

嵌入式实时操作系统 $\mu\text{C}/\text{OS-II}$ 经典实例

——基于STM32处理器 (第2版)



STM32 F1

刘波文 孙 岩 编 著



北京航空航天大学出版社
BEIHANG UNIVERSITY PRESS

嵌入式实时操作系统 μ C/OS-II 经典实例—— 基于 STM32 处理器 (第 2 版)

刘博文 孙 岩 编著

北京航空航天大学出版社

内 容 简 介

本书紧紧围绕“ μ C/OS-II 系统设计”这一主题,立足实践解析了嵌入式实时操作系统 μ C/OS-II 与嵌入式图形系统 μ C/GUI 的设计与应用。本书主要以 ARM Cortex-M3 内核的 STM32F103 处理器、嵌入式实时操作系统 μ C/OS-II 及嵌入式图形系统 μ C/GUI 作为讲述对象。

全书共分为 20 章,所讲述的 18 个实例涵盖了最常用的外设以及最典型的应用,理论与实践指导性强。所有的实例都基于嵌入式实时操作系统 μ C/OS-II 和嵌入式图形系统 μ C/GUI,同时也都涉及硬件底层程序设计,软件设计架构均参照应用软件层、系统软件层、硬件抽象层、硬件外设驱动层次安排,通俗易懂。

本书可作为高校计算机、电子信息工程、自动化控制等相关专业本科生和研究生的嵌入式系统教材;也可供从事 ARM 技术和嵌入式实时操作系统 μ C/OS-II 开发的科研人员、嵌入式爱好者和从业人员参考使用。本书更是第一线嵌入式系统高级开发人员学习研究和进行 ARM 相关应用课程培训的必备参考书。

图书在版编目(CIP)数据

嵌入式实时操作系统 μ C/OS-II 经典实例:基于 STM32 处理器 / 刘波文,孙岩编著. — 2 版. — 北京:北京航空航天大学出版社,2014

ISBN 978-7-5124-1362-7

I. ①嵌… II. ①刘… ②孙… ③实时操作系统
IV. ①TP316.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 010453 号

版权所有,侵权必究。

嵌入式实时操作系统 μ C/OS-II 经典实例——基于 STM32 处理器(第 2 版)

刘波文 孙 岩 编著

责任编辑 张 楠 王 松

*

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@gmail.com 网购电话:(010)82316524

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:52.5 字数:1 181 千字

2014 年 5 月第 2 版 2014 年 5 月第 1 次印刷 印数:4 000 册

ISBN 978-7-5124-1362-7 定价:108.00 元(含光盘 1 张)

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

序

今天,8 位单片机在家用电器、工业设备、医疗保健、计算机外设等众多领域的应用已经非常普遍。随着集成电路设计技术和制造工艺的提高,32 位单片机的价格已经越来越逼近原来 8 位单片机的价格,有逐步替代 8 位单片机的趋势。按销售额计算,2009 年 32 位单片机的销售额已经与 8 位单片机持平,预计在未来 3~5 年中,8 位单片机的销售量将不再增长,而 32 位单片机将 2 倍于 8 位单片机的市场份额。

意法半导体(ST)公司是一家全球杰出的半导体供应商,同时也是通用单片机市场的领先者。为了适应市场的需求,ST 于 2007 年 6 月在众多主要的单片机厂商中,率先推出了以 ARM 的 32 位 Cortex-M3 为核心的单片机——STM32™系列产品,经过不到 5 年的时间已经陆续推出了 9 大系列、超过 250 种产品型号。

- STM32 F1 系列:超值型产品(STM32F100);
- STM32 F1 系列:基本型产品(STM32F101);
- STM32 F1 系列:USB 基本型产品(STM32F102);
- STM32 F1 系列:增强型产品(STM32F103);
- STM32 F1 系列:互联型产品(STM32F105/107);
- STM32 F2 系列:高性能产品(STM32F205/215/207/217);
- STM32 F4 系列:具 DSP 功能的高性能产品(STM32F405/415/407/417);
- STM32 L1 系列:超低功耗型产品(STM32F151/152);
- STM32 W 系列:2.4 GHz 射频产品(STM32W108)。

自从面世以来,STM32 系列产品就得到了业界的持续关注和广泛好评。STM32 以优越的性能、平易的价格和完美的兼容性,赢得了客户的青睐,得到了大量的应用。据 ARM 公司的统计,在 2007 年至 2011 年第一季度期间,STM32 系列产品的累积出货量,占全球以 Cortex-M 为核心的单片机产品的 45%。

本书以嵌入式实时操作系统 $\mu\text{C}/\text{OS-II}$ 为主体,结合 $\mu\text{C}/\text{OS-II}$ 在 STM32 上的实现,详细深入地讲述了很多实际项目案例,很好地把握硬件电路设计与软件设计融合在一起讲解,为从事嵌入式实时操作系统和 STM32 产品开发的科研人员、设计工程师和高校师生提供了不少典型的应用实例,是一本不可多得的参考用书。

意法半导体将继续努力使自己成为 32 位单片机的领先者,同时不断地提供丰富的产品和最新的技术以满足广大用户不断增长的需求。

意法半导体有限公司大中华区
通用单片机和存储器产品部、应用部经理
梁平

2012 年 1 月

第 2 版前言

时间如白驹过隙,距 2012 年本书第 1 版的出版已有 2 年时间,期间我们收到了许多读者的反馈邮件,他们对本书的第 2 版提出了很多好的建议和意见,我们也通过网络书友会等方式广泛收集了大家对本书再版的一些好的提议。此外,我们也在最近的一年中积累了一些新的经验和构思,这些都为本书的第 2 版修订工作奠定了基础。

目前,市场上 STM32 系列微控制器相关书籍,一般只是基础入门教程,多数针对各种外设接口介绍编程设计,很少有一本书能够综合硬件编程设计、嵌入式实时操作系统 $\mu\text{C}/\text{OS-II}$ 、嵌入式图形系统 $\mu\text{C}/\text{GUI}$ 软件设计集中讲述实际项目案例。本书为了解决这类问题,将重点深入到 $\mu\text{C}/\text{OS-II}$ 与 $\mu\text{C}/\text{GUI}$ 系统,结合大量经典项目案例来讲解如何在 $\mu\text{C}/\text{OS-II}$ 与 $\mu\text{C}/\text{GUI}$ 系统环境下构建应用实例。

本书第 2 版体系结构与层次更趋完整、基本概念走向清晰,易读易学。与第 1 版相比,第 2 版做了较大的修改与完善,本书第 2 版共包括 20 章,各章的主要内容安排如下:

第 1 章简述 STM32 处理器的主要产品线的性能、特点、框架结构,对 CMSIS 软件接口标准进行了基础性讲解。

第 2 章偏重实践,简述了嵌入式实时操作系统 $\mu\text{C}/\text{OS-II}$ 的内核体系、结构和特点,把重点集中在 $\mu\text{C}/\text{OS-II}$ 嵌入式系统移植,并通过 3 个实例分别在 $\mu\text{C}/\text{OS-II}$ 系统中采用消息队列、信号量、邮箱机制,演示进程间的通信与同步。

第 3 章简述了 $\mu\text{C}/\text{GUI}$ 图形系统的软件结构、相关控件及基本操作函数,集中讲述 $\mu\text{C}/\text{GUI}$ 的系统移植,最后演示了如何在 $\mu\text{C}/\text{OS-II}$ 系统架构下创建 $\mu\text{C}/\text{GUI}$ 图形界面显示例程。

第 4 章首先简述 STM32 处理器的 RTC 模块的结构、工作流程,然后详细讲解了 RTC 模块相关寄存器及外设库函数,最后讲述在 $\mu\text{C}/\text{OS-II}$ 系统环境下实现 $\mu\text{C}/\text{GUI}$ 时钟显示界面的系统软件设计。

第 5 章先简述串行闪存芯片 SST25VF016B 器件操作、操作指令等,再讲述 FATFS 开源文件系统移植,最后讲述在 $\mu\text{C}/\text{OS-II}$ 、 $\mu\text{C}/\text{GUI}$ 系统框架下设计基于存储器的文件显示实例。

第 6 章采用 STM32 处理器的 GPIO 端口,在 $\mu\text{C}/\text{OS-II}$ 系统创建 $\mu\text{C}/\text{GUI}$ 界面,通过滑动条控制 LED 延时闪烁。

第 7 章先讲述 STM32 处理器 ADC 模块的功能结构、工作模式,再介绍 ADC 模块相关的寄存器及 ADC 外设库函数,最后详细讲解 A/D 采样-转换的系统软件设计。

第8章讲述液晶显示屏与触摸屏的系统软件设计,基于软硬件分层剥离、软件重组复用的层次架构,是全书的实例应用基础,演示了2.4寸、3.0寸、4.3寸液晶显示模块图形显示实例。

第9章是一个基于SDIO硬件接口的MP3音乐播放器系统设计实例。先对STM32处理器的SDIO接口的构成、寄存器功能、SDIO外设库函数以及VS1003硬件等进行基础性介绍,再综合SDIO硬件驱动、VS1003硬件驱动、FATFS文件系统来讲解SD卡MP3播放器系统设计。

第10章讲述模拟I²C总线协议实现FM数字收音机应用实例。首先简述I²C总线协议,然后分别介绍FM数字立体声芯片TEA5767的功能结构、工作模式以及寄存器定义,最后详细讲述实例的系统软件编程。

第11章是一个基于STM32处理器bxCAN模块的CAN报文收发应用实例。首先介绍CAN总线协议,然后介绍STM32处理器的bxCAN模块的工作模式、收发操作流程、寄存器功能以及CAN外设库函数,最后详细讲述CAN总线收发系统软件设计,本章偏重于 μ C/GUI图形用户界面设计。

第12章是一个基于 μ IP协议栈的以太网通信的实例。首先介绍以太网IEEE802.3数据帧格式,然后概述以太网控制器ENC28J60芯片,最后详细讲述基于 μ IP1.0协议栈的以太网通信系统软件设计。本章将系统程序设计和 μ IP协议栈移植分开讲述。

第13章是一个基于nRF24L01的无线数据收发应用实例。首先讲述包括无线收发器nRF24L01的工作模式、操作指令、寄存器以及SPI外设库函数在内的基础知识点,然后分成主机和从机两个部分讲述无线数据收发软件设计。

第14章介绍基于CC2530芯片的ZigBee无线通信实例。首先简述ZigBee技术的协议体系结构、设备类型、网络拓扑,然后概述ZigBee芯片CC2530的功能结构以及硬件电路设计,最后详细讲解ZigBee无线收发应用实例的系统软件设计,软件设计重点侧重于 μ C/GUI图形用户界面设计。

第15章首先介绍STM32处理器USB模块的硬件结构、寄存器定义,然后将软件设计分成USB设备固件程序设计和 μ C/OS-II系统软件设计两大部分进行详细讲解,侧重点也在 μ C/GUI系统任务。

第16章是一个GPS星历表系统设计实例,首先介绍GPS的工作原理、主要构成、NMEA183标准语句,然后讲述STM32处理器的USART接口及外设库函数,最后讲解在 μ C/OS-II系统环境下创建GPS星历表显示界面。

第17章主要介绍通用定时器及系统编程设计,简述STM32处理器的定时器模块,详细介绍采用PWM控制减速电机及舵机的系统软件设计过程,并给读者预留了一个在 μ C/OS-II系统构建 μ C/GUI图形用户界面实时控制电机驱动硬件的实践性设计题。

第18章主要介绍三轴加速度传感器MMA7455L的编程应用,介绍MMA7455L的工作模式、寄存器配置以及硬件电路设计,最后详细讲述MMA7455L的系统软件设计。

第 19 章是一个采用图像采集传感器 OV7670 的摄像头应用实例,仅在 $\mu\text{C}/\text{OS-II}$ 系统环境下实现实时图像显示。本章由应用软件层、系统软件层、硬件外设层自上而下讲述各层软件设计重点。

第 20 章简述了本书配套实例的 STM32 硬件开发平台与配件,有助于读者对实验平台的了解。

通过 18 个章节的应用实例,详细深入地阐述了在 $\mu\text{C}/\text{OS-II}$ 系统和 $\mu\text{C}/\text{GUI}$ 图形系统中的应用实例开发与应用。这些应用实例典型、类型丰富,覆盖面广,全部来自于实践并且调试通过,代表性和指导性强,是作者多年科研工作经验的总结。

本书主要特色

(1) 实例丰富、技术新潮,精选了较典型的应用实例,所有应用实例系作者原创,实践指导性强;

(2) 应用实例基于 $\mu\text{C}/\text{OS-II}$ 系统、 $\mu\text{C}/\text{GUI}$ 图形系统环境,软硬件分层剥离,软件复用、可移植性强;

(3) 实例设计结构层次清晰,依照应用软件层、系统软件层、硬件抽象层、硬件外设驱动层次安排软件设计,易懂易学。

本书实例全部在配套的 STM32 硬件开发板上调试通过,该开发板很适合教学使用,同时也是很好的通用开发板。为促进读者更好地学习,加强互动,提供优惠购买图书配套开发板活动,有需要购买的读者可以上作者的淘宝网店(<http://sortwell.taobao.com> 或 <http://shop68851802.taobao.com>),同时网店也是开发板新版本发布、书籍相关咨询和交流的唯一渠道。

本书由刘波文,孙岩编写。由于涉及内容较多,知识有限,加之时间仓促,书中不足和错误之处在所难免,恳请专家和读者批评指正,也可以通过邮件(powenliu@yeah.net)联系作者本人。

刘波文

2013 年 12 月 21 日

于深圳



第 1 章 STM32 处理器与实验平台概述	1
1.1 STM32 处理器概述	1
1.1.1 STM32F1xx 系列	1
1.1.2 STM32F2xx 系列	3
1.1.3 STM32L1xx 系列	6
1.1.4 STM32F3xx 系列	8
1.1.5 STM32F4xx 系列	8
1.2 CMSIS 软件接口标准	12
1.2.1 CMSIS 层与软件架构	13
1.2.2 CMSIS 文件结构	14
1.2.3 基于 CMSIS 架构的示例	20
第 2 章 嵌入式系统 $\mu\text{C}/\text{OS-II}$	22
2.1 嵌入式系统 $\mu\text{C}/\text{OS-II}$ 概述	22
2.1.1 $\mu\text{C}/\text{OS-II}$ 系统特点	22
2.1.2 $\mu\text{C}/\text{OS-II}$ 系统内核	24
2.1.3 任务管理	33
2.1.4 时间管理	34
2.1.5 任务之间的通信与同步	35
2.1.6 内存管理	37
2.2 如何在 STM32 处理器移植 $\mu\text{C}/\text{OS-II}$ 系统	38
2.2.1 移植 $\mu\text{C}/\text{OS-II}$ 满足的条件	38
2.2.2 初识 $\mu\text{C}/\text{OS-II}$ 嵌入式系统	38
2.2.3 重提 $\mu\text{C}/\text{OS-II}$ 嵌入式系统移植要点	55
2.2.4 细说 $\mu\text{C}/\text{OS-II}$ 系统运行流程	56
2.3 设计目标	59
2.4 $\mu\text{C}/\text{OS-II}$ 系统软件设计	59
2.4.1 实例 1- $\mu\text{C}/\text{OS-II}$ 系统基础应用	59
2.4.2 实例 2-消息队列	70
2.4.3 实例 3-信号量	73
2.4.4 邮箱通信机制解析	77

2.5 实例总结	78
2.6 实例操作演示	78
第 3 章 嵌入式图形系统 $\mu\text{C}/\text{GUI}$	80
3.1 嵌入式图形系统 $\mu\text{C}/\text{GUI}$	80
3.1.1 $\mu\text{C}/\text{GUI}$ 系统软件结构	80
3.1.2 文本显示	81
3.1.3 数值显示	83
3.1.4 2D 图形库	85
3.1.5 字 体	89
3.1.6 颜 色	91
3.1.7 存储设备	93
3.1.8 视窗管理器	93
3.1.9 窗口对象	95
3.1.10 对话框	106
3.1.11 抗锯齿	107
3.1.12 输入设备	108
3.1.13 时间函数	110
3.2 $\mu\text{C}/\text{GUI}$ 系统移植	110
3.2.1 初识 $\mu\text{C}/\text{GUI}$ 系统	111
3.2.2 细说 $\mu\text{C}/\text{GUI}$ 系统移植	121
3.2.3 $\mu\text{C}/\text{GUI}$ 系统的触摸屏驱动	130
3.2.4 在 $\mu\text{C}/\text{OS-II}$ 系统下支持 $\mu\text{C}/\text{GUI}$ 系统	132
3.3 设计目标	135
3.4 系统软件设计	135
3.5 实例总结	144
3.6 显示效果	145
第 4 章 实时时钟系统设计实例	146
4.1 RTC 简述	146
4.1.1 RTC 复位过程	148
4.1.2 RTC 寄存器操作	148
4.1.3 RTC 寄存器描述	149
4.1.4 备份寄存器描述	154
4.2 RTC 及相关外设库函数功能详解	156
4.2.1 RTC 外设库函数功能	157
4.2.2 备份寄存器库函数功能	162
4.3 设计目标	166
4.4 RTC 系统硬件构成	167

4.5 系统软件设计	168
4.6 实例总结	188
4.7 显示效果	188
第5章 串行 Flash 存储器应用实例	189
5.1 串行 Flash 存储器概述	189
5.1.1 SST25VF016B 引脚功能描述	190
5.1.2 器件操作	191
5.1.3 状态寄存器	193
5.1.4 SST25VF016B 指令集	194
5.2 设计目标	203
5.3 硬件电路原理设计	203
5.4 μ C/OS-II 系统软件设计	203
5.4.1 系统相关软件设计	205
5.4.2 FATFS 文件系统的移植	216
5.5 实例总结	222
5.6 显示效果	223
第6章 GPIO 接口应用实例	224
6.1 GPIO 接口应用概述	224
6.1.1 GPIO 端口功能	225
6.1.2 GPIO 端口配置	227
6.1.3 GPIO 寄存器描述	229
6.2 GPIO 端口相关库函数功能详解	234
6.3 设计目标	243
6.4 硬件原理	243
6.5 系统软件	244
6.6 实例总结	255
6.7 操作演示	255
第7章 ADC 转换应用实例	256
7.1 ADC 概述	256
7.1.1 ADC 模块功能	257
7.1.2 ADC 寄存器功能描述	271
7.1.3 ADC 误差种类	282
7.2 ADC 模块相关库函数功能详解	283
7.3 设计目标	299
7.4 A/D 转换硬件电路设计	300
7.4.1 温湿度变送器简述	300
7.4.2 硬件电路原理图	301

7.5	A/D 转换实例系统软件设计	302
7.6	实例总结	311
7.7	显示效果	311
第 8 章	LCD 液晶显示屏与触摸屏系统设计实例	312
8.1	LCD 液晶显示屏概述	312
8.1.1	LCD 液晶显示屏原理	312
8.1.2	LCD 液晶显示屏的分类	313
8.2	触摸屏驱动原理简述	314
8.2.1	电阻触摸屏工作原理	314
8.2.2	触摸屏控制实现	315
8.3	设计目标	315
8.4	硬件电路架构	315
8.4.1	STM32 微处理器 FSMC 接口	316
8.4.2	触摸屏控制器	318
8.4.3	硬件电路	320
8.5	系统软件设计	325
8.5.1	2.4 寸液晶显示模块图形演示实例软件	326
8.5.2	3.0 寸液晶显示模块图形演示实例软件	335
8.5.3	4.3 寸液晶显示模块图形演示实例软件	337
8.6	实例总结	341
8.7	显示效果	341
第 9 章	SDIO 接口应用实例——SD 卡与 MP3 播放器设计	342
9.1	SDIO 应用概述	342
9.1.1	SD 存储卡	342
9.1.2	SDIO 接口概述	346
9.2	SDIO 接口相关库函数功能详解	362
9.3	设计目标	377
9.4	硬件电路设计	377
9.4.1	VS1003 芯片概述	378
9.4.2	硬件电路原理图	382
9.5	$\mu\text{C}/\text{OS-II}$ 系统软件设计	383
9.6	实例总结	401
9.7	显示效果	402
第 10 章	I²C 接口应用实例——FM 收音机设计	403
10.1	I ² C 总线应用概述	403
10.1.1	I ² C 总线拓扑	403
10.1.2	I ² C 总线的数据通信	404

10.2 设计目标	407
10.3 硬件电路设计	407
10.3.1 TEA5767 芯片概述	408
10.3.2 硬件电路原理	413
10.4 μ C/OS-II 系统软件设计	414
10.5 实例总结	435
10.6 显示效果	435
第 11 章 CAN 总线应用实例	436
11.1 CAN 总线概述	436
11.1.1 CAN 总线网络拓扑	437
11.1.2 CAN 通信协议	437
11.1.3 CAN 总线信号特点	438
11.1.4 CAN 的位仲裁技术	438
11.1.5 CAN 总线的帧格式	439
11.1.6 CAN 报文的帧类型	440
11.2 STM32 处理器的 CAN 模块概述	445
11.2.1 bxCAN 模块工作模式	446
11.2.2 bxCAN 模块操作描述	448
11.2.3 bxCAN 模块的寄存器功能描述	452
11.3 CAN 外设相关库函数功能详解	469
11.4 设计目标	484
11.5 硬件电路设计	484
11.5.1 TJA1050 器件概述	485
11.5.2 硬件电路原理图	487
11.6 μ C/OS-II 系统软件设计	487
11.7 实例总结	499
11.8 显示效果	500
第 12 章 以太网应用实例	501
12.1 以太网概述	501
12.1.1 以太网的网络传输介质	501
12.1.2 以太网数据帧格式	504
12.1.3 嵌入式系统中主要处理的以太网协议	506
12.1.4 TCP/IP 网络协议栈的引入	508
12.2 设计目标	510
12.3 硬件电路设计	511
12.3.1 以太网控制器 ENC28J60 概述	512
12.3.2 硬件电路原理图	519

12.4	系统软件设计	520
12.4.1	$\mu\text{C}/\text{OS-II}$ 系统程序	522
12.4.2	μIP 协议栈及应用程序	535
12.5	实例总结	558
12.6	显示效果	559
第 13 章	nRF24L01 无线数据收发实例	560
13.1	无线收发器 nRF24L01 概述	560
13.1.1	无线收发器 nRF24L01 引脚功能定义	561
13.1.2	无线收发器 nRF24L01 工作模式设置	562
13.1.3	无线收发器 nRF24L01 的 SPI 接口指令设置	564
13.1.4	无线收发器 nRF24L01 寄存器功能描述	564
13.1.5	无线收发器 nRF24L01 读/写操作时序	571
13.1.6	无线收发器 nRF24L01 数据包处理方式	571
13.2	STM32 处理器 SPI 接口概述	572
13.2.1	时钟信号的相位和极性	574
13.2.2	配置 SPI 接口为主模式	575
13.2.3	STM32 处理器 SPI 接口寄存器	576
13.3	SPI 接口相关库函数功能详解	583
13.4	设计目标	596
13.5	硬件电路设计	597
13.6	无线数据点对点通信软件设计	600
13.6.1	主机系统软件设计	601
13.6.2	从机软件设计	618
13.7	实例总结	624
13.8	显示效果	624
第 14 章	ZigBee 无线模块应用实例	625
14.1	ZigBee 技术概述	625
14.1.1	ZigBee 协议的体系结构	626
14.1.2	ZigBee 协议设备类型	627
14.1.3	ZigBee 网络拓扑结构	628
14.1.4	ZigBee 技术应用领域	628
14.2	设计目标	629
14.3	ZigBee 硬件模块电路设计	630
14.3.1	CC2530 芯片简述	630
14.3.2	CC2530 芯片引脚功能概述	632
14.3.3	CC2530 芯片的 USART 接口	634
14.3.4	ZigBee 模块电路原理图及说明	634

14.4	μ C/OS-II 系统软件设计	635
14.5	实例总结	646
14.6	显示效果	647
第 15 章	USB Joystick 应用实例	648
15.1	USB 模块概述	648
15.2	USB 寄存器	650
15.2.1	通用寄存器	650
15.2.2	端点寄存器	654
15.2.3	缓冲区描述表	658
15.3	设计目标	660
15.4	硬件电路设计	660
15.5	软件设计	660
15.5.1	USB Joystick 设备固件代码设计	661
15.5.2	μ C/OS-II 系统软件设计	664
15.6	实例总结	671
15.7	显示效果	671
第 16 章	GPS 通信系统设计	672
16.1	GPS 系统应用概述	672
16.1.1	GPS 系统工作原理	672
16.1.2	GPS 系统构成	673
16.1.3	GPS 模块输出信号分析	673
16.2	STM32 处理器 USART 接口概述	676
16.2.1	STM32 处理器 USART 接口寄存器	679
16.2.2	USART 接口相关库函数功能详解	688
16.3	设计目标	704
16.4	硬件电路	704
16.5	系统软件设计	705
16.6	实例总结	721
16.7	显示效果	721
第 17 章	智能小车驱动设计	722
17.1	智能小车应用系统概述	722
17.2	STM32 处理器通用定时器概述	723
17.2.1	时基单元	725
17.2.2	PWM 模式	725
17.3	设计目标	725
17.4	硬件电路设计	726
17.5	应用实例软件设计	727

17.5.1 智能小车驱动实例系统软件设计	728
17.5.2 电机驱动实例	750
17.6 实例总结	754
17.7 显示效果	754
第 18 章 三轴加速度传感器应用	756
18.1 三轴加速度传感器应用概述	756
18.1.1 三轴加速度传感器 MMA7455L 概述	757
18.1.2 MMA7455L 的引脚功能描述	758
18.1.3 MMA7455L 的工作模式及相关寄存器功能配置	759
18.1.4 数字通信接口	767
18.2 设计目标	769
18.3 硬件电路设计	769
18.4 系统软件设计	770
18.5 实例总结	779
18.6 显示效果	779
第 19 章 CMOS 摄像头系统应用实例	780
19.1 CMOS 摄像头应用概述	780
19.1.1 图像采集传感器组成	781
19.1.2 OV7670 引脚功能描述	782
19.1.3 OV7670 相关时序概述	783
19.1.4 OV7670 寄存器配置概述	786
19.2 设计目标	802
19.3 硬件电路设计	802
19.4 系统软件设计	804
19.5 实例总结	815
19.6 演示效果	815
第 20 章 STM32 处理器实验平台概述	816
20.1 STM32MINI 开发平台	816
20.2 STM32-V3 开发平台	817
20.3 STM32TINY 开发平台	818
20.4 液晶显示屏配件	819
20.4.1 2.4 寸液晶显示模块	819
20.4.2 3.0 寸液晶显示模块	820
20.4.3 4.3 寸液晶显示模块	820
20.5 电机开发板套件	821
参考文献	823

第 1 章

STM32 处理器与实验平台概述

STM32 系列 32 位闪存微控制器是 ST 公司基于 ARM Cortex™-M3/M4 内核专门为嵌入式应用开发领域而推出的。STM32 是一个完整的 32 位处理器系列产品,主要为 MCU 向 32 位架构提供低成本解决方案。受益于 Cortex-M3/M4 架构的增强型功能及性能改进的代码密度更高的 Thumb-2 指令集,STM32 系列处理器不仅大幅提升了中断响应速度,同时兼具业内最低的功耗,具有高集成度和易开发性的特点。

1.1 STM32 处理器概述

ST 公司是最早推出基于 ARM Cortex™-M3 内核的微控制器厂商之一。STM32 系列 32 位闪存微处理器产品得益于 Cortex-M3/M4 在架构上进行的多项改进,专门为要求高性能、低成本、低功耗的嵌入式应用领域设计。

STM32 系列的微处理器产品阵容非常强大,其主要产品的引脚、软件和外设相互兼容,应用灵活性达到很高水平。STM32 系列的主要产品线配置如图 1-1 所示。

STM32F 是 STM32 系列 32 位闪存微处理器的基础,按功能可以分为 STM32F1xx 系列和 STM32F2xx 系列,此外 2012 年又加入了 Cortex-M4 内核 STM32F3xx 系列和 STM32F4xx 系列;STM32L1xx 系列产品属于 EnergyLite™ 超低功耗产品线,是消费电子、工业应用、医疗仪器以及能源计量表等低功耗应用领域的首选微控制器。

1.1.1 STM32F1xx 系列

如果根据闪存容量来划分,STM32F1xx 系列包含多个子系列,分别是:STM32 小容量产品、STM32 中容量产品、STM32 大容量产品。如果按照功能划分,则 STM32F1xx 系列处理器主要包括 5 个产品线,这 5 个产品线相关型号的芯片之间引脚和软件都相互兼容,但集成的功能实现了差异化,能出色地满足工业、医疗和消费电

内核&外设架构		STM32 系列产品配置									
通信外设 USART,SPI,I ² C	STM32 系列	F2xx 系列产品—STM32F207/217 与 STM32F205/215									
多个通用定时器		120 MHz 主频 Cortex-M3 内核	最大 128 KB SRAM	最大 1 MB FLASH	2 个 USB2.0 OTG 全速/高速	三相马达控制定时器	2 个 CAN2.0B 接口	SDIO 2 个 IIS 音频摄像头接口	以太网接口 IEEE 1588	加密/哈希处理器与 RNG	
集成复位和欠压报警		Flxx 系列互联型产品线—STM32F105/STM32F107									
多个 DMA 通道		72 MHz 主频 Cortex-M3 内核	最大 64 KB SRAM	最大 256 KB FLASH	USB2.0 OTG 全速	三相马达控制定时器	2 个 CAN2.0B 接口	2 个 IIS 音频接口	以太网接口 IEEE 1588		
看门狗,实时时钟		Flxx 系列增强型产品线—STM32F103									
集成稳压器,PLL 和时钟电路		72 MHz 主频 Cortex-M3 内核	最大 96 KB SRAM	最大 1 MB FLASH	USB 全速设备	三相马达控制定时器	CAN2.0B 接口	SDIO 2 个 IIS			
外部存储器接口(FSMC)		Flxx 系列 USB 基本型产品线—STM32F102									
双 12 位 DAC		48 MHz 主频 Cortex-M3 内核	最大 16 KB SRAM	最大 128 KB FLASH	USB 全速设备						
多达 3 个 12 位 ADC		Flxx 系列基本型产品线—STM32F101									
主振荡器和 32 kHz 振荡器		36 MHz 主频 Cortex-M3 内核	最大 80 KB SRAM	最大 1 MB FLASH							
低速和高速内部 RC 振荡器		Flxx 系列超值型产品线—STM32F100									
-40℃~+85℃(或 +105℃) 工作温度范围		24 MHz 主频 Cortex-M3 内核	最大 32 KB SRAM	最大 512 KB FLASH	三相马达控制定时器	CEC					
2.0V~3.6 V 或 2.0 V~3.6 V(LI和 F2 系列)低电压		Llxx 系列—STM32L151/2									
内部温度传感器		32 MHz 主频 Cortex-M3 内核	最大 48 KB SRAM	最大 384 KB FLASH	USB 全速设备	最大 12 KB 数据 EEPROM	LCD 8×40	比较器	BOR,MSI,VScal		

注:

BOR:欠压复位(Brown-out reset)。

MSI:多个高速内部振荡器(Multi-speed internal oscillator)。

Vscal:电压扫描(Voltage scaling)。

RNG:随机数字发生器(Random number generator)。

CEC:消费类电子产品控制(Consumer electronics control)。

SDIO:安全数字输入/输出(Secure digital input/output)。

图 1-1 STM32 主产品线配置

子市场的各种应用需求。这 5 个产品线的型号分类及主要特点如下。

- (1) 超值型系列 STM32F100xx。
24 MHz 最高主频,带马达控制和 CEC 功能。
- (2) 基本型系列 STM32F101xx。
36 MHz 最高主频,具有高达 1 MB 的片上闪存。
- (3) USB 基本型系列 STM32F102xx。
48 MHz 最高主频,带全速 USB 模块。
- (4) 增强型系列 STM32F103xx。
72 MHz 最高主频,具有高达 1 MB 的片上闪存,兼具马达控制、USB 和 CAN 模块。
- (5) 互联型系列 STM32F105/107xx。
72 MHz 最高主频,具有以太网 MAC、CAN 以及 USB 2.0 OTG 功能。