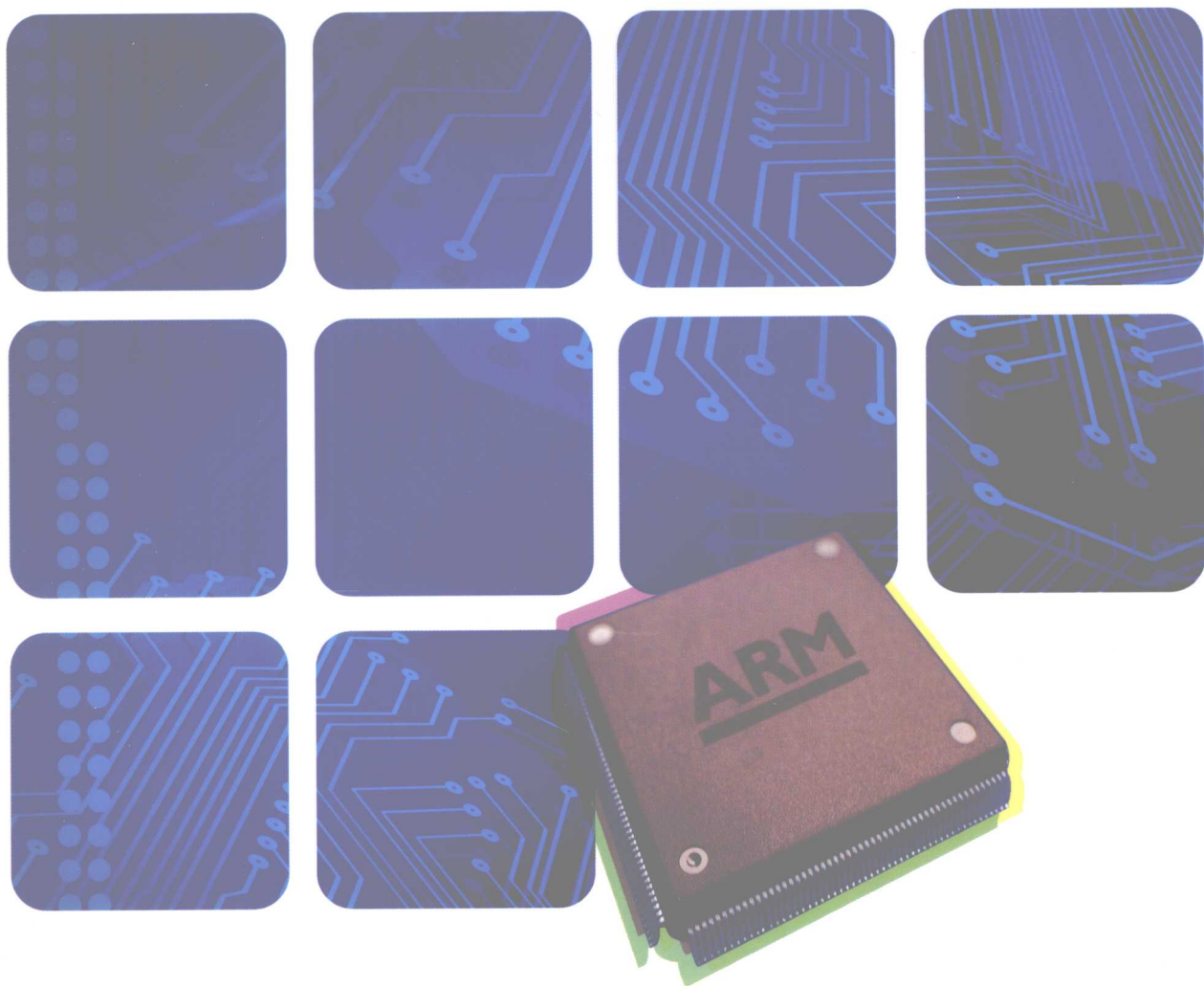




ARM嵌入式 应用技术基础

刘凯 主编
俞辉 副主编
王晓薇 张明 胡伟 编著
周志光

- 循序渐进地讲述ARM嵌入式基本知识和技能
- 带你轻松步入嵌入式殿堂
- 专业实用的ARM平台和实战应用
- 拨开你学习中的迷雾
- 使你成为出色的嵌入式工程师



清华大学出版社

ARM 嵌入式应用技术基础

刘 凯 主 编

王晓薇 俞 辉 副主编

周志光 张 明 胡 伟 编 著

清华大学出版社

北 京

内 容 简 介

本书与《ARM 嵌入式接口技术应用》、《ARM 嵌入式应用实战》组成一个小系列,是以 ARM7 内核处理器和 $\mu\text{C}/\text{OS-II}$ 嵌入式操作系统为主线,采用“入门篇”—“提高篇”—“实战篇”的结构体系,引导初学者一步一步地登入 ARM 与嵌入式的应用殿堂。本书为其中的“入门篇”,从基本概念和原理入手,循序渐进地讲解了嵌入式系统基础知识、ARM 处理器基础、ARM 的指令系统、ARM 的编程技术、操作范例、ADS1.2 开发工具的使用、AXD 调试工具的使用、初始化代码研究和 LPC2220 (ARM7) 处理器等各项基础知识,以帮助读者成功地掌握 ARM 的应用技术基础知识。本书通过多个范例对相关知识进行了有针对性的深入分析和详细解说,使得读者在深刻理解基础理论的同时,也锻炼了实际动手能力并掌握了相关技巧。

本书内容丰富、深入浅出、实用性强,适合作为高等院校嵌入式系统相关专业的培训教材和教学参考用书。另外,本书对 ARM7 相关技术基础知识作了比较全面的归纳和总结,也适合有一定嵌入式系统设计和开发工作经验的同仁使用。

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

ARM 嵌入式应用技术基础/刘凯主编. —北京:清华大学出版社,2009.9

ISBN 978-7-302-20752-8

I. A… II. 刘… III. 微处理器, ARM IV. TP332

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 146326 号

责任编辑:许存权 张丽萍

封面设计:刘 超

版式设计:王世情

责任校对:王 云

责任印制:李红英

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:北京四季青印刷厂

装 订 者:三河市溧源装订厂

经 销:全国新华书店

开 本:185×260 印 张:19 字 数:436 千字

版 次:2009 年 9 月第 1 版 印 次:2009 年 9 月第 1 次印刷

印 数:1~4000

定 价:29.80 元

本书如存在文字不清、漏印、缺页、倒页、脱页等印装质量问题,请与清华大学出版社出版部联系调换。联系电话:(010)62770177 转 3103 产品编号:034061-01

序 言

1. ARM 嵌入式系统的发展趋势

随着计算机技术的发展,嵌入式系统在经历了近 20 年的发展历程后,又进入了一个新的历史发展阶段,即从一个普通的低端应用进入到一个高、低端并行发展,并且不断提升低端应用技术水平的时代。网络、通信、多媒体和信息家电时代的到来,无疑为 32 位嵌入式系统应用提供了空前巨大的发展空间。

在众多嵌入式系统厂商的参与下,基于 ARM 系列处理器的应用技术已在众多领域取得了突破性的进展。英特尔、三星、飞利浦等公司都相继推出各种型号的 ARM 芯片。因此,在 32 位嵌入式系统的应用中,ARM 系列已经形成了 32 位嵌入式系统应用的主流。

面对这种形势,目前国内掀起了 ARM 嵌入式系统理论广泛学习及应用开发的热潮,相关的出版物和培训班如雨后春笋般不断涌现。无论是已有经验的业界人士,还是想进入该领域的人们,都渴望了解 ARM 嵌入式系统理论,掌握 ARM 嵌入式系统的应用技术。高等院校面对这种形势,也迫切需要开设相应的课程。

虽然很多读者都想自己动手开发 ARM 应用程序,但却不知从哪里入手。为了满足高等院校嵌入式教学以及社会上初学者学习的需要,作者总结了自己近几年在 ARM 嵌入式系统领域的教学和开发经验,历时两年之久,编写了本系列教程——ARM 嵌入式快速入门系列,旨在帮助初学者轻松、快乐地学习 ARM 嵌入式系统的应用技术。

2. 本套教程的组成

本套教程由 ARM 嵌入式系统的“应用技术基础”、“接口原理和驱动开发”和“嵌入式技术综合应用”3 大部分组成。为了验证所讲技术的正确性,我们与元亨电子科技有限公司(www.yxarm.com)合作开发了配套的硬件平台。整套教程采用“入门篇”—“提高篇”—“实战篇”的结构体系,引导 ARM 初学者一步一步地登入 ARM 嵌入式的应用殿堂。

- 入门篇——《ARM 嵌入式应用技术基础》
- 提高篇——《ARM 嵌入式接口技术应用》
- 实战篇——《ARM 嵌入式应用实战》

3. 本套教程的特点

本套教程坚持以“简单化教学、实例化教学”为宗旨,以提高应用能力为目标,对众多的理论知识作了有目的性的精简和巧妙的组织,避开了繁多的理论铺垫,侧重于在实际动手的过程中去理解、消化知识。因为本套教程的主要目的是帮助新手入门,我们在编写

时大胆地删去了许多旁支侧节,避免过多介绍细节,所以读者无须阅读许多资料,短时间就能掌握开发 ARM 应用程序的基本技巧。

应该说,有了本套教程以后,登入 ARM 嵌入式应用开发的殿堂并不难,但要全面掌握和融会贯通则需要付出许多努力。本套教程以 ARM7 内核处理器和 $\mu\text{C}/\text{OS-II}$ 嵌入式操作系统为讲解主线,采取由易到难的知识结构,同时提供相应的教学实验平台和多媒体课件,方便大家学习。

本套教程具有实践性强、指导性强及易于学习等特点。

4. 本套教程各册内容简介

(1) 《ARM 嵌入式应用技术基础》理论基础教材。从基本概念和原理入手,循序渐进地讲解了 ARM 嵌入式开发所必须具备的各项基础知识,帮助读者快速地掌握有关 ARM 与嵌入式应用的常用技术和技能。本书言简意赅、内容丰富,共分 5 大部分。

① 嵌入式基础理论部分: 主要介绍嵌入式相关的概念和理论基础知识。

② ARM7 基础部分: 主要介绍 ARM7 处理器体系结构、指令系统、程序设计方法等内容。

③ 开发软件平台部分: 主要介绍 ADS 软件开发平台的开发环境、基本设置和使用。

④ 启动代码部分: 分析 ARM7 芯片启动时应完成的工作和启动代码的编写。

⑤ LPC2220 处理器总述。

本书通过多个范例对相关知识进行了有针对性的深入分析和详细解说,使得读者在深刻理解基础理论的同时,锻炼实际动手能力并掌握相关技巧。本书内容丰富、深入浅出、实用性强,适合作为高等院校嵌入式系统相关专业的培训教程和学习参考用书。另外,本书对 ARM7 相关技术基础作了比较全面的归纳和总结,也适合有一定嵌入式系统设计和开发工作经验的同仁使用。

(2) 《ARM 嵌入式接口技术应用》接口设计与驱动开发教材。以 ADS1.2 集成开发环境为软件平台,可以搭建一个实用的实验学习体系,可实现本书中所讲的 30 多个实验。

本书分为 9 章,每章都围绕一个接口技术专题进行详细讲解,在完备的基础理论知识介绍后都配有丰富生动的例子以加深理解,提高实际动手能力。本书侧重的并不是具体知识的传授,而是分析能力、动手能力的培养。学员可以通过本书举一反三,在实验平台上完成更多有趣的实验。书中涉及的 ARM 接口技术如下。

① 串行通信: 串行通信的原理,并详细讲解 UART、SPI、IIC 等多种串行通信协议。

② 存储接口: EEPROM、SRAM、Nor-Flash、Nand-Flash 各种存储器件的应用。

③ 数模转换: 数据采集的相关技术和 A/D 转换原理,重点讲解了 ARM 芯片自带的 A/D 转换模块的使用。

④ 模数转换: D/A 转换原理,以及利用 D/A 转换器实现各种波形的输出。

⑤ 人机交互: 包括输出接口和输入接口。输出接口主要讲解了数码管、LCD 液晶、发声电路的使用;输入接口主要讲解了 PC 机的串口、键盘、触摸屏的使用。

⑥ 其他基础实验: 包括 PWM 模块、时钟模块(定时器、实时时钟)、看门狗模块、

低功耗等各种基础实验。

⑦ 操作系统实验： $\mu\text{C}/\text{OS-II}$ 嵌入式操作系统移植、任务创建实验、任务间通信实验。

⑧ 电机驱动实验：步进电机与直流电机的驱动实现，限于实验板的体积与资源限制，该部分电路只在实验箱中实现。

（3）《ARM 嵌入式应用实战》这本书一方面强化和实践化了前两本书的理论、知识点和设计思想，另一方面结合了当前嵌入式工程项目中对 ARM 嵌入式开发工程师的要求及对创新人才培养的要求，从 ARM 嵌入式几大应用领域精心挑选和设计出了若干个经典项目案例，从不同角度演绎了 ARM 嵌入式的设计思想、方法和经验，同时把工程项目开发的一些思想融汇其中。

全书大体上分为无 OS 下的应用实例设计和基于 $\mu\text{C}/\text{OS-II}$ 操作系统下的应用实例设计两大部分，内容涉及超声波测距仪的设计、智能电风扇的设计、带闹铃的电子万年历的设计、多种协议转换器的设计、数字化语音存储与回放系统的设计、基于语音芯片的公交报站器的设计等多个应用实例。

编 者

前言

当今，嵌入式系统应用已深入到国民经济的各个方面，在工业控制、家用电器、智能仪器仪表、机电控制等领域，已不断展现出其独特魅力。与桌面计算机不同，嵌入式计算机系统以应用为中心，具有专用性、低成本、低功耗、高性能、高可靠性等特点。嵌入式系统日益广泛的应用也让人们认识到这项技术蕴含的巨大的市场潜力。市场的需求带动了对技术人才的需求，在未来 5 年里嵌入式系统领域将有超过 120 万的人才缺口，社会急需嵌入式系统相关专业的人才。

1. 从哪里学起

学习嵌入式系统，需要掌握两门最基本的技术：① 掌握主流嵌入式微处理器的结构与原理。② 必须掌握一个嵌入式操作系统。从哪里开始？建议从处理器芯片开始，学习主流芯片的内部结构和相应的汇编指令，学习在特定编程环境下对这款芯片应用汇编语言或 C 语言进行编程，本书就是尽力完成这些内容。接着继续学习基于 ARM 的应用程序开发（如各种接口技术的应用），最后学习嵌入式系统并在嵌入式操作系统基础上完成相关实验，这种循序渐进的学习有助于理解问题，对于嵌入式系统的开发也有一个整体上的把握。

谈起芯片，人们都知道曾经主导着应用潮流的 51 系列单片机。目前，处理器芯片常见的有 ARM、PowerPC、MIPS、Motorola 68K、ColdFire、51 系列等，全世界的年产量超过 100 亿片，其中基于 ARM 内核的处理器在市场上的份额超过 75%，ARM 占据了绝对主流（有资料显示手机中 90% 以上都是 ARM 处理器）。时至今日，8 位的单片机已渐渐淡出电子产品市场。许多在 51 单片机领域奋斗多年的同志迫于就业压力，不得不学习使用 ARM。作为工科院校电子信息类的学生就更有必要和他人站在同一起跑线上。学习 ARM，能让你跟上时代潮流的步伐，能让你找到一个高薪、如意的工作。

ARM 嵌入式处理器是一种 32 位高性能、低功耗的 RISC 芯片，它由英国 ARM 公司设计，世界上几乎所有的主要半导体厂商都生产基于 ARM 体系结构的通用芯片，或在其专用芯片中嵌入 ARM 的相关技术，如 TI、Motorola、Intel、Atmel、Samsung、Philips、Altera、Nec、Sharp、NS 等公司都有相应的产品。ARM 微处理器一般都具有体积小、功耗低、成本低、性能高、速度快的特点，目前 ARM 芯片广泛应用于工业控制、无线通信、网络产品、消费类电子产品、安全产品等领域，如交换机、路由器、数控设备、机顶盒、STB 及智能卡都采用了 ARM 技术，并在将来取得更广泛的应用。

由于嵌入式实时操作系统具有高度的模块化、扩展性和可靠性，使得嵌入式实时操作系统在目前的嵌入式应用中用得越来越广泛，尤其在功能复杂、系统庞大的应用中显得越来越重要。在嵌入式应用中使用嵌入式实时操作系统能充分发挥 32 位 CPU 的多任务潜力；提高开发效率，缩短开发周期；并且开发出来的产品具有高可靠性。目前来讲，嵌入式操

作系统有几十种，常见的嵌入式操作系统有 μ CLinux、RTLinux、Windows CE、Palm OS、VxWorks、OSE、eCOS、 μ C/OS-II。

对于初学者而言， μ C/OS-II 操作系统比较合适。 μ C/OS-II 操作系统具备了嵌入式操作系统的任务管理（包括任务控制、任务调度）、任务通信（包括同步和互斥、邮箱通信等）和中断处理 3 大基本功能，并且还具备时钟模块和内存管理模块供用户使用。可以说， μ C/OS-II 操作系统具有功能强大、内核简单、性能稳定、可移植性好、易于学习等特点，学习 μ C/OS-II 操作系统不但有助于理解嵌入式操作系统的基本原理，而且还可以应用到实际产品开发中去。

2. 学 ARM 难不难

ARM 处理器的确是一种很复杂的微处理器结构，目前 ARM 处理器已经推出了 ARM7、ARM9、ARM9E、ARM10E、SecurCore 等多个系列，并且速度越来越快，功能越来越多，结构也越来越复杂。但是，如果只站在芯片使用的角度，从最简单的 ARM7 系列芯片着手，问题就没有想象的那么复杂。

学习 ARM，需要有一定的 C 语言基础。虽然可以用 ARM 汇编指令开发程序，但是大多数的应用场合用 C 语言会更加简便。学习 ARM，不需要 51 单片机基础，毕竟 51 单片机和 ARM 无论从处理器结构、汇编指令系统，还是编程环境都有太多不同。学习 ARM，配套的环境很重要。下面两个条件是必不可少的：

(1) 一套由浅入深的教材。应用 ARM 开发嵌入式系统产品需要涉及相当多的内容，需要比较广的理论基础知识，所以教材的好坏将直接影响对基础理论知识的理解和掌握。目前，市场上有许多关于嵌入式系统的书籍，可谓鱼龙混杂，许多书让我们看完之后有一种“云深不知处”的感觉。仔细审查这些书籍，大多是理论的堆积和外文资料的翻译，缺乏有机的组织和整理。有的书籍是针对公司产品而出版的，对基础理论知识的介绍不够全面。因此，对于缺乏经验的初学者来说，选好教材非常重要。本套书以基于 ARM7 内核处理器为主线，对各个知识点进行了很好的组织和归纳，采用“入门篇”——“提高篇”——“实战篇”的结构体系，引导 ARM 初学者一步一步地登入 ARM 的应用殿堂。

(2) 具备相应的实验环境。毕竟嵌入式系统的设计与开发作为一项实践性很强的专业技术，仅有理论知识是无法真正深刻理解和掌握的。所以，为了让学习效果事半功倍，让你能尽快地进入角色，购买 ARM 开发板，搭建一个实验环境也是很有必要的。在“提高篇”中，将会向读者详细介绍一款 ARM 实验平台。

如果具备了以上两个条件，加上不懈的努力，你必将成为一个出色的嵌入式系统工程师。

本套教程是以 ARM7 系列芯片和 μ C/OS-II 操作系统为讲解重点，采取由易到难的组织方式，侧重于技术的应用和实际动手能力的提高，并配套了完善的实验硬件平台和相应的软件资源（大量的程序代码和软件模块），非常适合初学者或开发人员使用。

3. 本书的内容与结构安排

为了帮助读者快速掌握有关 ARM 与嵌入式应用的基本知识和技能，本书对 ARM 嵌入

式开发所必须具备的各项基础知识作了很系统的归纳，并站在初学者的角度，循序渐进地讲解各项知识。

本书言简意赅、内容丰富，共有 9 章，具体结构安排如下：

第 1 章全面介绍了嵌入式系统的基本概念，系统阐述了嵌入式系统的定义、组成要素、发展与现状和嵌入式系统中信息表示问题，让读者对嵌入式系统有一个整体的了解。

第 2 章全面介绍了 ARM7 处理器基础知识，对 ARM7TDMI 处理器的体系结构、数据格式、处理器模式、内部寄存器和异常等基础知识也作了比较完整的归纳。

第 3 章主要介绍了 ARM 汇编指令系统。ARM 汇编指令系统有 ARM 指令集和 Thumb 指令集。Thumb 是 16 位的指令集，严格意义上来说，Thumb 指令集只是 ARM 指令集的子集。本章从一个全新的角度讲述了 ARM 汇编指令系统，对 ARM 指令集进行了新的分类，有关段定义之类的汇编伪指令将在第 4 章作重点讲述。

第 4 章主要介绍了利用汇编语言和 C 语言进行开发的相关编程技术。有关程序设计基础知识和技术细节，本章都有比较系统的讲述并对这些知识点进行有序组织，这在目前的各种嵌入式书籍中是没有的。

第 5 章使用了 4 个范例描述 ADS1.2 基本操作和库文件的制作。

第 6 章详细介绍了 ARM 的编程环境——ADS1.2 软件平台。按照程序设计过程（程序的编辑→汇编与编译→链接→运行）对 ADS1.2 环境中所遇到的问题作了详细的介绍。

第 7 章讲解了 AXD 调试工具的应用和各种程序调试的技巧。

第 8 章对初始化代码进行了深入的研究。对于不同的 ARM7 处理器，初始化代码所要完成的功能是相似的，但具体实现代码与具体芯片相关。

第 9 章讲解了 ARM7 内核的 LPC2220 处理器。描述了 LPC2220 引脚、功能模块和控制模块。

4. 感谢

本书选用目前普遍使用、结构简单的 ARM7TDMI 内核作为介绍的重点，围绕该内核的相关基础知识和技术都作了比较全面的介绍。书中所有章节内容由主编统一规划，其中第 1、2 章由沈阳师范大学王晓薇老师编写，第 3 章由中国石油大学俞辉老师编写，第 9 章由沈阳大学张明老师、长沙民政学院周志光老师、武汉胡伟老师共同编写，其他章节由刘凯编写完成。本书在编写过程中得到了长沙民政学院方跃春老师的热情支持和帮助，在此表示感谢。

由于作者水平有限，本书会有描述不恰当或错误之处，欢迎大家批评指正。作者邮箱：liukai_yx@yeah.net，联系 QQ：1014846000。需要更多资料请到 www.yxarm.com 网站上下载。

目 录

第 1 章 嵌入式系统基础知识.....	1
1.1 认识嵌入式系统.....	1
1.1.1 嵌入式系统的定义.....	2
1.1.2 嵌入式系统发展的 4 个阶段.....	2
1.1.3 嵌入式系统的发展现状.....	4
1.1.4 嵌入式系统的组成.....	4
1.1.5 嵌入式系统实例.....	8
1.2 计算机系统的信息表示方式.....	10
1.2.1 进位计数制与转换.....	10
1.2.2 计算机中数的表示.....	12
1.2.3 基本的逻辑运算.....	17
1.3 本节附录.....	19
1.3.1 进制系统详述.....	19
1.3.2 二进制系统的乘除运算.....	20
第 2 章 ARM 处理器基础.....	21
2.1 ARM7 处理器概述.....	21
2.2 ARM 处理器的数据格式.....	24
2.2.1 存储空间格式.....	24
2.2.2 ARM 处理器的程序与数据存储.....	27
2.3 处理器模式与内部寄存器.....	28
2.3.1 处理器模式.....	28
2.3.2 内部寄存器.....	29
2.3.3 程序状态寄存器.....	31
2.4 ARM 的异常处理.....	33
2.4.1 进入/退出异常.....	33
2.4.2 6 种异常模式.....	34
2.4.3 异常中断向量与优先级.....	36
2.5 本节附录.....	37
2.5.1 ARM 处理器系列.....	37
2.5.2 Thumb 状态下的寄存器集.....	40

第 3 章 ARM 的指令系统	41
3.1 ARM 指令的寻址方式	41
3.1.1 立即寻址	41
3.1.2 寄存器寻址	42
3.1.3 寄存器移位寻址	42
3.1.4 寄存器间接寻址	43
3.1.5 基址寻址	43
3.1.6 多寄存器寻址	44
3.2 ARM 指令概述	44
3.2.1 指令格式	44
3.2.2 指令的后缀	45
3.2.3 堆栈概念	48
3.3 ARM 指令集	50
3.3.1 数据处理指令	50
3.3.2 存储器访问指令	56
3.3.3 分支跳转指令	59
3.3.4 协处理指令	60
3.3.5 杂项指令	60
3.3.6 ARM 伪指令	62
3.4 ARM 汇编指令实战	65
3.5 本节附录	69
3.5.1 Thumb 状态切换到 ARM 状态	69
3.5.2 Thumb 指令集与 ARM 指令集的区别	70
第 4 章 ARM 的编程技术	71
4.1 汇编语言	71
4.1.1 ARM 汇编程序的格式	71
4.1.2 伪指令语句	74
4.1.3 汇编语言程序设计及举例	84
4.2 C 语言程序设计	88
4.2.1 使用 Semihosting 的服务	89
4.2.2 移植 ADS1.2 中的 C 语言函数库	92
4.2.3 编程规范	94
4.3 汇编语言与 C/C++ 语言的混合编程	100
4.3.1 内嵌汇编语言指令	101
4.3.2 汇编与 C/C++ 程序的变量相互访问	104
4.3.3 汇编与 C/C++ 程序的函数相互调用	105
4.4 ARM 编程实战	109

4.5	本节附录.....	116
4.5.1	ARM 指令速查表.....	116
4.5.2	ARM 伪指令速查表.....	118
第 5 章	操作范例.....	121
5.1	ADS1.2 集成开发环境.....	121
5.1.1	CodeWarrior IDE 简介.....	121
5.1.2	AXD 调试器简介.....	122
5.2	范例一 汇编语言程序实验.....	122
5.2.1	工程的编辑.....	122
5.2.2	工程的调试.....	126
5.3	范例二 C 程序实验.....	129
5.3.1	实验程序.....	129
5.3.2	实验步骤.....	130
5.3.3	实验调试.....	130
5.4	范例三 C 程序与汇编程序实验.....	131
5.4.1	实验程序.....	131
5.4.2	实验步骤.....	132
5.4.3	实验调试.....	132
5.5	范例四 库文件定义与使用.....	134
5.5.1	实验程序.....	134
5.5.2	实验步骤.....	135
5.6	本节附录.....	137
5.6.1	集成开发环境.....	138
5.6.2	调试工具.....	139
第 6 章	ADS1.2 开发工具的使用.....	141
6.1	软件开发.....	141
6.1.1	ADS 集成开发工具.....	142
6.1.2	ADS 开发环境的系统资源.....	144
6.2	程序的编辑.....	146
6.2.1	工程管理窗口介绍.....	146
6.2.2	代码编辑窗口介绍.....	148
6.2.3	编辑画面的设置.....	150
6.3	程序的汇编与编译.....	155
6.3.1	汇编与编译.....	155
6.3.2	ARM 汇编器 armasm 的设置.....	157
6.3.3	ARM 编译器 armcc 的设置.....	163
6.4	程序的链接.....	169

6.4.1	与链接相关的文件	169
6.4.2	ARM 映像文件	171
6.4.3	ARM 链接器生成的符号	175
6.4.4	链接器 armlink 的设置	177
6.5	本节附录	182
6.5.1	配置生成目标	182
6.5.2	scatter 文件编写	186
6.5.3	工程项目模板	191
第 7 章	AXD 调试工具的使用	192
7.1	AXD 调试工具	192
7.1.1	AXD 调试介绍	192
7.1.2	AXD 调试步骤	194
7.1.3	View 菜单介绍	196
7.2	AXD 调试方法	203
7.2.1	常用的调试方法	203
7.2.2	单步调试	204
7.2.3	使用断点进行调试	205
第 8 章	初始化代码研究	208
8.1	初始化代码重点	208
8.2	初始化代码分析	209
8.2.1	中断向量表	209
8.2.2	初始化存储器系统	210
8.2.3	初始化堆栈	211
8.2.4	目标板初始化	212
第 9 章	LPC2220 (ARM7) 处理器	215
9.1	LPC2220 芯片的功能	215
9.1.1	芯片功能介绍	215
9.1.2	芯片功能框图	216
9.2	LPC2220 芯片的引脚	217
9.2.1	引脚描述	217
9.2.2	引脚功能设置	222
9.3	LPC2220 芯片的功能模块	225
9.3.1	通用 I/O 口控制模块	225
9.3.2	I2C 串行接口模块	227
9.3.3	SPI 串行接口模块	234
9.3.4	UART 通信接口模块	238

9.3.5 看门狗模块.....	245
9.3.6 脉宽调制模块.....	247
9.3.7 A/D 转换器模块.....	254
9.3.8 定时器（计数器）模块.....	258
9.3.9 实时时钟模块.....	264
9.4 LPC2220 芯片的系统控制模块.....	272
9.4.1 时钟控制器.....	272
9.4.2 向量中断控制器.....	275
9.4.3 外部存储控制器.....	282
参考文献	285

第 1 章 嵌入式系统基础知识

嵌入式前景广阔，就业渠道多，无疑是当前最热门最有发展前途的行业。特别是随着消费家电的智能化，3G 在中国的迅速发展，嵌入式更显重要。本章将带领大家从“古”到今、由外及里、层层深入地认识嵌入式系统。

本章的主要内容：

- 嵌入式系统定义、组成、发展阶段与现状。
- 剖析一个嵌入式系统实例。
- 计算机系统的信息表示方式。

1.1 认识嵌入式系统

以数字科技（微电子是其重要组成部分）为基础、计算机科学技术为框架的嵌入式系统目前已普遍应用于工业控制系统、信息家电、通信设备、医疗设备、智能仪器仪表等众多领域，如手机、PDA、MP3、手持设备、智能电话、机顶盒等，可以说嵌入式技术无处不在。经过几十年的发展，嵌入式系统已经在很大程度上改变了人们的生活、工作和娱乐方式，而且这些改变还在加速。

可以肯定地讲，我们每一个人都已经使用过嵌入式系统的产品，图 1.1 就是生活中比较常见的嵌入式产品。嵌入式系统广泛的适应能力和多样性，使得稍微“智能”点的电子产品基本上都采用了嵌入式系统。



图 1.1 常见的嵌入式产品

嵌入式系统已经深入到我们生活的每一个角落，它所涉及的领域广泛到我们的想象力

能及的任何地方。尽管嵌入式系统应用如此普遍，但是嵌入式系统具有无数的种类，每类都具有自己独特的个性，所以要想给它定义一个完整的概念并不容易。

1.1.1 嵌入式系统的定义

嵌入式系统的应用范围是非常广泛的。可以这么说，除了桌面计算机和服务器以外的所有计算设备都属于嵌入式系统。

大多数商用的嵌入式系统都具有专用性（专用任务）、实时性（反应速度）、低成本等特点。对于大批量生产的产品而言，生产成本常常对系统设计起决定作用。大批量生产的嵌入式系统，如 MP3、MP4 或手机等，降低成本就成为最为关心的问题。这些系统通常只有几个芯片：一个高度集成的 CPU，一个定制的芯片用于控制其他所有的功能，还有一个存储芯片。在这种设计中，每部分都设计成使用最小的系统功耗。但是对于小批量生产的嵌入式系统，为了降低开发周期和成本，常常使用 PC 机体系结构，通过限制程序的执行时间或用个实时操作系统来替换原来的操作系统。在这种情况下，通常是用一个高性能的 CPU 来替换特殊用途的硬件。

由此可知，简单地通过速度和成本来定义嵌入式系统是困难的，只有从应用场合和本身特点才能看清什么是嵌入式系统。

根据 IEEE（国际电气和电子工程师协会）的定义，嵌入式系统是“控制、监视或者辅助设备、机器和车间运行的装备”（原文为 devices used to control, or assist the operation of equipment, machinery or plants）。这主要是从应用上加以定义的，从中可以看出嵌入式是软件和硬件的综合体，还可以涵盖机械等附属装置。

目前国内一个被普遍认同的定义是：以应用为中心，以计算机技术为基础，软件和硬件可裁减，以适应应用系统对功能、可靠性、成本、速度、体积、功耗严格要求的专用计算机系统。

可以这样认为，嵌入式系统是一种硬件和软件紧密耦合在一起的专用计算机系统，作为装置或设备的一部分。通常，嵌入式系统是一个控制程序存储在 ROM 中的嵌入式处理控制板。事实上所有带有数字接口的设备，如手表、微波炉、汽车、录像机等，都使用嵌入式系统，有些嵌入式系统还包括操作系统，也有些嵌入式系统是由单个程序实现整个控制逻辑。

1.1.2 嵌入式系统发展的 4 个阶段

世界上第一个应用的嵌入式系统可以追溯到 20 世纪 60 年代中期的阿波罗导航计算机 AGC（Apollo Guidance Computer）系统，它是用来完成阿波罗飞船的导航控制。随着电子技术的发展，嵌入式计算机才逐步兴起。从单片机的出现到今天各种嵌入式微处理器、微控制器的广泛应用，嵌入式系统少说也有 30 多年的历史。纵观嵌入式系统的发展历程，大致经历了以下 4 个阶段。

（1）无操作系统阶段

嵌入式系统最初的应用是基于单片机的，大多以可编程控制器的形式出现，具有监控、

伺服和设备指示等功能,通常应用于各类工业控制和飞机、导弹等武器装备中。这时的应用都没有操作系统的支持,只能通过汇编和 C 语言进行直接控制。虽然这些装置初步具备了嵌入式的应用特点,但仅仅是用 8 位的单片机芯片来执行一些单进程的程序,严格意义上讲这些应用还谈不上“系统”的概念。

这一阶段嵌入式系统的主要特点是:系统结构和功能相对单一,任务简单,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实现简单,价格低廉,曾经在工业控制领域中得到了非常广泛的应用,但却无法满足现今对执行效率、用户接口和存储容量都有较高要求的智能化电子产品的需要。

(2) 简单操作系统阶段

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中所需的微处理器、I/O 接口、串行接口、A/D 转换接口及 ROM、RAM 等部件集成到一片 VLSI 中,制造出面向 I/O 设计的微控制器。这种控制器一举成为嵌入式系统领域中异军突起的新秀。与此同时,嵌入式系统的程序员也开始基于一些简单的“操作系统”开发嵌入式应用软件,大大缩短了开发周期,提高了开发效率。

这一阶段嵌入式系统的主要特点是:出现了大量高可靠性、低功耗的嵌入式 CPU,各种简单的嵌入式操作系统开始出现并得到迅速发展。此时的嵌入式操作系统虽然简单,但已经初步具备了一定的兼容性和扩展性,内核精巧且效率高,主要用来控制系统负载及监控应用程序的运行。

(3) 实时操作系统阶段

20 世纪 90 年代以后,在分布控制、柔性制作、数字化通信和信息家电等巨大需求的牵引下,嵌入式系统进一步飞速发展。嵌入式微控制器(MCU)和嵌入式 DSP 处理器朝高集成度、高精度、高速度、低功耗的方向发展。伴随着硬件性能的提高,嵌入式软件规模也不断扩大,逐渐形成了实时多任务操作系统(Real-time Operation System, RTOS),并成为嵌入式系统的主流。

由于嵌入式实时操作系统具有高度的模块化、扩展性和可靠性,嵌入式实时操作系统在目前的嵌入式应用中用得越来越广泛,尤其在功能复杂、系统庞大的应用中显得越来越重要。在嵌入式应用中使用嵌入式实时操作系统具有很多的优势:能充分发挥 32 位 CPU 的多任务潜力;提高开发效率,缩短开发周期;并且开发出来的产品具有高可靠性。嵌入式操作系统有几十种,常见的有 μ CLinux、RTLinux、Windows CE、Palm OS、VxWorks、eCos、 μ C/OS-II。

这一阶段嵌入式系统的主要特点是:32 位处理器芯片具有高速度、低功耗、低价格的特点。嵌入式操作系统的实时性也有了很大的提高,已经能够运行在各种不同类型的微处理器上,具有高度的模块化和扩展性。此时的操作系统已经具备了文件和目录管理、设备管理、多任务、网络、图形用户界面等功能,并提供了大量的应用程序接口(Application Programming Interface, API),从而使应用软件的开发变得更加简单。

(4) 嵌入式片上系统(System on Chip, SOC)阶段

随着 EDA 的推广和 VLSI 设计的普及化及半导体工艺的迅速发展,在一个硅片上实现一个更为复杂的系统的时代已来临,这就是嵌入式片上系统(SOC)。嵌入式片上系统最