

嵌入式系统原理及应用

——基于 ARM Cortex-M4 体系结构

杨永杰 许鹏 主编

嵌入式系统原理及应用

——基于 ARM Cortex-M4 体系结构

主编：杨永杰 许 鹏

参编：蔡 燕 申红明 章国安



 **北京理工大学出版社**
BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

内 容 简 介

本书从工程实践的角度出发,以ARM Cortex-M4架构为研究对象,系统地介绍嵌入式系统ARM微处理器的基础知识,以及编程模型、指令系统、汇编程序设计、嵌入式C语言设计、工作原理和开发环境,并以STM32F4教学开发平台为例,介绍MDK5开发环境和典型应用,最后对典型工程应用开发的实例进行分析。

本书内容全面、由浅入深,叙述言简意赅、清晰流畅,讲解通俗易懂,各章实例均已验证。

本书可以作为高等院校相关专业的本科高年级学生和研究生专业课教材,也可以作为从事嵌入式系统开发和设计人员的参考用书。

版权专有 侵权必究

图书在版编目(CIP)数据

嵌入式系统原理及应用:基于ARM Cortex-M4体系结构/杨永杰,许鹏主编. —北京:北京理工大学出版社,2018.8

ISBN 978-7-5682-6268-2

I. ①嵌… II. ①杨… ②许… III. ①微型计算机-系统设计-高等学校-教材
IV. ①TP360.21

中国版本图书馆CIP数据核字(2018)第201926号

出版发行 / 北京理工大学出版社有限责任公司

社 址 / 北京市海淀区中关村南大街5号

邮 编 / 100081

电 话 / (010) 68914775 (总编室)

(010) 82562903 (教材售后服务热线)

(010) 68948351 (其他图书服务热线)

网 址 / <http://www.bitpress.com.cn>

经 销 / 全国各地新华书店

印 刷 / 北京富达印务有限公司

开 本 / 787毫米×1092毫米 1/16

印 张 / 10.5

字 数 / 248千字

版 次 / 2018年8月第1版 2018年8月第1次印刷

定 价 / 45.00元

责任编辑 / 高 芳

文案编辑 / 赵 轩

责任校对 / 黄拾三

责任印制 / 李志强

图书出现印装质量问题,请拨打售后服务热线,本社负责调换

进入 21 世纪,嵌入式系统作为芯片和软件的集成体,在科学研究、工业控制、军事技术、医疗卫生、消费电子等方面有着普遍的应用。嵌入式技术的广泛应用,极大地促进了嵌入式处理器性能的提升。处理器的速度从早期 ARM7 系统时钟的几十兆赫兹到 Cortex-A15 系统时钟的 2 500MHz,越来越高的应用需求使高性能处理器应用成为高端开发的必然选择。

嵌入式系统是电子工程、计算机、物联网、自动化、软件工程及相关专业的一门重要的专业课,也是一门实践性很强的技术性课程。该课程涉及的知识点非常多,对于初学者来说,结合自己的目标,找准学习嵌入式系统设计知识的切入点,是非常必要的。

本书以 ARM Cortex-M4 架构为研究对象,介绍嵌入式系统的软硬件架构和系统开发设计的相关内容。通过对本书的学习,读者不仅可以了解嵌入式系统的基础知识,而且可以在 ARM Cortex STM32F4 教学开发平台上应用 MDK5 的开发环境进行相关的工程开发。

本书大部分讲解结合 ARM Cortex STM32F4 教学开发平台,该平台为教学和科研提供了很好的支持。全书共 9 章。

第 1 章为绪论,介绍 ARM 微处理器的定义、应用领域、发展历程、处理器系列及选型,引导读者进入 ARM 技术殿堂。

第 2 章为 ARM Cortex-M4 核体系结构,介绍 ARM 微处理器体系结构特点、工作原理、寄存器组织、存储器系统结构、异常与中断的处理等内容。

第 3 章为 ARM 处理器指令集,介绍 ARM 处理器指令集特点、寻址方式、Cortex 指令集等内容。

第 4 章为 ARM 程序设计基础,介绍 ARM 程序设计的基本概念,如汇编语言的语句格式、ARM 汇编器支持的伪指令和汇编语言的程序结构等。

第 5 章为嵌入式 C 语言编程,介绍嵌入式 C 语言编程的规则、特点和常规用法,对 C 语言和汇编语言的混合编程等问题进行介绍。

第 6 章为 STM32F4 处理器的工作原理,介绍 STM32F4 的启动过程及时钟系统配置、中断向量控制与配置、输入/输出(I/O)配置,并给出 STM32F4 启动文件实例。

第 7 章为 STM32F4 处理器的编程开发环境,介绍 MDK5 的开发环境、开发套件的使用方法和 STM32F4 固件库。

第 8 章为 STM32F4 处理器的基础应用设计,对 STM32F4 实验教学平台做简单介绍,再依次讲述 7 个典型应用基础实例,并对各个实例的相关技术、软硬件设计方法进行说明。

第9章为STM32F4处理器的综合应用设计，介绍TFT-LED屏幕驱动与显示、触摸屏检测、通用串行通信、ADC输入采集和DAC模拟输出5个综合应用设计实例。

本书的第8章和第9章着重于实践操作，引入了一系列嵌入式系统应用的常见案例，增强了本书的实用性和可操作性，为广大嵌入式开发人员及高等院校相关专业的学生、教师等提供了很有价值的参考。

本书为专著出版资助项目，在本书的编写过程中，正点原子及ALIENTEK工作室在技术上给予了极大帮助；李丹、成中振、杨果、卜德飞、顾国良参与了文字编写制作和应用实例设计，在此一并表示感谢。

由于时间仓促，加之编者水平有限，书中难免有不妥和疏漏之处，恳请广大读者批评指正。有兴趣的读者可以发送电子邮件到yang.yj@ntu.edu.cn，与编者进一步交流。

编 者

2018年3月

第 1 章 绪论	(1)
1.1 微处理器的定义	(1)
1.2 ARM 的发展历程	(2)
1.3 ARM 微处理器的特点及应用	(3)
1.3.1 ARM 微处理器的特点	(3)
1.3.2 ARM 微处理器的应用	(4)
1.4 ARM 微处理器系列	(4)
1.4.1 ARM7 系列微处理器	(5)
1.4.2 ARM9 系列微处理器	(5)
1.4.3 ARM9E 系列微处理器	(6)
1.4.4 ARM10E 系列微处理器	(6)
1.4.5 SecurCore 系列微处理器	(7)
1.4.6 StrongARM 系列微处理器	(7)
1.4.7 Xscale 处理器	(7)
1.4.8 ARM11 系列微处理器	(7)
1.4.9 ARM Cortex 系列微处理器	(8)
1.5 ARM 微处理器的选型	(9)
1.5.1 ARM 芯片选择的一般原则	(9)
1.5.2 多芯核结构 ARM 芯片的选择	(12)
1.5.3 ARM 芯片供应商	(12)
思考题	(12)
第 2 章 ARM Cortex-M4 核体系结构	(13)
2.1 ARM 体系结构	(13)
2.1.1 ARM 微处理器体系结构	(13)
2.1.2 内核流水线结构	(14)

2.1.3	Cortex-M4 系统总线接口	(15)
2.2	ARM 微处理器的数据存储及工作状态	(15)
2.2.1	ARM 指令长度及数据类型	(15)
2.2.2	ARM 的存储器格式	(16)
2.2.3	传统 ARM 微处理器的工作状态	(16)
2.2.4	Cortex-M4 处理器的工作状态	(17)
2.3	ARM 通用寄存器组	(18)
2.3.1	通用寄存器 R0~R12	(19)
2.3.2	堆栈指针 R13	(19)
2.3.3	连接寄存器 R14	(19)
2.3.4	程序计数器 R15	(20)
2.4	Cortex-M4 特殊功能寄存器组	(20)
2.4.1	程序状态寄存器	(20)
2.4.2	中断屏蔽寄存器组	(21)
2.4.3	控制寄存器	(22)
2.5	Cortex-M4 浮点处理寄存器组	(23)
2.5.1	浮点状态控制寄存器	(24)
2.5.2	协处理器访问控制寄存器	(25)
2.6	Cortex-M4 存储器系统结构	(25)
2.6.1	Cortex-M4 微处理器存储器系统特征	(26)
2.6.2	存储器的映射	(26)
2.7	Cortex-M4 的异常和中断	(27)
2.7.1	异常与中断简介	(27)
2.7.2	Cortex-M4 处理器的异常类型	(28)
2.7.3	Cortex-M4 处理器的中断管理	(29)
2.7.4	Cortex-M4 处理器的异常流程	(30)
	思考题	(31)
第 3 章	ARM 处理器指令集	(32)
3.1	ARM 指令简介	(32)
3.2	ARM 寻址方式	(33)
3.2.1	数据处理指令寻址方式	(33)
3.2.2	加载/存储类指令寻址方式	(34)
3.2.3	堆栈操作寻址方式	(35)
3.2.4	协处理操作指令寻址方式	(36)
3.3	Cortex 指令集	(36)

3.3.1 处理器传送指令	(37)
3.3.2 存储器访问指令	(38)
3.3.3 数据处理指令	(42)
3.3.4 比较与测试指令	(45)
3.3.5 程序流程控制指令	(46)
3.3.6 异常相关指令	(49)
3.3.7 饱和运算指令	(50)
3.3.8 存储器隔离指令	(50)
3.4 Cortex-M4 特有指令	(51)
3.4.1 SIMD 和饱和指令	(51)
3.4.2 乘法和乘加指令	(52)
3.4.3 打包和解包指令	(56)
思考题	(57)
第 4 章 ARM 程序设计基础	(58)
4.1 ARM 汇编语言的语句格式	(58)
4.1.1 汇编语言程序中的符号	(58)
4.1.2 汇编语言程序中的表达式和运算符	(59)
4.2 ARM 汇编器支持的伪指令	(62)
4.2.1 数据定义伪指令	(62)
4.2.2 符号定义伪指令	(64)
4.2.3 汇编结构伪指令	(66)
4.2.4 汇编控制伪指令	(69)
4.2.5 其他常用伪指令	(71)
4.3 汇编语言的程序结构	(72)
4.3.1 程序结构	(72)
4.3.2 子程序调用	(72)
思考题	(73)
第 5 章 嵌入式 C 语言编程	(74)
5.1 嵌入式 C 语言概述	(74)
5.2 AAPCS 规则	(74)
5.3 嵌入式 C 语言编写特点	(76)
5.3.1 嵌入式 C 语言的数据存储方法	(76)
5.3.2 嵌入式 C 语言的编写注意事项	(77)
5.4 C 语言与汇编语言混编规范	(78)
5.4.1 在 C 语言中内嵌汇编指令	(79)

5.4.2	在汇编中使用 C 定义的全局变量	(80)
5.4.3	在 C 程序中调用汇编程序	(80)
5.4.4	在汇编程序中调用 C 程序	(81)
5.5	嵌入式 C 语言的常见用法	(81)
	思考题	(85)
第 6 章	STM32F4 处理器的工作原理	(87)
6.1	STM32F4 处理器的启动过程	(87)
6.1.1	STM32F4 处理器启动文件	(87)
6.1.2	STM32F4 处理器主文件	(91)
6.2	STM32F4 处理器的关键技术	(92)
6.2.1	STM32F4 处理器时钟系统	(92)
6.2.2	STM32F4 处理器 I/O 端口	(94)
6.2.3	可编程中断控制与配置	(99)
	思考题	(102)
第 7 章	STM32F4 处理器的编程开发环境	(104)
7.1	STM32F4 处理器编程环境	(104)
7.1.1	Keil MDK 开发工具	(104)
7.1.2	STM32F4 固件库	(105)
7.2	MDK 工程模板的建立	(106)
7.3	程序下载与调试	(110)
7.3.1	J-LINK 仿真器下载	(111)
7.3.2	使用 J-LINK 调试程序	(113)
	思考题	(114)
第 8 章	STM32F4 处理器的基础应用设计	(115)
8.1	STM32F4 实验教学平台	(115)
8.2	LED 灯显示实例	(117)
8.2.1	相关技术简介	(118)
8.2.2	系统硬件组成	(118)
8.2.3	软件设计原理	(118)
8.3	蜂鸣器发声实例	(119)
8.3.1	相关技术简介	(119)
8.3.2	系统硬件组成	(120)
8.3.3	软件设计原理	(120)
8.4	数码管显示实例	(120)
8.4.1	相关技术简介	(120)

8.4.2	系统硬件组成	(121)
8.4.3	软件设计原理	(121)
8.5	按键检测实例	(122)
8.5.1	相关技术简介	(122)
8.5.2	系统硬件组成	(123)
8.5.3	软件设计原理	(124)
8.6	外部中断处理实例	(124)
8.6.1	处理器外部中断简介	(125)
8.6.2	外部中断的使用	(125)
8.6.3	系统硬件组成	(127)
8.6.4	软件设计原理	(127)
8.7	通用定时器实例	(128)
8.7.1	通用定时器简介	(128)
8.7.2	系统硬件组成	(128)
8.7.3	软件设计原理	(128)
8.8	RTC 时钟实例	(130)
8.8.1	RTC 时钟模块简介	(131)
8.8.2	系统硬件组成	(131)
8.8.3	软件设计原理	(131)
	思考题	(134)
第 9 章	STM32F4 处理器的综合应用设计	(135)
9.1	TFT-LCD 屏幕驱动与显示应用	(135)
9.1.1	LCD 显示屏简介	(135)
9.1.2	LCD 显示屏的参数	(136)
9.1.3	LCD 显示屏的控制信号	(137)
9.1.4	TFT-LCD 屏的驱动设计	(137)
9.1.5	系统硬件组成	(138)
9.1.6	软件设计原理	(139)
9.2	触摸屏检测应用	(140)
9.2.1	触摸屏简介	(141)
9.2.2	触摸屏的检测原理	(141)
9.2.3	系统硬件组成	(143)
9.2.4	软件设计原理	(143)
9.3	通用串行通信应用	(144)
9.3.1	通用串行通信简介	(144)

9.3.2	USART 通信相关固件库函数	(144)
9.3.3	系统硬件组成	(147)
9.3.4	软件设计原理	(148)
9.4	ADC 输入采集应用	(149)
9.4.1	ADC 模块简介	(149)
9.4.2	ADC 的转换方法	(149)
9.4.3	系统硬件组成	(151)
9.4.4	初始化配置过程	(151)
9.4.5	软件设计原理	(153)
9.5	DAC 模拟输出应用	(154)
9.5.1	DAC 模块简介	(154)
9.5.2	DAC 的转换方法	(155)
9.5.3	系统硬件组成	(155)
9.5.4	初始化配置过程	(156)
9.5.5	软件设计原理	(157)
	思考题	(157)
	参考文献	(158)

绪 论

本章主要介绍 ARM 微处理器的基本概念、发展历程、结构与特点及相关应用，让读者了解 ARM 相关技术，引导读者进入 ARM 的工作殿堂。

本章主要内容如下：

- (1) 微处理器的定义；
- (2) ARM 的发展历程；
- (3) ARM 微处理器的特点及实际应用；
- (4) ARM 微处理器系列；
- (5) ARM 微处理器的选型。

1.1 微处理器的定义

微处理器 (Micro Processor, MP) 是用一片或少数几片大规模集成电路组成的中央处理器，具备执行控制部件和算术逻辑部件的功能。微处理器与传统中央处理器相比，具有体积小、质量小和容易模块化等优点。微处理器的基本组成部分有寄存器堆、运算器、时序控制电路，以及数据和地址总线。微处理器能完成取指令、执行指令，以及与外界存储器和逻辑部件交换信息等操作，是微型计算机的运算控制部分。它可与存储器和外围电路芯片组成微型计算机。

微处理器是可编程化的特殊集成电路，是一种将所有组件小型化至一块或数块集成电路的处理器，是一种可在其一端或多端接收编码指令，执行此指令并输出描述其状态的信号的集成电路；微处理器也称为半导体中央处理器 (Central Processing Unit, CPU)，是微型计算机的一个主要部件。微处理器的组件常安装在一个单片上或在同一组件内，但有时分布在一些不同芯片上。

现在微处理器已经无处不在，无论是摄像机、智能洗衣机、移动电话等家电产品，还是汽车引擎控制，以及数控机床、导弹精确制导等都要嵌入各类不同的微处理器。微处理器不仅是微型计算机的核心部件，还是各种数字化智能设备的关键部件。国际上的超高速巨型计算机、大型计算机等高端计算系统也都采用大量的通用高性能微处理器建造。

1.2 ARM 的发展历程

ARM(Advanced RISC Machines)公司于1990年成立于英国剑桥,最初的名称是Advanced RISC Machines Limited,是由苹果公司、Acorn 计算机公司、VLSI 技术公司三家公司合资成立的。1991年,ARM 公司推出了ARM6 处理器家族,VLSI 技术公司则是第一个制造ARM 芯片的公司。ARM 公司设计了先进的数字产品核心应用技术,应用领域涉及无线、网络、消费娱乐、影像、汽车电子、安全应用及存储装置。ARM 技术提供广泛的产品,包括16位/32位精简指令集计算机(Reduced Instruction Set Computer, RISC)微处理器、数据引擎、三维图形处理器、数字单元库、嵌入式存储器、外部设备(简称外设)、软件、开发工具及模拟和高速连接产品。ARM 技术正在逐步渗透到人们生活的各个方面。

自2010年起,ARM 芯片的出货量每年都比上一年多20亿片以上,基于ARM 技术的微处理器应用已占据了32位RISC 微处理器75%以上的市场份额。ARM 公司不同于其他半导体公司,它从不制造和销售具体的处理器芯片,而是把处理器的设计授权给相关商务合作伙伴,让他们根据自己的优势设计具体的芯片,得到授权的厂商生产了多种多样的处理器、单片机及片上系统(System on Chip, SoC)。这种商业模式就是所谓的知识产权授权。除了设计处理器,ARM 公司也设计系统级网络协议(Internet Protocol, IP)和软件IP,还开发了许多配套的基础开发工具、硬件及软件产品。

随着新的处理器内核和系统功能块的开发,ARM 的功能不断增加,处理水平持续提高,造就了一系列的ARM 架构芯片。例如,ARM7TDMI 是基于ARMv4T 架构的(T表示支持Thumb 指令);ARMv5TE 架构是伴随着ARM9E 处理器家族的发展产生的。ARM9E 处理器家族成员包括ARM926E-S 和ARM946E-S。ARMv5TE 架构添加了服务于多媒体应用增强的数字信号处理(Digital Signal Processing, DSP)指令。其后的ARM11 是基于ARMv6 架构建成的。基于ARMv6 架构的处理器包括ARM1136J(F)-S、ARM1156T2(F)-S 和ARM1176JZ(F)-S。ARMv6 是ARM 发展史上的一个重要里程碑:许多突破性的新技术被引进,存储器系统加入了很多崭新的特性,单指令流多数据流(Single Instruction Multiple Data, SIMD)指令也是从ARMv6 开始引入的。ARMv6 的新技术是经过优化的Thumb-2 指令集,它专为低成本的单片机及汽车组件市场设计。另外,ARMv6 能够灵活地配置和剪裁。

基于从ARMv6 开始的新设计理念,ARM 进一步扩展了芯片设计,产生了ARMv7 架构。在这个版本中,内核架构首次从单一款式变成三种款式。

ARM 处理器的命名与架构见表1-1。

表 1-1 ARM 处理器的命名与架构

处理器名称	架构版本号	存储器管理特性	其他特性
ARM7TDMI	v4T		
ARM7TDMI-S	v4T		
ARM7EJ-S	v5E		DSP、Jazelle
ARM920T	v4T	MMU	

续表

处理器名称	架构版本号	存储器管理特性	其他特性
ARM922T	v4T	MMU	
ARM926EJ-S	v5E	MMU	DSP、Jazelle
ARM946E-S	v5E	MPU	DSP
ARM966E-S	v5E		DSP
ARM968E-S	v5E		DMA、DSP
ARM966HS	v5E	MPU（可选）	DSP
ARM1020E	v5E	MMU	DSP
ARM1022E	v5E	MMU	DSP
ARM1026EJ-S	v5E	MMU 或 MPU	DSP、Jazelle
ARM1136J(F)-S	v6	MMU	DSP、Jazelle
ARM1176JZ(F)-S	v6	MMU+TrustZone	DSP、Jazelle
ARM11 MPCore	v6	MMU+多处理器存支持	DSP
ARM1156T2(F)-S	v6	MPU	DSP
Cortex-M3	v7-M	MPU（可选）	NVIC
Cortex-M4	v7-M	MPU（可选）	DSP、SIMD
Cortex-R4	v7-R	MPU	DSP
Cortex-R4F	v7-R	MPU	DSP+浮点运算
Cortex-A8	v7-A	MMU+TrustZone	DSP、Jazelle

注：MMU—Memory Management Unit，内存管理单元；MPU—Memory Protection Unit，存储器保护单元；DMA—Direct Memory Access，直接内存存取；NVIC—Nested Vectored Interrupt Controuer，嵌套向量中断控制器。

1.3 ARM 微处理器的特点及应用

1.3.1 ARM 微处理器的特点

ARM 微处理器一般具有如下特点：

- (1) 采用定点 RISC 处理器，性能高、体积小、能耗小、成本低。
- (2) 支持 Thumb（16 位）/ARM（32 位）双指令集，能很好地兼容 8 位/16 位器件，增强乘法器设计，支持实时（Real Time）调试。
- (3) 支持片内指令和数据静态随机存取存储器（Static Random Access Memory，SRAM），而且指令和数据的存储器容量可调，指令执行速度更快。
- (4) 片内指令和数据高速缓冲器（Cache）容量增大，大多数数据操作在寄存器中完成。
- (5) 寻址方式灵活简单，执行效率高，可设置保护单元（Protection Unit），非常适合嵌入式应用中对存储器进行分段和保护。
- (6) 采用标准总线接口，为外设提供统一的地址和数据总线。
- (7) 支持标准基本逻辑单元扫描测试方法学，而且支持自我测试（Built In Self Test，BIST）。

(8) 支持嵌入式跟踪宏单元, 支持实时跟踪指令和数据。

1.3.2 ARM 微处理器的应用

到目前为止, ARM 微处理器及技术的应用已经深入各个领域。

(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, 而且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 8 位/16 位微控制器提出了挑战。

(2) 无线通信领域: 已有超过 85% 的无线通信设备采用 ARM 技术, ARM 以其高性能和低成本的优势, 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, 并获得了广泛支持, 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: 现在流行的数码照相机和打印机中绝大部分采用 ARM 技术。手机中的 32 位客户识别模块 (Subscriber Identity Module, SIM) 智能卡也采用了 ARM 技术。

下列产品均被授权采用 ARM 技术。

(1) 手持计算: 内置光学字符识别 (Optical Character Recognition, OCR) 和红外线通信功能的个人数字助理 (PDA) 笔、Psion Series 5 手持式个人计算机 (Personal Computer, PC)、HP CapShare 910 信息机等。

(2) 便携技术: Hagenuk 数字电话、松下 G450 GSM 移动电话。

(3) 网络计算机和 Web TVCorel 计算机公司的 Linux NetWinder 平台。

(4) 连网产品: Ericsson Mobile Office DC 23 (v4) 用于连手机的 PC 卡接口。

(5) 消费类多媒体: RCA Thomson DSS 电视机顶盒。

(6) 嵌入产品: Gemplus 智能卡。

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

1.4 ARM 微处理器系列

ARM 微处理器包括 ARM7 系列、ARM9 系列、ARM9E 系列、ARM10E 系列、SecurCore 系列、Intel 的 StrongARM 和 Intel 的 Xscale, 这些产品除了具有 ARM 体系结构的共同特点以外, 每一个系列的 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 个通用处理器系列, 每一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。以下详细介绍各种处理器的特点及应用领域。

1.4.1 ARM7 系列微处理器

ARM7 系列微处理器为低功耗的 32 位 RISC 处理器,小型、快速、低能耗、集成式 RISC 内核,用于移动通信。ARM7TDMI (Thumb) 是 ARM 公司授权用户较多的一项产品,它将 ARM7 指令集同 Thumb 扩展组合在一起,以减少内存容量和系统成本。同时,它还利用嵌入式 ICE (In Circuit Emulator) 调试技术来简化系统设计,并用一个 DSP 增强扩展,以改进性能。该产品的典型用途是数字蜂窝电话和硬盘驱动器。ARM7 微处理器系列具有如下特点:

- (1) 具有嵌入式 ICE-RT (In Circuit Emulator-Real Time) 逻辑,调试开发方便。
- (2) 极低的功耗,适合对功耗要求较高的应用,如便携式产品。
- (3) 能够提供 0.9MIPS (Million Instructions Per Second, 百万指令每秒) 的三级流水线结构。
- (4) 代码密度高并兼容 16 位 Thumb 指令集。
- (5) 对操作系统 (Operating System) 的支持广泛,包括 Windows CE、Linux、Palm OS 等。
- (6) 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。
- (7) 主频最高可达 130MIPS,高速的运算处理能力能满足绝大多数复杂应用的要求。

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、ARM7EJ。其中,ARM7TMDI 属于低端 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。

1.4.2 ARM9 系列微处理器

ARM9 系列微处理器采用 5 阶段管道化 ARM9 内核,同时配备 Thumb 扩展、调试和哈佛 (Harvard) 总线。在生产工艺相同的情况下,性能比 ARM7TDMI 优越。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。其具有以下特点:

- (1) 5 级整数流水线,指令执行效率更高。
- (2) 提供 1.1MIPS/MHz 的哈佛结构。
- (3) 支持 32 位 ARM 指令集和 16 位 Thumb 指令集。
- (4) 支持 32 位的高速高级微处理器总线体系结构 (Advanced Microcontroller Bus Architecture, AMBA) 总线接口。
- (5) 全性能的 MMU,支持 Windows CE、Linux、Palm OS 等多种主流嵌入式操作系统。
- (6) MPU 支持实时操作系统。

(7) 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、数码照相机和数码摄像机等。

ARM9 系列微处理器包含 ARM920T、ARM922T 和 ARM940T 共 3 种类型, 以适用于不同的应用场合。

1.4.3 ARM9E 系列微处理器

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微控制器、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, 很适合于需要同时使用 DSP 和微控制器的应用场合。

ARM9E 系列微处理器的主要特点如下:

- (1) 支持 DSP 指令集, 适合于需要高速数字信号处理的场合。
- (2) 5 级整数流水线, 指令执行效率更高。
- (3) 支持 32 位 ARM 指令集和 16 位 Thumb 指令集。
- (4) 支持 32 位的高速 AMBA 总线接口。
- (5) 支持 VFP9 浮点处理协处理器。
- (6) 全性能的 MMU, 支持 Windows CE、Linux、Palm OS 等多种主流嵌入式操作系统。
- (7) MPU 支持实时操作系统。
- (8) 支持数据 Cache 和指令 Cache, 具有更高的指令和数据处理能力。
- (9) 主频最高可达 300MIPS。

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。

ARM9E 系列微处理器包含 ARM926EJ-S、ARM946E-S 和 ARM966E-S 共 3 种类型, 以适用于不同的应用场合。

1.4.4 ARM10E 系列微处理器

ARM10E 系列微处理器具有高性能、低功耗的特点。由于 ARM10E 系列微处理器采用了新的体系结构, 因此与同等的 ARM9 器件相比较, 在同样的时钟频率下, 它的性能提高了近 50%。同时, ARM10E 系列微处理器采用了两种先进的节能方式, 使其功耗极低。ARM10E 系列微处理器的主要特点如下:

- (1) 支持 DSP 指令集, 适合于需要高速数字信号处理的场合。
- (2) 6 级整数流水线, 指令执行效率更高。
- (3) 支持 32 位 ARM 指令集和 16 位 Thumb 指令集。
- (4) 支持 32 位的高速 AMBA 总线接口。
- (5) 支持 VFP10 浮点处理协处理器。
- (6) 全性能的 MMU, 支持 Windows CE、Linux、Palm OS 等多种主流嵌入式操作系统。
- (7) 支持数据 Cache 和指令 Cache, 具有更高的指令和数据处理能力。
- (8) 主频最高可达 400MIPS。
- (9) 内嵌并行读/写操作部件。