

文章编号:1007-2780(2009)06-0911-05

光栅式自由立体显示器中莫尔条纹的形成规律

朱燕林,陈瑞改,谢 佳,牛 磊

(天马微电子股份有限公司,广东 深圳 518118, E-mail:yanlin_zhu@tianma.cn)

摘 要:建立了一套简化的分析模型,深入研究了 BM(Black Matrix)的节距、观察距离、光栅倾斜角度对莫尔条纹的走向及其节距的影响,并进行了理论推导与试验验证,结果表明,该理论能有效地揭示莫尔条纹的形成机理与形成规律,为莫尔条纹问题的解决提供了必要的理论依据。

关 键 词:莫尔条纹;自由立体显示器;狭缝光栅;柱镜光栅

中图分类号: TN27 **文献标识码:** A

1 引 言

裸眼 3D 显示器凭借其全方位的展现力与呼之欲出的震撼感觉,以及不需要佩戴特殊的眼镜的优点,成为 3D 显示研究的主要方向,是新一代显示器件的研究热点^[1-7]。裸眼立体显示器主要包括狭缝光栅式自由立体显示器和柱镜光栅式自由立体显示器,其实现原理都是基于光栅的分光原理,通过对光栅形状的设计及光栅到显示器距离的精确控制,使通过显示平面的各像素的光线分别只进入人的左眼或右眼,双眼看到不同的画面,由立体融像原理产生空间感。由于显示器的像素排布是有序排列的周期性矩阵结构,其发出的光场也是具有周期性矩阵结构,这样的光场与显示器前面的周期性光栅结构相互干涉,很容易形成彩色或黑白莫尔条纹^[8-10]。莫尔条纹的产生会影响 3D 显示效果,破坏图像的观赏性,甚至会造成图像无法正常显示,所以很有必要对莫尔条纹的形成机理与规律进行研究,以找到解决的途径。

为了更好地分析光栅式自由立体显示器中莫尔条纹的问题,本文建立了莫尔条纹形成的原理模型,深入分析了莫尔条纹的形成原因及其形成规律,并通过具体实验进行了验证。由于柱镜光栅与狭缝光栅形成莫尔条纹的机理相同,下面仅以柱镜光栅为例研究其规律。

2 莫尔条纹形成的原理

裸眼光栅式立体显示器产生的莫尔条纹分为两种:一种是黑白莫尔条纹,主要是由于光栅走向相同的周期性 BM 结构与光栅结构干涉形成;一种是彩色莫尔条纹,主要是由与光栅走向相同的条状周期性 RGB 排布与光栅结构干涉产生的。由于其形成原理相同,本文仅通过建立 BM 与光栅的理论模型进行分析。莫尔条纹实质上是人眼通过光栅看到的 BM 或条状 RGB 所成的像。为了便于研究,把 BM 或 RGB 简化为单一方向的周期性结构,配合柱镜光栅进行研究莫尔条纹的形成机理及规律。如图 1 所示,竖方向代表 BM 结构,节距为 a ;斜方向代表柱镜光栅结构,其节距为 b 。在 3D 显示器结构中,显示器像素一般位于柱镜光栅的焦平面附近,显示器像素通过光栅会成放大的像,如果在焦平面内成放大的虚像,反之成放大倒立的实像,由于每个光栅结构对应的都是像素或子像素,其显示的又都是灰度,且又为对称规则图形,正立倒立对画面的显示没有任何影响,本文以显示画面位于光栅焦平面内为例进行研究。条状柱镜光栅成像的规律为沿柱镜主轴方向物像不存在放大关系,只有垂直于主轴方向才存在放大关系。如图 1 所示,BM 与光栅的夹角为 θ ,相交的平行四边形为 ABCD,其通过光栅所成的像为 A'B'C'D',像与光栅的 4 个交点为 E、

F、G、H。通过光栅看到的莫尔条纹实际上是由多个 EFGH 组成的周期性明暗结构。EFGH 的形状与分布规律随 θ 、 a 、 b 变化而变化,直接影响莫尔条纹的走向及节距。

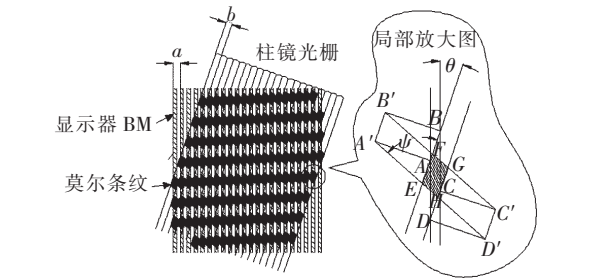


图 1 莫尔条纹成因示意图
Fig. 1 Formation of Moiré fringe

3 莫尔条纹的走向与节距

观察发现,莫尔条纹的走向及节距的变化规律与 b/a 的值相关。当 b/a 从 1 变化到 2,3,4... 等整数时,条纹方向相同,节距变为整数倍。 b/a 在相邻两个整数间变化时,走向及节距连续变化。

下面将就 $b/a=1$ 与 $b/a=2$ 两种情况,分别讨论莫尔条纹的走向及节距,得出一般情况下莫尔条纹的规律。

3.1 光栅节距接近 BM 节距的情况

如图 2 所示,A、B 和 C 分别代表相邻的 3 条 BM,1 和 2 分别代表相邻的两组光栅。图中 A_1 、 A_2 代表 A 与光栅 1 和光栅 2 相交区域所成的像的中心,同时也是 A 与光栅 1 和光栅 2 中心线的交点,其余交点命名方法依此类推。

从图 2 左图可以看出,莫尔条纹方向平行于 A_1B_2 连线的方向。图 2 右图是放大后示意图,用中心线取代了原光栅 1、2 及 BM A、B。BM 与光栅的节距分别为 a 和 b ,BM 与光栅间的夹角为 θ 。 A_1B_2 连线即为莫尔条纹的走向,令其与水平方向的夹角为 ϕ ,定义顺时针旋转为正,则:

$$\frac{b}{\sin\theta} - \frac{a}{\tan\theta} = a \tan\phi \tag{1}$$

由式(1)推出:

$$\phi = \arctan\left(\frac{1}{a \sin\theta} - \frac{1}{\tan\theta}\right) \tag{2}$$

图 2 中点 A_2 到 A_1B_2 的距离即为莫尔条纹的节距,则:

$$w = \frac{b \cos\phi}{\sin\theta} \tag{3}$$

联立式(2)、(3)得:

$$w = \frac{ab}{\sqrt{a^2 + b^2 - 2ab \cos\theta}} \tag{4}$$

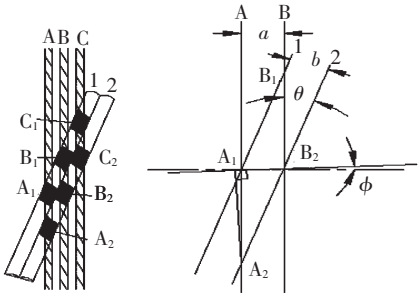


图 2 $b=a$ 时的莫尔条纹
Fig. 2 Moiré fringe for $b=a$

3.2 光栅节距约为 BM 2 倍时的情况

图 3 命名规则同图 2(a)。从图 3 左图可以看出,莫尔条纹方向沿 A_1C_2' 连线方向。依此可推导出:

$$\phi = \arctan\left(\frac{b}{2a \sin\theta} - \frac{1}{\tan\theta}\right) \tag{5}$$

$$w = \frac{ab}{\sqrt{4a^2 + b^2 - 4ab \cos\theta}} \tag{6}$$

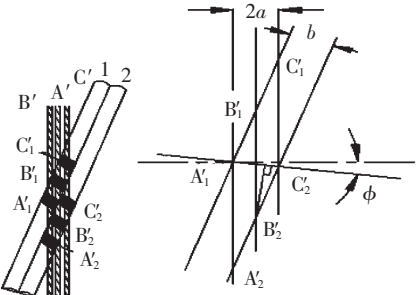


图 3 $b=2a$ 时莫尔条纹
Fig. 3 Moiré fringe for $b=2a$

3.3 一般情况讨论

从图 2 与图 3 的对比可以看出,当 a 与 b 比值在不同范围内时,条纹将沿着不同的节点连线方向。对一般情况,近似满足如下关系:

$$\phi = \arctan\left(\frac{b}{na \sin\theta} - \frac{1}{\tan\theta}\right) \tag{7}$$

$$w = \frac{ab}{\sqrt{n^2 a^2 + b^2 - 2nab \cos\theta}} \tag{8}$$

n 取最接近 b/a 的整数值。

在立体显示器中, b/a 即显示器视点数,常见的设计值为 2~9。

当 $n=1$ 时,类似双视点狭缝光栅立体显示器在显示黑白测试画面时的情况,此时黑色条纹的周期等于光栅周期。

为方便讨论,下文中不做特殊说明时, n 均取 1。

4 影响莫尔条纹的关键因素

在 3D 显示器中,BM 的节距、BM 与光栅走向的夹角、观察距离等都对莫尔条纹走向和节距有很大的影响,下面将从理论上深入分析这些因素的具体影响,并对原理模型通过实验进行验证。模型中柱镜光栅的节距为 1.016 mm(25 线柱镜光栅),用打印出来的黑白条纹代替显示器的简化 BM 结构,以后简称 BM。

4.1 BM 的节距对莫尔条纹的影响

图 4 是假定柱镜光栅节距 b 及其与 BM 夹角 θ 为定值时,条纹走向 ϕ 与 BM 节距之间的关系曲线。从图 4 可以看到,在分段函数的交界处,条纹方向变化比较剧烈。在临界情况下,图 2 中平行四边形 A_1 与 B_2 、 C_2 均较接近,条纹方向可以看成 A_1B_2 方向,也可以看成 A_1C_2 方向。从图 4(c)可以看出,当 $b/a=1$ (图中 1.016)及 $b/a=2$ (图中 0.508)时,条纹走向清晰。在两者中间时(图中 0.6,0.7),条纹走向比较模糊。

从图 4(b) 可以看出,条纹宽度在 $b/a=n$ (n 为整数)时取极大值,极值大小为 $b/a=1$ 处的 $1/n$ 。 θ 越小时极值附近变化越剧烈。图 4(c)为 BM 节距不同时对应的莫尔条纹照片,验证了以上结论。

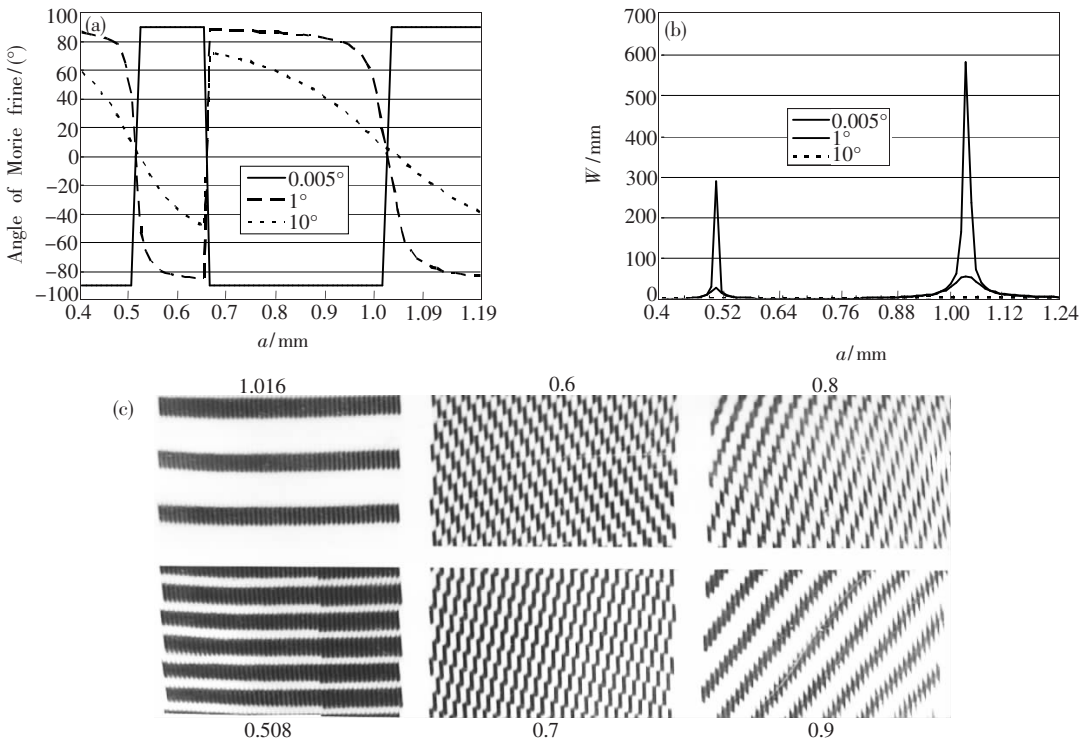


图 4 (a) $a-\phi$ 关系曲线;(b) $a-w$ 关系曲线;(c)实拍不同 BM 节距对应的莫尔条纹。

Fig. 4 (a) Simulated BM pitch a -dependent angle ϕ of Moriř fringe;(b) Simulated BM pitch a -dependent pitch of Moriř fringe;(c) Pictures of Moriř fringe for different pitch of BM.

4.2 BM 与光栅走向的夹角 θ 对莫尔条纹的影响(以 $b/a=1$ 为例)

图 5(a)和图 5(b)是用 Matlab 语言将式(2)和式(4)可视化的结果。从图中可以看出,在 $0\sim 1^\circ$ 范围内,条纹的走向角度 ϕ 从 -90° 变化到 0 ,条

纹节距由无穷大变为很小,条纹对 θ 非常敏感,但随着 θ 角度的增大, ϕ 与节距的变化趋于平缓。图 5(c)为拍摄的不同 θ 对应的莫尔条纹照片。实验证明了前面理论推导的正确性。

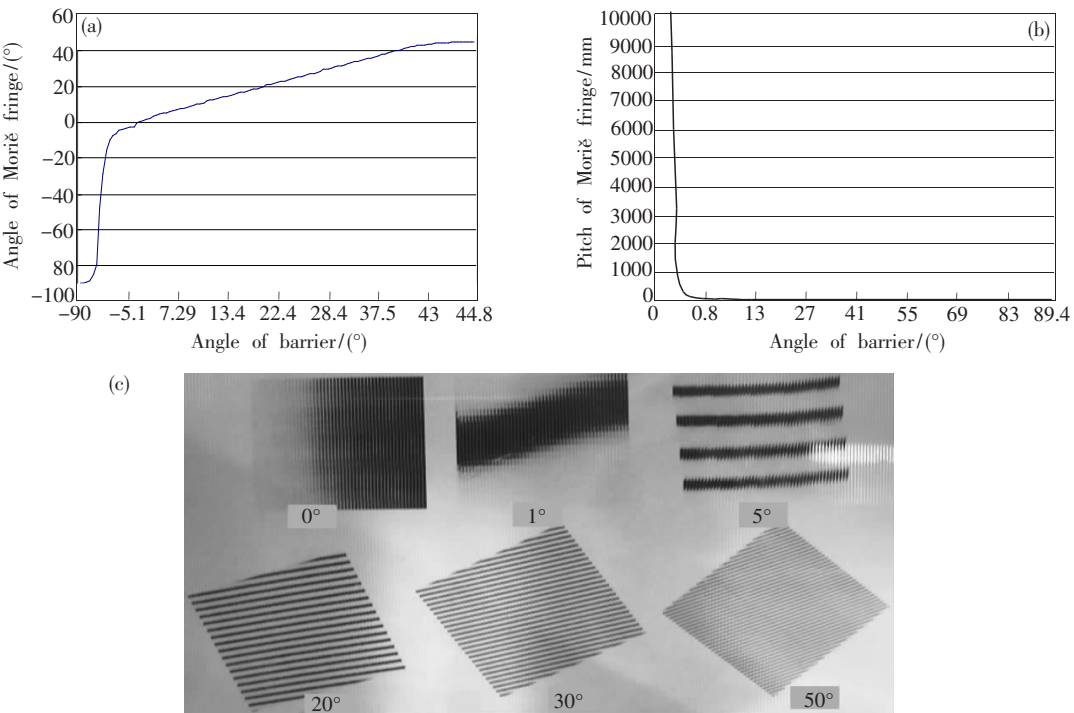


图 5 (a) θ ϕ 关系曲线; (b) θ - w 关系曲线; (c) 实拍 BM 方向不同时莫尔条纹形状.

Fig. 5 (a)Angle of barrier -dependent the angle of Mori fringe; (b) Angle of barrier -dependent the pitch of Mori fringe; (c)Picture of Mori fringe for different angle of barrier.

4.3 观察距离对莫尔条纹的影响

实际验证发现,大部分情况下式(7)及式(8)的计算结果与实际莫尔条纹符合较好,但是当 θ 在某一小角度附近且 b/a 接近整数时计算值与实际差别较大。在上述条件下莫尔条纹的走向、节距会随着观察距离的变化而发生较大变化。整体趋势是观察距离的逐渐变远,条纹的节距逐渐变大。下文将对上述现象进行分析。

取 $b/a=1$ 的情况。设人眼透过透镜所看到的像的节距为 a ,则

$$a = \frac{b(L + d)}{L} \tag{9}$$

式(9)中 d 代表 BM 到光栅的距离, L 代表人眼到光栅的距离。式(2)、式(4)实际上是将看到的像的节距近似认为是 a 的结果。将 a 的表达式代入,得:

$$\phi = \arctan \left[\frac{L}{(L + d) \sin \theta} + \frac{1}{\tan \theta} \right] \tag{10}$$

$$w = \frac{b}{\sqrt{\left[\frac{L}{L + d} - \cos \theta \right]^2 + \sin^2 \theta}} \tag{11}$$

图 6(a)和图 6(b)是式(10)和式(11)的可视化曲线,取光栅节距 b 为 1.016 mm, BM 到光栅

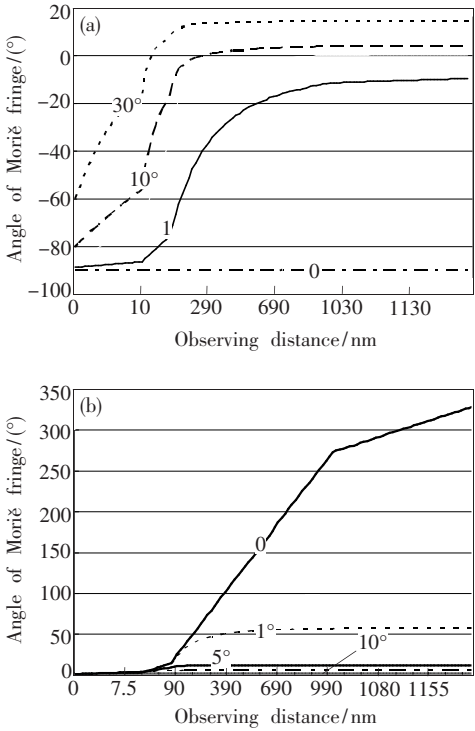


图 6 (a) L - ϕ 关系曲线; (b) L - w 关系曲线.

Fig. 6 (a) Observing distance-dependent the angle of Mori fringe; (b) Observing distance-dependent the pitch of Mori fringe.

距离 d 为 3.8 mm。图 6(a)代表条纹走向随观察距离变化的关系曲线,图 6(b)代表条纹节距随观察距离变化的关系曲线,并且图中还画出了 BM 与光栅夹角 θ 不同时,条纹的走向与节距随观察距离的变化曲线。从图中可以看出,观察距离越远,条纹的节距越大,条纹走向由竖直趋向水平。不同的 θ 其变化幅度不同,对于条纹的节距,夹角 θ 越小,变化幅度越大;对条纹的走向, θ 越大变化幅度越大, θ 越小,变化幅度越小,当 θ 趋近于 0 时,条纹走向基本不随观察距离变化,与实际条纹的变化规律相同。

5 结 论

分析了立体显示系统常见莫尔条纹的成因,提出并建立了一种简化的理论模型对莫尔条纹的走向和节距进行理论推导,总结出莫尔条纹的形成、变化机理,并进行了实验验证,结果表明该理论是一种正确有效的分析莫尔条纹的方法。该理论不仅可以运用到裸眼立体显示系统中莫尔条纹问题的分析解决,也可以用于分析解决其他涉及莫尔条纹的问题以及角度、距离的精确测量,具有较高的实用价值。

参 考 文 献:

- [1] Wang Qionghua, Tao Yuhong, Li Dahai, *et al.* 3D autostereoscopic liquid crystal display based on lenticular lens [J]//*Chinese Journal of Electron Devices*, 2008, 31(1):296-298.
- [2] 王爱红,王琼华,李大海,等. 三维立体显示技术 [J]. 电子器件, 2008, 31(1):299-301.
- [3] 闵森林,王元庆. 基于菲涅尔透镜的新型立体显示系统 [J]. 液晶与显示, 2007, 22(3):306-309.
- [4] 蒋峰,陈瑾,朱向冰. TFT-LCD 的高亮度自动立体显示屏背光模块设计 [J]. 液晶与显示, 2008, 23(5):599-602.
- [5] 郝敦博,李大海,王琼华,等. 柱面透镜自由立体显示器的分辨率损失研究 [J]. 液晶与显示, 2008, 23(4):494-497.
- [6] 李小方,王琼华,李大海,等. 自由立体显示器观看视疲劳 [J]. 液晶与显示, 2008, 23(4):464-467.
- [7] Nishimura H, Abe T, Yamamoto H, *et al.* Large stereoscopic display with a parallax barrier by use of an aperture grille [C]// *Proceedings of IDW06*, Tokyo, Japan: IDW, 2006:1389-1392.
- [8] 四川大学. 无莫尔干扰条纹的裸眼立体显示装置及方法:中国, CN101000406A [P]. 2007-7-18.
- [9] 北京超多维科技有限公司. 无莫尔条纹的立体显示装置及方法:中国, CN101122684A [P]. 2008-2-13.
- [10] 三洋电机株式会社. 图像显示装置:中国, CN 1595226A [P]. 2005-3-16.

Principle of Morié Fringe in Autostereoscopic Display Based on Parallax Barrier and Lenticular Lens

ZHU Yan-lin, CHEN Rui-gai, XIE Jia, NIU Lei

(Tianma Micro-Electronics Co. Ltd., Shenzhen 518118, China, E-mail: yanlin_zhu@tianma.cn)

Abstract

Morié fringe problem is an ordinary problem in autostereoscopic display based on parallax barrier and lenticular lens. It can seriously affect the characteristics of display. This paper builds a simple model to study the principle of Morié fringe, when the pitch of BM, the observing distance, the angle of barrier change. The results prove that the principle is right. It can be a reference to solve the Morié fringe problem of autostereoscopic display based on parallax barrier and lenticular lens.

Key words: Morié fringe; autostereoscopic display; parallax barrier; lenticular lens

作者简介:朱燕林(1974—),男,湖北监利人,学士,主要研究方向为液晶显示与液晶器件。