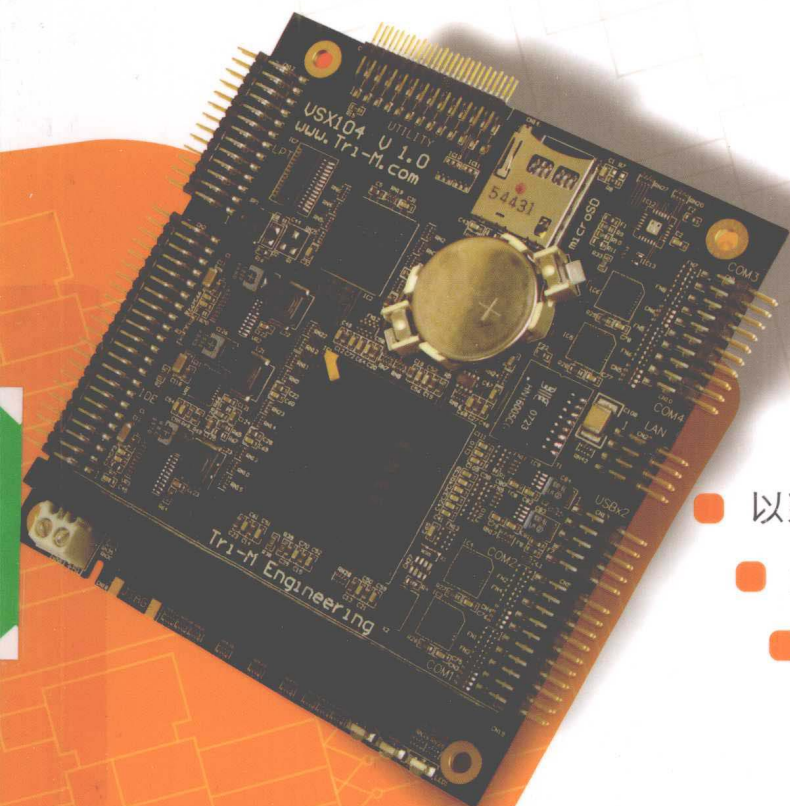


高等学校嵌入式系统课程适用教材

新编 嵌入式系统 原理·设计与应用

张大波 编著



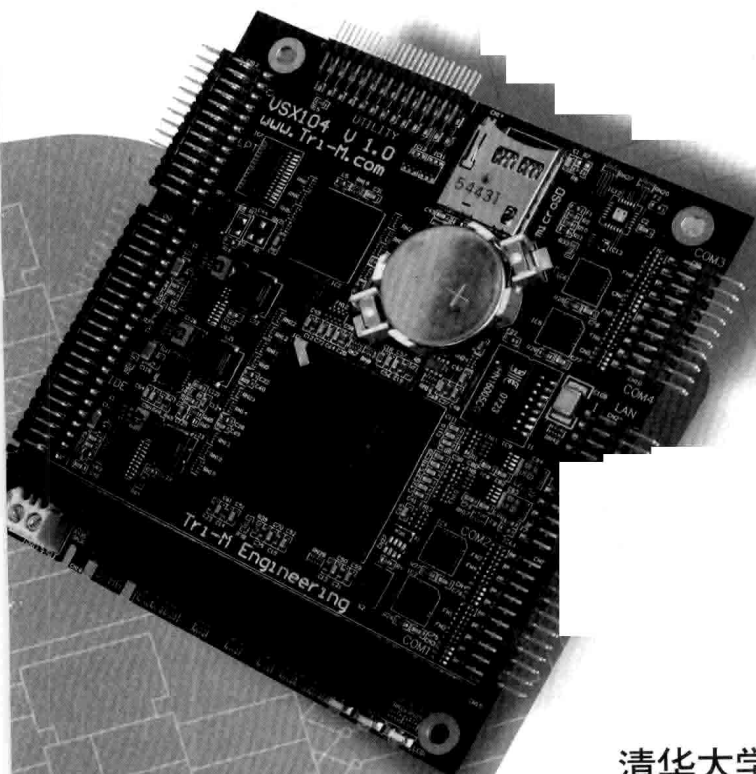
- 以系统级的总体设计为主线
- 注重软硬件模块化分析与设计
- 精心组织软硬件设计实例
- 免费赠送配套的电子课件

清华大学出版社

高等学校嵌入式系统课程适用教材

新编 嵌入式系统 原理·设计与应用

张大波◎编著



清华大学出版社
北京

内 容 简 介

本书主要介绍了嵌入式系统、嵌入式处理器和嵌入式操作系统的一般原理,以及嵌入式系统的开发方法、开发原则和方法论方面的内容。全书共分14章,第1章讲述嵌入式系统的基本概念、设计方法及原则;第2章介绍嵌入式系统开发的基本流程;第3章讲述嵌入式系统的硬件设计;第4章讲述嵌入式系统的存储器子系统;第5章讲述嵌入式处理器的I/O子系统的原理;第6章讲述裸机嵌入式系统的软件系统结构和应用特点;第7章讲述嵌入式操作系统的原理和基于多任务操作系统的软件开发;第8章讲述基于网络的嵌入式系统的设计与规划方法;第9章讲述嵌入式系统的软件组件原理和设计方法;第10章讲述常用嵌入式文件系统的原理和特点;第11章讲述嵌入式人机界面的应用与原理;第12章为案例分析;第13章讲述嵌入式系统的低功耗设计技术并分析功耗产生原因;第14章讲述嵌入式系统的电磁兼容性问题。

本书适合作为高等院校电气信息类专业(电气工程及其自动化、自动化、电子信息工程、通信工程、计算机科学与技术、电子科学与技术以及生物医学工程)高年级学生和研究生教材,或作为嵌入式计算方面的指导用书,也可供相关科技人员参考、学习使用。

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

新编嵌入式系统原理·设计与应用/张大波编著. —北京:清华大学出版社,2010.9
(高等院校嵌入式系统课程适用教材)

ISBN 978-7-302-23162-2

I. ①新… II. ①张… 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(2010)第122489号

责任编辑:朱英彪

封面设计:张岩

版式设计:魏远

责任校对:姜彦

责任印制:何芊

出版发行:清华大学出版社

地 址:北京清华大学学研大厦A座

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

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

质 量 反 馈:010-62772015, zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn

印 刷 者:北京密云胶印厂

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:185×260 印 张:31 字 数:713千字

版 次:2010年9月第1版 印 次:2010年9月第1次印刷

印 数:1~4000

定 价:48.00元

产品编号:034011-01

前 言

今天,几乎所有的电子装置(如手表、家用电器、蜂窝电话、工业智能仪表等)中都有嵌入式处理器的身影;在微机系统中,扫描仪、打印机、路由器等也属于嵌入式系统;机械装置中也普遍集成了嵌入式系统,如目前大多数汽车的运行都是由嵌入式系统控制的;在军事上,可以使用嵌入式系统来引导导弹、侦测敌方的飞行物;外太空探测仪和许多医疗仪器离开嵌入式系统几乎不可能工作……总之,嵌入式系统无处不在。随着电子技术的发展,嵌入式系统的应用会越来越广泛。

随着后 PC 时代的来临,IT 就业市场对嵌入式系统方面的人才需求越来越大,国内外一些高校和培训机构也相继开设了嵌入式系统方面的课程。本书结合学科的最新发展,参照国内外最新的专著、教材和文献资料,以作者多年的教学经验为基础编写而成。

出版本书的目的

目前市面上有很多嵌入式系统方面的书籍,但大多数只是讲述某一种嵌入式处理器、单片机、微控制器的原理和应用或某一种嵌入式操作系统的应用开发等内容,其共同特点是适用面较窄,仅针对特定的处理器或操作系统/开发工具的使用,并且讲解得比较详细,适用于软、硬件平台已经确定的产品开发。

由于嵌入式系统软、硬件的种类非常多,对于嵌入式系统的开发者和学生来说,不仅需要学会某一种特定产品的开发,更需要培养方案设计、软硬件选型、系统总体设计等方面的能力。这种能力的培养不仅需要掌握单种处理器、操作系统的应用,更重要的是要学会站在嵌入式系统共性的基础上,抛弃处理器和操作系统的细节差异,能够抽象出其公共属性。本书正是基于此想法而编写的。

内容概要

本书结合笔者多年来从事嵌入式系统开发的教学工作实践,侧重于讲述嵌入式系统、嵌入式处理器、嵌入式操作系统的一般原理,以及嵌入式系统的开发方法、开发原则和方法论,主要内容涉及嵌入式系统的软件、硬件及其结合等。

全书共分为 14 章。第 1 章讲述嵌入式系统的基本概念、设计方法及原则以及嵌入式系统的软、硬件发展情况;第 2 章详细介绍嵌入式系统开发的基本流程,包括需求分析、方案设计、科研开发和系统测试技术;第 3 章讲述嵌入式系统的硬件设计,主要是嵌入式处理器子系统的设计方法,并给出了典型的嵌入式处理器实例;第 4 章讲述嵌入式系统的存储器子系统;第 5 章讲述嵌入式处理器的 I/O 子系统的原理;第 6 章讲述裸机嵌入式系统(无操作系统的嵌入式系统)的软件系统结构和应用特点;第 7 章讲述嵌入式操作系统的原理和基于多任务操作系统的软件开发,并介绍常用的嵌入式操作系统的特点;第 8 章讲述基于网络的嵌入式系统的设计

方法和规划方法,并介绍常用的网络协议原理;第9章讲述嵌入式系统的软件组件原理和设计方法;第10章讲述嵌入式文件系统的概念,分析常用的嵌入式文件系统的原理和特点;第11章讲述嵌入式人机界面的应用与原理;第12章是案例分析;第13章讲述嵌入式系统的低功耗设计技术,并分析系统功耗产生的原因;第14章讲述嵌入式系统的电磁兼容性问题,包括接地、旁路与退耦、信号完整性、PCB 终端匹配等内容(本章只讲述应用结论和电磁兼容性设计需要考虑的问题,详细的理论证明和推导可参见相关的书籍)。

读者对象

本书可作为电气信息类专业(电气工程及其自动化、自动化、电子信息工程、通信工程、计算机科学与技术、电子科学与技术和生物医学工程)大学高年级学生和研究生教材,也可作为嵌入式计算方面的指导用书,还可供相关科技人员参考、学习使用。

本书由大连理工大学张大波编写,白雪、金佳鑫、张亚东、王历和史然飞等完成了文字校对、绘图以及书中的程序、电路图等的验证校对工作,外文资料翻译和校对工作由郝军、张亚东、李岩、刘斌涛、何峰和赵星星等完成。

本书在编写过程中得到了大连理工大学的大力支持,在此表示感谢。同时,还要感谢所有在编写过程中给予支持的人们。

由于编者水平有限,难免存在不足之处,欢迎读者批评指正。

编者

于大连理工大学电子与信息工程学院

目 录

第 1 章 嵌入式系统概述	1	第 2 章 嵌入式系统开发流程	28
1.1 概述	1	2.1 概述	28
1.2 嵌入式系统的概念	1	2.2 需求分析阶段	28
1.3 嵌入式系统的发展	2	2.2.1 分析用户的需求	28
1.3.1 嵌入式系统的发展历程	2	2.2.2 确定硬件和软件	31
1.3.2 嵌入式处理器的发展	3	2.2.3 对需求分析的结果进行检查	31
1.4 嵌入式系统的特点	4	2.2.4 确定项目的约束条件	32
1.5 嵌入式系统的组成	6	2.2.5 概要设计	33
1.5.1 嵌入式处理器	7	2.3 详细设计阶段	35
1.5.2 存储器	8	2.3.1 审查分析资料	36
1.5.3 输入/输出接口	8	2.3.2 体系结构设计	36
1.6 嵌入式系统的种类	8	2.3.3 硬件与软件的划分	37
1.7 嵌入式系统的调试方法	9	2.3.4 硬件和软件的设计次序	37
1.7.1 基于主机的调试	10	2.3.5 硬件设计	38
1.7.2 远程调试器与调试内核	10	2.3.6 软件设计	39
1.7.3 在线仿真 ICE	12	2.3.7 检查设计	41
1.7.4 BDM	16	2.4 科研开发阶段	41
1.7.5 JTAG	19	2.4.1 选择开发平台	41
1.7.6 软件仿真器	21	2.4.2 软件开发过程	46
1.8 嵌入式系统的应用	22	2.5 测试阶段	48
1.8.1 消费类电子产品	23	2.5.1 测试的原因	48
1.8.2 办公自动化产品	23	2.5.2 何时测试	50
1.8.3 控制系统与工业自动化	23	2.5.3 测试内容	51
1.8.4 生物医学系统	23	2.5.4 何时停止测试	52
1.8.5 现场仪器	23	2.5.5 选择测试实例	52
1.8.6 网络通信设备	24	2.5.6 嵌入式系统的实时失败模式	54
1.8.7 电信设备	24	2.5.7 评估测试的覆盖率	55
1.9 嵌入式系统的发展趋势	24	2.5.8 性能测试	57
1.9.1 硬件的发展	24	2.5.9 维护和测试	58
1.9.2 软件的发展	25	2.6 本章小结	59
1.9.3 系统的发展	26	思考题	59
1.10 本章小结	27	第 3 章 嵌入式处理器	60
思考题	27	3.1 概述	60

3.2 嵌入式系统硬件子系统组成.....	60	4.6 随机存储器 RAM.....	119
3.2.1 嵌入系统的方式.....	61	4.6.1 静态 RAM.....	119
3.2.2 硬件子系统总体组成.....	62	4.6.2 动态 RAM.....	122
3.2.3 嵌入式处理器子系统.....	63	4.6.3 双端口 RAM.....	127
3.2.4 嵌入式存储器子系统.....	67	4.6.4 如何选择 RAM.....	135
3.2.5 附属电路和 I/O 子系统.....	67	4.7 只读存储器 ROM.....	136
3.2.6 调试子系统.....	67	4.7.1 EPROM.....	136
3.2.7 如何选择处理单元.....	68	4.7.2 EEPROM.....	139
3.3 嵌入式处理器的技术指标.....	68	4.7.3 FLASH.....	141
3.4 典型的嵌入式处理器.....	70	4.7.4 只读存储器的编程.....	147
3.4.1 MicroChip 系列嵌入式微控制器.....	70	4.8 混合类型存储器.....	150
3.4.2 NXP LPC 嵌入式微控制器系列.....	71	4.9 存储器的测试.....	150
3.4.3 Freescale 微控制器 MC68HC08 系列.....	73	4.9.1 存储器芯片本身的问题.....	151
3.4.4 MCS-51 系列嵌入式控制器/处理器.....	75	4.9.2 电子线路的问题.....	151
3.4.5 Atmel 公司的 AVR 系列微控制器.....	77	4.9.3 无存储器芯片.....	152
3.4.6 MC68HC12 系列处理器.....	79	4.9.4 芯片的不正确插入.....	152
3.4.7 PowerPC 系列 32 位嵌入式处理器.....	79	4.9.5 制定测试策略.....	152
3.4.8 ColdFire 系列 32 位嵌入式处理器.....	80	4.10 验证只读存储器的内容.....	158
3.4.9 ARM 系列.....	83	4.10.1 校验和.....	158
3.5 如何选择嵌入式处理器.....	100	4.10.2 循环冗余码.....	159
3.5.1 选择处理器的总原则.....	100	4.11 系统配置数据存储.....	160
3.5.2 选择嵌入式处理器的具体方法.....	101	4.12 本章小结.....	162
3.6 嵌入式 CPU 子系统的设计方法... ..	102	思考题.....	162
3.6.1 设计原则.....	102	第 5 章 嵌入式系统的 I/O 模块.....	163
3.6.2 基于微控制器的设计.....	104	5.1 概述.....	163
3.6.3 基于微处理器的设计.....	106	5.2 复位电路.....	163
3.7 本章小结.....	111	5.2.1 阻容复位电路.....	163
思考题.....	112	5.2.2 手动复位电路.....	164
第 4 章 嵌入式系统的存储器.....	113	5.2.3 看门狗复位.....	164
4.1 概述.....	113	5.2.4 专用复位电路.....	165
4.2 嵌入式系统存储器的结构和 组织.....	113	5.2.5 内部复位电路.....	166
4.2.1 存储器的结构.....	113	5.2.6 软件复位.....	166
4.2.2 嵌入式系统存储器子系统的结构.....	114	5.3 系统时钟.....	166
4.3 存储器的性能指标.....	115	5.3.1 RC 时钟.....	167
4.4 存储器的工作时序.....	116	5.3.2 石英晶体.....	167
4.5 存储器的分类.....	118	5.3.3 石英振荡器.....	167
		5.3.4 锁相倍频时钟与多时钟源.....	168
		5.4 I/O 模块.....	169

7.7.2 VxWorks	230	8.5 嵌入式 INTERNET	294
7.7.3 μ C/OS-II	231	8.5.1 嵌入式 Internet 概述	294
7.7.4 嵌入式 Linux	232	8.5.2 嵌入式 Internet 的应用	295
7.7.5 QNX	233	8.5.3 嵌入式 Internet 的原理	296
7.7.6 ThreadX	234	8.5.4 嵌入式 Internet 的接入方案举例	298
7.7.7 WindowsCE	235	8.5.5 开发工具举例——EMIT 开发方法 ...	300
7.8 利用嵌入式操作系统开发应用	238	8.5.6 嵌入式 TCP/IP	301
7.8.1 软件组成与运行流程	238	8.6 蓝牙技术	304
7.8.2 多任务系统的应用程序模板	247	8.6.1 蓝牙技术及特点	304
7.8.3 任务控制	249	8.6.2 蓝牙协议栈	305
7.8.4 任务之间的通信	250	8.6.3 蓝牙应用产品	307
7.8.5 任务之间的同步	253	8.7 本章小结	307
7.8.6 定时器	258	思考题	308
7.8.7 动态存储器	260	第 9 章 嵌入式软件组件	309
7.8.8 分区存储器	264	9.1 概述	309
7.9 如何选择嵌入式操作系统	266	9.2 嵌入式系统模型	309
7.9.1 概述	266	9.3 键盘	310
7.9.2 选择实时操作系统的依据	267	9.3.1 键盘模型	310
7.10 本章小结	271	9.3.2 模块结构	311
思考题	272	9.3.3 接口函数	312
第 8 章 嵌入式网络与协议栈	273	9.4 LED 显示屏	314
8.1 概述	273	9.4.1 模型	314
8.2 嵌入式网络	274	9.4.2 模块结构	316
8.2.1 分布式嵌入式系统	274	9.4.3 接口函数的定义与使用	317
8.2.2 基于网络的设计过程	279	9.5 LCD 显示屏	319
8.3 工业网络与现场总线	281	9.5.1 模型	319
8.3.1 FF 总线协议	283	9.5.2 模块实现	320
8.3.2 HART 协议	285	9.5.3 接口函数	321
8.3.3 Profibus 协议	286	9.6 日历时钟	324
8.3.4 CAN 协议	288	9.6.1 概述	324
8.3.5 Control Net	290	9.6.2 模块实现	325
8.3.6 Device Net	290	9.6.3 接口函数	325
8.4 嵌入式系统的联网	291	9.7 模拟量输入	327
8.4.1 选择协议栈	291	9.7.1 模型	327
8.4.2 选择网络技术	292	9.7.2 接口函数	328
8.4.3 选择成熟的实现方案	292	9.7.3 读取模/数转换结果的方法	328
8.4.4 使用标准的应用协议	293	9.8 模拟量输出	331
8.4.5 流行的网络体系结构	293	9.8.1 模型	331

9.8.2 接口函数.....	331	11.4 图形用户界面.....	373
9.8.3 模块实现.....	332	11.4.1 概述.....	373
9.9 开关量输入/输出.....	332	11.4.2 组成.....	375
9.9.1 模型.....	332	11.4.3 嵌入式图形界面.....	376
9.9.2 接口函数.....	333	11.4.4 GUI 产品简介.....	377
9.9.3 支持位操作的处理器.....	335	11.5 MINIGUI.....	377
9.10 异步串行通信 UART.....	335	11.5.1 概述.....	377
9.10.1 模型.....	335	11.5.2 结构.....	380
9.10.2 模块实现.....	336	11.5.3 开发方法.....	381
9.10.3 接口函数.....	339	11.5.4 应用.....	383
9.11 EEPROM 读写模块.....	342	11.6 Qt.....	384
9.11.1 概述.....	342	11.6.1 概述.....	384
9.11.2 接口函数.....	342	11.6.2 结构.....	385
9.12 其他组件模块.....	343	11.6.3 Qt/Embedded 的开发方法.....	386
9.13 本章小结.....	344	11.6.4 应用.....	391
思考题.....	344	思考题.....	392
第 10 章 嵌入式文件系统.....	345	第 12 章 案例分析.....	393
10.1 概述.....	345	12.1 概述.....	393
10.2 存储介质.....	345	12.2 PDA.....	393
10.3 嵌入式文件系统的特点.....	345	12.2.1 PDA 概述.....	393
10.4 文件系统结构.....	346	12.2.2 PDA 的硬件设计.....	395
10.5 嵌入式文件系统分类.....	347	12.2.3 PDA 的软件设计.....	399
10.5.1 基于 FLASH 的文件系统.....	348	12.3 水表智能抄表系统.....	401
10.5.2 基于 RAM 的文件系统.....	352	12.3.1 水表智能抄表系统简介.....	401
10.6 YAFFS 文件系统分析.....	352	12.3.2 基于 32 位机 S3C44BOX 的抄 表手机的设计.....	402
10.6.1 NAND FLASH.....	352	12.4 AT91EB40A 评估开发板.....	403
10.6.2 Linux MTD.....	356	12.5 S3C2410 评估开发板.....	405
10.6.3 YAFFS 相关数据结构分析.....	358	12.6 信息家电.....	407
10.6.4 YAFFS 函数接口.....	364	12.6.1 信息家电概述.....	407
10.6.5 YAFFS 使用的其他技术.....	365	12.6.2 信息家电的主要功能和特点.....	408
10.6.6 YAFFS 文件系统移植.....	366	12.6.3 信息家电的分类.....	409
思考题.....	370	12.6.4 信息家电的硬件平台.....	410
第 11 章 嵌入式人机界面.....	371	12.6.5 信息家电的结构.....	411
11.1 概述.....	371	12.6.6 嵌入式 Linux 在信息家电上 的优势.....	411
11.2 分类.....	371	12.7 本章小结.....	413
11.3 字符型人机界面.....	373	思考题.....	413
11.3.1 概述.....	373		
11.3.2 结构.....	373		

第 13 章 低功耗系统的设计	414	思考题	433
13.1 概述.....	414	第 14 章 电磁兼容性问题	434
13.2 低功耗的优点.....	414	14.1 概述.....	434
13.2.1 电池驱动的需要.....	414	14.2 电磁兼容的基本概念.....	434
13.2.2 安全的需要.....	415	14.3 电磁兼容的基本术语.....	434
13.2.3 提高电磁兼容性.....	415	14.4 电磁兼容的基本原理.....	435
13.2.4 节能的需要.....	415	14.4.1 常见的电磁兼容性问题.....	435
13.3 降低功耗的措施综述.....	416	14.4.2 电磁环境特性.....	437
13.3.1 功耗产生的原因.....	416	14.4.3 噪声耦合路径.....	438
13.3.2 与系统功耗有关的因素.....	416	14.4.4 PCB 走线的天线效应.....	439
13.3.3 降低功耗的措施.....	417	14.4.5 系统内部电磁干扰产生的原因.....	440
13.4 元件工艺的低功耗.....	419	14.5 考虑电磁兼容时元件的模型和特性.....	440
13.5 硬件系统的低功耗设计.....	422	14.6 提高电磁兼容性的一般措施.....	449
13.5.1 选择低功耗的器件.....	423	14.6.1 时钟源的电源滤波方法.....	449
13.5.2 选用低功耗电路.....	424	14.6.2 集成电路的辐射考虑.....	451
13.5.3 单电源、低电压供电.....	424	14.6.3 电路的布局与布线.....	451
13.5.4 分区供电降低功耗.....	425	14.7 旁路和去耦.....	452
13.5.5 利用 I/O 引脚为外围器件供电.....	425	14.7.1 旁路和去耦概述.....	452
13.5.6 电源管理单元的设计.....	426	14.7.2 电源层和接地层的分布电容考虑.....	453
13.5.7 采用智能电源.....	426	14.7.3 并联电容器.....	453
13.5.8 片选信号的处理.....	427	14.7.4 去耦电容参数的计算.....	454
13.5.9 有效利用 I/O 器件的待机模式.....	427	14.7.5 安装.....	454
13.5.10 降低处理器的时钟频率.....	427	14.7.6 大电容的使用和选择.....	456
13.5.11 动态改变 CPU 的时钟.....	428	14.7.7 组件内电容概述.....	457
13.5.12 降低持续工作电流.....	428	14.8 信号完整性与串扰.....	457
13.6 软件系统的低功耗设计.....	428	14.8.1 信号完整性要求.....	457
13.6.1 编译低功耗优化技术.....	429	14.8.2 反射和衰减振荡.....	458
13.6.2 硬件软件化.....	429	14.8.3 计算电长走线.....	460
13.6.3 采用事件驱动方式, 尽量减少处理器的 工作时间.....	429	14.8.4 串扰.....	461
13.6.4 采用快速算法.....	430	14.9 PCB 走线终端.....	463
13.6.5 通信系统中提高通信的波特率.....	430	14.9.1 传输线效应.....	464
13.6.6 数据采集系统中尽量降低采集速率.....	430	14.9.2 终端匹配方法.....	464
13.6.7 延时程序的设计.....	431	14.10 接地.....	470
13.6.8 睡眠模式.....	431	14.10.1 概述.....	470
13.6.9 静态显示与动态显示.....	431	14.10.2 接地模型.....	470
13.7 关于电池供电系统.....	432	14.10.3 接地方法.....	471
13.8 本章小结.....	432		

14.10.4	消除接地环路.....	473	14.11.3	电源低通滤波器.....	478
14.10.5	消除多点接地系统中的谐振 现象.....	475	14.11.4	其他 EMC 器件.....	478
14.10.6	电路子卡与卡架之间的场耦合.....	475	14.12	控制噪声的经验小结.....	478
14.10.7	I/O 连接器的设计考虑.....	476	14.12.1	控制噪声源.....	478
14.10.8	消除地电位不均匀.....	477	14.12.2	从传输路径方面减小噪声的 耦合.....	479
14.11	考虑电磁兼容性的其他措施.....	477	14.12.3	在信号接收端减少噪声的接收.....	480
14.11.1	屏蔽.....	477	14.13	本章小结.....	480
14.11.2	磁珠的使用.....	478	思考题.....		481

第1章 嵌入式系统概述

1.1 概 述

嵌入式系统又称为嵌入式计算机系统（Embedded Computing System），是一种专用的计算机系统。在我们的日常工作和生活中，随处可见嵌入式系统的身影。可以说，随着信息技术的发展，嵌入式系统将无处不在。

本章讲述嵌入式系统的基本知识，包括嵌入式系统的概念、组成、特点、种类、开发调试方法、应用，以及嵌入式系统的发展趋势等。通过对本章的学习，读者可以初步了解嵌入式系统的基本知识。

1.2 嵌入式系统的概念

嵌入式系统是随着计算机技术、微处理器技术、电子技术、通信技术、集成电路技术的发展而发展起来的，现已成为计算机技术和计算机应用领域的一个重要组成部分。

嵌入式系统有多种定义方法，这些定义方法有的是从嵌入式系统的应用角度定义的，有的是从嵌入式系统的组成角度定义的，也有的是从其他方面进行定义的。下面给出两种定义方法。

- 第一种定义：嵌入式系统是以应用为中心、计算机技术为基础，软、硬件可裁剪，适应应用系统对功能、可靠性、成本、体积、功耗等严格要求的专用计算机系统。
- 第二种定义：通常我们把基于处理器（通用处理器和嵌入式处理器）的设备称为计算机，把计算机分成通用计算机和嵌入式系统两大部分。嵌入式系统也称为嵌入式计算机系统，因此嵌入式系统被定义为非通用计算机系统。这个定义是从计算机的分类方面进行的。

简言之，嵌入式系统是硬件和软件的集合体。硬件包括嵌入式处理器、控制器、数字信号处理器（Digital Signal Processor, DSP）、存储器、外设器件、输入/输出（Input/Output, I/O）端口、图形控制器等；软件部分包括嵌入式操作系统和应用程序（应用软件）。嵌入式系统使用的操作系统可能是相同的，但根据应用领域的不同，应用程序（应用软件）却可以千差万别。应用软件控制着系统的运作和行为，而嵌入式操作系统控制着应用程序编程以及与硬件的交互。嵌入式系统有时还包括其他一些机械部分，如机电一体化装置、微机电系统、光学系统（如数码相机）等。它是为完成某种特定的功能而设计的，有时也称为嵌入式设备。嵌入式系统具有计算机功能，但又不称为计算机。

嵌入式系统可以应用于几乎所有的电器设备，如个人数字助理（Personal Digital Assistant, PDA）、手机、机顶盒、汽车控制系统、家用电器控制器、电梯控制器、安全系统、自动售货机控制器、医疗仪器、音响和自动柜员机等。即便是一台通用的个人计算机系统，其外部设

备也包含了嵌入式微处理器的成分,如硬盘、显示器、键盘、高级的外置声卡、智能网卡、打印机、扫描仪等都是由嵌入式处理器控制的。

嵌入式系统是面向用户、面向产品、面向应用的,如果独立于应用自行发展,则会失去市场。因此,开发嵌入式系统的人员中不仅包括信息技术类相关专业的人才,也包括其他相关技术领域的专业人员。例如,数字医疗设备往往是由生物医学工程技术人员和信息技术类专业的技术人员一起参与开发的。

嵌入式系统的核心是嵌入式微处理器,因此嵌入式处理器的技术指标如功耗、体积、成本、可靠性、速度、处理能力、电磁兼容性等方面均受到应用要求的制约,这些技术指标也是各半导体厂商之间竞争的热点。嵌入式系统的软件是实现嵌入式系统功能的关键。一般来说,软件要求固化存储,有时称为固件(Firmware);应用软件的代码要求高质量、高可靠性;嵌入式操作系统要求强实时性。当然,对于民用来说,非实时的操作系统如嵌入式Linux也得到了广泛的应用。

嵌入式系统广泛应用于制造业、过程控制、通信、仪器、仪表、汽车、船舶、航空、航天、军事装备、消费类产品等领域。消费类嵌入式系统如微波炉、洗衣机、冰箱等,几乎每个家庭都有,每天都有成千上万台家用智能设备(嵌入式系统)在工作着,但可能没有人意识到有嵌入式处理器和相关软件在控制这些设备的工作。家用电器与个人计算机形成了鲜明的对比。虽然它们存在一些共同点,即它们都包含了硬件和软件,但它们所完成的工作却截然不同。嵌入式系统往往只是一个大系统中的某个组成部分,控制大系统的工作,其价值在于它所控制的大系统,一般不取决于内嵌的处理器性能指标。例如,衡量智能洗衣机往往用洗净度、耗电、耗水、洗衣速度等指标,而不以控制它的处理器的速度、存储容量等衡量。而通用计算机则不同,通用计算机的功能和价值体现在“计算”上,计算能力、存储数据的能力等是衡量通用计算机的基本指标。

个人计算机也包含了众多嵌入式系统,如键盘、打印机等本身就是一个嵌入式系统,均包含了所需的处理器和对应的软件。

1.3 嵌入式系统的发展

1.3.1 嵌入式系统的发展历程

嵌入式系统从出现至今已有40多年的历史,其发展轨迹呈现出硬件和软件交替发展的双螺旋式。

20世纪60年代末,随着微电子技术的发展,嵌入式系统在集成电路化的第三代计算机时期逐步兴起。在军事和空间领域的需求推动下,此时的计算机软、硬件技术已达到了可以把人送上月球再返回地面的可靠性要求。与此同时,诸如大规模集成电路技术、并行计算技术、先行控制、流水线、单总线结构、高速通用寄存器、强有力的中断系统、交叉存取、操作系统等取得了重大的发展。

嵌入式系统产品的广泛应用是在微处理器问世之后,许多处理器的生产厂家陆续推出了自己的处理器产品,如Intel、Freescale公司等,以这些微处理器为核心构成的微型计算机——

OEM 嵌入式计算机系统（有时称为单板机）被广泛用于制造仪器仪表、医疗设备、机器人、家用电器等。此时的嵌入式系统以单板机的形式存在，如 CPU 板、存储器板和各种 I/O 插件板等。用户购买插件板构成专用的嵌入式系统，并嵌入到自己的系统设备中，成为面向应用的嵌入式系统。与此同时，军方根据自己的需求，由工业部门研制生产了包括 CPU 板、存储器板、接口板、总线板、电源板、模数/数模变换板等 OEM 产品的抗恶劣环境计算机系统，形成了完整系列的军用嵌入式系统。这一时期的嵌入式系统的核心由普通的处理器组成。

20 世纪 80 年代，随着微电子工艺水平的提高，集成电路制造商开始把嵌入式应用所需要的微处理器、I/O 端口、A/D 转换、D/A 转换、串行接口以及 RAM、ROM 均集成到一个 VLSI（Very Large Scale Integration，超大规模集成电路）中，制造出面向 I/O 设计的微控制器，即嵌入式处理器（有时称为单片机）。其后发展的 DSP 产品则更是提升了嵌入式系统的技术水平，成为嵌入式系统异军突起的一支新秀，并迅速地渗入到消费电子、医用电子、智能控制、通信电子、仪器仪表、交通运输等领域。

20 世纪 90 年代，在分布控制、柔性制造、数字化通信和数字化家电等巨大需求的推动下，嵌入式应用进一步加速发展。面向实时信号处理算法的 DSP 产品正在向着高速度、高精度、低功耗的方向发展。

1.3.2 嵌入式处理器的发展

综上所述，嵌入式系统经历了从单板机时代发展到单片机时代。具体就嵌入式处理器而言，则经历了下面的发展阶段。

（1）第一代嵌入式处理器

1971 年 11 月，Intel 公司成功地把算术运算器和控制器电路集成在一起，推出了世界上第一片嵌入式微处理器 Intel 4004，用于计算器的制造。其后各厂家陆续推出了 8 位、16 位的微处理器。20 世纪 70 年代后期，4 位逻辑控制器件发展到 8 位。这一时期的嵌入式处理器，以 Freescale 公司推出的 8 位处理器 MC6801（它以当时流行的微处理器 MC6800 为 CPU，使用 NMOS 工艺将并行口、定时器和 128 字节 RAM 集成在一个芯片内）和 Intel 的 8048 为代表，可称之为第一代嵌入式处理器。

（2）第二代嵌入式处理器

最早采用互补金属氧化物半导体技术（Complementary Metal-Oxide Semiconductor, CMOS）工艺的微处理器是 Freescale 公司的 MC146805，出现在 20 世纪 80 年代。1982 年以后，NMOS（N-Metal Oxide Semiconductor，N 型金属氧化物半导体）工艺逐渐被高速低功耗的 HCMOS（High-speed Complementary Metal-Oxide Semiconductor，高速互补金属氧化物半导体）工艺代替。MC68HC05 最早出现于 1982 年，经过多年的变革更新，已由当时的一种发展到如今的数百种。最早进入中国市场的是 Intel 8051 系列嵌入式处理器，过渡到 CMOS 工艺的 80C51 相对晚些。近年来 Philips 等公司开始生产与 8051 兼容的嵌入式处理器，并扩展了其功能。以早期的 MC146805 与 Intel 8051 为代表的嵌入式处理器可称为第二代嵌入式处理器。

（3）第三代嵌入式处理器

第三代嵌入式处理器的发展出现了许多新特点。在技术上，由可扩展总线型向纯单片型发展。内存容量已做得相当大，I/O 功能足够丰富，可以不需要外加扩展芯片。这样既降低了整

机成本,提高了可靠性,又可以防止应用产品被非法仿造。

嵌入式处理器的扩展方式从并行总线型发展出各种串行总线,并被工业界所接受,形成一些工业标准,如 I²C (Inter Integrated Circiut) 总线、SPI (Serial Peripheral Interface) 总线。甚至将网络协议的低两层或低三层协议都集成到嵌入式处理器上,如某些嵌入式处理器集成了 CAN (Control Area Network) 总线接口、以太网接口。

将多个 CPU 集成到一个芯片中已很多见,例如 MC143120/MC143150 中集成有 3 个 CPU,一个用于 I/O 控制;一个用于类似以太网协议的通信;一个用于总体协调。随着超大规模集成电路技术的发展,将数字信号处理器、RISC (Reduced Instruction Set Computer) 处理器、存储器、I/O、半定制电路等集成到单芯片上的产品 SoC (System on Chip, 片上系统) 已经出现。

(4) 第四代嵌入式处理器

FLASH 的使用使嵌入式处理器技术进入了第四代。

在降低功耗、提高可靠性方面,嵌入式处理器工作电压已降至 3.3V。工作电压为 2.7V、1.8V、0.9V 的嵌入式处理器也已经出现。抗噪声、抗干扰方面也不断出现一些新技术。

一些中小公司也不断推出其嵌入式处理器产品,其中一些产品是为它们本公司的电气产品设计的。由于用户的介入,嵌入式处理器的功能得到了飞速的发展,并且远远超出了计算机科学领域,应用领域之广几乎是无限的,小到信用卡、玩具,大到航天器、机器人。

1.4 嵌入式系统的特点

嵌入式系统与通用计算机系统相比,具有以下几个主要的不同点。

(1) 嵌入式系统是面向应用的,因此嵌入式处理器与通用处理器相比,主要是应用于为特定用户群设计的系统中,如 ARM (Advanced RISC Machine) 处理器系列多用于手机中,Freescale 的龙珠系列用于中档 PDA 中,Power PC 用于网络设备中。一般地,决定嵌入式处理器应用环境的因素主要是集成的外部接口的功能和处理速度。嵌入式处理器通常都具有低功耗、小体积、高集成度等特点,能够把通用处理器中许多由板卡完成的功能集成在芯片上,从而有利于嵌入式系统设计趋于小型化,提高可靠性,增强移动能力。

(2) 嵌入式系统是先进的计算机技术、半导体技术和电子技术与各个行业的具体应用相结合的产物。这一点就决定了它必然是一个技术密集、资金密集、高度分散、不断创新的知识集成系统。因此,嵌入式系统的开发和应用不容易在市场上形成垄断。

(3) 嵌入式系统的硬件和软件都必须进行高效率地设计,量体裁衣、去除冗余,力争在同样的硅片面积上实现更高的性能,这样才能在处理器的具体应用中更具有竞争力。

(4) 嵌入式处理器的应用软件是实现嵌入式系统功能的关键,对嵌入式处理器系统软件和应用软件的要求也和通用计算机存在以下不同。

- 通常,软件要求固件化,大多数嵌入式的软件固化在只读存储器中。
- 要求高质量、高可靠性的软件代码。
- 多数情况下要求系统软件具有实时处理能力。

(5) 嵌入式系统与具体应用有机地结合在一起,其升级换代也与应用产品同步进行,因此嵌入式系统产品一旦进入市场就有较长的生命周期。

(6) 嵌入式系统本身不具备自开发能力,设计完成以后用户通常也不能对其中的程序功能进行修改,必须有一套开发工具和环境才能进行开发。

由于嵌入式系统的核心是嵌入式处理器,因此有必要了解一下嵌入式微处理器的特点。嵌入式处理器一般具备以下4个特点:

(1) 对实时多任务有很强的支持能力,能完成多任务并且有较短的中断响应时间,从而使内部的代码和实时内核的执行时间减少到最低限度。

(2) 具有功能很强的存储区保护功能。这是由于嵌入式系统的软件结构已模块化,而为了避免在软件模块之间出现错误的交叉作用,需要设计强大的存储区保护功能,同时也有利于软件诊断。

(3) 可扩展的处理器结构,能迅速地扩展出满足应用的高性能的嵌入式处理器,例如 ARM7 TDMI 内核的处理器通过扩充外部接口,形成网络控制器、多媒体应用、移动电话应用等。

(4) 嵌入式处理器功耗很低,尤其是用电池供电的便携式嵌入式装置更是如此,有的装置的功耗要求达到毫瓦甚至微瓦级。

一般地,复杂的嵌入式系统的软件包括嵌入式操作系统和应用程序。对于小系统,应用程序可以没有操作系统而直接在处理器上运行;对于大系统来说,为了合理地调度和管理多任务、系统资源、系统函数,以及与专家库函数接口,用户需要选择 EOS 开发平台,这样才能保证程序执行的实时性、可靠性,并减少开发时间,保障软件质量。

一个优秀的 EOS 是嵌入式系统开发成功的关键。EOS 是相对于一般操作系统而言的,它具备了一般操作系统最基本的功能,如任务调度、同步机制、中断处理、文件功能等。为了适应不断发展的嵌入式产品的要求,EOS 还需要具有以下特点。

(1) 更好的硬件适应性,也就是良好的移植性,支持尽量多的硬件平台。

(2) 占有更少的硬件资源,例如占用存储器几 KB 到十几 KB。

(3) 高可靠性。

(4) 提供强大的网络功能,支持 TCP/IP 协议及其他协议,协议栈可裁剪。

(5) 友好高效的 GUI (Graphic User Interface, 图形用户界面)。

(6) 大多数应用要求 EOS 具有实时性。

(7) 可裁剪性。例如,设计成微内核结构和模块化结构。

嵌入式系统的多样性和复杂程度可能使人困惑,不过嵌入式系统(不考虑它们的应用领域)也有很多共性。为了充分地利用嵌入式软件开发的各种可能的方法,我们需要掌握这些共性以便可以快速地开发工作,而不必担心欠缺某个特殊领域的知识。一些重要的共性如下:

(1) 嵌入式处理器的共性。虽然嵌入式处理器的种类高达几百种,指令系统、集成的部件各自不同,但它们都具有处理器的共同点,如总线结构、中断能力等。

(2) 嵌入式处理器由通用处理器内核加上输入/输出接口组成。同一类输入/输出接口电路(如以太网接口电路)的组成细节不同,但功能相似。不同种类的嵌入式处理器由通用处理器内核加上不同种类的输入/输出电路构成。

(3) 嵌入式软件开发人员进行程序设计时需要考虑硬件电路的细节,例如在开发像串行通信这样的接口软件时,需要特别考虑到硬件寄存器一级的细节。而桌面应用软件开发人员不必考虑这些细节,因为桌面操作系统已经向用户提供了设备驱动程序及其应用编程接口。

(4) 掌握 TCP/IP 协议栈的实现细节具有额外的优势,因为在未来,嵌入式系统的网络