



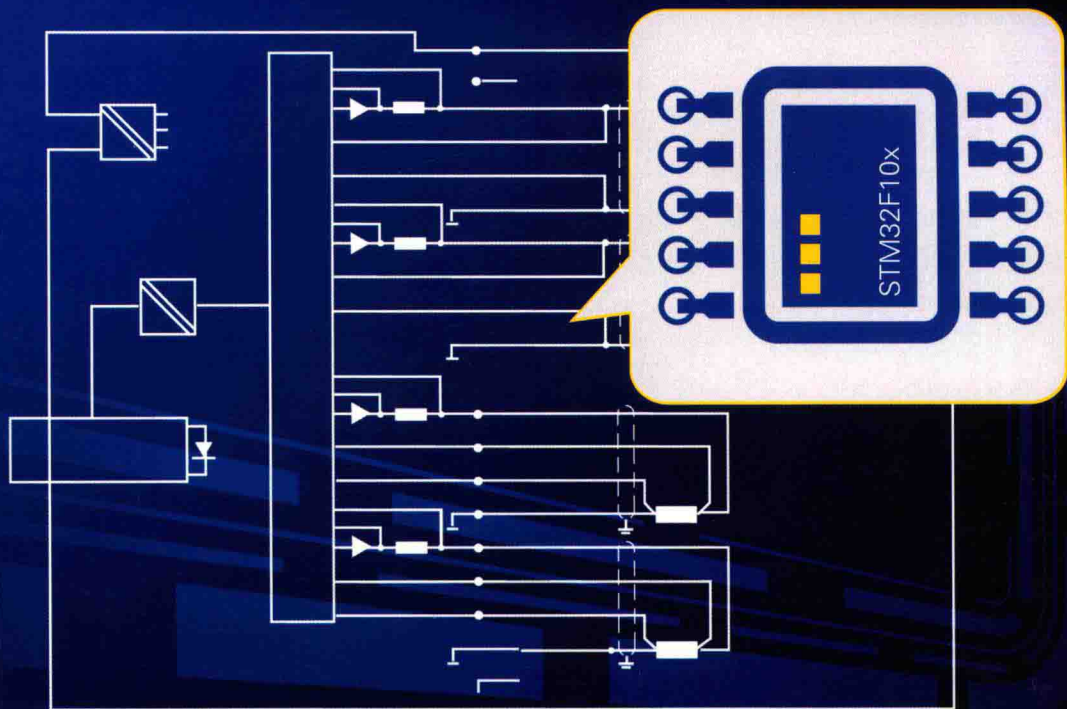
普通高校“十三五”规划教材

嵌入式 系统开发与实践

主 编 郑 亮 王 戩 袁健男 张林帅

副主编 张 杰 付 宁 马 旭 张 旭

——基于STM32F10x系列 (第2版)



北京航空航天大学出版社
BEIHANG UNIVERSITY PRESS



普通高校“十三五”规划教材

嵌入式系统开发与实践

——基于 STM32F10x 系列(第 2 版)

主 编 郑 亮 王 骥 袁健男 张林帅
副主编 张 杰 付 宁 马 旭 张 旭

北京航空航天大学出版社

内 容 简 介

本书从实战角度出发,从基础开始,以设计案例为主线,基于旺宝-红龙 103 型开发板,结合代码分析,详细介绍了基于 Cortex-M3 内核的 STM32 处理器的全部设计过程,包括 STM32 处理器的基本性能参数、硬件电路设计及针对性很强的整体项目方案的剖析。读者只需要跟着作者的思路,就能完全掌握 STM32 的开发和设计,可以独立完成项目。本书是再版书,相比第 1 版,本书对旧版的不足进行了修正。

本书可以作为工程技术人员进行 STM32 应用设计与开发的参考书,也可以作为高等院校电子信息、通信工程、自动化、电气控制类专业学生参加全国大学生电子设计竞赛、电子制作、课程设计、毕业设计的教学参考书。

图书在版编目(CIP)数据

嵌入式系统开发与实践:基于 STM32F10x 系列/郑亮等主编. --2 版. --北京:北京航空航天大学出版社, 2019.1

ISBN 978-7-5124-2928-4

I. ①嵌… II. ①郑… III. ①微型计算机—系统开发
IV. ①TP360.21

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2019)第 016835 号

版权所有,侵权必究。

嵌入式系统开发与实践——基于 STM32F10x 系列(第 2 版)

主 编 郑 亮 王 戡 袁健男 张林帅

副主编 张 杰 付 宁 马 旭 张 旭

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)82317806

读者信箱:emsbook@buaacm.com.cn

邮购电话:(010)82316936

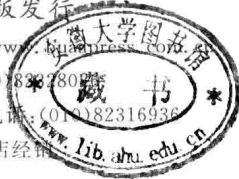
涿州市新华印刷有限公司印装各地书店经销

*

开本:710×1 000 1/16 印张:28 字数:597 千字

2019 年 1 月第 2 版 2019 年 1 月第 1 次印刷 印数:3 000 册

ISBN 978-7-5124-2928-4 定价:79.00 元



第1版前言

当今电子技术发展迅猛,人们熟悉的单核低主频的处理器发展到现在的多核高主频处理器,发展之快令人们叹为观止。在这样的条件下,如何学习一款通用性比较强、性价比比较高、功能强悍的处理器成为电子专业的学生及工程师值得思考的问题。STM32 处理器的出现,以其极高的性价比和丰富的外设给电子爱好者们提供一个新的学习方向。

STM32 芯片的版本比较多,但使用方法大同小异,本书以 STM32F10x 处理器为例,详细讲解 STM32 的开发设计流程,书中涉及的操作方法对 STM32 家族的其他处理器都是适用的。

本书从实战角度出发,从基础开始,以设计案例为主线,基于旺宝-红龙 103 型开发板,结合代码分析,详细介绍了基于 Cortex-M3 内核的 STM32 处理器的全部设计过程,包括 STM32 处理器的基本性能参数、硬件电路设计及针对性很强的整体项目方案的剖析。读者只需要跟着作者的思路,就能完全掌握 STM32 的开发和设计,可以独立完成项目。

如果读者自己有 STM32F103 开发板也可以,只需要联系作者索取本书整套开发板的原理图即可方便调试。

全书首先介绍基础知识,然后按照设计 STM32 处理器的实际流程,详细介绍了如何设计硬件电路、如何根据硬件电路编写程序以实现我们想要的功能。本书结合了作者实际做项目的成功案例,详细列出了硬件电路和全部软件的设计方法和步骤,争取让读者一看即懂,达到理论联系实践的目的。

阅读本书不一定要完全按照章节顺序进行,可以根据实际情况灵活调整。如果读者从未接触过嵌入式系统的设计,建议首先扎实学习基础知识(1~4 章),以便对嵌入式处理器有一个初步的了解。然后阅读后面的深入应用(5~30 章),这部分内容不需要全部记住,但硬件电路必须分析得很清楚,软件的设计流程以及一些程序的初始化、调用等必须很清楚地把握和理解。最后结合项目实践(31、32 章),动手设计自己的嵌入式系统项目,这个阶段遇到问题时可以查阅前面的相关内容。

如果读者已经对嵌入式处理器有了一定的基础和把握,想换一种比较新的处理器来应用,建议直接读 5~30 章。如果读者已经对嵌入式处理器 STM32 有一个很清楚的了解,那么本书可以作为您的中文 datasheet,有了这本书,从而方便您的嵌入

目 录

第 1 章 嵌入式系统概述	1
1.1 嵌入式系统简介	1
1.2 嵌入式系统微处理器	4
1.3 ARM 系列嵌入式微处理器	7
1.4 嵌入式操作系统	10
1.5 本章小结	14
第 2 章 STM32F10x 微处理器的组成及编程模式	15
2.1 为什么选择 STM32F10x 微处理器	15
2.2 STM32F10x 开发工具介绍	16
2.3 MDK 在 STM32F10x 处理器上的使用	18
2.3.1 MDK 的安装	18
2.3.2 实例:工程的建立和配置	22
2.3.3 使用 MDK 进行 STM32 的程序开发	24
第 3 章 ARM Cortex-M3 基础知识	30
3.1 ARM Cortex-M3 寄存器组	30
3.2 ARM Cortex-M3 指令集	35
3.3 ARM Cortex-M3 的存储器系统	52
3.4 ARM Cortex-M3 使用异常系统	62
3.5 ARM Cortex-M3 调试系统	70
第 4 章 ARM7 应用程序移植到 Cortex-M3 处理器	80
4.1 应用简介	80
4.2 系统性质	80
4.3 汇编源程序	82
4.4 C 源程序	84
第 5 章 STM32F10x 的开发	86
5.1 选择一款 Cortex-M3 产品	86
5.2 Cortex-M3 版本 0 与版本 1 的区别	86
5.3 开发工具	88
5.4 库函数	89
5.5 STM32 固件库简介	90
5.6 红龙开发板简介	90
5.7 开发板接口简介	92
第 6 章 通用 I/O(GPIO)	94
6.1 概 述	94
6.2 可选的端口功能	94
6.3 相关寄存器	96
6.4 典型硬件电路设计	97
6.5 例程源代码分析	98
第 7 章 EXTI 中断系统理论与实战	110
7.1 STM32 中断系统的简介	110
7.2 嵌套向量中断控制器	114
7.3 外部中断/事件控制器	116



7.4	EXTI 寄存器描述	117
7.5	典型硬件电路设计	120
7.6	例程源代码分析	121
第 8 章	RTC 实时时钟理论与实战	133
8.1	RTC 实时时钟的功能	133
8.2	RTC 相关寄存器介绍	134
8.3	典型硬件电路设计	138
8.4	例程源代码分析	138
第 9 章	通用定时器	148
9.1	概 述	148
9.2	时基单元介绍	150
9.3	相关寄存器介绍	151
9.4	典型硬件电路设计	152
9.5	例程源代码分析	152
第 10 章	定时器外部脉冲计数	162
10.1	TIMx 外部脉冲计数功能简介	162
10.2	典型硬件电路设计	163
10.3	例程源码分析	164
第 11 章	PWM 理论与实战	170
11.1	概 述	170
11.2	PWM 输出的工作原理	170
11.3	PWM 输出信号的频率和占空比	172
11.4	相关寄存器	173
11.5	典型硬件电路设计	174
11.6	例程源代码分析	175
第 12 章	通用同步/异步收发器 (USART)	183
12.1	概 述	183
12.2	USART 操作	186
12.3	USART 特殊功能寄存器	186
12.4	典型硬件电路设计	187
12.5	例程源代码分析	188
第 13 章	RS485 通信	196
13.1	概 述	196
13.2	SP3485 芯片简介	197
13.3	典型硬件电路设计	198
13.4	例程源码分析	199
第 14 章	DMA 实验	204
14.1	概 述	204
14.2	DMA 的工作原理及结构	205
14.3	相关寄存器简介	208
14.4	典型硬件电路设计	209
14.5	例程源码分析	209
第 15 章	窗口看门狗	219
15.1	概 述	219
15.2	窗口看门狗的工作原理	220
15.3	相关寄存器介绍	221
15.4	典型硬件电路设计	223
15.5	例程源码分析	223

第 16 章 ADC 转换	231
16.1 ADC 转换原理	231
16.2 ADC 控制寄存器介绍	238
16.3 典型硬件电路设计	240
16.4 例程源代码分析	240
第 17 章 DAC 实验	251
17.1 概 述	251
17.2 STM32 DAC 的功能	252
17.3 相关寄存器简介	255
17.4 典型硬件电路设计	255
17.5 例程源码分析	256
第 18 章 I²C 总线设备	264
18.1 概 述	264
18.2 I ² C 总线工作原理	266
18.3 相关寄存器	269
18.4 典型硬件电路设计	271
18.5 例程源代码分析	271
第 19 章 CAN 总线	291
19.1 概 述	291
19.2 STM32 CAN 总线的特点	294
19.3 STM32 bxCAN 的功能	295
19.4 相关寄存器简介	298
19.5 典型硬件电路设计	298
19.6 例程源码分析	299
第 20 章 STM32 的系统时钟	317
20.1 STM32 的时钟树	317
20.2 系统时钟	318
20.3 相关寄存器	319
20.4 典型硬件电路设计	320
20.5 例程源码分析	320
第 21 章 FSMC 控制器	324
21.1 概 述	324
21.2 FSMC 功能描述	324
21.3 FSMC 外部设备地址映像	326
21.4 FSMC 扩展 SRAM 时序的分析	328
21.5 典型硬件电路设计	329
21.6 例程源码分析	330
第 22 章 NOR Flash 实验	337
22.1 概 述	337
22.2 FSMC NOR Flash 的配置说明	337
22.3 典型硬件电路设计	338
22.4 例程源码分析	339
第 23 章 NAND Flash 实验	352
23.1 概 述	352
23.2 NAND Flash 的存储结构	353
23.3 典型硬件电路设计	353
23.4 例程源码分析	355
第 24 章 TFT 彩屏 FSMC 驱动	367
24.1 概 述	367



24.2	TFT 彩屏工作原理	367
24.3	TFT 的 FSMC 接口	370
24.4	典型硬件电路设计	372
24.5	例程源码分析	372
第 25 章 SDIO 介绍		374
25.1	概 述	374
25.2	SDIO 功能介绍	374
25.3	典型硬件电路设计	376
25.4	例程源码分析	377
第 26 章 SD 卡的读取		383
26.1	概 述	383
26.2	SD 卡的结构	384
26.3	典型硬件电路设计	385
26.4	例程源码分析	385
第 27 章 SPI 通信及 FAT32 文件读/写		390
27.1	概 述	390
27.2	SPI 工作原理	391
27.3	FAT32 简介	393
27.4	典型硬件电路设计	393
27.5	例程源码分析	394
第 28 章 USB 转串口实验		396
28.1	概 述	396
28.2	PL2303 的简介	396
28.3	典型硬件电路设计	397
28.4	例程源码分析	399
第 29 章 USB 通信		403
29.1	USB 通信原理	403
29.2	STM32 的 USB 电路设计	405
29.3	例程源代码分析	406
第 30 章 PS2 接口		414
30.1	概 述	414
30.2	PS2 协议	414
30.3	典型硬件电路设计	416
30.4	例程源码分析	416
第 31 章 NRF24L01 无线通信		423
31.1	概 述	423
31.2	NRF24L01 模块的结构特性	423
31.3	典型硬件电路设计	424
31.4	例程源码分析	424
第 32 章 红外遥控实验		427
32.1	红外遥控简介	427
32.2	红外遥控的工作原理	427
32.3	典型硬件电路设计	429
32.4	例程源码分析	430
参考文献		437

第 1 章

嵌入式系统概述

1.1 嵌入式系统简介

1. 嵌入式系统的应用举例

嵌入式系统的应用非常广泛,例如:

- 家庭中的数字电视、机顶盒、DVD、超级 VCD、视频游戏设备、屏幕电话、智能手机、上网终端、智能防盗系统等。
 - 办公室中的复印机、打印机、扫描仪、数字化仪、绘图机、键盘等。
 - 手持设备:MP3、GPRS 手持机、数码相机、数码摄像机、个人数字助理(Personal Digital Assistant,PDA)等。
 - 军事、航空和航天领域中的设备,如美国的 F16 战斗机、FA-18 战斗机、B-2 隐形轰炸机、爱国者导弹以及 1997 年火星表面登陆的火星探测器等。
 - 其他领域,如工业控制和仪器仪表、通信、网络、移动计算、机器人、智能玩具等。
- 总之,在我们能够想到的许多领域和设备中,都使用了大量嵌入式系统。

2. 嵌入式系统定义和组成

(1) 嵌入式系统定义

由美国普林斯顿大学电子工程系教授 Wayne Wolf 编著的《嵌入式计算系统设计原理》一书指出:“不严格地说,它是任意包含一个可编程计算机设备,但是这个设备不是作为通用计算机而设计的。因此,一台个人计算机并不能称为嵌入式计算机系统,但是,一台包含了微处理器的传真机或时钟就可以算是一种嵌入式计算机系统”。一般认为该书所说的嵌入式计算机系统,就是我们说的嵌入式系统,有的书中也称之为嵌入式计算机系统。也有人把嵌入式系统称为一种用于控制、监视或协助特定机器和设备正常运行的计算机。

目前被国内专业人士普遍认可的嵌入式系统定义是:以应用为中心、以计算机技术为基础的,软、硬件可裁减,适应应用系统对功能、可靠性、成本、体积、功耗等有严格要求的专用计算机系统。可以看出,嵌入式系统的明显特点有:

- 是一个专用计算机系统,有微处理器,可编程。
- 有明确的应用目的。



► 作为机器或设备的组成部分被使用。

(2) 嵌入式系统组成

嵌入式系统典型组成如图 1-1 所示。图中虽然画出了驱动器、传感器和被控对象,但是这部分通常不属于嵌入式系统的组成部分,只是为了表明被控对象与嵌入式计算机系统之间存在着检测和控制关系。图中嵌入式计算机系统的组成就是通常说的嵌入式系统的组成。针对具体应用所开发的嵌入式系统的组成,并不要求使用图 1-1 中所有的硬件模块或程序,比如简单的嵌入式系统可以不使用操作系统,或者不使用 A/D、D/A 等。

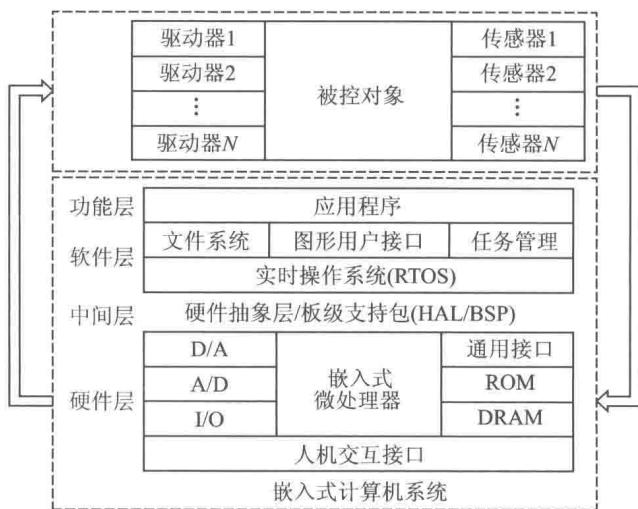


图 1-1 嵌入式系统组成

硬件层除了嵌入式微处理器、ROM 和 DRAM 外,其他的(如人机交互接口、A/D、D/A 等)都随具体应用的不同可以进行增删。另外,图 1-1 中的 ROM 也可以使用 EPROM、EEPROM 或 Flash,DRAM 也可以使用 FP、EDO、SDRAM 等。

中间层处于硬件层与软件层之间,被称为硬件抽象层(Hardware Abstract Layer, HAL)或板级支持包(Board Support Package, BSP),与 PC 的基本输入/输出系统(Basic Input Output System, BIOS)相似。不同的嵌入式微处理器、不同的硬件平台或不同的操作系统, BSP 也不同。

在软件层中,根据具体的应用要求,可以不使用操作系统,如使用 MCS-51 单片机构成的简单系统;对于那些实时性要求并不严格的系统,也可以不使用实时操作系统。软件层中可以有选择性地使用文件系统、图形用户接口或任务管理程序。

功能层由应用层检测的传感器信号计算机计算并通过驱动器实现对被控制对象的控制,根据需要提供友好的人机界面。传感器和驱动器根据具体需求可以有不同的选择。

3. 嵌入式系统特点

嵌入式系统作为一个专用计算机系统,与通用的计算机相比,有以下明显特点,在设计阶段需要给予更多的考虑。

1) 与应用密切相关

嵌入式系统作为机器或设备的组成部分,与具体的应用密切相关。嵌入式系统中计算机的硬件与软件在满足具体应用的前提下,应该使系统最为精简,将成本控制在一个适当的范围内。这就要求软、硬件可裁减。

2) 实时性

许多嵌入式系统不得不在实时方式下工作,如果在规定的时间内某一请求得不到处理或者处理没有结束,可能会带来严重的后果。实时性要求嵌入式系统必须在规定的时间内正确地完成规定的操作,例如在嵌入式系统应用较为广泛的工业控制中(如对化工车间的控制)对系统的实时性要求非常严格。虽然在某些嵌入式系统中对实时性要求并不严格,但超时也会导致不良结果。

3) 复杂的算法

对于不同的应用,嵌入式系统有不同的算法。例如控制汽车发动机的嵌入式系统,必须执行十分复杂的过滤操作,从而达到降低污染和减少油耗的目的。算法的复杂性还体现在程序在解决某一问题时必须考虑运行时间的限制、运行环境以及干扰信号带来的影响等问题。

4) 制造成本

制造成本在某些情况下决定了含有嵌入式系统的设备或产品能否在市场上被成功地销售。微处理器、存储器、I/O 设备和嵌入式系统的价格,对制造成本有比较大的影响,因此,在设计阶段应该充分重视对制造成本的控制。

5) 功耗

许多嵌入式系统采用电池供电,因此对功耗有严格的要求。在选择微处理器、存储器和接口芯片时,要充分考虑功耗问题;另外,还要考虑微处理器和操作系统是否支持多种节电方式。

6) 开发和调试

必须有相应的开发环境、开发工具和调试工具,才能进行开发和调试。通常在 PC 上,运行嵌入式系统开发工具包,输入并编译需要在嵌入式系统中运行的代码,将可执行文件下载到嵌入式系统开发平台(板)上,使其运行并调试。

7) 可靠性

嵌入式系统应该能够可靠地运行,比如能长时间正确运行而不死机,能够在规定的温度、湿度环境下运行,有一定的抗干扰能力等。



1.2 嵌入式系统微处理器

1. 嵌入式微处理器分类

嵌入式系统硬件部分的核心是嵌入式微处理器,广义上可以将其分为 4 类,如图 1-2 所示。

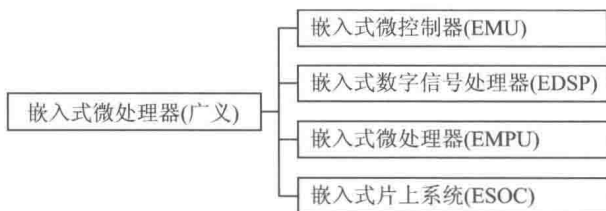


图 1-2 嵌入式处理器分类

(1) 嵌入式微控制器

嵌入式微控制器(Embedded Microcontroller Unit, EMU),通常也被称为微控制器(Micro ControllerUnit, MCU)或单片机。单片机芯片内通常集成了某些处理器内核、少量的 ROM/RAM 存储器、总线控制逻辑、各种必要的功能模块以及某些外设或外设接口电路。

在单片机的发展过程中,许多著名的厂商(如 Intel、Motorola、Zilog、NEC 等)都生产过不同系列的单片机芯片,尤以 Intel 公司在 1976 年推出的 MCS-48、在 1978 年推出的 MCS-51 和在 1982 年推出的 MCS-96 系列产品最具有代表性。MCS-51 和 MCS-96 系列芯片仍在大量地使用。

MCS-51 系列芯片内处理器内核为 8 位;片内有 128~256 字节的 RAM;除 8031 外,8051 和 8751 片内有 4 KB ROM 或 EPROM;片内有总线控制逻辑、多级中断处理模块、并行和串行接口、多个 16 位定时/计数器等。MCS-96 系列的芯片内处理内核为 16 位,与 MCS-51 相比,存储器容量有所增加,并增加了片内 A/D 转换器等。

单片机在过去的 30 年间得到了广泛的应用,在仪器仪表、自动控制和消费电子等多个领域,占据了低端市场很大的份额。有代表性的产品包括:8051、P51XA、MCS-251、MCS-96/196/296、MC68HC05/11/12/16 等。

(2) 嵌入式数字信号处理器

嵌入式数字信号处理器(Embedded Digital Signal Processor, EDSP)有时也简称为 DSP,是专门用于嵌入式系统的数字信号处理器。嵌入式 DSP 针对普通 DSP 的系统结构和指令系统进行了特殊设计,使其更适合 DSP 算法、编译效率更高、执行速度更快。嵌入式 DSP 有两个发展来源,一是 DSP 处理器经过单片化、EMC(电磁兼

容)改造、增加片内外设而成;二是在通用单片机或 SoC(片上系统)中增加 DSP 协处理器。嵌入式 DSP 在数字滤波、FFT、频谱分析等仪器上使用较为广泛。

在嵌入式 DSP 发展过程中,德州仪器(TI)公司推出过许多具有代表性的产品。1992 年 TI 公司推出了第一代处理器 TMS32010,在语音合成和编码器中得到了广泛的应用。之后,TI 公司又陆续推出了 TMS320C10/C20/C30/C40/C50/C80/C2000/C5000/C6000。嵌入式 DSP 中比较有代表性的产品是 TI 公司的 TMS320 系列和 Freescale 公司的 DSP56000 系列。

(3) 嵌入式微处理器

嵌入式微处理器(Embedded Micro Processor Unit,EMPU),也被称为嵌入式微处理器单元,可以分为以下两类:

1) 通用微处理器

通用微处理器并不是为嵌入式应用而设计的,如 x86 系列中 8086、8088、80186、80286、80386、80486 以及奔腾微处理器,是为通用目的而设计的。可以将这种通用的微处理器、存储器、接口电路和外设、嵌入式操作系统以及应用程序,作为一个专用计算机系统,成为机器或设备的组成部分,完成某种应用目的,实现嵌入式系统的功能。

2) 嵌入式微处理器

这类微处理器是专门为嵌入式应用而设计的,设计阶段已充分考虑了处理器应该对实时多任务有较强的支持能力;处理器结构可扩展,可以满足不同应用需求的嵌入式产品;处理器内部集成了测试逻辑,便于测试;处理器具有低功耗特性等。通常,狭义上讲的嵌入式微处理器就是专门指这种类型的微处理器。典型的嵌入式微处理器产品有 ARM、MIPS、Power PC、68xxx、SC-400、386EX、GoldFire 等系列产品。

本书讲述的 STM32F10X 嵌入式微处理器,属于 ARM 系列。

(4) 嵌入式片上系统

嵌入式片上系统(Embedded System On Chip,ESOC),简称为 SoC。近年来随着电子设计自动化(EDA)技术的推广和 VLSI 设计的普及,在一个硅片上实现一个复杂的系统已经变成可能,这就是 System On Chip。将各种通用处理器内核作为 SoC 设计公司的标准库,用户只需要定义出整个应用系统,仿真通过后就可以将设计图交给半导体厂家生产样品。这样除个别无法集成的器件外,整个嵌入式系统基本上可以集成到一块或几块芯片中。比较典型的 SoC 产品有 NXP 公司的 Smart x。另外还有一些通用系列,如 Siemens 公司的 TriCore、原 Freescale 公司的 M-Core 和某些 ARM 系列的产品。

2. 主流嵌入式微处理器介绍

嵌入式微处理器由处理器核和不同功能模块组成。微处理器可以设计成具有多种不同功能、满足不同用户对速度、功耗不同需求的多种处理器核,有芯片生产



商将这些核和各种不同功能模块(例如 DMAC、中断控制器、LCD 控制器、存储器控制器、A/D 转换器、USB 接口等)集成到同一个微处理器芯片中。有些公司仅仅从事嵌入式微处理器的设计开发,如 ARM 公司;有些公司既从事设计开发,又制造芯片。

(1) ARM

目前,基于 ARM 系列处理器核的处理器占据了 32 位 RISC 处理器 75% 以上的市场份额,是使用最为广泛的微处理器。ARM 是英文 Acorn RISC Machine 的缩写,其中,Acorn 是英国剑桥的一个计算机公司,1985 年开发了第一代 ARM RISC 处理器,在低功耗、低成本和高性能的嵌入式系统应用领域占据领先地位。

ARM 公司是全球领先的 32 位 RISC 微处理器知识产权(Intellectual Property, IP)设计供应商,其通过转让高性能、低成本、低功耗的 RISC 处理器、外围和系统芯片技术给合作伙伴,使他们能够用这些技术生产各具特色的芯片。ARM 公司并不生产芯片,而是通过转让设计许可证,由合作伙伴生产各种型号的微处理器芯片,目前 ARM 的合作伙伴在全世界已超过 100 个,许多著名的半导体公司与 ARM 公司都有着合作关系。

ARM 公司系列产品主要有 ARM7、ARM9E、ARM10E、SecurCore、ARM11 和 Cortex 等。

ARM Cortex 系列是 ARM 公司推出的新一代微处理器的内核,分为 3 个系列,分别是 Cortex-A、Cortex-R、Cortex-M。其中 A 系列用于高端应用处理,比如现在苹果的两大主流产品都是 A 系列的内核,支持指令集为 ARM、Thumb;Thumb2R 系列用于实时系统中,属于中级应用,对于实时场合能够快速响应,满足最苛刻的实时要求。M 系列属于低端应用,但应用较广,是一个 32 位的 MCU,主要用于对成本敏感的产品上。M 系列是同类产品中门数最少、功耗最低、性能最好的,一般国内提到 M 系列的产品都是首推 ST 公司的。本书介绍的嵌入式微处理器就是以 ST 的 Cortex-M 系列为例讲解的。

基于 ARM 核的微处理器芯片在 PDA、智能手机、DVD、手持 GPS、机顶盒、游戏机、数码相机、打印机、终端机等许多产品中得到广泛的应用。ARM 既表示一个公司的名称,也表示这个公司设计的处理器体系结构。

(2) MIPS

MIPS 是 Microprocessor without Interlocked Pipeline Stage 的缩写,意思为内部无互锁流水线微处理器,也是一种处理器的内核标准。MIPS 体系结构具有良好的可扩展性,并且能够满足超低功耗微处理器的需求。

MIPS 处理器源于 20 世纪 80 年代初,由美国斯坦福大学电机系 Hennessy 教授领导的研究小组研制。MIPS 计算机公司 1984 年成立于硅谷。1992 年,SGI 收购了 MIPS 计算机公司。1988 年 MIPS 脱离了 SGI,成为了 MIPS 技术公司。MIPS 技术公司是一家设计和制造高性能、高档次嵌入式 32/64 位处理器的公司,在 RISC 处理

器方面占有重要地位。

(3) Power PC

Power PC 微处理器早期由 IBM、Motorola 和 Apple 公司共同投资开发,生产了 Power PC601(1994 年)、PC602(1995 年)、PC604(1995 年)和 PC620(1997 年)。此后,Power PC 微处理器由 IBM 公司和 Motorola 公司分别生产。迄今为止,Motorola 公司共生产了 6 代产品,分别是 G1、G2、G3、G4、G5 和 G6;Motorola 公司生产的 Power PC 微处理器芯片产品编号前有“MPC”前缀,如 G5 中的 MPC860DE~MPC860P 等。

2004 年,Motorola 公司拆分半导体部门,组建了新公司 Freescale(飞思卡尔),由新公司继续提供 MPC 微处理器的技术支持和新产品研发。2015 年,NXP(恩智浦)收购飞思卡尔。

目前,IBM 公司的 Power PC 微处理器芯片产品有 4 个系列,分别是 4XX 综合处理器、4XX 处理器核、7XX 高性能 32 位微处理器和 9XX 超高性能 64 位处理器。

(4) 其他嵌入式微处理器

Intel 公司基于 x86 处理器核的嵌入式微处理器 Geode SPISC10、Motorola 公司的 68xxx、Compaq 公司的 Alpha、HP 公司的 PARISC、Sun 公司的 Spare 等嵌入式微处理器也有着广泛的应用。

1.3 ARM 系列嵌入式微处理器

1. ARM 系列处理器核体系结构的命名规则

基于 ARM 的微处理器芯片一般是由不同的处理器核、多个功能模块和可扩展模块组成的。功能模块分别由字母 T、D、M、I、E、J、F、S 等表示。可扩展模块一般由 DMAC、中断控制器、实时时钟、脉宽调制定时器、LCD 控制器、存储器控制器、UART、看门狗定时器、GPIO、功耗管理功能模块组成。

ARM 系列处理器核体系结构的命名规则:首先是由“ARM”开头,后面跟着若干字母后缀。命名规则通常表示如下:

ARM{x}{y}{z}{T}{D}{M}{I}{E}{J}{F}{S}

上述命名规则中,大括号中表示的内容是可选择的,命名规则中 ARM 以后各后缀的含义如表 1-1 所列。

表 1-1 ARM 处理器命名

后 缀	含 义
x	系列号,如 ARM7、ARM9、ARM10
y	含有内存管理或保护单元,如 ARM72、ARM92
z	含有 cache,如 ARM720、ARM920



续表 1-1

后 缀	含 义
T	含有 Thumb 指令解码器,支持 Thumb 指令集,如 ARM7T
D	含有 JTAG 调试器,支持 Debug,支持片上调试
M	含有硬件快速乘法器,如 ARM7M
I	含有内嵌的在线调试宏单元(embedded ICE macrocell)硬件部件,提供片上断点和调试点支持,如 ARM7TDMI
E	表示支持增强型 DSP 指令
J	含有 JAVA 加速器 Jazelle
F	含有向量浮点单元
S	可以综合版本,以源代码形式提供的,可被 EDA 工具使用

命名规则还有一些附加的信息:

① ARM7TDMI 之后设计、开发的内核,即使不标出 TDMI,也默认包含了支持 TDMI 的功能模块。

② JTAG 是由 IEEE1149.1 标准(即测试访问端口和边界扫描结构)来描述的,是 ARM 与测试设备之间接收和发送处理器内核调试信息的一系列协议。

内嵌的在线调试宏单元建立在处理器内部,用来设置断点和观察点的硬件调试点。

2. ARM 系列处理器核的性能

目前使用的 ARM 系列处理器核的品种共有 20 多种,共同点是:字长 32 位、RISC 结构、附加的 16 位 Thumb 指令集。表 1-2 中列出了 ARM 系列中典型的核以及它们的主要性能。

表 1-2 ARM 处理器的主要性能

系 列	型 号	Cache 大小	存储管理	Thumb	DSP	Jazelle	流水线
ARM7	ARM7TDMI	无	无	有	无	无	3 级
	ARM7TDMI-S	无	无	有	无	无	
	ARM720T	8 KB	MMU	有	无	无	
	ARM7EJ-S	无	无	有	有	有	
ARM9	ARM920T	16 KB/16 KB	MMU	有	无	无	5 级
	ARM922T	8 KB/8 KB	MMU	有	无	无	
	ARM940T	4 KB/4 KB	MMU	有	无	无	

续表 1-2

系 列	型 号	Cache 大小	存储管理	Thumb	DSP	Jazelle	流水线
ARM9E	ARM966E-S	无	无	有	有	无	5 级
	ARM946E-S	4 KB~1 KB/4 KB~1 KB	MPU	有	有	无	
	ARM926E-S	4 KB~1 KB/4 KB~1 KB	MMU	有	有	有	
ARM10E	ARM1022E	16 KB/16 KB	MMU	有	有	无	6 级
	ARM1020E	32 KB/32 KB	MMU	有	有	无	
	ARM1026EJ-S	可变	MMU	有	有	有	
ARMSe curCore	SC100	无	MPU	有	无	无	
	SC110	无	MPU	有	无	无	
	SC200	可选	MPU	有	有	无	
	SC210	可选	MPU	有	有	有	
ARM11	ARM1136J(F)-S	可变	MMU	有	有	有	8 级
	ARM1156T2(F)-S	可变	MPU	有	有	无	
	ARM1176JZ(F)-S	可变	MMU+ Trust Zone	有	有	有	
	MPCore	可变	MMU+Cache coherency	有	有	有	
Cortex 系列	A 系列	MPU	有	有	有	13 级	
	R 系列	MMU	有	有	有	8 级	
	M 系列	MMU	有	无	有	3 级	

表 1-2 中第 1 列的 ARM SecurCore 系列是一个专门的系列,命名规则有所不同。这个系列是专为安全需要而设计的,提供了完善的 32 位 RISC 机栓全解决方案的支持。该系列采用软内核技术提供最大限度的灵活性,可以防止外部对其扫描检测;提供了可以防止供给的安全特性;带有灵活的保护单元,以确保操作系统和应用数据的安全。

表 1-2 中 DSP 与命名规则中后缀字母 E 对应,表示存储器保护单元。

表 1-2 中 ARM11 系列 ARM1176JZ(F)-S 处理器使用了 Trust Zone 技术,为 ARM 处理器提供了一个安全的虚拟处理器,为运行公开的操作系统(如 Linux、Palm OS、Symbian OS 和 Windows CE 等的系统)提供了保障安全的基础。对于电子支持和数字版权管理之类的应用服务,提供了可靠的安全措施。

表 1-2 中 Jazelle 表示含有 Java 计数器,提供了直接执行 Java 之类命令功能。在相同的功耗下,使用 Java 虚拟机的性能高出 8 倍,并能将现行 Java 代码应用的功耗降低到 80%以上。表 1-2 中 Thumb 表示含有 Thumb 指令解码器。ARM 体系结构除了执行效率很高的 32 位 ARM 指令集外,含有 Thumb 指令解码器的处理器还支持 16 位的 Thumb 指令集。Thumb 指令集是 ARM 指令集的一个功能上的子集,具有 32 位指令代码的优势,同时可节省 30%~40%的代码存储空间。