



普通高等教育“十一五”国家级规划教材  
软件工程专业核心课程系列教材

# 嵌入式技术基础与实践(第3版)

——ARM Cortex-M0+Kinetis L系列微控制器

王宜怀 朱仕浪 郭芸 著



清华大学出版社



普通高等教育“十一五”国家级规划教材  
软件工程专业核心课程系列教材

# 嵌入式技术基础与实践(第3版)

——ARM Cortex-M0+Kinetis L系列微控制器

王宜怀 朱仕浪 郭芸 著

清华大学出版社  
北京



## 内 容 简 介

本书以飞思卡尔(Freescale)的 ARM Cortex-M0 + 内核的 Kinetis L 系列微控制器为蓝本阐述嵌入式系统的软件与硬件设计。全书共 14 章,其中第 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 章和第 3 章给出 ARM Cortex-M0 + 简介及 KL25 硬件最小系统。第 4 章给出第一个样例程序及 CW 开发环境下的工程组织方法,完成第一个 KL25 工程的入门任务。第 5 章阐述构件化开发方法与底层驱动构件封装规范。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 章囊括了学习一个新的 MCU 入门环节的完整要素。第 7~13 章分别给出了 SysTick、TPM、PIT、LPTMR、RTC、GPIO 的应用实例(键盘、LED 与 LCD)、Flash 在线编程、A/D、D/A、比较器、SPI、I<sup>2</sup>C、TSI 及 KL25 其他模块等。第 14 章给出了进一步学习指导。

本书提供了网上光盘,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。网上光盘下载地址:<http://sumcu.suda.edu.cn>。

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-M0 + 应用工程师作为技术研发参考。

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——ARM Cortex-M0 + Kinetis L 系列微控制器/王宜怀等著. —3 版. —北京:清华大学出版社,2013.8 (2013.11 重印)

软件工程专业核心课程系列教材

ISBN 978-7-302-33366-1

I. ①嵌… II. ①王… III. ①微处理器—系统设计—高等学校—教材 IV. ①TP332

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 176198 号

责任编辑:魏江江 薛 阳

封面设计:常雪影

责任校对:梁 毅

责任印制:杨 艳

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 刷 者:北京富博印刷有限公司

装 订 者:北京市密云县京文制本装订厂

经 销:全国新华书店

开 本:185mm×260mm 印 张:25.5 插 页:1 字 数:642 千字

版 次:2007 年 11 月第 1 版 2013 年 8 月第 3 版 印 次:2013 年 11 月第 2 次印刷

印 数:2001~3500

定 价:44.50 元

# 前 言

---

嵌入式计算机系统简称为嵌入式系统,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这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了重要影响。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。

本书第一版的芯片是飞思卡尔 HC08 系列 MCU,第二版的芯片是飞思卡尔 S08 系列 MCU。本版以飞思卡尔于 2012 年推出的 32 位 ARM Cortex-M0 + Kinetis L 系列 MCU 为蓝本阐述嵌入式应用。随着多年教学与开发的经验积累,本书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-芯片编程结构-基本编程方法-构件封装及实现-测试实例”的线条,逐步阐述电子系统智能化嵌入式应用的软件与硬件设计。

## 1. 关于飞思卡尔微控制器

飞思卡尔是全球最大半导体公司之一,在微控制器领域长期居全球市场领先地位,以高可靠性获得业界的一致赞誉。该公司的微控制器产品系列齐全,由不同位数(如 8 位、16 位、32 位等)、不同封装形式(如 DIP、SOIC、QFP、LQFP、BGA 等)、不同温度范围(0~70℃、-40~85℃、-40~105℃、-40~125℃等)、所含模块不同等构成了庞大的产品系列。飞思卡尔的 S08(8 位)、S12/S12X(16 位)、ColdFire(32 位)、ARM Cortex(32 位)等系列 MCU 或应用处理器,广泛地应用于汽车电子、消费电子、工业控制、网络、无线市场及视频等嵌入式系统各个领域。系列齐全的微控制器产品,为嵌入式系统的各种应用提供了选择与解决

方案,使得用户可以各取所需。不论是电子系统智能化还是计算机应用延伸的嵌入式应用设计,无论需要怎样的系统功能和集成度,总能从飞思卡尔庞大产品系列中选取一款合适的芯片进行应用开发。这正是嵌入式系统产品设计者所期望的,也节省了嵌入式学习者的时间,可以加快开发进度,提高开发质量。

## 2. 本书特点

(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,本书注重把握硬件知识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,并保留测试用例在本书的网上光盘中,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) 网上光盘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的程序的测试用例,还提供了PC的C#源程序。网上光盘中还提供了阅读资料、CW10.3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。网上光盘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飞思卡尔嵌入式中心设计制作的SD-ExtBoard-D型扩展板的对接,以满足教学实验需要。

## 3. 作者分工与致谢

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。朱仕浪撰写第7~10章、郭芸撰写第11~13章。研究生沈忱、马旭波、蒋婷、胡宗棠、李涛、柏祥、朱锦明、姚凤、陈洪新、陈亚轩、史新峰、顾会光、钱林翰等协助书稿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。飞思卡尔半导体有限公司的Andy Mastronardi先生、殷刚先生、马莉女士一直关心支持苏州大学飞思卡尔嵌入式中心的建设,为本书的撰写提供了硬件及软件资料,并提出了许多宝贵建议。飞思卡尔半导体有限公司的许多技术人员提供

了技术支持。苏州华祥信息科技有限公司的蒋建辉、刘辉工程师,福建英迈软件有限公司的伊伟华工程师提出了有益的建议。清华大学出版社的魏江江先生为本书的出版付出了大量细致的工作。在此一并表示诚挚的谢意。

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

王宜怀

2013年6月



## 网上光盘资料文件夹结构

- [-] SD-FSL-KL25-CD (V1.0)
  - [-] KL25-BOOK-PPT
  - [-] KL25-Component
    - + GPIOapp
    - [-] KL25-HwComponent
      - adc
      - cmp
      - dac
      - flash
      - gpio
      - i2c
      - incap
      - lptmr
      - outcompare
      - pit
      - pwm
      - rtc
      - spi
      - systick
      - tpm
      - tsi
      - uart
      - USBDevice
      - USBHost
    - + KL25工程统一部分
  - KL25-Document
  - [-] KL25-Program
    - + ch04-Light
    - + ch06-UART
    - + ch07-Timer
    - + ch08-KB-LED-LCD
    - + ch09-Flash
    - + ch10-ADC-DAC-CMP
    - + ch11-SPI-I2C-TSI
    - + ch12-KL25-USB
    - + ch13-COP-SMC
    - + KL25-Test
  - + KL25-Tools

# 目 录

---

<b>第 1 章 概述</b> .....	1
1.1 嵌入式系统定义、由来及特点.....	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其与微控制器的关系.....	2
1.1.3 嵌入式系统的特点.....	4
1.2 嵌入式系统的知识体系、学习误区及学习建议.....	5
1.2.1 嵌入式系统的知识体系.....	5
1.2.2 嵌入式系统的学习误区.....	6
1.2.3 基础阶段的学习建议.....	9
1.3 嵌入式系统常用术语.....	10
1.3.1 与硬件相关的术语.....	10
1.3.2 与通信相关的术语.....	11
1.3.3 与功能模块及软件相关的术语.....	12
1.4 嵌入式系统常用的 C 语言基本语法概要.....	13
1.5 本章小结.....	24
习题 1.....	24
<b>第 2 章 ARM Cortex-M0 + 处理器</b> .....	25
2.1 ARM 处理器应用概述.....	25
2.2 ARM Cortex-M0 + 处理器简介.....	26
2.2.1 ARM Cortex-M0 + 处理器特点与结构图.....	26
2.2.2 ARM Cortex-M0 + 处理器存储器映像.....	28
2.2.3 ARM Cortex-M0 + 处理器的寄存器.....	29
2.3 ARM Cortex-M0 + 处理器的指令系统.....	31
2.3.1 ARM Cortex-M0 + 指令简表与寻址方式.....	32
2.3.2 数据传送类指令.....	33
2.3.3 数据操作类指令.....	36
2.3.4 跳转控制类指令.....	39
2.3.5 其他指令.....	40
2.4 ARM Cortex-M0 + 汇编语言的基本语法.....	41



2.4.1	汇编语言格式 .....	41
2.4.2	伪指令 .....	43
2.5	本章小结 .....	46
	习题 2 .....	46
<b>第 3 章</b>	<b>KL25 简介与硬件最小系统 .....</b>	<b>48</b>
3.1	飞思卡尔 Kinetis 系列微控制器简介 .....	48
3.2	KL 系列 MCU 概述与体系结构 .....	49
3.2.1	KL 系列 MCU 概述 .....	49
3.2.2	KL 系列 MCU 体系结构 .....	51
3.3	KL25 系列存储映像 .....	53
3.4	KL25 的引脚功能 .....	54
3.5	KL25 硬件最小系统原理图 .....	57
3.6	实践硬件: SD-FSL-KL25-EVB .....	58
3.6.1	SD-FSL-KL25-EVB 硬件系统简介 .....	58
3.6.2	硬件系统的测试 .....	59
3.7	本章小结 .....	60
	习题 3 .....	61
<b>第 4 章</b>	<b>第一个样例程序及工程组织 .....</b>	<b>62</b>
4.1	通用 I/O 接口基本概念及连接方法 .....	62
4.2	端口控制模块与 GPIO 模块的编程结构 .....	63
4.2.1	端口控制模块 .....	64
4.2.2	GPIO 模块 .....	67
4.2.3	GPIO 基本编程步骤与举例 .....	68
4.3	GPIO 驱动构件封装方法与驱动构件封装规范 .....	69
4.3.1	制作 GPIO 驱动构件的必要性及 GPIO 驱动构件封装要点分析 .....	69
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 .....	71
4.3.3	KL25 的 GPIO 驱动构件及解析 .....	72
4.4	第一个 C 语言工程: 控制小灯闪烁 .....	77
4.4.1	Light 构件设计与测试工程主程序 .....	77
4.4.2	Codewarrior 开发环境简介及简明操作 .....	81
4.5	工程文件组织框架与第一个 C 语言工程分析 .....	83
4.5.1	CW10.3 开发环境下工程文件组织框架 .....	84
4.5.2	链接文件 .....	85
4.5.3	机器码文件 .....	86
4.5.4	其他相关文件功能简介 .....	88
4.5.5	芯片内电启动执行过程 .....	89

4.6	第一个汇编语言工程：控制小灯闪烁	91
4.6.1	汇编工程文件的组织	91
4.6.2	Light 构件汇编程序 light.s	92
4.6.3	Light 测试工程主程序及汇编工程执行过程	93
4.7	本章小结	95
	习题 4	96
<b>第 5 章</b>	<b>构件化开发方法与底层驱动构件封装规范</b>	<b>97</b>
5.1	嵌入式硬件构件与底层软件构件	97
5.1.1	嵌入式硬件构件的概念	97
5.1.2	嵌入式底层驱动构件的概念	98
5.2	基于硬件构件的嵌入式系统硬件电路设计	99
5.2.1	设计时需要考虑的基本问题	99
5.2.2	硬件构件化电路原理图绘制的简明规则	100
5.2.3	实验 PCB 设计的简明规则	104
5.3	基于硬件构件的嵌入式底层软件构件的编程方法	107
5.3.1	嵌入式硬件构件和软件构件的层次模型	107
5.3.2	底层构件的实现方法与编程思想	108
5.3.3	硬件构件及底层软件构件的重用与移植方法	109
5.4	底层驱动构件封装规范	112
5.4.1	构件设计的基本原则	112
5.4.2	编码风格基本规范	113
5.4.3	公共要素文件	117
5.4.4	头文件的设计规范	120
5.4.5	源文件的设计规范	121
5.5	本章小结	122
	习题 5	123
<b>第 6 章</b>	<b>串行通信模块及第一个中断程序结构</b>	<b>124</b>
6.1	异步串行通信的通用基础知识	124
6.1.1	串行通信的基本概念	124
6.1.2	RS-232 总线标准	126
6.1.3	TTL 电平到 RS-232 电平转换电路	127
6.1.4	串行通信编程模型	128
6.2	UART 模块功能概述及编程结构	129
6.2.1	UART 模块功能概述	129
6.2.2	UART 模块编程结构	130

6.3	UART 驱动构件封装 .....	135
6.3.1	UART 驱动构件封装要点分析 .....	135
6.3.2	UART 驱动构件头文件及源程序 .....	136
6.4	KL25 的中断机制及 UART 接收中断程序实例 .....	145
6.4.1	KL25 中断基本概念 .....	145
6.4.2	KL25 中断向量表文件 .....	146
6.4.3	KL25 的中断服务程序及其“注册” .....	148
6.4.4	ARM Cortex-M0 + 非内核模块中断编程结构 .....	149
6.4.5	UART 接收中断程序实例 .....	152
6.5	进一步讨论 .....	154
6.6	本章小结 .....	154
	习题 6 .....	155
<b>第 7 章</b>	<b>定时器相关模块</b> .....	<b>156</b>
7.1	计数器/定时器的工作原理 .....	156
7.2	ARM Cortex-M0 + 内核时钟 .....	157
7.2.1	SysTick 模块的编程结构 .....	157
7.2.2	SysTick 构件设计及测试工程 .....	158
7.3	定时器/PWM 模块功能概述及编程结构 .....	160
7.3.1	TPM 模块功能概述 .....	160
7.3.2	TPM 模块概要与编程要点 .....	164
7.3.3	TPM 构件设计及测试工程 .....	169
7.3.4	PWM 构件设计及测试工程 .....	172
7.3.5	定时器模块的输入捕捉功能 .....	174
7.3.6	定时器模块的输出比较功能 .....	177
7.4	周期性中断定时器 .....	180
7.4.1	PIT 模块功能概述 .....	180
7.4.2	PIT 模块概要与编程要点 .....	181
7.4.3	PIT 构件设计及测试实例 .....	183
7.5	低功耗定时器 .....	185
7.5.1	LPTMR 模块功能概述 .....	185
7.5.2	LPTMR 模块编程结构 .....	186
7.5.3	LPTMR 构件设计及测试实例 .....	188
7.6	实时时钟模块 .....	189
7.6.1	RTC 模块功能概述 .....	189
7.6.2	RTC 模块概要与编程要点 .....	191
7.6.3	RTC 构件设计及测试工程 .....	195



7.7 本章小结 .....	198
习题 7 .....	199
<b>第 8 章 GPIO 应用——键盘、LED 与 LCD .....</b>	<b>200</b>
8.1 键盘模块概论与驱动构件设计 .....	200
8.1.1 键盘模型及接口 .....	200
8.1.2 键盘编程的基本问题及键盘扫描编程原理 .....	201
8.1.3 键盘构件设计 .....	202
8.2 LED 模块概论与驱动构件设计 .....	208
8.2.1 LED 基础知识 .....	208
8.2.2 LED 构件设计 .....	209
8.3 LCD 模块概论与驱动构件设计 .....	213
8.3.1 LCD 的特点和分类 .....	214
8.3.2 点阵字符型液晶显示模块 .....	215
8.3.3 HD44780 .....	215
8.3.4 LCD 构件设计 .....	220
8.4 LED、LCD 键盘驱动构件测试实例 .....	224
8.5 本章小结 .....	227
习题 8 .....	227
<b>第 9 章 Flash 在线编程 .....</b>	<b>229</b>
9.1 Flash 通用基础知识 .....	229
9.2 KL25 芯片 Flash 模块特点及编程结构 .....	230
9.3 Flash 在线编程构件设计与测试 .....	234
9.3.1 Flash 存储器在线编程基本方法 .....	234
9.3.2 Flash 驱动构件封装要点分析 .....	237
9.3.3 Flash 驱动构件头文件及源程序 .....	238
9.3.4 Flash 驱动构件测试工程主函数 .....	242
9.4 Flash 模块的保护与加密 .....	244
9.5 本章小结 .....	248
<b>第 10 章 ADC、DAC 与 CMP 模块 .....</b>	<b>250</b>
10.1 A/D 转换通用知识 .....	250
10.1.1 A/D 转换的基本问题 .....	250
10.1.2 A/D 转换器类型 .....	251
10.1.3 A/D 转换常用传感器简介 .....	251
10.1.4 电阻型传感器采样电路设计 .....	252

10.2	KL25 的 16 位 ADC 模块功能概述 .....	254
10.3	KL25 的 A/D 转换模块寄存器 .....	255
10.4	A/D 模块基本编程方法与驱动构件封装 .....	261
10.4.1	基本编程方法 .....	261
10.4.2	ADC 驱动构件封装 .....	261
10.5	12 位 DAC 模块功能概述 .....	266
10.6	12 位 DAC 模块寄存器 .....	267
10.7	DAC 模块基本编程方法与驱动构件封装 .....	269
10.8	CMP 模块功能概述 .....	272
10.8.1	CMP 基础知识 .....	272
10.8.2	CMP 模块的工作原理 .....	272
10.9	CMP 模块寄存器 .....	275
10.10	CMP 模块基本编程方法与驱动构件封装 .....	278
10.11	本章小结 .....	283
	习题 10 .....	284
<b>第 11 章</b>	<b>SPI、I2C 与 TSI 模块 .....</b>	<b>285</b>
11.1	串行外设接口 SPI .....	285
11.1.1	串行外设接口 SPI 的基础知识 .....	285
11.1.2	KL25 的 SPI 模块概述 .....	289
11.1.3	SPI 模块寄存器 .....	290
11.1.4	SPI 驱动构件封装 .....	293
11.2	I2C 模块 .....	299
11.2.1	I2C 总线的基础知识 .....	299
11.2.2	KL25 的 I2C 模块概要与编程要点 .....	304
11.2.3	I2C 寄存器 .....	305
11.2.4	I2C 驱动构件封装 .....	309
11.3	触摸感应接口 TSI 模块 .....	318
11.3.1	触摸感应接口 TSI 基础知识 .....	318
11.3.2	KL25 的 TSI 的基本工作原理 .....	320
11.3.3	存储器映射和寄存器定义 .....	322
11.3.4	TSI 驱动构件封装 .....	324
11.4	本章小结 .....	328
	习题 11 .....	329
<b>第 12 章</b>	<b>USB 2.0 编程 .....</b>	<b>330</b>
12.1	USB 基本概念及硬件特性 .....	330

12.1.1	USB 概述 .....	330
12.1.2	USB 相关基本概念 .....	332
12.1.3	USB 的物理特性 .....	338
12.2	USB 的通信协议 .....	339
12.2.1	USB 基本通信单元：包 .....	339
12.2.2	USB 通信中的事务处理 .....	342
12.2.3	从设备的枚举看 USB 数据传输 .....	343
12.3	KL25 的 USB 模块概述 .....	347
12.3.1	KL25 的 USB 模块功能简介 .....	347
12.3.2	KL25 的 USB 模块主要寄存器介绍 .....	349
12.4	KL25 作为 USB 从机的开发方法 .....	353
12.4.1	KL25 作为 USB 从机的构件化设计 .....	353
12.4.2	KL25 的 USB 模块测试实例 .....	359
12.5	PC 方 USB 设备驱动程序的设计 .....	362
12.5.1	USB 设备驱动的基本原理 .....	362
12.5.2	PC 作为 USB 主机的程序设计 .....	365
12.6	KL25 作为 USB 主机的开发方法 .....	366
12.6.1	KL25 作为 USB 主机的基本功能 .....	366
12.6.2	USB 主机与 CDC 类 USB 设备通信 .....	368
12.6.3	USB 主机与 MassStorage 类 USB 设备通信 .....	368
12.7	本章小结 .....	369
	习题 12 .....	370
<b>第 13 章</b>	<b>系统时钟与其他功能模块 .....</b>	<b>371</b>
13.1	时钟系统 .....	371
13.1.1	时钟系统概述 .....	371
13.1.2	时钟模块概要与编程要点 .....	373
13.1.3	时钟模块测试实例 .....	375
13.2	电源模块 .....	377
13.2.1	电源模式控制 .....	377
13.2.2	电源模式转换 .....	379
13.3	低漏唤醒单元 .....	379
13.4	位带操作 .....	380
13.5	看门狗 .....	380
13.6	复位模块 .....	382
13.6.1	上电复位 .....	382
13.6.2	系统复位源 .....	382



13.6.3 调试复位 .....	384
13.7 本章小结 .....	384
习题 13 .....	384

**第 14 章 进一步学习指导 .....** 386

14.1 关于更为详细的技术资料 .....	386
14.2 关于实时操作系统 RTOS .....	386
14.3 关于嵌入式系统稳定性问题 .....	387

**附录 A MKL25Z128VLK4 引脚功能分配 .....** 390

**附录 B KL25 硬件最小系统原理图 .....** 393

**参考文献 .....** 397

**本章导读：**作为全书导引，本章主要知识点有：①简要给出嵌入式系统的定义、由来及特点，简要阐述嵌入式系统的知识体系，分析如何避免进入嵌入式系统的学习误区，根据嵌入式系统的特点，就如何学习嵌入式系统提出几点建议；②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；③简明给出嵌入式系统常用的 C 语言的基本语法概要。

## 1.1 嵌入式系统定义、由来及特点

### 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，有多种定义，但本质是相同的。本书中关于嵌入式系统的定义取自美国 CMP Books 出版的 Jack Ganssle 和 Michael Barr 著作的 *Embedded System Dictionary*<sup>①</sup>。

嵌入式系统的定义：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：微波炉、手持电话、计算器、数字手表、录像机、巡航导弹、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，用做通用计算平台。PC、MAC 和 UNIX 工作站是最流行的现代计算机。

我国《国家标准 GB/T 5271 信息技术词汇——嵌入式系统与单片机》部分，给出的嵌入式系统定义是：置入应用对象内部起操作控制作用的专用计算机系统。

国内对嵌入式系统的定义曾进行过广泛讨论，有许多不同说法。其中嵌入式系统定义的涵盖面问题是主要争论焦点之一。例如，有的学者认为不能把手持电话叫嵌入式系统，而只能把其中起控制作用的部分叫嵌入式系统，而手持电话可以称为嵌入式系统的应用产品。其实，这些并不妨碍人们对嵌入式系统的理解，所以不必对定义感到困惑。有些国内学者特别指出，在理解嵌入式系统定义时，不要把嵌入式系统与嵌入式系统产品相混淆。实际上，从口语或书面语言角度，不区分“嵌入式系统”与“嵌入式系统产品”，只要不妨碍对嵌入式系

<sup>①</sup> 中译本：Jack Ganssle 等著，马广云等译，《英汉双解嵌入式系统词典》，北京航空航天大学出版社，2006 年。

统的理解就没有关系。

为了更清楚地阐述嵌入式系统的特点,首先介绍大多数嵌入式系统的核心部件——MCU(微控制器)的基本概念。

## 1.1.2 嵌入式系统的由来及其与微控制器的关系

### 1. MCU(微控制器)的基本含义

MCU 是单片微型计算机(单片机)的简称,早期的英文名是 Single-chip Microcomputer,后来大多数称之为微控制器(Microcontroller)或嵌入式计算机(Embedded Computer)。现在 Microcontroller 已经是计算机中一个常用术语,但在 1990 年之前,大部分英文词典中并没有这个词。我国学者一般使用中文“单片机”一词,而缩写则使用 MCU<sup>①</sup>。所以本书后面的简写一律以 MCU 为准。MCU 的基本含义是:在一块芯片内集成了中央处理单元(CPU,Central Processing Unit)、存储器(RAM/ROM 等)、定时器/计数器及多种输入/输出(I/O)接口的比较完整的数字处理系统。图 1-1 给出了典型的 MCU 组成框图。

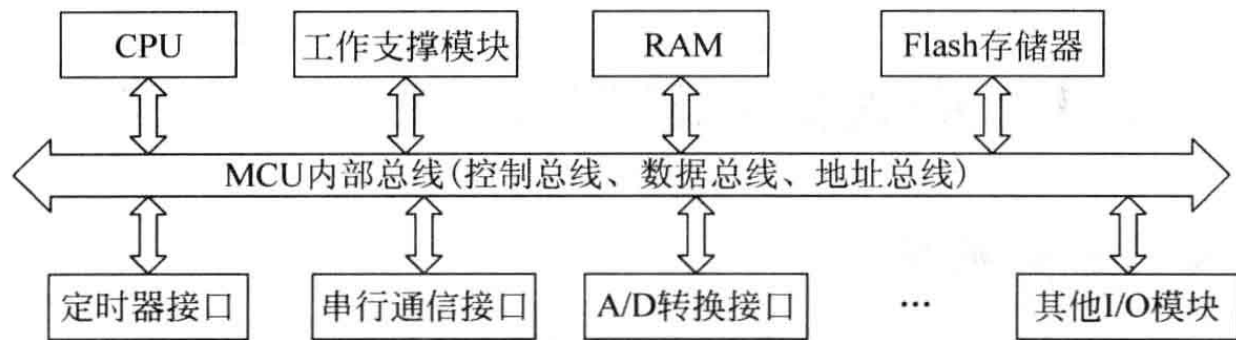


图 1-1 一个典型的 MCU 内部框图

MCU 是在计算机制造技术发展有一定阶段的背景下出现的,它使计算机技术从科学计算领域进入到智能化控制领域。从此,计算机技术在两个重要领域——通用计算机领域和嵌入式(Embedded)计算机领域都获得了极其重要的发展,为计算机的应用开辟了更广阔的空间。

就 MCU 组成而言,虽然它只是一块芯片,但包含了计算机的基本组成单元,仍由运算器、控制器、存储器、输入设备、输出设备 5 部分组成,只不过这些器件都集成在一块芯片内,这种结构使得 MCU 成为具有独特功能的计算机。

### 2. 嵌入式系统的由来

通俗地说,计算机是因为科学家需要一个高速的计算工具而产生的。直到 20 世纪 70 年代,电子计算机在数字计算、逻辑推理及信息处理等方面表现出非凡的能力。在通信、测控与数据传输等领域,人们对计算机技术给予了更大的期待。这些领域的应用与单纯的高速计算要求不同,主要表现在:直接面向控制对象;嵌入到具体的应用体中,而非计算机的面貌出现;能在现场连续可靠地运行;体积小,应用灵活;突出控制功能,特别是对外部信息的捕捉与丰富的输入/输出功能等。由此可以看出,满足这些要求的计算机与满足高速数值计算的计算机是不同的。因此,一种称为 MCU 或微控制器的技术得以产生并发展。为了区分这两种计算机类型,通常把满足海量高速数值计算的计算机称为通用计算机系统,而

<sup>①</sup> MCU 的英文全称是 Microcontroller Unit。