以红色标记,其中红色区域称为左视区;右视点子像素发光以绿色标记,其中绿色区域称为右视区,左、右视点发光均经过的区域用黄色表示,为存在串扰的区域。

为了对图中所示视区特性进行分析,建立接收面如图中直线所示,接收面到显示屏幕的距离为 $1\ 000\text{ mm}$,接收面区间为 $-500 \sim 500\text{ mm}$ 。图 5(c) 及图 5(e) 中所示接收面上光线特性如图 6(a) 及图 6(b) 所示。图中所示,横坐标为接收面的坐标,纵坐标为右视点光线数量与左、右两视点光线总量的比值。比值为 1 时代表该区域中只含绿色光线,比值为零代表该区域中只含红色光线。

模拟中的光线数量与实际光场中的信息强度成正比。定义右视区中来自左视点的光线数量与总光线数量的比值为该视区的串扰比。表 2 给出了不同透光比狭缝光栅下,接收面上所得到的视区特性。

如表 2 中数据所示,当透光比为 0.1 时,无串

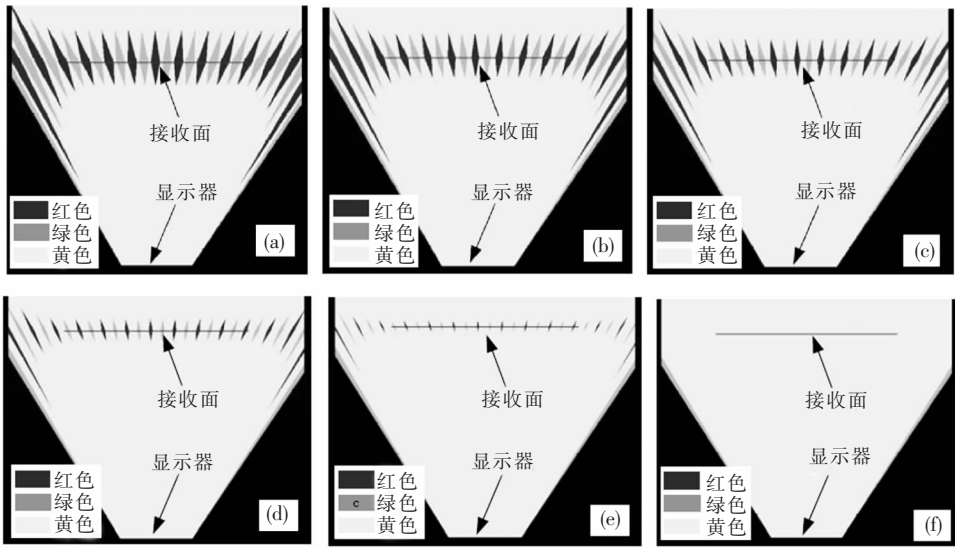


图5 不同透光比例下的光场。(a)0.1;(b)0.2;(c)0.25;(d)0.4;(e)0.5;(f)0.6。

Fig. 5 Opticl field for different slit ratio. (a)0.1;(b)0.2;(c)0.25;(d)0.4;(e)0.5;(f)0.6.

表2 狭缝光栅透明比对视区特性的影响

Table 2 Influence of slit ratio on the property of view zone

透光比	串扰比 视区宽					
	0%	<10%	<20%	<30%	<40%	<50%
0.1	49	52	54	57	59	62
0.2	38	44	49	53	58	64
0.25	32	36	44	50	54	62
0.3	26	32	41	49	54	60
0.4	19	23	29	44	49	63
0.5	8	14	19	34	51	64

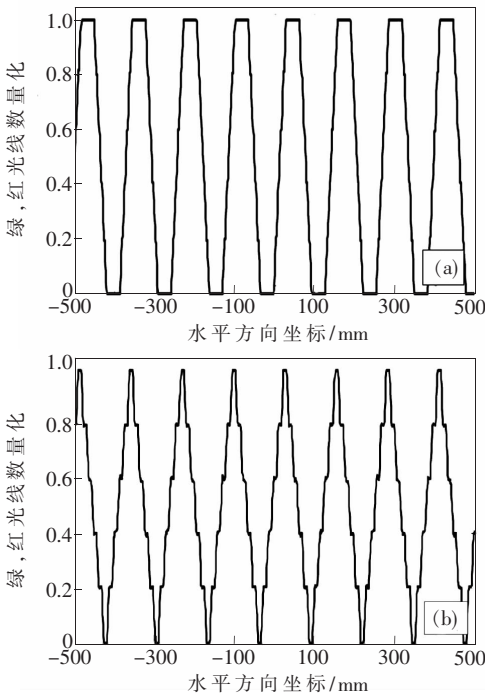


图6 不同透光比下光场接收面上的特性。(a)透光比为0.25,(b)透光比为0.5。

Fig. 6 Optical property on receiver plane for different slit ratio (a) 0.25 and (b) 0.5

扰视区宽为49 mm。串扰比小于10%的视区宽为52 mm(包括串扰为零的区域49 mm),串扰比小于20%的视区宽为54 mm(包括串扰小于10%的视区宽52 mm)。由表中数据可知,透光比越

小,相应视区宽度下的串扰越小,即立体显示性能越好。在相同背光模块下,透光比越低,意味着立体显示器的亮度越低。因此在立体显示器设计过程中需要综合考虑立体效果及显示器亮度。当选取透光比例为理论设计值0.5时,由表2可知,其无串扰区域仅为8 mm,串扰小于10%的区域仅为14 mm,明显不能够满足立体显示要求。因此需要在理论设计值基础上降低透光比例以改善视区特性,根据表2中数据,一般将透光比控制在0.2~0.3。当透光比为0.25时,无串扰区域可达32 mm,串扰小于10%的区域可达36 mm。

3.2 子像素发光宽度对视区的影响

子像素发光宽度对视区的影响与狭缝透光比对视区的影响类似。首先给出结论,在立体显示过程中,子像素发光宽度越小,对视区分布有利,

但是子像素发光宽度变小,意味着显示器亮度相应的降低。在光栅参数不变的情况下(以透光比

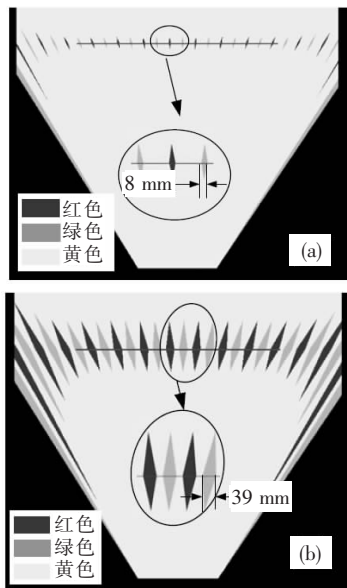


图 7 子像素发光宽度对视区的影响。(a)发光宽度 P , (b)发光宽度 $P/2$ 。

Fig. 7 Influence of effective width of sub pixel on view zone. (a) P , (b) $P/2$ 。

为 0.5),当像素发光宽度为 P 及 $0.5P$ 时得到的显示器前方光场如图 7(a)、(b)所示,图(a)中所示无串扰区域宽度为 8 mm,图(b)中无串扰宽度为 39 mm。易知,降低子像素发光宽度时,视区分布有利于立体效果显示。

从分析可知,狭缝光栅的透光比及子像素发光宽度对视区特性及显示器亮度均有影响,在进行立体显示器的设计过程中需要综合考虑视区形成及显示器亮度等因素^[11-12]。

4 结 论

研究了子像素发光经过多个周期狭缝的出射光束特性,获取了狭缝光栅立体显示器前方光场。着重分析了光栅参数透光比及子像素发光宽度对视区的影响,结果表明,狭缝透光比越小视区特性越理想,考虑到较小透光比对显示器亮度的影响,样机生产过程中将保持透光比在 0.2~0.3。采用高亮背光模块可以对立体显示器的亮度进行补偿,这样即满足的视区特性的需要,亮度也在观看者的接受范围之内。本文研究结果已应用于样机生产中,取得了较好效果。

参 考 文 献:

- [1] Dodgson N A. Autostereoscopic 3D displays [J]. *Computer*, 2005, 38(8): 31-36.
- [2] Holliman N S, Dodgson N A, Favalora G E, et al. Three-dimensional display: A review and applications analysis [J]. *IEEE Transactions on broadcasting*, 2011, 57(2): 362-371.
- [3] 梁发云. 彩色立体显示关键技术研究 [D]. 合肥: 合肥工业大学, 2005.
- [4] Sluijster M, Ijzerman W L, de Boer D G K, et al. Residual lens effects in 2D mode of auto-stereoscopic lenticular-based swichable 2D/3D displays [C]// *Photonics in Multimedia*, USA: The International Society for Optical Engineering(SPIE), 2006:1-9.
- [5] Eichenlaub J B. Lightweight compact 2D/3D autostereoscopic LCD backlight for games, monitor and notebook applicaiton [C] // *Stereoscopic Displays and Virtual Reality Systems V*, USA: The International Society for Optical Engineering(SPIE), 1998:180-185.
- [6] Jacobs A, Mather J, Winlow R, et al. 2D/3D Switchable Display [R]. Japan: Sharp Laboratories of Europe, Ltd., 2003(4):15-18.
- [7] 王元庆. 基于 LCD 的自由立体显示技术 [J]. *液晶与显示*, 2003, 18(2):116-120.
- [8] 黄永刚, 刘文文. 基于视差照明原理的自由立体显示几何建模 [J]. *液晶与显示*, 2006, 21(5):579-583.
- [9] 赵仁亮, 赵悟翔, 王琼华, 等. 狭缝光栅自由立体显示器立体可视区域的研究 [J]. *光子学报*, 2008, 37(5): 960-963.
- [10] 王琼华. 3D 显示技术与器件 [M]. 北京: 科学出版社, 2011:92-94.
- [11] 陈华殷, 郭太良, 姚敏敏, 等. 体三维显示中像素均匀性优化的参数选取 [J]. *液晶与显示*, 2011, 26(2):241-245.
- [12] 冯奇斌, 王小丽, 吕国强, 等. 固态体积式真三维立体显示器的色度学特性 [J]. *液晶与显示*, 2011, 26(1):100-104.