



ARM Cortex-M0
微控制器深度实战

温子祺 冼安胜 林秩谦 刘志峰 编著



北京航空航天大学出版社
BEIHANG UNIVERSITY PRESS

ARM Cortex-M0 微控制器深度实战

温子祺 冼安胜 林秩谦 刘志峰 编著

北京航空航天大学出版社

内 容 简 介

本书以新唐公司的 NuMicro M051 系列微控制器为蓝本,由浅入深,结合 SmartM-M051 旗舰开发板系统地介绍 ARM Cortex-M0 的原理与结构、开发环境的使用及各种功能器件的应用。

本书的主要特色是边学边做,不是单纯的理论讲解,而是各章节中规中矩,遵循由简到繁、循序渐进的编排方式。本书大部分内容来自作者的项目经验,因而许多 C 语言代码能够直接应用到工程项目中去,且代码风格良好。书中还介绍了如何驱动 TFT 屏、触摸控制、红外编码解码、SD 卡数据读/写、FATFS 文件系统的移植及 2.4G/蓝牙数据传输等,而这些内容在很多同类型书籍中并不具备,但恰恰是工作中经常要接触的。

本书既可作为大学本、专科微控制器课程的教材,又可供相关技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

ARM Cortex-M0 微控制器深度实战 / 温子祺, 冼安胜, 林秩谦, 刘志峰编著. -- 北京: 北京航空航天大学出版社, 2014. 7

ISBN 978-7-5124-1423-5

I. ①A… II. ①温… ②冼… ③林… ④刘… III. ①微处理器—系统设计 IV. ①TP332

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 119469 号

版权所有,侵权必究。

ARM Cortex-M0 微控制器深度实战

温子祺 冼安胜 林秩谦 刘志峰 编著
责任编辑 杨 昕

*

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 邮购电话:(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:31 字数:661 千字

2014 年 7 月第 1 版 2014 年 7 月第 1 次印刷 印数:4 000 册

ISBN 978-7-5124-1423-5 定价:75.00 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

序

2009年ARM推出Cortex-M0核心,紧接着在2010年厂商又推出了以Cortex-M0为核心的微控制器,至今已迈入第五年。此32位核心以8/16位微控制器性能提升为主要目标,期间造成微控制器市场的整体趋势改变。第一,性能需求的提升;第二,性价比的提升;第三,众多MCU厂商的投入;第四,一致且容易取得的开放架构开发环境。这四点造成8位机改用32位单片机需求的急速提升。

欣闻SmartMCU团队即将出版第2本书——《ARM Cortex-M0微控制器深度实战》,以面向进阶外设使用与应用为主。这将是颇受好评的第1本书——《ARM Cortex-M0微控器原理与实践》的进阶深入探讨。第1本书得到许多工程师、大学教师及学生的高度评价,尤其是在研讨会、大学计划的讨论中,均肯定此书为中国目前写得最好的Cortex-M0参考用书之一。相信这本《ARM Cortex-M0微控制器深度实战》必能持续其佳绩,为各位读者带来更为深入的知识与技术,增进对微控制器的使用技能,产生创新的应用。

未来微控制器的应用将持续朝多样化方向发展,尤其在节能应用、物联网、健康照护及家庭自动化等方面,都需要微控制器来进行控制与运算,进而连接至网络或移动设备。这些均是以微控制器为工具来增进使用体验、改进生活便利性、联网云端与创新价值的最好应用。

工欲善其事,必先利其器。感谢SmartMCU团队对Cortex-M0 MCU推广的贡献,此两本ARM Cortex-M0的开发参考指南,必定会成为各位读者对Cortex-M0微控制器了解与使用的最佳工具书。

新唐科技副总经理
微控制器应用事业群主管
林任烈 于新竹
2014年2月

前言

嵌入式领域的发展日新月异,你也许还没有注意到,但是如果你停下来想一想 MCU 系统十年前的样子并与当今的 MCU 系统比较一下,就会发现 PCB 设计、元件封装、集成度、时钟速度和内存大小都已经历了好几代的变化。在这方面最热门的话题之一是,仍在使用 8 位 MCU 的用户何时才能摆脱传统架构并转向使用更先进的 32 位微控制器架构,如基于 ARM Cortex-M 的 MCU 系列。在过去几年里,嵌入式开发者向 32 位 MCU 的迁移一直呈现强劲势头,采取这一行动的最强有力的理由是市场和消费者对嵌入式产品复杂性的需求大大增加。随着嵌入式产品彼此互联越来越多、功能越来越丰富,目前的 8 位和 16 位 MCU 已经无法满足处理要求,即使 8 位或 16 位 MCU 能够满足当前的项目需求,它也存在限制未来产品升级和代码重复使用的较大风险。嵌入式开发者开始认识到迁移到 32 位 MCU 带来的好处,且不说 32 位 MCU 能提供超过 10 倍的性能,单说这种迁移本身就带来更低的能耗、更小的程序代码、更快的软件开发时间以及更好的软件重用性。

随着近年来制造工艺的不断进步,ARM Cortex 微控制器的成本不断降低与 8 位和 16 位微控制器的价格处于同等水平,另外基于 ARM 器件的选择余地、性能范围和可用性也不断增强,从而使越来越多的微控制器供应商提供基于 ARM 的微控制器。这些产品能提供选择范围更广的外设、性能、内存大小、封装和成本等。另外,基于 ARM Cortex-M 的微控制器还具有专门针对微控制器应用的一些特性,这些特性使 ARM 微控制器具有日益广泛的应用范围。与此同时,基于 ARM 的微控制器的价格在过去 5 年里已大幅降低,并且面向开发者的低成本甚至免费开发工具也越来越多。

与其他架构相比,选择基于 ARM 的微控制器也是更好的投资。现今,针对 ARM 微控制器开发的软件代码可在未来多年内供为数众多的微控制器供应商重复使用。随着 ARM 架构的应用越来越广泛,聘请具有 ARM 架构行业经验的软件工程师比聘请其他架构工程师更加容易,这也使得嵌入式开发者的产品和资产更加面向未来。

微控制器的选型以新唐公司 ARM Cortex-M0 内核的 NuMicro M051 系列微

控制器为蓝本。此前,本人已经编写了《ARM Cortex-M0 微控制器原理与实践》,并由北京航空航天大学出版社成功出版。该书所讲解的实验均以 SmartM-M051 开发板为实验平台。该开发板是为初学者设计的一款实用型的开发板,不仅含有基本的设备单元,同时在开发板实用性的基础上能够搭载 USB 模块和网络模块,很好地满足了书中所有实验的要求。

《ARM Cortex-M0 微控制器原理与实践》十分畅销,很好地诠释了 ARM Cortex-M0 微控制器,是入门的首选。在此衷心感谢读者们的支持,更感谢新唐公司能够设计出如此优秀的微控制器。该微控制器在中国市场乃至全世界已经起到了举足轻重的作用。为了拓展 NuMicro M051 系列微控制器的应用范畴,适应更多读者的口味,本人依然以新唐公司的 NuMicro M051 系列微控制器为蓝本,编写了以实战为主题的《ARM Cortex-M0 微控制器深度实战》,与读者一起挖掘该微控制器的潜能。SmartM-M051 旗舰开发板是专为有一定基础的读者而设计的实战型开发板,硬件资源十分丰富,配备触摸屏、SD 卡、红外发射/接收、温湿度传感器、SPI FLASH(W25Q16)、RS485、网络模块 ENC28J60、蓝牙模块 HC05 及 2.4G 无线通信 NRF24L01 等器件。由于配备了触摸屏,所有实验都通过触摸屏来显示,使实验更为生动形象,从而提升了用户体验。本书为《ARM Cortex-M0 微控制器原理与实践》的兄弟篇,或可理解为上下册,上册侧重入门,下册面向进阶;下册部分内容需要上册进行补充,如相关寄存器、平台搭建等。

本书共分为七大部分:

第一部分为硬件资源篇,提前认识书中使用的硬件开发平台和搭载的资源。

第二部分为初步认知篇,简略讲解 ARM Cortex-M0 架构、NuMicro M051 系列微控制器的内部资源。

第三部分为人机交互篇,着重讲解 TFT 显示与触摸检测的原理,并通过颜色显示实验、触摸校准等实验予以验证。

第四部分为基本控制篇,围绕 NuMicro M051 系列微控制器的内部资源并通过触摸屏进行交互,如定时器、串口、中断、ADC、SPI、PWM、看门狗、BOD 欠压电压检测、DS1302 实时时钟、DHT11 温湿度传感器、24C02、ISP 及按键识别等。

第五部分为数据通信篇,包含 PS/2 设备(如键盘、鼠标)的数据通信、RS485 通信、红外遥控器解码、2.4G 数据传输、网络数据传输及蓝牙数据传输等。

第六部分为文件系统篇,讲解 SD 卡的通信原理、如何移植 FATFS 文件系统以及如何显示位图图片。

第七部分为拓展篇,讲解如何设置属于自己的 BootLoader,自定义每次运行的代码。

天下大事,必作于细。无论是从微控制器入门与深入的角度出发,还是从实践性与技术性的角度出发,都是本书的亮点,可以说作者是用尽了心血进行编写,是多年工作经验的积累。读者通过学习本书可以了解作者的思路与经验,找到了捷径,可以

花最少的时间获得最佳的学习效果,节省不必要的摸爬滚打的时间。

参与本书编写工作的主要人员有温子祺、冼安胜、林秩谦 3 人,最终方案的确定和本书的定稿全部由温子祺负责。感谢新唐科技股份有限公司的贾雪巍先生和北京航空航天大学出版社的胡晓柏主任,在从写书到出版的过程中提出了不少有价值的参考意见,使此书不断完善。

本书主要取材于实际的项目开发经验,这对于微控制器编程的程序员来说是一个很好的消息。本书例程不但编程规范,代码具有良好的移植性,且移植到不同的平台也十分方便。最后希望本书能对微控制器应用推广起到一定的作用。由于程序代码较复杂、图表比较多,难免会有纰漏,恳请读者批评指正。可以通过 E-mail 地址: wenziqi@hotmail.com 进行反馈,并欢迎大家访问 www.smartmcu.com,希望能够得到您的参与和帮助。

温子祺

2014 年 2 月 14 日

目 录

硬件资源篇

初步认知篇

第 1 章 ARM Cortex - M0	4
1.1 总线架构	4
1.1.1 什么是 AMBA	5
1.1.2 什么是 AHB - Lite	6
1.1.3 什么是 CoreSight	7
1.2 Cortex - M0 的结构特点	8
1.2.1 编程模型	9
1.2.2 存储模型	10
1.2.3 异常处理	10
1.2.4 功耗管理	11
1.2.5 指令集	11
1.3 开发工具	12
第 2 章 NuMicro M051 系列微控制器	14
2.1 概 述	14
2.2 系统管理器	15
2.3 系统存储映射	17
2.4 嵌套向量中断控制器 (NVIC)	18
2.4.1 异常模式和系统中断映射	18
2.4.2 操作描述	22
人机交互篇	
第 3 章 TFT	25
3.1 TFT 技术	25

3.1.1	什么是 TFT 技术	25
3.1.2	TFT 是如何工作的	26
3.2	TFT 中的 RGB	27
3.2.1	RGB 原理	29
3.2.2	RGB 格式	29
3.2.3	实验——颜色显示	31
3.3	TFT 中的文字显示	40
3.3.1	GB2312 简介	40
3.3.2	ASCII 简介	41
3.3.3	实验——取模显示字体	47
3.3.4	实验——字库显示字体	51
第 4 章	触摸屏	58
4.1	电阻式触摸屏	60
4.2	触摸控制——XPT2046	62
4.3	实验——触摸校正	65
基本控制篇		
第 5 章	定时器控制器与系统定时器	79
5.1	定时器控制器	79
5.1.1	特 征	79
5.1.2	定时器操作模式	79
5.1.3	相关寄存器	81
5.1.4	实 验	81
5.2	系统定时器	87
5.2.1	概 述	87
5.2.2	相关寄存器	88
5.2.3	示例代码	88
第 6 章	串口通信	89
6.1	概 述	91
6.1.1	特 性	93
6.1.2	相关寄存器	94
6.2	实 验	94
6.2.1	串口发送	94
6.2.2	串口接收	101

第 7 章 外部中断	105
7.1 概 述	105
7.2 实验——中断计数	106
第 8 章 串行外围设备接口(SPI)控制器	111
8.1 概 述	111
8.1.1 特 性	112
8.1.2 功 能	112
8.1.3 时序波形图	117
8.1.4 相关寄存器	119
8.2 FLASH	119
8.2.1 W25Q16/W25Q32/W25Q64	120
8.2.2 特 征	121
8.2.3 功能描述	122
8.3 实验——SPI FLASH 数据读/写	125
第 9 章 I2C 总线控制器	134
9.1 概 述	134
9.1.1 特 征	134
9.1.2 功能描述	135
9.1.3 操作模式	138
9.1.4 相关寄存器	139
9.2 AT24C02	139
9.3 实验——24C02 读/写数据	140
第 10 章 PWM 发生器和捕捉定时器	149
10.1 概 述.....	149
10.1.1 特 征.....	150
10.1.2 功能描述.....	151
10.1.3 相关寄存器.....	156
10.2 实 验.....	156
10.2.1 RGB-LED 调整模式	156
10.2.2 测量占空比	161
10.2.3 测量计数值	167
第 11 章 模拟/数字转换	176
11.1 概 述.....	176

11.1.1	特 征	178
11.1.2	操作步骤	179
11.1.3	相关寄存器	183
11.2	实验——电压测量	184
第 12 章	FLASH 内存控制器 (FMC)	190
12.1	概 述	190
12.1.1	特 性	190
12.1.2	FMC 组织结构	190
12.1.3	在系统编程 (ISP)	193
12.2	实验——ISP 数据读/写	194
第 13 章	看门狗	200
13.1	概 述	200
13.1.1	特 征	202
13.1.2	相关寄存器	202
13.2	实验——看门狗复位	202
第 14 章	功耗控制	208
14.1	概 述	208
14.2	相关寄存器	209
14.3	实 验	209
14.3.1	空闲模式唤醒	209
14.3.2	掉电模式唤醒	212
第 15 章	欠压电压值设定 (BOD)	216
15.1	概 述	216
15.2	实 验	217
第 16 章	按键识别	222
16.1	按键检测	222
16.1.1	传统的按键检测	222
16.1.2	状态机按键检测	223
16.2	实验——按键扫描	225
第 17 章	实时时钟	233
17.1	概 述	233
17.2	实 验	238

第 18 章 DHT11 温湿度传感器	246
18.1 概 述	246
18.2 串行接口	247
18.3 实验——温湿度显示	249

数据通信篇

第 19 章 PS/2	259
19.1 简 介	259
19.2 PS/2 键盘接口及实验	265
19.2.1 PS/2 键盘接口	265
19.2.2 实验——PS/2 键盘	270
19.3 PS/2 鼠标接口及实验	279
19.3.1 PS/2 鼠标接口	279
19.3.2 实验——PS/2 鼠标	287

第 20 章 RS485	297
20.1 简 介	297
20.1.1 特 性	297
20.1.2 MAX485	300
20.2 实验——简单数据传输	301

第 21 章 红外遥控	310
21.1 简 介	310
21.1.1 红外遥控器原理	310
21.1.2 遥控距离的影响因素	312
21.1.3 红外接收头	312
21.2 实验——红外捕捉	313
21.3 NEC 协议	318
21.4 实验——NEC 协议解码	320

第 22 章 RF24L01	329
22.1 RF24L01 概述及特性	329
22.1.1 RF24L01 概述	329
22.1.2 RF24L01 特性	330
22.2 实验——简单数据传输	336

第 23 章 蓝 牙	348
23.1 简 介	348
23.1.1 起 源	350
23.1.2 优 势	350
23.2 工作原理与设备连接	351
23.2.1 工作原理	351
23.2.2 设备连接	352
23.3 版 本	354
23.4 HC05 蓝牙模块	357
23.4.1 简 介	357
23.4.2 AT 指令	357
23.5 实 验	358
23.5.1 简单数据传输	358
23.5.2 手机控制	367
第 24 章 网 络	376
24.1 简 介	376
24.2 网络芯片 ENC28J60	378
24.3 SPI 指令集与命令序列	385
24.4 TCP/IP 协议	387
24.5 实 验	395
文件系统篇	
第 25 章 SD 卡	408
25.1 SD 卡和 MMC 卡	409
25.1.1 速率等级	409
25.1.2 SD 卡的使用	410
25.1.3 Mini SD 与 Micro SD 卡	411
25.1.4 覆盖的写保护开关	411
25.1.5 开放标准	412
25.1.6 技术说明	412
25.2 SD 卡接口的完整规范	413
25.2.1 特 性	413
25.2.2 内部单元	414
25.3 总线概念	417
25.3.1 SD 卡总线	417

25.3.2 SPI 总线	418
25.4 实验——SD 卡数据读/写	419
第 26 章 FATFS	429
26.1 简介	429
26.2 移植	430
26.3 实验	436
26.3.1 FATFS 写文本	436
26.3.2 SD 卡更新 FLASH 字库	444
第 27 章 位 图	449
27.1 简介	449
27.2 结 构	451
27.3 实验——位图显示	453
拓展篇	
第 28 章 引导程序	461
28.1 简介	461
28.2 制作 BootLoader	462
28.3 设置分散装载文件	462
28.4 下载验证	464
附录 A 开发板原理图与实物照	467
A.1 原理图	467
A.1.1 主板原理图	467
A.1.2 模块原理图	472
A.2 主板布局图	475
附录 B 单片机多功能调试助手	476
附录 C 代码预览	477
参考文献	479

硬件资源篇

本篇主要向大家简要介绍实验平台:SmartM-M051 旗舰开发板,如图 0.1.1 所示。通过这章的学习,将对使用的实验平台有个大概了解,为后面的学习做铺垫。

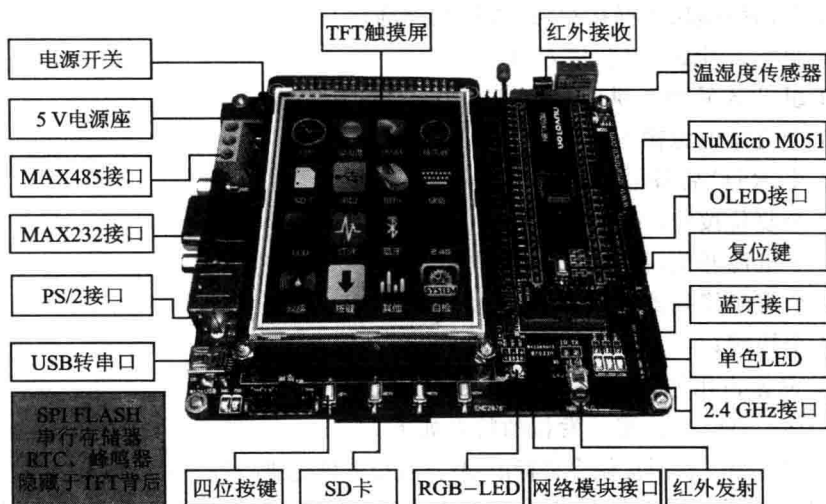


图 0.1.1 SmartM-M051 旗舰开发板硬件布局

SmartM-M051 旗舰开发板板载资源如下:

- CPU: NuMicro M0516, LQFP48;
- FLASH: 64 KB;
- SRAM: 4 KB;
- 外扩 SPI FLASH: W25Q16, 2 MB(用于存储大量数据);
- 1 个红外接收头,并配备一款小巧的红外遥控器;
- 1 个红外发射头(用于红外发射和模拟红外遥控器);
- 1 个 RGB LED 灯接口;
- 1 个 EEPROM 芯片, AT24C02, 容量 256 字节;
- 1 个 2.4 GHz 无线模块接口(NRF24L01)(2.4G 数据通信);
- 1 个蓝牙模块接口(HC05)(可以与手机通信,也可以两块开发板通过蓝牙模块互相通信);

- 1 路 485 接口,采用 MAX485 芯片;
- 1 路 RS232(串口)接口,采用 MAX232 芯片;
- 1 个 PS/2 接口,可外接鼠标、键盘;
- 1 路数字温湿度传感器接口,支持 DS18B20 /DHT11 等;
- 1 个 DS1302 实时时钟接口;
- 1 个标准的 2.4/2.8/3.2 in(英寸) LCD 接口,支持触摸屏;
- 1 个 OLED 模块接口;
- 1 个 USB 串口,可用于程序下载和代码调试(printf);
- 1 个 RS232/RS485 选择接口;
- 1 个 SD 卡接口(大容量数据存储,移植 FATFS 文件系统,读/写文本和显示位图);
- 1 个网络模块选择接口(以太网数据通信);
- 1 组 5 V 电源供应/接入口;
- 1 组 3.3 V 电源供应/接入口;
- 1 个直流电源输入接口;
- 1 个 RTC 后备电池座,并带电池;
- 1 个复位按钮,可用于复位 MCU ;
- 1 个电源开关,控制整个板的电源;
- 1 个有源蜂鸣器;
- 4 个按键;
- 除晶振占用的 I/O 口外,其余所有 I/O 口全部引出。

SmartM - M051 旗舰开发板的特点如下:

- ① 接口丰富。板子提供多种标准接口,可以方便地进行各种外设的实验和开发。
- ② 设计灵活。板上很多资源都可以灵活配置,以满足不同条件下的使用。引出了除晶振占用的 I/O 口外的所有 I/O 口,可以极大地方便大家的扩展及使用。
- ③ 资源充足。外扩 2 MB 的 FLASH,大数据存储,满足各种应用需求。
- ④ 人性化设计。各个接口都用丝印标注,使用起来一目了然;接口位置设计安排合理,方便顺手。资源搭配合理,物尽其用。

初步认知篇

- 第 1 章 ARM Cortex - M0
- 第 2 章 NuMicro M051 系列微控制器