

内含本书实例源代码和视频教程

- 全面介绍ARM与FPGA嵌入式设计及其在工业控制中的应用
- 强调实际，突出应用，入门快捷
- 自动化及相关专业的学生学习和工程技术人员参考的理想选择

ARM与FPGA 综合设计及应用

廖义奎 编著



中国电力出版社
www.infopower.com.cn

ARM与FPGA 综合设计及应用

廖义奎 编著



中国电力出版社

www.infopower.com.cn

内 容 简 介

本书分为 ARM 嵌入式系统设计、FPGA 嵌入式设计以及 ARM 与 FPGA 综合设计在工业控制中的应用三个部分。其中,第一部分主要讲解 AT91SAM7S 系列 ARM 处理器的硬件设计与软件编程方法,第二部分主要讲解 Cyclone 系列 FPGA 可编程逻辑器件的硬件设计与软件编程方法,第三部分主要介绍 ARM 与上位机的连接、ARM 与短信模块的接口与应用、ARM 与 FPGA 综合设计在自动供水系统中的应用以及 ARM 与 FPGA 综合设计在真空干燥系统中的应用。此外,本书还配有一张光盘,内含部分章节的源程序以及视频教程。

本书语言通俗易懂,讲解深入浅出,适合于从事 ARM、FPGA 开发的初中级人员使用,也可作为各高等院校单片机、嵌入式系统课程的教材和参考书。

图书在版编目(CIP)数据

ARM 与 FPGA 综合设计及应用 / 廖义奎编著. —北京: 中国电力出版社, 2008.1
ISBN 978-7-5083-6143-7

I. A… II. 廖… III. ①微处理器, ARM—系统设计—应用—生产过程—自动控制系统②可编程序逻辑器件—系统设计—应用—生产过程—自动控制系统 IV. TP332 TP278

中国版本图书馆CIP数据核字(2007)第174647号

责任编辑: 夏华香
责任校对: 崔燕菊
责任印制: 李文志

书 名: ARM 与 FPGA 综合设计及应用
编 著: 廖义奎

出版发行: 中国电力出版社

地址: 北京市三里河路6号 邮政编码: 100044

电话: (010) 68362602 传真: (010) 68316497

印 刷: 航远印刷有限公司

开本尺寸: 185mm × 260mm 印 张: 24.5 字 数: 595 千字

书 号: ISBN 978-7-5083-6143-7

版 次: 2008 年 2 月北京第 1 版

印 次: 2008 年 2 月第 1 次印刷

印 数: 0001—4000 册

定 价: 38.00 元(含 1CD)

敬告读者

本书封面贴有防伪标签,加热后中心图案消失
本书如有印装质量问题,我社发行部负责退换

版 权 专 有 翻 印 必 究

前言

微处理器选择 8 位、16 位还是 32 位？

在科研项目研究、产品开发、毕业设计以及电子竞赛等活动中，常遇到 8 位单片机速度、I/O 端口、内部 RAM 以及内部 Flash 不够用等问题。随着 32 位处理器（单片机）成本的降低，采用 32 位处理器作为 8 位单片机系统的升级与更新换代已成为最佳选择，特别是内部带 Flash 的低成本 ARM7 处理器的使用，从而以接近 8 位单片机的成本即可获取比 8 位单片机高得多的性能。目前，许多 IC 厂商都推出了内部带 Flash 的低成本 ARM7 处理器，本书介绍的 AT91SAM7S 系列 ARM 处理器，即是其中之一。

AT91SAM7S 系列处理器具有两个很重要的特点：一是成本低，二是性能高。在成本方面，价格与 8 位/16 位微处理器的价格相差不多；内带 Flash，不需要外接 ROM，简化了设计，电路更简洁。在高性能方面，运算速度快，对于全静态操作，极限条件下内核速度高达 55MHz；支持 USB 2.0 接口；具有工业级的指标，工作温度为 $-40^{\circ}\text{C}\sim+85^{\circ}\text{C}$ 。

本书第 2~8 章将详细介绍 AT91SAM7S 系列 ARM 处理器的开发方法。

电子线路设计的关键是技术、器件还是思想？

随着各种各样的微处理器、微控制器、可编程逻辑器件功能的增强及成本的降低，电子线路设计与 10 年以前相比，已经发生了本质的变化。最根本的变化不在于技术，也不在于器件，而在于设计思想的变化。只有思想上具有突破，才可能有设计上的突破；只有设计上的突破，才可能有产品上的突破。

通常情况下，一个应用系统都以一个微处理器为核心，外加键盘驱动、显示驱动及控制驱动，以及一些 ADC、DAC 芯片进行数据采集和数据输出。目前，在许多情况下，这样安排已不一定是合理的。例如，ADC 转换用一片专用的芯片，有时不如用一片带 ADC 的 AVR 单片机简单，有时不如用一片 ARM 处理实现效果好（用 ARM 实现的优点是同时可以把 ADC 转换、数字滤波、异常处理、输出通信协议等都放在一片 ARM 中实现，这是专用 ADC 芯片所不能实现的）；又如，键盘以及 LED/LCD 驱动电路，采用专用芯片也不如用一片 MCS51 或 AVR 单片机来实现成本更低；又如，作快速事务处理及流程控制，用一片 FPGA（SOPC）远比用一片 MCS51、AVR 以及 ARM 处理器有效，即相当于以可编程逻辑器件为核心，而把 AVR、ARM 等作为 FPGA（SOPC）的外围器件，实现通信、ADC 转换等外设功能，这一点与常规的以 AVR、ARM 微处理器为核心的应用系统正好相反。这些都是随着电子技术、电子器件的不断进步所带来的设计思想上的突破。

本书第 13~18 章将介绍这方面的设计实例。

是面向器件的设计还是面向任务的设计？

过去电子线路的设计，由于器件成本较高，种类也比较单一，许多设计都是先看器件能实现什么功能，再决定去做什么任务，即面向器件的设计。现在，由于器件品种非常丰富，器件性能从低端到高端一应俱全，不管是从性能还是从成本方面考虑，都有非常大的选择余地。因此，所需要实现的任务才是核心问题，可以根据任务目标去选择最恰当的

器件，这就是面向任务的设计。

本书第 13~18 章将介绍这方面的设计实例。

是单处理器设计还是多处理器设计？

过去电子线路的设计，多以单一微处理器为核心，目前已发展为双处理器以及多处理器的设计。任务的执行也由顺利执行发展为并行执行，本书介绍的 ARM 与 FPGA 综合设计，也可以算是一种双处理器系统设计。这一点可以参考本书第 13、17、18 章。

选择 ARM 还是 FPGA？

ARM 与 FPGA 各有各的优缺点，可根据需要作不同的选择。ARM 与 FPGA 在设计上并不矛盾，它们具有很强的互补性，采用 ARM+FPGA 的综合设计方案，是一种非常好的设计选择。ARM 与 FPGA 综合设计成本不是很高，但却可以获得强大的功能，并且扩大了 ARM 与 FPGA 的应用范围，可广泛应用于各种通信、控制以及监测设备之中。ARM 与 FPGA 综合设计的优点如下：

- (1) 可大幅度减少外部扩展器件的使用量。
- (2) 可用于各种复杂的应用场合。例如，复杂无线通信、运动控制以及过程控制等。
- (3) 在某些场合，控制的对象比较多，需要使用多片 ARM 或多片 FPGA，这时，远不如用一片 ARM 加一片 FPGA 简洁。
- (4) 可以让整个设计变得功能分明、结构紧凑、时序容易控制。

本书第 9~13 章全面介绍 FPGA 的开发过程，其中第 13 章还重点介绍了 ARM 与 FPGA 综合设计的方法。

编程语言用汇编、C 还是 C++ 语言？

学习单片机，一定要从汇编语言开始吗？实践是检验真理的唯一标准，现在许多工程师以及在校的学生，在没有学习汇编语言的情况下直接用 C/C++ 语言编写 AVR、MPS430、ARM 以及 MIPS 程序都非常成功。至于 C 与 C++，可根据自己的情况进行选择。对于 C 与 C++ 的比较，可以参考本书第 8 章。

是硬件设计还是软件设计？

以前电子线路的设计，通常由硬件设计为核心，是一个反复焊接电路调试电路的过程。现在，已转变为以软件设计为核心。例如，首先在建模软件中对系统进行建模；二是在仿真软件中仿真所设计的电路；三是用电子 CAD 软件画出原理图以及 PCB 图；四是做板以及焊接电路；五是编写微处理器程序和逻辑器件描述程序；六是基于 PC 测试软件的系统综合调试。从上面 6 个步骤可以看出，除了第四步做板以及焊接电路之外，其他步骤都是基于软件的设计。另外，有理由相信过不了多久，随着制板机以及焊接机智能度的提高以及成本的降低，做板以及焊接电路也将可以在 PC 上通过软件操作的方式来实现。因此，电子线路设计的“软化”是一个趋势。

ARM 开发工具选择 ADS、IAR 还是 WinARM？

常用的 ARM 开发工具有 ADS、RealView、IAR、Keil 以及 WinARM 等。ADS 是 ARM

公司的集成开发环境,其功能非常强大,但开发环境操作不太方便。RealView Developer Suite 工具是 ARM 公司推出的新一代 ARM 集成开发工具。支持所有 ARM 系列核。IAR(Embedded Workbench for ARM) 是 IAR Systems 公司为 ARM 微处理器开发的一个集成开发环境,具有入门容易、使用方便和代码紧凑等特点。Keil (for ARM) 也是一款简便的 ARM 开发工具,容易入门。WinARM 是 ARM GCC 在 Windows 操作系统下的编译工具,它作为 GUN 系列的一个成员,对使用人员完全免费,并且功能非常强大。

在开发工具的选择上,个人的偏好占有主导作用。作者比较偏爱于 GCC,主要也是因对 GCC 比较熟悉。因此,本书介绍的例子,都采用 WinARM 编译器。

是手册、教材还是开发实例?

作者在本书的写作之初就决定按手册、教材和开发实例三者合一的指导思想去做。另外,随着信息技术的不断发展,越来越多的应用系统都属于多种技术的融合,大多数的设计是综合性设计。因此,本书在介绍 ARM 和 FPGA 设计的基础上,还重点介绍了 ARM 与 FPGA 的综合设计以及在工业控制中的应用。

本书的读者对象?

本书的读者需要有一定的 C 语言编程基础以及电子线路设计基础。本书适合于 ARM、FPGA 开发人员及初学者作为参考资料,适合于高校师生作为课程设计、毕业设计以及电子竞赛等培训教材,也适合于部分本科专业的学生作为单片机、嵌入式系统课程的入门教材。

如何使用本书?

本书 ARM 程序的编译环境都是 WinARM,配套光盘中包括了部分章节的程序代码,读者可以直接复制使用,另外还包括了一些 ARM 开发的视频教程,读者在自己练习编程之前,可以先看一下这些教程,仿照教程去做,少走一些弯路。

后续技术支持

如果读者在使用本书时遇到相关的技术问题,或者对本书介绍的 ARM+FPGA 开发板感兴趣或有疑问,可以通过电子邮件与作者联系(javawebstudio@163.com),作者将尽最大努力与广大读者共同解决学习过程中和开发过程中遇到的问题,共同进步。

致谢

在本书的编写过程中,得到了韦卫星、陈积光、李智、许川佩 4 位教授的大力支持,在此表示衷心的感谢。感谢李诚、黄少强、杨奕宽、谭邓宏以及唐宏伟为本书提供了部分电路图以及源程序,感谢覃晓、苏金秀、罗软、黄成甲、罗正宁、汪瑶、陈永存、潘光远、李忠华、赵章斌分别审阅了本书的部分章节。同时,感谢中国电力出版社的编辑为本书的编写提出了许多宝贵的意见。

由于作者水平有限,编写时间比较仓促,书中难免存在错误和疏漏之处,敬请读者批评指正。

作 者

2008 年 1 月

目 录

前 言

第一部分 ARM 嵌入式系统设计

第 1 章 嵌入式系统概要	2
1.1 嵌入式系统概要	2
1.1.1 嵌入式系统简介	2
1.1.2 嵌入式系统微处理器	2
1.1.3 嵌入式操作系统	5
1.1.4 嵌入式系统的应用模式	9
1.1.5 嵌入式系统选型	9
1.2 ARM 处理器	9
1.2.1 ARM 处理器简介	9
1.2.2 ARM 处理器类型	10
1.2.2 几种典型的 ARM 处理器	16
第 2 章 ARM7 嵌入式系统硬件基础	22
2.1 AT91SAM7S64 微处理器介绍	22
2.1.1 AT91SAM7S64 的特点	22
2.1.2 AT91SAM7S64 内部结构	23
2.1.3 AT91SAM7S64 存储器映射	27
2.1.4 系统控制器映射	28
2.1.5 外设映射	29
2.2 AT91SAM7S64 嵌入式系统硬件设计	29
2.2.1 硬件结构	29
2.2.2 基本电路	30
2.3 AT91SAM7S64 嵌入式系统外围	
硬件设计	31
2.3.1 I/O 接口电路	31
2.3.2 Key 接口电路	32
2.3.3 LED 接口电路	32
2.3.4 USB 接口电路	33
2.3.5 稳压电源电路	33
2.3.6 模拟信号调理电路	34
2.3.7 JTAG 接口电路	35
2.3.8 串行 EEPROM 接口电路	36
2.3.9 复位与看门狗电路	36
2.3.10 DEBUG 接口/通用串口电路	37
2.3.11 RS-232 转 RS-485 接口电路	39

第 3 章 简单的 Key_LED 程序设计

41

3.1 AT91SAM7S 系列 ARM 处理器通用	
I/O 口的特点与连接	41
3.2 HelloWorld 程序	42
3.2.1 建立一个简单的 HelloWorld 程序	42
3.2.2 HelloWorld 源程序	43
3.2.3 程序编译	44
3.2.4 通过 JTAG 口烧写 Flash	45
3.2.5 通过 USB 接口及 SAM-BA	
烧写 Flash	45
3.3 Key_LED 程序	47
3.4 深入分析 Key_LED 程序	48
3.4.1 I/O 口常用配置与操作函数	48
3.4.2 常规系统参数设置	55
3.4.3 系统启动初始化程序	56
3.4.4 AT91SAM7S64 的系统参数	
及系统函数	56
3.5 GCC 项目编译	57
3.5.1 make 常用命令	57
3.5.2 makefile 文件	58
3.5.3 Key_LED 项目中的 makefile	
文件	62
3.6 WinARM 介绍	65
3.6.1 WinARM 介绍	65
3.6.2 WinARM 提供的常用工具	66

第 4 章 Debug 接口及 USART 通用

串口通信	67
4.1 Debug 口概述	67
4.2 Debug 口编程	68
4.2.1 Debug 口初始化	68
4.2.2 Debug 口发送数据	71
4.2.3 Debug 口中断响应	73
4.2.4 软件复位的实现	75
4.2.5 Debug 口程序代码	76
4.3 通用串口基础	79
4.4 通用串口编程	81
4.4.1 通用串口初始化	81
4.4.2 通用串口发送数据	82

4.4.3 通用串口中断响应	83	7.5.3 看门狗定时器的喂狗	136
4.4.4 通用串口读取接收数据	84	7.5.4 看门狗定时器库函数	137
第 5 章 中断处理及 ADC 数模转换	85	7.6 PWM 脉宽调制介绍	138
5.1 AT91SAM7S 中断基础	85	7.6.1 AT91SAM7S 脉宽调制介绍	138
5.1.1 AT91SAM7S 中断处理内部结构 ..	85	7.6.2 外设 A 与外设 B 的设置及 PWM 输出	138
5.1.2 AT91SAM7S 中断处理过程	86	7.6.3 PWM 初始化	140
5.2 外部中断	86	7.6.4 PWM 输出	141
5.2.1 中断初始化	86		
5.2.2 中断处理	92	第 8 章 WinARM C++ 程序设计	142
5.3 AT91SAM7S ADC 概要	94	8.1 C++ 的特点	142
5.4 ADC 初始化	95	8.1.1 C++ 介绍	142
5.5 ADC 数据读取	102	8.1.2 兼容 C 语言	142
5.6 ADC 应用实例	104	8.1.3 面向对象语言	144
		8.1.4 泛型编程语言	145
第 6 章 USB 及 TWI 两线接口	108	8.1.5 STL 编程	145
6.1 AT91SAM7S USB 接口概要	108	8.2 WinARM 中对 C++ 的支持	147
6.1.1 USB 接口标准	108	8.2.1 WinARM 中的 C++ 编译器	147
6.1.2 AT91SAM7S USB 接口	111	8.2.2 在 C++ 程序中调用 C 函数	147
6.2 USB 接口初始化	112	8.3 WinARM C++ 程序实例	148
6.2.1 打开 USB 驱动	112		
6.2.2 CDC 结构的成员函数	113	第二部分 FPGA 嵌入式设计	
6.3 USB 数据收发	115	第 9 章 FPGA 硬件设计	152
6.3.1 USB 数据的接收示例	115	9.1 Cyclone 系列 FPGA 器件的特点	152
6.3.2 USB 数据的发送示例	115	9.1.1 Cyclone 系列 FPGA 器件简介	152
6.4 PC 端 USB 接口程序	117	9.1.2 Cyclone 器件的特点	153
6.4.1 关于 INF 文件	117	9.1.3 Cyclone II 器件介绍	154
6.4.2 USB 转串口驱动安装文件	118	9.1.4 Cyclone III 器件介绍	156
6.5 TWI 两线接口介绍	119	9.1.5 Altera 串行配置器件简介	157
6.6 TWI 初始化	120	9.2 EP1C3 FPGA 硬件设计	157
6.6.1 TWI 初始化函数	120	9.2.1 EP1C3 引脚图	158
6.6.2 TWI 读数据函数	123	9.2.2 稳压电源设计	159
6.6.3 TWI 写数据函数	124	9.2.3 JTAG 接口	160
6.7 TWI 应用示例	125	9.2.4 Byteblaster II 下载线	161
		9.2.5 复位电路	163
第 7 章 定时器及 PWM 脉宽调制	127	9.3 Quartus II 开发平台应用	165
7.1 AT91SAM7S 定时器概要	127	9.3.1 安装 Quartus II	166
7.1.1 实时定时器	127	9.3.2 Quartus II 的基本应用	167
7.1.2 定时器/计数器	128	9.4 简单的 LED 测试程序	170
7.2 定时器初始化	128		
7.2.1 定时器初始化	128	第 10 章 FPGA Verilog HDL 编程基础	172
7.2.2 定时器的打开	132	10.1 Verilog HDL 简介	172
7.3 定时器中断响应	132	10.1.1 Verilog HDL 历史	172
7.4 频率测量	133	10.1.2 Verilog HDL 的特点	172
7.5 看门狗定时器	134	10.2 Verilog HDL 模块	173
7.5.1 看门狗定时器介绍	134	10.2.1 模块	173
7.5.2 看门狗定时器初始化	134		

10.2.2	区块	174
10.2.3	空白与注解	175
10.3	Verilog HDL 输入/输出端口	175
10.4	Verilog HDL 变量	176
10.4.1	变量的声明	176
10.4.2	数字格式	177
10.5	Verilog HDL 数据类型	177
10.5.1	线网类型	178
10.5.2	寄存器类型	178
10.5.3	整数与实数类型	179
10.5.4	标量和向量类型	179
10.5.5	时间类型	180
10.5.6	参数类型	180
10.5.7	数组的表示方法	180
10.5.8	存储器的表示方法	181
10.5.9	字符串的表示方法	181
10.6	运算符	181
10.6.1	逻辑运算符	181
10.6.2	算术运算符	182
10.6.3	关系运算符	182
10.6.4	相等运算符	182
10.6.5	按位运算符	183
10.6.6	缩减运算符	183
10.6.7	移位运算符	184
10.6.8	拼接运算符	184
10.6.9	条件运算	184
10.7	always 过程	184
10.7.1	always 过程	185
10.7.2	触发方式	185
10.7.3	事件及敏感信号列表	186
10.8	赋值	187
10.8.1	持续赋值	187
10.8.2	阻塞式赋值	188
10.8.3	非阻塞式语句	188
10.9	行为描述	190
10.9.1	if 条件语句	190
10.9.2	case 多路选择语句	190
10.9.3	if 语句与 case 语句的比较	190
10.9.4	循环语句	190
10.10	Verilog HDL 任务及函数定义	191
10.10.1	函数	191
10.10.2	任务	192
10.10.3	函数与任务间的比较	193
10.11	编译预处理	193
10.11.1	文件包含命令	193
10.11.2	条件编译	193
10.11.3	文件输出/输入	194

10.11.4	时延精度预处理	194
10.12	设计风格	195
10.12.1	锁存器的使用	195
10.12.2	避免产生锁存器	195
10.12.3	设计时注意事项	195

第 11 章 FPGA Verilog HDL 编程实例 ... 197

11.1	3-8 译码器	197
11.2	十字路口红绿灯控制电路设计	200
11.3	LED 数码显示	201
11.4	扫频电路设计	203
11.5	频率测量电路设计	204
11.6	简易软件 CPU 的实现	205

第 12 章 FPGA SOPC 嵌入式系统

开发基础 214

12.1	SOPC 嵌入式系统	214
12.1.1	SOPC 嵌入式系统简介	214
12.1.2	SOPC 嵌入式系统类型	214
12.2	Nios II 软 CPU 核	215
12.2.1	Nios II 软 CPU 核简介	215
12.2.2	Nios II 软 CPU 核的结构	215
12.2.3	三种类型的 Nios II 内核	216
12.3	SOPC 开发流程	218
12.4	Nios II 开发实例	218
12.4.1	安装开发软件	219
12.4.2	建立新项目	219
12.4.3	Nios II CPU 配置	220
12.4.4	存储器与端口配置	224
12.4.5	Nios II 内核配置	226
12.4.6	在 QuartusII 中使用 Nios II 处理器	228
12.4.7	在 Nios II IDE 中编写应用程序	230
12.4.8	返回 QuartusII 中重新编译	234

第三部分 ARM 与 FPGA 综合设计 在工业控制中的应用

第 13 章 ARM 与 FPGA 综合设计 236

13.1	ARM 与 FPGA 综合设计思路	236
13.2	ARM 与 FPGA 的比较	237
13.3	ARM 与 FPGA 综合设计实例	238
13.3.1	ARM 与 FPGA 综合设计的优点	238
13.3.2	常用的 ARM 与 FPGA 综合设计的功能划分	238
13.3.3	ARM 与 FPGA 通信方式	239
13.4	Verilog HDL 通用串口程序	240

13.4.1	UART 数据发送程序	240
13.4.2	UART 数据接收程序	242
13.5	ARM 与 FPGA 综合设计简单实例	244

第 14 章 ARM 与上位机的通信

14.1	ARM 与上位机的连接方式	249
14.2	简单通信协议的设计	249
14.3	基于GCC的上位机串口通信程序设计	250
14.3.1	SmartWin++介绍	250
14.3.2	在 Obtain_Studio 平台上建立 SmartWin++项目	251
14.3.3	GCC 下的串口通信类	251
14.3.4	打开串口通信	252
14.3.5	修改或获取串口参数	252
14.3.6	串口的读/写	254
14.3.7	CSerial 类代码	254
14.3.8	SmartWin++串口通信程序	258
14.3.9	编译与运行 SmartWin++串 口通信程序	262
14.4	基于 VC++ 的上位机串口通信 程序设计	263
14.5	Obtain_AutoControl 测控组态 软件应用	270
14.5.1	Obtain_AutoControl 软件简介	270
14.5.2	Obtain_AutoControl 用法	271
14.5.3	Obtain_AutoControl 应用实例	273

第 15 章 ARM 与短信模块的接口与应用

15.1	短信模块介绍	277
15.2	与短信收发相关的 AT 命令	277
15.3	短信模块的初始化	281
15.3.1	一个短信数据收发桥的设计	281
15.3.2	短信模块的初始化	281
15.4	短信的发送	283
15.5	短信的接收与处理	285
15.5.1	短信数据接收	286
15.5.2	短信数据处理	287
15.6	GPRS 模块介绍	293
15.7	ARM 与 GPRS 模块的连接	295
15.8	GPRS 通信的服务软件设计	297
15.8.1	建立 CFormView 视图类单 文档项目	297
15.8.2	编写服务器 Socket 类和客户 Socket 类	298

第 16 章 ARM 在变频器控制中的应用

16.1	变频器原理	315
------	-------------	-----

16.1.1	变频器介绍	315
16.1.2	变频调速原理	315
16.1.3	变频器系统结构	316
16.2	富士 P11S 系列变频器远程控制的 数据格式	317
16.3	变频器指令的发送	321
16.3.1	固定参数的变频器指令的发送	321
16.3.2	需要传递参数的变频器 指令的发送	322
16.4	变频器返回数据的接收	326
16.4.1	接收数据	326
16.4.2	变频器返回数据的处理	327

第 17 章 ARM 与 FPGA 综合设计在 自动供水系统中的应用

17.1	基于嵌入式的水处理自动监控 系统方案设计	331
17.1.1	系统结构图	332
17.1.2	PC 主控制软件	334
17.1.3	微处理器模块	334
17.1.4	测量模块	334
17.1.5	控制模块	336
17.1.6	中央模拟屏	338
17.1.7	通信模块	339
17.2	简易通信协议的设计与实现	340
17.2.1	简易通信协议的设计	340
17.2.2	简易通信协议的实现	343

第 18 章 ARM 与 FPGA 综合设计 在真空干燥系统中的应用

18.1	真空干燥系统的结构	350
18.2	温度与真空度控制模型	351
18.2.1	恒温或按某预定温度曲线的 控制模型	351
18.2.2	恒真空度或按某预定真空度 曲线的控制模型	352
18.2.3	人工神经网络的选择	352
18.2.4	由 ARM 与 FPGA 构成的 嵌入式微处理器模块	353
18.2.5	测控软件设计	354
18.3	温度与真空度变化曲线的测量	355
18.3.1	量程控制的设计	355
18.3.2	利用FPGA内存模块存储数据	364
18.3.3	数据的实时采集	368

参考文献

参考文献	380
------------	-----

Part 1

>>> 第一部分

ARM嵌入式系统设计

- 第1章 嵌入式系统概要
- 第2章 ARM 7 嵌入式系统硬件基础
- 第3章 简单的 Key_LED 程序设计
- 第4章 Debug 接口及 USART 通用串口通信
- 第5章 中断处理及 ADC 数模转换
- 第6章 USB 及 TWI 两线接口
- 第7章 定时器及 PWM 脉宽调制
- 第8章 WinARM C++ 程序设计

嵌入式系统概要

1.1 嵌入式系统概要

1.1.1 嵌入式系统简介

嵌入式系统 (Embedded System) 就是可以嵌入到其他系统中的微处理器应用系统。在组成上, 嵌入式系统以微处理器及软件为核心部件, 这两者缺一不可。在特征上, 嵌入式系统具有方便、灵活地嵌入到其他应用系统的特征, 即具有很强的可嵌入性。嵌入式系统本身是一个可独立执行的系统, 但更重要的是它可作为一个部件嵌入到其他应用系统之中。

按嵌入式微处理器类型分, 嵌入式系统可分为以单片机为核心组成的嵌入式单片机系统, 以工业计算机板为核心组成的嵌入式计算机系统, 以 DSP 为核心组成的嵌入式数字信号处理器系统, 以 FPGA 及软 CPU (SOPC) 为核心组成的嵌入 SOPC 系统等。

由于嵌入式系统的内容很广, 在涵义上与传统的单片机系统和计算机系统有很多重叠部分。为了方便区分, 在实际应用中通常给嵌入式系统加一些不成文的限定:

(1) 嵌入式系统的微处理器通常是由 32 位以及 32 位以上的 RISC 处理器组成, 例如 ARM、MIPS 等。

(2) 嵌入式系统的软件系统通常是以嵌入式操作系统为核心, 外加用户应用程序。

(3) 嵌入式系统在特征上具有明显的可嵌入性。

从狭义上说, 嵌入式系统都应该具备上述 3 个特征。从广义上说, 只要具备上述三个特征之中的部分特征, 也可以看作是嵌入式系统。

1.1.2 嵌入式系统微处理器

嵌入式系统微处理器可以是单片机, 也可以是普通的 CPU, 还可以是 DSP、FPGA 等。下面分别介绍 4/8/16 位单片机、32 位 RISC 微处理器、PC 用 CISC 微处理器、DSP 以及 FPGA 等嵌入式系统微处理器的特点以及它们在嵌入式系统中的应用。

1. 4/8/16 位单片机

单片微型计算机 (Single-Chip Microcomputer), 简称单片机, 即将微处理器 (CPU)、存储器 (存放程序或数据的 ROM 和 RAM)、总线、定时器/计数器、输入/输出接口 (I/O 口) 和其他多种功能器件集成在一块芯片上的微型计算机。

早期的单片机主要是采用 CISC 结构, 内置不可重写的 ROM 或外置程序存储器, 带通

用并口和通用串口(通用的同步/异步收发器),例如 Intel 公司的 8031、8051 等 8 位 MCS-51 系列单片机。目前的单片机许多都采用了 RISC 结构,内置 Flash 程序存储器,例如 Atmel 公司的 AVR 系列单片机。

4/8/16 位单片机具有成本低、使用灵活等特点,其中 4 位单片机以低成本、少引脚等优点而在一些小家电及小玩具之中得到广泛应用。但是,随着 8 位单片机成本的进一步降低,4 位单片机的成本优势已不明显,因此目前 4 位单片机的市场占有率并不高。

8 位单片机目前依然是市场上低成本单片机的首选产品,也是学习单片机的入门级产品,虽然它的部分市场份额已被 16 位/32 位单片机取代,但 8 位单片机具有广泛的开发群体,同时在一些新拓展的领域中也得到了应用,因此目前还不会完全被 16 位/32 位单片机取代。8 位单片机种类繁多,例如 Intel 公司的 MCS-51 系列单片机、Atmel 公司的 AT89/AT90/AVR 系列单片机、飞利浦公司的 80C51 系列单片机、台湾义隆公司(EMC)EM78 系列单片机、Microchip 公司的 PIC 单片机系列、台湾 Winbond(华邦)的 W78 系列等。

16 位单片机凭借其比 8 位单片机功能强大、比 32 位单片机成本低的优点,已在仪器仪表、复杂控制以及专用消费电子产品等领域得到了广泛地应用,但由于低端受到 8 位单片机的挤压,高端又受到 32 位单片机吞噬,目前持续上升的 16 位单片机应用势头能保持多久还是个未知数。常见的 16 位单片机有凌阳公司的 SPCE061 单片机、TI 公司的 MSP430 系列 16 位单片机、亿恒公司的 C164CI 位单片机、飞思卡尔的 16 位单片机、Intel 公司的 MCS-196 系列 16 位单片机、Microchip 公司的 dsPIC 16 位单片机等。

2. 32/64 位 RISC 单片机

通常,嵌入式系统的微处理器都是由 32 位单片机(32 位处理器)组成。常见的 32 位单片机有 ARM、MIPS、PowerPC 等。目前,32 位单片机市场份额从高到低大致是 ARM、MIPS、MicroSPARC、PowerPC 等,其中 ARM 的市场份额超过 80%。

MIPS 单片机,即无内部互锁流水级的微处理器(Microprocessor Without Interlocked Piped Stages),也是一种 RISC 处理器。它最早于 20 世纪 80 年代初期由斯坦福(Stanford)大学 Hennessy 教授领导的研究小组研制出来。1984 年, MIPS 计算机公司成立。1992 年, SGI 收购了 MIPS 计算机公司。1998 年, MIPS 脱离 SGI, 成立 MIPS 技术公司,成为主要设计制造高性能、高档次及嵌入式 32 位和 64 位处理器的厂商。1986 年,推出 R2000 处理器,1988 年推出 R3000 处理器,1991 年推出第一款 64 位商用微处理器 R4000。1999 年, MIPS 公司发布 MIPS 32 和 MIPS 64 架构标准。2000 年, MIPS 公司发布了针对 MIPS 32 4Kc 的新版本以及未来 64 位 MIPS 64 20Kc 处理器内核。

中科院计算技术研究所(ICT)设计的龙芯与 MIPS64 架构兼容,已获 MIPS 公司授权。龙芯处理器基于先进的 64 位超标量体系结构,将与 MIPS 科技公司的 MIPS64 架构兼容。与 MIPS 兼容,既可以充分利用 MIPS 的应用软件和品牌优势,也可以获得 MIPS 在设计、验证等方面的全面技术支持。龙芯 2F 将实现 64 位 MIPSIII 指令系统兼容。

3. 32/64 位 CISC 微处理器

虽然 RISC 处理器优点众多、发展迅速,但它并未能取代 CISC 微处理器,并且 CISC 微处理器的发展也并未落后于 RISC 处理器,在许多场合其运算速度以及成本更优于 RISC 处理器。因此,在某些工控领域以及测量领域,基于 CISC 微处理器的嵌入式工控板依然是高端应用的首选。

4. DSP 处理器

DSP (Digital Signal Processing, 数字信号处理) 处理器是针对快速及大量数据处理专用处理器, 它内部采用程序和数据分开的哈佛结构, 具有专门的硬件乘法器, 广泛采用流水线操作, 提供特殊的 DSP 指令, 可以用来快速地实现各种数字信号处理算法。

下面以 TMS320VC5402 (以下简称 C5402) 为例介绍 DSP 处理器的一些特点。C5402 是德州仪器公司 (TI) 1999 年 10 月推出的性价比极高的定点数字信号处理器, 其特点如下:

- (1) 操作速率达 100MIPS。
- (2) 具有先进的多总线结构, 三条 16 位数据存储器总线和一条程序存储器总线。
- (3) 40 位算术逻辑单元 (ALU), 包括一个 40 位桶形移位器和两个 40 位累加器。
- (4) 一个 17×17 乘法器和一个 40 位专用加法器, 允许 16 位带/不带符号的乘法。
- (5) 整合维特比加速器, 用于提高维特比编译码的速度。
- (6) 单周期正规化及指数译码。
- (7) 8 个辅助寄存器及一个软件栈, 允许使用业界最先进的定点 DSP C 语言编译器。
- (8) 数据/程序寻址空间 $1\text{M} \times 16$ 位, 内置 $4\text{K} \times 16$ 位 ROM 和 $16\text{K} \times 16$ 位 RAM。
- (9) 内置可编程等待状态发生器、锁相环 (PLL) 时钟产生器、两个多通道缓冲串行口、一个 8 位并行与外部处理器通信的 HPI 口、2 个 16 位定时器以及 6 通道 DMA 控制器。
- (10) 低功耗, 工作电源有 3V 和 1.8V (内核), 特别适合电池供电设备。

5. FPGA (SOPC, 软核 CPU)

FPGA (Field Programmable Gate Array) 即现场可编程门阵列, 最早由 Xilinx 公司发明。内部由许多 LE (Logic Element 阵列排列的) 组成, 编程多为 SRAM 工艺, 基于查找表 (Look Up Table) 结构, 需要外挂配置用的 EPROM。现在也有内部编程采用 Flash 工艺的, 掉电后无须重新烧录。

PLD (Programmable Logic Device) 是可编程逻辑器件的总称, 早期多采用 EEPROM 工艺并基于乘积项 (Product Term) 结构。

SOPC (System On Programmable Chip) 即可编程的片上系统, 或者说是基于大规模 FPGA 的单片系统。SOPC 的设计技术是现代计算机辅助设计技术、EDA 技术和大规模集成电路技术高度发展的产物。SOPC 技术是美国 Altera 公司于 2000 年最早提出的, 并同时推出了相应的开发软件 Quartus II。SOPC 是基于 FPGA 解决方案的 SOC, 与 ASIC 的 SOC 解决方案相比, SOPC 系统及其开发技术具有更多的特色。

软核 CPU, 即采用软件 (软 IP 核) 的方式发行 CPU, 软 IP 核通常以可综合的 HDL 提供, 因此具有较高的灵活性, 并与具体的实现工艺无关, 可以移植到不同的半导体工艺中去生产集成电路芯片。利用 IP 核设计电子系统, 引用方便, 且容易修改基本元件的功能。其主要缺点是缺乏对时序、面积和功耗的预见性。用户只需要拿到软 IP 核代码, 在 FPGA 上通过配置的方式即可生成一个具体与硬件 CPU 完全相同的 CPU。比较流行的软核 CPU 有 Altera 的 Nios II 以及 Xilinx 公司的 MicroBlaze。

目前, 最有代表性的软核嵌入式系统处理器分别是 Altera 的 Nios 和 Nios II 以及 Xilinx 的 MicroBlaze 核。特别是前者, 即 Nios CPU 系统, 是用户可随意配置和构建的 32 位/16 位总线 (用户可选的) 指令集和数据通道的嵌入式系统微处理器 IP 核。Altera 的 Nios 核由于其开发工具的简便与完善以及 FPGA 成本的低廉, 已经得到广大用户的认可和支持。

MicroBlaze 是基于 Xilinx 公司新一代 FPGA 器件的软处理器核。MicroBlaze 功能强大, 例如指令加速支持 (FSL 接口)、可配置大小指令和数据缓冲器以及多处理器实例等, 与强大的外设产品 IP 相结合, 使 MicroBlaze 平台的性能远远超出了传统的处理架构。其 FSL 总线是 FIFO 单向链路, 可以实现用户自定义 IP 核与 MicroBlaze 的内部通用寄存器的高速连接。

1.1.3 嵌入式操作系统

嵌入式操作系统 EOS (Embedded Operating System) 从其名字上能看得出来, 它是一种操作系统, 与人们熟悉的 Windows 有共同的特点, 即这种软件系统具有负责全部软、硬件资源的分配、调度的能力, 控制与协调并发事务的活动, 完成任务调度、同步机制、中断处理、文件等功能。

嵌入式操作系统是一种特殊的操作系统, 从其名字还可以看出, 它具有嵌入式的特征。嵌入式特性一方面是指该类型的操作系统可以在嵌入式硬件开发平台上工作; 另一方面也指它具有很强的可拆卸性、很高的实时操作性、很广泛的环境适应性、很明显的专用性、足够的精简性以及很好的稳定性。下面是嵌入式操作系统的特点:

- (1) 可拆卸性: 开放性、可伸缩性的体系结构。
- (2) 实时操作性: EOS 实时性较强, 一般可用于各种设备的控制。
- (3) 环境适应性: 因为嵌入操作系统硬件平台种类繁多, 使用场合也各不相同, 因此要求嵌入式操作系统具有良好的可移植性和灵活性。
- (4) 专用性: 嵌入操作系统一般比较小, 不可能包罗万象, 因此不同的嵌入式操作系统有着不同的应用侧重点, 有比较明显的专用性。
- (5) 精简性: 一般嵌入式硬件平台的程序存储器、动态存储器、运算速度等硬件资源都比较有限, 因此同时要求嵌入式操作系统要足够精练。
- (6) 稳定性: 嵌入式系统一旦开始运行就不需要用户过多地干预, 这就要负责系统管理的 EOS 具有较强的稳定性。嵌入式操作系统的用户接口一般不提供操作命令, 它通过系统调用命令向用户程序提供服务。

常见的嵌入式系统有 Linux、 μ Clinux、Windows CE、Palm OS、Symbian、eCos、uC/OS-II、VxWorks、pSOS、Nucleus、ThreadX、Rtems、QNX、INTEGRITY、OSE 以及 C Executive 等。下面分别介绍部分典型的嵌入式操作系统。

1. Linux

嵌入式 Linux 操作系统是一个非常成功并且具有很大发展潜力的嵌入式操作系统。它的成功来源于多个方面, 其中开放源代码、功能强大以及在 PC 上应用广泛是非常重要的原因。

(1) 开放源代码。Linux 操作系统最早于 1991 年由芬兰赫尔辛基大学生 Linus Torvalds 开发, 并于当年 10 月放在网上分发, 采取了开放源代码的方式, 随后在众多世界顶尖软件工程师的不断修改和完善下, 迅速壮大起来, 并得到 GNU (自由软件基金会) 的支持。

Linux 核心以及相应的源代码任何人都可以得到, 核心代码的版权完全免费, 并且是在通用公共许可证 (General Public License, GPL) 的条件下由数百个贡献者共同编写。GPL 允许任何人以任何方式免费分发完整的源码, 进行复制, 并且销售或分发 (有少数例外)。GPL 连同 Linux 核心一起提供, 由于嵌入式系统硬件平台繁多, 使用场合各不相同, 因此常需要对嵌入式操作系统进行定制, 此时获得源代码就变得至关重要。

(2) 功能强大。Linux 具有 UNIX 的优点,一是具有稳定、可靠、安全性;二是具有广泛的硬件支持;三是具有强大的网络功能。

在内核稳定、安全方面,由于 Linux 内核通过了长期广泛的使用,得到了众多世界顶尖软件工程师的不断完善,同时吸收了 UNIX 的优点,使得 Linux 的内核设计变得非常精巧,并且安全可靠。

硬件支持方面, Linux 能够支持 x86、ARM、MIPS、ALPHA、PowerPC 等多种体系结构,目前已经成功移植到数十种硬件平台。

(3) PC 上应用广泛。虽然 PC 版本的 Linux 与嵌入式系统中用的 Linux 在功能上有很大的不同,但内核的差别并不大。由于在 PC 上应用广泛,使得 Linux 的软件资源十分丰富,每一种通用程序在 Linux 上几乎都可以找到,并且数量还在不断增加。在 Linux 上开发嵌入式应用软件一般不用从头做起,而是可以选择一个类似的自由软件作为原型,在其上面进行二次开发。

2. μ Clinux

μ Clinux (Micro-Control-Linux) 即“微型控制 Linux 系统”。 μ Clinux 主要是专门针对没有 MMU 的 CPU,并且为嵌入式系统做了许多小型化的工作。 μ Clinux 是一个源代码开放的操作系统,完全符合 GNU/GPL 公约。它是 Linux 的一个变种,主要的区别在于两者的内存管理机制和进程调度管理机制。同时,为了适应嵌入式应用的需求,它采用了 Romfs 文件系统,并对 Linux 上的 C 语言库 Glibc 做了简化。目前, μ Clinux 支持的硬件平台很多,例如 ARM 7TDMI、MC68EN302、ETRAX、Intel i960 以及 MC68360 等。

MMU (Memory Manage Unit) 即存储器管理单元,它通常由一套硬件来实现。MMU 最主要的功能是负责虚拟地址与物理地址的转换,提供硬件机制的内存访问授权。采用 MMU 的优点:一方面,MMU 可以提供对内存空间的保护;另一方面,可提供一个物理地址到逻辑地址的转换。物理存储器页面通过映射可保持进程的线程堆栈,使得每个进程都拥有自己的地址空间,从而避免进程访问内存空间错位。

μ Clinux 系统的特点如下:

- ① 对硬件平台的要求较低。
- ② 内核较小、较精简。
- ③ 可在不带 MMU 单元的 CPU 上运行。
- ④ 具有 Linux 的稳定、移植性好、功能强大等优点。
- ⑤ 与很多 Linux 的应该程序兼容。

3. Windows CE

(1) Windows CE。Windows CE 是基于掌上型电脑类的电子设备操作系统。其中,CE 中的 C 代表袖珍 (Compact)、消费 (Consumer)、通信能力 (Connectivity) 和伴侣 (Companion); E 代表电子产品 (Electronics)。Windows CE 是微软开发的一个开放的、可升级的 32 位嵌入式操作系统,是基于掌上型电脑类的电子设备操作系统,可看成是精简的 Windows 系统。

Windows CE 借助于桌面操作系统以及服务器操作系统平台,具有功能强大、人机交互好等优点,还具有广泛的开发人员和用户,并得益于微软公司强大的经济和技术实力。Windows CE 在智能手机、PDA 以及 GPS 等便携类消费产品中的应用潜力不可小视。因此,目前许多商家担心的已不是 Windows CE 是否有市场的问题,而是担心在便携消费产品中是否会再重演类似于 PC 操作系统领域形成的垄断局面。

Windows CE 具有多线性、多任务、全优先级管理等功能,支持各种硬件外围设备、网络系统及其他设备,包括键盘、鼠标设备、触板、串行端口、以太网连接器、调制解调器、通用串行总线(USB)设备、音频设备、并行端口、打印设备及存储设备(例如 PC 卡)等。

Windows CE 是一种可自定义的嵌入式操作系统,适用于各种占用内存很少的设备。OEM (Original Equipment Manufacturer) 可以使用 Windows CE 设计平台和自定义应用程序,使用户可以获得各种设备的最佳体验,例如手持设备、瘦客户机、逻辑控制器以及各种高级消费类电子产品。

Windows CE 支持超过 1 000 个公共 Microsoft Win32 API 和几种附加的编程接口,用户可利用它们来开发应用程序。Windows CE 的开发平台主要为 Windows CE Platform Builder,可采用 Microsoft Visual Studio 2005 中的 VC++(Visual C++以下简称 VC++)、VC.net(Visual C.net,以下简称 VC.net)、VB.net(Visual Basic.net,以下简称 VB.net)以及 C#.net 等来开发 Windows CE 程序,也可以采用以前的 EVC 环境或 Pocket PGCC 等来开发 Windows CE 程序。由于 Windows CE 开发大多是人们熟悉的 VC++环境以及可调用许多熟悉的 Windows API 函数来设计程序,因此 Windows CE 的开发速度远快于 Linux,而开发的难度却远低于嵌入式 Linux。

目前,Windows CE 最新版本是 6.0 版本。Windows CE 6.0 支持了 ARM 的最新体系,同时也支持 ExFAT 文件系统,使 Windows CE 不再受传统 FAT 文件系统的 32GB 单一容量的限制。支持 802.11i、WAP2、802.11e(无线 QoS)、蓝牙 A2DP/AVRCP 的 AES 加密等通信协议,为无线通信建立了一个稳定、安全以及可靠的应用环境。支持最新的多媒体能力,包括以下内容:

- ① TIFF 编解码器的支持。
- ② HD-DVD 解码器的支持。
- ③ MPEG-2 解码器。
- ④ 更多的影音编码与格式支持。
- ⑤ UDF 2.5 格式的支持。
- ⑥ 虚拟环绕声道的支持。
- ⑦ 多轨音效的支持。
- ⑧ 强化 DirectDraw,可支持电视使用的交错显示模式。
- ⑨ USB OTG 功能加入,可作为 USB 的控制端。

(2) Windows Mobile。Windows Mobile 是基于 Windows CE 内核构建的一种完善的软件平台。与 Windows CE 不同,Windows Mobile 操作系统专为要求特殊硬件配置的设备而设计,在 Windows Mobile 5.0 之前的版本,Windows Mobile 又分 Smartphone 和 Pocket PC 两种:① Smartphone: Smartphone 主要是针对手持电话设备而设计。除了保持 Windows CE 所具有的功能强大、用户界面美观以及操作方便等优点之外,还增加了许多电话通信、短消息处理等方面的功能,同时针对电话设备做了优化。② Pocket PC: Pocket PC 主要是作为一种小型个人计算机而设计,在文件浏览、数据管理以及消息处理等方面具有很强的性能。另外,也为某些 Pocket PC 设备提供了电话通信接口。

在 Windows Mobile 5.0 版本,微软公司按照系统不同的用途分别发布了 3 个版本:Pocket PC Phone Edition(支持触控屏智能手机)、Smartphone Edition(非触控屏智能手机)和 Pocket PC Edition(不具备手机功能手持设备)。

在 Windows Mobile 6.0 版本,命名方式上进行了重新定位,采用了与 5.0 版本不同的命