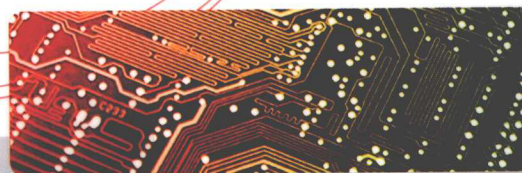
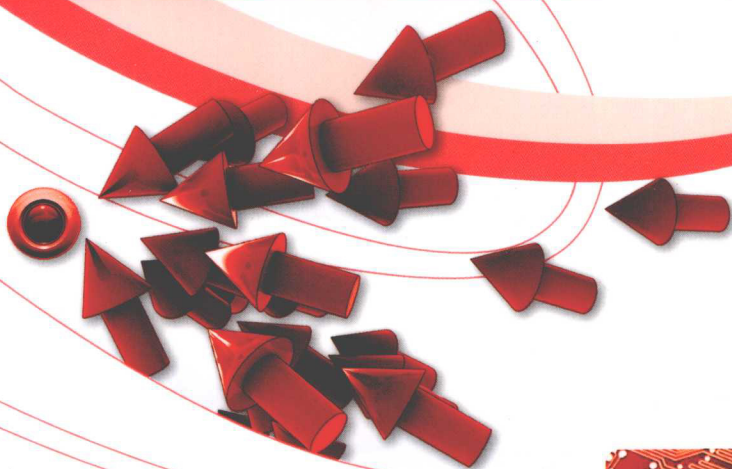




北京市高等教育精品教材立项项目



高等学校计算机规划教材

ARM 嵌入式微处理器 体系结构及汇编语言程序设计

■ 关 永 主编 ■ 关 永 张 杰 张聪霞 魏洪兴 编著



电子工业出版社

PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

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

北京市高等教育精品教材立项项目

高等学校计算机规划教材

ARM 嵌入式微处理器体系结构及 汇编语言程序设计

关 永 主编

关 永 张 杰
张聪霞 魏洪兴 编著

电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京 · BEIJING

内 容 简 介

本书为北京市高等教育精品教材立项项目。本书按照项目驱动和实例导引方式,以知识点为主线介绍了嵌入式系统的基本开发方法;并以多个设计实例为参考详细描述了基于 ARM 的嵌入式系统开发过程。全书共 7 章,分别介绍了 ARM 处理器概述、ARM 开发流程及交叉开发环境、ARM 的编程模型及指令寻址方式、ARM 常用指令集及示例、ARM 汇编语言程序设计、C 与 ARM 汇编语言的混合编程,并配有丰富的嵌入式系统设计实例及习题。本书给出了设计实例的详细设计步骤,突出介绍了各个部分的设计思路、实现目标和设计流程,力求使读者抓住本质,迅速掌握基于 ARM 的嵌入式系统的相关知识与技术。另外,读者还可以免费下载设计实例的源代码。

本书的风格简洁实用,内容贴近实际应用,是一本将学习与实践相结合的书籍,既可作为高等院校非计算机专业应用型本科学生的教材,也可作为希望尽快掌握基于 ARM 的嵌入式系统开发的技术人员的参考书。

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。

版权所有,侵权必究。

图书在版编目(CIP)数据

ARM 嵌入式微处理器体系结构及汇编语言程序设计 / 关永等编著.

北京:电子工业出版社,2010.11

(高等学校计算机规划教材)

ISBN 978-7-121-12152-4

I. ①A… II. ①关… III. ①微处理器—计算机体系结构—高等学校—教材②汇编语言—程序设计—高等学校—教材 IV. ①TP332②TP313

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 212499 号

策划编辑:冯小贝

责任编辑:冯小贝

印 刷:北京市天竺颖华印刷厂

装 订:三河市鑫金马印装有限公司

出版发行:电子工业出版社

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编 100036

开 本:787×980 1/16 印张:14.25 字数:319 千字

印 次:2010 年 11 月第 1 次印刷

印 数:3000 册 定价:28.00 元

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题,请向购买书店调换。若书店售缺,请与本社发行部联系,联系及邮购电话:(010)88254888。

质量投诉请发邮件至 zlts@phei.com.cn,盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

服务热线:(010)88258888。

前 言

从 20 世纪 70 年代单片机的出现到今天各式各样的嵌入式微处理器的应用, 嵌入式系统已经有了近 30 年的发展历史。

嵌入式系统的英文叫做 Embedded System, 是一种包括硬件和软件的完整计算机系统, 但又和通用计算机系统不同。IEEE(国际电子电气工程师协会)对于嵌入式系统的定义是“An Embedded System is the devices used to control, monitor, or assist the operation of equipment, machinery or plants”, 即嵌入式系统是“用于控制、监视或者辅助操作机器和设备的装置”。而国内较认同的嵌入式系统概念是: 嵌入式系统是以应用为中心, 以计算机技术为基础, 并且软硬件可裁剪, 适用于应用系统对功能、可靠性、成本、体积、功耗有严格要求的专用计算机系统。由此可见, 两者定义仅仅是角度和详尽程度不同, 并没有本质上的差别; 另外, 嵌入式概念实际上是一种应用方式上的定义, 虽然也可能涉及一些特定的结构, 但其本身并不属于结构上的定义。

嵌入式系统一般由硬件和软件两部分组成。硬件包括嵌入式微处理器、存储器及外围硬件设备等; 软件部分包括嵌入式操作系统(OS, 要求实时和多任务操作)和应用程序; 应用程序控制着系统的运作和行为, 而操作系统则控制着应用程序的编程及与硬件的交互作用。

嵌入式系统的核心是嵌入式微处理器。嵌入式微处理器一般具备 4 个特点:

(1) 对实时和多任务有很强的支持能力, 能完成多任务并且有较短的中断响应时间, 从而使内部的代码和实时操作系统的执行时间减少到最低限度。

(2) 具有功能很强的存储区保护功能, 这是由于嵌入式系统的软件结构已经模块化, 而为了避免在软件模块之间出现错误的交叉作用, 需要设计强大的存储区保护功能, 同时也有利于软件诊断。

(3) 可扩展的处理器结构, 以便能迅速地扩展出满足应用的高性能嵌入式微处理器。

(4) 嵌入式微处理器的功耗必须很低, 尤其是用于便携式的无线及移动的计算和通信设备中靠电池供电的嵌入式系统更是如此, 功耗只能为 mW 甚至 μ W 级。

目前, ARM 几乎成为嵌入式技术的代名词。作为一种 16/32 位的高性能、低成本、低功耗的嵌入式 RISC 处理器, ARM 处理器已经成为当今应用广泛的嵌入式微处理器, 并且已经深入到科技、生活的各个领域。

(1) 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。

(2) 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。

(3) 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，并获得广泛支持，同时也对 DSP 的应用领域提出了挑战。

(4) 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广泛应用。

(5) 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 ARM 技术，手机中的 32 位 SIM 智能卡也采用了 ARM 技术。

总之，基于 ARM 的开发技术已经成为嵌入式系统的主流技术之一。

本书的作者有着丰富的教学和科研实践经验，在负责的多项国家级及北京市项目中多次以基于 ARM 的平台为研究与实验环境。作者能够从使用者的角度对待读者，并感受读者的需求。本书针对读者的特点，从理论和实践两个环节入手，由浅入深地、以嵌入式系统设计为主线介绍了嵌入式系统的开发方法。希望读者在建立了兴趣的基础上，能开阔思路，自行设计解决方案，并培养自主创新的能力。

本书在系统地介绍了嵌入式系统的基本知识和基于 ARM 处理器开发嵌入式系统的开发流程、开发环境的基础上，着重介绍了基于 ARM 处理器的编程模型、基本指令系统、汇编语言程序设计的基本方法、C 与 ARM 汇编语言的混合编程技术。为了增强本书的实用性，帮助读者提高实际动手能力，本书还结合北京博创兴业科技有限公司开发的 UP-CUP P270 实验平台，给出了基于 Intel Xscale 架构的 PXA270 嵌入式微处理器的大量实验实例，并给出详细的设计说明，以提供给读者参考练习。本书共分 7 章，结构安排如下：

- 第 1 章 ARM 处理器概述
- 第 2 章 ARM 开发流程及交叉开发环境
- 第 3 章 ARM 的编程模型及指令寻址方式
- 第 4 章 ARM 常用指令集及示例
- 第 5 章 ARM 汇编语言程序设计
- 第 6 章 C 与 ARM 汇编语言的混合编程
- 第 7 章 基于 ARM 的嵌入式系统设计实例

另外，书中所有设计实例的相关代码均可从电子工业出版社华信教育资源网(www.hxedu.com.cn)免费下载，以方便读者使用。

本书由关永主编，张杰、张聪霞、魏洪兴参与了编写工作。

在本书的撰写过程中，得到了北京博创兴业科技有限公司的大力支持。该公司向本书作者提供了经典的 PXA270 嵌入式系统开发平台、开发软件及其他的技术帮助。北京化工大学的薛建伟、张娜两位研究生进行了大量的材料收集、文字录入等工作，同时薛建伟对书中的设计实例进行了验证，在此表示衷心的感谢！

此外，本书在编写过程中参阅了大量的相关文献，因篇幅所限，未能一一列出，在此谨向这些文献的作者表示衷心的感谢！由于时间仓促，加之作者学识水平有限，书中疏漏之处难免，敬请专家、读者批评指正。

编 者

2010 年 9 月

目 录

第 1 章 ARM 处理器概述	(1)
1.1 初识 ARM	(1)
1.1.1 什么是 ARM	(1)
1.1.2 ARM 技术的特点及应用领域	(2)
1.2 ARM 处理器简介	(3)
1.2.1 ARM 体系结构的版本	(3)
1.2.2 ARM 处理器核扩充标识	(4)
1.3 ARM 处理器产品系列	(5)
1.3.1 ARM7 系列	(5)
1.3.2 ARM9 系列	(5)
1.3.3 ARM9E 系列	(6)
1.3.4 ARM10E 系列	(6)
1.3.5 ARM11 系列	(7)
1.3.6 SecurCore 系列	(7)
1.3.7 Xscale 系列	(7)
1.3.8 其他系列处理器	(8)
1.4 ARM 体系结构的发展	(8)
本章小结	(10)
思考题	(11)
第 2 章 ARM 开发流程及交叉开发环境	(12)
2.1 ARM 的一般开发流程	(12)
2.2 交叉开发环境简介	(12)
2.2.1 ARM 集成开发环境 ADS	(13)
2.2.2 ADS 1.2 软件的安装	(16)
2.3 一个使用 ADS 1.2 开发的简单设计实例	(19)
2.3.1 使用 CodeWarrior 建立工程	(19)
2.3.2 向工程中添加源文件	(23)

2.3.3	调试前的配置	(23)
2.3.4	编译和连接	(28)
2.3.5	使用 AXD 进行代码调试	(28)
2.3.6	使用 JTAG 工具进行硬件调试	(29)
2.3.7	代码的下载和烧写	(30)
本章小结		(30)
思考题		(30)
第 3 章	ARM 的编程模型及指令寻址方式	(31)
3.1	ARM 处理器编程模型	(31)
3.1.1	处理器的工作状态	(31)
3.1.2	处理器模式	(32)
3.1.3	寄存器的组织结构	(33)
3.1.4	存储器和存储器映射 I/O	(40)
3.1.5	异常	(43)
3.1.6	中断延迟	(49)
3.1.7	复位	(49)
思考题		(50)
3.2	ARM 基本寻址方式	(50)
3.2.1	寄存器寻址	(50)
3.2.2	立即寻址	(50)
3.2.3	寄存器移位寻址	(51)
3.2.4	寄存器间接寻址	(51)
3.2.5	变址寻址	(52)
3.2.6	多寄存器寻址	(52)
3.2.7	堆栈寻址	(53)
3.2.8	块复制寻址	(53)
3.2.9	相对寻址	(54)
本章小结		(54)
思考题		(54)
第 4 章	ARM 常用指令集及示例	(55)
4.1	ARM 指令集概述	(55)
4.2	ARM 常用指令集	(56)
4.2.1	数据传送指令	(56)

4.2.2	数据处理指令	(64)
4.2.3	乘法指令	(76)
4.2.4	跳转指令	(80)
4.2.5	协处理器及其他指令	(83)
	思考题	(88)
4.3	ARM 指令功能段示例	(88)
4.3.1	算术逻辑运算指令的应用	(88)
4.3.2	跳转指令的应用	(90)
4.3.3	Load/Store 指令的应用	(92)
4.3.4	批量 Load/Store 指令的应用	(94)
4.3.5	信号量指令的应用	(94)
4.3.6	与系统相关的一些指令代码段	(96)
4.4	Thumb 指令集简介	(100)
	本章小结	(102)
	思考题	(102)
第 5 章	ARM 汇编语言程序设计	(103)
5.1	伪操作	(103)
5.1.1	符号定义伪操作	(104)
5.1.2	数据定义伪操作	(106)
5.1.3	汇编控制伪操作	(110)
5.1.4	其他常用的伪操作	(112)
5.2	ARM 汇编语言伪指令	(118)
5.3	ARM 汇编格式	(121)
5.3.1	ARM 汇编语言的语句格式	(122)
5.3.2	ARM 汇编语言的程序格式	(129)
5.4	ARM 汇编语言程序设计举例	(130)
	本章小结	(139)
	思考题	(139)
第 6 章	C 与 ARM 汇编语言的混合编程	(140)
6.1	内联汇编和嵌入式汇编程序	(140)
6.1.1	内联汇编程序	(141)
6.1.2	嵌入式汇编程序	(149)
6.1.3	内联汇编代码与嵌入式汇编代码之间的差异	(156)

6.2	在汇编程序中访问 C 全局变量	(157)
6.3	汇编程序及 C 程序的相互调用实例	(158)
6.4	ARM 处理器上高效的 C 编程	(162)
	本章小结	(167)
	思考题	(167)
第 7 章	基于 ARM 的嵌入式系统设计实例	(168)
7.1	熟悉 Linux 开发环境	(169)
	一、实验目的	(169)
	二、实验内容	(169)
	三、预备知识	(169)
	四、实验设备及工具	(169)
	五、实验原理	(169)
	六、实验步骤	(171)
	思考题	(174)
7.2	多线程应用程序设计	(174)
	一、实验目的	(174)
	二、实验内容	(175)
	三、预备知识	(175)
	四、实验设备及工具	(175)
	五、实验原理	(175)
	六、实验步骤	(182)
	思考题	(186)
7.3	串行端口程序设计	(186)
	一、实验目的	(186)
	二、实验内容	(186)
	三、预备知识	(186)
	四、实验设备及工具	(186)
	五、实验原理	(187)
	六、实验步骤	(193)
	思考题	(194)
7.4	嵌入式 Web 服务器实验	(194)
	一、实验目的	(194)
	二、实验内容	(194)

三、预备知识	(194)
四、实验设备及工具	(194)
五、实验原理	(195)
六、各个模块设计	(199)
七、实验步骤	(205)
思考题	(205)
7.5 基于 TCP 协议的网络传输实验	(205)
一、实验目的	(205)
二、实验内容	(206)
三、预备知识	(206)
四、实验设备及工具	(206)
五、实验原理	(206)
六、实验步骤	(211)
思考题	(213)
参考文献	(214)

第1章 ARM 处理器概述

1.1 初识 ARM

1.1.1 什么是 ARM

ARM 即 Advanced RISC Machines 的缩写，有着几种不同的含义；它既是一个公司的名字，也是一类微处理器的通称，同时也是一种技术的名称。

① ARM 是一个公司的名称。1985 年 4 月 26 日，第一个 ARM 原型在英国剑桥的 Acorn 计算机有限公司诞生，由美国加州 San Jose VLSI 技术公司制造。

20 世纪 80 年代后期，ARM 很快开发出 Acorn 的台式机产品，形成英国的计算机教育基础设施。

1990 年，Advanced RISC Machines Limited 公司成立了（后来简称为 ARM Limited，即 ARM 公司）。20 世纪 90 年代，ARM 32 位嵌入式 RISC（精简指令集计算机，Reduced Instruction Set Computer）处理器扩展到世界范围，占据了低功耗、低成本和高性能的嵌入式系统应用领域的领先地位。其实 ARM 公司既不生产芯片也不销售芯片，它只出售芯片技术授权。ARM 公司的商业模式是：ARM 作为知识产权供应商，本身并不直接从事芯片生产，而是靠转让技术许可、授权 ARM 技术知识产权（IP）核给世界各大半导体生产商。

② ARM 是一类微处理器的通称。世界各大半导体生产商从 ARM 公司购买其设计的 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，即通常所说的 ARM 处理器。目前，全世界有几十家大的半导体公司都使用 ARM 公司的授权，因此既使得 ARM 技术获得了更多的第三方工具、制造业、软件的支持，也使整个系统成本降低，其产品更容易进入市场被消费者接受，同时更具有竞争力。

③ ARM 是一种技术。ARM 是一个 CPU 内核，ARM 的体系结构是一种 RISC MPU/MCU 的体系结构，即 CPU 产品所使用的一种体系结构。ARM 公司还开发了一套拥有知识产权的 RISC 体系结构的指令集。每个 ARM 处理器都有一个特定的指令

集架构，而一个特定的指令集架构又可以由多种处理器实现。确切地说，ARM 体系结构是 ARM 公司拥有知识产权的 CPU 体系结构。

1.1.2 ARM 技术的特点及应用领域

ARM 处理器以低功耗、低成本、实用性强为特点，并以优异的产品性能著称于世，其主要特点包括：

- 体积小、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 位/16 位器件。
- 大量使用寄存器，指令执行速度快。
- 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。
- 采用精简指令集计算机(RISC)，指令长度固定。

此外，ARM 处理器还采用了一些特殊的技术，在保证高性能的同时尽量减小芯片体积，降低芯片功耗，这些技术包括以下几种：

- 在同一条数据处理指令中包含算术逻辑单元处理和移位处理。
- 使用地址自动增量(增加或减少)来优化程序中的循环处理。
- Load/Store(加载/存储)指令可以批量传输数据，从而提高数据传输的速率。
- 所有指令都可以根据前面指令的执行结果决定是否执行，以提高指令的执行效率。

总之，正是因为这些优点，基于 ARM 技术的微处理器应用约占据了 32 位 RISC 处理器 75% 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。

① 无线设备：超过 85% 的无线设备(手机等)都采用了 ARM 技术，在向 3G 升级的过程中，ARM 的地位也进一步稳固。在 PDA 一类的无线设备中，ARM 针对视频流进行了优化，并获得广泛的支持。

② 蓝牙技术：有 20 多家公司的元器件产品采用了 ARM 技术，如爱立信(Ericsson)、英特尔(Intel)、科胜讯(Conexant)、朗讯(Lucent)、阿尔卡特(Alcatel)、飞利浦(Philips)和德州仪器(TI)等。

③ 联网：随着宽带接入市场的成长，采用 ARM 技术的 ADSL 芯片组已经获得了竞争优势。

④ 消费电子：ARM 技术在数字音频播放器、数字机顶盒和游戏机等方面应用广泛。

• ⑤ 汽车：包括驾驶、安全和车载娱乐等各种功能在内的设备有可能采用五六个 ARM 处理器统一实现。

⑥ 海量存储设备：采用 ARM 技术的存储产品包括硬盘系列、微型闪存卡和可读/写光盘等已经投入生产，并且将会有更加先进的产品。

⑦ 成像：包含 ARM 技术的相机和打印机。

⑧ 安全产品：在 GSM 和 3G 手机中的 32 位 SIM 智能卡。

可以看出，ARM 芯片已经获得了广泛的重视和应用。ARM 芯片有多达十几种的芯核结构，因此对其进行详细的分类是很必要的。

1.2 ARM 处理器简介

1.2.1 ARM 体系结构的版本

迄今为止，ARM 体系结构主要定义了 6 个版本，版本号分别为 1~6。表 1.1 比较了 ARM 体系结构的 6 个版本的特点。

表 1.1 ARM 体系结构的 6 个版本的特点

ARM 体系结构版本	特 点
版本 1	本版本在 ARM1 中实现，但没有在商业产品中使用。地址空间是 26 位，目前已不再使用
版本 2	地址空间也是 26 位，目前已不再使用
版本 3	主要改进是增加了两种处理器模式，使操作系统代码可以方便地使用数据访问中止异常、指令预取中止异常和未定义指令异常
版本 4	主要改进是增加了方案及指令集 T 变种，可以使处理器从 ARM 状态切换到 Thumb 状态，而且增加了处理器的特权模式方案
版本 5	主要改进是对于 T 变种的指令和非 T 变种的指令使用相同的代码生成技术，提高了 T 变种中 ARM/Thumb 之间切换的效率
版本 6	主要改进是增加了 SIMD 功能扩展

ARM 体系从版本 1 到版本 6，其指令集功能不断扩大；同时，各版本中还有一些变种 (variant)，这些变种定义了该版本指令集中不同的特定功能。

① T 变种 (Thumb 指令集)：表示 Thumb，该内核可从 16 位指令集扩充到 32 位 ARM 指令集。

② D 变种：表示 Debug，该内核中放置了用于调试的结构，通常为一个边界扫描链 JTAG，可使 CPU 进入调试模式，从而方便地进行断点设置、单步调试。

③ M 变种 (长乘法指令)：表示 Multiplier，是 8 位乘法器。

④ I 变种: 表示 Embedded ICE Logic, 用于实现断点观测及变量观测的逻辑电路部分, 其中的 TAP 控制器可接入到边界扫描链。

⑤ E 变种(增强型指令): DSP 指令支持。

⑥ J 变种(Java 加速器 Jazelle): Java 指令支持。

⑦ SIMD 变种(ARM 媒体功能扩展): 单指令流多数据流(SIMD)能力使得软件更有效地完成高性能的媒体应用, 如声音和图像编码器。

尽管 ARM 体系结构版本较多, 但每一个版本都继承了前一个版本的基本设计, 且指令集向下兼容。因此, 在设计时只要它们支持相同的 ARM 体系版本, 基于它们的应用软件将是兼容的。

1.2.2 ARM 处理器核扩充标识

ARM 系列产品通常以“ARM【x】【y】【z】【T】【D】【M】【I】【E】【J】【F】【-S】”的形式进行标识, 表 1.2 显示了 ARM 体系结构的命名规则及后缀的具体含义。

表 1.2 ARM 处理器的命名规则及后缀的具体含义

后 缀 变 量	含 义
x	系列号, 如 ARM7、ARM9
y	存储管理/保护单元
z	Cache
T	Thumb 16 位译码器
D	JTAG 调试器
M	快速乘法器
I	嵌入式跟踪宏单元
E	增强指令(基于 TDMI)
J	Jazelle 加速
F	向量浮点单元
-S	可综合版本

需要注意以下几点。

① ARM 7TDMI 之后的所有 ARM 内核, 即使“ARM”标志后没有包含“TDMI”字符, 也都默认包含了 TDMI 特性。

② 嵌入式 ICE 宏单元是建立在处理器内部用来设置断点和观察点的调试硬件。

③ 可综合, 意味着处理器内核是以源代码的形式提供的。这种源代码形式可被编译成一种易于 EDA 工具使用的形式。

1.3 ARM 处理器产品系列

ARM 处理器当前有 6 个产品系列: ARM7、ARM9、ARM9E、ARM10E、ARM11 和 SecurCore。进一步的产品来自于合作伙伴,如 Intel Xscale。ARM7、ARM9、ARM9E、ARM10E 是 4 个通用处理器系列,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 系列是专门为安全要求较高的应用而设计的。

1.3.1 ARM7 系列

ARM7 系列是低功耗的 32 位 RISC 处理器,最适合用于对价位和功耗要求较高的消费类产品。ARM7 系列有如下特点:

- 具有嵌入式 ICE-RT 逻辑,调试开发方便。
- 极低的功耗,适合对功耗要求较高的应用,如便携式产品。
- 能够提供 0.9 MIPS/MHz 的三级流水线结构。
- 兼容 16 位的 Thumb 指令集,代码密度高。
- 对操作系统的支持广泛,支持 Windows CE、Linux、Palm OS 等。
- 指令系统与 ARM9 系列、ARM9E 系列和 ARM10E 系列兼容,便于用户的产品升级换代。
- 主频最高可达 130 MHz,高速的运算处理能力能胜任绝大多数的复杂应用。

ARM7 系列微处理器包括如下几种类型的核: ARM7TDMI、ARM7TDMI-S、ARM720T、ARM7EJ-S。其中,ARM7TMDI 是目前使用最广泛的 32 位嵌入式 RISC 处理器,属于低端 ARM 处理器核。

ARM7 系列的主要应用领域包括: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。

1.3.2 ARM9 系列

ARM9 系列在高性能和低功耗特性方面有着最佳的表现,具有如下特点:

- 5 级流水线,指令执行效率更高。
- 提供 1.1 MIPS/MHz 的哈佛结构。
- 支持 32 位 ARM 指令集和 16 位 Thumb 指令集。
- 支持 32 位的高速 AMBA 总线接口。

- 全性能的 MMU，支持 Windows CE、Linux、Palm OS 等多种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，拥有更高的处理能力。

ARM9 系列包含 ARM920T、ARM922T 和 ARM940T 三种类型，以适用于不同的应用场合。

ARM9 系列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、数字照相机和数字摄像机等。

1.3.3 ARM9E 系列

ARM9E 系列支持 DSP 指令集，适合于高速数字信号处理的场合，具有如下特点：

- 支持 32 位的高速 AMBA 总线接口。
- 支持 VFP9 浮点处理协处理器。
- 5 级流水线，指令执行效率更高。
- 主频最高可达 300 MHz。

ARM9E 系列微处理器包含 ARM926EJ-S、ARM946E-S 和 ARM966E-S 三种类型，以适用于不同的应用场合。

ARM9E 系列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。

1.3.4 ARM10E 系列

ARM10E 系列具有高性能、低功耗的特点，由于采用了新的体系结构，与同等的 ARM9 器件相比较，在同样的时钟频率下，性能提高了近 50%。同时，ARM10E 系列采用了两种先进的节能方式，使其功耗极低。ARM10E 系列具有如下特点：

- 支持 DSP 指令集，适合于需要高速数字信号处理的场合。
- 6 级流水线，指令执行效率更高。
- 支持 32 位的高速 AMBA 总线接口。
- 支持 VFP10 浮点处理协处理器。
- 内嵌并行读/写操作部件。
- 主频最高可达 400 MHz。