

134个演示实例  
5个综合案例  
1个课程设计大型案例



# 基于C语言 C8051F系列 微控制器原理与应用

张培仁 孙力 编著

- ✓ 详解C8051F系列微处理器的工作原理、组成结构、模拟外设、数字I/O端口和使用注意事项；
- ✓ 以C51编程为主，着重介绍C语言和汇编语言之间的调用和转换，部分实例提供C51和汇编两个版本的代码，便于读者对照学习；
- ✓ 通过精心挑选仔细调试并能成功运行的5个小型应用实例和1个大型综合实例，指导读者掌握C8051F系列微处理器的实际开发。



清华大学出版社

TP332.3/108

2007

# 基于C语言 C8051F系列 微控制器原理与应用

张培仁 孙力 编著

清华大学出版社  
北京

## 内 容 简 介

C8051F 系列微控制器是目前 8 位微控制器中功能最齐全、性能最优的一种。

本书集作者多年的教学、科研经验于一体,以国内外普遍使用的新型 C8051F 系列微处理器为核心,阐述其工作原理及应用,并配有大量的实例;基础性的原理部分,尽可能说明白讲清楚;实例部分都是精心挑选、仔细调试并能成功运行的例子,有较强的实用性和可操作性。

本书特点在于以 C 语言编程为主,着重介绍 C 语言与汇编语言之间的调用和转换,很多例子是同时给出 C 语言和汇编语言两种版本,便于读者对照学习。另外,还介绍芯片的实际应用背景、芯片设计思想,以及应用时应注意的问题,从而避免在教学过程中经常出现的“一看就懂、一放就忘、一用就错”的问题,尽可能使读者知其然亦知其所以然。

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 13501256678 13801310933

### 图书在版编目(CIP)数据

基于 C 语言 C8051F 系列微控制器原理与应用/张培仁,孙力编著.  
—北京:清华大学出版社,2007

ISBN 978-7-302-16267-4

I. 基… II. ①张… ②孙… III. ①微控制器 ②C 语言-程序设计

IV. TP332.3 TP312

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 155863 号

责任编辑:夏非彼 杨 洋

责任校对:贾淑媛

责任印制:何 芊

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

[c-service@tup.tsinghua.edu.cn](mailto:c-service@tup.tsinghua.edu.cn)

社 总 机:010-62770175 邮购热线:010-62786544

投稿咨询:010-62772015 客户服务:010-62776969

印 刷 者:北京鑫丰华彩印有限公司

装 订 者:三河市溧源装订厂

经 销:全国新华书店

开 本:185×260 印 张:31 字 数:748 千字

版 次:2007 年 11 月第 1 版 印 次:2007 年 11 月第 1 次印刷

印 数:1~4000

定 价:48.00 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:027307-01

# 前 言

2000 年以来, 虽然国内外嵌入式 16 位微处理器的应用有所增加, 但 8 位嵌入式微处理器的应用仍占 60%~70%, 随着 8 位嵌入式微处理器从 MCS-51/96、AT89C51 向完全集成的混合信号片上系统型 MCU——C8051F 系列过渡和发展, 国内嵌入式微处理器的教学也进入了一个全新的阶段, 开始普遍使用 C 语言和汇编语言的混合式教学与应用。

## 本书特色

本书所述 C8051F 系列微控制器是目前 8 位微控制器中功能最齐全、性能最优的一种, 它以 51 内核为主, 增加了 64KB 闪存和 4KB RAM; 通过交叉开关网络, 由用户自己定义 I/O 功能; 大量 SoC 片上系统; 完整模拟和数字信号混合系统。在科研上有广泛应用。

本书集我们多年的教学、科研经验于一体, 以国内外普遍使用的新型 C8051F 系列微处理器为核心, 介绍其工作原理及应用, 并配有大量的实例。对于基础性的原理部分, 我们尽可能说明白、讲清楚; 实例部分都经过精心挑选仔细调试并能成功运行, 有较强的实用性和可操作性。

本书特点在于以 C 语言编程为主, 着重介绍 C 语言与汇编语言之间的调用和转换, 很多例子都同时给出 C 语言和汇编语言两种版本, 以利于读者对照。另外, 还介绍芯片的实际应用背景、芯片设计思想, 以及应用时应注意的问题, 从而避免在以前计算机教学过程中经常出现的“一看就懂、一放就忘、一用就错”的问题, 尽可能使读者知其然亦知其所以然。

## 本书作者

中国科学技术大学嵌入式系统与控制网络研究室, 从事嵌入式系统方面的教学和科研工作已有 30 余年历史, 出版了多本有关专著。

安徽农业大学信息与计算机学院“单片机与嵌入式系统”实验室从事 10 多年该学科教学与科研工作。每年有近千名学生必修或选修此方面的课程。该实验室有丰富的教学经验和多项科研成果。

本书是中国科学技术大学自动化系、安徽农业大学信息与计算机学院等院校合作的产物, 由两校教学科研主力共同策划内容, 执笔编写。

本书第 1、2、3、4、9 章由张培仁教授(科大)执笔, 第 5、6、7 章由孙力副院长(农大)执笔, 第 8 章前 3 节由段雄(科大)执笔, 第 8 章第 4 节和第 10 章由李昊华(科大)执笔。书中例举的程序由段雄、李昊华、王津津(科大)、戴文源(农大)调试提供。张培仁教授负责全书的审稿工作。陈秀斌(科大)负责第 1、2、3、4、9 章的编辑工作, 其

他章节的编辑及全书统稿工作由段雄完成。

本书的编著得到了新华龙电子有限公司的大力支持和帮助,也得到我们实验室陈秀斌、曹少华、李勇等研究生和老师的帮助。特此表示感谢。

由于水平有限、时间紧促,本书有不妥之处请各位指正。

本书技术问题咨询电话为:0551-3607584。

E-mail: przhang@ustc.edu.cn

中国科学技术大学自动化系 张培仁  
安徽农业大学信息与计算机学院 孙力

2006/12/20

# 目 录

<b>第 1 章 微控制器的原理</b> .....	1
1.1 微控制器与计算机的关系.....	1
1.2 微控制器系统简介.....	2
1.3 微控制器的发展.....	3
1.4 8 位机发展的 3 次技术飞跃.....	4
<b>第 2 章 C8051F 系列单片机结构</b> .....	7
2.1 C8051F 系列单片机总体体系结构.....	7
2.1.1 C8051F 系列单片机的主要模块特性.....	7
2.1.2 C8051F 与 MCS-51 系列单片机的性能比较.....	8
2.2 CIP-51 微控制器.....	12
2.3 存储器组织.....	13
2.3.1 程序存储器.....	14
2.3.2 数据存储器.....	15
2.3.3 通用寄存器.....	15
2.3.4 位寻址空间.....	15
2.3.5 堆栈.....	15
2.3.6 片内数据存储器读写实例.....	17
2.4 特殊功能寄存器.....	18
2.5 FLASH 存储器.....	26
2.5.1 非易失性数据存储.....	28
2.5.2 安全选项.....	28
2.6 外部数据存储器 and 片内 XRAM.....	31
2.6.1 端口选择和配置.....	33
2.6.2 复用和非复用选择.....	34
2.6.3 存储器模式选择.....	35
2.6.4 时序.....	36
2.7 时钟系统.....	39
2.7.1 时序与时钟.....	39
2.7.2 设计和使用时钟时应考虑的问题.....	41
2.7.3 时钟控制寄存器.....	41
2.7.4 外部振荡器举例.....	44
2.7.5 系统时钟初始化编程实例.....	46

2.8	复位电路 .....	46
2.8.1	复位原理 .....	46
2.8.2	复位电路设计注意事项 .....	48
2.8.3	C8051F 系列的 8 种复位源 .....	48
2.9	中断系统 .....	51
2.10	电源管理 .....	55
2.10.1	电源管理原理 .....	55
2.10.2	电源管理注意事项 .....	57
2.11	嵌入式系统调试基础: JTAG .....	57
2.11.1	JTAG 原理 .....	57
2.11.2	边界扫描 .....	59
2.11.3	FLASH 存储器编程命令 .....	61
<b>第 3 章</b>	<b>C8051F 系列的模拟外设 .....</b>	<b>63</b>
3.1	模拟外设组成部分 .....	63
3.2	A/D 转换器简介 .....	63
3.2.1	A/D 转换器的工作原理 .....	64
3.2.2	设计 A/D 转换器的注意事项 .....	65
3.3	ADC0 的组成及其控制 .....	66
3.3.1	ADC0 的工作方式 .....	67
3.3.2	ADC0 的 SFR 定义 .....	69
3.3.3	ADC0 的电气特性 .....	73
3.3.4	ADC0 编程实例 .....	74
3.4	ADC2 的组成及其控制 .....	76
3.4.1	ADC2 的工作方式 .....	77
3.4.2	ADC2 的 SFR .....	78
3.4.3	ADC2 可编程窗口检测器 .....	81
3.5	12 位电压输出 DAC .....	83
3.5.1	DAC 工作过程 .....	83
3.5.2	DAC 输出更新 .....	84
3.5.3	DAC 输出格式化 .....	84
3.5.4	DAC 编程实例 .....	86
3.6	高压差分放大器 .....	90
3.7	比较器 .....	93
3.7.1	比较器的工作原理 .....	93
3.7.2	比较器应用编程实例 .....	95
3.8	电压基准 .....	97

<b>第 4 章 数字 I/O 端口</b> .....	<b>100</b>
4.1 端口原理和直流参数.....	100
4.2 I/O 端口设计原理与注意事项.....	101
4.2.1 I/O 端口设计原理.....	101
4.2.2 I/O 端口设置注意事项.....	103
4.3 C8051F04x 系列的 I/O 功能和优先权交叉开关译码器.....	104
4.3.1 交叉开关引脚分配.....	105
4.3.2 配置端口引脚的输出方式.....	106
4.3.3 配置端口引脚为数字输入.....	106
4.3.4 弱上拉.....	106
4.3.5 配置端口 1、2 和 3 的引脚为模拟输入.....	106
4.3.6 交叉开关引脚分配示例.....	107
4.4 交叉开关网络和 I/O 端口数据以及方式控制寄存器.....	108
4.4.1 交叉开关控制寄存器.....	108
4.4.2 端口 P0~P3.....	110
4.4.3 端口 P4~P7.....	113
4.4.4 交叉开关设置小结.....	117
4.5 SMBus 系统管理总线 (I <sup>2</sup> C 总线).....	117
4.5.1 使用 I <sup>2</sup> C 总线应注意的问题.....	117
4.5.2 SMBus 原理和 SMBus 协议.....	118
4.5.3 特殊功能寄存器.....	122
4.6 串行通信.....	128
4.6.1 增强型串行外设接口 (SPI0) 原理和信号说明.....	129
4.6.2 SPI0 工作方式.....	132
4.6.3 SPI 特殊功能寄存器.....	134
4.6.4 SPI0 小结.....	136
4.7 异步串行通信 UART0 和 UART1.....	136
4.7.1 UART0 工作原理.....	136
4.7.2 UART0 工作方式.....	137
4.7.3 多机通信.....	141
4.7.4 帧错误和传输错误检测.....	142
4.7.5 UART0 的控制寄存器.....	142
4.7.6 UART1.....	145
4.7.7 UART0 与 UART1 比较.....	149
4.8 通用计数器/定时器和可编程计数器/定时器.....	150
4.8.1 MCU 输入信号和输出信号类型.....	150
4.8.2 通用定时器和计数器 (定时器 0, 1).....	151



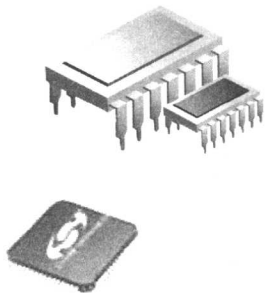
4.8.3	定时器 2、定时器 3 和定时器 4 .....	159
4.8.4	可编程计数器阵列 .....	164
4.8.5	通用计数器/定时器、PCA 小结 .....	178
<b>第 5 章</b>	<b>C51 的程序结构与数据类型 .....</b>	<b>179</b>
5.1	C 语言与 C8051F 系列单片机 .....	179
5.1.1	C 语言的特点与 C 语言向单片机移植 .....	179
5.1.2	C51 编译器 .....	180
5.2	C51 的程序结构 .....	181
5.2.1	C51 程序的一般格式 .....	182
5.2.2	C51 语言程序的基本结构 .....	183
5.3	C51 的数据类型 .....	185
5.3.1	数据与数据类型 .....	185
5.3.2	常量 .....	186
5.3.3	变量 .....	189
5.3.4	C51 构造数据类型 .....	196
5.3.5	指针 .....	205
<b>第 6 章</b>	<b>C51 的运算符及数据的存储模式 .....</b>	<b>219</b>
6.1	C51 的单词及运算符 .....	219
6.1.1	C51 的单词 .....	219
6.1.2	C51 的运算符 .....	224
6.2	数据的存储类型和存储模式 .....	234
6.2.1	C8051F 系列单片机的存储器 .....	234
6.2.2	C51 存储类型与 C8051F 系列单片机存储器 .....	235
6.2.3	存储模式 .....	235
6.3	C51 对 SFR、可寻址位、存储器和 I/O 端口的定义 .....	238
6.3.1	C51 对 SFR 的定义 .....	238
6.3.2	C51 对可寻址位的定义 .....	238
6.3.3	C51 对存储器和 I/O 端口的绝对地址访问 .....	240
<b>第 7 章</b>	<b>C51 的函数、控制语句及程序设计 .....</b>	<b>241</b>
7.1	C51 函数 .....	241
7.1.1	函数的分类 .....	241
7.1.2	函数的说明 .....	242
7.1.3	函数的参数和函数返回值 .....	249

7.1.4	函数的调用.....	252
7.1.5	数组、指针与函数调用.....	257
7.1.6	内部函数和外部函数.....	263
7.1.7	C51 库函数介绍.....	264
7.2	选择结构流程控制语句.....	266
7.2.1	if 语句.....	267
7.2.2	switch/case 语句.....	269
7.2.3	循环结构流程控制语句.....	270
7.3	C51 的预处理器.....	278
7.3.1	包含文件伪指令.....	279
7.3.2	伪指令宏.....	279
7.3.3	条件编译伪指令.....	283
7.3.4	编译器伪指令.....	283
7.3.5	#error 伪指令.....	284
7.4	C51 和汇编语言的混合编程.....	284
7.4.1	C51 和汇编语言的性能比较.....	284
7.4.2	C51 和汇编语言的混合编程方法.....	285
7.4.3	在不同存储模式下的 C51 和汇编语言的混合编程.....	286
<b>第 8 章</b>	<b>C8051F 应用开发实例.....</b>	<b>291</b>
8.1	I/O 端口应用——步进电机的驱动.....	292
8.1.1	步进电机原理.....	292
8.1.2	步进电机驱动程序.....	293
8.2	SPI 接口应用——ISD4004 语音录放芯片.....	295
8.2.1	SPI 总线.....	295
8.2.2	ISD4004 语音芯片.....	298
8.2.3	ISD4004 芯片的程序设计.....	301
8.3	I <sup>2</sup> C 总线应用——LM92 温度传感器.....	312
8.3.1	I <sup>2</sup> C 总线.....	312
8.3.2	LM92 温度传感器.....	312
8.3.3	LM92 的应用与程序设计.....	315
8.4	内部 Flash 在线编程.....	331
8.4.1	现有的 Flash 及编程方法.....	331
8.4.2	在线实时自编程的原理和实现方案.....	333
<b>第 9 章</b>	<b>C8051 控制器局域网 (CAN).....</b>	<b>337</b>
9.1	控制系统的发展和技术特点.....	337

9.1.1	现场总线的定义、特点及其与 DCS 的区别 .....	337
9.1.2	现场总线产生因素 .....	339
9.2	控制器局域网 (CAN) .....	340
9.2.1	CAN 总线的分层结构 .....	341
9.2.2	CAN 总线的特点 .....	342
9.2.3	CAN 的技术规范 .....	343
9.3	控制器局域网 CAN 技术概述 .....	346
9.3.1	CAN 总线数值 .....	347
9.3.2	非破坏性的总线仲裁 .....	347
9.3.3	多主和多节点接收 .....	348
9.3.4	数据安全性 .....	348
9.4	C8051F 系列的 CAN 总线模块 .....	349
9.4.1	功能概述 .....	349
9.4.2	C8051F 的控制器局域网 (CAN0) .....	349
9.4.3	工作模式 .....	350
9.5	CAN 寄存器 .....	354
9.5.1	CAN 控制器协议寄存器 .....	354
9.5.2	消息对象接口寄存器 .....	355
9.5.3	消息处理器寄存器 .....	355
9.5.4	CIP-51 MCU 特殊功能寄存器 .....	355
9.5.5	用 CAN0ADR、CAN0DATH 和 CAN0DATL 访问 CAN 寄存器 .....	355
9.5.6	CAN0ADR 自动加 1 功能 .....	357
9.5.7	消息处理寄存器 .....	357
9.6	寄存器功能详细说明 .....	357
9.6.1	控制寄存器 (索引号: 0x00) .....	357
9.6.2	状态寄存器 (索引号: 0x01) .....	358
9.6.3	错误计数器寄存器 (索引号: 0x02) .....	359
9.6.4	位定时寄存器 (索引号: 0x03) .....	359
9.6.5	测试寄存器 (索引号: 0x05) .....	360
9.6.6	BRP 扩展寄存器 (索引号: 0x06) .....	360
9.6.7	消息接口寄存器组 .....	361
9.6.8	消息处理寄存器 .....	365
9.7	CAN 的应用 .....	368
9.7.1	消息对象的管理 .....	368
9.7.2	消息处理状态机 .....	368
9.7.3	消息 RAM 的双向数据传输 .....	368
9.7.4	消息的传输 .....	369
9.7.5	对收到消息的接受过滤 .....	369
9.7.6	接收/传输优先级 .....	370

9.8	传输对象的配置.....	370
9.9	更新传输对象.....	371
9.10	接收对象的配置.....	371
9.11	接收消息的处理.....	372
9.12	先入先出 FIFO 缓冲器的设置.....	372
9.13	利用 FIFO 缓存的消息的接收.....	372
9.14	中断的控制.....	374
9.15	位时序的配置.....	374
9.15.1	位时和位率.....	374
9.15.2	位时序参数的计算.....	376
9.15.3	位时序实例.....	376
9.15.4	小结.....	378
9.16	CAN 综合实例.....	378
<b>第 10 章</b>	<b>C8051F 综合实验设计.....</b>	<b>393</b>
10.1	系统综述.....	393
10.2	键盘工作原理与程序设计.....	393
10.2.1	键盘的结构与工作原理.....	393
10.2.2	键盘输入程序的设计方法与流程.....	394
10.2.3	综合实验的键盘模块.....	395
10.2.4	键盘模块程序.....	396
10.3	LCD 液晶显示器程序设计.....	399
10.3.1	液晶显示器的结构和工作原理.....	399
10.3.2	FM12864I 图形点阵液晶显示器主要硬件构成说明.....	400
10.3.3	模块的外部接口.....	402
10.3.4	指令说明.....	402
10.3.5	读/写操作时序.....	404
10.3.6	综合实验 LCD 模块.....	405
10.3.7	LCD 模块源程序.....	406
10.4	PCF8563 I <sup>2</sup> C 实时时钟/日历芯片的工作原理与程序设计.....	416
10.4.1	PCF8563 的特性.....	416
10.4.2	PCF8563 结构框图.....	417
10.4.3	PCF8563 引脚配置.....	417
10.4.4	功能描述.....	418
10.4.6	综合实验的实时时钟模块.....	426
10.4.7	实时时钟模块程序.....	427
10.5	RS-232 串口通信原理与程序设计.....	434
10.5.1	MAX3232 芯片介绍.....	434

10.5.2 综合实验 UART 模块.....	435
10.5.3 UART 模块程序.....	436
10.6 外部存储器.....	437
10.7 12 位 ADC 程序设计.....	438
10.8 主程序.....	444
附录 A CIP-51 指令集.....	449
附录 B C51 库函数.....	453
附录 C 错误信息.....	459
附录 D L51 连接定位器使用错误提示.....	473
附录 E 技术支持.....	480
附录 F C8051F 单片机开发工具.....	481
附录 G 新华龙电子 C8051F 单片机结构教学实验机简介.....	482



# 第 1 章

## 微控制器的原理

### 1.1 微控制器与计算机的关系

微控制器从微处理器发展而来，而微处理器从计算机发展而来。现代计算机从 1946 年开始。约翰·冯·诺依曼在 1946 年所写的研究论文中给现代计算机作了基本全面的论述，这篇论文对未来计算机产生了深远的影响。大多数计算机和所有的微控制器的设计都是基于冯·诺依曼式结构。如果现在用语言描述什么是计算机，那么计算机是一种人造机器，它能识别并存储由算法、逻辑公式编成的代码，并能不断有序地读代码和有序地运行。这里强调将代码存起来，并有序地读出运行。

70 年代主要是以电子管、晶体管为元器件组成计算机。那时计算机并不普及，主要应用在国家计算单位和军事单位，在实验室中科学家用于科学计算。这段时间计算机硬件、体系结构、软件都有很大发展。1970 年 12 月 28 日是美国申请了第一个微处理器专利的日子，由于微处理器是以集成电路为主要器件，虽然运算速度较低，但容易大规模生产，因此，在 20 世纪 70 年代的 10 年中有飞速发展。到 1974 年，已经有多种通用微处理器生产出来。如 Intel 公司的 8080、8085，Motorola 公司的 6800，Zilog 公司的 Z8000，德州仪器公司的 9900。到 1976 年，16 位的微处理器已经非常流行了，其中有 Intel 公司的 8086，Motorola 公司的 6800，Zilog 公司的 Z8000。

20 世纪 80 年代以后，微处理器有两个发展方向：即增强性能和功能以及提高集成度。性能指数据处理速度和存储能力，计算机完成此项任务的主要是中央处理器（CPU），这是通用计算机发展的方向，即主频越来越高，数据处理能力越来越强，与外设和存储器交换数据主要是通过 CPU 的数据总线、地址总线和控制总线；而另一方面，有的应用系统并不需要很高的运算速度，但需要尽可能减少整个系统的芯片数量，即提高芯片的集成度，尽可能把外设功能、通讯功能、A/D、D/A 功能都集成到一个芯片中，这样的内嵌有存储器与接口电路的 CPU 芯片，即微控制器处理器。

通用计算机以后发展了个人计算机，即人们通常所说的 PC 机，而功能强大的内嵌有存储器和接口电路的 CPU 芯片则一般称为微控制器。当今微控制器产量是通用计算机的 10 倍，大量使用在各种机器、仪表、通讯设备、消费类产品、计算机外设等电子设备中，由于这些产品结合了微控制器，人们一般也把这种系统称为嵌入式微处理器。

计算机以上两个方向的发展并不是孤立的，两种计算机技术也在相互融合，相互借鉴，在不同时期达到了相对的平衡。

20 世纪 90 年代以来，芯片开发商不断开发出了结构更新、性能更先进的微处理器和微控制器。其中的 CPU 常用 32 位，如 Intel 的奔腾处理器和许多使用 ARM 内核的微控制器，同时为了更快地处理数据，出现了大量的 DSP（数字信号处理）微处理器。另外芯片

制造业也产生了一个重要分支——可编程逻辑器件（PLC）。

## 1.2 微控制器系统简介

图 1.1 是中央处理器（CPU）的结构框图，它是由芯片内部的算术逻辑单元（ALU）、控制序列发生器、内部数据总线、指令解码器、通用寄存器、程序计数器、地址寄存器、数据驱动器等部件组成；芯片外部有 3 组总线：地址总线，数据总线，控制总线，另外还有时钟、电源、复位电路。

我们可以把总线看成在上面传递着不同信号的高速公路。CPU 的 3 总线：数据总线传输代码指令和各种变量值；地址总线指示着数据所存储的位置；控制总线用于协调微控制器与相关芯片的操作。它们最终使时间和空间相协调一致，使微处理器有序地进行工作。

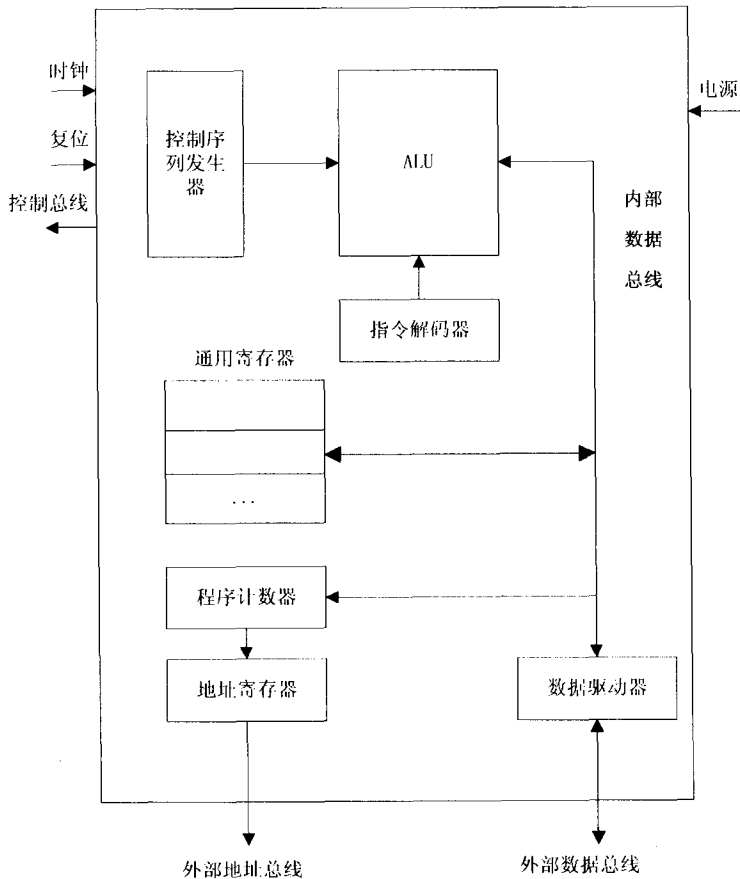


图 1.1 中央处理器（CPU）的结构框图

微控制器单元（MCU）内部主要由 3 个基本部件组成：中央处理器（CPU）、存储器和寄存器。三部分通过内部总线相连接。在外部，有电源、输入/输出（I/O）接口和一些特殊信号端口。图 1.2 是典型的微控制器单芯片模式框图。

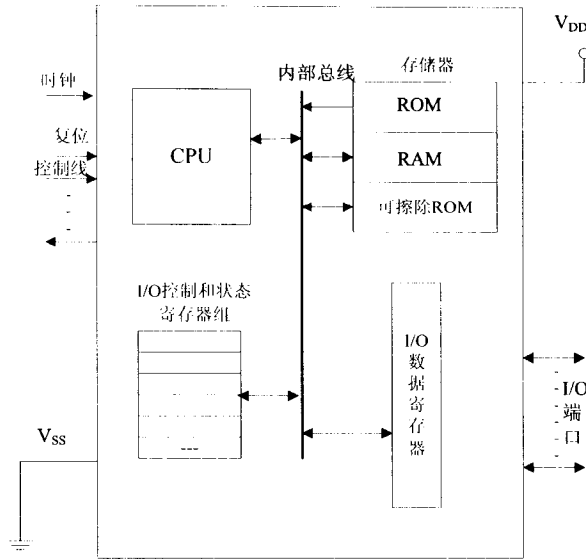


图 1.2 典型的微控制器单芯片模式框图

其中的 CPU 与通用计算机的中央处理器功能基本相同，存储器包括只读存储器 ROM、随机存储器 RAM 和可擦除 ROM，后者又可细分为可用光操作擦除 ROM（EPROM）或可用电操作擦除 ROM（EEPROM），I/O 控制和状态寄存器与 I/O 数据寄存器相结合，完成对 I/O 端口的控制、监视和属性设定，比如，I/O 端口是输入口还是输出口、是什么样功能的 I/O 端口、是否有一些特殊功能等。

### 1.3 微控制器的发展

微控制器自 20 世纪 80 年代初产生以来，在体系结构、硬件、软件开发系统上都有很大的发展。本节只是简单介绍近 10 年来在各方面的进展。

- 微控制器融合了通用微处理器外部 3 总线体系结构，绝大多数微控制器可以方便扩充 MCU 外部 3 总线。
- 指令进一步规格化，指令流水式执行。因此，处理速度大大提高，从最早 1~2MIPS（每秒执行百万条指令）到目前可达 100~200MIPS。
- SOC 片上系统进一步完善。不仅有多路 A/D、D/A，还有多个并行口、串行口以及 CAN 总线、IIC 总线。A/D 精度从早期 8 位提高到目前 16 位，采样速度目前可高达 2Msps，目前还带有 PGA（可编程放大器）。串行口有 SPI、UARTS、MBUS 等。
- 由于可编程逻辑器件引入到 MCU 中，I/O 功能更加灵活，达到一口多用、一口复用甚至所有口都可以分别映射所有数字信号。
- 片内存储能力不断增大。ROM 已从掩膜 ROM、片外程序存储器发展到有多种 ROM 并存。一般有 OTP（只写一次 ROM）、EPROM、EEPROM，现有 Flash EEPROM。RAM 从几十字节到几千字节，到几万字节。为了加快与片外 RAM、外设交换数据，增加了双口 RAM 和 DMA，大量数据可直接传送。



- 早期微控制器无任何系统开发测试的功能。近 10 年来已普遍采用 ICE 实时在线仿真器、BDM (Background Debug Mode) 背景调试模式、JTAG (IEEE149.1) 边界测试协议等硬软功能作为开发微处理器和微控制器的主要工具。
- 编程语言完成从只有汇编语言到可用 C 语言的过渡。目前已普遍采用以 C 语言编程为主的编译器。操作系统已从单用户向实时多任务操作系统过渡。各种专用 C 语言函数库已出现, 如专用于语音采集处理的函数库、各编码数据格式转换函数库、文字处理函数库、变频电机控制的函数库、网络通信协议多种总线控制的函数库等。
- 普遍增加看门狗、多路高压比较器、多个计数器/定时器功能。时钟也向多样化方向发展, 有的微控制器无需片外晶体, 由片内逻辑产生时钟。
- 微控制器的功耗进一步降低。MCU 的电源电压进一步降低, 片上系统 (SOC) 都带有电源管理的功能模块, 从而芯片功耗可低至 mW 甚至  $\mu\text{W}$  量级。
- 中断分级, 增加多种硬件中断源, 并出现软中断功能。

## 1.4 8 位机发展的 3 次技术飞跃

目前单片机发展正值百花齐放的时期。世界上所有芯片公司都推出各种各样的单片机, 8 位、16 位、32 位都有。当前市场上 8 位机仍占主导地位。首先, 8 位机是最为成熟的产品, 也是性能价格比较高的产品; 其次, C51 编译器已经很成熟, 各种书刊、杂志都有大量软硬件开发实例可以借鉴, 开发周期短; 另外, 绝大部分外设的接口都很容易与 8 位机相连, 这使 8 位机容易扩展。目前, 中国各大高校教学还是以 8 位机为主 (指大多数本科教学)。由于开发系统价格低, 功能全, 特别是 MCS51 系列最早进入中国市场, 一般老师已习惯使用这个系列的产品。

Intel 公司于 1980 年推出的 MCS-51 奠定了嵌入式应用的单片微型计算机的经典体系结构, 但不久就放弃了进一步发展计划, 并实施了 8051 的技术开放政策。无论从主观因素还是客观因素, 这都是明智之举。因为在创建一个完善的嵌入式计算机体系结构后, 面临的问题是要不断满足嵌入式对象要求的各种控制功能。在 8051 实现开放后, 单片机实现了 3 次大的技术飞跃。

### 第 1 次技术飞跃

Philips 公司作为全球著名的电器商以其在电子应用领域的优势, 着力发展 80C51 的控制功能及外围单元。将 MCS-51 的单片微型计算机迅速地推进到 80C51 的 MCU 时代, 形成了可满足大量嵌入式应用的单片机系列产品。这是从 MCS-51 到 MCU 的第一次飞跃。

### 第 2 次技术飞跃

当前, 嵌入式系统普遍采用 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。这是引领 FLASH ROM 潮流的第二次飞跃。