本书提供视频教程和源代码

嵌入式技术与应用丛书

跟工程师学嵌入式开发

基于STM32和μC/OS-III

谭贵 易确 熊立宇 编著

中国工信出版集团

電子工業出版社
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY
http://www.phei.com.cn

嵌入式技术与应用丛书

跟工程师学嵌入式开发

基于STM32和μC/OS-III

谭贵 易确 熊立宇 编著

電子工業出版社
Publishing House of Electronics Industry
北京•BEIJING

内 容 简 介

本书选用的 STM32 芯片基于 ARM Cortex-M3 体系结构，根据基于 MCU 的嵌入式技术实际应用需求，合理地选择了多种常用的重要外设接口，如 USART、SPI、I2C、FSCM、SDIO 总线、以太网等，结合丰富的实例及工程源代码，由浅入深、系统全面地介绍嵌入式系统的底层工作原理。在此过程中，通过穿插多个综合示例的讲解，如命令行外壳程序 Shell、eFat 文件系统、Telnet 远程控制、μC/OS-III 实时操作系统的移植过程，无论是嵌入式的初学者，还是有一定开发经验的工程师都能从中获益，使读者既能系统全面地掌握嵌入式开发所需的软硬件知识，又能锻炼他们的综合开发能力，为将来从事嵌入式开发方面的工作奠定坚实的基础。

本书可作为高等学校电子、计算机、自动化控制类等相关专业的教材，也可供工程师、嵌入式爱好者及自学人员阅读。

本书提供视频教程和工程源代码，读者可登录华信教育资源网（www.hxedu.com.cn）免费注册后下载。

图书在版编目（CIP）数据

跟工程师学嵌入式开发：基于 STM32 和μC/OS-III/谭贵，易确，熊立宇编著. —北京：电子工业出版社，2017.10
（嵌入式技术与应用丛书）
ISBN 978-7-121-32725-4

Ⅰ. ①跟… Ⅱ. ①谭… ②易… ③熊… Ⅲ. ①微处理器－系统设计 Ⅳ. ①TP332

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2017）第 228902 号

责任编辑：田宏峰
印　　刷：三河市君旺印务有限公司
装　　订：三河市君旺印务有限公司
出版发行：电子工业出版社
　　北京市海淀区万寿路 173 信箱　邮编 100036
开　　本：787×1 092　1/16　印张：28　字数：716 千字
版　　次：2017 年 10 月第 1 版
印　　次：2017 年 10 月第 1 次印刷
定　　价：88.00 元

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题，请向购买书店调换。若书店售缺，请与本社发行部联系，联系及邮购电话：（010）88254888，88258888。

质量投诉请发邮件至 zlts@phei.com.cn，盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

本书咨询联系方式：tianhf@phei.com.cn。

FOREWORD 前言

进入21世纪以来，随着微电子技术、计算机技术及网络通信等技术的深入发展，整个社会信息化的程度越来越高，不用说智能手机，各种信息设备，如应用于医疗健康领域的智能心电仪、智能血糖仪，工业生产领域的自动测试装置、机器人手臂，安防领域的指纹识别、人脸识别技术，智能家居里的智能空调、冰箱、电表，甚至军事领域中的精确制导武器、红外热成像眼镜、自动跟踪……都无一例外地具有“智慧”的大脑，它们的应用已深入我们生活的每个角落，改变着我们的生活方式。

在上面所提及的应用中，其“智慧”的大脑，实质就是一套套嵌入式系统，它们由不同的硬件和软件组成。这里所说的“不同”，一是指构成嵌入式系统的硬件核心，可能是由基于不同厂商的SoC芯片所拓展设计的实用电路，如ST公司的STM8、STM32系列SoC、NXP公司的LPC系列SoC；二是指嵌入式系统的软件构成，除去SoC片上外设的必要驱动外，还有管理这些驱动和应用的操作系统，如Embedded Linux、μC/OS-III和文件管理系统（如FatFs）等。

目前，嵌入式应用处理器多采用ARM体系结构。ARM公司为了细分市场，将其芯片按应用领域分为Cortex-A、Cortex-R、Cortex-M三个系列。Cortex-A系列芯片带有MMU（内存管理单元）、MPU（内存保护单元）部件，主要针对复杂的嵌入式应用，如智能手机、平板电脑及高档成像设备等；Cortex-R系列面向实时应用领域，如精密机器控制、炉温监控；Cortex-M系列则面向传统的单片机市场，其子系列M0～M4涵盖了从8位到32位单片机的所有应用，与传统的C51系列单片机相比，功能更强大。因此，学习嵌入式开发技术，应本着“循序渐近，由简单到复杂”的原则，首先学习基于Cortex-M系列的单片机是最好的入门选择，在此基础上，进阶学习Cortex-A系列就显得“自然而游刃有余”。

本书就以基于CM3内核架构（Cortex-M3）的芯片STM32F103ZET6（意法半导体公司ST，基于MCU应用的32位芯片系列，简称STM32）为讲解线索，合理选择实际应用中广泛使用的USART、I2C、SPI、SDIO、以太网等接口，结合ST公司提供的库函数，通过一个个具有实际使用价值的案例代码，详细介绍每种接口的工作原理、驱动配置和综合应用。在学习本书之前，如果读者对CM3体系结构有一定的了解，当然最好；如果没有此类的背景知识，也不用担心会影响对本书的学习。笔者在讲解过程中，会在涉及需要CM3体系结构知识的地方，自然而然地引入相应知识点的介绍。

本书对章节、知识点的安排有以下三个显著特点，以便读者快速、高效地掌握基于“STM32+μC/OS-III结构”的嵌入式开发。

在章节的安排上，遵循“先总体，后细节”的原则。第1章以一个跑马灯实验作为引

子，为读者介绍了嵌入式开发所涉及的基本概念和流程，如 GPIO 配置、事件的轮询和中断处理机制等，以及基于 STM32 库开发所涉及的库文件组织和 CMSIS 标准、开发工具。建立了嵌入式开发的基本过程等轮廓性认识之后，第 2 章自然地切入 STM32 系列芯片的框架结构，包括总线、外设地址空间映射和时钟树。只有清楚了这三者之间的关系，才有可能对后面章节所讲解的外设工作过程和相关操作有深刻的理解。在此基础上，第 3 章开启了嵌入式系统的启动之旅，透彻地分析了基于 CM3 核的芯片系统之启动过程。有了前面三章的基础，随后的章节则以“先简单，后复杂”的原则逐一介绍 GPIO、外部中断线、USART、DMA、I2C、SDIO 等外设的结构原理及相应的驱动代码。

其次，对每一种外设的讲解，除了遵循“先总体，后细节”的原则之外，采用“以实验现象为驱动（每章的第一节首先呈现给读者一个最终的实验结果画面）”的思路，一步步进入外设的内部世界。这样的安排有利于激起读者对未知世界的强烈兴趣，随着对外设“先总后细”的逐层深入，最终使读者彻底理解并掌握每种外设“实验现象”背后的逻辑。

最后，本书除了讲解每种外设的工作原理和驱动代码之外，还穿插了三个有实用价值的综合案例，以拓展读者对外设应用的认识和理解，以及必要的知识面。第一个综合实例是基于 USART 接口的 Shell（俗称“外壳”，类似于 Linux 的 bash）程序，通过它可以将“对外设的操作”封装为一个个 Shell 命令，以随时执行。因此，Shell 程序贯穿本书的始末。第二个综合实例是 Telnet 远程登录服务程序，该程序底层硬件是基于 SPI 总线的以太网芯片 ENC2860，上层使用 uIP 协议栈来完成常用的 TCP/IP 功能，如 ping、ICMP、IP、TCP 等。“麻雀虽小，五脏俱全”，通过实现这样的服务程序，不但可以使读者理解和掌握 Telnet 协议的工作原理及过程，而且有利于进一步学习理解 TCP/IP 协议栈代码实现。最后一个综合示例实现了使用 μC/OS-III 操作系统来管理前面所讲解的硬件，充分利用操作系统的任务通信、消息传递等机制来提升硬件系统的运行效能。μC/OS-III 系统结构紧凑，代码量小，容易理解掌握，通过移植和应用 μC/OS-III，使读者在掌握系统应用场景的同时，加深理解操作系统内部的工作机理，为后续进一步学习基于 Linux 的嵌入式开发打下基础。

由于社会信息化日趋明显，必定导致包括 STM32 在内的 MCU 的应用越来越多。希望本书能为渴望进入嵌入式开发领域的人员提供一个好的入门指引，为后续深入嵌入式开发的高级应用奠定基础。作为学习教材，本书每一章的实验代码都由笔者在 Keil MDK 开发环境中调试通过，读者可以放心学习使用。同时，由于笔者水平有限，书中难免会存在对相关知识点理解不够准确之处，敬请读者批评指正。

参与编写本书的人员还有我的同事易确，他负责本书所有的实验电路设计；熊立宇，负责完成最后三章的初稿编写及全书的校验工作。十分感谢他们的辛勤付出！

在本书的编写过程中，得到了电子工业出版社的田宏峰老师的悉心支持，在此表示衷心感谢，同时感谢他为我提供了一个这样施展自己特长机会；十分感谢我的同事彭丽兰，是她在我工作忙碌的时候，分担了我的工作，使我能够安心写作；最后想表达对我的家人，特别是朋友熊姬珠的谢意，是她们给予我精神上的鼓励，才使我得以完成这“马拉松”式的写作。

谭　贵

2017 年 8 月于深圳

CONTENTS 目录

第1章 开发利器：STM32 库和 MDK Keil

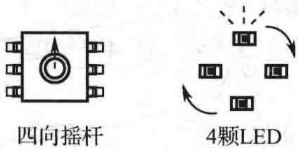
“工欲善其事，必先利其器”，对于干技术活的工程人员来说，对这句话有比一般人更深刻的理解。尤其是软件开发领域，可供使用的工具众多，选择一个好的开发平台，不但可以有效地管理工程文件、配置工程参数，而且可更快捷有效地发现并解决程序设计中出现的问题。

本章以一个简单有趣的外设实验为线索，为您讲解本书将要使用的“利器”——MDK Keil 开发环境的使用方法，包括工程建立、源文件管理、编译配置等。同时通过这个实验，为读者首先建立一个开发流程的初步印像，为后续学习打下基础，并一步步地进入趣味无穷的嵌入式世界。

1.1 学习启航：闪烁的跑马灯

对于任何刚开始接触嵌入式技术的人来说，对学习对象的直观感受是十分重要的。所谓“第一印象决定了以后的交往”，在技术领域也有这种效应。换句话说，首先得要让他对所学的东西有初步的兴趣。本节内容的目的就是如此，通过对一个四向（上下左右）摇杠不同方向的按钮来控制 4 颗 LED 灯闪烁频率和方向。

1.1.1 实验结果呈现



实验操作：

- 步骤 A：当将摇杠向上推时，4 颗 LED 灯以顺时针方向间隔 1 s 依次闪烁。
- 步骤 B：将摇杠向下推，4 颗 LED 以逆时针方向间隔 1 s 闪烁。
- 步骤 C：将摇杠向左推，加快 LED 的闪烁频率。
- 步骤 D：将摇杠向右推，降低 LED 的闪烁频率。