



工业和信息化普通高等教育“十二五”规划教材



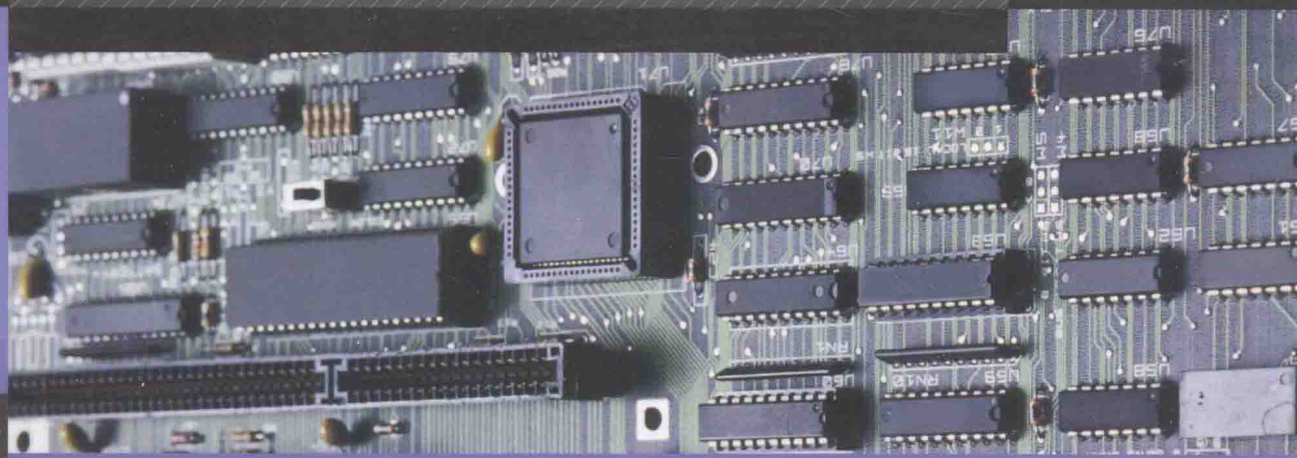
21 世纪高等院校电气工程与自动化规划教材

21 century institutions of higher learning materials of Electrical Engineering and Automation Planning

Foundation and Application of Microcontroller
(C Language Version)

单片机原理与应用 (C 语言版)

王浩全 李晋华 张敏娟 李文强 编著



人民邮电出版社
POSTS & TELECOM PRESS



工业和信息化普通高等教育“十二五”规划教材



21 世纪高等院校电气工程与自动化规划教材

21 century institutions of higher learning materials of Electrical Engineering and Automation Planning

Foundation and Application of Microcontroller
(C Language Version)

单片机原理与应用 (C 语言版)

王浩全 李晋华 张敏娟 李文强 编著

人民邮电出版社
北京

图书在版编目 (C I P) 数据

单片机原理与应用 : C语言版 / 王浩全等编著. --
北京 : 人民邮电出版社, 2013. 9
21世纪高等院校电气工程与自动化规划教材
ISBN 978-7-115-32300-2

I. ①单… II. ①王… III. ①单片微型计算机—高等
学校—教材 IV. ①TP368.1

中国版本图书馆CIP数据核字(2013)第172918号

内 容 提 要

本书介绍 C51 单片机的内部结构、工作原理及其应用, 内容包括 C51 单片机的编程结构、工作原理、内部硬件资源、C 语言编程方法、C51 单片机接口技术及各资源的应用开发等相关知识。全书以单片机的内部编程结构为主线, 从内部资源的原理与应用出发, 延伸到外部接口的连接及其编程方法, 并根据实际应用详细介绍了 C51 单片机在相关领域的应用开发。另外, 本书从学习者的角度出发, 用工程实例阐述了编译器 Keil C51 和 Proteus 仿真软件的使用方法。

本书体系结构严谨, 内容由浅入深, 案例取材广泛, 书中实例均来自实际科研项目, 附有源程序和验证结果。本书可作为普通高校电子、通信、自动化、计算机及应用等相关专业师生的教材和教学参考书, 也可作为从事单片机技术应用与研究人员的参考资料。

-
- ◆ 编 著 王浩全 李晋华 张敏娟 李文强
责任编辑 邹文波
责任印制 彭志环 焦志炜
 - ◆ 人民邮电出版社出版发行 北京市崇文区夕照寺街 14 号
邮编 100061 电子邮件 315@ptpress.com.cn
网址 <http://www.ptpress.com.cn>
北京天宇星印刷厂印刷
 - ◆ 开本: 787×1092 1/16
印张: 22.25 2013 年 9 月第 1 版
字数: 616 千字 2013 年 9 月北京第 1 次印刷
-

定价: 46.00 元

读者服务热线: (010)67170985 印装质量热线: (010)67129223
反盗版热线: (010)67171154

单片机是 20 世纪 70 年代发展起来的一种大规模集成电路，将 CPU、RAM、ROM、I/O、C/T、UART 和中断系统等集成在同一芯片。由于单片机具有功能强、体积小、可靠性高和价格便宜等优点，因而受到人们的重视，逐渐成为传统工业技术改造和新产品更新换代的机种之一。

目前，单片机教材不仅多而且厚，但对初学者来说真正关心的问题真有这么多种吗？有些初学者看完了书，感觉还是迷茫，无从下手。学习单片机，必须实践、动手，否则看 10 遍书还是不能完成具体的应用任务。针对以上问题，结合多年的教学、科研实践，编者编写了此书。本书以 AT89C51 单片机为例，侧重 C 语言程序设计的描述。全书以理论与实践相结合的方式讲解，避免枯燥、乏味的感觉。对即使没有任何单片机基础的初学者，也可通过本书的学习，踏入单片机的大门。本书具有以下鲜明特点。

1. 定位明确，符合初学者的认知规律。根据教学要求，针对初学者的特点，按照理论教学深入浅出的原则，从应用角度出发，精选教学内容，分散难点，将复杂问题简单化，做到选材新颖、概念清晰、通俗易懂、实用性强。

2. 结构紧凑，适应性强。将理论教学与实验有机结合，不给学生提供习题参考答案，给学生留下自己思考的空间。

3. 以应用为背景，兼顾趣味性和实用性。程序实例以应用为背景，在介绍知识点时，紧密联系实际应用，以此激发学习兴趣，使读者感到“乐在其中，用在其中”。

4. 案例典型、丰富，注重能力培养和思维训练。精选大量典型程序，并经反复推敲，先进行题意分析，然后给出实现过程和结果。特色实例提供多种设计方案，引导读者去思考、去探索，寻求更多、更好的实现方法，提高分析和解决问题的能力。全部程序在相应环境下通过验证，并且提供注释和说明。

5. 有机地贯穿软硬件设计方法。将单片机的内部资源、常见接口及其软件设计有机结合，使学生掌握系统设计的方法，并具有一定的应用能力。

6. 加强实践，培养动手能力。本书习题内容丰富，与各知识点相匹配，帮助读者理解基本概念，通过理论联系实际来练习，提高综合能力。

本书可作为普通高校电子信息、通信、自动化、计算机及应用等相关专业师生的教材和参考书，也可作为从事单片机技术应用与研究人员的参考资料。

参与本书编写的有王浩全、李晋华、张敏娟、李文强。其中王浩全编写第 1 章和第 3 章，李晋华编写第 2 章、第 5 章和第 6 章，张敏娟编写第 7 章、第 8 章和第 10 章，李文强编写第 4 章和第 9 章。全书由王浩全统稿。

由于时间仓促和水平有限，书中错漏在所难免，敬请读者批评指正。

编 者

2013 年 7 月

目 录

第 1 章 单片机概述	1	3.2.3 寄存器寻址	24
1.1 单片机的基本概念	1	3.2.4 寄存器间接寻址	25
1.2 单片机的发展	1	3.2.5 位寻址	25
1.3 单片机的主要特点及应用	2	3.2.6 基址寄存器加变址寄存器 间接寻址	25
1.3.1 单片机的主要特点	2	3.2.7 相对寻址	26
1.3.2 单片机的主要应用	3	3.3 指令系统	26
1.4 C51 单片机系列	3	3.3.1 数据传送类指令	26
1.4.1 80C51 单片机系列	3	3.3.2 算术运算类指令	29
1.4.2 80C51 与 8051 单片机的比较	3	3.3.3 逻辑运算类指令	31
1.5 单片机发展趋势	4	3.3.4 控制转移类指令	32
1.6 其他几种主流单片机	5	3.3.5 位操作指令	35
第 2 章 C51 单片机的硬件结构	7	3.4 汇编语言及其程序设计	37
2.1 MCS-51 单片机的内部结构	7	3.4.1 汇编语言语句的种类和格式	37
2.1.1 C51 单片机的内部结构	7	3.4.2 伪指令语句	38
2.1.2 C51 单片机的外部引脚说明	9	3.4.3 汇编语言程序设计步骤	39
2.2 C51 单片机存储器结构	11	3.4.4 汇编语言程序设计与 程序结构	39
2.2.1 程序存储器	11	第 4 章 C51 单片机程序设计基础	49
2.2.2 数据存储器	12	4.1 C51 的数据类型	49
2.2.3 C51 单片机的堆栈操作	15	4.2 C51 的运算量	52
2.3 C51 单片机的并行输入/输出接口	16	4.2.1 常量	52
2.4 最小单片机系统	18	4.2.2 变量	54
2.4.1 时钟电路	18	4.2.3 数据的存储	58
2.4.2 CPU 时序	19	4.3 C51 的运算符及表达式	59
2.4.3 复位电路	19	4.3.1 C51 算术运算符及表达式	60
2.4.4 C51 单片机工作方式	20	4.3.2 C51 关系运算符及表达式	61
第 3 章 C51 单片机的指令系统与 程序设计	22	4.3.3 位运算符及表达式	62
3.1 概述	22	4.3.4 逗号运算符及表达式	63
3.1.1 指令格式	22	4.3.5 条件运算符及表达式	63
3.1.2 指令分类及指令系统中 使用的符号	23	4.3.6 指针与地址操作运算符	63
3.2 寻址方式与寻址空间	23	4.3.7 联合操作运算符及表达式	64
3.2.1 立即寻址	23	4.4 C51 的输入与输出	65
3.2.2 直接寻址	24	4.4.1 格式输出函数 printf	65

4.4.2 格式输入函数 scanf	66	扩展简单 I/O 口	129
4.5 C51 程序基本结构与相关语句	67	6.2.3 用串行口扩展并行 I/O 接口	132
4.5.1 C51 的基本结构	67	6.3 可编程并行接口芯片扩展 并行 I/O 口	133
4.5.2 C51 选择(分支)控制语句	68	6.3.1 8255A 的内部结构及 引脚说明	133
4.5.3 C51 循环控制语句	70	6.3.2 8255A 的命令/状态寄存器	136
4.5.4 break 语句和 continue 语句	74	6.3.3 8255A 的工作方式	137
4.5.5 return 语句	75	6.3.4 8255A 的初始化编程	141
4.6 C51 函数	75	6.3.5 8255A 与单片机连接	142
4.6.1 C51 函数的定义	75	6.4 I ² C 总线扩展	145
4.6.2 函数的调用和声明	77	6.4.1 I ² C 总线概述	145
4.6.3 中断函数	78	6.4.2 I ² C 总线的电气连接	146
4.6.4 函数的嵌套与递归	80	6.4.3 I ² C 总线的寻址方式	147
4.6.5 C51 结构、联合和枚举	81	6.4.4 I ² C 总线的信息传输	148
第 5 章 C51 单片机最小系统及应用	86	6.4.5 C51 单片机与 I ² C 总线的接口	152
5.1 中断系统	86	6.5 SPI 总线接口	159
5.1.1 中断概述	86	6.6 C51 单片机的存储器扩展	160
5.1.2 中断的相关概念	87	6.6.1 C51 单片机的存储器系统	160
5.1.3 中断系统	88	6.6.2 C51 单片机存储器扩展的 一般方法	161
5.1.4 中断响应过程	91	6.6.3 序存储器的扩展	164
5.1.5 中断的编程及应用	93	6.6.4 数据存储器的扩展	169
5.2 定时/计数器	94	6.6.5 扩展存储器 (I/O 口) 接口 电路综合应用实例	171
5.2.1 概述	94	第 7 章 MCS-51 单片机的接口 技术及应用	174
5.2.2 定时/计数的结构与工作原理	95	7.1 LED 显示接口	174
5.2.3 定时/计数器工作方式	98	7.1.1 LED 显示器的工作原理	174
5.2.4 定时/计数器的应用	102	7.1.2 LED 显示器的显示方式	176
5.3 C51 单片机串行通信与 串行接口	105	7.1.3 C51 单片机与 LED 显示器的 接口电路设计实例	177
5.3.1 串行通信基础知识	105	7.2 液晶显示器 LCD	180
5.3.2 C51 串行接口编程结构	109	7.2.1 LCD 显示器的概述	180
5.3.3 串行接口的工作方式	112	7.2.2 字符型 LCD1602A 的应用	181
5.3.4 串行口波特率设计	116	7.3 键盘接口	187
5.3.5 串行接口标准	117	7.3.1 键盘的工作原理	187
5.3.6 串行接口的初始化	119		
5.3.7 串行口应用举例	119		
第 6 章 C51 单片机系统扩展	128		
6.1 概述	128		
6.2 简单 I/O 口扩展	128		
6.2.1 I/O 接口电路的功能	129		
6.2.2 利用 TTL、CMOS 集成电路			

7.3.2 键盘的分类和接口	188	9.3.1 Proteus 元器件库	243
7.3.3 矩阵式键盘	190	9.3.2 Proteus 元器件	245
7.4 A/D 转换器与 C51		9.4 虚拟仪器及仪表	246
单片机的接口	192	9.4.1 激励源	246
7.4.1 A/D 转换器	193	9.4.2 虚拟仪器的使用	247
7.4.2 ADC0809 与 C51		9.5 Proteus 仿真实例	258
单片机的接口	193	9.5.1 仿真实例一——电子日历	258
7.4.3 A/D 转换器的选择和分析	197	9.5.2 仿真实例二——	
7.5 D/A 转换器与 C51		数字温度计	265
单片机的接口	198	9.5.3 仿真实例三——点阵屏	277
7.5.1 D/A 转换器概述	198	第 10 章 C51 单片机应用系统	
7.5.2 DAC0832 的 C51 编程	199	设计与实例	295
7.5.3 串行输入 D/A 转换器		10.1 单片机应用系统设计与开发	295
TLC5615	205	10.1.1 单片机应用系统设计与	
7.6 MCS-51 单片机与开关		开发步骤	295
器件的接口	206	10.1.2 单片机应用系统设计原则	296
7.6.1 光电耦合器及驱动接口	206	10.1.3 单片机选型	298
7.6.2 MCS-51 单片机与		10.1.4 系统抗干扰设计	300
继电器的接口	207	10.1.5 系统可靠性设计	301
7.6.3 MCS-51 单片机与		10.1.6 印制电路板设计	303
蜂鸣器的接口	208	10.1.7 系统常见故障与调试	303
第 8 章 Keil μ Vision4 编译		10.2 单片机应用系统设计实例——	
环境与使用	210	数字语音录放系统	305
8.1 Keil C 软件介绍	210	10.2.1 系统总体方案设计	305
8.1.1 Keil C 软件启动	210	10.2.2 数字语音录放系统	
8.1.2 Keil C 菜单与窗口	211	硬件设计	307
8.2 Keil C 下的工程建立	215	10.3 单片机应用系统设计	
8.3 Keil C 的调试方法	222	实例二——乒乓球球台	
8.4 Keil C 下程序调试时的		振动模式测试系统	324
常用窗口	225	附录 A KEIL C51 库函数	339
第 9 章 Proteus 仿真环境与使用	231	附录 B ASCII 码表完整版	345
9.1 Proteus 软件窗口与基本操作	231	参考文献	347
9.2 加载目标代码及调试	239		
9.3 Proteus 元件库和元器件	243		

本章主要介绍单片机的基本概念、发展现状、特点和应用, 以及一些常用的单片机。通过本章学习, 读者可对单片机有一个初步的认识。

1.1 单片机的基本概念

什么是单片机? 单片机是把微处理器、存储器、I/O 接口、定时器/计数器、串行接口、中断系统等电路集成在一块芯片上形成的单片计算机, 因此被称为单片微型计算机, 简称为单片机。由于单片机的指令功能是按照工业控制的要求设计, 所以单片机又称为微控制器。

单片机作为微型计算机的一个分支, 是基于测控领域的发展而诞生和发展的。它的组成结构既包含通用微型计算机中的基本组成部件, 又包含一些具有测控功能的部件。例如, 目前一部分单片机已经在主芯片上集成了 A/D、D/A、PWM、HSO、HSI 等外围设备, 增强了单片机的处理能力。

同时, 在单片机使用上, 应注意区分理解以下几个既有相同点也有区别的概念。

(1) 单板机: 将微处理器 (CPU)、存储器、I/O 接口以及简单的输入/输出设备组装在一块电路板上的微型计算机, 称为单板机。

(2) 单片机: 将微处理器 (CPU)、存储器、I/O 接口和相应的控制部件集成在一块芯片上形成的微型计算机, 称为单片机。

(3) 多板机: 在计算机组成中, 如果组成计算机的各个功能部件是由多块电路板连接而成, 这样的计算机称为多板机。

1.2 单片机的发展

1971 年 Intel 公司制造出世界上第一块微处理器芯片 4004, 在这不久之后就出现了单片的微型计算机。单片机在几十年的发展过程中, 先后经历了 4 位机、8 位机、16 位机、32 位机等几个有代表性的发展阶段。

(1) 4 位单片机。

自 1975 年美国德克萨斯仪器公司首次推出 4 位单片机 TMS-1000 后, 各个计算机生产公司相继推出 4 位单片机。4 位单片机主要生产国家是日本, 如 SHARP 公司的 SM 系列、TOSHIBA 公司的 TLCS 系列、NEC 公司的 Ucom 75XX 系列等。我国国内生产的 COP400 系列单片机是 4 位单片机。

4 位单片机的特点是价格便宜, 主要用于家用电器、电子玩具等产品领域。

(2) 8 位单片机。

1976 年 9 月, 美国 Intel 公司推出了 MCS-48 系列 8 位单片机, 使单片机发展进入了一个新的阶段。随后多个计算机公司先后推出了它们各自的 8 位单片机。如仙童公司 (FAIRCHILD) 的 F8 系列, 摩托罗拉 (Motorola) 公司的 6801 系列, Zilog 公司的 Z8 系列, NEC 公司的 uPD78XX 系列。

虽然 8 位单片机的种类很多, 但在我国使用最多的是 Intel 公司的 C51 系列单片机。C51 单片机是在 MCS-48 的基础上发展起来的, 虽然仍是 8 位单片机, 但是它品种全、兼容性好、软硬件资源丰富, 到目前为止, 仍是单片机的主流系列, 广泛应用于工业控制、智能接口、仪器仪表等多个领域。特别是高端 8 位单片机, 是现在使用的主流机型。

(3) 16 位单片机。

1983 年以后, 集成电路的集成度进一步提高, 可达到十几万只管/片, 出现了 16 位单片机。16 位单片机把单片机的性能又推向一个新的阶段。它内部集成多个 CPU、8KB 以上的存储器、多个并行接口、多个串行接口等, 有的单片机还集成有高速输入/输出接口、脉冲宽度调制输出、特殊用途的监视定时器等电路。如 Intel 公司的 MCS-96 系列、美国国家半导体公司的 HPC16040 系列、NEC 公司的 783XX 系列单片机都是 16 位单片机。

16 位单片机常应用于高度复杂的控制系统中。

(4) 32 位单片机。

近年来, 多个计算机厂家已经推出更高性能的 32 位单片机。但是在测控领域中, 32 位单片机应用得比较少, 因而, 目前 32 位单片机使用并不多。

1.3 单片机的主要特点及应用

1.3.1 单片机的主要特点

单片机的基本组成和基本工作原理与一般的微型计算机相同, 在具体结构和处理过程上又有自己的特点, 其主要特点如下。

(1) 在存储器结构上, 存储器采用哈佛 (Harvard) 结构。

在单片机中, ROM 和 RAM 是严格分开的。ROM 称为程序存储器, 只存放程序、固定常数和数据表格; RAM 称为数据存储器, 用作工作区及存放数据。两者的访问方式、寻址方式都不相同。程序存储器存储空间较大, 数据存储器存储空间小, 这主要是考虑到单片机常应用于控制系统的特点。程序存储器和数据存储器又有片内和片外之分, 而且访问方式也不相同。所以, 单片机的存储器在操作时分为片内程序存储器、片外程序存储器、片内数据存储器 and 片外数据存储器。

(2) 在芯片引脚上, 大部分采用分时复用技术。

单片机芯片内集成了较多的功能部件, 需要的信号引脚比较多, 但由于工艺和应用场合的限制, 芯片上引脚数目又不能太多。为解决实际的引脚数和需要的引脚数数量上的矛盾, 一个引脚往往设计了两个或多个功能, 每个引脚在当前起什么作用, 由指令和当前机器的状态来决定。

(3) 在内部资源访问上, 通过采用特殊功能寄存器 (SFR) 完成。

在单片机中, 微处理器、存储器、I/O 接口、定时器/计数器、串行接口、中断系统等资源是以特殊功能寄存器 (SFR) 的形式提供给用户的。用户对这些资源的访问通过对相应的特殊功能寄存器 (SFR) 进行访问来实现。

(4) 在指令系统上, 采用面向控制的指令系统。

为了满足控制系统的要求, 单片机有很强的逻辑控制能力。在单片机内部一般都设置有一个独立的位处理器, 又称为布尔处理器, 专门用于位运算。

(5) 单片机内部一般都集成有全双工的串行接口。

通过全双工的串行接口,可以很方便地与其他外围设备进行通信,也可以与另外的单片机或微型计算机通信,组成计算机分布式控制系统。

(6) 单片机有很强的外部扩展能力。

当单片机内部的各功能部件不能满足应用系统要求时,可以很方便地在外部扩展各种电路和器件,且能与多种通用的接口芯片兼容。

1.3.2 单片机的主要应用

单片机具有体积小、功耗低、面向控制、可靠性高、价格低廉、可以方便地实现多机和分布式控制等优点,使其广泛地应用于多种控制系统和分布式系统中。单片机主要应用于以下几个领域。

(1) 工业测控:对工业设备(如机床、汽车、锅炉、温度控制系统、自动报警系统、生产自动化设备等)进行智能控制,大大降低了劳动强度和生产成本,提高了产品质量的稳定性。

(2) 智能设备:基于单片机改造的传统仪器、仪表,使其(集测量、处理、控制、报警等功能为一体)智能化、小型化,如智能仪器、数字示波器、医疗器械等。

(3) 家用电子产品:如全自动洗衣机、空调机、冰箱、手机、电子遥控玩具等均采用单片机作为自动控制系统。

(4) 商用产品:如自动售货机、收款机、电子称等。

(5) 网络与通信智能接口:在大型计算机控制的网络或通信电路与外围设备的接口电路中,采用单片机控制和管理,以提高系统的运行速度,如传真机、打印机、绘图仪等。

1.4 C51 单片机系列

1.4.1 80C51 单片机系列

80C51 单片机系列是在 C51 系列单片机的基础上发展起来的,早期的 80C51 仅是 C51 系列中的一类芯片,但是随着单片机的发展,80C51 已经形成独立的系列,并成为当前 8 位单片机的典型代表。

80C51 单片机最早是由 Intel 公司推出的,并且是 C51 系列单片机的一部分,并按 C51 芯片的规则命名,例如 80C31、80C51、87C51、89C51。随着越来越多的厂商,如 Philips、Atmel、LG、华邦等公司开始生产 80C51 系列芯片,这些芯片都以 80C51 为核心并且与 C51 芯片兼容,但又各具特点。由于厂商增多,芯片的种类增加,使得芯片的命名很难遵循统一的规律,使得用户很难通过型号对芯片进行识别。例如,Philips 公司生产的 80C51 系列芯片名称有 80CXXX(无 ROM)、83CXXX(ROM)、87CXXX(EPROM)和 89CXXX(E2PROM);Siemens 公司将该类芯片命名为 C500 系列,芯片的型号以“C5”开头;而华邦公司则命名为 W77C51 和 W78C51 系列。

新一代 80C51 单片机在芯片内增加了一些外部接口功能,如数/模转换器(A/D)、可编程计算器阵列(PCA)、监视定时器(WDT)、高速 I/O 口等功能模块。

1.4.2 80C51 与 8051 单片机的比较

80C51 系列单片机是在 C51 系列单片机的基础上发展起来的,因此有必要对两者的联系和区别进行比较。下面主要从以下几个方面进行比较。

兼容性:80C51 单片机兼容 8051 单片机,主要表现在指令、引脚信号、总线等多个方面。指令兼容能保证两者之间不存在指令障碍,可实现软件的可移植性;而引脚信号、封装以及总线的

兼容确保两者在系统扩展和接口方面的一致,有利于系统开发。

芯片工艺: C51 系列单片机采用 HMOS 工艺,即高密度短沟道 MOS 工艺,而 80C51 采用 CHMOS 工艺,即互补金属氧化物的 HMOS 工艺。CHMOS 是 CMOS 和 HMOS 的结合,既保留了 HMOS 的高速和高密度特点,又保留了 CMOS 低功耗的特点。例如 8051 芯片的功耗为 630mW,而 80C51 芯片的功耗只有 120mW。

功能方面: 80C51 单片机较 8051 增加了许多功能。例如,80C51 单片机增加了待机和掉电保护两种工作方式。

存储方面: 在 80C51 系列芯片中,内部程序存储器除了有 ROM 型和 EPROM 型外,增加了 E2PROM 型,例如 89C51 含有 4KB 的 E2PROM。并且随着集成度的提高,80C51 系列单片机的内部程序存储器的容量也越来越大。

1.5 单片机发展趋势

单片机的发展趋势向大容量、高性能化、外围电路内装化等方面发展。为满足不同用户要求,各公司竞相推出能满足不同需求的产品。

1. 改进 CPU

增加 CPU 的数据总线宽度。例如,16 位单片机和 32 位单片机,其数据处理能力要优于 8 位单片机。另外,8 位单片机内部采用 16 位数据总线,其数据处理能力明显优于一般 8 位单片机。采用双 CPU 结构,可以提高数据处理能力。

2. 改进存储器

片内程序存储器采用 Flash 存储器。Flash 存储器能在 +5V 下读 / 写,既有静态 RAM 的读 / 写操作简便,又有在掉电时数据不会丢失的优点。使用片内 Flash 存储器,单片机可不用扩展片外程序存储器,大大简化了应用系统结构。加大存储容量。目前有的单片机片内程序存储器容量可达 128 KB,甚至更多。

3. 改进片内 I/O

增加 I/O 口的驱动能力,以减少外部驱动芯片。有的单片机可直接输出大电流和高电压,以便能直接驱动 LED 和 VFD (荧光显示器)。有些单片机设置了一些特殊的串行 I/O 功能,为构成分布式、网络化系统提供了方便条件。

4. 低功耗化

8 位单片机产品已 CMOS 化。CMOS 化的单片机具有功耗小的优点,而且为了充分发挥低功耗的特点,这类单片机普遍配置有等待状态、睡眠状态、关闭状态等工作方式。在这些状态下低电压工作的单片机,其消耗的电流仅在 μA 或 nA 量级,非常适合于电池供电的便携式、手持式仪器仪表,及其他消费类电子产品。

5. 外围电路内装化

随着集成电路技术及工艺的不断发展,把所需的众多外围电路全部集成在单片机内部,即系统的单片化是目前单片机发展趋势之一。例如,美国 Cygnal 公司的 8 位单片机 C8051F020,内部采用流水线结构,大部分指令的执行时间为 1 个或 2 个时钟周期,峰值处理能力为 25MIPS。片上集成有 8 通道 A/D、两路 D/A、两路电压比较器,内置温度传感器、定时器、可编程数字交叉开关和 64 个通用 I/O 口、电源监测、看门狗、多种类型的串行接口 (两个 UART、SPI) 等。一片芯片就是一个测控系统。

综上所述,单片机正在向多功能、高性能、高速度 (时钟达 40MHz)、低电压 (2.7V 即可工作)、低功耗、低价格 (几元钱)、外围电路内装化以及片内程序存储器和数据存储器容量不断增大的方向发展。

1.6 其他几种主流单片机

目前已投放市场的主要单片机产品多达 70 多个系列, 500 多个品种, 这还不包括那些系统或整机厂商定制的专用单片机, 及针对专门业务、专门市场的单片机品种。下面仅对除 C51 系列外的部分常见的主流单片机进行介绍。

1. Motorola 单片机

Motorola 是世界上较大的单片机厂商, 产品品种全。在 8 位机方面有 68HC05 和升级产品 68HC08。68HC05 有 30 多个系列, 200 多个品种, 产量已超过 20 亿片。16 位的 68HC16 也有十多个品种。32 位的 683XX 系列也有几十个品种。Motorola 单片机的特点之一是在同样速率下所用的时钟频率较 Intel 类单片机低得多, 因而使得高频噪声低、抗干扰能力强, 更适合用于工业控制领域及恶劣的环境。

2. Microchip 单片机

Microchip 单片机是市场份额增长最快的单片机。它的主要产品是 16C 系列 8 位单片机, CPU 采用 RISC 结构, 仅 33 条指令, 其高速度、低电压、低功耗、大电流 LCD 驱动能力和低价位 OTP 技术等都体现出单片机产业的发展新趋势。该系列产品以低价位著称, 一般单片机价格都在 1 美元以下。由 Microchip 公司推出的 PIC 单片机系列产品, 已有 3 种系列、多种型号的产品问世, 在计算机外设、家电控制、电讯通信、智能仪器、汽车电子到金融电子的多个领域都得到广泛应用。Microchip 单片机没有掩膜产品, 全都是 OTP 器件 (近年已推出 Flash 型单片机)。Microchip 注重开发节约成本的最优化设计是使用量大、档次低、价格敏感的产品。

3. Atmel 单片机

Atmel 公司的 90 系列单片机是增强型 RISC 内载 Flash 的单片机, 通常简称为 AVR 单片机。这种结构在 20 世纪 90 年代开发出来, 综合了半导体集成技术和软件性能的新结构, 使得在 8 位微处理器市场上 AVR 单片机具有最高峰值处理能力。

4. NEC 单片机

NEC 单片机自成体系, 以 8 位单片机 78K 系列产量最高, 也有 16 位、32 位单片机。16 位以上单片机采用内部倍频技术, 以降低外时钟频率, 有的采用内置操作系统。NEC 的销售策略着重于服务大客户, 并投入相当大的技术力量帮助大客户开发产品。

5. TOSHIBA 单片机

TOSHIBA 单片机从 4 位到 64 位, 门类齐全。4 位单片机在家电领域仍有较大的市场。8 位机主要有 870 系列、90 系列等, 该类单片机允许使用慢模式, 采用 32kHz 时钟时功耗低至 10 μ A 数量级。CPU 内部多组寄存器的使用, 使得中断响应与处理更加快捷。TOSHIBA 的 32 位单片机采用 MIPS3000A、RISC 的 CPU 结构, 主要面向 VCD、数码相机、图像处理等市场。

6. 富士通单片机

富士通有 8 位、16 位和 32 位单片机, 其中 8 位单片机主要有 3V 和 5V 产品, 3V 产品应用于消费类及便携设备, 如空调、洗衣机、冰箱、电表、小家电等, 5V 产品应用于工业及汽车电子产品。8 位单片机有 8L 和 8FX 两个系列, 是市场上较常见的两个系列。16 位主流单片机有 MB90F387、MB90F462、MB90F548、MB90F428 等, 这些单片机主要采用 64 脚或 100 脚 QFP 封装, 1 路或多路 CAN 总线, 并可外扩总线, 适用于电梯、汽车电子车身控制及工业控制等。32 位单片机采用 RISC 结构, 主要产品有 MB91101A, 它采用 100 脚 QFP 封装, 成本超低, 可外扩总线, 适用于 POS 机、银行税控打印机等; MB91F362GA, 208 脚 QFP 封装, CAN 总线, 可外扩总线, 适用于电力及工业控制等; MB91F364GA, 120 脚 LQFP 封装, CAN 总线, I2C 等丰富通信接口, 支持低成本的在线仿真技术 AccemiCMDE, 广泛适用于高性能、低成本的应用。富士

通公司注重于服务大公司、大客户，帮助大客户开发产品。

7. MSP430 单片机

德州仪器生产的 16 位 MSP430 系列单片机，具有强大的处置能力。它采用 RISC 构造，具有丰富的寻址方式（7 种源操作数寻址、4 种目的操作数寻址）、简约的 27 条内核指令以及大量的模仿指令；大量的寄存器以及片内数据存储器都可参与多种运算；还有高效的查表处理指令；有较高的处理速度，在 8MHz 晶振时钟驱动下指令周期为 125 ns。这些特性保证了该系列单片机可编制出高效率的源程序。MSP430 单片机之所以有超低的功耗，是由于其在降低芯片的电源电压及灵敏而可控的运转时钟方面都有其独到之处。

自单片机从 20 世纪 70 年代产生以来，在短短几十年的时间内得到了飞速的发展，并且随着工艺技术及技术的不断发展，新的单片机将会不断出现。

习 题

- 1-1 什么是单片机？
- 1-2 单片机的主要特点是什么？
- 1-3 简述单片机的主要应用领域。
- 1-4 C51 单片机的分类。
- 1-5 80C51 与 8051 的区别和联系。

第 2 章

C51 单片机的硬件结构

本章主要对 C51 单片机的硬件结构、性能特点、存储器结构、I/O 接口以及工作方式等进行介绍。只有在了解单片机的硬件结构和内部资源的基础上，才能合理应用。

2.1 MCS-51 单片机的内部结构

2.1.1 C51 单片机的内部结构

89C51 是 8051 系列单片机的典型产品，下面以 89C51 单片机为例，来介绍 C51 型单片机的内部结构。

89C51 单片机片内集成了中央处理器（CPU）、程序存储器（ROM）、数据存储器（RAM）、2 个 16 位的定时器/计数器（T0 和 T1）、4 个 8 位的并行 I/O 口（P0、P1、P2 和 P3）、串行口。它们通过总线连接起来，如图 2-1 所示。

为进一步阐述单片机的功能，图 2-2 给出 89C51 单片机的内部逻辑结构图。

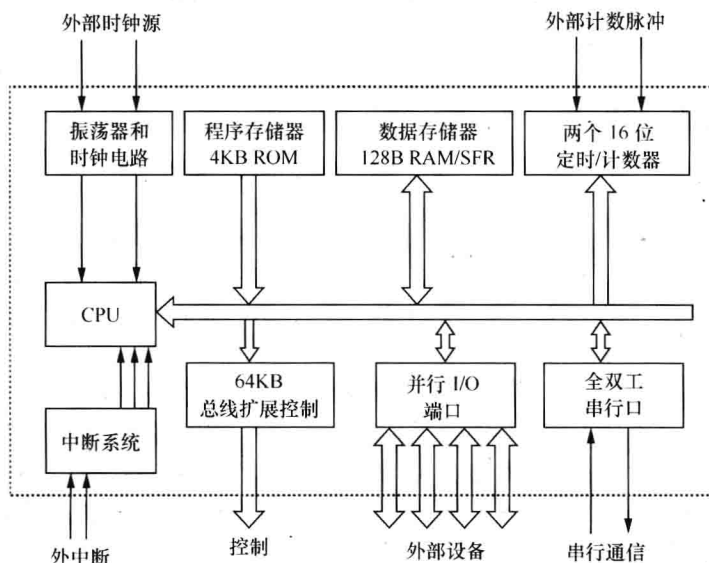


图 2-1 89C51 单片机的内部基本结构

1. 中央处理器

中央处理器与通用微处理器相同，由运算器和控制器组成，是单片机的核心。

(1) 运算器 ALU。

运算器是单片机的运算单元, 实现二进制数据的算术运算和逻辑运算。它由图 2-2 中的 ALU (算术运算单元)、累加器 ACC、寄存器 B、程序状态字 PSW、两个暂存器和位处理器组成。

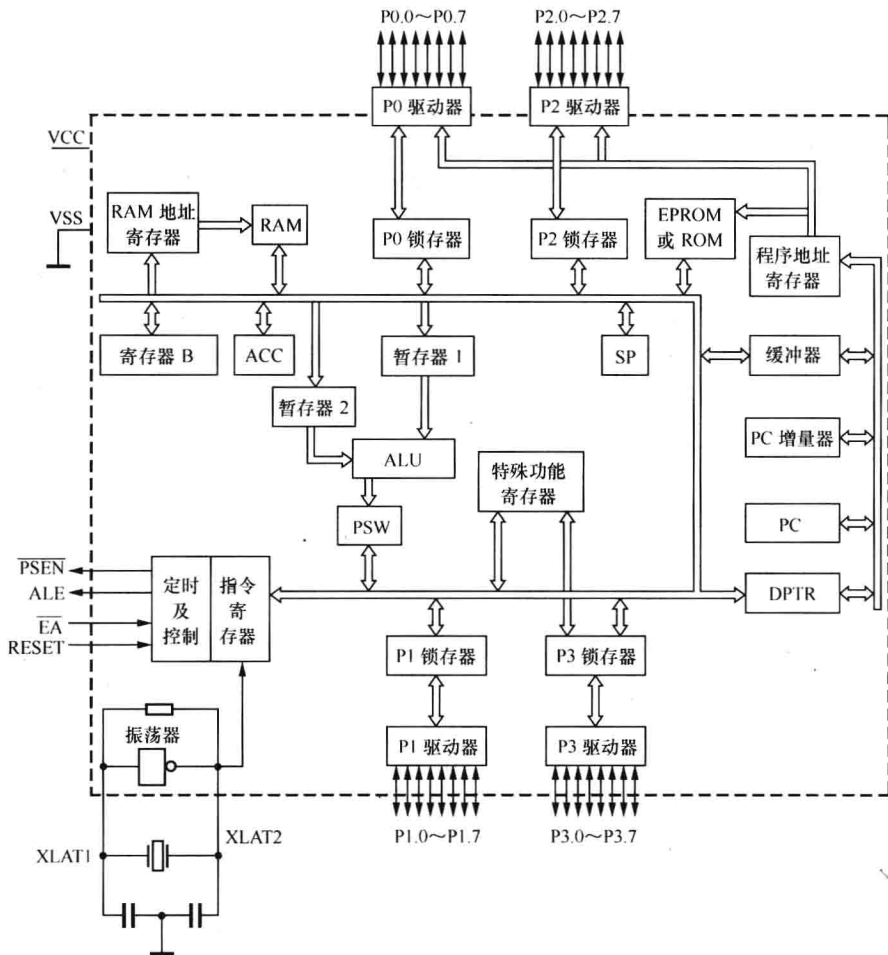


图 2-2 89C51 单片机的内部逻辑结构图

运算器 ALU: 中央处理器的核心, 完成基本的算术运算和逻辑运算, 包括加、减、乘、除、加 1、减 1、十进制调整等算术运算和与、或、非、异或等逻辑运算。运算结果状态保存在程序状态字中。

累加器 ACC, 简称累加器 A, 或寄存器 A: 是一个 8 位寄存器, 使用频率最高, 运算的操作数和运算结果多保存在寄存器 A 中。

寄存器 B: 是专门为乘、除运算设置的寄存器, 在不做乘、除运算时, 可作为普通的寄存器使用。乘法中, ALU 的两个输入数值分别取自寄存器 A、B, 乘积的低 8 位存放寄存器 A, 高 8 位存放寄存器 B; 除法中, 被除数取自寄存器 A, 除数取自寄存器 B, 商存放于 A, 余数存放于 B。

程序状态字 (PSW): 是一个 8 位的标志寄存器, 用来保存指令执行结果的特征信息, 以供程序的查询和判别, 其各位的定义如下。

奇偶标志位 P (PSW.0): 在每个指令周期由硬件置 1 或清 0, 用于表示累加器中值为 1 的位数是奇数还是偶数, 若为奇数, P 置 1; 若为偶数, P 清 0。在串行通信中, 通过该位来校验传输数据的可靠性。

溢出标志位 OV (PSW.2): 当执行运算指令时, 由硬件置 1 或清 0, 以指示运算是否产生溢

出；OV 置 1 表示运算结果超出了累加器的运算范围（无符号数的范围为 0~255，以补码形式表示的有符号数的范围为：-128~+127）。

工作寄存器组选择位 RS1、RS0（PSW.4、PSW.3）：用于选定当前使用的工作寄存器。

用户自定义标志位 F0（PSW.5）：用户可根据自己需要对 F0 赋予一定的含义。

辅助进位标志位 AC（PSW.6）：表示进行加减运算时，低 4 位向高 4 位是否有进（借）位。

进位标志位 CY（PSW.7）：表示运算结果是否有进位或借位，在执行某些算术、逻辑运算时，可被软件和硬件置位或清零。

（2）控制器。

控制器是单片机的神经枢纽，它保证单片机的各部分能自动协调工作，图 2-2 中的定时及控制、指令寄存器、程序计数器（PC）等均属于控制器的组成部分。

2. 内部数据存储器

在图 2-2 中，内部数据存储器包括 0-127B 片内数据存储器 and 128~256B 地址寄存器，共有 256 个 RAM 单元。其中高 128 个单元被特殊功能寄存器占用，故用户存放数据的只有前 128 个单元。

3. 内部程序存储器

89C51 单片机内部有 4KB 的程序存储器，主要用于存放程序、原始数据和表格等内容。

4. 定时器/计数器

89C51 单片机共有 2 个 16 位的定时/计数器，实现定时或计数功能。

5. 并行 I/O 口

89C51 单片机共有 4 个 8 位的并行 I/O 口，实现数据的并行、串行输入或输出。

6. 串行口

89C51 单片机有一个全双工的串行口，实现单片机和其他设备间的串行数据传输。

7. 中断控制系统

89C51 单片机有较强的中断功能，共有 5 个中断源，即 2 个外部中断源、2 个定时/计数中断源、1 个串口中断源，全部中断都分为高级和低级两个优先级别。

8. 时钟电路

时钟电路为单片机产生必不可少的时钟脉冲序列。

89C51 单片机芯片内部含有时钟电路，但石英晶体和微调电容需要外部提供。典型的晶振频率为 12MHz。

2.1.2 C51 单片机的外部引脚说明

C51 系列单片机的引脚互相兼容，引脚情况基本相同。C51 系列单片机采用低功耗、CHMOS 工艺制造。89C51 作为 C51 系列单片机的典型产品，40 个引脚的双列直插式封装 DIP40，引脚排列如图 2-3 所示，各引脚功能介绍如下。

1. 电源

VCC：典型值为 +5V 电源。

VSS：接地。

2. 晶振

XTAL1 和 XTAL2：外部晶振引脚。当使用内部时钟时，此二引脚用于外接石英晶体和微调电容；当使用外部时钟时，XTAL2 用于外接时钟脉冲信号，XTAL1 悬空。

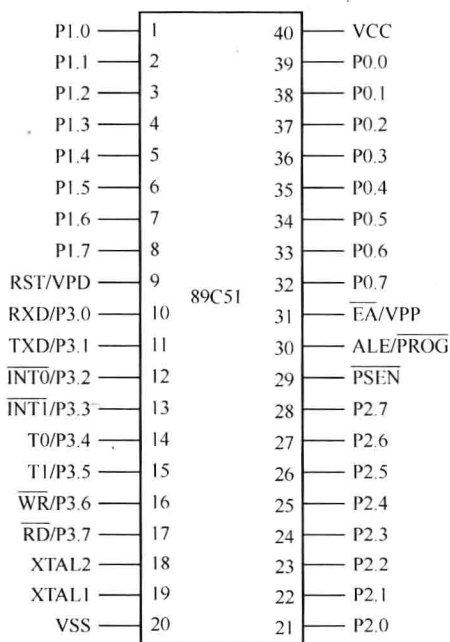


图 2-3 89C51 单片机引脚