

文章编号:1007-2780(2022)06-0718-08

基于 FSMC 总线的嵌入式系统 多显示终端驱动设计

黄克亚*

(苏州大学 机电工程学院, 江苏 苏州, 215131)

摘要:为集数码显示器和 TFT-LCD 的优点于一身,进一步丰富嵌入式系统教学案例,本文设计了基于 FSMC 总线的嵌入式系统多显示终端实验装置。硬件设计使用 FSMC 总线的 Bank1. Sector4 连接 LCD,FSMC 接口与 LCD 数据、控制信号直接相连,由 FSMC 控制器产生 LCD 的 8080 控制时序。数码显示器通过锁存器与 LCD 复用数据线,FSMC 总线的 Bank1. Sector3 片选信号反相后作为数码显示器的选通信号。软件设计借助 STM32CubeMX 完成 FSMC 初始化,实现数码显示器和 LCD 底层驱动,移植 LCD 基础显示和高层应用程序。运行测试表明,系统运行稳定可靠,显示效果清晰流畅,软硬件设计大为简化,为嵌入式系统多显示终端并行扩展提供了一个经典案例。

关键词:FSMC;TFT-LCD;STM32;总线接口;时分复用

中图分类号:TN27; **文献标识码:**A **doi:**10. 37188/CJLCD. 2022-0061

Design of multi display terminal driver for embedded system based on FSMC bus

HUANG Ke-ya*

(College of Mechanical and Electrical Engineering, Soochow University, Suzhou 215131, China)

Abstract: In order to integrate the advantages of digital display and TFT-LCD, and further enrich the teaching cases of embedded system, a multi display terminal experimental device of embedded system based on FMSC bus is designed. The hardware design uses Bank1. Sector4 of FSMC bus to connect to LCD, FSMC interface is directly connected to LCD data, control signal, and the 8080 timing of LCD is generated by FSMC controller. The digital display multiplexes the data line with LCD through the latch, and the reverse phase of FSMC bus Bank1. Sector3 chip selection signal is used as the gating signal of the digital display. The software design completes FSMC initialization with the help of STM32CubeMX, realizes the digital display and LCD bottom driver, and transplants LCD basic display and high-level application. The running test shows that the system runs stably and reliably, the display effect is clear and

收稿日期:2022-02-24;**修订日期:**2022-03-21.

基金项目:国家自然科学基金(No. 61971297);江苏省自然科学基金面上项目(No. BK20201201);江苏省一流本科专业项目(No. 2019)

Supported by National Natural Science Foundation of China (No. 61971297); Natural Science Foundation of Jiangsu Province (No. BK20201201); First Class Undergraduate Program of Jiangsu Province (No. 2019)

*通信联系人,E-mail:22102600@qq.com

smooth, and the software and hardware design is greatly simplified. It provides a classic case for the parallel expansion of multi display terminals in embedded system.

Key words: FSMC; TFT LCD; STM32; bus interface; time division multiplexing

1 引言

嵌入式系统均需配备显示设备以指示程序运行状态和输出控制结果。薄膜晶体管液晶显示器(TFT-LCD)因为功耗低、辐射小、颜色鲜艳、显示内容丰富等优点而成为嵌入式系统的主流,但是其控制复杂,需要移植厂家提供的底层驱动程序^[1-2]。数码管亮度高、稳定可靠、价格便宜,在家用电器、工业控制和传感检测等领域有着广泛的应用,是嵌入式学习的经典器件。

为提高数据传输速度,降低软硬件设计难度,并行接口是数码管、液晶显示器与微控制器(MCU)连接的首选。但并口需要占用大量I/O口资源,以6位数码管为例,共有6个位选信号和8个段选信号,TFT-LCD显示模块则有6个控制信号和16位数据线。设计系统时,为了编程方便,一般希望位选信号、段选信号、LCD数据线分别占用连续的16位端口,而这些I/O引脚又离散地分布于芯片的四周,上述技术需求给微控制器引脚资源分配和PCB布线带来极大的挑战,同时降低了实验装置的可靠性,而破解这一难题的方法就是将二者均挂载在FSMC总线上,同时进行信号线复用。

2 FSMC总线

灵活静态存储控制器(Flexible Static Memory Controller, FSMC)能够连接同步、异步存储器和16位PC存储卡,支持SRAM、NAND Flash、NOR Flash和PSRAM等类型存储器。FSMC连接的所有外部存储器共享地址、数据和控制信号,但有各自的片选信号,所以FSMC一次只能访问一个外部器件^[3-4]。

如图1所示,FSMC将外部存储器1 GB空间划分为固定大小为256 MB的4个存储块(Bank),Bank1可连接多达4个NOR Flash或PSRAM/SRAM存储器件,Bank2和Bank3用于访问NAND Flash存储器,每个存储区域连接一个设

备,Bank4用于连接PC Card设备。其中Bank1又被分为4个区(Sector),每个区管理64 MB空间,每个区都有独立的寄存器对所连接的存储器进行配置。

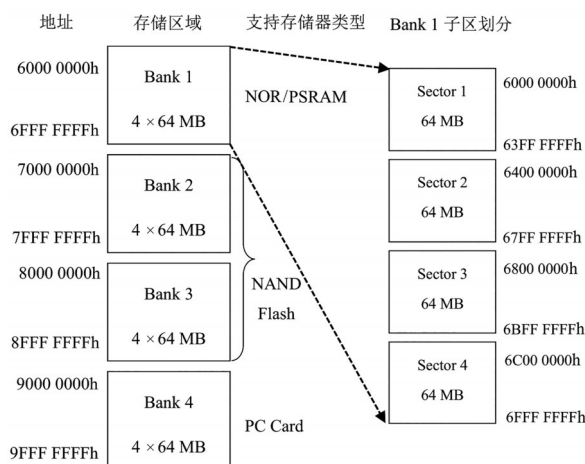


图1 FSMC存储区域划分

Fig. 1 Division of FSMC storage area

如表1所示,Bank1的256 MB空间由28根地址线(HADDR[27:0])寻址。这里HADDR是内部AHB总线地址,其中HADDR[25:0]来自外部存储器地址FSMC_A[25:0],对应引脚地址信号;而HADDR[27:26]对4个区进行寻址,由系统自动完成,无外部引脚对应信号。

在设计或分析系统时需要特别注意HADDR[25:0]的对应关系。

当Bank1连接的是8位宽度存储器时,总线和外设均采用字节编址,二者一一对应,即:HADDR[25:0]→FSMC_A[25:0]。

当Bank1连接的是16位宽度存储器时,总线字节编址,存储器双字节寻址,此时总线26地址中最低位HADDR[0]用来表示16位数据的高位或低位,高25位HADDR[25:1]对应16位宽的存储器单元地址,即:HADDR[25:1]→FSMC_A[24:0],相当于总线地址右移了一位^[5-6]。

表 1 Bank1 存储区选择表

Tab. 1 Bank1 storage area selection table

Bank1 所选区	片选信号	地址范围	HADDR	
			[27:26]	[25:0]
第 1 区	FSMC_NE1	0X6000 0000—0X63FF FFFF	00	FSMC_A[25:0]
第 2 区	FSMC_NE2	0X6400 0000—0X67FF FFFF	01	
第 3 区	FSMC_NE3	0X6800 0000—0X6BFF FFFF	10	
第 4 区	FSMC_NE4	0X6C00 0000—0X6FFF FFFF	11	

3 系统硬件设计

作者设计的嵌入式系统实验装置结构框图如图 2 所示,其重点展示 TFT-LCD 和数码管的 FSMC 总线连接关系,其他模块,如 CMSIS-DAP 调试器、LED 流水灯、独立/矩阵按键等虽也为实

验装置重要组成部分,但不是本文讨论重点,故未绘制。实验装置主控芯片选择基于 ARM Cortex-M4 内核,性能出色的 STM32F407ZGT6 微控制器,该芯片拥有完备的 FSMC 接口系统,块 1 的 4 个子区可同时连接 4 个 NOR Flash/PSRAM/SRAM 存储设备。实验装置配备双显示终端,数码显示器为 6 位 14.22 mm (0.56 in) 共阳数码管,PNP 三极管 S8550 驱动;液晶显示器为 70.82 mm (2.8 in) 全彩 TFT-LCD 显示模块,240 像素×320 像素,2.8~3.3 V 供电,ILI9341 驱动,16 位 8080 并行接口。

3.1 FSMC 与 TFT-LCD 连接

在 STM32 内部,FSMC 起到桥梁作用,其一端通过内部高速总线 AHB 连接到 Cortex 内核,另一端则是面向扩展存储器的外部总线,既能够进行信号类型的转换,又能够进行信号宽度和时序的调整,提供多种读写模式,使之对内核而言没有区别^[7-8]。模式 A 比较适合连接至 Bank1 的 NOR Flash/PSRAM/SRAM 存储器,其读写时序如图 3 所示^[9]。信号线主要包括 26 位地址线 A

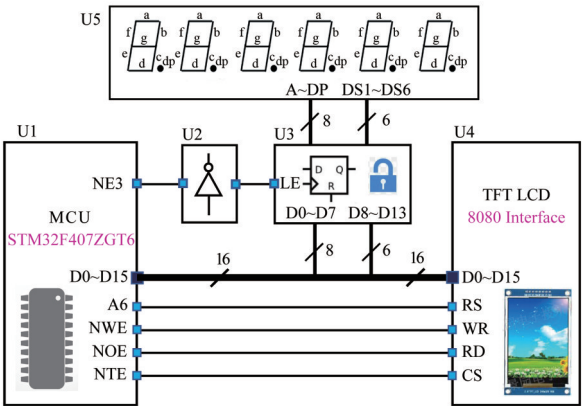


图 2 实验装置 FSMC 连接结构框图
Fig. 2 FSMC connection structure block diagram of experimental device

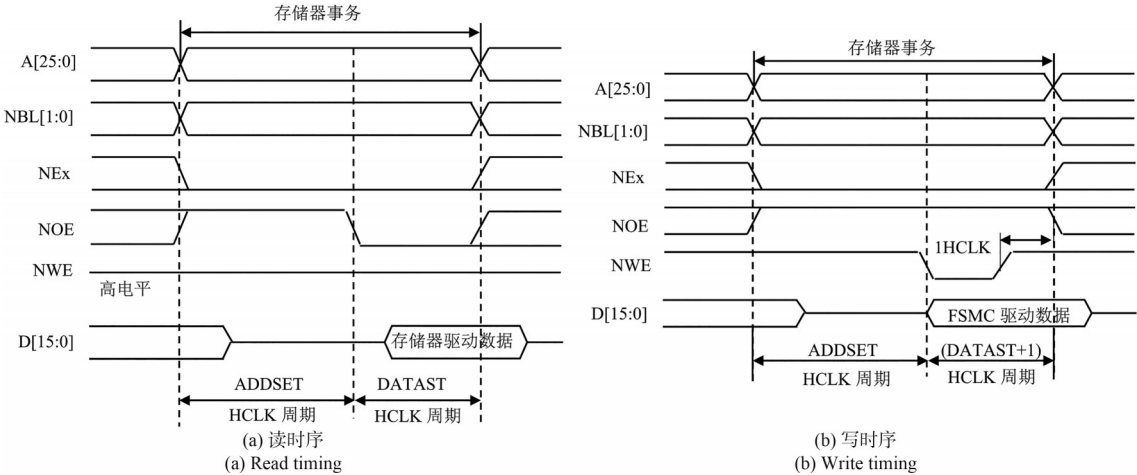


图 3 FSMC 模式 A 读写时序
Fig. 3 Read and write timing of FSMC mode A

STM32推出的图形化配置软件STM32CubeMX的HAL库开发,只需要输入几个关键参数,即可自动完成FSMC接口初始化工作。自动化程度高,是未来嵌入式开发的技术方向。

(1) 数码管FSMC初始化设置

在STM32CubeMX软件中,打开图5所示的设置界面,首先设置Mode选项内容,配置NOR Flash/PSRAM/SRAM/ROM/LCD 3,即选择Bank1. Sector3连接数码管,片选信号:NE3,存储器类型:LCD Interface,LCD的RS信号:A6,数据宽度:16位。随后配置Configuration选项内容,其中大部参数采用默认即可,使能扩展模式,使其支持分开设置读写时序。对数码管的访问只有写不需要读,所以读时序参数可以任意设

置;写时序中无需送出地址信号,所以写时序地址建立时间设置为0,以使其选中芯片后立即送出数据。因片选信号需要经过反相器送给锁存芯片以完成数据传输,所以数据送出后需要保持一定的时间,数据建立时间需要设置大一些,作者设置的是160。所有需要配置的信息在图5中均使用红色框线标出。

(2) LCD的FSMC初始化设置

如图6所示,TFT-LCD的FSMC初始化基本上和图5的数码管FSMC初始化设置是一样的,不同的地方均使用蓝色框线标出。LCD连接到FSMC的Bank1. Sector4,所以此时需要配置NOR Flash/PSRAM/SRAM/ROM/LCD 4,片选信号也相应地调整为NE4。FSMC总线选

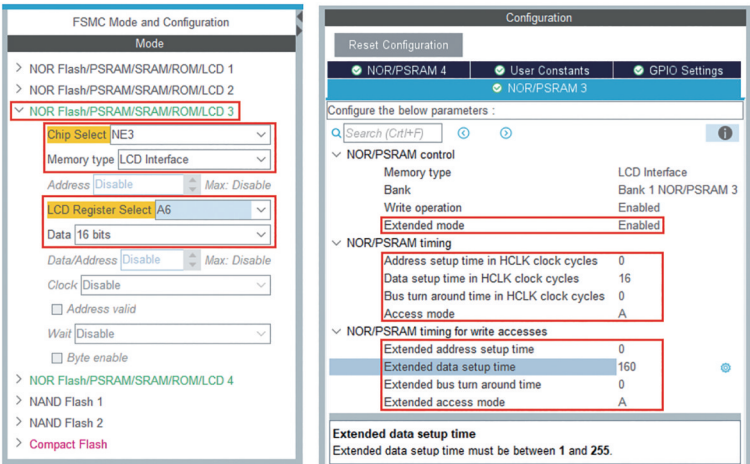


图5 数码管FSMC初始化界面
Fig. 5 FSMC initialization interface of digital tube

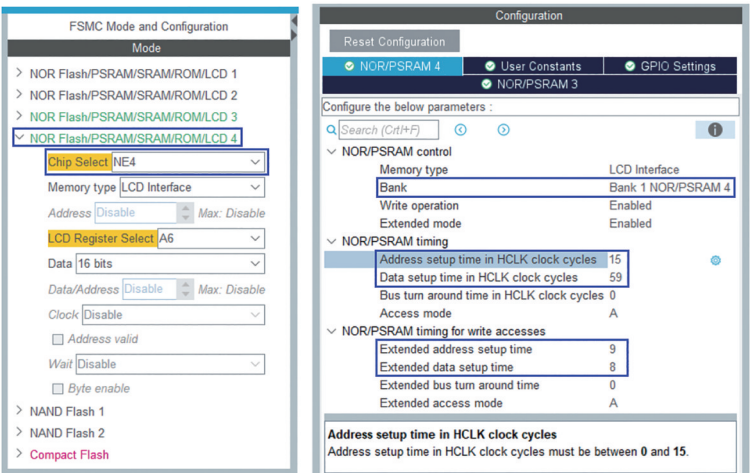


图6 LCD的FSMC初始化界面
Fig. 6 FSMC initialization interface of LCD

择模式A分开设置读写时序控制LCD显示屏,由于LCD读速度要比写速度慢得多,所以在设置读时序时时间参数尽量设置大一些,作者将ADDSET和DATAST分别设置为15和59。对于STM32F407微控制器,在168 MHz主频时,HCLK约为6 ns,其对应的地址建立时间为 $15 \times 6 \text{ ns} = 90 \text{ ns}$,数据建立时间为 $(59+1) \times 6 \text{ ns} = 360 \text{ ns}$ 。LCD写时序的时间参数设置适当小一些,作者将ADDSET和DATAST分别设置为9和8,两个参数对应的时间数值均约为54 ns。上述参数设置对70.82 mm (2.8 in) TFT-LCD的常规驱动芯片ILI9341来说可以保证其稳定运行,并留有足够的裕量。

完成上述配置后,STM32CubeMX会自动将FSMC总线用到的GPIO引脚配置为FSMC复用推挽模式,无须上拉或下拉,并在FSMC初始化程序中完成调用,大大减轻了用户编程工作量。

4.2 数码管显示程序设计

STM32CubeMX完成FSMC初始化后,生成Keil MDK工程,在工程的主函数中会自动调用初始化函数,此时就可以直接访问数码管或LCD。6位共阳数码管采用PNP三极管S8550驱动,所以位选码是低电平有效,段选码也是低电平相应笔划点亮。假设我们需要将DS1、DS3、DS5三个数码管上面均显示的数字“1”,则应送出的显示码如表2所示,即向FSMC总线送出一个16进制数据0xEAF9,即可实现显示控制。

数据管是挂接在FSMC总线的Bank1.Sector3上的,由表1可知,这一区域对应的地址范围为0x6800 0000-0x6BFF FFFF,只要向这个64 MB单元中任一地址送数据,即可将显示码发送至数据线,并自动产生片选信号FSMC_NE3,反相后形成锁存信号,完成数据锁存。为此选择这一区域的首地址0x6800 0000,转换为指针型常量,将其赋值给uint16_t型指针型变量SEG_ADDR,向该地址写数据即可实现显示控制,十分简单。

4.3 LCD显示程序设计

相比于数码管显示控制,LCD显示程序则要复杂得多,分为底层驱动、基础显示和高层应用3部分。基础显示程序和高层应用程序一般由显示屏厂家直接提供,且在移植了底层驱动程序之后,一般无需任何更改,就可直接使用,所以本文重点讨论的是基于FSMC的底层驱动程序的实现。

对TFT-LCD寄存器和存储器一体化控制简单、便捷的方法是定义一个LCD数据访问结构体,包含寄存器和存储器2个16位无符号型成员。并确定该结构体的基地址为0x6C00007E,其中HADDR[27:26]=11,表明选择的是Bank1.Sector4,即片选信号FSMC_NE4有效。

结构体第一个成员LCD_REG地址和LCD结构体的基地址相同,即:0x6C00007E,第二个成员LCD_RAM地址为基地址加2,即:0x6C000080。如果只观察HADDR低8位,即LCD->LCD_REG的HADDR[7:0]=0111 1110,LCD->LCD_RAM的HADDR[7:0]=1000 0000,由于FSMC外接16位存储器时内外地址对应关系为HADDR[25:1]→FSMC_A[24:0],相当于右移1位。由此可知LCD->LCD_REG的FSMC_A[6:0]=011 1111,FSMC_A6(RS)=0,读写LCD寄存器;LCD->LCD_RAM的FSMC_A[6:0]=100 0000,FSMC_A6(RS)=1,读写LCD存储器。在FSMC配置过程中选择不同的地址线连接LCD的RS信号,其基地址的确定亦可举一反三。

有了上述定义并确定好基地址之后,通过选择结构体的不同成员,即可实现对不同存储对象的访问,编程简洁、高效、直观。结合LCD驱动芯片ILI9341^[10]控制时序,将读写控制代码封装成LCD基本读写函数,即为LCD底层驱动程序,供基础显示程序和高层应用程序调用。

由于技术发展历史原因,一般LCD控制程序是用标准库编写的,所以还需将标准库程序向HAL库程序移植,一般步骤为:在STM32CubeMX

表2 数码管控制实例显示码对应表

Tab. 2 Corresponding table of digital tube control example display code

名称	/	/	DS6	DS5	DS4	DS3	DS2	DS1	dp	g	f	e	d	c	b	a
FSMC	D15	D14	D13	D12	D11	D10	D9	D8	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0
数值	1	1	1	0	1	0	1	0	1	1	1	1	1	0	0	1
HEX			E				A				F				9	

中配置并自动生成FSMC初始化代码,含LCD和数码管两部分;定义LCD结构体、确定基地址,编写LCD底层驱动程序;将原LCD初始化程序中的FSMC初始化和复用引脚配置代码删除,其余部分保留;移植基础显示和高层应用代码,经过上述步骤即可完成LCD显示代码移植。

5 系统运行测试

为检验电路功能和观察运行效果,依据系统设计成果,完成样品生产、组装和测试工作。

第一步:数码管显示测试。编写数码管动态显示时间程序,在6位数码管上显示时、分、秒数值,各占两位数码管,且在小时和分钟的末尾显示一个小数点。

第二步:LCD显示测试。在完成显示程序移植之后,调用显示函数分别进行字符、字符串、整型、浮点数等文字信息显示测试;调用图形处理函数进行画点、画线、画圆、矩形、三角形、指定区域填充等图形显示测试;制作汉字字库并存于字库文件当中,调用中文显示函数进行多种字号汉字显示测试。

第三步:综合测试。设计了一个综合实例,系统主程序是一个电子万年历,实时采集现场温湿度信息,合并实验装置设计信息,所有信息均显示于TFT-LCD显示屏上,同时将当前时间高亮显示于数码管,便于远距离观看,测试结果如图7所示。由于项目综合性较强,主程序处理任务较多,而数码管动态显示是阻塞运行的,CPU占有率较高,作者采用定时器中断的方式依次刷

新需要显示的数码管,在主程序中只需要对显示数组赋值即可,使两个显示设备显示控制方式基本相同,提升了系统运行效率。

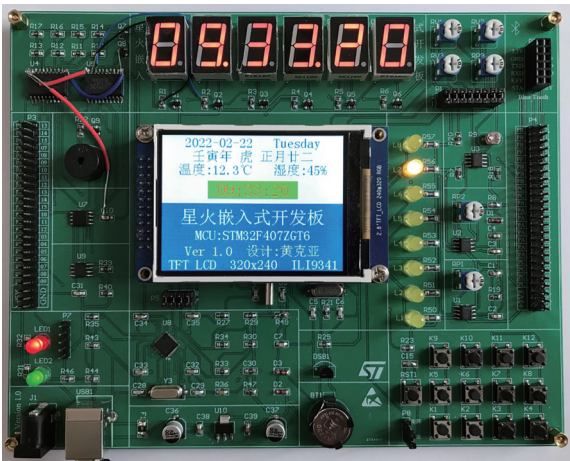


图7 实验装置综合测试图

Fig. 7 Comprehensive test diagram of experimental device

第四步:对比测试。分别使用FSMC总线、GPIO并口、SPI串口连接数码管和TFT-LCD双显示设备,运行测试程序,使用STM32定时器记录LCD刷整屏时间,测试条件和测试结果如表3所示。由表3可知,SPI串口显示速度很慢,对于有刷新频率要求的场合原则上不使用。FSMC接口和GPIO并口测试时使用相同的TFT-LCD模块和微控制器,工作于同一主频,使测试数据更具可比性。由表中数据计算得出,FSMC接口相比于微控制器并口控制,减少了38.2%的GPIO引脚资源占有率,LCD刷屏速度提高了17.6倍。以上数据视软硬件设置情况会有小幅波动,但是大致范围不会变化。

表3 显示终端驱动接口对比测试

Tab. 3 Comparison test of display terminal driver interface

驱动接口	TFT-LCD显示模块	微控制器及主频	I/O引脚数	刷屏时间/ms
FSMC	70.82 mm (2.8 in) 240×320 ILI9341	STM32F407ZGT6 168 MHz	21 (20+01)	2.9
并口	70.82 mm (2.8 in) 240×320 ILI9341	STM32F407ZGT6 168 MHz	34 (20+14)	53.9
SPI	60.96 mm (2.4 in) 240×320 ILI9341	STM32F103ZET6 72 MHz	19 (05+14)	1 497.2

测试结果表明,采用FSMC总线同时连接数码管和TFT-LCD显示屏各项显示功能均很好完成,刷新速度快,画面清晰流畅,系统稳定可靠,项目设计达到了预期目标。

6 结 论

本文设计了一款嵌入式系统多显示终端实验装置,将数码显示器和TFT-LCD均挂接在

STM32微控制器的高速FSMC总线上,实现数据信号和控制信号时分复用。LCD的8080控制时序和数码显示器地址锁存信号均由硬件自动产生,FSMC初始化亦可通过STM32CubeMX图形化配置工具轻松完成,软件设计工作量显著

减少。相比于微控制器直接并口控制,减少了38.2%的GPIO引脚资源占有率,LCD刷屏速度提高了17.6倍。系统设计方案具有较高的数据访问性能,降低了软硬设计难度,提高了系统可靠性。

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] 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 K Q, WANG C Q. 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. (in Chinese)
- [3] 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)
- [4] 刘振海,骆冬根,王改,等. 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, *et al.* Design of CF card data storage system based on FSMC interface [J]. *Modern Electronics Technique*, 2019, 42(10): 15-18. (in Chinese)
- [5] 王传伟,王泽东,李军. 基于FSMC控制的彩色液晶屏驱动设计[J]. 内江师范学院学报,2018,33(6):77-82.
WANG C W, WANG Z D, LI J. FSMC-control-based design of color LCD screen driver [J]. *Journal of Neijiang Normal University*, 2018, 33(6): 77-82. (in Chinese)
- [6] 李良,王德生,王小康,等. 基于STM32单片机FSMC接口驱动LCD的配置与分析[J]. 机电产品开发与创新, 2018,31(4):72-73,77.
LI L, WANG D S, WANG X K, *et al.* Configuration and analysis of FSMC interface driven LCD based on STM32 [J]. *Development & Innovation of Machinery & Electrical Products*, 2018, 31(4): 72-73, 77. (in Chinese)
- [7] 杨光义,尹佳琪,王雪迪,等. 基于TFT-LCD的多路实时采集显示系统研究[J]. 实验室研究与探索,2015,34(6): 150-154.
YANG G Y, YIN J Q, WANG X D, *et al.* Study of multi-channel real-time acquisition collection and display system based on TFT-LCD [J]. *Research and Exploration in Laboratory*, 2015, 34(6): 150-154. (in Chinese)
- [8] 黄克亚. 基于蓝牙技术的时间同步与无线监控系统实验设计[J]. 实验技术与管理,2021,38(11):64-69.
HUANG K Y. Experimental design of time synchronization and wireless monitoring system based on Bluetooth technology [J]. *Experimental Technology and Management*, 2021, 38(11): 64-69. (in Chinese)
- [9] STMicroelectronics. STM32 reference manual(RM0090)[EB/OL]. 2015, 10. <http://www.st.com>.
- [10] Technology CorpILI. a-Si TFT LCD single chip driver 240RGBx320 resolution and 262K color datasheet [R]. 2010.

作者简介:



黄克亚(1982—),男,江苏淮安人,硕士,软件设计师,副教授,2010年于苏州大学获得硕士学位,主要从事智能控制、嵌入式系统等研究工作。E-mail:22102600@qq.com