

嵌入式技术与应用丛书

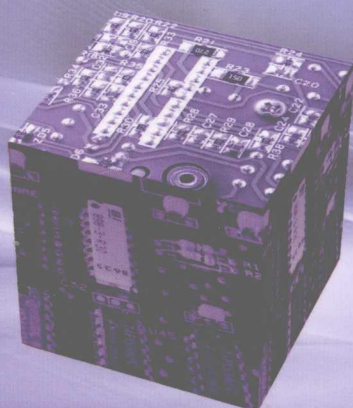
飞思卡尔系列

EMBEDDED

SYSTEM

基于32位ColdFire 构建嵌入式系统

王宜怀 陈建明 蒋银珍 著



- 以完整实例方式阐述嵌入式应用设计，遵循嵌入式软件工程规范
- 满足移植与复用要求的底层驱动构件封装
- 提供硬件评估系统与工具、清晰注释文档与测试用例



电子工业出版社

PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

<http://www.phei.com.cn>

本书由苏州大学“211 工程”建设经费资助出版

嵌入式技术与应用丛书·飞思卡尔系列

基于 32 位 ColdFire 构建嵌入式系统

王宜怀 陈建明 蒋银珍 著

電子工業出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

内 容 简 介

本书以飞思卡尔半导体公司(原摩托罗拉半导体部)的32位ColdFire系列微控制器中带以太网接口的MCF52233、带CAN总线接口MCF52235、带USB2.0接口MCF52223三个型号为蓝本阐述嵌入式系统的软件与硬件设计。全书共16章,其中第1章为概述,阐述嵌入式系统的知识体系、学习误区及学习建议。第2~3章概述ColdFire系列微处理器特点,给出MCF52233的引脚功能与硬件最小系统电路,给出第一个样例程序及ColdFire工程组织,完成第一个ColdFire工程的入门。第4~10章分别给出UART、键盘、LED与LCD、A/D、定时器、QSPI、I2C与Flash在线编程等。第11~15章分别给出MCF52235的CAN总线、基于MCF52233嵌入式以太网、MCF52233的其他模块、MCF52223的USB 2.0编程、 $\mu\text{C}/\text{OS-II}$ 在ColdFire上的移植与应用,第16章给出基于硬件构件的嵌入式系统开发方法。

本书可供大学有关专业的高年级学生和研究生用做教材或参考读物,也可供嵌入式系统开发与研究人员用作参考和进修资料。

本书附录含有有关实践资料索引,并配有网络光盘,包含了书中提供的所有实例源程序、辅助资料、相关芯片资料及常用软件工具。

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。
版权所有,侵权必究。

图书在版编目(CIP)数据

基于32位ColdFire构建嵌入式系统/王宜怀,陈建明,蒋银珍著.——北京:电子工业出版社,2009.7
(嵌入式技术与应用丛书·飞思卡尔系列)

ISBN 978-7-121-09212-1

I. 基… II. ①王…②陈…③蒋… III. 微处理器, ColdFire—系统设计 IV. TP332
中国版本图书馆CIP数据核字(2009)第113201号

责任编辑:高买花 田宏峰 特约编辑:牛雪峰

印 刷:涿州市京南印刷厂

装 订:涿州市桃园兴华装订厂

出版发行:电子工业出版社

北京市海淀区万寿路173信箱 邮编 100036

开 本:787×1092 1/16 印张:28 字数:710千字

印 次:2009年7月第1次印刷

印 数:3500册 定价:59.00元

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题,请向购买书店调换。若书店售缺,请与本社发行部联系,联系及邮购电话:(010)88254888。

质量投诉请发邮件至 zltz@phei.com.cn, 盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

服务热线:(010)88258888。

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、事务管理、通信、日常生活等各个领域产生重要的影响。在后 PC 时代，嵌入式系统的广阔应用将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、现代农业、家用电器、汽车电子、测控系统、数据采集等）；另一类是计算机应用的延伸（如 MP4、手机、通信、网络、计算机外围设备等）。不论如何分类，嵌入式系统的技术基础是不变的，即要完成一个以 MCU 为核心的嵌入式系统应用产品设计，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，嵌入式软件构件化开发方法逐步被业界所重视。本书以嵌入式硬件构件与底层软件构件设计为主线，按照嵌入式软件工程的要求，以飞思卡尔半导体公司的 32 位 ColdFire 系列微控制器中帶以太网接口的 MCF52233、帶 CAN 总线接口的 MCF52235、帶 USB2.0 接口的 MCF52223 三个型号为蓝本，按照“通用知识—芯片编程结构概要—基本编程方法—底层驱动构件封装—应用方法与举例”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。

关于飞思卡尔 ColdFire 系列微控制器

飞思卡尔半导体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 等）、不同温度范围、所含模块不同等构成了庞大的飞思卡尔微控制器产品系列，广泛地应用于汽车电子、消费电子、工业控制、网络和无线市场等嵌入式系统各个领域。该公司每年的研发投入超过 12 亿美元。飞思卡尔公司的 ColdFire 系列单芯片微控制器解决方案主要面向工业/家庭自动化、远程数据采集与控制、医疗仪表、照明控制节点、以太网应用、USB 应用、ZigBee™ 控制节点等领域。该公司自 2006 年开始提供 32 微控制器 MCF5223x、MCF5222x 部分样片以来，已经逐步形成了不同的功能、价格、集成度和调试能力的 32 位单芯片嵌入式应用的解决方案，使得用户可以各取所需。也就是说，面向电子系统智能化嵌入式应用的设计，无论需要怎样的系统功能和集成度，总能从 ColdFire 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。本书是第一本以完整实例方式阐述飞思卡尔 MCF5223x 与 MCF5222x 应用设计的著作。

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络光盘中，避免了因例程的书写或固有错误给读者带来烦恼。这些测试用例，也为读者验证与理解带来方便。

(5) 网络光盘提供了所有模块完整的底层驱动构件化封装程序、文档与测试用例，同时网络光盘中还包含芯片参考手册、写入器安装与使用方法、工具软件（如开发环境、程序写入与读出软件、串口调试工具、USB 工具、以太网工具）、有关硬件原理图及其他技术资料。

(6) 提供硬件评估版、写入调试器，并给出单独进行程序写入与读出的软件工具，方便读者进行实践与应用。

主要内容

全书共 16 章，其中第 1 章为概述，阐述嵌入式系统的知识体系、学习误区、学习建议。第 2~3 章概述 ColdFire 系列微处理器特点，给出 MCF52233 的引脚功能与硬件最小系统电路，同时给出了第一个样例程序及 ColdFire 工程组织，完成第一个 ColdFire 工程的入门。第 4~10 章分别给出 UART、键盘、LED 与 LCD、A/D、定时器、QSPI、I2C 与 Flash 存储器在线编程等。第 11~15 分别给出 MCF52235 的 CAN 总线、基于 MCF52233 嵌入式以太网、MCF52233 的其他模块、MCF52223 的 USB 2.0 编程、 $\mu\text{C}/\text{OS-II}$ 在 ColdFire 上的移植与应用，第 16 章给出基于硬件构件的嵌入式系统开发方法。附录 A 给出了本书使用的 ColdFire 系列 MCU 芯片封装；附录 B 给出了写入器、评估板及购买方法；附录 C 给出了常见实践问题解答。

本书网络光盘下载地址

为方便读者，本书网络光盘可从下列地址之一进行下载，给出多个地址的目的是防止

从某一地址下载不成功。作者可能每半年对下载内容进行更新，敬请读者关注。

电子工业出版社华信教育资源网（教育网：www.huaxin.edu.cn或公网：www.huaxin.com.cn）免费注册后下载；苏州大学飞思卡尔嵌入式系统研发中心：<http://sumcu.suda.edu.cn>；苏州苏大万佳技术有限公司：<http://sueee.com.cn>；昆山鑫盛盟创科技有限公司：<http://www.xsmc.net>；上海卓嘉电子有限公司：<http://www.can-lin.com>。

致谢

本书除封面署名作者外，还有苏州大学计算机科学与技术学院嵌入式应用方向研究生王玉丽、屯娜、姚键东、王凤林、钱仇圣、舒胜强、钟海林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、马莉女士一直关心支持苏州大学飞思卡尔嵌入式系统研发中心的建设，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。电子工业出版社的高买花女士、田宏峰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。

作 者

2009 年 7 月于苏州大学

目 录

第 1 章 概述	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	3
1.2 嵌入式系统的知识体系、学习误区及学习建议	4
1.2.1 嵌入式系统的知识体系	4
1.2.2 嵌入式系统的学习误区	5
1.2.3 基础阶段的学习建议	8
1.3 嵌入式系统常用术语	9
1.3.1 与硬件相关的术语	9
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 嵌入式系统常用的标准 C 语言基本语法概要	13
1.5 本书学习与实践资料索引	22
第 2 章 ColdFire 概述与 MCF52233 硬件最小系统	24
2.1 ColdFire 系列微处理器概述	24
2.2 MCF5223x 系列微控制器存储器映像与编程结构	26
2.2.1 MCF5223x 性能概述与内部结构简图	26
2.2.2 MCF5223x 存储器映像	28
2.2.3 编程模式与寻址方式	28
2.2.4 ColdFire 异常和中断控制	31
2.3 MCF52233 的引脚功能与硬件最小系统	33
2.3.1 MCF52233 的引脚功能	33
2.3.2 MCF52233 的硬件最小系统	35
2.3.3 硬件最小系统测试方法	38
第 3 章 第一个样例程序及 ColdFire 工程组织	41
3.1 通用 I/O 接口基本概念及连接方法	41
3.2 MCF52233 的 GPIO	43
3.2.1 MCF52233 GPIO 编程的基本原理	43

3.2.2	GPIO 模块寄存器与 GPIO 的编程基本方法	44
3.3	开发套件 CodeWarrior 开发环境与 ColdFire 写入器	46
3.3.1	CodeWarrior 开发环境简介与基本使用方法	46
3.3.2	WA- I 型 32 位 ColdFire 写入器	47
3.3.3	MCF52233EVB 硬件评估板	48
3.4	CW 工程文件组织	48
3.4.1	工程文件的组织	48
3.4.2	初始化相关文件	50
3.4.3	主程序、中断程序及其他文件	53
3.4.4	链接文件及机器码文件	56
3.5	第一个应用实例：控制小灯闪烁	59
3.5.1	GPIO 构件	60
3.5.2	Light 构件	65
3.5.3	Light 测试工程主程序	67
3.6	理解第一个 C 工程的执行过程	68
第 4 章	异步串行通信与直接存储器访问	71
4.1	异步串行通信的基础知识	71
4.1.1	基本概念	71
4.1.2	RS-232C 总线标准	73
4.1.3	电平转换电路原理	74
4.2	MCF52233 的 UART 模块的物理结构	76
4.3	MCF52233 的 UART 模块的编程结构	79
4.4	基于构件方法的 UART 编程	82
4.4.1	UART 构件的函数原型设计	82
4.4.2	UART 构件的头文件	83
4.4.3	UART 构件的源程序文件	86
4.4.4	UART 构件的测试工程	91
4.5	ColdFire 第一个带有中断功能的实例	92
4.6	MCF52233 的四通道 DMA 控制器	95
4.6.1	DMA 概述	95
4.6.2	MCF52233 四通道 DMA 特点	95
4.6.3	MCF52233 的 DMA 控制器编程结构	96
4.7	MCF52233 的 DMA 编程要点	99
4.7.1	DMA 初始化	100
4.7.2	DMA 启动序列与重启序列	100
4.8	基于构件的带 DMA 的 UART 编程实例	101
4.8.1	DMA 构件的函数原型设计	101

4.8.2	DMA 构件的头文件	101
4.8.3	DMA 构件的源程序文件	105
4.8.4	DMA 方式收/发测试实例	108
4.9	进一步讨论	110
4.9.1	流控制与 Break 信号	110
4.9.2	延长串口通信的距离	111
4.9.3	串口的扩展	111
第5章	GPIO 的应用实例——键盘、LED 与 LCD	113
5.1	键盘	113
5.1.1	键盘模型及接口	113
5.1.2	键盘编程的基本问题	114
5.1.3	键盘编程实例	114
5.2	码管 LED	121
5.2.1	描法编程原理	121
5.2.2	码管编程实例	122
5.3	液晶 LCD	126
5.3.1	HD44780 的编程结构	126
5.3.2	点阵字符型 LCD 编程实例	127
第6章	MCF52233 的 A/D 转换模块	133
6.1	A/D 转换的基本问题	133
6.2	MCF52233 的 A/D 转换结构与特性	134
6.3	MCF52233 的 A/D 模块编程寄存器	135
6.4	基于构件的 A/D 编程	144
6.4.1	A/D 构件的函数原型设计	144
6.4.2	A/D 构件的头文件	145
6.4.3	A/D 构件的源程序文件	146
6.5	MCF52233 A/D 模块编程实例——物理量采集回归系统	149
6.5.1	低端软件设计	149
6.5.2	高端软件设计	151
6.6	常用传感器简介及一个典型信号采样电路设计	152
6.6.1	常用传感器简介	152
6.6.2	电阻型传感器采样电路设计	154
第7章	定时器相关模块及其应用	156
7.1	可编程中断定时器	156
7.1.1	PIT 模块的编程寄存器	156
7.1.2	PIT 模块的运行模式与编程方法	157

7.1.3	PIT 模块的编程实例	158
7.2	通用定时器 GPT 模块	161
7.2.1	计数器/定时器的基本工作原理	161
7.2.2	定时器模块的定时计数功能	162
7.2.3	定时器模块的输入捕捉功能	166
7.2.4	定时器模块的输出比较功能	171
7.2.5	定时器模块的脉冲累加功能	174
7.3	PWM 与 D/A 转换	177
7.3.1	PWM 基本概念	177
7.3.2	PWM 的编程寄存器	179
7.3.3	PWM 的编程实例	182
7.3.4	PWM 的进一步讨论	189
7.3.5	用 PWM 实现 D/A 转换	190
第 8 章	队列式串行外设接口	191
8.1	SPI 的基本工作原理	191
8.1.1	SPI 基本概念	191
8.1.2	SPI 的数据传输	192
8.1.3	SPI 模块的时序	193
8.1.4	模拟 SPI	194
8.2	MCF52233 队列串行外设接口 (QSPI) 模块编程结构	195
8.2.1	QSPI 概述	195
8.2.2	QSPI 工作原理	196
8.2.3	QSPI 功能描述	197
8.2.4	QSPI 模块寄存器	198
8.2.5	发送延时	202
8.3	MCF52233 的串行外设接口 QSPI 模块编程实例	203
第 9 章	I2C 模块及应用实例	209
9.1	I2C 模块	209
9.1.1	I2C 总线特点	209
9.1.2	I2C 总线标准的发展历史	210
9.1.3	I2C 总线的相关术语	210
9.2	I2C 总线工作原理	211
9.2.1	总线上数据的有效性	211
9.2.2	总线上的信号	211
9.2.3	总线上数据传输格式	213
9.2.4	I2C 总线寻址约定	213

9.2.5 主机向从机读/写 1 个字节数据的过程	213
9.3 I2C 模块的编程基础	214
9.3.1 MCF52233 的 I2C 模块	214
9.3.2 MCF52233 的 I2C 模块寄存器介绍	215
9.3.3 MCF52233 的 I2C 模块编程	218
9.4 MCF52233 的 I2C 模块的进一步讨论	224
9.4.1 仲裁程序	224
9.4.2 实现数据传输同步交换	225
第 10 章 Flash 在线编程	226
10.1 Flash 存储器概述	226
10.2 ColdFire Flash 存储器编程方法	227
10.2.1 ColdFire Flash 模块寄存器	228
10.2.2 ColdFire Flash 存储器擦除/写入的步骤	231
10.3 ColdFire Flash 擦除/写入函数的测试工程	236
10.4 ColdFire Flash 存储器的保护特性和安全性	237
10.4.1 ColdFire Flash 存储器的保护特性	237
10.4.2 ColdFire Flash 存储器的安全性	237
第 11 章 MCF52235 FlexCAN 模块编程方法	241
11.1 CAN 总线通用知识	241
11.1.1 CAN 总线协议的历史概况	241
11.1.2 CAN 硬件系统的典型电路	241
11.1.3 CAN 总线的有关基本概念	244
11.1.4 帧结构	247
11.1.5 位时间	250
11.2 MCF52235 FlexCAN 模块概述与编程结构	251
11.2.1 FlexCAN 特性	251
11.2.2 操作模式	252
11.2.3 FlexCAN 模块的内存映像以及寄存器定义	254
11.2.4 FlexCAN 报文缓冲区 (Message Buffer, MB)	259
11.3 MCF52235 FlexCAN 模块报文发送与接收函数设计	263
11.3.1 数据帧发送/接收	263
11.3.2 远程帧发送/接收	267
11.3.3 仲裁处理、匹配处理及报文缓冲区管理	271
11.4 MCF52235 FlexCAN 模块编程实例	272
11.4.1 初始化函数设计	272
11.4.2 MCF52235 FlexCAN 模块测试工程说明	274

11.5 进一步讨论	276
第 12 章 基于 MCF52233 的嵌入式以太网	280
12.1 嵌入式以太网相关基础知识	280
12.1.1 以太网的由来与协议模型	280
12.1.2 以太网中主要物理设备	283
12.1.3 相关名词解释	284
12.2 MCF52233 以太网模块外部连接及编程基础	288
12.2.1 以太网模块引脚及硬件连接	288
12.2.2 以太网物理层收/发器 EPHY 的编程基础	290
12.2.3 第一个测试实例：网络连接	294
12.2.4 快速以太网控制器 FEC 的编程基础	299
12.3 链路层编程	307
12.3.1 FEC 初始化函数 FEC_Init	307
12.3.2 以太帧发送	311
12.3.3 以太帧接收	313
12.3.4 第二个测试实例：以太帧的发送和接收	315
12.3.5 第三个测试实例：链路层 ARP 协议编程	317
12.4 网络层的 IP 协议与 ICMP 协议编程	320
12.4.1 IP 协议简介	320
12.4.2 第四个测试实例：使用 ICMP 协议响应 Ping 请求	322
12.5 传输层的 UDP 与 TCP 协议编程	324
12.5.1 UDP 协议概述	324
12.5.2 第五个测试实例：UDP 报文的发送和接收	324
12.5.3 TCP 协议概述	326
12.5.4 第六个测试实例：TCP 报文的发送和接收	326
12.6 应用层的 HTTP 协议编程	329
12.6.1 HTTP 协议概述	330
12.6.2 第七个测试实例：HTTP 协议静态页面的实现	332
第 13 章 其他模块	333
13.1 时钟模块	333
13.2 芯片配置模块	334
13.2.1 芯片配置模块简介	335
13.2.2 芯片配置模块寄存器定义	335
13.3 系统控制模块	336
13.3.1 系统控制模块功能概述	336
13.3.2 系统控制模块的可编程寄存器	337

13.3.3 对系统初始化过程的理解	339
13.4 实时时钟模块	341
13.5 电源管理模块	343
13.5.1 低功耗模式	343
13.5.2 低功耗模式下的外设行为	344
13.5.3 电源管理模块寄存器定义	344
13.6 复位控制模块	345
第 14 章 基于 MCF52223 的 USB 2.0 编程	347
14.1 USB 基本概念及硬件特性	347
14.1.1 USB 概述	347
14.1.2 USB 相关基本概念	349
14.1.3 USB 的物理特性	354
14.2 USB 的通信协议	356
14.2.1 USB 基本通信单元: 包	356
14.2.2 USB 通信中的事务处理	358
14.2.3 从设备的枚举看 USB 数据传输	360
14.3 MCF52223 硬件最小系统及 USB 模块功能简介	364
14.3.1 MCF52223 硬件最小系统	364
14.3.2 MCF52223 的 USB 模块功能简介	365
14.3.4 MCF52223 的 USB 模块主要寄存器介绍	366
14.4 MCF52223 作为 USB 从机的开发方法	370
14.4.1 PC 端 USB 设备驱动程序的选择及基本原理	370
14.4.2 PC 作为 USB 主机的程序设计	374
14.4.3 MCF52223 作为 USB 从机的程序设计	377
14.5 MCF52223 作为 USB 主机的开发方法	381
14.5.1 MCF52223 作为 USB 主机的基本功能	381
14.5.2 USB 主机与 CDC 类 USB 设备通信	383
14.5.3 USB 主机与 MassStorage 类 USB 设备通信	384
14.6 采用 OTG 技术的 USB 系统开发方法	384
第 15 章 μC/OS- II 在 ColdFire 上的移植与应用	388
15.1 实时操作系统概述	388
15.1.1 实时操作系统基本含义和要求	388
15.1.2 任务和多任务	388
15.1.3 RTOS 的常用术语	389
15.1.4 RTOS 的现状	390
15.2 嵌入式实时操作系统 μ C/OS- II	392

15.2.1	μ C/OS-II 简介	392
15.2.2	μ C/OS-II 与几种 RTOS 的比较	393
15.2.3	μ C/OS-II 中的任务	393
15.2.4	μ C/OS-II 用户应用程序的一般结构	394
15.3	μ C/OS-II 的任务划分	395
15.3.1	任务划分的目标	396
15.3.2	任务划分的方法	396
15.4	μ C/OS-II 在 MCF52233 上的应用实例	398
15.4.1	基于 μ C/OS-II 的应用实例	398
15.4.2	与无 RTOS 实例的比较	400
15.5	μ C/OS-II 在 MCF52233 上的移植	401
15.5.1	定义内核的大小和功能	401
15.5.2	与硬件相关的代码	403
第 16 章	基于硬件构件的嵌入式系统开发方法	407
16.1	嵌入式系统开发所遇到的若干问题	407
16.2	嵌入式硬件构件的基本思想与应用方法	408
16.3	基于硬件构件的嵌入式系统硬件电路设计原则	408
16.3.1	设计时需要考虑的基本问题	408
16.3.2	硬件构件化电路原理图绘制规则	409
16.3.3	PCB 设计基本原则	411
16.4	基于硬件构件的嵌入式底层软件构件的编程方法	413
16.4.1	嵌入式硬件构件和软件构件的层次模型	413
16.4.2	底层构件的实现方法与编程思想	414
16.4.3	硬件构件及底层软件构件的重用与移植方法	416
16.5	硬件构件化嵌入式开发技术的应用实例	417
16.5.1	系统功能	417
16.5.2	硬件设计	418
16.5.2	软件设计	422
附录 A		425
附录 B		427
附录 C		430
参考文献		434

第1章 概 述

作为全书导引,本章内容与具体芯片无关。主要内容有:简要给出嵌入式系统定义、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;归纳嵌入式系统的常用术语;给出嵌入式系统常用的标准 C 语言基本语法概要;对本书提供的学习与实践资料给出概要说明与索引。

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)有多种多样的定义,但本质是相同的。本书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《Embedded System Dictionary》¹。

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,如微波炉、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做嵌入式系统,而只能把其中起控制作用的部分叫做嵌入式系统,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统的理解就没有关系。

为了更清楚地阐述嵌入式系统特点,首先介绍大多数嵌入式系统的核心部件——单

¹ 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。



片机（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. 单片机（微控制器）的基本含义

单片机是单片微型计算机的简称，早期的英文名是 Single-chip Microcomputer，后来大多数称为微控制器或嵌入式计算机（Embedded Computer）。现在 Microcontroller 已经是计算机中一个常用术语，但在 1990 年之前，大部分英文词典并没有这个词。我国学者一般使用中文“单片机”一词，而缩写使用“MCU”²。所以本书后面的简写一律以 MCU 为准。MCU 的基本含义是：在一块芯片上集成了中央处理单元（CPU）、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。

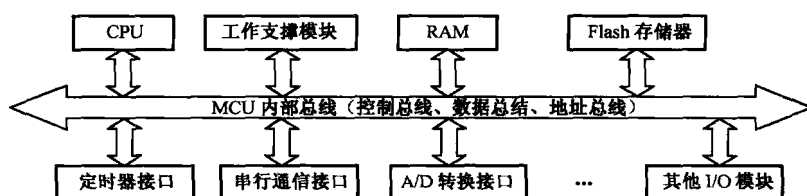


图 1-1 一个典型的 MCU 内部框图

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、输出设备五部分组成，只不过这些都集成在一块芯片上，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，一种称为单片机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，而把嵌入到实际应用系统中，实现嵌入式应用的计算机称为嵌入式计算机系统，简称为嵌入式系统。

² MCU 的英文全称是 Microcontroller Unit。



3. 嵌入式系统与 MCU 的关系

何立民先生说：“有些人搞了十多年的单片机应用，不知道单片机就是一个最典型的嵌入式系统”³。实际上，MCU 是在通用 CPU 基础上发展起来的，MCU 具有体积小、价格低、稳定可靠等优点，它的出现和迅猛发展，是控制系统领域的一场技术革命。MCU 以其较高的性能价格比、灵活性等特点，在现代控制系统中具有十分重要的地位。**大部分嵌入式系统以 MCU 为核心进行设计。**MCU 从体系结构到指令系统都是按照嵌入式系统的应用特点专门设计的，它能很好地满足应用系统的嵌入、面向测控对象、现场可靠运行等方面的要求。因此**以 MCU 为核心的系统是应用最广的嵌入式系统。**在实际应用时，开发者是根据具体要求选用最佳型号的 MCU 嵌入到实际应用系统中的。

在 MCU 出现之前，人们必须用模拟电路、数字电路实现大部分计算与控制功能，这样使得控制系统体积庞大，易出故障。MCU 出现以后，情况发生了变化，系统中的大部分计算与控制功能由 MCU 的软件实现。其他电子线路成为 MCU 的外围接口电路，承担着输入、输出与执行动作等功能，而计算、比较与判断等原来必须用电路实现的功能，可以用软件取代，大大地提高了系统的性能与稳定性，这种控制技术称为嵌入式控制技术。在嵌入式控制技术中，核心是 MCU，其他部分依此而展开。



1.1.3 嵌入式系统的特点

要谈嵌入式系统特点，不同学者也许有不同说法。本书从与通用计算机对比的角度谈嵌入式系统的特点。

1. 嵌入式系统是计算机系统，但不单独以通用计算机面目出现

嵌入式系统的本名称叫做嵌入式计算机系统（Embedded Computer System），它不仅具有通用计算机的主要特点，又具有自身特点。嵌入式系统也必须要有软件才能运行，但其隐含在种类众多的具体产品中。同时，通用计算机种类屈指可数，而嵌入式系统不仅芯片种类繁多，而且由于应用对象大小各异，嵌入式系统作为控制核心，已经融入到了各个行业的产品之中。

2. 嵌入式系统开发需要专用工具和特殊方法

嵌入式系统不像通用计算机那样有了计算机系统就可以进行应用开发。一般情况下，其 MCU 芯片本身不具备开发功能，必须要有一套与相应芯片配套的开发工具和开发环境。这些工具和环境一般基于通用计算机上的软硬件设备以及各种逻辑分析仪、混合信号示波器等。开发时往往有主机和目标机的概念，主机用于程序的开发，目标机作为最后的执行机，开发时需要交替结合进行。

3. 使用 MCU 设计嵌入式系统，数据与程序空间采用不同存储介质

在通用计算机系统中，程序存储在硬盘上。实际运行时，通过操作系统将要运行的程序从硬盘调入内存（RAM），运行中的程序、常数、变量均在 RAM 中。而以 MCU 为

³ 《单片机与嵌入式系统应用》，2004 年第 1 期。