

嵌入式系统 开发与应用

田 泽 编著



北京航空航天大学出版社

<http://www.buaapress.com.cn>

嵌入式系统开发与应用

田 泽 编著

北京航空航天大学出版社

<http://www.buaapress.com.cn>

内 容 简 介

全面讲述了嵌入式系统开发与应用技术,以嵌入式系统的基本开发技术为主线,以 ARM 处理器核及国内应用广泛的 Samsung 公司 S3C44B0X(基于 ARM7TDMI)为硬件平台,系统讲述了嵌入式系统开发的基本知识、基本流程、基本方法及以 ARM 微处理器为核心的嵌入式系统软、硬件开发过程。

主要包括:

- ◆ 嵌入式系统开发基础知识;
- ◆ ARM 技术概述;
- ◆ 基于 ARM 的嵌入式系统应用程序设计;
- ◆ 基于 S3C44B0X 的嵌入式系统应用开发实例;
- ◆ μ C/OS-II 和 μ CLinux 嵌入式操作系统及应用开发。

本书可作为高校计算机和电类专业的本科生、研究生教材,以及相关工程技术人员进行嵌入式系统应用开发的教材,也可供基于 ARM 核嵌入式系统开发的工程技术人员参考。

本书配套多媒体教学课件。

图书在版编目(CIP)数据

嵌入式系统开发与应用/田泽编著. —北京:北京航空航天大学出版社,2005.1

ISBN 7-81077-541-3

I. 嵌… II. 田… III. 微处理器,ARM—系统设计
IV. TP332

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2004)第 137213 号

嵌入式系统开发与应用

田 泽 编著

责任编辑 王慕冰 王 瑛

*

北京航空航天大学出版社出版发行

北京市海淀区学院路 37 号(100083) 发行部电话:010-82317024 传真:010-82328026

<http://www.buaapress.com.cn> E-mail: bhp@263.net

涿州市新华印刷有限公司印装 各地书店经销

*

开本:787×960 1/16 印张:40 字数:896 千字

2005 年 1 月第 1 版 2005 年 1 月第 1 次印刷 印数:5 000 册

ISBN 7-81077-541-3 定价:54.00 元

前 言

嵌入式技术的发展

以 8 位单片机(或微控制器,MCU)为核心的嵌入式系统早已广泛应用于各个领域,这些应用大多数还处于单机使用的嵌入式低层次阶段。其特点是以 MCU 为核心,与一些简单的传感器及监测、伺服控制、指示和显示等设备配合,实现一定的测量、显示、信息处理及控制等功能。虽然在一些工业控制、汽车电子和智能家居等多机应用中,为了实现多个 MCU 构成的系统间的信息交流,通常是利用 CAN、RS-232 和 RS-485 等总线将 MCU 组网。但这种网络的应用空间有限,相关的通信协议也比较单一,并且一般孤立于广泛应用的 Internet 以外。目前,Internet 已成为社会重要的基础信息设施,是信息流通的重要渠道。嵌入式系统必将与 Internet 完美融合,方便、低廉地将信息传送到世界上任何一个地方。

随着嵌入式设备与 Internet 的广泛结合,手机、PDA、路由器和调制解调器等复杂的高端应用对嵌入式处理器的性能提出了更高的要求。虽然以 8 位单片机为核心的嵌入式技术不断发展,性能也不断提高,但由于其性能的局限性,已无法满足未来高性能嵌入式技术的发展需求。激烈的市场和技术竞争要求不断提高嵌入式系统的性价比;同时,也要求缩短嵌入式系统的开发周期。自从 20 世纪 70 年代初出现嵌入式系统的概念以来,嵌入式系统以其高性能、低功耗等特点高速发展。当时的嵌入式系统很多都不采用操作系统,它们只是为了实现某个控制功能,使用简单的循环控制来对外界的控制请求进行处理。随着嵌入式系统的发展,当应用系统越来越复杂、使用范围越来越广泛时,每增加一项新的应用功能,都可能需要从头开始设计系统软件,没有操作系统已成为其最大缺陷。但目前 8 位单片机上运行嵌入式操作系统尚有一定困难,因此,以 32 位处理器作为高性能嵌入式系统开发的核心已是嵌入式技术发展的必然趋势。

20 世纪 90 年代后,嵌入式系统设计从以嵌入式微处理器/DSP 为核心的“集成电路”级设计,逐渐转向“集成系统”级设计,提出了片上系统 SoC(System on a Chip)的基本概念。目前,嵌入式系统已进入以 SoC 为核心的设计阶段,并开始逐步实用化和规范化。SoC 为高性能嵌入式系统开发提供了功能丰富的硬件平台,也为实时嵌入式操作系统的广泛使用提供了硬件基础。从 20 世纪 80 年代开始,陆续出现了一些嵌入式操作系统,比较著名的有 VxWorks、Windows CE、Palm、 μ CLinux、pSOS 和 μ C/OS-II 等,但真正广泛使用只是近几年的事情。一方面是因为嵌入式系统软件开发复杂度增加的需求;另一方面是大量高性能、面向实际应用、集成多种系统功能的 SoC 芯片成为高端嵌入式应用的硬件核心,为可靠、高效、低成本地运行嵌入式操作系统提供了硬件平台。大部分嵌入式操作系统价格昂贵,而源代码开放的 μ C/OS-II、 μ CLinux 是大家比较看好的,也比较适用于教学。有关嵌入式操作系统的知识体系相对复杂,一些出版社已经出版了多种相关的书籍,如果在教学、科研中对这方面内容比较感兴趣,请参阅相关资料。

嵌入式微处理器具有体积小、重量轻、成本低和可靠性高的优点,是嵌入式系统的核心。目前比较有影响的 32 位嵌入式处理器有 ARM 公司的 ARM、Compaq 公司的 Alpha、HP 公司的 PA-RISC、IBM 公司的 PowerPC、MIPS 公司的 MIPS 和 Sun 公司的 Sparc 等。而 ARM 处理器具有高性能、低功耗和低成本等显著优点,已成为高性能、低功耗嵌入式微处理器的代名词,是目前 32 位、64 位嵌入式处理器中应用最为广泛的一个系列。

20世纪90年代初,半导体行业产业链形成设计业、制造业和封装测试业三业分离的产业分工。台积电、联电等半导体代工厂崛起,一些 fabless、chipless 公司如雨后春笋般出现,而英国先进 RISC 机器公司(Advanced RISC Machines,简称 ARM 公司)为 fabless、chipless 这一生产模式最为成功的典范。ARM 公司既不生产芯片,也不销售芯片,而是设计出高效的 IP 内核,授权给各半导体公司使用;半导体公司在 ARM 技术的基础上,根据自己公司的产品定位,添加自己的设计并推出芯片产品;最后由 OEM 客户采用这些芯片来构建基于 ARM 技术的最终应用系统产品。经过 10 多年的发展,ARM 公司已是业界领先的 IP 供应商。

回顾 ARM 技术的发展历程,在 ARM7 体系结构(体系结构版本 v3)刚被广泛接受和使用时,嵌入式微处理器的市场仍然大都由 8 位、16 位处理器占领。然而,这些产品却不能满足当时移动电话、调制解调器等高端应用对处理器性能的要求。这些高端产品需要 32 位 RISC 处理器的性能和更优于 16 位 CISC 处理器的代码密度,这就要求要以更低的成本取得更好的性能和更优的代码密度。为了满足这种发展需求,ARM 体系结构增加了 T 变种,开发了一种新的指令体系,即 16 位 Thumb 指令集。Thumb 技术是 ARM 技术的一大特色。ARM 发布的 ARM7TDMI 体系结构(体系结构版本 v4T)的处理器,是第一个支持 Thumb 指令集的微处理器,其工作模式可以方便地切换到 Thumb 状态。在该状态下运行的指令集是 16 位 Thumb 指令集,这在当时的 16 位系统与现在需要的 32 位系统之间搭起了一座桥梁。性能更优而不需要付出额外代价的 ARM,为那些在当时使用 8 位或 16 位处理器,却一直在寻找更优性能处理器的用户,提供了解决方案,也极大地推动了 ARM 技术的发展。16 位处理器一直没有像人们预期的那样发展起来的原因很复杂,由于 32 位 ARM 微处理器提供了低于一般 16 位微处理器的价格而高于一般 16 位微处理器的性能,使得高端的嵌入式应用可以完全跨越 16 位而直接进入 32 位应用领域,这也许是原因之一。

ARM 微处理器得到了众多半导体厂家和整机厂商的大力支持,全球已有 100 多家 IT 公司在采用 ARM 技术,20 家最大的半导体厂商中有 19 家是 ARM 的用户,包括 TI、Philips 和 Intel 等公司。优良的性能和准确的市场定位极大地丰富了 ARM 资源,加速了基于 ARM 核的面向各种应用系统芯片的开发应用,使得 ARM 获得了更广泛的应用,确立了 ARM 技术的市场领先地位。ARM 在高性能嵌入式应用领域获得了巨大的成功,已在 32 位嵌入式应用中稳居世界第一。在 2002 年,基于 ARM 核的芯片占据了整个 32 位、64 位嵌入式微处理器市场的 79.5%,全世界已使用了 20 多亿个 ARM 核。如今,ARM 公司已经成为业界的龙头老大,“每个人口袋中都装着 ARM”是毫不夸张的,因为几乎所有的手机、移动设备、PDA 都是用基于 ARM 核的系统芯片开发的。为了顺应当今世界技术革新的潮流,了解、学习和掌握高性能嵌入式技术,就必然要学习以 32 位 ARM 微处理器为核心的嵌入式开发技术及其应用开发环境和平台。

对 IT 产业发展规律进行总结可发现:如果说过去 20 年 PC 机的广泛应用是集成电路和 IT 相关技术发展的驱动器并且极大地促进了 IT 相关技术发展,那么未来几十年除了 PC 技术要继续高速发展之外,主要驱动器应该是与 Internet 相结合的、可移动的(Mobile)、便携的(Portable)、实时嵌入式 Internet 的信息处理设备,即进入了后 PC(Post-PC)时代。目前嵌入式 Internet 还仅局限于移动商务、智能家居(家电上网)、工业控制和智能设备的应用等方面。随着相关应用技术的发展,嵌入式技术必将与许多实际应用领域相结合,以难以想像的速度发展。这必然会极大地拓展嵌入式应用的广度和深度,体现嵌入式系统与实际应用密切结合的价值。

当代通用计算机工业是 Wintel(Microsoft 和 Intel 公司 20 世纪 90 年代初建立的联盟)垄断的工业。随着信息技术和网络技术的高速发展,嵌入式技术的广泛应用使得这种垄断在后

PC时代不再存在。嵌入式系统正是非PC设备的主体。互联网技术在世界范围的扩展及中国通信事业的高速发展,为我国开发嵌入式产品造就了巨大市场。与实际应用密切结合且技术高度分散的嵌入式技术,为我国IT技术的发展提供了难得的机遇。加快嵌入式技术的开发应用,学习与掌握嵌入式系统开发的核心技术,对于IT技术并不发达的中国是非常重要的。

学习32位嵌入式系统应用开发知识的迫切性

与传统的以8位51单片机为核心的开发应用相比,ARM微处理器的性能和处理能力遥遥领先,应用也日益广泛,但与之相应的,基于ARM的32位嵌入式系统软/硬件开发的复杂度和难度也急剧加大。现在我国嵌入式应用开发技术人才状况是:掌握低端8位单片机应用技术的人才相对过剩;而真正了解高端32位嵌入式系统开发技术的人才,却凤毛麟角,需求与供给严重失衡。

就我国大部分高校目前的嵌入式系统教学而言,整体仍然停留在20世纪80年代初发展起来的以8位51单片机为核心的单片机教学水平上。目前教学内容设置、教学方法、教学手段、教材编写体系与这门课程以实际应用为主的基本特征严重脱节。学生学习了这门课程后,只能进行一般的、基于指令基础上的简单编程,而不能进行基本的应用系统设计。在此基础上要想完成具有较大规模的应用程序设计是有一定难度的,要独立进行一般的开发工作就更加有难度。一般学生进入技术开发岗位后,基本上要进行相当长一段时间的实际培训,才能基本进入开发流程;要独立承担项目,还需要更长一段时间。

发展嵌入式技术,人才是关键。培养和培训相关人才,一方面,要在高校中加强嵌入式系统教学,这是人才的源头;另一方面,有一定实际项目开发经验的工程技术人员也需要加强嵌入式系统开发技术的学习。因此,高等院校相关专业嵌入式系统的教学迫切需要适合教学特点的高水平教材;从事嵌入式系统开发的一般工程技术人员也迫切需要嵌入式系统应用开发技术进行全面、系统、深入介绍的参考资料。

作者是国内最早翻译ARM bible级的《ARM SoC体系结构》^[1]一书的译者之一,并从事于ARM技术的相关教学及科研工作多年,积累了大量的嵌入式系统教学和开发经验;作者与ARM公司、基于ARM核的芯片厂商以及对ARM感兴趣的读者建立了广泛的联系,获得了大量的技术信息和建议。因此,为满足高等院校相关专业的师生及嵌入式系统开发工程技术人员需要,作者在此基础上,编写了4本图书,即本书及另外3本一套的《嵌入式系统开发与应用系列教程》。

本书涉及的硬件平台及开发环境

Samsung公司S3C系列芯片是国内市场占有率最高的基于ARM核的微处理器之一,其接口模块丰富,适用面广,故本书和《嵌入式系统开发与应用系列教程》都选择Samsung公司S3C44B0X(基于ARM7TDMI)作为硬件平台。

在学习基于ARM的嵌入式系统开发时,选择合适的开发工具可以加快开发进度,降低开发成本。目前世界上有几十家公司提供不同类别的ARM开发工具和产品。ARM应用的开发工具主要包括集成开发环境IDE、嵌入式实时操作系统、评估板和JTAG仿真器等。一般来说,一套具备最基本功能的嵌入式集成开发环境IDE是嵌入式系统开发所必不可少的。目前国内外主要使用的IDE环境有:ARM公司的SDT和ADS、美国Green Hills软件公司的Multi 2000、台湾的Hitool for ARM以及英蓓特公司的Embest IDE for ARM等,而国内使用较多的IDE为ARM公司的SDT、ADS以及英蓓特公司的Embest IDE。仿真器有ARM公

司的 Muti-ICE 和英蓓特公司的 Embest 系列 ARM JTAG 仿真器。

SDT 和 ADS 是 ARM 公司早期的集成开发环境(IDE),其用户界面不太符合中国人的使用习惯,而且软件本身价格很高,仿真器也是价格不菲。SDT 和 ADS 目前都已经停止升级。英蓓特公司的 ARM 集成开发环境套件(包括 Embest IDE、指令集模拟器、仿真器及 Flash 编程器等相关开发工具)是国内最早的 ARM 开发工具之一。作为国内较早成功开发出 IDE 环境的公司,英蓓特是目前国内惟一的 ARM Connected Community Membership(参见 <http://arm.convergencepromotions.com/catalog/Embest.htm>),完全自主开发,本土技术支持实力雄厚,且价格合理,并能为嵌入式系统开发人员提供软、硬件开发工具和嵌入式系统完整解决方案及技术信息服务;因此,本书和《嵌入式系统开发与应用系列教程》都选用英蓓特公司的集成开发环境套件作为 ARM 应用开发的工具。

学习 32 位嵌入式系统开发与应用技术所需的基础知识

嵌入式系统开发与应用的内容繁杂,涉及基本的硬件知识(如嵌入式微处理器及其基本接口、扩展人机接口和网络通信接口等知识)、操作系统(应该至少了解一种操作系统的中断、优先级、任务间通信和同步等知识)、程序设计知识(C 语言、C++ 语言和汇编语言程序设计,至少要熟悉 C 语言);同时,还涉及数字电路知识以及使用示波器、逻辑分析仪等基本技能。因此,在系统地学习本书和《嵌入式系统开发与应用系列教程》之前,必须有学习过微机原理与接口、C 语言程序设计等课程的基础,掌握计算机操作系统原理、体系结构和系统结构的基本概念,同时对于网络协议有一定的了解。

本书内容组成

本书全面、系统地讲述了嵌入式系统开发的基础理论与应用技术,以嵌入式系统的基本开发技术为主线,以 ARM 处理器核及目前应用广泛的 Samsung 公司的 S3C44B0X(基于 ARM7TDMI)为硬件平台,系统讲述了嵌入式系统开发的基本知识、基本流程、基本方法及以 ARM 微处理器为核心的嵌入式系统软/硬件开发过程。在加强嵌入式系统开发基础、嵌入式系统应用软件设计、嵌入式基本硬件接口、嵌入式操作系统移植及应用内容的基础上,紧密结合嵌入式系统开发过程的实际工程应用,将嵌入式系统外围复杂的实用模块开发例程移植到了本书内容中。

本书按技术内容分为 8 章,共 5 大部分。各部分具体内容及包含的章节如下:

第 1 部分:为书的第 1 章,主要介绍嵌入式系统开发的基础知识。内容包括嵌入式系统的基本概念、组成结构、硬件组成、操作系统、应用软件开发、开发流程和发展趋势。通过本部分的学习,可使读者系统地建立起嵌入式系统开发的整体概念和知识体系。

第 2 部分:为书的第 2 章,主要对 ARM 技术进行全面论述。通过本部分的学习,可使读者全面地了解 ARM 技术,并建立起以 ARM 技术为基础的嵌入式系统应用和以 ARM 核为基础的嵌入式 SoC 芯片设计的技术框架。在学习本部分时,可根据自己的具体情况有所取舍。

第 3 部分:为书的第 3、4 和 5 章。主要介绍嵌入式系统的应用程序设计。

第 3 章主要介绍 ARM 指令集。

第 4 章主要介绍 Thumb 指令集。

ARM 和 Thumb 这两种指令集只是基于 ARM 的嵌入式编程的基础。

第 5 章主要介绍如何运用前面学过的汇编指令并结合 C 语言来进行嵌入式程序设计。首先介绍伪操作、宏指令和伪指令等嵌入式汇编语言程序设计基础知识;然后讲述 ARM 汇编

语言程序设计,以实际例程中用到的 C 语言讲述嵌入式 C 语言程序设计基础,并在此基础上列举一个嵌入式 C 程序设计实例;对于嵌入式编程技巧和 C 语言与汇编混合编程也进行了简述;最后通过一个基于 Embest IDE for ARM 开发环境的嵌入式软件开发与调试实例讲述了嵌入式软件开发流程和开发工具的使用。本章密切结合嵌入式系统开发的实际例程,通过学习能使读者掌握嵌入式程序设计的基本知识、基本方法和基本流程。

第 4 部分:为书的第 6 章。主要介绍基于 S3C44B0X 的嵌入式系统开发。Samsung 公司的 S3C44B0X 片上功能很强大,是国内应用广泛的基于 ARM7TDMI 内核的 SoC。本部分以 S3C44B0X 为例,对嵌入式系统开发进行全面介绍,涉及片上基本功能模块及这些模块的应用开发;在此基础上还介绍基于 S3C44B0X 的 S3CEV40 开发板设计,并对基于 S3CEV40 的启动程序和基于 S3CEV40 的 USB 接口的嵌入式开发进行讲述,其他如网络等功能的完整的应用开发可详见《嵌入式系统开发与应用实验教程》^[2]一书。通过对这些嵌入式外围主要模块应用功能(部分内容可参见《嵌入式系统开发与应用实验教程》)开发的讲述,可使读者对嵌入式系统开发有一个全面了解。

第 5 部分:为书的第 7、8 章,主要对于嵌入式操作系统 $\mu\text{C}/\text{OS}-\text{II}$ 和 μCLinux 的基本知识进行讲述,在此基础上分别对基于 S3C44B0X 的移植及应用开发进行介绍。

本书包含大量软件和硬件设计资源,为系统学习与掌握基于 ARM 的嵌入式开发技术提供了一种选择方案。通过该书的学习,不仅可使读者系统地掌握嵌入式系统开发的基本知识,而且对复杂、实用的外围接口模块的开发、嵌入式操作系统的移植也能有一个全面了解。本书提供的实际嵌入式系统开发例程也可应用到实际开发过程中。

本书读者对象

本书力求将嵌入式系统开发与应用技术全面介绍给读者,内容全面、详细和系统,非常适于学习嵌入式系统开发的工程技术人员阅读。因其内容较多,不太适宜作为高等院校嵌入式系统课程的短学时教材,但高校研究生或本科生的多学时嵌入式系统课程可选用此书作为教材。此书亦可作为嵌入式系统开发工程技术人员的培训资料。对于选用《嵌入式系统开发与应用系列教程》作为教材的高校师生,亦可将此书作为配套参考资料。

为了便于教学和培训,本书还配套了多媒体教学课件。

本书与《嵌入式系统开发与应用系列教程》的配套使用

作者编写的另外 3 本一套的《嵌入式系统开发与应用系列教程》是专门针对高校嵌入式系统教学特点而编写的教材,包括:

- ◆《嵌入式系统开发与应用教程》 (理论课教材,即将出版)
——配套多媒体教学课件
- ◆《嵌入式系统开发与应用实验教程》 (实验课教材)
——配套 Embest ARM 实验教学系统
——配套多媒体教学课件
- ◆《嵌入式系统开发与应用学习指导》 (即将出版)

本套教程中的理论教材——《嵌入式系统开发与应用教程》,是针对高校嵌入式系统教学的特点,在本书基础上将内容重新整合而成的,更适合于短学时的教学和培训。

本书可结合《嵌入式系统开发与应用系列教程》中的实验教材——《嵌入式系统开发与应用实验教程》来学习,这样可使读者用最短时间掌握 32 位嵌入式系统应用开发的基础理论和实

践知识,培养高端嵌入式产品的研发和设计能力,达到社会对高素质、开拓型嵌入式人才的要求。

作者根据实际教学情况和相关技术的发展,对《嵌入式系统开发与应用实验教程》进行了修订,其第2版即将出版。

教学课件及获取方式

为了便于教学和实验,作者针对本书以及《嵌入式系统开发与应用系列教程》的理论课和实验课教材3本书,为教师提供相配套的多媒体教学课件。有需要的教师,请与北京航空航天大学出版社联系。

联系方式如下:

通讯地址:北京市海淀区学院路37号 北京航空航天大学出版社市场及客户服务部

邮编:100083 Email: bhpress@263.net

Tel: 010-82317031 Fax: 010-82317031

致 谢

在《嵌入式系统开发与应用系列教程》及本书的编写过程中,得到了北京航空航天大学出版社的大力支持,并得到了ARM中国总裁谭军博士、北京理工大学马忠梅教授的关心和指导,北京大学信息科学技术学院盛世敏教授、于敦山博士和蒋安平博士也给予了大力的支持和帮助。感谢我的博士导师中国科学院微电子研究所的仇玉林研究员、北大盛世敏教授,感谢我的硕士导师西安交通大学邱祖廉教授,感谢他们对我一如既往的关心、理解和帮助。他们将我带入科学研究的殿堂,并给予我各种帮助,是我无穷的精神源泉,在此表示深深感谢!

我的硕士研究生万永波、闫效莺、车晓萍、杨峰、陈群英、李攀、王进军、刘涛和余兆安以及本科生谢辉、杨冬峰、张精通、徐德正、宋文博、侯利军、杨艳锋、杨景松、宫志坚、郑晓亮和朱书恬等同学亦参与了这一系列图书编写的部分工作,在此表示感谢!

深圳市英蓓特信息技术有限公司的徐光峰、张国瑞、黄日新、唐晖等工程师也提供了详细的Embest ARM实验教学系统的技术资料和各种帮助,并提出了大量意见和建议,在此表示感谢!

感谢我的爱人王永红给予我的理解和支持,是她在家庭中默默地劳作和操持,使我可以安心于工作。正是由于她给予我最及时、最需要的关心和照顾,使我在单调的工作之余,生活总是绚丽、多彩。感谢我的儿子田祎琨,我很少在生活和学习上给予他照顾,希望他幼小的心灵能够理解我!

感谢北京航空航天大学出版社的编辑们,正是由于他们高效、努力的工作,才使得本书能够及时与大家见面!

感谢所有帮助过我的人们,有了他们的理解、帮助和支持,我才能完成写作。

由于时间仓促及众多客观条件的制约,书中存在的错误和不足之处,敬请读者谅解,并真诚地欢迎读者提出宝贵意见和建议。希望教育界、科研界、产业界携手并进,抓住嵌入式技术为我国IT发展提供的难得机遇,促进我国嵌入式技术快速、稳定、健康地发展。

田 泽

2004年10月

目 录

第 1 章 嵌入式系统开发基础

1.1 嵌入式系统的基本概念	1
1.1.1 嵌入式计算机	1
1.1.2 嵌入式系统的概念	5
1.1.3 嵌入式系统的特点	6
1.1.4 嵌入式系统的分类	9
1.1.5 嵌入式系统的应用范围	9
1.1.6 嵌入式技术是中国 IT 发展的难得机遇	9
1.2 嵌入式系统的组成结构	10
1.2.1 嵌入式系统硬件基本结构介绍	11
1.2.2 嵌入式系统软件的层次结构	12
1.2.3 启动程序 BootLoader 介绍	14
1.3 嵌入式系统的硬件组成	15
1.3.1 嵌入式处理器	15
1.3.2 典型嵌入式处理器介绍	16
1.3.3 嵌入式 SoC	21
1.3.4 可编程片上系统 SOPC	22
1.3.5 嵌入式外围接口电路和设备接口	24
1.4 嵌入式操作系统	25
1.4.1 嵌入式操作系统	26
1.4.2 嵌入式实时操作系统	26
1.4.3 典型嵌入式操作系统介绍	28
1.5 嵌入式应用软件开发	31
1.5.1 嵌入式软件开发的特点和技术挑战	31
1.5.2 嵌入式软件开发环境	32
1.5.3 嵌入式应用软件开发的基本流程	35
1.5.4 嵌入式软件开发的可移植性和可重用性	39
1.6 嵌入式系统的开发流程	40
1.6.1 嵌入式开发考虑的要素	41
1.6.2 软硬件协同设计	41

1.6.3 嵌入式系统开发的基本流程	42
1.7 嵌入式系统的发展趋势	44
1.7.1 即将来临的以 ARM 为核心的 32 位浪潮	44
1.7.2 嵌入式系统与 Internet 的融合	46
1.7.3 嵌入式系统的发展趋势	47
习 题	48

第 2 章 ARM 技术概述

2.1 ARM 体系结构的发展历史和技术特征	50
2.1.1 ARM 技术的发展历程	51
2.1.2 RISC 体系结构	56
2.1.3 ARM 体系结构的技术特征	61
2.2 ARM 体系结构不同版本的发展概述	62
2.2.1 ARM 体系结构的基本版本	62
2.2.2 ARM 体系结构的演变	65
2.2.3 ARM 体系结构的命名规则	67
2.3 Thumb 技术介绍	67
2.3.1 Thumb 的技术概述	68
2.3.2 Thumb 的技术实现	68
2.3.3 Thumb 的技术特点	70
2.4 ARM 处理器工作状态	70
2.5 ARM 处理器工作模式	71
2.6 ARM 寄存器组成	72
2.6.1 ARM 寄存器组成概述	72
2.6.2 ARM 状态下的寄存器组织	73
2.6.3 Thumb 状态下的寄存器组织	78
2.7 ARM 的异常中断	79
2.7.1 ARM 的异常中断响应过程	80
2.7.2 从异常中断处理程序中返回	81
2.7.3 异常中断向量表	83
2.7.4 异常中断的优先级	83
2.8 ARM 组织结构简介	84
2.8.1 3 级流水线 ARM 的组织	84
2.8.2 5 级流水线 ARM 的组织	87

2.9 ARM 存储器接口及存储器层次	89
2.9.1 ARM 存储数据类型和存储格式	89
2.9.2 ARM 的存储器层次简介	90
2.9.3 ARM 存储系统简介	91
2.10 ARM 协处理器	94
2.11 ARM 片上总线 AMBA	95
2.11.1 总线标准概述	96
2.11.2 AHB 简介	96
2.11.3 ASB 简介	98
2.11.4 APB 简介	98
2.12 基于 JTAG 的 ARM 系统调试	99
2.12.1 JTAG 边界扫描测试接口简介	100
2.12.2 ARM 的调试结构	103
2.12.3 ARM 的嵌入式跟踪	106
2.13 ARM 核综述	107
2.13.1 ARM7 系列核介绍	107
2.13.2 ARM9 系列核介绍	115
2.13.3 ARM10 系列核	120
2.13.4 StrongARM 和 XScale 系列核	123
2.13.5 SecurCore 系列核	128
2.14 基于 ARM 核的芯片选择	129
2.14.1 应用角度的 ARM 芯片选择原则	129
2.14.2 多内核 ARM 角度芯片选择原则	131
2.14.3 国内常用 ARM 芯片及供应商简介	132
习 题	133

第 3 章 ARM 指令集

3.1 ARM 指令集概述	134
3.1.1 ARM 指令集编码	134
3.1.2 条件执行	135
3.1.3 指令分类及指令格式	136
3.2 ARM 寻址方式	137
3.2.1 立即寻址	137
3.2.2 寄存器寻址	139

3.2.3	寄存器间接寻址	140
3.2.4	基址加偏址寻址	141
3.2.5	堆栈寻址	143
3.2.6	块拷贝寻址	144
3.2.7	相对寻址	146
3.3	ARM 指令详细介绍	146
3.3.1	数据处理指令	146
3.3.2	Load/Store 指令	154
3.3.3	状态寄存器与通用寄存器之间的传送指令	163
3.3.4	转移指令	166
3.3.5	异常中断产生指令	170
3.3.6	协处理器指令	173
3.3.7	未使用的指令空间	177
习 题		179
第 4 章	Thumb 指令集	
4.1	Thumb 指令集概述	182
4.1.1	Thumb 指令集编码	183
4.1.2	Thumb 状态切换	183
4.1.3	编程模型	184
4.1.4	Thumb 指令集特点	185
4.2	Thumb 指令详细介绍	186
4.2.1	Thumb 数据处理指令	186
4.2.2	Thumb 转移指令	194
4.2.3	数据存取指令	198
4.2.4	异常中断指令	204
习 题		206
第 5 章	基于 ARM 的嵌入式程序设计	
5.1	ARM 汇编语言的伪操作、宏指令与伪指令	208
5.1.1	2 种编译模式的集成开发环境 IDE 介绍	209
5.1.2	ADS 编译环境下的 ARM 伪操作和宏指令	209
5.1.3	GNU 编译环境下的 ARM 伪操作与宏指令	236
5.1.4	ARM 汇编语言的伪指令	246

5.2 ARM 汇编语言程序设计	250
5.2.1 ARM 汇编中的文件格式	250
5.2.2 ARM 汇编语言语句格式	250
5.2.3 ARM 汇编语言编程的重点	260
5.2.4 ARM 汇编程序实例	267
5.3 嵌入式 C 语言程序设计基础	273
5.3.1 C 语言的“预处理伪指令”在嵌入式程序设计中的应用	273
5.3.2 嵌入式程序设计中的函数及函数库	292
5.3.3 嵌入式程序设计中常用的 C 语言语句	307
5.3.4 嵌入式程序设计中 C 语言的变量、数组、结构和联合	312
5.4 嵌入式 C 语言程序设计实例	318
5.4.1 实例实现功能介绍	318
5.4.2 实例实现程序源代码介绍	321
5.5 嵌入式 C 语言程序设计技巧	335
5.5.1 变量定义	335
5.5.2 参数传递	337
5.5.3 循环条件	337
5.6 C 语言与汇编语言混合编程	338
5.6.1 APCS 介绍	339
5.6.2 内嵌汇编	342
5.6.3 C 语言和 ARM 汇编语言程序间相互调用	349
5.7 基于 Embest IDE for ARM 环境的软件开发实例	351
5.7.1 开发实例介绍	352
5.7.2 源文件解释	352
5.7.3 建立工程	359
5.7.4 工程配置	360
5.7.5 在 RAM 中调试软件	367
5.7.6 软件的固化	369
5.7.7 程序在 Flash 中调试	369
习 题	370

第 6 章 基于 S3C44B0X 的嵌入式系统应用开发实例

6.1 S3C44B0X 处理器介绍	374
6.1.1 Samsung S3C44B0X 简介	374

6.1.2	Samsung S3C44B0X 特点	374
6.1.3	S3C44B0X 功能结构框图	378
6.1.4	S3C44B0X 引脚信号描述	378
6.2	S3C44B0X 存储控制器功能及应用开发	383
6.2.1	S3C44B0X 存储控制器概述	384
6.2.2	S3C44B0X 存储器空间划分简述	384
6.2.3	S3C44B0X 存储控制器功能描述	385
6.2.4	S3C44B0X 存储控制器的特殊功能寄存器	386
6.2.5	S3C44B0X 存储器应用编程	390
6.3	S3C44B0X I/O 端口功能及应用开发	392
6.3.1	S3C44B0X I/O 功能概述	392
6.3.2	S3C44B0X 端口功能配置	393
6.3.3	S3C44B0X 端口功能控制描述	394
6.3.4	S3C44B0X I/O 端口的特殊功能寄存器	396
6.3.5	S3C44B0X I/O 端口应用编程	401
6.4	S3C44B0X DMA 功能及应用开发	404
6.4.1	S3C44B0X DMA 概述	404
6.4.2	S3C44B0X ZDMA/BDMA 操作	404
6.4.3	S3C44B0X DMA 特殊功能寄存器	409
6.4.4	S3C44B0X DMA 应用编程	415
6.5	S3C44B0X UART 接口功能及应用开发	417
6.5.1	S3C44B0X UART 概述	417
6.5.2	S3C44B0X UART 的操作	419
6.5.3	S3C44B0X UART 的特殊功能寄存器	422
6.5.4	S3C44B0X UART 应用编程	427
6.6	S3C44B0X 中断控制器功能及应用开发	431
6.6.1	S3C44B0X 中断概述	431
6.6.2	S3C44B0X 中断控制器的操作	432
6.6.3	S3C44B0X 中断源	432
6.6.4	S3C44B0X 矢量中断模式	435
6.6.5	S3C44B0X 矢量中断模式的程序举例	435
6.6.6	S3C44B0X 中断控制器的特殊功能寄存器	438
6.6.7	S3C44B0X 中断控制器应用编程	443
6.7	S3C44B0X 时钟电源管理器功能及应用开发	445

6.7.1	S3C44B0X 时钟电源管理器概述	445
6.7.2	S3C44B0X 时钟电源管理器功能描述	446
6.7.3	S3C44B0X 时钟发生器与电源管理特殊功能寄存器	451
6.7.4	S3C44B0X 时钟与电源管理器应用编程	453
6.8	S3C44B0X PWM 定时器功能及应用开发	455
6.8.1	S3C44B0X PWM 定时器概述	455
6.8.2	S3C44B0X PWM 定时器工作原理	457
6.8.3	S3C44B0X PWM 定时器操作	457
6.8.4	S3C44B0X PWM 定时器的特殊功能寄存器	459
6.8.5	S3C44B0X PWM 定时器应用编程	464
6.9	S3C44B0X LCD 控制器功能及应用开发	466
6.9.1	S3C44B0X LCD 控制器概述	466
6.9.2	S3C44B0X LCD 控制器的特性	466
6.9.3	S3C44B0X LCD 外部接口信号	467
6.9.4	S3C44B0X LCD 控制器框图	467
6.9.5	S3C44B0X LCD 控制操作	468
6.9.6	S3C44B0X LCD 视频操作	469
6.9.7	S3C44B0X LCD 控制器的特殊功能寄存器	472
6.9.8	S3C44B0X LCD 控制器应用编程	477
6.10	S3C44B0X A/D 转换器功能及应用开发	479
6.10.1	S3C44B0X 的 A/D 转换器概述	480
6.10.2	S3C44B0X A/D 转换器特点	480
6.10.3	S3C44B0X 的 A/D 转换操作	480
6.10.4	S3C44B0X A/D 转换的特殊功能寄存器	482
6.10.5	S3C44B0X A/D 转换器应用编程	484
6.11	S3C44B0X RTC 功能及应用开发	484
6.11.1	S3C44B0X RTC 概述	485
6.11.2	S3C44B0X RTC 特性	485
6.11.3	S3C44B0X RTC 操作	485
6.11.4	S3C44B0X RTC 特殊功能寄存器	487
6.11.5	S3C44B0X RTC 应用编程	493
6.12	S3C44B0X 看门狗定时器功能及应用开发	495
6.12.1	S3C44B0X 看门狗定时器概述	496
6.12.2	S3C44B0X 看门狗定时器特殊功能寄存器	496

6.12.3	S3C44B0X 看门狗定时器应用编程	498
6.13	S3C44B0X I²C 总线接口功能及应用开发	499
6.13.1	S3C44B0X I ² C 总线概述	499
6.13.2	S3C44B0X I ² C 总线接口操作	499
6.13.3	S3C44B0X I ² C 接口特殊功能寄存器	503
6.13.4	S3C44B0X I ² C 总线应用编程	506
6.14	S3C44B0X IIS 总线接口功能及应用开发	507
6.14.1	S3C44B0X IIS 概述	507
6.14.2	S3C44B0X IIS 特性	508
6.14.3	S3C44B0X IIS 功能描述	508
6.14.4	S3C44B0X IIS 接口工作模式	509
6.14.5	S3C44B0X 音频串行接口格式	509
6.14.6	S3C44B0X IIS 接口特殊功能寄存器	511
6.14.7	S3C44B0X IIS 应用编程	514
6.15	S3C44B0X SIO 功能及应用开发	517
6.15.1	S3C44B0X SIO 概述	517
6.15.2	S3C44B0X SIO 特点	517
6.15.3	S3C44B0X SIO 正常操作模式	517
6.15.4	S3C44B0X SIO DMA 操作	518
6.15.5	S3C44B0X SIO 接口特殊功能寄存器	519
6.16	基于 S3C44B0X 的 S3CEV40 开发介绍	521
6.16.1	S3CEV40 基本功能介绍	521
6.16.2	S3CEV40X 外围接口硬件资源简介	522
6.17	S3C44B0X 启动程序设计	526
6.18	USB 接口功能开发实例	533
6.18.1	USB 简介	533
6.18.2	USB 接口电路设计	535
6.18.3	USB 接口控制程序设计	536
习 题	543

第 7 章 μ C/OS - II 及应用开发

7.1	实时操作系统	544
7.2	μC/OS - II 操作系统	545
7.2.1	μ C/OS - II 简介	545