

21世纪高等学校嵌入式系统专业规划教材

国家级精品课程教材

陈丽蓉 李际炜 于喜龙 杨霞 编著

嵌入式微处理器 系统及应用

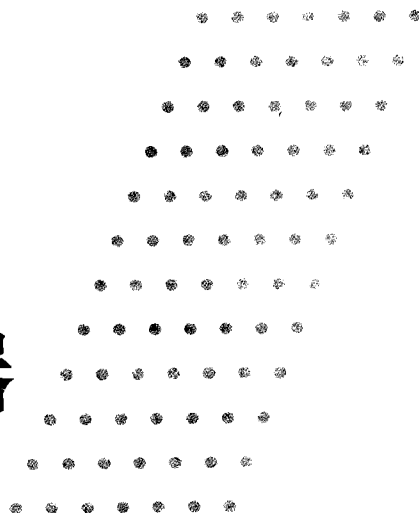
清华大学出版社



21世纪高等学校嵌入式系统专业规划教材
国家级精品课程教材

陈丽蓉 李际炜 于喜龙 杨霞 编著

嵌入式微处理器 系统及应用



清华大学出版社
北京

内 容 简 介

本书共 13 章,从硬件、软件及系统开发等诸多方面,详细讨论嵌入式微处理器系统的原理、技术以及系统开发的方式方法,从处理器内核到集成了丰富片内外设的 SoC 系统,从嵌入式板级开发到 SoC 片外扩展的存储系统、各种总线,本书均有精细解剖。全书结构合理,内容丰富,实例众多,提供了大量实例程序和系统的开发流程及模块化设计思路,适合高等院校的师生研读,也可供 SoC 系统开发人员使用。

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

嵌入式微处理器系统及应用/陈丽蓉等编著. —北京:清华大学出版社,2010.5

(21 世纪高等学校嵌入式系统专业规划教材)

ISBN 978-7-302-21542-4

I. ①嵌… II. ①陈… III. ①微处理器—高等学校—教材 IV. ①TP332

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 217726 号

责任编辑:魏江江 徐跃进

责任校对:李建庄

责任印制:王秀菊

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:清华大学印刷厂

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:27.75 字 数:691 千字

版 次:2010 年 5 月第 1 版 印 次:2010 年 5 月第 1 次印刷

印 数:1~3000

定 价:39.50 元

产品编号:030172-01

出版说明

嵌入式计算机技术是 21 世纪计算机技术两个重要发展方向之一,其应用领域相当广泛,包括工业控制、消费电子、网络通信、科学研究、军事国防、医疗卫生、航空航天等方方面面。我们今天所熟悉的电子产品几乎都可以找到嵌入式系统的影子,它从各个方面影响着我们的生活。

技术的发展和生产力的提高,离不开人才的培养。目前国内外各高等院校、职业学校和培训机构都涉足了嵌入式技术人才的培养工作,高校及其软件学院和专业的培训机构更是嵌入式领域高端人才培养的前沿阵地。国家有关部门针对专业人才需求大增的现状,也着手开发“国家级”嵌入式技术培训项目。2006 年 6 月底,国家信息技术紧缺人才培养工程(NITE)在北京正式启动,首批设定的 10 个紧缺专业中,嵌入式系统设计与软件开发、软件测试等 IT 课程一同名列其中。嵌入式开发因其广泛的应用领域和巨大的人才缺口,其培训也被列入国家商务部门实施服务外包人才培训“千百十工程”,并对符合条件的人才培训项目予以支持。

为了进一步提高国内嵌入式系统课程的教学水平和质量,培养适应社会经济发展需要的、兼具研究能力和工程能力的高质量专业技术人才。在教育部相关教学指导委员会专家的指导和建议下,清华大学出版社与国内多所重点大学共同对我国嵌入式系统软硬件开发人才培养的课程框架和知识体系,以及实践教学内容进行了深入的研究,并在该基础上形成了“嵌入式系统教学现状分析及核心课程体系研究”、“微型计算机原理与应用技术课程群的研究”、“嵌入式 Linux 课程群建设报告”等多项课程体系的研究报告。

本系列教材是在课程体系的研究基础上总结、完善而成,力求充分体现科学性、先进性、工程性,突出专业核心课程的教材,兼顾具有专业教学特点的相关基础课程教材,探索具有发展潜力的选修课程教材,满足高校多层次教学的需要。

本系列教材在规划过程中体现了如下一些基本组织原则和特点。

(1) 反映嵌入式系统学科的发展和专业教育的改革,适应社会对嵌入式人才的培养需求,教材内容坚持基本理论的扎实和清晰,反映基本理论和原理的综合应用,在其基础上强调工程实践环节,并及时反映教学体系的调整和教学内容的更新。

(2) 反映教学需要,促进教学发展。教材要适应多样化的教学需要,正确把握教学内容和课程体系的改革方向,在选择教材内容和编写体系时注意体现素质教育、创新能力与实践能力的培养,为学生知识、能力、素质协调发展创造条件。

(3) 实施精品战略,突出重点。规划教材建设把重点放在专业核心(基础)课程的教材建设上;特别注意选择并安排一部分原来基础比较好的优秀教材或讲义修订再版,逐步形成精品教材;提倡并鼓励编写体现工程型和应用型的专业教学内容和课程体系改革成果的教材。

(4) 支持一纲多本,合理配套。专业核心课和相关基础课的教材要配套,同一门课程可以有多个具有各自内容特点的教材。处理好教材统一性与多样化,基本教材与辅助教材、教

学参考书,文字教材与软件教材的关系,实现教材系列资源的配套。

(5) 依靠专家,择优落实。在制定教材规划时依靠各课程专家在调查研究本课程教材建设现状的基础上提出规划选题。在落实主编人选时,要引入竞争机制,通过申报、评审确定主编。书稿完成后认真实行审稿程序,确保出书质量。

繁荣教材出版事业,提高教材质量的关键是教师。建立一支高水平的、以老带新的教材编写队伍才能保证教材的编写质量,希望有志于教材建设的教师能够加入到我们的编写队伍中来。

21 世纪高等学校嵌入式系统专业规划教材

联系人: 魏江江 weijj@tup.tsinghua.edu.cn

前言

引子

嵌入式计算机技术是 21 世纪计算机技术两个重要发展方向之一,应用领域相当广泛,且增长迅速,据估计未来十年中 95% 的微处理器和 65% 的软件被用于各种嵌入式系统中。技术的发展和生产力的提高,离不开人才的培养。业界对嵌入式技术人才的需求巨大,尤其在迅速发展的电子、通信、计算机等领域,这种需求更是显著。另外,企业对嵌入式系统开发从业者的工程实践能力、经验要求也越来越重视,学生就业的压力不断增大。因此目前很多高校都在致力于嵌入式相关课程体系的建设,结合嵌入式系统的特点,在课程内容的设计、师资队伍的建设、教学方法探索与教学条件的建设、实验体系的建设、网络共享资源建设等方面取得了较好的成效,一些课程已经建成精品课程,为嵌入式系统教学的发展及人才培养做出了相应的贡献。

嵌入式系统是软件和硬件的综合系统,嵌入式系统的开发主要涉及硬件开发和软件开发两大方面,缺一不可,因此在嵌入式课程体系的建設上“两手都要抓,两手都要硬”。在硬件开发方面,高度集成化的、模块化的器件(包括嵌入式微处理器和各种控制处理芯片)降低了硬件开发的门槛,目前大量需要的是基于这些器件构建完整硬件系统的人才。对于这类人才的知识能力的要求是:掌握数字电路和模拟电路的基本原理、嵌入式微处理器系统的工作原理及其外设接口的应用、各种外围电路及控制器件的工作原理和应用、使用相关设计软件独立完成硬件系统的原理图和 PCB 的设计、熟悉相关仪器仪表(如示波器和万用表)的使用等。

在嵌入式软件开发方面,自下而上可以分为以下几种层次:

- (1) 编写简单的板级测试软件,主要目的是辅助硬件的调试;
- (2) 开发基本的驱动程序以及针对特定嵌入式操作系统的驱动程序(即板级支持包);
- (3) 开发嵌入式系统软件如嵌入式操作系统;
- (4) 开发嵌入式中间件;
- (5) 开发嵌入式应用软件。

相应地需要掌握嵌入式硬件平台及微处理器的原理、板级初始化和驱动开发技术、嵌入式操作系统的原理及设计、嵌入式软件中间件、嵌入式应用软件开发技术,以及软件开发工具的使用、软件测试的方法等。

需要非常注意的是,嵌入式系统的硬件和软件不是相互孤立的,而是有很密切的联系,尤其针对底层软件开发而言,因此既熟悉硬件又熟悉软件、具备系统性的分析设计能力的人才非常抢手。这当中硬件方面知识的薄弱会直接导致对硬件紧密相关的系统软件(如操作系统、BSP 及设备驱动)的开发成为一件相对困难的事情,导致很多人认为嵌入式开发的门槛较高或难度较大,从而影响到高质量应用软件的设计和开发能力,并对最终产品的优化及性能产生影响。

鉴于此,笔者在多年进行嵌入式系统教学和科研工作的基础上,开展了嵌入式系统核心课程体系的研究,并进行相关教材体系的建设。本书是笔者所参与编写的国防科工委“十五”规划教材《嵌入式实时操作系统及应用开发》的姊妹篇。《嵌入式实时操作系统及应用开发》^[30]是以讲解嵌入式系统基础软件的核心——嵌入式实时操作系统的功能、设计原理及应用为主要内容的,而本书则以嵌入式微处理器为核心讲解嵌入式系统硬件的基本原理、设计及相关软件开发。

本书的内容结构

嵌入式系统硬件处理器的发展大体上可分为初期的 MCU(单片机)和现在的 SoC 两个阶段。虽然目前 MCU 仍然在嵌入式低端应用中被广泛采用,但随着嵌入式中高端应用的迫切需求、芯片价格的降低以及 SoC 本身所带来的硬件设计门槛的降低等因素,基于 SoC 的嵌入式处理器尤其是 32 位的处理器已经逐渐成为嵌入式应用的主流。在无所不在、彼此互联的各种各样的嵌入式应用产品中,要求提供更加复杂的控制算法,要求有网络/因特网通信功能,要求有更成熟的人机界面,这些都给 32 位及以上嵌入式系统的应用提出了客观、直接的需要。目前几乎所有的半导体公司都在致力于嵌入式 32 位微处理器的研制、开发和生产。但是目前掌握 32 位 SoC 嵌入式系统开发的基础及高端技术的人才的需求与供给相对失衡,因此目前很多高校已经逐步将单片机的课程转换为以 SoC 嵌入式处理器为核心的硬件相关课程。而对于这类硬件系统的学习,笔者认为不仅要让学生知道是什么、怎么用,而更重要的是这些系统是如何设计出来的,在课程内容设置及教材编写中这方面的内容目前相对比较欠缺,需要加强。

因此本书的主要内容是:以 ARM 嵌入式微处理器为核心,讲解 32 位嵌入式微处理器系统(主要是 SoC 系统)的概念和特点,使学生熟悉典型的 SoC 嵌入式系统硬件结构,以及存储系统、系统常用总线及接口的工作原理;从以 SoC 为核心进行嵌入式系统硬件设计的角度,讲解 32 位嵌入式系统的设计方法和原则,并结合实例说明各关键模块的设计实现细节;从相关软件开发的角,介绍 ARM 的编程模型及指令集的基础知识,以及接口编程、嵌入式系统启动程序设计、BSP 以及嵌入式系统设备驱动软件设计、嵌入式操作系统移植等。具体而言,本书的内容可以分为三个大的部分。

第一部分是嵌入式系统硬件的基础知识,涉及第 1~6 章。

第 1 章 嵌入式硬件系统概述:对嵌入式系统的应用领域、特点、组成等方面进行概括性的介绍,对嵌入式系统硬件的基本情况进行说明,包括嵌入式微处理器、嵌入式系统总线、嵌入式系统存储器、输入输出接口及设备,重点对嵌入式微处理器的体系结构、指令的分类和特点进行阐述,介绍目前业界主流的嵌入式微处理器系列,为读者后续章节的学习打下基础。

第 2 章 嵌入式微处理器核心:以 ARM 为例详细说明了嵌入式微处理器内核的知识,从其体系结构、编程模型、内存和 I/O 等方面进行了介绍。重点讲解嵌入式微处理器内核操作的数据宽度(类型)、处理器的工作状态、工作模式、寄存器的情况以及中断与异常操作(响应)的细节。对 PowerPC 和 SuperH 系列的处理器内核也大体从编程模型的角度介绍了相关知识。

第 3 章 ARM 嵌入式微处理器指令集概览:从 ARM v4T 架构的指令体系开始,按指

令分类的方式,对每类指令的格式、特点、主要原理及使用中须注意的问题进行了说明。对于 v5、v6 版本指令集以及 Thumb 指令集的介绍,是在 v4T 版本的基础上,重点讲解它们与 v4T 版本的差异。本章的内容为读者进一步理解 ARM 处理器,以及进行汇编程序开发打下了一个基础。

第 4 章 SoC 嵌入式微处理器系统:介绍了 SoC 的概念、典型的 SoC 结构(包括处理器内核、处理器存储器子系统、片内总线以及片内外设的知识),并介绍了几款典型的 SoC 嵌入式微处理器(包括 ARM、PowerPC 和 SuperH 系列),以及基于它们的应用系统实例。

第 5 章 嵌入式系统的片外存储系统:按 RAM、ROM、电子存储器、微硬盘等几个类型,对嵌入式系统中常用的存储器进行了举例说明,每种存储器均从其工作原理、组成结构、特点、应用等方面进行说明。

第 6 章 32 位嵌入式系统常用总线:对嵌入式系统中所用到的各种片外及通信总线进行了介绍,尤其是广泛使用的各种串行总线,包括 SPI、I²C、UART、USB、CAN、LIN 等。学习总线的知识对于嵌入式系统硬件的设计十分必要,对于相关的设备驱动及接口软件的开发也很重要。

第二部分是嵌入式硬件系统的设计开发,涉及第 7~10 章。

第 7 章 嵌入式硬件系统开发流程:嵌入式硬件系统的设计开发是一项系统性的工作,本章概括地介绍了嵌入式硬件系统的开发流程、需要掌握的主要原则以及一些需要特别注意的事项,这些问题在嵌入式硬件系统的设计过程中是非常重要的,往往会决定设计的最终成败。

第 8 章 ARM7 学习板核心模块的设计:主要介绍嵌入式系统硬件最核心部分的微处理器、SDRAM、Flash 的电路设计要点以及具体的原理图举例,通过本章的学习读者应该了解到设计过程中的一些主要关注点,主要集中在微处理器的周围,而 SDRAM 和 Flash 部分已经是模块化的、标准的成熟器件,它们与微处理器的连接也相对比较简单。

第 9 章 系统外设及接口模块设计:通过一些具体的实例来介绍在嵌入式系统中常用外设及其扩展电路的设计,这些外设覆盖了典型的输入输出、存储和通信设备,并且大多数是基于嵌入式微处理器内置的控制器及接口实现的,充分体现了嵌入式微处理器集成度高的优点,降低了系统设计开发的难度和门槛,为丰富多样的嵌入式系统应用提供了好的基础。

第 10 章 电源电路设计:简要介绍嵌入式系统中电源电路设计的要点,并通过实例讨论了一些常用的电源电路设计。

第三部分是嵌入式硬件相关的底层软件开发,涉及第 11~13 章。

第 11 章 嵌入式系统启动程序开发:对嵌入式系统的典型启动过程及 BootLoader 的概念进行介绍,并就典型的嵌入式系统启动程序 UBoot 和 RedBoot 从功能特点、结构和启动过程进行了详细说明,并以 RedBoot 的移植为例阐述了相关软件开发的细节。

第 12 章 嵌入式系统设备驱动软件设计:主要就嵌入式系统中设备驱动软件的开发进行了讲解,以串口设备为例讲解了驱动开发的具体内容,并较为全面地总结了在驱动开发中须注意的方方面面的问题。

第13章 嵌入式实时操作系统内核硬件相关设计与代码移植：讲解有关嵌入式实时操作系统内核硬件相关功能模块的设计问题，以及如何将一个嵌入式操作系统内核移植到另一个硬件平台上的过程，这将以著名的嵌入式实时操作系统 uCOS-II 的内核移植为例进行讲解。

注意：本书对于嵌入式操作系统主要讲解其与硬件相关的开发内容，很多时候涉及的是如何将一个已有的操作系统代码进行移植，以便适应新的硬件平台。而对于嵌入式操作系统的功能、设计原理等内容则是放在专门的讲嵌入式操作系统的教材中去体现的。

本书的特点

本书具有如下几个特点：

(1) 立足基础。提供面向嵌入式系统硬件的基础性教学内容，三大部分的顺序安排首先是嵌入式系统硬件的基础知识，然后讲解嵌入式系统硬件的开发，最后是与嵌入式硬件相关的底层软件开发，内容前后相承、循序渐进。

(2) 系统构造。知识的系统性强，注意对涉及的知识内容进行系统性的总结，具有清晰的知识脉络。

- 从硬件知识到与硬件相关的软件开发技术。
- 硬件以嵌入式微处理器为核心，从处理器内核到集成了丰富片内外设的 SoC 系统，再到嵌入式系统板级设计开发所涉及的、需要在 SoC 芯片外部扩展的存储系统、各种外部通信总线，对于硬件的知识是从内到外逐步讲解的。
- 在讲解嵌入式系统硬件的设计开发时，先给出总体的开发流程，然后按模块化设计开发的思路，从与处理器直接有关的核心模块开始讲解，然后是各个系统外设及接口模块的设计，最后是整个系统的能量供给——电源电路模块的设计。

(3) 加强实践。立足基础和原理，加强实用性，本书融入了笔者多年嵌入式系统硬件设计及底层软件开发的经验，因此既有理论的讲解，也有工程实践经验的总结。这些经验的总结在本书第二部分和第三部分有较多体现，尤其是，本书以一款基于 SoC 嵌入式微处理器 W90P710 的硬件系统学习板(W90P710_STUDY_BOARD)的设计及相关软件开发为例进行的说明，这个例子贯穿本书的各个相关章节。

本书适合在本科或低年级研究生的嵌入式系统硬件及底层软件开发的相关课程教学中使用。

本书的编写人员

参与本书编写的人员主要有陈丽蓉、李际伟、于喜龙、杨霞等，由陈丽蓉负责统稿。本书的编写顾问是电子科技大学嵌入式软件工程中心的主任罗蕾教授(博导)和李允副教授。

本书作者具有多年从事嵌入式系统硬件设计及软件开发的经验，李际伟、于喜龙具有丰富的 ARM 及 PowerPC 系统的硬件设计开发经验，曾经承担了各种税控 POS 终端、金融 POS 终端、网络摄像处理器、10/100Mb/s 交换机、VDSL SOHO router、VDSL modem、ADSL 和 VoIP 产品，以及多种 ARM JTAG 调试器的硬件设计开发工作。陈丽蓉、杨霞则具有多年在嵌入式操作系统、驱动软件以及应用开发上的项目经验和教学经验。具体的编写分工如下所示。

章号及名称	负责人/参与者
第1章 嵌入式硬件系统概述	陈丽蓉
第2章 嵌入式微处理器核心	杨霞
第3章 ARM 嵌入式微处理器指令集概览	陈丽蓉
第4章 SoC 嵌入式微处理器系统	杨霞
第5章 嵌入式系统的片外存储系统	李际伟
第6章 32 位嵌入式系统常用总线	李际伟/陈丽蓉
第7章 嵌入式硬件系统开发流程	李际伟/于喜龙/陈丽蓉
第8章 ARM7 学习板核心模块的设计	于喜龙
第9章 系统外设及接口模块设计	于喜龙
第10章 电源电路设计	于喜龙
第11章 嵌入式系统启动程序开发	杨霞
第12章 嵌入式系统设备驱动软件设计	陈丽蓉
第13章 嵌入式实时操作系统内核硬件相关设计与代码移植	陈丽蓉
附录 A 硬件规格书示例	于喜龙
附录 B 硬件设计原理图	于喜龙
附录 C BOM 清单示例	于喜龙

本书编写期间,硕士研究生王彪、赵庆明在本书所述的 ARM7 学习板上进行了嵌入式操作系统 uCOS 的移植、各种设备驱动软件的开发以及启动软件 RedBoot 的移植等基础工作,为本书的编写提供了丰富的原始素材。

配套实验系统的内容

为了加强理论与实践的结合,笔者为本书配套了实验系统。该实验系统包括一个嵌入式软件开发的集成环境,并以本书所述的 ARM7 学习板为基础,配套了一系列的实验。提供实验指导书,对每个实验的实验目的、实验原理、实验程序结构以及实验操作的过程等进行了说明。实验项目主要分为以下三类。

(1) 嵌入式交叉开发环境的建立。

(2) 嵌入式微处理器编程基础实验:包括汇编指令实验、处理器工作模式实验、存储器实验、I/O 接口实验、中断实验等。

(3) BSP 及硬件驱动实验:包括板级初始化、时钟定时器驱动、键盘、串行通信(比如 UART)、多媒体接口设备(比如音频接口 I²S)、可编程 I/O 端口操作等。

实验系统的内容会不断更新,因此请读者留意以下地址发布的内容,以获取实验系统的最新版本及有关的信息:

<http://www.coretek.com.cn:8000/> 或 <http://esec.uestc.edu.cn/Experiment>

致谢及期望

本书得到了清华大学出版社课程研究项目的支持、国家级精品课程建设项目《嵌入式系统及应用》的支持、电子科技大学研究生课程建设项目的支持,笔者对此深表感谢。

感谢电子科技大学嵌入式软件工程中心的各位老师和研究生的支持。

在编写过程中,参考了北京科银京成技术有限公司研发中心的一些技术资料,在此对该

公司及其相关技术人员表示感谢。

感谢清华大学出版社编辑和出版人员的辛勤工作。

感谢家人和朋友们的支持。

在本书的编写过程中,笔者还参考、借鉴了大量的相关资料(见参考文献)及网络资源,并引用了其中的一些文字和代码,在此谨对这些资料的作者表示衷心的感谢。

由于笔者经验和水平的限制,书中如出现错误或不适宜的内容,希望读者能给予批评指正,在此也一并表示感谢。

笔者联系方式:

陈丽蓉: lrchen@uestc.edu.cn

李际炜: lijw@coretek.com.cn

作者

2010年2月

于成都电子科技大学

目 录

第 1 章 嵌入式硬件系统概述	1
1.1 嵌入式系统的应用领域	1
1.2 嵌入式系统的特点	3
1.3 嵌入式硬件系统的组成	5
1.4 嵌入式微处理器概述	6
1.5 主流的嵌入式微处理器	8
1.6 嵌入式系统的发展趋势	9
1.7 本章小结	11
第 2 章 嵌入式微处理器核心	12
2.1 ARM CPU ISA 的发展历史	12
2.2 典型 ARM CPU Core 体系结构	17
2.3 ARM 编程模型	20
2.3.1 数据宽度(类型)	20
2.3.2 工作状态和工作模式	20
2.3.3 寄存器	22
2.3.4 中断与异常	28
2.4 内存和 I/O	41
2.4.1 大小端	41
2.4.2 I/O 端口编址方式	42
2.5 JTAG 和 ARM7TDMI Embedded ICE 相关技术	43
2.5.1 JTAG 的基本原理	43
2.5.2 JTAG 的结构	44
2.5.3 TAP 控制器的状态机	45
2.5.4 ARM7TDMI 上的 JTAG	47
2.6 PowerPC CPU Core	53
2.7 SuperH CPU Core	59
2.7.1 SuperH 系列嵌入式微处理器简介	59
2.7.2 SuperH 体系的特点	60
2.7.3 SH3 编程模型	64
2.8 本章小结	68

第3章 ARM 嵌入式微处理器指令集概览	70
3.1 ARM 指令集概述	70
3.1.1 ARM 指令集	70
3.1.2 Thumb 指令集	71
3.1.3 Thumb-2 指令集	72
3.1.4 Jazelle	72
3.1.5 为什么需要学习汇编指令	73
3.2 ARM v4T 架构指令体系	73
3.2.1 条件执行和标志位	73
3.2.2 数据处理指令	74
3.2.3 乘法和除法	76
3.2.4 分支指令	77
3.2.5 单寄存器数据传输(加载/存储指令)	77
3.2.6 批量加载/存储指令	79
3.2.7 交换(SWP)指令	80
3.2.8 软中断指令(SWI)	81
3.2.9 程序状态寄存器访问指令	81
3.2.10 协处理器指令	81
3.3 ARM v5TE 架构指令体系	82
3.3.1 前导 0 计数指令	82
3.3.2 符号乘法操作指令	82
3.3.3 饱和运算指令	83
3.3.4 加载/存储 2 个寄存器指令	84
3.3.5 断点指令	84
3.3.6 高速缓存预加载指令	84
3.4 ARM v6 架构指令体系新特性	84
3.4.1 打包数据类型指令	85
3.4.2 字节选择指令	85
3.4.3 单指令多数据处理指令	86
3.4.4 绝对差值求和指令	87
3.4.5 SETEND 指令	87
3.4.6 字节反转指令	88
3.4.7 饱和指令	88
3.4.8 排他的加载/存储指令	88
3.4.9 异常进入与退出指令	89
3.5 Thumb 指令集	89
3.5.1 v4T 和 v5TE 的 Thumb 指令集	90
3.5.2 v6 的 Thumb 指令集	91

3.6 本章小结	91
第4章 SoC 嵌入式微处理器系统	92
4.1 SoC 的概念	92
4.2 典型的 SoC 结构	92
4.2.1 处理器存储器子系统	93
4.2.2 嵌入式微处理器片内总线	98
4.2.3 嵌入式微处理器片内外设	102
4.3 典型的 SoC 嵌入式系统硬件介绍	104
4.3.1 WinBond W90P710 系统	104
4.3.2 Atmel AT91RM9200 系统介绍	108
4.3.3 Freescale MPC5554 嵌入式微处理器介绍	110
4.3.4 SH7709S 嵌入式微处理器介绍	111
4.4 本章小结	113
第5章 嵌入式系统的片外存储系统	114
5.1 RAM	114
5.1.1 静态存储器 SRAM(Static RAM)原理及特点	114
5.1.2 DRAM(Dynamic RAM)原理及特点	116
5.1.3 SDRAM(Synchronous DRAM)原理及特点	120
5.1.4 DDR SDRAM 原理及特点	123
5.1.5 RAM 芯片的选型和组合应用	126
5.2 ROM	129
5.2.1 NOR Flash 的原理及特点	130
5.2.2 NAND Flash	132
5.2.3 EPROM 原理及特点	137
5.2.4 EEPROM 原理及特点	138
5.2.5 FRAM 原理及特点	139
5.3 电子存储器	141
5.3.1 CF 卡	141
5.3.2 MMC 卡	142
5.3.3 SD 卡	144
5.3.4 SM 卡	145
5.3.5 xD 卡	146
5.3.6 Memory Stick	146
5.4 微硬盘	147
5.5 本章小结	148

第 6 章 32 位嵌入式系统常用总线	150
6.1 概述	150
6.2 EBI 总线	150
6.2.1 EBI 总线介绍	150
6.2.2 EBI 总线接口信号	150
6.2.3 EBI 总线读操作	152
6.2.4 EBI 总线写操作	152
6.3 LCD 总线	153
6.3.1 LCD 总线介绍	153
6.3.2 LCD 总线信号	153
6.3.3 LCD 接口工作时序	154
6.4 SPI 总线	155
6.4.1 SPI 总线介绍	155
6.4.2 SPI 接口信号	156
6.4.3 SPI 总线工作时序	157
6.5 I ² C 总线	158
6.5.1 I ² C 总线介绍	158
6.5.2 I ² C 总线工作原理	158
6.5.3 I ² C 总线工作时序	159
6.6 UART 接口	161
6.6.1 UART 接口介绍	161
6.6.2 UART 接口的组成	162
6.6.3 UART 的工作原理	162
6.7 USB 总线	164
6.7.1 USB 总线介绍	164
6.7.2 USB 总线信号组成	164
6.7.3 USB 总线的体系结构	164
6.7.4 USB 总线数据流	164
6.8 I ² S 音频总线	169
6.8.1 I ² S 总线介绍	169
6.8.2 I ² S 总线组成	169
6.8.3 I ² S 总线工作时序	169
6.9 SDIO 总线	170
6.9.1 SDIO 总线介绍	170
6.9.2 SDIO 接口信号	170
6.9.3 SDIO 总线工作时序	170
6.10 MII(RMII,SMII)总线	171
6.10.1 MII 总线介绍	171

6.10.2	MII 总线组成	171
6.10.3	MII 总线工作时序	171
6.11	CAN 总线	172
6.11.1	CAN 总线介绍	172
6.11.2	CAN 协议层次及帧格式	173
6.11.3	CAN 总线的应用	173
6.12	LIN 总线	174
6.12.1	LIN 总线介绍	174
6.12.2	LIN 总线工作原理	176
6.13	本章小结	178
第 7 章	嵌入式硬件系统开发流程	180
7.1	嵌入式系统的总体开发流程概述	180
7.2	嵌入式硬件系统开发流程	182
7.2.1	硬件分配需求	183
7.2.2	电路图规划	183
7.2.3	器件选型	184
7.2.4	原理图设计	187
7.2.5	原理图复查	191
7.2.6	PCB 图设计	193
7.2.7	PCB 图复查	199
7.2.8	PCB 制板	200
7.2.9	器件采购、备料	200
7.2.10	PCB 焊接及调试	201
7.3	32 位嵌入式系统的设计原则	202
7.4	嵌入式系统硬件需求实例	205
7.5	本章小结	208
第 8 章	ARM7 学习板核心模块的设计	209
8.1	微处理器部分的设计	209
8.1.1	设计要点	209
8.1.2	微处理器总线接口设计	209
8.1.3	微处理器时钟电路设计	211
8.1.4	微处理器复位电路设计	212
8.1.5	微处理器 JTAG 调试接口电路设计	213
8.1.6	微处理器特殊引脚配置电路设计	214
8.1.7	微处理器电源引脚退耦电路设计	215
8.2	SDRAM 部分的设计	215
8.2.1	设计要点	215

8.2.2	原理图及分析	215
8.3	BOOT Flash 部分的设计	217
8.3.1	设计要点	217
8.3.2	原理图及分析	217
8.4	本章小结	222
第9章	系统外设及接口模块设计	223
9.1	LCD 显示模块的设计	223
9.1.1	设计要点	223
9.1.2	原理图及说明	224
9.2	I ² C 接口与 SPI 接口的设计	226
9.2.1	设计要点	227
9.2.2	I ² C 与 SPI 接口设计原理图及说明	227
9.3	UART 通信接口的设计	228
9.3.1	设计要点	229
9.3.2	原理图及说明	229
9.4	USB 通信接口的设计	231
9.4.1	设计要点	232
9.4.2	原理图及说明	232
9.5	音频输出接口的设计	233
9.5.1	设计要点	233
9.5.2	原理图及说明	233
9.6	以太网接口的设计	236
9.6.1	设计要点	237
9.6.2	原理图及说明	237
9.7	LED 指示灯模块的设计	239
9.7.1	设计要点	239
9.7.2	原理图及说明	239
9.8	LED 数码管模块的设计	240
9.8.1	设计要点	241
9.8.2	原理图及说明	241
9.9	矩阵键盘输入模块的设计	243
9.9.1	设计要点	243
9.9.2	原理图及说明	243
9.10	SD/MMC 接口的设计	244
9.11	数据存储模块的设计	246
9.11.1	设计要点	246
9.11.2	原理图及说明	246
9.12	本章小结	248