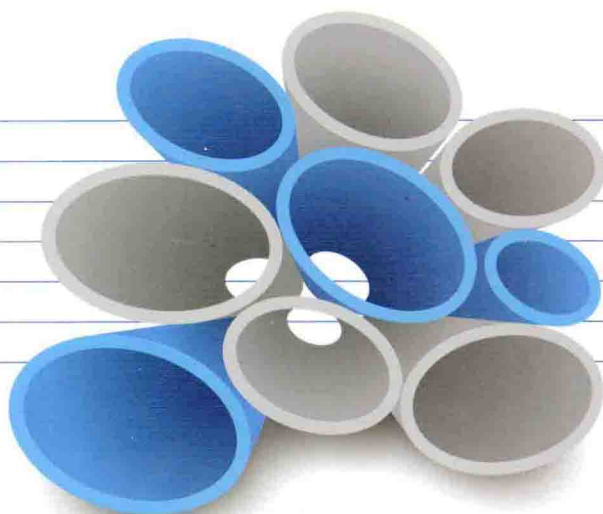


嵌入式

ARM系统 开发与实战

周中孝 周永福 陈赵云 潘晓利 何宙兴◎编 著



电子工业出版社
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY
<http://www.phei.com.cn>

信盈达技术创新系列图书

嵌入式ARM系统开发与实战

周中孝 周永福 陈赵云 潘晓利 何宙兴 编著

电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

内 容 简 介

本书主要面向学习嵌入式 ARM 开发的初学者、嵌入式爱好者,以及刚从单片机向 ARM 处理器转型的电子工程师等,按照理论与实践相结合的思想,介绍了在 ARM 开发中常用的一些模块,结合具体的实例,给大家建立一个完整的 ARM 知识架构,包括对 C、汇编语言的灵活运用,以及芯片内部寄存器的使用。本书共享源代码和相关资料,详细请登录网站 www.edu118.com。

本书内容完整,注重实践性,都是从实际项目中抽取实例,读者可在开发过程中直接作为参考,大大提高工作效率。

本书由浅入深、循序渐进、实例丰富、步骤详细,适合嵌入式开发人员参考,也可作为高校嵌入式相关专业教材使用。

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

嵌入式 ARM 系统开发与实战/周中孝等编著. —北京:电子工业出版社,2014.7
(信盈达技术创新系列图书)
ISBN 978-7-121-22924-4

I. ① 嵌… II. ① 周… III. ① 微处理器-系统设计 IV. ① TP332

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 069262 号

策划编辑:张 剑 (zhang@phei.com.cn)

责任编辑:周宏敏 文字编辑:张 迪

印 刷:北京季蜂印刷有限公司

装 订:北京季蜂印刷有限公司

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:22.5 字数:576 千字

版 次:2014 年 7 月第 1 版

印 次:2014 年 7 月第 1 次印刷

印 数:3 000 册 定价:49.80 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 zltz@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

ARM 可以说是一种技术、一种芯片，也可以说是一家公司。本书所描述的是英国 ARM 公司设计的主流嵌入式处理器之 ARM9 系列，主要包括 ARM9TDMI 和 ARM9E-S 等系列。在嵌入式领域中，基于 ARM 的应用，目前占用了较大的市场。但是，目前仍然有许多工程师习惯于单片机开发，还有一些从来没接触过 ARM 的高校大学生，在刚接触 ARM 开发设计的时候，都会觉得很难入门，遇到架构看不懂、程序无法理解等问题。另外，很多相关 ARM 技术的一些开发手册中对于 ARM 开发中一些常用模块的原理及驱动程序讲解不够深入、透彻，没有完全从裸机的角度去讲解开发。本书面对以上问题，在模块驱动、硬件分析，以及架构讲解上极好地弥补了这些不足。尽管如此，对于 ARM 的初学者，刚开始还是需要静下心来去体味本书对 ARM 体系架构的概述，很多人在了解完 GPIO 这一章内容后会掉以轻心，觉得 ARM 的操作相对于单片机也不怎么难。但是，进入到后面的模块，如 UART 部分，马上就不适应了，越往后越看不懂。所以，在通过本书去学习 ARM 的同时，要多注意总结，去归纳一个学习的方法，当把 ARM 体系架构了解清楚之后，所有的疑点将会豁然开朗。

1. 本书的编写原则

(1) 注重原理。每个模块从细节上去分析功能，虽然在很多章节里面文字篇幅比较大，显得非常啰唆，但是对于学习嵌入式 ARM 开发的初学者来说，可以从最基本的角度去了解每个模块的工作原理，为其提供了一个最完整、最细腻的开发过程。

(2) 代码的实用性。每个模块的代码都是经过实际验证的，在 C 编程上注重代码的函数化、宏调用及各种位和逻辑的运算，严格按照编程规范，并且做到通俗易懂。所以，在学习代码的过程中，掌握 C 编程的要领和规范后，在编程的道路上就会事半功倍。

(3) 强调硬件。对于嵌入式 ARM 开发的学习，从裸机角度上来说，实际上就是学习芯片架构和外围硬件电路。所以，本书在内容的讲解上强调与硬件相结合，从硬件本身去分析各个模块的功能，深入到时序、引脚功能、电平转换和物理现象等，力求为读者打造一个最完善的 ARM 学习平台。

(4) 多做学习总结。在这个发展迅速的电子世界中，处理器的更新换代是非常快的，本书在各个模块的讲解中会有很多学习的总结，“什么是通信”、“存储器的特点”、“中断的处理过程”等问题在书中都有很好的总结。只要掌握了方法，无论技术如何更新换代，都能

够运筹帷幄。

本书内容侧重于实用性，所有硬件基于深圳信盈达电子有限公司的 2440 学习平台，为了便于读者查阅和与原文保持一致，本书对某些不符合国家标准的图形、符号等未作改动，未对某些原图或表进行翻译，特此说明。

2. 致谢

参与本书编写的还有深圳信盈达电子有限公司牛乐乐、陈志发、王苑增、黄文涛、刘浚、蒙海进、张鹏飞、毛爽等人。在此一并表示感谢。

由于编者水平有限，书中难免有不恰当的地方，恳请各位老师及同行提出宝贵的意见，联系邮箱：niusdw@163.com，欢迎来信交流。

编著者

2014 年 3 月

本书主要面向从事嵌入式系统开发的工程师，旨在帮助他们快速掌握 ARM 架构的精髓，并能够熟练地应用 ARM 架构进行嵌入式系统的开发。本书共分 10 章，主要内容包括：ARM 架构的概述、ARM 指令集、ARM 处理器的内部结构、ARM 处理器的寄存器、ARM 处理器的异常处理、ARM 处理器的中断系统、ARM 处理器的总线系统、ARM 处理器的外设接口、ARM 处理器的系统级接口、ARM 处理器的应用案例。本书可作为从事嵌入式系统开发的工程师的参考书，也可作为高等院校相关专业课程的教材。

本书在编写过程中，参考了大量的相关资料，在此向这些资料的作者表示衷心的感谢。同时，也要感谢深圳信盈达电子有限公司的领导和支持，感谢牛乐乐、陈志发、王苑增、黄文涛、刘浚、蒙海进、张鹏飞、毛爽等同事在本书编写过程中给予的帮助和支持。最后，还要感谢我的家人，感谢他们在我遇到困难时给予的支持和鼓励。

目 录

第1章 ARM、嵌入式系统介绍	1
1.1 ARM 微处理器概述	1
1.2 嵌入式系统的概念	7
1.3 嵌入式操作系统	10
第2章 ARM 外围硬件、实验平台硬件详解	19
2.1 S3C2440 系列芯片介绍	19
2.2 S3C2440 系列芯片的应用领域	23
2.3 S3C2440 系列芯片的器件信息	23
2.4 S3C2440 系列芯片的引脚图	24
2.5 S3C2440 系列芯片的结构框图	25
2.6 S3C2440 系列芯片的引脚说明	26
2.7 S3C2440 系列芯片的开发板硬件设计说明	26
第3章 ARM 体系架构	39
3.1 ARM9TDMI 介绍	39
3.2 ARM 体系结构的特点	39
3.3 各 ARM 体系结构版本	39
3.4 ARM 处理器内核简介	41
3.5 存储控制器	50
3.6 协处理器接口	52
3.7 调试接口简介	52
3.8 ETM 接口简介	53
第4章 ARM 指令集介绍	54
4.1 ARM 指令集简介	54
4.2 ARM 处理器寻址方式	54
4.3 ARM 指令集	58
4.4 ARM 伪指令	75
4.5 Thumb 指令集	78
第5章 ARM 启动代码详解	79
5.1 启动代码综述	79
5.2 S3C2440 初始化说明	83
第6章 GPIO 实验	96
6.1 GPIO 原理分析	96

6.2 硬件连接	98
6.3 程序范例	99
6.4 GPIO 作业	99
第7章 UART 实验	101
7.1 UART 原理分析	101
7.2 S3C2440 的 UART 介绍	102
7.3 UART 查询方式串行通信过程	108
7.4 UART 应用编程示例	109
第8章 TFT LCD 实验	114
8.1 常用显示器件类别	114
8.2 LCD 介绍	115
8.3 S3C2440 LCD 控制器的特性	119
8.4 LCD 控制器主要寄存器功能详解	122
8.5 LCD 程序流程	129
8.6 程序实现	131
8.7 取模软件使用	136
第9章 中断	139
9.1 S3C2440 中断介绍	139
9.2 中断范例：硬件设计——键盘的硬件实现	142
9.3 软件实现	143
第10章 ADC 模数转换	151
10.1 AD 原理	151
10.2 S3C2440 ADC 介绍	152
10.3 S3C2440 ADC 控制寄存器	153
10.4 实验电路图	155
10.5 程序范例：程序设计实现	155
第11章 触摸屏实验	160
11.1 触摸屏	160
11.2 S3C2440 触摸屏控制器	166
11.3 触摸屏电路图	170
11.4 实验程序	171
11.5 触摸屏校正	177
第12章 RTC 实验	181
12.1 简单介绍	181
12.2 相关寄存器	181
12.3 程序实现	184

第 13 章 定时器实验	190
13.1 S3C2440 定时器介绍	190
13.2 程序执行过程	193
13.3 程序范例	194
13.4 程序运行结果	196
第 14 章 PWM 实验	197
14.1 S3C2440 定时器介绍	197
14.2 脉宽调制 PWM 介绍	197
14.3 相关 PWM 寄存器介绍	197
14.4 程序执行过程	198
14.5 程序代码	199
第 15 章 SDRAM 模块	202
15.1 SDRAM 概述	202
15.2 存储控制器	202
15.3 硬件连接	203
15.4 软件设计流程	204
第 16 章 Nor Flash 模块	205
16.1 Flash (闪存) 的特点	205
16.2 Nor Flash 简介	205
16.3 S29AL016J Nor Flash 简介	206
16.4 硬件连接	210
16.5 S29AL016J 的程序	210
16.6 S29AL016J 的编程实现	215
第 17 章 Nand Flash 模块	219
17.1 Nand Flash 的特点	219
17.2 K9F1G08U0B 芯片介绍 (128M × 8b Nand Flash)	219
17.3 Nand Flash 寄存器	222
17.4 硬件连接介绍	229
17.5 程序流程	230
17.6 Nand Flash 编程实现	235
第 18 章 IIC 模块	252
18.1 IIC 介绍	252
18.2 IIC 总线特点	252
18.3 总线工作原理	252
18.4 S3C2440X 的 IIC 控制器	254
18.5 AT24C02 EEPROM	258
18.6 硬件电路图	259

18.7 程序实现	260
第19章 SPI 模块	271
19.1 SPI 介绍	271
19.2 SPI 硬件连接	271
19.3 程序操作过程	272
19.4 SPI 模式选择和寄存器介绍	272
第20章 看门狗实验	275
20.1 看门狗功能简述	275
20.2 看门狗的工作原理	275
20.3 S3C2440 的看门狗	275
20.4 S3C2440 相关寄存器	276
20.5 看门狗应用编程实现	278
20.6 程序范例	279
20.7 看门狗程序运行结果	281
第21章 内存管理单元 MMU	282
21.1 内存管理单元 MMU 概述	282
21.2 Cache——协处理指令	282
21.3 DMA 含义	285
第22章 音频 AC97/IIS、视频、USB 接口、SD 卡原理	286
22.1 音频 AC97/IIS	286
22.2 视频	287
22.3 USB 接口	288
22.4 SD 卡原理	289
第23章 KEIL 集成开发环境介绍及应用	297
23.1 第一步：新建工程	297
23.2 第二步：新建文件，自己写 c 程序（用户程序）	298
23.3 第三步：添加 c 文件到工程	298
23.4 第四步：COPY 2~4 个配置文件	299
23.5 第五步：配置	299
23.6 仿真、调试、运行	302
第24章 Cisco TFTP Server 下载指南	304
24.1 软件简介	304
24.2 TFTP 简介	304
24.3 操作步骤	304
24.4 思科服务器常见问题	308
第25章 H-JTAG 仿真调试器的使用	309
25.1 安装软件	309

25.2	打开 H-JTAG Server 软件	309
25.3	打开 H-Flasher 软件	310
25.4	运行下载完程序	311
25.5	H-JTAG 擦除 Nor Flash 操作	311
第 26 章	JLINK 仿真调试器的使用	313
第 27 章	μC/OS 操作系统简介	317
27.1	嵌入式操作系统简介	317
27.2	μ C/OS——微控制器操作系统	318
27.3	μ C/OS-II 图书	319
27.4	μ C/OS-II 提供的系统服务	319
第 28 章	μC/OS 操作系统移植实例	320
28.1	μ C/OS II 成功移植的条件	320
28.2	μ C/OS II 移植的相关工作	320
28.3	用户实时任务编写	320
第 29 章	嵌入式系统工程设计、ARM 电子项目开发实战案例 1	322
29.1	项目管理知识	322
29.2	ARM 项目范例讲解	324
第 30 章	嵌入式系统工程设计、ARM 电子项目开发实战案例 2	325
30.1	ARM9 项目功能介绍——可视触摸屏门禁机项目	325
30.2	可视门禁机主界面	325
30.3	ARM9 项目功能介绍——裸机计算器项目	326
30.4	ARM9 项目功能介绍——手写板项目	326
30.5	ARM9 项目功能介绍——RTC 实时时钟项目	327
第 31 章	ARM11 硬件介绍	328
31.1	ARMv6 体系结构	328
31.2	目标应用	328
31.3	特点	328
31.4	性能	329
31.5	ARM11 处理器的内核特点	329
31.6	S3C6410 硬件开发指南	330
第 32 章	ModBus RTU 模式 CRC16 校验	337
32.1	CRC 概念	337
32.2	工业总线 ModBus	338
	参考文献	350

第 1 章

ARM、嵌入式系统介绍

1.1 ARM 微处理器概述

1.1.1 ARM 简介

ARM 是 Advanced RISC Machines 的缩写，它是微处理器行业中的一家知名企业，该企业设计了大量高性能、廉价、耗能低的 RISC（精简指令集）处理器。

ARM 公司的特点是只设计芯片，但不生产。它将技术授权给世界上许多著名的半导体、软件和 OEM 厂商，并提供服务，如图 1.1 所示。

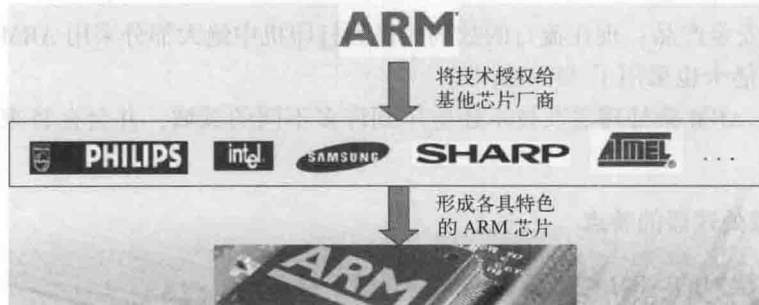


图 1.1 ARM 授权树状图

ARM - Advanced RISC Machines，既可以认为是一个公司的名字，也可以认为是对一类微处理器的通称，还可以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，即我们通常所说的 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、无线系统等各类产品市场，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，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（RISC—Reduced Instruction Set Computer，精简指令集计算机）。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 微处理器芯片进入市场。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 技术获得更多的第三方工具、制造、软件的支持,又使整个系统的成本降低,使产品更容易进入市场被消费者所接受,更具有竞争力。

1.1.2 ARM 微处理器的应用领域及特点

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经深入到各个领域。

1) 工业控制领域: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 位/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,并获得了广泛的支持,也对 DSP 的应用领域提出了挑战(实际还不如 DSP,就像单片机中内部集成了 AD/DA 一样,毕竟还是不如单独的 AD/DA 芯片)。

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。

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。

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。

1) 体积小、低功耗、低成本、高性能。

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。

3) 大量使用寄存器,指令执行速度更快。

4) 大多数数据操作都在寄存器中完成。

5) 寻址方式灵活简单,执行效率高。

6) 指令长度固定(32 位或 16 位)。

1.1.3 ARM 微处理器系列

ARM 微处理器目前包括下面几个系列,以及其他厂商基于 ARM 体系结构的处理器,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。

— ARM7 系列

- ARM9 系列
- ARM9E 系列
- ARM10E 系列
- SecurCore 系列
- Inter 的 Xscale
- Inter 的 StrongARM
- Cortex - R 系列针对实时系统设计, 支持 ARM、Thumb 和 Thumb - 2 指令集。
- Cortex - M 系列 (2008 年推出, 基于 V7 架构。如 LPC1300, 不带 USB 0.69 美元/10KPCS, 带 USB 0.99 美元/10KPCS)
- Cortex - A (2008 年推出, Cortex - A8 第一款基于 ARMv7 构架的应用处理器)

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。

以下我们来详细了解一下各种处理器的特点及应用领域。

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, 最适合用于对价位和功耗要求较高的消费类应用。ARM7 系列微处理器具有如下特点。

- 1) 具有嵌入式 ICE - RT 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/MHz 的三级流水线结构。
- 4) 代码密度高并兼容 16 位的 Thumb 指令集。
- 5) 对操作系统的支持广泛, 包括 Windows CE、Linux、UC/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。

2. ARM9 系列微处理器

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。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 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、数字照相机和数字摄像机等。ARM9 系列微处理器包含 ARM920T、ARM922T 和 ARM940T 三种类型,以适用于不同的应用场合。

3. ARM Cortex - A8 处理器

Cortex - A8 是第一款基于 ARMv7 构架的应用处理器。是 ARM 公司有史以来性能最强劲的一款处理器,主频为 600MHz ~ 1GHz。Cortex - A8 可以满足各种移动设备的需求,其功耗低于 300 mW,而性能却高达 2000MIPS。

Cortex - A8 是 ARM 公司第一款超级标量处理器,在该处理器的设计当中,采用了新的技术以提高代码效率和性能。在 Cortex - A8 中采用了专门针对多媒体和信号处理的 NEON 技术,同时还采用了 Jazelle RCT 技术,可以支持 JAVA 程序的预编译与实时编译。

针对 Cortex - A8 处理器,ARM 公司专门提供了新的函数库 (Artisan Advantage - CE)。新的库函数可以有效地提高异常处理的速度并降低功耗,同时新的库函数还提供了高级内存泄漏控制机制。

结构特性为 Cortex - A8 采用了复杂的流水线构架。

A. 顺序执行、同步执行的超标量处理器内核。

13 级主流水线;10 级 NEON 多媒体流水线;专用的 L2 缓存;基于执行记录的跳转预判断。

B. 针对强调功耗的应用,Cortex - A8 采用了一个优化的装载/存储流水线,可以提供 2 DMIPS/MHz 的性能。

C. 采用 ARMv7 构架。

支持 THUMB - 2,提供了更高的性能,改善了功耗和代码效率;支持 NEON 信号处理,增强了多媒体处理能力;采用了新的 Jazelle RCT 技术,增强了对 JAVA 的支持;采用了 TrustZone 技术,增强了安全性能。

D. 集成了 L2 缓存。

编译的时候,可以把缓存当成标准的 RAM 进行处理;缓存大小可以灵活配置;缓存的访问延迟可以编程控制。

E. 优化的 L1 缓存。

可以提高访问存储速度,并降低功耗。

F. 动态跳转预判断。

基于跳转目的和执行记录的预判断;提供高达 95% 的准确性;提供重放机制以有效地降低预判错误带来的性能损失。

4. ARM Cortex - M3 处理器

ARM Cortex - M3 是一个 32 位的核,在传统的单片机领域中,有一些不同于通用 32 位 CPU 应用的要求。例如,在工控领域,用户要求具有更快的中断速度。Cortex - M3 采用了 Tail - Chaining 中断技术,完全基于硬件进行中断处理,最多可减少 12 个时钟周期数,在实际应用中可减少 70% 的中断。

单片机的另外一个特点是调试工具非常便宜,不像 ARM 的仿真器动辄几千上万,针对这个特点,Cortex - M3 采用了新型的单线调试 (Single Wire) 技术,专门拿出一个引脚来做调试,从而节约了大笔的调试工具费用。同时,Cortex - M3 中还集成了大部分存储器控制器,这样工程师

可以直接在 MCU 外连接 Flash, 降低了设计难度和应用障碍。ARM Cortex - M3 处理器结合了多种突破性技术, 令芯片供应商提供超低费用的芯片, 仅 33000 门的内核性能可达 1.2DMIPS/MHz。该处理器还集成了许多紧耦合系统外设, 令系统能满足下一代产品的控制需求。

Cortex - M3 的优势应该在于低功耗、低成本、高性能三者 (或二者) 的结合。关于编程模式, Cortex - M3 处理器采用 ARMv7 - M 架构, 它包括所有的 16 位 Thumb 指令集和基本的 32 位 Thumb - 2 指令集架构, Cortex - M3 处理器不能执行 ARM 指令集。Thumb - 2 在 Thumb 指令集架构 (ISA) 上进行了大量的改进, 它与 Thumb 相比, 具有更高的代码密度并提供 16/32 位指令的更高性能。

1.1.4 ARM 微处理器结构

1. RISC 体系结构

传统的 CISC (Complex Instruction Set Computer, 复杂指令集计算机) 结构有其固有的缺点, 即随着计算机技术的发展而不断引入新的复杂的指令集, 为支持这些新增的指令, 计算机的体系结构会越来越复杂, 然而, 在 CISC 指令集的各种指令中, 其使用的频率却相差悬殊, 大约有 20% 的指令会被反复使用, 占整个程序代码的 80%。而余下的 80% 的指令却不经常使用, 在程序设计中只占 20%, 显然, 这种结构是不合理的。

基于以上的不合理性, 1979 年美国加州大学伯克利分校提出了 RISC (Reduced Instruction Set Computer, 精简指令集计算机) 的概念, RISC 并非只是简单地减少指令, 而是把着眼点放在了如何使计算机的结构更加简单合理地提高运算速度上。RISC 结构优先选取使用频率最高的简单指令, 避免复杂指令; 将指令长度固定, 指令格式和寻址方式种类减少; 以控制逻辑为主, 不用或少用微码控制等措施来达到上述目的。到目前为止, RISC 体系结构也还没有严格的定义, 一般认为, RISC 体系结构应具有如下特点。

- 1) 采用固定长度的指令格式, 指令归整、简单、基本寻址方式有 2~3 种。
- 2) 使用单周期指令, 便于流水线操作执行。
- 3) 大量使用寄存器, 数据处理指令只对寄存器进行操作, 只有加载/存储指令可以访问存储器, 以提高指令的执行效率。除此以外, ARM 体系结构还采用了一些特别的技术, 在保证高性能的前提下尽量缩小芯片的面积, 并降低功耗, 所有的指令都可根据前面的执行结果决定是否被执行 (条件执行), 从而提高指令的执行效率。
- 4) 可用加载/存储指令批量传输数据, 以提高数据的传输效率。
- 5) 可在一条数据处理指令中同时完成逻辑处理和移位处理。
- 6) 在循环处理中使用地址的自动增减来提高运行效率。

当然, 和 CISC 架构相比较, 尽管 RISC 架构有上述的优点, 但绝不能认为 RISC 架构就可以取代 CISC 架构。事实上, RISC 和 CISC 各有优势, 而且界限并不是那么明显。现代的 CPU 往往采用 CISC 的外围, 内部加入了 RISC 的特性, 如超长指令集 CPU 就是融合了 RISC 和 CISC 的优势, 成为未来 CPU 发展的方向之一。

2. ARM 微处理器的寄存器结构

ARM 微处理器共有 37 个寄存器, 被分为若干个组 (BANK), 这些寄存器包括: ①31

个通用寄存器，包括程序计数器（PC 指针），均为 32 位的寄存器；②6 个状态寄存器，用以标示 CPU 的工作状态及程序的运行状态，均为 32 位，目前只使用了其中的一部分。

同时，ARM 微处理器又有 7 种不同的处理器模式，在每一种处理器模式下均有一组相应的寄存器与之对应。即在任意一种处理器模式下，可访问的寄存器包括 15 个通用寄存器（R0~R14）（快中断模式除外）、1~2 个状态寄存器（CPSR 和 SPSR，没有用户模式和系统模式）和程序计数器。在所有的寄存器中，有些是在 7 种处理器模式下共用的同一个物理寄存器，而有些寄存器则是在不同的处理器模式下有不同的物理寄存器。关于 ARM 微处理器的寄存器结构，在后面的相关章节中将会详细描述。

3. ARM 微处理器的指令结构

ARM 微处理器的指令结构在较新的体系结构中支持两种指令集：ARM 指令集和 Thumb 指令集。其中，ARM 指令为 32 位的长度，Thumb 指令为 16 位长度。Thumb 指令集为 ARM 指令集的功能子集，但与等价的 ARM 代码相比较，可节省 30%~40% 的存储空间，同时具备 32 位代码的所有优点。

关于 ARM 微处理器的指令结构，在后面的相关章节中将会详细描述。

1.1.5 ARM 微处理器的应用选型

鉴于 ARM 微处理器的众多优点，随着国内外嵌入式应用领域的逐步发展，ARM 微处理器必然会获得广泛的重视和应用。但是，由于 ARM 微处理器有多达几十种的内核结构，几十个芯片生产厂家，以及千变万化的内部功能配置组合，给开发人员在选择方案时带来了一定的困难，所以，对 ARM 芯片做一些对比研究是十分必要的。

以下从应用的角度出发，对在选择 ARM 微处理器时所应考虑的主要问题做一些简要的探讨。从应用的角度出发，在选择 ARM 微处理器时所应考虑的主要问题有以下几个方面。

1. ARM 微处理器内核的选择

ARM 微处理器包含一系列的内核结构，以适应不同的应用领域。如果用户希望使用 WinCE 或标准 Linux 等操作系统以减少软件开发时间，就需要选择 ARM720T 以上带有 MMU（Memory Management Unit）功能的 ARM 芯片，如 ARM720T、ARM920T、ARM922T、ARM946T、Strong-ARM 都带有 MMU 功能。

2. 系统的工作频率

系统的工作频率在很大程度上决定了 ARM 微处理器的处理能力。ARM7 系列微处理器的典型处理速度为 0.9MIPS/MHz，常见的 ARM7 芯片的系统主时钟为 20~133MHz，ARM9 系列微处理器的典型处理速度为 1.1MIPS/MHz，常见的 ARM9 芯片的系统主时钟频率为 100~233MHz，ARM10 最高可以达到 700MHz。MIPS 的含义为百万条指令每秒。

3. 芯片内存存储器的容量

大多数的 ARM 微处理器芯片内存存储器的容量都不大，需要用户在设计系统时外扩存储

器，但也有部分芯片具有相对较大的片内存储空间。

4. 片内外围电路的选择

除 ARM 微处理器内核以外，几乎所有的 ARM 芯片均根据各自不同的应用领域，扩展了相关功能模块，并集成在芯片之中，我们称之为片内外围电路，如 USB 接口、IIS 接口、LCD 控制器、键盘接口、RTC、ADC 和 DAC、DSP 协处理器等。

1.2 嵌入式系统的概念

1.2.1 嵌入式系统的定义

目前，对嵌入式系统的定义多种多样，但没有一种定义是全面的。下面给出两种比较合理的定义。

从技术的角度定义：以应用为中心，以计算机技术为基础，软件硬件可裁剪，适应于应用系统对功能、可靠性、成本、体积、功耗严格要求的专用计算机系统。

从系统的角度定义：嵌入式系统是设计完成复杂功能的硬件和软件，并使其紧密耦合在一起的计算机系统。术语反映了这些嵌入式系统通常是更大系统中的一个完整的部分，称为嵌入的系统。嵌入的系统中可以共存多个嵌入式系统。

嵌入式系统举例——汽车控制系统（详见图 1.2）。

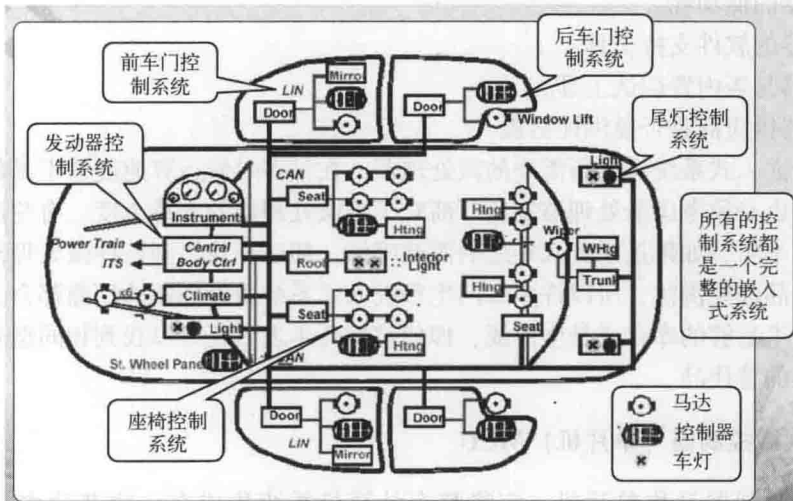


图 1.2 汽车控制系统

1.2.2 嵌入式系统的发展过程

1. 嵌入式微处理器（单板计算机）

嵌入式微处理器的基础是通用计算机中的 CPU。在应用中，将微处理器装配在专门设