

文章编号:1007-2780(2019)12-1155-06

基于双层屏幕的防窥可切换显示技术

陈寅伟*, 闫桂新, 楚明磊, 禹璐, 桑建

(北京京东方显示技术有限公司, 北京 100176)

摘要:开发了基于双层显示屏幕架构的防窥显示技术方案,可实现共享显示和防窥显示切换功能。本文首先对双层屏幕架构的光场显示模型进行分析,提取出双图像叠加算法的数据要求,给出双屏幕像素点空间对应及亮度随视角变换关系,再利用深度学习算法得出双层屏幕图像拆分结果,并进行仿真模拟评估防窥显示效果,最后搭建双层屏幕样机实测分析模型和仿真效果准确性,评价样机大视角防窥效果。通过计算和比较侧视角图像和原图像的差异,认为侧视角图像 $SSIM < 0.2$ 时有明显防窥效果,再利用实际样机进行可视角度实验,验证了防窥性与计算值基本相符。实验结果表明拆分图像叠加效果符合光场显示模型,在 45° 以上视角基本实现防窥显示。

关键词:防窥显示;双层屏幕;光场信息分布;图像拆分算法

中图分类号:TN27 **文献标识码:**A **doi:**10.3788/YJYXS20193412.1155

Research of dual cell switchable privacy display technology

CHEN Yin-wei*, YAN Gui-xin, CHU Ming-lei, YU Lu, SANG Jian

(Beijing BOE Optoelectronics Technology Co., LTD., Beijing 100176, China)

Abstract: A kind of privacy display solution is developed using dual cell stack up, which can achieved switchable function between share mode and privacy mode. First we build the lighting-field display model in theory by dual cell LCD device, then extract data require by dual image generate algorithm, so can get dual cell image by deep learning algorithm. Meanwhile we simulate to evaluate the privacy mode, and assemble the dual cell sample to verify the result. By calculating and comparing the difference between side view images and original image, the view angle can has obviously anti-peep effect if $SSIM < 0.2$. The actual sample experiment is basically consistent with the above result. According to the experiment, can verify the dual cell image multiplication mode following the principle of lighting field theory. The view angle over 45° can get the chaos image and achieve privacy display condition.

Key words: privacy display; dual cell; lighting field distribution; image detach algorithm

1 引言

随着移动显示设备的发展,如智能手机,笔记

本电脑,平板电脑等,人们在公共场所使用显示设备更加频繁,从而导致个人信息泄露的风险越来越大。如何实现普通显示模式同时具有防窥显示切换功能的显示解决方案成为一个显示应用需求

收稿日期:2019-08-09;修订日期:2019-09-16.

* 通信联系人, E-mail: chenyinwei@boe.com.cn

的研究方向^[1-2]。

目前普遍采用的防窥膜片方案,因为其光学结构的限制会造成屏幕透光率损失,通常情况下亮度会下降将近 50%,为达到正常显示的亮度,则需要加大屏幕背光功耗。而由于移动显示设备对运行功耗都会有严格的要求,难以为实现防窥而牺牲使用时间,同时由于防窥膜片的不可切换性,也会造成很多应用场景使用不方便,因此防窥膜片无法在移动显示设备大规模推广使用。Aguinaga^[3]等人利用智能手机传感器和矩阵条形码技术对敏感信息进行安全编码,在应急响应时可以启动紧急扫描方案,提供信息的同时也保护了个人隐私。Robinson^[4]利用光学堆栈理论,使用方向背光控制屏幕的亮度和对比度,通过延迟堆栈和液晶像素偏置电压达到隐私显示的效果,但是只有一小块区域呈现白色模糊效果,并不能从整体上达到防窥效果。realD^[5]公司提出一种利用 IBT 背光加 ECB 模式液晶分布方式进行防窥的技术方案,实现了一定程度的视角遮蔽效果。根据各种文献中现有人们提出的可切换方案多是采用增加一层可控结构功能层,对大视角出射的光线进行干扰,达到降低该方向亮度,对比度,清晰度等显示性能的方法来实现^[6-7]。从防窥性能对比看出,虽然亮度是一个容易控制的光学量,但是若要实现良好防窥效果,对亮度控制的要求很高,实现难度较大。而通过造成图像信息混乱实现防窥显示不失为一种可行方案。

本文中采用双层液晶屏幕显示模组结合像素灰阶调整算法达成防窥显示目的,同时具有防窥及共享显示模式可切换功能且共享显示下无明显亮度损失,具有良好的市场应用性。

2 光场叠加理论模型分析

本论文中的双层屏幕防窥方案采用光场分布原理建立理论分析模型,分析双层光空间调制器件对由面光源发出的空间光线进行叠加调制的作用。光场原理最早由 Gershun^[8]在 1936 年提出,用于描述光在三维空间中的辐射传输特性。同时国内也有开发人员采用光场分析图像空间分布的问题^[9]。本文根据上述理论得出双层屏幕的空间光场强度分布以及防窥视角范围等器件性能参数。

2.1 光场参数化

在光场理论中可采用双平面法^[10]来对光场分布信息进行参数化,即设定光场表示为 $E(u, v, s, t)$,其中 $g(u, v), h(s, t)$ 分别表示光线在两个平面上的交点坐标,即一条有方向的光线可以被表示为连接 uv 及 st 平面上任意两个点确定的线,如图 1 所示。

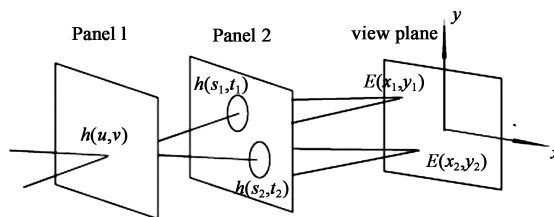


图 1 光场信息参数化

Fig.1 Lighting field information parameterization

假设 F 代表显示屏幕到人眼的距离,则人眼所在位置 (x, y) 处的光照度来自于整个空间光线在 (x, y) 处的积分,为

$$E(x, y) = \frac{1}{F^2} \iint L(u, v, s, t) \cos^4 \theta du dv, \quad (1)$$

其中: θ 为光线 $L(u, v, s, t)$ 与 (u, v) 面法线的夹角^[11]。

通过给出任一光线的参数表示,则可以计算出空间光场分布的情况,由于双层屏幕各个像素点对光线的调制作用,可设计得到不同的光场信息空间叠加情况,从而达到特定的亮度和色度分布效果。

2.2 双屏幕光场叠加模型

本论文中双层屏幕光场分布模型,即可认为双层屏幕的双图像内容在实际空间中实现调制,为达成防窥显示效果,定义防窥视角为以法线为中心, $\pm 30^\circ$ 以内角度为正常显示, $\pm 30^\circ$ 以外角度范围为图像防窥显示。

正常显示图像表示为:

$$E(x', y') = g(u, v) * h(s, t). \quad (2)$$

不同视角下图像表示为:

$$E'(x', y') = g(u, v) * h(s + m, t), \quad (3)$$

其中: $g(u, v)$ 为 Panel1 上某像素的亮度, $h(s, t)$ 为 Panel2 上某像素的亮度, m 为相差 θ 视角所对应的像素值。同时根据 LCD 屏幕像素灰阶特性,在进行函数赋值时, $g(u, v), h(x, y)$ 的取值均满

足 2^n 整数阶,通常 $n=8$ 或者 10 ;并定义图像差异判定函数 SSIM^[12],用于评价防窥视角下屏幕显示内容的差别,其数值越小,说明该视角的防窥效果越好。

$$SSIM = F(E(x', y'), E'(x', y')) \quad (4)$$

其具体算法如图 2 所示,通过上述判定函数的计算结果量化得到不同视角观看图像和正视图像的差别,作为防窥效果评价方式。

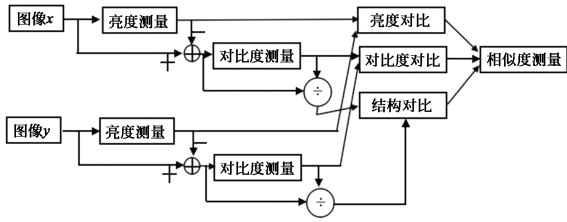


图 2 SSIM 图像差异计算流程图

Fig.2 Flow chart of SSIM calculation processing

本文中所采用的双层屏幕显示单元分别为 RGB 子像素和灰阶像素,因此观看者从不同视角除了感受到像素灰阶值差异,还会感受到像素色彩差异,本文中仅讨论亮度叠加造成的防窥效果。

3 双图像生成算法研究

3.1 双图像防窥目标设定

我们假设上层屏幕图像为 $I_{\text{fore}}(x, y)$,下层屏幕图像为 $I_{\text{bear}}(x, y)$ 。正面观看屏幕时看到的图像为 $I_{\text{front}}(x, y)$,侧面看到的图像为 $I_{\text{side}}(x, y)$ 。我们的目的是尽量扩大 $I_{\text{side}}(x, y)$ 和 $I_{\text{front}}(x, y)$ 的差别以达到防窥效果。本文采用的一种生成防窥目标图像的方法为 Hilbert 置乱,所采用的原始图像和防窥目标图像如图 3 所示。

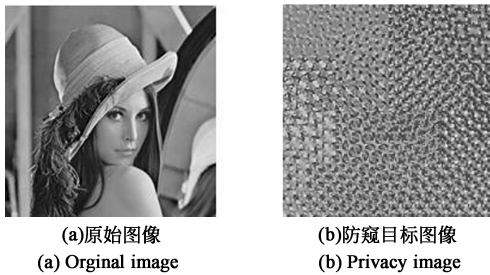


图 3 测试图像及防窥目标图像

Fig.3 Test image and privacy image

3.2 图像分解算法

根据双层屏幕的所满足的光场叠加性,得到如下像素赋值计算公式:

$$p_{\text{bear}}(\text{col}, \text{row}) = \prod_{i=\text{col}}^M p(i, \text{row}) / \prod_{j=\text{col}}^{M-1} p_{\text{snooper}}(j, \text{row}) \quad (5)$$

$$p_{\text{fore}}(\text{col}, \text{row}) = \prod_{i=\text{col}}^{M-1} p_{\text{snooper}}(i, \text{row}) / \prod_{j=\text{col}+1}^M p(j, \text{row}) \quad (6)$$

同时为了解决小数问题,我们将算法 1 中的计算数域限制在整数域内。为了实现原始图像在整数域的分解,需要将原始图像的像素值稍微做一下处理。设置一个临界值 α ,大于 α 的像素值均需要映射到最近的合数。并且合数的分解因子也不能大于 α 。对于原始图像而言,像素值的范围是 $[0, 255]$,因此可构造出这个范围内的合数集合,

$$S = \{s_1, s_2, \dots, s_N\}, N < 255, s < \alpha \quad (7)$$

构造合数映射函数,对于 $I(x, y)$ 上的任一元素 $p(i, j)$,都有一合数与之对应,表示为

$$p'(i, j) = F(p(i, j)) = \prod_{s_k \in S} s_k \quad (8)$$

进一步可得到整幅图像的合数映射图像

$$I'(x, y) = F(I(x, y)) \quad (9)$$

上述算法中计算前后屏图像的方式并不能保证每次都会得到整数结果。在迭代计算过程中每对前后屏图像上的像素值都会计算两次,相邻像素需要同时满足公式(5)、(6)所代表的原图像和防窥目标图像,这是不可能得到结果的。因此,在正视和侧视两种情况下,既要满足正视的原始图像,又要满足侧视的防窥图像,在理论上是很困难的。

3.3 图像仿真结果

根据上述算法对本文中双层屏幕防窥效果进行仿真验证。根据不同图像拆分算法,可得到多种双屏图像组合及其叠加结果。为了判别最终的防窥效果,计算图像质量评价 SSIM(结构相似性),得到侧视图与原始图像的相似度的量化值。在算法中通过改变计算参量 R 值,得到不同 SSIM 值及图像效果,如图 4 所示。为平衡侧视防窥效果和原图像内容的完整,可选出最佳的 R 值。

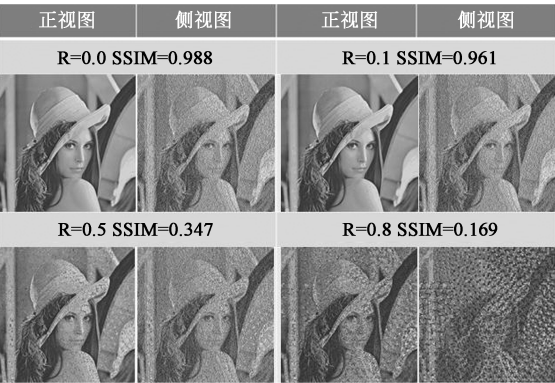


图 4 改进算法分解结果对比

Fig.4 Comparison of image choosed by decomposition algorithm setting

4 硬件架构

4.1 器件结构堆叠

双层屏幕模组堆叠结构如图 5 所示。采用光扩散层结构是为了解决因上下层显示屏像素周期相似而可能产生的摩尔纹问题。

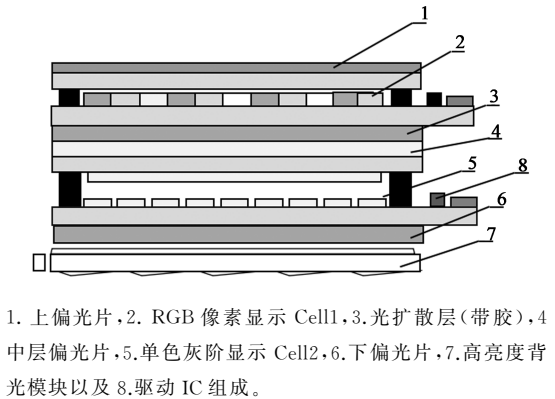


图 5 Dual cell 模组结构堆叠

Fig.5 Stack structure of dual cell module

4.2 驱动电路设计

本方案通过驱动电路生成不同的显示信号来实现防窥和共享模式的切换。具体工作流程如图 6 所示。当工作在防窥模式时，信号转换板上的 FPGA 芯片按照防窥图像生成算法产生帧同步双屏信号。由 SOC 输出 2K 60 Hz 信号传输至信号处理模块，由图像拆分算法计算得出 display cell 和 mono cell 的显示信号并储存至寄存器中，再由时序电路将上述两者信号进行同步传输至 tcon 1 和 tcon 2，从而完成防窥信号生成和传输。

当工作在共享模式时，驱动板将 SOC 给出的显示信号直接传输至 Tcon 1 来驱动 Display cell 进行显示，并使得 Tcon 2 驱动 mono cell 全部像素显示高亮灰阶值 L255。

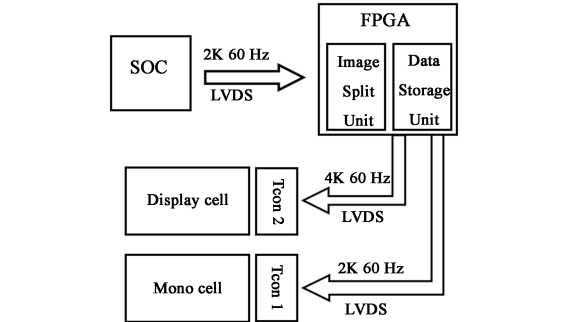


图 6 驱动方案流程图

Fig.6 Flow chart of driving scheme

5 实际样品验证

本论文中所采用的双层屏幕模组为 69 cm (27 in)，其中上层屏幕分辨率为 3 840×2 160，下层屏幕为 1 920×1 080。为保证上下屏幕像素准确对位，进行贴合时控制贴合精度在±10 μm 以内。所用 69 cm (27 in) 双层屏幕的参数如表 1 所示。

表 1 双层屏幕模组参数		
Tab.1 Specification of dual cell LCD module		
Item		Value/mm
Display Cell	Pixel pitch	0.155 6
Mono Cell	Pixel pitch	0.311 4
Others	Glass thickness	0.25+0.155
	OCA thickness	0.17
Optical Result	Privacy angle	40°~85°

实验验证中所用测试图像和正视角和侧视角显示效果如图 7 所示。其中(a)为原始图像，格式为 512×512 8 bit 灰阶图像，(b)为 0°视角图像，(c)为 45°视角图像，比较可看出 0°视角图像基本类似原图像内容，但色彩深度有所下降，45°侧视图图像含有明显信息扰乱，达到防窥显示效果。

为比较采用不同初始值参数得到的不同视角防窥效果差异,我们绘制出 SSIM 随视角变化曲线,如表 2 所示。其中 SSIM 1, SSIM 2 和 SSIM

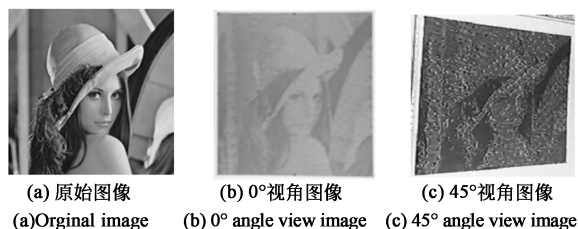


图 7 不同视角得到的图像效果

Fig.7 Image in different view

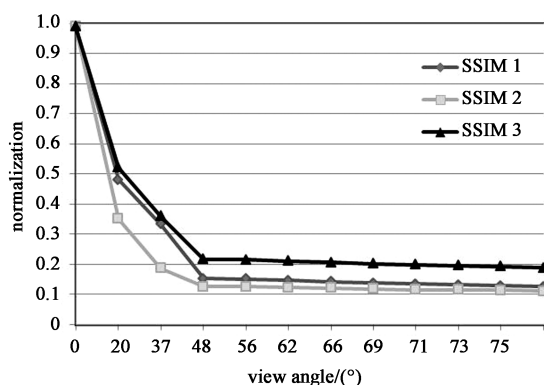


图 8 SSIM 随视角的变化量

Fig.8 SSIM results in different view angle

3 分别表示不同初始值的情况。从表中可以看出当观看角度大于 36.5° 时, SSIM 值明显下降能获得明显防窥视效果。同时结合实际样机防窥观看效果, 在视角大于 45° 时, 图像混乱状态明显, 具有较好的防窥显示效果。

从实验结果来看, 0° 角图像有明显画质下降, 分析造成该问题的主要因素有两个: 光扩散层的雾度偏大对光线散射明显干扰双层液晶盒像素的对应关系; 双层液晶盒的对应像素在 XY 面存在一定位置偏差。后续的改善方案包括调整光扩散膜雾度设定和提升双液晶盒贴合工艺的对位精度要求。

6 结 论

本文提出了一种采用双层显示屏幕架构的防窥显示方案。通过光场分析和图像拆分算法的开发, 可实现对不同视角空间时显示内容进行干扰达成防窥目的。同时通过驱动控制可灵活切换共享显示和防窥显示模式, 满足多种使用场景的显示需求。通过实际搭建的双层屏幕模组样品, 验证了本方案在 45° 视角以上位置具有明显防窥性。本文中所述双层屏幕的结构方案组件结构紧凑, 具有良好的量产可行性。

参 考 文 献:

- [1] WOODGATE G J, ROBINSON M G, SOMMERLADE E, et al. P - 162L; Late - News Poster: Intelligent backlight technology developments for uniformity, privacy & 3D operation [J]. *Society for Information Display International Symposium Digest of Technical Papers*, 2015, 46(1): 1448-1451.
- [2] ISHII J, SAITO G, IMAI M, et al. 18.5L; Late-News Paper: Liquid crystal privacy-enhanced displays for mobile PCs [J]. *Society for Information Display International Symposium Digest of Technical Papers*, 2009, 40(1): 243-246.
- [3] AGUINAGA S, POELLABAUER C. Method for privacy-protecting display and exchange of emergency information on mobile devices [C]// *The 2012 International Conference on Collaboration Technologies and Systems*. Denver: IEEE, 2012.
- [4] YAN J, LI Q, XIA J. Research on the fringing electric field effect of liquid crystal phase modulator for digital holography[J]. *SID Symposium Digest of Technical Papers*, 2013, 48(1): 663-666.
- [5] ROBINSON M G, WOODGATE G J, HARROLD J, et al. P-102; Switchable privacy display design and optimization [J]. *Society for Information Display International Symposium Digest of Technical Papers*, 2018, 49(1): 1567-1570.
- [6] 陈小健, 宋承继. 基于插值方法的数字图像隐藏技术的研究[J]. *计算机应用与软件*, 2007, 24(2): 174-177.
CHEN X J, SONG C J. Research on digital image hiding technique based on interpolation method[J]. *Computer Applications and Software*, 2007, 24(2): 174-177. (in Chinese)

- [7] 雷正桥,肖迪.基于空域可恢复信息隐藏的图像安全人工退化算法[J].计算机科学,2015,42(3):162-166.
LEI Z Q, XIAO D. Artificial image security degradation algorithm based on invertible information hiding in spatial domain[J]. *Computer Science*, 2015, 42(3): 162-166. (in Chinese)
- [8] GERSHUN A. The light field[J]. *Journal of Mathematics and Physics*, 1939, 18(1-4): 51-151.
- [9] 周云峰,徐良,李海峰,等.多层光场三维显示及其图像计算的优化[J].光子学报,2018,47(6):0610003.
ZHOU Y F, XU L, LI H F, *et al.* Tomographic 3D display and imaging optimization[J]. *Acta Photonica Sinica*, 2018, 47(6): 0610003. (in Chinese)
- [10] LEVOY M, HANRAHAN P. Light field rendering [C]//*Proceedings of the 23rd Annual Conference on Computer Graphics and Interactive Techniques*. New York: ACM, 1996: 31-42.
- [11] NG R, LEVOY M, BRÉDIF M, *et al.* Light field photography with a hand-held plenoptic camera [R]. CS-TR-2005-02, Stanford: Stanford University, 2005.
- [12] WANG Z, BOVIK A C, SHEIKH H R, *et al.* Image quality assessment: from error visibility to structural similarity [J]. *IEEE Transactions on Image Processing*, 2004, 13(4): 600-612.

作者简介:



陈寅伟(1986—),男,山东菏泽人,硕士研究生,2010 年于吉林大学获得学士学位,从事显示技术相关光学设计的研究。E-mail:chenyinwei@boe.com.cn