

基于STC的微像源驱动系统*

丁逸帆¹, 张宇宁^{1**}, 丁 进^{1,2}

(1. 东南大学 电子科学与工程学院, 南京 210096; 2. 中国电子科技集团公司第五十五研究所, 南京 210016)

摘 要: 选用半导体LT7911D以及LT9211芯片作为显示桥接芯片, 采用Type-C接口集成供电、数据传输、音视频信号传输功能, 调试简便, 工艺成熟, 无需占用大量面积, 有利于整个系统的小型化, 实现了一种基于STC单片机的微像源驱动系统以及显示驱动的国产化芯片方案。同时采用一种快速自适应Gamma校正算法, 提高了微像源显示效果, 使其更好应用于头戴式显示领域。

关键词: 微型有机发光二极管; 头戴式; 国产化芯片; 伽马校正

中图分类号: TN312⁺.8 **文献标志码:** A **文章编号:** 1005-488X(2023)03-0201-06

Microimage Source Driver System Based on STC

DING Yifan, ZHANG Yuning, DING Jin

(1. School of Electronic Science and Engineering, Southeast University, Nanjing 210096, CHN; 2. The 55th Research Institute of China Electronics Technology Group Corporation, Nanjing 210016, CHN)

Abstract: LT7911D and LT9211 chips were selected as display bridge chips, which integrated power supply, data transmission, and audio-video signal transmission functions through Type-C interface. The debugging was easy, the process was mature, and it did not require a large area, which facilitated the miniaturization of the entire system. A micro image source driver system based on the STC MCU was implemented and the localization of display driver chips was achieved. At the same time, a fast adaptive Gamma correction algorithm was used to improve the display effect of micro image source and could make it better applied to the field of head mounted display.

Key words: Micro OLED; head-mounted; domestic chip; Gamma correction

引 言

近年来, 元宇宙和数字经济的蓬勃发展为增强

现实和虚拟现实行业带来了无限机遇。作为新一代显示技术的代表, AR越来越频繁的出现在人们的视野。大多数的AR产品都采用头戴式显示, 小

收稿日期: 2023-03-22

* 基金项目: 国家自然科学基金(62105060)

作者简介: 丁逸帆(1999—), 男, 硕士研究生, 研究方向为全息光波导显示像源驱动优化设计; (E-mail: 220211595@seu.edu.cn)

丁 进(1982—), 男, 博士研究生, 研究方向为增强现实显示驱动设计与实现;

张宇宁(1981—), 男, 教授、博士生导师, 主要从事增强现实显示技术、视觉感知与交互、全息波导与光场显示、光感知与光计算等方面的研究。(E-mail: zyn@seu.edu.cn)

** 通讯作者

型化是 VR/AR 光学的发展趋势,这就对设备的成像效果、整体质量以及设备尺寸等方面都提出了较高的要求^[1]。

微像源是 AR 设备中的关键组成部分,不同的光学设计会对相应微显示器提出不同的要求,硅基液晶(LCoS)或者数字光处理技术(DLP)分别用于行业标杆产品微软 Hololens 的第一代和第二代。但是两者缺陷明显,其中 LCoS 显示技术对比度低,功耗高,同时 LCoS 的图像刷新频率很大程度上受到液晶响应时间的限制^[2]。DLP 技术设计复杂,体积大,成本高,且应用技术主要被 TI 德州仪器公司垄断^[3]。相比之下,主动式发光设备微型有机发光二极管(Micro OLED)采用单晶硅晶圆作为有源驱动背板,更容易实现高 PPI(像素密度)、高集成度,同时具有高亮度、小尺寸、高对比度以及低功耗等优点,非常适合作为 AR 设备的微像源。

数据输入主要面临的困难是合适的输入视频信号较少并且国内高分辨率显示产品的解码芯片基本依靠进口^[4]。所以文中采用国产芯片 LT7911 将 DP 信号转换为 mipi-dsi 信号,采用 LT9211 将 mipi-dsi 信号转换为 BT1120 YCbCr 4:2:2 信号。选择 LT 系列的主要原因是 LT 系列的芯片工艺成熟、产量稳定,有较为完善的技术支持,适用于 AR、VR 显示应用。LT7911D 同类国产芯片 ANX7530 不具备 CC(逻辑检测与控制)和 PD(Power Delivery)功能,需要与其他芯片协同工作,使得成本增

加,不利于系统小型化。LT9211 同类国产芯片例如 ZA7783,市场普及率相对较低,ICN6211 配置复杂,芯片 IO 口较少。故而国产同类产品中 LT7911D 和 LT9211 更具优势,适合应用于 AR 显示设备。

AR 显示设备区别于传统显示设备,在近眼显示图像的同时不能遮挡现实场景,具有“透视”功能^[5],故对微像源对比度及显示效果提出极高的要求。文章采用了一种快速自适应 Gamma 校正算法对微像源亮度进行调节,显著提高图像的对比度和表现力,优化了显示效果^[6]。

1 视频传输方案

随着显示技术的发展以及市场的需求提升,多媒体接口不仅需要具有高清晰度、高分辨的优点,而且开始追求小尺寸和多功能,驱动单元 PCB 需要满足集成化、小型化以及低功耗的特点。HDMI 高清多媒体接口是传统显示驱动的常用接口,如图 1 所示,其传输带宽可达 18 Gbit/s,可以传输高分辨率、高刷新率的视频信号,但是无法对电源信号以及控制信号进行传输,传统方案通常将现场可编程逻辑门阵列(FPGA)作为控制核心。FPGA 的图像处理能力和运算速度极具优势,但是需要占用大量的面积,不适合应用于 AR 设备,因此文中不采用这种方法^[7-8]。

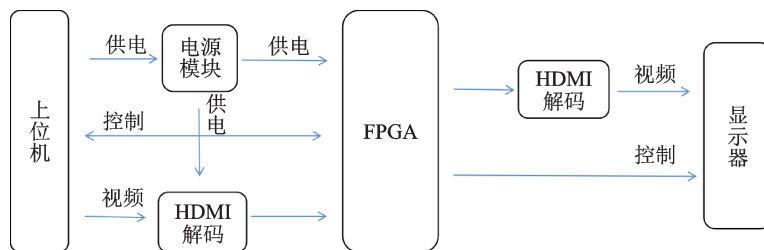


图1 传统的视频传输方案

Fig.1 Traditional video transmission scheme

文中采用 Type-C 作为信号的接收口,利用 MCU 和视频解码芯片来实现视频解码和显示控制。Type-C 接口上可以集成 USB 信号、DP 信号以及电源信号,应用在小型化设备上非常合适。图 2 为驱动显示方案的示意图。

LT7911D 是一款高性能 DP1.2 至 MIPI DSI/CSI 芯片,适用于 VR/智能手机/显示应用。文中采用四通道 DP 信号输入,四通道 mipi 信号输出。使用龙讯公司提供的固件,通过 IICDebugTools 软件,以硬件 IIC 的方式烧录进电路板。

LT9211 是一个高性能的转换器,可以在 MIPI DSI/CSI-2/双端口 LVDS 和 TTL 之间互转换。文中采用四通道 MIPI 信号输入,BT1120 YCbCr 4:2:2 信号输出。图 3 及图 4 为显示桥接芯片原理图连接。

本系统选用的微像源为国兆光电的单绿色微显示器,型号为 OLP039XGG01,是一种顶发射、高效率、有源矩阵驱动的产品,最高亮度可达 12 000 cd/m²。分辨率为 1 024×768,可视大小为 0.990 6 cm,支持 16 位的 YCbCr 以及 24 位的 RGB

表 1 微像源系统芯片规格及功能

Tab.1 Specifications and functions of micro image source system chip

芯片	厂家	尺寸	功能
LT7911D	龙讯半导体	7.5 mm×7.5 mm	DP 信号转 mipi 信号
LT9211	龙讯半导体	7.5 mm×7.5 mm	mipi 信号转 YCbCr 信号
OLP039XGG01-单绿色	国兆光电	7.99 mm×5.99 mm	Micro OLED 像源
STC8H3K64S2	宏晶科技	9.5 mm×2.2 mm	驱动单元控制核心

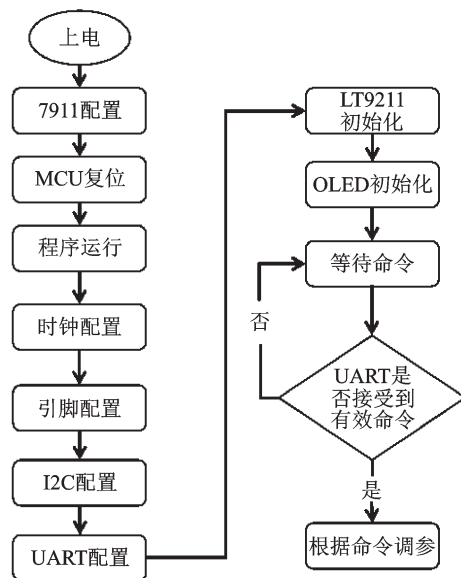


图 5 单片机代码模块流程图

Fig.5 Flow chart of MCU

3 微像源显示效果展示及优化

3.1 实验过程

文章选用国兆光电 OLP039XGG01 作为微显示器,其中内置 8bit 寄存器 12H-77H,两两为一组,共 51 组 Gamma 寄存器对应“R”,“G”,“B”三色通道,即每个通道采用 17 组 Gamma 寄存器,采用模拟的 Gamma 校正方法配置。由于使用的是单绿色微像源,实际三通道 17 组寄存器配置相同,分别对应 0~255 灰度值中 17 个线性赋值灰度值点的数据输入。寄存器的值也就是输出的视频数据,数值越大,亮度越高^[9-10]。

PC 端显示的画面通过 Type-C 的连接线传递给微像源进行显示。如图 6,左图为 PC 端显示图像,右图为微像源显示图像,为了方便拍摄采用低灰度值纯色背景图片。

点亮屏幕后发现微像源显示效果不理想,具体表现为对比度较低。造成这种现象的原因是微像源内部的 Gamma 查找表(LUT)寄存器的值设置的不合理,使得亮度在灰度为 0 的时候比较高。为了解决这个问题,引入了 Gamma 校正。通过模拟方



图 6 Micro OLED 显示效果图

Fig.6 Effect picture of Micro OLED

法进行位宽拓展^[11],从而实现 Gamma 校正的非线性映射。整个算法的具体步骤如下:

S1:将 34 个 Gamma 寄存器线性赋值,将 8bit 灰度值均匀映射到 10 bit 的寄存器值 R_1 ;

S2:将一系列灰度图输入微像源,灰度值为 G_1 ,用亮度计测量微像源显示的亮度 L_1 ;

S3:将亮度作为自变量,寄存器值作为因变量,拟合“亮度-寄存器值”关系式 $R=f(L)$;

S4:根据关系式 $R=f(L)$ 与标准 Gamma 曲线对照,修改 Gamma 寄存器的值,再重新绘制实测 Gamma 曲线,若结果不理想则使用新数据重新拟合关系式。重复该步骤,多次校正直至获得精确关系式 $R=f(L)$;

S5:输入关系式 $R=f(L)$ 进 MCU;

S6:确定 γ 值,由公式(1)得到 17 个灰度值点亮度 L_2 ,即希望微像源所显示的亮度;

$$L_2 = 100 \times \left(\frac{G}{255} \right)^\gamma \quad (1)$$

S7:将 L_2 输入 MCU 中关系式,得到对应灰度值点上的恰当寄存器值 R_2 ,将其配置进相应的 Gamma 寄存器中。

3.2 数据处理

首先对微像源输入 33 张灰度图片,其灰度值分别为 0、8、16……255。在不改变寄存器数值的情况下,用亮度计 CS-200 分别测量 33 张图片在微像源上的亮度。通过 MATLAB 处理亮度数据以及灰度值的关系。

如图 7 所示,灰度信息 G 为自变量,亮度信息 L 为因变量,红色曲线为微像源实测 Gamma 曲线,黑

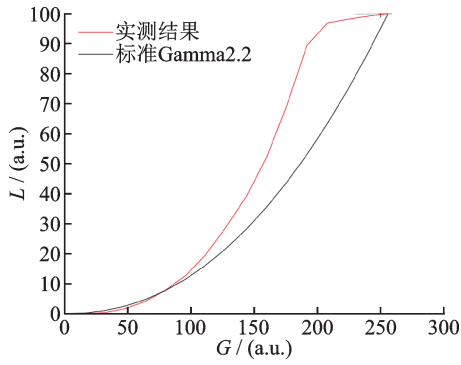


图7 实测原始 Gamma 曲线和标准 Gamma 曲线对比图
Fig.7 The comparison diagram of measured Gamma curve and standard Gamma curve

色曲线表示标准 Gamma 曲线,标准 Gamma 曲线的 Gamma 值取 2.2。观察曲线可知,实测 Gamma 曲线与标准 Gamma 曲线相差较大,整体亮度偏高导致图像的对比度降低,所以采取 Gamma 校正是非常必要的。

通过 Gamma 校正算法实验验证,二次校正后得到较为理想的实验数据。如图 8 所示,利用 MATLAB 软件处理实验数据,其曲线拟合工具“Curve Fitting Tool”可以对亮度值 L 及寄存器值 R

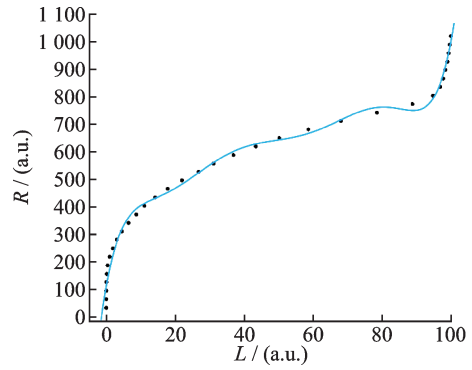


图8 直接多项式拟合所得 $R=h(L)$ 曲线
Fig.8 $R=h(L)$ curve obtained by direct fitting

进行关系式拟合。反复尝试后发现 8 阶多项式拟合结果最为准确,拟合优度参数“ R 方”可达 0.993 8,但是“和方差 SSE”却高达 17 686,显然无法采信该拟合关系式。这是由于前段低亮度采集的点误差较大,前段曲线和后段曲线过陡压缩亮度信息所造成。通过将曲线分成前中后三段进行分段拟合,其中前段和后端都对亮度数据取自然对数来降低斜率。图 9 为反复调整后拟合曲线,拟合所得公式如式(2)。

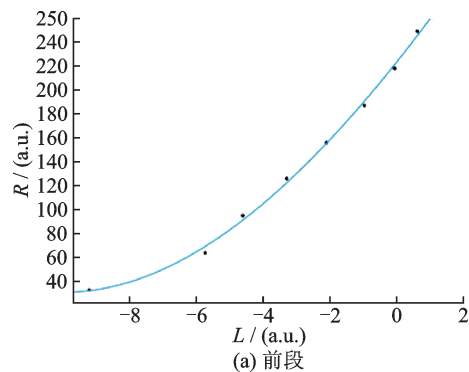
$$R = \begin{cases} 0 & L = 0 \\ -0.03698 \ln(L)^3 + 1.209 \ln(L)^2 + 35 \ln(L) + 223.3 & 0 < L < 1.8542 \\ -1.428 \times 10^{-5} L^4 + 0.003692 L^3 - 0.3544 L^2 + 18.6L + 229.7 & 1.8542 \leq L < 93.8361 \\ -5.011 \times 10^5 \ln(L)^3 + 6.915 \times 10^6 \ln(L)^2 - 3.18 \times 10^7 \ln(L) + 4.874 \times 10^7 & 93.8361 \leq L < 100 \\ 1023 & L = 100 \end{cases} \quad (2)$$

基于分段拟合的方法,各区间拟合优度均达 0.999,和方差控制在 40 以内,考虑到寄存器值 0~1023,可以接受。利用 C 语言代码实现公式(1),将公式(2)写入 MCU,让公式(2)在 MCU 中完成自动映射。这样只需调整线性赋值时输入的 γ 值便可直接完成 Gamma 校正,大大提高灵活性和精确度。图 10 给出了 γ 取 1.6、2.2 以及 3.2 时所测曲线和标准曲线对比图。图 11 给出了 Gamma 校正前后效果图,微像源图像灰度值从上到下逐渐减小。

4 总结

提出了一种基于 STC 单片机的微像源驱动系

统,采用国产 LT7911D 以及 LT9211 显示桥接芯片对视频信号进行转换,实现 DP 信号到 BT1120 YCbCr 4:2:2 的转化,实现了硬件方案的国产化,有利于 AR 设备的小型化。并且引入一种快速自适应 Gamma 校正,有效提升了最终显示图像的效果。



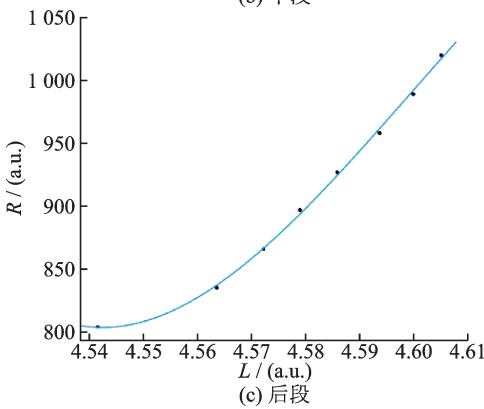
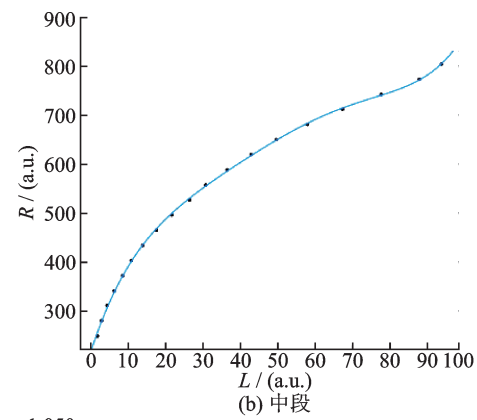


图9 改进后多项式拟合的 $R=h(L)$ 曲线
Fig.9 The modified $R=h(L)$ curves

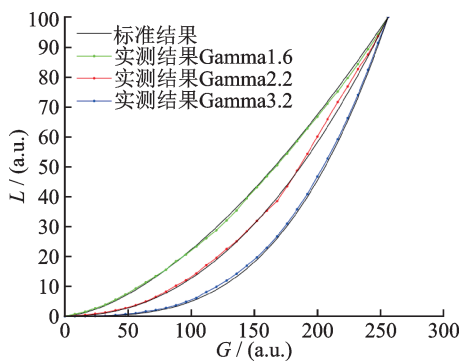


图10 不同Gamma值曲线对比图

Fig.10 The comparison diagram of the curves with different values of Gamma

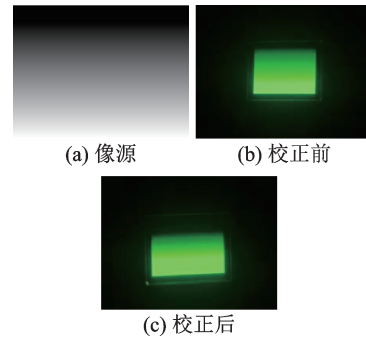


图11 Gamma校正结果对比图

Fig.11 Comparison diagram of Gamma correction results

参 考 文 献

- [1] Shahram I. The reality of mixed reality[C]. Spatial User Interaction, New York, USA, 2016: 1-2.
- [2] 梁宇华, 朱樟明. 硅基液晶(LCoS)微显示技术[J]. 微纳电子与智能制造, 2020, 2(2): 73-79.
- [3] Peng C, Zhang Z, Zou J, et al. A high-speed exposure method for digital micromirror device based scanning maskless lithography system[J]. Optik, 2019, 185: 1036-1044.
- [4] 丁慧敏. OLED显示屏驱动芯片视效优化设计与研究[D]. 西安:西安电子科技大学, 2021.
- [5] 刘 昇. 彩色全息波导显示系统中的关键技术研究[D]. 南京:东南大学, 2019.
- [6] 刘 状, 丁 进, 宋 文, 等. 基于STM32的Micro OLED快速自适应Gamma校正[J]. 光电子技术, 2022, 42(3): 169-175.
- [7] 余 乐, 李任伟, 王 瑶, 等. 综述:面向SoC-FPGA的开源处理器[J]. 电子学报, 2018, 46(4): 992-1004.
- [8] 杨海钢, 孙嘉斌, 王 慰. FPGA器件设计技术发展综述[J]. 电子与信息学报, 2010, 32(3): 714-727.
- [9] Tai Y H, Yun L J, Shi J S, et al. Design of AM-OLED Gamma correction system based on the LUT[C]. 中国光学学会2011年学术大会, 中国深圳, 2011: 107.
- [10] 徐海涛, 黄嵩人, 陈弈星. 基于FPGA的LCoS微显示器的数字伽马校正[J]. 单片机与嵌入式系统应用, 2020, 20(5): 7-10.
- [11] 邵永航, 云利军, 石俊生, 等. 主动式有机发光显示器的伽马校正[J]. 光电工程, 2012, 39(1): 131-134.