



21st CENTURY

实用规划教材

21世纪全国应用型人才培养规划教材 嵌入式技术系列

嵌入式ARM 系统原理 与实例开发

Principles of Embedded
Systems and Applications of ARM



◆ 杨宗德 编著



北京大学出版社
PEKING UNIVERSITY PRESS

TP332/116

21 世纪全国应用型人才培养规划教材·嵌入式技术

2007

嵌入式 ARM 系统原理与实例开发

杨宗德 编著



北京大学出版社
PEKING UNIVERSITY PRESS

内 容 简 介

本书是一本介绍 ARM 处理器原理与底层程序开发实例的教材, 涉及嵌入式系统结构、嵌入式处理器及操作系统基本概念、ARM 处理器原理及应用、ARM 汇编程序设计、ARM 处理器 C 语言程序设计、ARM 中断处理、无操作系统下 ARM 接口驱动程序设计以及嵌入式操作系统基本原理等内容。本书在内容编写上按由浅入深、从易到难的顺序, 构建了完整的嵌入式 ARM 底层相关开发知识体系。第 1 部分: 精要介绍了与该知识点相关的基础理论; 第 2 部分: 详细介绍了应用平台 ARM 处理器与之相关的知识点内容; 第 3 部分: 详细介绍了 ARM 实例开发程序和源代码分析。

本书所对应的课程是嵌入式专业的核心课程之一, 是嵌入式知识体系中的重中之重, 无论以后是从事嵌入式上层应用开发、驱动开发、系统开发, 还是硬件底层开发的读者都需要对这一部分内容有较深入的研究。

本书可以作为高等学校电子、通信、软件方向的嵌入式专业专科生、本科生的教材, 也可以作为 IT 企业嵌入式工程师的参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

嵌入式 ARM 系统原理与实例开发/杨宗德编著. —北京: 北京大学出版社, 2007.9

(21 世纪全国应用型人才培养规划教材·嵌入式技术系列)

ISBN 978-7-301-12530-4

I. 嵌… II. 杨… III. 微处理器, ARM—系统设计—高等学校—教材 IV. TP332

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 106102 号

书 名: 嵌入式 ARM 系统原理与实例开发

著作责任者: 杨宗德 编著

责任编辑: 孙 琳

标准书号: ISBN 978-7-301-12530-4/TP·0908

出 版 者: 北京大学出版社

地 址: 北京市海淀区成府路 205 号 100871

网 址: <http://www.pup.cn> <http://www.pup6.com>

电 话: 邮购部 62752015 发行部 62750672 编辑部 62750667 出版部 62754962

电子邮箱: pup_6@163.com

印 刷 者: 北京大学印刷厂

发 行 者: 北京大学出版社

经 销 者: 新华书店

787 毫米×1092 毫米 16 开本 15.75 印张 351 千字

2007 年 9 月第 1 版 2007 年 9 月第 1 次印刷

定 价: 25.00 元

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

举报电话: 010-62752024

电子邮箱: fd@pup.pku.edu.cn

专家编审委员会

主 任 郝 跃

副主任 杨 刚 魏淑桃 贺 平 孙晓凌

顾 滨 赵玉兰 刘甫迎

委 员 杨宗德 吴再华 黄秀亮 方立友 王东红

张春平 姚紫阳 申 华 贺大康 叶 涛

梁 平 程 丽 黄国强 孟 虎 孙宏伟

杜金晶 王晓春 谢维波 戴晟辉 龙 凯

顾 问 沈绪榜

序

当今嵌入式技术的迅速发展，其应用领域日渐广泛与深入，而国内嵌入式人才严重的供需矛盾，使得嵌入式教学受到了各方面的普遍关注。

目前国内嵌入式技术教学在本科院校往往作为选修课，课时较短，能否达到学习嵌入式技术知识、掌握嵌入式技术基本开发方法和应用的目的，还有待于实践的检验。不少高等职业院校电子信息类专业已将嵌入式技术纳入课程体系，但在实际教学中反映出来的问题是：嵌入式技术对教师和学生的综合素质要求高，但是学生学习起点较低。同时，由于ARM嵌入式系统在国内真正得到发展还是近几年的事情，并没有形成统一的教学体系和规范。目前在国内的嵌入式技术教学师资缺乏，师资培训迫在眉睫。学生们感觉嵌入式技术对自身综合知识要求较高，前期先修课程学习有一定难度。为了推动嵌入式教育发展，缓解嵌入式领域人才供需矛盾，激发学生的学习兴趣，北京大学出版社曾多次召开会议，组织国内外嵌入式教学专家与企业人士进行讨论交流，经过长期酝酿，终于推出《21世纪全国应用型人才培养规划教材·嵌入式技术系列》。本系列规划教材具有如下显著特点：

(1) 以应用型为导向，偏重技能实践培养。本系列教材的使用对象主要是应用型本科院校和高等职业院校的学生，使学生毕业后能直接进入社会基层、生产一线、服务前沿。以“学科”为中心、追求雄厚“理论基础”的传统应该被以“应用”为导向、追求熟练“实践技能”的思路所取代。

(2) 本系列教材涵盖嵌入式课程较全，包含公共基础课、专业课程和专业选修课程。

基础课程主要有：嵌入式系统概论、嵌入式C语言程序设计、数字电路设计、数据结
构(C语言版)、汇编语言、计算机组成原理。

专业课程主要有：嵌入式基础实践教程、嵌入式ARM系统原理与实例开发、单片机系统设计与实例开发、嵌入式实时操作系统、嵌入式Linux开发与应用、嵌入式Windows CE基础教程、操作系统原理(μ C/OS-II)、PCB印制电路设计、嵌入式Java程序设计。

专业选修课程主要有：Windows CE程序设计、智能手机开发基础、DSP技术及应用、FPGA设计入门、嵌入式数据库开发。

(3) 本系列教材强化实训、案例化教学，以课程实例带动理论知识学习，通过实训加深对理论知识的理解。此次参与教材编写的都是多年从事嵌入式教学的教师，他们做了大量的艰苦工作，将实训内容整理成册，并在全国高校教师嵌入式技术的培训课程上多次使用，反应良好。

(4) 本系列教材构建了一套完整的教学体系，内容由浅入深，有利于教师们循序渐进地开展教学。

在嵌入式技术迅猛发展的今天，嵌入式技术给我国高等教育带来了机遇和挑战。如何迎接挑战、如何组织嵌入式技术的教学以及如何提高学生对嵌入式学习的兴趣，将复杂理

论知识讲授起来变得生动有趣，都将成为嵌入式教材编写中需要解决的问题。因此，北京大学出版社组织编写的这套教材紧跟时代脚步，积极探索嵌入式教学，不断改进。

最后，感谢从事嵌入式技术这套教材编写工作以及在编写过程中提出宝贵意见的老师们，正因为有你们的谦虚和谨慎，付出的辛勤劳动和汗水，才有了我们今天的成果。

《21 世纪全国应用型人才培养规划教材·
嵌入式技术系列》专家编写委员会
2007 年 8 月

前言

随着信息技术的发展,嵌入式技术也已经广泛运用到日常生活中的方方面面,嵌入式系统在消费、汽车电子、微控制、无线通信、数码产品、网络设备、安全系统等领域的应用方兴未艾。从广义概念来说,除了通用的计算机系统应用外,其他所有的智能电子设备都属于嵌入式系统。从狭义概念来讲,嵌入式系统主要有以下两个重要特征:

- 在硬件上,嵌入式系统至少拥有一个高性能处理器作为硬件平台(目前以 32 位处理器为主流),如 ARM、MIPS 系列处理器。
- 在软件上,嵌入式系统以一个多任务操作系统为软件开发平台,如 Linux、Windows CE、Symbian、 μ C/OS-II、VxWorks 等。

随着越来越多的公司、研究单位、大专院校以及个人开始进行嵌入式系统的研究,嵌入式系统设计将是未来相当长一段时间内电子领域研究的热点。

本书主要为应用型本科和高等职业院校嵌入式专业而编写,在介绍主要内容及写作思路之前,首先介绍作者所在院校嵌入式专业(3 年制专科)的培养目标及教学体系。

1. 高等职业院校嵌入式专业培养目标(参考)

目前,全国本专科院校已经着手培养嵌入式专业的本科生和专科生。可见,设置符合高职院校学生的嵌入式专业课程体系极为重要。以下介绍高职院校嵌入式专业培养目标,仅供参考。

1) 嵌入式应用工程师能力结构

由于嵌入式领域以工程应用为主,对从业人员而言,主要强调实际的工程应用能力,为此,在高校培养方向上应以培养嵌入式应用工程师为主,其能力结构如图 1 所示。

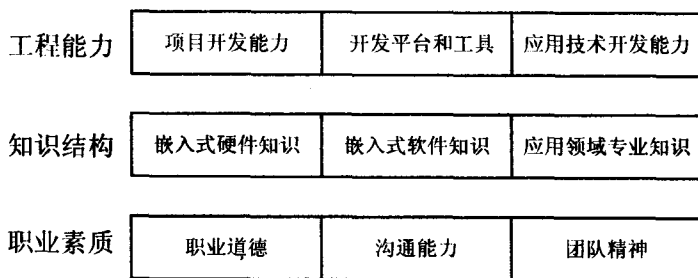


图 1 嵌入式应用工程师能力结构(参考)

2) 高职高专嵌入式专业(3 年制)培养目标

作者根据在嵌入式专业的教学经验和高职高专院校学生底子较差、学习时间较短(一般为 3 年)的情况,认为高职院校的嵌入式专业培养目标及体系应考虑以下原则。

(1) 在培养目标上,以培养嵌入式应用工程师为主,强调学生动手能力,尽可能减少烦琐的理论知识介绍。

- (2) 在教学方法上, 主要采用案例教学的思想。
- (3) 在教学形式上, 多开设实践课程, 要求学生在绝大多数课程中动手操作。
- (4) 在嵌入式专业知识体系上, 学生应该在整个学习期间掌握以下知识点:

- **至少一种嵌入式处理器。**最好选用当前流行的 32 位处理器, 如 ARM、MIPS 系列, 具体选择哪种操作系统可根据学校实际情况来定。
- **至少一种嵌入式操作系统。**具体的处理器可根据学校实际情况来定, 但最好选用一种较简单、开源的嵌入式操作系统, 学生可以直接查看操作系统源代码, 如 Linux、 μ C/OS-II 操作系统。
- **一套嵌入式开发工具。**根据处理器的不同而选择不同的底层程序开发工具(每种类型的处理器有不同的底层程序开发工具, 如 ARM 处理器流行的开发环境为 ADS), 根据选用的嵌入式操作系统选择该应用平台对应的开发工具(如 Linux 系统平台的开发软件包为 GCC 套件)。
- **一类开发语言。**由于目前在嵌入式设备上的程序绝大多数采用 C 语言, 因此建议采用 C 系列语言为学习对象。

2. 高等职业院校嵌入式专业课程设置(参考)

1) 高职高专嵌入式专业(3 年制)课程体系架构(参考)

如图 2 所示是作者所在高职院校嵌入式专业课程体系结构图。在此方案中, 以 ARM(处理器)+Linux(操作系统)+GCC(开发工具)+C(开发语言)为课程体系主线, 即选用 ARM 处理器为硬件平台, Linux 为主要操作系统平台(在介绍操作系统原理时选用 μ C/OS-II, 因为 Linux 源代码太多, 不便于教学), 在开发工具上采用 ADS+GCC 套件, 在开发语言上选择 C 语言系列。

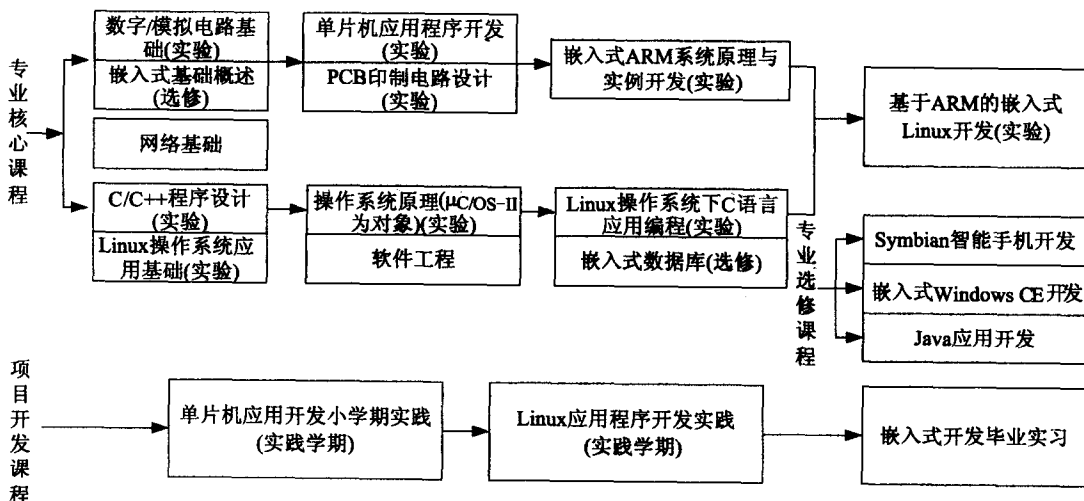


图 2 嵌入式专业课程体系

从能力结构上,此教学体系软件和硬件两条线并行,图 2 中的课程体系包括了专业基础课程、硬件相关课程、软件相关课程、软/硬件结合课程和实践课程,另外根据院校情况可以开设相应的专业方向选修课程。

2) 主干课程介绍

(1) 基础课程介绍,如表 1 所示。包括嵌入式基础概述和网络技术基础。嵌入式基础概述作为专业介绍性内容,网络技术基础为后续 Linux 网络应用基础, Linux 应用编程(网络编程部分),嵌入式在网络中的应用打基础。其中“可选”表示可以选择性开设,亦可不开设,“<32”表示低于 32 学时。

表 1 嵌入式基础课程

课程名称	参考学时	课程主要内容参考	前导课程	实验
嵌入式基础概述	<32	入门课程,对嵌入式开发进行概要性介绍,本课程也可以在学生进校后只安排几个学时作为专业介绍内容	无	可选
网络技术基础	32	主要介绍网络基本原理、基本概念,为学习 Linux 网络应用打基础; Linux 网络编程为嵌入式在网络中的应用打基础	无	可选

(2) 硬件核心课程介绍,如表 2 所示。此部分课程主要包括嵌入式专业的硬件课程,主要涉及数字/模拟电路、PCB 硬件电路设计、单片机课程和嵌入式 ARM 基础。

表 2 嵌入式硬件核心课程

课程名称	参考学时	课程主要内容参考	专业前导课程	实验
数字/模拟电路基础	64	主要介绍数字/模拟电路相关知识点,作为以后学习单片机原理及 ARM 处理器基础之用	无	有
单片机原理及程序开发	64	以某一种单片机处理器为介绍对象,介绍单片机基本原理、接口原理、C 语言程序开发(如选用 51 单片机)	C 语言 数字/模拟电路	有
PCB 印制电路设计	48	掌握一门 PCB 印制电路设计工具,学生毕业后进行嵌入式电路设计时需要使用,选用 Protel DXP	数字/模拟电路	有
嵌入式 ARM 处理器原理及程序开发	64	以 ARM 处理器为主,主要介绍 32 位处理器架构、ADS 汇编程序、ARM 接口、无操作系统 ARM 接口驱动开发	单片机原理 C 语言 数字/模拟电路	有

(3) 软件核心课程介绍,如表 3 所示。此部分以 C 语言开发为主线,包括 C 语言程序设计、Linux 操作系统基础、嵌入式操作系统原理(μ C/OS-II 为对象)、Linux 应用程序开发以及软件工程内容。“选”表示可以根据情况选择性开设,如果条件不允许,可以不开设该课程。

表 3 嵌入式软件核心课程

课程名称	参考学时	课程主要内容参考	专业前导课程	实验
C 语言程序设计	64	介绍 C 语言程序开发相关知识点	无	有
Linux 操作系统基础	48	学习 Linux 操作系统(如 RedHat)的使用, 重点介绍 Linux 使用以及简单的服务器配置(因为部分服务器在嵌入式开发中会用到, 如 NFS)	无	有
嵌入式操作系统原理及应用	64	与传统的操作系统原理课程类似, 但介绍对象为一种嵌入式操作系统, 涉及操作系统内核分析, 如选用 $\mu\text{C}/\text{OS-II}$ 。因 Linux 内核代码过多, 故不建议使用 Linux	C 语言 单片机原理	有
Linux 下 C 语言应用编程	64	以 C 语言为开发工具, 主要介绍 Linux 上层应用程序开发, 包括文件管理、进程/线程管理、进程间通信、网络编程基础等上层应用开发内容	Linux 应用基础 C 语言 操作系统原理	有
软件工程	32	让学生掌握软件开发的基本流程, 具有工程化开发软件的思想	操作系统原理 C 语言	无
嵌入式数据库	48 选	选修。有条件学院(课时充足)介绍一种数据库, 让学生对数据库有一定的了解, 如选用 Mysql	Linux 基础 C 语言基础	有
C++程序设计	64 选	选修。有条件学院(课时充足)介绍 C++程序开发	C 语言基础	有

(4) 软、硬件结合课程, 如表 4 所示。此部分主要为一门课程, 结合前面学习的软、硬件基础, 进行嵌入式系统应用开发, “>64”表示学时数需要超过 64 学时。

表 4 嵌入式软、硬件结合课程

课程名称	参考学时	课程主要内容参考	专业前导课程	实验
ARM+Linux 应用系统开发	>64	以 ARM 处理器为硬件平台, 以 Linux 操作系统为开发平台, 根据需要选择性介绍基于 ARM 处理器的 Linux 上层开发、驱动开发及内核开发等内容	ARM 处理器、Linux 操作系统等内容	有

(5) 专业选修课程, 如表 5 所示。因为嵌入式专业根据选用的软件操作系统平台不同可以分为多个方向(如 Linux 方向、Windows CE 方向等), 因此, 可以开设其他专业的选修课程。如果前面不选择 Linux 操作系统, 可以选择以下所列的某操作系统为介绍主线。

表 5 嵌入式专业选修课程

课程名称	课程主要内容参考	实 验
Symbian 方向课程	在 Symbian 智能手机上开发 C++应用程序, 包括 C++程序开发课程、Symbian 基础、Symbian 通信应用开发课程	有
Windows CE 方向课程	与嵌入式 Windows CE 操作系统相关的课程内容, 包括 C++程序开发、Windows CE 应用开发, 以及 Windows CE 下驱动开发相关内容	有
Java 方向课程	跨平台的 Java、J2ME 应用程序开发, 包括 Java 程序设计、J2ME 程序开发等课程内容	有

(6) 项目实训课程, 如表 6 所示。根据学校条件, 可以选择性或者全部开设下列专业项目实训课程, 作者所在院校有 2 次小学期实践(1~1.5 个月/次), 学生针对某一个专题进行项目实习, 如果没有条件, 可以在毕业设计中体现这些内容。

表 6 嵌入式项目实训课程

项目名称	课程主要内容参考	前导课程
单片机项目实训	基于某一种单片机处理器(如 51 系列单片机), 让学生学会简单电路设计、单片机接口驱动程序开发	C 语言、单片机原理及程序开发、PCB 印制电路板设计
Linux 应用程序开发项目实训	在 Linux 操作系统下设计 Linux 应用程序项目	C 语言、操作系统原理、Linux 应用程序开发
嵌入式系统开发毕业设计	作为本专业毕业设计内容, 内容涉及硬件开发、操作系统设计、软件程序开发等	本专业所有核心课程

3. 本书的写作思路及使用参考

1) 本书内容安排

本书是一本介绍 ARM 处理器原理及底层程序开发的教材, 在内容上涉及 ARM 汇编程序设计、ARM 处理器 C 语言程序设计、无操作系统下 ARM 接口驱动程序设计以及嵌入式操作系统基本原理等内容。本书在内容编写上按由浅入深、从易到难的顺序, 从而构建出如图 3 所示的完整嵌入式 ARM 底层相关开发知识体系。

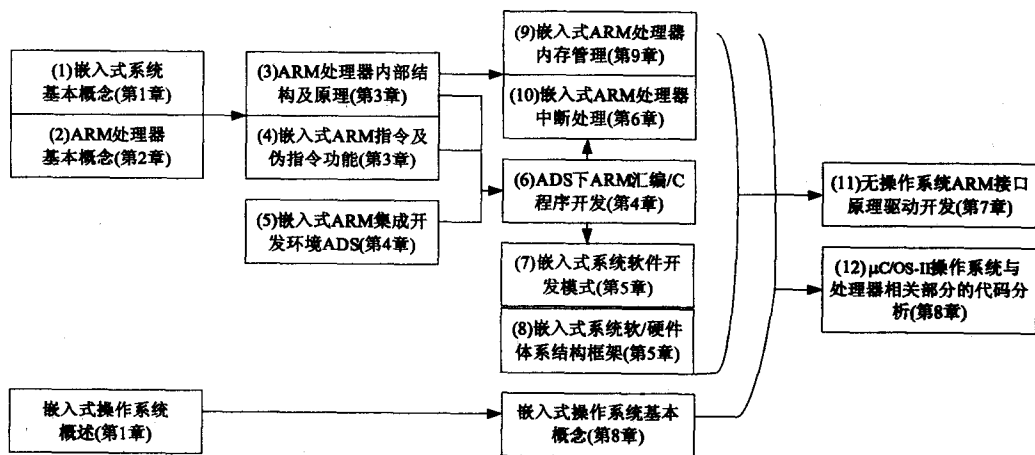


图 3 本书主要知识点及编排结构

- 第 1 章主要介绍嵌入式系统的基本概念、嵌入式操作系统特点、嵌入式系统的应用领域以及当前流行的嵌入式处理器类型。
- 第 2 章概要介绍冯·诺依曼体系结构和哈佛体系结构的区别, 然后重点介绍 ARM7 内核处理器、ARM9 内核处理器以及 xScale 内核处理器架构和主要接口功能。
- 第 3 章主要介绍嵌入式 ARM 程序设计基础, 包括 ARM 处理器的寄存器结构、工

作模式、寻址方式、指令编码格式以及常用的 ARM 汇编指令和伪指令功能和语法，在介绍每一类指令时以一个具体程序为例子。

- 第 4 章主要介绍 ADS 集成开发环境下汇编程序/C/C++程序开发。重点介绍 ADS 集成开发环境的使用、ARM 可执行程序结构、ARM 汇编程序/C/C++程序编译及调试，并对每一个知识点都给出详细的示例程序。
- 第 5 章主要介绍嵌入式系统的软、硬件体系结构和嵌入式软件的几种开发模式，包括交叉编译环境和嵌入式应用软件开发模式示例。
- 第 6 章主要介绍 ARM 处理器的 7 种异常中断处理类型，阐述了它们的原理及应用方法，同时以 SWI 为例为读者展示了中断处理程序的装载过程和运行过程。
- 第 7 章主要介绍 ARM 处理器常见接口原理及驱动程序，包括串行通信接口实验、键盘和 LED 实验、触摸屏实验、A/D 模/数转换实验以及 LCD 驱动实验。在介绍每一个实验时，首先介绍了与该知识点相关的原理，然后介绍了该实验中使用到的硬件电路原理，最后为读者展示了相关源代码分析。
- 第 8 章以 $\mu\text{C}/\text{OS-II}$ 为对象介绍了嵌入式操作系统的基本概念。内容涉及嵌入式操作系统的基本概念、 $\mu\text{C}/\text{OS-II}$ 操作系统与处理器相关的源代码分析。这一部分内容是后续课程——嵌入式操作系统的基础内容。

第 9 章增加了 ARM 存储设备的管理模式的内容，重点介绍了常用存储设备特点和应用领域，并对 ARM 处理器的 MMU 原理进行了简要介绍。

2) 本书写作方式

从写作方式上，本书在介绍每个知识点时遵循了以下原则。

- 第 1 部分：精要介绍了与该知识点相关的基础理论；
- 第 2 部分：详细介绍了应用平台 ARM 处理器与之相关的知识点内容；
- 第 3 部分：详细介绍了该内容的示例程序和源代码分析。

3) 本书课程地位

本书所对应的课程是嵌入式专业的核心课程之一，是嵌入式知识体系中的重中之重，无论以后是从事嵌入式上层应用开发、驱动开发、系统开发，还是硬件底层开发，都需要对这一部分内容有较深入的研究。

4) 本书读者对象

本书可以作为高等学校电子、通信、软件方向的嵌入式专业本科生、专科生的教材，也可以作为 IT 企业嵌入式工程师的参考用书。

本书力求满足绝大多数专业学生的需要，在教学安排上，根据应用专业，可以使读者选择性地学习相关内容。如下所示为电子专业和计算机专业对各章内容的掌握情况。

专业方向	第 1 章 系统	第 2 章 偏硬	第 3 章 结合	第 4 章 偏软	第 5 章 系统	第 6 章 偏硬	第 7 章 结合	第 8 章 偏软	第 9 章 偏硬
电子方向	了解	掌握	掌握	掌握	掌握	了解	掌握	了解	了解
计算机方向	了解	了解	掌握	掌握	掌握	了解	掌握	了解	选学

5) 本书使用方法

对于本书内容,如果读者学时有限,可对以下有一定难度的知识点进行选择性的学习。

(1) 本书 4.3 节主要介绍 ARM 汇编/C 语言混合编程,部分代码实现有一定的难度,4.4 节主要介绍 APCS,亦有一定的难度,对这两节内容可以选择性学习。

(2) 本书第 7 章主要介绍 ARM 接口原理及驱动开发,所讲述内容涉及软件和硬件两个部分内容,学习时有一定难度。读者对 7.3 节、7.5 节可以选择性学习。

(3) 本书第 8 章主要介绍嵌入式操作系统相关内容,主要是为以后学习嵌入式操作系统课程作铺垫。该章 8.3 节结合 ARM 处理介绍了操作系统与 CPU 相关部分的代码,有相当的难度。读者对于这一节内容可以选择性学习。

(4) 本书第 9 章内容主要介绍 ARM 处理器的存储管理原理,在阅读这些原理性内容时将有一定的难度。如果读者以后工作不需要直接进行内存管理开发,本章内容可以选择性学习。

本书各部分都有配套的实验代码,读者在学习过程中可以在 ADS 环境下编译、调试这些程序,将会事半功倍。

本书所有章节有详细的配套教学课件,高校老师可以在教学中直接使用。

4. 本书编写工作

本书所有内容及代码实现由杨宗德统筹编写,邓玉春参与代码及文档的修订工作。成都东软信息技术学院赵文革、曾庆华等嵌入式教研室全体老师对本书的出版提出了宝贵意见,陈功杰、汪洪、石均、刘超、钟晓媛等同学试读了本书全部内容。

本书在编写过程中听取了诸多已开设嵌入式专业课程院校专家及一线教师的意见,西安电子科技大学杨刚博士、大连东软信息职业技术学院嵌入式工程系孙晓凌博士、上海中华职业技术学院顾滨副院长、无锡科技职业学院姚紫阳老师、湖南信息职业技术学院黄秀亮老师、西安航空技术高等专科学校孟虎老师等对本书相关内容提出了宝贵意见。在此,对所有专家及老师一并表示感谢。

另外,特别感谢北京大学出版社的策划编辑孙琳(sunlin.bj@gmail.com)为本书出版所做的辛勤工作。由于时间及作者水平有限,本书中不当之处在所难免,恳请读者批评指正(yangzongde@163.com)。

编 者

2007 年 7 月

目 录

第 1 章 嵌入式系统概述..... 1

1.1 嵌入式系统应用概述..... 1

1.2 常见的处理器概述..... 2

1.2.1 微控制器..... 2

1.2.2 数字信号处理器..... 2

1.2.3 微处理器..... 3

1.2.4 片上系统..... 3

1.2.5 处理器技术的选型..... 3

1.3 操作系统概述..... 5

1.3.1 操作系统主要特点及功能..... 5

1.3.2 常用嵌入式操作系统..... 6

本章总结..... 9

课后习题..... 9

第 2 章 嵌入式 ARM 处理器..... 10

2.1 ARM 处理器概述..... 10

2.2 ARM 硬件体系结构..... 14

2.2.1 冯·诺依曼体系和哈佛总线... 14

2.2.2 CISC 和 RISC 指令集..... 15

2.2.3 ARM 处理器的指令流水线... 15

2.3 ARM 处理器内部结构..... 16

2.3.1 ARM7 内部结构图及主要特点..... 17

2.3.2 ARM7 功能结构图..... 17

2.3.3 ARM9 内部及功能结构图..... 18

2.3.4 XScale 内部结构及功能..... 20

本章总结..... 22

课后习题..... 22

第 3 章 ARM 程序设计基础..... 23

3.1 ARM 处理器工作模式及寄存器介绍..... 24

3.1.1 ARM 处理器工作模式..... 24

3.1.2 ARM 处理器寄存器介绍..... 25

3.1.3 ARM 指令编码方式..... 31

3.2 ARM 寻址方式..... 33

3.3 ARM 指令及应用程序设计..... 35

3.3.1 加减法指令及例程..... 35

3.3.2 逻辑指令及例程..... 39

3.3.3 乘法指令及例程..... 41

3.3.4 跳转指令及例程..... 44

3.3.5 内存数据加载指令及例程..... 45

3.3.6 CPSR 数据传输指令及例程... 50

3.3.7 数据交换指令及例程..... 52

3.4 ARM 伪指令及应用程序举例..... 53

3.4.1 符号定义伪指令及例程..... 53

3.4.2 数据定义伪指令及例程..... 55

3.4.3 控制伪指令及例程..... 56

3.4.4 地址加载伪指令及例程..... 58

3.4.5 声明引用伪指令及例程..... 59

3.4.6 段域伪指令及例程..... 61

3.5 ARM 汇编程序设计示例..... 63

3.5.1 ARM 汇编程序结构示例..... 63

3.5.2 数据加载 ARM 汇编程序示例..... 63

3.5.3 ARM 分支跳转程序示例..... 64

3.5.4 ARM 数据段复制程序示例..... 65

本章总结..... 66

课后习题..... 67

第 4 章 ADS 环境下汇编/C/C++程序开发..... 68

4.1 嵌入式软件开发平台 ADS1.2 应用... 68

4.1.1 ADS 开发平台简介..... 68

4.1.2 ARM 命令参数说明..... 69

4.1.3 可执行文件结构及内存映射... 71

4.1.4 使用 ADS 集成 ARM 程序开发流程..... 73

4.1.5 使用 ADS 调试程序实例..... 80

4.2 C 语言内嵌汇编应用程序开发	82	6.1.4 预取指异常及处理	118
4.2.1 内嵌汇编程序结构	82	6.1.5 数据异常及处理	119
4.2.2 内链汇编实现字符串复制	83	6.1.6 IRQ 异常及处理	119
4.2.3 内链汇编禁止和使能中断 请求	84	6.1.7 FIQ 异常及处理	120
4.2.4 内链汇编实现 64 位乘法	84	6.1.8 中断向量总结及优先级	120
4.3 C 程序与汇编程序汇合编程	86	6.2 ARM 处理器中断处理程序设计	121
4.3.1 无符号整型数到字符串 的转换程序	86	6.2.1 进入与退出中断异常	121
4.3.2 简单除法运算程序	90	6.2.2 装载中断处理程序地址 程序开发	121
4.3.3 产生及测试伪随机数字 序列程序	98	6.3 SWI 中断处理原理及应用程序开发	123
4.3.4 大端和小端存储转换程序	100	6.3.1 SWI 中断处理的基本概念	123
4.4 ARM 过程调用标准 APCS	103	6.3.2 SWI 中断处理程序设计	125
4.4.1 APCS 基本概念	103	本章总结	128
4.4.2 寄存器命名规则	104	课后习题	129
4.4.3 函数调用参数传递及返回	104		
本章总结	105	第 7 章 嵌入式系统接口及驱动程序 开发	130
课后习题	105	7.1 ARM9 串行通信原理及驱动开发 实验	130
第 5 章 嵌入式系统结构及软件开发 模式	106	7.1.1 串行通信原理介绍	130
5.1 嵌入式系统软、硬件结构	106	7.1.2 S3C2410 芯片 UART 接口 原理	134
5.1.1 嵌入式系统硬件结构	106	7.1.3 S3C2410 串口硬件电路 设计	142
5.1.2 嵌入式系统软件结构	108	7.1.4 串行通信实验 C 语言源 代码分析	142
5.1.3 通用计算机系统与嵌入式 系统对比	109	7.2 键盘及 LED 工作原理、驱动开发 实验	144
5.2 嵌入式软件开发工具及开发模式	109	7.2.1 键盘及 LED 工作原理	144
5.2.1 常用嵌入式系统软件开发 工具	109	7.2.2 I ² C 通信原理及驱动程序 开发流程	147
5.2.2 带 BootLoader 系统软件 开发实例	111	7.2.3 S3C2410 处理器 I ² C 接口 设计	148
本章总结	113	7.2.4 ZLG7290 键盘及 LED 驱动 芯片	152
课后习题	114	7.2.5 S3C2410 采用 I ² C 接口 电路	157
第 6 章 ARM 异常中断处理及程序 设计	115	7.2.6 键盘及 LED 实验 C 语言源 代码分析	158
6.1 ARM 中断类型及处理方式	115		
6.1.1 Reset 异常及处理	117		
6.1.2 未定义指令异常及处理	117		
6.1.3 软中断异常及处理	118		

7.3 触摸屏驱动原理及驱动开发实验.....161	8.2.3 $\mu\text{C}/\text{OS-II}$ 任务通信方式简介..... 196
7.3.1 触摸屏工作原理.....162	8.3 开发基本 ARM 处理器的 $\mu\text{C}/\text{OS-II}$ 应用程序..... 200
7.3.2 ADS7843 触摸屏驱动芯片.....163	8.3.1 $\mu\text{C}/\text{OS-II}$ 操作系统底层文件介绍..... 200
7.3.3 S3C2410 芯片的 SPI 通信原理.....165	8.3.2 与处理器相关的 OS_CPU.H 文件源码分析..... 201
7.3.4 S3C2410 触摸屏电路设计.....169	8.3.3 与处理器相关的 OS_CPU_C.C 文件源码分析... 202
7.3.5 触摸屏实验 C 语言源代码分析.....170	8.3.4 与处理器相关的 OS_CPU_A.S 文件源码分析... 206
7.4 A/D(模/数)转换原理及驱动开发.....173	本章总结..... 212
7.4.1 A/D 工作原理.....173	课后习题..... 212
7.4.2 S3C2410 芯片 A/D 转换接口原理.....176	第 9 章 ARM 存储管理 214
7.4.3 A/D 实验源代码分析.....178	9.1 存储设备概念..... 214
7.5 LCD 的驱动控制原理及驱动开发实验.....179	9.1.1 常见存储设备名词解析..... 215
7.5.1 LCD 工作原理介绍.....179	9.1.2 RAM 存储设备..... 215
7.5.2 S3C2410 的 LCD 控制器扫描方式.....181	9.1.3 NAND Flash 和 NOR Flash 存储设备..... 216
本章总结.....183	9.2 ARM 内存管理单元 MMU..... 217
课后习题.....183	9.2.1 存储器管理单元的结构..... 217
第 8 章 基于$\mu\text{C}/\text{OS-II}$ 应用程序开发基础184	9.2.2 存储器的访问..... 218
8.1 实时操作系统应用地位.....184	9.2.3 转换过程..... 219
8.1.1 实时操作系统在嵌入式系统中的地位.....184	9.2.4 访问权限..... 225
8.1.2 嵌入式操作系统基本概念.....186	9.2.5 域..... 226
8.2 $\mu\text{C}/\text{OS-II}$ 操作系统结构分析.....187	9.2.6 异常..... 226
8.2.1 $\mu\text{C}/\text{OS-II}$ 内核目录结构.....187	9.2.7 CP15 寄存器..... 229
8.2.2 $\mu\text{C}/\text{OS-II}$ 任务管理源代码分析.....191	本章总结..... 233
	课后习题..... 233
	参考文献 234

第 1 章 嵌入式系统概述



学习导读

本章重点对嵌入式系统的基本概念、结构进行概要介绍。内容涉及处理器类型、嵌入式操作系统。对于本章内容,读者需要掌握嵌入式系统与普通单片机系统的区别,了解常见处理器及嵌入式操作系统的基本特点及应用。

随着信息技术的发展,“嵌入式”这个名词已经逐步进入到普通大众的生活,嵌入式产品也已经广泛应用到日常生活中的各个方面。关于“嵌入式系统”的定义有很多种说法,目前最通用的定义为:“以应用为中心、以计算机技术为基础,软件可裁剪、功能、可靠性、成本、体积、功耗严格要求的专用计算机系统”。作者曾经给予了一个更为广泛的概念:“除通用计算机系统外,一切智能的电子设备都属于嵌入式设备。”

在此,作者认为没有必要一直追究嵌入式系统的严格定义,这没有太多意义。不过,嵌入式工程师们更强调系统的概念,一般认为,嵌入式系统需要涵盖软件和硬件两个方面,这一点与以前简单的单片机系统有着本质的区别:

- 在硬件上,嵌入式系统至少拥有一个高性能处理器作为硬件平台(目前以 32 位处理器为主流),如 ARM、MIPS 等处理器。
- 在软件上,嵌入式系统拥有一个多任务操作系统为软件系统平台,如 Linux、Windows CE、Symbian、 μ C/OS-II、VxWorks 等。

本章主要对嵌入式系统的基本概念展开论述。1.1 节主要介绍嵌入式系统的应用领域基本概念,使读者了解嵌入式的发展概况以及趋势。

本章 1.2 节主要介绍常见的嵌入式处理器类型,32 位的处理器是嵌入式系统中最基本的硬件特征,根据功能和内部结构不同,通常可以将嵌入式处理器分为 MCU、DSP、MPU 和 SoC 等。

本章 1.3 节主要介绍常见的嵌入式操作系统,多任务操作系统是嵌入式系统中最基本的软件资源。目前市场占有率较高的嵌入式操作系统有 Linux(μ CLinux)、Windows CE、Symbian、 μ C/OS-II、VxWorks 等。

1.1 嵌入式系统应用概述

嵌入式系统的应用很广泛,可以这样说,除了通用的计算机系统外,其他所有的智能电子设备都属于嵌入式系统。嵌入式芯片广泛应用到汽车电子、微控制、无线通信、数码产品、网络设备、安全系统等领域。随着越来越多的公司、研究单位、大专院校以及个人开始进行嵌入式系统的研究,嵌入式系统设计将成为未来相当长一段时间内电子领域研究的热点,如图 1.1 所示为 VOLVO(沃尔沃)S80 汽车的 CAN 总线网络示意图,在此汽车中使用了数以百计的高性能处理器。如图 1.2 所示为火星车外型,在此系统中适合于硬实时操