

文章编号:1007-2780(2015)04-0655-05

# 2T1C 像素电路的 AM OLED 数字驱动方法研究

贾一鸣<sup>1</sup>,屠震涛<sup>1</sup>,张小宁<sup>1\*</sup>,梁志虎<sup>1</sup>,李纯怀<sup>2</sup>,温亦谦<sup>2</sup>,彭威臣<sup>2</sup>,朱立伟<sup>2</sup>

(1. 西安交通大学 电子物理与器件教育部重点实验室,陕西 西安 710049;

2. 深圳市华星光电技术有限公司,广东 深圳 518132)

**摘要:**为了改善由于像素间 TFT 特性不同导致的有源矩阵有机发光显示(AM OLED)亮度不均匀现象,研究了基于 2T1C 像素电路的边寻址边显示(Address While Display, AWD)数字驱动方法,该方法采用等权重的 11 子场累积式发光方式,并用有序抖动方法实现 256 灰度级。通过在 14 cm(5.5 in)的 AM OLED 模组上对该方法的实现和验证,结果表明,数字驱动方法在 0~255 灰度区间的不均匀性最大为 28%,对灰度变化不敏感,而模拟驱动的不均匀性随灰度级的降低显著增大,最大为 133%。数字驱动显示图像的均匀性显著优于模拟驱动,且采用基本的 2T1C 像素电路即可实现,降低了对像素电路和制备成本的要求。

**关键词:**AM OLED;像素电路;数字驱动;FPGA

**中图分类号:**TN27; TN702 **文献标识码:**A **doi:**10.3788/YJYXS20153004.0655

## Digital driving method for AM OLED with pixel circuit of 2T1C

JIA Yi-ming<sup>1</sup>, TU Zhen-tao<sup>1</sup>, ZHANG Xiao-ning<sup>1\*</sup>, LIANG Zhi-hu<sup>1</sup>,LI Chun-huai<sup>2</sup>, WEN Yi-qian<sup>2</sup>, PENG Wei-chen<sup>2</sup>, ZHU Li-wei<sup>2</sup>

(1. *Key Laboratory of Physical Electronics and Devices of the Ministry of Education, Xi'an Jiaotong University, Xi'an 710049, China;*

2. *Shenzhen China Star Optoelectronics Technology Co., Ltd, Shenzhen 518132, China)*

**Abstract:** In order to improve the uniform brightness of Active Matrix Organic Light Emitting Display (AM OLED) caused by the difference characteristic of TFTs' among pixels, digital driving methods of Address While Display (AWD) based on accumulated lighting using 11 equal weight subfields and order dither to realize 256 gray scales was investigated and implemented on AM OLED module of 5.5 inches with pixel circuit of 2T1C. The experimental results of gray scales (0~255) show that digital driving is insensitive to gray scales and the maximum value of non-uniform brightness is 28%. It is increased as gray scale increasing and the maximum value reaches to 133% by using analog driving. The uniform of displayed image using digital driving is superior to that using analog driving and easy to be implemented based on pixel circuit of 2T1C. The complexity to pixel circuit and processing cost will be decreased.

**收稿日期:**2014-12-17; **修订日期:**2015-02-06.

**基金项目:**国家自然科学基金(No. 61372018)

\* 通信联系人, E-mail: znn@mail. xjtu. edu. cn

**Key words:** AM OLED; pixel circuit; digital driving; FPGA

## 1 引言

有机发光显示(OLED, Organic Light Emitting Display)具有轻薄、宽视角、低功耗、响应速度快等特点,最有希望实现柔性显示<sup>[1-3]</sup>。根据驱动方式的不同,OLED可分为无源矩阵(PM OLED)和有源矩阵(AM OLED)两种<sup>[4]</sup>。AM OLED最简单的像素电路由2个具有开关功能的薄膜晶体管(TFT)和1个储存电荷的电容(C)组成,根据TFT和C的数量,可把像素电路简称为2T1C<sup>[5]</sup>。AM OLED的驱动方法可分为模拟驱动和数字驱动两种,驱动IC和比较简单的外围电路一般集成在同一玻璃基板上<sup>[6]</sup>。在AM OLED模拟驱动方法中,通过控制TFT栅极电压来控制流过像素发光单元的电流,从而实现所需的灰度级显示。由于不同像素间的TFTs特性参数很难完全一致,因此在相同的数据信号电压下,每个发光单元的电流大小不同,这会导致同一灰度级在屏的不同位置显示的亮度不均匀。为了解决该问题,可在像素电路中增加额外的TFT和电容组成补偿电路<sup>[7-11]</sup>。此外,还可以通过AM OLED显示屏的外部电路对数据信号进行分离、存储、处理及补偿<sup>[12]</sup>。然而,各种补偿电路的存在增加了工艺的复杂度,降低了像素单元的透过率,增加了成本,也限制了面板分辨率的提高。

AM OLED数字驱动方法不同于模拟驱动方法,数字驱动中的数据信号电压只取获得最大电流和最小电流的两个电压值,在这两个电压下,不同像素点间的电流因阈值电压漂移引起的差异很小,所以像素点间具有很高的 consistency。因此,数字驱动方法对像素电路的均匀性要求大大降低。论文在只有绿色发光层的14 cm(5.5 in)2T1C像素电路、720×1280分辨率的AM OLED模拟驱动模组上,研究并实现了边寻址边显示(Address While Display, AWD)的数字驱动方法,并比较了数字驱动和模拟驱动的图像显示效果和在不同灰度级下的不均匀性,结果表明数字驱动的均匀性明显优于模拟驱动,可用于简单的2T1C像素电路。由于数字驱动寻址的次数多于模拟驱动,因此功耗增加。

## 2 AM OLED 数字驱动方法

### 2.1 AM OLED 数字驱动方法原理

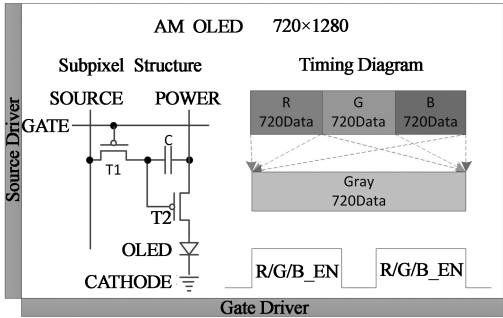
数字驱动方法采用发光时间调制方式实现不同的灰度级,即:单位时间内发光时间越长,占空比越大,人眼感知的亮度越高。通常的实现方式是:将一帧图像分为几个子场,根据图像数据信号控制每个像素在每个子场是否发光,通过子场组合产生不同的灰度等级。AM OLED可用的数字驱动方法主要有两种:寻址与显示分离(Address Display Separate, ADS)方法和AWD两种。ADS驱动方法中,每个子场的所有行依次寻址,待所有行寻址全部完成后,全屏统一开始进行显示。对于AWD方法来说,每个子场的任一行寻址过后,就立即开始发光显示,直到下一子场被寻址后才改变显示状态。

图1为论文数字驱动采用的AM OLED模组及等权重AWD方法的原理。其中,图1(a)的模组信息主要包括:2T1C像素电路原理,实现灰度显示的方法和时序。因为模组全屏R、G、B都是绿色发光层,因此寻址时,R、G、B同时寻址,具体工作原理是:寻址信号GATE使T1导通,数据信号SOURCE加载到T2的栅极控制流过OLED的电流,实现不同灰度级;由于电容C的存在,数据信号SOURCE将保持在T2的栅极直到下一次寻址。对于数字驱动,数据信号SOURCE只取最大和最小两个值,分别使T2工作在TFT转移特性曲线的截止区和饱和区,即工作在状态‘0’和状态‘1’。基于2T1C像素电路AM OLED模组没有用于擦除的扫描电极,被点亮的像素会持续发光到再次被寻址时,因此,每一子场的发光长度取决于下一次寻址到来的时间。

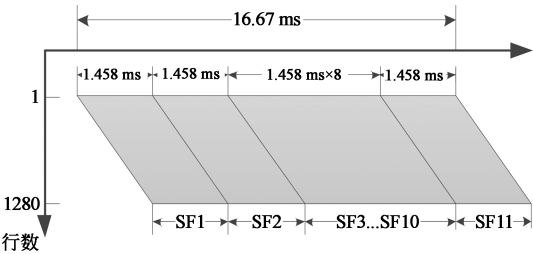
由于图1(a)模组工作在灰度显示模式下,扫描一行的最快速率为1.139  $\mu$ s,扫描全屏1280行所需的时间1.458 ms,对于60 Hz的场频,最多可以分为11个子场。如果采用ADS驱动方法,一场显示的理论时间只有大约0.6 ms,即使通过减小子场数增加显示时间,也比模拟驱动的显示时间短很多,导致显示亮度大幅度降低。同

时,ADS 驱动时,全屏同时发光或熄灭,流经 OLED 面板电流的突变容易导致电流冲击、干扰、散热等问题。

如果采用 AWD 的数字驱动方法,显示时间和模拟驱动相当,同时也避免了全屏同时发光或熄灭。如图 1(b) 所示,为了使控制时序简单,可以使 AWD 各子场的权重相同,每个子场的显示时间都为 1.458 ms。为了达到消除动态假轮廓的目的,采用累积式编码来实现不同灰度级,通过控制每个像素在 11 个子场中的发光情况,可以实现 12 个灰度级,其它不能直接显示的灰度级采用有序抖动的方法实现。



(a)数字驱动采用的模组及像素电路  
(a)Module and pixel circuit for digital driving



(b)等权重 AWD 数字驱动原理  
(b)AWD driving principle using equal weights coding

图 1 AM OLED 模组及等权重 AWD 方法的原理  
Fig. 1 AM OLED module and principle of AWD method

2.2 AM OLED 数字驱动方法设计与实现

AWD 数字驱动方法的驱动电路基本架构如图 2 所示,驱动控制模块以 FPGA 为核心,包含了动态存储器 DDR、HDMI 解码、LVDS 编码、FLASH 以及 OLED 驱动 IC 输出等。输入的 HDMI 视频信号解码为数字视频信号,再经过 FPGA 的处理与 DDR 的读写分离,输出适用于数字驱动的子场图像数据和控制信号。电压输出

模块主要由 3 组基于 I<sup>2</sup>C 的可编程电源芯片组成,为 OLED 面板提供多种工作电压以及 Gamma 参考电压。在模拟驱动方法中,Gamma 的 9 个参考电压取值由图像数据、加在像素单元的电压、以及对应的显示亮度三者之间的关系确定,使输入灰度级和输出亮度的关系满足 Gamma 曲线。在数字驱动方法中,由于 Gamma 变换通过 FPGA 实现,因此,只需要最大和最小 2 个 Gamma 参考电压。为使像素电路稳定地工作在截止区和饱和区,即 ‘0’ 和 ‘1’ 状态,数字驱动方法中较小和较大 Gamma 参考电压取值应比模拟驱动方法中最小和最大 Gamma 参考电压值分别小一些和大一些,一般差值约为 1 V 左右。

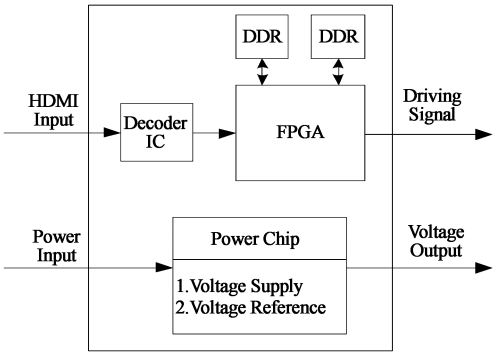


图 2 OLED 驱动电路硬件架构示意图  
Fig. 2 Hardware structure of OLED driving circuit

实现数字驱动的 FPGA 软件架构如图 3 所示,其主要功能就是接收数字视频信号数据,将数据进行处理并转化为数字驱动所需要的子场编码数据,并产生数字驱动所需要的控制信号。FPGA 软件主要由图像处理、数据处理以及驱动控制三个相对独立的模块构成。图像处理模块负责对输入图像进行处理:把输入图像数据转换到 FPGA 系统时钟下;RGB 数据转为灰度显示所需的数据;数字驱动的 Gamma 转换;采用有序抖动的方法将 11 子场无法直接显示出来的灰度级表达出来;图像数据到 AWD 寻址数据的转换。数据处理模块负责对寻址数据的时序进行处理,将图像数据转换成为子场数据,并将子场数据存入 DDR 进行缓存,同时负责读取上一子场数据送入后续模块进行显示。这些功能主要通过子场分离,DDR 初始化,读写模块和读写选择子模块来实现。驱动控制模块负责根据 Source Driver 和 Gate Driver 的时序需求将寻址数据和控制信号

发送给 OLED 面板完成图像显示,其输入是由数据处理模块输出的寻址数据,输出是 Source Driver 和 Gate Driver 的控制信号。

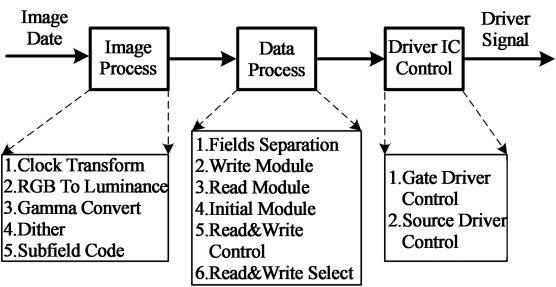


图 3 FPGA 软件的基本结构

Fig. 3 Software architecture of FPGA

3 结果与讨论

论文在 AM OLED 显示屏上实现了 11 子场 12 灰度的数字驱动显示,并通过抖动技术实现了 256 个灰度级。图 4 是模拟驱动和数字驱动的显示结果对比,从图中可以看出,对于 2T1C 像素电路驱动的 OLED 显示屏,模拟图片显示的灰度出现了明显的不均匀性,特别是对于大面积较为均匀的背景,看起来就像一块弄脏了的玻璃。由于数字驱动的每个子场相当于只用到了最高灰度级和最低灰度级对应的图像数据电压,显示效果较为均匀一致。虽然受限于扫描寻址的速度和扫描驱动结构,在现有的模拟驱动模组上还没办法实现更多的灰度级,但实验结果可以表明,数字驱动对像素电路的要求显著降低,不均匀性也有明显改善。

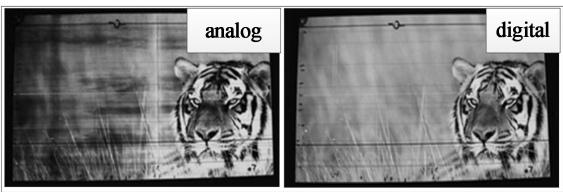


图 4 模拟及数字驱动显示均匀性比较

Fig. 4 Uniformity of displayed image between analog and digital driving methods

为比较数字驱动和模拟驱动在不同灰度级下的不均匀性,使全屏分别显示 32-64-96-128-160-192-224-255 这 8 种灰度级,根据国家标准 GB/T 20871.61-2013《有机发光二极管显示器 第 6-1 部分:光学和光电参数测试方法》的规定,用

CA2000 彩色分析仪测量并计算亮度不均匀性,结果如表 1 所示。从表 1 中可以看出,数字驱动在各个灰度级的不均匀性基本一致,而模拟驱动在低灰度级的不均匀性非常严重,随着灰度级的增加不断减轻。因此,数字驱动对不均匀性的改善非常显著。

表 1 不同灰度级的数字和模拟驱动不均匀性比较

Tab. 1 Non-uniformity of different grays between analog and digital driving methods

| 灰度值 | 1 号屏不均匀性/% |      | 2 号屏不均匀性/% |      |
|-----|------------|------|------------|------|
|     | 模拟驱动       | 数字驱动 | 模拟驱动       | 数字驱动 |
| 32  | 133        | 17   | 101        | 15   |
| 64  | 126        | 19   | 69         | 28   |
| 96  | 101        | 19   | 55         | 18   |
| 128 | 90         | 20   | 45         | 19   |
| 160 | 66         | 21   | 40         | 15   |
| 192 | 46         | 21   | 33         | 19   |
| 224 | 37         | 22   | 25         | 21   |
| 255 | 23         | 23   | 21         | 20   |

此外,我们还比较了数字和模拟驱动的功耗,分别测量 2 块 14 cm(5.5 in)AM OLED 面板在全屏显示 255 和 0 灰度级时的功耗,两者之差为不同驱动方法实际消耗的功耗,结果如表 2 所示。数字驱动的实际功耗大于模拟驱动,主要原因是数字驱动共计采用了 11 个子场,也就是要全屏寻址 11 次,而模拟驱动只有 1 次。同时,数字驱动时,同一像素在不同子场之间点亮或熄灭状态可能不同,会使储存电容 C 不断通过 TFT 充放电,产生额外的功耗。

表 2 模拟和数字驱动的功耗比较(单位: W)

Tab. 2 Comparison of power consumption between analog and digital driving methods(unit: W)

| 测试对象 |      | 全屏亮<br>(255) | 全屏暗<br>(0) | 实际功耗  |
|------|------|--------------|------------|-------|
| 1 号屏 | 模拟驱动 | 5.231        | 1.272      | 3.959 |
|      | 数字驱动 | 6.478        | 1.980      | 4.498 |
| 2 号屏 | 模拟驱动 | 4.379        | 1.344      | 3.034 |
|      | 数字驱动 | 5.975        | 2.135      | 3.83  |

## 4 结 论

论文在14 cm(5.5 in)分辨率为 $720 \times 1280$ 的AM OLED模拟驱动模组上,研究并实验了等权重11子场累积式发光的AWD数字驱动方法。实验结果表明,数字驱动方法在0~255灰

度区间的不均匀性最大为28%,而模拟驱动的不均匀性最大为133%。模拟驱动显示图像的不均匀性随灰度级的降低越来越严重,数字驱动的不均匀性对灰度变化不敏感,数字驱动显示图像的均匀性显著优于模拟驱动。由于数字驱动在单位时间内的寻址次数多于模拟驱动,因此功耗高于模拟驱动。

## 参 考 文 献:

- [1] Hong S, Jeon C, Kim J, *et al.* Development of commercial flexible AMOLEDs [J]. *SID Symposium Digest of Technical Papers*, 2014, 45(1): 334-337.
- [2] 吴振英,金薇. 柔性OLED显示及封装技术的研究 [J]. 电视技术, 2013, 37(1): 75-76.  
Wu Z Y, Jin W. Display and encapsulation techniques of flexible OLED [J]. *Video Engineering*, 2013, 37 (1): 75-76. (in Chinese)
- [3] 黄锡珉. 有源矩阵OLED [J]. 液晶与显示, 2003, 18(3): 157-160.  
Huang X M. Active matrix OLED [J]. *Chinese Journal of Liquid Crystals and Displays*, 2003, 18(3): 157-160. (in Chinese)
- [4] 王小微,彭亚雄. OLED的无源驱动技术研究 [J]. 通信技术, 2013, 42(2): 109-111.  
Wang X W, Peng Y X. Analysis on PM-OLED driving technology [J]. *Communications Technology*, 2013, 46(2): 109-111. (in Chinese)
- [5] Aram S, Sang J H, Seung W, *et al.* Design of organic TFT pixel electrode circuit for active-matrix OLED displays [J]. *Journal of Computers*, 2008, 3(3): 1-5.
- [6] 应根裕,胡文波,邱勇. 平板显示技术[M]. 北京:人民邮电出版社, 2002.  
Ying G Y, Hu W B, Qiu Y. *Flat Plate Display* [M]. Beijing: Posts and Telecom Press, 2002. (in Chinese)
- [7] Ilku N, Doo Hyung W. Poly-Si active matrix organic light-emitting diode pixel circuit with compensation for threshold voltage and mobility variations [J]. *Electronics Letters*, 2014, 50(13): 934-935.
- [8] Fan C L, Lin Y Y, Lin B S, *et al.* New pixel circuit compensating poly-Si TFT threshold-voltage shift for a driving AMOLED [J]. *Journal of the Korean Physical Society*, 2010, 56(4): 1185-1189.
- [9] Wu W J, Zhou L, Yao R H, *et al.* A new voltage programmed pixel circuit for enhancing the uniformity of AMOLED displays [J]. *IEEE Electron Device Letters*, 2011, 32(7): 931-933.
- [10] 应根裕. AM-OLED的像素电路集锦(一) [J]. 现代显示, 2011, 5: 13-21.  
Ying G Y. A Collection of the pixel circuit used in AM-OLED display (I) [J]. *Advanced Display*, 2011, 5: 13-21. (in Chinese)
- [11] Lin C L, Hung, C C, Chen P S, *et al.* New voltage-programmed AMOLED pixel circuit to compensate for non-uniform electrical characteristics of LTPS TFTs and voltage drop in power line [J]. *Electron Devices*, 2013, 61(7): 2454-2458.
- [12] 应根裕. AM-OLED的像素电路集锦(二) [J]. 现代显示, 2011, 6: 11-19.  
Ying G Y. A Collection of the pixel circuit used in AM-OLED display (II) [J]. *Advanced Display*, 2011, 6: 11-19. (in Chinese)

作者简介:贾一鸣(1991—),男,陕西西安人,硕士研究生,主要从事平板显示图像处理和驱动技术的研究。E-mail: jia-yiming.951@stu.xjtu.edu.cn