



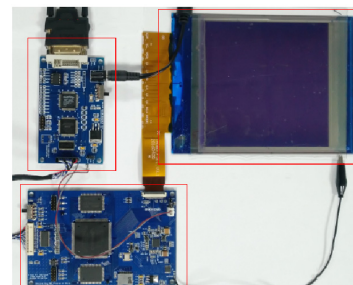
DOI: 10.12086/oe.2019.180623

电润湿电子纸的实时动态显示驱动系统实现

钱明勇¹, 林珊玲¹, 曾素云¹, 林志贤^{1*},
郭太良¹, 唐彪²

¹福州大学物理与信息工程学院, 福建 福州 350116;

²华南师范大学广东省光信息材料与技术重点实验室, 广东 广州 510006



摘要: 为了实现电润湿电子纸显示器实时播放视频, 本文设计了 DVI 视频图像编解码系统加上 FPGA 时序控制的显示驱动系统。DVI 系统负责获取信号源并进行图像编解码, FPGA 负责视频图像数据的缓存处理以及驱动波形的控制。本文提出的多灰度动态对称驱动波形, 可改善油墨分裂现象, 并且在增加灰度等级的同时抑制电荷捕获现象。实验表明: 该系统成功改善了油墨分裂、电荷捕获等问题, 成功驱动 1024×768 分辨率的电润湿显示器跟随 PC 端进行实时视频播放, 视频的帧率达到 60 帧/秒, 像素的最高灰度达到 15 阶, 满足电润湿电子纸动态显示视频的要求。

关键词: 电润湿电子纸; 显示驱动系统; 实时; FPGA; DVI

中图分类号: TN27

文献标志码: A

引用格式: 钱明勇, 林珊玲, 曾素云, 等. 电润湿电子纸的实时动态显示驱动系统实现[J]. 光电工程, 2019, 46(6): 180623

Real-time dynamic driving system implementation of electrowetting display

Qian Mingyong¹, Lin Shanling¹, Zeng Suyun¹, Lin Zhixian^{1*}, Guo Tailiang¹, Tang Biao²

¹College of Physics and Information Engineering, Fuzhou University, Fuzhou, Fujian 350100, China;

²Guangdong Provincial Key Laboratory of Optical Information Materials and Technology, South China Academy of Advanced Optoelectronics, South China Normal University, Guangzhou, Guangdong 510006, China

Abstract: In order to achieve electrowetting real-time display, a display driving system, consisting of a DVI video codec system and FPGA timing control system, is designed. DVI video codec system is responsible for obtaining signal sources and for image coding and decoding. FPGA is responsible for buffering and processing of video data and for controlling electrowetting driving waveforms. This paper also proposes an improved multi-grayscale dynamic symmetrical driving waveform, which improves the ink-splitting phenomenon and suppresses the charge-trapping phenomenon while increasing the gray level. The results show that the driving system successfully improves the problems of oil-splitting and charge-trapping, and drives the 1024×768 resolution electrowetting display to play video in real time following the computer. The frame rate of the video reaches 60 frames/second, and the highest gray level of the pixel reaches 15. These properties meet the requirements for dynamic display of the

收稿日期: 2018-11-30; 收到修改稿日期: 2019-01-29

基金项目: 国家重点研发计划资助(2016YFB0401503); 福建省科技重大专项(2014HZ0003-1); 广东省科技重大专项(2016B090906001); 广东省光信息材料与技术重点实验室开放基金资助项目(2017B030301007)

作者简介: 钱明勇(1994-), 男, 硕士研究生, 主要从事 FPGA 与嵌入式系统方面的研究。E-mail: iqmyong@163.com

通信作者: 林志贤(1975-), 男, 博士, 教授, 博士生导师, 主要从事信息显示技术与平板显示器件驱动方面的研究。

E-mail: lzx2005000@163.com

electrowetting paper.

Keywords: electrowetting display; display driving system; real-time; FPGA; DVI

Citation: Qian M Y, Lin S L, Zeng S Y, et al. Real-time dynamic driving system implementation of electrowetting display[J]. *Opto-Electronic Engineering*, 2019, 46(6): 180623

1 引言

2003 年荷兰皇家飞利浦公司提出了基于电润湿的显示技术^[1], 自此电润湿电子纸显示技术开始逐渐发展并在显示领域中占有一席之地。与传统的电泳电子纸显示器(electrophoresis electronic paper display, EPD)相比, 电润湿电子纸显示器(electrowetting display, EWD)的响应速度快^[2], 可实现动态视频的播放。除此之外, 电润湿显示器是反射型显示器, 无需背光源, 利用环境光就可以进行显示, 经常在阳光下使用的电子仪器设备更加适合使用电润湿显示面板; 电润湿显示器还具有便携轻薄、柔性、高对比度和低功耗等优点^[3]。虽然针对电润湿的研究已经取得了较大的进展, 但仍然存在许多问题未得到解决, 例如电荷捕获^[4]、油墨分裂、双稳态不稳定等^[5]。此外, 国内外的研究机构主要是针对电润湿的专用驱动波形和显示机理的研究, 很少研究可实现实时动态播放多灰度视频的电润湿电子纸整机驱动系统。

在本文中, 我们设计了一套完整的电润湿电子纸驱动系统, 可以实现实时动态播放多灰度视频, 并且提出了一种新的多灰度动态对称驱动波形, 可有效改

善油墨分裂现象, 并且在增加灰度等级的同时抑制电荷捕获现象。

2 电润湿电子纸基本原理

电润湿电子纸显示器的像素单元结构如图 1 所示, 电润湿电子纸显示器主要由上下基板(ITO 玻璃)、油墨、水、疏水涂层、像素墙等几部分组成。电润湿显示的基本原理就是利用界面电荷对界面张力的影响, 改变液滴的接触角, 使液滴实现收缩或扩张, 从而实现光学开关^[6]的作用。图 1(a)像素电极上没有施加驱动电压时, 油墨均匀地在绝缘介质表层展开, 像素单元呈现油墨颜色的全暗状态, 即像素处于“关闭”状态, 此时油墨平铺时的俯视图如图 1(c)所示; 图 1(b)则是在像素电极施加驱动电压时, 油墨开始收缩, 不再铺满整个像素格, 而是在驱动电压和表面张力的作用下向一侧缩成油滴状, 像素单元呈现出反射基板颜色的白色状态, 即像素单元处于“打开”状态, 此时油墨收缩时的俯视图如图 1(d)所示。油墨收缩和铺开的程度由上下基板间的驱动电压决定, 驱动电压越大油墨收缩程度越大, 反之则越小。因此, 在基板上施

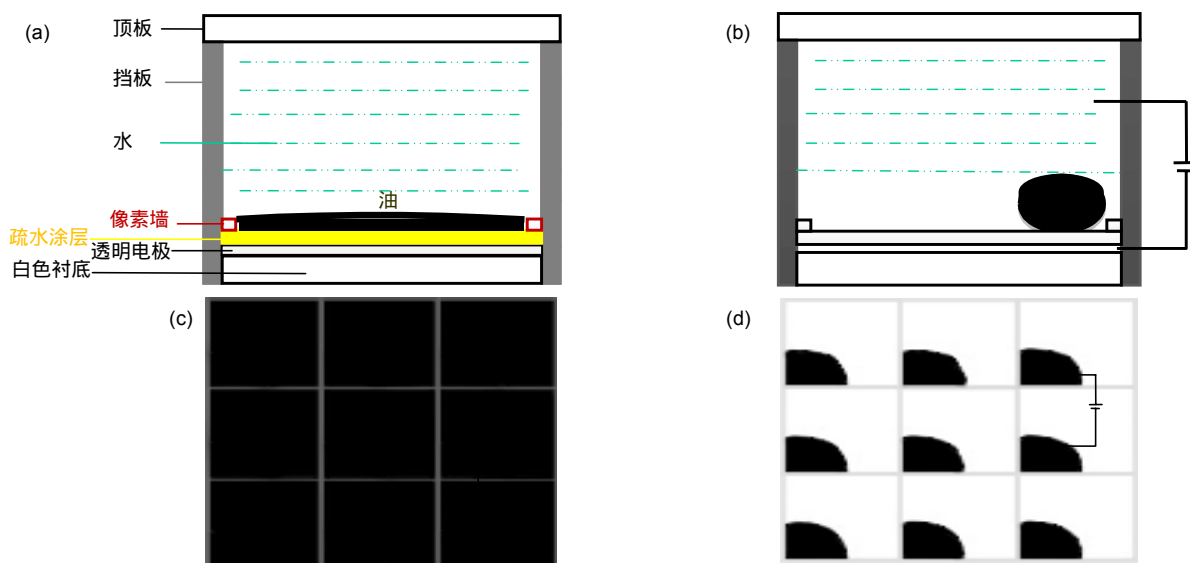


图 1 电润湿电子纸的像素单元结构图。(a) 无电压; (b) 施加电压; (c) 无电压俯视图; (d) 施加电压俯视图

Fig. 1 Pixel structure of EWD. (a) No voltage; (b) Applying voltage; (c) Overlook view of no voltage; (d) Overlook view of applying voltage

加不同的驱动波形，显示单元中可实现不同程度的灰阶亮度^[7]。

3 电润湿电子纸驱动系统框架

电润湿电子纸驱动系统工作框图如图 2 所示。DVI 视频图像编解码系统主要负责获取多种分辨率的优质信号源和图像编解码，FPGA 时序控制系统则负责视频图像数据的读取和缓存处理，以及电润湿驱动波形时序的控制。驱动器部分主要包括栅极驱动器和源极驱动器，通过栅源驱动器的控制将 FPGA 端处理完成的视频图像数据显示在电润湿显示器上。

驱动系统实物图如图 3 所示。DVI 视频图像编解码系统可实现各种分辨率视频的获取，视频源来自于 PC 端，无需将视频源进行存储，操作简单方便；而 FPGA 因其强大高速的数据并行处理能力，可轻松实现各种分辨率视频图像数据的缓存和处理，电润湿专用的驱动波形也由 FPGA 产生控制，无需任何其它的波形发生器设备就能实现电润湿视频的实时动态播

放，更加有利于将本文的驱动系统开发成独立的便携式整机设备。

4 电润湿电子纸驱动系统方案

4.1 DVI 视频图像编解码系统

DVI 视频图像编解码系统主要负责多种分辨率信号源的获取并进行视频图像编解码，双链路 DVI^[8]启用了两组数据传输通道进行通信，图像传输的最高像素时钟可达到 330 MHz，最高可支持 2560×1600 分辨率的视频图像，可实现超高分辨率视频图像数据的传输。DVI 视频图像编解码系统可根据电润湿电子纸显示器的色深、分辨率、刷新率等显示信息来确定启用 DVI 单链路或双链路。

DVI 视频解码系统主要包括计算机 PC 端，带 DVI 接口的计算机显卡，DVI 解码芯片。计算机 PC 端产生各种分辨率的高质量信号源，计算机显卡作为信号的发送端，TMDS 发送端^[9]接收从 DVI 接口传输过来的 24 位 RGB 并行数据，并对这 24 位的 RGB 并行数

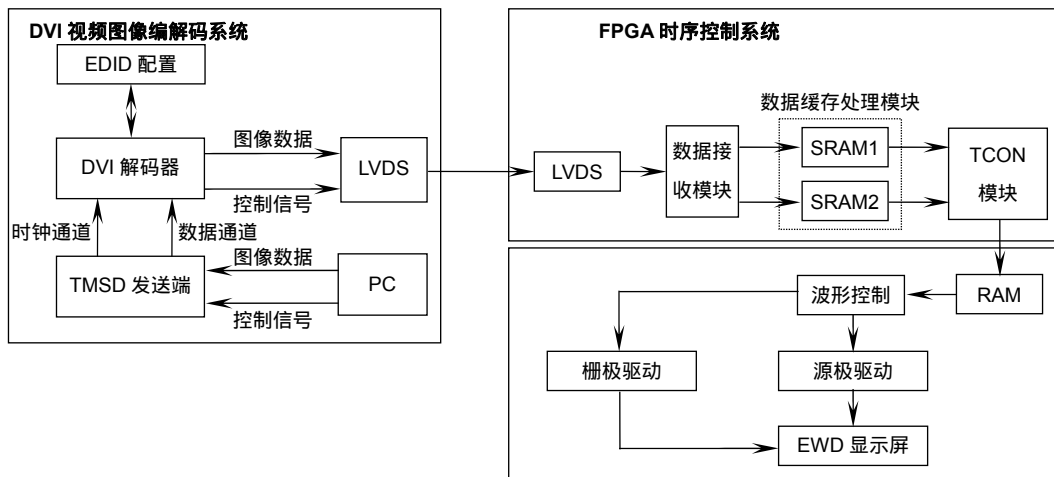


图 2 驱动系统工作框图

Fig. 2 Working diagram of driving system

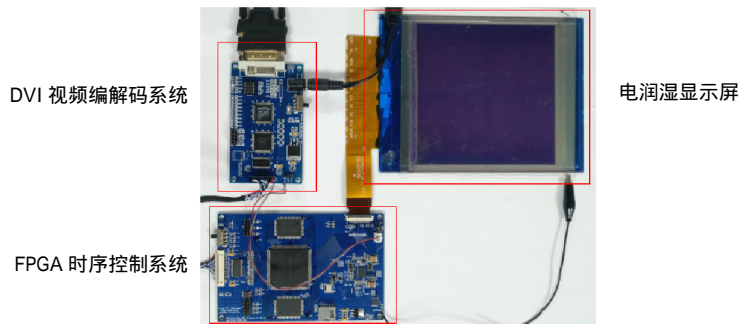


图 3 驱动系统实物图

Fig. 3 Practicality picture of driving system

据进行转换和编码,然后将转换后的 RGB 数据分配到各自独立的数据传输通道进行发送。TMDS 为最小化传输差分信号,将数据通过差分传动方式进行传输,数据的传输速度快,可靠性强。DVI 单链路最高只提供 24 位色深,当用户屏幕的色深超过 24 位时,系统会启动 DVI 双 TMDS 链路,24 位信息从链路 0 传输,链路 1 传输其它颜色信息。当用户屏幕的分辨率和刷新率超出 TMDS 单链路的传输范围时(单链路的最高像素时钟仅为 165 MHz,用户屏幕分辨率为 2560×1600 时则超出了单链路的传输能力),系统会启动双链路进行奇偶传输,奇数像素信息从链路 0 传输,偶数像素信息从链路 1 传输。因此 DVI 视频图像编解码系统可根据电润湿电子纸显示器的显示信息来确定 TMDS 的启用情况。DVI 解码芯片作为数据的接收端,将接收到的图像数据解码后通过 LVDS 接口发送给 FPGA 时序控制系统。DVI 视频图像编解码系统的工作流程图如图 4 所示。

4.2 FPGA 时序控制系统

FPGA 时序控制系统负责缓存处理 DVI 视频图像

编解码系统传输过来的视频图像数据,以及电润湿驱动波形时序的控制。主要包括了数据接收处理模块、数据缓存处理模块、TCON 时序控制模块。

4.2.1 数据接收模块

DVI 视频图像编解码系统和 FPGA 端通过低压差分信号(low voltage differential signal, LVDS)技术接口进行数据传输^[10]。在 DVI 端的 LVDS 发送器将 DVI 视频图像编解码系统输出的 TTL 电平并行 RGB 数据信号和控制信号转换成低电压串行 LVDS 信号,然后通过柔性电缆(FPC 排线)将信号传输到 LVDS 接收器, LVDS 接收器再将接收到的串行信号转换为 TTL 电平的并行信号。因此需要编写相对应的数据接收模块来接收控制信号及 24 位 RGB 数据。数据接收模块具体的算法流程图如图 5 所示。

数据接收模块需要控制操作的信号主要有 24 位 RGB 数据信号、垂直同步信号 VS、水平同步信号 HS、数据使能信号 DE、像素时钟信号 odck、乒乓切换信号 RAM_GW。在低电平复位时,场计数器 VS_CNT、行计数器 HS_CNT、数据使能计数器 DE_CNT 清零。

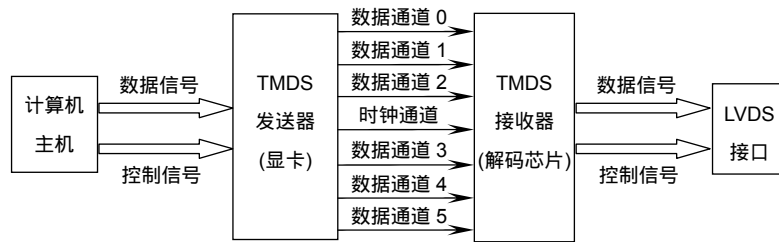


图 4 DVI 视频图像编解码系统工作流程图

Fig. 4 Working flow chart of DVI video image codec system

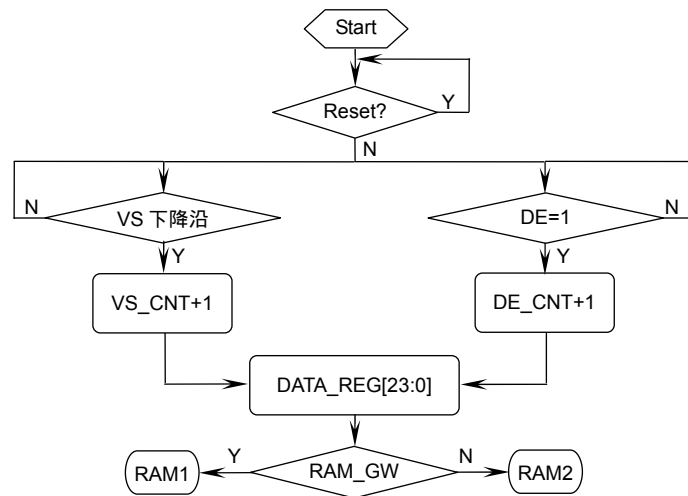


图 5 数据接收模块算法流程图

Fig. 5 Data receiving module algorithm flow chart

VS_CNT 在输入的 VS 信号下降沿计数, DE_CNT 则在 DE 信号有效时计数。VS 信号有效时表示一帧数据的开始, HS、DE 信号均有效时在 odck 时钟的上升沿获取 24 位 RGB 数据 DATA_REG 到 RAM1 缓存中, 当 RAM_GW 乒乓信号切换后, 则将 RAM_GW 数据缓存到 RAM2 缓存中, 以此完成视频数据的接收。

4.2.2 数据缓存处理模块

本文在 PC 端输出的视频源的分辨率为 2560×1600, 而电润湿电子纸显示屏的分辨率为 1024×768。因此, 本文采用双线性插值算法对接收到的数据进行缩放^[11]。如图 6 所示, 找到像素点 P 邻近的 4 个像素点 Q₁₁, Q₁₂, Q₂₁, Q₂₂, 再根据这 4 个点与 P 点距离的关系得到权重值, 最后根据式(1)计算出图像中 P 点的像素值, f(x, y) 为在 (x, y) 点上的像素值。因此, 要将 2560×1600 分辨率的数据缩放到 1024×768 分辨率, 每一个选取的像素都选取其周围的四个像素点进行计算, 产生的 3×3 的窗口模板需要用到 3 行图像数据, 需要对这 3 行数据进行缓存处理。

$$P(x, y) = \frac{f(x_1, y_1)}{(x_2 - x_1)(y_2 - y_1)}(x_2 - x)(y_2 - y) + \frac{f(x_2, y_1)}{(x_2 - x_1)(y_2 - y_1)}(x - x_1)(y_2 - y) + \frac{f(x_1, y_2)}{(x_2 - x_1)(y_2 - y_1)}(x_2 - x)(y - y_1) + \frac{f(x_2, y_2)}{(x_2 - x_1)(y_2 - y_1)}(x - x_1)(y - y_1) \quad (1)$$

具体的算法流程图如图 7 所示。数据接收模块在行控制模块控制下将数据分行缓存到 RAM1 和 RAM2 中, RAM1 和 RAM2 中分别存储了 3 行图像数据。以 RAM1 为例, 再将 RAM1 中的 3 行数据再分开缓存至缓存器 1、缓存器 2 和缓存器 3 中, 把 3 行数据送入

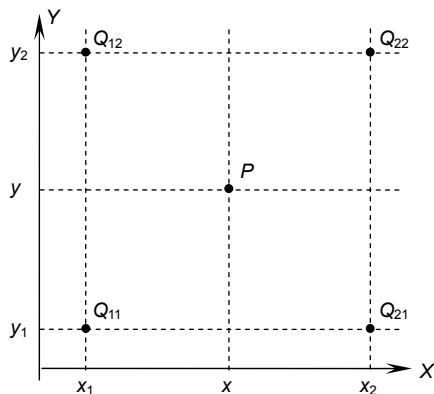


图 6 双线性插值算法窗口

Fig. 6 Bilinear interpolation algorithm window

双线性插值模块计算处理, 最后将处理完后的数据存储到外部 SRAM 中。

由于一幅图像的数据量较大, 内部 RAM 无法存储这么大的数据量, 因此本文采用了两片外部 SRAM 存储经双线性插值算法处理后的图像数据。两片外部 SRAM 通过乒乓缓存机制存储图像数据, 切换信号则采用输入的 VS 场同步信号进行控制, 乒乓缓存后, 将经双线性插值算法处理后的图像数据发送给后级驱动芯片进行显示, 播放视频的帧率可达到 60 帧/秒, 满足播放视频无闪烁感的要求。

4.2.3 TCON 时序控制模块

TCON 时序控制模块是整个系统中最为关键的部分, 它读取内存中的视频图像数据, 再根据相应的驱动波形查找表, 将视频图像数据转换成对应的驱动电压控制电润湿屏幕显示。电润湿电子纸显示器是有源矩阵, 屏幕上的每一个像素都是独立的显示单元, 由栅源控制器共同控制显示。栅极控制器控制 TFT 的行开启, 而源极控制器则控制该行数据的写入。当栅极控制器控制某一行打开时, 根据相应的图像数据与驱动电压之间的查找表, 源极控制器产生该行上所有像素点对应的驱动电压, 驱动电压作用于每一个像素点上。由于每个像素点上施加的驱动电压不同, 油墨的收缩程度也不相同, 最后在电润湿电子纸屏幕上呈现出多灰度的视频图像。

本文采用的是 ULTRACHIP 公司的驱动芯片, 其内部集成了源极控制器、栅极控制器、内存等模块。该驱动芯片通过并行接口与外部进行数据通信, 实现芯片的上电开启、查找表的设置、电润湿显示屏分辨率设置等功能。具体的工作流程图如图 8 所示。在设置电源时序上电后, 设置像素数据与驱动之间的查找表和显示帧率, 根据乒乓切换信号选择发送 SRAM1

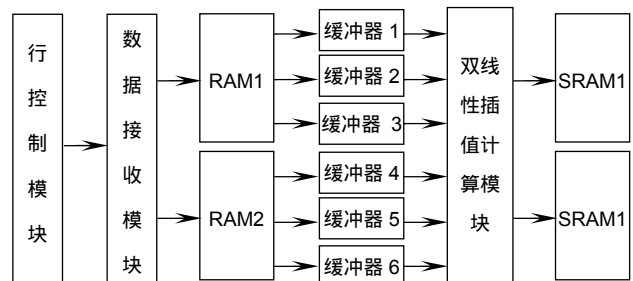


图 7 数据处理模块算法流程图

Fig. 7 Data processing module algorithm flow chart

或 SRAM2 中经过处理后的视频图像数据至驱动芯片内部 RAM，刷新命令则是控制栅源控制器将内部 RAM 的图像数据显示到电润湿屏幕上，循环发送显示就实现了动态视频的播放。

4.3 驱动波形设计

电润湿显示器存在电荷捕获的现象，当在像素电极上持续施加电压时，水中的离子由于静电力而向绝缘体移动，一些离子进入绝缘体并被捕获，被捕获的离子通过等待或施加特殊的驱动波形而被放电，否则油墨不能完全铺开，电荷泄露将导致电润湿显示器关闭时间变慢^[12]，如图 9 所示。因此需要设计一个能精准调制灰度并且能实现高质量图像显示的驱动波形。

电润湿电子纸显示单元的灰度由施加在该单元上的驱动电压的大小及持续时间决定。如图 10 所示的是 9 阶灰度动态非对称驱动波形^[13]，在像素公共电极上施加固定的 +15 V 电压，并增加了 -15 V 和 0 V 两种驱动电压，则在 +15 V、-15 V、0 V 三种驱动电压下 4 个子帧一共可产生 9 种不同的电压组合状态，即可以实

现 9 阶灰度。每个子帧的持续时间均为 17 μs，复位帧的作用是用来使油墨回到初始的油墨平铺状态^[14]。

9 阶灰度动态非对称驱动波形实现较为简单，因此灰度较低。如图 11 所示的是动态非对称不等子帧驱动波形，在普通驱动波形的基础上又增加了一个子帧，并且将子帧 4 和子帧 5 内继续划分为 4 个子帧，这样在基本保持视频不闪烁的情况下，可以实现 16 灰阶的灰度。但由于电润湿面板的自身特性，像素的打开状态持续 4 个子帧周期会容易出现电荷捕获现象，无法实现灰度的精准调制。

本文在此基础上提出了一种新的多灰度动态对称驱动波形，能够实现多阶灰度的同时，还能抑制油墨分裂和电荷捕获现象。驱动波形如图 12 所示，预置帧中分成了 3 个子帧，并且让驱动电压逐渐增大（公共电极的电压保持为 +15 V），用于降低稳定油墨运动所需的瞬时静电力，可有效抑制油墨分裂^[15]。而在显示帧中，采用了 5 个子帧来显示图像。5 个子帧的驱动波形是对称的，后面 2.5 个子帧重复前面 2.5 个子帧的波形，这样仍然能实现 5 个子帧的普通驱动波形对

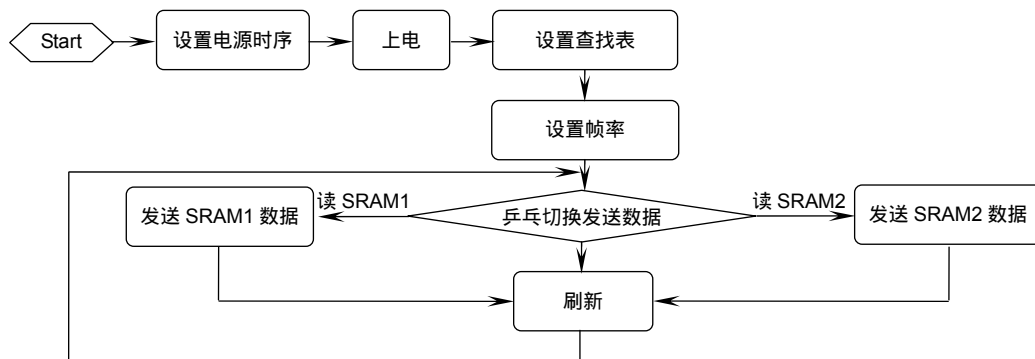


图 8 TCON 模块工作流程图
Fig. 8 Working flow chart of TCON module

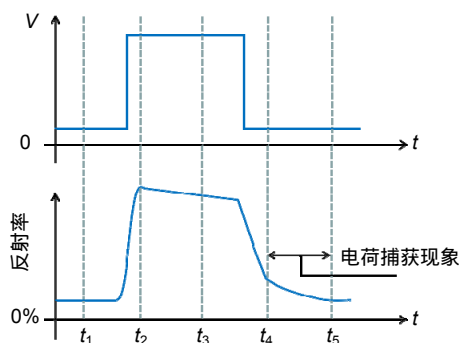


图 9 电润湿显示器电荷捕获现象图
Fig. 9 Charge-trapping phenomenon of the EWD

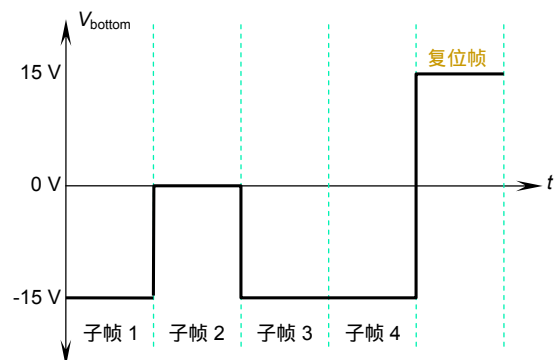


图 10 9 阶灰度动态非对称驱动波形图
Fig. 10 Dynamic asymmetrical driving waveform for gray level 9

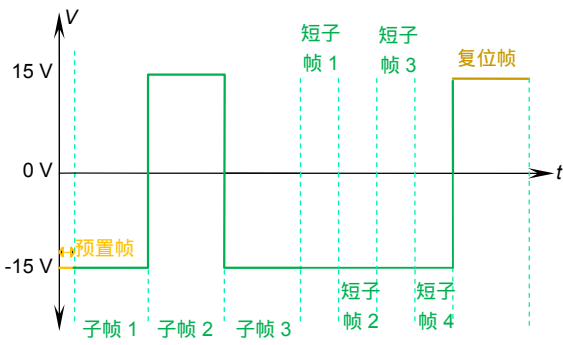


图 11 动态非对称不等子帧驱动波形图
Fig. 11 Dynamic asymmetric unequal sub-frame driving waveform

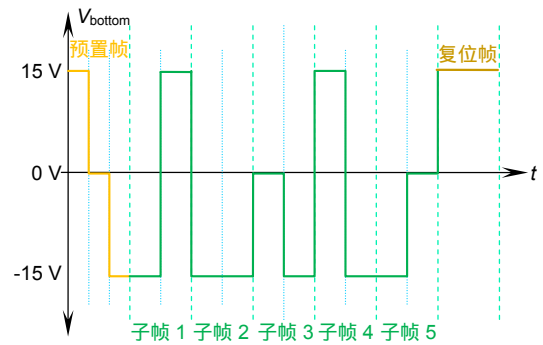


图 12 动态对称驱动波形图
Fig. 12 Dynamic symmetric driving waveform

应的灰度，但却能大幅降低连续 4 个子帧均处于打开状态的概率，很大程度上改善了电荷捕获现象。本文设计的驱动波形对应的最高灰度并非让所有子帧时间都处于 -15 V 的打开状态，而是在 5 个子帧的其中一个子帧内处于关闭状态，这样进一步抑制了电荷捕获现象，使得图像质量更高、更清晰。最终本文提出的多灰度动态对称驱动波形最高能够实现 15 阶灰度。

5 实验结果

图 13 是在示波器下测得的系统实际的场同步信号和行同步信号，场同步信号为 60.24 Hz，行同步信号为 48.55 kHz，均符合系统要求。图 14 是采用 9 阶灰度驱动波形和多灰度动态对称驱动波形在显微镜下

的油墨状态图。图 14(a)在采用普通驱动波形下，可以观察到严重的油墨分裂现象。图 14(b)则在采用本文的多灰度动态对称驱动波形下，基本消除了油墨分裂现象，提高了图像质量。

图 15 是采用两种驱动波形下的显示对比效果图。图 15(a)是在采用 9 阶灰度驱动波形下实现的 9 阶灰度图，对比图 15(b)采用多灰度动态对称驱动波形实现的 15 阶灰度图，可以看出后者的图像细节更加清晰，图像质量更好。图 16 是采用 ARGES 公司的亮度计在两种驱动波形下测得的响应曲线图。在 9 阶灰度驱动波形下，油墨的关闭时间约为 15 ms，在多灰度动态对称驱动波形下，油墨的关闭时间约为 9 ms，关闭时间减小了约 40%，油墨捕获现象得到改善。

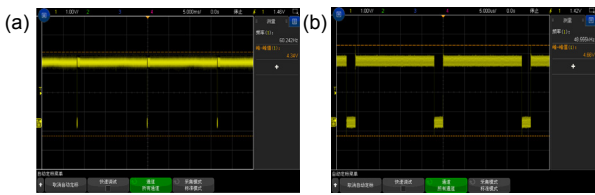


图 13 系统同步信号波形图。(a) 场同步信号；(b) 行同步信号
Fig. 13 System synchronization signal waveform. (a) Field sync signal; (b) Line sync signal

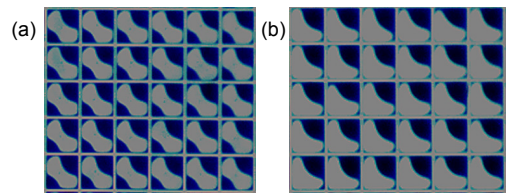


图 14 两种驱动波形下的油墨状态图。(a) 油墨分裂图；(b) 油墨未分裂图
Fig. 14 Ink state between two kinds of driving waveforms. (a) Oil split diagram; (b) Oil unsplit diagram



图 15 两种不同驱动波形下的显示对比图。(a) 9 阶灰度图；(b) 15 阶灰度图
Fig. 15 Visual contrast between two kinds of driving waveform. (a) 9 grayscales image; (b) 15 grayscales image

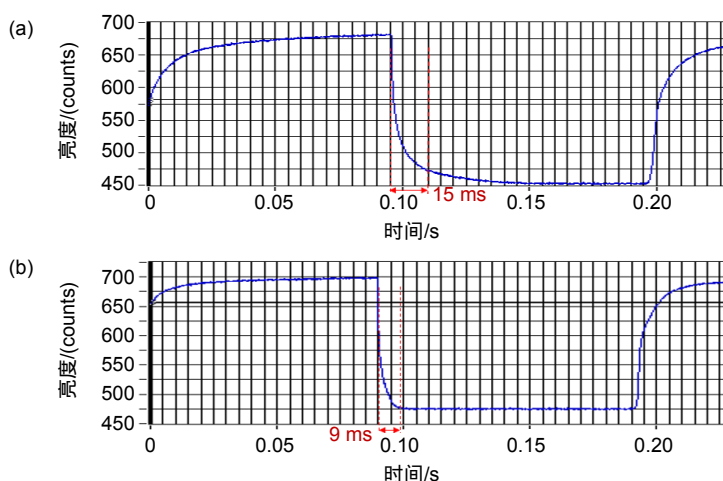


图 16 两种不同驱动波形下的响应曲线图。(a) 9 阶灰度驱动波形；(b) 多灰度动态对称驱动波形

Fig. 16 Response time between two kinds of driving waveforms. (a) 9 grayscales driving waveform; (b) Multi-grayscales dynamic

6 结 论

本文提出了适用于电润湿电子纸显示器的 DVI 视频图像编解码系统加上 FPGA 时序控制的驱动架构，成功实现了 1024×768 分辨率的电润湿电子纸显示器以 60 帧/秒的帧率实时动态播放 15 灰阶的视频。本文提出的多灰度动态对称驱动波形，在提高灰度等级的同时抑制了油墨的分裂和电荷捕获现象，使得视频图像显示更加清晰，质量更高，大大增强了该驱动系统在电润湿电子纸显示器上的适用性。

参考文献

[1] Hayes R A, Feenstra B J. Video-speed electronic paper based on electrowetting[J]. *Nature*, 2003, **425**(6956): 383–385.
 [2] Duan M Z. Driving waveform and display system design of electrowetting display[D]. Guangzhou: South China Normal University, 2015.
 段明正. 电润湿电子纸的驱动波形和显示系统设计[D]. 广州: 华南师范大学, 2015.
 [3] Van Dijk R, Feenstra B J, Hayes R A, et al. 68. 3: Gray scales for video applications on electrowetting displays[J]. *SID Symposium Digest of Technical Papers*, 2006, **37**(1): 1926–1929.
 [4] Jung H Y, Choi U C, Park S H, et al. P-48: Development of driver IC with novel driving method for the electrowetting display[J]. *SID Symposium Digest of Technical Papers*, 2012, **43**(1): 1239–1242.
 [5] Zhang X M, Bai P F, Hayes R A, et al. Novel driving methods for manipulating oil motion in electrofluidic display pixels[J]. *Journal of Display Technology*, 2016, **12**(2): 200–205.
 [6] Chen Y C, Chiu Y H, Lee W Y, et al. 56.3: A charge trapping suppression method for quick response electrowetting displays[J]. *SID Symposium Digest of Technical Papers*, 2010,

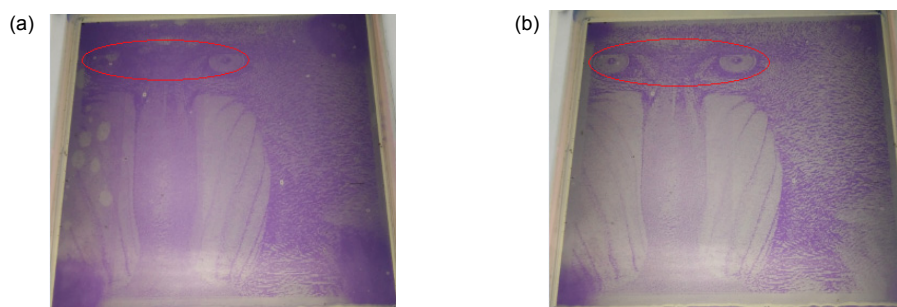
41(1): 842–845.
 [7] Yi Z C, Shui L L, Wang L, et al. A novel driver for active matrix electrowetting displays[J]. *Displays*, 2015, **37**: 86–93.
 [8] Liu R W. Fusion technology of real-time DVI video signal based on FPGA[D]. Chengdu: University of Electronic Science and Technology of China, 2013.
 刘荣旺. 基于 FPGA 实时 DVI 视频信号融合技术[D]. 成都: 电子科技大学, 2013.
 [9] Li F, Liu J H, Li G, et al. Displaying digital camera video on DVI monitor based on FPGA[J]. *Laser & Infrared*, 2011, **41**(11): 1258–1262.
 [10] Shukla S, Chaudhari J P, Nayak R J, et al. Design of High-Speed LVDS data communication link using FPGA[C]//*International Conference on Information and Communication Technology for Intelligent Systems*. Cham, 2017: 1–9.
 [11] Luo Z, Tang Q S, Chen K, et al. Design of reconfigurable video scaling systems based on FPGA[J]. *Electronic Science & Technology*, 2017, **30**(7): 83–86.
 [12] Chen Y C, Chiu Y H, Lee W Y, et al. 56.3: A charge trapping suppression method for quick response electrowetting displays[J]. *SID Symposium Digest of Technical Papers*, 2012, **41**(1): 842–845.
 [13] Bai P F, Zhang X M, Tang B, et al. A gray display modulation method for electrowetting display: 104867460A[P]. 2015-08-26.
 白鹏飞, 张小梅, 唐彪, 等. 一种电润湿显示器灰度显示调制方法: 104867460A[P]. 2015-08-26.
 [14] Liu H N. Design of electrowetting display system based on STM32 and FPGA[D]. Guangzhou: South China Normal University, 2015.
 刘海娜. 基于 STM32 和 FPGA 的电润湿电子纸显示系统设计[D]. 广州: 华南师范大学, 2015.
 [15] Liang C C, Chen Y C, Chiu Y H, et al. 27.3: A decoupling driving scheme for low voltage stress in driving a large-area high-resolution electrowetting display[J]. *SID Symposium Digest of Technical Papers*, 2009, **40**(1): 375–378.

Real-time dynamic driving system implementation of electrowetting display

Qian Mingyong¹, Lin Shanling¹, Zeng Suyun¹, Lin Zhixian^{1*}, Guo Tailiang¹, Tang Biao²

¹College of Physics and Information Engineering, Fuzhou University, Fuzhou, Fujian 350100, China;

²Guangdong Provincial Key Laboratory of Optical Information Materials and Technology, South China Academy of Advanced Optoelectronics, South China Normal University, Guangzhou, Guangdong 510006, China



Visual contrast between two kinds of driving waveform. (a) 9 grayscales image; (b) 15 grayscales image

Overview: Electrowetting display is a new type of paper-like display, which has the characteristics of low power consumption, high contrast, no radiation and easy colorization, and is one of the most promising display technologies in the future. In order to play video in real time of electrowetting display, a display driving system which includes a DVI video codec system and FPGA timing control system is designed. The DVI system is responsible for acquiring the signal source, for performing image encoding and decoding, and for obtaining all kinds of various resolution videos. The video source comes from the computer, and is not required to be stored. The operation is simple and convenient. Dual-link DVI system supports to transfer ultra-high resolution video, and the system is suitable for electrowetting display panels with increasing resolution at later stages. FPGA is responsible for buffering and processing of video data and for controlling electrowetting driving waveforms. FPGA can easily process video image data of various resolutions due to its powerful and high-speed data parallel processing capability. The driving waveform for electrowetting is also controlled by FPGA without other waveform generator devices, which is more conducive to the development of the driving system into a portable device. In terms of driving waveform, the ordinary multi-gray electrowetting driving waveform can display the image of 9th gray scale, but the ink is prone to splitting under the driving voltage. The charge trapping phenomenon is serious. The ink-splitting phenomenon can decrease the aperture ratio and brightness of electrowetting display panels, and the charge-trapping phenomenon would increase the close response time of the ink and reduce the frame rate, which is not conducive to play video. This paper also proposes an improved multi-grayscales dynamic symmetrical driving waveform, which improves the ink-splitting phenomenon and suppresses the charge-trapping phenomenon while increasing the gray level. The results show that the driving system successfully improves the problems of oil-splitting and charge-trapping, and drives the 1024×768 resolution electrowetting display to play video in real time following the computer. The frame rate of the video reaches 60 frames/second, and the highest gray level of the pixel reaches 15. The video image has clear details, and the system transmission is stable. These properties meet the requirements for dynamic display of the electrowetting paper.

Citation: Qian M Y, Lin S L, Zeng S Y, *et al.* Real-time dynamic driving system implementation of electrowetting display [J]. *Opto-Electronic Engineering*, 2019, 46(6): 180623

Supported by the National Key Research and Development Program of China (2016YFB0401503), Science and Technology Major Program of Fujian Province (2014HZ0003-1), Science and Technology Major Program of Guangdong Province (2016B090906001), and the Guangdong Provincial Key Laboratory of Optical Information Materials and Technology (2017B030301007)

* E-mail: lzx2005000@163.com