

ARM嵌入式 体系结构与接口技术

Cortex-A9版 | 微课版

华清远见嵌入式学院 刘洪涛 秦山虎 主编
武立鑫 陈泽顺 副主编



扫一扫 立即观看配套视频



图书学习 + 在线学习

37个详解视频配合图书同步讲解，
帮助读者轻松掌握每一个知识点



学习拓展

华清创客学院资源丰富，更多学习
资料、视频帮助读者提高开发能力



在线答疑

如遇到学习问题，可在线提问，
辅导老师第一时间答疑



中国工信出版集团



人民邮电出版社
POSTS & TELECOM PRESS

ARM 嵌入式 体系结构与接口技术 Cortex-A9 版 | 微课版

华清远见嵌入式学院 刘洪涛 秦山虎 主编
武立鑫 陈泽顺 副主编

人民邮电出版社
· 北 京

图书在版编目(CIP)数据

ARM嵌入式体系结构与接口技术: Cortex-A9版: 微课版 / 刘洪涛, 秦山虎主编. — 3版. — 北京: 人民邮电出版社, 2017.4

高等院校嵌入式人才培养规划教材
ISBN 978-7-115-44909-2

I. ①A… II. ①刘… ②秦… III. ①微处理器—系统结构—高等学校—教材②微处理器—接口技术—高等学校—教材 IV. ①TP332

中国版本图书馆CIP数据核字(2017)第030303号

内 容 提 要

作为一种 32 位高性能、低成本的嵌入式 RISC 微处理器, ARM 已经成为应用最广泛的嵌入式处理器。目前 Cortex-A 系列处理器已经占据了大部分的中高端产品市场。

本书在全面介绍 Cortex-A9 处理器的体系结构、编程模型、指令系统及 Eclipse For ARM 开发环境搭建的同时, 以基于 Cortex-A9 为核心的应用处理器 Exynos4412 为核心, 详细介绍了 ARM 系统设计及相关接口技术。接口技术涵盖了 GPIO、GIC、UART、PWM、RTC、WDT、A/D、I2C、SPI 等, 并提供了大量的实验例程和视频讲解, 通过练习和操作实践, 帮助读者巩固所学的内容。

本书可以作为院校嵌入式相关专业和计算机相关专业的教材, 也可以作为计算机软硬件培训班教材, 还可以作为嵌入式研究方向的专业人才和广大计算机爱好者的自学教材。

-
- ◆ 主 编 华清远见嵌入式学院 刘洪涛 秦山虎
 - 副 主 编 武立鑫 陈泽顺
 - 责任编辑 桑 珊
 - 执行编辑 左仲海
 - 责任印制 焦志炜
 - ◆ 人民邮电出版社出版发行 北京市丰台区成寿寺路 11 号
 - 邮编 100164 电子邮件 315@ptpress.com.cn
 - 网址 <http://www.ptpress.com.cn>
 - 三河市海波印务有限公司印刷
 - ◆ 开本: 787×1092 1/16
 - 印张: 14.75 2017 年 4 月第 3 版
 - 字数: 385 千字 2017 年 4 月河北第 1 次印刷
-

定价: 49.80 元

读者服务热线: (010)81055256 印装质量热线: (010)81055316
反盗版热线: (010)81055315

前言

Foreword

随着消费群体对产品要求的日益提高,嵌入式技术在机械器具制造、电子产品制造、通信、信息服务等领域得到了大显身手的机会,应用日益广泛,相应地,企业对嵌入式人才的需求也越来越多。近几年来,很多院校纷纷开设了嵌入式专业或方向。虽然目前市场上的嵌入式开发相关书籍比较多,但很多是针对有一定基础的行业内研发人员而编写的,并不完全符合学校的教学要求。学校教学需要一套充分考虑学生现有知识基础和接受程度、明确各门课程教学目标的、便于学校安排课时的嵌入式专业教材。

针对教材缺乏的问题,我们以多年来在嵌入式工程技术领域内人才培养、项目研发的经验为基础,汇总了近几年积累的数百家企业对嵌入式研发相关岗位的真实需求,调研了数十所开设嵌入式专业的院校的课程设置情况、学生特点和教学用书现状。经过细致的整理和分析,对专业技能和基本知识进行合理划分,我们于2013年编写了这套高等院校嵌入式人才培养规划教材,包括以下4本。

《嵌入式操作系统(Linux篇)(微课版)》

《嵌入式Linux C语言程序设计基础教程(微课版)》

《ARM嵌入式体系结构与接口技术(Cortex-A9版)(微课版)》

《嵌入式应用程序设计综合教程(微课版)》

经过了3年,嵌入式行业发生了巨大变化,产品也得到了升级换代,同时,高等院校嵌入式专业日臻成熟,首批教材有些已无法满足新的需要,所以本次编写对原有教材进行修订。

ARM处理器是一种高性能、低成本、低功耗的嵌入式RISC微处理器。它由英国ARM公司设计,ARM公司将处理器架构授权给与其合作的半导体厂商,目前世界上几乎所有大的半导体厂商都生产ARM体系结构的芯片,或者在其专用的芯片当中使用ARM相关的技术,其中ARM Cortex系列处理器目前已经占据了几乎所有的嵌入式处理器的中高端产品市场。本书以Cortex-A9处理器为平台,介绍了嵌入式系统开发的各个主要环节。本书侧重实践,辅以代码加以讲解,从分析的角度来学习嵌入式开发的各种技术。本书使用的工具是Eclipse+GNU工具集实现的开源开发环境。

本书将嵌入式软硬件理论讲解和具体的实践结合在一起,全书共13章,各个章节的主要内容说明如下。

第1章为嵌入式ARM技术概论。这一章主要介绍了ARM公司的一些情况和现有ARM体系结构处理器中的主要版本及各自的特点。本章还详细讲解了ARM处理器的应用选型、技术特点以及其编程模型,最后对本书中用到的硬件平台进行了简单的介绍。通过这一章的介绍,读者可以对ARM技术有一个总体的了解;另外读者可通过了解ARM的编程模型中的知识,为以后的程序设计中的各项技术打好基础。

第2章为ARM开发环境搭建。这一章主要介绍了本书中使用的开发环境的搭建和使用方法以及调试工具的使用方法。

第3章为ARM指令。这一章主要介绍了ARM指令的语法格式、执行操作以及常见的应用方法,最后对ARM常见指令的寻址方式进行了简单的介绍。读者能够在短时间内掌握ARM指令的使用方法,积累一些ARM代码设计的基本方法;同时本书能帮助读者理解高级语言编译后最终在CPU上是如何运行的。

第4章为ARM汇编程序设计。这一章主要介绍了汇编语言程序设计的基本方法,其中包括ARM汇

编程语言中的伪操作、伪指令、汇编语言程序结构以及汇编语言和 C 语言混合编程的基本格式与方法。通过这些介绍,读者可以掌握 ARM 汇编语言的设计方法。

第 5 章为 GPIO 编程。从这一章开始直到本书最后一章,都是介绍 Exynos4412 外设模块的操作,且示例代码都是用 C 语言进行开发。读者可以参照并总结本章的实验内容及实验步骤,为后续其他模块的实验打下基础。这一章首先介绍了 GPIO 的概念及应用,然后对 Exynos4412 下的 GPIO 的控制器的原理做了进一步说明,最后通过实验来演示了 GPIO 的编程步骤及使用方法。

第 6 章为 ARM 异常及中断处理。这一章详细介绍了 ARM 体系中的异常中断技术,其中包括 ARM 体系中异常事件的分类、ARM 对各类异常的处理及异常返回机制、在应用程序中使用异常中断处理的方法等;后面对 Exynos4412 下的中断控制器进行了详细的讲解,最后通过具体的实验讲了 Exynos4412 下的中断控制器的使用方法以及 ARM 内核对中断的处理机制。

第 7 章为串行通信接口。这一章首先对通信的一些基本术语进行了解释,然后对 UART 通信格式和标准 RS232 规范进行了简单的说明,最后讲述了 Exynos4412 下 UART 的工作原理与编程方法。

第 8 章为 PWM 定时器。这一章对定时器以及 PWM 的概念及用途进行了简单的概述,后面对 Exynos4412 下 PWM 定时器模块的工作原理及编程方法进行了进一步的讲解。

第 9 章为看门狗定时器。这一章主要介绍了看门狗定时器的概念、原理及应用,以及在 Exynos4412 下的看门狗定时器模块的工作原理及编程方法。

第 10 章为 RTC 定时器。这一章主要介绍了 RTC 定时器基本作用,以及在 Exynos4412 下 RTC 定时器模块的工作原理及编程方法。

第 11 章为 A/D 转换器。这一章主要介绍了 A/D 转换器的基本概念及作用,对 A/D 转换器中常用的概念及常见 A/D 转换器的工作原理进行了解释;最后详细介绍了在 Exynos4412 下 A/D 转换器的工作原理、使用方法及编程方法。

第 12 章为 I2C 接口。这一章主要介绍了 I2C 总线通信的概念和 I2C 总线规范,后面详细介绍了在 Exynos4412 下 I2C 总线控制器的工作原理、使用方法及编程方法,并通过实际的例程演示了 I2C 总线在实际开发中的开发步骤及用途。

第 13 章为 SPI 接口。这一章主要介绍了 SPI 总线的概念和与特点,还介绍了 SPI 总线规范,最后详细介绍了 Exynos4412 下 SPI 总线控制器的工作原理、使用方法及编程方法。

在学习本书时,读者要具有一定的数字电路和 C 语言的基础知识。另外本书所涉及的很多专业名词和术语,都是按照国内单片机领域中的一些通用术语表达的,但仍有一些 ARM 体系结构中特有的名词较难表达。

本书由刘洪涛、秦山虎、武立鑫合作完成。本书的完成需要感谢华清远见嵌入式学院,教材内容参考了学院与嵌入式企业需求无缝对接的、科学的专业人才培养体系。同时,嵌入式学院从业或执教多年的行业专家团队也对教材的编写工作做出了贡献,季久峰、贾燕枫、关晓强等在书稿的编写过程中认真阅读了所有章节,提供了大量在实际教学中积累的重要素材,对教材结构、内容提出了中肯的建议,并在后期审校工作中提供了很多帮助,在此表示衷心的感谢。

本书所有源代码、PPT 课件、教学素材等辅助教学资料,可到人民邮电出版社教育社区(www.ryjiaoyu.com)免费下载。

由于作者水平所限,书中不妥之处在所难免,恳请读者批评指正。对于本书的批评和建议,可以发到 www.embedu.org 技术论坛。

编者

2016 年 11 月

平台支撑 Platform

华清创客学院（www.makeru.com.cn）是一家创客 O2O 在线教育平台，由国内高端 IT 培训领导品牌华清远见教育集团鼎力打造。学院依托于华清远见教育集团在高端 IT 培训行业积累的十多年教学及研发经验，以及上百位优秀讲师资源，专注为用户提供高端、前沿的 IT 开发技术培训课程。以就业为导向，以提高开发能力为目标，努力让每一位用户在这里学到真本领，为用户成为嵌入式、物联网、智能硬件时代的技术专家助力！

一、我们致力于这样的发展理念

我们有一种情怀：为中国、为世界智能化变革的发展培养更多的优秀人才。

我们有一种坚持：坚持做专业教育、做良心教育、做受人尊敬的职业教育。

我们有一种变革：在互联网高速发展的时代，打造“互联网+教育”模式下的 IT 人才终身学习教学体系。



二、我们致力于提供这样的学习方式

1. 多元化的课程学习体系

(1) 学习模式的多元化。读者可以根据自身的实际情况选择 3 种学习模式：在线学习、线下报班学

习、线上线下结合式学习。每一种模式都有专业的学习路线指导，并有辅导老师悉心答疑，对于学完整套课程的同学有高薪就业职位推荐。

(2) 学习内容的多元化。我们提供基础知识课程、会员提升课程、流行技术精品套餐课程、就业直通课程、职业成长课程等丰富的课程体系。不管您是职场“小白”还是 IT 从业人员，都可以在这里找到您的学习路线。

(3) 直播课程的多元化。课程包括基础类、技术问答类、IT 人的职业素养类、IT 企业的面试技巧类、IT 人的职业发展规划类、智能硬件产品解析类。

2. 大数据支撑下的过程化学习模式

(1) 自主学习课程。我们提供习题练习模式支持您的学习，每章学习完成后都有配套的练习题助您检验学习成果，整个课程学习完成后，系统会自动根据您的答题情况，分析出您对课程的整体掌握程度，帮助您随时掌握自身学习情况。

(2) 报班模式下的学习课程。系统会根据您选取的班级，为您制定详细的阶段化学习路线，学习路线采用游戏通关模式，课程章节有考核测验、课程有综合检验、每阶段有项目开发任务。学习过程全程通过大数据进行数据分析，帮助您与班主任随时了解您的课程学习掌握程度，班主任会定期根据您的学习情况开放直播课程，为您的薄弱环节进行细致讲解，考核不合格则无法通过关卡进入下一个环节。

三、我们致力于提供这样的服务保障

1. 与企业岗位的无缝对接

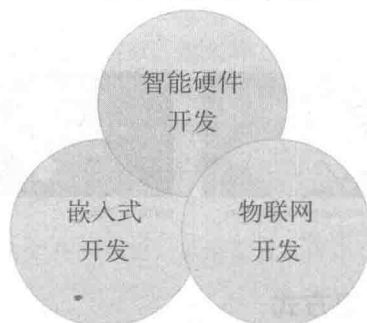
(1) 在线课程经过企业实体培训检验。华清远见是国内最早的高端 IT 定制培训服务机构，在业界享有盛誉。每年我们都会为不同的企业“量身订制”满足企业需求的高端企业内训课程，曾先后为 Intel、松下、通用电器、摩托罗拉、ST 意法半导体、三星、华为、大唐电信等众多知名企业进行员工内训。

(2) 拥有独立的自主研发中心。研发中心为开发和培训提供技术和产品支持，已经研发多款智能硬件产品、实验平台、实验箱等设备，并与中南大学、中国科学技术大学等高校共建嵌入式、物联网实验室。目前已经公开出版 80 多本教材，深受读者的欢迎。

(3) 平台提供企业招聘通道。学员可在线将自己的学习成果全部展现给企业 HR，增加进入大型企业的机会。众多合作企业定期发布人才需求，还有企业上门招聘，全国 11 个大城市就业推荐。

2. 丰富的课程资源

华清创客学院紧跟市场需求，全新录制高质量课程，深入讲解当下热门的开发技术，包括嵌入式、Android、物联网、智能硬件课程（VR/AR、智能手表、智能小车、无人机等），希望我们的课程能帮您抓住智能硬件时代的发展机遇，打开更广阔的职业发展空间。



3. 强大的师资队伍

由华清远见金牌讲师团队+技术开发“大牛”组成的上百人讲师团队，有着丰富的开发与培训经验，

其中不乏行业专家和企业项目核心开发者。

4. 便捷的学习方式

下载学院 APP 学习，不论您是在学校、家里还是外面，都可以随时随地学习。与教材配套使用，利用碎片时间学习，提升求职就业竞争力！

5. 超值的会员福利

会员可免费观看学院 70% 的课程，还可优先参加直播课程、新课程上线抢先试学、学习积分翻倍等活动，并有机会免费参加线下体验课。

四、我们期待您的加入

欢迎关注华清创客学院官网 www.makeru.com.cn，见证我们的成长。期待您的加入，愿与您一起打造未来 IT 人的终身化学习体系。加入华清远见图书读者 QQ 群 516633798，获得更多资源与服务。

本书配套课程视频观看方法：注册华清创客学院，手机扫描二维码即可观看课程视频；或在计算机上搜索书名，查找配套课程视频。

目录

Contents

第1章 嵌入式 ARM 技术概论 1

1.1 ARM 体系结构的技术特征及发展	2
1.1.1 ARM 公司简介	2
1.1.2 ARM 技术特征	2
1.1.3 ARM 体系架构的发展	3
1.2 ARM 微处理器简介	4
1.2.1 ARM9 处理器系列	5
1.2.2 ARM9E 处理器系列	5
1.2.3 ARM11 处理器系列	6
1.2.4 SecurCore 处理器系列	6
1.2.5 StrongARM 和 Xscale 处理器系列	6
1.2.6 MPCore 处理器系列	6
1.2.7 Cortex 处理器系列	6
1.2.8 ARM 应用处理器发展现状与趋势	8
1.3 ARM 微处理器架构	9
1.4 ARM 微处理器的应用选型	10
1.4.1 ARM 芯片选择的一般原则	10
1.4.2 选择一款适合 ARM 教学的 CPU	10
1.5 Cortex-A9 内部功能及特点	12
1.6 数据类型	13
1.6.1 ARM 的基本数据类型	13
1.6.2 浮点数据类型	13
1.6.3 存储器大/小端	14
1.7 Cortex-A9 内核工作模式	14
1.8 Cortex-A9 存储系统	15
1.8.1 协处理器 (CP15)	16
1.8.2 存储管理单元 (MMU)	17
1.8.3 高速缓冲存储器 (Cache)	17
1.9 流水线	17
1.9.1 流水线的概念与原理	17
1.9.2 流水线的分类	18

1.9.3 影响流水线性能的因素	19
1.10 寄存器组织	19
1.11 程序状态寄存器	21
1.12 三星 Exynos4412 处理器介绍	24
1.13 FS4412 开发平台介绍	25
1.14 本章小结	29
1.15 练习题	29

第2章 ARM 开发环境搭建 30

2.1 仿真器简介	31
2.2 开发环境搭建	31
2.2.1 Windows XP 环境安装 FS-JTAG 工具	32
2.2.2 Windows 7/Windows 8 环境安装 FS-JTAG 工具	34
2.2.3 Windows8.1 环境安装 FS-JTAG 工具	39
2.2.4 连接硬件平台	42
2.2.5 USB 转串口驱动安装	42
2.2.6 Putty 串口终端配置	43
2.3 Eclipse for ARM 使用	45
2.4 导入一个已有工程	45
2.5 调试工程	49
2.5.1 配置 FS-JTAG 调试工具	49
2.5.2 配置调试工具	49
2.5.3 查看变量及寄存器的方法	53
2.5.4 断点设置方法	54
2.5.5 查看内存数据信息方法	54
2.5.6 调试结束后的处理	55
2.6 创建一个新工程	56
2.7 编译工程	58
2.8 64 位 eclipse 编译常见问题及解决	60
2.9 本章小结	62
2.10 练习题	62

第3章 ARM 指令	63	第5章 GPIO 编程	106
3.1 ARM 指令集	64	5.1 GPIO 功能介绍	107
3.1.1 数据处理指令寻址方式	64	5.2 Exynos4412-GPIO 控制器详解	107
3.1.2 乘法指令	69	5.2.1 GPIO 功能描述	107
3.1.3 跳转指令	71	5.2.2 GPIO 特性	107
3.1.4 Load/Store 指令	74	5.2.3 GPIO 分组预览	108
3.1.5 状态寄存器传输指令	79	5.2.4 Exynos4412-GPIO 常用寄存器分类	108
3.1.6 协处理器指令	81	5.2.5 Exynos4412-GPIO 接口 常用寄存器详解	109
3.1.7 异常产生指令	82	5.2.6 GPIO 寄存器封装	110
3.2 ARM 指令的寻址方式	84	5.3 GPIO 控制实验	112
3.2.1 数据处理指令的操作数的 寻址方式	84	5.3.1 实验目的	112
3.2.2 字及无符号字节的 Load/Store 指令的寻址方式	85	5.3.2 实验原理	112
3.2.3 批量 Load/Store 指令的 寻址方式	86	5.3.3 实验内容	113
3.2.4 相对寻址	88	5.3.4 实验代码	113
3.3 本章小结	88	5.3.5 实验现象	114
3.4 练习题	88	5.4 本章小结	114
		5.5 练习题	114
第4章 ARM 汇编程序设计	89	第6章 ARM 异常及中断处理	115
4.1 GNU ARM 汇编器的伪操作	90	6.1 ARM 异常中断处理概述	116
4.1.1 符号定义伪操作	90	6.2 ARM 体系异常种类	116
4.1.2 数据定义伪操作	91	6.3 ARM 异常的优先级	121
4.1.3 汇编控制伪操作	93	6.4 ARM 处理器模式和异常	121
4.1.4 杂项伪操作	94	6.5 ARM 异常响应和处理程序返回	122
4.2 ARM 汇编器支持的伪指令	96	6.5.1 中断响应的概念	122
4.2.1 ADR 伪指令	96	6.5.2 ARM 异常响应流程	122
4.2.2 ADRL 伪指令	97	6.5.3 从异常处理程序中返回	123
4.2.3 LDR 伪指令	97	6.6 ARM 的 SWI 异常中断处理 程序设计	124
4.3 ARM 汇编语言的程序结构	98	6.7 ARM 中断控制器简介	126
4.3.1 汇编语言的程序格式	98	6.7.1 中断软件分支处理 (NVIC 和 GIC)	126
4.3.2 汇编语言的子程序调用	99	6.7.2 硬件支持的分支处理 (VIC)	127
4.3.3 汇编语言程序设计举例	99	6.8 通用中断控制器 (GIC)	128
4.4 汇编语言与 C 语言的混合编程	100	6.8.1 GIC 功能模块	129
4.4.1 GNU 内联汇编	100	6.8.2 GIC 中断控制器中断类型	130
4.4.2 C 和汇编的相互调用	103	6.8.3 GIC 中断控制器中断状态	130
4.4.3 过程调用标准 AAPCS/ATPCS	104	6.8.4 GIC 中断处理流程	130
4.5 本章小结	105		
4.6 练习题	105		

6.9	Exynos4412 中断源	131	8.2.3	PWM 定时器双缓冲功能	161
6.10	Exynos4412-GIC 寄存器详解	131	8.2.4	PWM 定时器 PWM 信号输出	162
6.11	GIC 中断实验	135	8.3	PWM 定时器实验——定时触发	163
6.11.1	实验目的	135	8.3.1	实验目的	163
6.11.2	实验原理	135	8.3.2	实验原理	163
6.11.3	实验内容	136	8.3.3	实验代码	163
6.11.4	实验代码	137	8.3.4	实验现象	165
6.11.5	实验现象	140	8.4	PWM 定时器实验——PWM 输出	166
6.12	本章小结	140	8.4.1	实验目的	166
6.13	练习题	140	8.4.2	实验原理	166
第 7 章 串行通信接口		141	8.4.3	实验代码	166
7.1	串行通信概述	142	8.4.4	实验现象	167
7.1.1	串行通信与并行通信概念	142	8.5	本章小结	167
7.1.2	异步串行方式的特点	142	8.6	练习题	167
7.1.3	异步串行方式的数据格式	142	第 9 章 看门狗定时器		
7.1.4	同步串行方式的特点	142	9.1	看门狗简介	169
7.1.5	同步串行方式的数据格式	143	9.2	Exynos4412 看门狗定时器详解	169
7.1.6	波特率、波特率因子与 位周期	143	9.2.1	看门狗定时器概述	169
7.1.7	RS-232C 串口规范	143	9.2.2	看门狗定时器寄存器详解	170
7.1.8	RS-232C 接线方式	145	9.3	看门狗定时器实验	171
7.2	Exynos4412 异步串行通信	145	9.3.1	实验目的	171
7.2.1	Exynos4412 串口控制器概述	145	9.3.2	实验原理	171
7.2.2	UART 寄存器详解	146	9.3.3	实验内容	171
7.3	串口通信实验	151	9.3.4	实验代码	171
7.3.1	实验目的	151	9.3.5	实验现象	172
7.3.2	实验原理	151	9.4	本章小结	173
7.3.3	实验内容	152	9.5	练习题	173
7.3.4	实验代码	152	第 10 章 RTC 定时器		
7.3.5	实验现象	154	10.1	RTC 简介	175
7.4	本章小结	155	10.2	Exynos4412-RTC 定时器详解	175
7.5	练习题	155	10.2.1	RTC 定时器概述	175
第 8 章 PWM 定时器		156	10.2.2	RTC 定时器寄存器详解	175
8.1	定时器和 PWM 简介	157	10.2.3	BCD 码	177
8.1.1	定时器概述	157	10.3	实时时钟 RTC 实验	177
8.1.2	脉冲宽度调制 (PWM) 概述	157	10.3.1	实验目的	177
8.2	Exynos4412-PWM 定时器详解	157	10.3.2	实验原理	177
8.2.1	PWM 定时器概述	157	10.3.3	实验内容	178
8.2.2	PWM 定时器寄存器详解	158	10.3.4	实验代码	178
			10.3.5	实验现象	179

10.4	本章小结	180
10.5	练习题	180

第 11 章 A/D 转换器 181

11.1	A/D 转换器原理	182
11.1.1	A/D 转换基础	182
11.1.2	A/D 转换的技术指标	182
11.1.3	A/D 转换器类型	183
11.1.4	A/D 转换的一般步骤	186
11.2	Exynos4412-A/D 转换器详解	186
11.2.1	Exynos4412-A/D 转换器概述	186
11.2.2	Exynos4412-A/D 转换器寄存器详解	187
11.3	A/D 实验	188
11.3.1	实验目的	188
11.3.2	实验原理	188
11.3.3	实验内容	188
11.3.4	实验代码	189
11.3.5	实验现象	191
11.4	本章小结	191
11.5	练习题	192

第 12 章 I2C 接口 193

12.1	I2C 总线协议	194
12.1.1	I2C 总线协议简介	194
12.1.2	I2C 总线协议内容	194
12.2	Exynos4412-I2C 控制器详解	197

12.2.1	I2C 总线控制器概述	197
12.2.2	I2C 总线控制器寄存器详解	197
12.2.3	I2C 控制器操作流程	200
12.3	I2C 重力感应/陀螺仪实验	201
12.3.1	实验目的	201
12.3.2	实验原理	201
12.3.3	实验内容	202
12.3.4	实验代码	203
12.3.5	实验现象	206
12.4	本章小结	207
12.5	练习题	207

第 13 章 SPI 接口 208

13.1	SPI 总线协议	209
13.1.1	协议简介	209
13.1.2	协议内容	209
13.2	Exynos4412-SPI 控制器详解	212
13.2.1	SPI 控制器简介	212
13.2.2	SPI 控制器时钟源控制	212
13.2.3	SPI 控制器寄存器详解	215
13.3	SPI/CAN 总线实验	218
13.3.1	实验目的	218
13.3.2	实验原理	218
13.3.3	实验内容	219
13.3.4	实验代码	220
13.3.5	实验现象	223
13.4	本章小结	224
13.5	练习题	224

第1章

嵌入式ARM技术概论

本章的主要内容有：

- ARM体系结构的技术特征及发展；■
- ARM微处理器简介；■
- ARM微处理器架构；■
- ARM微处理器的应用选型；■
- ARM微处理器的数据类型；■
- ARM微处理器的流水线；■
- ARM微处理器的寄存器；■
- Cortex-A9内部功能及特点；■
- Cortex-A9存储系统；■
- 三星Exynos4412处理器介绍。■

■ ARM 体系结构的处理器在嵌入式中的应用是非常广泛的，本章将向读者介绍 ARM 处理器的基本知识。

2. 嵌入式 CISC 微处理器

传统的复杂指令级计算机 (CISC) 则更侧重于硬件执行指令的功能性, 使 CISC 指令及处理器的硬件结构变得更复杂。这些会导致成本、芯片体积的增加, 影响其在嵌入式产品中的应用。表 1-1 描述了 RISC 和 CISC 之间的主要区别。

表 1-1 RISC 和 CISC 之间的主要区别

指标	RISC	CISC
指令集	一个周期执行一条指令, 通过简单指令的组合实现复杂操作; 指令长度固定	指令长度不固定, 执行需要多个周期
流水线	流水线每周期前进一步	指令的执行需要调用微代码的一个微程序
寄存器	更多通用寄存器	用于特定目的的专用寄存器
Load/Store 结构	独立的 Load 和 Store 指令完成数据在寄存器和外部存储器之间的传输	处理器能够直接处理存储器中的数据

1.1.3 ARM 体系架构的发展

在讨论 ARM 体系架构前, 先解释一下体系架构的定义。

体系架构定义了指令集 (ISA) 和基于这一体系架构下处理器的编程模型。基于同种体系架构可以有多种处理器, 每个处理器性能不同, 所面向的应用不同, 每个处理器的实现都要遵循这一体系结构。ARM 体系架构为嵌入系统发展商提供很高的系统性能, 同时保持优异的功耗和效率。

ARM 体系架构为满足 ARM 合作者及设计领域的一般需求正稳步发展。目前, ARM 体系架构共定义了 8 个版本, 从版本 1 到版本 8, ARM 体系的指令集功能不断扩大, 不同系列的 ARM 处理器, 性能差别很大, 应用范围和对象也不尽相同, 但是, 如果是相同的 ARM 体系架构, 那么基于它们的应用软件是兼容的。

1. v1 架构

v1 版本的 ARM 处理器并没有实现商品化, 采用的地址空间是 26 位, 寻址空间是 64MB, 在目前的版本中已不再使用这种架构。

2. v2 架构

与 v1 架构的 ARM 处理器相比, v2 架构的 ARM 处理器的指令结构要有所完善, 比如增加了乘法指令并且支持协处理器指令, 该版本的处理器仍然采用 26 位的地址空间。

3. v3 架构

从 v3 架构开始, ARM 处理器的体系架构有了很大的改变, 实现了 32 位的地址空间, 指令结构相对前面的两种也所完善。

4. v4 架构

v4 架构的 ARM 处理器增加了半字指令的读取和写入操作, 增加了处理器系统模式, 并且有了 T 变种——v4T, 在 Thumb 状态下支持的是 16 位的 Thumb 指令集。属于 v4T (支持 Thumb 指令) 体系架构的处理器 (核) 有 ARM7TDMI、ARM7TDMI-S (ARM7TDMI 综合版本)、ARM710T (ARM7TDMI 核的处理器)、ARM720T (ARM7TDMI 核的处理器)、ARM740T (ARM7TDMI 核的处理器)、ARM9TDMI、ARM910T (ARM9TDMI 核的处理器)、ARM920T (ARM9TDMI 核的处理器)、ARM940T (ARM9TDMI 核的处理器) 和 StrongARM (Intel 公司的产品)。

5. v5 架构

v5 架构的 ARM 处理器提升了 ARM 和 Thumb 两种指令的交互工作能力, 同时有了 DSP 指令 (v5E 架构)、Java 指令 (v5J 架构) 的支持。属于 v5T (支持 Thumb 指令) 体系架构的处理器 (核) 有 ARM10TDMI



和 ARM1020T (ARM10TDMI 核处理器)。

属于 v5TE (支持 Thumb、DSP 指令) 体系架构的处理器 (核) 有 ARM9E、ARM9E-S (ARM9E 可综合版本)、ARM946 (ARM9E 核的处理器)、ARM966 (ARM9E 核的处理器)、ARM10E、ARM1020E (ARM10E 核处理器)、ARM1022E (ARM10E 核的处理器) 和 Xscale (Intel 公司产品)。

属于 v5TEJ (支持 Thumb、DSP 指令、Java) 体系架构的处理器 (核) 有 ARM9EJ、ARM9EJ-S (ARM9EJ 可综合版本)、ARM926EJ (ARM9EJ 核的处理器) 和 ARM10EJ。

6. v6 架构

v6 架构是在 2001 年发布的，在该版本中增加了媒体指令。属于 v6 体系架构的处理器核有 ARM11 (2002 年发布)。v6 体系架构包含 ARM 体系架构中所有的 4 种特殊指令集：Thumb 指令 (T)、DSP 指令 (E)、Java 指令 (J) 和 Media 指令。

7. v7 架构

ARMv7 架构是在 ARMv6 架构的基础上诞生的。该架构采用了 Thumb-2 技术，它是在 ARM 的 Thumb 代码压缩技术的基础上发展起来的，并且保持了对现存 ARM 解决方案的完整的代码兼容性。Thumb-2 技术比纯 32 位代码少使用 31% 的内存，减小了系统开销，同时能够提供比已有的基于 Thumb 技术的解决方案高出 38% 的性能。ARMv7 架构还采用了 NEON 技术，将 DSP 和媒体处理能力提高了近 4 倍。并支持改良的浮点运算，满足下一代 3D 图形、游戏物理应用及传统嵌入式控制应用的需求。

8. v8 架构

ARMv8 架构是在 32 位 ARM 架构上进行开发的，将被首先用于对扩展虚拟地址和 64 位数据处理技术有更高要求的产品领域，如企业应用、高档消费电子产品。ARMv8 架构包含两个执行状态：AArch64 和 AArch32。AArch64 执行状态针对 64 位处理技术，引入了一个全新指令集 A64，可以存取大虚拟地址空间；而 AArch32 执行状态将支持现有的 ARM 指令集。目前的 ARMv7 架构的主要特性都将在 ARMv8 架构中得以保留或进一步拓展，如 TrustZone 技术、虚拟化技术及 NEON advanced SIMD 技术等。

1.2 ARM 微处理器简介

ARM 处理器的产品系列非常广，包括 ARM7、ARM9、ARM9E、ARM10E、ARM11 和 SecurCore、Cortex 等。每个系列提供一套特定的性能来满足设计者对功耗、性能、体积的要求。SecurCore 是单独一个产品系列，是专门为安全设备而设计的。

表 1-2 总结了 ARM 各系列处理器所包含的不同类型。本节简要介绍 ARM 各个系列处理器的特点。

表 1-2 ARM 各系列处理器所包含的不同类型

ARM 系列	包含类型
ARM9/9E 系列	ARM920T
	ARM922T
	ARM926EJ-S
	ARM940T
	ARM946E-S
	ARM966E-S
	ARM968E-S
向量浮点运算 (Vector Floating Point) 系列	VFP9-S
	VFP10

续表

ARM 系列	包含类型
ARM10E 系列	ARM1020E ARM1022E ARM1026EJ-S
ARM11 系列	ARM1136J-S ARM1136JF-S ARM1156T2 (F) -S ARM1176JZ (F) -S ARM11 MPCore
Cortex 系列	Cortex-A Cortex-R Cortex-M
SecurCore 系列	SC100 SC110 SC200 SC210
其他合作伙伴产品	StrongARM XScale MBX

1.2.1 ARM9 处理器系列

ARM9 系列于 1997 年问世。由于采用了 5 级指令流水线，ARM9 处理器能够运行在比 ARM7 更高的时钟频率上，改善了处理器的整体性能；存储器系统根据哈佛体系结构（程序和数据空间独立的体系结构）重新设计，区分了数据总线和指令总线。

ARM9 系列的第一个处理器是 ARM920T，它包含独立的数据指令 Cache 和 MMU（Memory Management Unit，存储器管理单元）。此处理器能够用在要求有虚拟存储器支持的操作系统上。该系列中的 ARM922T 是 ARM920T 的变种，只有一半大小的数据指令 Cache。

ARM940T 包含一个更小的数据指令 Cache 和一个 MPU（Micro Processor Unit，微处理器）。它是针对不要求运行操作系统的应用而设计的。ARM920T、ARM940T 都执行 v4T 架构指令。

1.2.2 ARM9E 处理器系列

ARM9 系列的下一代处理器基于 ARM9E-S 内核，这个内核是 ARM9 内核带有 E 扩展的一个可综合版本，包括 ARM946E-S 和 ARM966E-S 两个变种。两者都执行 v5TE 架构指令。它们也支持可选的嵌入式跟踪宏单元，支持开发者实时跟踪处理器指令和数据的执行。当调试对时间敏感的程序段时，这种方法非常重要。

ARM946E-S 包括 TCM（Tightly Coupled Memory，紧耦合存储器）、Cache 和一个 MPU。TCM 和 Cache 的大小可配置。该处理器是针对要求有确定的实时响应的嵌入式控制而设计的。ARM966E-S 有可配置的 TCM，但没有 MPU 和 Cache 扩展。

ARM9 系列的 ARM926EJ-S 内核为可综合的处理器内核，发布于 2000 年。它是针对小型便携式 Java 设备，如 3G 手机和 PDA 应用而设计的。ARM926EJ-S 是第一个包含 Jazelle 技术，可加速 Java 字节码