

高等院校信息技术规划教材

ARM7嵌入式系统 实训教程

欧阳禹 编著

INFORMATION TECHNOLOGY
INFORMATION TECHNOLOGY
INFORMATION TECHNOLOGY

清华大学出版社



高等院校信息技术规划教材

ARM7嵌入式系统 实训教程

欧阳禹 编著

清华大学出版社
北京

内 容 简 介

本书描述了嵌入式系统的微控制器设计、制作的过程。运用 Keil μ Vision3 集成开发环境和 ST 公司的 STR71 系列的软件库函数,对 STR71xF 系列的微控制器的主要功能及主要接口进行测试评估,以达到对嵌入式系统中微控制器应用初步入门,以 GPRS 数据终端设计和功能检测为实例,讲述了 STR71xF 系列的微控制器的应用。

本书是作者多年来对嵌入式系统教学实践的总结和结晶,作者在编写中注重降低学习 ARM 核的微控制器设计、应用的门槛,是学习掌握嵌入式系统微控制器的较为理想的入门教材。

本书可作为高等院校电子信息类的实训教材,也可作为有志于从事嵌入式系统中微控制器设计、制作的电子信息类工程技术人员入门参考书。

本书封面贴有清华大学出版社防伪标签,无标签者不得销售。

版权所有,侵权必究。侵权举报电话:010-62782989 13701121933

图书在版编目(CIP)数据

ARM7 嵌入式系统实训教程/欧阳禹编著. —北京:清华大学出版社,2008.12
(高等院校信息技术规划教材)

ISBN 978-7-302-17779-1

I. A… II. 欧… III. 微处理器,ARM—系统设计—高等学校—教材 IV. TP332

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 100733 号

责任编辑:袁勤勇 顾 冰

责任校对:时翠兰

责任印制:李红英

出版发行:清华大学出版社

地 址:北京清华大学学研大厦 A 座

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

邮 编:100084

社 总 机:010-62770175

邮 购:010-62786544

投稿与读者服务:010-62776969, c-service@tup.tsinghua.edu.cn

质 量 反 馈:010-62772015, zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn

印 刷 者:北京国马印刷厂

装 订 者:三河市李旗庄少明装订厂

经 销:全国新华书店

开 本:185×260 印 张:15.5

字 数:361 千字

版 次:2008 年 12 月第 1 版

印 次:2008 年 12 月第 1 次印刷

印 数:1~3000

定 价:24.00 元

本书如存在文字不清、漏印、缺页、倒页、脱页等印装质量问题,请与清华大学出版社出版部联系调换。联系电话:010-62770177 转 3103 产品编号:025802-01

编委会名单

主 任： 王芝庆

副主任： 沈孟涛

委 员： (排名不分先后)

陈天池	史有程	张幸儿	陈保香	高荣林
顾传文	许伯康	包振宇	徐蕴若	刘世杰
袁启昌	林玉祥	姜同凯	顾建明	郭振民

策划编辑： 袁勤勇

前言

foreword

基于 32 位 ARM 核的微控制器具有架构统一,芯片选择范围广,开发工具一致,网上资源丰富,不同芯片 ARM 核的微控制器软件移植方便、可复用等特点,随着基于 ARM 核的微控制器芯片的功能不断提高,价格不断下降,其性价比也超过了许多传统的 8 位和 16 位微控制器(单片机),使得 ARM 核的微控制器的应用迅猛发展和日趋普及。

意法半导体(STMicroelectronics, ST)公司推出了基于 ARM7TDMI 核的 STR71xF 系列微控制器,其硬件架构特点为:内嵌(64~256KB)+16KB Flash,16~64KB SRAM,可以满足日趋复杂的嵌入式应用系统需求。STR71x 系列微控制器集成了常用的各种外设,通信接口特别丰富,如 4 个 UART 异步串口、BSPI、I²C、Timer、Watch Dog、PLL、4 通道的 12 位 ADC、PWM、USB、CAN、HDLC、Smart Card 等,可以大大简化系统硬件设计,降低系统成本。

ST 公司针对 ST 系列 ARM 微控制器提供了完整的软件库支持,用户不必关心许多外设寄存器的具体定义,只要调用相关的库函数,设置一些参数,就可以使用这些硬件外设资源。这样就极大地方便了用户使用,降低了对开发人员的硬件技术要求,加快嵌入式软件开发进程。ST 公司还将软件库的源代码完全公开,该部分源代码可作为微控制器编程的范本,也可作为嵌入式系统应用编程的教学案例。

在现阶段研发基于 ARM 核的微控制器应用产品时,与传统的 8 位微控制器相比,研发周期相对长,成本相对高。如何降低 ARM 核的微控制器学习、应用的门槛,使读者尽快入门,正是本教程编写的主要出发点。

在嵌入式系统中的微控制器的应用过程中,在选定一个微控制器后,该微控制器如何能运行起来,是最基本的核心问题。本教程以 STR71xFRx 系列 ARM 微控制器的如何应用为实例,描述了如何逐步设计、制作 STR71xFRx 系列的微控制器开发实验板的硬件;

介绍如何运用 Keil μ Vision3(for ARM)集成开发环境和 ST 公司提供的 STR71 系列的软件库函数,对 STR71xF 系列的微控制器的主要功能及主要接口进行测试评估;最后针对 GPRS 数据终端的应用设计、制作和初步检测的案例,作为结束章节,力争达到跨入嵌入式系统中微控制器应用门槛的目的。

本书涉及的硬件设计和软件代码均由编著者完成了实验和验证,是编著者嵌入式系统教学活动的实录。为此特向对本书提供大量完成实验原始代码的编写和调试的其他教师,特别是季嘉老师致谢;对倡导和开创学院嵌入式系统教学的沈孟涛教授致谢。

在本教程编写过程中,ST 公司技术经理梁平先生、深圳英蓓特信息技术有限公司市场部经理梁健全先生也给予了很多关心和支持。特别是上海沁科信息技术有限公司王永虹先生在本教程编写过程中,在样片和资料提供、书稿审核、技术支持等方面提供了大量及时的帮助,在此,谨向他们表示衷心的感谢。

由于时间仓促及作者水平所限,以及嵌入式系统的技术日益飞速发展,错误及不妥之处在所难免,欢迎各位读者批评指正。

作 者

2008 年 9 月

目录

Contents

第 1 章	STR71x 系列微控制器概述	1
1.1	ARM 系列微控制器	1
1.1.1	ARM 系列微处理器	1
1.1.2	基于 ARM 微处理器的微控制器	7
1.2	STR71x 系列微控制器特点	9
1.2.1	STR71x 系列微控制器的应用选型	9
1.2.2	STR71x 系列功能	11
1.2.3	STR71x 的引脚定义	14
1.3	STR71x 系列的集成开发	21
1.3.1	嵌入式系统开发环境的特点	21
1.3.2	交叉编译和链接	23
1.3.3	交叉调试	23
1.3.4	ARM 交叉开发工具	25
1.3.5	STR71xFRx 开发实验板	33
1.4	ST 的 ARM 集成软件函数库简介	35
1.4.1	examples 文件夹	35
1.4.2	project 文件夹	38
1.4.3	templates 文件夹	40
	思考题	40
第 2 章	STR71xFRx 开发实验板的硬件设计	41
2.1	实验板核心电路设计	41
2.1.1	STR71xF 微控制器的供电电路	41
2.1.2	STR71xFRx 微控制器核心模块的设计	43
2.1.3	时钟振荡源的设计	43
2.1.4	复位电路	46
2.2	JATG 仿真调试接口电路设计	49

2.2.1	JATG 简介	49
2.2.2	JATG 仿真调试接口的设计	50
2.3	其他外围辅助电路的设计	51
2.3.1	通用 I/O 接口应用测试电路设计	51
2.3.2	蜂鸣器	51
2.3.3	ADC 测试电路	52
2.3.4	RS-232 接口	52
2.3.5	USB 及 CAN 接口扩展电路	53
2.4	外围接口互联扩展的硬件设计	55
2.4.1	STR71xFRx 系列微控制器 I ² C 总线	55
2.4.2	I ² C 总线的扩展硬件设计实例	57
2.5	实验板硬件设计实训	58
2.5.1	电原理图的设计	58
2.5.2	网络表	62
2.5.3	印制板设计实训基本流程	63
思考题		66
 第 3 章 实验板组装和检测		 67
3.1	实验板组装	67
3.1.1	实验板组装过程	67
3.1.2	加电检查	70
3.2	集成开发工具应用	70
3.2.1	集成开发工具的选用	70
3.2.2	Keil μ Vision3 的运用	71
3.3	实验板的硬件检测	79
3.3.1	JTAG 接口的测试	80
3.3.2	STR71x 系列最小系统的测试	80
本章实验 集成开发、仿真运行环境		82
 第 4 章 GPIO 的程序调试		 85
4.1	STR71x GPIO 的编程基础	85
4.1.1	STR71x 存储器架构	86
4.1.2	GPIO 的初始化设置	88
4.1.3	GPIO 的数据端口的读写	93
4.2	GPIO 示范工程文档的应用	95
4.2.1	工程结构	96
4.2.2	主工作源文件 main.c 剖析	96

4.2.3 修改主工作源文件实现新的功能示例	97
4.3 GPIO 综合应用实训	100
4.3.1 实训命题	100
4.3.2 实训参考代码	100
本章实验 GPIO 基本操作	102
思考题	103
第5章 UART 和 ADC 的应用	104
5.1 时钟管理	104
5.1.1 时钟管理寄存器寻址	104
5.1.2 PRCCU 功能及相关寄存器	106
5.1.3 PRCCU 的各时钟	107
5.1.4 时钟管理的应用	113
5.2 通用异步(UARTx)接口的数据传输	114
5.2.1 UART 寄存器寻址	114
5.2.2 UART0 的初始化	116
5.2.3 UART0 的发送编程实训	119
5.3 ADC12 的应用编程	125
5.3.1 ADC12 的应用	125
5.3.2 ADC 的编程	127
本章实验 ADC12 实验	134
思考题	138
第6章 PWM 及中断控制器的应用	139
6.1 定时器及 PWM 的应用	139
6.1.1 定时器	139
6.1.2 PWM 输出应用	142
6.1.3 PWM 的测试程序	146
6.2 STR71x 中断控制器	148
6.2.1 增强型中断控制器(EIC)	148
6.2.2 中断初始化编程	149
6.2.3 中断服务程序编程	156
本章实验 PWM 及中断应用	158
第7章 实验板扩展应用	162
7.1 I ² C 总线的应用编程基础	162
7.1.1 I ² C 总线的编程设计的基础	162

7.1.2 I ² C 的 EEPROM 读写编程	165
7.2 基于 I ² C 总线的器件	174
7.2.1 键盘/LED 驱动器 ZLG7290	174
7.2.2 实时时钟 PCF8563T	181
7.3 I ² C 总线的电子钟实现	183
7.3.1 硬件扩展	183
7.3.2 I ² C 总线的电子钟的编程	184
7.4 WDT 的应用实例	190
7.4.1 STR71x 的 WDT 的编程	191
7.4.2 用电子钟工程文件观察 WDT 的使用效果	192
思考题	195
第 8 章 GPRS 数据控制终端设计实训	196
8.1 GPRS 数据终端	196
8.1.1 GPRS 技术及其特点	196
8.1.2 GPRS 模块	197
8.1.3 GPRS 数据终端	198
8.2 实训命题及主要技术指标	198
8.2.1 地下水资源管理远程无线数据采集终端	198
8.2.2 终端主要技术指标	199
8.2.3 硬件实现方案	199
8.3 硬件设计	200
8.3.1 GPRS 模块选型	200
8.3.2 GPRS 数据终端硬件设计	200
8.4 GPRS 数据终端测试程序设计	203
8.4.1 测试程序设计基础	204
8.4.2 部分 AT 命令运用测试实验	205
8.4.3 测试参考程序	214
8.4.4 测试程序的操作扼要指南	228
附录 A ST ARM 相关产品	230
参考文献	231

STR71x 系列微控制器概述

本章内容：

- 简要介绍 RAM 系列微处理器的基本知识及特点；
- 介绍 ST 公司推出的基于 RAM7 TDMI 体系的 STR71xF 系列微控制器的基础知识；
- 介绍 STR71xFRx 开发平台实验板；
- 简要介绍 ST 公司为方便用户使用 STR71xF 微控制器 ARM 集成软件函数库。

1.1 ARM 系列微控制器

1.1.1 ARM 系列微处理器

ARM 处理器(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(Intellectual Property,IP)核的微处理器,即通常所说的 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 技术芯片设计开发的公司,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 处理器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. ARM 处理器的应用领域

到目前为止,ARM 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

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,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。

(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了广泛采用。

(5) 影视和安全产品

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:

- 体积小、低功耗、低成本、高性能;
- 支持 Thumb(16 位)/ARM(32 位)双指令集,能很好地兼容 8 位/16 位器件;
- 大量使用寄存器,指令执行速度更快;
- 大多数数据操作都在寄存器中完成;
- 寻址方式灵活简单,执行效率高;
- 指令长度固定。

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 StrongARM;
- Inter 的 Xscale;

■ Cortex-M3 系列。

其中,ARM7、ARM9、ARM9E 和 ARM10E 和 Cortex-M3 为 5 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。

以下介绍各种处理器的特点及应用领域。

(1) ARM7 微处理器系列

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 微处理器系列具有如下特点:

- 具有嵌入式 ICE-RT 逻辑,调试开发方便;
- 极低的功耗,适合对功耗要求较高的应用,如便携式产品;
- 能够提供 0.9DMIPS/MHz 的三级流水线结构;
- 代码密度高并兼容 16 位的 Thumb 指令集;
- 对操作系统的支持广泛,包括 μ Cos II、Linux、Palm OS 等;
- 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;
- 主频最高可达 130MIPS (Million Instructions Per Second, 百万条指令每秒),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。

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 是目前使用最广泛的 32 位嵌入式 RISC 处理器,属低端 ARM 处理器核。TDMI 的基本含义为:

- 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。

(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:

- 5 级整数流水线,指令执行效率更高;
- 提供 1.1DMIPS/MHz 的哈佛结构;
- 支持 32 位 ARM 指令集和 16 位 Thumb 指令集;
- 支持 32 位的高速 AMBA (Advanced Microcontroller Bus Architecture) 总线接口;
- 全性能的 MMU,支持 Windows CE、Linux、Palm OS 等多种嵌入式操作系统;
- MPU 支持实时操作系统;
- 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) ARM9E 微处理器系列

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,很适合于那些需要同时使用 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:

- 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,指令执行效率更高;
- 支持 32 位 ARM 指令集和 16 位 Thumb 指令集;
- 支持 32 位的高速 AMBA 总线接口;
- 支持 VFP9 浮点处理协处理器;
- 全性能的 MMU,支持 Windows CE、Linux、Palm OS 等多种主流嵌入式操作系统;
- MPU 支持实时操作系统;
- 支持数据 cache 和指令 cache,具有更高的指令和数据处理能力;
- 主频最高可达 300MIPS。

ARM9 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 三种类型,以适用于不同的应用场合。

(4) ARM10E 微处理器系列

ARM10E 系列微处理器具有高性能、低功耗的特点,由于采用了新的体系结构,与同等的 ARM9 器件相比较,在同样的时钟频率下,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:

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

ARM10E 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、通信和信息系统等领域。

ARM10E 系列微处理器包含 ARM1020E、ARM1022E 和 ARM1026EJ-S 三种类型,以适用于不同的应用场合。

(5) SecurCore 微处理器系列

SecurCore 系列微处理器专为安全需要而设计,提供了完善的 32 位 RISC 技术的安全解决方案,因此,SecurCore 系列微处理器除了具有 ARM 体系结构的低功耗、高性能的特点外,还具有其独特的优势,即提供了对安全解决方案的支持。

SecurCore 系列微处理器除了具有 ARM 体系结构各种主要特点外,还在系统安全方面具有如下的特点:

- 带有灵活的保护单元,以确保操作系统和应用数据的安全;
- 采用软内核技术,防止外部对其进行扫描探测;
- 可集成用户自己的安全特性和其他协处理器。

SecurCore 系列微处理器主要应用于一些对安全性要求较高的应用产品及应用系统,如电子商务、电子政务、电子银行业务、网络和认证系统等领域。

SecurCore 系列微处理器包含 SecurCore SC100、SecurCore SC110、SecurCore SC200 和 SecurCore SC210 四种类型,以适用于不同的应用场合。

(6) StrongARM 微处理器系列

Inter StrongARM SA-1100 处理器是采用 ARM 体系结构高度集成的 32 位 RISC 微处理器。它融合了 Inter 公司的设计和处理技术以及 ARM 体系结构的电源效率,采用在软件上兼容 ARMv4 体系结构、同时采用具有 Intel 技术优点的体系结构。

Intel StrongARM 处理器是便携式通信产品和消费类电子产品的理想选择,已成功应用于多家公司的掌上计算机系列产品。

(7) Xscale 处理器

Xscale 处理器是基于 ARMv5TE 体系结构的解决方案,是一款全性能、高性价比、低功耗的处理器。它支持 16 位的 Thumb 指令和 DSP 指令集,已使用在数字移动电话、个人数字助理和网络产品等场合。

Xscale 系列处理器是 Intel 公司目前主要推广的一款 ARM 核的微处理器。

(8) Cortex-M3 内核系列处理器

Cortex-M3 是首款基于 ARMv7-M 架构的 ARM 处理器。ARM Cortex-M3 内核使用 3 级流水线哈佛架构,运用分支预测、单周期乘法和硬件除法功能实现了出色的效率(1.25DMIPS^①/MHz),Thumb-2 指令集具有结合非对齐数据存储和原子位处理等特性,可以 8 位、16 位器件所需的存储空间就实现了 32 位性能。

为了在汽车电子应用中实现可靠的操作,ARM Cortex-M3 强化中断功能,主要体现在内置的嵌套向量中断控制器(Nested Vectored Interrupt Controller, NVIC),通过末尾

^① DMIPS 为 Dhrystone Million Instructions executed Per Second 的缩略语,D 的意思是根据针对微处理器的 Dhrystone 模型的测评结果。Dhrystone 测试程序不包含 DSP(数字信号处理)表达式,只包含一些整型运算和字符串处理,并且测试程序偏小,几乎可以完整地放在片内寄存器和里面运行而无需与外部存储器进行交互。由于 ARM 微处理器核的主频是根据应用对象,由用户在一定的范围内确定,因此 ARM 公司就用 DMIPS/MHz 单位来度量其简易指令系统(CICS)微处理器核速度。

连锁(tail-chaining)技术提供了确定的和低延迟的中断处理并可以通过设置带有多达 240 个中断。针对 MCU 工业控制应用,ARM Cortex-M3 采用可选存储器保护单元(MPU),通过使用特权访问模式和分离应用中的处理进程来实现安全操作。Cortex-M3 还具有 Flash 修补和断点(Flash Patch and Breakpoint-unit)单元、数据观察点和跟踪(Data Watchpoint and Trace, DWT)单元、测量跟踪宏单元(Instrumentation Trace Macrocell, ITM)和可选嵌入式跟踪宏单元(Embedded Trace Macrocell, ETM)功能,为深度嵌入式器件提供了廉价的调试和跟踪技术。ARM Cortex-M3 的扩展时钟门控技术和内置睡眠模式,为低功耗的无线设备应用设计铺路。

ARM Cortex-M3 处理器是专门为那些对成本和功耗非常敏感,但同时对性能要求又相当高的应用而设计的。凭借代码大小和中断延迟的优化、集成的系统部件、灵活的配置、简单的高级语言编程和强大的软件系统,ARM Cortex-M3 处理器可成为从复杂片上系统到低端的微控制器的解决方案。

总之,用 ARM Cortex-M3 核的 MCU 芯片成本低,功耗低,处理速度快(高于 ARM7 TDMI 的 30%)实时性好。ST 公司推出的 STM32 系列、Luminary Micro 推出的 StellarisLM3S6000(Ethernet)系列和 StellarisLM3S2000(CAN)系列等 ARM Cortex-M3 核的 MCU 芯片的价格较低,应值得关注。

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,其使用频度却相差悬殊,大约有 20%的指令会被反复使用,而余下的 80%的指令却不经常使用,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度最高的简单指令,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:

- 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 或 3 种;
- 使用单周期指令,便于流水线操作执行;
- 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,从而提高指令的执行效率。

■ 可用加载/存储指令批量传输数据,以提高数据的传输效率;

■ 可在一条数据处理指令中同时完成逻辑处理和移位处理;

■ 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: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;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)、一至二个状态寄存器和程序计数器。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。

(3) ARM 微处理器的指令结构

ARM 微处理器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。

1.1.2 基于 ARM 微处理器的微控制器

嵌入式微控制器(Micro-Controller Unit, MCU)又称单片微型计算机(Single Chip Microcomputer),顾名思义,就是将整个计算机系统集成到一块芯片中。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/Flash、RAM、总线、总线逻辑、定时/计数器、WatchDog、I/O、异步通信(UART)接口、脉宽调制输出(PWM)、A/D、D/A、Flash RAM、万年历(RTC)、液晶屏(LCD)控制器等各种必要功能和外设接口。为适应不同的应用需求,一般一个系列的微控制器可由具有多个 IC 设计制造商生产多种衍生产品,每种衍生产品的处理器内核可以是一样的,不同的是存储器和外设的配置及封装。这样可以使微控制器最大限度地和应用需求相匹配,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,适合于控制,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 ARM、MCS-8051、AVR、P51XA、MCS-251、MCS-96/196/296、C166/167、MC68HC05/11/12/16、68300 等。另外还有许多半通用系列如:支持 USB 接口的 MCU 8XC930/931、C540、