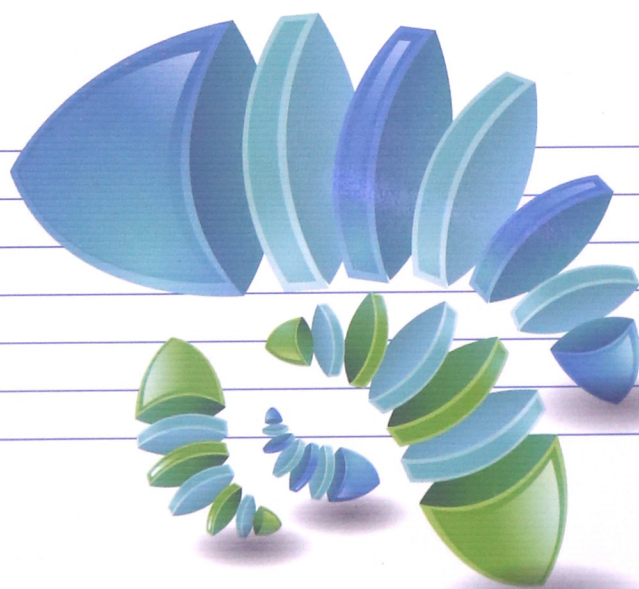


基于

ARM Cortex-M3

的STM32微控制器实战教程

深圳信盈达电子有限公司◎组编 王苑增 黄文涛 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

基于ARM Cortex-M3的STM32 微控制器实战教程

深圳信盈达电子有限公司 组编
王苑增 黄文涛 何宙兴 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 的学习及开发,让读者从无到有地学习一款芯片,但更重要的是如何掌握学习芯片的方法,同时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,所用开发板硬件,系统时钟及汇编,GPIO 控制 LED 实现,UART 实验,ADC 的应用,定时器,中断实验,STM32 的功能模块及常用协议, μ cos 系统的移植,项目管理及开发流程,KEIL 集成开发环境及建立 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。

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/王苑增,黄文涛,何宙兴编著. —北京:电子工业出版社,2014.9

(信盈达技术创新系列图书)

ISBN 978-7-121-23077-6

I. ①基… II. ①王… ②黄… ③何… 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(2014)第 087938 号



责任编辑:曲 昕

印 刷:三河市鑫金马印装有限公司

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:11.25 字数:288 千字

版 次:2014 年 9 月第 1 版

印 次:2014 年 9 月第 1 次印刷

定 价:29.80 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 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。

STM32 系列芯片是当下最为热门的芯片类型之一，STM32 系列芯片由意法半导体公司（STMicroelectronics）生产，STM32L 系列产品基于超低功耗的 ARM Cortex - M3 处理器内核，采用意法半导体独有的两大节能技术，全系列产品公用大部分引脚、软件和外设，优异的兼容性为开发人员带来最大的设计灵活性。全系列产品都具有很好的兼容性。Cortex - M3 核处理器的特点就是用于低端的设备控制。相比 89C51 而言，主频速度可以提高 72MHz，采用 ARM V7 架构，具有十三级的流水线指令处理能力，集成了许多外设，以寄存器的方式操作，大大提高了芯片执行速度快、响应快的特点。内部的 RAM、ROM 的空间也比较大，可以下载和运行更大的代码，还可以上小型的系统，有利于多任务操作，足见 STM32 的应用前景非常好，加上 ST 公司这几年在中国地区的大力推广，以及国内的部分半导体厂商也在生产类似的芯片，可以预见 STM32 在未来几年中在电子行业里将更加得到重视。另外，芯片的价格也很便宜。

本书的编写起始于 2011 年，当时觉得它没有 ARM9 强大，为什么 ST 公司要做那么大的推广？后来才慢慢发现 Cortex - M3 的强大功能。当然学习的过程有一定难度，目前编写代码采用 C 语言的情况居多，要想学好 STM32，C 语言必须得过关。那接下来怎么学习呢，学习过单片机的人都知道，要想学好一个芯片，先得看以后它能做些什么，学习芯片的第一个任务是从 I/O 口入手，然后是串口通信，再到中断。其他的都是模块，当然系统时钟配置也很重要，一般在串口这一部门有讲解。

本书由浅入深，C 语言可以在学习的过程得到提高，很适合初学者。

本书由深圳信盈达电子有限公司王苑增、黄文涛、何宙兴编写。编写分工为：何宙兴编写第 1 ~ 7 章和 19、20 章及附录；黄文涛编写第 8 ~ 12 章；王苑增编写第 13 ~ 18 章，王苑增对各章进行了校对，黄文涛对全书进行统稿和审核。本书的出版同时得到电子工业出版社的大力支持和鼓励，在此深表敬意。由于作者水平有限，不当之处在所难免，敬请读者批评、指正。

编著者
2014 年 7 月

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 处理器模式	21
2.4 内部寄存器	21
2.5 处理器异常	23
2.6 STM32 存储器组织	28
2.7 调试接口简介	30
第 3 章 Cortex - M3 控制器及外围硬件简介	31
3.1 STM32 简介	31
3.2 Cortex - M3 控制器特性	31
3.3 订购信息	33
3.4 STM32 系列内部结构方框图	34
3.5 外围硬件介绍	34
第 4 章 指令集和时钟	39
4.1 Thumb - 2 指令集介绍	39

4.2	指令格式	39
4.3	Cortex - M3 时钟控制	39
第 5 章	GPIO 实验	41
5.1	GPIO 简介	41
5.2	GPIO 功能特点	41
5.3	与 GPIO 相关的寄存器	43
5.4	原理图	47
5.5	GPIO 配置过程	48
5.6	GPIO 口实验范例	48
5.7	作业	49
第 6 章	UART 实验	50
6.1	UART 简介	50
6.2	UART 特性	51
6.3	串口如何工作	51
6.4	与 UART 相关寄存器	53
6.4.1	状态寄存器 (USART_SR)	53
6.4.2	数据寄存器 (USART_DR)	55
6.4.3	波特比率寄存器 (USART_BRR)	55
6.4.4	控制寄存器 1 (USART_CR1)	56
6.4.5	控制寄存器 2 (USART_CR2)	57
6.4.6	控制寄存器 3 (USART_CR3)	59
6.4.7	保护时间和预分频寄存器 (USART_GTPR)	60
6.5	硬件连接	60
6.6	程序编程步骤	61
6.7	范例程序	61
6.8	作业	63
第 7 章	模/数转换	64
7.1	A/D 简介	64
7.2	A/D 的主要参数	64
7.3	STM32 系列 A/D 转换特点	64
7.4	与 A/D 相关的寄存器	66
7.4.1	ADC 状态寄存器 (ADC_SR)	66
7.4.2	ADC 控制寄存器 1 (ADC_CR1)	66
7.4.3	ADC 控制寄存器 2 (ADC_CR2)	68
7.4.4	ADC 采样时间寄存器 1 (ADC_SMPR1)	70
7.4.5	ADC 采样时间寄存器 2 (ADC_SMPR2)	71
7.4.6	ADC 注入通道数据偏移寄存器 x (ADC_JOFRx) (x = 1, ..., 4)	71
7.4.7	ADC 看门狗高阈值寄存器 (ADC_HTR)	71
7.4.8	ADC 看门狗低阈值寄存器 (ADC_LRT)	72

7.4.9	ADC 规则序列寄存器 1 (ADC_SQR1)	72
7.4.10	ADC 规则序列寄存器 2 (ADC_SQR2)	72
7.4.11	ADC 规则序列寄存器 3 (ADC_SQR3)	73
7.4.12	ADC 注入序列寄存器 (ADC_JSQR)	73
7.4.13	ADC 注入数据寄存器 x (ADC_JDRx) (x = 1, ..., 4)	74
7.4.14	ADC 规则数据寄存器 (ADC_DR)	74
7.5	硬件连接	74
7.6	范例程序	75
第 8 章	定时器实验	77
8.1	通用定时器简介	77
8.2	STM32 系列通用定时器特点	77
8.3	与基本定时器相关的寄存器	79
8.4	范例程序	84
8.5	作业	86
第 9 章	中断实验	87
9.1	中断简介	87
9.2	STM32 中断特性	87
9.3	中断向量表	87
9.4	范例程序	90
9.5	作业	92
第 10 章	RTC 实验	93
10.1	STM32 系列 RTC 特点	93
10.2	与 RTC 相关的寄存器	93
10.3	范例程序	98
10.4	作业	100
第 11 章	IIC 实验	101
11.1	STM32 系列 IIC 特点	101
11.2	与 IIC 相关的寄存器	102
11.3	范例程序	110
第 12 章	看门狗实验	113
12.1	STM32 系列 IWDG 特点	113
12.2	与 IWDG 相关的寄存器	113
12.3	范例程序	115
12.3.1	独立看门狗程序	115
12.3.2	窗口看门狗程序	117
第 13 章	SPI 实验	120
13.1	SPI 简介	120
13.2	SPI 特点	120
13.3	与 SPI 相关寄存器	121

13.4	范例程序	127
第 14 章	CAN BUS 实验	130
14.1	CAN 简介	130
14.2	bxCAN 主要特点	130
14.3	CAN 相关的寄存器	131
14.4	范例程序	144
第 15 章	协处理器 DMA	148
15.1	DMA 简介	148
15.2	DMA 控制器的功能特点	148
15.3	DMA 相关控制模块	150
第 16 章	USB	151
16.1	USB 外设特点	151
16.2	USB 硬件分析	151
第 17 章	μ C/OS II 简介	153
17.1	微控制器操作系统	153
17.2	μ C/OS 简介	154
17.3	μ C/OS 特性	154
17.4	μ C/OS - II 图书	155
17.5	μ C/OS - II 提供的系统服务	155
第 18 章	μ C/OS II 操作系统移植	156
18.1	μ C/OS II 成功移植的条件	156
18.2	μ C/OS II 移植的相关工作	156
18.3	用户实时任务编写	157
第 19 章	项目实战	158
19.1	项目管理知识	158
19.2	C 语言编程规范	160
19.2.1	编程总原则	160
19.2.2	编程举例	162
19.2.3	注释	162
19.2.4	变量命名	163
19.2.5	编辑风格	163
19.3	ARM 项目范例讲解	164
第 20 章	KEIL 集成开发环境介绍及应用	166
参考文献		171

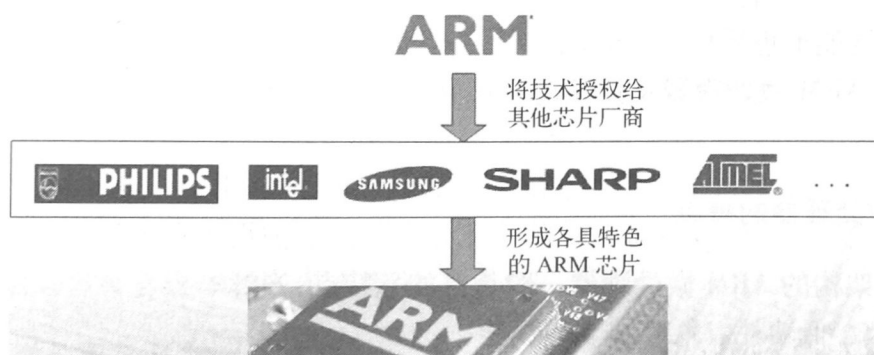
ARM 和嵌入式系统介绍

1.1 ARM 微处理器概述

1.1.1 ARM 简介

ARM 是 Advanced RISC Machines 的缩写，它是一家微处理器行业的知名企业，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。



ARM - Advanced RISC Machines，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，还可以看作一种 CPU 的名称。

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 公司专门从事基于 RISC（Reduced Instruction Set Computer，全称精简指令集计算机）。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。

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 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 第一款基于 ARMv7 构架的应用处理器。Cortex - A8 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，可以支持 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；

提供重放机制以有效降低预判错误带来的性能损失。

4. Cortex - M3

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。举例来说，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 中还集成了大部分存储器控制器,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 3 者 (或 2 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,这种结构是不太合理的。

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 就是融合了 RISC 和

CISC 的优势，成为未来的 CPU 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

ARM 微处理器的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% 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，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。MIPS 含义：百万条指令每秒。

3. 芯片内存存储器的容量

大多数的 ARM 微处理器片内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。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部分, 称为嵌入的系统。嵌入的系统中共存多个嵌入式系统。汽车控制系统如图 1.1 所示。

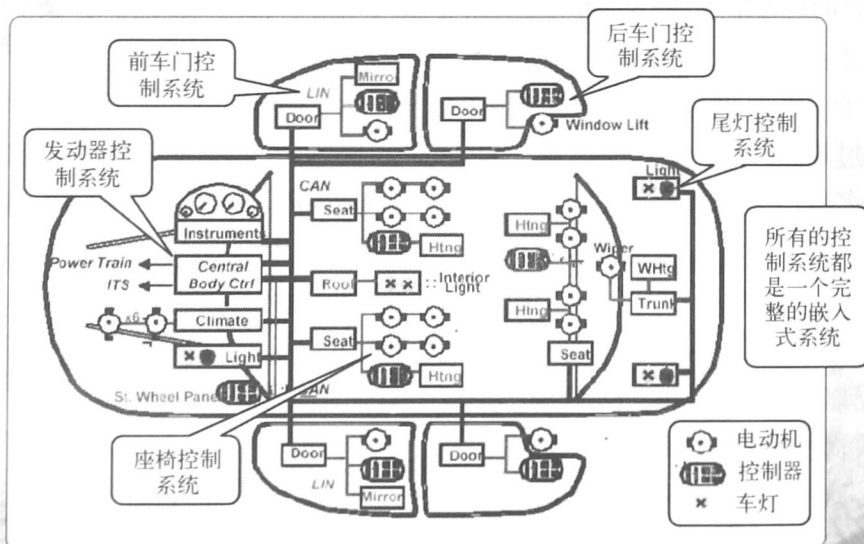


图 1.1 汽车控制系统

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。

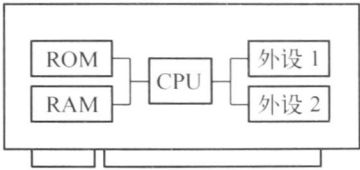


图 1.2 单板计算机

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，如 STD - BUS、PC104 等（图 1.2）。

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。

嵌入式处理器目前主要有 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，即使过好几年之后还可以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。

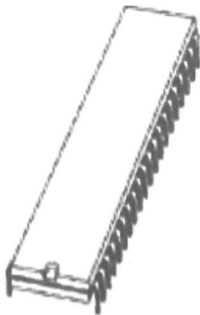


图 1.3 嵌入式微控制器

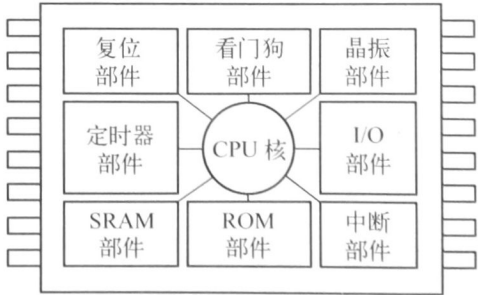


图 1.4 嵌入式微控制器芯片内部图

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、RAM、总线、总线逻辑、定时/计数器、WatchDog、I/O、串行口、脉宽调制输出、A/D、D/A、Flash RAM、EEPROM 等各种必要功能和外设。为适应不同的应用需求,一般一个系列的单片机具有多种衍生产品,每种衍生产品的处理器内核都是一样的,不同的是存储器和外设的配置及封装。这样可以使单片机最大限度和应用需求相匹配,功能不多不少,从而减少功耗和成本。

和嵌入式微处理器相比,微控制器的最大特点是单片化,体积大大减小,从而使功耗和成本下降、可靠性提高。微控制器是目前嵌入式系统工业的主流。微控制器的片上外设资源一般比较丰富,适合控制,因此称微控制器。嵌入式微控制器目前的品种和数量最多,比较有代表性的通用系列包括 8051、P51XA、MCS - 251、MCS - 96/196/296、C166/167、MC68HC05/11/12/16、68300,以及数目众多的 ARM 芯片等。目前 MCU 占嵌入式系统约 70% 的市场份额。

3. 嵌入式处理器——DSP 处理器

DSP 处理器对系统结构和指令进行了特殊设计,使其适合执行 DSP 算法,编译效率较高,指令执行速度也较高。在数字滤波、FFT、频谱分析等方面 DSP 算法正在大量进入嵌入式领域,DSP 应用正从在通用单片机中以普通指令实现 DSP 功能,过渡到采用嵌入式 DSP 处理器。

4. 嵌入式处理器——嵌入式片上系统 (SoC) (ARM 也属于 SoC 系统)

随着 EDA 的推广和 VLSI 设计的普及化及半导体工艺的迅速发展,在一个硅片上实现一个更为复杂的系统的时代已来临,这就是 System On Chip (SoC)。各种通用处理器内核将作为 SoC 设计公司的标准库,和许多其他嵌入式系统外设一样,成为 VLSI 设计中一种标准的器件,用标准的 VHDL 等语言描述,存储在器件库中。用户只需定义出其整个应用系统,仿真通过后就可以将设计图交给半导体工厂制作样品。这样除个别无法集成的器件以外,整个嵌入式系统大部分均可集成到一块或几块芯片中去,应用系统电路板将变得很简洁,对于减小体积和功耗、提高可靠性非常有利。

SoC 可以分为通用和专用两类。通用系列包括 Infineon 的 TriCore、Motorola 的 M - Core、某些 ARM 系列器件、Echelon 和 Motorola 联合研制的 Neuron 芯片等。专用 SoC 一般专用于某个或某类系统中,不为一般用户所知。一个有代表性的产品是 Philips 的 Smart XA,它将 XA 单片机内核和支持超过 2048 位复杂 RSA 算法的 CCU 单元制作在一块硅片上,形成一个可加载 JAVA 或 C 语言的专用的 SoC,可用于公众互联网安全方面。

1.3 嵌入式操作系统

1.3.1 概述

计算机系统由硬件和软件组成,在发展初期没有操作系统这个概念,用户使用监控程序来使用计算机。随着计算机技术的发展,计算机系统的硬件、软件资源也越来越丰富,监控