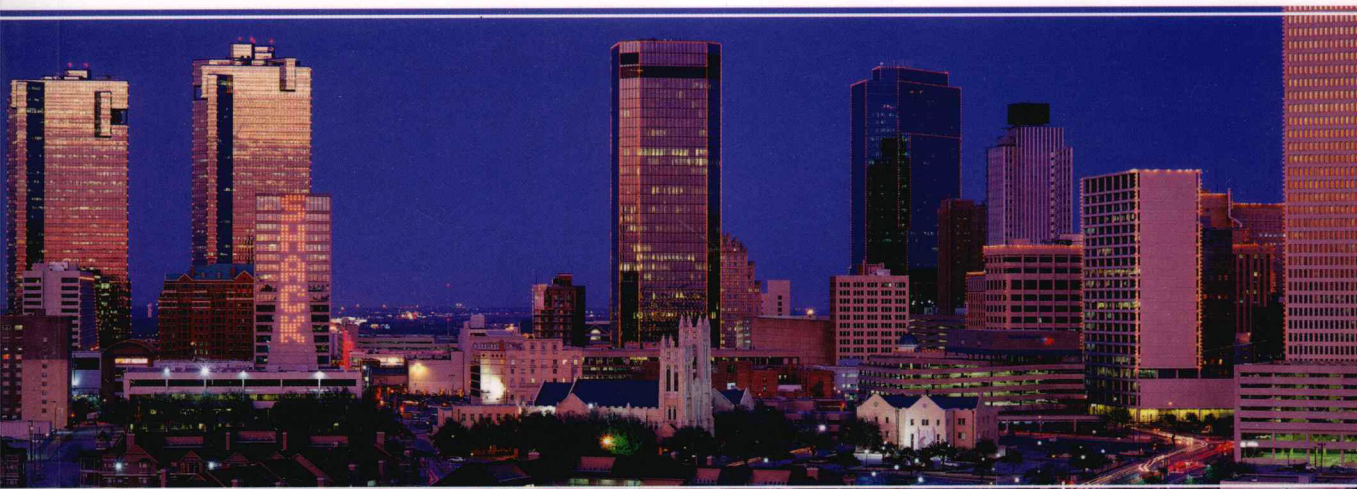


高等院校嵌入式人才培养规划教材

Gaodeng Yuanxiao Qianrushi Rencai Peiyang Guihua Jiaocai

ARM 嵌入式 体系结构与接口技术

华清远见嵌入式学院 刘洪涛 主编



ARM Qianrushi
Tixi Jiegou Yu Jiekou Jishu

突出接口技术

重视实际应用

全部代码示例

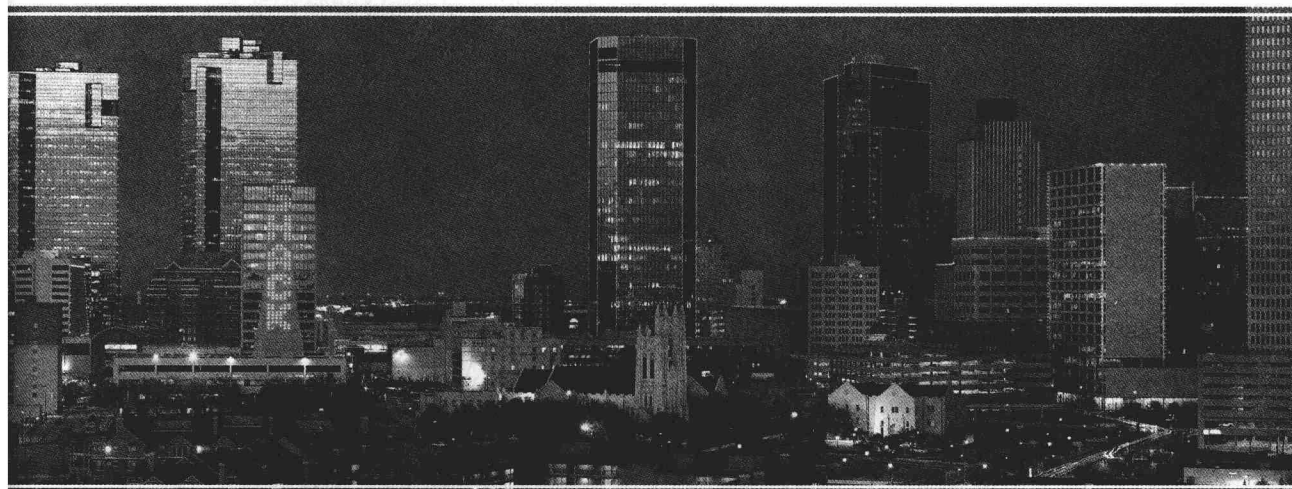


人民邮电出版社
POSTS & TELECOM PRESS

高等院校嵌入式人才培养规划教材
Gaodeng Yuanxiao Qianrushi Rencai Peiyang Guihua Jiaocai

ARM 嵌入式 体系结构与接口技术

华清远见嵌入式学院 刘洪涛 主编



ARM Qianrushi
Tixi Jiegou Yu Jiekou Jishu

人民邮电出版社
北京

图书在版编目 (CIP) 数据

ARM嵌入式体系结构与接口技术 / 刘洪涛主编. —北京:
人民邮电出版社, 2009. 8
高等院校嵌入式人才培养规划教材
ISBN 978-7-115-20042-6

I. A… II. 刘… III. ①微处理器, ARM—系统设计—高等学校—教材②微处理器, ARM—接口—高等学校—教材
IV. TP332

中国版本图书馆CIP数据核字 (2009) 第121716号

内 容 提 要

本书在全面介绍 ARM920T 处理器的体系结构、编程模型、指令系统及 RealView MDK 开发环境的同时, 以基于 ARM920T 的应用处理器 S3C2410X 为核心, 详细介绍了系统的设计及相关接口技术。接口技术中涵盖了 I/O、中断、串口、存储器、PWM、A/D、LCD, 并提供了大量实验内容, 在最后一章还提供了一个综合实例。

本书可作为高等院校 ARM 体系结构、接口技术课程的教材, 也可作为相关嵌入式开发人员的参考书。

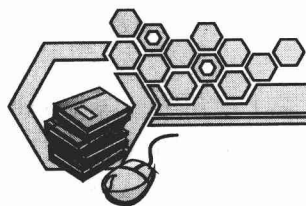
高等院校嵌入式人才培养规划教材 ARM 嵌入式体系结构与接口技术

-
- ◆ 主 编 华清远见嵌入式学院 刘洪涛
责任编辑 潘春燕
执行编辑 郭 晶
 - ◆ 人民邮电出版社出版发行 北京市崇文区夕照寺街 14 号
邮编 100061 电子函件 315@ptpress.com.cn
网址 <http://www.ptpress.com.cn>
北京昌平百善印刷厂印刷
 - ◆ 开本: 787×1092 1/16
印张: 16
字数: 410 千字 2009 年 8 月第 1 版
印数: 1—3 000 册 2009 年 8 月北京第 1 次印刷

ISBN 978-7-115-20042-6

定价: 29.00 元

读者服务热线: (010)67170985 印装质量热线: (010)67129223
反盗版热线: (010)67171154



前言

随着消费群体对产品要求的日益提高,嵌入式技术在机械器具制造、电子产品制造、通信、信息服务等行业领域得到了大显身手的机会,应用日益广泛,相应地企业对嵌入式人才的需求也越来越多。因此近几年来,各高等院校开始纷纷开设嵌入式专业或课程。但是,各院校在嵌入式专业教学建设的过程中几乎都面临教材难觅的困境。虽然目前市场上的嵌入式开发相关书籍比较多,但几乎都是针对有一定基础的行业内研发人员而编写的,并不完全符合学校的教学要求。学校教学需要一套充分考虑学生现有知识基础和接受度的,明确各门课程教学目标的,便于学校安排课时的嵌入式专业教材。

针对教材缺乏的问题,我们以多年来在嵌入式工程技术领域内人才培养、项目研发的经验为基础,汇总了近几年积累的数百家企业对嵌入式研发相关岗位的真实需求,调研了数十所开设“嵌入式工程技术”专业的高等院校的课程设置情况、学生特点和教学用书现状。通过细致的整理和分析,对专业技能和基本知识进行合理划分,我们编写了这套高等院校嵌入式人才培养规划教材,包括以下5本:

《ARM 嵌入式体系结构与接口技术》

《 μ C/OS II 嵌入式操作系统》

《嵌入式 Linux 操作系统》

《嵌入式 Linux C 语言开发》

《嵌入式应用程序设计》

本套教材按照专业整体教学要求组织编写,各自对应的主干课程之间既相对独立又有机衔接,整套教材具有系统性。《ARM 嵌入式体系结构与接口技术》侧重介绍接口技术;在操作系统教材方面,考虑到各院校不同的教学侧重点,编写了 μ C/OS II 和 Linux 两个版本;考虑到本专业对学生 C 语言能力要求较高,编写了《嵌入式 Linux C 语言开发》这本少课时的教材,可供“C 语言基础”课程的后续提高课程使用;《嵌入式应用程序设计》介绍了贯穿前面所学知识的实训内容,供“Linux 应用开发”课程使用。

本书是其中之一。ARM 作为一种 32 位的高性能、低成本的嵌入式 RISC 微处理器,已得到最广泛的应用。目前,ARM9 处理器已经占据了大部分嵌入式处理器的中高端产品市场。本书以 S3C2410X 处理器为平台,介绍了嵌入式系统开发的各个环节。本书侧重实践,辅以代码加以讲解,从分析的角度来学习嵌入式开发的各种技术。本书使用的工具是 Keil 公司的 MDK (Microcontroller Development Kit)。MDK 是 ARM 公司最新推出的专业嵌入式开发工具 RealView 的工具集。MDK 是为满足基于 MCU 进行嵌入式软件开发的需求而推出的,它包含强大的设备调试和仿真支持、众多的案例模板和固件实例及存储优化的 RTOS 库。MDK 适合不同层次的开发



发者使用,包括专业的应用程序开发工程师和嵌入式软件开发入门者,并能满足要求较高的微控制器应用。

本书将嵌入式软硬件理论讲解和技能实践融合在一起,全书共 13 章。第 1 章为嵌入式系统基础知识,介绍了嵌入式系统的组成及嵌入式开发概述。第 2 章为 ARM 技术概述,讲解了 ARM 体系结构、应用选型及编程模型等。第 3 章为 ARM 微处理器的指令系统,重点介绍了 ARM 指令集。第 4 章为 ARM 汇编语言程序设计,主要介绍了 ARM 程序中常用的伪指令、伪操作及 ARM 汇编语句的格式和结构。第 5 章为 ARM Realview MDK 集成开发环境,主要介绍了 Realview MDK 环境的安装和使用。第 6 章为 GPIO 编程,介绍了 GPIO 的概念及 S3C2410X 的 GPIO 操作方法。第 7 章为 ARM 异常中断处理及编程,介绍了 ARM 处理器的异常处理,及 S3C2410X 的中断控制器工作原理。第 8 章为串行通信接口,介绍了串行通信的概念及 S3C2410X 串口的操作方法。第 9 章为存储器接口,介绍了 Nor Flash、Nand Flash、SDRam 存储器的操作方法。第 10 章为定时器,介绍了定时器的工作原理及 S3C2410X 定时器接口的操作方法。第 11 章为 A/D 转换器,介绍了 A/D 转换器的工作原理及 S3C2410X A/D 控制器的操作方法。第 12 章为 LCD 接口设计,介绍了 S3C2410X 的 LCD 控制器的工作原理。第 13 章为嵌入式系统接口应用开发实例,融合了前面章节中的大部分知识。

在学习本书时,读者要具有一定的数字电路和 C 语言的基础知识。

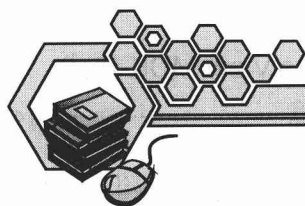
本书由刘洪涛主编并统校全稿。本书的完成需要感谢华清远见嵌入式学院,教材内容参考了学院与嵌入式企业需求无缝对接的、科学的专业人才培养体系。同时,嵌入式学院从业或执教多年的行业专家团队也对教材的编写工作做出了贡献,孙天泽、曾宏安、穆煜、赵苍明、季久峰、胡波、贾燕枫等老师在书稿的编写过程中认真阅读了所有章节,提供了大量在实际教学中积累的重要素材,对教材结构、内容提出了中肯的建议,并在后期审校工作中提供了很多帮助,在此表示衷心的感谢。

本书所有源代码、PPT 课件、教学素材等辅助教学资料,请到 www.ptpedu.com.cn 下载。

由于作者水平所限,书中不妥之处在所难免,恳请读者批评指正。对于本书的批评和建议,可以发到 www.embedu.org 技术论坛。

编 者

2009 年 6 月



第1章 嵌入式系统基础知识..... 1

- 1.1 嵌入式系统概述..... 1
 - 1.1.1 嵌入式系统简介..... 1
 - 1.1.2 嵌入式系统的特点..... 2
 - 1.1.3 嵌入式系统的发展..... 3
- 1.2 嵌入式系统的组成..... 5
 - 1.2.1 嵌入式系统硬件组成..... 5
 - 1.2.2 嵌入式系统软件组成..... 6
- 1.3 嵌入式操作系统举例..... 6
 - 1.3.1 商业版嵌入式操作系统..... 6
 - 1.3.2 开源版嵌入式操作系统..... 7
- 1.4 嵌入式系统开发概述..... 8
- 小结..... 13
- 思考与练习..... 13

第2章 ARM 技术概述..... 14

- 2.1 ARM 体系结构的技术特征及发展..... 14
 - 2.1.1 ARM 公司简介..... 15
 - 2.1.2 ARM 技术特征..... 15
 - 2.1.3 ARM 体系结构的发展..... 16
- 2.2 ARM 微处理器简介..... 17
 - 2.2.1 ARM7 处理器系列..... 18
 - 2.2.2 ARM9 处理器系列..... 19
 - 2.2.3 ARM9E 处理器系列..... 19
 - 2.2.4 ARM11 处理器系列..... 20
 - 2.2.5 SecurCore 处理器系列..... 20
 - 2.2.6 StrongARM 和 Xscale 处理器系列..... 20
 - 2.2.7 MPCore 处理器系列..... 20
 - 2.2.8 Cortex 处理器系列..... 21
- 2.3 ARM 微处理器结构..... 22

2.4 ARM 微处理器的应用选型..... 22

- 2.4.1 ARM 芯片选择的一般原则..... 23
- 2.4.2 选择一款适合教学的 ARM 芯片..... 23

2.5 ARM920T 内部功能及特点..... 26

2.6 数据类型..... 27

- 2.6.1 ARM 的基本数据类型..... 27
- 2.6.2 浮点数据类型..... 28
- 2.6.3 存储器大/小端..... 28

2.7 ARM920T 内核工作模式..... 29

2.8 ARM920T 存储系统..... 30

- 2.8.1 协处理器 (CP15)..... 31
- 2.8.2 存储管理单元 (MMU)..... 32
- 2.8.3 高速缓冲存储器 (Cache)..... 32

2.9 流水线..... 32

- 2.9.1 流水线的概念与原理..... 32
- 2.9.2 流水线的分类..... 33
- 2.9.3 影响流水线性能的因素..... 34

2.10 寄存器组织..... 35

2.11 程序状态寄存器..... 37

2.12 SAMSUNG S3C2410X 处理器介绍..... 39

小结..... 40

思考与练习..... 41

第3章 ARM 的指令系统..... 42

3.1 ARM 指令的寻址方式..... 42

- 3.1.1 数据处理指令寻址方式..... 42
- 3.1.2 内存访问指令寻址方式..... 44

3.2 ARM 指令集..... 46

- 3.2.1 数据操作指令..... 46
- 3.2.2 乘法指令..... 52
- 3.2.3 Load/Store 指令..... 54



3.2.4 跳转指令	60
3.2.5 状态操作指令	63
3.2.6 协处理器指令	64
3.2.7 异常产生指令	65
小结	68
思考与练习	68
第 4 章 ARM 汇编语言程序设计	69
4.1 ARM 汇编器支持的伪操作	69
4.1.1 伪操作概述	69
4.1.2 符号定义伪操作	70
4.1.3 数据定义 (data definition) 伪操作	73
4.1.4 汇编控制伪操作	78
4.1.5 杂项伪操作	81
4.2 ARM 汇编器支持的伪指令	89
4.2.1 ADR 伪指令	89
4.2.2 ADRL 伪指令	89
4.2.3 LDR 伪指令	90
4.3 ARM 汇编语言的语句格式	91
4.3.1 ARM 汇编语言中的符号	91
4.3.2 ARM 汇编语言中的表达式和 运算符	94
4.3.3 ARM 汇编语言内置的变量	99
4.4 ARM 汇编语言的程序 结构	100
4.4.1 汇编语言的程序格式	100
4.4.2 汇编语言子程序调用	101
4.4.3 过程调用标准 AAPCS	102
4.4.4 scatter 文件的使用	103
4.4.5 汇编语言程序设计举例	104
4.5 汇编语言与 C 语言的混合 编程	107
4.5.1 内联汇编	107
4.5.2 嵌入型汇编	109
4.5.3 汇编代码访问 C 全局变量	111
4.5.4 混合编程调用举例	112
小结	113
思考与练习	113
第 5 章 ARM RealView MDK 集成 开发环境	114
5.1 RealView MDK 环境介绍	114
5.2 ULINK2 仿真器简介	115
5.3 RealView MDK 的使用	116
5.3.1 选择工具集	116
5.3.2 创建工程并选择处理器	117
5.3.3 建立一个新的源文件	117
5.3.4 工程中文件的添加	117
5.3.5 工程基本配置	118
5.3.6 工程的编译链接	124
5.3.7 工程的调试	125
5.3.8 映像文件下载	127
小结	128
思考与练习	128
第 6 章 GPIO 编程	129
6.1 GPIO 功能介绍	129
6.2 S3C2410X 芯片的 GPIO 控制器详解	130
6.2.1 S3C2410X GPIO 常用寄存器 分类	130
6.2.2 S3C2410X I/O 口常用寄存器 详解	130
6.3 S3C2410X GPIO 的应用	137
6.3.1 电路连接	137
6.3.2 寄存器设置	138
6.3.3 程序的编写	138
小结	139
思考与练习	139
第 7 章 ARM 异常中断处理及 编程	140
7.1 ARM 异常中断处理概述	140
7.2 ARM 体系异常种类	141
7.3 ARM 异常的优先级	146
7.4 ARM 处理器模式和异常	146



7.5 ARM 异常响应和处理程序 返回	147	8.3 接口电路与程序设计	173
7.5.1 中断响应的概念	147	8.3.1 电路连接	173
7.5.2 ARM 异常响应流程	147	8.3.2 寄存器设置	173
7.5.3 从异常处理程序中返回	149	8.3.3 程序的编写	174
7.6 ARM 应用系统中异常中断 处理程序的安装	150	8.3.4 调试与运行结果	176
7.6.1 使用汇编语言安装异常 处理程序	150	小结	177
7.6.2 使用 C 语言编写安装 处理函数	151	思考与练习	177
7.7 ARM 的 SWI 异常中断处理 程序设计	152	第 9 章 存储器接口	178
7.8 FIQ 和 IRQ 异常中断 程序设计	154	9.1 Flash ROM 介绍	178
7.9 基于 ARM9 芯片 S3C2410X 异常中断程序设计	157	9.2 NOR Flash 操作	180
7.9.1 S3C2410X 中断机制分析	157	9.2.1 SST39VF160 芯片介绍	180
7.9.2 S3C2410X 中断处理程序 实例	162	9.2.2 SST39VF160 字编程操作	181
小结	164	9.2.3 SST39VF160 扇区/块擦除 操作	182
思考与练习	164	9.2.4 SST39VF160 芯片擦除 操作	183
第 8 章 串行通信接口	165	9.2.5 SST39VF160 与 S3C2410X 的 接口电路	183
8.1 串行通信	165	9.2.6 SST39VF160 存储器的 程序设计	184
8.1.1 串行通信与并行通信概念	165	9.3 NAND Flash 操作	185
8.1.2 异步串行方式的特点	166	9.3.1 K9F1208 芯片介绍	185
8.1.3 异步串行方式的数据格式	166	9.3.2 读操作过程	186
8.1.4 同步串行方式的特点	166	9.3.3 擦除操作过程	187
8.1.5 同步串行方式的数据格式	166	9.3.4 写操作过程	188
8.1.6 比特率、比特率因子与 位周期	167	9.4 S3C2410X 中 NAND Flash 控制器的操作	188
8.1.7 RS-232C 串口规范	167	9.4.1 S3C2410X NAND Flash 控制器概述	188
8.1.8 RS-232C 接线方式	169	9.4.2 S3C2410X NAND Flash 控制器寄存器详解	189
8.2 S3C2410X 异步串行通信	169	9.5 S3C2410X NAND Flash 接口 电路与程序设计	190
8.2.1 S3C2410X 串口控制器 概述	169	9.5.1 K9F1208 和 S3C2410X 的 接口电路	191
8.2.2 S3C2410X 串口控制器 寄存器	170	9.5.2 S3C2410X NAND Flash 寄存器设置	191
		9.5.3 S3C2410X 控制 K9F1208 的	



程序设计	192	11.3 A/D 转换器应用举例	224
9.6 SDRAM 芯片介绍	195	11.3.1 电路连接	224
9.6.1 SDRAM 介绍	195	11.3.2 程序的编写	224
9.6.2 HY57V561620 的结构	197	11.3.3 调试与运行结果	225
9.6.3 接口电路	198	小结	226
9.6.4 寄存器设置	200	思考与练习	226
小结	203	第 12 章 LCD 接口设计	227
思考与练习	203	12.1 LCD 控制器	227
第 10 章 定时器	204	12.1.1 LCD 控制器介绍	227
10.1 S3C2410X PWM 定时器	204	12.1.2 S3C2410X LCD 控制器	
10.1.1 PWM 定时器概述	204	介绍	228
10.1.2 PWM 定时器的寄存器	206	12.1.3 S3C2410X LCD 控制器	
10.1.3 PWM 定时器操作示例	210	操作	229
10.2 S3C2410X 看门狗定时器	211	12.1.4 LCD 控制器寄存器	231
10.2.1 S3C2410X 看门狗定时器		12.2 接口电路与程序设计	236
概述	211	12.2.1 S3C2410X LCD 电路连接	236
10.2.2 看门狗定时器寄存器	212	12.2.2 程序的编写	236
10.2.3 看门狗定时器程序编写	213	12.2.3 调试与运行结果	240
小结	215	小结	241
思考与练习	215	思考与练习	241
第 11 章 A/D 转换器	216	第 13 章 温度监测仪开发实例	242
11.1 A/D 转换器原理	216	13.1 项目功能描述	242
11.1.1 A/D 转换基础	216	13.2 系统组成	242
11.1.2 A/D 转换的技术指标	217	13.3 接口电路图设计	243
11.1.3 A/D 转换器类型	218	13.4 程序设计	244
11.1.4 A/D 转换的一般步骤	221	13.5 运行结果	247
11.2 S3C2410X A/D 转换器	222	小结	247
11.2.1 S3C2410X A/D 转换器概述	222	参考文献	248
11.2.2 S3C2410X A/D 控制器			
寄存器	223		

第1章

嵌入式系统基础知识

嵌入式系统已成为当前较为热门的领域之一，受到了社会各方面的广泛关注，越来越多的人开始学习嵌入式系统开发。本章将向读者介绍嵌入式系统的基本知识。

本章主要内容：

- 嵌入式系统的概述；
- 嵌入式系统的组成；
- 嵌入式系统开发举例；
- 嵌入式系统开发概述。

1.1 嵌入式系统概述

1.1.1 嵌入式系统简介

经过 30 多年的发展，嵌入式系统已经广泛地渗透到人们的学习、工作、生活中，我们可以看到，嵌入式系统已经应用到科学研究、工程设计、军事技术、各类产业、商业文化艺术、娱乐业以及人们的日常生活等方方面面。表 1-1 列举了嵌入式系统应用的部分领域。随着数字信息技术和网络技术的飞速发展，计算机、通信、消费电子的一体化趋势日益明显，必将培育出一个庞大的嵌入式应用市场。嵌入式系统技术也成了当前关注、学习研究的热点。大家可能会问究竟什么是嵌入式系统呢？嵌入式系统本身是一个相对模糊的定义，不同的组织对其定义也略有不同，但大意是相同的。我们来看一下嵌入式系统的相关定义。



表 1-1

嵌入式系统应用领域举例

领 域	应 用
消费电子	信息家电 智能玩具 通信设备 移动存储 视频监控
工业控制	工控设备 智能仪表 汽车电子 电子农业
网 络	网络设备 电子商务 无线传感器
医务医疗	医疗电子
军事国防	军事电子
航空航天	各类飞行设备、卫星等

按照电气和电子工程师协会（IEEE）的定义，嵌入式系统是用来控制、监控或者辅助操作机器、装置、工厂等大规模系统的设备（devices used to control, monitor, or assist the operation of equipment, machinery or plants）。这个主要是从嵌入式系统的用途方面来进行定义的。

更具一般性的，也是在多数书籍资料中使用的关于嵌入式系统的定义：嵌入式系统是指以应用为中心，以计算机技术为基础，软件硬件可剪裁，适应应用系统对功能、可靠性、成本、体积、功耗严格要求的专用计算机系统。

根据以上嵌入式系统的定义，我们可以看出，嵌入式系统是由硬件和软件相结合组成的具有特定功能、用于特定场合的独立系统。其硬件主要由嵌入式微处理器、外围硬件设备组成；其软件主要由底层系统软件 and 用户应用软件组成。

1.1.2 嵌入式系统的特点

（1）专用，软、硬件可剪裁可配置。

从嵌入式系统定义可以看出，嵌入式系统是面向应用的，和通用系统最大的区别在于嵌入式系统功能专一。根据这个特性，嵌入式系统的软、硬件可以根据需要进行精心设计、量体裁衣、去除冗余，以实现低成本、高性能。也正因如此，嵌入式系统采用的微处理器和外围设备种类繁多，系统不具通用。

（2）低功耗、高可靠性、高稳定性。

嵌入式系统大多用在特定场合，要么是环境条件恶劣，要么要求其长时间连续运转，因此嵌入式系统应具有高可靠性、高稳定性、低功耗等性能。

（3）软件代码短小精悍。

由于成本和应用场合的特殊性，通常嵌入式系统的硬件资源（如内存等）都比较少，因此对嵌入式系统设计也提出了较高的要求。嵌入式系统的软件设计尤其要求高质量，要在有限资源上实现高可靠性、高性能的系统。虽然随着硬件技术的发展和成本的降低，在高端嵌入式产品上也开始采用嵌入式操作系统，但和 PC 资源比起来还是少得可怜，所以嵌入式系统的软件代码依然要在保证性能的情况下，占用尽量少的资源，保证产品的高性价比，使其具有更强的竞争力。

（4）代码可固化。

为了提高执行速度和系统可靠性，嵌入式系统中的软件一般都固化在存储器芯片或单片机本身中，而不是存储于磁盘中。

（5）实时性。

很多采用嵌入式系统的应用具有实时性要求，所以大多嵌入式系统采用实时性系统。但需要注意的是嵌入式系统不等于实时系统。



(6) 弱交互性。

嵌入式系统不仅功能强大,而且要求使用灵活方便,一般不需要键盘、鼠标等。人机交互以简单方便为主。

(7) 嵌入式系统软件开发通常需要专门的开发工具和开发环境。

(8) 要求开发、设计人员有较高的技能。

嵌入式系统是将先进的计算机技术、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,从事嵌入式系统开发的人才也必须是复合型人才。

1.1.3 嵌入式系统的发展

1. 嵌入式系统的发展阶段

在过去的30年中,嵌入式系统主要经历了4个发展阶段。

第1阶段是以单芯片为核心的可编程控制器形式的系统。这类系统大部分应用于一些专业性强的工业控制系统中,一般没有操作系统的支持,软件通过汇编语言编写。这一阶段系统的主要特点是系统结构和功能相对单一,处理效率较低,存储容量较小,几乎没有用户接口。由于这种嵌入式系统使用简单、价格低,因此以前在国内工业领域应用较为普遍,但是目前已经远不能满足高效的、需要大容量存储的现代工业控制和新兴信息家电等领域的需求。

第2阶段是以嵌入式CPU为基础、以简单操作系统为核心的嵌入式系统。其主要特点是CPU种类繁多,通用性比较弱;系统开销小,效率高;操作系统达到一定的兼容性和扩展性;应用软件较专业化,用户界面不够友好。

第3阶段是以嵌入式操作系统为标志的嵌入式系统。其主要特点是嵌入式操作系统能运行于各种不同类型的微处理器上,兼容性好;操作系统内核小、效率高,并且具有高度的模块化和扩展性;具备文件和目录管理、支持多任务、支持网络应用、具备图形窗口和用户界面;具有大量的应用程序接口API,开发应用程序较简单;嵌入式应用软件丰富。

第4阶段是以Internet为标志的嵌入式系统。这是一个正在迅速发展的阶段。目前大多数嵌入式系统还孤立于Internet之外,但随着Internet的发展以及Internet技术与信息家电、工业控制技术结合日益密切,嵌入式设备与Internet的结合将代表嵌入式系统的未来。

2. 嵌入式系统的发展趋势

(1) 小型化、智能化、网络化、可视化。

随着技术水平的提高和人们生活的需要,嵌入式设备(尤其是消费类产品)正朝着小型化便携式和智能化的方向发展。如果你携带笔记本电脑外出办事,你肯定希望它轻薄小巧,甚至你可能希望有一种更便携的设备来替代它,目前的上网本、MID(移动互联网设备)、便携投影仪等都是因类似的需求而出现的。对嵌入式而言,可以说是已经进入了嵌入式互联网时代(有线网、无线网、广域网、局域网的组合),而嵌入式设备和互联网的紧密结合,更为日常生活带来了极大的方便和无限的想象空间。嵌入式设备功能越来越强大,未来冰箱、洗衣机等家用电器都将实现网上控制;异地通信、协同工作、无人操控场所、安全监控场所等的可视化已经成为了现实,随着网络运载能力的提升,可视化将得到进一步完善。人工智能、模式识别技术也将在嵌入式系统中得到应用,这会使得嵌入式系统更具人性化、智能化。



(2) 多核技术的应用。

人们需要处理的信息越来越多,这就要求嵌入式设备运算能力更强,因此需要设计出更强大的嵌入式处理器,多核技术处理器在嵌入式中的应用将更为普遍。

(3) 低功耗(节能)、绿色环保。

在嵌入式系统的硬件和软件设计中都在追求更低的功耗,以求嵌入式系统能获得更长的可靠工作时间。如手机的通话和待机时间、MP3 听音乐的时间等。同时,绿色环保型嵌入式产品将更受人们青睐,在嵌入式系统设计中也会更多地考虑,如辐射和静电等问题。

(4) 云计算、可重构、虚拟化等技术被进一步应用到嵌入式系统中。

简单讲,云计算是将计算分布在大量的分布式计算机上,这样我们只需要一个终端,就可以通过网络服务来实现我们需要的计算任务,甚至是超级计算任务。云计算(cloud computing)是分布式处理(distributed computing)、并行处理(parallel computing)和网格计算(grid computing)的发展,或者说是这些计算机科学概念的商业实现。在未来几年里,云计算将得到进一步发展与应用。

可重构性是指在一个系统中,其硬件模块或(和)软件模块均能根据变化的数据流或控制流对系统结构和算法进行重新配置(或重新设置)。可重构系统最突出的优点就是能够根据不同的应用需求,改变自身的体系结构,以便与具体的应用需求相匹配。

虚拟化是指计算机软件在一个虚拟的平台上而不是真实的硬件上运行。虚拟化技术可以简化软件的重新配置过程,易于实现软件的标准。其中 CPU 的虚拟化可以实现单 CPU 模拟多 CPU 并行运行,允许一个平台同时运行多个操作系统,并且都可以在相互独立的空间内运行而互不影响,从而提高工作效率和安全性。虚拟化技术是降低多内核处理器系统开发成本的关键,也是未来几年最值得期待和关注的关键技术之一。

各种技术的成熟与其在嵌入式系统中的应用,将不断为嵌入式系统增添新的魅力和发展空间。

(5) 嵌入式软件开发平台化、标准化,系统可升级,代码可复用将更受重视。

嵌入式操作系统将进一步走向开放、开源、标准化、组件化。嵌入式软件开发平台化也将是今后的一个趋势,越来越多的嵌入式软硬件行业标准将出现,最终的目标是使嵌入式软件开发简单化,这也是一个必然规律。同时随着系统复杂性的提高,系统可升级和代码复用技术在嵌入式系统中将得到更多的应用。另外,因为嵌入式系统采用的微处理器种类多,不够标准,所以在嵌入式软件开发中将更多地使用跨平台的软件开发语言与工具,目前,Java 语言正在被越来越多地使用到嵌入式软件开发中。

(6) 嵌入式系统软件将逐渐 PC 化。

需求和网络技术的发展是嵌入式系统发展的一个源动力。移动互联网的发展,将进一步促进嵌入式系统软件 PC 化。如前所述,结合跨平台开发语言的广泛应用,未来嵌入式软件开发的概念将被逐渐淡化,也就是说嵌入式软件开发和非嵌入式软件开发的区别将逐渐减小。

(7) 融合趋势。

嵌入式系统软硬件融合、产品功能融合、嵌入式设备和互联网的融合趋势加剧。嵌入式系统设计中软硬件结合将更加紧密,软件将是其核心。消费类产品将在运算能力和便携方面进一步融合。传感器网络的迅速发展,将极大地促进嵌入式技术和互联网技术的融合。

(8) 安全性。

随着嵌入式技术和互联网技术的结合发展,嵌入式系统的信息安全问题日益凸显,保证信息安全也成为了嵌入式系统开发的重点和难点。



1.2 嵌入式系统的组成

从前面的介绍可以知道,嵌入式系统总体上是由硬件和软件组成的,硬件是其基础,软件是其核心与灵魂。它们之间的关系如图 1-1 所示。

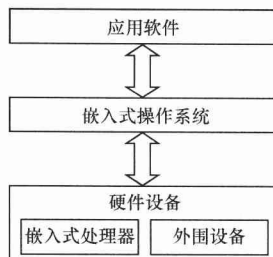


图 1-1 嵌入式系统结构简图

1.2.1 嵌入式系统硬件组成

嵌入式系统硬件设备包括嵌入式处理器和外围设备。其中的嵌入式处理器(CPU)是嵌入式系统的核心部分,它与通用处理器最大的区别在于嵌入式处理器大多工作在为特定用户群专门设计的系统中,它将通用处理器中许多由板卡完成的任务集成到芯片内部,从而有利于嵌入式系统在设计时趋于小型化,同时还具有很高的效率和可靠性。如今,全世界嵌入式处理器已经超过 1000 多种,流行的体系结构有 30 多个系列,其中以 ARM、PowerPC、MC 68000、MIPS 等的使用最为广泛。

外围设备是嵌入式系统中用于完成存储、通信、调试、显示等辅助功能的其他部件。目前常用的嵌入式外围设备按功能可以分为存储设备(如 RAM、SRAM、Flash 等)、通信设备(如 RS-232 接口、SPI 接口、以太网接口等)和显示设备(如显示屏等)3 类。



常见存储器 RAM、SRAM、SDRAM、ROM、EPROM、EEPROM、Flash 概念辨析
存储器可以分为很多种类,其中根据掉电数据是否丢失可以分为 RAM(随机存取存储器)和 ROM(只读存储器),其中 RAM 的访问速度比较快,但掉电后数据会丢失,而 ROM 掉电后数据不会丢失。人们通常所说的内存即指系统中的 RAM。

RAM 又可分为 SRAM(静态存储器)和 DRAM(动态存储器)。SRAM 是利用双稳态触发器来保存信息的,只要不掉电,信息是不会丢失的。DRAM 是利用 MOS(金属氧化物半导体)电容存储电荷来储存信息,必须通过不停地给电容充电来维持信息,所以 DRAM 的成本、集成度、功耗等明显优于 SRAM。

而通常人们所说的 SDRAM 是 DRAM 的一种,它是同步动态存储器,利用一个单一的系统时钟同步所有的地址数据和控制信号。使用 SDRAM 不但能提高系统表现,还能简化设计、提供高速的数据传输。在嵌入式系统中经常使用。

EPROM、EEPROM 都是 ROM 的一种,分别为可擦除可编程 ROM 和电可擦除 ROM,但使用不是很方便。

Flash 也是一种非易失性存储器(掉电不会丢失),它擦写方便,访问速度快,已大大取代了传统的 EPROM 的地位。由于它具有和 ROM 一样掉电不会丢失的特性,因此很多人称其为 Flash ROM。



1.2.2 嵌入式系统软件组成

在嵌入式系统不同的应用领域和不同的发展阶段，嵌入式系统软件组成也不完全相同。其基本组成如图 1-2 所示。

如图 1-2 左侧显示，在某些特殊领域中，嵌入式系统软件没有使用通用计算机系统那些样的结构。嵌入式操作系统从嵌入式发展的第 3 阶段起开始引入。嵌入式操作系统不仅具有通用操作系统的一般功能，如向上提供对用户的接口（如图形界面、库函数 API 等），向下提供与硬件设备交互的接口（硬件驱动程序等），管理复杂的系统资源，同时，它还在系统实时性、硬件依赖性、软件固化性以及应用专用性等

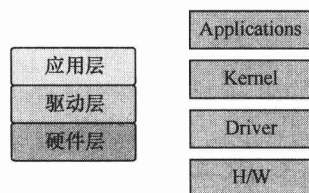


图 1-2 嵌入式系统软件组成图

方面，具有更加鲜明的特点。应用软件是针对特定应用领域，基于某一固定的硬件平台，用来达到用户预期目标的计算机软件。由于嵌入式系统自身的特点，决定了嵌入式应用软件不仅要求做到准确性、安全性和稳定性等方面需要，而且还要尽可能地进行代码优化，以减少对系统资源的消耗，降低硬件成本。

1.3 嵌入式操作系统举例

嵌入式操作系统主要有商业版和开源版两大阵营，从长远看，嵌入式系统开源、开发将是其发展趋势。

1.3.1 商业版嵌入式操作系统

下面简单地列举 VxWorks、Windows CE 两种商业版嵌入式操作系统。

1. VxWorks

VxWorks 操作系统是美国 WindRiver 公司于 1983 年设计开发的一种嵌入式实时操作系统 (RTOS)，它是当前市场占有率最高的嵌入式实时操作系统。VxWorks 的实时性做得非常好，其系统本身的开销很小，进程调度、进程间通信、中断处理等系统公用程序精练而有效，使得它们造成的延迟很短。另外，VxWorks 提供的多任务机制，对任务的控制采用了优先级抢占 (Linux 2.6 内核也采用了优先级抢占的机制) 和轮转调度机制，充分保证了可靠的实时性，并使同样的硬件配置能满足更强的实时性要求。另外，VxWorks 具有高度的可靠性，从而保证了用户工作环境的稳定。同时，VxWorks 还有很完备强大的集成开发环境，这也大大方便了用户的使用。

但是，由于 VxWorks 的开发和使用都需要交高额的专利费，因此大大增加了用户的开发成本。同时，由于 VxWorks 的源码不公开，造成它部分功能的更新（如网络功能模块）滞后。

2. Windows CE

Windows CE 是微软开发的一个开放的、可升级的 32 位嵌入式操作系统，是基于掌上型电脑类的电子设备操作系统。它是精简的 Windows 95。Windows CE 的图形用户界面相当出色，而且具有模块化、结构化和基于 Win32 应用程序接口以及与处理器无关等特点。它不仅继承



了传统的 Windows 图形界面，并且用户在 Windows CE 平台上不仅可以使 Windows 95/98 上的编程工具（如 Visual Basic、Visual C++等），也可以使用同样的函数、同样的界面风格，使绝大多数 Windows 上的应用软件只需简单地修改和移植就可以在 Windows CE 平台上继续使用。但与 VxWorks 相同，Windows CE 也是要收费的，但相对于 VxWorks 要经济很多。

1.3.2 开源版嵌入式操作系统

1. 嵌入式 Linux

嵌入式 Linux（embedded linux）是指对标准 Linux 经过小型化裁剪处理之后，能够固化在容量只有几 KB 或者几 MB 字节的存储器芯片或者单片机中，是适合于特定嵌入式应用场合的专用 Linux 操作系统。在目前已经开发成功的嵌入式系统中，大约有一半使用的是 Linux，这与它自身的优良特性是分不开的。

嵌入式 Linux 同 Linux 一样，具有低成本、多种硬件平台支持、优异的性能和良好的网络支持等优点。另外，为了更好地适应嵌入式领域的开发，嵌入式 Linux 还在 Linux 基础上做了部分改进，如下所示。

（1）改善了内核结构。

Linux 内核采用的是整体式结构（monolithic），整个内核是一个单独的、非常大的程序，这样虽然能够使系统的各个部分直接沟通，提高系统响应速度，但与嵌入式系统存储容量小、资源有限的特点不相符合。因此，嵌入式系统经常采用的是另一种称为微内核（microkernel）的体系结构，即内核本身只提供最基本的操作系统功能，如任务调度、内存管理、中断处理等，而类似于文件系统和网络协议等附加功能则运行在用户空间中，并且可以根据实际需要进行取舍。这样就大大减小了内核的体积，便于维护和移植。

（2）提高了系统实时性。

由于现有的 Linux 是一个通用的操作系统，虽然它也采用了许多技术来加快系统的运行和响应速度，但从本质上来说并不是一个嵌入式实时操作系统。因此，利用 Linux 作为底层操作系统，在其上进行实时化改造，从而构建出一个具有实时处理能力的嵌入式系统，如 RT-Linux 已经成功地应用于航天飞机的空间数据采集、科学仪器测控和电影特技图像处理等各种领域。

嵌入式 Linux 同 Linux 一样，也有众多的版本，其中不同的版本分别针对不同的需要在内核等方面加入了特定的机制。嵌入式 Linux 的主要版本如表 1-2 所示。

表 1-2

嵌入式 Linux 主要版本

版 本	简 单 介 绍
μCLinux	开放源码的嵌入式 Linux 的典范之作。它主要针对目标处理器没有存储管理单元 MMU。其运行稳定，具有良好的移植性和优秀的网络功能，对各种文件系统有完备的支持，并提供标准丰富的 API
RT-Linux	由美国墨西哥理工学院开发的嵌入式 Linux 实时操作系统
Embedix	根据嵌入式应用系统的特点重新设计的 Linux 发行版本。它提供了超过 25 种的 Linux 系统服务，包括 Web 服务器等。此外还推出了 Embedix 的开发调试工具包、基于图形界面的浏览器等。Embedix 是一种较完整的嵌入式 Linux 解决方案
XLinux	采用了“超字节集”专利技术，使 Linux 内核不仅能与标准字符集相容，还涵盖了 12 个国家和地区的字符集。因此，XLinux 在推广 Linux 的国际应用方面有独特的优势



续表

版 本	简 单 介 绍
PoketLinux	它可以提供跨操作系统并且构造统一的、标准化的和开放的信息通信基础结构,在此结构上实现端到端方案的完整平台
红旗嵌入式 Linux	由北京中科院红旗软件公司推出的嵌入式 Linux,它是国内做得较好的一款嵌入式操作系统。目前,中科院计算机研究所自行开发的开放源码的嵌入式操作系统——Easy Embedded OS (EEOS) 也已经开始进入实用阶段了

1.4 嵌入式系统开发概述

由嵌入式系统本身的特性所影响,嵌入式系统开发与通用系统的开发有很大的区别。嵌入式系统的开发主要分为系统总体开发、嵌入式硬件开发和嵌入式软件开发 3 大部分,其总体流程图如图 1-3 所示。

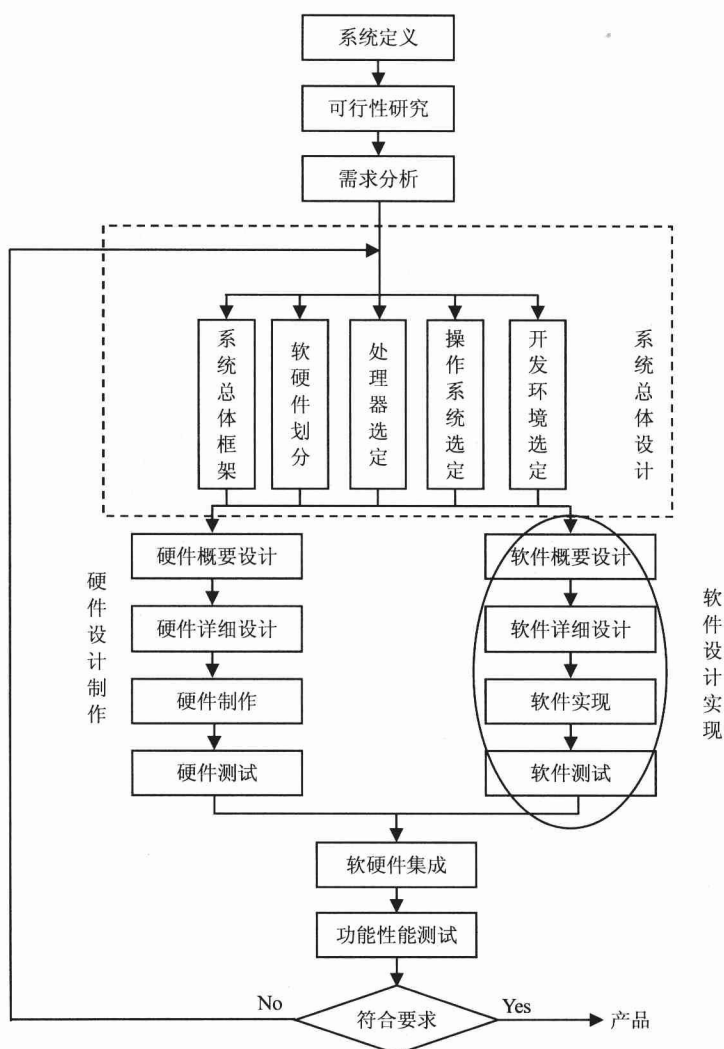


图 1-3 嵌入式系统开发流程图