

基于嵌入式Android的LED智能玻璃显示设计

熊木地，郭俞君，张坤，李璿

引用本文:

熊木地, 郭俞君, 张坤, 等. 基于嵌入式Android的LED智能玻璃显示设计[J]. 液晶与显示, 2021, 36(2): 287–292.

XIONG Mu-di, GUO Yu-jun, ZHANG Kun, et al. Design of LED smart glass display based on embedded Android[J]. *Chinese Journal of Liquid Crystals and Displays*, 2021, 36(2): 287–292.

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.37188/CJLCD.2020-0201>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

LED智能玻璃映射系统设计

Design of mapping software for LED smart glass display

液晶与显示. 2020, 35(10): 1019–1025 <https://doi.org/10.37188/YJYXS20203510.1019>

嵌入式LED智能玻璃显示屏控制系统设计

Design of LED smart glass display and control system based on embedded system

液晶与显示. 2020, 35(11): 1150–1155 <https://doi.org/10.37188/YJYXS20203511.1150>

基于 Android 控制的 LED 点阵显示设计与实现

Design and implementation of matrix LED display based on Android control

液晶与显示. 2016, 31(11): 1064–1069 <https://doi.org/10.3788/YJYXS20163111.1064>

基于4G-LTE的脱机LED控制系统的设计

Design of off-line led control system based on 4G-LTE

液晶与显示. 2018, 33(1): 55–60 <https://doi.org/10.3788/YJYXS20183301.0055>

基于 ARM+FPGA 的影像交互与显示系统设计

Design of image interaction and display system based on ARM+FPGA

液晶与显示. 2015(6): 979–986 <https://doi.org/10.3788/YJYXS20153006.0979>

文章编号:1007-2780(2021)02-0287-06

基于嵌入式 Android 的 LED 智能玻璃显示设计

熊木地*, 郭俞君, 张 坤, 李 璘

(大连海事大学 信息科学技术学院, 辽宁 大连 116026)

摘要: 本文提出将 Android 嵌入式技术和互联网技术相结合的 LED 智能玻璃显示设计, 实现用户与显示屏之间实时互动。本系统采用搭载 Android 操作系统的 CPU+FPGA 双核架构, 通过开发 Android 系统应用软件, 使用无线网来实现 LED 智能玻璃显示屏与移动终端的网络通信。在 Android 系统源码的基础上, 增加了采用“总线-设备-驱动”模型构建的 LCD 显示驱动以及映射数据发送驱动, 采用设备树描述设备信息, 减少了大量代码冗余, 并在 Android 系统中编写 JNI 方法供 Android 应用程序调用。采用 Java 语言进行 Android 系统应用软件开发。使用 Socket 网络编程来实现 LED 智能玻璃显示屏与移动终端的网络通信。此系统具有较好的易用性和可移植性, 给产品应用带来了方便, 提高了施工效率。

关键词: LED 智能玻璃显示; 嵌入式 Android; 驱动移植; 设备树; Socket 网络编程

中图分类号: TN873 **文献标识码:** A **doi:** 10.37188/CJLCD.2020-0201

Design of LED smart glass display based on embedded Android

XIONG Mu-di*, GUO Yu-jun, ZHANG Kun, LI Jin

(*Information Science and Technology College,
Dalian Maritime University, Dalian 116026, China*)

Abstract: The LED smart glass display design is proposed, which combines Android embedded technology and Internet technology, realizes the real-time interaction between people and screen. This system adopts CPU+FPGA dual-core architecture equipped with Android operating system. Through the development of Android system application software, the wireless network is used to realize the communication between the LED smart glass display and the mobile terminal. Based on the Android system source code, this system adds the LCD display driver and mapping data transmission driver using the “bus-device-driver” model. Device tree is used to describe device information, which reduces a lot of code redundancy. JNI method is written in Android system for Android application program to call. Java language is used for Android system application software development. Socket network programming is used to realize the network communication between LED smart glass display and mobile ter-

收稿日期: 2020-07-30; 修订日期: 2020-09-26.

基金项目: 中央高校基本科研业务费专项基金(No.01770327); 中国海事局科技专项基金(No.0716-13400003N008)

Supported by Special Fund for Basic Scientific Research Business Expenses of Central Universities(No. 01770327); Science and Technology Fund of China Maritime Safety Administration (No. 0716-13400003N008)

* 通信联系人, E-mail: xiongmudi@qq.com

minal. This system has good ease of use and portability, which brings convenience to product application and improves construction efficiency.

Key words: LED smart glass display; embedded Android; driver migration; device tree; socket network programming

1 引言

LED 智能玻璃显示屏是利用特殊工艺将单个 LED 点光源以阵列形式封装在两片玻璃中间, 形成安全夹层结构的 LED 平板发光玻璃产品, 其具有很强的光线通透性, 能满足安装场所的特别光线需求, 很好地与周围建筑环境相融合^[1-3]。

国外有许多研究机构 and 高校都开展了对 LED 智能玻璃的显示研究工作, 并取得了实质性的成果, 然而国内对于 LED 智能玻璃显示技术的研究还处于初步阶段^[4], 没有很完善的技术研究成果, 主要还处于对 LED 智能玻璃显示屏制作创新的研究阶段, 对于 LED 智能玻璃显示控制系统的研究还比较少。

与传统 LED 显示屏相比, LED 智能玻璃其内部的 LED 点阵采用蛇形连接形式, 在不同应用场合下 LED 智能玻璃其内部的 LED 点阵数量和排列方式不同, 所以需要将视频数据进行重新排序后再发送至后续驱动电路驱动 LED 智能玻璃显示屏显示, 大规格 LED 智能玻璃显示通常采用多块小规格显示屏模块拼接实现。

除此之外, 当前 LED 智能玻璃显示控制系统大多不能满足远程信息实时发布的需要, 而且其显示信息输入大多通过 DVI 等数字通信接口与 PC 机连接, 实时、点对点地显示 PC 机显示器显示的内容, 这样的方法需要外接一个 PC 机, 不够便利, 因此本文提出基于 Android 操作系统的 LED 智能玻璃显示设计。

LED 智能玻璃显示屏与移动终端的结合, 不仅实现了人与屏之间实时互动, 大为拓展了 LED 智能玻璃显示屏的应用领域, 而且系统的集成化也大量地节省了人力资源、财务支出、降低了社会的资源浪费, 具有良好的收益前景^[5]。

2 系统硬件架构

2.1 CPU+FPGA 双核架构

由于不同规格 LED 智能玻璃其内部的 LED 点阵排列方式不同, 所以需要将视频数据进行重新排序再发送至后续驱动电路^[6]。系统硬件架构图如图 1 所示, 本系统主要包括带有 GPU (Graphics Processing Unit) 的主控芯片 RK3288、现场可编程门阵列 (FPGA) 数据处理单元以及驱动系统。

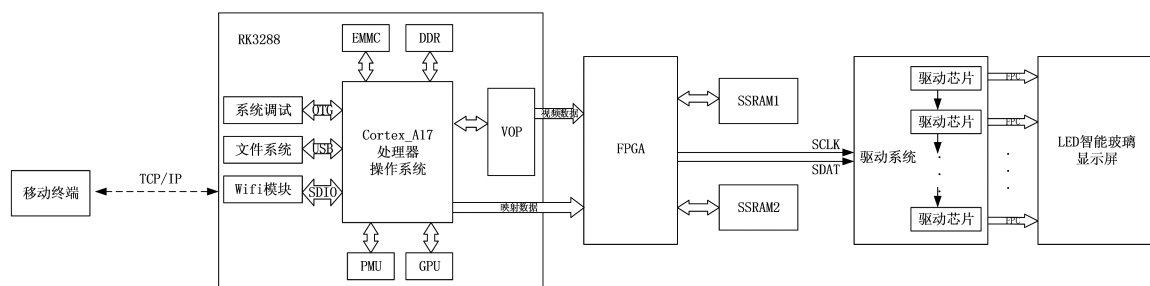


图 1 系统硬件架构图

Fig.1 System hardware architecture diagram

RK3288 主控芯片通过 USB (Universal Serial Bus) 接口完成对 U 盘中存储的视频数据和映射数据的读取, 并发送给 FPGA^[7]。FPGA 数据处理单元将视频数据缓存在外部存储器 SSRAM1 中, 将映射数据缓存在外部存储器

SSRAM2 中, 通过按地址递增方式读取 SSRAM2 的数据作为 SSRAM1 的地址读取 SSRAM1 中的视频数据, 即实现视频数据的重新排序, 然后对数据进行并转串处理传送给驱动系统。驱动系统采用专用的驱动芯片, 将数据串行移位和并行输出,

从而实现大规格 LED 智能玻璃的显示。

RK3288 主控芯片通过 SDIO 接口与 Wifi 模块相连,实现 LED 智能玻璃显示屏联网。在主控芯片和用户移动终端上分别安装.apk,从而实现人与屏之间通信。

此外,为保证 Android 等操作系统和用户软件的流畅运行,采用 2 GB 双通道 DDR3 的运行内存、16 GB 容量的高速 eMMC 存储器,OTG 接口用于方便系统调试和程序下载。

2.2 RK3288 与 FPGA 数据通信接口设计

RK3288 与 FPGA 硬件连接图如图 2 所示,本系统中 RK3288 主控芯片输出控制信号以及数据与 FPGA 相应的信号直接相连,实现数据通信。其中 I_RGB[23:0] 为视频数据、I_DE、I_VSYNC、I_PCLK 为视频控制信号,I_ADDR[15:0] 为映射地址数据、I_nWE、I_HCLK 为映射数据发送控制信号。RK3288 和 FPGA 之间通信是一种跨时钟域通信,所以为使数据稳定,需要添加 FIFO 或 RAM,本系统选用 FIFO,不需要关心读写地址,简化了操作。

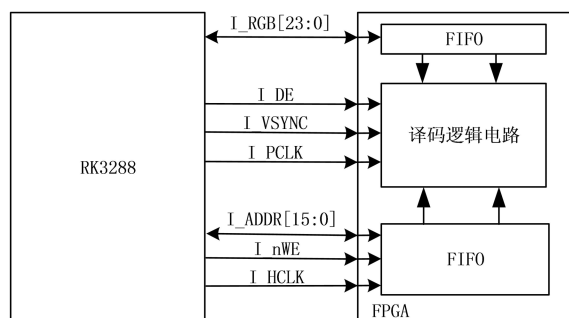


图2 RK3288 与 FPGA 硬件连接图

Fig.2 RK3288 and FPGA hardware connection diagram

3 系统软件设计

3.1 嵌入式操作系统定制

Android 系统是基于 Linux 内核的操作系统,由内核、运行库、虚拟机等组成。其软件开发主要包括 Bootloader 引导程序设计,Linux 操作系统移植,根文件系统创建以及应用程序开发等^[8]。

本系统在 Android 系统源码的基础上增加 LCD 显示驱动以及映射数据发送驱动,并在 Android 系统中编写 JNI 方法实现 Android 应用程

序调用。

3.1.1 映射数据发送软件设计

映射数据发送软件架构设计如图 3 所示,主要包括映射数据发送驱动软件设计,以及通过 NDK 工具链将驱动封装生成 JNI 接口供 Android 应用程序调用。

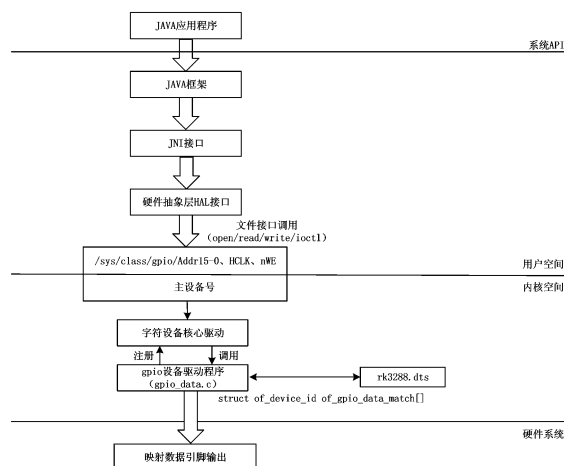


图3 映射数据发送软件架构设计

Fig.3 Design of software architecture for mapping data transmission

映射数据发送驱动软件架构设计,本着“高内聚、低耦合”原则,采用“总线-设备-驱动”模型构建^[9],设备和驱动向总线进行注册,总线负责把设备和对应的驱动绑定起来。在早先 Linux 版本中,ARM 架构的板级硬件细节大多被硬编码在 arch/arm/plat-xxx 和 arch/arm/mach-xxx,造成大量代码冗余。而本系统中板级硬件信息描述使用 dts(device tree)文件,dts 文件描述了 CPU、总线、设备连接信息,Bootloader 会将 dts 文件描述的连接信息直接传递给内核,然后内核进行识别并展开各个设备及设备用到的内存等资源。采用设备树后,许多硬件的细节可以直接透过它传递给 Linux,而不再需要在 Kernel 中进行大量的冗余编码。

3.1.2 LCD 显示驱动设计

RK3288 内部集成的 LCDC (Liquid Crystal Display Controller) 内部是分层的,有 6 层: background、win0、win1、win2、win3、hwc (Hardware Cursor layer),每一次叫做 win,每一层可以在屏幕上任意位置显示支持范围内任意大小的图像,并且各层可以通过 alpha blending 或者 color key

实现 overlay 合成输出。

在 fb 中,每一层 win 对应一个 fb 标准的字符型设备,它们在 Linux 系统中对应的设备节点为/dev/graphics/fbx,其中 win 和 fb 的对应关系是可以通过程序设置的。

LCD 显示驱动设计采用帧缓冲 (Frame buffer, fb) 技术,屏蔽底层硬件差异,为用户提供 mmap、ioctl 等标准接口来操作 LCD 显示设备^[10]。通过调用 mmap 可将内核中分配的 fb 地址映射到用户空间,便于读写;通过调用 ioctl 可设置显示器分辨率等设备属性。

LCD 显示驱动架构设计如图 4 所示,主要包括 fb 框架相关部分以及与显示设备硬件相关的 fb 驱动层。

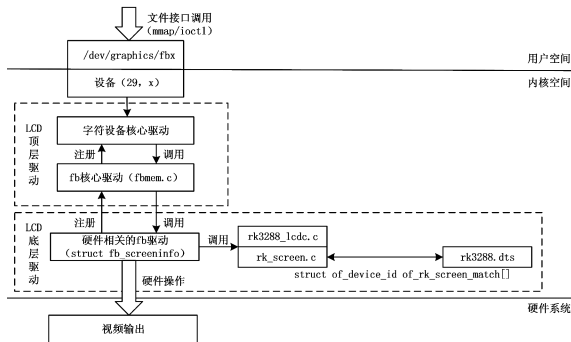


图 4 LCD 显示驱动架构设计

Fig.4 LCD display drive architecture design

fb 框架相关部分主要包括 fbmem.c、rkfb_sysfs.c 等公用源文件,用于向上提供和用户空间交互的接口;硬件设备驱动部分主要包括 LCDC 控制器相关的 rk3288_lcdc.c 代码以及对屏幕进行参数配置的相关代码 rk_screen.c,其通过 probe 函数获取屏幕参数,屏幕参数通过 dts 文件传递。

3.2 应用软件开发

本系统使用 Socket 网络编程,采用 C/S 交互模式^[11],实现 LED 智能玻璃显示屏与移动终端的网络通信。开发语言为 Java,开发工具采用 Eclipse IDE^[12]。LED 智能玻璃显示屏端的应用程序主要包括获取本地 IP,等待移动终端的连接,之后根据移动终端发送过来的指令执行不同的操作。

移动终端的应用程序功能主要包括连接 LED 智能玻璃显示屏端、获取 LED 智能玻璃端

视频信息、映射信息,获取和控制 LED 智能玻璃端视频分辨率、播放进度信息等。

4 设计实现

系统硬件实物图如图 5 所示,其中 FPGA 选用 Xilinx 公司 Spartan-6 系列的 XC6SLX45T 芯片,CPU 选用可以搭载 Android 操作系统的 RK3288。RK3288 将 U 盘中的视频数据与映射数据读取之后,通过专用 GPIO 引脚传送给 FPGA,FPGA 进行视频数据处理后,通过光纤传送给从控制器,从控制器通过网口将视频数据传送到驱动系统,实现 LED 智能玻璃显示屏显示控制。

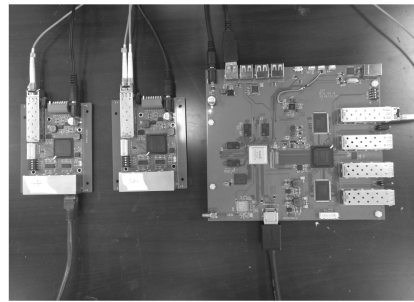


图 5 系统硬件实物图

Fig.5 System hardware physical map

FPGA 接收到的 LED 智能玻璃映射数据如图 6 所示,wrclk、arm_up、ARM_CLK、ARM_EN 为控制信号,din 为 ARM 向 FPGA 传送的映射数据,wraddr 为暂存映射数据 SSRAM2 的写地址。

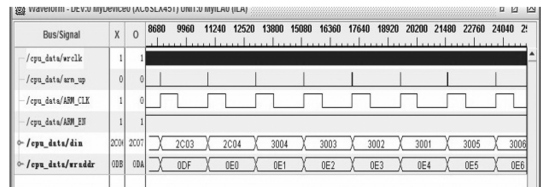


图 6 FPGA 接收到的 LED 智能玻璃映射数据

Fig.6 LED smart glass mapping data received by FPGA

移动终端应用程序界面如图 7 所示,主要包括 IP 地址连接,获取设置视频文件、映射数据文件以及设置视频分辨率、获取远端视频进度信息等。



图7 移动终端应用程序具体实现

Fig.7 Implementation of mobile terminal application



图8 LED智能玻璃显示

Fig.8 LED smart glass display

LED 智能玻璃显示屏显示如图 8 所示,由专用驱动芯片 LD1512 构成的驱动电路与 FPC 相连接,从而实现 LED 智能玻璃显示屏的显示,同时可以通过移动终端控制视频播放。不同应用场合下 LED 智能玻璃显示屏大小、分辨率不同,此图中为 64×64 分辨率的 LED 智能玻璃显示屏。

5 结 论

将 Android 嵌入式技术和互联网技术相结合,在 Android 系统源码的基础上增加 LCD 显示驱动以及映射数据发送驱动,并在 Android 系统中编写 JNI 方法供 Android 应用程序调用。使用 Java 语言进行 Android 系统应用软件开发。使用 Socket 网络编程来实现 LED 智能玻璃显示屏与移动终端的网络通信,使得系统具有较好的易用性和可移植性,给产品应用带来了方便,提高了施工效率。

参 考 文 献:

- [1] 高敏.LED 显示屏发展综述[J].电子制作,2015(8):107.
GAO M. Overview of led display development [J]. *Practical Electronics*, 2015(8): 107. (in Chinese)
- [2] 张芳,樊柯.LED 显示屏集成控制技术的发展现状及趋势探讨[J].电子制作,2019(2):88-89.
ZHANG F, FAN K. Development status and trends of integrated display control technology for led display [J]. *Practical Electronics*, 2019(2): 88-89. (in Chinese)
- [3] 冀刚.室外 LED 显示以及在交通领域的应用[J].电子技术与软件工程,2018(9):103.
JI G. Outdoor led display and application in the field of transportation [J]. *Electronic Technology and Software Engineering*, 2018(9): 103. (in Chinese)
- [4] 吴志诚.基于光纤传输的 LED 智能玻璃显示系统研究[D].大连:大连海事大学,2018.
WU Z C. The research of LED smart glass display system based on optical fiber transmission [D]. Dalian: Dalian Maritime University, 2018. (in Chinese)
- [5] 王海波.未来显示终端发展趋势探索[J].中国公共安全,2019(9):103-104.
WANG H B. Development trend of display terminal in the future [J]. *China Public Security*, 2019(9): 103-104. (in Chinese)
- [6] 隋志坤.基于 ARM 和 FPGA 的 LED 智能玻璃显示系统研究[D].大连:大连海事大学,2017.
SUI Z K. The research of LED smart glass display system based on ARM and FPGA [D]. Dalian: Dalian Maritime University, 2017. (in Chinese)
- [7] 熊木地,郭俞君,孙宇航.LED 智能玻璃映射系统设计[J].液晶与显示,2020,35(10):1019-1025.
XIONG M D, GUO Y J, SUN Y H. Design of mapping software for LED smart glass display [J]. *Chinese Journal of Liquid Crystals and Displays*, 2020, 35(10): 1019-1025. (in Chinese)
- [8] 张丙旭,徐文涛,连鹏,等.基于嵌入式 Android 的光学实验实操评测系统[J].电子设计工程,2018,26(24):183-187.
ZHANG B X, XU W T, LIAN P, et al. An optical experimental operational evaluation system based on embedded

- Android [J]. *Electronic Design Engineering*, 2018, 26(24): 183-187. (in Chinese)
- [9] 张拓智,孔德岐,朱恩亮,等.嵌入式 Linux 系统下的 HI3210 驱动软件设计与实现[J].航空计算技术,2019,49(3): 99-102.
- ZHANG T Z, KONG D Q, ZHU E L, *et al.* HI3210 driver software design and realize based on embeded Linux system [J]. *Aeronautical Computing Technique*, 2019, 49(3): 99-102. (in Chinese)
- [10] 唐玉儒.Cortex-A9 嵌入式最小系统设计[D].武汉:华中科技大学,2018.
- TANG Y R. The design of Cortex-A9 embedded minimum system [D]. Wuhan: Huazhong University of Science and Technology, 2018. (in Chinese)
- [11] 严谦,阳泳.网络编程 tcp/ip 协议与 socket 论述[J].电子世界,2016(8):68,70.
- YAN Q, YANG Y. Network programming TCP/IP protocol and socket discussion [J]. *Electronics World*, 2016 (8): 68, 70. (in Chinese)
- [12] 岳传真.Android 系统移植和应用程序开发[D].上海:复旦大学,2010.
- YUE C Z. Android system transplantation and application development [D]. Shanghai: Fudan University, 2010. (in Chinese)

作者简介:



熊木地(1970—),男,四川巴中人,博士,教授,2000 年于中国科学院长春光学精密机械与物理研究所获得博士学位,主要从事光电检测方面的研究。E-mail:xiongmudi@qq.com