



# 面向人工智能的 嵌入式设计与开发

赵志桓 著

MIANXIANG RENGONG ZHINENG DE  
QIANRUSHI SHEJI YU KAIFA



化学工业出版社

# 面向人工智能的 嵌入式设计与开发

赵志桓 著



化学工业出版社

· 北京 ·

本书内容包括嵌入式介绍、GPIO 端口基本使用、C 语言编程基础、GPIO 端口输入模式、串口通信、中断系统、Systick 定时器、LCD 液晶显示屏、触摸屏驱动、RTC 实时时钟、温湿度传感器和实战项目。

本书可供电气、自动化类专业本、专科课程教学和大学生创新实践使用和参考，课后资料可扫描二维码或从化学工业出版社教学资源网 [www.cipedu.com.cn](http://www.cipedu.com.cn) 搜索本书查看和下载。

### 图书在版编目(CIP)数据

面向人工智能的嵌入式设计与开发 / 赵志桓著.

—北京: 化学工业出版社, 2020.1

ISBN 978-7-122-35522-5

I. ①面… II. ①赵… III. ①微型计算机-系统开发  
②微型计算机-系统设计 IV. ①TP360.21

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2019) 第 238299 号

---

责任编辑: 李玉晖 金 杰

文字编辑: 陈 喆

责任校对: 张雨彤

装帧设计: 关 飞

---

出版发行: 化学工业出版社 (北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011)

印 装: 三河市延风印装有限公司

710mm×1000mm 1/16 印张 9½ 字数 166 千字 2020 年 2 月北京第 1 版第 1 次印刷

---

购书咨询: 010-64518888

售后服务: 010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书, 如有缺损质量问题, 本社销售中心负责调换。

---

定 价: 45.00 元

版权所有 违者必究

## 前 言

ARM V7 是 Cortex-M3 的组成硬件之一，它的主频运行速度为 72MHz，不但可以使用 Thumb-2 指令集，还具备其他特殊的新性质。与 ARM7 TDMI 进行对比，Cortex-M3 具备性能更加强大、代码密度更高、位带操作、中断为可嵌套使用、成本小、功耗小等优势。STM32 系列芯片由意法半导体公司 (STMicroelectronics) 生产，是当下非常热门的芯片。STM32 系列产品基于超低功耗的 ARM Cortex-M3 处理器内核，采用意法半导体独有的两大节能技术，在所有产品中，大量的管脚、外设和软件都是可以共同使用的，兼容性强大；开发人员可以通过它的兼容性来极大地提高设计的灵活性。Cortex-M3 核的处理器特点就是用于低端的设备控制。与 89C51 相比，STM32 具有 13 级的流水线指令处理能力，集成了许多外设，以寄存器的方式操作，大大提高了芯片执行速度，具有响应快的特点。内部的 RAM、ROM 的空间也比较大，可以下载和运行更多代码，还可以在小型系统中使用，有利于多任务操作。由此可见，STM32 的前景非常好，这几年 ST 公司在中国大力推广它的产品，国内部分半导体厂商也在生产类似芯片，更能体现出 STM32 在未来几年中在电子行业里受重视的程度。另外，芯片的价格很低。

STM32 具有以下独有优势。

1. 超低价格。STM32 最大的优势是，它拥有 32 位机的性能，但仅是 8 位机的价格。
2. 很多外围设备。TIMER、RTC、FSMC、IIC、USB、SPI、IIS、SDIO、CAN、DAC、ADC、DMA 等许多外设都可以连在 STM32 上，从这些外设可以看出，STM32 的集成度很高。
3. 芯片种类繁多。M3 是 STM32 的一种内核，这种内核有 F100、F101、F102、F103、F105、F107、F207、F217 共 8 个系列，这 8 个系列又有上百种型号，而且还有不同的封装可供选择，如 QFN、LQFP、BGA 等。与此同时，M3 芯片中还有功耗极低的 STM32L 和可以进行无线通信的 STM32W。
4. 性能实时性好。STM32 中的所有管脚都可以当作中断输入，共有 84 个

中断，因而有 16 级可编程优先级。

5. 功耗控制极为优秀。STM32 的每个外设都有独立控制开关的时钟，当功耗太高时，可以关闭不用的外设时钟，这样就能降低功耗。

6. 开发成本低。STM32 下载程序时只需要一个串口即可，无须花费大量金钱购买价格极高的仿真器，而且 STM32 可以使用 SWD 和 JTAG 两种调试口。当使用 SWD 实现仿真调试时，只需要两个 IO 口，极为方便。

本书由赵志桓著，同时得到了深圳信盈达科技有限公司牛乐乐总经理、济南信盈达电子技术有限公司袁魁总经理、何文宾工程师、邹竟飞工程师和山东农业工程学院廖希杰的大力支持，在此表示衷心的感谢。

由于时间仓促，书中难免有不足之处，恳请广大读者不吝批评指正。

著者

2019 年 10 月

# 目 录

<b>第 1 章 嵌入式介绍</b>	<b>1</b>
1.1 嵌入式概述	1
1.2 Cortex-M3 芯片介绍	3
1.2.1 Cortex-M 系列芯片分类	3
1.2.2 STM32F10x 系列的命名规则	3
1.2.3 Cortex-M3 芯片产品分类	4
1.2.4 STM32F103ZET6 芯片内部资源	4
1.2.5 STM32F103ZET6 内部结构	5
1.3 STM32F10x 最小系统	6
1.4 嵌入式开发软件安装	7
1.4.1 编译软件安装	7
1.4.2 驱动程序安装	8
1.4.3 下载测试	9
课后资料	9
<b>第 2 章 GPIO 端口基本使用</b>	<b>10</b>
2.1 STM32F10x 芯片 GPIO 模块介绍	10
2.2 STM32F10x 芯片 GPIO 端口功能介绍	11
2.2.1 STM32F10x 芯片 GPIO 端口功能	11
2.2.2 STM32F10x 芯片 GPIO 端口内部框图	11
2.2.3 STM32F10x 芯片时钟使能	13
2.2.4 STM32F10x 芯片 GPIO 端口相关库函数	14
2.3 GPIO 模块程序软件设计 (驱动 LED)	18

思考 .....	19
课后资料 .....	19

## 第3章 C语言编程基础 20

3.1 C语言体系介绍 .....	20
3.1.1 C语言主要特点 .....	20
3.1.2 嵌入式C程序基本结构 .....	22
3.1.3 C语言编程规范 .....	22
3.2 嵌入式C语言基本数据类型 .....	23
3.3 数据常量和数据变量 .....	25
3.4 C语言运算符与表达式 .....	26
3.4.1 运算符与表达式的概念 .....	26
3.4.2 逻辑运算符 .....	27
3.4.3 位运算符 .....	28
3.4.4 运算符优先级 .....	28
3.4.5 数据类型转换运算 .....	28
3.5 函数 .....	29
3.5.1 函数模型 .....	30
3.5.2 实际参数 .....	30
3.5.3 函数应用 .....	30
3.5.4 函数和变量的作用范围 .....	31
3.6 宏定义与模块化编程 .....	32
3.6.1 宏定义 .....	32
3.6.2 条件编译 .....	32
3.6.3 模块化编程 .....	33
3.7 模块化编程软件设计 .....	34
思考 .....	37
课后资料 .....	37

## 第4章 GPIO端口输入模式 38

4.1 嵌入式C语言基本结构 .....	38
4.1.1 顺序结构 .....	38

4.1.2	选择结构	39
4.1.3	循环结构	41
4.1.4	转移语句	43
4.2	嵌入式单片机输入系统	44
4.2.1	单片机按键介绍	44
4.2.2	GPIO 输入功能程序设计	45
4.2.3	按键扫描程序设计	46
	思考	49
	课后资料	49

## 第 5 章 串口通信 50

5.1	通用 USART 通信介绍	50
5.1.1	通信的概述	50
5.1.2	串行通信分类	51
5.1.3	串行通信数据的传输速度	52
5.1.4	串行通信工作方式	53
5.1.5	串口发送数据的格式	53
5.2	STM32F10x 芯片 USART 模块介绍	53
5.2.1	STM32F10x 芯片 USART 模块概述	53
5.2.2	STM32F10x 芯片 USART 模块内部框图	54
5.2.3	STM32F10x 芯片 USART 模块特征	56
5.3	STM32F10x 外设管脚复用	57
5.4	STM32F10x 芯片 USART 模块相关库函数	58
5.4.1	USART_Init 函数	58
5.4.2	USART_Cmd 函数	60
5.4.3	USART_ITConfig 函数	60
5.4.4	USART_SendData 函数	61
5.4.5	USART_ReceiveData 函数	61
5.4.6	USART_GetFlagStatus 函数	62
5.4.7	USART_ClearFlag 函数	62
5.4.8	USART_GetITStatus 函数	63
5.4.9	USART_ClearITPendingBit 函数	63
5.5	USART 模块程序软件设计	64

5.5.1 USART_1 硬件设置 .....	64
5.5.2 USART1 模块软件设计 .....	64
思考 .....	68
课后资料 .....	68

## 第 6 章 中断系统 69

6.1 中断介绍 .....	69
6.1.1 中断和中断源的概念 .....	69
6.1.2 中断执行过程 .....	70
6.1.3 中断使用的意义 .....	70
6.1.4 中断优先级和中断嵌套 .....	71
6.2 STM32F10x 中断系统介绍 .....	71
6.2.1 NVIC 控制器介绍 .....	71
6.2.2 STM32F10x 异常向量表 .....	72
6.2.3 STM32F10x 中断优先级设置 .....	75
6.3 STM32F10x 中断系统相关库函数 .....	75
6.3.1 NVIC_Init 函数 .....	75
6.3.2 NVIC_PriorityGroupConfig 函数 .....	76
6.4 中断软件示例 .....	77
6.4.1 中断服务函数编写原则 .....	77
6.4.2 NVIC 中断软件设计 .....	77
思考 .....	79
课后资料 .....	79

## 第 7 章 SysTick 定时器 80

7.1 SysTick 定时器介绍 .....	80
7.1.1 SysTick 定时器概述 .....	80
7.1.2 STM32F10x 系列 SysTick 定时器概述 .....	80
7.1.3 SysTick 定时器初始值计算 .....	81
7.2 SysTick 定时器相关库函数 .....	81
7.2.1 SysTick_CLKSourceConfig 函数 .....	82
7.2.2 SysTick_Config 函数 .....	82
7.2.3 SysTick 定时器软件设计 .....	82

课后资料	85
------	----

## 第 8 章 LCD 液晶显示屏 86

8.1 LCD 液晶显示屏介绍	86
8.1.1 单片机常见显示设备	86
8.1.2 LCD 液晶显示屏显示系统	87
8.1.3 彩色 LCD 液晶显示屏参数	87
8.1.4 ZZH Cortex-M 开发板 LCD 模块介绍	87
8.2 液晶显示控制器 (ILI9486)	88
8.2.1 ILI9486 控制器协议介绍	88
8.2.2 ILI9486 控制器颜色设置	89
8.2.3 ILI9486 控制器初始化	90
8.2.4 ILI9486 控制器控制命令	90
8.3 LCD 液晶显示屏字模软件应用	92
8.4 LCD 液晶显示屏程序设计	95
课后资料	96

## 第 9 章 触摸屏驱动 97

9.1 触摸屏的工作原理和类型	97
9.2 触摸屏控制芯片 XPT2046	98
9.2.1 触摸屏硬件连接	98
9.2.2 XPT2046 控制器应用	98
9.3 触摸屏校准	103
9.3.1 触摸屏校准的目的和原理	103
9.3.2 触摸屏校准步骤	103
9.3.3 触摸屏软件设计	104
课后资料	105

## 第 10 章 RTC 实时时钟 106

10.1 RTC 实时时钟介绍	106
10.1.1 RTC 实时时钟概念	106
10.1.2 RTC 实时时钟时间基准	107
10.1.3 常用 RTC 外设芯片	107

10.2	STM32F10x 芯片 RTC 模块介绍	107
10.2.1	STM32F10x 芯片 RTC 模块概述	107
10.2.2	STM32F10x 芯片备份存储器 (BKP) 介绍	108
10.2.3	STM32F10x 芯片 RTC 模块内部框图	109
10.3	STM32F10x 芯片 RTC 模块相关库函数	110
10.3.1	RTC_ITConfig 函数	110
10.3.2	RTC_EnterConfigMod 函数	110
10.3.3	RTC_ExitConfigMode 函数	111
10.3.4	RTC_GetCounter 函数	111
10.3.5	RTC_WaitForLastTask 函数	111
10.3.6	RTC_SetCounter 函数	111
10.3.7	RTC_SetPrescaler 函数	112
10.3.8	RTC_SetAlarm 函数	112
10.3.9	RTC_WaitForSynchro 函数	112
10.3.10	RTC_GetFlagStatus 函数	112
10.3.11	RTC_ClearFlag 函数	113
10.3.12	RTC_GetITStatus 函数	113
10.3.13	RTC_ClearITPendingBit 函数	113
10.3.14	BKP_ReadBackupRegister 函数	114
10.3.15	BKP_WriteBackupRegister 函数	114
10.3.16	PWR_BackupAccessCmd 函数	114
10.3.17	RCC_LSEConfig 函数	115
10.3.18	RCC_RTCCLKConfig 函数	115
10.3.19	RCC_RTCCLKCmd 函数	116
10.4	RTC 软件设计	116
	课后资料	123

## 第 11 章 温湿度传感器 124

11.1	DHT11 产品介绍	124
11.1.1	DHT11 概述	124
11.1.2	应用领域	124
11.1.3	传感器性能说明	125
11.1.4	测量分辨率	125
11.1.5	电气特性	125

11.2 模块接口说明 .....	126
11.2.1 模块连接电路图 .....	126
11.2.2 管脚说明 .....	126
11.2.3 电源管脚 .....	127
11.2.4 DHT11 数据传输流程 .....	127
11.2.5 主机复位信号和 DHT11 响应信号 .....	127
11.2.6 DHT11 数据表示方法 .....	128
11.2.7 DHT11 数据结构 .....	129
11.3 DHT11 软件设计 .....	129
课后资料 .....	133

**参考文献** ..... 134

**附录** ..... 136

附录 A Cortex-M3 开发板介绍 .....	136
附录 A.1 Cortex-M3 开发板资源图 .....	136
附录 A.2 Cortex-M3 开发板资源介绍 .....	136
附录 B C 语言运算符优先级 .....	139



# 第1章 嵌入式介绍

## 1.1 嵌入式概述

### (1) 嵌入式含义

嵌入式计算机系统简称为嵌入式，其主要说明了嵌入式系统的根本内容，是将嵌入式计算机系统当作中心系统，主要是针对用户、生产信息、允许访问对象，软件以及硬件均可以根据需要进行裁减的，适用于目的性强、成本要求严苛、可靠性需求高、低功耗、小体积等综合性能有严格要求的专用计算机系统<sup>[1]</sup>。

### (2) 嵌入式单片机和 PC 电脑的区别

嵌入式单片机和 PC 电脑的区别见表 1.1。

表 1.1 嵌入式单片机和 PC 电脑的区别

设备名称	嵌入式单片机	PC 电脑
处理器	嵌入式单片机内核	CPU
内存（数据存储器）	SDRAM 芯片（RAM）	SDRAM 或 DDR 内存条
存储设备（程序存储器）	Flash 芯片（ROM）	硬盘
输入设备	按键、触摸屏	鼠标、键盘、麦克风
输出设备	LCD、OLED、数码管	显示器
声音设备	音频芯片	声卡
其他设备	USB 芯片、网卡芯片	主板集成或外接卡

### (3) 单片机常见内核种类

#### 1) 51 内核 (8 位)

51 内核 (8 位) 包括 STC (宏晶)、Atmel (爱特梅尔)、松翰、义隆、海尔等。

#### 2) ARM 内核 (32 位)

① 控制类芯片: ST (意法半导体)、TI (德州仪器)、NXP (恩智浦) 等。

② 消费类芯片: 高通、苹果、联发科、三星、华为、君正等。

### (4) ARM 微处理器的应用领域

1) 工业控制领域: 智能机器人、工业机械手臂。

2) 无线控制领域: 手机、智能穿戴、智能家居。

3) 网络应用领域: 路由器、交换机。

4) 消费电子领域: MP3 播放器、机顶盒、掌上游戏机。

5) 成效安全领域: 数码相机、城市监控。

### (5) ARM 微处理器的特点

1) 体积较小, 功耗较低, 成本较低, 性能增强。

2) 可以使用 Thumb (16 位) 和 ARM (32 位) 两种指令集, 外设仪器可以完美兼容 8 位的以及 16 位的。

3) 在固件库的基础上, 通过寄存器的大量使用完成指令执行速度的提高。

4) 绝大多数的数据都是在寄存器中运行的, 使用更加灵活。

5) 具有简单的寻址方式, 可以灵活高效地执行。

6) 拥有固定的指令长度 (32 位或 16 位)。

### (6) ARM 微处理器系列

几乎所有基于 ARM 体系结构的处理器, 都具有 ARM 体系架构的共同特点。ARM 微处理器包含以下几个系列, 其具有不同的特点以及不同的应用领域。

1) Cortex-A 系列 A 系列芯片是基于 ARM-V7 架构 (32 位) 和 ARM-V8 架构 (64 位) 设计, 主要针对大型数据处理以及消费电子类产品, 特点是支持开放的操作系统。

2) Cortex-R 系列 R 系列芯片是基于 ARM-V7 架构 (32 位) 设计, 主要针对军工类产品, 特点是实时处理性比较强。

3) Cortex-M 系列 M 系列芯片是基于 ARM-V7 架构 (32 位) 设计, 主要针对工业控制、医疗电子、汽车电子类产品, 特点是适合领域广、低功耗。

## 1.2 Cortex-M3 芯片介绍

### 1.2.1 Cortex-M 系列芯片分类

Cortex-M 系列芯片按照内核处理器速度不同可分以下几种。

- ① Cortex-M0 系列：工作频率为 48M。主要用于低功耗产品。
- ② Cortex-M3 系列：工作频率为 72M。主要特点为性能比较全面，行业覆盖面广。
- ③ Cortex-M4 系列：工作频率为 168M。主要用于电源管理和嵌入式音频。

### 1.2.2 STM32F10x 系列的命名规则

ZZH-Cortex-M3 开发板使用的主控芯片型号为 STM32F103ZET6，命名规则参考图 1.1 所示。



图 1.1 STM32F10x 系列芯片命名规则

- ① ST: 芯片厂商意法半导体公司简称。
- ② M: Cortex-M 内核。
- ③ 32: 32 位处理器。
- ④ F: 通用型产品。
- ⑤ 103: 芯片系列型号。
- ⑥ Z: 芯片管脚数量 (144Pin)。
- ⑦ E: 内存 ROM 容量 (512K 字节)。
- ⑧ T: 芯片封装形式 (四面表贴封装)。
- ⑨ 6: 芯片工作温度 (-40~85℃)。

### 1.2.3 Cortex-M3 芯片产品分类

- ① 小容量产品: 内存容量在 16K~32K 字节的 STM32F101、102、103 系列的微控制器。
- ② 中容量产品: 内存容量在 64K~128K 字节的 STM32F101、102、103 系列的微控制器。
- ③ 大容量产品: 内存容量在 256K~512K 字节的 STM32F101、102、103 系列的微控制器。
- ④ 互联型产品: 产品系列号为 STM32F105xx 和 STM32F107xx 的微控制器。

### 1.2.4 STM32F103ZET6 芯片内部资源

#### (1) 单片机内核

- ① 处理器类型: ARM32 位 Cortex-M 系列处理器。
- ② 处理器频率: 72M。

#### (2) 内存容量

- ① 程序存储器 (ROM) 大小是 512K 字节。
- ② 数据存储器 (RAM) 大小是 64K 字节。

#### (3) 定时器

- ① 2 个 16 位基本定时器。
- ② 4 个 16 位通用定时器。
- ③ 2 个 16 位高级定时器。

#### (4) 硬件通信接口

- ① 3 个 SPI 通信接口。

- ② 3 个 IIC 通信接口。
  - ③ 4 个 USART (同步串口)、2 个 UART (异步串口)。
  - ④ 2 个 USB 通信接口。
  - ⑤ 1 个 SDIO (SD 卡) 通信接口。
  - ⑥ 1 个 CAN 通信接口。
- (5) 输入/输出接口  
112 个 GPIO 端口。

## 1.2.5 STM32F103ZET6 内部结构

STM32F10x 系列芯片内部结构如图 1.2 所示。

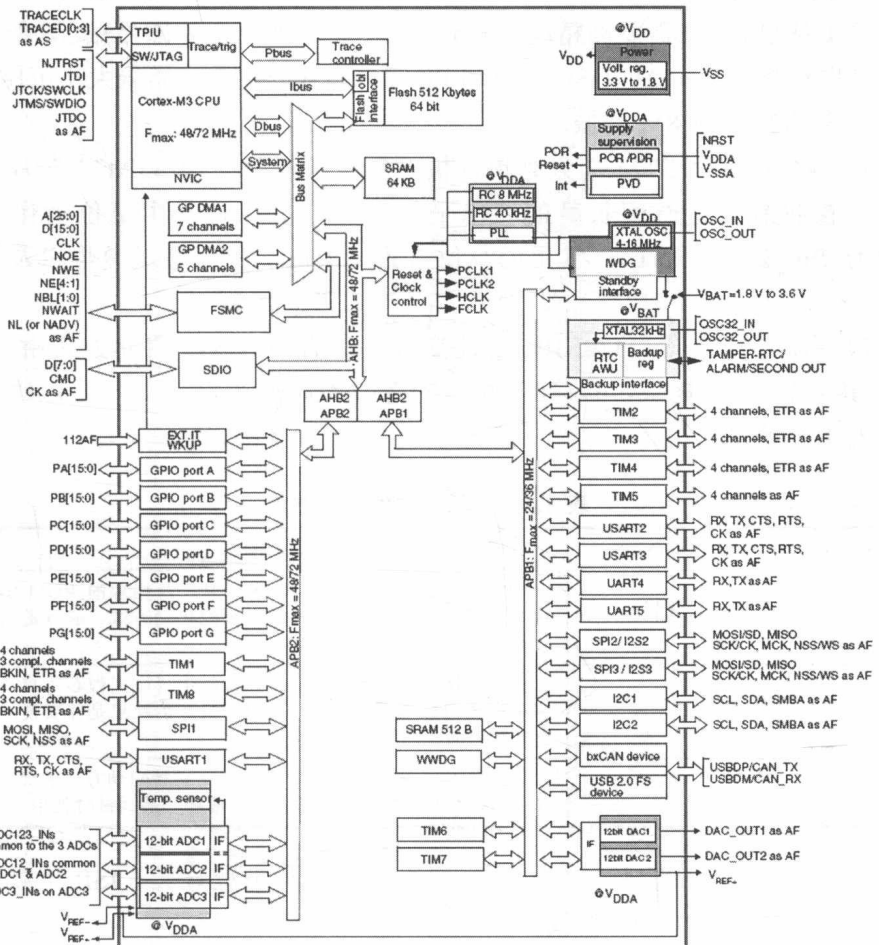


图 1.2 STM32F10x 系列芯片内部结构