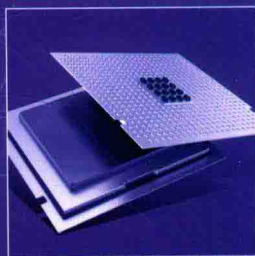


■ 信盈达 技术创新系列图书



基 于 ARM Cortex-M3 的 STM32 微控制器实战教程 (第2版)

◎ 杨余柳 张叶茂 伦砚波 编著



中国工信出版集团



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

系列图书

基于 ARM Cortex – M3 的 STM32 微控制器实战教程

(第2版)

杨余柳 张叶茂 伦砚波 编著

電子工業出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

内 容 简 介

本书讲述了 STM32 的学习与开发知识,读者从无到有地学习一款芯片,不仅能够掌握学习芯片知识的方法,而且能够对嵌入式模块的开发有所了解。本书主要介绍 Cortex-M3 系列 STM32 的工作原理及应用。本书共 20 章,包括:嵌入式的基本概念;ARM 的体系结构;本书所用开发板硬件介绍;系统时钟及汇编;GPIO 控制 LED 实现;UART 实验;ADC 的应用;定时器的介绍;中断实验;STM32 的功能模块及常用协议介绍; $\mu\text{C}/\text{OS-II}$ 操作系统基础及应用;项目管理及开发流程介绍;KEIL 集成开发环境介绍及建立 STM32 项目模板。

本书面向立志于 ARM 嵌入式开发的初学者,以及从单片机向 ARM 处理器转型的工程技术人员。本书可作为高校电子相关专业教材,也可以作为想从事嵌入式开发领域的高校毕业生的自学教材,还可作为目前正在做 8/16 位单片机开发并且想转做 ARM 芯片开发的工程师的参考手册。

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

基于 ARM Cortex-M3 的 STM32 微控制器实战教程/杨余柳,张叶茂,伦砚波编著. —2 版. —北京:电子工业出版社,2017.9

(信盈达技术创新系列图书)

ISBN 978-7-121-32697-4

I. ①基… II. ①杨… ②张… ③伦… III. ①微控制器-系统设计-教材 IV. ①TP332.3

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第 225643 号

责任编辑:李树林

印 刷:三河市良远印务有限公司

装 订:三河市良远印务有限公司

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:12.25 字数:315 千字

版 次:2014 年 9 月第 1 版

2017 年 9 月第 2 版

印 次:2017 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, 88258888。

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

本书咨询联系方式:(010) 88254463; lisl@phei.com.cn。

本书第一版自2014年8月出版后,深受广大嵌入式爱好者和高校师生的喜爱和推崇,已多次重印且销售一空。同时,大家也对本书第一版中存在的不足提出了一些宝贵的意见与建议。另外,深圳信盈达电子有限公司的教研工程师们在教学和实践过程中也发现本书第一版中也有部分内容编排的不太合理。因此,决定对本书第一版进行修订,以满足广大嵌入式爱好者和高校电子相关专业师生的学习需要。

这次修订不仅修改了第一版中发现的各种差错,而且还对描述不够准确、不够严谨的地方进行了修正,特别对CM3核心的部分内容进行了修改与补充,使其更加准确,同时还增加了 $\mu\text{C}/\text{OS}-\text{II}$ 实时操作系统在STM32上应用的详尽描述。通过修改,力争使本书更加实用,更加有利于读者的动手操作与实践。

在嵌入式产品开发过程中,实时操作系统的应用越来越广泛,而嵌入式实时操作种类又比较繁杂。现在出现的一个局面,就是一些读者想学嵌入式实时操作系统,但是不知道选择哪一种操作系统进行学习。编著者认为,不管哪种嵌入式操作系统,其核心的思想都是互通的,学好一种嵌入式实时操作系统,即使以后工作中用的是另一种,你也会很快掌握的。本书的实时操作系统选择的是 $\mu\text{C}/\text{OS}-\text{II}$,此实时操作系统可谓经典中的经典。在本书中,对 $\mu\text{C}/\text{OS}-\text{II}$ 的讲解,强调的是应用,跳过了一些烦琐的内部实现方面的内容。

本书由杨余柳(深圳信盈达电子有限公司)、张叶茂(南宁职业技术学院机电工程学院)和伦砚波(深圳信盈达电子有限公司)编写。本书的修订得到了深圳信盈达电子有限公司同仁的鼎力支持,在此特别感谢李令伟先生、牛乐乐先生和陈志发先生,还有唐继奎、秦培良两位工程师;也感谢电子工业出版社李树林编辑;更感谢那些在阅读本书的过程中发现问题并及时反馈给我们的读者,正是有了你们的支持,我们才有更大的动力和热情去完善本书。

金无足赤,人无完人。本书也难免有待提高的地方,希望广大读者对本书中的不足给予指正,支持我们把本书修改得更加完善与适用。同时,读者可到信盈达网站(www.edu118.com)进行意见反馈与咨询,也可直接发邮件(yangyuliu@edu118.com)给我们。

编著者

第 1 章 ARM 和嵌入式系统介绍	1
1.1 ARM 微处理器概述	1
1.1.1 ARM 简介	1
1.1.2 ARM 微处理器的应用领域及特点	2
1.1.3 ARM 微处理器系列	2
1.1.4 ARM 微处理器结构	5
1.1.5 ARM 微处理器的应用选型	6
1.2 嵌入式系统的概念	7
1.2.1 嵌入式系统定义	7
1.2.2 嵌入式发展过程	7
1.3 嵌入式操作系统	9
1.3.1 概述	9
1.3.2 操作系统	10
1.3.3 实时操作系统 (RTOS)	11
1.3.4 通用型操作系统	12
1.3.5 嵌入式常见的几个概念	12
1.3.6 常见的嵌入式操作系统	15
第 2 章 ARM 体系结构	19
2.1 ARM 体系结构的特点	19
2.2 各 ARM 体系结构版本	19
2.3 Cortex - M3 简介	21
2.4 寄存器	21
2.5 操作模式和特权级别	23
2.6 内建的嵌套向量中断控制器	24
2.7 存储器映射	25
2.8 总线接口	26
2.9 存储器保护单元 (MPU)	26
2.10 指令集	26
2.11 中断和异常	28
第 3 章 Cortex - M3 控制器及外围硬件简介	29
3.1 STM32 简介	29
3.2 STM32F103RBT6 特性	29
3.3 订购信息	31

3.4	STM32 系列内部结构方框图	31
3.5	外围硬件介绍	32
第4章	指令集和时钟	37
4.1	Thumb-2 指令集介绍	37
4.2	指令格式	37
4.3	Cortex-M3 时钟控制	37
第5章	GPIO 实验	39
5.1	GPIO 简介	39
5.2	GPIO 功能特点	39
5.3	与 GPIO 相关的寄存器	41
5.4	原理图	45
5.5	GPIO 配置过程	46
5.6	GPIO 实验范例	46
5.7	作业	47
第6章	UART 实验	48
6.1	UART 简介	48
6.2	UART 特性	49
6.3	串口如何工作	49
6.4	与 UART 相关寄存器	51
6.4.1	状态寄存器 (USART_SR)	51
6.4.2	数据寄存器 (USART_DR)	53
6.4.3	波特比率寄存器 (USART_BRR)	53
6.4.4	控制寄存器 1 (USART_CR1)	54
6.4.5	控制寄存器 2 (USART_CR2)	55
6.4.6	控制寄存器 3 (USART_CR3)	57
6.4.7	保护时间和预分频寄存器 (USART_GTPR)	58
6.5	硬件连接	58
6.6	程序编程步骤	59
6.7	范例程序	59
6.8	作业	61
第7章	模/数转换	62
7.1	A/D 简介	62
7.2	A/D 的主要参数	62
7.3	STM32 系列 A/D 转换特点	62
7.4	与 A/D 相关的寄存器	64
7.4.1	ADC 状态寄存器 (ADC_SR)	64
7.4.2	ADC 控制寄存器 1 (ADC_CR1)	64
7.4.3	ADC 控制寄存器 2 (ADC_CR2)	66
7.4.4	ADC 采样时间寄存器 1 (ADC_SMPR1)	68

7.4.5	ADC 采样时间寄存器 2 (ADC_SMPR2)	69
7.4.6	ADC 注入通道数据偏移寄存器 x (ADC_JOFRx) (x = 1, ..., 4)	69
7.4.7	ADC 看门狗高阈值寄存器 (ADC_HTR)	69
7.4.8	ADC 看门狗低阈值寄存器 (ADC_LRT)	70
7.4.9	ADC 规则序列寄存器 1 (ADC_SQR1)	70
7.4.10	ADC 规则序列寄存器 2 (ADC_SQR2)	70
7.4.11	ADC 规则序列寄存器 3 (ADC_SQR3)	71
7.4.12	ADC 注入序列寄存器 (ADC_JSQR)	71
7.4.13	ADC 注入数据寄存器 x (ADC_JDRx) (x = 1, ..., 4)	72
7.4.14	ADC 规则数据寄存器 (ADC_DR)	72
7.5	硬件连接	72
7.6	范例程序	73
第 8 章	定时器实验	75
8.1	通用定时器简介	75
8.2	STM32 系列通用定时器特点	75
8.3	与基本定时器相关的寄存器	77
8.4	范例程序	82
8.5	作业	84
第 9 章	中断实验	85
9.1	中断简介	85
9.2	STM32 中断特性	85
9.3	中断向量表	85
9.4	范例程序	88
9.5	作业	90
第 10 章	RTC 实验	91
10.1	STM32 系列 RTC 特点	91
10.2	与 RTC 相关的寄存器	91
10.3	范例程序	96
10.4	作业	98
第 11 章	IIC 实验	99
11.1	STM32 系列 IIC 特点	99
11.2	与 IIC 相关的寄存器	100
11.3	范例程序	108
第 12 章	看门狗实验	111
12.1	STM32 系列 IWDG 特点	111
12.2	与 IWDG 相关的寄存器	111
12.3	范例程序	113
12.3.1	独立看门狗程序	113
12.3.2	窗口看门狗程序	115

第 13 章 SPI 实验	118
13.1 SPI 简介	118
13.2 SPI 特点	118
13.3 与 SPI 相关的寄存器	119
13.4 范例程序	125
第 14 章 CAN BUS 实验	128
14.1 CAN 简介	128
14.2 bxCAN 主要特点	128
14.3 CAN 相关的寄存器	129
14.4 范例程序	142
第 15 章 协处理器 DMA	146
15.1 DMA 简介	146
15.2 DMA 控制器的功能特点	146
15.3 DMA 相关控制模块	148
第 16 章 USB	149
16.1 USB 外设特点	149
16.2 USB 硬件分析	149
第 17 章 $\mu\text{C}/\text{OS} - \text{II}$ 操作系统基础	151
17.1 为什么要用操作系统	151
17.2 初识 $\mu\text{C}/\text{OS} - \text{II}$	151
17.3 $\mu\text{C}/\text{OS} - \text{II}$ 基础知识	152
17.3.1 任务的概念	152
17.3.2 任务的状态	152
17.3.3 系统调度和任务切换	153
17.3.4 任务的分类	153
17.3.5 任务间同步与通信	153
17.4 $\mu\text{C}/\text{OS} - \text{II}$ 移植	153
17.5 $\mu\text{C}/\text{OS} - \text{II}$ 系统源码	154
17.5.1 uc/OS 系统核心文件（跟硬件无关）	154
17.5.2 和 CPU 相关的文件	154
17.5.3 头文件组成	154
17.6 $\mu\text{C}/\text{OS} - \text{II}$ 裁剪	154
第 18 章 $\mu\text{C}/\text{OS} - \text{II}$ 应用	159
18.1 任务管理	159
18.2 时间管理	160
18.3 任务间通信	160
18.3.1 信号量	160
18.3.2 消息邮箱	162
18.3.3 消息队列	163

18.3.4 互斥型信号量 164

18.3.5 事件标志组 166

18.4 软件定时器 167

18.5 内存管理 169

18.6 临界区处理宏 170

18.7 其他函数 170

第 19 章 项目实战 171

19.1 项目管理知识 171

19.2 C 语言编程规范 173

19.2.1 编程总原则 173

19.2.2 编程举例 175

19.2.3 注释 175

19.2.4 变量命名 176

19.2.5 编辑风格 176

19.3 ARM 项目范例讲解 177

第 20 章 KEIL 集成开发环境介绍及应用 179

参考文献 184

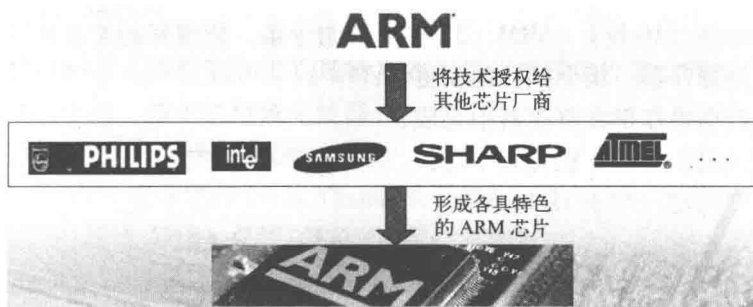
ARM 和嵌入式系统介绍

1.1 ARM 微处理器概述

1.1.1 ARM 简介

ARM 是 Advanced RISC Machines 的缩写，它既可以看作一个公司的名字，也可以看作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。ARM 公司只设计芯片，而不生产。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。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占据了 32 位 RISC 微处理器约 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。



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，全世界有几十家大型半导体公司都使用 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。

ARM 采用 RISC 体系结构（Reduced Instruction Set Computer，精简指令集计算机），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。

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，并获得广泛支持，也对 DSP 的应用领域提出了挑战（实际上还不如 DSP，就像单片机中内部集成了 AD/DA 一样，毕竟不是单独的 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采用。

(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了许多领域，将来还会得到更加广泛的应用。

2. ARM 微处理器的特点

采用 RISC 架构的 ARM 微处理器一般具有以下特点：

- (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，能很好的兼容 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);
- 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 微处理器系列

ARM7 微处理器系列为低功耗的 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 微处理器系列具有以下特点:

- (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 (MIPS 含义: 百万条指令每秒);
- (4) 代码密度高并兼容 16 位的 Thumb 指令集;
- (5) 支持不需要 MMU 的实时操作系统, 如 μ C/OS、 μ clinux;
- (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。

2. ARM9 微处理器系列

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 处理器的介绍

Cortex - A8 是第一款基于 ARMv7 构架的应用处理器。Cortex - A8 也是 ARM 公司有史以来性能最强劲的一款处理器, 主频为 600MHz ~ 1GHz。A8 可以满足各种移动设备的需求,

其功耗低于 300 毫瓦，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。Cortex - A8 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，能够支持 JAVA 程序的预编译与实时编译。

针对 Cortex - A8，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。

在结构特性方面 Cortex - A8 采用了复杂的流水线构架。

(1) 顺序执行，同步执行的超标量处理器内核：

13 级主流流水线；

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。

(2) 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 功能。

(3) 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。

(4) 集成了 L2 缓存：

编译时，可以把缓存当作标准的 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。

(5) 优化的 L1 缓存，可以提高访问存储速度，并降低功耗。

(6) 动态跳转预判：

基于跳转目的和执行记录的预判；

提供高达 95% 的准确性；

提供重放机制，有效降低了预判错误带来的性能损失。

4. Cortex - M3

Cortex - M3 是一个 32 位的内核，在传统的单片机领域中，它有一些不同于通用 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（这里不是中断响应时间）。

单片机的另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元。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 中还集成了大部分控制器，这样工程师可以直接在 MCU 外连接 Flash，从而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 的优势在于低功耗、低成本、高性能三者(或两者)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 体系结构还没有严格的定义,一般认为,RISC 体系结构应具有以下特点:

(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:所有的指令都可以根据前面的执行结果,来决定是否被执行(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 架构有上述优点,但决不能认为 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 就融合了 RISC 和 CISC 的优势,成为未来 CPU 的发展方向之一。

2. ARM 微处理器的寄存器结构

ARM 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:

(1) 31 个通用寄存器，包括程序计数器（PC 指针），均为 32 位的寄存器；

(2) 6 个状态寄存器，用以标识 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 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 SPSR 用户模式和系统模式没有）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 处理器的寄存器结构，在后面的相关章节将会详细描述。

3. ARM 微处理器的指令结构

在较新的体系结构中，ARM 微处理器支持两种指令集：ARM 指令集和 Thumb 指令集。其中，ARM 指令为 32 位，Thumb 指令为 16 位。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% 以上的存储空间，同时具备 32 位代码的所有优点。

关于 ARM 处理器的指令结构，在后面的相关章节将会详细描述。

★ 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、几十家芯片生产厂，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一定的困难，所以，对 ARM 芯片做一些对比研究是十分必要的。

从应用的角度出发，在选择 ARM 微处理器时，应主要考虑以下几个方面的问题。

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，常见的 ARM7 芯片系统主时钟为 20 ~ 133MHz，ARM9 系列微处理器的典型处理速度为 1.1MIPS/MHz，常见的 ARM9 的系统主时钟频率为 100 ~ 233MHz，ARM10 最高可以达到 700MHz。

3. 芯片内存存储器的容量

大多数的 ARM 微处理器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存储空间。

4. 片内外围电路的选择

除 ARM 微处理器核以外,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、DAC 和 DSP 协处理器等。

1.2 嵌入式系统的概念

1.2.1 嵌入式系统定义

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、硬件可裁剪,适应应用系统对功能、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。这个定义说明,一些嵌入式系统通常是更大系统中的一个完整部分,称为嵌入的系统。嵌入的系统中可以共存多个嵌入式系统。汽车控制系统如图 1.1 所示。

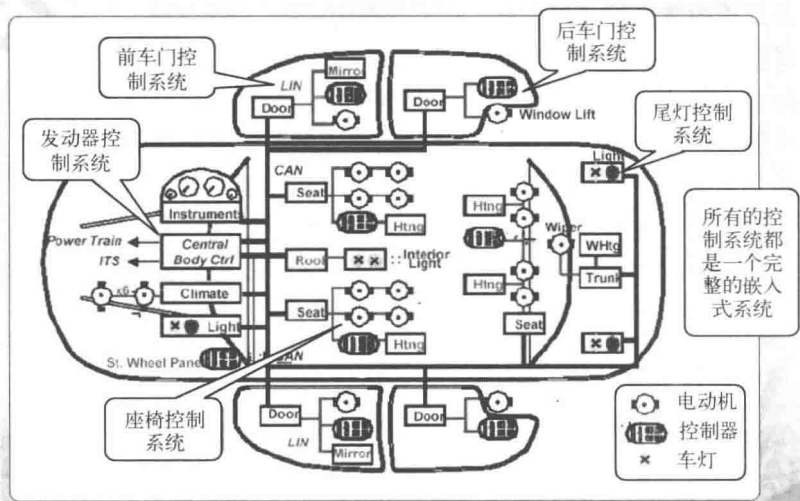


图 1.1 汽车控制系统

1.2.2 嵌入式发展过程

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计的电路板上,只保留与嵌入式应用有关的母板功能,这样可以大幅度减小系统体积和功耗。

为了满足嵌入式应用的特殊要求,嵌入式微处理器虽然在功能上与标准微处理器基本一样,但在工作温度、抗电磁干扰、可靠性等方面一般都有各种增强。

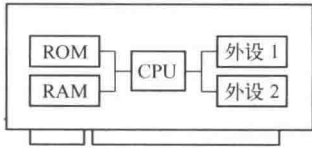


图 1.2 单板计算机

和工业控制计算机相比，嵌入式微处理器具有体积小、重量轻、成本低、可靠性高的优点。嵌入式微处理器及其存储器、总线、外设等安装在一块电路板上，称为单板计算机（图 1.2），如 STD - BUS、PC104 等。

但是，在电路板上必须包括 ROM、RAM、总线接口、各种外设等器件，从而降低了系统的可靠性，技术保密性也较差。现在已经较少使用了。

目前，嵌入式处理器主要有 Am186/88、386EX、SC - 400、Power PC、68000、MIPS、ARM 系列等。嵌入式微处理器又可分为 CISC 和 RISC 两类。大家熟悉的大多数台式 PC 都使用 CISC 微处理器，如 Intel 的 x86。RISC 结构体系有两大主流：Silicon Graphics 公司（硅谷图形公司）的 MIPS 技术；ARM 公司的 Advanced RISC Machines 技术，此外，Hitachi（日立公司）也有自己的一套 RISC 技术 SuperH。

嵌入式微处理器的选型原则：

- (1) 调查市场上已有的 CPU 供应商；
- (2) CPU 的处理速度；
- (3) 技术指标；
- (4) 处理器的低功耗；
- (5) 处理器的软件支持工具；
- (6) 处理器是否内置调试工具；
- (7) 处理器供应商是否提供评估板。

选择一个嵌入式系统运行所需要的微处理器，在很多时候运算速度并不是最重要的考虑内容，有时也必须考虑微处理器制造厂商对于该微处理器的支持态度，有些嵌入式系统产品一用就是几十年，如果过了五六年之后需要维修，却已经找不到该种微处理器的话，势必全部产品都要被淘汰，所以许多专门生产嵌入式系统微处理器的厂商，都会为嵌入式系统的微处理器留下足够的库存或生产线。也就是说，即使过了好多年，都能够找到相同型号的微处理器或者完全兼容的替代品。

2. 嵌入式微控制器（单片机）MCU

嵌入式微控制器又称单片机，它是将整个计算机系统集成到一块芯片中，图 1.3 和图 1.4 为嵌入式微控制器及其芯片内部图。



图 1.3 嵌入式微控制器

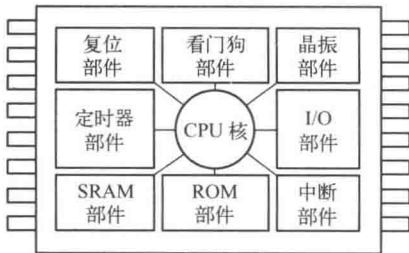


图 1.4 嵌入式微控制器芯片内部图

嵌入式微控制器一般以某一种微处理器内核为核心，芯片内部集成 ROM/EPROM、