STM32

附送实例源代码

STM32F0系列ARM Cortex-M0核微控制器开发与应用

喻金钱　喻斌　袁芳　编著

清华大学出版社

STM32F0系列ARM Cortex-M0核微控制器开发与应用

喻金钱 喻 斌 袁 芳 编著

清华大学出版社
北 京

内 容 简 介

本书从实际应用需求和开发过程中所遇到的问题出发，介绍了STM32F0系列ARM芯片内外设和各个功能模块的应用。

本书没有详解一些有关芯片的储存结构系统构架、指令集等理论性的知识，而是从最基本的应用需求出发，结合大量实例，依托库函数，详细讲解了I/O口、异步串口、节拍定时器、SPI接口、RTC、看门狗、定时器、I2C接口、DMA接口、模数转换器等外设接口的使用方法。本书注重实际操作和开发中的细节，讲解过程循序渐进，对在开发过程中容易出现的错误情况作出提醒，并与读者分享作者在实际开发中的一些经验和感想。为有单片机和C语言基础的读者，打开了通向嵌入式世界的大门。

本书可以作为单片机爱好者的学习用书，也可以作为嵌入式应用工程技术人员的学习和培训用书，同时还可以作为大学生学习单片机的教材。

图书在版编目（CIP）数据

STM32F0 系列 ARM Cortex-M0 核微控制器开发与应用/喻金钱，喻斌，袁芳编著. —北京：清华大学出版社，2015

ISBN 978-7-302-37431-2

I. ①S…　II. ①喻…　②喻…　③袁…　III. ①微控制器　IV. ①TP332.3

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2014）第 170786 号

责任编辑：钟志芳
封面设计：刘　超
版式设计：文森时代
责任校对：王　云
责任印制：杨　艳

出版发行：清华大学出版社
网　　址：http://www.tup.com.cn，http://www.wqbook.com
地　　址：北京清华大学学研大厦 A 座　　邮　　编：100084
社 总 机：010-62770175　　邮　　购：010-62786544
投稿与读者服务：010-62776969，c-service@tup.tsinghua.edu.cn
质 量 反 馈：010-62772015，zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn
印 装 者：清华大学印刷厂
经　　销：全国新华书店
开　　本：185mm×260mm　　**印　张**：26.75　　**字　数**：631 千字
（附光盘 1 张）
版　　次：2015 年 1 月第 1 版　　**印　次**：2015 年 1 月第1 次印刷
印　　数：1～4000
定　　价：52.00 元

产品编号：056969-01

前　言

ARM 是嵌入式微处理器行业的最卓越供应商，这已成为不争的事实。ARM 公司推出的各种各样基于通用架构的处理器具有高性能和行业领先的功效，使系统成本大幅度降低。迄今为止，ARM 公司有超过 900 个可提供硅、工具和软件的合作伙伴，生产出超过 250 亿个处理器，每天的销售超过 1600 万。

嵌入系统的 ARM 化趋势越来越明显，在智能化手持终端设备中，ARM 通过合作厂商占据绝大部分市场，在传统的微控制器领域，ARM 推出有针对性的系列，一步一步挤占其他内核的市场份额。

在群雄盘踞的嵌入式市场中，ARM 是如何突围的呢？凭借提供众多外设功能、卓越的性能、更低的功耗和更小的费用，ARM 傲视群雄。在相同的功能和性能下，ARM 消耗更少的能量，支出更低廉的费用；在同样的能量限制下，提供更快的速度；在同样的预算下，达到更高的性能，这就是 ARM 的秘诀。

单片机市场的规模越来越大，到 2012 年，估计出货量在 25G 片左右，世界各大半导体公司纷纷亮出各具特色的器件和架构。ARM 公司也不示弱，推出针对 8 位和 16 位机市场的 ARM Cortex-M 内核。ARM Cortex-M4 内核针对高端市场，需要高速运算应用，挤占一部分先前需要使用 DSP 的市场；ARM Cortex-M3 内核针对中端市场，凭借优异的性能和众多的外设以及更低的价格来抢占这部分市场；ARM Cortex-M0 内核，专门针对先前 8 位机市场，在相同价格上，提供更高性能和更低功耗。

目前已有众多 MCU 厂家推出了带有 ARM 内核产品系列，不同厂家依据自身特点整合了功能各异的外设，形成了丰富的 ARM 产品组态，给用户更多的选择空间。

纵观国内高校嵌入式教学，几年前，是 51 内核教材一统天下的局面。技术进步和市场格局的变化，使得高校嵌入式教学内容远远背离了现实的需要，面对众多的内核，让高校教学也陷入了困惑中。这几年 ARM 的发展和应用的普及，让高校嵌入式教学找到转型的方向，许多高校已经开始选用 ARM 作为嵌入式教学内容，这种趋势越来越明显。

本书主要内容

本书在编写过程中，强调实用、易用和有用，共分为 3 大部分：第一部分（第 1～3 章），介绍开发板硬件结构和软件开发平台，是后面学习的基础；第二部分（第 4～15 章），介绍 STM32F0 芯片的各个功能模块的特点、库函数，然后用具体的实例详细介绍如何来用这些库函数来实现功能模块的不同应用；第三部分（第 16～18 章），基于 STM32F0 常用系统设计的实例应用。

第一部分是本书的基础，需要熟练掌握。这样才可以有效提高开发效率，减少错误的发生。

第二部分是本书的重点。用 13 章的篇幅分别讲述各个功能模块。每章采用了相同的讲

解模式，首先介绍该模块的功能，再介绍能实现这些功能的库函数，最后用多个实例详细讲解如何使用这些库函数实现模块功能。这部分内容是本书最有特色的，也是读者最感兴趣的，主要有 LED 灯驱动实例、流水灯实例、按键实例、串口接收数据实例、串口发送数据实例、串口队列实例、嘀嗒时钟、实用按键实例、外部中断实例、中断嵌套实例、万年历实例、I2C 与 24C02 通信实例、单通道 ADC 采样实例、温度采样实例、内部 FLASH 读写实例、定时器简单定时实例、不同占空比 PWM 输出实例、不同频率不同占空比 PWM 输出实例、独立看门狗实例、窗口看门狗实例、DAC 实例等 20 多个实例。

第三部分是本书的提高部分，讲述了 MCU 的高级应用和常用的系统设计的实例。这些实例在实际中经常使用，本书对这些实例不是泛泛而谈，而是详尽讲解其思路和逻辑方法，这也是本书的特色。这一部分内容包括 USART 串口和 SPI 接口 DMA 接收和发射、使用 DMA 采集多通道 ADC、NOR FLASH 数据储存方案、LCD 屏等高级应用。

本书并不去介绍每个寄存器的详细功能和具体使用(这在 STM32F0 的技术手册中有详细的描述)，而是通过对具体实例的讲解和剖析，结合厂家提供的固件库，让读者能很容易、很简单地使用 STM32F0 系列芯片，并能把这一系列芯片的功能发挥到极致。只要会 C 语言，通过本书的学习，读者就能使用 ARM，不必去弄懂底层硬件结构，就可以很好地使用 STM32F0 系列来进行开发调试工作。

通过使用固件函数库，无需深入掌握细节，用户也可以轻松应用每一个外设。因此，使用固态函数库可以大大减少用户的程序编写时间，进而降低开发成本。

本书以具体的功能实例为基础，引导读者分析实例并实现这些功能。即在开发调试中，如何去一步一步地解决问题和实现功能，以及怎样把一个复杂的问题划分成一个个好解决的小问题来实现整个功能。本书着重介绍解决问题的方法。

读者对象

本书要求读者有基本的 C 语言知识，不需要有硬件方面的知识。通过本书的学习，可以使初学者很快进入到嵌入式开发的大门。

如果读者是个单片机方面的高手，想通过本书学习使用 STM32F0 系列的芯片，只需要熟悉开发平台和实验平台，然后了解每个外设功能模块是如何初始化即可。第三部分内容可以看看，或许能有意想不到的收获。

如果读者是一个单片机的入门者，需要按照本书的编排顺序，一章一章往后学习，一个一个例程去理解和编写，就像堆积木一样，进行功能堆积。学完本书，不说是高手，也是一个嵌入式开发的熟手。

同时，本书可作为嵌入式应用工程技术人员的学习和培训用书，也可以作为企业内部培训教材，如果作为大学单片机课程的教材，将会起到事半功倍的教学效果。

本书配套

本书配套光盘中有书中各个实例的源代码，这些源代码在实验板上已验证通过。希望广大读者不要只是把源代码一烧了之，而是应该尝试着自己亲自编写这些软件。只有经过

不断地实践，才能获得真知。

本书配套实验板可帮助广大读者能很快地学习嵌入式开发。读者也可根据本书提供的原理图自行搭建，或使用其他实验板，依据其硬件更改相应实例代码即可。作者在此提供硬件支持，是让读者能在开始时绕过硬件屏障，提供一个经过验证的可靠的硬件平台，让读者全心学习 STM32F0 系列芯片功能外设。当读者掌握了这些技能后，依据本书中作者提供的原理图内容和注意细节，完全可以设计出实现自己所需功能的、性能优异的电路板。读者如需购买本开发板，可以与作者联系购买事宜。

整个开发系统的搭建，需要一台 PC 机、一个实验板、一个 J-LINK 调试器、一根串口延长线即可。

本书在编写过程中，得到了家人的理解和大力支持，得到了清华大学出版社编辑老师的大力支持，在此表示感谢。本书由喻金钱、喻斌、袁芳编著，程基峰、胡振等人也参与了本书的编写和例程调试及测试工作。

由于本书涉及的知识领域日新月异，加之作者水平有限及时间仓促，书中难免有疏漏和不足之处，在此诚挚希望读者批评指正！如有任何疑虑或批评指正，可以和作者联系（tonda@126.com），以便我们改进与提高，特此感谢。

喻金钱

目　录

第 1 章　STM32F051xx 系列芯片简介

1.1　STM32F051xx 系列芯片功能简介

STM32F051xx 系列芯片采用高性能的 ARM Cortex™-M0 的 32 位 RISC 内核（最高运行速度达 48MHz）、高速的嵌入式闪存（FLASH 最大 64KB，SRAM 最大 8KB），并广泛集成增强型外设和 I/O 口。所有器件提供标准的通信接口（最多两个 I2C、两个 SPI、一个 I2S、一个 HDMI CEC、两个 USART）、一个 12 位 ADC、一个 12 位 DAC、最多 5 个通用 16 位定时器、一个 32 位定时器和一个高级控制 PWM 定时器。

STM32F051xx 系列工作在-40℃～+85℃或-40℃～+105℃温度范围及 2.0V～3.6V 电源电压。一套全面的为低功耗应用设计准备的省电模式。

STM32F051xx 系列包括 3 种不同的封装，从 32 引脚到 64 引脚不等。根据选择的器件，包含不同数量的外设。

这些特点使得 STM32F051xx 微控制器系列应用广泛，如应用在控制和用户界面、手持设备、A/V 接收机和数字电视、PC 外设、游戏和 GPS 平台、工业应用、可编程控制器、逆变器、打印机、扫描仪、报警系统、视频对讲、HVACs 等。

STM32F051xx 的具体特点如下：

- ✧ 电压范围为 2.0V～3.6V。
- ✧ 内核为 ARM 32-bit Cortex®-M0 CPU（48 MHz max）。
- ✧ 存储大小为 32～64KB FLASH memory 和 8KB SRAM 带硬件校验。
- ✧ 具有 CRC 计算单元。
- ✧ 时钟管理有 4～32MHz 外部高速晶体振荡器、32.768kHz 可校准外部低速振荡器、内部 8MHz RC 带 x6 锁相环倍频、内部 32kHz RC 振荡器。
- ✧ 日历型 RTC 集成闹钟可周期性自动从 Stop/Standby 状态唤醒。
- ✧ 复位和供电管理有上电/掉电复位（POR/PDR）、可编程电压检测器（PVD）。
- ✧ 具有低功耗休眠、停止和待机模式。
- ✧ RTC 和备份区域 VBAT 单独供电。
- ✧ 具有 5 通道 DM 控制器。
- ✧ 具有 1×12 位、1.0 微秒 ADC（多至 16 采样通道），转换范围为 0V～3.6V，单独的 2.4V～3.6V 模拟供电。
- ✧ 具有两个高速低功耗模拟比较器，可编程输入/输出。
- ✧ 具有一个 12 位、D/A 转换器。
- ✧ 具有 55 个高速 I/O 口，全部可映射为外部中断输入；36 个 I/O 口支持 5V 容忍。
- ✧ 具有 11 个定时器。一个 16 位 7 通道高级控制定时器，用于 6 通道 PWM 输出，带死区时间发生器和紧急刹车功能；一个 32 位和一个 16 位定时器，每个有 4 路输入

捕获或输出比较通道，可用于红外控制和解码；一个 16 位定时器，带 2 通道输入捕获和输出比较及 1 对反极性输出通道，支持死区时间发生器和紧急刹车功能；两个 16 位定时器，都带输入捕获和输出比较及 1 对反极性输出通道，支持死区时间发生器和紧急刹车功能，支持 IR 控制调制门；一个 16 位定时器，带一路输入捕获/输出。

- ✧ 独立的窗口看门狗定时器。
- ✧ SysTick 定时器：24 位向下计数。
- ✧ 一个 16 位基本定时器，用于驱动 DAC。
- ✧ 通信接口，两个 I2C 接口，其中一个支持快速脉冲模式（1Mbit/s），20mA 灌电流，SMBus/PMBus 和从 STOP 状态唤醒；两个同步/异步串口，支持主同步 SPI 和 modem 控制功能，其中一个支持 ISO7816 接口、LIN、IrDA、自动波特率检测和唤醒功能；两个 SPI（18Mbit/s）外设，支持 4～16 位可编程字长，其中一个支持 I2S 接口复用。
- ✧ 具有消费电子控制（HDMI CEC）接口，具有帧头接收唤醒功能。
- ✧ 具有 18 个电容感应通道，支持接近、触摸按键、线性和旋转触摸传感器系列型号。
- ✧ 具有 96 位唯一 ID。
- ✧ 具有串行两线调试（SWD）。

STM32F051xx 系列器件的功能和外设数量如表 1-1 所示。

表 1-1 STM32F051xx 器件功能和外设数量表

外 围 设 备		STM32F051Kx			STM32F051Cx			STM32F051Rx		
FLASH（Kbytes）		16	32	64	16	32	64	16	32	64
SRAM（Kbytes）		4		8	4		8	4		8
定时器	高级	TIME1（16 位）								
	通用	TIM2（32 位）、TIM3（16 位）、TIM14（16 位）、TIM15（16 位）、TIM16（16 位）、TIM17（16 位）								
	基本	TIM6 (16 位)								
通信接口	SPI（I2S）	1		2	1		2	1		2
	I2C	1		2	1		2	1		2
	USART	1	2		1	2		1	2	
	CEC	1								
12 位 ADC		10 外部通道+3 内部通道						16 外部通道+3 内部通道		
GPIOs		27			39			55		
电容传感器		14			17			18		
12 位 DAC		1								
模拟比较器		2								
CPU 频率		48MHz								
工作电压		2.0V～3.6V								
工作温度		工作环境温度：-40℃～85℃/-40℃～105℃ 结温：-40℃～125℃								
封装		UFQFPN32			LQFP48			LQFP64		

1.2 功能概述

1.2.1 内核

STM32F051xx系列ARM的Cortex™-M0处理器是ARM处理器中针对嵌入式系统的最新一代产品。它提供了一种低成本的平台旨在满足少引脚数和低功耗单片机的需求，同时提供出色的计算性能和先进的系统响应中断。

ARM的Cortex™-M0的32位RISC处理器，提供卓越的代码效率，提供ARM内核的高性能预期，区别于同等的内存大小的8位和16位器件。STM32F051xx系列采用嵌入式的ARM内核，因此与所有的ARM工具和软件兼容。

1.2.2 存储器

存储器具有以下特点：

- ✧ 多达8KB的嵌入式SRAM，可用CPU的速度进行无等待位的读写访问，并包含针对高可靠性应用需要的嵌入式校验检查功能。
- ✧ 非易失性内存被分为两个区域：16～64B的程序和数据嵌入式闪存区域和选项字节区域。选项字节用于对内存（4KB的粒度）进行写保护设置和（或）对整个内存进行读出保护设置。
  - 0级：没有读出保护。
  - 1级：FLASH读保护，不允许在调试功能连接时或从RAM启动时对FLASH进行读写操作。
  - 2级：芯片读保护，完全禁止调试功能（Cortex-M0的串行线）和从RAM启动。

1.2.3 循环冗余校验计算单元（CRC）

CRC计算单元可以用来按照既定的多项式算法，依据输入数据快速算出循环冗余校验的结果码。在很多应用中，通常使用循环冗余校验的技术来检查数据传输或存储的完整性。在EN/IEC 60335-1功能安全标准范围内，其提供了校验FLASH存储可靠性的技术手段。CRC计算单元可随时计算软件签名，使得可以在通信和存储时就地完成签名比较。

1.2.4 直接存储器访问控制器（DMA）

5通道通用DMA可以管理存储器到存储器、外设到存储器和存储器到外设的直接访问。DMA支持环形缓冲区的管理，在控制器达到缓冲区的末尾时不再需要用户代码的干预。

每个通道连接到专用硬件DMA请求，支持软件对每个通道的触发。由软件完成DMA的配置，源和目标之间传输的数据量都是独立的。DMA可以用于主要的外设：SPI、I2S、