



电子设计与嵌入式开发  
实践丛书



“十二五”普通高等教育  
本科国家级规划教材



# 嵌入式技术 基础与实践 (第5版)

—— 基于ARM Cortex-M4F内核的MSP432系列微控制器

◎ 王宜怀 许燦昊 曹国平 著

400分钟  
视频讲解

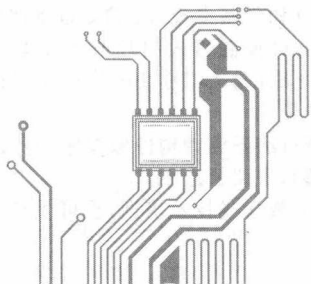


清华大学出版社

十与嵌入式开发  
书



“十二五”普通高等教育  
本科国家级规划教材



# 嵌入式技术基础与实践（第5版）

—— 基于ARM Cortex-M4F内核的MSP432系列微控制器

◎ 王宜怀 许燦昊 曹国平 著

清华大学出版社

北京

## 内 容 简 介

本书以德州仪器(TI)的 ARM Cortex-M4F 内核的 MSP432 系列微控制器为蓝本,以知识要素为核心,以构件化为基础阐述嵌入式技术基础与实践。全书共 14 章,第 1 章为概述,简要阐述嵌入式系统的知识体系、学习误区与学习建议;第 2 章给出 ARM Cortex-M4F 处理器;第 3 章介绍 MSP432 存储映像、中断源与硬件最小系统;第 4 章以 GPIO 为例阐述底层驱动概念、设计与应用方法,介绍规范的工程组织框架;第 5 章阐述嵌入式硬件构件与底层驱动构件基本规范;第 6 章阐述串行通信接口 UART,并给出第一个带中断的实例。第 1~6 章囊括学习一个微控制器入门环节的完整要素。第 7~13 章分别介绍 SysTick、Timer、RTC、GPIO 的应用实例(键盘、LED 与 LCD)、Flash 在线编程、ADC、CMP、SPI、I2C、CTI、DMA 及其他模块。第 14 章阐述进一步学习指导。

本书提供了网上教学资源,内含所有底层驱动构件源程序、测试实例、文档资料、教学课件及常用软件工具。配合本书内容还制作了微课视频,供读者选用。

本书适用于高等学校嵌入式系统的教学或技术培训,也可供 ARM Cortex-M4F 应用工程师进行技术研发时参考。

本书封面贴有清华大学出版社防伪标签,无标签者不得销售。

版权所有,侵权必究。侵权举报电话:010-62782989 13701121933

### 图书在版编目(CIP)数据

嵌入式技术基础与实践:基于 ARM Cortex-M4F 内核的 MSP432 系列微控制器/王宜怀,许燊昊,曹国平著.—5 版.—北京:清华大学出版社,2019

(电子设计与嵌入式开发实践丛书)

ISBN 978-7-302-51858-7

I. ①嵌… II. ①王… ②许… ③曹… III. ①微处理器—系统设计 IV. ①TP332

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2018)第 285138 号

策划编辑:魏江江

责任编辑:王冰飞

封面设计:刘 键

责任校对:时翠兰

责任印制:丛怀宇

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](mailto:c-service@tup.tsinghua.edu.cn)

质量反馈:010-62772015, [zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn](mailto:zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn)

课件下载: <http://www.tup.com.cn>, 010-62795954

印 装 者:三河市龙大印装有限公司

经 销:全国新华书店

开 本:185mm×260mm 印 张:24.75

字 数:604 千字

版 次:2007 年 11 月第 1 版 2019 年 4 月第 5 版

印 次:2019 年 4 月第 1 次印刷

印 数:30001~31500

定 价:69.80 元

产品编号:080658-01

# 前言

嵌入式计算机系统简称嵌入式系统,其概念最初源于传统测控系统对计算机的需求。随着以微处理器(MPU)为内核的微控制器(MCU)制造技术的不断进步,计算机领域在通用计算机系统与嵌入式计算机系统两大分支分别得以发展。通用计算机已经在科学计算、通信、日常生活等各个领域产生重要影响。在后 PC 时代,嵌入式系统的广阔应用是计算机发展的重要特征。一般来说,嵌入式系统的应用范围可以粗略分为两大类:一类是电子系统的智能化(如工业控制、汽车电子、数据采集、测控系统、家用电器、现代农业、传感网应用等),这类应用也被称为微控制器 MCU 领域;另一类是计算机应用的延伸(如平板电脑、手机、电子图书等),这类应用也被称为应用处理器 MAP 领域。在 ARM 产品系列中,ARM Cortex-M 系列与 ARM Cortex-R 系列适用于电子系统的智能化类应用,即微控制器领域;ARM Cortex-A 系列适用于计算机应用的延伸,即应用处理器领域。不论如何分类,嵌入式系统的技术基础是不变的,即要完成一个嵌入式系统产品的设计,需要有硬件、软件及行业领域的相关知识。但是,随着嵌入式系统中软件规模日益增大,对嵌入式底层驱动软件的封装提出了更高的要求,可复用性与可移植性受到特别的关注,嵌入式软硬件构件化开发方法逐步被业界所重视。

本书前期版本曾获苏州大学精品教材、江苏省高等学校重点教材、普通高等教育“十一五”“十二五”国家级规划教材等。本版是在 2017 年出版的第 4 版基础上重新撰写,样本芯片改为德州仪器的 MSP432 系列微控制器(ARM Cortex-M4F 内核)。书中以嵌入式硬件构件及底层软件构件设计为主线,基于嵌入式软件工程的思想,按照“通用知识—驱动构件使用方法—测试实例—芯片编程结构—构件的设计方法”的思路,逐步阐述电子系统智能化嵌入式应用的软件与硬件设计。需要特别说明的是,虽然书籍撰写与教学必须以某一特定芯片为蓝本,但作为嵌入式技术基础,我们试图阐述嵌入式通用知识要素。因此,本书以知识要素为基本立足点设计芯片底层驱动,使得应用程序与芯片无关,具有通用嵌入式计算机性质。书中将大部分驱动的使用方法提前阐述,而将驱动构件的设计方法后置,目的是先学会实际编程,后理解构件的设计方法。因构件设计方法部分有一定难度,对于不同要求的教学场景,也可不要求学生理解全部构件的设计方法,讲解一两个即可。

本书具有以下特点。

(1) 把握通用知识与芯片相关知识之间的平衡。书中对于嵌入式“通用知识”的基本原

# Foreword

理,以应用为立足点,进行语言简洁、逻辑清晰的阐述,同时注意与芯片相关知识之间的衔接,使读者在更好地理解基本原理的基础上,理解芯片应用的设计,同时反过来,加深对通用知识的理解。

(2) 把握硬件与软件的关系。嵌入式系统是软件与硬件的综合体,嵌入式系统设计是一个软件、硬件协同设计的工程,不能像通用计算机那样,软件、硬件完全分开来看。特别是对电子系统智能化嵌入式应用来说,没有对硬件的理解就不可能编写好嵌入式软件,同样没有对软件的理解也不可能设计好嵌入式硬件。因此,本书注重把握硬件与软件知识之间的关系。

(3) 对底层驱动进行构件化封装。书中对每个模块均给出根据嵌入式软件工程基本原则并按照构件化封装要求编制的底层驱动程序,同时给出详细、规范的注释及对外接口,为实际应用提供底层构件,方便移植与复用,可以为读者进行实际项目开发节省大量时间。

(4) 设计合理的测试用例。书中所有源程序均经测试通过,并将测试用例保留在本书的网上教学资源中,避免了因例程的书写或固有错误给读者带来的烦恼。这些测试用例也为读者验证与理解带来方便。

(5) 网上教学资源提供了所有模块完整的底层驱动构件化封装程序与测试用例。需要使用 PC 程序的测试用例,还提供了 PC 的 C# 源程序。网上教学资源中还提供了阅读资料、开发环境的简明使用方法、写入器驱动与使用方法、部分工具软件、有关硬件原理图等。网上教学资源的版本将会适时更新。

(6) 提供硬件核心板、写入调试器,方便读者进行实践与应用。同时提供了核心板与苏州大学嵌入式系统及物联网实验室设计的扩展板对接,以满足教学实验需要。

本书所对应课程已经成为国家精品在线课程,在中国大学 MOOC 官网上线。

本书由王宜怀负责编制提纲和统稿工作,并撰写第 1~6 章、第 14 章;许燊昊撰写第 7~10 章;曹国平撰写第 11~13 章。研究生张艺琳、张蓉、周欣、程宏玉、黄志贤协助了书稿的整理及程序调试工作,他们卓有成效的工作,使本书更加实用。TI 公司潘亚涛先生、王沁女士十分重视苏州大学嵌入式系统与物联网实验室的建设,为本书的撰写提供了硬件及软件资料,并提出了许多宝贵意见。

鉴于作者水平有限,书中难免存在不足之处,恳望读者提出宝贵意见和建议,以便再版时改进。

苏州大学 王宜怀

2019 年 1 月

## 网上教学资源文件夹结构

- SD-TI-CD(V1.0)
  - 01-Document
  - 02-Software
    - MSP432-program
      - ch04-Light
      - ch06-UART
      - ch07-Timer
        - MSP432\_incap-outcomp-pwm
        - MSP432\_RTC\_C
        - MSP432\_SysTick
        - MSP432\_Timer32
      - ch08-KB-LED-LCD
      - ch09-Flash
      - ch10-ADC-CMP
        - MSP432\_ADC
        - MSP432\_CMP
      - ch11-SPI-I2C-CTI
        - MSP432\_CTI
        - MSP432\_I2C(MasterAndSlave)
        - MSP432\_SPI
      - ch12-DMA
    - MSP432共用驱动
  - 03-Tool
  - 04-Other

该网上教学资源会不定期更新,下载路径: <http://sumcu.suda.edu.cn>→“教学与培训”→“教学资料”→“嵌入式基础书5版”→“SD-TI-CD”。

## 术语和缩写

ADC	Analog-to-Digital Converter	模数转换
AES	Advanced Encryption Standard	高级加密标准
AHB	Advanced High Performance Bus	高性能系统总线
ALU	Arithmetic Logic Unit	算术逻辑单元
AMBA	Advanced Microcontroller Bus Architecture	高级微控制器总线架构
AP	Application Processor	应用处理器
APB	Advanced Peripheral Bus	高级外设总线
ARM	Advanced RISC Machine	高级精简指令集机器
ASB	Advanced System Bus	高级系统总线
BDM	Background Debug Mode	背景调试模式
CAN	Control Area Network	控制器局域网
CISC	Complex Instruction Set Computer	复杂指令集
CPC	Character Parity Checking	字符奇偶检查
CPS	Cyber-Physical System	信息物理系统
CPU	Central Processing Unit	中央处理器
CRC	Cyclical Redundancy Checking	循环冗余校验
DAB	Digital Audio Broadcasting	数字音频广播
DAC	Digital-to-Analog Converter	数模转换
DMA	Direct Memory Access	直接存储器存取
DRAM	Dynamic Random Access Memory	动态随机访问存储器
DSP	Digital Signal Processor	数字信号处理器
EEPROM	Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory	电可擦除可编程只读存储器
EOS	Embedded Operating System	嵌入式操作系统
FPU	Floating Point Processor	浮点处理器
GPIO	General Purpose Input/Output	通用输入输出
GPS	Global Positioning System	全球卫星定位系统
I2C	Inter-Integrated Circuit	集成电路互联总线
IoT	Internet of Things	物联网
IP	Intellectual Property	知识产权
LCD	Liquid Crystal Display	液晶显示
LED	Light Emitting Diode	发光二极管
MAC	Multiply Accumulate	乘积累加运算
MAP	Multimedia Application Processor	多媒体应用处理器



MCU	Microcontroller Unit	微控制器
MPU	Microprocessor Unit	微处理器
NOS	No Operating System	无操作系统
NVIC	Nested Vectored Interrupt Controller	嵌套向量中断控制器
PC	Personal Computer	个人计算机
PC	Program Counter	程序计数器
PPB	Private Peripheral Bus	私有外设总线
PWM	Pulse Width Modulation	脉宽调制
RAM	Random Access Memory	随机访问存储器
RISC	Reduced Instruction Set Complexity	精简指令集
ROM	Read-Only Memory	只读存储器
RTC	Real-Time Clock	实时时钟
RTOS	Real-Time Operating System	实时操作系统
SCI	Serial Communication Interface	串行通信接口
SCM	Single Chip Microcomputer	单片机
SIM	Subscriber Identification Module	用户识别卡
SIMD	Single Instruction Multiple Data	单指令多数据
SoC	System-on-Chip	片上系统
SPI	Serial Peripheral Interface	串行外设接口
SRAM	Static Random Access Memory	静态随机访问存储器
SWD	Serial Wire Debug	串行线调试
TTL	Transistor-Transistor Logic	晶体管-晶体管逻辑
UART	Universal Asynchronous Receiver/Transmitter	通用异步收发器
USB	Universal Serial Bus	通用串行总线
VRC	Vertical Redundancy Checking	垂直冗余检查



# 目 录

第 1 章 概述 .....	1
1.1 嵌入式系统定义、发展简史、分类及特点 .....	1
1.1.1 嵌入式系统的定义 .....	1
1.1.2 嵌入式系统的由来及发展简史 .....	2
1.1.3 嵌入式系统的分类 .....	5
1.1.4 嵌入式系统的特点 .....	6
1.2 嵌入式系统的学习困惑、知识体系及学习建议 .....	7
1.2.1 嵌入式系统的学习困惑 .....	7
1.2.2 嵌入式系统的知识体系 .....	10
1.2.3 基础阶段的学习建议 .....	11
1.3 微控制器与应用处理器简介 .....	12
1.3.1 微控制器简介 .....	13
1.3.2 以 MCU 为核心的嵌入式测控产品的基本组成 .....	14
1.3.3 应用处理器简介 .....	15
1.4 嵌入式系统常用术语 .....	16
1.4.1 与硬件相关的术语 .....	16
1.4.2 与通信相关的术语 .....	17
1.4.3 与功能模块相关的术语 .....	18
1.5 嵌入式系统常用的 C 语言基本语法概要 .....	19
1.5.1 C 语言的运算符与数据类型 .....	19
1.5.2 程序流程控制 .....	21
1.5.3 函数 .....	23
1.5.4 数据存储方式 .....	23
1.5.5 编译预处理 .....	29
小结 .....	30
习题 .....	31

<b>第2章 ARM Cortex-M4F 处理器</b> .....	32
2.1 ARM Cortex-M4F 处理器简介 .....	32
2.1.1 ARM Cortex-M4F 处理器内部结构概要 .....	33
2.1.2 ARM Cortex-M4F 处理器存储器映像 .....	35
2.1.3 ARM Cortex-M4F 处理器的寄存器 .....	36
2.2 指令系统 .....	40
2.2.1 指令简表与寻址方式 .....	41
2.2.2 数据传送类指令 .....	42
2.2.3 数据操作类指令 .....	44
2.2.4 跳转控制类指令 .....	48
2.2.5 其他指令 .....	49
2.3 指令集与机器码对应表 .....	50
2.4 汇编语言的基本语法 .....	52
2.4.1 汇编语言格式 .....	53
2.4.2 常用伪指令简介 .....	55
小结 .....	57
习题 .....	57
<b>第3章 存储映像、中断源与硬件最小系统</b> .....	58
3.1 MSP432 系列 MCU 概述 .....	58
3.1.1 MSP432 系列 MCU 简介 .....	58
3.1.2 MSP432 系列 MCU 内部结构框图 .....	60
3.2 MSP432 系列 MCU 存储映像与中断源 .....	62
3.2.1 MSP432 系列 MCU 存储映像 .....	62
3.2.2 MSP432 中断源 .....	63
3.3 MSP432 系列 MCU 的引脚功能 .....	65
3.3.1 硬件最小系统引脚 .....	66
3.3.2 I/O 端口资源类引脚 .....	66
3.4 MSP432 系列 MCU 硬件最小系统 .....	67
3.4.1 电源及其滤波电路 .....	68
3.4.2 复位电路及复位功能 .....	68
3.4.3 晶振电路 .....	68
3.4.4 SWD 接口电路 .....	69
小结 .....	69
习题 .....	70
<b>第4章 GPIO 及程序框架</b> .....	71
4.1 通用 I/O 接口基本概念及连接方法 .....	71

4.2	GPIO 模块的编程结构	73
4.2.1	端口与 GPIO 模块——对外引脚与内部寄存器	73
4.2.2	GPIO 基本编程步骤与基本打通程序	75
4.3	GPIO 驱动构件封装方法与驱动构件封装规范	76
4.3.1	设计 GPIO 驱动构件的必要性及 GPIO 驱动构件封装要点分析	76
4.3.2	底层驱动构件封装规范概要与构件封装的前期准备	78
4.3.3	MSP432 的 GPIO 驱动构件源码及解析	79
4.4	利用构件方法控制小灯闪烁	93
4.4.1	Light 构件设计	93
4.4.2	Light 构件测试工程主程序	96
4.5	工程文件组织框架与第一个 C 语言工程分析	97
4.5.1	工程框架及所含文件简介	97
4.5.2	链接文件常用语法及链接文件解析	100
4.5.3	机器码文件解析	104
4.5.4	芯片上电启动执行过程	105
4.6	第一个汇编语言工程：控制小灯闪烁	106
4.6.1	汇编工程文件的组织	106
4.6.2	汇编语言 GPIO 构件及使用方法	107
4.6.3	汇编语言 Light 构件及使用方法	110
4.6.4	汇编语言 Light 测试工程主程序	112
	小结	113
	习题	114
<b>第 5 章</b>	<b>嵌入式硬件构件与底层驱动构件基本规范</b>	<b>116</b>
5.1	嵌入式硬件构件	116
5.1.1	嵌入式硬件构件的概念与分类	116
5.1.2	基于嵌入式硬件构件的电路原理图设计简明规则	117
5.2	嵌入式底层驱动构件的概念与层次模型	120
5.2.1	嵌入式底层驱动构件的概念	120
5.2.2	嵌入式硬件构件与软件构件结合的层次模型	121
5.2.3	嵌入式软件构件的分类	122
5.3	底层驱动构件的封装规范	122
5.3.1	构件设计的基本思想与基本原则	123
5.3.2	编码风格基本规范	124
5.3.3	公共要素文件	128
5.3.4	头文件的设计规范	130
5.3.5	源程序文件的设计规范	131
5.4	硬件构件及底层软件构件的重用与移植方法	132
	小结	134

习题 .....	134
<b>第6章 串行通信模块及第一个中断程序结构</b> .....	<b>136</b>
6.1 异步串行通信的通用基础知识 .....	136
6.1.1 串行通信的基本概念 .....	137
6.1.2 RS232 总线标准 .....	138
6.1.3 TTL 电平到 RS232 电平转换电路 .....	139
6.1.4 串行通信编程模型 .....	140
6.2 MSP432 芯片 UART 驱动构件及使用方法 .....	141
6.2.1 MSP432 芯片 UART 引脚 .....	141
6.2.2 UART 驱动构件基本要素分析与头文件 .....	142
6.2.3 printf 的设置方法与使用 .....	145
6.3 ARM Cortex-M4F 中断机制及 MSP432 中断编程步骤 .....	145
6.3.1 关于中断的通用基础知识 .....	145
6.3.2 ARM Cortex-M4F 非内核模块中断编程结构 .....	147
6.3.3 MSP432 中断编程步骤——以串口接收中断为例 .....	149
6.4 UART 驱动构件的设计方法 .....	151
6.4.1 UART 模块编程结构 .....	151
6.4.2 UART 驱动构件源码 .....	157
小结 .....	164
习题 .....	165
<b>第7章 定时器相关模块</b> .....	<b>166</b>
7.1 ARM Cortex-M4F 内核定时器 .....	166
7.1.1 SysTick 模块的编程结构 .....	167
7.1.2 SysTick 的驱动构件设计 .....	168
7.2 脉宽调制、输入捕捉与输出比较通用基础知识 .....	170
7.2.1 脉宽调制 PWM 通用基础知识 .....	170
7.2.2 输入捕捉与输出比较通用基础知识 .....	173
7.3 Timer_A 模块 .....	173
7.3.1 Timer_A 模块功能概述 .....	173
7.3.2 Timer_A 模块驱动构件及使用方法 .....	175
7.3.3 Timer_A 模块驱动构件设计 .....	182
7.4 Timer32 模块 .....	190
7.4.1 Timer32 模块功能概述 .....	190
7.4.2 Timer32 模块驱动构件及使用方法 .....	191
7.4.3 Timer32 模块驱动构件设计 .....	193
7.5 实时时钟 RTC_C 模块 .....	197
7.5.1 RTC_C 模块功能概述 .....	197

7.5.2	RTC_C 模块驱动构件及使用方法	197
7.5.3	RTC 驱动构件的设计	200
小结		208
习题		208
<b>第 8 章</b>	<b>GPIO 应用——键盘、LED 及 LCD</b>	<b>209</b>
8.1	键盘的基础知识及其驱动构件设计	209
8.1.1	键盘模型及接口	209
8.1.2	键盘编程基本问题、扫描编程原理及键值计算	210
8.1.3	键盘驱动构件的设计	211
8.2	LED 数码管的基础知识及其驱动构件设计	216
8.2.1	LED 数码管的基础知识	217
8.2.2	LED 驱动构件设计及其使用方法	218
8.3	LCD 的基础知识及其驱动构件设计	222
8.3.1	LCD 的特点和分类	222
8.3.2	点阵字符型 LCD 模块控制器 HD44780	224
8.3.3	LCD 构件设计	228
8.4	键盘、LED 及 LCD 驱动构件测试实例	233
小结		236
习题		236
<b>第 9 章</b>	<b>Flash 在线编程</b>	<b>237</b>
9.1	Flash 在线编程的通用基础知识	237
9.2	Flash 驱动构件及使用方法	238
9.2.1	Flash 驱动构件知识要素分析	238
9.2.2	Flash 驱动构件头文件	239
9.2.3	Flash 驱动构件的使用方法	242
9.3	Flash 驱动构件的设计方法	243
9.3.1	Flash 模块编程结构	243
9.3.2	Flash 驱动构件设计技术要点	246
9.3.3	Flash 驱动构件源码	247
小结		255
习题		256
<b>第 10 章</b>	<b>ADC 与 CMP 模块</b>	<b>257</b>
10.1	模拟/数字转换器	257
10.1.1	ADC 的通用基础知识	257
10.1.2	ADC 驱动构件及使用方法	260
10.1.3	ADC 模块的编程结构	264

10.1.4	ADC 驱动构件的设计	268
10.2	比较器	271
10.2.1	CMP 的通用基础知识	271
10.2.2	CMP 驱动构件及使用方法	271
10.2.3	CMP 驱动构件的编程结构	274
10.2.4	CMP 驱动构件的设计	277
小结		281
习题		281
<b>第 11 章</b>	<b>SPI、I2C 与 CTI 模块</b>	<b>282</b>
11.1	串行外设接口模块	282
11.1.1	串行外设接口的通用基础知识	282
11.1.2	SPI 驱动构件头文件及使用方法	285
11.1.3	SPI 模块的编程结构	290
11.1.4	SPI 驱动构件的设计	293
11.2	集成电路互联总线模块	299
11.2.1	集成电路互联总线的通用基础知识	299
11.2.2	I2C 驱动构件头文件及使用方法	304
11.2.3	I2C 模块的编程结构	310
11.2.4	I2C 驱动构件源码	316
11.3	电容式触摸感应模块	322
11.3.1	电容式触摸感应的通用基础知识	322
11.3.2	CTI 驱动构件头文件及使用方法	323
11.3.3	CTI 模块的编程结构	325
11.3.4	CTI 驱动构件的设计	325
小结		327
习题		327
<b>第 12 章</b>	<b>DMA 编程</b>	<b>328</b>
12.1	直接存储器存取的通用基础知识	328
12.1.1	DMA 的基本概念	328
12.1.2	DMA 的一般操作流程	329
12.2	DMA 构件头文件及使用方法	329
12.3	DMA 驱动构件的设计方法	337
12.3.1	DMA 模块编程结构	337
12.3.2	DMA 驱动构件源码	339
小结		343
习题		343

<b>第 13 章 系统时钟与其他功能模块</b> .....	344
13.1 时钟系统 .....	344
13.1.1 时钟系统概述 .....	344
13.1.2 时钟模块概要与编程要点 .....	345
13.1.3 时钟模块测试实例 .....	348
13.2 电源模块 .....	348
13.2.1 电源模式控制 .....	348
13.2.2 电源模式转换 .....	350
13.3 校验模块 .....	350
13.3.1 CRC32 模块简介 .....	350
13.3.2 CRC 校验和生成 .....	351
13.3.3 CRC 标准与位顺序 .....	351
13.3.4 CRC 实现 .....	352
13.3.5 CRC 寄存器 .....	352
13.4 看门狗模块 .....	353
13.4.1 看门狗模块简介 .....	353
13.4.2 看门狗的配置方法 .....	353
13.5 复位模块 .....	354
13.5.1 电源开/关复位 .....	355
13.5.2 重新启动重置 .....	355
13.5.3 硬重置 .....	355
13.5.4 软重置 .....	356
13.6 高级加密模块 .....	356
13.6.1 AES 介绍 .....	356
13.6.2 AES 工作流程 .....	356
13.6.3 AES 寄存器 .....	357
13.7 位带技术及应用方法 .....	359
13.7.1 位带别名区概述 .....	359
13.7.2 位带别名区的应用机制解析 .....	359
13.7.3 位带别名区使用注意事项 .....	360
13.7.4 测试实例 .....	361
小结 .....	362
习题 .....	362
<b>第 14 章 进一步学习指导</b> .....	363
14.1 关于更为详细的技术资料 .....	363
14.2 关于实时操作系统 .....	363
14.3 关于嵌入式系统稳定性问题 .....	365



附录 A	100 引脚 LQFP 封装 MSP432 的复用功能 .....	367
附录 B	100 引脚 LQFP 封装 MSP432 的硬件最小系统 .....	370
附录 C	集成开发环境 CCS 简明使用方法 .....	371
附录 D	printf 格式化输出 .....	376
参考文献	.....	379

# 第 1 章

## 概 述

**本章导读：**作为全书导引，本章阐述嵌入式系统的基本概念、由来、发展简史、分类及特点；给出嵌入式系统的学习困惑、知识体系及学习建议；既给出大部分嵌入式系统中核心部件——微控制器 MCU 的简介，也给出多媒体应用处理器 MAP 的简介；简要归纳嵌入式系统的常用术语，以便对嵌入式系统基本词汇有初步认识，为后续学习提供基础；简要给出嵌入式系统常用的 C 语言基本语法概要，以便快速收拢本书所用 C 语言知识要素。

### 1.1 嵌入式系统定义、发展简史、分类及特点



视频讲解

#### 1.1.1 嵌入式系统的定义

嵌入式系统(Embedded System)是嵌入式计算机系统的简称，有多种多样的定义，但本质是相同的。这里给出美国 CMP Books 出版的 Jack Ganssle 和 Michael Barr 的著作 *Embedded System Dictionary*<sup>①</sup> 中的嵌入式系统定义：**嵌入式系统是一种计算机硬件和软件的组合，也许还有机械装置，用于实现一个特定功能。在某些特定情况下，嵌入式系统是一个大系统或产品的一部分。**世界上第一个嵌入式系统是 1971 年 Busicom 公司用 Intel 单芯片 4004 微处理器完成的商用计算器系列。该词典还给出了嵌入式系统的一些示例，如微波炉、手持电话、计算器、数字手表、录像机、巡航导弹、全球定位系统(Global Position System, GPS)接收机、数码相机、传真机、跑步机、遥控器和谷物分析仪等，难以尽数。通过与通用计算机的对比可以更形象地理解嵌入式系统的定义。该词典给出的通用计算机定义是：**计算机硬件和软件的组合，用作通用计算平台。**个人计算机(Personal Computer, PC)是最流行的现代计算机。

再列举其他文献给出的定义，以便了解对嵌入式系统定义的不同表述方式，也可以看作从不同角度定义嵌入式系统。

<sup>①</sup> Jack Ganssle, 等. 英汉双解嵌入式系统词典. 马广云, 等译. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2006.