

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

嵌入式技术 基础

严雨 主编 袁天生 孙思云 谷红梅 副主编



Qianrushi Jishu
Jichu

理论联系实践
培养基本技能
提供优质素材

 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

嵌入式技术 基础

严雨 主编 袁天生 孙思云 谷红梅 副主编



Qianrushi Jishu
Jichu

人民邮电出版社
北京

、图书在版编目 (C I P) 数据

嵌入式技术基础 / 严雨主编. — 北京 : 人民邮电出版社, 2012.3

高等院校嵌入式人才培养规划教材

ISBN 978-7-115-26507-4

I. ①嵌… II. ①严… III. ①微型计算机—系统设计
—高等学校—教材 IV. ①TP360.21

中国版本图书馆CIP数据核字(2011)第230747号

内 容 提 要

本书全面地介绍了嵌入式技术基础知识, 首先介绍了嵌入式系统基础、ARM920T 微处理器内核和S3C2410X 的嵌入式软件设计, 然后分别介绍了基于 ARM9 和 μ C/OS-II 嵌入式系统设计、ARM ADS 集成开发环境、基于 ARM9 和 Linux 嵌入式系统设计, 最后详细介绍了嵌入式 Linux 设备驱动程序开发、嵌入式网络设备驱动程序开发以及 Qt/Embedded 嵌入式图形开发等。

本书理论知识与实际开发经验并重, 在知识讲解的基础上深入介绍实际开发设计, 充分体现了教学做一体化, 做中学的 CD IO 工程教育思想。本书既可作为大、专院校嵌入式基础课程教材, 也可作为工程开发人员的参考用书。

高等院校嵌入式人才培养规划教材

嵌入式技术基础

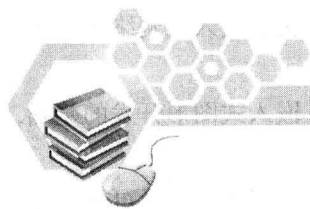
-
- ◆ 主 编 严 雨
 - 副 主 编 袁天生 孙思云 谷红梅
 - 责任编辑 王 威
 - ◆ 人民邮电出版社出版发行 北京市崇文区夕照寺街 14 号
邮编 100061 电子邮件 315@ptpress.com.cn
网址 <http://www.ptpress.com.cn>
北京昌平百善印刷厂印刷
 - ◆ 开本: 787×1092 1/16
印张: 16.5 2012 年 3 月第 1 版
字数: 426 千字 2012 年 3 月北京第 1 次印刷

ISBN 978-7-115-26507-4

定价: 32.00 元

读者服务热线: (010)67170985 印装质量热线: (010)67129223

反盗版热线: (010)67171154



嵌入式系统是现阶段最热门、最有发展前途的 IT 应用领域之一。随着个人消费电子产品的智能化,嵌入式系统的重要性更加凸现出来。嵌入式系统有着广泛的应用,例如智能手机、PDA、电子字典、可视电话、VCD/DVD/MP3 播放器/MP4 播放器、数码相机、数码摄像机、U-Disk、机顶盒、高清电视、游戏机、智能玩具、交换机、路由器、数控设备或仪表、汽车电子、家电控制系统、医疗仪器、航天航空设备等都是典型的嵌入式系统。

嵌入式系统由于具有功耗低、效率高、可靠性高、性能价格比高、实时性强、功能强大、支持多任务、占用空间小、可以面向特定需求设计等突出优点,而成为当前 IT 行业迅速发展、应用的方向之一。本书由来自教研一线的老师编写,在广泛地与各高校教师调研、沟通、合作之后,明确了当前嵌入式系统教学课程的迫切需求,按照培养高素质嵌入式系统硬件开发人员、嵌入式系统操作系统软件开发人员、底层驱动开发人员等能力的需求,基于嵌入式系统开发的技术要求、职业能力要求和行业基本素质目标,总结多年嵌入式系统开发和教学的经验与成果,以嵌入式系统基础知识为主线,以嵌入式系统设计、嵌入式设备驱动程序开发以及 Qt/Embedded 嵌入式图形开发等的讲解为主体,编写了本书。

本书按照嵌入式系统开发的工作流程和学生学习、掌握知识的规律,循序渐进地讲解嵌入式系统的基础知识、开发原则和开发方法。

第 1 章 嵌入式系统基础,首先简要地介绍了什么是嵌入式系统,接着讲述了嵌入式系统的处理器,最后讲解了通常的嵌入式系统开发的过程。

第 2 章 基于 ARM920T 核微处理器,首先介绍了 ARM 处理器,然后对 ARM920T 作了简介,最后详细讲解了三星 S3C2410X 处理器。

第 3 章 S3C2410X 的嵌入式软件设计,先是着重讲解了 S3C2410X 的串行通信设计,然后又介绍了 S3C2410X 的键盘及 LED 驱动设计,最后阐述了 S3C2410X 的 D/A 功能应用开发。

第 4 章 基于 ARM9 和 $\mu\text{C}/\text{OS-II}$ 嵌入式系统设计,首先简要地分析了 $\mu\text{C}/\text{OS-II}$ 的内核和 API 函数,接着讲解了 $\mu\text{C}/\text{OS-II}$ 的应用程序开发和 $\mu\text{C}/\text{OS-II}$ 在 S3C2410X 上的移植,最后重点讲解、分析了基于 $\mu\text{C}/\text{OS-II}$ 操作系统的开发案例。

第 5 章 ARM ADS 集成开发环境,本章先是介绍了 ADS1.2 的安装,然后分析了 ADS 集成开发环境的使用,最后讲解了用 AXD 进行代码调试。

第 6 章 基于 ARM9 和 Linux 嵌入式系统设计,本章内容比较重要,首先讲解了嵌入式 Linux 的开发环境、Linux 命令和 GNU 开发工具的使用、GNU make 命令和 makefile 文件以及嵌入式 Linux 下 C 语言编程,接着讲解了嵌入式 Linux 引导程序,重点讲解了 Linux 系统在 ARM 平台上的移植和 Linux 系统及应用程序的烧写。

第 7 章 嵌入式 Linux 设备驱动程序开发,本章内容也比较重要,首先分析了嵌入式 Linux 的设备管理、设备驱动模块化编程,紧接着讲解了 GPIO 字符设备驱动程序设计、A/D 转换器驱动程序设计、IC 卡驱动程序设计、内核驱动程序设计(触摸屏驱动程序)、音频驱动程序设计。



第8章 嵌入式网络设备驱动程序开发，本章内容不多，简要地分析了嵌入式网络设备驱动程序，然后讲解了基于以太网控制器 AX88796 的网络驱动程序设计。

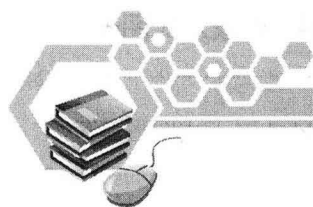
第9章 Qt/Embedded 嵌入式图形开发，本章介绍了 Qt/Embedded 嵌入式图形开发的基础，并且简要地分析了 Qtopia 虚拟平台及其在 S3C2410S 开发板上的移植。

为方便教学，本书还提供了 PPT 课件、源代码、课后习题答案等教学资源，读者可登录人民邮电出版社，教学服务与资源网（www.ptpedll.com.cn）免费下载使用。

由于时间仓促、作者学识水平有限，书中存在不妥之处在所难免，敬请广大读者提出宝贵意见。

编 者

2011 年 12 月



目 录

第 1 章 嵌入式系统基础.....1	第 5 章 ARM ADS 集成开发环境.....77
1.1 嵌入式系统简介.....2	5.1 ADS1.2 的安装.....77
1.2 嵌入式处理器.....4	5.2 ADS 集成开发环境的使用.....83
1.3 嵌入式系统开发过程.....8	5.3 用 AXD 进行代码调试.....98
1.4 思考与练习.....11	5.4 思考与练习.....102
第 2 章 基于 ARM920T 核微处理器.....13	第 6 章 基于 ARM9 和 Linux 嵌入式 系统设计.....104
2.1 ARM 处理器简介.....13	6.1 嵌入式 Linux 的开发环境.....105
2.2 ARM920T 简介.....16	6.2 Linux 命令及 GNU 开发工具的 使用.....128
2.3 三星 S3C2410X 处理器详解.....22	6.3 GNU make 命令和 makefile 文件.....142
2.4 思考与练习.....28	6.4 嵌入式 Linux 下 C 语言编程—— 文件的操作.....155
第 3 章 S3C2410X 的嵌入式软件 设计.....30	6.5 嵌入式 Linux 引导程序.....158
3.1 S3C2410X 的串行通信设计.....30	6.6 Linux 系统在 ARM 平台上的 移植.....159
3.2 S3C2410X 的键盘及 LED 驱动 设计.....40	6.7 Linux 系统及应用程序的烧写.....161
3.3 S3C2410X 的 D/A 功能应用 开发.....47	6.8 思考与练习.....164
3.4 思考与练习.....54	第 7 章 嵌入式 Linux 设备驱动程序 开发.....165
第 4 章 基于 ARM9 和 μ C/OS-II 嵌入式系统.....55	7.1 嵌入式 Linux 的设备管理.....166
4.1 μ C/OS-II 的内核.....56	7.2 设备驱动模块化编程.....171
4.2 μ C/OS-II 的 API 函数.....62	7.3 GPIO 字符设备驱动程序设计.....175
4.3 μ C/OS-II 的应用程序开发.....70	7.4 A/D 转换器驱动程序设计.....189
4.4 μ C/OS-II 在 S3C2410X 上的 移植.....71	7.5 IC 卡驱动程序设计.....205
4.5 基于 μ C/OS-II 操作系统的绘图 API 函数的开发案例.....72	7.6 内核驱动程序设计——触摸屏 驱动程序.....213
4.6 思考与练习.....75	7.7 音频驱动程序设计.....220
	7.8 思考与练习.....226



第 8 章 嵌入式网络设备驱动程序

设计 228

8.1 嵌入式网络设备驱动程序 229

8.2 基于以太网控制器 AX88796 的
网络驱动程序设计 234

8.3 思考与练习 245

第 9 章 Qt/Embedded 嵌入式图形

开发 246

9.1 Qt/Embedded 嵌入式图形开发
基础 247

9.2 Qtopia 虚拟平台及在 S3C2410S
开发板上移植 256

9.3 思考与练习 257

第1章

嵌入式系统基础

能力目标:

- 了解嵌入式系统的概念及系统组成
- 了解嵌入式系统的应用范畴
- 认识嵌入式系统的常用处理器
- 通过对嵌入式系统开发过程的学习, 熟悉嵌入式系统的开发工具和开发流程

学习导航:

本章是对嵌入式系统的概念和相关基础知识的综述, 为后续的学习进行了知识储备。在章节中简单介绍了嵌入式系统的概念, 并对嵌入式系统的开发流程进行了详细的讲解, 如图 1-1 所示。

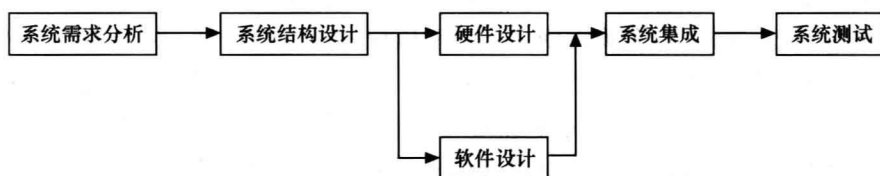


图 1-1 嵌入式系统开发流程

知识框架:

本章知识内容为嵌入式系统的概念、常用处理器介绍和嵌入式系统的开发流程。本章学习内容的知识框架如图 1-2 所示。

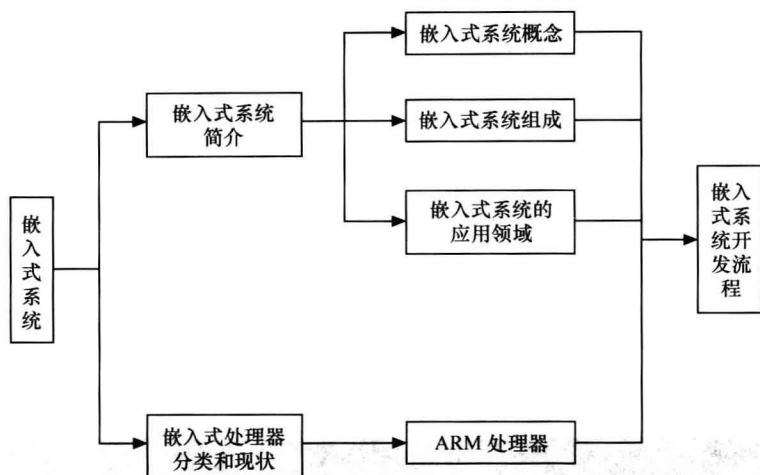


图 1-2 学习内容知识框架

1.1 嵌入式系统简介

近年来,随着以计算机技术、通信技术为主的信息技术的快速发展和电子系统的广泛应用,嵌入式系统的开发逐渐成为了热点。在当今信息化社会中,嵌入式系统在人们的日常工作和生活中所占的比例越来越高,从 MP3、手持 PC 到各种工业以及医疗方面的应用都可以归入嵌入式系统。嵌入式系统作为一门理论与实际密切结合的学科,必将随着信息产业的发展而逐渐成熟。

1.1.1 嵌入式系统的概念

嵌入式系统通常是指用于执行特定功能的专用计算机系统,嵌入式系统是面向用户、面向产品、面向应用的。嵌入式系统的硬件必须适应应用系统对功能、可靠性、成本、体积、功耗等的要求,必须与具体应用相结合。实际上,嵌入式系统本身是一个定义模糊且外延极广的概念,凡是与产品结合在一起的具有嵌入式特点的控制系統都可以称作嵌入式系统,因此很难给它一个准确的定义,常见的单片机也属于嵌入式系统的范畴。现在人们所讲的嵌入式系统多是指具有操作系统的嵌入式系统,但广义地讲,嵌入式系统包括无操作系统的嵌入式系统和有操作系统的嵌入式系统两大类。从不同的视角可以将嵌入式系统的概念主要概括如下。

- (1) 嵌入式系统是“控制、监视或者辅助控制装置、机器和设备运行的系统”。
- (2) 凡是带有微处理器的专用软硬件系统都可以称为嵌入式系统。

1.1.2 嵌入式系统的组成

从整体的角度看,无论是结构简单的小型嵌入式系统,还是功能复杂的大型嵌入式系统,都是由系统软件和硬件共同组成的,如图 1-3 所示。

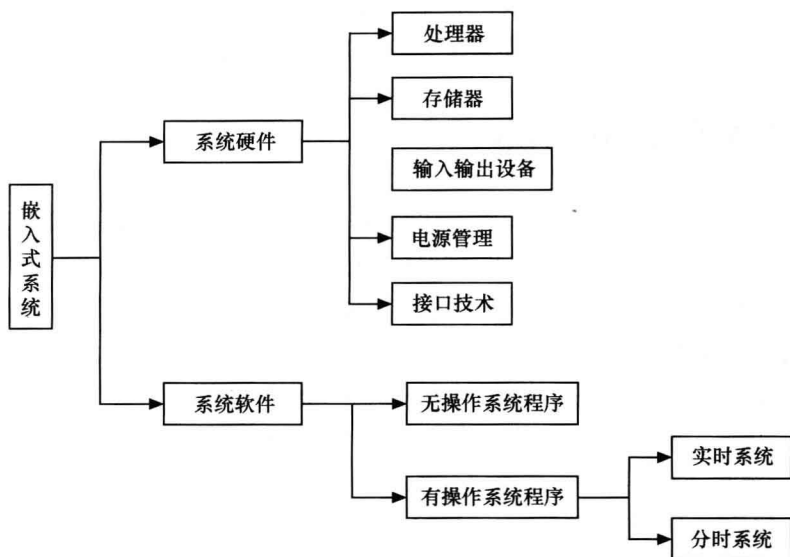


图 1-3 嵌入式系统组成结构

嵌入式系统的硬件架构大致可分为：处理器、存储器、输入输出设备、电源管理和接口技术。

1. 处理器

处理器是嵌入式系统的核心部件，主要用于执行程序代码，控制 I/O 口和外围电路的具体执行情况。

2. 存储器

存储器是嵌入式系统中的记忆部件，用于存储固定的程序和数据或作为数据缓存。它是由一组或多组具备数据输入输出功能和存储功能的集成电路组成，并能根据控制器的输入信息对指定位置进行数据或指令的存入和取出动作的芯片。存储器按存储信息的不同可分为只读存储器（Read Only Memory, ROM）和随机存取存储器（Random Access Memory, RAM）。

3. 输入/输出设备

嵌入式系统中的输入/输出设备多用于实现系统工作中的人机交互功能。通过输入设备（如键盘、鼠标、摄像头和语音输入装置等），可在使用过程中对程序流程进行人为的控制及功能函数调用。常见的嵌入式系统的输出设备有显示和语音输出部件，多用于系统数据、图像或语音的输出。

4. 电源管理

电源是所有电子产品中的一个重要组成部分，电源的稳定性在很大程度上决定了系统的稳定性。电源管理也称作电源控制，在嵌入式系统中主要包含电源 IC 选择、电源电压监测和芯片电源模式管理。

5. 接口技术

接口是嵌入式系统中处理器与外部存储器和设备进行信息 and 数据交换的连接部件，常用接口有并行接口、串行接口、USB、Ethernet、I²C 以及各种总线技术等。



嵌入式系统软件主要是指带操作系统的程序应用。目前嵌入式操作系统主要分为实时操作系统和分时操作系统两大类，其中实时操作系统又可分为硬实时系统和软实时系统。

1.1.3 嵌入式系统的应用领域

随着微电子工艺水平的发展，芯片的集成化程度也越来越高，各集成电路制造商开始把嵌入式应用中所需要的各种控制电路（如 A/D、D/A 转换）和其他常用接口或控制器都统统集成到一个超大规模集成电路（VLSI）中，使单芯片处理能力得到了提高。同时，伴随社会经济水平的不断增长，对电子产品的需求也向着具有更高的可靠性、更贴近生活的专业性及更快的更新换代速度等方向发展。正是这些因素的存在，使嵌入式系统应用得到了快速的发展，并迅速地渗入到如下的各个领域中。

- （1）工业控制领域，如工业生产中的过程控制及数控机床等方面。
- （2）无线通信领域，如手机等无线通信设备。
- （3）交通管制领域，实现车辆导航、流量控制及信息监测与汽车服务等方面。
- （4）信息家电领域，这是与我们日常生活联系最紧密的方面，也是嵌入式系统最大的应用领域之一，其中智能家电是该领域较新的发展方向。
- （5）网络应用领域，主要应用在语音及视频处理方向。
- （6）数字智能管理系统，如数字智能化社区、远程自动抄表系统等应用领域。
- （7）电子商务领域，如各种银行卡、公交卡、电话卡以及当前流行的一卡通服务等。
- （8）消费类电子产品，有目前流行的数字音频播放器、数字机顶盒和游戏机。
- （9）环境工程系统，该领域主要应用为水文监测、水源和空气污染监测以及气象监测等。
- （10）国防军事领域，用于军事指挥控制和武器系统的控制方面。

1.1.4 嵌入式系统的发展趋势

从 20 世纪 90 年代，在信息化和数字化概念的引领下，嵌入式系统作为计算机应用系统的一个重要分支，到目前为止已经得到了长足的发展，且必将随着社会的进步而不断进步。在 Internet 技术深入人心的今天，网络化、信息化、小尺寸、低功耗、低成本已成为嵌入式系统发展的必然趋势。

1.2 嵌入式处理器

1.2.1 嵌入式处理器的分类

嵌入式处理器是整个嵌入式系统的核心控制部件，是控制系统运行、判断系统执行条件和执行系统软件的主要硬件。嵌入式处理器的种类繁多，不同的处理器封装形式、寻址空间大小、片上外设、处理器内核结构和处理器速度都各不相同，因此嵌入式处理器可以按照不同的方式进行分类。

1. 按处理信息的字长分类

按处理信息的字长，嵌入式处理器可以分为：8 位微处理器、16 位微处理器、32 位微处理器



和 64 位微处理器。

2. 按处理器体系结构分类

嵌入式处理器的体系结构主要可分为：冯诺依曼体系结构和哈佛体系结构，如图 1-4 和图 1-5 所示。冯诺依曼体系结构采用单一的存储空间对数据和指令进行存储，二者的访问不能同步进行。哈佛体系结构是将数据和程序分开进行存储的，程序和数据的存储空间是分离的，允许同时对指令和数据进行存取。

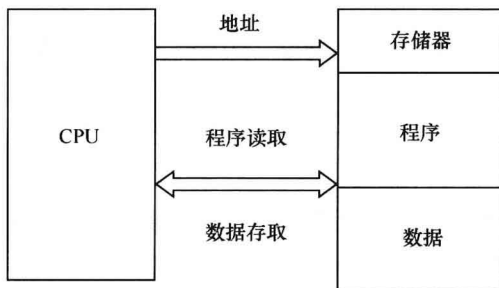


图 1-4 冯诺依曼体系结构

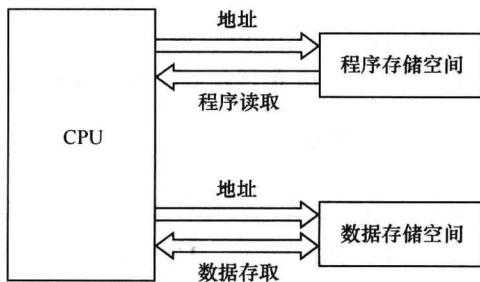


图 1-5 哈佛体系结构

3. 按指令系统分类

嵌入式处理器按指令系统可分为 CISC (Complex Instruction Set Computer 复杂指令集计算机) 和 RISC (Reduced Instruction Set Computer, 精简指令集计算机)。其中 CISC 的指令系统复杂，每条指令的执行周期各不相同，处理器结构复杂，但功能强大，多用于通用计算机；而 RISC 是相对 CISC 而言的，其微处理器结构简单，指令规整，多用于专用计算机系统。

4. 按处理器的自身特点分类

处理器按其自身特点可分为嵌入式微处理器 (Embedded Microprocessor Unit, EMPU)、嵌入式微控制器 (Embedded Microcontroller Unit, EMCU)、嵌入式 DSP 处理器 (Embedded Digital Signal Processor, EDSP) 和嵌入式片上系统 (System On Chip)。

(1) 嵌入式微处理器：注重数据的处理速度，具有较高性能，多采用 CISC 复杂指令集，常用于高端的工作站和与嵌入式应用有关的各种主板等。

(2) 嵌入式微控制器：通用性较强，片上资源丰富，很多常用的接口控制部件都集成到了芯片内部，常见的型号有 MCS51 系列单片机和 ARM 系列的部分芯片。

(3) 嵌入式 DSP 处理器：专为数字信号处理设计的处理器，其指令执行速度较高、计算能力强，同时成本也较高，适用于高端的处理器市场。

(4) 嵌入式片上系统：为具体应用量身定制的、有专用目标的集成电路，通用性差。

1.2.2 嵌入式处理器的分类和现状

嵌入式处理器是嵌入式系统的核心执行部件，它通过控制各 I/O 口和外围设备的工作状态来实现系统控制。在目前的嵌入式处理器市场中，各种类型的处理器芯片层出不穷。据不完全统计，全



世界范围内的处理器品种已超过 1000 种,流行的体系结构有 30 多个系列,其中 8051 体系和 ARM 体系的 CPU 是当前市场的主流。下面按处理器的自身特点分类来介绍各类处理器的发展现状。

1. 嵌入式微处理器

嵌入式微处理器的基础是通用计算机中的 CPU,它是一个单芯片 CPU,具有体积小、重量轻、成本低、可靠性高的优点。在使用嵌入式微处理器作为系统的核心控制器时,在电路板上必须包含 ROM、RAM、Flash、总线接口及各种外设控制器件等电路,从而使系统的可靠性和保密性降低。

目前主流的嵌入式微处理器有 Am186/88、386EX、SC-400、68000、MIPS、ARM 系列以及 Intel 的 x86/Pentium 系列和 IBM/Motorola 的部分 PowerPC 系列等。

2. 嵌入式微控制器

嵌入式微控制器又可称作单片机,与嵌入式微处理器不同,它在一块芯片上集成了 ROM、RAM、Flash、各种总线、总线逻辑、定时/计数器、看门狗、脉宽调制输出、A/D 转换、D/A 转换等各种必要的功能和外设,是目前嵌入式系统应用的主流。为适应不同的应用需求,一个系列的微控制器通常具有多种衍生产品,它们具有相同的处理器内核、不同的存储器大小和外设的配置及封装。

因微控制器具有丰富的片上外设,更适合于实现系统控制功能。目前常用的嵌入式微控制器有 8051、P51XA、MCS-251、MCS-96/196/296、C166/167、MC68HC05/11/12/16、68300 等。

3. 嵌入式 DSP 处理器

嵌入式 DSP 处理器为了适应执行 DSP 算法,对系统的结构和指令进行了特殊设计,使其具有较高的编译效率和较快的指令执行速度。嵌入式 DSP 处理器在数字滤波、FFT 和频谱分析等与数字信号处理有关的方面拥有很强的市场竞争力。随着对嵌入式系统智能化要求的不断提高,嵌入式 DSP 处理器正在大举进军嵌入式应用领域,如虚拟现实、生物信息识别终端以及各种带有智能逻辑的消费类产品。

目前主流的嵌入式 DSP 处理器有 Texas Instruments 的 TMS320 系列和 Motorola 的 DSP56000 系列。

4. 嵌入式片上系统

嵌入式片上系统是在一个硅片上实现系统功能的方法,用户根据需求来定义整个应用系统,待仿真通过后就可以将设计图交由半导体工厂进行样品制作。

1.2.3 ARM 处理器

ARM (Advanced RISC Machines) 既是一个公司的名字,也是对微处理器的通称。从 1985 年 4 月 26 日第一个 ARM 原型在英国剑桥的 Acorn 计算机有限公司诞生及 1990 年 ARM 公司成立至今,ARM 作为微处理器行业中的一家知名企业,它所设计的面向低预算市场的 32 位 ARM 嵌入式 RISC 处理器占据了 32 位嵌入式微处理器 75% 以上的市场份额,适用于多种领域(如嵌入



控制、消费/教育类多媒体、DSP 和移动式应用等), 并已在全世界范围内占据了低功耗、低成本和高性能嵌入式系统应用领域的领先地位。全球 80% 的 GSM/3G 手机、99% 的 CDMA 手机以及绝大多数 PDA 产品均采用 ARM 体系的嵌入式处理器。

ARM 公司是专门从事基于 RISC 技术芯片设计开发的公司, 设计了大量性能高、成本低、耗能低的 RISC 处理器和相关技术及软件。它作为知识产权供应商, 本身并不从事芯片生产, 而是通过技术授权的方式与许多著名的半导体、软件和 OEM 厂商合作, 为其提供一套独一无二的 ARM 相关技术及服务, 转让设计许可, 最终由合作公司来生产各具特色的芯片。

目前, 全世界范围内与 ARM 签订了相关芯片技术授权使用许可协议的半导体公司总共有 30 多家, 其中包括 Intel、IBM、LG 半导体、三星、NEC、SONY、飞利浦和 STC 这样的大公司。同时它还与微软、升阳和 MRI 等一系列知名软件公司合作, 已获得更多来自第三方的技术支持。

ARM 处理器特点概括如下。

- (1) 体积小、功耗低、成本低、性能高。
- (2) 具有大量的寄存器。
- (3) 支持 Thumb (16 位) /ARM (32 位) 双指令集, 能很好地兼容 8 位/16 位器件。
- (4) 支持 Load/Store 的体系结构, 大多数数据操作都在寄存器中完成, 指令执行速度更快。
- (5) 寻址方式简单。
- (6) 采用固定长度的指令格式, 同一指令中包含了算术逻辑处理和移位处理。
- (7) 支持条件编译, 所有指令都可以根据前面指令的执行结果决定执行路径。
- (8) 采用流水线结构, 提高指令的执行效率。

ARM 处理器的体系结构从最初开发的 ARM1 到现在的新推出的两个处理器内核 Cortex-M3 和 MPCore, 其体系结构有了很大的改进, 并仍在不断完善和发展。ARM 处理器的体系结构版本以版本号 v1 ~ v6 表示, 具体的 ARM 体系结构版本介绍如下。

1. ARM 版本 I: v1 版架构

该版的 ARM 架构只在原型机 ARM1 上出现过, 只有 26 位的寻址空间, 没有用于商业产品。ARM v1 具有了除乘法以外的基本的数据处理指令, 基于字节、半字和字的 Load/Store 指令, 转移指令和供操作系统使用的软件中断指令 (SWI)。

2. ARM 版本 II: v2 版架构

ARM 版本 II 架构在 v1 版的基础上进行了扩展, 包含了对 32 位乘法指令和协处理器指令的支持, 同时还支持快速中断模式和 SWP/SWPB 的最基本存储器与寄存器交换指令。

3. ARM 版本 III: v3 版架构

ARM 公司在 1990 年设计的微处理器 ARM6 是基于 v3 版架构的。v3 版的 ARM 架构对 ARM 体系结构作了较大的改动, 它将寻址空间增至 32 位 (4GB); 增加了程序状态保存寄存器 (Saved Program Status Register, SPSR); 增加了两种异常模式, 使操作系统代码可方便地使用数据访问终止异常、指令预取终止异常和未定义指令异常; 增加了 MRS/MSR 指令, 以便于访问新增的 CPSR/SPSR 寄存器; 支持从异常处理返回的指令功能。



4. ARM 版本Ⅳ：v4 版架构

ARM 的 v4 版架构在 v3 版上作了进一步的扩展，v4 版架构是目前应用最广的 ARM 体系结构，常用的 ARM7、ARM8、ARM9 和 StrongARM 系列的微处理器都采用该架构。v4 版架构完善了软件中断指令（SWI）的功能，增加了 T 变种，处理器可工作在 Thumb 状态，增加了 16 位 Thumb 指令集，处理器系统模式引进特权方式时使用用户寄存器操作，不再强制要求与 26 位地址空间兼容，而且还明确了哪些指令会引起未定义指令异常。

5. ARM 版本Ⅴ：v5 版架构

v5 版 ARM 架构在 v4 版基础上增加了一些新的指令，如带有链接和交换的转移 BLX 指令、计数前导零 CLZ 指令和 BRK 中断指令，改进了 ARM/Thumb 状态之间的切换效率。在 v5TE 版中还增加了数字信号处理指令，ARM10 和 XScale 都采用该版架构。

6. ARM 版本Ⅵ：v6 版架构

v6 版架构是在 2001 年发布的，首先在 ARM11 处理器中进行了使用。在降低耗电量的同时，强化了图形处理性能。在架构中通过追加有效进行多媒体处理的 SIMD（Single Instruction, Multiple Data，单指令多数据）功能，将语音及图像的处理功能提高到了原型机的 4 倍。

7. ARM 版本Ⅶ：v7 版架构

ARM Cortex 系列产品是基于 ARMv7 版本架构的微处理器芯片，该处理器架构支持多媒体以及信号处理能力的 NEONTM 技术、增加代码密度和加强性能的技术以及能够支持 Java 和其他文字代码语言的提前和即时编译的 Jazelle@RTC 技术。

1.3 嵌入式系统开发过程

嵌入式系统的开发主要可分为硬件开发和软件开发两部分，嵌入式系统的硬件和软件可采用协同（Codesign）设计的方法，采用统一的方法和工具对软件和硬件进行描述、综合和验证。

1.3.1 嵌入式系统的总体结构

一个完整的嵌入式系统必须包含嵌入式系统的硬件和嵌入式系统的软件两部分，如图 1-6 所示。

1. 嵌入式系统的硬件

嵌入式系统的硬件是系统的执行部件，主要由嵌入式微处理器和外围电路共同组成，如图 1-7 所示。嵌入式微处理器是嵌入式硬件系统的核心，决定了整个系统功能和应用领域。外围电路根据不同的应用需要而各不相同，常见的外围电路主要有电源管理模块、时钟模块、外部



存储器模块、机械执行模块、A/D 或 D/A 转换模块、通信接口控制模块以及键盘和 LCD 等常用输入输出设备。

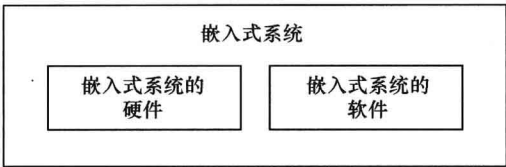


图 1-6 嵌入式系统的总体结构

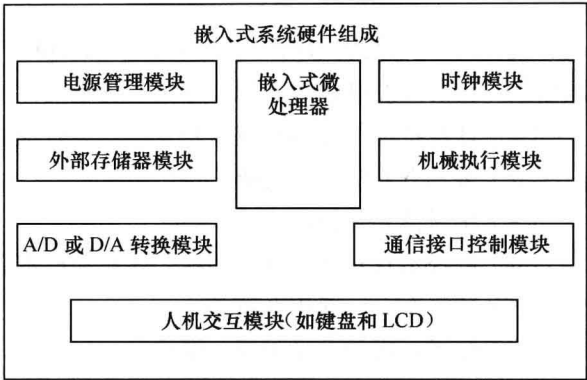


图 1-7 嵌入式系统的硬件组成

2. 嵌入式系统的软件

嵌入式系统的软件分为无操作系统的嵌入式系统软件和移植了操作系统的嵌入式系统软件。在传统的单片机软件设计中多选用无操作系统的嵌入式系统软件；而移植了操作系统的嵌入式系统与前后台系统中应用程序、驱动程序与系统程序全部混在一起不同，软件层次分明，可扩展性和可维护性增强，图 1-8 所示为移植了操作系统的嵌入式系统软件结构。



图 1-8 移植了操作系统的嵌入式系统软件结构

(1) 硬件抽象层。硬件抽象层又可称作板级支持包 (Board Support Packet, bsp)，是介于硬件和操作系统驱动层程序之间的一层，主要用于描述底层硬件的相关信息，实现对操作系统的支持和加载，为驱动程序提供访问接口。

(2) 嵌入式操作系统。嵌入式操作系统 (Embedded Operation System) 是负责嵌入系统的全部软、硬件资源管理、分配及执行任务调度、控制和协调的一个功能可裁剪的管理控制程序。常见的操作系统包括：VxWorks、Linux、Small OS、Windows CE、μCOS-II、Palm OS 和 Android 等。

(3) API 函数层。API (Application Programming Interface) 函数层是操作系统为用户提供文件系统管理、GUI 图形界面以及系统管理等功能的应用程序编程接口，通过 API 接口函数，程序员在设计应用程序时可以很好地实现应用程序和操作系统间的衔接和功能调用。

(4) 应用程序。应用程序是由用户针对特定应用而设计的具有针对性的、运行于操作系统之上的、可直接和用户进行交互的计算机程序。通常情况下，应用程序都运行在处理器的用户模式下，而操作系统则运行在处理器的系统模式下。操作系统中每一个应用程序都可以看作一个独立的进程或任务，都拥有自己独立的地址空间。



1.3.2 嵌入式系统的开发特点

嵌入式系统是为应用而生的面向用户、面向产品、面向应用的用于执行特定功能的专用计算机系统。它的开发过程与通用计算机系统不同，主要有如下特点。

- (1) 针对特定的应用领域所开发的功能有限的计算机系统。
- (2) 多具有人机交互功能，接口丰富。
- (3) 实时性要求较高。
- (4) 系统本身对可靠性、功耗、体积和成本有较高要求。
- (5) 功能专一，通用性较差。
- (6) 常需要进行交叉编译、链接和调试。

1.3.3 嵌入式系统的开发流程

嵌入式系统的开发主要采用软硬件协同设计，主要包括系统需求分析、系统体系结构设计、软/硬件及执行系统设计、系统集成、系统调试以及最终完成产品设计，如图 1-9 所示。

(1) 系统需求分析。系统需求分析的主要任务是了解系统的应用环境和客户需求，确定系统的设计任务和设计目标，并提出解决方案。系统需求分析通常分为功能性需求和非功能性需求两方面，功能性需求是指系统要实现的基本功能，如信号或数据的采集、显示输出及数据操作方式等；非功能性需求包括系统的整体性能、系统成本、系统功耗以及对系统的体积、重量等方面的要求。

(2) 系统体系结构设计。体系结构设计是在系统需求分析的基础上，根据所确定的系统任务和目标对系统进行的功能划分及系统的软件、硬件选型等。

(3) 软/硬件协同设计。软/硬件协同设计是基于系统的体系结构设计，对系统的软件、硬件进行并行设计的方法。软/硬件协同与传统的先硬后软的设计不同，它缩短了产品的开发周期，并将嵌入式系统设计工作的大部分都集中到软件设计上。嵌入式系统软件采用现代软件工程设计的面面向对象技术和模块化设计的概念，使系统结构分明。

(4) 系统集成。系统集成是指把系统的软件、硬件和执行装置集成在一起进行调试，发现系统设计过程中的错误，并进行改进的开发过程。

(5) 系统测试。系统测试是嵌入式系统开发过程中的重要环节，通过对系统进行有计划、有目的的测试，可以发现软件中存在的错误和缺陷，验证系统的执行规程，确保软件符合用户提出的性能需求。通常可以通过在程序中插入判断语句或使用黑箱程序来测试代码的执行结果是否符合

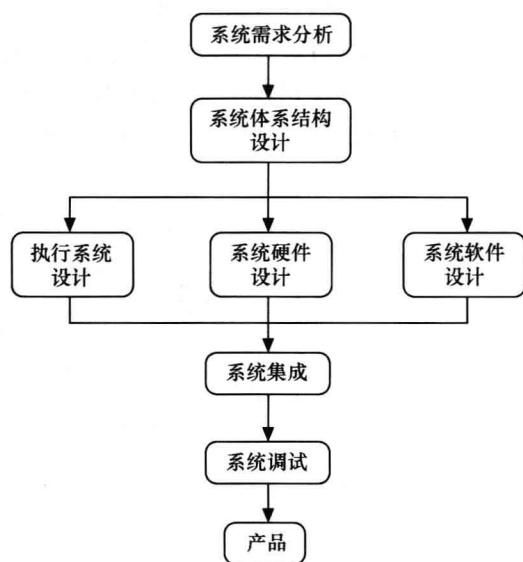


图 1-9 嵌入式系统的开发流程