

飞思卡尔大学计划用书

嵌入式系统 设计实战

——基于飞思卡尔S12X微控制器

王宜怀 曹金华 编著



北京航空航天大学出版社
BEIHANG UNIVERSITY PRESS

飞思卡尔大学计划用书

嵌入式系统设计实战 ——基于飞思卡尔 S12X 微控制器

王宜怀 曹金华 编著

北京航空航天大学出版社

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)16位S12X系列微控制器中MC9S12XS128为蓝本阐述嵌入式系统的软件与硬件设计。全书共11章,其中第1章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XS128硬件最小系统,并简要介绍S12XCPU(CPU12X)。第3章给出第一个样例程序及CodeWarrior工程组织,完成第一个S12X工程的入门。第4章给出基于硬件构件的嵌入式系统开发方法。第5章阐述串行通信接口SCI,并给出第一个带中断的实例。1~5章介绍了学习一个新MCU完整要素(知识点)的入门。6~12章分别介绍GPIO的应用(键盘、LED及LCD)、定时器(含PWM)、串行外设接口SPI、Flash存储器在线编程、CAN总线、A/D转换及S12XS128其他模块等。附录给出相关资料。

本书涉及的实例源程序、辅助资料、相关芯片资料及常用软件工具,可在北航出版社下载中心或苏州大学飞思卡尔嵌入式系统研发中心网站(sumcu.suda.edu.cn)下载。

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

图书在版编目(CIP)数据

嵌入式系统设计实战:基于飞思卡尔S12X微控制器
/王宜怀,曹金华编著. —北京:北京航空航天大学出版社,2011.5

ISBN 978-7-5124-0423-6

I. ①嵌… II. ①王… ②曹… III. ①微型计算机—系统设计 IV. ①TP360.21

中国版本图书馆CIP数据核字(2011)第074722号

版权所有,侵权必究。

嵌入式系统设计实战 ——基于飞思卡尔S12X微控制器

王宜怀 曹金华 编著

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)82328026

读者信箱:emsbook@gmail.com 邮购电话:(010)82316936

北京时代华都印刷有限公司印装 各地书店经销

*

开本:787×960 1/16 印张:27.5 字数:616千字

2011年5月第1版 2011年5月第1次印刷 印数:4 000册

ISBN 978-7-5124-0423-6 定价:49.00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、事物管理、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、传感网应用等);另一类是计算机应用的延伸(如手机、电子图书、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,嵌入式软硬件构件化开发方法逐步被业界所重视。

本书基本思想

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 16 位 S12X 系列微控制器中 MC9S12XS128 为蓝本阐述嵌入式系统的软件与硬件设计。教育部支持的高校科技竞赛之一“全国大学生飞思卡尔杯智能汽车竞赛”,从第四届(2009 年)开始,使用 S12XS128 芯片作为主控制器,一些学校也以此为蓝本进行嵌入式系统及应用教学,本书的主要目的是配合这两项工作。

我是从 1991 年开始从事单片机与嵌入式系统科研与教学工作的。1991—1999 年,使用 MCS-51 系列 MCU。2000 年至现在,一直使用飞思卡尔的 MCU。十多年来,陆续以飞思卡尔的 HC08/S08(8 位)、S12/S12X(16 位)、ColdFire(32 位)、M*Core(32 位,该内核转给中国后称为 C*Core)进行科研开发与教学工作,并以这些 MCU 为蓝本先后写了一些嵌入式应用技术入门方面的书,得到了大多数读者的肯定,深受感动。2010—2011 年,苏州大学嵌入式团队的工作重点是进行 ARM Cortex-M4 核 Kinetis 系列 MCU(K60)、新型 Zigbee 芯片 MC1323x、DSC 芯片 MC56F825x 等方面的工作,这些工作成果也将会逐步与读者分享。在写作方面,多年来一直在探索如何能够使读者不误入歧途,如何能够快速入门,如何能够规范编程,如何能够由浅入深、循序渐进,如何能够使读者打好嵌入式硬件与软件基础。为此从以下



几点把握写作：

① 把与芯片无关的通用知识分离出来，从涉及底层编程角度对基本原理进行简明扼要的阐述，分别放入相应章节的前面或网上光盘中。这些知识主要包括通用 I/O、串行通信、键盘编码原理、LED 扫描原理、SPI、PWM、USB、I²C、CAN、A/D、D/A、嵌入式以太网等。并在各书中基本保持不变。这一点是接受了飞思卡尔全球大学计划负责人 Andy Mastronardi 先生的建议，经过几年不断修改完善，可把通用部分斟酌得更好一些，也使得 8 位、16 位、32 位的书风格保持一致。新的芯片出来后，书的修改只要更新与芯片的相关部分。

② 硬件相关的部分，采用了硬件构件思想，制定了一些基本规范，对底层驱动进行构件化封装，提高了可复用性与可移植性。使程序结构更加清晰，初学者可以“先使用、后理解”。

③ 不论是 8 位、16 位、32 位，也不论是哪种芯片，从编程角度把与硬件相关的共性和与硬件无关的共性分别抽象出来，力求做到，硬件相关部分风格一致，硬件无关部分程序一致。这样便于融会贯通，不再纠结芯片位数、操作系统等问题。

关于飞思卡尔微控制器

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、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 广泛应用于汽车电子、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，为嵌入式系统各种应用提供了选择与解决方案，使得用户可以各取所需。

本书特点

2009 年，我编写了《基于 32 位 ColdFire 构建嵌入式系统》，2010 年编写了《嵌入式技术基础与实践（第 2 版）》。两书中系统阐述和应用了嵌入式构件开发思想，本书秉承这些工作，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。特点如下：

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,并保留在本书的网上光盘中,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、文档与测试用例,同时网上光盘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、串口调试工具等)、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。

本书主要内容

本书以飞思卡尔半导体 16 位 S12X 系列微控制器中 MC9S12XS128 为蓝本阐述嵌入式系统的软件与硬件设计。全书共 12 章,其中第 1 章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 XS128 硬件最小系统,并简要介绍 S12XCPU(CPU12X)。第 3 章给出第一个样例程序及 CodeWarrior 工程组织,完成第一个 S12X 工程的入门。第 4 章给出基于硬件构件的嵌入式系统开发方法。第 5 章阐述串行通信接口 SCI,并给出第一个带中断的实例。6~12 章分别介绍 GPIO 的应用(键盘、LED 及 LCD)、定时器(含 PWM)、A/D 转换及串行外设接口 SPI、Flash 存储器在线编程、CAN 总线、S12XS128 其他模块等。本书提供网上光盘,网上光盘中提供了本书所有实例源程序、辅助资料、相关芯片资料、常用软件工具及智能汽车竞赛参考资料,可在北航出版社下载中心或苏州大学飞思卡尔嵌入式系统研发中心网站(sumcu.suda.edu.cn)下载。

致 谢

本书除封面署名作者外,还得益于苏州大学计算机科学与技术学院嵌入式应用方向研究生姚丹丹、李翠霞、朱乐乐、冯上栋、石晶、苏勇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,为本书的编写提供了硬件及软件支持,并提出了许多宝贵建议。飞思卡尔半导体公司的许多技术人员提供了技术支持。北京航空航天大学出版社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。有兴趣的读者可以发送邮件到:yihuaiw@suda.edu.cn,与作者进一步沟通,也可以发送邮件到:xdhydc5@sina.com,与本书策划编辑联系。

王宜怀

2011 年 3 月于苏州大学

网上光盘资料目录结构

- [-] SD-WYH-S12XS128BOOK-CD (V1.0-2011)
 - [-] 01-整体资料
 - [+] 0101-开发环境CodelWarriro for S12X (V5.0)
 - [+] 0102-(S08-S12-ColdFire BDM) (写入器)安装与使用
 - 0103-仪器用户手册
 - 0104-CPU12X及XS128参考手册
 - 0105-SD-WYH-S12XS128BOOK (课件V1.0)
 - 0106-简介、前言及目录
 - [-] 02-分章MCU源程序
 - [-] SD-WYH-S12XS128BOOK-Program (V1.0)-2011
 - [+] ASM
 - [+] Ch03-GPIO (Light)_C
 - [+] Ch05-SCI_C
 - [+] Ch06-KBI-LED-LCD_C
 - [+] Ch07-Timer_C
 - [+] Ch08-AD-SPI_C
 - [+] Ch09-Flash
 - [+] Ch10-CAN_C
 - [+] Ch11-Other_C
 - [-] 03-PC机源程序
 - [+] ADC-C#
 - [+] SCI-C#
 - [+] Timer-C#
 - [-] 04-PC机免费工具
 - pcb_hanzi
 - USB辅助工具
 - USB转串口驱动
 - USB-转串口驱动CH341SER
 - [-] 05-分章阅读材料
 - 第01章 (概述)阅读资料
 - [+] 第02章 MCU阅读资料
 - 第03章 (第一个程序)阅读资料
 - 第04章 (构件开发方法)阅读资料
 - 第05章 (SCI)阅读资料
 - 第06章 (键盘、LED与LCD)阅读资料
 - 第08章 AD转换模块阅读资料
 - 第11章 其他阅读资料
 - [+] 06-全国大学生飞思卡尔杯智能汽车竞赛-参考资料
 - [+] 07-其他材料

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.....	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	13
第 2 章 S12X 系列 MCU 硬件最小系统及 CPU12X	26
2.1 S12X 系列 MCU 概述及型号标识	26
2.1.1 S12X 系列 MCU 概述	26
2.1.2 S12X 系列 MCU 型号标识	28
2.2 S12X 系列 MCU 的功能及存储器映像	29
2.2.1 S12X 系列 MCU 的功能	30
2.2.2 S12X 系列 MCU 的存储器映像及特点	31
2.3 XS128 的引脚功能及硬件最小系统	36
2.3.1 XS128(80 引脚 QFP 封装)的引脚功能	37
2.3.2 XS128 的硬件最小系统	40



2.3.3 硬件最小系统的焊接与测试步骤	43
2.4 CPU12X 的内部寄存器	44
2.5 CPU12X 的寻址方式	47
2.6 CPU12X 指令系统概要	51
2.6.1 数据传送类指令	53
2.6.2 算术运算类指令	56
2.6.3 逻辑运算类与位操作类指令	60
2.6.4 程序控制类指令	63
2.6.5 其他类指令	71
2.7 CPU12X 汇编语言基础	72
2.7.1 S12X 汇编源程序格式	72
2.7.2 S12X 汇编语言伪指令	74
第 3 章 第一个样例程序及 CodeWarrior 工程组织	77
3.1 通用 I/O 接口基本概念及连接方法	77
3.2 XS128 的 GPIO 寄存器与 GPIO 构件封装	79
3.2.1 XS128 的 GPIO 寄存器	79
3.2.2 GPIO 的简单编程方法	83
3.3 CodeWarrior 开发环境与 S08/S12/ColdFire 三合一写入器	84
3.3.1 CodeWarrior 开发环境简介与基本使用方法	85
3.3.2 S08/ S12/ ColdFire 三合一写入器	86
3.3.3 MC9S12XS128 硬件评估板	87
3.4 CW 环境 C 语言工程文件的组织	87
3.4.1 工程文件的逻辑组织结构	88
3.4.2 工程文件的物理组织结构	90
3.4.3 系统启动及初始化相关文件	91
3.4.4 芯片初始化、主程序、中断程序及其他文件	98
3.4.5 机器码文件(.s19 文件)的简明解释	101
3.4.6 lst 文件与 map 文件	103
3.4.7 如何在 CW 环境下新建一个 S12 工程	105
3.5 第一个 C 语言工程:控制小灯闪烁	105
3.5.1 GPIO 构件设计	106
3.5.2 Light 构件设计	113
3.5.3 Light 测试工程主程序	115

3.5.4 理解第一个 C 工程的执行过程	116
3.6 第一个汇编语言工程:控制小灯闪烁	117
3.6.1 汇编工程文件的组织	118
3.6.2 Light 构件汇编程序	122
3.6.3 Light 测试工程主程序	124
3.6.4 理解第一个汇编工程的执行过程	126
第 4 章 基于硬件构件的嵌入式系统开发方法	129
4.1 嵌入式系统开发所遇到的若干问题	129
4.2 嵌入式硬件构件的基本思想与应用方法	130
4.3 基于硬件构件的嵌入式系统硬件电路设计	131
4.3.1 设计时需要考虑的基本问题	131
4.3.2 硬件构件化电路原理图绘制的简明规则	133
4.3.3 实验 PCB 板设计的简明规则	135
4.4 基于硬件构件的嵌入式底层软件构件的编程方法	139
4.4.1 嵌入式硬件构件和软件构件的层次模型	139
4.4.2 底层构件的实现方法与编程思想	140
4.4.3 硬件构件及底层软件构件的重用与移植方法	141
第 5 章 串行通信接口 SCI	144
5.1 异步串行通信的通用基础知识	144
5.1.1 串行通信的基本概念	145
5.1.2 RS-232 总线标准	146
5.1.3 TTL 电平到 RS-232 电平转换电路	148
5.1.4 串行通信编程模型	149
5.2 SCI 模块的编程寄存器	150
5.3 SCI 编程实例	155
5.3.1 SCI 初始化与收发编程的基本方法	156
5.3.2 SCI 构件设计与测试实例	157
5.4 XS128 的中断源与第一个带有中断的编程实例	166
5.4.1 中断与异常的通用知识	166
5.4.2 XS128 的中断机制	166
5.4.3 XS128 的中断编程方法	171
5.4.4 XS128 的中断优先级编程实例	173



第 6 章	GPIO 的应用实例:键盘、LED 与 LCD	175
6.1	键盘技术概述	175
6.1.1	键盘模型及接口	175
6.1.2	键盘编程的基本问题	177
6.1.3	键盘构件设计与测试实例	178
6.2	LED 技术概述	184
6.2.1	扫描法 LED 显示编程原理	184
6.2.2	LED 构件设计与测试实例	186
6.3	LCD 技术概述	191
6.3.1	LCD 的特点和分类	191
6.3.2	点阵字符型液晶显示模块	193
6.3.3	HD44780	193
6.3.4	LCD 构件设计与测试实例	199
第 7 章	定时器相关模块	207
7.1	计数/定时器的基本工作原理	207
7.2	定时器模块的基本编程方法与实例	208
7.2.1	定时器模块计时功能的基本寄存器	210
7.2.2	定时器构件设计与测试实例	212
7.3	定时器模块输入捕捉功能的编程方法与实例	216
7.3.1	输入捕捉的基本含义	216
7.3.2	输入捕捉的寄存器	217
7.3.3	输入捕捉构件设计与测试实例	218
7.4	定时器模块输出比较功能的编程方法与实例	221
7.4.1	输出比较的基本知识	222
7.4.2	用于输出比较功能的相关寄存器	222
7.4.3	输出比较构件设计与测试实例	224
7.5	定时器模块脉冲累加功能的编程方法与实例	226
7.5.1	脉冲累加的基本知识	226
7.5.2	脉冲累加功能的相关寄存器	227
7.5.3	脉冲累加器构件设计	228
7.6	脉宽调制模块	231
7.6.1	PWM 工作原理	231

7.6.2 XS128 的 PWM 的特点及模块框图	232
7.6.3 脉宽调制模块 PWM 相关寄存器	233
7.6.4 PWM 构件设计及测试实例	236
7.7 周期中断定时器模块 PIT	243
7.7.1 PIT 模块功能描述	243
7.7.2 PIT 模块的编程寄存器	245
7.7.3 PIT 构件设计与测试实例	248
第 8 章 A/D 与 SPI	252
8.1 A/D 通用知识	252
8.1.1 A/D 的基本问题	252
8.1.2 A/D 转换器	253
8.1.3 A/D 转换常用传感器简介	254
8.1.4 电阻型传感器采样电路设计	255
8.2 A/D 模块的编程寄存器	257
8.3 A/D 模块编程方法与实例	264
8.3.1 A/D 模块基本编程方法	264
8.3.2 A/D 构件设计与测试实例	265
8.4 SPI 的基本工作原理	270
8.4.1 SPI 基本概念	270
8.4.2 SPI 的数据传输	272
8.4.3 SPI 模块的时序	272
8.4.4 模拟 SPI	276
8.5 SPI 模块的编程寄存器	276
8.6 SPI 构件设计与测试实例	282
第 9 章 Flash 存储器在线编程	289
9.1 S12X 系列 MCU 的 Flash 存储器的特点及分页机制	289
9.1.1 S12X 系列 MCU 的 Flash 存储器的特点	290
9.1.2 XS128 的 Flash 存储器分页机制	290
9.2 Flash 存储器编程方法	295
9.2.1 Flash 存储器编程的基本概念	295
9.2.2 Flash 存储器的编程寄存器	296
9.2.3 FCCOB - NVM 命令模式	300



9.2.4	Flash 存储器的编程步骤	301
9.3	D-Flash 在线编程	303
9.4	P-Flash 在线编程	308
9.5	Flash 存储器的保护特性和安全性	313
9.5.1	Flash 存储器的配置区域	313
9.5.2	Flash 存储器的保护特性	314
9.5.3	Flash 存储器的安全性	317
第 10 章	CAN 总线	321
10.1	CAN 总线通用知识	321
10.1.1	CAN 总线协议的历史概况	321
10.1.2	CAN 硬件系统的典型电路	321
10.1.3	CAN 总线的有关基本概念	324
10.1.4	帧结构	327
10.1.5	位时间	331
10.2	MSCAN 模块简介	332
10.2.1	MSCAN 特性	333
10.2.2	报文存储结构、标识符验收过滤与时钟系统	334
10.2.3	CAN 模块的主要运行模式、低功耗选项、中断与响应	341
10.3	MSCAN 模块的内存映射及寄存器定义	345
10.3.1	MSCAN 模块内存映射	345
10.3.2	MSCAN 模块寄存器	346
10.4	MSCAN 模块双机通信测试实例	360
10.4.1	测试模型	360
10.4.2	编程要点	360
10.4.3	CAN 模块底层构件设计	361
10.4.4	测试操作要点	374
10.5	MSCAN 模块的自环通信实例	374
10.5.1	测试模型	374
10.5.2	编程要点及设计代码	374
第 11 章	系统时钟与其他功能模块	378
11.1	时钟与复位产生模块概述	378
11.1.1	锁相环技术	378

11.1.2	CRG 模块框图	380
11.1.3	CRG 模块的工作模式	381
11.1.4	XS128 内部锁相环结构	383
11.2	XS128 的 CRG 模块的初始化	384
11.2.1	XS128 的 CRG 模块寄存器	384
11.2.2	初始化编程方法与实例	389
11.3	CRG 模块的其他功能	392
11.3.1	CRG 产生复位信号	392
11.3.2	中 断	397
11.4	XS128 的 $\overline{\text{IRQ}}$ 、 $\overline{\text{XIRQ}}$ 引脚、RTI、BRK 及 SWI 中断	398
11.4.1	$\overline{\text{IRQ}}$ 与 $\overline{\text{XIRQ}}$ 引脚中断	398
11.4.2	实时中断	398
11.4.3	调试模块 DBG 与软件中断 SWI 指令	399
附录 A	XS128 的映像寄存器	400
附录 B	S08/S12/ColdFire BDM 简明使用方法	410
附录 C	常见实践问题集锦	414
附录 D	XS128 的 C 语言函数库	417
附录 E	XS128 的中断源与中断向量表	421
参考文献		424

第 1 章

概 述

作为全书导引,本章主要知识点有:①简要给出嵌入式系统定义、由来及特点;②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;③归纳嵌入式系统的常用术语;④给出嵌入式系统常用的 C 的基本语法概要。网上光盘的【第 01 章(概述)阅读资料】中还补充给出了嵌入式 C 语言工程简明规范与嵌入式 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》:

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,用作通用计算平台。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统的理解就没有关系。

为了更清楚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——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”。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。

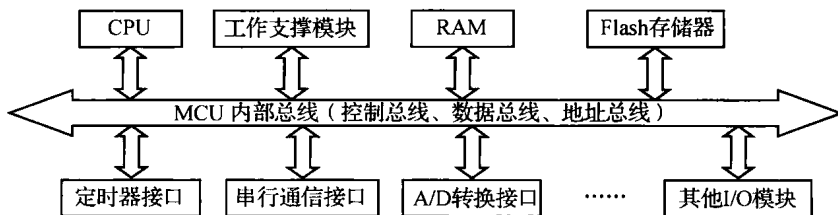


图 1-1 一个典型的 MCU 内部框图

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 5 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,一种称之为 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,而把嵌入到实际应用系统中,实现嵌入式应用的计算机称之为嵌入式计算机系统,简称嵌入式系统。

3. 嵌入式系统与 MCU 的关系

何立民教授说:“有些人搞了十多年的 MCU 应用,不知道 MCU 就是一个最典型的嵌入式系统”。实际上,MCU 是在通用 CPU 基础上发展起来的,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,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,开发者可以根据具体要求与应用场合、选用最佳型号的 MCU 嵌入到实际应用系统中。

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,这种控制技术称之为嵌入式控制技术。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。这里从与通用计算机对比的角度谈嵌入式系统的特点。

① 嵌入式系统属于计算机系统,但不单独以通用计算机的面目出现。

嵌入式系统的本名叫嵌入式计算机系统(Embedded Computer System),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,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。