

第 3 章

基于 STM32 的嵌入式系统应用开发

意法半导体(STMicroelectronics, ST)集团于 1987 年 6 月成立,是由意大利的 SGS 微电子公司和法国 Thomson 半导体公司合并而成。1998 年 5 月,SGS-THOMSON Microelectronics 将公司名称改为意法半导体有限公司。从成立之初至今,ST 的增长速度超过了半导体工业的整体增长速度。自 1999 年起,ST 始终是世界十大半导体公司之一。据最新的工业统计数据,意法半导体是全球第五大半导体厂商,在很多市场居世界领先水平。例如,意法半导体是世界第一大专用模拟芯片和电源转换芯片制造商,世界第一大工业半导体和机顶盒芯片供应商,而且在分立器件、手机相机模块和车用集成电路领域居世界前列。

意法半导体集团共有员工近 50 000 名,拥有 16 个先进的研发机构、39 个设计和应用中心、15 家主要制造厂,并在 36 个国家或地区设有 78 个销售办事处。公司总部设在瑞士日内瓦,同时也是欧洲区以及新兴市场的总部;公司的美国总部设在德克萨斯州达拉斯市的卡罗顿;亚太区总部设在新加坡;日本的业务则以东京为总部;中国区总部设在上海。

自 1994 年 12 月 8 日首次完成公开发行股票以来,意法半导体已经在纽约证券交易所(交易代码:STM)和泛欧巴黎证券交易所挂牌上市,1998 年 6 月,又在意大利米兰证券交易所上市。意法半导体拥有近 9 亿股公开发行股票,其中约 71.1%的股票是在各证券交易所公开交易的。另外有 27.5%的股票由意法半导体控股 II BV. 有限公司持有,其股东为 Finmeccanica 与 CDP 组成的意大利 Finmeccanica 财团和 Areva 及法国电信组成的法国财团;剩余 1.4%的库藏股由意法半导体公司持有。

STM32 是基于 ARM Cortex-M3 内核的 32 位处理器,具有杰出的功耗控制以及众多的外设,最重要的是其性价比高。而且 STM32 官方在国内的宣传也做得非常不错,并针对 8 位机市场推出了 STM8。

STM32F1 系列属于中低端的 32 位 ARM 微控制器,该系列芯片是意法半导体公司出品,其内核是 Cortex-M3。该系列芯片按片内 Flash 的大小可分为三大类:小容量(16KB 和 32KB)、中容量(64KB 和 128KB)、大容量(256KB、384KB 和 512KB)。芯片集成定时器、CAN、ADC、SPI、I²C、USB、UART 等多种功能。

3.1 STM32F103 系列 MCU 简介

STM32F103xC、STM32F103xD 和 STM32F103xE 增强型系列使用高性能的 ARM Cortex-M3 32 位的 RISC 内核,工作频率为 72MHz,内置高速存储器(高达 512KB 的闪存和 64KB 的 SRAM),丰富的增强 I/O 端口和连接到两条 APB 总线的外设。所有型号的器件都包含 3 个 12 位的 ADC、4 个通用 16 位定时器和 2 个 PWM 定时器,还包含标准和先进的通信接口:多达 2 个 I²C、3 个 SPI、2 个 I²S、1 个 SDIO、5 个 USART、1 个 USB 和 1 个 CAN。

STM32F103xC、STM32F103xD 和 STM32F103xE 增强型系列工作于 -40℃ ~ +105℃ 的温度范围,供电电压 2.0~3.6V,一系列的省电模式保证了低功耗应用的要求。

完整的 STM32F103xC、STM32F103xD 和 STM32F103xE 增强型系列产品包括从 64 引脚至 144 引脚的五种不同封装形式,根据不同的封装形式,器件中的外设配置不尽相同。

3.1.1 MCU 基本功能

1. 内核

- ARM 32 位的 Cortex-M3;
- 最高 72MHz 工作频率,在存储器的 0 等待周期访问时可达 1.25DMIPS/MHz (DhrystONe2.1);
- 单周期乘法和硬件除法。

2. 存储器

- 32~512KB 的闪存程序存储器(STM32F103XXXX 中的第二个 X 表示 Flash 容量,其中:“4”=16KB,“6”=32KB,“8”=64KB,B=128KB,C=256KB,D=384KB,E=512KB);
- 最大 64KB 的 SRAM。

3. 电源管理

- 2.0~3.6V 供电和 I/O 引脚;
- 上电/断电复位(POR/PDR)、可编程电压监测器(PVD);
- 4~16MHz 晶振振荡器;
- 内嵌经出厂调教的 8MHz 的 RC 振荡器;
- 内嵌带校准的 40kHz 的 RC 振荡器;
- 产生 CPU 时钟的 PLL;
- 带校准的 32kHz 的 RC 振荡器。

4. 低功耗

- 睡眠、停机和待机模式;
- Vbat 为 RTC 和后备寄存器供电。

5. 模/数转换器

- 2 个 12 位模/数转换器, $1\mu\text{s}$ 转换时间(多达 16 个输入通道);
- 转换范围: $0\sim 3.6\text{V}$;
- 双采样和保持功能;
- 温度传感器。

6. DMA

- 2 个 DMA 控制器,共 12 个 DMA 通道: DMA1 有 7 个通道,DMA2 有 5 个通道;
- 支持的外设: 定时器、ADC、SPI、USB、I²C 和 UART;
- 多达 112 个快速 I/O 端口(仅 Z 系列有超过 100 个引脚);
- 26/37/51/80/112 个 I/O 口,所有 I/O 口一起映像到 16 个外部中断;几乎所有的端口均可容忍 5V 信号。

7. 调试模式

- 串行单线调试(SWD)和 JTAG 接口;
- 多达 8 个定时器;
- 3 个 16 位定时器,每个定时器有多达 4 个用于输入捕获/输出比较/PWM 或脉冲计数的通道和增量编码器输入;
- 1 个 16 位带死区控制和紧急刹车、用于电机控制的 PWM 高级控制定时器;
- 2 个看门狗定时器(独立的和窗口型的);
- 系统时间定时器: 24 位自减型计数器。

8. 多达 9 个通信接口

- 2 个 I²C 接口(支持 SMBus/PMBus);
- 5 个 USART 接口(支持 ISO7816 接口、LIN、IrDA 接口和调制解调控制);
- 2 个 SPI 接口(18M 位/秒);
- CAN 接口(2.0B 主动);
- USB 2.0 全速接口。

9. 计算单元

CRC 计算单元,96 位的新批唯一代码。

10. 应用

STM32F103R8T6 是 ST 旗下的一款常用的增强型系列微控制器,适用于电力电子系统方面的应用、电机驱动、应用控制、医疗、手持设备、PC 游戏外设、GPS 平台、编程控制器(PLC)、变频器、扫描仪、打印机、警报系统、视频对讲、暖气通风、空调系统。

3.1.2 系统性能分析

(1) 集成嵌入式 Flash 和 SRAM 存储器的 ARM Cortex-M3 内核。和 8/16 位设备相比,ARM Cortex-M3 32 位 RISC 处理器提供了更高的代码效率。STM32F103xx 微控制器带有一个嵌入式的 ARM 核,可以兼容所有的 ARM 工具和软件。

(2) 嵌入式 Flash 存储器和 RAM 存储器: 内置多达 512KB 的嵌入式 Flash,可用于存储程序和数据。多达 64KB 的嵌入式 SRAM 可以以 CPU 的时钟速度进行读/写。

(3) 可变静态存储器(FSMC): FSMC 嵌入在 STM32F103xC、STM32F103xD、STM32F103xE 中,带有 4 个片选,支持 4 种模式:Flash、RAM、PSRAM、NOR 和 NAND。3 根 FSMC 中断线经过 OR 后连接到 NVIC。没有读/写 FIFO,除 PCCARD 之外,代码都是从外部存储器执行,不支持 Boot,目标频率等于 SYSCCLK/2,所以当系统时钟是 72MHz 时,外部访问按照 36MHz 进行。

(4) 嵌套矢量中断控制器(NVIC):可以处理 43 个可屏蔽中断通道(不包括 Cortex-M3 的 16 根中断线),提供 16 个中断优先级。紧密耦合的 NVIC 实现了更低的中断处理延时,直接向内核传递中断入口向量地址,紧密耦合的 NVIC 内核接口,允许中断提前处理,对后到的更高优先级的中断进行处理,支持尾链,自动保存处理器状态,中断入口在中断退出时自动恢复,不需要指令干预。

(5) 外部中断/事件控制器(EXTI):外部中断/事件控制器由 19 条用于产生中断/事件请求的边沿探测器线组成。每条线可以被单独配置用于选择触发事件(上升沿,下降沿,或者两者都可以),也可以被单独屏蔽。有一个挂起寄存器来维护中断请求的状态。当外部线上出现长度超过内部 APB2 时钟周期的脉冲时,EXTI 能够探测到。多达 112 个 GPIO 连接到 16 根个外部中断线。

(6) 时钟和启动:在启动的时候还是要进行系统时钟选择,但复位的时候内部 8MHz 的晶振被选用作 CPU 时钟。可以选择一个外部的 4~16MHz 的时钟,并且会被监视来判定是否成功。在这期间,控制器被禁止并且软件中断管理也随后被禁止。同时,如果有需要(例如碰到一个间接使用的晶振失败),PLL 时钟的中断管理完全可用。多个预比较器可以用于配置 AHB 频率,包括高速 APB(APB2)和低速 APB(APB1),高速 APB 最高的频率为 72MHz,低速 APB 最高的频率为 36MHz。

(7) Boot 模式:在启动的时候,Boot 引脚被用来在 3 种 Boot 选项中选择一种:从用户 Flash 导入,从系统存储器导入,从 SRAM 导入。Boot 导入程序位于系统存储器,用于通过 USART1 重新对 Flash 存储器编程。

(8) 电源供电方案:VDD,电压范围为 2.0~3.6V,外部电源通过 VDD 引脚提供,用于 I/O 和内部调压器。VSSA 和 VDDA,电压范围为 2.0~3.6V,外部模拟电压输入,用于 ADC、复位模块、RC 和 PLL,在 VDD 范围之内(ADC 被限制在 2.4V),VSSA 和 VDDA 必须相应连接到 VSS 和 VDD。VBAT,电压范围为 1.8~3.6V,当 VDD 无效时为 RTC,外部 32KHz 晶振和备份寄存器供电(通过电源切换实现)。

(9) 电源管理:设备有一个完整的上电复位(POR)和掉电复位(PDR)电路。这条电路一直有效,用于确保从 2V 启动或者掉到 2V 的时候进行一些必要的操作。当 VDD 低于一个特定的下限 VPOR/PDR 时,不需要外部复位电路,设备也可以保持在复位模式。设备特有一个嵌入的可编程电压探测器(PVD),PVD 用于检测 VDD,并且和 VPVD 限值比较,当 VDD 低于 VPVD 或者 VDD 大于 VPVD 时会产生一个中断。中断服务程序可以产生一个警告信息或者将 MCU 置为一个安全状态。PVD 由软件使能。

(10) 电压调节:调压器有 3 种运行模式:主(MR),低功耗(LPR)和掉电。MR 用在传统意义上的调节模式(运行模式),LPR 用在停止模式,掉电用在待机模式:调压器输出为高阻,核心电路掉电,包括零消耗(寄存器和 SRAM 的内容不会丢失)。

(11) 低功耗模式:STM32F103xx 支持 3 种低功耗模式,从而在低功耗、短启动时间和

可用唤醒源之间达到一个最好的平衡点。休眠模式：只有 CPU 停止工作，所有外设继续运行，在中断/事件发生时唤醒 CPU。停止模式：允许以最小的功耗来保持 SRAM 和寄存器的内容。1.8V 区域的时钟都停止，PLL、HSI 和 HSE RC 振荡器被禁能，调压器也被置为正常或者低功耗模式。设备可以通过外部中断线从停止模式唤醒。外部中断源可以是 16 个外部中断线之一、PVD 输出或者 TRC 警告。待机模式：追求最少的功耗，内部调压器被关闭，这样 1.8V 区域断电，PLL、HSI 和 HSE RC 振荡器也被关闭。在进入待机模式之后，除了备份寄存器和待机电路，SRAM 和寄存器的内容也会丢失。当外部复位(NRST 引脚)、IWDG 复位、WKUP 引脚出现上升沿或者 TRC 警告发生时，设备退出待机模式。进入停止模式或者待机模式时，TRC、IWDG 和相关的时钟源不会停止。

3.2 低功耗版本 STM32L 系列

除了上节中介绍的 103 系列 MCU，意法半导体还推出了低功耗的 32 位芯片 STM32L，可以广泛地应用在大多数的低功耗场合，具有非常明显的低功耗优势。

意法半导体的 EnergyLite 超低功耗技术平台是 STM32L 取得业内领先的能效性能的关键。这个技术平台也被广泛用于意法半导体的 8 位微控制器 STM8L 系列产品。EnergyLite 超低功耗技术平台基于意法半导体独有的 130nm 制造工艺，为实现超低的泄漏电流特性，意法半导体对该平台进行了深度优化。在工作和睡眠模式下，EnergyLite 超低功耗技术平台可以最大限度提升能效。此外，该平台的内嵌闪存采用意法半导体独有的低功耗闪存技术。这个平台还集成了直接访存(DMA)支持功能，在应用系统运行过程中关闭闪存和 CPU，外设仍然保持工作状态，从而可为开发人员节省大量的时间。

除最为突出的与制程有关的节能特色外，STM32L 系列还提供了更多其他的功能，开发人员能够优化应用设计的功耗特性。通过六个超低功耗模式，STM32L 系列产品能够在任何设定时间以最低的功耗完成任务。这些可用模式包括(在 1.8V/25°C 环境的初步数据)：

- 10.4 μ A 低功耗运行模式，32kHz 运行频率。
- 6.1 μ A 低功耗睡眠模式，一个计时器工作。
- 1.3 μ A 停机模式：实时时钟(RTC)运行，保存上下文，保留 RAM 内容。
- 0.5 μ A 停机模式：无实时时钟运行，保存上下文，保留 RAM 内容。
- 1.0 μ A 待机模式：实时时钟运行，保存后备寄存器。
- 270nA 待机模式：无实时时钟运行，保存后备寄存器。

STM32L 系列新增低功耗运行和低功耗睡眠两个低功耗模式，通过利用超低功耗的稳压器和振荡器，微控制器可大幅度降低在低频下的工作功耗。稳压器不依赖电源电压即可满足电流要求。STM32L 还提供动态电压升降功能，这是一项成功应用多年的节能技术，可进一步降低芯片在中低频下运行时的内部工作电压。在正常运行模式下，闪存的电流消耗最低为 230 μ A/MHz，STM32L 的功耗/性能比最低为 185 μ A/DMIPS。

此外，STM32L 电路的设计目的是以低电压实现高性能，有效延长电池供电设备的充

电间隔。片上模拟功能的最低工作电源电压为 1.8V。数字功能的最低工作电源电压为 1.65V,在电池电压降低时,可以延长电池供电设备的工作时间。

3.3 STM32 的开发工具

目前最常用的开发版本有 Keil MDK 和 EWARM 两种,也有基于开源的 IDE 环境,但是不常用,建议使用这两种 IDE 开发环境。

1. Keil MDK

Keil MDK,也称 MDK-ARM、Realview MDK、I-MDK、 μ Vision4 等。目前 Keil MDK 由三家国内代理商提供技术支持和相关服务。

MDK-ARM 软件为基于 Cortex-M、Cortex-R4、ARM7、ARM9 处理器设备提供了一个完整的开发环境。MDK-ARM 专为微控制器应用而设计,不仅易学易用,而且功能强大,能够满足大多数苛刻的嵌入式应用。

MDK-ARM 有四个可用版本,分别是 MDK-Lite、MDK-Basic、MDK-Standard、MDK-Professional。所有版本均提供一个完善的 C/C++ 开发环境,其中 MDK-Professional 还包含大量的中间库。

目前最新的 Keil μ Vision IDE 的版本号为 5.1,在 Keil 的官网上可以下载,免费版只有 5KB 的编译容量。

2. IAR EWARM

Embedded Workbench for ARM 是 IAR Systems 公司为 ARM 微处理器开发的一个集成开发环境(下面简称 IAR EWARM)。比较其他的 ARM 开发环境,IAR EWARM 具有入门容易、使用方便和代码紧凑等特点。

IAR Systems 公司目前推出的最新版本是 IAR Embedded Workbench for ARM version 4.30。这里提供的是 32KB 代码限制、但没有时间限制的 Kickstart 版。

EWARM 中包含一个全软件的模拟程序(simulator)。用户不需要任何硬件支持就可以模拟各种 ARM 内核、外部设备甚至中断的软件运行环境,从中可以了解和评估 IAR EWARM 的功能和使用方法。

3. 开发前准备工作

对 STM32F103 系列 MPU 开发前,需要准备相应的软硬件。其中硬件主要包括 STM32F103 开发板(或用户目标板)、J-Link 下载仿真器等;软件主要包括 Keil μ Vision IDE 开发平台。下面对各自的功能和特点作简要说明。

(1) STM32F103 开发板(或用户目标板)是开发目标对象。

(2) J-Link 下载仿真器是程序下载的枢纽,它带有的标准 20 芯扁平电缆可将程序通过 JTAG 接口下载到处理器内部存储空间;无须外部供电,用 USB 连接线与 PC 连接好后即可工作;还具有下载速度快、功耗低的特点。

(3) Keil μ Vision IDE 是一个基于窗口的软件开发平台,它集成了强大而且现代化的编辑器、工程管理器 and make 工具,几乎集成了嵌入式系统开发所需的全部工具: C/C++ 编译

器、宏汇编器、链接/定位器、HEX 文件生成器等。该软件提供了两种工作模式：编译和调试模式。在编译模式中,开发者可以创建工程、选择目标器件、新建文件、输入源代码、生成可执行文件;在调试模式中,开发者可以利用其强大的集成调试器对应用程序进行调试,如设置断点、单步执行等,方便了程序错误的查找和修改。

3.4 STM32 的固件库文件

STM32 的固件库封装了各种类型及模块的配置文件以及各功能模块的配置以及使用。类似于 API,让你少接触底层,就可以写出程序,提高开发效率及降低了门槛。虽然固件库封装了底层的接口,但是作为硬件开发的软件工程师,还是要多看 MCU 的 datasheet,只有熟悉了底层,才能写出更高效的程序。

目前 STM32 的固件库的最新版本是 V3.5,在 STM 的官网上可以直接下载。

解压库文件,里面目录结构有:

_htmrsc: ST 的 logo,完全无用,不用理会。

Libraries: 比较重要的文件,包含 STM32 的系统文件和大量头文件,也就是库文件。

Project: 包含大量外设的例程和各个软件版本的评估版工程模板。KEIL 对应的就是 MDK-ARM 文件下的工程模板。开发者也可以利用这个工程模板来修改,得到自己的工程模块,本书不用此法。

Utilities: 评估版的相关文件。

对于每一个固件库的函数可以在网络上下载 V3.5 固件库的说明书,详细查看。

3.5 STM32 的启动文件

在 STM32 中所有的例程都采用了一个叫 STM32F10x.s 的启动文件,里面定义了 STM32 的堆栈大小以及各种中断的名字及入口函数名称,还有启动相关的汇编代码。STM32F10x.s 是 MDK 提供的启动代码,从里面的内容来看,它只定义了 3 个串口,4 个定时器。实际上 STM32 的系列产品有 5 个串口的型号,最多的有 8 个定时器。例如,如果开发者用的是 STM32F103ZET6,而启动文件用的是 STM32F10x.s,则只可以正常使用串口 1~3 的中断,而串口 4 和 5 的中断则无法正常使用。又例如,TIM1~4 的中断可以正常使用,而 5~8 的,则无法使用。

在固件库里出现了 3 个文件: startup_stm32f10x_ld.s、startup_stm32f10x_md.s、startup_stm32f10x_hd.s。其中,ld.s 适用于小容量产品;md.s 适用于中等容量产品;hd 适用于大容量产品。这里的容量是指 Flash 的大小,判断方法如下:小容量:Flash \leq 32KB;中容量:64KB \leq Flash \leq 128KB;大容量:256KB \leq Flash。

在开发过程中,开发者一定要根据自己 MCU 的类型选择合适的启动文件,否则启动就会出现问題。

3.6 JTAG 简介

1. JTAG 接口

JTAG(Joint Test Action Group,联合测试行动小组)是一种国际标准测试协议(IEEE 1149.1 兼容),主要用于芯片内部测试。现在多数的高级器件都支持 JTAG 协议,如 DSP、FPGA 器件等。标准的 JTAG 接口是 4 线:TMS、TCK、TDI、TDO,分别为模式选择、时钟、数据输入和数据输出线。

JTAG 最初是用来对芯片进行测试的,JTAG 的基本原理是在器件内部定义一个 TAP (Test Access Port,测试访问口),通过专用的 JTAG 测试工具对进行内部节点进行测试。JTAG 测试允许多个器件通过 JTAG 接口串联在一起,形成一个 JTAG 链,能实现对各个器件分别测试。现在,JTAG 接口还常用于实现 ISP(In-System Programmable,在线编程),对 Flash 等器件进行编程。

JTAG 编程方式是在线编程,传统生产流程中先对芯片进行预编程,再安装到板上,简化的流程为先固定器件到电路板上,再用 JTAG 编程,从而大大加快了工程进度。JTAG 接口可对 PSD 芯片内部的所有部件进行编程。

具有 JTAG 口的芯片都有如下 JTAG 引脚定义:

- TCK——测试时钟输入;
- TDI——测试数据输入,数据通过 TDI 输入 JTAG 口;
- TDO——测试数据输出,数据通过 TDO 从 JTAG 口输出;
- TMS——测试模式选择,用来设置 JTAG 口处于某种特定的测试模式;
- 可选引脚 TRST——测试复位,输入引脚,低电平有效。

含有 JTAG 口的芯片种类较多,如 CPU、DSP、CPLD 等。

JTAG 内部有一个状态机,称为 TAP 控制器。TAP 控制器的状态机通过 TCK 和 TMS 进行状态的改变,实现数据和指令的输入。

2. JTAG 芯片的边界扫描寄存器

JTAG 标准定义了一个串行的移位寄存器。寄存器的每一个单元分配给 IC 芯片的相应引脚,每一个独立的单元称为 BSC(Boundary-Scan Cell)边界扫描单元。这个串联的 BSC 在 IC 内部构成 JTAG 回路,所有的 BSR(Boundary-Scan Register)边界扫描寄存器通过 JTAG 测试激活,平时这些引脚保持正常的 IC 功能。

3. JTAG 在线写 Flash 的硬件电路设计与与 PC 的连接方式

以含 JTAG 接口的 StrongARM SA1110 为例,Flash 为 Intel 28F128J32 16MB 容量。SA1110 的 JTAG 的 TCK、TDI、TMS、TDO 分别接 PC 并口的 2、3、4、11 线上,通过程序将对 JTAG 口的控制指令和目标代码从 PC 的并口写入 JTAG 的 BSR 中。在设计 PCB 时,必须将 SA1110 的数据线、地址线及控制线与 Flash 的地线线、数据线和控制线相连。因 SA1110 的数据线、地址线及控制线的引脚上都有其相应的 BSC,只要用 JTAG 指令将数据、地址及控制信号送到其 BSC 中,就可通过 BSC 对应的引脚将信号送给 Flash,实现对 Flash 的操作。

4. 通过使用 TAP 状态机的指令实现对 Flash 的操作

通过 TCK、TMS 的设置,可将 JTAG 设置为接收指令或数据状态。JTAG 常用指令如下。

- SAMPLE/PRELOAD——用此指令采样 BSC 内容或将数据写入 BSC 单元;
- EXTEST——当执行此指令时,BSC 的内容通过引脚送到其连接的相应芯片的引脚,就是通过这种指令实现在线写 Flash 的;
- BYPASS——此指令将一个一位寄存器置于 BSC 的移位回路中,即仅有一个一位寄存器处于 TDI 和 TDO 之间。

在 PCB 电路设计好后,可用程序先将 JTAG 的控制指令通过 TDI 送入 JTAG 控制器的指令寄存器中。再通过 TDI 将要写 Flash 的地址、数据及控制线信号入 BSR 中,并将数据锁存到 BSC 中,用 EXTEST 指令通过 BSC 将程序写入 Flash。

3.7 JTAG 调试 STM32F103 过程

JTAG 调试使用的 Keil 版本为 MDK 5.0 版本,例如 ARM 单片机为 STM32F103C8T6,设置方法如下。

(1) 连接上 J-Link 和 STM32 开发板及计算机,打开 Keil 软件,如图 3-1 所示,在新建工程后单击设置。

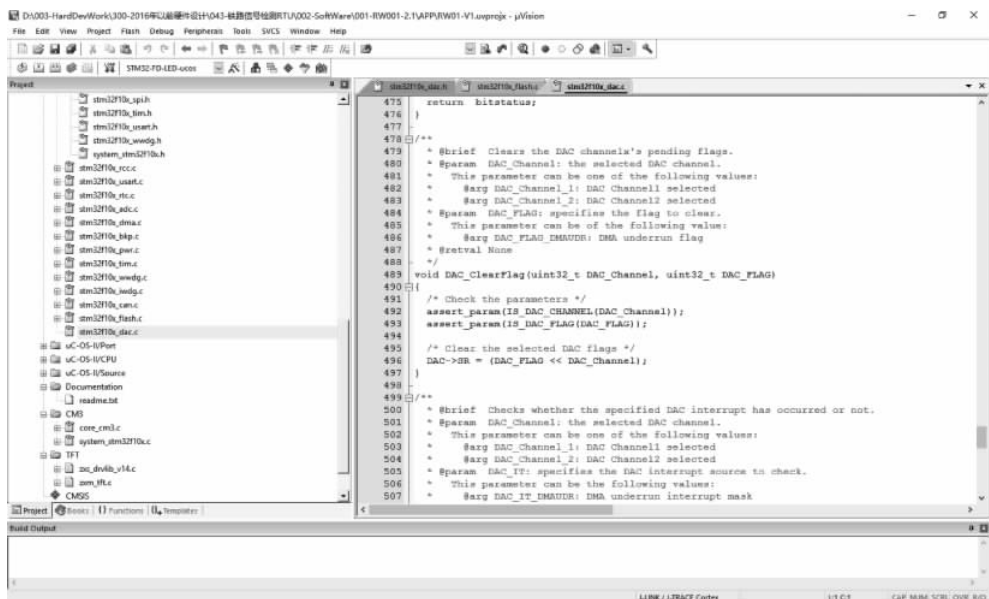


图 3-1 Keil MDK 开发环境界面

(2) 工程选项设置界面如图 3-2 所示。

(3) 如图 3-3 所示,选择 Debug 标签。使用如图 3-3 所示 CM3 J-Link 方式单击 Settings 进入配置界面。

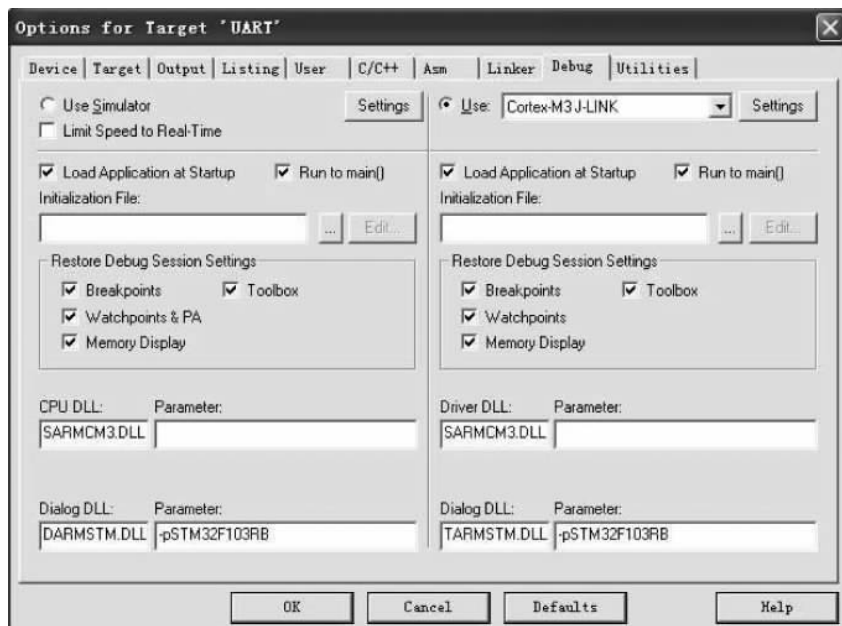


图 3-2 工程选项设置界面

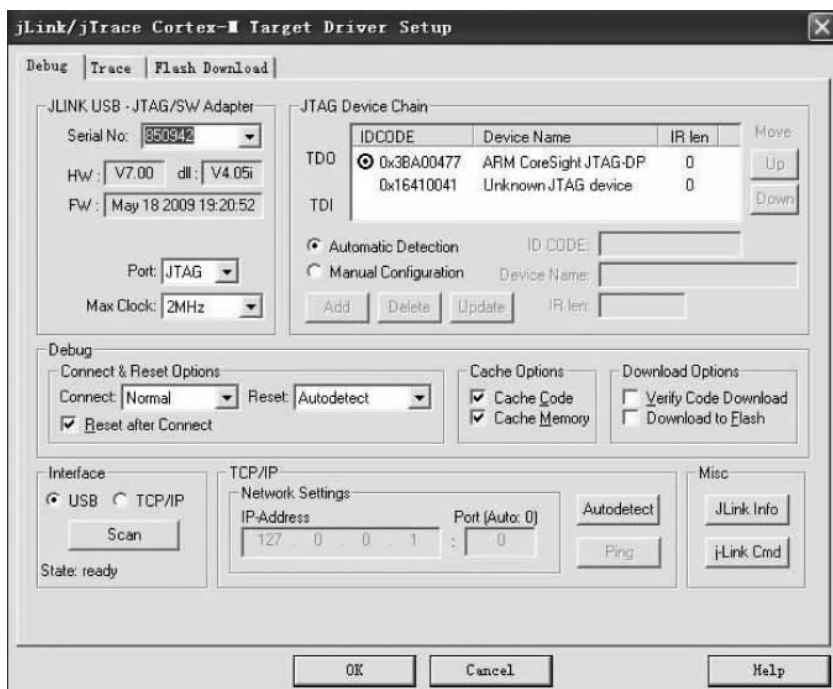


图 3-3 Debug 设置界面

- (4) 在 Debug 标签中选择工作模式,如图 3-4 所示。
- (5) JTAG 工作方式最大支持 2MHz 下载和仿真,如图 3-5 所示。SWD 方式最大可以使用最大值 12MB。



图 3-4 JTAG 工作方式选项



图 3-5 SW 工作方式选项

(6) 设定完后再打开 Flash Download 标签设置器件 Flash,如图 3-6 所示。

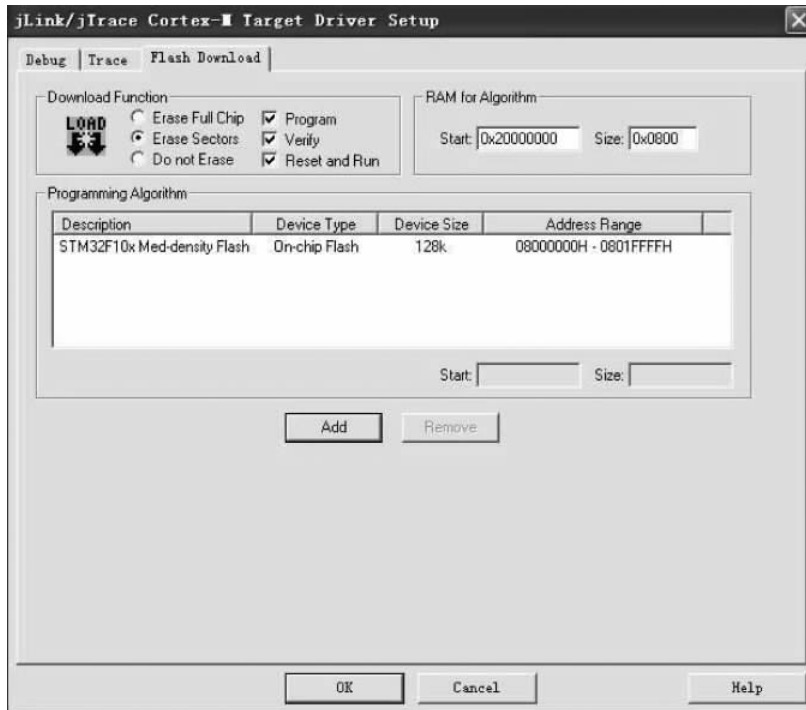


图 3-6 Flash Download 界面

单击 Add 按钮添加器件,如图 3-7 所示,选择目前使用的 MCU 类型。

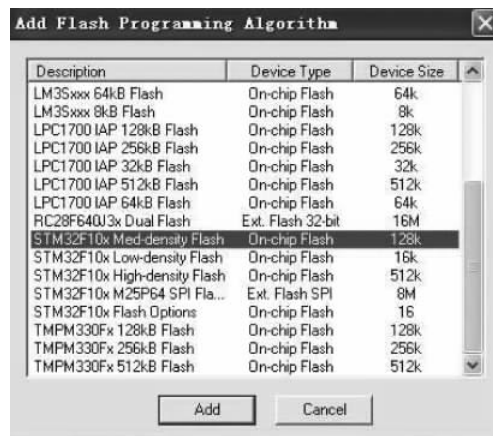


图 3-7 添加选择器件

(7) 设置完后进入 Utilities 标签里选择 CM3 J-Link,如图 3-8 所示。

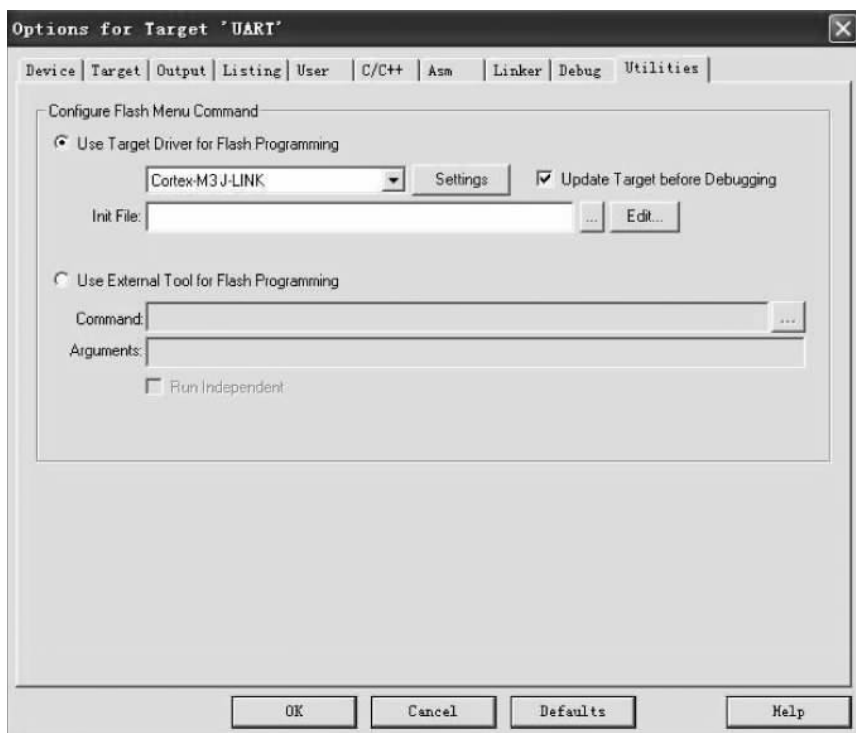


图 3-8 Utilities 标签界面

完成设置后便能以 JTAG 或 SWD 方式调试 STM32 芯片。

3.8 SWD 仿真模式

1. SWD 和传统调试方式的区别

(1) SWD 模式比 JTAG 模式更加可靠。在大数据量的情况下, JTAG 下载程序会失败,但是 SWD 发生的几率会小很多。只要仿真器支持,通常使用 JTAG 仿真模式的情况下都是可以直接使用 SWD 模式的,所以推荐读者使用这个模式。

(2) 在刚好缺一个 GPIO 的时候,可以使用 SWD 仿真,这种模式支持更少的引脚。

(3) 在板子的体积有限时推荐使用 SWD 模式,它需要的引脚少,当然需要的 PCB 空间也就相应减少。例如开发者可以选择一个很小的 2.54 间距的 5 芯端子做仿真接口,但是需要对仿真器接口做特殊处理。

2. 市面上常用仿真器对 SWD 模式的支持情况

- JLINK v6 支持 SWD 仿真模式,速度较慢。
- JLINK v7 比较好地支持 SWD 仿真模式,速度有了明显的提高,速度是 JLINK v6 的 6 倍。

- JLINK v8 非常好地支持 SWD 仿真模式,速度可以到 10Mbps。
- ULINK 1 不支持 SWD 模式。
- 盗版 ULINK 2 非常好地支持 SWD 模式,速度可以达到 10Mbps。
- 正版 ULINK 2 非常好地支持 SWD 模式,速度可以达到 10Mbps。

3.9 JTAG 接口及仿真器接口定义

值得注意的是,不同的 IC 公司会定义自家产品专属的 JTAG 接口来下载或调试程序。嵌入式系统中常用的 20、14、10 针 JTAG 的信号排列如图 3-9 和图 3-10 所示。

		1	2	nc	-			1	2	nc	-
VREF	p					VREF	p				
TRST_N	i	3	4	p	GND	TRST_N	i	3	4	p	GND
TDI	i	5	6	p	GND	TDI	i	5	6	p	GND
TMS	i	7	8	p	GND	TMS	i	7	8	p	GND
TCK	i	9	10	p	GND	TCK	i	9	10	p	GND
-	nc	11	12	p	GND	RTCK	o	11	12	p	GND
TDO	o	13	14	p	GND	TDO	o	13	14	p	GND
SRST_N	od	15	16	p	GND	SRST_N	od	15	16	p	GND
-	nc	17	18	p	GND	-	nc	17	18	p	GND
-	nc	19	20	p	GND	-	nc	19	20	p	GND

20针不带RTCK

20针带RTCK

图 3-9 20 针 JTAG 引脚定义

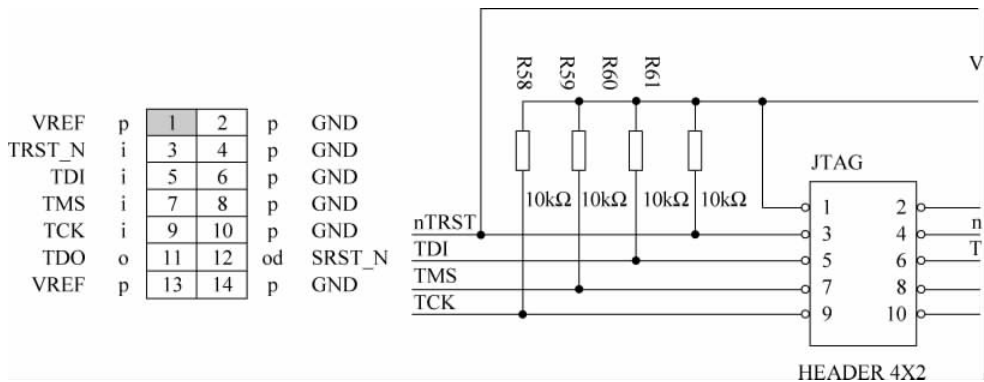


图 3-10 14 针及 10 针 JTAG 引脚定义

需要说明的是,上述 JTAG 接口的引脚名称是对 IC 而言的。例如 TDI 脚,表示该脚应该与 IC 上的 TDI 脚相连,而不是表示数据从该脚进入 download cable。

实际上 10 针的 JTAG 接口只需要接 4 根线,引脚 4 是自连回路,不需要连接,引脚 1、2 连接的都是 1 引脚,而引脚 8、10 连接的是 GND,也可以不接。

附转接板电路如图 3-11 所示。

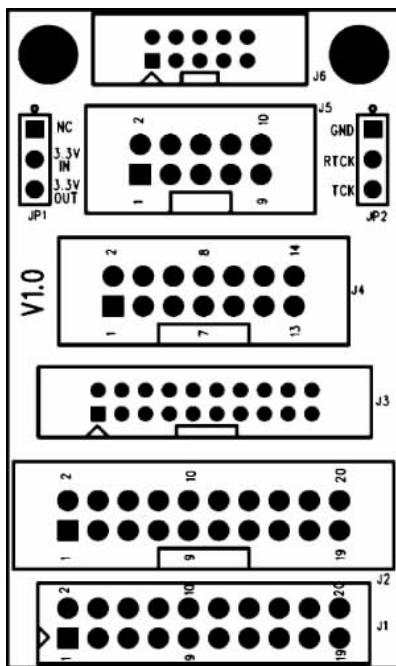


图 3-11 多规格转接板示意图

3.10 ISP 下载器及常用工具

ISP 是在系统编程(In-System Programming)的英文缩写。简单地说,可以不用插拔芯片,也不需要编程器,就可以在目标应用板(有单片机的电路板)上直接编程,作程序改动调试。

与传统逻辑电路设计比较,在系统可编程技术的优点在于:

- (1) 实现了在系统编程的调试,缩短了产品上市时间,降低了生产成本。
- (2) 无须使用专门的编程器,已编程器件无须仓库保管,避免了复杂的制造流程,降低了现场升级成本。
- (3) 使用 ISP 器件,能够在已有硬件系统的基础上设计开发自己的系统,真正实现了硬件电路的“软件化”,将器件编程和调试集中到生产最终电路板的测试阶段,使系统调试及现场升级变得容易而且便宜。

STM32 的下载口就是串口 1(不能为重映射的串口 1),当 BOOT0 设为 1,BOOT1 设为 0,上电复位或按复位键后,STM32 就进入 ISP 状态。

异常检查步骤:

- (1) 确认所用的串口线是交叉线,并且线是良好的;
- (2) 确认 PC 串口是能正常使用的;

(3) 确认 BOOT0、BOOT1 的跳线位正确；

(4) 如果上述检查后还不能使用，请检查所用的串口电平转换芯片是不是 MAX3232，芯片供电电压是否为 3.3V，芯片各脚的电压是否正常。如果确认是 MAX3232 并使用 3.3V 供电，但是通信仍不正常，建议更换 MAX3232。

1. Flash Loader Demo

Flash Loader Demo 是 ST 官网提供的一个下载工具软件，下载速度快，可以直接从 ST 官网上下载，本书配套软件下载内容里面也包含该安装文件，可直接安装，安装后运行界面如图 3-12 所示。

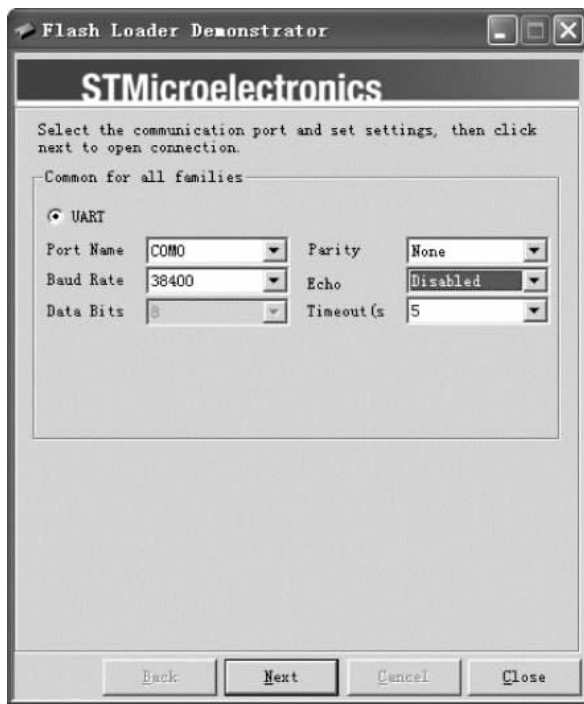


图 3-12 Flash Loader Demo 主界面

2. MCU ISP 下载器

MCU ISP 是一款针对 ST 公司的 STM32F 系列单片机和 NXP 的 LPC2xxx 系列的 ISP 程序。该 ISP 下载器具有一系列优点，可与 SSCOM 串口调试软件配套，进行 ISP 盲调。MCU ISP 也可以从本书配套软件中获取，其工作界面如图 3-13 所示。

3. SSCOM 串口调试工具

SSCOM v4.2 绿色最新版是一款专业的串口调试软件，能够支持 110~256 000bps 波特率，设置数据位(5、6、7、8)、校验(odd, even, mark, space)、停止位(1、1.5、2)，并发送任意的字符串。对于 dtr、rts 信号线也能自由控制输出状态。SSCOM 串口调试工具的工作界面如图 3-14 所示。



图 3-13 MCU ISP 下载界面



图 3-14 串口调试工具主界面