



普通高等教育“十三五”规划教材

单片机原理与 应用技术

◆ 朱文忠 蒋华龙 主编

◆ 符长友 冯 华 汪小威 副主编



中国工信出版集团



电子工业出版社
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY
<http://www.phei.com.cn>

普通高等教育“十三五”规划教材

单片机原理与应用技术

朱文忠 蒋华龙 主编

符长友 冯 华 汪小威 副主编



电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

内 容 简 介

本书是根据高等教育“单片机原理与应用”课程教学基本要求编写的。介绍了使用最广泛的 MCS-51 系列单片机的工作原理、内部各功能部件的结构、内部硬件资源及应用编程、外部扩展技术。本书采用汇编语言和 C 语言相对照的编写方式,同时通过实例介绍汇编语言和 C 语言的混合编程。本书还介绍了单片机应用系统的基本设计方法,并附有大量的设计实例。最后一章是实验与课程设计,实验部分安排了 10 个实验,采用汇编语言和 C 语言实现;课程设计部分精选了单片机应用的典型应用实例和 20 个课程设计题目,并给出了设计要求,内容详实。

本书既可作为计算机、电子、机电、测控等相关专业的本科或高职教材,也可供相关工程技术人员参考。

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。

版权所有,侵权必究。

图书在版编目(CIP)数据

单片机原理与应用技术 / 朱文忠等主编. —北京: 电子工业出版社, 2017.6

ISBN 978-7-121-30476-7

I. ①单… II. ①朱… III. ①单片微型计算机 IV. ①TP368.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 287289 号

策划编辑: 戴晨辰

责任编辑: 戴晨辰

文字编辑: 刘 芳

印 刷: 三河市良远印务有限公司

装 订: 三河市良远印务有限公司

出版发行: 电子工业出版社

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编 100036

开 本: 787×1 092 1/16 印张: 23.5 字数: 608 千字

版 次: 2017 年 6 月第 1 版

印 次: 2017 年 6 月第 1 次印刷

定 价: 49.00 元

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题, 请向购买书店调换。若书店售缺, 请与本社发行部联系, 联系及邮购电话: (010) 88254888, 88258888。

质量投诉请发邮件至 zltz@phei.com.cn, 盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

本书咨询联系方式: dcc@phei.com.cn。

前言

单片微型计算机简称单片机,又称为微控制器(Micro-Controller Unit, MCU),它的出现是计算机发展史上的一个重要里程碑。其以体积小、功能全、性价比高等诸多优点而独具特色,在工业控制、尖端武器、通信设备、信息处理、家用电器等嵌入式应用领域中独占鳌头。51 系列单片机是目前国内应用最广泛的 8 位单片机之一。经过三十多年的推广与发展,51 系列单片机形成了一个规模庞大、功能齐全、资源丰富的产品群。随着嵌入式系统、片上系统等概念的提出及其被普遍接受和应用,51 单片机的发展又进入了一个新的阶段。许多专用功能芯片的内核集成了 51 单片机,与 51 系列单片机兼容的微控制器以 IP 核的方式不断地出现在 FPGA 的片上系统中。因此,目前国内众多高校仍以 51 单片机作为单片机课程或微机原理课程的基本机型。近年来,基于 51 单片机的嵌入式实时操作系统的出现与推广,表明了 51 系列单片机在今后的许多年中依然会活跃如故,而且在很长一段时间中将占据嵌入式系统产品的低端市场。

如果说 C 语言程序设计课程是软件设计的基础课,那么单片机以其系统硬件构架完整、价格低廉、易于动手等特点,成为工科学生硬件设计的基础课。本书以 51 系列单片机为背景,介绍嵌入式系统应用软件、硬件设计的基本技术。

内容编排由浅入深,方便自学。以“必须”、“够用”、“适用”、“会用”为度,通过大量的典型例题,使学生重点掌握基本原理、基本的分析方法和软、硬件的设计方法,全书将表格、示意图和语言描述相结合,使基本理论的表述一目了然,便于掌握和记忆。

理论联系实际。引导学生掌握以单片机为核心的嵌入式系统的开发技术。书中的例题或习题,学生自己在实验室或家中就能动手做实验。书中设计了单片机实验指导,介绍了单片机开发软件的使用方法,安排的实验可以与 ISP 实验板结合使用,也可和任意外购实验平台结合使用,还可以用面包板自行搭建电路(此时需另购编程器,附录中有集成电路引脚图)。总之,该实验指导具有普遍指导意义,可作为独立的实验教程。

采用汇编语言和 C 语言对照的编程方法。对于 IT 行业工程师来说,两种语言的编程方法都必须掌握。这是因为汇编语言的代码效率高,适时性强,从中可以理解单片机的工作机理,而且目前很多资料使用的是汇编语言。但是对于复杂的运算或大型程序,用汇编语言的编程花费时间远比 C 语言多,这就降低了开发效率;而 C 语言的编程无须考虑具体的寄存器或存储器的分配等细节,由 C51 编译系统安排,从而可以加快开发者的编程速度,缩短开发周期。为了发挥两种语言的长处,书中以较多的例题介绍了 C 语言和汇编语言的混合编程方法。对于学过 C 语言的读者,编 C 语言的程序是轻而易举的事情。为了照顾没学过 C 语言的读者,本书对 C 语言的基本语法也做了介绍,学习以后,也能编出高质量的 C 语言程序。对于两种编程语言的教学,教学单位可根据情况取舍,另一种语言可以让学生参考或自学。

详细描述了串行总线。随着非总线扩展芯片的增多,书中专门对串行总线做了详细描述,并介绍了一些新型的串行器件,如串行 D/A、串行 A/D 等,使读者适应单片机技术的新发展。

本书是作者在总结多年科研经验和长期从事单片机教学工作的基础上编写的,并获得了

四川理工学院教材资助，是学校“单片机原理与应用”精品课程建设的成果体现。内容由浅入深、条理清晰，有一定的先进性、系统性和实用性。本书的编写注重层次分明，语言简练。每章都配有小结和思考题，便于理论教学。第10章是实验与课程设计，便于学校开展实践性教学。书末还附有常用集成电路引脚图，以便读者查阅。

本书的配套教学资源包括教学课件和习题解答等，可以通过华信教育资源网(<http://www.hxedu.com.cn>)注册免费下载。

全书由朱文忠统稿，并编写了第1、2、6章，第3、4、5章由蒋华龙编写，第7章由汪小威编写，第8、9章由符长友编写，第10章由达内科技集团的冯华编写。在此，对他们的辛勤劳动表示感谢。另外，还要感谢本书的主审老师贾金玲教授，他在百忙之中认真、负责地审阅了全书内容，感谢梁金明教授对本书提出的宝贵意见和建议。

由于计算机发展日新月异，作者学识水平有限，本书不当之处敬请广大读者批评指正。
作者 E-mail: zwz@suse.edu.cn。

编 者

2017年1月

目 录

第1章 单片机概述	1
1.1 单片机的概念	1
1.1.1 单片机的定义	1
1.1.2 单片机的诞生	1
1.1.3 单片机的应用领域	2
1.1.4 单片机与嵌入式系统	2
1.2 单片机发展史及发展趋势	2
1.3 MCS-51 系列单片机及其兼容产品	3
1.3.1 MCS-51 系列单片机分类	4
1.3.2 MCS-51 系列单片机的兼容产品	5
1.4 计算机基础知识	6
1.4.1 数制	6
1.4.2 数制转换	7
1.4.3 编码	8
1.4.4 计算机中数的表示	9
本章小结	10
习题与思考题	10
第2章 MCS-51 单片机硬件结构	12
2.1 MCS-51 系列单片机的基本结构	12
2.1.1 MCS-51 系列单片机的总体基本结构	12
2.1.2 MCS-51 系列单片机主要功能部件	12
2.1.3 8051 单片机内部结构及引脚	13
2.1.4 外部总线构成	15
2.2 MCS-51 单片机的中央处理器	16
2.2.1 CPU 的组成	16
2.2.2 指令执行的基本步骤	16
2.2.3 时钟电路及时钟时序单位	17
2.3 MCS-51 单片机的内部存储器	20
2.3.1 存储器结构及地址分配	20
2.3.2 内部程序存储器	21
2.3.3 内部数据存储器	22
2.3.4 堆栈	26
2.4 MCS-51 单片机的工作方式	27
2.4.1 执行指令程序方式	27
2.4.2 掉电保护方式	28
2.4.3 低功耗方式	28
本章小结	30
习题与思考题	30
第3章 MCS-51 单片机指令系统	33
3.1 MCS-51 单片机指令概述	33
3.1.1 MCS-51 单片机汇编语言指令格式	33
3.1.2 布尔处理机	33
3.1.3 指令中的常用符号	34
3.2 MCS-51 单片机的寻址方式	34
3.2.1 立即寻址	35
3.2.2 直接寻址	35
3.2.3 寄存器寻址	36
3.2.4 寄存器间接寻址	36
3.2.5 基址加变址寻址	37
3.2.6 相对寻址	38
3.2.7 位寻址	39
3.3 MCS-51 单片机的指令系统	40
3.3.1 数据传送指令	40
3.3.2 算术运算指令	45
3.3.3 逻辑运算和移位指令	48
3.3.4 控制转移指令	51
3.3.5 位操作指令	56
本章小结	58
习题与思考题	59
第4章 汇编语言程序设计	65
4.1 程序设计基础	65
4.1.1 汇编语言源程序设计的步骤	66
4.1.2 汇编语言的语句格式	67
4.1.3 汇编语言的伪指令	68
4.1.4 MCS-51 单片机汇编语言源程序格式及上机过程	73
4.2 单片机汇编语言程序的控制结构	74
4.2.1 顺序结构程序设计	74
4.2.2 分支结构程序设计	75
4.2.3 循环结构程序设计	76
4.2.4 子程序设计	81

4.3 MCS-51 单片机汇编语言程序设计举例.....	83	5.6.5 循环结构.....	119
4.3.1 数据传送程序设计.....	83	5.7 C51 的指针.....	121
4.3.2 算术运算程序设计.....	84	5.7.1 C51 指针变量.....	122
4.3.3 数制转换程序设计.....	87	5.7.2 指针的运算.....	124
4.3.4 查表程序设计.....	90	5.7.3 通过指针宏访问存储器.....	124
4.3.5 数据检索程序设计.....	92	5.8 C51 的函数.....	126
本章小结.....	94	5.8.1 C51 函数分类.....	126
习题与思考题.....	95	5.8.2 C51 函数的定义.....	127
第 5 章 C51 应用基础	97	5.8.3 C51 中断函数的定义.....	128
5.1 Keil C51 简介.....	97	5.8.4 C51 的部分头文件和库函数.....	129
5.2 C51 程序设计概述.....	97	5.9 C51 程序设计应用举例.....	132
5.2.1 C51 语言的特点.....	97	5.9.1 8051 单片机 I/O 口操作.....	132
5.2.2 C51 程序与标准 C 程序的区别.....	98	5.9.2 再入函数的定义.....	133
5.2.3 C51 的标识符与关键字.....	98	5.9.3 排序和查找.....	133
5.2.4 C51 语言程序的书写格式.....	99	5.9.4 码制转换.....	136
5.3 C51 数据类型.....	99	本章小结.....	138
5.3.1 C51 的数据类型.....	99	习题与思考题.....	139
5.3.2 数据类型转换.....	102	第 6 章 MCS-51 单片机的硬件资源	
5.4 C51 的运算量.....	103	及其应用	141
5.4.1 常量.....	103	6.1 并行 I/O 端口.....	141
5.4.2 变量.....	104	6.1.1 端口功能.....	141
5.4.3 存储模式.....	105	6.1.2 端口原理及操作.....	142
5.5 C51 的运算符和表达式.....	106	6.1.3 并行口应用举例.....	146
5.5.1 C51 运算符简介.....	106	6.2 MCS-51 的中断系统.....	147
5.5.2 算术运算符和算术表达式.....	107	6.2.1 MCS-51 中断系统的组成及	
5.5.3 关系运算符与关系表达式.....	107	中断源.....	148
5.5.4 逻辑运算符与逻辑表达式.....	108	6.2.2 MCS-51 的中断控制.....	149
5.5.5 位运算符.....	108	6.2.3 MCS-51 的中断响应过程.....	152
5.5.6 赋值运算符和赋值表达式.....	111	6.2.4 MCS-51 的中断程序设计.....	155
5.5.7 复合赋值运算符和复合赋值		6.3 MCS-51 单片机的定时/计数器.....	158
表达式.....	111	6.3.1 定时/计数器的功能概述.....	158
5.5.8 逗号运算符和逗号表达式.....	111	6.3.2 定时/计数器的结构、控制及	
5.5.9 条件运算符和条件表达式.....	112	工作方式.....	159
5.5.10 指针和地址运算符.....	112	6.3.3 定时/计数器的编程及应用.....	165
5.5.11 sizeof 运算符.....	112	6.4 MCS-51 单片机的串行接口及其串行	
5.6 C51 的基本语句.....	114	通信.....	168
5.6.1 表达式语句和空语句.....	114	6.4.1 串行通信的基本概念.....	169
5.6.2 复合语句.....	115	6.4.2 MCS-51 单片机的串行口及控制	
5.6.3 条件语句.....	115	寄存器.....	170
5.6.4 开关语句.....	117	6.4.3 MCS-51 单片机的串行通信工作	

方式	172	8.3 SPI 串行扩展接口	237
6.4.4 串行口应用举例	175	8.3.1 SPI 总线的结构原理	237
本章小结	183	8.3.2 SPI 总线的软件模拟	238
习题与思考题	183	8.3.3 SPI 串行扩展应用实例	239
第7章 MCS-51 单片机系统扩展		8.4 串行单总线(1-Wire)技术	241
及其应用	187	8.4.1 单总线的工作原理	241
7.1 存储器的扩展	187	8.4.2 单总线应用实例——数字温度	242
7.1.1 扩展技术的原理和方法	187	测量与控制	242
7.1.2 常用半导体存储器芯片	190	本章小结	248
7.1.3 程序存储器扩展	193	习题与思考题	248
7.1.4 数据存储器扩展设计	195	第9章 MCS-51 单片机应用系统设计	249
7.1.5 单片机扩展外部存储器空间地址		9.1 MCS-51 单片机应用系统的结构	249
分配	195	9.2 MCS-51 单片机应用系统设计	250
7.1.6 多片存储器扩展设计	198	9.2.1 总体方案设计	250
7.2 I/O 接口的扩展	200	9.2.2 硬件设计	251
7.2.1 简单 I/O 接口扩展	200	9.2.3 软件设计	251
7.2.2 用串行口扩展并行 I/O 接口	202	9.2.4 可靠性设计	253
7.2.3 可编程 I/O 接口扩展	203	9.3 单片机应用系统的调试、测试	256
7.3 D/A、A/D 转换及其接口扩展	208	9.3.1 硬件调试	256
7.3.1 A/D 转换芯片 ADC0809 简介	208	9.3.2 软件调试	257
7.3.2 ADC0809 与 MCS-51 型单片机		9.3.3 系统联合调试	258
的接口	210	9.3.4 现场调试及性能测试	258
7.4 MCS-51 型单片机与 D/A 转换接口	212	9.4 单片机应用系统举例	259
7.4.1 D/A 转换芯片 ADC0832 简介	213	9.4.1 单片机在控制系统中的应用	259
7.4.2 DAC0832 与 MCS-51 单片机的		9.4.2 单片机在里程、速度计量中	261
接口	215	的应用	261
7.5 MCS-51 单片机键盘接口	218	9.4.3 数字电子时钟系统设计实例	265
7.5.1 独立式键盘	218	9.4.4 单片机遥控系统的应用设计	273
7.5.2 矩阵式键盘	221	本章小结	296
7.6 MCS-51 单片机显示器接口	226	习题与思考题	297
7.6.1 LED 显示器的结构与原理	226	第10章 实验与课程设计	298
7.6.2 LED 显示器的显示方式	227	10.1 DVCC-ZHC2/DVCC-52196JH/JH+	
7.6.3 LED 显示接口典型应用电路	229	单片机仿真实验系统使用简介	298
本章小结	232	10.1.1 实验系统的启动	298
习题与思考题	233	10.1.2 实验系统键盘简介	299
第8章 串行总线扩展技术	234	10.1.3 DVCC 实验系统的工作方式	300
8.1 串行总线扩展概述	234	10.1.4 实验过程中实验结果的查看	301
8.1.1 串行扩展的种类	234	10.1.5 实验的一般步骤	301
8.1.2 串行扩展的特点	234	10.2 Keil μ Vision 开发环境简介	302
8.2 I ² C 串行扩展总线	235	10.2.1 Keil μ Vision 简介	302

10.2.2	Keil μ Vision3 集成开发环境	302	实验一	P1 口实验	333
10.2.3	使用 Keil C51 进行单片机程序 设计实验的一般步骤	303	实验二	独立式按键实验	335
10.3	基础性实验	306	实验三	7 段 LED 数码管实验	337
实验一	清零实验	306	实验四	8051 内部定时器实验	339
实验二	拆字实验	308	实验五	4×4 矩阵式键盘实验	342
实验三	数据排序实验	309	10.5	课程设计	346
实验四	多分支实验	312	10.5.1	设计目的	346
实验五	单片机 I/O 口实验 (P3 和 P1 口应用)	314	10.5.2	内容及时间安排	346
实验六	并行 I/O 口 8255 扩展实验	316	10.5.3	基本要求	347
实验七	A/D 转换 ADC0809 应用	320	10.5.4	考核及评分标准	347
实验八	D/A 转换 DAC0832 应用	323	10.5.5	设计报告内容及要求	347
实验九	串并转换实验	326	10.5.6	课程设计实例	347
实验十	音乐发声器(电子音响) 实验	328	10.5.7	课程设计参考题目及要求	356
实验十一	继电器控制实验	331	附录 A	ASCII 码表	359
10.4	设计性实验	333	附录 B	MCS-51 系列单片机指令表	360
			附录 C	常用数字集成电路引脚图	364
			参考文献		368

第 1 章 单片机概述

1.1 单片机的概念

1.1.1 单片机的定义

单片机的全称是单片微型计算机 (Single Chip Microcomputer, SCM), 也称为微控制器 (Micro-Controller Unit, MCU), 它是将中央处理单元 (Central Processing Unit, CPU)、数据存储器 RAM (Random Access Memory, 随机读写存储器)、程序存储器 ROM (Read Only Memory, 只读存储器) 以及 I/O (Input/Output, 输入/输出) 接口集成在一块芯片上, 构成的一个计算机系统, 其组成框图如图 1.1 所示。单片机可用下面的“表达式”来表示:

单片机 = MPU+ROM+RAM+I/O+功能部件

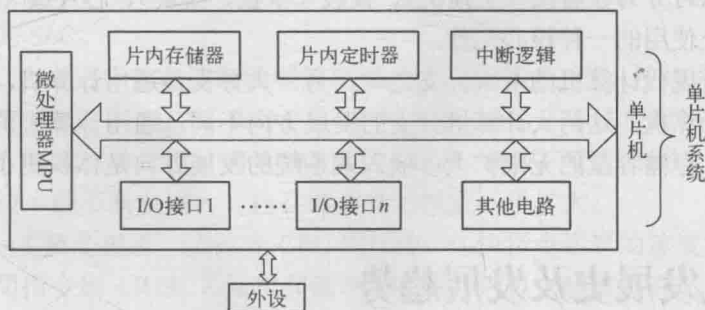


图 1.1 单片机的组成框图

1.1.2 单片机的诞生

单片机诞生于 20 世纪 70 年代末, 具有代表性的事件是 1976 年 Intel 公司推出了 MCS-48 单片机系列的第一款产品: 8048。这款单片机在一个芯片内集成了超过 17000 个晶体管, 包含一个 CPU, 1KB 的 EPROM (Erasable Programmable Read Only Memory, 可擦可编程只读存储器), 64 字节的 RAM, 27 个 I/O 端口和一个 8 位的定时器。8048 很快就成为了控制领域的工业标准, 它们起初被广泛用来替代诸如洗衣机或交通灯等产品中的控制部分。

1980 年, Intel 公司在 MCS-48 的基础上推出了 MCS-51 系列的第一款单片机 8051, 这款单片机的功耗、大小和复杂程度都比 8048 提高了一个数量级。8051 集成了超过 60000 个晶体管, 拥有 4KB 的 ROM, 128B 的 RAM, 32 个 I/O 端口, 一个串行通信接口和两个 16 位的定时器。经过三十多年的发展, MCS-51 系列单片机已经形成了一个规模庞大、功能齐全、资源丰富的产品群。

1.1.3 单片机的应用领域

单片机在我们的日常生活和工作中无处不在、无处不有：家用电器中的微波炉、洗衣机、电饭煲、豆浆机、电子秤；住宅小区的监控系统、电梯智能化控制系统；汽车电子设备中的ABS、GPS、ESP、TPMS；医用设备中的呼吸机，各种分析仪，监护仪，病床呼叫系统；公交汽车、地铁站的IC卡读卡机、滚动显示车次和时间的LED点阵显示屏；电脑的外设，如键盘、鼠标、光驱、打印机、复印机、传真机、调制解调器；计算机网络的通信设备；智能化仪表中的万用表、示波器、逻辑分析仪；工厂流水线的智能化管理系统，成套设备中关键工作点的分布式监控系统；导弹的导航装置，飞机上的各种仪表等。可以说，单片机已经渗透到了我们生活的各个领域。根据资料显示，2007年全球单片机的产值达到151亿美元，我国单片机的销售额达到400亿元人民币，我国每年单片机的需求量达50亿~60亿片，是全球单片机的最大市场。

1.1.4 单片机与嵌入式系统

所谓嵌入式系统，就是嵌入到对象体系中的专用计算机系统。“嵌入性”、“专用性”与“计算机系统”是嵌入式系统的三个基本要素。对象体系则是指嵌入式系统所嵌入的宿主系统。按照上述嵌入式系统的定义，只要满足定义中三要素的计算机系统，都可称为嵌入式系统。嵌入式系统按形态可分为设备级（工控机）、板级（单板、模块）、芯片级（MCU、SoC）。单片机是嵌入式系统使用的一种核心元件。

嵌入式系统是现代计算机的两大分支之一，另一大分支是通用计算机，通用计算机的代表性产品是个人计算机。这两大计算机分支的发展方向不同：通用计算机的发展方向是总线速度的无限提升，存储容量的无限扩大；嵌入式系统的发展方向是体积更小、控制能力与控制的可靠性更高。

1.2 单片机发展史及发展趋势

单片机的发展历史可划分为如下三个阶段。

第一阶段（1974—1976年）：为单片机初级阶段。因受工艺和集成度的限制，单片机采用双片形式。例如，仙童公司的F8必须外接一块3851电路才能构成一个完整的微型计算机。

第二阶段（1976—1978年）：为低性能单片机阶段。单片机由一块芯片构成，但性能低、品种少。以Intel公司的MCS-48系列单片机为典型代表。它具有CPU、并行口、定时器、RAM及ROM。这是一个真正的单片机，但其CPU功能不强，I/O口种类和数量很少，其ROM和RAM也很有限，只能应用于比较简单的场合。例如，90年代中期以前的PC键盘几乎无一例外地使用MCS-48系列单片机作为控制部件。

第三阶段（1978—1982年）：为高性能单片机阶段。在这一阶段出现了很多新型单片机，这些新型单片机不仅有功能强大的CPU，I/O口种类和数量较多，而且具有容量较大的ROM和RAM以及种类繁多的功能部件。

第四阶段（1982年至今）：微控制器的全面发展阶段。随着单片机在各个领域全面深入地发展和应用，出现了高速、寻址空间更大、运算能力更强的8位/16位/32位通用型单片机、

嵌入式微控制器 (MCU)、SoC 片上系统 (System on Chip), 以及小型廉价的专用型单片机。

目前单片机的发展有以下几个主要的趋势。

(1) 低功耗。单片机多数是采用 CMOS (互补金属氧化物半导体) 半导体工艺生产。CMOS 芯片除了具有低功耗特性之外, 还具有功耗的可控性。CMOS 电路的特点是低功耗、高密度、低速度、低价格。采用双极型半导体工艺的 TTL 电路速度快, 但功耗和芯片面积较大。随着技术和工艺水平的提高, 又出现了 HMOS (高密度、高速度 MOS) 和 CHMOS 工艺。目前生产的 CHMOS 电路已达到 LSTTL 的速度, 传输延迟时间少于 2ns。它的综合优势已优于 TTL 电路, 因此, 在单片机领域 CMOS 正在逐渐取代 TTL 电路。几乎所有的单片机都有 WAIT、STOP 等省电运行方式。允许使用的电压范围越来越宽, 一般在 3~6V 范围内工作。8051F9XX 单片机的最低电压可到 0.9V, Atmel 公司最新发布的 0.7V TinyAVR 甚至可以使用一个纽扣电池供电。

(2) 外围电路内装化。目前单片机的集成度不断提高, 除了一般必须具有的 CPU、ROM、RAM、定时器/计数器等以外, 片内集成的部件还有模/数转换器、数/模转换器、人机界面、通信接口、I2C、SPI、CAN、USB 总线等。人机界面技术与开始只在高端单片机产品中使用, 现在已经延伸到中低端单片机上, 这就是工业产品的消费化趋势。AVR、PIC 单片机都支持 LCD、触摸传感功能。Atmel 的 Qtouch 技术与 PicoPowerMCU 和触摸软件库形成低成本方案。伴随着互联网的广泛应用, 各种有线和无线的通信方式与单片机结合的越发紧密。CAN、USB 和 Ethernet 已经成为 32 位单片机的基本组成部分。无线技术在工业和消费电子产品中的应用越来越多。如 TI 公司的 CC2430, 被称为无线单片机, 它是一种集成了单片机和无线收发模块的 SoC。

(3) 大容量。为了适应复杂控制领域的要求, 须运用新的工艺, 使片内存储器大容量化。以往单片机内的 ROM 为 1~4KB, RAM 为 64~128B。而为了不同应用场合的要求, 可以加大内存存储容量。目前, 单片机片内 ROM 可达 12KB, RAM 可达 1MB, 寻址可达 16MB。随着半导体工艺技术的不断发展, 片内存储容量还将进一步扩大。

(4) 高速化。主要是指进一步改变 CPU 的性能, 加快指令运算的速度和提高系统控制的可靠性。采用精简指令集 (RISC) 结构和流水线技术, 可以大幅度提高运行速度。现指令速度最高者已达 100MIPS (Million Instruction Per Second, 兆指令每秒), 并加强了位处理、中断和定时控制功能。这类单片机的运算速度比标准的单片机高出 10 倍以上。由于这类单片机有极高的指令速度, 可以使用软件模拟其 I/O 功能, 由此引入了虚拟外设的新概念。

(5) 低价格、小容量。以 4 位、8 位机为中心的小容量、低价格化也是发展动向之一。这类单片机的用途是把以往用数字逻辑集成电路组成的控制电路单片机化, 可广泛用于家电产品。

随着集成工艺的不断发展, 单片机一方面向集成度更高、体积更小、功能更强、功耗更低方向发展, 另一方面向 32 位以上及双 CPU 方向发展。

1.3 MCS-51 系列单片机及其兼容产品

MCS-51 系列单片机指的是 Intel 公司生产的一个系列的单片机的总称。20 世纪 80 年代中期以后, 由于 Intel 公司将重点放在高档微处理器芯片的开发上, 所以将其 MCS-51 系列中的 80C51 内核使用权以专利互换或出售的形式转让给了全世界许多著名 IC 设计厂商, 如 AMTEL、PHILIPS、ANALOG DEVICES、DALLAS 等。这些厂家生产的单片机是 MCS-51

系列单片机的兼容产品，或者说是与 MCS-51 指令系统兼容的单片机。MCS-51 系列单片机是商业化单片机的鼻祖，多年来积累的技术资料和开发经验是其他系列单片机所不能比拟的，MCS-51 系列单片机事实上已经成为 8 位单片机的行业标准。所以，本教材以 MCS-51 系列单片机为对象进行介绍。

1.3.1 MCS-51 系列单片机分类

MCS-51 系列单片机按照功能可以划分为以下主要类型。

(1) 基本型

基本型主要包括 8031、8051 和 8751 等通用产品，其基本特性如下：

- 8 位 CPU；
- 4KB 片内程序存储器（ROM）；
- 128B 片内数据存储器（RAM）；
- 32 条并行 I/O 口线；
- 21 个专用寄存器；
- 2 个 16 位可编程加法定时/计数器；
- 5 个中断源，两个优先级；
- 一个全双工串行通信口；
- 外部数据存储器寻址空间为 64KB；
- 程序存储器寻址空间为 64KB；
- 逻辑操作位寻址功能；
- 一个片内时钟振荡器和时钟电路；
- 单一+5V 电源供电。

(2) 增强型

增强型有 8052、8032、8752、89C52、89S52 等。这些单片机内部的 ROM、RAM 容量比基本型增大了一倍，同时定时器增至 3 个。87C54 内部 ROM 为 16KB，87C58 增加到 32KB。另外，诸如中断源、A/D、SPI、IIC 接口等也越来越多地集成到了 MCS-51 单片机中。

(3) 低功耗型

低功耗型有 80C5X、80C3X、87C5X 和 89C5X 等。型号中有“C”字样的单片机采用 CHMOS 工艺，特点是低功耗。

(4) ISP 型

ISP（In System Programming，在线系统编程），一种无须将存储芯片（如 EPROM）从嵌入式设备上取出就能对其进行编程的过程。在线系统编程需要在目标板上有额外的电路完成编程任务。其优点是，即使器件焊接在电路板上，仍可对其（重新）进行编程。具有代表性的 ISP 产品有 Atmel 公司的 AT89S51、AT89S52 等 S 系列的产品。

(5) IAP 型

IAP（In Application Program，在应用中可编程）是用户自己的程序在运行过程中对 User Flash 的部分区域进行烧写，目的是为了在产品发布后可以方便地通过预留的通信口对产品中的固件程序进行更新升级。

通常在用户需要实现 IAP 功能时，需要在设计固件程序时编写两部分代码，第一部分代

码不执行正常的功能操作，而只是通过某种通信方式（如 USB、USART）接收程序或数据，执行对第二部分代码的更新；第二部分代码才是真正的功能代码。这两部分项目代码都同时烧写在 User Flash 中，当芯片上电后，首先是第一个项目代码开始运行，将进行如下操作：

- ① 检查是否需要第二部分代码进行更新；
- ② 如果不需要更新则转到④；
- ③ 执行更新操作；
- ④ 跳转到第二部分代码执行。

第一部分代码必须通过其他手段，如 JTAG 或 ISP 烧入；第二部分代码可以使用第一部分代码 IAP 功能烧入，也可以和第一部分代码一并烧入，以后需要程序更新时再通过第一部分 IAP 代码更新。

典型的 IAP 芯片如 SST 公司开发的 C51 系列单片机：SST89C54/58。

1.3.2 MCS-51 系列单片机的兼容产品

目前，与 MCS-51 系列单片机兼容的单片机主要有如下几种。

(1) Motorola 单片机

Motorola 是世界上最大的单片机厂商，品种全、选择余地大、新产品多是其特点。在 8 位机方面有 68HC05 和升级产品 68HC08。68HC05 有三十多个系列，二百多个品种，产量已超过 20 亿片。16 位机 68HC16 也有十多个品种。32 位单片机的 683XX 系列也有几十个品种。Motorola 单片机特点之一是在同样速度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

由美国 Microchip 公司推出的 PIC 单片机系列产品，已有三种系列多种型号的产品问世，从电脑的外设、家电控制、电信通信、智能仪器、汽车电子到金融电子的各个领域都得到广泛的应用。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。且以低价位著称，一般单片机价格都在一美元以下。Microchip 单片机没有掩膜产品，大都是 OTP（一次性可编程）器件，近年已推出 Flash 型单片机。Microchip 强调节约成本的最优化设计、使用量大、档次低、价格敏感的产品。

(3) Atmel 单片机

Atmel 一共有三个系列的单片机 AT89、AT90 和 AT91。AT89 是以 51 内核为标准的单片机，它是改进型的 51 单片机，比如 AT89C51 AT89S51；AT90 系列单片机主要对应的是 AVR 单片机（Atmel 最主要的单片机）。AVR 有三个系列：Attiny 系列、AT90 系列、ATmega 系列，分别对应 AVR 中的低档、中档和高档单片机。所有的 AVR 单片机都支持 ISP，而且 AVR 单片机是一款 RISC（精简指令）型单片机，51 单片机是 CISC（复杂指令）型单片机。AVR 单片机的功能远远强于 51 单片机；AT91 系列单片机主要对应的是高端的 32 位 ARM 单片机，一般采用 ARM7 内核。

(4) STC 单片机

STC 系列单片机是深圳宏晶公司的产品，在众多的 51 系列单片机中，要算国内 STC 公司的 1T 增强系列更具有竞争力，它不但和 8051 指令、引脚完全兼容，而且其片内的大容量

程序存储器为 FLASH 工艺, 如 STC12C5A60S2 单片机内部就自带高达 60K FLASHROM, 这种工艺的存储器用户可以用电的方式瞬间擦除、改写, 除此以外, 这个芯片设计的时候就吸取 51 系列单片很容易被破解的教训, 改进了加密机制, STC 单片机出厂的时候就已经完全加密, 用户程序是 ISP/IAP 机制写入, 编程的时候是一边校验一边编程, 无法读出命令, 以此增加了解密难度。

1.4 计算机基础知识

1.4.1 数制

(1) 进位计数制

进位计数制: 一个 r 进制数 N , 数的每一位只能取 r 个不同的数字, 即符号集 $\{0, 1, 2, \dots, r-1\}$ (不含 r), 对于一个 r 进制数 $N(a_m a_{m-1} \dots a_2 a_1 a_0 a_{-1} a_{-2} \dots a_{-n})$ 可以展开表示为权展开式:

$$N = a_m r^m + a_{m-1} r^{m-1} + \dots + a_2 r^2 + a_1 r^1 + a_0 r^0 + a_{-1} r^{-1} + a_{-2} r^{-2} + \dots + a_{-n} r^{-n}$$

其中 r 称为基数, r^i 称为对应于某一位的权 (位权)。

表示数时, 仅用一位数字往往不够用, 必须用进位计数的方法组成多位数字。多位数字每一位的构成以及从低位到高位进位的规则 (逢 r 进一) 称为进位计数制, 简称进位制。

例: 一个十进制数 982.12 , 数的每一位只能取 $\{0, 1, \dots, 9\}$ 10 个不同的数字, 对于十进制数 $(982.12)_{10}$, 其权展开式为:

$$(982.12)_{10} = 9 \times 10^2 + 8 \times 10^1 + 2 \times 10^0 + 1 \times 10^{-1} + 2 \times 10^{-2}$$

例: 一个八进制数 713.01 , 数的每一位只能取 $\{0, 1, \dots, 7\}$ 8 个不同的数字, 对于八进制数 $(713.01)_8$, 其权展开式为:

$$(713.012)_8 = 7 \times 8^2 + 1 \times 8^1 + 3 \times 8^0 + 0 \times 8^{-1} + 1 \times 8^{-2}$$

例: 一个十六进制数 $A0.8F$, 数的每一位只能取 $\{0, 1, \dots, 9, A, B, C, D, E, F\}$ 16 个不同的数字 (其中 A 代表 10, B 代表 11, $\dots$, F 代表 15), 对于十六进制数 $(A0.8F)_{16}$, 其权展开式为:

$$(A0.8F)_{16} = 10 \times 16^1 + 0 \times 16^0 + 8 \times 16^{-1} + 15 \times 16^{-2}$$

例: 一个二进制数 11011.01 , 数的每一位只能取 $\{0, 1\}$ 2 个不同的数字, 对于二进制数 $(11011.01)_2$, 其权展开式为:

$$(11011.01)_2 = 1 \times 2^4 + 1 \times 2^3 + 0 \times 2^2 + 1 \times 2^1 + 1 \times 2^0 + 0 \times 2^{-1} + 1 \times 2^{-2}$$

(2) 十进制

数码为: $0 \sim 9$; 基数是 10; 用字母 D 表示。

运算规律: 逢十进一。

十进制数的权展开式:

$$(5555)_D = (5555)_{10} = 5 \times 10^3 + 5 \times 10^2 + 5 \times 10^1 + 5 \times 10^0$$

又如:

$$(209.04)_D = 2 \times 10^2 + 0 \times 10^1 + 9 \times 10^0 + 0 \times 10^{-1} + 4 \times 10^{-2}$$

(3) 二进制

数码为: $0, 1$; 基数是 2; 用字母 B 表示。

运算规律：逢二进一。

二进制数的权展开式：

$$(101.01)_B = (101.01)_2 = 1 \times 2^2 + 0 \times 2^1 + 1 \times 2^0 + 0 \times 2^{-1} + 1 \times 2^{-2} = (5.25)_D$$

(4) 八进制

数码为：0~7；基数是8；用字母Q表示。

运算规律：逢八进一。

八进制数的权展开式：

$$(161.01)_Q = (101.1)_8 = 1 \times 8^2 + 6 \times 8^1 + 1 \times 8^0 + 1 \times 8^{-1} = (113.125)_D$$

(5) 十六进制

数码为：0~9，A~F；基数是16；用字母H表示。

运算规律：逢十六进一。

十六进制数的权展开式：

$$(D8.A)_H = (D8.A)_{16} = 13 \times 16^1 + 8 \times 16^0 + 10 \times 16^{-1} = (216.625)_D$$

1.4.2 数制转换

(1) N进制转换为十进制

对N进制数的权展开式求和，即可以将其转换为十进制数。

(2) 十进制转换为N进制

要将十进制转换为N进制，需要将整数部分和小数部分分别进行转换：整数部分采用“除基(N)取余倒排列”法，先得低位，再得高位，小数部分采用“乘基(N)取整正排列”法，先得高位，再得低位。

例如，十进制数44.375转换为二进制数：整数部分采用“除2取余倒排列”法，直到商为0，先取得的余数为低位，后取得的余数为高位，如图1.2所示。小数部分采用“乘2取整正排列”法，直到取整后小数部分为0或达到需要的精度，先取得的整数为高位，后取得的整数为低位，如图1.3所示。转换后再合并。

	44	余数	低位
2	22	0 = K ₀	
2	11	0 = K ₁	
2	5	1 = K ₂	
2	2	1 = K ₃	
2	1	0 = K ₄	
	0	1 = K ₅	高位

图 1.2 整数部分转换示意图

	0.375	整数	高位
×	2	0 = K ₋₁	
	0.750		
×	2	1 = K ₋₂	
	1.500		
×	2	1 = K ₋₃	低位
	1.000		

图 1.3 小数部分转换示意图

所以 $(44.375)_{10} = (101100.011)_2$ 。

(3) 二进制数与八进制数的相互转换

二进制数与八进制数的相互转换，按照每3位二进制数对应于一位八进制数进行转换，具体方法如下。

二进制转换为八进制：三合一，以小数点为界，左右两边每三位为一组，不足三位需要补0。

八进制转换为二进制：一分为三，再去掉小数点左边最高位的0和小数点最右边最低位

的0。

例如，将二进制数 11101010.0111 转换为八进制数：

$011\ 101\ 010.011\ 100 = (352.34)_8$ (不足三位补0)

$(526.74)_{16} = (11\ 010\ 110.111\ 1)_2$ (去掉了最左边和最右边的0)

(4) 二进制数与十六进制数的相互转换

二进制数与十六进制数的相互转换，按照每四位二进制数对应于一位十六进制数进行转换，具体方法如下。

二进制转换为十六进制：四合一，以小数点为界，左右两边每四位为一组，不足四位需要补0。

十六进制转换为二进制：一分为四，再去掉小数点左边最高位的0和小数点最右边最低位的0。

$0001\ 1101\ 0100.0110 = (1E8.6)_{16}$ (不足三位补0)

$(8F4.76)_{16} = 100\ 1111\ 0100.0111\ 011$ (去掉了最左边和最右边的0)

十进制要转换为八进制或十六进制时也可先转换为二进制，再转换成八进制或十六进制；八进制或十六进制转换为十进制时也可先转换为二进制再转换成十进制。

1.4.3 编码

用一定位数的二进制数来表示十进制数码、字母、符号等信息称为编码。

用以表示十进制数码、字母、符号等信息的一定位数的二进制数称为代码。

二—十进制代码 (Binary-Coded Decimal, BCD 码)：用 4 位二进制数 $b_3b_2b_1b_0$ 来表示 1 位十进制数中的 0~9 十个数码，简称 BCD 码。BCD 码这种编码形式利用了 4 个位元来储存 1 个十进制的数码，使二进制和十进制之间的转换得以快捷地进行。同时，相对于一般的浮点式记数法，采用 BCD 码，既可保存数值的精确度，又可免去计算机做浮点运算时所耗费的时间。此外，对于其他需要高精度的计算，BCD 编码也很常用。

BCD 码可分为有权码和无权码两类：有权 BCD 码有 8421 码、2421 码、5421 码，其中 8421 码是最常用的；无权 BCD 码有余 3 码，余 3 循环码等，如表 1.1 所示。其中，8421 BCD 码是最基本和最常用的 BCD 码，它和四位自然二进制码相似，各位的权值为 8、4、2、1，故称为 8421 码。和四位自然二进制码不同的是，它只选用了四位二进制码中前 10 组代码，即用 0000~1001 分别代表它所对应的十进制数，余下的六组代码不用。通常所说的 BCD 码大都是指 8421BCD 码。

表 1.1 常用 BCD 码表

十进制数	8421 码	余 3 码	格雷码	2421 码	5421 码
0	0000	0011	0000	0000	0000
1	0001	0100	0001	0001	0001
2	0010	0101	0011	0010	0010
3	0011	0110	0010	0011	0011
4	0100	0111	0110	0100	0100
5	0101	1000	0111	1011	1000
6	0110	1001	0101	1100	1001
7	0111	1010	0100	1101	1010
8	1000	1011	1100	1110	1011
9	1001	1100	1101	1111	1100