正点原子教你学嵌入式系统丛书

FreeRTOS
源码详解与应用开发
——基于STM32

左忠凯 刘 军 张 洋 编著

北京航空航天大学出版社
BEIHANG UNIVERSITY PRESS

正点原子教你学嵌入式系统丛书

FreeRTOS 源码详解与应用开发
——基于 STM32

左忠凯　刘　军　张　洋　编著

北京航空航天大学出版社

内 容 简 介

本书辅以大量的例程，全面讲解了 FreeRTOS 的原理以及源码，主要内容包括任务管理和任务调度、系统裁减和配置、时间管理、队列、信号量、软件定时器、事件标志组、任务通知、低功耗 Tickless 模式、空闲任务以及内存管理等。同时，本书配有大量的图例，对于想要深入学习 RTOS 类系统原理的人来说是一个不错的选择。

本书配套资料包括视频教程、文档教程、各个例程的源码及相关参考资料，所有资料均可在开源电子网（网址为 www.openedv.com）免费下载。

本书适合那些想要学习 FreeRTOS 的初学者，也可作为高等院校计算机、电子技术、自动化、嵌入式等相关专业的教材。

图书在版编目(CIP)数据

FreeRTOS 源码详解与应用开发 ：基于 STM32 / 左忠凯，刘军，张洋编著. -- 北京 ：北京航空航天大学出版社，2017.6

ISBN 978-7-5124-2395-4

Ⅰ. ①F… Ⅱ. ①左… ②刘… ③张… Ⅲ. ①微控制器—系统开发 Ⅳ. ①TP332.3

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第 079295 号

FreeRTOS 源码详解与应用开发——基于 STM32

左忠凯　刘　军　张　洋　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：24.25　字数：517 千字

2017 年 7 月第 1 版　2017 年 7 月第 1 次印刷　印数：3 000 册

ISBN 978-7-5124-2395-4　定价：59.00 元

前言

背景知识

近年来微处理器的性能呈爆炸式增长，尤其是在 ARM 公司发布了 Cortex－M 内核以后，全球很多大型半导体厂商都推出了基于 Cortex－M 内核的 MCU。以 ST（意法半导体）为例，先后推出了 STM32F1、STM32F4、STM32F7 和最近刚推出的 STM32H7，其性能已经远超曾经的 ARM7，甚至已经超过了大多数的 ARM9 处理器。强大的性能意味着复杂的功能、复杂的应用，随着应用中所需功能的增多，裸机开发越来越吃力，应用中各功能模块的管理遇到了前所未有的挑战。这时候，一个科学的、合理的模块化管理方法显得尤为重要，而这个正是操作系统的基本功能，即任务管理。

提起操作系统，大多数人的第一反应应该是 Windows、Linux、Android 和 IOS 等这些常用的大型操作系统。很不幸的是，对于 Cortex－M 这种级别的 MCU 来讲，这些系统一个都用不了，它们有自己专用的操作系统，叫 RTOS 类操作系统。RTOS 是 Real TimeOperating System 的缩写，也就是实时操作系统。RTOS 类操作系统有很多，如 μC/OS－II/III、RTX、RT－Thread、FreeRTOS 等。那为何本书选择 FreeRTOS 呢？最主要的原因就是 FreeRTOS 免费，而且全球占有量很大，很多第三方组件厂商都选择 FreeRTOS 作为默认操作系统，比如 STM32 官方库、TouchGFX 图形界面、各种 WiFi 和蓝牙的协议栈等，因此本书选择了 FreeRTOS。系统的运行需要一个平台，本书选取 ALIENTEK 推出的 STM32F429 阿波罗开发板，本书所涉及的例程都是基于此款开发板编写的；如果读者使用其他类型的开发板，则只需要对例程稍做修改即可。

本书特点

- 由简入深，从最基本的 API 函数使用方法讲起，让读者对于 FreeRTOS 先有一个基本的概念，后续章节再对 FreeRTOS 的各功能模块进行详细讲解。
- 对 FreeRTOS 中重要的功能模块，比如信号量、队列、列表和列表项等，进行了源码级的剖析，对其中重要的 API 函数源码做了详细分析。
- 针对 FreeRTOS 的移植过程，笔者每操作一步都记录下来编写进本书，尽可能保证移植过程合理、无误，尽量确保读者通过参考本书的移植过程可以将

FreeRTOS 移植到任何 FreeRTOS 所支持的 MCU 上。

- 对于本书中晦涩难懂的原理性知识，我们都会配有相应的图形，采用图文结合的方式加深对原理的理解。所有图形都采用 Visio 软件进行绘制，保证图形质量，图形配色合理、大气。
- 操作系统是运行在处理器上的，因此，肯定会涉及处理器架构方面的知识，本书中涉及的地方都会标记出可以参考的书籍以及章节，方便想要深入了解的读者去阅读参考。
- 基本上每章都有相应的练习和使用例程，通过理论加实践的方式来加强对 FreeRTOS 操作系统的掌握。
- 考虑到不同读者的 C 语言使用水平不同，本书涉及的例程中都没有使用复杂的 C 语言语法，基本都是最常用的语法。

使用对象

- 使用 FreeROTS 操作系统的研发人员，或者毕业设计等需要使用 FreeRTOS 的学生。
- 对 FreeRTOS 感兴趣、想要深入了解其运行原理的爱好者。
- 学习过其他 RTOS 类操作系统、想要再掌握一种 RTOS 类操作系统的爱好者。

软硬件平台

使用 FreeRTOS 肯定避免不了编写、编译程序，程序编译完成以后肯定也需要下载到硬件上去运行。编写程序的 IDE 和运行程序的硬件平台有很多种，本书使用的软硬件平台如下：

硬件平台：ALIENTEK 推出的 STM32F429 阿波罗开发板。拥有这款开发板的读者可以直接下载本书中的所有例程，无须做任何修改。ALIENTEK 有多款 STM32 开发板，包括 STM32F103、STM32F407、STM32F429 和 STM32F767，本书所有例程都有这些开发板的对应版本，拥有这些开发板的读者可以直接下载对应的例程。使用其他开发板的读者也不用着急，本书例程操作的都是 STM32 最基本的外设，比如串口、定时器、I/O 等，只须稍做修改就可以将例程在自己的开发板上运行起来。

IDE 开发工具：Keil 公司的 MDK 5.22。

FreeRTOS 版本：V9.0.0 版本的 FreeRTOS。

STM32 库：ST 最新推出的 HAL 库，版本为 V1.4.2。

参考资料

本书编写过程中参考过很多资料，但是最有用的就只有那几份文档和书籍，首推的就是 FreeRTOS 官方的两份文档：《FreeRTOS_Reference_Manual_V9.0.0》和

《Mastering_the_FreeRTOS_Real_Time_Kernel - A_Hands - On_Tutorial_Guide》，读者可以在 FreeRTOS 官网下载。另外，涉及 Cortex - M 内核的时候推荐读者参考《ARM Cortex - M3 与 Cortex - M4 权威指南(第 3 版)》，此书对 Cortex - M3/M4 内核做了详细讲解。本书重点讲解 FreeROTS 的原理和使用，不会对 STM32 的使用做过多讲解，这方面的资料可以参考 ALIENTEK 推出的精通 STM32F4 系列丛书和 ST 官方的参考手册、数据手册等。

配套资料

本书配套资料包括视频教程、文档教程、各个例程的源码及相关参考资料，所有资料均可在开源电子网免费下载，网址为 www.openedv.com。

感 谢

本书获得了 ALIENTEK 公司的大力支持，它为本书的编写提供了很多便利条件，并且给予了大量的建议。衷心感谢刘军、张洋、刘勇财、周莉、刘海涛、李振勇、黄树乾、吴振阳、彭立峰、罗建等人的审稿，感谢开源电子网广大网友对本书提出的建议。

由于编者水平有限，加之时间仓促，难免会有错误和不足之处，希望广大读者能够提出宝贵意见。如果发现有错误的地方可以发邮件到邮箱：zuozhaongkai@outlook.com，或者在论坛 ww.openedv.com 上留言。

左忠凯

2017 年 5 月

目 录

第1章

FreeRTOS 简介

从本章开始，我们就踏入了 FreeRTOS 的大门。FreeRTOS 是一个 RTOS 类的嵌入式实时操作系统，在此之前 ALIENTEK 已经推出了 μC/OS 操作系统的教程和例程，但是现在为什么又要学 FreeROTS 呢？这就是本章的目的。

1.1 初识 FreeRTOS

1.1.1 什么是 FreeRTOS

FreeRTOS 的名字可以分为两部分：Free 和 RTOS。Free 就是免费的、自由的、不受约束的意思；RTOS 全称是 Real Time Operating System，中文名就是实时操作系统。可以看出，FreeROTS 就是一个免费的 RTOS 类系统。注意，RTOS 不是指某一个确定的系统，而是指一类系统，比如 μC/OS、FreeRTOS、RTX、RT - Thread 等这些都是 RTOS 类操作系统。

操作系统允许多个任务同时运行，这个叫多任务，实际上，一个处理器核心在某一时刻只能运行一个任务。操作系统中任务调度器的责任就是决定在某一时刻究竟运行哪个任务，任务调度在各个任务之间的切换非常快，这就给人们造成了同一时刻有多个任务同时运行的错觉。

操作系统的分类方式可以由任务调度器的工作方式决定，比如有的操作系统给每个任务分配同样的运行时间，时间到了就轮到下一个任务，Unix 操作系统就是这样的。RTOS 的任务调度器被设计为可预测的，而这正是嵌入式实时操作系统所需要的，实时环境中要求操作系统必须对某一个事件做出实时的响应，因此，系统任务调度器的行为必须是可预测的。像 FreeRTOS 这种传统的 RTOS 类操作系统是由用户给每个任务分配一个任务优先级，然后任务调度器就可以根据此优先级来决定下一刻应该运行哪个任务。

FreeRTOS 是 RTOS 系统的一种，十分小巧，可以在资源有限的微控制器中运行，当然，也不仅局限于在微控制器中使用；但从文件数量上来看，FreeRTOS 要比 μC/OS - II 和 μC/OS - III 小得多。

1.1.2 为什么选择 FreeRTOS

RTOS类系统有很多,为什么要选择 FreeRTOS 呢? μC/OS 教程中说过,学习 RTOS 首选 μC/OS,因为 μC/OS 的资料很多,尤其是中文资料,而 FreeRTOS 的资料少,且大多数是英文的,那为何要选择它? 原因如下:

① FreeRTOS 免费,这是最重要的一点。μC/OS 是要收费的,学习 RTOS 系统时 μC/OS 是首选,但是做产品时就要考虑一下成本了。显而易见的,FreeRTOS 就是一个很好的选择,当然,也可以选择其他免费的 RTOS 系统。

② 许多其他半导体厂商产品的 SDK 包就使用 FreeRTOS 作为其操作系统,尤其是 WiFi、蓝牙这些带协议栈的芯片或模块。

③ 许多软件厂商也使用 FreeRTOS 做本公司软件的操作系统,比如著名的 TouchGFX,其所有的例程都是基于 FreeRTOS 操作系统的。ST 公司所有要使用到 RTOS 系统的例程也均采用了 FreeRTOS,由此可见免费的力量有多大。

④ 简单:FreeRTOS 的文件数量很少,这在后面的具体学习中就会看到,和 μC/OS 系统相比要少很多。

⑤ 文档相对齐全:在 FreeRTOS 的官网(www.freertos.org)上可以找到所需的文档和源码,但是所有的文档都是英文版本的,而且下载 pdf 文档的时候要收费。

⑥ FreeRTOS 被移植到了很多不同的微处理器上,比如 STM32,其 F1、F3、F4 和最新的 F7 都有移植,这极大地方便了学习和使用。

⑦ 社会占有量很高:EEtimes 统计的 2015 年 RTOS 系统占有量中 FreeRTOS 已经跃升至第一位,如图 1.1.1 所示。

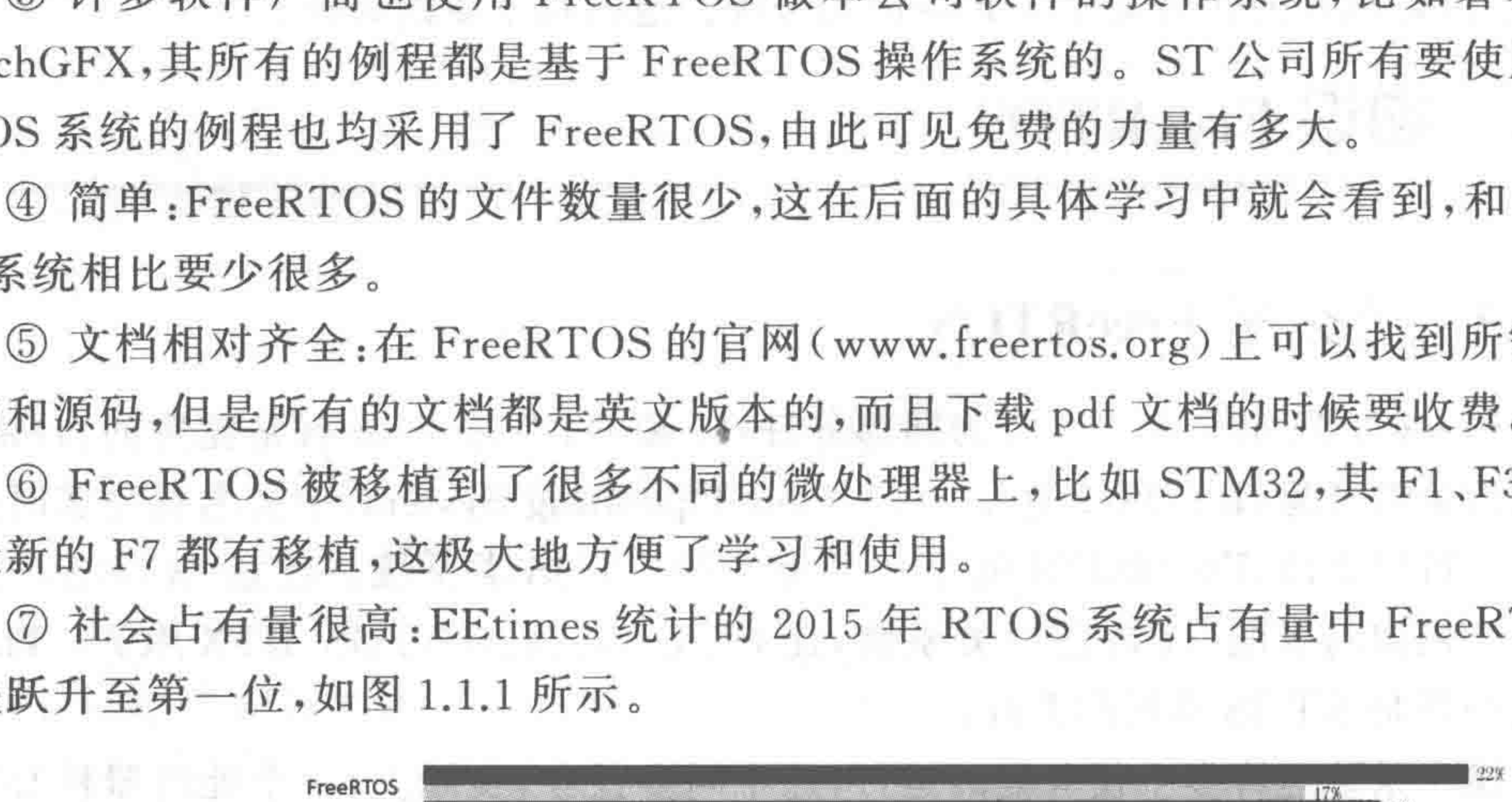

图 1.1.1 2014/2015 年 ROTS 系统使用情况

1.1.3　FreeRTOS 特点

FreeRTOS 是一个可裁减的小型 RTOS 系统，特点包括：

➢FreeRTOS 的内核支持抢占式、合作式和时间片调度。

➢ SafeRTOS 衍生自 FreeRTOS，SafeRTOS 在代码完整性上相比 FreeRTOS 更胜一筹。

➢提供了一个用于低功耗的 Tickless 模式。

➢系统的组件在创建时可以选择动态或者静态的 RAM，比如任务、消息队列、信号量、软件定时器等。

➢已经在超过 30 种架构的芯片上进行了移植。

➢ FreeRTOS－MPU 支持 Corex－M 系列中的 MPU 单元，如 STM32F429。

➢ FreeRTOS 系统简单、小巧、易用，通常情况下内核占用 4～9 KB 的空间。

➢高可移植性，代码主要 C 语言编写。

➢支持实时任务和协程（co-routines，也有人称之为合作式、协同程序，本书均称为协程）。

➢任务与任务、任务与中断之间可以使用任务通知、消息队列、二值信号量、数值型信号量、递归互斥信号量和互斥信号量进行通信和同步。

➢创新的事件组（或者事件标志）。

➢具有优先级继承特性的互斥信号量。

➢高效的软件定时器。

➢强大的跟踪执行功能。

➢堆栈溢出检测功能。

➢任务数量不限。

➢任务优先级不限。

1.1.4　商业许可

FreeRTOS 衍生出了另外两个系统：OpenRTOS 和 SafeTROS。FreeRTOS 开源许可协议允许在商业应用中使用 FreeRTOS 系统，并且不需要公开你的私有代码。如果有以下需求，则可以使用 OpenRTOS：

➢不能接受 FreeRTOS 的开源许可协议条件，具体如表 1.1.1 所列。

➢需要技术支持。

➢想获得开发帮助。

➢需要法律保护或者其他的保护。

使用 OpenRTOS 时需要遵守商业协议，FreeRTOS 的开源许可和 OpenRTOS 的商业许可区别如表 1.1.1 所列。