

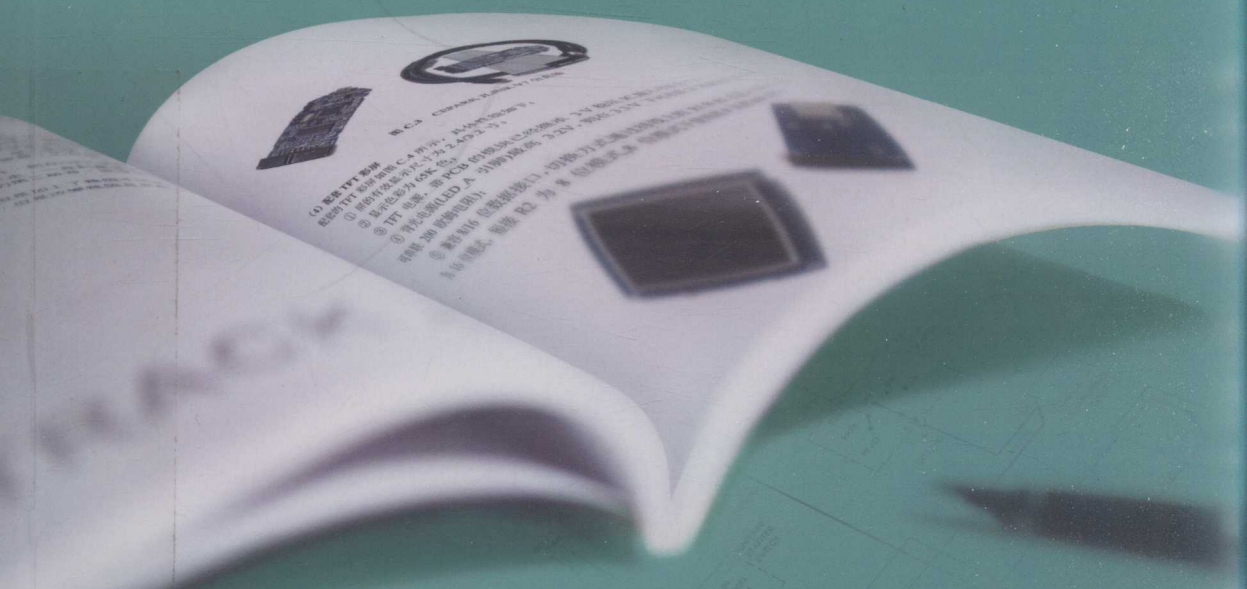


STM32

自学笔记

(第3版)

蒙博宇 编著



北京航空航天大学出版社
BEIHANG UNIVERSITY PRESS

STM32 自学笔记

(第3版)

蒙博宇 编著



北京航空航天大学出版社

内 容 简 介

本书以新颖的思路、简单的逻辑、简洁的语言来阐述作者初遇 STM32 以来的种种认识,书中多处内容都是由作者从 STM32 初学时的实践中总结而来。本书主要介绍 ARM Cortex-M3 系列 STM32 的原理及应用,全书共 7 章。第 1 章主要对 STM32 做基本介绍;第 2 章介绍 ARM Cortex-M3 内核架构的大致概况;第 3 章从外设特性、功耗特性、安全特性等方面对 STM32 进行全面的剖析;第 4 章主要介绍开发工具;第 5 章则引导读者针对 STM32 的外设进行一系列的基础实验设计,共 18 个;第 6 章通过 11 篇高级应用文章介绍 STM32 的一些高级知识;第 7 章则通过综合实例讲述一个 STM32 完整应用方案的实现过程。本书共享源代码和相关资料,下载地址为 <http://bbs.cepark.com> 和北京航空航天大学出版社“下载专区”。本书是再版书,相比旧版,本书对旧版中的不足及部分技术进行了更新。

本书条理清楚,通俗易懂,贴近读者,主要面向 STM32 的初学者,以及所有对 ARM Cortex-M3 系列微控制器感兴趣的朋友们。

图书在版编目(CIP)数据

STM32 自学笔记 / 蒙博宇编著. -- 3 版. -- 北京 :
北京航空航天大学出版社, 2019. 2
ISBN 978-7-5124-2924-6

I. ①S… II. ①蒙… III. ①微控制器 IV.
①TP332.3

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2019)第 015914 号

版权所有,侵权必究。

STM32 自学笔记(第 3 版)

蒙博宇 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: emsbook@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:30 字数:639 千字

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

ISBN 978-7-5124-2924-6 定价:86.00 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

前 言

STM32 微控制器是近年来迅速兴起的基于 ARM Cortex - M3 内核的高端 32 位微控制器的代表。STM32 微控制器依托意法半导体公司(ST Microelectronics, 简称 ST)本身雄厚的研发、生产实力,在正确的市场推广策略引导下,迅速占据了国内高端微控制器的大部分应用领域,优秀的性能、丰富的外设、稳定的供货以及低廉的价格等优点使其长期保持优势。目前,STM32 微控制器在工业控制、消费电子、手持设备、汽车电子、安防监控等众多领域得到了广泛的应用;正因为其高性价比、适合手工 DIY 的优点,在高校学生群体中也有非常高的人气。

(1) 笔者与 STM32 的点点滴滴

2006 年,ST 公司开始在中国推广 STM32 微控制器,至 2008 年时,STM32 在国内已经有相当的地位了;但此时在高校内很多学生仍然热衷于使用传统的 8 位单片机来进行电子设计。最明显的一个证据就是,笔者当初想在淘宝上购买一个 STM32 开发板,但发现销售此类开发板的店家不过数十家,与今时今日相比可谓差距甚大。经过反复比较,最终选定了一个比较简单的开发板,就此踏上了 STM32 的学习之路。当时,笔者是第一次接触 ARM 体系结构的处理器,虽说之前也有一些 8 位单片机的开发经历,但毕竟还是差异不小,困难也就接踵而来了。

首先开发环境的搭建就耗费了一周的时间。当时 STM32 的资料很零散,而且以英文居多;开发环境功能选项复杂,难以上手;而 STM32 的工程复杂度更是之前的 8 位单片机所不能比的;最要命的是,当时没有任何一份详实的入门教程或入门手册……相信时至今日,有相当多刚刚接触 STM32 的朋友也有这样的感觉。但无论如何,开发环境总算搭建好了,当时想终于可以来点个灯啥的。

此时第二个问题来了,STM32 微控制器的开发主要依托于固件函数库进行,这使得开发者不再面对底层寄存器进行操作。笔者对这种开发方式相当陌生,只得找到库函数说明手册(找了很长时间才找到个英文的)逐个函数地查看其作用、参数定义,费了一番周章后,才把一个发光二极管点亮。

此后,学习 STM32 的道路也逐渐变得平坦起来:慢慢地认识了 STM32 的时钟树、普通外设、通信接口等外设单元的应用;开始尝试实现 STM32 的一些高级应用,如 Bootloader、IAP、USB、DFU、脚本控制等;同时也开始深入了解 ARM Cortex -



M3 内核的体系结构。从此之后,参与开发的项目也一直使用 STM32 微控制器作为主控核心,越发能深切体会到这个“小东西”的超高性价比,也越发地喜爱这个具有划时代意义的片子。而现在回想起当初的“青葱”岁月,不得不说其实是一段令人相当愉悦和欣慰的时光。

(2) 如何入门 STM32 微控制器

对于一个初学者而言,特别是只有少数 8 位单片机开发经验的人来说,跨入 STM32 这扇大门的门槛在于开发方式的改变。这里的“改变”包括:开发环境的改变、开发工具的改变、工程结构的改变和调试手段的改变。详述起来其实有如下几点:

- 开发环境从常见的 Keil C51 或 WinAVR 转移至 Keil MDK 或 IAR EWARM,这其中变化较大的是开发环境的配置,如 IAR EWARM 要求用户自行配置文件路径、优化选项、脚本文件等。
- 常见的 8 位单片机的开发主要通过串口或 ISP 方式进行下载,同时几乎无法实时跟踪调试(虽然各种单片机都有实时仿真器,但当一个仿真器的价格和开发板的价格相当时,多数人选择望而却步),而 STM32 的开发则几乎必须要借助硬件仿真器才能完成。
- STM32 微控制器基于 ARM 体系结构,同时其开发主要基于固件库函数,这样使得 STM32 的工程结构必然和传统的 51、AVR 单片机有不小的差别。
- 进行 STM32 微控制器开发,很大一部分精力其实是耗费在调试这一环节上,这要求开发人员要经常查看寄存器的内容、内存的内容,跟踪变量的变化,甚至实时地修改内存的值。这都要依托具体的仿真调试器和开发环境的特性来实现,而跨入电子设计大门不久的初学者们则较少涉及这些操作。

那么,究竟应该如何去着手入门 STM32 微控制器呢?笔者用一句简练的话来概括,就是:入门 STM32,就是要适应上述“改变”,同时克服适应过程中所遇到的困难。笔者想在此稍微强调的是,若仅是入门 STM32 微控制器,则必需的所有硬件成本不会超过 200 元。笔者编写这本书所使用的开发板,单板成本在 100 元以内。

(3) 本书导读

本书实际上是笔者在入门 STM32 微控制器后,回顾这段过程所得到的点点滴滴的想法和灵感而作,是面向广大 STM32 初学者们而编写的一本“STM3 入门书籍”,引导读者走进 STM32 这扇大门。

本书从内容上可分为理论部分和实践部分,理论部分大概占据 30% 的篇幅,实践部分则占据了大部分篇幅。理论部分主要围绕“STM32 是什么”和“STM32 可以用来干什么”这两个主题来对 STM32 做深入浅出的介绍。读者通过阅读理论部分的内容,对 STM32 有感性的认识即可。实践部分主要通过 STM32 多个外设应用实例,来引导读者有针对性地进行 STM32 外设实验。实践部分编写的核心思路在于:

以实验设计为核心,阐述实现每个实验所需的全部要点。这种编写思路的好处在于,可以把本书的内容精练化,读者通过阅读本书可以掌握 STM32 微控制器 60% 的特性;但笔者最希望看到的是,在这 60% 的引导下,读者能自主地去学习余下那 40% 的特性。

全书共 7 章。第 1 章主要对 STM32 做基本介绍;第 2 章介绍 ARM Cortex-M3 内核架构的大致概况;第 3 章从外设特性、功耗特性、安全特性等方面对 STM32 进行全面的剖析;第 4 章主要介绍开发工具;第 5 章则引导读者针对 STM32 的外设进行一系列的基础实验设计,共 18 个;第 6 章通过 11 篇高级应用文章介绍 STM32 的一些高级知识;第 7 章则通过一个综合实例讲述一个 STM32 完整应用方案的实现过程。

本书主要使用 ST 公司发布的 STM32 微控制器固件函数库 v2.0 版本进行实验设计,也许有读者会提出疑问,为何不使用当前最新的 v3.x 版本固件库呢?笔者的观点是:v3.x 版本的固件库引入了 ARM 公司的 CMSIS 标准,这使得 v3.x 版本的固件库对初学者而言更难接受,因为 v3.x 版本固件库相比于 v2.0 版本的固件库,掩盖了更多的实现细节。笔者认为从学习的角度而言,v2.0 固件库更为适合。

笔者建议有少许单片机开发经历的读者,可以直接进行实践部分的阅读,而在完成这些实验的过程中,穿插地阅读理解理论部分,这样可以得到最好的阅读效果。

(4) 相关资源

本书共享相关资料,包含:书中所有出现的代码,它们都位于完整的应用工程中;笔者所使用的 CEPARK STM32 学习板的原理图、PCB 和实物照片,读者若有兴趣可以自行参考制作开发板。在自制过程中若遇到问题,笔者乐于提供支持。

共享资料内容索引如下:

- | | |
|-------|--|
| 基础实验 | 该文件夹下包含了本书第 5 章“STM32 基础实验”的所有源程序。 |
| 进阶应用 | 该文件夹下包含了本书第 6 章“STM32 进阶应用”的所有源程序。 |
| 综合性实验 | 该文件夹下是本书第 7 章“综合性实例:STM32 的 IAP 方案”的源程序。 |
| 硬件描述 | 该文件夹下包含本书所用 CEPARK STM32 学习板的实物图、原理图和 PCB 图。 |

读者可参考书中讲述内容和共享资料中的内容,自行进行学习和实践,并可根据自己的实际应用开发属于自己的 STM32 应用方案。

共享资料下载和有关开发板的问题可访问以下网址:

<http://bbs.cepark.com>

(5) 再版更新内容

本书自第 2 版改版后又过去了 3 个年头。事物总是随着时间的推移而不断发展的,本书的主角 STM32 也是如此。结合当下 STM32 的发展和应用情况,以及过去几年来众多读者通过各种渠道向笔者提出的宝贵意见和建议,本次再版做出如下修改:



- STM32 的 3. x 版本库函数已趋于成熟稳定,本书所有例程从基于 2.0 版本库函数切换至基于 3.5 版本库函数,同时更新了所有相关的库函数说明。本次改版大部分的改动都与此有关。
- Keil MDK 工程的建立更新为基于 3.5 版本库函数。
- 5.2 节中延时的实现从计数方式切换为中断方式实现。
- 6.1 节中 IAR EWARM 工程的建立更新为基于 3.5 版本库函数。
- 本书配套所有例程的库函数切换至 3.5 版本,并修正部分程序存在的 bug。
- 修正上一版书中的部分错别字与表达错误。

同时,不少读者反映不知道在哪里可以获取到本书配套程序资料,这里详细说明一下。本书的资料可在北京航空航天大学出版社官方网站上获取,具体获取的方式为:打开北航出版社主页:<http://www.buaapress.com.cn> 进入“下载专区→随书资料”(如图 1),在随书资料页的搜索框内输入“stm32 自学笔记”,单击“搜索”(如图 2)即可找到本书资料;无须注册,无须激活码,可任意下载。



图 1 北航出版社网站首页

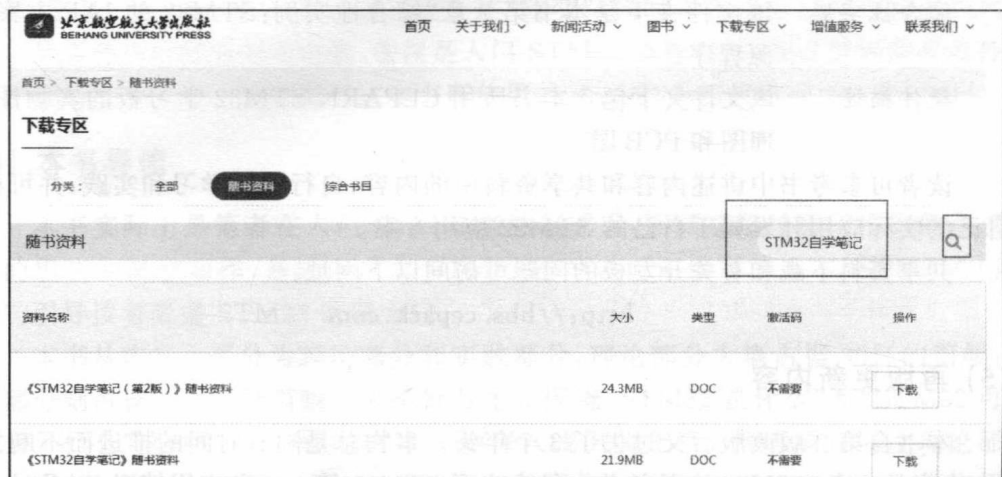


图 2 随书资料下载页

另外,还有读者反映本书配套例程在部分计算机(系统)上打开时出现兼容性问题。针对该问题,笔者特地对本书配套例程做了不同系统(xp、win7、win8、win10)的兼容性提升与测试,确保此类问题不再发生。

(6) 致 谢

感谢朋友崔翠茹、郭志芳、连兰双,他们完成了本书资料的收集、整理、翻译等工作;感谢工作上的指导人苏杰,他在本书的创作期间给予不少技术方面的帮助;感谢CEPARK电子园网站的站长李艳强、管理员曹佃生、马伟力、版主匡伟给笔者提供了一个硬件平台;感谢同事周葵华承担了书中部分程序的调试工作;感谢梁琼之、王观亮、陈涛、吴红云、聂会会、李飞、王观星、张文学、刘启星、梁浩、刘舟祥、王欣、朱美琳、高芸对本书所做的校对工作;尤其要感谢北京航空航天大学出版社为笔者提供了这次出版机会;最后要感谢父母、亲人和所有支持笔者的朋友们。

因水平所限,本次再版的修订工作难免会有不足乃至失误之处,恳请读者包涵,并能一如既往地提出宝贵意见,使本书得到不断打磨,臻于完善。有兴趣的朋友可发送邮件到:losingamong@qq.com,与作者进行交流;也可发送邮件到:xdhydc5@sina.com,与本书策划编辑进行交流。

蒙博宇

2018年12月

目 录

第 1 章 什么是 STM32	1
1.1 从 Cortex - M3 说起	1
1.2 STM32 面面观	3
第 2 章 杰出的源泉——ARM Cortex - M3 内核架构	8
2.1 ARM 架构回顾	8
2.2 Cortex - M3 CPU: 核心中的核心	9
2.2.1 管道	9
2.2.2 编程模型	10
2.2.3 Cortex - M3 CPU 的运行模式	12
2.2.4 Thumb - 2 指令集	13
2.2.5 非对齐存取接口	13
2.3 Cortex - M3 处理器——不只是个处理器	14
2.3.1 总线	14
2.3.2 总线矩阵	14
2.3.3 存储映射	15
2.3.4 位带的概念	16
2.3.5 系统节拍定时器	18
2.3.6 中断处理	18
2.3.7 嵌套中断向量控制器	19
2.4 低功耗的新期待	25
2.4.1 进入低功耗模式	25
2.4.2 CoreSight 调试组件	26
第 3 章 欢迎来到 STM32 的世界	28
3.1 让 STM32 跑起来	28
3.1.1 引脚分布和封装尺寸	28
3.1.2 电源的供应方案	28



3.1.3	复位电路	29
3.1.4	一个典型的 STM32 最小系统	30
3.1.5	时钟源的选择	30
3.1.6	启动引脚和 ISP 编程	32
3.1.7	调试端口	32
3.2	认识真正的 STM32	32
3.2.1	存储区映射	33
3.2.2	性能最大化	34
3.3	丰富多样的外部设备	41
3.3.1	通用设备单元	41
3.3.2	通信接口	61
3.4	STM32 也论低功耗	67
3.4.1	运行模式	67
3.4.2	几种低功耗模式	68
3.4.3	调试支持特性	71
3.5	为 STM32 保驾护航	71
3.5.1	一些安全特性	71
3.5.2	复位控制	72
3.5.3	电源检测	72
3.5.4	时钟安全系统	72
3.5.5	看门狗	74
3.5.6	外设的安全特性	76
3.6	高性能内置 Flash 模块	77
3.6.1	内置 Flash 安全特性和编程方法	77
3.6.2	选项字节	78
第 4 章	百花齐放的开发工具	79
4.1	开发平台	79
4.2	固件库和协议栈	80
4.3	实时操作系统 RTOS	81
4.4	Keil MDK 使用入门	81
4.4.1	Keil MDK 的安装与工程建立	81
4.4.2	使用 Keil MDK 进行 STM32 的程序开发	93
第 5 章	STM32 基础实验	101
5.1	先用 GPIO 来点个灯吧	101

5.1.1	概 述	101
5.1.2	实验设计	102
5.1.3	硬件电路	102
5.1.4	程序设计	102
5.1.5	程序清单	103
5.1.6	注意事项	105
5.1.7	使用到的库函数一览	105
5.1.8	实验结果	114
5.1.9	小 结	114
5.2	简约而不简单的 SysTick 定时器	114
5.2.1	概 述	114
5.2.2	实验设计和硬件电路	116
5.2.3	程序设计	116
5.2.4	程序清单	117
5.2.5	使用到的主要库函数一览	119
5.2.6	注意事项	120
5.2.7	实验结果	121
5.2.8	小 结	121
5.3	使用 GPIO 和 SysTick 定时器实现按键扫描	121
5.3.1	概 述	121
5.3.2	实验设计	122
5.3.3	硬件电路	122
5.3.4	程序设计	122
5.3.5	程序清单	124
5.3.6	注意事项	128
5.3.7	实验结果	129
5.3.8	小 结	129
5.4	通过串口和 PC 说声 Hello	129
5.4.1	概 述	129
5.4.2	实验设计	131
5.4.3	硬件电路	131
5.4.4	程序设计	131
5.4.5	程序清单	132
5.4.6	使用到的库函数一览	134
5.4.7	注意事项	138
5.4.8	实验结果	140



5.4.9	小结	140
5.5	风吹草动也不放过——NVIC 和外部中断	140
5.5.1	概述	140
5.5.2	实验设计	143
5.5.3	硬件电路	143
5.5.4	程序设计	144
5.5.5	程序清单	144
5.5.6	使用到的库函数	149
5.5.7	注意事项	154
5.5.8	实验结果	154
5.5.9	小结	155
5.6	两只忠诚的看门狗	155
5.6.1	窗口看门狗	155
5.6.2	独立看门狗	166
5.7	DMA——让数据传输更上一层楼	179
5.7.1	概述	179
5.7.2	实验设计	181
5.7.3	硬件电路	181
5.7.4	程序设计	181
5.7.5	程序清单	182
5.7.6	使用到的库函数	188
5.7.7	注意事项	194
5.7.8	实验结果	194
5.7.9	小结	195
5.8	BKP 寄存器与入侵检测——廉价的掉电存储与防拆解方案	195
5.8.1	概述	195
5.8.2	实验设计	196
5.8.3	硬件电路	197
5.8.4	程序设计	197
5.8.5	程序清单	198
5.8.6	使用到的库函数一览	204
5.8.7	注意事项	207
5.8.8	实验结果	207
5.8.9	小结	208
5.9	利用 RTC 实现一个万年历	208
5.9.1	概述	208

5.9.2	实验设计	210
5.9.3	硬件电路	210
5.9.4	程序设计	210
5.9.5	程序清单	213
5.9.6	使用到的库函数	220
5.9.7	注意事项	224
5.9.8	实验结果	224
5.9.9	小 结	224
5.10	挑战 STM32 的低功耗设计	225
5.10.1	概 述	225
5.10.2	实验设计	227
5.10.3	硬件电路	227
5.10.4	程序设计	228
5.10.5	程序清单	228
5.10.6	使用到的库函数	233
5.10.7	注意事项	234
5.10.8	实验结果	234
5.10.9	小 结	235
5.11	STM32 有一双眼睛叫 ADC	235
5.11.1	概 述	235
5.11.2	实验设计	237
5.11.3	硬件电路	237
5.11.4	程序设计	237
5.11.5	程序清单	239
5.11.6	使用到的库函数	242
5.11.7	注意事项	249
5.11.8	实验结果	250
5.11.9	小 结	250
5.12	通用定时器的应用	250
5.12.1	概 述	250
5.12.2	时基单元	251
5.12.3	比较输出	259
5.12.4	PWM 输出	267
5.12.5	PWM 输入捕获	271
5.12.6	本节使用到的库函数	279
5.12.7	小 结	289



5.13	嵌入式 Flash 的读/写	289
5.13.1	概 述	289
5.13.2	实验设计	291
5.13.3	硬件电路	291
5.13.4	程序设计	291
5.13.5	程序清单	292
5.13.6	程序所使用到的库函数	293
5.13.7	注意事项	295
5.13.8	实验结果	295
5.13.9	小 结	295
5.14	使用 SPI 接口实现自通信	296
5.14.1	概 述	296
5.14.2	实验设计	297
5.14.3	硬件设计	297
5.14.4	程序设计	298
5.14.5	程序清单	301
5.14.6	所使用到的库函数	307
5.14.7	注意事项	311
5.14.8	实验结果	311
5.14.9	小 结	312
5.15	I2C 接口自通信实验	313
5.15.1	概 述	313
5.15.2	实验设计	315
5.15.3	硬件电路	316
5.15.4	程序设计	316
5.15.5	程序清单	318
5.15.6	使用到的库函数	324
5.15.7	注意事项	330
5.15.8	实验结果	330
5.15.9	小 结	330
5.16	来认识一下 CAN 总线	331
5.16.1	概 述	331
5.16.2	实验设计	333
5.16.3	硬件电路	334
5.16.4	程序设计	334
5.16.5	程序清单	337

5.16.6	使用到的库函数	342
5.16.7	注意事项	350
5.16.8	实验结果	351
5.16.9	小 结	351
5.17	加速你的 CRC 运算	351
5.17.1	概 述	351
5.17.2	实验设计	354
5.17.3	硬件电路	355
5.17.4	程序设计	355
5.17.5	程序清单	355
5.17.6	使用到的库函数一览	365
5.17.7	注意事项	366
5.17.8	实验结果	366
5.17.9	小 结	367
5.18	ADC 的孪生兄弟 DAC	367
5.18.1	概 述	367
5.18.2	实验设计	368
5.18.3	硬件电路	369
5.18.4	程序设计	370
5.18.5	程序清单	371
5.18.6	使用到的库函数一览	375
5.18.7	注意事项	377
5.18.8	实验结果	377
5.18.9	小 结	377
第 6 章	STM32 进阶应用	378
6.1	进阶文章 1: IAR EWARM 的工程建立	378
6.2	进阶文章 2: STM32 的时钟树	386
6.3	进阶文章 3: 解析 STM32 的库函数	390
6.4	进阶文章 4: 在 STM32 平台上实现 Cortex - M3 的位带特性	396
6.5	进阶文章 5: 解析 STM32 的启动过程	400
6.6	进阶文章 6: 环形缓冲区的实现	409
6.7	进阶文章 7: 软件定时器的设计	415
6.8	进阶文章 8: STM32 的 ISP 下载	421
6.9	进阶文章 9: 使用 I/O 口实现模拟 I2C 接口	428
6.10	进阶文章 10: 高级调试端口 ITM	432



第 7 章 综合性实例:STM32 的 IAP 方案.....	439
附录 A 常用程序.....	452
附录 B Typedef 定义.....	454
附录 C 本书硬件平台介绍.....	455
参考文献.....	462

第 1 章

什么是 STM32

在过去的数年里,微控制器设计领域里一个主流的趋势是:基于 ARM7 和 ARM9 内核设计通用控制器的 CPU。而如今,已经有超过 240 种基于 ARM 核心的微控制器从众多芯片制造商手中诞生。意法半导体(ST Microelectronics,简称 ST)推出了 STM32 微控制器,这是 ST 第一个基于 ARM Cortex - M3 内核的微控制器。STM32 的出现将当前微控制器的性价比水平提升到了新的高度,同时它在低功耗场合和硬实时控制场合中亦能游刃有余。

1.1 从 Cortex - M3 说起

Cortex 是 ARM 公司最新系列的处理器内核名称,其推出的目的旨在为当前对技术要求日渐广泛的市场提供一个标准的处理器架构。和其他 ARM 处理器内核不一样的是,Cortex 系列处理器内核作为一个完整的处理器核心,除了向用户提供标准 CPU 处理核心之外,还提供了标准的硬件系统架构。Cortex 系列分为 3 个分支:专为高端应用场合而设的“A”(Application)分支,为实时应用场合而设的“R”(Real-time)分支,还有专为对成本敏感的微控制器应用场合而设的“M”(Microcontroller)分支。STM32 微控制器基于“M”分支的 Cortex - M3 内核,是专为实现系统高性能与低功率消耗并存而设计的,同时它足够低廉的价格也向传统的 8 位和 16 位微控制器发起了有力的挑战。

ARM7 和 ARM9 处理器被成功地整合进标准微控制器里的结果就是出现了各自独特的 SoC(System on Chip,也即片上系统)。特别从对异常和中断的响应处理方式上,用户会更容易看到这些 SoC 之间的区别,因为每家芯片制造商都有属于自己的一套解决方案。Cortex - M3 提出标准化的微控制器核心,在 CPU 的基础上又提供了整个微控制器的核心部分,包括中断系统、系统节拍时钟、调试系统以及存储区映射。Cortex - M3 内部的 4 GB 线性地址空间被分为 Code 区、SRAM 区、外部设备区以及系统设备区。和 ARM7 不同,Cortex - M3 处理器基于哈佛体系,拥有多重总线,可以进行并行处理,因而提升了整体性能。同时也和早期的 ARM 架构不同,Cortex - M3 处理器允许数据非对齐存取,以确保内部的 SRAM 得到充分地利用。Cortex - M3 处理器还可以使用一种称为 Bit - banding(译为“位带”)的技术,利用两