

“十一五”高等院校规划教材



SoC单片机原理与应用

——基于C8051F系列

张俊谟 编著



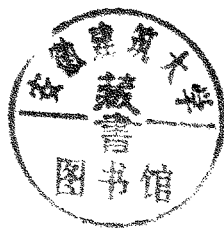
北京航空航天大学出版社

“十一五”高等院校规划教材

SoC 单片机原理与应用

——基于 C8051F 系列

张俊谟 编著



北京航空航天大学出版社

内 容 简 介

C8051F 系列是一种继承 80C51 系列单片机的优良传统特色,并将其进行改造和创新而形成的一种 SoC 型单片机。本书基于 C8051F 系列单片机,分 3 篇阐述 SoC 型单片机的原理和应用:第 1 篇,全面叙述 CIP-51 内核的结构和工作原理,使读者了解 C8051F 对 80C51 的继承和发展;第 2 篇,介绍 C8051F 系列单片机中的数字资源(例如 I/O 口、外部数据存储器扩展、定时/计数器、各种串行接口总线)及其应用原理,着重说明独具特色的数字开关阵列的作用和原理;第 3 篇,介绍 C8051F 系列单片机中的模拟资源(例如 12 位及 8 位 A/D 转换器、12 位 D/A 转换器、比较器、精密参考电源、温度传感器等)。

本书与实验教材《SoC 单片机实验、实践与应用设计——基于 C8051F 系列》及 C8051F 单片机综合教学实验仪组成了一套完整的、基于 C8051F 系列单片机的新教学方案。

本书既可作为高等院校电子、自动化、机电一体化等专业本科生和研究生的教材,也可作为工程技术人员的参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

SoC 单片机原理与应用:基于 C8051F 系列/张俊谟编著.

北京:北京航空航天大学出版社,2007.5

ISBN 978-7-81124-001-6

I. S... II. 张... III. 单片微型计算机, C8051F 系列

IV. TP368.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 065192 号

©2007,北京航空航天大学出版社,版权所有。

未经本书出版者书面许可,任何单位和个人不得以任何形式或手段复制或传播本书内容。

侵权必究。

SoC 单片机原理与应用——基于 C8051F 系列

张俊谟 编著

责任编辑 李春风

*

北京航空航天大学出版社出版发行

北京市海淀区学院路 37 号(100083) 发行部电话:010-82317024 传真:010-82328026

http://www.buaapress.com.cn E-mail:bhpress@263.net

涿州市新华印刷有限公司印装 各地书店经销

*

开本:787 mm×960 mm 1/16 印张:23 字数:515 千字

2007 年 5 月第 1 版 2007 年 5 月第 1 次印刷 印数:4 000 册

ISBN 978-7-81124-001-6 定价:32.00 元

前 言

在嵌入式系统的单片机领域,从8位单片机诞生至今已有近30年的历史。而其中又以80C51系列单片机的历史最长,经过不断更新,使其成为一种既经典又不乏生命力的单片机系列。总结单片机发展的历史,它主要经历了3个技术发展阶段:SCM(单片微型计算机,单片机)阶段、MCU(微控制器)阶段和SoC(片上系统,单片系统)阶段。就单片机教学而言,在我国已有20多年的历史,8位单片机教学主要是以MCS-51为基础的教学体系。在单片机技术已经长足发展的今天,这样的现实虽然反映了单片机体系的强大稳定性,但另一方面也反映了教学与技术发展相脱节的事实。因而,如何改革现行的单片机教学成为当前的紧迫任务。

在当今的单片机之林中,作为80C51单片机的继承和发展,通用的SoC单片机系列——C8051F既保有了MCS-51的经典体系结构,同时也涵盖了当今技术发展的典型领域,贴近当前真实的单片机应用环境,将它作为今后单片机的主讲机型是适宜的,本书就是基于这样的认识编写的。为了适应片上系统(SoC)的结构特点,在教材的结构上也作了相应的改变。全书共3篇:第1篇为基础篇,主要讲述单片机的内核——CIP-51;第2篇为数字外设篇,着重讲述片内的各种数字外设以及控制它们在外围引脚上分配的交叉开关;第3篇为模拟外设篇,主要讲述A/D转换、D/A转换、模拟比较器及基准电压等模拟外设。

在新的教学体系中,如何加强学生实践能力的培养也是一个突出的问题。本次组织编写C8051F单片机教材时,采取了从抓实验设备、实验教材入手的方法,先研制C8051F单片机的实验设备,编写实验课教材,然后在此基础上编写理论课教材。这样做的好处是:讲课内容与实验内容以及后续的各个实践环节配合紧密,完善的实验设备与实验教材有利于教师适应新的教学内容。这样,本书与相应的课件、C8051F单片机综合教学实验仪以及实验教材《SoC单片机实验、实践与应用设计——基于C8051F系列》构成了一套完整的、基于C8051F系列单片机的新教学体系。

在本书编写过程中,北京航空航天大学何立民教授审阅了本书全稿,新华龙电子公司的陶庸总经理在产品资料和开发工具方面提供了全方位的帮助,责任编辑李春风在编校中付出了辛勤的劳动。在此一并表示衷心的感谢。张玉红、张扬等参与了本书部分章节的编写。

作 者

张俊谋

2007.4

目 录

第 1 篇 基础篇

第 1 章 绪 论

1.1 单片机、微控制器及片上系统	3
1.1.1 单片机	3
1.1.2 微控制器	3
1.1.3 片上系统	3
1.2 单片机的发展	4
1.2.1 SCM 阶段	4
1.2.2 MCU 阶段	5
1.2.3 SoC 阶段	6
1.3 C8051F 系列单片机简介	7
1.3.1 C8051F 系列单片机的基本组成	7
1.3.2 C8051F020 单片机引脚功能	11
1.3.3 C8051F 系列单片机的技术特点及分类	14
1.4 课程的教学安排	17
思考与练习	17

第 2 章 CIP-51 微控制器核的基本结构

2.1 CIP-51 微控制器的结构	18
2.1.1 中央控制器	19
2.1.2 运算器	21
2.2 布尔(位)处理器	23
思考与练习	24



第 3 章 CIP-51 微控制器的时钟系统及电源管理模式

3.1 系统时钟电路和振荡器	25
3.1.1 系统时钟信号	25
3.1.2 内部振荡器	26
3.1.3 外部振荡器	26
3.2 时序、定时单位及指令周期	30
3.3 电源管理方式	30
思考与练习	32

第 4 章 CIP-51 微控制器的存储器系统

4.1 存储器结构	33
4.2 程序存储器	34
4.3 数据存储器	35
4.3.1 内部数据存储器	35
4.3.2 外部数据存储器	39
4.4 Flash 存储器的编程和安全管理	40
4.4.1 Flash 存储器编程	40
4.4.2 Flash 存储器的安全管理	42
思考与练习	45

第 5 章 CIP-51 微控制器的指令系统

5.1 概 述	46
5.1.1 指令分类	46
5.1.2 指令格式	46
5.1.3 指令系统中使用的符号	47
5.2 寻址方式和寻址空间	47
5.3 指令系统的分析	50
5.3.1 数据传送类指令	50
5.3.2 算术运算类指令	54
5.3.3 逻辑运算类指令	57
5.3.4 控制转移类指令	60
5.3.5 布尔(位)操作类指令	64
思考与练习	66



第 6 章 CIP-51 微控制器的复位和中断系统

6.1 复 位	67
6.1.1 复位状态	67
6.1.2 复位源	67
6.1.3 复位中使用的寄存器	71
6.2 中断系统	73
6.2.1 中断源	73
6.2.2 中断标志	76
6.2.3 中断允许控制	78
6.2.4 中断优先级	81
6.2.5 中断运行和中断请求的撤除	84
6.2.6 中断的响应过程和中断矢量地址	85
6.3 中断应用举例	86
思考与练习	89

第 2 篇 数字外设篇**第 7 章 外设接口概述**

7.1 I/O 端口的多功能	93
7.2 交叉开关译码器和数字外设的配置	96
7.2.1 交叉开关译码器和数字外设备置的特殊功能寄存器	97
7.2.2 交叉开关引脚分配	100
7.2.3 交叉开关引脚分配示例	107
思考与练习	109

第 8 章 通用数字输入/输出端口

8.1 单片机 I/O 端口的操作	110
8.1.1 端口引脚的输出方式	111
8.1.2 端口引脚的输入方式	113
8.1.3 配置无引出脚的端口	113
8.2 输入/输出端口的特殊功能寄存器	114
8.2.1 低端口 P0~P3 的特殊功能寄存器	114
8.2.2 高端口 P4~P7 的特殊功能寄存器	118
8.3 输入/输出端口应用举例	120



思考与练习..... 127

第 9 章 外部数据存储器接口和片内 XRAM

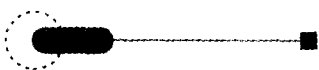
9.1 外部数据存储器空间 XRAM 的访问	128
9.2 外部数据存储器接口的特殊功能寄存器	129
9.3 外部数据存储器接口的配置	131
9.4 端口选择和配置	131
9.5 复用和非复用选择	132
9.6 存储器模式选择	133
9.7 外部数据存储器接口操作时序	135
9.8 外部数据存储器接口和片内 XRAM 的应用	139
思考与练习.....	149

第 10 章 定时/计数器

10.1 定时器 0 和定时器 1	151
10.1.1 定时器 0/1 交叉开关的配置.....	151
10.1.2 定时器 0/1 的特殊功能寄存器.....	152
10.1.3 定时器 0/1 的工作方式.....	155
10.2 定时器 2 和定时器 4	159
10.2.1 交叉开关中 I/O 引脚的配置	159
10.2.2 定时器 2/4 的特殊功能寄存器.....	160
10.2.3 定时器 2/4 的工作方式.....	164
10.3 定时器 3	168
10.3.1 定时器 3 的特殊功能寄存器.....	168
10.3.2 定时器 3 的工作方式.....	170
10.4 定时/计数器的应用举例	170
思考与练习.....	177

第 11 章 可编程计数器阵列

11.1 PCA 的特殊功能寄存器	178
11.2 PCA 的工作原理	182
11.2.1 PCA 交叉开关配置	182
11.2.2 PCA 定时/计数器	183
11.2.3 捕捉/比较模块	184



11.3 可编程计数器阵列 PCA 的应用举例	190
思考与练习	197
第 12 章 系统管理总线	
12.1 SMBus 串行接口的结构	198
12.2 SMBus 协议	200
12.2.1 传输握手信号和数据传输时序	200
12.2.2 总线仲裁及其他传输协议	202
12.3 SMBus 数据传输方式	203
12.3.1 数据传输方式	203
12.3.2 典型传输过程分析	204
12.4 SMBus 特殊功能寄存器	206
12.5 SMBus 的操作	209
12.6 SMBus 的应用举例	212
思考与练习	228
第 13 章 增强型串行接口	
13.1 UART0 和 UART1 的特殊功能寄存器	229
13.2 UART0/1 引脚配置和工作方式	234
13.2.1 UART0/1 引脚的配置	234
13.2.2 UART0/1 工作方式	234
13.3 UART0/1 的多机通信	238
13.4 帧错误和传输错误检测	240
13.5 UART 的应用举例	240
思考与练习	253
第 14 章 串行外设接口总线	
14.1 SPI 接口的结构原理、控制信号及交叉开关配置	256
14.1.1 SPI 接口的结构原理	256
14.1.2 SPI 控制信号	256
14.1.3 交叉开关中 SPI 信号引脚的配置	258
14.2 SPI 特殊功能寄存器	258
14.3 SPI 工作原理	261
14.3.1 SPI 的操作过程	261



14.3.2 串行时钟时序	263
14.4 SPI 的应用举例	263
思考与练习	270

第 15 章 JTAG 接口

15.1 JTAG 接口的结构	271
15.2 Flash 编程命令	277
15.3 JTAG 接口的实现与调试支持	279
15.4 单片机集成开发环境的设计	280

第 3 篇 模拟外设篇

第 16 章 12 位模/数转换器

16.1 ADC0 的组成	286
16.2 ADC0 的特殊功能寄存器	287
16.2.1 ADC0 的特殊功能寄存器简介	287
16.2.2 ADC0 数据字应用举例	291
16.3 ADC0 的工作方式	292
16.4 ADC0 可编程超限检测器	294
16.4.1 ADC0 可编程超限检测器的工作原理	294
16.4.2 ADC0 可编程超限检测器的工作寄存器	295
16.4.3 ADC0 可编程超限检测器的超限中断示例	296
16.5 ADC0 的基准电压	299
16.6 ADC0 应用举例	300
思考与练习	303

第 17 章 8 位模/数转换器

17.1 模拟多路开关和可编程增益放大器	305
17.1.1 ADC1 模拟输入的配置	305
17.1.2 ADC1 输入通道的选择	305
17.1.3 可编程增益放大器	306
17.2 ADC1 的特殊功能寄存器	306
17.3 ADC1 的工作方式	309
17.4 ADC1 的基准电压	311

第 18 章 12 位电压输出数/模转换器	
18.1 DAC 的特殊功能寄存器	313
18.2 DAC 的操作	316
18.3 DAC 的基准电压	317
18.4 DAC 应用举例	318
思考与练习	322
第 19 章 比较器	
19.1 比较器的组成和特点	323
19.2 比较器的特殊功能寄存器	323
19.3 比较器的操作	326
19.4 比较器的应用举例	328
第 20 章 基准电源及温度传感器	
20.1 基准电源	333
20.1.1 基准电源的组成	333
20.1.2 电压基准控制寄存器	335
20.2 温度传感器	335
20.2.1 温度传感器的特性	335
20.2.2 温度传感器的操作	336
20.2.3 温度传感器的应用举例	337
附录 A 特殊功能寄存器一览表	341
附录 B 中断源一览表	345
附录 C CIP-51 指令一览表	347
附录 D 模拟部件电气特性	351
参考文献	355



第 1 篇

基础篇

- ★ 绪 论
- ★ CIP-51 微控制器核的基本结构
- ★ CIP-51 微控制器的时钟系统及电源管理模式
- ★ CIP-51 微控制器的存储器系统
- ★ CIP-51 微控制器的指令系统
- ★ CIP-51 微控制器的复位和中断系统

第 1 章

绪 论

1.1 单片机、微控制器及片上系统

1.1.1 单片机

利用大规模集成电路技术,将 CPU、RAM、ROM、定时/计数器以及输入/输出(I/O)接口电路等主要计算机部件,集成在一块集成电路芯片上,这样所组成的芯片级的微型计算机,称为单片微型计算机(SCM, Single Chip Microcomputer),直译为单片机。虽然单片机只是一个芯片,但从组成和功能上看,它已具有了微机系统的含义。

1.1.2 微控制器

单片机从功能和形态上来说,都是应控制领域的使用要求而诞生的,并且发展到新一代 80C51、M68HC05、M68HC11 系列单片机时,在其中着力扩展了各种控制功能,如模/数转换(A/D)、PWM、可编程计数器阵列(PCA)、高速 I/O 口、WDT 等,已突破了微型计算机(Microcomputer)的传统内容。因此,此时更能准确地反映单片机本质的叫法应为微控制器(MCU, Micro Controller Unit)。

1.1.3 片上系统

在超深亚微米($VDSM < 0.25 \mu m$)工艺技术支持下,实现了在一块硅芯片上集成不同功能模块,使其成为系统级的集成芯片。将各种功能模块集成于一块芯片上的完整系统,仿照单片机的叫法,似应称为单片系统,但是称之为片上系统(SoC, System on Chip)更为适宜。以单片机为基础发展成的片上系统,称为片上系统级单片机。SoC 是集成电路发展的新阶段,也是其发展的必然趋势。

SoC 设计技术始于 20 世纪 90 年代中期,它是一种系统级的设计技术。如今,电子系统的设计已不再是利用各种通用集成电路(IC, Integrated Circuit)进行印刷电路板(PCB, Printed Circuit Board)板级的设计和调试,而是转向以大规模现场可编程逻辑阵列(FPGA, Field-Pro-

programmable Gate Array)或专用集成电路(ASIC, Application-Specific Integrated Circuit)为物理载体的系统级的芯片设计。

使用 ASIC 为物理载体进行芯片设计的技术称为片上系统技术,即 SoC;使用 FPGA 作为物理载体进行芯片设计的技术称为可编程片上系统技术(SoPC, System on Programmable Chip)。SoC 技术和 SoPC 技术都是系统级的芯片设计技术,统称为广义 SoC。

因此,SoC 是指以嵌入式系统为核心,集软硬件于一体,并追求产品系统最大包容的集成器件。大体来看,SoC 含有:

- 逻辑核——包括 CPU、时钟电路、定时器、中断控制器、串并行接口、其他外围设备、I/O 端口以及用于各种 IP 核之间的粘合逻辑等等;
- 存储器核——包括各种易失、非易失以及 Cache 等存储器;
- 模拟核——包括 ADC、DAC、PLL 以及一些高速电路中所用的模拟电路等。

SoC 与板上系统相比,具有以下优点:

- 充分利用集成技术,降低了产品设计的复杂性和开发成本,缩短了产品开发的时间;
- 单芯片集成电路可以有效地降低系统功耗;
- 减少芯片对外引脚数,简化了系统加工的复杂性;
- 减少外围驱动接口单元及电路板之间的信号传递,提高了数据传输和处理的速度;
- 内嵌的线路可以减少甚至避免电路板信号传送时所造成的系统信号串扰。

1.2 单片机的发展

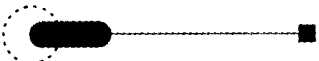
从嵌入式计算机系统的角度来看,单片机的技术发展史经历了 SCM、MCU 以及 SoC 三个阶段。

1.2.1 SCM 阶段

SCM 阶段即单片机阶段,这一阶段主要是寻求具有最佳单片形态的嵌入式系统最佳体系结构。“创新模式”获得成功,奠定了 SCM 与通用计算机完全不同的发展道路。在开创嵌入式系统独立发展的道路上,Intel 公司功不可没。

这一阶段包含了两代产品:第一代,以 1976 年推出的 MCS-48 系列为代表,其主要的技术特征是将 CPU 和计算机外围电路集成到了一个芯片上,成功地构成了新型 SCM,并与通用 CPU 分道扬镳,为单片机的进一步发展开辟了成功之路;第二代,以 MCS-51 的 8051、8052 为代表。

MCS-51 系列 8 位高档单片机是在总结 MCS-48 系列单片机的基础上,于 20 世纪 80 年代初推出的新产品。其主要的技术特征是:

- ① 扩大了片内存储容量、外部寻址空间,程序存储器和外部数据存储器的寻址都增加
- 

为 64 KB。4K×8ROM 作为内部程序存储器,用来存放系统程序、用户的专用程序和固定常数。

② 在 MCS-51 系列单片机中,8031、8751 与 8051 的内部结构基本相同,其区别仅在于 8031 内部不含有程序存储器,必须由外部扩展。8751 内部程序存储器为可编程、可改写的只读存储器 EPROM,其内部程序由用户自行写入。

③ 在片内数据存储器方面,采用 8 位地址,寻址范围为 256 字节,其中 00H~7FH 为 128 字节的内部 RAM,用来存放用户的随机数据;在 80H~FFH 范围内离散地分布着 21 个特殊功能寄存器,其中 11 个特殊功能寄存器具有位寻址能力。在内部 RAM 中,00H~1FH 可分为 4 个寄存器工作区。寄存器工作区由选择指令进行切换,从而有效地提高了 CPU 的现场保护能力和实时响应速度。20H~2FH 单元可进行位寻址。

④ 增强了并行口,增设了全双工串行口 I/O;4 个 8 位并行 I/O 接口,既可用于地址和数据的传送,也可与 8243、8155 等连接,进行外部 I/O 接口的扩展。串行 I/O 接口是一个全双工串行通信口,可用于数据的串行接收和发送,这为构成串行通信网络提供了方便。

⑤ 2 个定时/计数器均为 16 位(比 8048 长一倍),且有 4 种工作方式,这样不但扩大了定时/计数范围,而且用户使用起来更加灵活方便。

⑥ 增强了中断系统,在 MCS-51 单片机中,设置有 2 级中断优先级,可接受 5 个中断源的中断请求,中断优先级别可由用户定义。这样,使 MCS-51 单片机更加适用于数据采集与处理、智能仪器仪表以及工业过程控制。

⑦ 具备较强的指令寻址和运算等功能,MCS-51 系列单片机有 111 条指令,可分为 4 大类,使用了 7 种寻址方式。这些指令 44% 为单字节指令,41% 为双字节指令,15% 为三字节指令。若用 12 MHz 的晶体频率,50% 的指令可在 1 μ s 内执行完毕,40% 的指令在 2 μ s 内执行完毕。此外,还设有减法、比较和 8 位乘、除法指令。乘、除法指令的执行时间仅为 4 μ s,这样大大地提高了 CPU 的运算与数据处理能力。

⑧ 增设了颇具特色的布尔处理机,在 MCS-51 的指令系统中设置有位操作指令,可用于位寻址空间,这些位操作指令与位寻址空间一起构成布尔处理机。布尔处理机对于实时逻辑控制处理具有突出的优点。

可以看出,这一代单片机主要的技术特征是为单片机配置了完善的外部并行总线(AB、DB、CB)和具有多机识别功能的串行通信接口(UART),规范了功能单元的特殊功能寄存器(SFR)控制模式及适应控制器特点的布尔处理系统和指令系统,为发展具有良好兼容性的新一代单片机奠定了良好的基础。

但是,无论是第一代还是第二代单片机都还未能突破单片微机的内涵。

1.2.2 MCU 阶段

MCU 阶段即微控制器阶段,这一阶段主要的技术发展方向是为了满足嵌入式应用的要



求,不断扩展对象系统所要求的各种外围电路与接口电路,以实现对象智能化控制能力。在发展 MCU 方面,最著名的厂家当数 Philips 公司。Philips 公司以其在嵌入式应用方面的巨大优势,将 MCS-51 从单片微型计算机迅速发展到了微控制器。

与此同时,单片机在结构上采用 Flash ROM 技术。Flash ROM 的使用加速了单片机技术的发展。基于 Flash ROM 的 ISP/IAP 技术,极大地改变了单片机应用系统的结构模式以及开发和运行条件,而在单片机中最早实现 Flash ROM 技术的是 ATMEL 公司的 AT89Cxx 系列。

第三代,以 80C51 系列为代表。它包括了 Intel 公司发展的 MCS-51 系列的新一代产品,如 8XC152、80C51FA/FB、80C51GA/GB、8XC451、8XC452,还包括了 Philips、Siemens、ADM、Fujitsu、OKI、ATMEL 等公司以 80C51 为内核推出的大量各具特色、与 MCS-51 兼容的单片机。

80C51 系列单片机增设了两种可以用软件进行选择的低功耗工作方式:空闲方式和掉电方式。

87C51 单片机是 80C51 含 EPROM 的产品,89C51 单片机是 80C51 含 Flash ROM 的产品。它们有两级或三级程序存储器保密系统,用于保护 EPROM 或 Flash ROM 中的程序,以防止非法拷贝。另外,87C51 单片机还可用智能编程法进行编程。可使每个字节的编程的时间由 50 ms 减少到 4 ms。速度快,效率高。

除了上述的结构特性外,80C51 系列单片机最主要技术特点是向外部接口电路扩展,以实现微控制器(Microcontroller)完善的控制功能。如:为单片机配置了芯片间的串行总线(例如 I²C 总线),为单片机应用系统设计提供了更加灵活的方式。Philips 公司还为 80C51 系列 8XC592 单片机引入了具有较强功能的设备间网络系统总线(CAN BUS, Controller Area Network)等。这一系列的单片机为外部提供了相当完善的总线结构,为系统的扩展与配置打下了良好的基础。

80C51 系列产品中也有的增加了一些外部接口功能单元,如 A/D、PWM、WDT(监视定时器)、高速 I/O 口、PCA(可编程计数器阵列)、计数器的捕获/比较逻辑等。

此外,由于 80C51 系列采用了 CMOS 技术制造而成,较之 MCS-51 系列集成度高、速度快、功耗低。

1.2.3 SoC 阶段

SoC 阶段即片上系统阶段,MCS-51 典型的体系结构以及极好的兼容性,对于 MCU 不断扩展的外围来说,形成了一个良好的嵌入式处理器内核的结构模式。当前嵌入式系统应用进入 SoC 模式,从各个角度,以不同方式向 SoC 进军,形成了嵌入式系统应用热潮。在这个技术潮流中,作为 8 位经典结构的 8051 已开始为众多厂家承认,并广泛用于 SoC 的处理器内核。

单片机从单片微型计算机向微控制器(MCU)发展过程中,按系统要求不断扩展外围功