

/// 高等院校嵌入式系统通用教材 · ARM 嵌入式技术系列教程

# ARM 嵌入式技术 实践教程

陈 赧 主 编  
刘振兴 李宗福 刘林辉 等编著



北京航空航天大学出版社

3

高等院校嵌入式系统通用教材·ARM 嵌入式技术系列教程

# ARM 嵌入式技术 实践教程

陈 赟 主编  
刘振兴 李宗福 刘林辉 等编著

北京航空航天大学出版社

## 内 容 简 介

首先介绍 ARM 微处理器的体系结构、应用领域和应用选型;然后介绍 JX44B0 ARM 嵌入式教学实验系统的基本组成、硬件资源的详细说明,以及集成开发环境 ADT IDE 的软件编程方法;随后按照从易到难、从简单到复杂的顺序安排实验,包括:嵌入式软件开发基础实验、基本接口实验、BootLoader 及操作系统实验和高级接口实验。

书中包含硬件电路原理图,许多基本的硬件接口原理、电路图,以及大量的接口程序。介绍的嵌入式操作系统(包括  $\mu\text{C}/\text{OS}-\text{II}$ 、 $\mu\text{CLinux}$ )部分知识,并不拘泥于本实验平台,在其他嵌入式开发系统中同样适用。

本书可作为高等院校电子信息类、计算机类、自动控制类和光电信息类专业高年级本科生和研究生嵌入式系统实验课程的教材,也可作为从事嵌入式系统应用开发的工程技术人员的参考资料。

本书配套开放式多媒体实验教学课件。

## 图书在版编目(CIP)数据

ARM 嵌入式技术实践教程/陈曠等编著. —北京:北京航空航天大学出版社,2005.2

ISBN 7-81077-602-9

I. A… II. 陈… III. 微处理器, ARM—系统设计—教材 IV. TP332

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005)第 007297 号

## ARM 嵌入式技术实践教程

陈 曠 主编

刘振兴 李宗福 刘林辉 等编著

责任编辑 王慕冰

\*

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: bhpresse@263.net

北京市松源印刷有限公司印装 各地书店经销

\*

开本:787×960 1/16 印张:22.25 字数:498 千字

2005 年 2 月第 1 版 2005 年 2 月第 1 次印刷 印数:5 000 册

ISBN 7-81077-602-9 定价:29.00 元

# 序

## ARM 与嵌入式技术

“ARM”这个名字被越来越多的人所熟悉,因为它不仅代表了一个公司,代表了一类微处理器,代表了一种技术,还代表了一种新型的产业发展模式,即 Chipless 模式。Chipless 模式就是作为知识产权(Intellectual Property,简称 IP)供应商,本身不直接从事芯片生产,也不销售芯片,靠转让设计许可,由合作伙伴公司来生产各具特色的芯片。在全世界,ARM 公司的合作伙伴已超过 100 个,其中包括 Intel、Samsung、Motorola 以及美国国家半导体等著名 IT 公司。在中国,我们不仅学习和应用 ARM 技术,而且 ARM Chipless 模式的成功之道也能给中国的产业界带来深刻的思考。

现在,嵌入式技术无处不在,ARM 几乎成为嵌入式技术的代名词。ARM 公司成立于 1990 年 11 月,全称是 Advanced RISC Machines Ltd,它是由英国 Acorn 公司提供技术和 12 名工程师、美国苹果电脑公司和 VLSI Technology 公司出资合作组建的美英混血公司。ARM 公司的第一个客户就是苹果电脑公司,为其新开发的 Newton 掌上电脑提供高速、低功耗的 RISC(精简指令集算法)处理器。由于 ARM 公司只有技术,缺乏资金来购买昂贵的芯片制造、封装和测试设备,因此 ARM 公司授权伙伴公司 VLSI Technology 公司来生产,并提供必要的技术支持。这种合作方式的初步成功也为今后 ARM 的发展模式奠定了基础,即 Chipless 模式。在工业和服务领域中,大量的嵌入式技术已经应用于工业控制、数控机床、智能工具、工业机器人、服务机器人等各个行业,正在逐渐改变传统的工业生产和服务方式。

在市场需求方面,中国正在成为世界制造大国,社会迫切需求嵌入式技术。

在社会需要方面,社会需要嵌入式技术软硬件设计人才、应用开发人才及综合性人才,嵌入式技术的培训在迅速增加。

在企业方面,技术发展趋势要求是从 8 位、16 位到对嵌入式实时操作系统提供很好支持的 32 位嵌入式微处理器。新的技术产生新的需求,嵌入式技术发展又在不断刺激新的技术产生,如信息家电、医疗电子病历、微小型智能武器等。

在中国信息家电市场方面,信息家电将成为嵌入式系统最大的应用领域,只有按钮、开关的电器显然已经不能满足人们的日常需求,具有用户界面、能远程控制、智能管理的电器是未来的发展趋势,如冰箱、空调等的网络化、智能化等。中国的传统家电厂商向信息家电过渡时,首先面临的挑战是核心操作系统软件和硬件平台的开发工作。

在交通管理、环境监测方面,目前 GPS 设备已从尖端产品进入了普通百姓的家庭,水文资

料实时监测、防洪体系及水土质量监测、堤坝安全、地震监测网、实时气象信息网、水源和空气污染监测等,也都离不开嵌入式技术。

## ARM 嵌入式教学现状

目前国内高校嵌入式技术的教学现状是:嵌入式技术概念模糊,内容庞杂,从中如何确定主流芯片和主流操作系统以及教学内容,对于初次接触嵌入式技术教学的老师有一定困难。嵌入式系统教学目前往往作为选修课,课时较短(20~40 学时之间),能否达到学习嵌入式技术知识、掌握嵌入式系统基本开发方法和应用的目的,还有待于实践的检验。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,还没有形成统一的教学体系和规范,没有教学大纲和实验课件。目前国内的嵌入式技术教学师资奇缺,培训高校老师是第一需要。教学迫在眉睫,人才供需矛盾突出,教学势在必行。下面是作者关于嵌入式技术教学的一些看法和体会。

### 嵌入式教学的特点

**基础性:**可作为计算机、电子与信息、自动控制、通信等专业的基础平台课,可以进一步强化学生的计算机基础知识,使学生了解当前计算机技术的发展前沿和动态以及促进嵌入式技术在以上相关学科中的应用。

**综合性:**嵌入式系统是软件、硬件设计的完美结合,可以结合不同的专业知识(如有关电子、计算机、自动控制等方面的诸多专业知识),利用嵌入式技术解决相关学科的问题,有效地训练学生的综合能力。

**实践性:**嵌入式技术是一门实践性很强的技术,实验是嵌入式系统教学的重要环节。如果没有必要的实验环节,教学过程简单枯燥,学生没有兴趣,就起不到开设该课程的目的。培养学生从问题需求开始,学习如何设计自己的系统,如何调试系统,掌握嵌入式系统的设计方法,达到能初步应用嵌入式技术设计一些小型系统的目的。

### 体系方面课程内容

根据不同的学科专业,有针对性地选择合适的课程内容与授课体系,围绕基本概念、设计方法、体系结构进行共性知识教学,围绕一个特定系统平台进行不同专业知识教学,从中提炼出共性的设计方法。

**理论教学的目标:**教给学生以下嵌入式系统设计的基本内容:

- ① 嵌入式系统的基本知识;
- ② ARM 技术和微处理器;
- ③ 指令系统硬件电路设计;
- ④ 开发工具的使用;
- ⑤ 软件设计与调试;

⑥ 嵌入式实时操作系统: Linux、 $\mu$ CLinux、 $\mu$ C/OS-II;

⑦ 应用开发,等等。

通过开发和调试嵌入式系统硬件和软件,将这些概念付诸于应用。

**实验内容:** 从社会需求出发,选择和提炼实验目的、手段、内容、设计与实验,培养学生的学习兴趣。

**实验教学的目标:** 在实践中强化知识,锻炼综合能力,达到应用所学知识的目的。

## ARM 嵌入式技术系列教程

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提供了机遇,也提出了挑战。高等院校作为对新技术研究、探索以及应用研究最活跃的群体,如何接受嵌入式技术带来的挑战,如何组织嵌入式技术的教学,如何研究嵌入式技术,以及如何使用嵌入式技术,将成为一个重要的研究课题。为了给在嵌入式技术的研究和应用以及教学方面与高等院校的老师及嵌入式系统的科研工作者提供交流,推动我国嵌入式技术的教学和应用研究,我们根据近几年的科研和教学成果,编写了一套教材,由理论教材和 2 本实验教材组成,将逐步出版。实验教材配套的教学实验平台是基于 Samsung 公司的 ARM 微控制器而设计。

本套教程包括:

《ARM 嵌入式技术原理与应用》

— 配套开放式多媒体教学课件

《ARM 嵌入式技术实践教程》

— 配套开放式多媒体实验教学课件

— 配套 JX44B0 ARM 嵌入式教学实验系统

《ARM9 嵌入式技术及嵌入式 Linux 高级实践教程》

— 配套开放式多媒体实验教学课件

— 配套 JXARM9-2410 ARM 嵌入式教学实验系统

**《ARM 嵌入式技术原理与应用》:** 作为高等学校本、专科学生的理论课教材,配套的实验教材是《ARM 嵌入式技术实践教程》和《ARM9 嵌入式技术及嵌入式 Linux 高级实践教程》。《ARM 嵌入式技术原理与应用》以 Samsung 公司的 S3C44B0X 微处理器和 S3C2410X 微处理器为主,首先介绍 ARM 技术的基本知识和 ARM 微处理器结构、编程模型和指令系统;然后介绍硬件电路设计和开发工具的使用以及软件设计与调试;最后结合应用实例,介绍嵌入式实时操作系统  $\mu$ C/OS-II、 $\mu$ CLinux 及 Linux 等。

**《ARM 嵌入式技术实践教程》:** 本教材是 JX44B0 ARM 嵌入式教学实验系统的配套实验教程。该实验系统采用 Samsung 公司的 S3C44B0X 微处理器,是目前国内 ARM7 系列应用领域的主流芯片。由于该系统采用 ARM7 核微处理器,在设计和编程上相对比较简单,比较适合于本科生实验教学或者非计算机专业研究生教学。该系列教学系统包括 JX44B0-1A、

JX44B0-1B、JX44B0-1、JX44B0-2 和 JX44B0-3 等不同型号的实验系统,配置由低档到高档,实验内容涵盖计算机、通信和控制等多学科多领域。该实验系统不仅配套《ARM 嵌入式技术实践教程》,而且提供经过多所高校实践教学的教学 PowerPoint 实验教案,同时基于  $\mu\text{C}/\text{OS-II}$  和  $\mu\text{CLinux}$  设计了多个实验例程,以供毕业设计或课程设计选用。

《ARM9 嵌入式技术及嵌入式 Linux 高级实践教程》:Linux 将成为嵌入式领域的重要阵地,而 ARM 作为业界领先的芯片内核,已经成为嵌入式领域中使用最多的芯片内核。如果 ARM 技术与 Linux 相结合,嵌入式开发团队则可大大降低成本,并且可获得 Linux 网上丰富的资源;而具备嵌入式 Linux 技能的专业人才,将成为市场青睐的明星。因此,我们为高年级学生和研究生编写了《ARM9 嵌入式技术及嵌入式 Linux 高级实践教程》。该教程以 Samsung 公司的 S3C2410X 微处理器为主。该处理器是目前国内 ARM9 系列应用领域的主流芯片。为了更好地使用该教材,我们采用 Samsung 公司的 S3C2410X 微处理器开发了 JXARM9-2410 ARM 嵌入式教学实验系统。该系统采用 ARM9 核微处理器,其工作频率和性能都比 ARM7 核微处理器要高许多。因此,在硬件设计和软件编程方面比 ARM7 教学实验系统要复杂得多,可以安排作为计算机类本科生实验教学或者研究生教学使用。该系列教学系统包括 JXARM9-2410-1、JXARM9-2410-2 和 JXARM9-2410-3 等不同型号的实验系统,配置由低档到高档,实验内容涵盖计算机、通信和控制等多学科多领域。同时提供经过多所高校实践教学的 PowerPoint 实验教学课件,以及基于  $\mu\text{C}/\text{OS-II}$  和 Linux 设计的多个实验例程,以供毕业设计或课程设计选用。

ARM 嵌入式技术适应的学科非常广,如软件工程、工业自动化控制、机械电子工程、精密仪器、电力电工电子和电子工程等学科。嵌入式系统教学适用作为一般高等院校相关专业的大学三、四年级学生的公共基础课程,以及研究生、博士生的专题选修课程。因此,我们编写该套教材主要以教学用书为主构建一套教学体系,由浅入深、循序渐进地开展教学;特别是实践教学环节,我们做了大量艰苦的工作,已整理成册,在全国高校教师 ARM 嵌入式技术的培训班上多次使用,反映很好。

为满足全国高校更多教师及嵌入式技术研究和应用的同行们的需要,我们首先出版实验教材《ARM 嵌入式技术实践教程》。为了更好地使用该实践教程,华中科技大学和武汉创维特信息技术有限公司根据多年来在嵌入式技术方面的积累,研制了 ARM 嵌入式实验教学平台,以帮助教师和学生以及 ARM 嵌入式技术的初学者尽快入门,达到熟练应用和开发小型应用系统的目的。

作 者

2004 年 11 月 18 日

# 前 言

《ARM 嵌入式技术实践教程》是 ARM 嵌入式技术系列教程之一。该实践教材采用华中科技大学和武汉创维特信息技术有限公司联合研制的 JX44B0 ARM 嵌入式教学实验系统作为教学实践平台。

## 本书内容介绍

全书共分为 7 章,开篇以 3 章的篇幅介绍 ARM 微处理器、ARM 芯片和 JX44B0 ARM 嵌入式教学实验系统的基础知识。从第 4 章开始,按照从易到难、从简单到复杂的原则安排实验环节。每个实验详细列举实验目的、实验内容、预备知识、实验设备、基础知识、实验步骤和实验报告要求。

**第 1 章**——以较小篇幅介绍 ARM 微处理器的体系结构、应用领域和应用选型等知识。

**第 2 章**——详细介绍该书选用的 ARM 芯片——Samsung 公司生产的 S3C44B0X (ARM7TDMI 核)的结构和特点等。

**第 3 章**——主要介绍 JX44B0 ARM 嵌入式教学实验系统的基本组成、硬件资源的详细说明以及软件安装过程,在章尾以实例的方式介绍 JX44B0 ARM 嵌入式教学实验系统的集成开发环境 ADT IDE 的软件编程方法。

**第 4 章**——为嵌入式软件开发基础实验,主要安排 3 个实验:ARM 开发环境实验、ARM 汇编语言编程实验以及 C 语言与汇编语言编程实验。

学习本章的目的是让学生熟悉 ARM 软件开发环境以及在该环境下进行软件开发的基本流程,同时掌握基本的 ARM 程序设计方法,包括汇编语言和 C 语言编程方法。该章为整个实践环节的基础部分,建议在教学实践中优先安排。

**第 5 章**——为基本接口实验,包括:数码管显示实验、串口通信实验、中断实验、DMA 实验、PWM 实验、实时时钟实验、看门狗实验、A/D 实验、步进电机实验、键盘输入与 I/O 实验、LCD 显示实验、触摸屏控制实验、数字音频接口实验、I<sup>2</sup>C 实验、TFTP 以太网通信实验和 USB 通信实验等。实验内容不仅包括基本的 ARM 基础知识实验(如中断实验),也包括串口、以太网和 USB 等多种通信实验,同时也提供数码管显示、LCD 显示、触摸屏等多种人-机接口实验。

学习本章的目的是让学生掌握 ARM 微处理器的基本接口电路及其软件编程方法。由于本章实验内容较多,在安排实验时可根据课程、课时以及学生的知识水平,选择适当的实验作为必修实验,其余实验可作为学有余力的学生提高之用。

**第 6 章**——为 BootLoader 及操作系统实验,包括: BootLoader 编写实验、 $\mu$ C/OS-II 移

植实验、 $\mu\text{C}/\text{OS} - \text{II}$  任务间通信和同步实验、 $\mu\text{CLinux}$  内核移植实验、 $\mu\text{CLinux}$  应用程序编写实验、 $\mu\text{CLinux}$  多线程应用程序设计实验、MiniGUI 图形系统移植实验、MiniGUI 图形应用程序编写实验。本章提供目前嵌入式领域流行的两种操作系统： $\mu\text{C}/\text{OS} - \text{II}$  和  $\mu\text{CLinux}$  的实践环节。实验安排从操作系统的移植到应用程序的设计和编程，循序渐进地让学生了解嵌入式操作系统开发的全过程。

**第 7 章**——为高级接口实验，安排一些充分体现 32 位嵌入式系统应用发展方向的高级接口实验，包括 GPRS 实验、GPS 实验等。实验内容包括：并行打印机接口通信实验、CF 卡实验、IDE 硬盘接口驱动实验、GPRS 基础实验、GPRS 电话功能(主叫)实验、GPRS 电话功能(被叫)实验、GPRS 短消息发送实验、GPRS 短消息接收实验、GPS 实验等。

本章内容要求有前面章节的基础。通过这些实验，不仅可让学生了解到当前嵌入式技术的高端应用领域，同时也可让他们对 32 位系统的应用特点有一些感性的认识。本章实验要求相对比较复杂，因此，可以安排作为研究生学习使用，或者作为课程设计甚至毕业设计课题。

**附录**——提供书中涉及的一些关键内容以及 Linux 操作系统下部分软件使用方法。

书中包含许多硬件电路原理图以及基本的硬件接口原理、电路图和大量的接口程序，可供开发过程中参考。同时，书中介绍的嵌入式操作系统的部分知识，包括  $\mu\text{C}/\text{OS} - \text{II}$ 、 $\mu\text{CLinux}$  操作系统等知识并不拘泥于本实验平台，在其他嵌入式系统开发中也同样适用，读者在学习和开发过程中可以参考。

## 网络辅助内容

本实验教材还配套如下网络辅助内容：

- ① JX44B0 教学实验系统用户手册及操作视频。
- ② JX44B0 教学实验系统实验例程，供老师使用。
- ③ JX44B0 教学实验系统实验模板，供学生使用。
- ④ JX44B0 教学实验系统工具软件包：超级终端工具、USB 回环测试工具、视频播放插件、视频播放器以及 USB 驱动程序。
- ⑤ 2004' 全国高校嵌入式教学师资高级培训班讲义。
- ⑥ JX44B0 教学实验系统实验教案及实验操作视频。
- ⑦ ADT IDE 集成开发环境安装包。

需要上述内容的读者，可到如下网址免费下载：

武汉创维特信息技术有限公司网址：<http://www.cvtech.com.cn/cvtech/book.html>

北京航空航天大学出版社网址：<http://www.buaapress.com.cn>

## JX44B0X ARM 嵌入式教学实验系统

读者若需要购买配套的 JX44B0X ARM 嵌入式教学实验系统,请与武汉创维特信息技术有限公司联系:

**武汉创维特信息技术有限公司**

地址: 武汉市武昌区珞瑜路 272 号关山高新大厦 11 楼(邮编: 430074)

电话: 027-87522536, 87522537, 87522625

传真: 02787492275

网址: [www.cvtech.com.cn](http://www.cvtech.com.cn)

E-mail: [Sales@cvtech.com.cn](mailto:Sales@cvtech.com.cn) [Support@cvtech.com.cn](mailto:Support@cvtech.com.cn)

## 多媒体实验教学课件

本书配套开放式多媒体实验教学课件。有需要教学课件的教师请与北京航空航天大学出版社(或武汉创维特信息技术有限公司)联系。北京航空航天大学出版社联系方式如下:

通信地址: 北京航空航天大学出版社教材推广部(邮编: 100083)

电话/传真: 010-82317027

E-mail: [zhujunwei\\_218@163.com](mailto:zhujunwei_218@163.com)

本书由华中科技大学电子与信息工程系陈贇主编。参加编写工作的还有武汉大学计算机学院李宗福老师、武汉科技大学信息科学与工程学院刘振兴老师、长沙理工大学刘林辉老师,武汉理工大学计算机科学与技术学院王建明老师,武汉创维特信息技术有限公司刘铁刚、刘尚军、李忠民先生,华中科技大学张芬博士。感谢武汉理工大学计算机科学与技术学院徐东平老师对该书的审阅。

在本书出版之际,感谢华中科技大学国家电工电子教学基地老师们的支持和帮助,感谢武汉创维特信息技术有限公司给我们提供了大量有价值的参考资料,感谢 ARM 中国公司谭军博士的支持。本书还参考了许多同行专家的专著和文章,在此也表示深深的谢意。

由于成书时间较短,加上国内在嵌入式技术实践性方面有较强系统性介绍的参考书籍较少,许多都是我们实践的第一手资料,肯定有不成熟乃至错误的地方,恳请读者谅解和指正!

作者

2004 年 11 月 18 日

# 目 录

## 第 1 章 嵌入式系统开发概述

|                                       |   |
|---------------------------------------|---|
| 1.1 ARM——Advanced RISC Machines ..... | 2 |
| 1.2 ARM 微处理器的应用领域及特点 .....            | 2 |
| 1.2.1 ARM 微处理器的应用领域 .....             | 2 |
| 1.2.2 ARM 微处理器的特点 .....               | 3 |
| 1.3 ARM 微处理器系列 .....                  | 3 |
| 1.3.1 ARM7 微处理器系列 .....               | 3 |
| 1.3.2 ARM9 微处理器系列 .....               | 4 |
| 1.3.3 ARM9E 微处理器系列 .....              | 4 |
| 1.3.4 ARM10E 微处理器系列 .....             | 5 |
| 1.3.5 SecurCore 微处理器系列 .....          | 5 |
| 1.3.6 StrongARM 微处理器系列 .....          | 5 |
| 1.3.7 Xscale 微处理器系列 .....             | 6 |
| 1.4 ARM 微处理器结构 .....                  | 6 |
| 1.4.1 RISC 体系结构 .....                 | 6 |
| 1.4.2 ARM 微处理器的寄存器结构 .....            | 7 |
| 1.4.3 ARM 微处理器的指令结构 .....             | 7 |
| 1.5 ARM 微处理器的应用选型 .....               | 7 |

## 第 2 章 S3C44B0X ARM 微处理器

|                                     |    |
|-------------------------------------|----|
| 2.1 S3C44B0X 微处理器 .....             | 9  |
| 2.2 S3C44B0X 微处理器体系结构 .....         | 9  |
| 2.3 S3C44B0X 微处理器系统管理 .....         | 9  |
| 2.4 S3C44B0X 微处理器存储器映射 .....        | 11 |
| 2.5 S3C44B0X 微处理器缓冲内存和内部 SRAM ..... | 11 |
| 2.6 S3C44B0X 微处理器时钟和电源管理 .....      | 12 |
| 2.7 S3C44B0X 微处理器中断控制器 .....        | 12 |
| 2.8 S3C44B0X 微处理器定时器 .....          | 12 |
| 2.9 S3C44B0X 微处理器实时时钟 .....         | 12 |

|                                      |    |
|--------------------------------------|----|
| 2.10 S3C44B0X 微处理器通用输入/输出端口及接口 ..... | 13 |
|--------------------------------------|----|

### 第3章 JX44B0 ARM 嵌入式教学实验系统

|                                           |    |
|-------------------------------------------|----|
| 3.1 JX44B0 ARM 嵌入式教学实验系统介绍 .....          | 15 |
| 3.2 JX44B0 ARM 嵌入式教学实验系统组成 .....          | 15 |
| 3.2.1 ADT IDE 集成开发环境 .....                | 16 |
| 3.2.2 ADT Emulator for ARM JTAG 仿真器 ..... | 18 |
| 3.2.3 JX44B0 ARM 嵌入式系列教学实验箱 .....         | 19 |
| 3.3 JX44B0 ARM 嵌入式教学实验系统硬件资源 .....        | 20 |
| 3.3.1 JX44B0 ARM 嵌入式教学实验系统硬件模块 .....      | 20 |
| 3.3.2 JX44B0 ARM 嵌入式教学实验系统硬件资源分配 .....    | 22 |
| 3.4 JX44B0 ARM 嵌入式教学实验系统的软件安装 .....       | 25 |
| 3.5 JX44B0 ARM 嵌入式教学实验系统编程实例 .....        | 25 |
| 3.5.1 工程文件的建立 .....                       | 25 |
| 3.5.2 工程环境的配置 .....                       | 28 |
| 3.5.3 工程编译 .....                          | 38 |
| 3.5.4 工程调试 .....                          | 38 |

### 第4章 嵌入式软件开发基础实验

|                         |    |
|-------------------------|----|
| 4.1 ARM 开发环境实验 .....    | 40 |
| 4.2 ARM 汇编语言编程实验 .....  | 50 |
| 4.3 C 语言与汇编语言编程实验 ..... | 57 |

### 第5章 基本接口实验

|                         |     |
|-------------------------|-----|
| 5.1 数码管显示实验 .....       | 62  |
| 5.2 串口通信实验 .....        | 67  |
| 5.3 中断实验 .....          | 75  |
| 5.4 DMA 实验 .....        | 87  |
| 5.5 PWM 实验 .....        | 97  |
| 5.6 实时时钟实验 .....        | 106 |
| 5.7 看门狗实验 .....         | 118 |
| 5.8 A/D 实验 .....        | 122 |
| 5.9 步进电机实验 .....        | 131 |
| 5.10 键盘输入与 I/O 实验 ..... | 137 |

|      |                           |     |
|------|---------------------------|-----|
| 5.11 | LCD 显示实验 .....            | 142 |
| 5.12 | 触摸屏控制实验 .....             | 149 |
| 5.13 | 数字音频接口实验 .....            | 155 |
| 5.14 | I <sup>2</sup> C 实验 ..... | 161 |
| 5.15 | TFTP 以太网通信实验 .....        | 171 |
| 5.16 | USB 通信实验 .....            | 179 |

## 第 6 章 BootLoader 及操作系统实验

|     |                                |     |
|-----|--------------------------------|-----|
| 6.1 | BootLoader 编写实验 .....          | 189 |
| 6.2 | $\mu$ C/OS-II 移植实验 .....       | 194 |
| 6.3 | $\mu$ C/OS-II 任务间通信和同步实验 ..... | 203 |
| 6.4 | $\mu$ CLinux 内核移植实验 .....      | 208 |
| 6.5 | $\mu$ CLinux 应用程序编写实验 .....    | 217 |
| 6.6 | $\mu$ CLinux 多线程应用程序设计 .....   | 224 |
| 6.7 | MiniGUI 图形系统移植实验 .....         | 237 |
| 6.8 | MiniGUI 图形应用程序编写实验 .....       | 244 |

## 第 7 章 高级接口实验

|     |                       |     |
|-----|-----------------------|-----|
| 7.1 | 并行打印机接口通信实验 .....     | 253 |
| 7.2 | CF 卡实验 .....          | 257 |
| 7.3 | IDE 硬盘接口驱动实验 .....    | 266 |
| 7.4 | GPRS 基础实验 .....       | 270 |
| 7.5 | GPRS 电话功能(主叫)实验 ..... | 277 |
| 7.6 | GPRS 电话功能(被叫)实验 ..... | 280 |
| 7.7 | GPRS 短消息发送实验 .....    | 283 |
| 7.8 | GPRS 短消息接收实验 .....    | 290 |
| 7.9 | GPS 实验 .....          | 294 |

## 附录 A 链接定位脚本

## 附录 B ANSI C 和 GCC 库文件的使用及设置

## 附录 C Linux 基本命令

## 附录 D minicom 使用指南

## 附录 E VI 编辑器

## 附录 F Linux 配置系统

## 参考文献

# 第1章 嵌入式系统开发概述

嵌入式技术的快速发展不仅使之成为当前微电子技术与计算机技术中的一个重要分支,同时也使计算机的分类从以前的巨型机、大型机、小型机和微机之分变为通用计算机和嵌入式系统之分。嵌入式的应用更是涉及金融、航天、电信、网络、信息家电、医疗、工业控制和军事等各个领域,以致一些学者断言嵌入式技术将成为后 PC 时代的主宰。

广义地说,一个嵌入式系统就是一个具有特定功能或用途的计算机软硬件集合体。通常将嵌入式系统分为软件部分和硬件部分,相应的技术也分为嵌入式硬件技术与嵌入式软件技术两部分。嵌入式系统发展的最高形式——片上系统 SoC 将是这些技术的集大成者。

而从狭义上讲,嵌入式系统则仅仅指装入另一个设备并且控制该设备的专用计算机系统。

嵌入式系统的最大特点是其目的性和针对性,即每一套嵌入式系统的开发都有其特殊的应用场合与特定功能,这也是嵌入式系统与通用计算机系统的最主要区别。另外,嵌入式技术与实时性有着天然的联系。由于嵌入式系统是为特定目的而设计的,且常常受空间、成本、存储、带宽等的限制,因此它必须最大限度地在硬件和软件上“量身定做”,以提高资源的利用率,这样的结果也随之导致了实时性的增强。

嵌入式系统包含硬件和软件两部分:硬件架构以嵌入式微处理器为中心,配置存储器、I/O 设备、通信模块等必要的外设;软件部分以软件开发平台为核心,向上提供应用编程接口 API,向下屏蔽具体硬件特性的板级支持包 BSP。嵌入式系统中,软件和硬件紧密配合,协调工作,共同完成系统预定的功能。

嵌入式系统的功能软件集成于硬件系统之中,系统的应用软件与硬件一体化。在嵌入式系统硬件设备中,嵌入式微处理器是整个系统的核心部件,其性能好坏直接决定整个系统的运行效果。

由于嵌入式系统应用需求的多样性,市场上基于 RISC 结构的嵌入式微处理器提供商也日渐增多。据统计数字表明,2002 年 32 位嵌入式微处理器市场销售额排在前 3 位的公司分别是 ARM、Motorola 和 MIPS,其中 ARM 公司的芯片销售量达 1.5 亿个,市场份额超过 70%。

## 1.1 ARM——Advanced RISC Machines

ARM(Advanced RISC Machines),既可认为是一个公司的名字,也可认为是对一类微处理器的通称,还可认为是一种技术的名字。1991 年 ARM 公司成立于英国剑桥,主要出售芯片设计技术的授权。目前,采用 ARM 技术知识产权 IP 核的微处理器,即通常所说的 ARM 微处理器,已遍及工业控制、消费类电子产品、通信系统、网络系统、无线系统、军用系统等各类产品市场,基于 ARM 技术的微处理器应用占据了 32 位 RISC 微处理器 70% 以上的市场份额,ARM 技术正在逐步渗入到我们生活的各个方面。ARM 公司是专门从事基于 RISC 技术芯片设计开发的公司,作为知识产权供应商,本身不直接从事芯片生产,靠转让设计许可,由合作公司生产各具特色的芯片。世界各大半导体生产商从 ARM 公司购买其 ARM 微处理器核,根据各自不同的应用领域,加入适当的外围电路,从而形成自己的 ARM 微处理器芯片进入市场。目前,全世界有几十家大的半导体公司都在使用 ARM 公司的授权,因此,既使得 ARM 技术获得更多的第三方工具、制造、软件的支持,又使整个系统成本降低,使产品更容易进入市场并被消费者所接受,从而更具有竞争力。

## 1.2 ARM 微处理器的应用领域及特点

### 1.2.1 ARM 微处理器的应用领域

到目前为止,ARM 微处理器及技术的应用几乎已深入到各个领域:

- 工业控制领域。作为 32 位的 RISC 架构,基于 ARM 核的微控制器芯片不但占据了高端微控制器市场的大部分市场份额,同时也逐渐向低端微控制器应用领域扩展,ARM 微控制器的低功耗、高性价比,向传统的 8/16 位微控制器提出了挑战。
- 无线通信领域。目前已有超过 85% 的无线通信设备采用了 ARM 技术,ARM 以其高性能和低成本,在该领域的地位日益巩固。
- 网络应用。随着宽带技术的推广,采用 ARM 技术的 ADSL 芯片正逐步获得竞争优势。此外,ARM 在语音及视频处理上进行了优化,并获得广泛的支持,也对 DSP 的应用领域提出了挑战。
- 消费类电子产品。ARM 技术在目前流行的数字音频播放器、数字机顶盒和游戏机中得到了广泛应用。
- 成像和安全产品。现在流行的数码相机和打印机中绝大部分采用了 ARM 技术。手机中的 32 位 SIM 智能卡也采用了 ARM 技术。

此外,ARM 微处理器及技术还应用到许多不同的领域,并会在将来取得更广泛的应用。

### 1.2.2 ARM 微处理器的特点

采用 RISC 架构的 ARM 微处理器一般具有如下特点:

- 小体积、低功耗、低成本、高性能;
- 支持 Thumb(16 位)/ARM(32 位)双指令集,能很好地兼容 8/16 位器件;
- 大量使用寄存器,指令执行速度更快;
- 大多数数据操作都在寄存器中完成;
- 寻址方式灵活、简单,执行效率高;
- 指令长度固定。

## 1.3 ARM 微处理器系列

ARM 微处理器目前包括 ARM7 系列、ARM9 系列、ARM9E 系列、ARM10E 系列、SecurCore 系列、Intel 公司的 StrongARM 和 Xscale 等系列。除了具有 ARM 体系结构的共同特点以外,每个系列的 ARM 微处理器都有各自的特点和应用领域。

其中,ARM7、ARM9、ARM9E 和 ARM10 为 4 个通用微处理器系列,每个系列提供一套相对独特的性能来满足不同应用领域的需求。SecurCore 系列专门为安全要求较高的应用而设计。以下详细介绍各种微处理器的特点及其应用领域。

### 1.3.1 ARM7 微处理器系列

ARM7 系列微处理器为低功耗的 32 位 RISC 处理器,最适合于对价位和功耗要求比较严格的消费类应用。ARM7 微处理器系列具有如下特点:

- 具有嵌入式 ICE-RT 逻辑,调试开发方便;
- 极低的功耗,适合对功耗要求严格的应用,如便携式产品;
- 能够提供 0.9 MIPS/MHz 的 3 级流水线结构;
- 代码密度高并兼容 16 位 Thumb 指令集;
- 对操作系统的支持广泛,包括 Windows CE、Linux 和 Palm OS 等;
- 指令系统与 ARM9、ARM9E 和 ARM10E 系列兼容,便于用户的产品升级换代;
- 主频最高可达 130 MIPS,高速的运算处理能力能胜任绝大多数的复杂应用。

ARM7 系列微处理器的主要应用领域为:工业控制、Internet 设备、网络和调制解调器设备、移动电话等多种多媒体和嵌入式应用。

ARM7 系列微处理器包括如下几种类型的核: ARM7TDMI、ARM7TDMI-S、ARM720T 和 ARM7EJ。其中,ARM7TDMI 是目前使用最广泛的 32 位嵌入式 RISC 处理器,属低端 ARM 处理器核。TDMI 的基本含义如下:

T——支持 16 位压缩指令集 Thumb;

D——支持片上 Debug;

M——内嵌硬件乘法器(Multiplier);

I——嵌入式 ICE,支持片上断点和调试点。

本书介绍的 Samsung 公司的 S3C44B0X 即属于该系列处理器。

### 1.3.2 ARM9 微处理器系列

ARM9 系列微处理器在高性能和低功耗特性方面提供最佳的性能。它具有以下特点:

- 提供 1.1 MIPS/MHz 的 5 级流水线结构;
- 支持 32 位 ARM 指令集和 16 位 Thumb 指令集;
- 支持 32 位高速 AMBA 总线接口;
- 全性能 MMU,支持 Windows CE、Linux 和 Palm OS 等主流嵌入式操作系统;
- MPU 支持实时操作系统;
- 支持数据 Cache 和指令 Cache,具有更高的指令和数据处理能力。

ARM9 系列微处理器主要应用于无线设备、仪器仪表、安全系统、机顶盒、高端打印机、数码相机和数字摄像机等。它包含 ARM920T、ARM922T 和 ARM940T 三种类型。

### 1.3.3 ARM9E 微处理器系列

ARM9E 系列微处理器为可综合处理器,使用单一的处理器内核提供了单片机、DSP、Java 应用系统的解决方案,极大地减少了芯片的面积和系统的复杂程度。ARM9E 系列微处理器提供了增强的 DSP 处理能力,非常适合于需要同时使用 DSP 和单片机的应用场合。

ARM9E 系列微处理器的主要特点如下:

- 支持 DSP 指令集,适合于需要高速数字信号处理的场合;
- 5 级整数流水线,指令执行效率更高;
- 支持 32 位 ARM 指令集和 16 位 Thumb 指令集;
- 支持 32 位高速 AMBA 总线接口;
- 支持 VFP9 浮点处理协处理器;
- 全性能 MMU,支持 Windows CE、Linux 和 Palm OS 等主流嵌入式操作系统;
- MPU 支持实时操作系统;
- 支持数据 Cache 和指令 Cache,具有更高的指令和数据处理能力;
- 主频最高可达 300 MIPS。

ARM9E 系列微处理器主要应用于下一代无线设备、数字消费品、成像设备、工业控制、存储设备和网络设备等领域。它包含 ARM926EJ - S、ARM946E - S 和 ARM966E - S 三种类型。