

应用于硅基OLED微显示器的分段可调伽马校正

黄振兴, 黄苒, 赵博华, 苏畅, 杜寰

引用本文:

黄振兴, 黄苒, 赵博华, 等. 应用于硅基OLED微显示器的分段可调伽马校正[J]. 液晶与显示, 2020, 35(8): 825–830.

HUANG Zhen-xing, HUANG Ran, ZHAO Bo-hua, et al. Gamma correction with adjustable segmentation for OLED-on-silicon microdisplay[J]. *Chinese Journal of Liquid Crystals and Displays*, 2020, 35(8): 825–830.

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.37188/YJYXS20203508.0825>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

通过非对称伽马调整改善面残像的理论分析和方法

Theoretical analysis and method of area image sticking improvement by asymmetric gamma tuning

液晶与显示. 2020, 35(8): 831–837 <https://doi.org/10.37188/YJYXS20203508.0831>

改善大视角下LCD灰阶图像质量的研究进展

Progress in improving the gray scale image quality of LCD under large viewing angle

液晶与显示. 2020, 35(7): 710–724 <https://doi.org/10.37188/YJYXS20203507.0710>

基于OLED微显示器的原子扫描控制器设计

Design of atomic scan controller based on OLED microdisplay

液晶与显示. 2019, 34(4): 395–401 <https://doi.org/10.37188/YJYXS20193404.0395>

CRT与LCD技术的视觉刺激显示性能评价

Assessment of CRT and LCD technologies for the presentation of visual stimuli

液晶与显示. 2017, 32(11): 934–942 <https://doi.org/10.37188/YJYXS20173211.0934>

灰度与亮度拟合对LCD面板Mura改善的影响

Influence of fitting curve between grayscale and brightness on Mura improvement of LCD panel

液晶与显示. 2016, 31(5): 442–448 <https://doi.org/10.37188/YJYXS20163105.0442>

文章编号:1007-2780(2020)08-0825-06

应用于硅基 OLED 微显示器的分段可调伽马校正

黄振兴^{1,2}, 黄 苒¹, 赵博华^{1*}, 苏 畅¹, 杜 寰¹

(1. 中国科学院 微电子研究所, 北京 100029; 2. 中国科学院大学, 北京 101408)

摘要: 由于人类视觉系统感知的亮度与显示器实际显示的亮度为非线性关系, 需要对显示器的视频数据进行伽马校正, 使显示亮度适应人眼的感知需求。本文提出一种针对硅基 OLED 微型显示器的伽马校正方法。首先, 基于人眼视觉的伽马特性, 分析伽马校正的基本原理。然后, 提出对输入视频数据进行位宽拓展达到非线性输出, 并基于查找表和分段可调的线性差值算法实现伽马校正。最后, 根据实际 XGA039 芯片发光情况调试校正参数以达到更优的显示效果。实验结果表明: XGA039 芯片最大发光亮度为 20 000 cd/m², 在伽马取值为 2.2 时, 采用可调非均匀分段获得了较好的显示效果。所提出的伽马校正方法能够使视频图像的显示质量明显改进, 且较传统方式在精度和实现面积上均有一定优势。

关键词: 伽马校正; 硅基 OLED; 微显示; 分段

中图分类号: TP394.1; TN383+.1 **文献标识码:** A **doi:** 10.37188/YJYXS20203508.0825

Gamma correction with adjustable segmentation for OLED-on-silicon microdisplay

HUANG Zhen-xing^{1,2}, HUANG Ran¹, ZHAO Bo-hua^{1*}, SU Chang¹, DU Huan¹(1. *Institute of Microelectronics of the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029, China*;
2. *University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 101408, China*)

Abstract: Since the perceived brightness of human visual system is nonlinear with the actual displayed brightness of the display, gamma correction for the video data of the display is required to adapt the display brightness to the needs of the human eye. This paper presents a gamma correction method for a silicon-based OLED micro-display. Firstly, based on the gamma characteristics of the human visual system, the basic principles of gamma correction are analyzed. Then, the bit width extension for the input video data is proposed to achieve the nonlinear output, and the gamma correction is implemented based on look-up table and segment-adjustable linear difference algorithm. Finally, the correction parameters are adjusted according to the actual XGA039 chip's illumination. The experimental results show that the maximum luminance of the XGA039 chip is 20 000 cd/m², and better display effect is obtained when the gamma value is 2.2 and the adjustable non-uniform segmentation is used. The proposed gamma correction method can significantly improve the display quality, and has certain advantages in accuracy and implementation area compared with the conventional methods.

Key words: gamma correction; oled-on-silicon; microdisplay; segmentation

收稿日期: 2019-12-02; 修订日期: 2019-12-16.

* 通信联系人, E-mail: zhaobohua@ime.ac.cn

1 引言

硅基有机发光二极管(OLED)微型显示器是一种近年来随着 VR/AR 技术的发展而成为显示领域研究热门的新型显示器,将有机发光二极管直接与单晶硅集成电路集成,以单晶硅作为 OLED 发光器件的基底,且利用成熟的 CMOS 工艺完成发光器件的像素驱动和外围驱动系统^[1]。

伽马校正最初起源于阴极射线管(Cathode Ray Tube, CRT)显示器中电光转换的非线性^[2],射线管产生的电子束及其生成的图像亮度与输入电压呈指数的对应关系。而对于 OLED 显示器,发光亮度与流过 OLED 器件的电流是线性的,但实际上人眼视觉系统对于亮度变化的感觉也是非线性的^[3]。伽马校正正是为了克服这种非线性而引入的一种传输函数,在视频流、计算机图形学以及其他成像系统中应用广泛。流行的伽马校正方法有两种:一种是对显示系统的伽马特性进行数字建模,计算出校正后的视频驱动数据,预先存储在存储器中,显示过程中采用查找表法(Look Up Table, LUT)实现图像的伽马校正,该方法为数字校正,但需要占用较大的存储空间^[4];另一种方法是利用驱动电路外围的精密电阻和运算放大器组成灰度级电压产生电路,提供多级参考电压,与显示驱动电路一起实现图像信号的伽马校正,该方法相当于采用了非线性数模转换器(Digital to Analog Converter, DAC)实现,随着灰度级数的增加,额外需要的模拟电路复杂程度也大大增加^[5]。本文基于第一种方法提出适用于硅基 OLED 微显示器的数字伽马校正方法,该校正方法在精度和实现面积上均较传统方法有一定优势,且可以实时根据 OLED 发光情况对显示器进行校正,对于显示器显示质量的提高具有重要意义。

2 伽马校正原理

2.1 显示驱动系统的构成

显示器不同亮度的实现可以主要分为空间灰度调制、时间灰度调制以及幅值灰度调制 3 种方式。空间灰度调制是指从像素单元的发光面积对灰度阶梯进行控制;时间灰度调制是指在单元时

间内控制像素的发光时间长短来对灰度进行控制;幅值灰度调制是通过控制显示器件的驱动电压或驱动电流大小从而控制灰度。我们选择的是通过幅值灰度调制控制 OLED 发光的亮度。图 1 为微显示芯片显示驱动系统的结构^[6]。它主要由视频数据处理模块、线性数模转换器、像素驱动电路以及 OLED 阵列组成。视频数据处理模块接收来自芯片外的视频信号进行处理并产生控制微显示芯片正常工作所需的各种时序信号,DAC 将数字视频信号线性转换成对应的模拟电压,像素驱动电路根据该电压控制 OLED 器件的发光亮度。

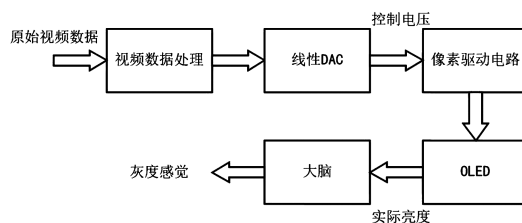


图 1 显示驱动系统的结构

Fig.1 Structure of display driving system

2.2 伽马校正的原理

对于某一灰度级别的显示,视频数据若不进行伽马校正处理,OLED 器件的发光亮度与输入的视频数据的灰度值呈线性关系。而通过人眼视觉系统我们的大脑感受到的灰度级别实际上与发光器件的亮度呈 $1/\gamma$ 的指数关系,即

$$Y = K_1 \cdot L^{1/\gamma}, \quad (1)$$

其中: L 为实际发光亮度, Y 为大脑感受到的灰度级别, K_1 为常数。在低亮度环境中,人眼对亮度变化敏感,能够感知很小的亮度差异;在高亮度环境中,对亮度变化不敏感,亮度值变化较大时,人眼才能分辨,这种特性称为人眼的伽马特性^[7]。因此,大脑感受到的灰度级 Y 与输入视频数据的灰度值 X 也呈 $1/\gamma$ 的指数关系。

为了保证对于均匀变化的灰度级别大脑能够获得均匀变化的亮度感受,需要对原始的视频数据进行伽马校正处理。伽马校正其实是一种为了克服大脑对于亮度变化的非线性感受的一种传输函数,其表达式为

$$G = K_2 \cdot X^\gamma, \quad (2)$$

其中: X 为原始的视频数据, G 为通过伽马校正后的输出视频数据, K_2 为常数。校正后的数据

通过显示器发光的实际亮度为

$$L = C \cdot X^\gamma, \quad (3)$$

将式(3)代入式(1)则有:

$$Y = K_3 \cdot X, \quad (4)$$

上式 C 和 K_3 均为常数。因此通过对原始视频数据进行伽马校正处理,使得我们的大脑感受到的灰度级别与视频数据的灰度级别为线性关系,达到了我们的校正目的。上述伽马校正的推导过程如图 2 所示。

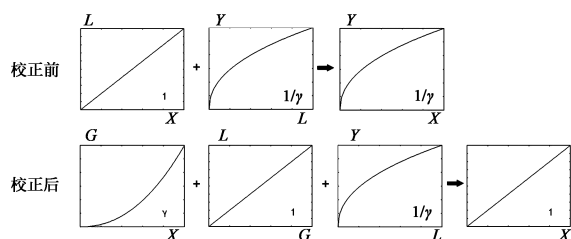


图 2 伽马校正的原理

Fig.2 Principle of gamma correction

3 分段可调伽马校正的实现

3.1 位宽拓展实现非线性

基于前面的显示驱动系统,由于 DAC 的参考电压确定,最大灰度数据对应的 OLED 驱动电压也是确定的。也就是说,对于伽马校正前后的两组数据,对应的最小驱动电压和最大驱动电压是相同的。如果想完成从输入数据到输出数据的非线性映射,需要对输出数据进行位宽拓展^[8],则低位宽数据的中间码值可以对应的是多个高位宽数据的中间码值,如图 3 所示。但是要求低位宽数据与高位宽数据之间的映射无交叉,通过这样的映射关系,可以保证随着输入数据的递增输出数据也是递增的,但是增加的幅度是可以调整的,这样就实现了非线性映射。

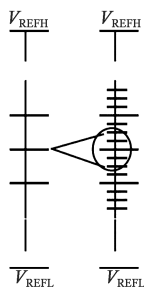


图 3 位宽拓展示意图

Fig.3 Diagram of bit width extension

下面用 4 bit 映射到 6 bit 的数据来说明如何通过位宽拓展来实现非线性。4 bit 数据与 6 bit 数据之间的一一映射如表 1 所示。图 4 所示的曲线横轴表示 4 bit 输入数据,纵轴表示 6 bit 输出数据,拓展的位宽越多,输出曲线能够更加平滑。从图 4 可以看到通过位宽拓展可以很好地实现非线性。

表 1 4 bit 数据到 6 bit 数据映射关系

Tab.1 Mapping relations between 4 bits and 6 bits data

4 bit 数据	6 bit 数据	4 bit 数据	6 bit 数据
0	0	8	15
1	1	9	19
2	2	10	24
3	3	11	30
4	4	12	37
5	6	13	44
6	9	14	52
7	12	15	63

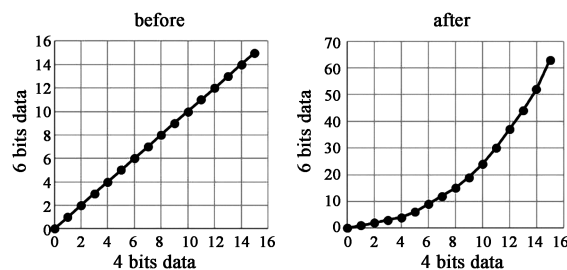


图 4 4 bit 数据到 6 bit 数据映射曲线

Fig.4 Mapping curves of 4 bits and 6 bits data

3.2 可调分段拟合伽马曲线

对于我们的一款 XGA039 单色 OLED 微显示芯片,分辨率为 1024×768 ,输入数据为 8 bit,表示的灰度值范围为 $0 \sim 255$ 。我们将输入数据进行位宽拓展到 10 bit 来实现非线性。通过查找表的方式完成低位宽数据到高位宽数据的映射,是实现伽马校正最简单直接的方式^[9-10]。但是若对 256 个灰度级数据进行查找表操作,且输出为 10 bit,则实际需要的 RAM 存储空间的大小为 256×10 bit,即需要 256 个位宽为 10 bit 的寄存器,这对于芯片实现来说太过于耗费面积^[11]。若将伽马校正曲线用 17 个点来拟合,相邻两点之间

的曲线近似为直线,就得到了 16 段线性分段函数。由于通过位宽拓展获得的 10 bit 数据的最大值和最小值已经确定,即对应 OLED 的最大发光亮度和最小发光亮度,所以仅需要通过设置中间的 15 个点来控制伽马曲线的形状。

由于人眼的伽马特性,在低亮度环境下对灰度级变化敏感,在高亮度环境下对于灰度级变化不敏感,我们希望在低亮度区域用更多的灰度级来实现拟合,达到更高的精度。基于这种考虑,在选择上述的用于拟合曲线的 15 个点时,可以不以等间距选择相邻两点对应的输入灰度级,而是在低灰度级区域选择更多的点,高灰度级区域选择少数几个点。使用 I²C 总线配置模块内部寄存器的值来选择这 15 个点在伽马曲线中的位置,这样使得伽马曲线拟合的分段情况可调,在芯片制作完成后可以根据实际 OLED 的发光情况调整伽马曲线的形状,以此获得更好的显示效果^[12]。

上述 15 个中间灰度级对应的输出值通过 LUT 操作获得;而对于相邻两点之间的灰度级,首先需要判断该点位于哪两点之间,然后通过线性插值计算获得输出,计算公式为

$$K_{OUT} = K_{LUT}(n) + (K_{IN} - X(n)) \cdot \frac{K_{LUT}(n+1) - K_{LUT}(n)}{X(n+1) - X(n)}, \quad (5)$$

其中 K_{IN} 为 8 bit 输入数据, K_{OUT} 为 10 bit 输出数据, $X(n)$ 与 $X(n+1)$ 为 K_{IN} 相邻两点的输入灰度值, $K_{LUT}(n)$ 与 $K_{LUT}(n+1)$ 为这两点对应输出值,这 4 个参数值均通过 I²C 总线配置。这样的插值计算不仅满足实际伽马校正的精度需求,且需要的寄存器数量仅为 15 个点所对应输入和输出值的数据位宽,大幅减小了实现面积。

4 实验调试与结果

4.1 实验调试过程

根据式(3)得发光亮度 L 与原始视频数据 X 的 γ 幂次成正比关系,比例系数为 C 。 γ 的取值一般在 1~4 之间,取 1 意味着没有校正,输入输出保持直线关系,图像质量没有改善。取值越大,图像的暗区灰度等级越细腻,黑白反差也变大,但 γ 取值过大图像整体质量下降,所以一般取 1.6~3.4 之间,实践中取 1.6、2.2、2.8、3.4 这 4 个值进行调试比较合适^[13]。对于一个确定的 γ 取值,调

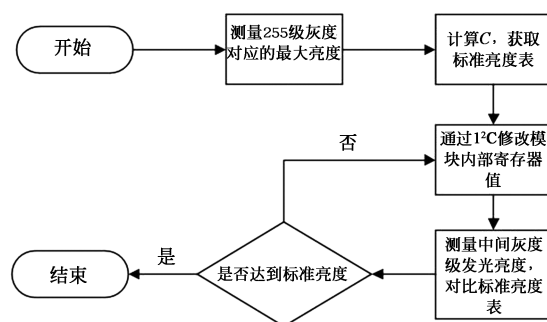


图 5 伽马校正调试流程

Fig.5 Gamma correction debugging process

试过程如图 5 所示。

4.2 结果

针对上述的调试过程,我们的 XGA039 OLED 微显示器实际发光的最大亮度为 20 000 cd/m^2 , γ 取值分别为 1.6、2.2、2.8、3.4 四个值时的亮度 L 与原始数据灰度值 X 的关系曲线如图 6 所示。根据实际的显示情况,在 $\gamma=2.2$ 时获得最适应人类视觉系统感知的显示效果。

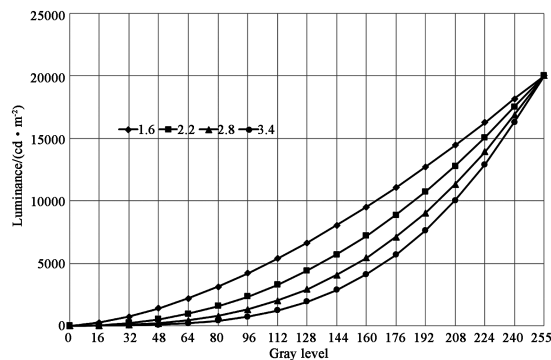


图 6 不同 γ 取值的伽马曲线

Fig.6 Gamma curves with different γ

上面的 4 簇曲线是在将伽马曲线均匀分段的情况下测得的,为了更好地拟合 $\gamma=2.2$ 时的曲线,采用了可调分段拟合的方法,即在低灰度级选择更多的点。具体分段方式如图 7 所示,低灰度级区域相邻两点对应输入灰度级的间距为 8 或 16,高灰度级区域相邻两点对应输入灰度级的间距为 16 或 32,即中间 15 个灰度级的选择为 8, 16, 24, 32, 40, 48, 64, 80, 96, 112, 128, 144, 160, 192, 224, 测试实际校正数据如表 2 所示,通过伽马校正正在低亮度区域对应了更高的灰度级。这样,如图 8 曲线在低灰度区域的放大图所示,在人眼更为敏感的低亮度区域达到了更高的拟合精

度。当显示一张包含 256 个灰度级逐渐变化的图片,通过这种方法校正前后芯片的显示效果对比如图 9 所示,校正之后灰阶的变化明显,更适应人眼感知的需求。

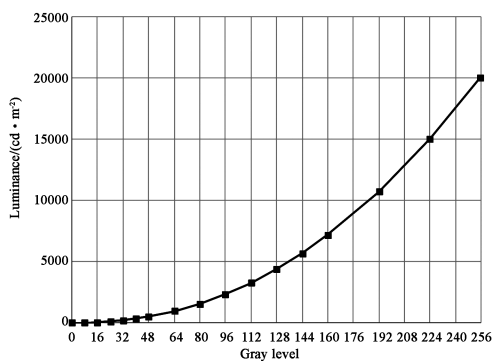


图 7 $\gamma=2.2$ 时采用可调分段拟合的伽马曲线

Fig.7 Gamma curve with adjustable segmentation of $\gamma=2.2$

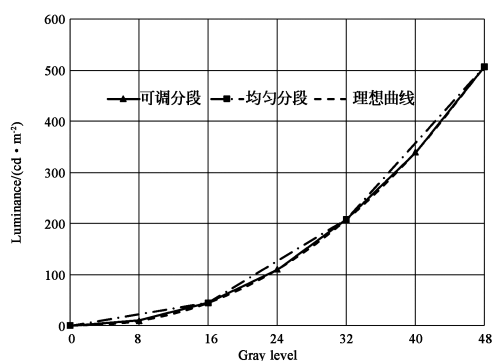


图 8 低灰度区域伽马曲线放大图

Fig.8 Magnified view of gamma curve in low gray level region

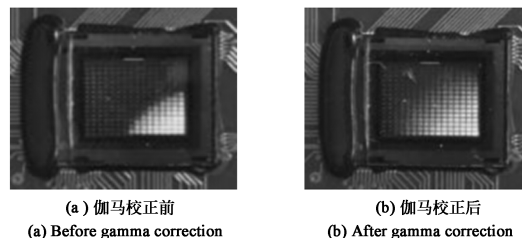
表 2 灰度级-亮度测试数据

Tab.2 Gray-luminance test data ($\text{cd} \cdot \text{m}^{-2}$)

灰度级	校正前亮度	校正后亮度
0	0	0
8	627	10
16	1 255	45
24	1 882	110
32	2 510	208
40	3 137	340
48	3 765	507

续 表

灰度级	校正前亮度	校正后亮度
64	5 020	956
80	6 275	1 561
96	7 529	2 332
112	8 784	3 273
128	10 039	4 390
144	11 294	5 689
160	12 549	7 173
192	15 059	10 713
224	17 569	15 038
255	20 000	20 000



(a) 伽马校正前 (b) 伽马校正后
(a) Before gamma correction (b) After gamma correction

图 9 伽马校正前后对比

Fig.9 Comparison before and after the gamma correction

5 结 论

本文提出了一种适用于硅基 OLED 微型显示器的数字伽马校正方法,用于改善人眼视觉系统对于亮度感知的非线性。该非线性函数通过分段线性函数拟合而成,基于查找表和线性插值算法实现,并且通过 I²C 总线配置内部寄存器值,根据实际发光情况做到分段可调,可在低亮度区域获得更高的校正精度以适应伽马特性。相对于传统的数字查找表法不仅提高了在低灰度区域的精度而且大大节省了实现面积;而相对于使用非线性 DAC 的模拟校正方法,外围模拟电路的复杂程度也得到降低。在使用 XGA039 芯片进行实际发光调试下,测得的最大发光亮度为 20 000 cd/m^2 ,当伽马系数取值为 2.2 时,分段方式采用可调非均匀分段时获得了较为适应人眼视觉系统感知的显示效果。

参 考 文 献:

- [1] 张积梅, 吴玉琦, 刘畅. 硅基 OLED 微显示技术的优势与发展现状 [J]. 集成电路应用, 2012(9): 20-22.
ZHANG J M, WU Y Q, LIU C. Advantages and development status of silicon-based OLED microdisplay technology [J]. *Application of IC*, 2012(9): 20-22. (in Chinese)
- [2] LEE D U, CHEUNG R C C, VILLASENOR J D. A flexible architecture for precise gamma correction [J]. *IEEE Transactions on Very Large Scale Integration (VLSI) Systems*, 2007, 15(4): 474-478.
- [3] KANG S J, DO H C, CHO B G, *et al.* Improvement of low gray-level linearity using perceived luminance of human visual system in PDP-TV [J]. *IEEE Transactions on Consumer Electronics*, 2005, 51(1): 204-209.
- [4] 罗菊华, 杨传仁, 张继华, 等. 基于 FPGA 的平板显示器件驱动电路的设计 [J]. 液晶与显示, 2006, 21(6): 680-685.
LUO J H, YANG C R, ZHANG J H, *et al.* Design of driving circuit for flat panel display based on FPGA [J]. *Chinese Journal of Liquid Crystals and Displays*, 2006, 21(6): 680-685. (in Chinese)
- [5] WANG T M, LI Y H, KER M D. On-glass digital-to-analog converter with gamma correction for panel data driver [C]//*Proceedings of 2008 15th IEEE International Conference on Electronics, Circuits and Systems*. St. Julien's, Malta: IEEE, 2008: 202-205.
- [6] 赵博华. 硅基微显示驱动电路的研究 [D]. 北京: 中国科学院大学, 2013.
ZHAO B H. Research of on-silicon microdisplay driving circuit [D]. Beijing: University of Chinese Academy of Sciences, 2013. (in Chinese)
- [7] 戴亚翔. TFT LCD 面板的驱动与设计 [M]. 北京: 清华大学出版社, 2008: 137-138.
DAI Y X. *Design and Operation of TFT LCD Panels* [M]. Beijing: Tsinghua University Press, 2008: 137-138. (in Chinese)
- [8] 于炎宏. AMOLED 显示屏数字辅助 gamma 校正系统的研究 [D]. 成都: 电子科技大学, 2016.
YU Y H. Research of the AMOLED panel gamma calibration system based on the digital assistant method [D]. Chengdu: University of Electronic Science and Technology of China, 2016. (in Chinese)
- [9] CAO Y, BERMAK A. An analog gamma correction method for high dynamic range applications [C]//*Proceedings of 2011 IEEE International SOC Conference*. Taipei, China: IEEE, 2011: 318-322.
- [10] 杨虹, 彭俊彪, 曹镛. OLED/LCD 器件中的 γ 校正 [J]. 发光学报, 2004, 25(2): 207-211.
YANG H, PENG J B, CAO Y. Gamma correction in OLED/LCD [J]. *Chinese Journal of Luminescence*, 2004, 25(2): 207-211. (in Chinese)
- [11] 耿卫东, 刘会刚, 刘艳艳, 等. 场序彩色 LCoS 智能伽玛校正电路设计 [J]. 液晶与显示, 2010, 25(5): 713-717.
GENG W D, LIU H G, LIU Y Y, *et al.* Circuit design of intelligent Gamma correction for FSC-LCoS [J]. *Chinese Journal of Liquid Crystals and Displays*, 2010, 25(5): 713-717. (in Chinese)
- [12] TAI Y H, YUN L J, SHI J S, *et al.* A method for AM-OLED Gamma correction [J]. *Opto-Electronic Engineering*, 2012, 39(1): 131-134.
- [13] 续天翔. LED 图像显示屏 Gamma 校正及在 FPGA 中的实现 [J]. 机械管理开发, 2008, 23(6): 187-188.
XU T X. LED image display Gamma correction in the realization of FPGA [J]. *Mechanical Management and Development*, 2008, 23(6): 187-188. (in Chinese)

作者简介:



黄振兴(1994—), 男, 江西吉安人, 硕士研究生, 2017 年于北京交通大学获得学士学位, 主要从事微显示驱动芯片的研究。E-mail: huangzhenxing@ime.ac.cn



赵博华(1988—), 男, 湖南邵东人, 博士, 2013 年于中国科学院微电子研究所获得博士学位, 研究方向为微显示驱动芯片的设计与研发。E-mail: zhaobohua@ime.ac.cn