

电子电气技术课程设计指导丛书

- ARM微处理器的基础知识
- ARM微处理器的开发应用技术
- ARM微处理器应用的10个精彩实例

ARM

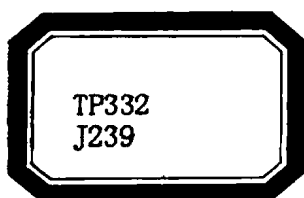
嵌入式系统 技术开发与应用实践

贾东永 孙印杰 陈 安 等编著



电子工业出版社
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

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



电子电气技术课程设计指导丛书

—3

ARM 嵌入式系统 技术开发与应用实践

贾东永 孙印杰 陈 安 等编著

TP332
J239

電子工業出版社·

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

内 容 简 介

本书从实际应用出发,以工程实践为平台,向读者介绍 ARM 嵌入式系统开发的理论基础以及实践知识,形成以实践为特色,以基本知识为依托的基本知识体系结构。

在第一部分(基本技术部分)中,主要介绍了 ARM 微处理器的基础知识,包括 ARM 微处理器的架构、ARM 指令集和 Thumb 指令集、微处理器的外设、Windows 下的开发环境和程序设计等。

第二部分共 10 章,每一章都介绍一个典型实例的开发,多角度、多层次地向读者介绍实际应用系统开发的过程与技术特点。在这部分中介绍的实例都以 LPC2131 型 ARM 微处理器为核心微处理器,其内容涵盖了多个应用领域,包括小型电子设备、仪器仪表、控制系统等多个方面。

全书以实用为宗旨,以系统的开发为目标,实例内容丰富,涉及范围广,具有较强的实用性和参考性。本书可作为大专院校电气工程及其自动化、自动化工程、测控技术、机电一体化、电子信息类专业及相近专业的 ARM 电子系统开发实践环节教材或理论教学参考书,也可做相关工程技术人员的参考资料。

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 嵌入式系统技术开发与应用实践 / 贾东永等编著. —北京: 电子工业出版社, 2009.9

(电子电气技术课程设计指导)

ISBN 978-7-121-09425-5

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

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 148008 号

责任编辑: 谭佩香

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: 787×1092 1/16 印张: 17.5 字数: 426 千字

印 次: 2009 年 9 月第 1 次印刷

定 价: 35.00 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

随着电子技术的发展,以 ARM 微处理器为核心的电子应用系统已经进入人们日常生产生活的各个方面,ARM 以其出色的性能优势赢得了广大电子产品开发者的认可。如何巧妙地应用 ARM 微处理器的技术特点,在最短的时间内开发出高性能和低成本电子系统是广大技术开发人员最关心的问题。

本书以 NXP 公司生产的 LPC213X 系列 ARM 微处理器为对象,以系统开发为目标,从基础和实践两个方面来介绍基于 ARM 微处理器的开发技术。全书分为两个部分。第一部分为基本技术部份,由七章内容组成,介绍了 ARM 微处理器的基础知识和基本技术,作为第二部分实践模块的铺垫。在第 1 章中,主要介绍了各种 ARM 微处理器和电子系统的基本概念,使读者对 ARM 微处理器和基于 ARM 的系统开发有直观的了解。第 2 章介绍了 ARM 微处理器的体系架构,包括指令流水、存储器架构和寄存器结构等。第 3 章和第 4 章分别介绍了 ARM 微处理器的两种指令集,ARM 指令集和 Thumb 指令集。通过对两种指令集中主要指令的介绍,可以使读者对它们的主要特点和优缺点有直接的了解。第 5 章介绍了如何利用 C 语言或者汇编语言开发 ARM 微处理器的应用程序,包括如何设计程序框架,如何实现两种语言的交叉使用等。第 6 章介绍了 ARM 微处理器中一些常见的功能模块,和电子系统中几个比较普遍的通信协议,使读者渐渐上升到一个系统开发者的高度看问题。第 7 章也就是基础部分的最后一章,介绍了典型的 ARM 小系统和 Windows 下 ARM 的开发环境 ADS,使读者渐渐向实际应用靠拢,为读者过渡到本书的第二部分打好基础。

本书的第二部分主要介绍 ARM 微处理器的实例。通过 10 个实例,深入浅出地介绍如何利用 ARM 进行各种应用系统的开发。所选择的实例,都以 LPC2131 型 ARM 微处理器为控制核心,为了实现不同的系统需求,采用不同的电路和控制方式,最终的目的都为了更高效可靠地完成系统的开发,内容包括交通信号灯控制系统、数字秒表、温度计、俄罗斯方块游戏、服务请求系统、手写板、无线指令终端、计算器、USB-Key 和逻辑分析仪。通过实例的开发,增强和拓展将基础知识应用到工程实践中的能力与思路,借以扩展和提高读者的系统开发水平。实例部分所涉及的案例,都是日常生活中和学习研究中比较常见和熟悉的应用,不但有比较强的综合性,而且容易激发读者的学习兴趣。

为了便于学习和借鉴,10 个实践案例的源程序,读者可从 <http://www.tqxbok.com> 中的相应书名的资源中下载。

由于 ARM 微处理器功能强大,产品系列庞杂,本书有限的篇幅不可能完整介绍 ARM 微处理器的各个方面。真正利用 ARM 微处理器进行设计会涉及很多技术细节,本书也不可

能一一罗列，因为过多的内容只会让读者觉得应接不暇。本书的编写只是通过对原理和一些设计实例的介绍，为读者利用 ARM 微处理器进行项目开发打下一个坚实的基础。

本书由贾东永、孙印杰、陈安统稿，参加本书编写的人员还有：朱敬、张凌云、刘文、李龙、魏东、王立华、李勇、刘峰、徐浩、李建国、马建军和张新等。由于作者水平有限，难免存在一些错误和不足，希望广大读者批评与指正。

我们的 E-mail 地址：qiyuqin@phei.com.cn。

编著者

2009 年 5 月

目 录

第 1 章 ARM 微处理器概述	1
1.1 ARM 简介	1
1.1.1 ARM 的历史	1
1.1.2 ARM 微处理器的技术特点	2
1.2 ARM 微处理器系列简介	3
1.2.1 Actel 公司可编程器件	4
1.2.2 ATMEL 公司微控制器	5
1.2.3 Intel 公司 XScale 微处理器	5
1.2.4 NXP 公司微控制器	6
1.2.5 三星公司微处理器	7
1.3 ARM 嵌入式系统概述	7
1.3.1 嵌入式系统硬件基础	8
1.3.2 嵌入式系统软件基础	10
1.3.3 常见嵌入式系统简介	14
1.4 本章小结	16
1.5 课后习题	17
第 2 章 ARM 体系结构	19
2.1 ARM 的组织和实现	19
2.1.1 3 级流水 ARM 的组织	19
2.1.2 5 级流水 ARM 的组织	20
2.1.3 ARM 的指令执行	21
2.1.4 ARM 的工作状态	22
2.1.5 ARM 的工作模式	22
2.2 异常	23
2.2.1 异常类型	23
2.2.2 异常发生过程	25
2.3 ARM 的寄存器	25
2.3.1 通用寄存器	26
2.3.2 状态寄存器	27
2.3.3 Thumb 状态下的寄存器集	28
2.4 存储器层次	28
2.4.1 存储器容量及速度	28
2.4.2 片上存储器	29
2.4.3 Cache	29
2.5 ARM 体系结构对系统开发的支持	30
2.5.1 ARM 协处理器接口	30
2.5.2 AMBA 总线	31
2.5.3 JTAG 边界扫描测试结构	31
2.5.4 ARM 调试结构	33

2.6	本章小结	33
2.7	课后习题	34
第 3 章	ARM 指令集	35
3.1	ARM 指令集简介	35
3.1.1	ARM 指令格式	35
3.1.2	ARM 指令条件码	36
3.1.3	ARM 指令的 S 标志	37
3.2	指令集分类介绍	37
3.2.1	跳转指令	38
3.2.2	算术运算指令	40
3.2.3	逻辑运算指令	46
3.2.4	存储器访问指令	48
3.2.5	数据传送指令	54
3.2.6	协处理指令	56
3.2.7	异常产生指令	58
3.2.8	移位指令	59
3.3	ARM 的寻址方式	61
3.3.1	立即寻址方式	62
3.3.2	寄存器寻址方式	62
3.3.3	寄存器移位寻址方式	62
3.3.4	寄存器间接寻址方式	62
3.3.5	基址变址寻址	63
3.4	本章小结	63
3.5	课后习题	63
第 4 章	Thumb 指令集	65
4.1	Thumb 指令集概述	65
4.1.1	Thumb 指令集与 ARM 指令集的区别	65
4.1.2	Thumb 指令集代码	65
4.1.3	Thumb 状态下 ARM 微处理器的寄存器组织	67
4.2	Thumb 指令集分类介绍	67
4.2.1	跳转指令	67
4.2.2	算术运算指令	71
4.2.3	逻辑运算指令	78
4.2.4	存储器访问指令	81
4.2.5	数据传送指令	92
4.2.6	异常产生指令	94
4.2.7	移位指令	95
4.3	本章小结	99
4.4	课后习题	99
第 5 章	ARM 程序设计	101
5.1	ARM 汇编程序	101
5.1.1	ARM 汇编程序开发框架	101
5.1.2	符号数据的定义与使用	103
5.1.3	Thumb 指令与 ARM 指令混合使用	104

5.1.4	汇编语言的子程序调用	104
5.2	ARM 嵌入式 C 语言程序	105
5.2.1	变量的定义	105
5.2.2	存储类型	107
5.2.3	用户自定义类型	107
5.2.4	函数的定义	108
5.2.5	中断处理函数	109
5.2.6	预处理程序	110
5.2.7	程序控制语句	112
5.3	C 语言与汇编语言混合编程	113
5.3.1	C 语言中内嵌汇编	114
5.3.2	C 程序调用汇编程序	115
5.3.3	汇编程序调用 C 语言代码	115
5.3.4	高级语言与汇编语言调用规则	116
5.4	本章小结	117
5.5	课后习题	117
第 6 章	ARM 芯片的系统设计	119
6.1	ARM 芯片选型	119
6.1.1	性能参数的考虑	119
6.1.2	外设接口的考虑	120
6.1.3	芯片封装的选择	121
6.1.4	LPC213X 系列 ARM 微处理器介绍	122
6.2	ARM 微处理器常见功能模块介绍	123
6.2.1	时钟管理	123
6.2.2	看门狗	124
6.2.3	Embedded-ICE 逻辑	125
6.3	ARM 微处理器的接口模块	126
6.3.1	UART 接口	127
6.3.2	I ² C 接口	128
6.3.3	SPI 接口	129
6.3.4	脉宽调制器	131
6.3.5	A/D 转换器	132
6.3.6	实时时钟	134
6.3.7	Embedded-ICE 逻辑模块	134
6.4	本章小结	135
6.5	课后习题	135
第 7 章	ARM 嵌入式系统开发	137
7.1	ARM 嵌入式系统的基本知识	137
7.1.1	ARM 小系统	137
7.1.2	存储地址的映射和重映射	138
7.1.3	系统初始化	139
7.2	ARM 嵌入式软件的基本概念	141
7.2.1	目标文件	141
7.2.2	镜像文件	141
7.2.3	镜像文件的执行	142

7.3	ARM 的软件开发环境 ADS	142
7.3.1	CodeWarrior 开发环境	143
7.3.2	ADS 中的编译链接	145
7.3.3	AXD 调试器介绍	147
7.3.4	AXD 调试器的使用	148
7.4	本章小结	151
7.5	课后习题	152
第 8 章	交通信号灯控制系统	153
8.1	实例说明	153
8.2	硬件电路设计	154
8.2.1	LED 输出电路	155
8.2.2	按键电路	156
8.2.3	信号灯显示控制电路	156
8.3	软件设计	157
8.3.1	LED 输出程序	157
8.3.2	按键扫描程序	159
8.3.3	时间中断处理函数	160
8.3.4	主函数	161
8.4	实例总结	163
第 9 章	数字秒表	165
9.1	实例说明	165
9.2	硬件电路设计	165
9.2.1	ARM 微处理器电路	165
9.2.2	键盘输入电路	168
9.2.3	LED 输出电路	168
9.3	软件设计	170
9.3.1	秒表计时器控制	170
9.3.2	键盘输入扫描程序	172
9.3.3	LED 七段码扫描程序	173
9.3.4	主控程序	174
9.4	实例总结	175
第 10 章	温度计	177
10.1	实例说明	177
10.2	温度计的硬件设计	178
10.2.1	传感器电路	178
10.2.2	A/D 接口电路	178
10.2.3	按键电路	179
10.2.4	LED 驱动电路	180
10.3	温度计的软件设计	182
10.3.1	检测按键输入	182
10.3.2	LED 显示输出	182
10.3.3	温度测量和参数校正	184
10.3.4	程序总体框架	185
10.4	实例总结	186

第 11 章 俄罗斯方块游戏	187
11.1 实例说明	187
11.2 硬件电路设计	188
11.2.1 点阵型 LCD	188
11.2.2 按键电路	191
11.3 软件设计	192
11.3.1 按键扫描函数	192
11.3.2 时间中断处理函数	193
11.3.3 液晶显示函数	193
11.3.4 游戏内核	195
11.3.5 主函数	197
11.4 实例总结	198
第 12 章 服务请求系统	199
12.1 实例说明	199
12.2 系统设计	200
12.3 服务终端设计	201
12.3.1 硬件设计	201
12.3.2 软件设计	201
12.4 控制中心设计	202
12.4.1 硬件设计	202
12.4.2 软件设计	203
12.5 实例总结	206
第 13 章 手写板	207
13.1 实例说明	207
13.2 硬件电路设计	207
13.2.1 触摸屏原理介绍	208
13.2.2 触摸屏电路	211
13.2.3 SRAM 电路	211
13.2.4 USB 接口电路	213
13.3 软件设计	214
13.3.1 时间中断程序	214
13.3.2 USB 通信程序	214
13.3.3 触摸屏控制程序	215
13.3.4 主程序	217
13.4 实例总结	218
第 14 章 无线指令终端	219
14.1 实例说明	219
14.2 硬件设计	220
14.2.1 按键电路设计	220
14.2.2 字符型液晶显示电路	221
14.2.3 nRF905 芯片介绍	221
14.2.4 无线接收模块电路	224

14.3	软件设计	225
14.3.1	无线接收程序	225
14.3.2	液晶控制程序	227
14.3.3	主函数	228
14.4	实例总结	230
第 15 章	计算器	231
15.1	实例说明	231
15.2	硬件电路设计	231
15.2.1	字符型液晶显示	231
15.2.2	键盘输入	234
15.3	软件设计	235
15.3.1	液晶显示	235
15.3.2	按键扫描	236
15.3.3	表达式计算	238
15.3.4	主函数	240
15.4	实例总结	241
第 16 章	USB-Key	243
16.1	实例说明	243
16.2	硬件电路设计	244
16.2.1	Flash 电路设计	244
16.2.2	USB 接口设计	246
16.3	软件设计	247
16.3.1	UART 操作函数	247
16.3.2	Flash 操作函数	249
16.3.3	主函数	250
16.4	实例总结	252
第 17 章	逻辑分析仪	253
17.1	实例说明	253
17.2	硬件电路设计	254
17.2.1	FPGA 芯片 XC3S250	254
17.2.2	双口 RAM 电路	257
17.2.3	FPGA 与 ARM 微处理器的接口电路	258
17.2.4	ARM 微处理器与 USB 接口电路	259
17.3	软件设计	259
17.3.1	ARM 与 FPGA 的通信协议	260
17.3.2	ARM 微处理器与 PC 的通信协议	260
17.3.3	FPGA 中的逻辑	261
17.3.4	系统的工作流程	262
17.3.5	ARM 微处理器上的程序设计	262
17.4	实例总结	264
附录 A	习题答案	265

第 1 章 ARM 微处理器概述

ARM 微处理器在我们日常消费的电子生产控制领域随处可见，其优越的性能和完善的开发环境得到了广大电子工程师的青睐。

ARM 微处理器由 ARM 公司提供 IP 授权，由多个芯片设计厂商进行整合生产。随着 ARM 的发展，其内核版本和生产厂商越来越多，因此市场上能够找到的 ARM 芯片种类繁多。虽然不同的 ARM 微处理器有着不同的特点，但是有一个特点是共同的，即它们有着类似的体系结构。

本章将介绍 ARM 微处理器的基本知识和常见的 ARM 微处理器，并对基于 ARM 微处理器的嵌入式系统做简要介绍。

1.1 ARM 简介

初次接触 ARM 的人心里都会有这样的疑问：什么是 ARM？ARM 的英文全称是 Advanced RISC Machine，既可以认为是一个公司的名字，也可以认为是一种微处理器核技术的名称，还可以认为是带有这种微处理器核技术的一类芯片的统称。对于从事系统开发的电子工程师来说，ARM 通常是指带有 ARM 核的一类微处理器。

1.1.1 ARM 的历史

ARM 公司（Advanced RISC Machine）是微处理器行业一家知名企业，1990 年 11 月成立于英国，是苹果电脑、Acorn 电脑集团和 VLSI Technology 的合资企业。

1985 年，Acorn 推出世界上首个商用 RISC 微处理器，这就是 ARM 最初的原型，其英文全称是 Acorn RISC Machine。而苹果电脑当时希望将 RISC 技术应用于自身系统，于是在 20 世纪 80 年代后期，苹果电脑开始与 Acorn 合作开发新版的 ARM 核芯。Acorn 公司非常重视这项合作，在 1990 年将 ARM 的设计团队另组成一家名叫 Advanced RISC Machine 的公司。也正是由于这个原因，我们通常将 ARM 称作 Advanced RISC Machine，而不是 Acorn RISC Machine。1998 年 ARM Holding Plc 在伦敦交易市场和 NASDAQ 挂牌上市，使得 ARM 成为了 ARM Ltd. 旗下拥有的产品。

但是作为嵌入式系统的系统级开发人员来说，可能对 ARM 公司并不熟悉。因为 ARM 公司既不生产芯片也不销售芯片，它只以授权的方式转让它的芯片技术。它在微处理器行业中的地位有点类似于高通公司在通信行业中的位置，它真正的产品是技术的知识产权。1991 年 ARM 公司推出首个嵌入式 RISC 核心——ARM6TM 微处理器系列后不久，VLSI 率先获得技术授权，随后夏普、GEC Plessey、德州仪器（英文缩写为 TI）和 Cirrus Logic 也成为授权用户，随后 ARM 又相继推出了 ARM7，ARM9，ARM10，ARM11。与此同时，ARM 在美国加利福尼亚、日本东京、德国慕尼黑等世界各地开设了办事处，授权用户也急剧增加。到目前为止，全球有 103 家巨型 IT 公司在采用 ARM 技术，20 家最大的半导体厂商中除了 AMD

以外其他 19 家均是 ARM 的用户，包括德州仪器、意法半导体、Philips、Intel 等。

ARM 之所以取得如此巨大的成功。主要基于以下两点。

1. 致力于发展低功耗、低成本的微处理器技术

在竞争对手都着眼于提高性能，发展适合高端工作站使用的 RISC 结构的时候，ARM 将目光投向了低成本、低功耗的 RISC 结构，并且成功研制了首个低成本 RISC 微处理器结构，迅速在市场上崭露头角。

因为有低功耗的特点，使得采用 ARM 技术的芯片非常适用于移动终端设备中，再加上它的低成本，使它非常容易被广大厂商接受。尽管 Intel 的微处理器在 PC 领域处于压倒性优势地位，但在嵌入系统领域，Intel 还是要使用 ARM 核的技术授权。例如，推出基于 ARM 技术的 MP3 播放器，Intel 与 TI 在 2001 年 7 月 30 日同时取得 ARM V6 结构的授权。微软的 PocketPC 今后只支持 ARM 结构。Motorola、National Semiconductor、Lucent 等一批厂商都取得 ARM 核的技术授权。同时随着合作伙伴的增多，ARM 获得了更多第三方工具、软件和制造的支持，这样就使得基于 ARM 技术的产品的开发时间减少、成本更低，更具备竞争优势。

2. 成功的商业模式

ARM 公司是一家既不生产芯片也不销售芯片的公司，它通过出售芯片技术授权，建立起新型的微处理器设计、生产和销售商业模式。这种商业模式取得了极大的成功，采用 ARM 技术 IP 核的微处理器遍及各类电子市场，包括汽车、消费电子、成像、工业控制、海量存储、网络、安保和无线等，ARM 技术几乎无处不在。

ARM 将其技术授权给世界上许多著名的半导体、软件和 OEM 厂商，每个厂商得到的都是一套独一无二的 ARM 相关技术及服务。基于这种大范围的合作关系，ARM 很快成为全球性 RISC 标准的缔造者。

1.1.2 ARM 微处理器的技术特点

到 2008 年为止，带有 ARM 核的微处理器产量累计已经达到了 100 亿个。我们日常生活中所接触到的手机、PDA 等众多电子消费品中无不存在着 ARM 的影子。ARM 之所以取得如此巨大的成功，跟它在技术上的优势是密不可分的。这一节将简要介绍 ARM 的技术特点。

1. 低功耗

ARM 微处理器低功耗的特点使得它非常适合应用到手持电子设备当中。目前，ARM 微处理器和包含 ARM 核的 SOC 芯片已经在手持终端、手机、MP4 等电子设备中得到了广泛的应用。

2. 开发周期短

开发周期是由 ARM 的商业模式决定的。ARM 公司将成熟的 ARM 技术直接授权给芯片设计厂商，大大缩短了产品开发周期。这对于芯片设计厂商是个非常大的优势。

3. 支持 Thumb 和 ARM 双指令集

ARM 微处理器有 ARM 和 Thumb 两种工作状态，它们分别支持 32 位的 ARM 指令集

和 16 位的 Thumb 指令集。这两种指令集各有所长。32 位的 ARM 指令集在功能上相对更丰富，性能更好，实现同样的功能所需的指令数量较少；而 16 位的 Thumb 指令集是 ARM 指令集的子集，虽然实现相同功能的指令数量比 ARM 指令集多，但是程序空间却相对较小。由于 16 位位宽的译码逻辑相对简单，Thumb 指令集在功耗上更低。

这两种指令集各有优势，ARM 微处理器支持在运行状态下这两种工作状态进行切换，这使得 ARM 微处理器可以充分发挥这两种指令集各自的优势。

4. 高效的总线系统

AMBA (Advanced Microcontroller Bus Architecture) 总线是一组针对基于 ARM 核的片上系统开发的的总线规范，它由 ARM 公司设计，独立于微处理器的制造工艺技术。AMBA 规范定义了 3 种可以组合使用的不同类型的总线。

- AHB (Advanced High-performance Bus) 支持多种数据传输方式、多个总线主设备，适合于高性能和高时钟频率的系统模块。如 CPU、片上存储器、DMA 设备、DSP 或者其他协处理器等。
- ASB (Advanced System Bus) 也适用于高性能的系统模块。在不需要使用 AHB 的场合，可以选择 ASB 作为系统总线。
- APB (Advanced Peripheral Bus) 主要特点是简单、低速、低功耗。它适用于低功耗、低速的外部设备。

采用 AMBA 总线系统，可以充分发挥 ARM 的性能优势，提高系统的数据吞吐量。

1.2 ARM 微处理器系列简介

由于 ARM 公司成功的商业模式，使得 ARM 在核市场上取得了巨大成功，基于 ARM 技术的微处理器应用约占据了 32 位 RISC 微处理器 75% 以上的市场份额。目前广泛应用的 ARM 微处理器包括 ARM7、ARM9、ARM9E、ARM10E、SecurCore、Xscale、StrongARM 以及 ARM11 等几个系列。它们的架构特点见表 1-1 所列。

表 1-1 ARM 微处理器系列

系 列	架 构	类 型 (核)	特 点
ARM7	ARMv4T	ARM7TDMI、ARM7TEMI-S ARM720T、ARM7EJ	3 级流水线，ARM7EJ 采用 ARMv5TE 架构
ARM9	ARMv4T	ARM920T、ARM922T、ARM940T	5 级整数流水线
ARM9E	ARMv5TE	ARM926EJ-S、ARM936E-S、 ARM966E-S	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
ARM10E	ARMv5TE	ARM1020E、ARM1022E、 ARM1026EJ-S	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
ARM11	ARMv6	ARM1136J、ARM1156、ARM1176、 ARM11MPCore	8 级整数流水线，单指令发射，分支预测，非阻塞和缺失命中操作，并行流水线处理，乱序执行，局部使用 64 位结构
Cortex	ARMv7	Cortex-A8、Cortex-R4、Cortex-M3	Thumb-2 技术，采用 NEON 技术，支持改良的浮点运算
Xscale	ARMv5TE		Intel，支持 DSP 指令集

各大微处理器生产厂商利用 ARM 公司的 IP 授权，为 ARM 核定制了各种各样的外围设备，形成了形态各异的 ARM 微处理器。下面简要介绍 ARM 主要生产厂商推出的 ARM 器件。

1.2.1 Actel 公司可编程器件

Actel 公司是单芯片 FPGA 解决方案的领导性厂商。它成立于 1985 年，全球雇员超过 570 人。它的产品涉及低功耗 FPGA、混合信号 FPGA、开发软件、系统解决方案等。产品市场包括便携设备、医疗、军事技术、航空航天、汽车电子等各个方面。

2005 年，ARM 和 Actel 签订了一项具有里程碑意义的协议，即 ARM 公司将 ARM 微处理器作为“软”IP 授权给 Actel 公司，将原来的 ARM 核针对 FPGA 器件进行了适当的优化，推出世界上第一款面向 FPGA 应用的 ARM 核——Cortex™—M1。Cortex™—M1 的最高工作频率可以达到 68 MHz，并且可以用相对较少的资源在 FPGA 中实现。Cortex™—M1 支持 Thumb 指令集，使得原来用 Thumb 指令集开发的程序可以很方便地移植到 Cortex™—M1 上。另外 Cortex™—M1 的 AHB 总线接口让设计者可以方便地为 ARM 核添加外设。

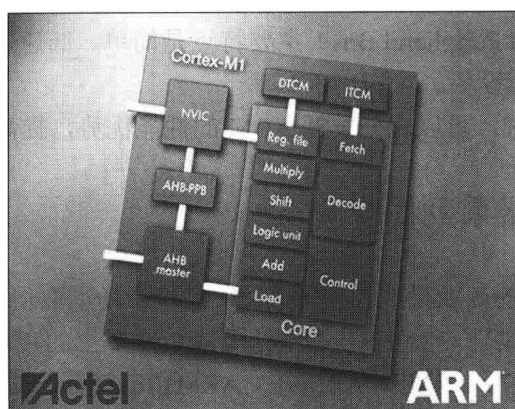


图 1-1 Cortex—M1

除了 Actel 和 ARM 为 Cortex™—M1 提供广泛的工具支持（如 SmartDesign、CoreConsole、SoftConsole 和 RealView）外，Cortex™—M1 还有着广泛的第 3 方工具支持，包括编译器、调试器、实时操作系统支持。Cortex™—M1 有着以下几方面的特性。

- 专门为在 FPGA 中实现做了优化，使得在 FPGA 中实现时能够兼顾速度和资源。
- 支持所有的 Thumb 指令集。
- 32 比特位宽的 3 级流水线结构。
- 存储接口和 AHB 总线接口分离，提高了数据访问速度。
- 用户能够访问所有 Cortex—M1 的 I/O 接口。
- Actel 可编程器件用户无需为 ARM 核付任何知识产权费用。
- 集成实时调试和 JTAG 接口。

有关 Cortex—M1 更详细的信息，读者可以查阅 Actel 的官方网站 <http://www.actel.com>。

1.2.2 ATMEL 公司微控制器

ATMEL 公司是世界上高级半导体产品设计、制造和行销的领先者，是非易失性存储器技术的创建之父，产品包括了微处理器、可编程逻辑器件、非易失性存储器、安全芯片、混合信号及 RF 射频集成电路。通过这些核心技术的组合，ATMEL 生产出了各种通用目的及特定应用的系统级芯片，以满足当今电子系统设计工程不断增长和演进的需求。在 ATMEL 公司的产品中，我们比较熟悉的要数 AVR 单片机和 8051 单片机了。

ATMEL 的 AT91SAM 系列 32 位 ARM 微控制器是为系统设计、用户界面管理等应用而开发的，它具有低功耗、易于使用的特点。这个系列提供了各种不同的存储器容量和片上功能，以确切地满足各种高性能应用的需要。目前 AT91SAM 已经在 POS 终端、工业控制、PC 机外设、玩具和手机上得到了广泛应用。表 1-2 列出了 ATMEL 公司几个基于 ARM 的微控制器的型号，要查看更多的 ATMEL 公司 ARM 微控制器的信息，请读者登录 ATMEL 公司的官方网站 <http://www.atmel.com> 查询。

表 1-2 ATMEL 公司部分基于 ARM 的微控制器

器件型号	Flash 容量	SRAM 容量	时钟频率	ARM 核
AT91M42800A	-	8 KB	33 MHz	7TDMI
AT91M55800A	-	8 KB	33 MHz	7TDMI
AT91SAM7A3	256 KB	32 KB	60 MHz	7TDMI
AT91SAM7L128	128 KB	6 KB	36 MHz	7TDMI
AT91SAM7S128	128 KB	32 KB	55 MHz	7TDMI
AT91SAM7SE256	256 KB	32 KB	48 MHz	7TDMI
AT91SAM7X128	128 KB	32 KB	55 MHz	7TDMI
AT91SAM9260	-	2×4 KB	21 MHz	926EJ-S

ATMEL 的 DIOPSIS 系列是面向视屏、语音应用领域推出的 SOC 芯片。这个系列的芯片中集成了一个浮点 DSP 微处理器和一个 ARM926EJ-S 核，兼具 ARM 和 DSP 微处理器的优点使得它能够同时满足和控制大量数值运算的需要。DIOPSIS 提供了丰富的外设，如 USB、Ethernet MAC、4xSSC、3xUSART、2xSPI、Time Counter、2xTWI 和 2xCAN 等。它每秒钟可进行 10 亿次的浮点运算和 220 M 的指令操作，浮点的运算精度可以达到 40 个浮点位。此外它还有一套强大的开发工具和一个完整的库。

1.2.3 Intel 公司 XScale 微处理器

当年 ARM 推出嵌入式核芯之后，DEC 公司获得许可并在此基础上开发出增强版的 StrongARM 微处理器。后来 DEC 公司的半导体部门被 Intel 公司收购，而其余部分则被 Compaq 公司并购，自此 StrongARM 便成了 Intel 公司的产品。此后 Intel 公司围绕着 StrongARM 开发出了一系列的产品。ARMV5TE 问世之后，Intel 公司又以此为基础定义了自己的 XScale 系统结构，并开发出采用 XScale 内核的 PXA-250、“I/O 微处理器 80200”等芯片。由于 XScale 系统结构的核是基于更新版本的 ARM 系统结构的，又与 StrongARM 向下兼容，因此 Intel 公司在 2004 年以后就停止生产 StrongARM，而把相应的研发和生产能力都转到了 XScale 方面，目前 XScale 已经在 PDA 领域占有举足轻重的地位。

在指令集结构上, XScale 仍然属于 ARM 的“V5TE”体系, 与 ARM10 系列内核相同, 但它拥有与众不同的 7 级流水线, 除了无法直接支持 Java 解码和 V6 SIMD 指令集外, 各项性能参数与 ARM11 核心都比较接近。再结合 Intel 在半导体制造领域的技术优势, XScale 的性能获得了极大提升, 它的最高频率可达到 1 GHz, 并保持 ARM 体系固有的低功耗特性。加上丰富的软件支持、强大的扩展能力和附属功能, 以及 Intel 在产业界的巨大影响力, XScale 被广泛应用于 Pocket PC 和 Palm 平台的 PDA 产品中, 成为该领域的事实主宰者。其他半导体厂商(如索尼、三星)基于 ARM 的解决方案虽然也有一定的市场, 但在该领域完全不是 Intel XScale 的对手, 连曾依赖 Dragonball 微处理器成为霸主的摩托罗拉也都无力反击。

到目前为止, Intel 已推出 PXA25x、PXA26x 和 PXA27x 三代 XScale 架构的嵌入式微处理器。PXA25x 采用 0.18 μm 工艺制造, 拥有 32 KB 指令缓存和 32 KB 数据缓存, 并具有专用于多媒体数据流的 2 KB 缓存。PXA25x 整合的功能极为强大, 可支持 4 Bank 结构、最多 256 MB 容量的 100 MHz SDRAM 内存或闪存, 采用 16、32 位宽度总线连接; 支持双 Bank 结构的 PCMCIA、CF 卡控制器和 MMC/SD 存储卡控制器; 整合 LCD 显示控制器, 最多可支持 16 位色彩显示, 且具有一定的几何填充、矩形单元变换等硬件加速功能; 支持 AC97 音频、USB、蓝牙和红外接口等等。PXA25x 系列有 200 MHz、300 MHz、400 MHz 3 个频率的版本, 芯片封装尺寸只有 17 $\times$ 17 mm。由于微处理器自身具备强大的扩展功能, PDA 厂商的设计工作变得很简单。目前 PDA 或智能手机中 90% 以上的功能都是由微处理器直接整合, 厂商并不需要进行额外的设计, 这就是高集成度带来的好处。

相比之下, PXA26x 系列只能算是 PXA25x 的扩展, 两者的核心设计以及功能扩展完全相同, 不同之处在于, PXA26x 系列在微处理器中直接集成了闪存。一个完整的 PXA26x 产品由 1 枚处理核心和 1 到 2 枚闪存芯片共同组成, 对应 16 MB、32 MB 的闪存配置方案, 这种方式分别比传统的分离封装方案节省了 56% 和 65% 的空间占用。不过, 板载闪存也将占用 6 个 Bank 中的一个, 若该系统集成了 4 Bank、256 MB 容量的 SDRAM, 那么仅剩 1 个 Bank 可供 CF/PCMCIA 插槽或其他类似的设备使用。但总的来说, PXA26x 所拥有的高集成度让它非常适合追求便携性的 PDA、智能手机的切实需要, 推出之后获得市场的热烈反响, 目前仍然还占据着主流地位。

PXA27x 系列是 Intel 目前的主打产品, 它的发布时间是在 2004 年 4 月份。PXA27x 最大的改进就是采用 0.13 μm 制造工艺, 时钟频率提升至 624 MHz 的高水平。其次, PXA270x 首次引入 Intel 的无线 MMX 技术, 它是一套 64 位的 SIMD 指令集, 这些指令集可有效增强视频、3D 图形、音频以及其他 SIMD 元素的处理效率, 显著改善了多媒体处理性能。

1.2.4 NXP 公司微控制器

NXP 是一家成立于 2006 年的公司, 总部在荷兰, 它的前身是飞利浦公司的半导体部门。该企业涉足半导体行业的历史超过 50 年, 是半导体行业的领先企业。它主要提供各种半导体产品与软件, 为移动通信、消费类电子、安全应用、非接触式付费与连线, 以及车内娱乐与网络等产品带来更优质的感知体验。

NXP 的 ARM7 微控制器系列包括 LPC2100 系列、LPC2200 系列、LPC2300 系列、LPC2400 系列和 LPC2800 系列。它们的微处理器核都是 ARM7TDMI-S。