

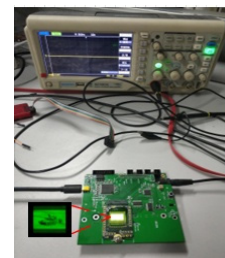


DOI: 10.12086/oe.2020.190366

面向数字驱动式硅基微显示器的双帧分权融合扫描

杨宇臣, 季渊*, 陈文栋, 穆廷洲, 张春燕, 冉峰

上海大学微电子研究与开发中心, 上海 200444



摘要: 当 microLED 处于正向工作区时, 难以精确调节它们的电压来获得不同的发光亮度; 且当 microLED/OLED 工作时, 会较长时间处于闭合状态, 导致人眼观察到的图像显示亮度变差。为解决以上问题, 本文提出一种双帧分权融合扫描策略, 通过调节 microLED/OLED 导通时间来获得不同亮度。该方法先对数据位重新分权, 使导通时间分散插入到闭合时间内, 然后将分权后的各数据位权值进行双帧融合, 最后重新定义数据位的扫描顺序。并根据所提出的扫描策略设计了一款面向数字驱动式硅基微显示器的扫描控制器。结果表明: 本文提出的双帧分权融合扫描策略可以精确调节 microLED/OLED 的发光亮度, 提高人眼观察到图像显示亮度。该扫描策略与其它扫描策略相比, 扫描效率提升至 93.75%, 场频提升至 2040 Hz, 扫描时钟频率为 102.36 MHz, 且同时减小了扫描数据带宽。最后通过测试证明了扫描控制器的可行性。

关键词: 发光亮度; 双帧分权融合; 数字驱动式硅基微显示器; 扫描控制器; 扫描效率

中图分类号: TN27

文献标志码: A

引用格式: 杨宇臣, 季渊, 陈文栋, 等. 面向数字驱动式硅基微显示器的双帧分权融合扫描[J]. 光电工程, 2020, 47(11): 190366

Dual-frame decentralized fusion scanning for digital drive on-silicon microdisplays

Yang Yuchen, Ji Yuan*, Chen Wendong, Mu Tingzhou, Zhang Chunyan, Ran Feng

Microelectronic Research & Development Center, Shanghai University, Shanghai 200444, China

Abstract: When the microLED is in the forward working direction, it is difficult to precisely adjust its voltage to obtain different brightness. Moreover, when the microLED/OLED is turned on, they will be in a closed state for a long time, causing the image display brightness to be deteriorated by the human eye. In order to solve these problems, this paper proposes a dual-frame decentralized fusion scanning strategy to achieve different brightness by adjusting the microLED/OLED on-time. Firstly, the method de-weights the data bits and inserts their on-times into the closed time. Then the data bit weights are double-frame fused after decentralization. Finally, the scanning order of the data bits is redefined. According to the proposed scanning strategy, we designed a scanning controller to drive digital on-silicon microdisplay. The results show that the dual-frame decentralized fusion scan proposed in this paper can accurately adjust the luminance of microLED/OLED and improve the brightness of the image observed by human eyes.

收稿日期: 2019-06-28; 收到修改稿日期: 2019-11-29

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(61674100, 61774101); 军民融合项目(2019-jmrh1-kj37)

作者简介: 杨宇臣(1994-), 男, 硕士研究生, 主要从事集成电路设计和显示技术的研究。E-mail: 625965240@qq.com

通信作者: 季渊(1980-), 男, 博士, 副研究员, 主要从事 OLED 微显示器的研究。E-mail: jiyuan@shu.edu.cn

版权所有©2020 中国科学院光电技术研究所

Compared with other scanning strategies, the scanning strategy improves the scanning efficiency to 93.75%, the field frequency is increased to 2040 Hz, the scanning clock frequency is 102.36 MHz, and the scanning data bandwidth is reduced. The feasibility of the scan controller is proved by testing at last.

Keywords: luminance; dual frame decentralized fusion; digital drive on-silicon microdisplay; scan controller; scanning efficiency

Citation: Yang Y C, Ji Y, Chen W D, et al. Dual-frame decentralized fusion scanning for digital drive on-silicon microdisplays[J]. *Opto-Electronic Engineering*, 2020, 47(11): 190366

1 引言

MicroLED 和 OLED 是当下两种前沿的显示技术。与传统 LED 技术相比, microLED/OLED 为自主发光器件, 具有更高的光源利用率和更高的对比度。microLED 和 OLED 发光材料都可以生长在硅基上制作成硅基微显示器。该类微显示器具有功耗低、响应快等特点, 主要应用于近眼显示设备和虚拟显示设备。

硅基微显示器的灰度产生方式主要有模拟幅值调制和数字脉宽调制两种调制方式^[1]。模拟幅值调制是通过 DAC 将数字信号转换成模拟信号, 通过调节 microLED/OLED 两端的电压值来获得不同的亮度值。其主要面临着 DAC 精度、速度以及面积开销等方面的问题, 不适用于高灰度级和高分辨率微显示器。数字脉宽调制方式是指通过脉冲宽度调制(pulse width modulation, PWM)来控制 microLED/OLED 发光的时间进而产生不同的灰度等级。一种实现方式是在芯片中集成由比较器和计数器组成的 PWM 发生器, 通过内部控制 PWM 发生器产生 PWM 信号, 从而控制 microLED/OLED 的导通时间来获得不同程度发光亮度^[2-3]。另一种方式是在芯片外部直接产生 PWM 信号来控制 microLED/OLED 的导通时间, 不需要在芯片内集成 PWM 发生器^[4-8]。数字调制方式具有精度和灵活性高、对电路特性要求低等特点。由于 microLED/OLED 伏安特性类似于 p-n 结, 当其处于正向工作区时, 电流曲线斜率很大, 难以通过调节电压来精确地调节电流进而得到不同的亮度^[9-11], 因此本文选取数字脉宽 PWM 调制方式。传统的 PWM 调制会使 microLED/OLED 长时间处于闭合状态, 影响人眼观看的图像显示亮度^[12-14]。本文将基于第二种数字脉宽调制方式提出一种双帧分权融合扫描策略。该扫描策略能够精确调制微显示器的灰度等级和改善人眼观看图像显示亮度, 减少扫描数据带宽, 提高扫描的效率和帧频。最后使用 FPGA 完成双帧分权融合策略控制器的设计, 并能驱动硅基微显示器正常工作。

2 双帧分权融合扫描策略

传统的 8 位二进制数据 PWM 调制^[15]产生的有效高电平如式(1)所示。我们通过调节每个 PWM 周期中的 L 值来获得不同的亮度, 即灰阶。

$$L = D_8 \cdot 2^7 + D_7 \cdot 2^6 + D_6 \cdot 2^5 + \dots + D_2 \cdot 2 + D_1 \quad (1)$$

传统 8 位数据位宽的 LED 灰度调制是将一帧的显示时间按照 $2^7: 2^6: 2^5: \dots: 2^0$ 行权值分割, 数据位越高对应的权值越大。各数据位的值可为 1 或 0, 分别表示 LED 导通或关闭状态, 因此 8 bit 数据可以表示 256 个不同的 L 值即 256 阶灰度。在极短时间内 LED 的发光亮度与导通时间可以近似看作一种线性关系, 导通时间越长 LED 亮度越大。由于 microLED/OLED 都为自主发光型器件, 不需要背光。为满足人眼的正常观看, 需对 microLED/OLED 的亮度进行调节, 也就是调节它们的导通时间。

图 1 为在相同亮度下传统 LED 导通时间演变为 microLED 导通时间的示意图, 其中高电平持续时间表示发光材料的导通时间, 低电平持续时间为关闭时间。由于电光转化效率的不同, 相同亮度下 microLED 所需的导通时间小于 LED。人眼观察亮度是动态积分过程, 关闭时间过长会导致人眼观察到微显示器图像亮度变差。为了改善显示效果, 本文提出了双帧分权融合扫描策略。该扫描策略是先基于传统的 PWM 调制算法将数据位的权值重新分权, 然后将分权之后的权值进行双帧融合, 最后将经过融合之后各数据位的扫

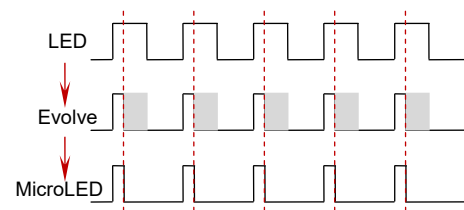


图 1 LED 导通时间与 microLED 导通时间对比
Fig. 1 LED on-time comparison with microLED on-time

描顺序重新排列。对于 8 位数据, 可将式(1)作式(2)变换:

$$L = 2^2(D_8 \cdot 2^5 + D_7 \cdot 2^4 + D_6 \cdot 2^3) + D_5 \cdot 2^4 + D_4 \cdot 2^3 + \dots + D_1 \quad (2)$$

式(2)将数据位 D_8 、 D_7 和 D_6 权值变为原来的 1/4, 出现频率为原来的 4 倍, 但数据位的总权值和占空比与式(1)相比没有发生变化。该变换可以理解为将原变化的导通时间平均分为四份插入到总的时间之内, 使人眼观察到连续的闭合时间变短, 改善了因长时间闭合导致人眼观察的图像显示亮度变差的问题。数据位的权值重新定义为 2:1:1/2:1:1/2:1/4:1/8:1/16。在实现过程中当数据位权值小于 1 时, 扫描期间需要通过额外的消隐操作来实现, 因此会存在一定的时间冗余使得扫描效率降低和损失亮度。双帧融合是指将两帧图像相同比特位的子场融合为同一个子场, 利用上一帧子场的消隐冗余时间进行下一帧的子场扫描, 将两帧中不足一个基本场时间长度的子场权值合并, 进行两帧的子场融合调制。人眼观察到的数据位实际显示亮度不会发生变化。本文在常见的 60 Hz 基础上, 在原一帧的时间内将一帧视频源数据重复读取两次, 等效于两帧。具体操作是将分权之后权值为 1/2 的 D_6 和 D_4 进行融合并放在第一帧内, 第二次读取的 D_6 和 D_4 权值变为 0, 放入第二帧内。同理, 将其他权值小于 1 的数据位也同样进行融合, 放入一个帧内, 另一帧内相应的权值也变为 0。双帧融合的示意图如图 2 所示, 其中 Bit7 对应 D_8 , Bit6 对应 D_7 , 以此类推。

融合之后, 我们将数据划分为高数据位(HDB)和低数据位(LDB)。由式(2)可以看出高数据位 D_8 、 D_7 和 D_6 的权值缩小为原来的 1/4 但出现的频率变为原来的

4 倍。再打散融合后的扫描顺序, 将低数据位依次分别插入放置于高数据位之后。由于融合以后两帧的权值都会发生变化且变得不同, 因此分别对两帧的扫描顺序进行排列, 最后排列方式如图 3 所示。

由双帧融合后权值可知, 第一帧的 HDB0 包含数据位 D_8 、 D_7 和 D_6 , 第二帧的 HDB1 包含数据位 D_8 和 D_7 。这种排列方式的优点在于各数据位的总权值和占空比没有发生变化的情况下提高了视觉刷新率, 充分减少了人眼观看 microLED/OLED 微显示器时接收到两次光刺激的间隔时间。在扫描过程当中, 本文提出的算法每帧的扫描数据带宽也从 8 个 bit 减小到 6 个 bit 或者 5 个 bit 值, 扫描效率(可以为看作为各 bit 位总导通时间所占总时间的百分比)为 93.75%。场频表示显示器每秒显示图像的个数, 本文所提算法在原一帧时间内共扫描 34 次画面, 故场频为 2040 Hz。其中场频越大, 图像刷新的次数越多, 图像显示的闪烁就越小, 画面质量越高, 但场频还影响着扫描时钟频率, 故不是越高越好, 因此需综合看待。

3 控制器的设计

3.1 数字驱动式硅基微显示器系统

本文使用的数字驱动式硅基微显示器系统主要分为两部分: 第一部分是微显示器驱动芯片, 主要包括行、列驱动电路以及像素驱动电路; 第二部分为扫描控制器, 扫描控制器会处理从视频源出来的数据信号和产生控制微显示器工作的控制信号。总体系统结构图如图 4 所示。

微显示器芯片接收来自接口模块的数据信号和控制信号, 通过移位寄存器对输入的数据信号进行串行

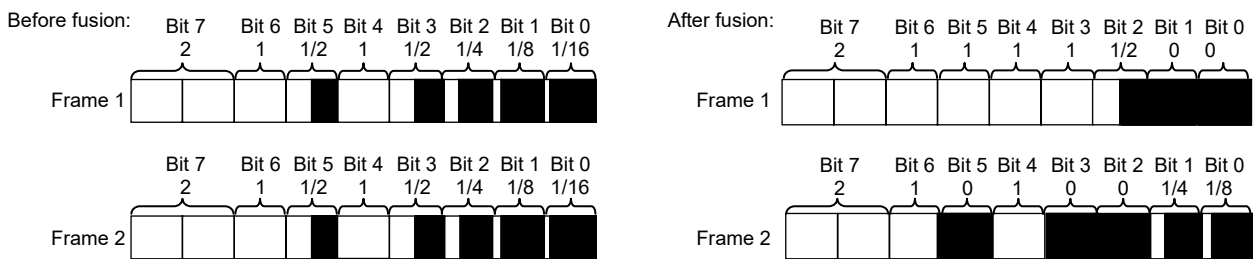


图 2 双帧融合示意图

Fig. 2 Dual frame fusion diagram



图 3 数据位权值排列顺序

Fig. 3 The order of bit weight

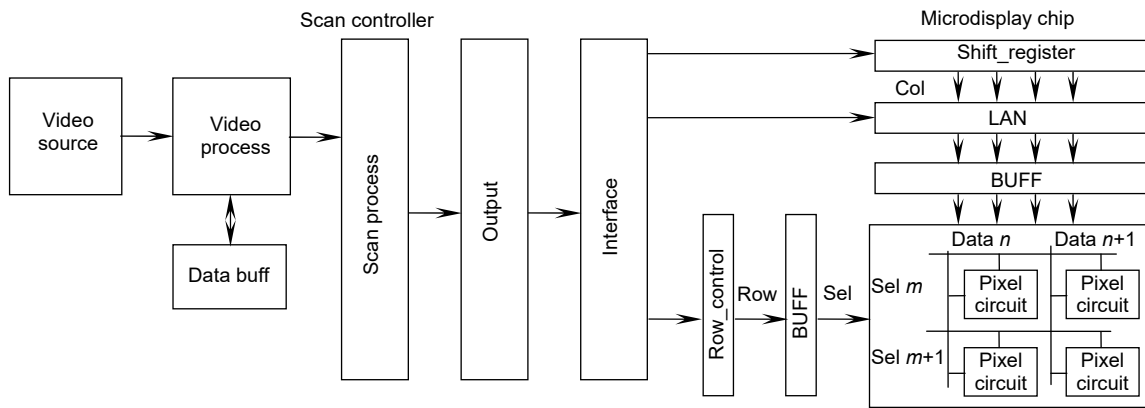


图 4 数字式硅基微显示器整体系统结构

Fig. 4 The overall structure of digital on-silicon microdisplay system

移位，再将移位后的所有数据存入锁存器中以保证数据传输的同时性，最后使用能够增加驱动能力的缓存器，将数据信号传输至像素驱动电路中。芯片中的列驱动控制微显示器的每一行，实现从左到右、从上到下逐行扫描。本论文可以使用的数字驱动式硅基微显示芯片由本课题组自行研发，各芯片参数如表 1 所示。其中一些数字驱动式硅基芯片如图 5 所示。

3.2 扫描控制器的实现

为驱动数字式硅基微显示器，本文将根据第 2 节所提出的双帧分权融合扫描策略设计一款控制器。整体结构如图 6 所示。

当视频源数据输入进来后，需要将其按照一定的

方式处理，例如图像缩放、伽马矫正等，然后再将数据传输给 RAM 模块。RAM 模块起到一个数据存储前的缓冲数据的作用，当输入至 RAM 的缓存数据满足 SDRAM 的突发长度时，便将数据输入给 SDRAM 模块。SDRAM 模块则作为帧缓存的外部存储器，缓存根据扫描策略重新排布数据。扫描控制模块接收 SDRAM 模块传输来的数据，然后产生控制微显示器所需的时序。RAM 模块和 SDRAM 皆采用乒乓操作的处理方式工作。最后输出模块是用来配置 FPGA 和芯片上的 LVDS 接口，然后将控制器产生的控制信号和处理后的数据信号通过接口传输至微显示器进而显示图像。

表 1 数字式硅基微显示器各性能参数

Table 1 The parameters of digital on-silicon microdisplay system

发光材料	灰度等级	分辨率	尺寸/inch	像素密度/PPI
OLED(RGB)	256	1600 × (3) × 1600	1.15	1968
OLED(单色)	256	1280 × 1024	0.64	2561
MicroLED(单色)	256	1280 × 720	2.89	5000

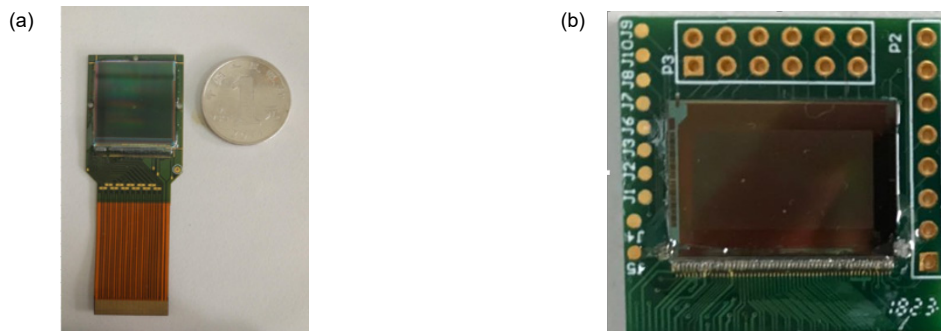


图 5 (a) 硅基 OLED 芯片; (b) 硅基 microLED 芯片

Fig. 5 (a) OLED on-silicon chip; (b) MicroLED on-silicon chip

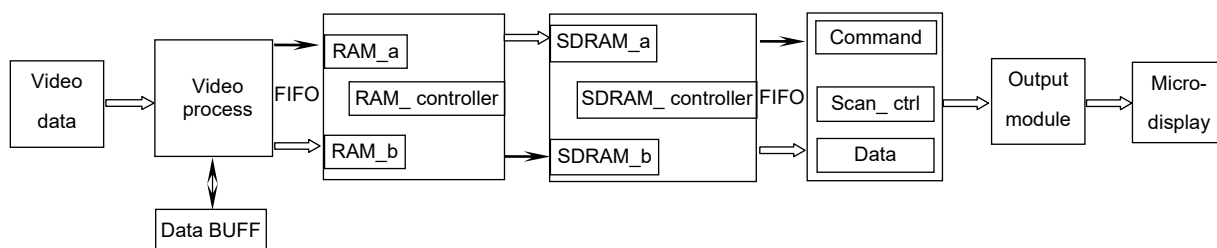


图 6 控制器整体构图

Fig. 6 The sketch map of the controller

控制器中的扫描控制模块是根据帧分权融合扫描策略进行设计。scan_enable 模块接收由 FIFO 输出的同步模块标志信号 rdusedw 和 rdempty，判断 scan_ctrl 是否需要工作。当 scan_ctrl 模块工作时，产生使能信号输入至 field 模块作为读取子场的请求。Field 模块中存储的是双帧融合扫描策略所对应的子场个数、顺序以及子场对应的权值。由于 frame_1 和 frame_2 的输入数据是相同的，将融合后的 frame_2 扫描顺序直接放置融合后的 frame_1 的扫描序列之后。Command 产生硅基微显示器的控制信号，data 为数据通路，输出经延时处理的数据信号。其结构图如图 7，其中 g_1 和 g_2 分别代表列驱动电路里的锁存器使能信号和行驱动电路里的行触发器使能信号。Edff 为列驱动电路中移位寄存器的使能信号。Start_en 为 scan_ctrl 模块的使能信号，其值由 scan_enable 模块输出。Next_field_en 为读取 field 模块中子场的标志信号，field_work 为输出的当前子场信息的输出信号，ctrl[9:0] 为输入给行驱动电路的控制信号，dout[31:0] 为输出给列驱动电路的数据信号，即像素点的逻辑值。

4 结果与分析

本文选取表 1 中所述的数字式 OLED 硅基微显示

器来进行控制器的验证。它的灰度等级为 256 级，分辨率为 1280×1024，帧频为 60 Hz。在此硬件基础下，本文所提出的双帧分权扫描算法的性能参数与其他算法的比较，如表 2 所示。

本文提出的双帧分权融合算法其线性度为 100%，扫描效率为 93.75%，场频可以达到 2040 Hz，扫描时钟频率为 102.36 MHz。所使用的硬件系统实物图和示波器测试结果图如图 8 所示。

图 8(a)展示的为本课题组自行设计的控制器实物图，图 8(b)为控制器控制数字驱动式硅基微显示器的点亮图，图 8(c)为列驱动测试图，图中显示的是 BL 和 BLN 信号，该信号为 BUFF 模块输出至像素电路的数据信号。由于所使用的像素驱动电路存储部分为 SRAM 双稳态锁存结构，因此需要输入相反的双通道数据，图中为所测的 BL 和 BLN 通道信号是相反的，说明所设计的控制器能够控制列驱动电路正常工作。图 8(d)表示的是行选信号 WL，在扫描时打开一行的开关使数据传输至像素电路，然后再关闭，下个扫描信号来以后再次打开，故图 8(d)表明行驱动电路在正常工作。以上实验结果图说明本文所设计的控制器可以控制数字驱动式硅基微显示器正常工作。

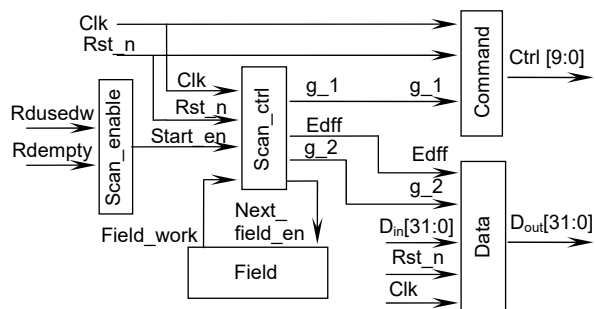


图 7 扫描控制模块

Fig. 7 Scan controller

表 2 各算法性能参数

Table 2 Algorithm performance parameters

扫描算法	线性度/%	扫描效率/%	场频/Hz
传统线性 PWM	100	3.52	15360
12 子场	100	66.41	720
19 子场	100	83.88	1140
“Z”字形扫描	25	100	480
双帧分权融合	100	93.75	2040

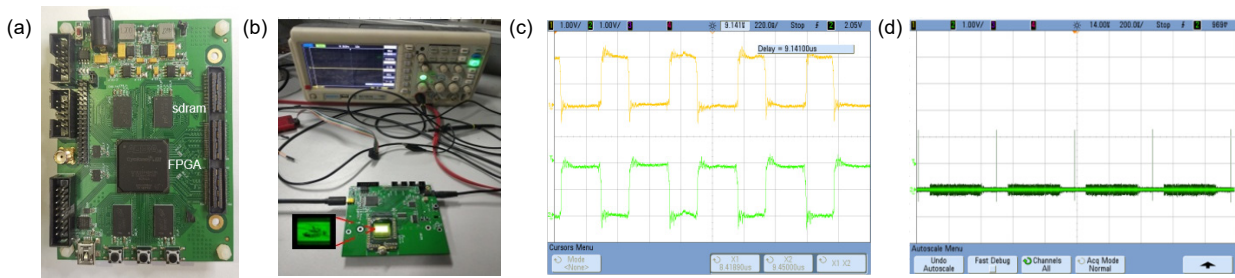


图 8 (a) 控制器实物图; (b) 硅基微显示器点亮图; (c) 列驱动测试图; (d) 行驱动测试图

Fig. 8 (a) The photo of the controller; (b) On-silicon microdisplay lighting; (c) Column drive test; (d) Line drive test

5 结论

本文提出了一种双帧分权融合扫描策略, 该扫描策略可以精确调制微显示器不同的灰度等级, 且改善了因 microLED/OLED 长时间闭合而导致人眼观察图像显示亮度变差的现象。与其它扫描策略相比较, 该扫描策略降低了扫描数据带宽, 同时将扫描效率提升至 93.75%, 场频提升至 2040 Hz, 扫描时钟频率为 102.36 MHz, 并使用 FPGA 实现扫描控制器的设计, 通过片外 FPGA 给出数据信号和控制信号来控制数字驱动式硅基微显示器工作。

参考文献

[1] Reineke S, Lindner F, Schwartz G, et al. White organic light-emitting diodes with fluorescent tube efficiency[J]. *Nature*, 2009, **459**(7244): 234–238.

[2] Ahn H A, Hong S K, Kwon O K. An active matrix micro-pixelated LED display driver for high luminance uniformity using resistance mismatch compensation method[J]. *IEEE Transactions on Circuits and Systems II: Express Briefs*, 2018, **65**(6): 724–728.

[3] Yu L X. A design of the driving circuit with adjustable light function LED[D]. Xi'an: Xidian University, 2016.
喻乐贤. 带调光功能的 LED 驱动电路设计[D]. 西安: 西安电子科技大学, 2016.

[4] Chong W C, Cho W K, Liu Z J, et al. 1700 Pixels Per Inch (PPI) Passive-Matrix Micro-LED Display Powered by ASIC[C]//2014 IEEE Compound Semiconductor Integrated Circuit Symposium (CS/ICS), La Jolla, CA, USA, 2014: 1–4.

[5] Wu L, Li X B, Chong W C, et al. An AMLED microdisplay driver SoC with built-in 1.25-Mb/s VLC transmitter[C]//2015 Symposium on VLSI Circuits (VLSI Circuits), Kyoto, Japan, 2015: C328–C329.

[6] Ji Y, Wang C Q, Chen W D, et al. An atom scan strategy for OLED micro display[J]. *Optics and Precision Engineering*, 2018, **26**(4): 998–1005.
季渊, 王成其, 陈文栋, 等. OLED 微显示器的原子扫描策略[J]. 光学精密工程, 2018, **26**(4): 998–1005.

[7] Chen Z J, Xu M H, Ran F. IP core implementation of fractal scanning model for FPD system[J]. *Acta Electronica Sinica*, 2008, **36**(5): 880–885.
陈章进, 徐美华, 冉峰. 平板显示系统分形扫描模型的 IP 核实现[J]. 电子学报, 2008, **36**(5): 880–885.

[8] Li X B, Wu L, Liu Z J, et al. Design and characterization of active matrix LED microdisplays with embedded visible light communication transmitter[J]. *Journal of Lightwave Technology*, 2016, **34**(14): 3449–3457.

[9] Yuan H B. Study on a digital pixel driving circuit for OLED microdisplay[D]. Changchun: Jilin University, 2016.
袁海波. 一种用于硅基 OLED 微显示的数字像素驱动电路研究[D]. 长春: 吉林大学, 2016.

[10] Ban Z. Study on micro AlGaInP-LED arrays devices and full-color integration [D]. Changchun: University of Chinese Academy of Sciences (Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics, Chinese Academy of Sciences), 2018.
班章. 微型 AlGaInP-LED 阵列器件及全色集成技术研究[D]. 长春: 中国科学院大学(中国科学院长春光学精密机械与物理研究所), 2018.

[11] Wu L. AMOLED driver design of digital part[D]. Xi'an: Xi'an University of Technology, 2018.
武力. AMOLED 数字驱动电路的研究[D]. 西安: 西安理工大学, 2018.

[12] Yuan S C, Liu Y, Zhao X M. High grey level and high refresh rate to the LED screen based on PWM[J]. *Opto-Electronic Engineering*, 2013, **40**(5): 145–150.
袁胜春, 刘延, 赵小明. PWM 调制 LED 显示屏高灰度高刷新的一种方案[J]. 光电工程, 2013, **40**(5): 145–150.

[13] Wu B, Zhang P. Algorithm of Dispersed PWM and Dynamic Refresh Mode for LED Display[C]//2011 International Conference on Control, Automation and Systems Engineering (CASE), Singapore, 2011: 1–3.

[14] Deng H G, Mei W P, Cao W H, et al. Based on the PWM of the LED display pixel A brightness control method[J]. *Optoelectronic Technology*, 2010, **30**(2): 131–134.
邓宏贵, 梅卫平, 曹文晖, 等. 基于 PWM 的 LED 显示屏像素亮度控制方法[J]. 光电子技术, 2010, **30**(2): 131–134.

[15] Liu W L, Ji Y, Ran F, et al. Nonlinear correction of optimal scan strategy on the OLED-on-silicon microdisplay[J]. *Opto-Electronic Engineering*, 2016, **43**(12): 200–205.
刘万林, 季渊, 冉峰, 等. 硅基 OLED 微显示器最优扫描算法的非线性校正[J]. 光电工程, 2016, **43**(12): 200–205.

Dual-frame decentralized fusion scanning for digital drive on-silicon microdisplays

Yang Yuchen, Ji Yuan*, Chen Wendong, Mu Tingzhou, Zhang Chunyan, Ran Feng

Microelectronic Research & Development Center, Shanghai University, Shanghai 200444, China



Data bit weight order

Overview: MicroLEDs and OLEDs are the two leading edge display technologies. Compared to conventional LED technology, microLED has higher luminance and luminous efficiency, and lower power consumption at the same brightness. Both microLED and OLED luminescent materials can be grown on a silicon substrate to form an on-silicon microdisplay. When the microLED is in the forward working direction, it is difficult to precisely adjust its voltage to obtain different brightness. Moreover, the microLED/OLED will be in a closed state for a long time during working, resulting in deterioration of the brightness of the image observed by the human eye. In order to solve these problems, this paper proposes a dual-frame decentralized fusion scanning strategy to achieve different brightness by adjusting the microLED/OLED on-time. Firstly, the method de-weights the data bits and inserts their on-times into the closed time. Then the data bit weights are double-frame fused after decentralization. Finally, the scanning order of the data bits is redefined. According to the proposed scanning strategy, we designed a scanning controller to drive digital on-silicon microdisplay. The results show that the dual-frame decentralized fusion scan proposed in this paper can accurately adjust the luminance of microLED/OLED and improve the brightness of the image observed by human eyes. Compared with other scanning strategies, the scanning strategy improves the scanning efficiency to 93.75%, the field frequency is increased to 2040 Hz, the scanning clock frequency is 102.36 MHz, and the scanning data bandwidth is reduced. The digital drive on-silicon microdisplay system used in this paper is mainly divided into two parts. The first part is the microdisplay driver chip, which mainly includes row, column and pixel driver circuits. The second part is the scan controller, which will process the data signal from the video source and generate the control signal to control the operation of the microdisplay. When the video source data is entered, we need to process it in a certain way, such as image scaling, gamma correction, etc., and then transfer the data to the RAM module. The RAM module functions as a buffered data before data storage. When the cached data input to the RAM satisfies the burst length of the SDRAM, the data is input to the SDRAM module. The SDRAM module acts as an external memory for the frame buffer and rearrange the data according to the scanning policy. The scan control module receives the data transmitted by the SDRAM module and generates the timing required to control the microdisplay. Both RAM module and SDRAM are operated by ping-pong operation. Finally, the output module is used to configure the LVDS interface on the FPGA and the chip, and then transmit the control signal generated by the controller and the processed data signal to the microdisplay through the interface to display the image. The scan controller proved to be feasible by testing at last.

Citation: Yang Y C, Ji Y, Chen W D, *et al.* Dual-frame decentralized fusion scanning for digital drive on-silicon microdisplays[J]. *Opto-Electronic Engineering*, 2020, 47(11): 190366

Supported by National Natural Science Foundation of China (61674100 , 61774101) and Civil-military Integration Project(2019-jmrh1-kj37)

* E-mail: jiyuan@shu.edu.cn