

基于STM32F4的多通道串口驱动TFT液晶屏显示系统设计

任克强, 王传强

引用本文:

任克强, 王传强. 基于STM32F4的多通道串口驱动TFT液晶屏显示系统设计[J]. 液晶与显示, 2020, 35(5): 449–455.

REN Ke-qiang, WANG Chuan-qiang. Design of TFT LCD display system driven by multi-channel serial port based on STM32F4[J]. *Chinese Journal of Liquid Crystals and Displays*, 2020, 35(5): 449–455.

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.3788/YJYXS20203505.0449>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

基于STM32的R61581驱动液晶屏显示方法研究

Method of LCD display by R61581 driving based on STM32

液晶与显示. 2016, 31(1): 93–96 <https://doi.org/10.3788/YJYXS20163101.0093>

触摸屏绑定用光学胶特性研究

Characteristics of optical adhesives in touch panel

液晶与显示. 2017, 32(4): 275–280 <https://doi.org/10.3788/YJYXS20173204.0275>

基于液晶多层屏的3D显示系统和算法设计

Liquid crystal multi-layer 3D display system and algorithm design

液晶与显示. 2017, 32(4): 302–307 <https://doi.org/10.3788/YJYXS20173204.0302>

基于STM32的μC/GUI外置spi flash字库研究与实现

Research and realization of μC/GUI external word stock on spi flash based on STM32

液晶与显示. 2015(2): 290–295 <https://doi.org/10.3788/YJYXS20153002.0290>

变压器微机保护实验平台的液晶显示设计

Design of liquid crystal display for experimental platform about transformer protection based on microprocessor

液晶与显示. 2015, 30(4): 641–646 <https://doi.org/10.3788/YJYXS20153004.0641>

文章编号:1007-2780(2020)05-0449-07

基于 STM32F4 的多通道串口驱动 TFT 液晶屏显示系统设计

任克强*, 王传强

(江西理工大学 信息工程学院, 江西 赣州 341000)

摘要:针对 TFT 液晶屏使用中存在驱动较为复杂以及对处理器要求较高的问题,设计了一种通过串口控制驱动 MUC 接口 TFT 液晶屏的显示系统。该系统的硬件由 STM32F4 处理器和 TFT 液晶屏组成,STM32F4 用于驱动 TFT 液晶屏,并通过其串口向使用 TFT 液晶屏显示系统的外部处理器提供控制通道;软件利用 $\mu\text{C}/\text{OS-III}$ 操作系统编写底层驱动程序和驱动控制接口程序,采用 DMA 方式读取串口数据。该系统硬件接口简单,只需要两根 I/O 线就能对 TFT 液晶屏进行控制,最大可同时支持 4 个外部处理器通过串口对 TFT 液晶屏进行控制,串口传输速率为 2.4 KB/s~2 MB/s。实验结果表明,该系统运行稳定可靠,显示效果清晰流畅,简化了 TFT 液晶屏的驱动和使用,拓展了 TFT 液晶屏的适应性和使用范围。

关键词: TFT 液晶屏;液晶屏驱动;串口; $\mu\text{C}/\text{OS-III}$;显示

中图分类号: TP334 **文献标识码:** A **doi:** 10.3788/YJYXS20203505.0449

Design of TFT LCD display system driven by multi-channel serial port based on STM32F4

REN Ke-qiang*, WANG Chuan-qiang

(School of Information Engineering, Jiangxi University of Science and Technology,
Ganzhou 341000, China)

Abstract: In order to solve the problem of complex driving and high requirement of processor in TFT LCD, a display system is designed to drive the TFT LCD with MUC interface through serial port control. The hardware of the system is composed of STM32F4 processor and TFT LCD. Stm32f4 is used to drive TFT LCD and provide control channel to the external processor using TFT LCD display system through its serial port. The software uses $\mu\text{C}/\text{OS-III}$ operating system to write the bottom driver and driver control interface program, and uses DMA to read the serial port data. The hardware interface of the system is simple, only two I/O lines are needed to control the TFT LCD. The system can support four external processors to control the TFT LCD through the serial port. The serial port transmission rate is 2.4 kB/s~2 MB/s. The experimental results show that the system is stable and reliable, the display effect is clear and smooth, the drive and use of TFT LCD are simplified, and the

收稿日期:2019-11-08;修订日期:2020-03-03.

基金项目:国家自然科学基金项目(No.61501210)

Supported by National Natural Science Foundation of China(No.61501210)

* 通信联系人, E-mail: jxrenkeqiang@163.com

adaptability and use range of TFT LCD are expanded.

Key words: TFT LCD; LCD driver; serial port; μ C/OS-III; display

1 引言

TFT 液晶屏是嵌入式系统中重要的组成部分,但由于 TFT 液晶屏驱动较为复杂,对处理器有较高的要求,在大部分 8 位和 16 位机、部分 32 位机中较难实现驱动。文献[1]和文献[2]利用 STM32 处理器的 FSMC 功能实现了对 TFT 液晶屏的驱动,但此方法具有一定的局限性,只能在具有 FSMC 功能的处理器中实现 TFT 液晶屏的驱动,无法满足没有 FSMC 功能的处理器(如 51 单片机等处理器^[3-4])驱动 TFT 液晶屏的需求。

针对上述问题,本文设计了一种多通道串口控制驱动 MUC 接口模式的 TFT 液晶屏的显示系统,该系统提供 4 个控制 TFT 液晶屏的串口通道,使用 TFT 液晶屏的外部处理器只需有串口或通过 I/O 口模拟串口就可以使用 TFT 液晶屏,简化了 TFT 液晶屏驱动和使用,降低了使用 TFT 液晶屏外部处理器的功能要求,拓展了 TFT 液晶屏的适应性和使用范围。

2 系统硬件设计

本文设计的 TFT 液晶屏显示系统由 STM32F4 处理器和 TFT 液晶屏两大部分组成,硬件框图如图 1 所示。

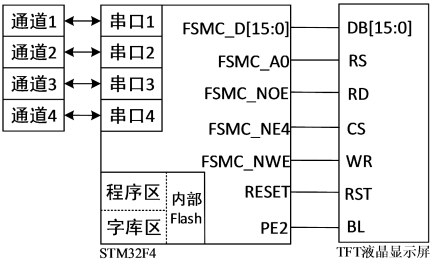


图 1 系统硬件框图

Fig.1 Hardware framework of system

利用 STM32F4 的 FSMC 功能驱动 TFT 液晶屏,并通过其串口向使用 TFT 液晶显示系统的外部处理器提供控制通道。STM32F4 的时钟

频率高达 168 MHz,具有 8 个串行口和 1 个 FSMC 接口,可模拟 8080 时序驱动 TFT 液晶屏^[5-7]。最大支持 4 个通道同时接入,外部处理器通过串口访问 STM32F4 内部预先烧录的接口程序,实现对 TFT 液晶屏的控制。STM32F4 处理器主存储块具有 1 M FLASH,分为 11 个扇区,主存储块 FLASH 扇区划分如表 1 所示。本设计将这 1 M 的 FLASH 划分为两个部分,其中:扇区 0~8 为程序存储区,扇区 9~11 为汉字字库存储区。

液晶驱动控制器是集成于 TFT 液晶屏的一个驱动芯片,每种控制器具有唯一的序列号,虽然控制器型号众多,但大部分的底层驱动方式是一样的,可以通过 STM32F4 模拟 8080 时序进行驱动,差别主要在于控制指令的不同。因此,为了可以兼容多种不同型号的 MUC 接口 TFT 液晶屏,本设计采用读取液晶驱动控制器的序列号进行液晶屏的识别,从而执行对应屏幕型号的控制指令,实现多种不同型号液晶屏的驱动。本文设计的 TFT 液晶显示系统可驱动 60.1~177.8 mm (2.4~7 in)5 种尺寸,包括 ILI9341、IGDP453 和 SSD1936 等 15 种不同驱动芯片的 MUC 接口 TFT 液晶屏。

表 1 STM32F4 主存储块 Flash 扇区划分

Tab.1 Sector division of FLASH in STM32F4 main memory

扇区号	地址	大小
扇区 0	0x08000000-0x08003FFF	16 kB
扇区 1	0x08004000-0x08007FFF	16 kB
扇区 2	0x08008000-0x0800BFFF	16 kB
扇区 3	0x0800C000-0x0801FFFF	16 kB
扇区 4	0x08020000-0x0803FFFF	64 kB
扇区 5	0x08040000-0x0805FFFF	128 kB
⋮	⋮	⋮
扇区 9	0x080C0000-0x080DFFFF	128 kB
⋮	⋮	⋮
扇区 11	0x080E0000-0x080FFFFFFF	128 kB

3 系统软件设计

$\mu\text{C}/\text{OS-III}$ 是一种可移植、可剪裁的实时多任务操作系统,专为嵌入式系统设计,可与应用程序一起固化到ROM中。 $\mu\text{C}/\text{OS-III}$ 以其优异的性能和较高的稳定性已经被移植到8位、16位、32位和64位等多种不同处理器中^[8-11]。 $\mu\text{C}/\text{OS-III}$ 在处理器的RAM空间允许条件下,可创建无数任务。本文系统软件全部是在 $\mu\text{C}/\text{OS-III}$ 操作系统的基础上建立的。

系统软件流程图如图2所示。程序运行时首先调用OSInit()完成对整个操作系统所有变量和数据结构的初始化,自动创建空闲任务,完成操

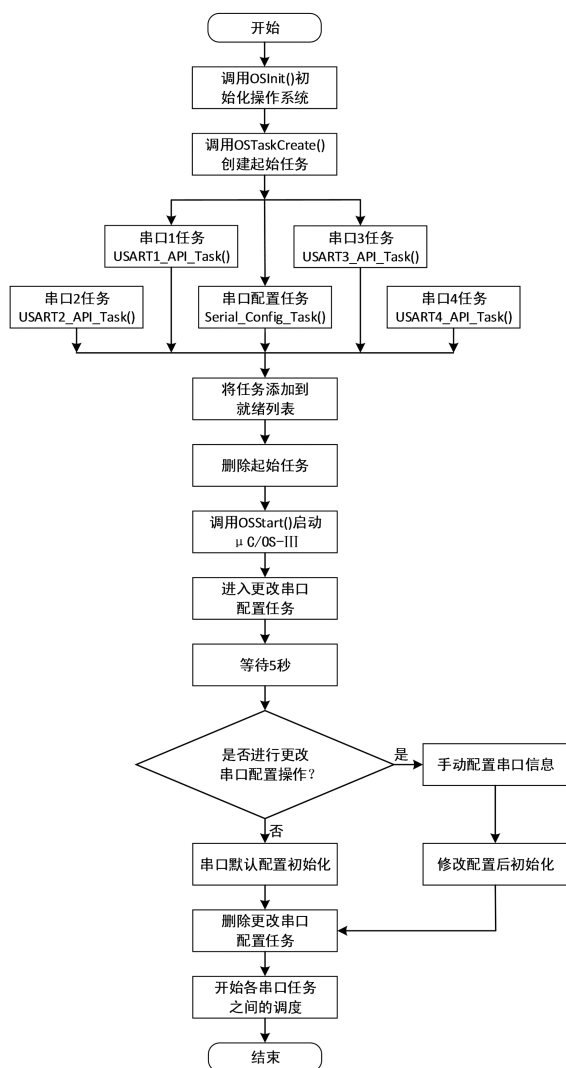


图2 系统软件流程图

Fig.2 Flow chart of system software

作系统运行前的准备工作。然后调用OSTaskCreate()创建一个起始任务,起始任务运行时将创建5个任务,分别是1个串口配置任务和4个控制串口通道任务,将串口配置任务设置为最高级,然后将起始任务删除,起始任务只在程序运行时执行一次。之后将创建的5个任务添加到就绪列表,调用OSStart()启动 $\mu\text{C}/\text{OS-III}$,开始多任务之间的调度。按照任务的优先级,串口配置任务将首先被执行,此时采用非阻塞延时的方式让系统延时5s,在这5s内若有更改配置操作则可进行人工修改配置,否则跳过,保留串口默认配置,随之将串口配置任务删除,将不会再被执行,最后操作系统将会在空闲任务和4个控制串口通道任务之间循环调度。

3.1 液晶显示驱动设计

本设计所支持的TFT液晶屏都是MUC接口的16位8080并口驱动方式,完全可以通过FSMC模拟8080时序进行驱动,只是初始化控制指令有所差别,只需根据读取TFT液晶屏的ID序列号判断屏幕型号,调用不同的初始化程序完成液晶屏驱动显示。TFT液晶屏的信号线包括:数据总线(D0~D15)、设置写入数据/命令(RS)、写使能(WR)、读使能(RD)、片选(CS)、复位(RST)和背光(BL),在控制时只需要用到D0~D15、RS、WR、RD和CS引脚。FSMC模式A读写时序如图3所示,TFT液晶屏16位并口8080接口时序如图4所示,对比图3和图4可知,TFT液晶屏没有地址线,具有一个设置写入数据/命令(RS)引脚,通过此引脚决定传输的是数据还是命令,可以将此信号线看作FSMC的其中一个地址线,将RS引脚连接到FSMC A0地址线。当FSMC写地址0时,对于TFT液晶屏即为写命令;当FSMC写地址1时,对于TFT液晶屏即为写数据。这样就可以通过FSMC模拟16位并口8080时序完成对TFT液晶屏的控制操作。

3.2 串口通信程序设计

串口是连接外部处理器和本文TFT液晶屏显示系统的桥梁,所有外部处理器传入的所有数据和指令都是通过串口进行发送。本设计采用STM32F4的4个串口作为传输通道,利用DMA方式进行传输。DMA传输数据的本质是将数据从一个地址空间复制到另一个地址空间,无需

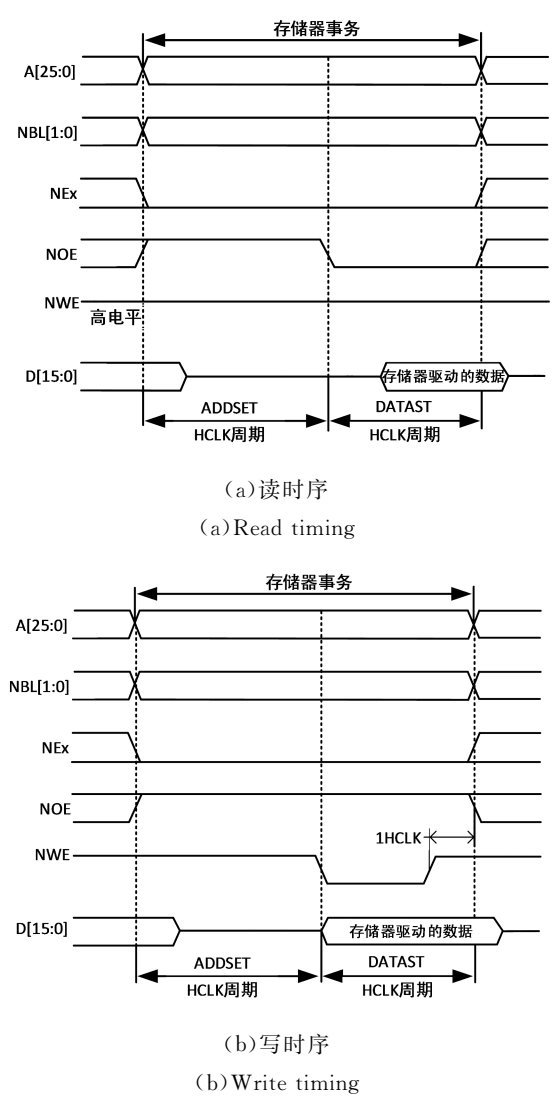


图 3 FSMC 模式 A 读写时序
Fig.3 FSMC mode A read and write timing

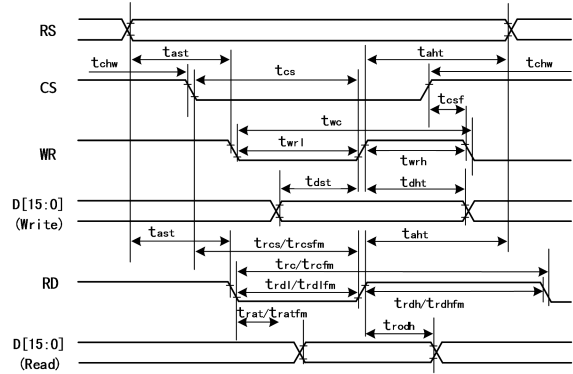
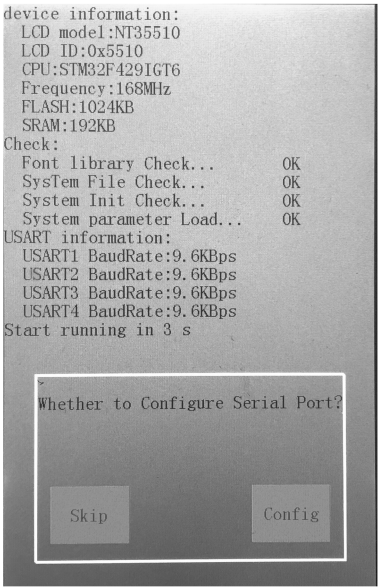


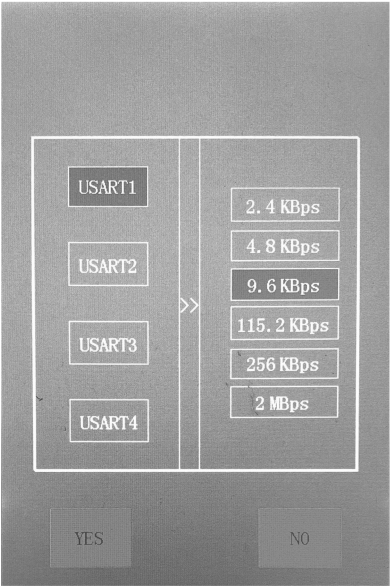
图 4 16 位并口 8080 接口时序
Fig.4 16 bit parallel port 8080 interface timing

CPU 参与,大大减轻了 CPU 的负担。
本设计的系统配置界面如图 5 所示。图 5

(a)界面显示当前 4 个串口的默认波特率都为 9.6 kB/s,通过触摸屏幕可以选择是否配置串口波特率或者直接跳过配置;图 5(b)为串口配置界面,可通过触摸屏幕完成 4 个串口的波特率配置。



(a) 设备信息及选择界面
(a) Equipment information and selection interface



(b) 串口配置界面
(b) Serial port configuration interface

图 5 系统配置界面
Fig.5 System configuration interface

3.3 驱动控制接口设计

外部处理器在控制 TFT 液晶屏显示系统前,先发送一系列的设置数据,STM32F4 处理器接收这些数据并进行数据解析,获取端口号,选择是显示图像还是显示字符、数字或者汉字。如果显示图像,首先会判断图像的显示坐标和大小,然后接受串口发来的图像数据,写入到液晶屏进行显示。如果显示字符、数字或者汉字,首先会判断显示字体的大小、长度和坐标,设置背景颜色和字体颜色,然后调取 STM32F4 内部 FLASH 存入的字模数据写入到液晶屏进行显示。驱动控制接口调用流程如图 6 所示。

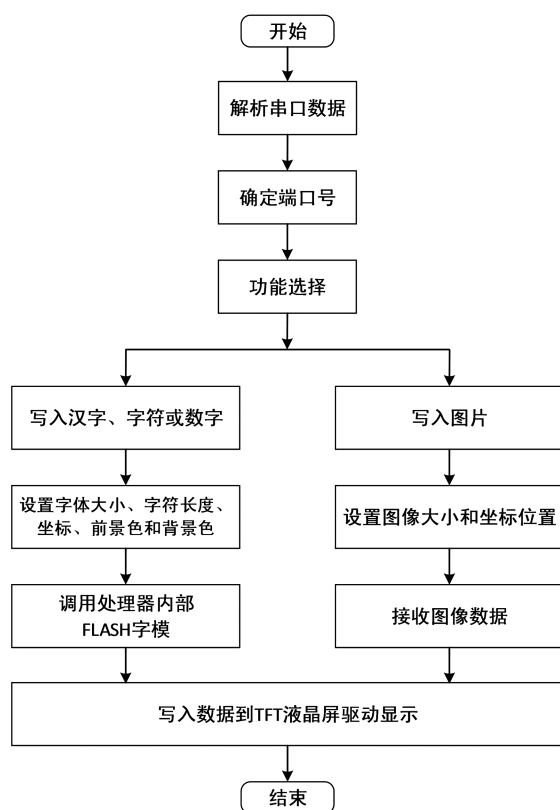


图 6 驱动控制接口调用流程图

Fig.6 Flow chart of driver control interface calling

4 实验结果

首先测试在不同波特率下的数据传输速度,外部处理器通过串口通道发送数据控制 TFT 液晶屏显示系统,传输速度的理论值与实际值如表 2 所示。如果选择最为常用的 9.6 kB/s 波特率,每秒可以传输 9 400 字节,若传输长宽为 16×16 像素的汉字或者字符,每秒可以传输约 29 个汉字

表 2 不同波特率的数据传输速度

Tab.2 Data transfer speeds with different baud rates
(kB · s⁻¹)

波特率	理论值	实际值
2.4	2.4	2.3
4.8	4.8	4.7
9.6	9.6	9.4
115.2	115.2	111.3
256	256	232.7
2 000	2 000	1 969

或者字符。

采用 11 cm(4.3 in)800×480 分辨率的 TFT 液晶屏进行显示测试,在 9.6 kB/s 波特率下测试外部处理器通过串口控制 TFT 液晶屏显示汉字、字符和数字的效果,测试结果如图 7 所示。其中,图 7(a)为 1 个外部处理器控制 TFT 液晶屏显示系统的全屏显示结果;图 7(b)为 2 个外部处理器同时控制 TFT 液晶屏显示系统的 2 分屏显示结果;图 7(c)为 3 个外部处理器同时控制 TFT 液晶屏显示系统的 3 分频显示结果;图 7(d)为 4 个外部处理器同时控制 TFT 液晶屏显示系统的 4 分频显示结果。当多个处理器通过串口通道同时控制 TFT 液晶显示系统时,显示效果稳定流畅。



(a) 单通道控制显示

(a) Single channel control display



(b) 双通道控制显示

(b) Dual channel control display

设备1	设备2	设备3
显示测试 Display Testing 2019-10-20	显示测试 Display Testing 2019-10-20	显示测试 Display Testing 2019-10-20

(c) 三通道控制显示

(c) Three channel control display

设备1	设备2
显示测试 Display Testing 2019-10-20	显示测试 Display Testing 2019-10-20
设备3	设备4
显示测试 Display Testing 2019-10-20	显示测试 Display Testing 2019-10-20

(d) 四通道控制显示

(d) Four channel control display

图 7 液晶屏控制显示测试结果

Fig.7 LCD control display test results

5 结 论

TFT 液晶屏驱动是开发和设计嵌入式应用系统经常要面对和解决的问题。常规的 MUC 接口 TFT 液晶屏驱动方法较为复杂,对直接使用 TFT 液晶屏的外部处理器和开发设计人员均有一定的要求。本文采用串口方式控制 MUC 接口模式的 TFT 液晶屏的方法,降低了对外部处理器的功能要求,可以满足无法直接进行屏幕驱动的 8 位、16 位和 32 位机使用 TFT 液晶屏的需求,仅需两根 I/O 线就能进行 TFT 液晶屏的控制,节约了外部处理器的资源。本文方法可同时提供 4 个控制 TFT 液晶屏的串口通道,既可以单个外部处理器控制 TFT 液晶屏,也可以多个外部处理器同时控制 TFT 液晶屏,拓展了 TFT 液晶屏的使用范围,可满足某些特定场合的应用需求。本文方法具有较好的兼容性,可适用 5 种不同尺寸、15 种不同 IC 芯片的 MUC 接口 TFT 液晶屏。经测试,TFT 液晶屏的驱动速度能较好地满足显示需要,在 4 个串口通道同时控制 TFT 液晶屏的情况下,显示效果清晰流畅,系统运行稳定可靠。

参 考 文 献:

- [1] 王军,张福弟,王磊,等. 基于 STM32 的 R61581 驱动液晶屏显示方法研究 [J]. 液晶与显示, 2016, 31(1):93-96.
WANG J, ZHANG F D, WANG L, *et al.* Method of LCD display by R61581 driving based on STM32 [J]. *Chinese Journal of Liquid Crystals and Displays*, 2016, 31(1):93-96. (in Chinese)
- [2] 汤莉莉,黄伟.基于 STM32 的 FSMC 接口驱动 TFT 彩屏设计 [J]. 现代电子技术, 2013, 36(20):139-141,144.
TANG L L, HUANG W. Method to drive TFT color screen by means of FSMC interface on STM32 [J]. *Modern Electronics Technique*, 2013, 36(20):139-141,144. (in Chinese)
- [3] 卢忠亮,沈慧芳,陈杰. 基于射频识别的智能物流小车 [J]. 江西理工大学学报, 2011, 32(3):53-56.
LU Z L, SHEN H F, CHEN J. A smart car for logistics based on the RFID [J]. *Journal of Jiangxi University of Science Technology*, 2011, 32(3):53-56. (in Chinese)
- [4] 罗刘敏,王明霞,郭艳花,等. 基于单片机的智能小车控制系统设计 [J]. 仪表技术与传感器, 2018(1):123-126.
LUO L M, WANG M X, GUO Y H, *et al.* Design of intelligent car control system based on MCU [J]. *Instrument Technique and Sensor*, 2018(1):123-126. (in Chinese)
- [5] 李慧敏,樊记明,杨笑. 基于 STM32 和 OV7670 的图像采集与显示系统设计 [J]. 传感器与微系统, 2016, 35(9): 114-117.
LI H M, FAN J M, YANG X. Design of image acquisition and display system based on STM32 and OV7670 [J]. *Transducer and Microsystem Technologies*, 2016, 35(9): 114-117. (in Chinese)
- [6] 原群盛,钱松荣. 基于 STM32 动态监测系统的设计 [J]. 液晶与显示, 2016, 31(7):680-685.
YUAN Q S, QIAN S R. Design of dynamic monitoring system based on STM32 [J]. *Chinese Journal of Liquid Crystals and Displays*, 2016, 31(7):680-685. (in Chinese)
- [7] 刘振海,骆冬根,王政. 基于 FSMC 接口的 CF 卡数据存储系统设计 [J]. 现代电子技术, 2019, 42(10):15-18.

- LIU Z H, LUO D G, WANG G. Design of CF card data storage system based on FSMC interface [J]. *Modern Electronics Technique*, 2019, 42(10):15-18. (in Chinese)
- [8] 孟蓉歌,张春化,王佳,等. 符合 AUTOSAR 标准的 $\mu\text{C}/\text{OS-III}$ 移植 [J]. 计算机应用, 2017, 37(S2):248-250, 258.
- MENG R G, ZHANG C H, WANG J, *et al.* Porting of $\mu\text{C}/\text{OS-III}$ conforming to AUTOSAR specifications [J]. *Journal of Computer Applications*, 2017, 37(S2):248-250, 258. (in Chinese)
- [9] 杨立身,张安伟,王磊,等.基于 STM32 的 $\mu\text{C}/\text{OS-II}$ 与 $\mu\text{C}/\text{GUI}$ 整合移植与显示优化 [J]. 液晶与显示, 2014, 29(6):950-956.
- YANG L S, ZHANG A W, WANG L, *et al.* Display optimization and transplantation of $\mu\text{C}/\text{OS-II}$ and $\mu\text{C}/\text{GUI}$ for STM32 [J]. *Chinese Journal of Liquid Crystals and Displays*, 2014, 29(6):950-956. (in Chinese)
- [10] 王泽,肖继学,张汉中,等. $\mu\text{C}/\text{OS-III}$ 的实时性测试 [J]. 测控技术, 2016, 35(5):105-110.
- WANG Z, XIAO J X, ZHANG H Z, *et al.* Testing of $\mu\text{C}/\text{OS-III}$ real-time performance [J]. *Measurement & Control Technology*, 2016, 35(5):105-110. (in Chinese)
- [11] 罗尔聪,郭宇, $\mu\text{C}/\text{OS-III}$ 任务调度器在 Coq 中的验证 [J]. 计算机工程, 2015, 41(3):53-58.
- LUO E C, GUO Y. Verification of $\mu\text{C}/\text{OS-III}$ task scheduler in Coq [J]. *Computer Engineering*, 2015, 41(3):53-58. (in Chinese)

作者简介:



任克强(1959—),男,湖南汨罗人,硕士,教授,1993 年于华中理工大学获得硕士学位,主要从事图像与视频处理、嵌入式技术与应用方面的研究。E-mail: jxrenkeqiang@163.com



王传强(1992—),男,山东济宁人,硕士研究生,2018 年于江西理工大学获得学士学位,主要从事嵌入式技术与应用方面的研究。E-mail: 1547791594@qq.com