

文章编号:

广窄视角可切换型 TFT-LCD 的莫尔条纹抑制

蔡浩¹, 陈超平^{2*}, 陈捷², 程子垚²

(1. 昆山龙腾光电股份有限公司 产品研发中心, 江苏 昆山 215300;
2. 上海交通大学 电子工程系 智能显示实验室, 上海 200240)

摘要: 随着互联网的不断发展, 电子移动设备越来越普及, 信息流通也随之越来越便捷。这就使得人们逐步开始重视在公共场合使用电子设备时造成的个人信息泄漏。针对该问题, 基于广窄视角可切换型 Thin Film Transistor Liquid Crystal Display (TFT-LCD, 薄膜晶体管液晶显示器) 应运而生, 然而该类型面板通常会产生莫尔条纹问题。为此, 我们通过本文研究发现, 该问题是由 Pulse Width Modulation (PWM, 脉冲宽度调制) 调光信号与 Narrow Viewing Angel (NVA, 窄视角) 模式下施加在 Color Filter (CF, 彩色滤光片) Indium Tin Oxide (ITO, 氧化铟锡透明导电膜玻璃) 侧的交流信号, 这两者相位差不断变化造成的莫尔条纹问题。本文提出了一种有效的解决方案。首先, 从根据为什么造成莫尔条纹的根本原因入手, 针对性对造成莫尔条纹的干扰信号进行处理, 实现了信号间的同步, 无相位差的改善方案。实验结果表明: 由 Start Vertically (STV, 一帧的开始信号) 信号同步背光模组 (基于 LED 光源, Light Emitting Diode, 发光二极管) 的调光信号 PWM 可以完美解决莫尔条纹问题。在 1 kHz、49.8% 占空比 PWM 信号下, 使用显示器色彩分析仪 CA-310 量测 64 灰阶下莫尔条纹中心区域的闪烁度的值由 68.5%-72.3% 之间的循环跳变, 变成稳定的 69.9%。基于此种方案, 实际观察无莫尔条纹, 窄视角模式下画质视觉体验效果更好。

关键词: TFT-LCD; 广窄视角; 莫尔条纹; LED

中图分类号: TN27 **文献标识码:** A **doi:**

Suppression of moire pattern for wide/narrow viewing angle switchable TFT-LCD

CAI Hao¹, CHEN Chao-ping^{2*}, CHEN Jie², CHENG Zi-yao²

(1. R&D Center, Invovision Optoelectronics Co. Ltd., Kunshan, Jiangsu 215300, China;

2. Smart Display Lab, Department of Electronic Engineering, Shanghai Jiao Tong University, Shanghai 200240, China)

Abstract: With the continuous development of the internet, electronic mobile devices are becoming more and more popular, the circulation of information is also getting faster and easier. This makes people pay more attention to the leakage of personal

收稿日期: 2020-09-08; 修订日期: 2020-10-xx

基金项目: 国家自然科学基金 (No. 61831015); 上海市科学技术委员会 (No. 19ZR1427200, No. 1801H163000, No. 1701H169200)

Supported by National Natural Science Foundation of China (No. 61831015); Science and Technology Commission of Shanghai Municipality (No. 19ZR1427200, No. 1801H163000, No. 1701H169200)

*通信联系人, E-mail: ccp@sjtu.edu.cn

information while they are using devices in public. In response to this problem, a technology known as the wide/narrow viewing angle switchable display base on the thin film transistor liquid crystal display (TFT-LCD) came into being. In order to solve the problem of wide/narrow viewing angle switchable products, which is caused by the continual change of the phase between the pulse width modulation (PWM) dimming signal and the AC signal applied on the color filter (CF) and indium tin oxide (ITO) side under narrow viewing angle (NVA) mode, this paper presents an effective solution. First of all, according to the root cause of the moire, aiming at the interferential signals caused moire pattern, the scheme of synchronization is realized in signals and without different phase. Experimental results show that from the start of one frame synchronization start vertically (STV) signal and backlight module (composed of light emitting diode, LED) the dimming signal PWM can perfectly solve the problem of moiré Under PWM signal with 1 kHz, 49.8% duty, the value of the flicker in the center area of the moire was from 68.5% to 72.3% under 64 gray scale measured by using the display color analyzer CA-310, and then became stable 69.9%. Based on this scheme, the actual observation is invisible, it can give users good visual experience under NVA mode.

Key words: TFT-LCD; wide/narrow viewing angle switchable; moire; LED

1 引言

日常生活中, Notebook (NB, 笔记本电脑) 已经非常普及, 其使用率也越来越高。人们会用来办公、娱乐或是收发邮件, 但在不同的场合使用, 用户就会顾及个人隐私问题。当我们在观看或是撰写私人信息的时候, 并不想让周围的人看到, 传统的解决方案是使用 3M 防偷窥膜片来达到防窥的目的。但当分享有趣的内容或是会议 Power Point (PPT) 讨论的时候, 就希望有广阔的视角让更多人看到。广窄视角技术可实现 Wide Viewing Angle (WVA, 广视角) 与 Narrow Viewing Angle (NVA, 窄视角) 一键切换, 省去了额外贴附防窥膜的繁琐, 其原理是基于广窄视角可切换 TFT-LCD 技术而实现^{[1][4]}。

TFT LCD 是有源矩阵类型液晶显示器 (Active Matrix LCD, AM-LCD) 中的一种。它具有低功耗、高对比度、高响应速度、适用范围广、易于集成化等特点, 目前已成为面板显示产业主流技术之一。小到电子表、数码相机、智能手机, 大到笔记本电脑、各种尺寸的显示器、平板电视, 都在广泛使用 TFT LCD 屏。TFT LCD 的主要原材料包括液晶、玻璃基板、背光模组、彩色滤光片、偏光片、驱动电路、化学气体与材料、外框、各类薄膜及其他材料。图 1 为 TFT LCD 模组的基本架构。

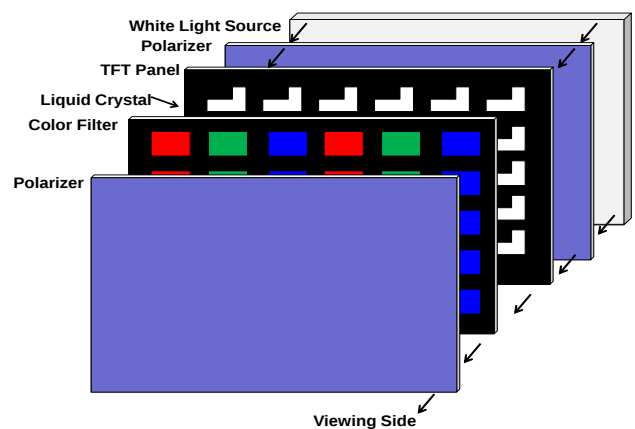


图 1 TFT LCD 基本架构

Fig.1 Basic Structure of TFT LCD

2 背光模块

目前, 不同于 Organic Light-Emitting Diode (OLED, 有机发光二极管) 的技术原理^[5], TFT-LCD 模组的设计必需搭配 Backlight Unit 来提供光源, 如图 2 所示, 其工作原理为: LED Driver 驱动 Light Bar, 点亮光源。现有的 LED Driver 所需的信号一般主要包括 V_{IN} (LED Driver 的输入电压)、PWM Signal (LED Driver 的调光信号)、Chip Enable (LED Driver 的使能信号) 等。对 PWM 的定义, 还包括其 Dimming Frequency (调光频率) 及 Duty (占空比), 他们的取值有一定的范围及对应关系, 调节 Duty 可对光的强弱进行控制。

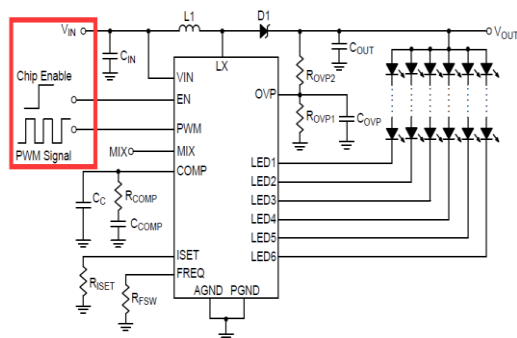


Fig.2 Schematic of backlight module

然而, 背光模块的调光方式有多种模式。如下列出两种常见模式调光下 PWM 频率与占空比的对应关系: 表 1 为混合调光模式, 表 2 为 PWM 调光模式。PWM 调光技术为目前常用的 LED 调光技术。在进行脉冲宽度 PWM 调光时, 需要提供一个额外的脉冲宽度调节信号源。通过改变输入的脉冲信号占空比来调制 LED 驱动芯片对功率场效应管的栅极控制信号, 从而达到调节通过 LED 电流大小的目的。这种调光技术的优点在于应用简单、效率高、精度高, 且调光效果好[6]。

表 1 混合调光模式

Tab.1 Mixed Dimming Mode

Dimming Frequency(Hz)	Duty(Min)	Duty(Max)
$100 < f_{PWM} \leq 200$	0.18%	100%
$200 < f_{PWM} \leq 500$	0.18%	100%
$500 < f_{PWM} \leq 1K$	0.20%	100%
$1K < f_{PWM} \leq 2K$	0.20%	100%
$2K < f_{PWM} \leq 5K$	0.30%	100%
$5K < f_{PWM} \leq 10K$	0.30%	100%
$10K < f_{PWM} \leq 20K$	0.60%	100%

表 2 PWM 调光模式

Tab.2 PWM Dimming Mode

Dimming Frequency(Hz)	Duty(Min)	Duty(Max)
$100 < f_{PWM} \leq 200$	0.02%	100%
$200 < f_{PWM} \leq 500$	0.02%	100%
$500 < f_{PWM} \leq 1K$	0.04%	100%
$1K < f_{PWM} \leq 2K$	0.06%	100%
$2K < f_{PWM} \leq 5K$	0.15%	100%
$5K < f_{PWM} \leq 10K$	0.30%	100%
$10K < f_{PWM} \leq 20K$	0.60%	100%

3 广窄视角切换技术

3.1 广窄视角切换简介

广窄视角技术主要是在系统端通过按键来实现广窄视角之间的自由切换，可有效地保护用户的个人隐私。如图 3 为一款应用广窄视角切换技术的代表性产品 HP EliteBook x360 1030 G2 笔记本展示。



(a) 广视角模式



(b) 窄视角模式

(a) WVA mode

(b) NVA mode

图 3 HP EliteBook x360 1030 G2 笔记本的广/窄视角模式
Fig.3 Wide/narrow viewing angle modes of HP EliteBook x360 1030 G2

3.2 广窄视角切换原理

当 CF 侧的 Common 电极施加偏压时，该偏压信号由 STV 信号触发同步产生，液晶分子在电场作用下沿电场方向排列，与基板之间的预倾角增大，倾角较大的液晶分子在斜视方向相位延迟与偏光板不再匹配，造成斜视漏光，对比度降低，视角缩小。其初始状态一般为宽视角，即 CF 侧不施加偏压，原理如图 4 所示。WVA 模式下：TFT Common 电极与 CF Common 电极用点银胶方式接在一起，给直流电压驱动（DC-VCOM）；NVA 模式下：TFT Common 电极等于 DC-VCOM 电压，CF Common 等于 AC-VCOM 电压。

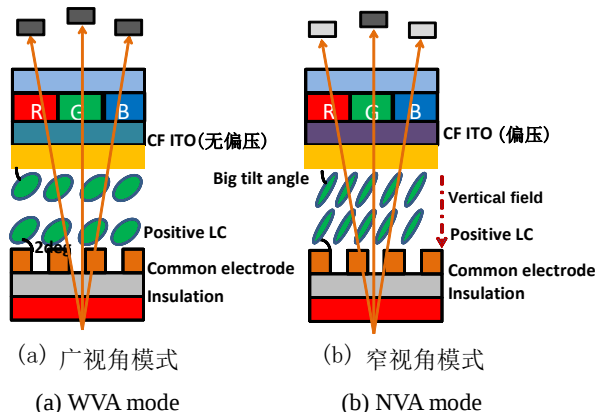


图4 广窄视角技术原理示意图

Fig.4 Schematic of wide/narrow viewing angle switching mechanism

4 莫尔条纹的产生机理

莫尔即法语 **Moiré** 音译，原意是水面的波纹。从物理本质上解释，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结果, 当人眼无法分辨这两条线或两个物体时, 只能看到干涉的花纹, 这种光学现象中的花纹就是莫尔条纹。对莫尔条纹的研究最早可以追溯到十九世纪末期, 二十世纪五十年代以后开始应用于实际测量, 并逐步对莫尔条纹的形成机理展开了广泛的研究。其中, 光栅莫尔条纹技术就是演变而来的一门既古老又现代的测量技术。深入研究它的形成机理、结构及其光强分布规律就具有非常重要的意义。它能够指导如何改善莫尔条纹光电信号的质量以及光电位移传感器的结构的设计。莫尔条纹的形成机理主要有以下三种主要的理论: 基于阴影成像原理, 认为由条纹构成的轨迹可表示莫尔条纹的光强分布; 基于衍射干涉原理, 认为由条纹构成的新的光强分布可按衍射波之间的干涉结果来描述; 基于傅里叶变换原理, 认为形成的莫尔条纹是由低于光栅频率项所组成^{[7][10]}。本文所研究的莫尔条纹是从衍射光学角度描述的衍射干涉原理为理论依据。

在 WVA 模式下, 随意调节背光亮度, 其显示效果良好, 并无莫尔条纹现象。当我们切换到 NVA 模式, 任意调节背光亮度时, 莫尔条纹可见, 尤其低亮度下表现明显。我们知道, NVA 模式只是比 WVA 模式多加了一个偏压信号在 CF ITO 侧, 因此可以断定液晶显示屏上的莫尔条纹与该交流偏压信号有关。以 120 Hz 刷新率为例, 量测显示模组上的 STV (一帧的起始信号) 与 PWM (脉冲宽度调制信号, 用于调节背光亮度) 的波形, 如图 5 所示, 可看出其系统送出的 PWM 信号频率为 1 kHz。

当我们不断地调节 PWM 频率时, 发现莫尔条纹现象的程度也在不断变化。在调节 PWM 频率的时候, STV 信号是固定不变的, 变化的只是两者的相位差。因此可以推断, 其产生机理为: 由于背光模组的调光信号 PWM 信号与施加在 CF ITO 侧的交流信号两者相位差不断变化, 导致了人眼可见的干涉的花纹, 因此产生了莫尔条纹。这会严重影响 NVA 模式下的画面显示效果。如图 6 所示, 方框标识区域内, 莫尔条纹明显可见。

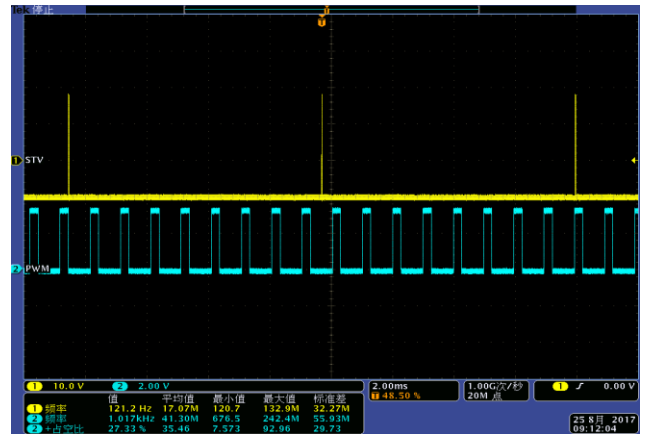


图 5 PWM 频率为 1 kHz 与 STV 信号的波形

Fig.5 Waveform of STV and PWM with 1 kHz frequency

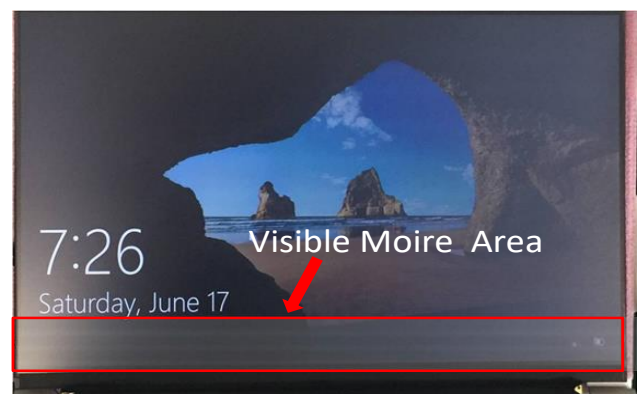


图 6 PWM 频率 1 kHz 占空比 49.8% 下可见的莫尔条纹区域

Fig.6 Visible area of moire under PWM with 1 kHz frequency and 49.8% duty

5 实验

5.1 实验方法

断开由 Connector 端输入的 PWMI 信号, 使用函数信号发生器连接, 将 PWMI 信号接入, 规律性地调节 PWM 信号的频率及占空比, 实际观测不同 PWM 频率及占空比下液晶显示屏在 NVA 模式下的莫尔条纹现象。

5.2 实验结果

以 12.5-inch Full HD (分辨率为 1920×1080) 的液晶显示屏为实验对象, 如下表 3 为测试不同占空比下, 验证不同频率有无莫尔条纹现象所得的数据。数据表明: 低灰阶、低频率、低占空比下莫尔条纹明显可见。

表 3 PWM 不同占空比及频率下的莫尔条纹状况 (单位: 赫兹)

Tab.3 The performance of moire under different PWM duty and frequency (unit: Hz)

Duty	PWM frequency without moire
10%	1.3 K、1.6 K、1.7 K、1.9 K、2 K、2.2 K and above
20%	1.3 K、1.6 K、1.9 K、2.2 K and above
30%	1.7 K、2 K、2.2 K and above
40%	1.7 K、2 K、2.2 K and above
50%	1.7 K、2 K、2.2 K and above
60%	1.6 K、1.9 K、2 K、2.2 K and above
70%	1.4 K、1.7 K、1.9 K and above
80%	1.1 K and above
90%	600 and above
100%	600 and above

6 结果与讨论

6.1 解决方案

目前, 绝大部分的笔记本电脑使用的 PWM 频率为 1 kHz。针对莫尔条纹问题, 现有的解决方案为: 拉高 PWM 信号的频率, 如下图 7 所示, 使得其与窄视角模式下施加在 CF ITO 侧的交流信号之间的相位差足够小, 尽量避开人眼可见的范围, 但此方案会引起占空比可调控精度低等问题。

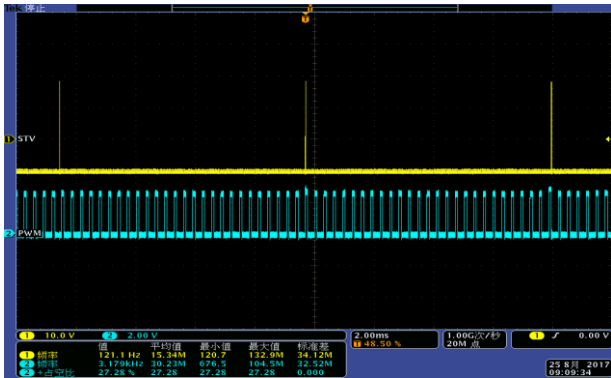


图 7 PWM 频率为 3.1 kHz 与 STV 的波形

Fig.7 Waveform of STV and PWM with 3.1 kHz frequency

对比传统的方案, 本文的解决方案: 如图 8 为新的原理模块框图, 无论前段系统送入的 PWMI 的频率为多少, 让 PWMI 信号经 Connector 进入 Timing Controller (TCON, 时序控制器) 后, 产生 PWMO 信号。为防止 PWMO 信号在一帧内的完整性, 避免造成背光亮度上的差异, 同步产生为 STV 频率倍数的 PWMO 信号进行输出, PWMO Duty follow PWMI Duty, 其 TCON 内部实现原理如图 9 所示^[11]:

Power On 后, STV 经过 Timer 计算两个上升沿的时间 T , T 参数反馈于 PWM 模块产生倍频 (n/T , n 的取值根据需求设定 ROM code) 的 PWM 信号输出, 再通过 STV 上升沿触发 PWM 信号产生 PWMO 信号送至 LED Driver。

依据 Embedded Display Port (eDP, 它是一种基于 Display Port 架构和协议的一种内部数字接口) Timing 规格, 如图 10 所示, power on 后至少 200 ms (该应用定义 $T8_{min}$ 值为 200ms) 后 backlight enable, 背光才会亮起, 其 2 个 STV 的周期远小于 200 ms。STV 与 PWMO 信号间的时序对应关系如图 11 所示。

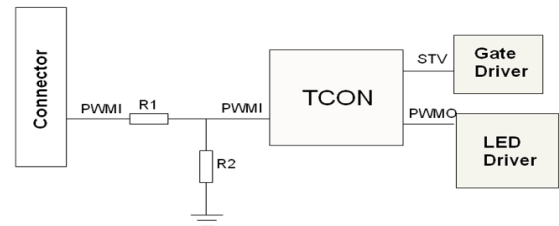


图 8 驱动模块框图

Fig.8 Block diagram of module

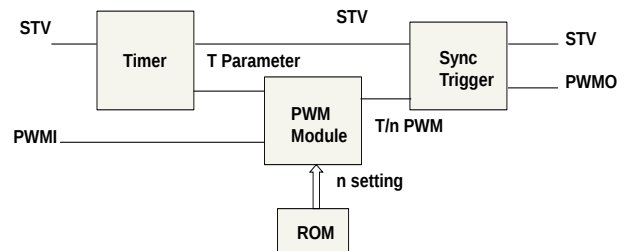
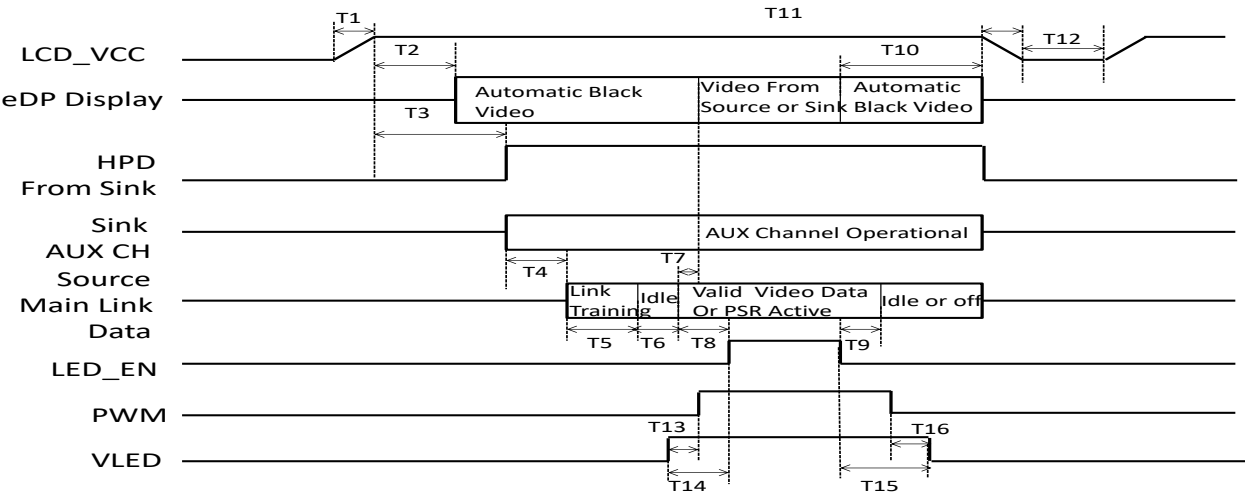


图 9 TCON 内部功能原理框图

Fig.9 Block diagram of embedded function in TCON



Parameter	Symbol	Min (ms)	Typ (ms)	Max (ms)
VCC Rise Time(10% to 90%)	T1	0.5	-	10
Delay from VCC to automatic Black Video generation	T2	0	-	200
Delay from VCC to HPD high	T3	0	-	200
Delay from HPD high to link training initialization	T4	-	-	-
Linking Training duration	T5	-	-	-
Link idle	T6	-	-	-
Delay from valid video data from Source to video on display	T7	0	-	50
Delay from valid video data from Source to backlight enable	T8	200	-	-
Delay from backlight disable to end of valid video data	T9	-	-	-
Delay from end of valid video data from Source to VCC off	T10	0	-	500
VCC fall time(90% to 10%)	T11	0	-	10
VCC off time	T12	500	-	-
Delay from VLED to PWM	T13	0	-	-
Delay from VLED to backlight enable	T14	0	-	-
Delay from backlight disable to VLED off	T15	0	-	-
Delay from PWM off to VLED off	T16	0	-	-

图 10 VESA 标准中 eDP 时序规格

Fig.10 Timing specification of eDP in VESA

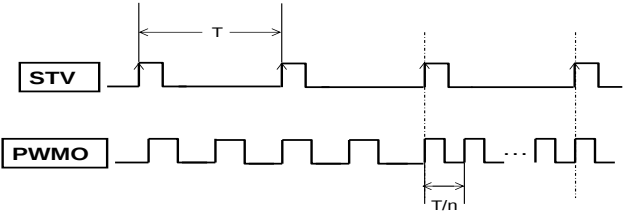


图 11 STV 与 PWM 对应时序关系

Fig.11 Timing relation between STV and PWM

6. 2 实测结果

如图 12 所示，使用函数信号发生器，将液晶显示屏的 STV 信号引出接入设备，作为触发源，然后产生与 STV 同步的 PWM 信号后输入至 LED Driver。

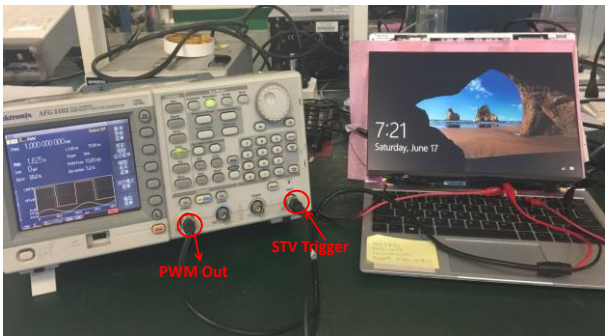


图 12 使用函数信号发生器通过 STV 触发 PWM 验证示例

Fig.12 Verified example of PWM signal triggered by STV with function signal generator

以 12.5-inch 液晶显示屏为例，其刷新率为 120 Hz，即 STV 的频率为 120 Hz。如图 13 波形所示，Channel 1 为 STV 信号、Channel 2 为 PWM 信号，实际观测如图 14，无莫尔条纹现象。使用

色彩分析仪 CA-310 量测 64 灰阶下莫尔条纹中心区域的闪烁度的值, 其值由 68.5%-72.3%之间的循环跳变, 变成稳定的 69.9%, 如图 15 所示。

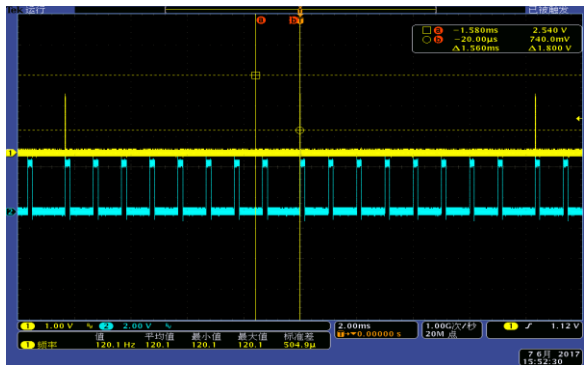


图 13 实测通过 STV 触发 PWM 信号两者的波形

Fig.13 The waveform of STV and PWM triggered by STV

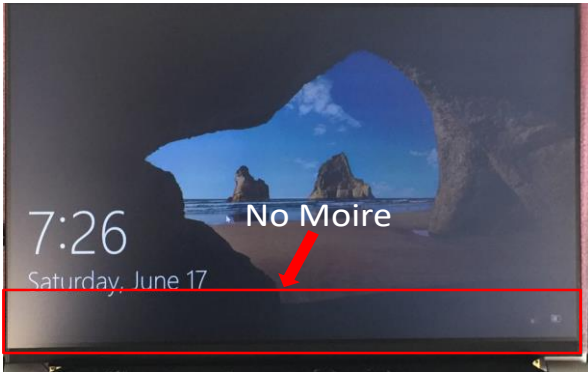


图 14 无莫尔条纹现象图

Fig.14 Image free from moire effect



图 15 使用 CA-310 量测莫尔条纹中心区域的闪烁度的值

Fig.15 Flicker value in the center area of moire measured by CA-310

7 结论

从上面的描述可以知道, 在广视角模式下并没有莫尔条纹, 只有当我们切换到窄视角模式下并且背光亮度较低时才可见。而窄视角模式下只是比广视角模式多加了一个交流偏压信号在 CF ITO 侧, 从莫尔条纹产生的机理和实验数据的结果, 可得知其产生机理为 PWM 调光信号与窄视角模式下施加在 CF ITO 侧的交流信号两者之间相位差不断变化所造成。本文通过将 PWM 信号与一帧的起始信号 STV 信号相同步, 经过实际验证, 本文的方案可有效解决莫尔条纹的问题。在 1 kHz、49.8% 占空比 PWM 信号下, 使用色彩分析仪 CA-310 量测 64 灰阶下莫尔条纹中心区域的闪烁度的值由 68.5%-72.3%之间的循环跳变, 变成稳定的 69.9%。并且考虑到所产生的 PWM 信号的频率需为 STV 信号频率的倍数, 其有效地防止了 PWM 信号在一帧内不完整而造成背光亮度上的损失。对比传统的只是单纯拉高 PWM 信号频率的方案, 本文提出的方案在解决莫尔条纹上的效果具有明显优势, 在窄视角模式下给用户更好的视觉体验。

参考文献:

- [1] CHEN C P, JHUN C G, YOON T-H, *et al.* Viewing angle switching of tristate liquid crystal display [J]. *Japanese Journal of Applied Physics*, 2007, 46(27): L676-L678.
- [2] CHEN C P, KIM K-H, YOON T-H, *et al.* A viewing angle switching panel using guest-host liquid crystal [J]. *Japanese Journal of Applied Physics*, 2009, 48(6): 062401.
- [3] CHEN C P, JHUN C G, YOON T-H, *et al.* Optimal design of omni-directional viewing angle switching panel [J]. *Optics Express*, 2007, 15(26): 17937-17947.
- [4] 吴婷婷, 苏子芳, 钟德镇, 等. 一种新的视角可控的液晶显示仿真研究[J]. *液晶与显示*, 2015, 30 (3): 538-542.
WU T-T, SU Z-F, ZHONG D-Z, *et al.* New viewing angle controllable LCD [J]. *Chinese Journal of Liquid Crystals and*

- Displays*, 2015, 30(3): 538–542. (in Chinese)
- [5] CHEN C, LI H, ZHANG Y, *et al.* Thin-film encapsulation for top-emitting organic light-emitting diode with inverted structure [J]. *Chinese Optics Letters*, 2014, 12(2): 022301.
- [6] 吴丽, 沈健, 徐立国. 改善显示品质的直下式 LED 背光技术[J]. 液晶与显示, 2014, 29 (6): 1106–1110.
WU L, SHEN J, XU L-G. Direct-lit LED backlight technology for improving the picture quality [J]. *Chinese Journal of Liquid Crystals and Displays*, 2014, 29(6): 1106–1110. (in Chinese)
- [7] 孔令胜, 刘春雨, 张元, 等. 视差自由立体显示中莫尔条纹消除的研究进展[J]. 液晶与显示, 2014, 29 (3): 441–449.
KONG L-S, LIU C-Y, ZHANG Y, *et al.* Progress on removing Moire patterns in parallax autostereoscopic display [J]. *Chinese Journal of Liquid Crystals and Displays*, 2014, 29(3): 441–449. (in Chinese)
- [8] 胡建青, 赵悟翔, 马晓莉, 等. 一种弱化莫尔条纹的狭缝光栅 LED 屏裸眼 3D 显示器[J]. 光学学报, 2018, 38 (10): 186–190.
HU J-Q, ZHAO W-X, MA X-L, *et al.* A Naked-Eye 3D LED Display Based on a Parallax Barrier with Weak Moiré Fringes [J]. *Acta Optica Sinica*, 2018, 38(10): 186–190. (in Chinese)
- [9] 张海涛, 赵达尊. 减少光电成像系统周期目标莫尔条纹像的双倍率法[J]. 光学学报, 2000, 20 (10): 1335–1340.
ZHANG H-T, ZHAO D-Z. Dual-Magnification Technique for Reducing Moire Artifacts of Periodic Targets in Opto-Electric Imaging Systems [J]. *Acta Optica Sinica*, 2000, 20(10): 1335–1340. (in Chinese)
- [10] 田志辉, 陈宇, 苗静. 高密度 LED 显示屏莫尔条纹抑制研究[J]. 发光学报, 2014, 35 (4): 501–505.
TIAN Z-H, CHEN Y, MIAO J. Elimination of the Moiré Phenomenon of High-density LED Display Screen [J]. *Chinese Journal Of Luminescence*, 2014, 35(4): 501–505. (in Chinese)
- [11] 蔡浩, 陈超平, 卢佳惠, 等. 液晶显示屏与电容式触摸屏间的信号串扰抑制[J]. 液晶与显示, 2018, 33 (6): 504–510.
CAI H, CHEN C-P, LU J-H, *et al.* Reduction of crosstalk between TFT-LCD and capacitive touch panel [J]. *Chinese Journal of Liquid Crystals and Displays*, 2018, 33(6): 504–510. (in Chinese)

作者简介:

蔡浩 (1988-), 男, 江苏盐城人, 工程硕士, 主要研究方向为 TFT-LCD 面板驱动设计。E-mail: caiminhaoyu@126.com



陈超平, 男, 副研究员, 主要研究方向为增强/虚拟现实、近眼显示、液晶显示。E-mail: ccp@sjtu.edu.cn



文章创新点介绍:

互联网时代, 广大群众越来越重视个人隐私的保护。基于 Thin Film Transistor Liquid Crystal Display (TFT-LCD, 薄膜晶体管液晶显示器) 技术而研发出的广窄视角可切换型液晶显示器可有效防止信息被窥, 省去了额外贴附 3M 防窥膜片的繁琐。然而在窄视角模式下, 因施加在 Color Filter (CF, 彩色滤光片) Indium Tin Oxide (ITO, 氧化铟锡透明导电膜玻璃) 侧的偏压与背光的调光信号 Pulse Width Modulation (PWM, 脉冲宽度调制) 之间干涉造成莫尔条纹现象, 严重影响画质效果。传统的解决对策为增大 PWM 的频率, 但会牺牲可调占空比的精度。本文的方案, 系统送入 PWMI 信号进入 Timing Controller (TCON, 时序控制器) 后, 以 Start Vertically (STV, 一帧的开始信号) 信号同步产生 PWM0 信号。为防止 PWM0 信号在一帧内的完整性, 避免造成背光亮度上的差异, 需同步产生为 STV 频率倍数的 PWM0 信号进行输出, PWM0 Duty follow PWMI Duty, 输入 LED Driver, 此方案除有效解决莫尔条纹问题外, 还可保持占空比可调精度。