

精通 STM32F4 (库函数版) 第2版

张 洋 刘 军 编著
严汉宇 左忠凯



北京航空航天大学出版社
BEIHANG UNIVERSITY PRESS

精通 STM32F4

(库函数版)

(第2版)

张 洋 刘 军 严汉宇 左忠凯 编著



北京航空航天大学出版社

内 容 简 介

本书由浅入深,旨在讲解 STM32F407 的各个功能。本书总共分为 3 篇:第一篇为硬件篇,主要介绍实验平台;第二篇为软件篇,主要介绍 STM32F4 常用开发软件的使用以及下载调试的一些技巧,并详细介绍几个常用的系统文件(程序);第三篇为实战篇,通过 33 个实例带领读者一步步深入了解 STM32F4。本次修订对部分知识进行了更新。

本书可配套 ALIENTEK 探索者 STM32F4 开发板学习使用,配套资料包含详细原理图以及所有实例的完整代码。这些代码都有详细的注释,并且所有源码都已经经过严格测试,不会有任何警告和错误。另外,源码已生成 hex 文件,读者只需要通过串口/仿真器下载到开发板即可看到实验现象,亲自体验实验过程。

本书适用于广大学生和电子爱好者学习 STM32F4,其大量的实验以及详细的解说也是公司产品开发的有力助手。

图书在版编目(CIP)数据

精通 STM32F4:库函数版 / 张洋等编著. -- 2 版

. -- 北京:北京航空航天大学出版社,2019.2

ISBN 978-7-5124-2944-4

I. ①精… II. ①张… III. ①微控制器 IV.

①TP332.3

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2019)第 031903 号

版权所有,侵权必究。

精通 STM32F4(库函数版)(第 2 版)

张 洋 刘 军 严汉宇 左忠凯 编著

责任编辑 董立娟

*

北京航空航天大学出版社出版发行

北京市海淀区学院路 37 号(邮编 100191) <http://www.buaapress.com.cn>

发行部电话:(010)82317024 传真:(010)82328026

读者信箱:emsboqk@buaacm.com.cn 邮购电话:(010)82316936

涿州市新华印刷有限公司印装 各地书店经销

*

开本:710×1 000 1/16 印张:31 字数:697 千字

2019 年 3 月第 2 版 2019 年 3 月第 1 次印刷 印数:3 000 册

ISBN 978-7-5124-2944-4 定价:89.00 元

若本书有倒页、脱页、缺页等印装质量问题,请与本社发行部联系调换。联系电话:(010)82317024

作为 Cortex-M3 市场的最大占有者之一,ST 公司在 2011 年推出了基于 Cortex-M4 内核的 STM32F4 系列产品。相比 STM32F1/F2 等 Cortex-M3 产品,STM32F4 最大的优势就是新增了硬件 FPU 单元以及 DSP 指令,同时,其主频也提高了很多,达到 168 MHz(可获得 210 DMIPS 的处理能力),这使得 STM32F4 尤其适用于需要浮点运算或 DSP 处理的应用,因而被称为 DSC,具有非常广泛的应用前景。

STM32F4 相对于 STM32F1,主要优势如下:

① 更先进的内核。STM32F4 采用 Cortex-M4 内核,带 FPU 和 DSP 指令集,而 STM32F1 采用的是 Cortex-M3 内核,不带 FPU 和 DSP 指令集。

② 更多的资源。STM32F4 拥有 192 KB 的片内 SRAM,带摄像头接口(DCMI)、加密处理器(CRYP)、USB 高速 OTG、真随机数发生器、OTP 存储器等。

③ 增强的外设功能。对于相同的外设部分,STM32F4 具有更快的模/数转换速度、更低的 ADC/DAC 工作电压、32 位定时器、带日历功能的实时时钟(RTC)、复用功能大大增强的 I/O、4 KB 的电池备份 SRAM 以及更快的 USART 和 SPI 通信速度。

④ 更高的性能。STM32F4 最高运行频率可达 168 MHz,而 STM32F1 只能到 72 MHz;STM32F4 拥有 ART 自适应实时加速器,可以达到相当于 FLASH 零等待周期的性能,STM32F1 则需要等待周期;STM32F4 的 FSMC 采用 32 位多重 AHB 总线矩阵,相比 STM32F1 总线访问速度明显提高。

⑤ 更低的功耗。STM32F40x 的功耗为 238 μ A/MHz,其中,低功耗版本的 STM32F401 更是低到 140 μ A/MHz,而 STM32F1 则高达 421 μ A/MHz。

STM32F4 家族目前拥有 STM32F40x、STM32F41x、STM32F42x 和 STM32F43x 等几个系列、数十个产品型号,不同型号之间软件和引脚具有良好的兼容性,可方便客户迅速升级产品。其中,STM32F42x/43x 系列带 LCD 控制器和 SDRAM 接口,对于想要驱动大屏或需要大内存的用户来说,是个不错的选择。目前,STM32F4 这些芯片型号都已量产,可以方便地购买到。性价比最高的是 STM32F407。本书将以 STM32F407 为例来讲解 STM32F4。

内容特点

学习 STM32F4 经常用到的资料:《STM32F4xx 中文参考手册》、《STM32F3 与 F4 系列 Cortex-M4 内核编程手册》英文版、《ARM Cortex-M3 与 M4 权威指南》英文版。

最常用的是《STM32F4xx 中文参考手册》,该手册是 ST 官方针对 STM32 的一份

通用参考资料,内容翔实,但是没有实例,也没有对 Cortex-M4 构架进行太多介绍,读者只能根据自己对书本的理解来编写相关代码。

《STM32F3 与 F4 系列 Cortex-M4 内核编程手册》则重点介绍了 Cortex-M4 内核的汇编指令及其使用、内核相关寄存器(如 SCB、NVIC、SYSTICK 等寄存器),是《STM32F4xx 中文参考手册》的重要补充。很多在《STM32F4xx 中文参考手册》无法找到的内容都可以在这里找到,不过目前该文档没有中文版本,只有英文版。

《ARM Cortex-M3 与 M4 权威指南》详细介绍了 Cortex-M3 和 Cortex-M4 内核的体系架构,并配有简单实例。对于想深入了解 Cortex-M4 内核的读者来说,这是非常好的参考资料。该文档目前只有英文版。由于 Cortex-M3 和 Cortex-M4 很多地方都是通用的,所以有的时候可以参考《ARM Cortex-M3 权威指南(中文版)》文档。

本书将结合以上 3 份资料,从库函数级别出发,深入浅出地向读者展示 STM32F4 的各种功能。全书配有 33 个实例,每个实例均配有软硬件设计,在介绍完软硬件之后附上实例代码,并带有详细注释及说明,可让读者快速理解代码。

本书实例涵盖了 STM32F4 的绝大部分内部资源,提供很多实用级别的程序,如内存管理、文件系统、图片解码、IAP 等。所有实例在 MDK5 编译器下编译通过,读者只须下载程序到 ALIENTEK 探索者 STM32 开发板即可验证实验。

读者对象

不管你是一个 STM32 初学者,还是一个老手,本书都非常适合。对于初学者,本书将手把手地教你如何使用 MDK,包括新建工程、编译、仿真、下载调试等一系列步骤,让你轻松上手。

配套资料

本书的实验平台是 ALIENTEK 探索者 STM32 开发板,有这款开发板的朋友可直接拿本书配套的例程在开发板上运行、验证。而没有这款开发板的朋友,可以上淘宝购买。当然,如果已有了一款自己的开发板,只要你的板子上有 ALIENTEK 探索者 STM32 开发板上的相同资源(需要实验用到的)也可以,代码一般都是通用的,你需要做的只是把底层的驱动函数(比如 I/O 口修改)稍做修改,使之适合你的开发板即可。

本书配套资料包括:探索者 STM32F407 开发板及其相关模块原理图(pdf 格式)、视频教程、文档教程、配套软件、各例程程序源码和相关参考资料等。所有这些资料都可以在:<http://www.openedv.com/thread-13912-1-1.html> 下载。

感谢

衷心感谢意法半导体(ST)中国区高级市场经理曹锦东先生对本书的大力支持,他为本书提供了很多参考资料和指导意见。

衷心感谢陈贵东、谭春风、李小虎、刘勇材、罗建、周莉等人审稿,帮我找到了很多缺陷和错误,并提出了宝贵的意见。

衷心感谢北京航空航天大学出版社的支持,正是编辑的认真工作,才使得本书能够顺利地
地与读者见面。

作者力求将本书写好,但由于时间有限,书中难免会有出错的地方,欢迎读者指正,
作者邮箱:389063473@qq.com,也可以去 www.openedv.com 论坛给作者留言,在此
先向各位读者表示诚挚的感谢。

作 者

2019 年 1 月



第1篇 硬件篇

第1章 实验平台简介	3
1.1 ALIENTEK 探索者 STM32F4 开发板资源初探	3
1.2 ALIENTEK 探索者 STM32F4 开发板资源说明	5
1.2.1 硬件资源说明	5
1.2.2 软件资源说明	11
第2章 实验平台硬件资源详解	13
2.1 开发板原理图详解	13
2.2 开发板使用注意事项	30
2.3 STM32F4 学习方法	31

第2篇 软件篇

第3章 MDK5 软件入门	35
3.1 STM32 官方标准固件库简介	35
3.1.1 库开发与寄存器开发的关系	35
3.1.2 STM32 固件库与 CMSIS 标准讲解	36
3.1.3 STM32F4 官方库包介绍	37
3.2 MDK5 简介	41
3.3 新建基于 STM32F40x 固件库的 MDK5 工程模板	42
3.3.1 MDK5 安装步骤	42
3.3.2 新建工程模板	42
3.4 程序下载与调试	58
3.4.1 STM32 串口程序下载	58
3.4.2 ST-LINK 下载与调试程序	63
第4章 STM32F4 开发基础知识入门	70
4.1 MDK 下 C 语言基础复习	70
4.2 STM32F4 总线架构	75
4.3 STM32F4 时钟系统	76
4.3.1 STM32F4 时钟树概述	76
4.3.2 STM32F4 时钟初始化配置	80
4.3.3 STM32F4 时钟使能和配置	83
4.4 I/O 引脚复用器和映射	85

4.5	STM32 NVIC 中断优先级管理	89
4.6	MDK 中寄存器地址名称映射分析	93
4.7	MDK 固件库快速组织代码技巧	95
第 5 章	SYSTEM 文件夹介绍	101
5.1	delay 文件夹代码介绍	101
5.2	sys 文件夹代码介绍	106
5.3	usart 文件夹介绍	108
5.3.1	printf 函数支持	109
5.3.2	uart_init 函数	109
5.3.3	USART1_IRQHandler 函数	111

第 3 篇 实战篇

第 6 章	跑马灯实验	117
第 7 章	按键输入实验	132
第 8 章	串口通信实验	136
第 9 章	外部中断实验	145
第 10 章	独立看门狗(IWDG)实验	152
第 11 章	窗口看门狗(WWDG)实验	157
第 12 章	定时器中断实验	162
第 13 章	PWM 输出实验	170
第 14 章	输入捕获实验	176
第 15 章	TFTLCD 显示实验	186
第 16 章	USART 调试组件实验	213
第 17 章	RTC 实时时钟实验	223
第 18 章	待机唤醒实验	240
第 19 章	ADC 实验	248
第 20 章	DAC 实验	260
第 21 章	DMA 实验	269
第 22 章	I ² C 实验	282
第 23 章	SPI 实验	289
第 24 章	RS485 实验	299
第 25 章	CAN 通信实验	306
第 26 章	触摸屏实验	331
第 27 章	FLASH 模拟 EEPROM 实验	349
第 28 章	外部 SRAM 实验	361
第 29 章	内存管理实验	368
第 30 章	SD 卡实验	377
第 31 章	FATFS 实验	398

第 32 章	汉字显示实验	409
第 33 章	图片显示实验	423
第 34 章	FPU 测试(Julia 分形)实验	433
第 35 章	DSP 测试实验	440
第 36 章	串口 IAP 实验	453
第 37 章	USB 读卡器(Slave)实验	465
第 38 章	USB U 盘(Host)实验	475
参考文献		483

第 1 篇 硬件篇

实践出真知,要想学好 STM32F4,实验平台必不可少!本篇详细介绍 STM32F4 的硬件平台——ALIENTEK 探索者 STM32F4 开发板,使读者了解其功能及特点。

为了让读者更好地使用 ALIENTEK 探索者 STM32F4 开发板,本篇还介绍开发板使用时的注意事项。读者在使用开发板的时候一定要注意。

本篇将分为如下两章:

- 实验平台简介;
- 实验平台硬件资源详解。

第 1 章

实验平台简介

本章简要介绍实验平台:ALIENTEK 探索者 STM32F4 开发板。通过本章的学习,读者会对实验平台有个大概的了解,为后面的学习打基础。

1.1 ALIENTEK 探索者 STM32F4 开发板资源初探

在 ALIENTEK 探索者 STM32F4 开发板之前,ALIENTEK 推出的两款 STM32F1 系列开发板:MiniSTM32 开发板和战舰 STM32 开发板,常年稳居淘宝销量前列,累计出货量超过 3 万套。而这款探索者 STM32F4 开发板,则是 ALIENTEK 推出的首款 Cortex-M4 开发板,其资源图如图 1.1 所示。

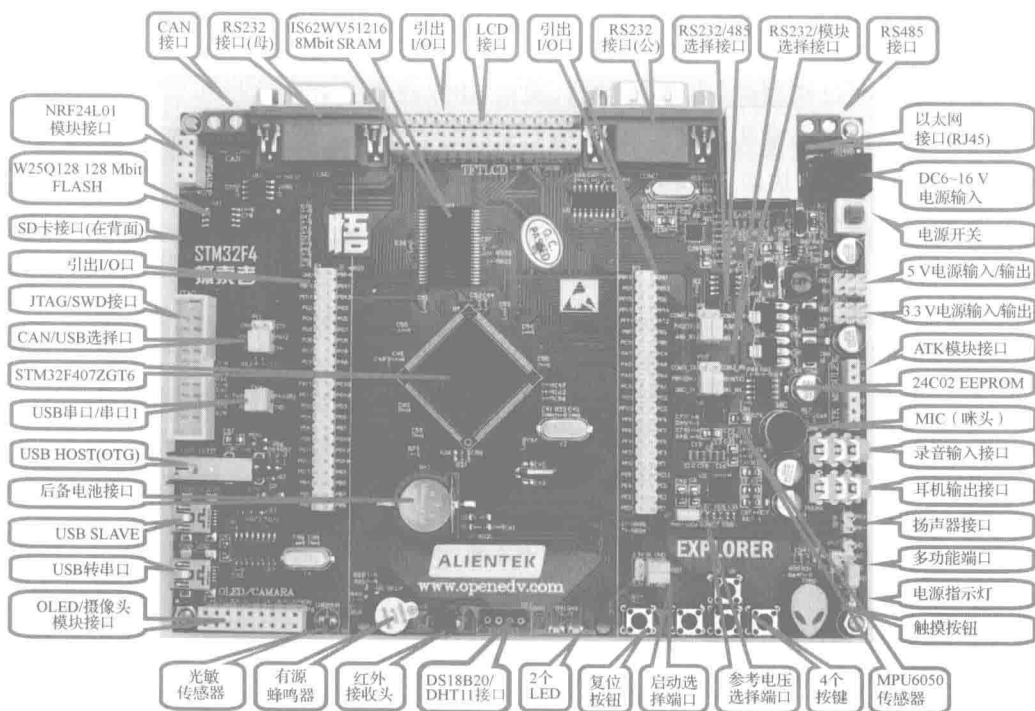


图 1.1 探索者 STM32F4 开发板资源图

从图 1.1 可以看出,ALIENTEK 探索者 STM32F4 开发板资源十分丰富,并把 STM32F407 的内部资源发挥到了极致,几乎所有 STM32F407 的内部资源都可以在此开发板上验证,同时扩充了丰富的接口和功能模块,整个开发板显得十分大气。

开发板的外形尺寸为 121 mm×160 mm,充分考虑了人性化设计,并结合 ALIENTEK 多年的 STM32 开发板设计经验,同时听取了很多网友以及客户的建议,经过多次改进(面市之前,硬件改版超过 5 次,目前最新版本为 V1.6),最终确定了设计方案。

ALIENTEK 探索者 STM32F4 开发板板载资源如下:

- CPU:STM32F407ZGT6,LQFP144,FLASH:1 024 KB,SRAM:192 KB;
- 外扩 SRAM:IS62WV51216,1 MB;
- 外扩 SPI FLASH:W25Q128,16 MB;
- 一个电源指示灯(蓝色);
- 2 个状态指示灯(DS0:红色,DS1:绿色);
- 一个红外接收头,并配备一款小巧的红外遥控器;
- 一个 EEPROM 芯片,24C02,容量 256 字节;
- 一个 6 轴(陀螺仪+加速度)传感器芯片,MPU6050;
- 一个高性能音频编解码芯片,WM8978;
- 一个 2.4 GHz 无线模块接口,支持 NRF24L01 无线模块;
- 一路 CAN 接口,采用 TJA1050 芯片;
- 一路 485 接口,采用 SP3485 芯片;
- 2 路 RS232 串口(一公一母)接口,采用 SP3232 芯片;
- 一路数字温湿度传感器接口,支持 DS18B20/DHT11 等;
- 一个 ATK 模块接口,支持 ALIENTEK 蓝牙/GPS 模块;
- 一个光敏传感器;
- 一个标准的 2.4/2.8/3.5/4.3/7 寸 LCD 接口,支持电阻/电容触摸屏;
- 一个摄像头模块接口;
- 一个 OLED 模块接口;
- 一个 USB 串口,可用于程序下载和代码调试(USMART 调试);
- 一个 USB SLAVE 接口,用于 USB 从机通信;
- 一个 USB HOST(OTG)接口,用于 USB 主机通信;
- 一个有源蜂鸣器;
- 一个 RS232/RS485 选择接口;
- 一个 RS232/模块选择接口;
- 一个 CAN/USB 选择接口;
- 一个串口选择接口;
- 一个 SD 卡接口(在板子背面);
- 一个百兆以太网接口(RJ45);
- 一个标准的 JTAG/SWD 调试下载口;

- 一个录音头(MIC/咪头);
- 一路立体声音频输出接口;
- 一路立体声录音输入接口;
- 一路扬声器输出接口,可接1 W左右小喇叭;
- 一组多功能端口(DAC/ADC/PWM DAC/AUDIO IN/TPAD);
- 一组5 V电源供应/接入口;
- 一组3.3 V电源供应/接入口;
- 一个参考电压设置接口;
- 一个直流电源输入接口(输入电压范围:DC6~46 V);
- 一个启动模式选择配置接口;
- 一个RTC后备电池座,并带电池;
- 一个复位按钮,可用于复位MCU和LCD;
- 4个功能按钮,其中KEY_UP(即WK_UP)兼具唤醒功能;
- 一个电容触摸按键;
- 一个电源开关,控制整个板的电源;
- 独创的一键下载功能;
- 除晶振占用的I/O口外,其余所有I/O口全部引出。

ALIENTEK探索者STM32F4开发板的特点包括:

① 接口丰富。板子提供十多种标准接口,可以方便地进行各种外设的实验和开发。

② 设计灵活。板上很多资源都可以灵活配置,以便在不同条件下的使用。这里引出了除晶振占用的I/O口外的所有I/O口,可以极大地方便读者扩展及使用。另外,板载一键下载功能可避免频繁设置B0、B1的麻烦,仅通过一根USB线即可实现STM32的开发。

③ 资源充足。主芯片采用自带1 MB FLASH的STM32F407ZGT6,并外扩1 MB SRAM和16 MB FLASH,满足大内存需求和大数据存储。板载高性能音频编解码芯片、6轴传感器、百兆网卡、光敏传感器以及各种接口芯片,满足各种应用需求。

④ 人性化设计。各个接口都有丝印标注,使用起来一目了然;接口位置设计安排合理,方便顺手;资源搭配合理,物尽其用。

1.2 ALIENTEK探索者STM32F4开发板资源说明

这里分为硬件资源说明和软件资源说明。

1.2.1 硬件资源说明

首先详细介绍探索者STM32F4开发板的各个部分(图1.1中的标注部分)的硬件资源,这里将按逆时针的顺序依次介绍。

(1) NRF24L01 模块接口

这是开发板板载的 NRF24L01 模块接口(U6),只要插入模块就可以实现无线通信,从而使得板子具备了无线功能。但是这里需要 2 个模块和 2 个开发板同时工作,只有一个开发板或一个模块是没法实现无线通信的。

(2) W25Q128 128 Mbit FLASH

这是开发板外扩的 SPI FLASH 芯片(U11),容量为 128 Mbit,也就是 16 MB,可用于存储字库和其他用户数据,满足大容量数据存储要求。当然,如果觉得 16 MB 还不够用,则可以把数据存放在外部 SD 卡。

(3) SD 卡接口

这是开发板板载的一个标准 SD 卡接口(SD_CARD)。开发板的背面采用大 SD 卡接口(相机卡,TF 卡是不能直接插的,TF 卡得加卡套才行),SDIO 方式驱动。有了这个 SD 卡接口,就可以满足海量数据存储的需求。

(4) 引出 I/O 口(共 3 处)

这是开发板 I/O 引出端口,总共有 3 组主 I/O 引出口:P3、P4 和 P5。其中,P3 和 P4 分别采用 2×22 排针引出,共引出 86 个 I/O 口;P5 采用 1×16 排针,按顺序引出 FSMC_D0~D15 共 16 个 I/O 口。而 STM32F407ZGT6 总共只有 112 个 I/O,除去 RTC 晶振占用的 2 个 I/O,还剩下 110 个,前面 3 组主引出排针,总共引出 102 个 I/O,剩下的分别通过 P6、P9、P10 和 P11 引出。

(5) JTAG/SWD 接口

这是 ALIENTEK 探索者 STM32F4 开发板板载的 20 针标准 JTAG 调试口(JTAG),直接可以和 ULINK、JLINK 或者 STLINK 等调试器(仿真器)连接。同时,由于 STM32 支持 SWD 调试,这个 JTAG 口也可以用 SWD 模式来连接。

(6) CAN/USB 选择口

这是一个 CAN/USB 的选择接口(P11),因为 STM32 的 USB 和 CAN 共用一组 I/O(PA11 和 PA12),所以通过跳线帽来选择不同的功能,以实现 USB/CAN 的实验。

(7) STM32F407ZGT6

这是开发板的核心芯片(U4),型号为 STM32F407ZGT6。该芯片集成 FPU 和 DSP 指令,并具有 192 KB SRAM、1 024 KB FLASH、12 个 16 位定时器、2 个 32 位定时器、2 个 DMA 控制器(共 16 个通道)、3 个 SPI、2 个全双工 I²S、3 个 I²C、6 个串口、2 个 USB(支持 HOST /SLAVE)、2 个 CAN、3 个 12 位 ADC、2 个 12 位 DAC、一个 RTC(带日历功能)、一个 SDIO 接口、一个 FSMC 接口、一个 10/100M 以太网 MAC 控制器、一个摄像头接口、一个硬件随机数生成器以及 112 个通用 I/O 口等。

(8) USB 串口/串口 1

这是 USB 串口同 STM32F407ZGT6 的串口 1 进行连接的接口(P6),标号 RXD 和 TXD 是 USB 转串口的 2 个数据口(对 CH340G 来说),而 PA9(TXD)和 PA10(RXD)则是 STM32 的串口 1 的两个数据口(复用功能下)。它们通过跳线帽对接就可以连接在一起了,从而实现 STM32 的程序下载以及串口通信。

设计成 USB 串口是考虑到现在计算机的串口正在消失,尤其是笔记本电脑,几乎都没有串口,所以板载了 USB 串口,方便读者下载代码和调试,而板子上并没有直接连接在一起,则是出于使用方便的考虑。这样就可以把 ALIENTEK 探索者 STM32F4 开发板当成一个 USB 转 TTL 串口来和其他板子通信,而其他板子的串口也可以方便地接到 ALIENTEK 探索者 STM32F4 开发板上。

(9) USB HOST(OTG)

这是开发板板载的一个侧插式的 USB-A 座(USB_HOST)。由于 STM32F4 的 USB 是支持 HOST 的,所以可以通过 USB-A 座连接 U 盘/USB 鼠标/USB 键盘等其他 USB 从设备,从而实现 USB 主机功能。特别注意,USB HOST 和 USB SLAVE 共用 PA11 和 PA12,所以不可以同时使用。

(10) 后备电池接口

这是 STM32 后备区域的供电接口,可以用来给 STM32 的后备区域提供能量。在外部电源断电的时候,维持后备区域数据的存储以及 RTC 的运行。

(11) USB SLAVE

这是开发板板载的一个 MiniUSB 头(USB_SLAVE),用于 USB 从机(SLAVE)通信,一般用于 STM32 与计算机的 USB 通信。通过此 MiniUSB 头,开发板就可以和计算机进行 USB 通信了。注意:该接口不能和 USB HOST 同时使用。

开发板总共板载了 2 个 MiniUSB 头,一个(USB_232)用于 USB 转串口,连接 CH340G 芯片;另外一个(USB_SLAVE)用于 STM32 内带的 USB。同时开发板可以通过此 MiniUSB 头供电,板载 2 个 MiniUSB 头(不共用),主要是考虑了使用的方便性以及可以给板子提供更大的电流(2 个 USB 都接上)这两个因素。

(12) USB 转串口

这是开发板板载的另外一个 MiniUSB 头(USB_232),用于 USB 连接 CH340G 芯片,从而实现 USB 转串口。同时,此 MiniUSB 接头也是开发板电源的主要提供口。

(13) OLED/摄像头模块接口

这是开发板板载的一个 OLED/摄像头模块接口(P8),如果是 OLED 模块,靠左插即可(右边两个孔位悬空)。如果是摄像头模块(ALIENTEK 提供),则刚好插满。通过这个接口,可以分别连接 2 个外部模块,从而实现相关实验。

(14) 光敏传感器

这是开发板板载的一个光敏传感器(LS1)。通过该传感器,开发板感知周围环境光线的变化,从而实现类似自动背光控制的应用。

(15) 有源蜂鸣器

这是开发板的板载蜂鸣器(BEEP),可以实现简单的报警/闹铃。

(16) 红外接收头

这是开发板的红外接收头(U13),可以实现红外遥控功能。通过这个接收头可以接收市面上常见的各种遥控器的红外信号,甚至可以实现万能红外解码。当然,如果应用得当,该接收头也可以用来传输数据。

探索者 STM32F4 开发板配备了一个小巧的红外遥控器,外观如图 1.2 所示。

(17) DS18B20/DHT11 接口

这是开发板的一个复用接口(U12),由 4 个镀金排孔组成,可以用来接 DS18B20/DS1820 等数字温度传感器或 DHT11 这样的数字温湿度传感器,实现一个接口 2 个功能。不用的时候可以拆下上面的传感器,放到其他地方去用,使用十分方便灵活。

(18) 2 个 LED

这是开发板板载的 2 个 LED 灯(DS0 和 DS1)。DS0 是红色的,DS1 是绿色的,方便识别。这里提醒读者不要停留在 51 跑马灯的思维上,这么多灯除了浪费 I/O 口,实在是想不出其他什么优点。

一般应用中使用 2 个 LED 就足够了,在调试代码的时候,使用 LED 来指示程序状态是非常不错的辅助调试方法。探索者 STM32F4 开发板的几乎每个实例都使用了 LED 来指示程序的运行状态。

(19) 复位按钮

这是开发板板载的复位按键(RESET),用于复位 STM32。它还具有复位液晶的功能,因为液晶模块的复位引脚和 STM32 的复位引脚是连接在一起的,按下该键时 STM32 和液晶一并被复位。

(20) 启动选择端口

这是开发板板载的启动模式选择端口(BOOT)。STM32 有 BOOT0(B0)和 BOOT1(B1)两个启动选择引脚,用于选择复位后 STM32 的启动模式作为开发板,这两个是必需的。在开发板上,通过跳线帽选择 STM32 的启动模式。

(21) 参考电压选择端口

这是 STM32 的参考电压选择端口(P7),默认接开发板的 3.3 V(VDDA)。如果想设置其他参考电压,只需要把参考电压源接到 Vref+和 GND 即可。

(22) 4 个按键

这是开发板板载的 4 个机械式输入按键(KEY0、KEY1、KEY2 和 KEY_UP),其中,KEY_UP 具有唤醒功能,连接到 STM32 的 WAKE_UP(PA0)引脚,可用于待机模式下的唤醒,在不使用唤醒功能的时候,也可以当作普通按键输入使用。

其他 3 个是普通按键,可以用于人机交互的输入。这 3 个按键是直接连接在 STM32 的 I/O 口上的。注意,KEY_UP 是高电平有效,而 KEY0、KEY1 和 KEY2 是低电平有效。

(23) MPU6050 传感器

这是开发板板载的一个 6 轴传感器(U8)。MPU6050 是一个高性能的 6 轴传感



图 1.2 红外遥控器