



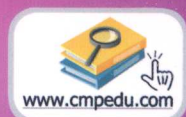
教育部高等职业教育示范专业规划教材

(机电一体化技术专业)

单片机原理及应用

DANPIANJI YUANLI JI YINGYONG

张国锋 主编



www.cmpedu.com

赠电子课件



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

教育部高等职业教育示范专业规划教材
(机电一体化技术专业)

单片机原理及应用

主 编 张国锋
副主编 张咏梅 王 毅
参 编 邢 幸 赵东辉
任艳艳 郭 辉



机械工业出版社

本教材是根据高等职业技术教育机电类专业“单片机原理与应用”课程的教学要求编写的。内容的选取严格按照“必须、够用”为度的原则，按照高职高专的培养目标安排编写。

本教材从单片机应用开发的角度出发，首先介绍了单片机的基础知识，并以 MCS-51 单片机为核心，介绍其结构、指令系统、汇编语言程序设计、中断系统与定时/计数器、系统的扩展、串行通信和接口技术，并以实例阐述了单片机的综合应用，最后介绍了单片机 C51 语言程序设计。

本教材的编写力求循序渐进、通俗易懂，重在突出实用性，加强实践能力培养。每章前面有本章总体要求、重点、难点，章末安排有本章小结和习题，附录中提供了完整的 MCS-51 单片机指令表、常用芯片引脚图等，便于教学与自学，利于帮助读者拓展相关知识。

为方便教学，本书配有免费电子课件，凡选用本书作为授课教材的学校，均可来电索取，咨询电话：010-88379375，E-mail: cmpgaozhi@sina.com。

本书适于高职高专机电类及相关专业作为教材使用，同时也可以作为电大、函大、自学考试的教材及相关工程技术人员的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

单片机原理及应用/张国锋主编. —北京：机械工业出版社，2009.8

教育部高等职业教育示范专业规划教材(机电一体化技术专业)

ISBN 978-7-111-27196-3

I. 单… II. 张… III. 单片微型计算机—高等学校：技术学校—教材 IV. TP368.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 077938 号

机械工业出版社(北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

策划编辑：于 宁 责任编辑：曹雪伟 版式设计：张世琴
责任校对：刘怡丹 封面设计：马精明 责任印制：李 妍

北京铭成印刷有限公司印刷

2009 年 7 月第 1 版第 1 次印刷

184mm×260mm·15.25 印张·378 千字

0001—4000 册

标准书号：ISBN 978-7-111-27196-3

定价：26.00 元

凡购本书，如有缺页、倒页、脱页，由本社发行部调换
销售服务热线电话：(010)68326294

购书热线电话：(010)88379639 88379641 88379643

编辑热线电话：(010)88379758

封面无防伪标均为盗版

前言

PREFACE

单片机的出现是计算机发展史上的重要里程碑,单片机具有集成度高、体积小、功能强、可靠性高、价格低廉等优点,广泛应用于工业测控、智能仪器仪表、通信系统和家用电器等领域中。因此,单片机原理与应用技术已经成为高职高专院校电类、机电类、电子信息类各专业的必修课程。

本教材是根据高等职业技术教育机电类和其他相近专业“单片机原理与应用”课程教学大纲编写的。本教材从课程教学的要求出发,以培养学生的基本素质及综合应用能力为目标,充分体现内容的实用性、适用性和先进性,较好地体现了应用型人才培养的要求。具有以下特点。

1) 内容典型。本书以目前最常用的 MCS-51 系列单片机为主线来组织教材内容,以保持授课内容 and 应用市场的一致性,同时简单介绍其他新产品和新技术。

2) 体系清晰。由计算机的经典结构引出单片机的概念,进而讲述单片机的特点、应用领域和主流产品。

3) 实用性强。内容选取按照高职高专“必须、够用”的原则,从实用性出发,理论简明扼要,注重专业技能培养。

4) 内容通俗易懂,循序渐进。由前至后分为基础知识模块、扩充知识模块和综合应用模块,使学生学习的知识最终落实到应用上。

5) 充分结合专业特点。在应用实例的选取上,充分考虑专业特点,贴近专业应用需要。

6) 易教利学。每章前有本章总体要求、重点、难点,后有本章小结和习题,便于教师组织教学和学生自学。

本教材内容新颖,注重实用,体系清晰,行文流畅,以目前最为通用的 MCS-51 单片机为核心,介绍了当今世界上单片机技术的应用现状及发展趋势,由浅入深地介绍了单片机的基础知识、结构,指令系统,汇编语言程序设计,中断与定时/计数器,系统的扩展,串行通信,接口技术,综合应用及 C51 语言程序设计等知识。

本书由张国锋(郑州电力高等专科学校)担任主编,张咏梅(济源职业技术学院)、王毅(郑州电力高等专科学校)担任副主编,邢幸(漯河职业技术学院)、赵东辉(郑州电力高等专科学校)、任艳艳(济源职业技术学院)、郭辉(新疆工业高等专科学校)参编。由张国锋对全书进行了统稿。张钢教授(郑州电力高等专科学校)担任本书主审,在此表示衷心感谢。

由于编者水平所限,书中难免有错误和不妥之处,恳请读者批评指正。

编者

目 录

CONTENTS

前言

第1章 单片机的基础知识 1

1.1 单片机概述 1

1.1.1 单片机的概念 1

1.1.2 单片机的发展概况 2

1.1.3 单片机的应用 3

1.2 典型单片机介绍 4

1.2.1 MCS-51 系列单片机简介 4

1.2.2 MCS-96 系列单片机简介 5

1.2.3 新型单片机简介 6

1.3 计算机中数的表示方法 8

1.3.1 计算机中的数制及其转换 8

1.3.2 计算机中数的表示方法 11

1.3.3 计算机中数和字符的编码 13

本章小结 14

习题 14

第2章 MCS-51 单片机的结构 16

2.1 MCS-51 单片机的基本组成 16

2.1.1 MCS-51 单片机的内部结构 和功能 16

2.1.2 MCS-51 单片机的引脚定义 及功能 18

2.2 MCS-51 单片机的存储器结构 20

2.2.1 存储器结构和地址空间 20

2.2.2 程序存储器 21

2.2.3 数据存储器 22

2.3 MCS-51 单片机的时钟与时序 26

2.3.1 时钟电路 26

2.3.2 CPU 时序 27

2.4 MCS-51 单片机的工作方式 29

2.4.1 复位方式 29

2.4.2 单步执行方式 30

2.4.3 程序执行方式 30

2.4.4 省电方式 31

本章小结 32

习题 33

第3章 MCS-51 单片机的指令系统 35

3.1 指令的格式和寻址方式 35

3.1.1 指令格式 35

3.1.2 寻址方式 37

3.2 8051 单片机的指令系统 40

3.2.1 数据传送类指令 41

3.2.2 算术运算类指令 46

3.2.3 逻辑运算类指令 50

3.2.4 控制转移类指令 52

3.2.5 位操作类指令 58

本章小结 60

习题 60

第4章 汇编语言程序设计 65

4.1 汇编语言简介 65

4.1.1 程序设计语言 65

4.1.2 汇编语言格式 66

4.1.3 伪指令 67

4.2 汇编语言程序设计 68

4.2.1 汇编语言程序设计基础 68

4.2.2 顺序程序设计 72

4.2.3 分支程序设计 73

4.2.4 循环程序设计 76

4.2.5 子程序调用设计 80

4.3 综合程序设计 82

本章小结 85

习题 86

第5章 中断与定时/计数器	89
5.1 中断系统	89
5.1.1 中断系统的概念	89
5.1.2 MCS-51 单片机中断系统	91
5.1.3 MCS-51 单片机的中断处理过程	94
5.2 MCS-51 单片机的定时/计数器	96
5.2.1 定时/计数器的结构	97
5.2.2 定时/计数器的控制	97
5.2.3 定时/计数器的编程与应用	101
本章小结	103
习题	104
第6章 MCS-51 单片机系统的扩展	105
6.1 存储器扩展基础	105
6.1.1 存储器概述	105
6.1.2 MCS-51 单片机存储器扩展系统的构成	105
6.1.3 片选方式和地址分配	106
6.1.4 存储器系统设计要点	107
6.2 程序存储器扩展	107
6.2.1 常用的程序存储器	108
6.2.2 程序存储器的扩展	109
6.3 数据存储器的扩展	111
6.3.1 常用的数据存储器	111
6.3.2 数据存储器的扩展	112
6.4 并行口扩展	113
6.4.1 采用 8255 扩展 I/O 口	113
6.4.2 采用 8155 扩展 I/O 口	114
本章小结	117
习题	118
第7章 单片机的串行通信	119
7.1 串行通信的基础知识	119
7.1.1 并行通信和串行通信	119
7.1.2 异步通信和同步通信	120
7.1.3 串行通信的方式	122
7.1.4 波特率	123
7.2 MCS-51 单片机的串行口	123
7.2.1 MCS-51 单片机的串行口	123
7.2.2 串行口的控制寄存器	124
7.2.3 串行口的工作方式	125
7.3 串行口的应用	127
7.3.1 MCS-51 单片机双机通信技术	127
7.3.2 MCS-51 单片机多机通信	131
本章小结	135
习题	135
第8章 单片机的接口技术	137
8.1 常用的人机交互设备接口	137
8.1.1 键盘接口技术	137
8.1.2 显示器接口技术	143
8.2 A/D、D/A 转换器及其接口技术	149
8.2.1 A/D 转换器的接口技术	149
8.2.2 D/A 转换器的接口技术	154
8.3 光电隔离接口技术	157
8.3.1 光耦合器件简介	158
8.3.2 光电隔离技术	159
本章小结	161
习题	161
第9章 单片机的综合应用	163
9.1 单片机的选型原则	163
9.2 单片机应用系统的设计	165
9.2.1 单片机应用系统的设计原则	165
9.2.2 单片机应用系统的组成	166
9.2.3 单片机应用系统的设计过程	167
9.3 单片机应用系统的抗干扰技术	171
9.3.1 干扰的来源	171
9.3.2 硬件抗干扰技术	171
9.3.3 软件抗干扰技术	173
9.4 综合应用举例	175
9.4.1 数码管时钟的设计	175
9.4.2 语音播报系统	182
9.4.3 交通信号灯控制设计	189
9.4.4 电动自行车里程/速度计的设计	191
9.4.5 步进电动机的单片机控制	197
本章小结	203
习题	204
第10章 单片机 C51 语言程序设计	205
10.1 C51 语言的特点及其结构	205
10.1.1 C51 语言的特点	206

10.1.2 C51 程序的基本结构	206	10.5.1 标准库函数	224
10.1.3 C51 语言对单片机主要资源 的定义	207	10.5.2 用户自定义函数	224
10.2 Keil C51 软件介绍	209	10.6 C51 语言程序设计举例	225
10.3 C51 语言的数据类型及运算符 ...	213	本章小结	227
10.3.1 C51 语言的基本数据类型	213	习题	228
10.3.2 C51 语言的构造数据类型	213	附录	229
10.3.3 C51 语言的基本运算	216	附录 A ASCII 码表	229
10.4 C51 语言的流程控制语句	218	附录 B MCS-51 单片机指令表	230
10.4.1 选择控制语句	218	附录 C MCS-51 单片机指令矩阵 (汇编/反汇编表)	235
10.4.2 循环语句	220	附录 D 常用芯片引脚图	236
10.4.3 C51 语言的中断控制	222	参考文献	238
10.5 C51 语言的函数	223		

第 1 章 单片机的基础知识

本章总体要求：

- 了解单片机的概念、发展及应用范围。
- 了解定点、浮点数的表示方法。
- 掌握常用的进位计数制及各种数制的转换方法。
- 掌握原码、补码、反码的表示方法及其相互转换。
- 掌握 8421BCD 码的编码规律及与十进制数的对应关系。

本章重点：

- 单片机的定义、特点。
- 常用的进位计数制及各种数制之间的转换。
- 原码、补码和反码的表示方法及其相互转换。
- 8421BCD 码和 ASCII 码的表示方法。

本章难点：

- 不同进位计数制之间的转换。
- 原码、补码和反码的表示方法及其相互转换。

1.1 单片机概述

随着大规模与超大规模集成电路技术的快速发展，微型计算机技术形成了两大分支：微处理器(MPU, Micro Processor Unit)和单片机(又称微控制器,MCU, Micro Controller Unit)。

微处理器是微型计算机的核心部件，它的性能决定了微型计算机的性能。现代通用计算机不仅可以处理文字、字符、图形和图像等信息，而且还可以处理音频、视频等信息，并正向多媒体、人工智能、数字模拟和仿真、网络通信等方向发展。

单片机的发展直接利用了微处理器的成果，但它面对的是测控对象，突出的是控制功能，所以它从功能和形态上来说都是应控制领域应用的要求而诞生的，有着特殊的接口电路，如 A/D 转换器、D/A 转换器、高速 I/O 口、脉宽调制器(PWM)、监视跟踪定时器(WDT)等。这些对外电路及外设接口已经突破了微型计算机传统的体系结构，所以单片机又称微控制器。

1.1.1 单片机的概念

所谓单片机，即把组成微型计算机的各个功能部件，如中央处理器(CPU)、随机存储器(RAM)、只读存储器(ROM)、输入/输出接口电路(I/O 口)、定时/计数器以及串行通信接口等集成在一块芯片中，构成一个完整的微型计算机。这些电路能在软件的控制下准确、迅速、高效地完成程序设计者事先规定的任务。与微处理器相比，它可单独地完成现代工业控

制所要求的智能化控制功能,这是单片机最大的特征。

现代单片机加上了中断单元、定时单元及 A/D 转换电路等更复杂、更完善的电路,使得单片机的功能越来越强大,应用更广泛。因此可以把单片机理解为一个单芯片形态的微控制器。

单片机是单芯片形态作为嵌入式应用的计算机,它有惟一的、专门为嵌入式应用而设计的体系结构和指令系统,加上它的芯片级体积的优点和在现场环境下可高速可靠地运行的特点,因此单片机又称为嵌入式微控制器。

1.1.2 单片机的发展概况

1. 单片机的发展历史

第 1 阶段(1974—1976 年):初级单片机阶段。

20 世纪 70 年代,微电子技术正处于发展阶段,集成电路属于中规模发展时期,各种新材料新工艺尚未成熟,单片机仍处在初级的发展阶段。

1974 年,美国 Fairchild(仙童)公司研制出世界上第一台单片微型计算机 F8,深受家用电器和仪器仪表领域的欢迎和重视,从此拉开了研制单片机的序幕。这个时期生产的单片机特点是制造工艺落后、集成度低,功能简单,而且采用双片结构。

第 2 阶段(1976—1978 年):低性能单片机阶段。

这时的单片机芯片内集成有 CPU、并行口、定时器、RAM 和 ROM 等部件,但 CPU 功能还不太强,I/O 的种类和数量少,存储容量小,只能应用于比较简单的场合。

1976 年 Intel 公司推出了 MCS-48 单片机,这个系列的单片机内集成有 8 位 CPU、并行 I/O 接口、8 位定时/计数器,寻址范围不大于 4KB,且无串行口。它是 8 位机的早期产品,并以体积小,功能全,价格低赢得了广泛的应用。

第 3 阶段(1978—1983 年):高性能单片机阶段。

这时的单片机普遍带有串行口,有多级中断处理系统,16 位定时/计数器,片内 RAM、ROM 容量加大,且寻址范围可达 64KB,有的片内还带有 A/D 转换器接口。这时单片机发展到了一个新阶段,应用领域更广泛,许多家用电器均走向利用单片机控制的智能化发展道路。

这类单片机有 Intel 公司的 MCS-51, Motorola 公司的 M6805 和 Zilog 公司的 Z8 等。

第 4 阶段(1983 年至今):单片机全面发展阶段。

各公司的产品在相互兼容的同时,向高速、强运算能力、大寻址范围以及小型廉价方向发展。出现了超 8 位单片机和 16 位及以上单片机,片内含有 A/D 和 D/A 转换电路,支持高级语言,主要用于过程控制、智能仪表、家用电器及作为计算机外部设备的控制器等。具有代表性的有 MCS-96 系列、Mostek 公司的 MK68200、NS 公司的 HPC16040 系列、NEC 公司的 783XX 系列和 TI 公司的 TMS9940 系列等。

目前国际市场上 8 位、16 位单片机系列已有很多,但是,在国内使用较多的单片机是 Intel 公司的产品,其中又以 MCS-51 系列单片机应用尤为广泛,二十几年经久不衰,而且还在更进一步发展完善,价格越来越低,性能越来越好。

2. 单片机的发展方向

单片机的发展趋势将是向着高性能化,大容量,小容量、低价格化及外围电路内装化等几个方面发展。

(1) 单片机的高性能化 主要是指进一步改进 CPU 的性能, 加快指令运算的速度和提高系统控制的可靠性, 并加强了位处理功能、中断和定时控制功能; 采用流水线结构, 指令以队列形式出现在 CPU 中, 从而有很高的运算速度。有些单片机基本采用了多流水线结构, 这类单片机的运算速度要比标准的单片机高出 10 倍以上。

(2) 片内存储器大容量化 以往单片机的片内 ROM 为 1~4KB, RAM 为 64~128B。因此在一些较复杂的应用系统中, 存储器容量就显得不够, 不得不外扩存储器。为了适应这种领域的要求, 利用新工艺, 将片内存储器的容量大幅度增加, 片内 ROM 可以达到 12KB。今后, 随着微电子技术的不断发展, 片内存储器容量将进一步扩大。

(3) 小容量、低价格化 与上述相反, 小容量、低价格化的 4 位、8 位单片机也是发展的方向之一。这类单片机主要用于儿童玩具等较小规模的控制系统。

(4) 外围电路内装化 这也是单片机发展的主要方向。随着集成度的不断提高, 有可能把众多的各种外围功能器件集成在片内。除了一般必须具备的 CPU、RAM、ROM、定时/计数器之外, 片内集成的部件还有 A/D、D/A 转换器, DMA(Direct Memory Access) 控制器, 声音发生器, 监视定时器, 液晶显示驱动器, 彩色电视机和录像机用的锁相电路等。

(5) 增强 I/O 接口功能 为了减少外部驱动芯片, 进一步增加单片机并行口的驱动能力, 现在有些单片机可直接输出大电流和高电压, 以便直接驱动显示器。

(6) 加快 I/O 接口的传输速度 有些单片机设置了高速 I/O 接口, 以便能以更快的速度触发外围设备, 以更快的速度读取数据。

1.1.3 单片机的应用

单片机广泛应用于仪器仪表、家用电器、医用设备、航空航天、专用设备的智能化管理及过程控制等领域, 大致可分为如下几个范畴。

1. 在智能仪器仪表上的应用

单片机具有体积小、功耗低、控制功能强、扩展灵活、微型化和使用方便等优点, 广泛应用于仪器仪表中, 结合不同类型的传感器, 可实现诸如电压、功率、频率、湿度、温度、流量、速度、厚度、角度、长度、硬度和压力等物理量的测量。采用单片机控制使得仪器仪表数字化、智能化、微型化, 且功能比起采用模拟或数字电子电路更加强大。例如精密的测量设备(功率计, 示波器, 各种分析仪)。

2. 在工业控制中的应用

用单片机可以构成形式多样的控制系统、数据采集系统。例如工厂流水线的智能化管理, 电梯智能化控制, 各种报警系统, 与计算机联网构成二级控制系统等。

3. 在家用电器中的应用

可以这样说, 现在的家用电器基本上都采用了单片机控制, 从电饭煲、洗衣机、电冰箱、空调机、彩电及音响视频器材, 再到电子秤量设备, 五花八门, 无所不在。

4. 在计算机网络和通信领域中的应用

现代的单片机普遍具备通信接口, 可以很方便地与计算机进行数据通信, 为在计算机网络和通信设备间的应用提供了极好的物质条件, 现在的通信设备基本上都实现了单片机智能控制, 从电话机、小型程控交换机、楼宇自动通信呼叫系统、列车无线通信, 再到日常工作中随处可见的移动电话、集群移动通信、无线电对讲机等。

5. 单片机在医用设备领域中的应用

单片机在医用设备中的用途亦相当广泛，例如医用呼吸机，各种分析仪，监护仪，超声诊断设备及病床呼叫系统等都应用了单片机。

此外，单片机在工商、金融、科研、教育、国防、航空航天等领域都有着十分广泛的用途。

1.2 典型单片机介绍

目前世界上单片机生产厂商很多，如：Intel、Motorola、Philips、Siemens、NEC、AMD、Zilog 等公司，其主流产品有几十个系列，几百个品种。尽管其各具特色，名称各异，但作为集 CPU、RAM、ROM(或 EPROM)、I/O 接口、定时/计数器、中断系统为一体的单片机，其原理大同小异。下面主要说明 MCS-51 系列单片机与 MCS-96 系列单片机之间的区别。

1.2.1 MCS-51 系列单片机简介

继 1976 年 Intel 公司推出 MCS-48 系列单片机后，1980 年 Intel 公司推出了 MCS-51 系列单片机。MCS-51 系列单片机虽已有十几种产品，但可分为两大系列：MCS-51 子系列与 MCS-52 子系列。MCS-51 子系列中主要有 8031、8051、8751 三种类型，而 MCS-52 子系列也有 8032、8052、8752 三种类型。各子系列配置见表 1-1。

表 1-1 MCS-51 系列单片机配置一览表

系 列	片内存储器				定时/计数器	并行 I/O 口	串行 I/O 口	中断源	制造工艺
	无 ROM	片内 ROM	片内 EPROM	片内 RAM					
MCS-51 子系列	8031	8051 4KB	8751 4KB	128B	2×16 位	4×8 位	1	5	HMOS
	80C31	80C51 4KB	87C51 4KB	128B	2×16 位	4×8 位	1	5	CHMOS
MCS-52 子系列	8032	8052 8KB	8752 8KB	256B	3×16 位	4×8 位	1	6	HMOS
	80C232	80C252 8KB	87C52 8KB	256B	3×16 位	4×8 位	1	7	CHMOS

表 1-1 中列出了 MCS-51 系列单片机的两个子系列，在 4 个性能上略有差异。在本子系列内各类芯片的主要区别在于片内有无 ROM 或 EPROM，MCS-51 与 MCS-52 子系列间所不同的是片内 ROM 从 4KB 增至 8KB，片内 RAM 由 128B 增至 256B，定时/计数器增加了一个，中断源增加了 1~2 个。另外，对于制造工艺为 CHMOS 的单片机，由于采用 CMOS 技术制造，因此具有低功耗的特点。

该系列芯片按其功能部件可分成 8 大部分，如图 1-1 所示。

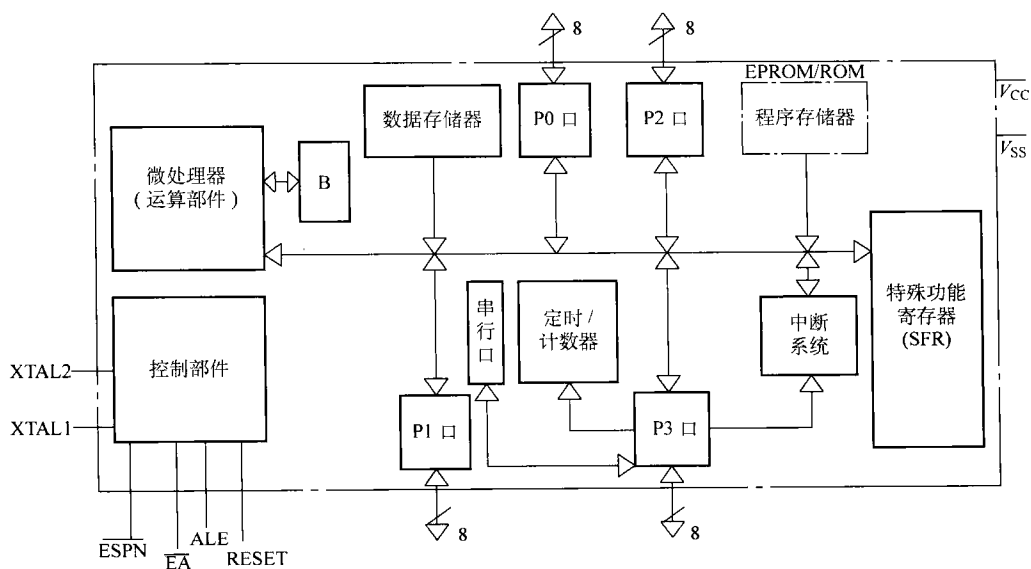


图 1-1 MCS-51 单片机内部结构简化框图

- 1) 一个 8 位中央微处理器 CPU。
- 2) 128B 的数据存储器(RAM)和 18 个特殊功能寄存器(SFR)。
- 3) 4KB 片内程序存储器(ROM)。
- 4) 16 位定时/计数器，用以对外部事件进行计数，也可用作定时器。
- 5) 四个 8 位可编程的 I/O(输入/输出)口：P0 口、P1 口、P2 口、P3 口(共 32 线)，用于并行输入或输出数据。
- 6) 一个串行端口，用于数据的串行通信，可工作在全双工状态。
- 7) 一个具有 5 个中断源，可编程为两个优先级的中断系统。它可以接收外部中断申请，定时/计数器中断申请和串行口中断申请。
- 8) 内部时钟电路(引脚 XTAL1 与 XTAL2 之间)。MCS-51 系列单片机寻址范围达到 64KB，并有控制功能较强的布尔处理器。结构体系更完善，进入高性能单片机时代，面向控制的特点进一步突出。现在，MCS-51 单片机已成为公认的单片机经典机型。

1.2.2 MCS-96 系列单片机简介

1982 年，Intel 公司推出 MCS-96 系列单片机，使单片机的发展进入了一个新阶段。MCS-96 系列单片机采用最新的工艺技术，将 12 万只以上的半导体管制作在一块约 4cm^2 的集成电路芯片上，构成一种高性能的 16 位单片微型计算机。它包括如下一些部件：一个 16 位的中央处理器(CPU)、8KB 的片内程序存储器(ROM)、256B 的片内随机数据存储器(RAM)、两个 16 位定时/计数器、10 位 4 路 A/D 转换、数字型 I/O 接口、全双工串行通信接口、监视跟踪定时器(WATCH DOG TIMER)、高速输入/输出(I/O)、中断控制逻辑电路、脉宽调制器(PWM)以及时钟信号发生器与反偏压发生器等。该系列芯片具有以下特点。

- 1) 16 位中央处理器(CPU)。MCS-96 单片机的特殊功能寄存器(SFR)具有累加器的功能，可使 CPU 对运算前后的数据进行快速交换，同时又提供了高速的数据处理能力和输入/

输出能力。

2) 高效的指令系统。在同等运算功能的情况下, MCS-96 单片机的速度比 MCS-51 系列单片机要高出 5~6 倍, 而且指令字节数还不到 MCS-51 系列单片机的一半。在 12MHz 晶振下一条指令最短执行时间为 $1\mu\text{s}$ 。

3) 4 路 10 位 A/D 转换器。

4) PWM 脉宽调制输出。作为 D/A 转换器输出, MCS-96 单片机可直接提供一路脉宽调制信号, 该信号经驱动可直接驱动某些电动机。PWM 输出经简单的处理可作为具有 8 位分辨率的数模(D/A)转换输出。

5) 高速输入/输出(HSI/O)部件。MCS-96 单片机的 HSI 可以同时记录 8 个事件, 并能检测出输入线上的状态变化和状态变化的时刻。HSO 主要实现触发一个或多个事件。所谓高速就意味着这些功能是“自动地”实现, 而无需 CPU 的干预。

6) 全双工串行。与 MCS-51 系列单片机不同的是它设有一个专供串行口使用的波特率发生器, 并且还可以利用 HSI/O 口构成异步全双工软件串行口。

7) 多用途接口。MCS-96 单片机的 P0 口引脚既可作为数字输入口(P0.4~P0.7), 也作为 A/D 转换器的模拟量输入口。P2 口除作标准的 I/O 口外, 还可用作其他特殊功能, 如: 串行发送、接收, PWM 输出, 外中断请求输入。P3 口和 P4 口为多路复用地址/数据总线和地址总线, 它们的引脚内部有很强上拉作用。

8) 8 个中断源。MCS-96 单片机增加了软件优先级设置, 为用户自行设置优先级提供了极大的灵活性。

9) 16 位监视定时器(WATCH DOG TIMER)。

10) 两个 16 位定时器。

11) 四个软件定时器。

12) 寄存器阵列和特殊功能寄存器。8096 单片机片内具有 256B 的寄存器阵列(RAM)和特殊功能寄存器(SFR), 其中 232B 为寄存器阵列, 它兼有一般微处理机中通用寄存器和高速 RAM 的功能, 其余 24B 为特殊功能寄存器。通过它们管理着所有的片内 I/O 口。

13) 统一的编址方式。MCS-96 单片机的编址与 MCS-51 系列单片机的编址(片外存储空间 RAM 和 ROM 的地址是可重叠的)不同, 采用统一编址方式, 片外可寻址存储空间总共为 64KB, 构成系统方便, 输入/输出指令更为简练。但存储空间较 MCS-51 单片机有所减少。

1.2.3 新型单片机简介

1. PIC 系列单片机

PIC 系列单片机是美国微芯科技股份有限公司推出的高性能 8 位单片机, 分为基本级、中级和高级 3 个系列产品。用户可根据需要选择不同档次和不同功能的芯片, 通常无需外扩程序存储器、数据存储器 and A/D 转换器等外部芯片。

中级产品在保持低价的前提下, 增加了温度传感器(仅 PIC14000 有)、A/D 转换器、内部 $E^2\text{PROM}$ 存储器、Flash 程序存储器、比较输出、捕捉输入、PWM 输出、内部集成电路总线(I²C, Inter-Integrated Circuit)和 SPI 接口(串行外围设备接口)、异步串行通信(USART)、

模拟电压比较器和 LCD 驱动等许多功能。

高级产品中的 PIC 17C $\times\times$ 和 PIC18C CF $\times\times\times$ 系列是目前世界上 8 位单片机中运行最快的, 具备一个指令周期内(最短 160ns)完成 8 位乘 8 位二进制乘法的能力。

PIC 系列单片机由于具有以下特点, 所以问世不久即得以快速普及。

1) 品种多容易开发。PIC 系列单片机采用精简指令集, 指令少(仅 30 多条指令), 且全部为单字节指令, 易学易用。PIC 系列单片机中的数据总线是 8 位的, 而其指令总线则有 12 位(基本级产品)、14 位(中级产品)和 16 位(高级产品)。基本、中、高级产品的指令数量分别为 33、37、58 条。在各档产品的指令中, 其指令码向上兼容。

2) 执行速度快。PIC 系列单片机的 Harvard 总线和 RISC 结构建立了一种新的工业标准, 指令的执行速度比一般的单片机要快 4 到 5 倍。

3) 功耗低。PIC 的 CMOS 设计结合了诸多的节电特性, 使其功耗较低。PIC100 的静态设计可进入睡眠(Sleep)省电状态, 而不影响任何逻辑变量。

4) 实用性强。PIC 配备有多种形式的芯片, 特别是其 OTP(一次性可编程)芯片的价格很低。PIC 中的 PIC 12C5 $\times\times$ 是世界上第一个 8 脚封装的低价 8 位单片机。

5) 增加了掉电复位锁定、上电复位(POR)以及看门狗(WDT)等电路, 大大减少了外围器件的数量。

PIC 系列单片机因其特点在办公自动化设备、消费电子产品、通信、智能仪器仪表、汽车电子、金融电子、工业控制等不同领域都有广泛的应用。该系列产品在世界单片机市场份额排名中逐年提高, 发展迅速, 成为现代单片微控制器发展的一种新趋势。

2. MSP430 系列单片机

MSP430 系列单片机是 TI 公司(美国国家半导体公司)生产的, 它的最主要特点是超低功耗, 可长时间用电池工作。MSP430 具有 16 位 CPU, 属于 16 位单片机。由于它的超低功耗的显著特点, 目前是国内用量最大的 16 位单片机。

MSP430 系列单片机具有以下特点。

1) 低电压、超低功耗。MSP430 系列单片机一般在 1.8 ~ 3.6V、1MHz 的时钟条件下运行, 耗电电流(在 0.1 ~ 400 μ A 之间)因不同的工作模式而不同; 具有 16 个中断源, 可以任意嵌套, 用中断请求将 CPU 唤醒只要 6 μ s。

2) 处理能力强。CPU 中的 16 个寄存器和常数发生器使 MSP430 单片机能达到最高的代码效率, 具有多种寻址方式(7 种源操作数寻址、4 种目的操作数寻址), 简洁的 27 条指令以及大量的模拟指令; 寄存器以及片内数据存储器都可参加多种运算; 在频率 8MHz 下, 指令周期为 125 μ s。

3) 片内外设较多。MSP430 系列单片机集成了较丰富的片内外设。分别是以下外围模块的不同组合: 看门狗、定时器 A、定时器 B、串行口 0 ~ 1、液晶驱动器、10/12/14 位 A/D 转换器、端口 0 ~ 6(P0 ~ P6)、基本定时器等。

以上外围模块的不同组合再加上多种存储方式构成了不同型号的器件。此外, 其并行 I/O 口具有中断能力; A/D 转换器的转换速率最高可达 200kbit/s, 能满足大多数数据采集应用; 能直接驱动液晶多达 120 段。

1.3 计算机中数的表示方法

计算机是一个自动化的信息加工工具,其指令与被处理的数据都是采用二进制数,它和我们日常所用的十进制数的表示方法不同。计算机只能识别二进制数,因此处理的所有数、字母、符号等均要用二进制编码表示。本节将介绍计算机中数制及码制的有关概念。

1.3.1 计算机中的数制及其转换

1. 进位计数制

所谓进位计数制就是按进位原则进行计数的方法,是人们对事物数量计数的一种统计规律。在日常生活中最常用的是十进制,但在计算机中,由于其电气元器件最易实现的是两种稳定状态:元器件的“开”与“关”,电平的“高”与“低”。因此,采用二进制数的0和1可以很方便地表示机内的数据运算与存储。在编程时,为了方便阅读和书写,人们还经常用八进制数或十六进制数来表示二进制数。虽然一个数可以用不同计数制形式表示它的大小,但该数的量值则是相等的。

每一种进位计数制应包含两个基本要素:

1) 基数 R (Radix): 它代表计数制中所用到的数码个数。如:二进制计数中用到0和1两个数码;而八进制计数中用到0~7共八个数码。一般地说,基数为 R 的计数制(简称 R 进制)中,包含0、1、 $\dots$ 、 $R-1$ 个数码,进位规律为“逢 R 进1”。

2) 位权 W (Weight): 进位计数制中,某个数位的值是由这一位的数码值乘以处在这一位的固定常数决定的,通常把这一固定常数称之为位权值,简称位权。各位的位权是以 R 为底的幂。如十进制数基数 $R=10$,则个位、十位、百位上的位权分别为 10^0 、 10^1 、 10^2 。

2. 数制的表示

一个 R 进制数 N 可以用以下两种形式表示。

① 并列表示法,或称位置表示法

$$(N)_R = (K_{n-1}K_{n-2}\cdots K_1K_0K_{-1}K_{-2}\cdots K_{-m})_R$$

当进位计数制采用位置表示法时,同一数字在不同的数位所代表的数值是不同的。

② 多项式表示法,或称以权展开式

$$\begin{aligned}(N)_R &= K_{n-1}R^{n-1} + K_{n-2}R^{n-2} + \cdots + K_1R^1 + K_0R^0 + K_{-1}R^{-1} + \cdots + K_{-m}R^{-m} \\ &= \sum_{i=n-1}^{-m} K_i R^i\end{aligned}$$

其中: m 、 n 为正整数, n 代表整数部分的位数; m 代表小数部分的位数; K_i 代表 R 进制中的任一个数码, $0 \leq K_i \leq R-1$ 。

常用的数制表示有十进制、二进制、八进制和十六进制计数方法。

(1) 十进制数 数值部分用0~9这十个不同的数码来表示;十进制数中的“10”称为基数,采用“逢10进1”的原则。任一个十进制数可表示为

$$(N)_{10} = \sum_{i=n-1}^{-m} K_i 10^i$$

【例 1.1】 $143.12 = 1 \times 10^2 + 4 \times 10^1 + 3 \times 10^0 + 1 \times 10^{-1} + 2 \times 10^{-2}$

(2) 二进制数 二进制数中 $R=2$, K_i 取 0 或 1, 进位规律为“逢 2 进 1”。任一个二进制数 N 可表示为

$$(N)_2 = K_{n-1}2^{n-1} + K_{n-2}2^{n-2} + \cdots + K_12^1 + K_02^0 + K_{-1}2^{-1} + \cdots + K_{-m}2^{-m}$$

【例 1.2】 $(1001.101)_2 = 1 \times 2^3 + 0 \times 2^2 + 0 \times 2^1 + 1 \times 2^0 + 1 \times 2^{-1} + 0 \times 2^{-2} + 1 \times 2^{-3}$

(3) 八进制数 八进制数 $R=8$, K_i 可取 0~7 共 8 个数码中的任意 1 个, 进位规律为“逢 8 进 1”。任意一个八进制数 N 可以表示为

$$(N)_8 = K_{n-1}8^{n-1} + K_{n-2}8^{n-2} + \cdots + K_18^1 + K_08^0 + K_{-1}8^{-1} + \cdots + K_{-m}8^{-m}$$

【例 1.3】 $(246.12)_8 = 2 \times 8^2 + 4 \times 8^1 + 6 \times 8^0 + 1 \times 8^{-1} + 2 \times 8^{-2}$

(4) 十六进制数 十六进制数 $R=16$, K_i 可取 0~15 共 16 个数码中的任一个, 但 10~15 分别用 A、B、C、D、E、F 表示, 进位规律为“逢 16 进 1”。任意一个十六进制数 N 可表示为

$$(N)_{16} = K_{n-1}16^{n-1} + K_{n-2}16^{n-2} + \cdots + K_116^1 + K_016^0 + K_{-1}16^{-1} + \cdots + K_{-m}16^{-m}$$

【例 1.4】 $(2D07.A)_{16} = 2 \times 16^3 + 13 \times 16^2 + 0 \times 16^1 + 7 \times 16^0 + 10 \times 16^{-1}$

为避免混淆, 除用 $(N)_R$ 的方法区分不同进制数外, 还常用数字后加字母作为标注的方法来区分。其中字母 B(Binary) 表示二进制数; 字母 Q(Octal 的缩写为字母 O, 为区别数字 0 故写成 Q) 表示八进制数; 字母 D(Decimal) 或不加字母表示十进制数; 字母 H(Hexadecimal) 表示十六进制数。表 1-2 给出了以上 3 种进制数与十进制数的对应关系。

表 1-2 二、八、十、十六进制数码对应表

十进制(D)	二进制(B)	八进制(Q)	十六进制(H)	十进制(D)	二进制(B)	八进制(Q)	十六进制(H)
0	0000	0	0	9	1001	11	9
1	0001	1	1	10	1010	12	0A
2	0010	2	2	11	1011	13	0B
3	0011	3	3	12	1100	14	0C
4	0100	4	4	13	1101	15	0D
5	0101	5	5	14	1110	16	0E
6	0110	6	6	15	1111	17	0F
7	0111	7	7	16	10000	20	10
8	1000	10	8				

3. 不同数制间的转换

(1) 各种进制数转换成十进制数 各种进制数转换成十进制数的方法是: 将各进制数先按权展成多项式, 再利用十进制运算法则求和, 即可得到该数对应的十进制数。

【例 1.5】将数 1001.101B, 246.12Q, 2D07.AH 转换为十进制数。

解:

$$\begin{aligned} 1001.101B &= 1 \times 2^3 + 0 \times 2^2 + 0 \times 2^1 + 1 \times 2^0 + 1 \times 2^{-1} + 0 \times 2^{-2} + 1 \times 2^{-3} \\ &= 8 + 1 + 0.5 + 0.125 = 9.625 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 246.12Q &= 2 \times 8^2 + 4 \times 8^1 + 6 \times 8^0 + 1 \times 8^{-1} + 2 \times 8^{-2} \\ &= 128 + 32 + 6 + 0.125 + 0.03125 = 166.15625 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 2D07.AH &= 2 \times 16^3 + 13 \times 16^2 + 0 \times 16^1 + 7 \times 16^0 + 10 \times 16^{-1} \\ &= 8192 + 3328 + 7 + 0.625 = 11527.625 \end{aligned}$$

(2) 十进制数转换为二、八、十六进制数 任一十进制数 N 转换成 q 进制数, 应将整

数部分与小数部分分别进行转换,然后再用小数点将这两部分连接起来。

1) 整数部分转换步骤。

第1步:用 q 去除 N 的整数部分,得到商和余数,记余数为 q 进制整数的最低位数码 K_0 ;

第2步:再用 q 去除得到的商,求出新的商和余数,余数又作为 q 进制整数的次低位数码 K_1 ;

第3步:再用 q 去除得到的新商,再求出相应的商和余数,余数作为 q 进制整数的下一位数码 K_i ;

第4步:重复第3步,直至商为0,整数转换结束。此时,余数作为转换后 q 进制整数的最高位数码 K_{n-1} 。

【例1.6】求十进制数168所对应的二、八、十六进制数。

解: $2 \overline{)168}$

$2 \overline{)84}$ 余数0, $K_0 = 0$

$2 \overline{)42}$ 余数0, $K_1 = 0$

$2 \overline{)21}$ 余数0, $K_2 = 0$

$2 \overline{)10}$ 余数1, $K_3 = 1$

$2 \overline{)5}$ 余数0, $K_4 = 0$ $8 \overline{)168}$

$2 \overline{)2}$ 余数1, $K_5 = 1$

$8 \overline{)21}$ 余数0, $K_0 = 0$

$16 \overline{)168}$

$2 \overline{)1}$ 余数0, $K_6 = 0$

$8 \overline{)2}$ 余数5, $K_1 = 5$

$16 \overline{)10}$ 余数8, $K_0 = 8$

0 余数1, $K_7 = 1$

0 余数2, $K_2 = 2$

0 余数10, $K_1 = A$

由上得: $168 = 10101000B$,

$168 = 250Q$,

$168 = A8H$

2) 小数部分转换, 步骤。

第1步:用 q 去乘 N 的纯小数部分,记下乘积的整数部分,作为 q 进制小数的第1个数码 K_{-1} ;

第2步:再用 q 去乘上次积的纯小数部分,得到新乘积的整数部分,记为 q 进制小数的次位数码 K_{-2} ;

第3步:重复第2步,直至乘积的小数部分为零,或者达到所需要的精度位数为止。此时,乘积的整数位作为 q 进制小数位的数码 K_{-m} 。

【例1.7】将0.686转换成二、八、十六进制数(用小数点后5位表示)。

解: $0.686 \times 2 = 1.372$ $K_{-1} = 1$ $0.686 \times 8 = 5.488$ $K_{-1} = 5$ $0.686 \times 16 = 10.976$ $K_{-1} = A$

$0.372 \times 2 = 0.744$ $K_{-2} = 0$ $0.488 \times 8 = 3.904$ $K_{-2} = 3$ $0.976 \times 16 = 15.616$ $K_{-2} = F$

$0.744 \times 2 = 1.488$ $K_{-3} = 1$ $0.904 \times 8 = 7.232$ $K_{-3} = 7$ $0.616 \times 16 = 9.856$ $K_{-3} = 9$

$0.488 \times 2 = 0.976$ $K_{-4} = 0$ $0.232 \times 8 = 1.856$ $K_{-4} = 1$ $0.856 \times 16 = 13.696$ $K_{-4} = D$

$0.976 \times 2 = 1.952$ $K_{-5} = 1$ $0.856 \times 8 = 6.848$ $K_{-5} = 6$ $0.696 \times 16 = 11.136$ $K_{-5} = B$

由上得: $0.686 \approx 0.10101B$

$0.686 \approx 0.53716Q$

$0.686 \approx 0.AF9DBH$

【例1.8】将168.686转换为二、八、十六进制数。

解:根据例1.6、例1.7可得: $168.686 \approx 10101000.10101B$

$168.686 \approx 250.53716Q$

$168.686 \approx A8.AF9DBH$