



工业和信息化部普通高等教育“十二五”规划教材立项项目



21 世纪高等院校电气工程与自动化规划教材

Microcontrollers: Principle and Application

微控制器 原理及应用

向敏 程安宇 罗志勇 罗红平 蒋畅江 编著

人民邮电出版社
POSTS & TELECOM PRESS



工业和信息化部普通高等教育“十二五”规划教材立项项目



21 世纪高等院校电气工程与自动化规划教材

21 century institutions of hig

Automation Planning

Microcontrollers: Principle and Application

微控制器 原理及应用

向敏 程安宇 罗志勇 罗红平 蒋畅江 编著

人民邮电出版社

北京

图书在版编目 (C I P) 数据

微控制器原理及应用 / 向敏等编著. — 北京 : 人民邮电出版社, 2012. 4
21世纪高等院校电气工程与自动化规划教材
ISBN 978-7-115-27669-8

I. ①微… II. ①向… III. ①微控制器—高等学校—教材 IV. ①TP332.3

中国版本图书馆CIP数据核字(2012)第035699号

内 容 提 要

本书将“微机原理”和“MCS-51 单片机原理”教材的内容加以整合,使读者在学习和掌握 8086 处理器的基础知识后,深入理解和掌握 MCS-51 单片机的组成结构、工作原理和接口扩展技术。本书前 5 章重点介绍微型计算机的组成及原理、存储器技术、8086 汇编指令、微型计算机输入/输出接口技术和 8086 中断控制原理,后续章节全面、系统地讲解了 MCS-51 单片机的原理及应用技术,并选取了具有实用性和典型性的应用案例,给出了硬件设计方案和详细的参考代码。本书中的应用实例来自课题组多位老师的科研工作和教学实践。

本书可以作为高等院校电子信息类各专业的专科生、本科生、研究生微型控制器原理及应用课程的教材,同时也可以作为工程技术人员自学教材或参考书。

21 世纪高等院校电气工程与自动化规划教材

微控制器原理及应用

-
- ◆ 编 著 向 敏 程安宇 罗志勇 罗红平 蒋畅江
责任编辑 刘 博
 - ◆ 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>
北京昌平百善印刷厂印刷
 - ◆ 开本: 787×1092 1/16
印张: 17.5
字数: 437 千字

2012 年 4 月第 1 版
2012 年 4 月北京第 1 次印刷

ISBN 978-7-115-27669-8

定价: 35.00 元

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

单片机作为微型计算机的一个分支，具有集成度高、使用方便的特点，其应用领域非常广泛。为适应学科专业的发展，非计算机专业的学生（如自动化、通信工程等）需要并且有必要掌握单片机的基本原理、接口技术及其开发应用技术。8086/8088处理器的内部结构及其基本工作原理与 MCS-51 单片机有相似之处，且以 8086/8088 为主要内容的《微机原理》课程是单片机教学的前期基础课程，因此理解和掌握 8086 系统中的基础知识，如 8086 系统的总线结构、存储器扩展技术与中断处理技术，对于单片机的深入学习非常重要。

本书兼顾 8086/8088 处理器和 MCS-51 单片机的共性和相似性，将《微机原理》和《MCS-51 单片机原理》的内容加以整合，使读者能够在有限的时间内，学习和掌握 8086 处理器的部分知识后，能够更好地理解和掌握 MCS-51 单片机的相关知识。本书分为两个部分。第 1 章至第 5 章为第一部分，全面、系统地介绍了现代微型计算机的基本组成结构、工作原理及接口扩展技术等，具体包括：微型计算机组成及原理、微型计算机存储器、微型计算机指令系统与程序设计、微型计算机输入/输出接口技术、8086 中断系统与中断控制器。第 6 章至第 13 章为第二部分，全面、系统地介绍了 MCS-51 单片机的硬件结构、指令系统及工作原理，并从应用设计的角度介绍 MCS-51 单片机的各种硬件接口设计、汇编语言接口驱动程序设计和 MCS-51 单片机应用系统设计。主要内容包括：MCS-51 单片机的基本结构、MCS-51 单片机的指令与程序设计、MCS-51 单片机的中断系统及应用、MCS-51 单片机的定时器/计数器、MCS-51 单片机的串行通信技术、MCS-51 单片机的扩展技术、MCS-51 与 A/D 和 D/A 的接口技术、MCS-51 单片机系统的键盘及显示技术等。

本书章节安排上充分考虑了内容的前后连贯性，并强调内容突出实用性和典型性。在结合教学组老师们多年教学、科研工作的经验基础上，给出了大量应用实例，包括硬件接口设计、汇编或 C 语言参考代码；同时给出了多个新型器件与 MCS-51 单片机应用实例，包括硬件电路和完整的参考程序。本书可以作为电气工程、电子信息和自动控制等工科专业本科、专科学生教材或工程类人员参考书籍。

本书在编写过程中，得到了重庆邮电大学及其他兄弟院校的多位老师的大力支持，同时还得到了人民邮电出版社的大力支持和帮助，在此表示衷心感谢。

由于编者水平有限，书中一定有不少疏漏和不妥之处，敬请前辈、同仁们以及广大读者批评指正。

编者

2012 年 3 月

目 录

第 1 章 微型计算机组成及原理	1
1.1 微计算机概述	1
1.1.1 微计算机的发展与应用	1
1.1.2 微型计算机的系统组成	3
1.1.3 微计算机的数据表示方法	6
1.1.4 微计算机中常用术语	11
1.2 8086/8088 微处理器结构	11
1.2.1 8086 微处理器的内部结构	11
1.2.2 8086/8088 微处理器的 管脚特性	16
1.3 8086/8088 的系统组成	20
1.3.1 8086/8088 最小工作模式 系统组成	20
1.3.2 8086/8088 最大工作模式 系统组成	21
1.3.3 8086/8088 微处理器的 工作时序	23
1.4 80×86 其他系列微处理器	25
1.4.1 32 位 80X86 微处理器	25
1.4.2 Pentium 系列微处理器	27
1.4.3 双核微处理器	28
1.5 微计算机总线技术	28
1.5.1 总线的性能指标与分类	28
1.5.2 微计算机并行总线	29
1.5.3 微计算机串行总线	32
1.5.4 其他接口总线	34
本章小结	35
思考题与习题	35
第 2 章 微型计算机存储器	36
2.1 半导体存储器	36
2.1.1 半导体存储器的性能指标	37
2.1.2 半导体存储器的分类及 其特点	37
2.1.3 存储器芯片的基本组成	40
2.2 存储器与系统的连接	44
2.2.1 主存储器与 CPU 的接口	44
2.2.2 存储器容量的扩充	47
2.3 现代存储器体系结构	52
2.3.1 并行主存储器结构	52
2.3.2 高速缓冲存储器	52
2.3.3 虚拟存储器	53
本章小结	54
思考题与习题	54
第 3 章 微型计算机指令系统 与程序设计	56
3.1 指令格式及操作数类型	56
3.1.1 指令格式	56
3.1.2 操作数类型	57
3.2 寻址方式	57
3.2.1 立即数寻址	57
3.2.2 寄存器寻址	58
3.2.3 存储器寻址	58
3.2.4 隐含寻址	62
3.3 8086 指令系统	62
3.3.1 数据传送指令	63
3.3.2 算术运算指令	65
3.3.3 逻辑运算指令	67
3.3.4 移位指令	68
3.3.5 串操作指令	69
3.3.6 控制转移指令	72
3.3.7 处理器控制指令	76
3.4 汇编程序基本知识	77
3.4.1 汇编语言源程序分段结构	78
3.4.2 汇编程序中语句的类型 与格式	79

3.4.3 汇编程序伪指令与宏指令	80	5.3.3 8259A 工作方式	117
3.5 汇编语言程序设计	84	5.3.4 8259A 命令字	120
3.5.1 顺序程序设计	84	5.3.5 8259A 编程应用	123
3.5.2 分支程序设计	85	本章小结	127
3.5.3 循环程序设计	86	思考题与习题	127
3.5.4 子程序设计	87		
本章小结	88	第 6 章 MCS-51 单片机的基本结构	128
思考题与习题	88	6.1 MCS-51 单片机组成结构	128
第 4 章 微型计算机输入/输出接口技术	89	6.1.1 MCS-51 单片机引脚定义	130
4.1 I/O 接口技术概述	89	6.1.2 MCS-51 单片机 CPU 结构	133
4.1.1 I/O 接口的相关概念	89	6.1.3 MCS-51 单片机存储器 结构	135
4.1.2 I/O 接口的主要功能	90	6.2 MCS-51 单片机时钟电路与 总线时序	138
4.1.3 I/O 接口的典型结构	91	6.2.1 时钟电路	138
4.2 I/O 端口的编址与访问	91	6.2.2 总线时序	138
4.2.1 I/O 端口的编址	91	6.3 复位电路	139
4.2.2 I/O 端口的访问	94	6.4 MCS-51 单片机的最小系统	140
4.3 I/O 端口的地址译码	95	本章小结	141
4.3.1 门电路构成的地址译码方式	95	思考题与习题	141
4.3.2 译码器构成的地址译码电路	97		
4.3.3 开关式地址译码电路	97	第 7 章 MCS-51 单片机的指令 与程序设计	143
4.4 CPU 和外设间的数据传输方式	98	7.1 MCS-51 汇编指令格式和寻址 方式	143
4.4.1 程序控制方式	99	7.2 MCS-51 指令介绍	147
4.4.2 中断控制方式	104	7.2.1 数据传送指令	147
4.4.3 直接存储器存取方式	104	7.2.2 算术运算指令	149
本章小结	104	7.2.3 移位与逻辑运算指令	151
思考题与习题	105	7.2.4 控制转移指令	152
		7.2.5 位操作指令	155
第 5 章 8086 中断系统与中断控制器	106	7.3 MCS-51 汇编语言程序设计	156
5.1 中断概述	106	7.3.1 MCS-51 常用伪指令	156
5.1.1 中断的基本概念	106	7.3.2 MCS-51 汇编语言程序的 基本结构	157
5.1.2 中断优先级管理	107	7.4 MCS-51 单片机的 C 程序设计	159
5.1.3 中断处理过程	108	7.4.1 C51 与标准 C 的简单比较	160
5.2 8086/8088 中断系统	109	7.4.2 MCS-51 单片机的软件开发 工具与程序设计	161
5.2.1 8086/8088 中断类型	109		
5.2.2 8086/8088 的中断向量表	111		
5.3 8259A 可编程中断控制器	112		
5.3.1 8259A 的结构与接口	113		
5.3.2 8259A 中断管理	116		

本章小结	166	第 10 章 MCS-51 单片机的串行	
思考题与习题	166	通信技术	197
第 8 章 MCS-51 单片机的中断系统		10.1 串行通信的基本知识	197
及应用	169	10.1.1 串行通信的概念	197
8.1 MCS-51 单片机中断的概念与		10.1.2 串行通信的工作方式	198
结构	169	10.1.3 串行通信总线的电气标准	199
8.2 MCS-51 单片机的中断处理	171	10.2 MCS-51 单片机的串行口	201
8.2.1 MCS-51 单片机的		10.2.1 MCS-51 单片机串行口	
中断控制	171	的基本结构	201
8.2.2 MCS-51 单片机外部中断		10.2.2 MCS-51 单片机串行口	
的触发方式	174	的寄存器	202
8.2.3 MCS-51 单片机中断服务		10.2.3 MCS-51 单片机串行口	
程序的设计	176	的工作模式	203
8.3 MCS-51 单片机中断处理实例	177	10.3 单片机多机通信与通信协议	206
本章小结	182	10.3.1 多机通信原理	206
思考题与习题	182	10.3.2 多机通信实例	207
		10.3.3 串口通信协议	209
第 9 章 MCS-51 单片机的		10.4 MCS-51 单片机串行通信	
定时器/计数器	184	应用实例	210
9.1 MCS-51 定时器/计数器的结构	184	本章小结	216
9.1.1 控制寄存器 TCON	185	思考题与习题	216
9.1.2 工作方式寄存器 TMOD	185	第 11 章 MCS-51 单片机的扩展技术	217
9.2 MCS-51 定时器/计数器的		11.1 MCS-51 单片机的 I/O 口	
工作方式	186	扩展技术	217
9.2.1 工作方式 0	186	11.1.1 用 8255 扩展并行 I/O 接口	217
9.2.2 工作方式 1	187	11.1.2 用 74 系列芯片扩展	
9.2.3 工作方式 2	188	并行 I/O 接口	223
9.2.4 工作方式 3	188	11.2 MCS-51 单片机的存储器	
9.2.5 8052 单片机定时器/		扩展技术	225
计数器 2	189	11.2.1 程序存储器的扩展	226
9.3 定时器/计数器的编程与应用	191	11.2.2 并行数据存储器的扩展	227
9.3.1 毫秒级定时	191	11.2.3 串行数据存储器的扩展	227
9.3.2 超出最大范围定时/计数	194	本章小结	231
9.3.3 8052 单片机 Timer2 的		思考题与习题	231
应用	195	第 12 章 MCS-51 与 A/D 和 D/A	
本章小结	196	的接口技术	233
思考题与习题	196	12.1 A/D 转换器	233

12.1.1 A/D 转换器基本原理	233	13.1.1 键盘的工作特点	252
12.1.2 A/D 转换器主要结构	234	13.1.2 独立式按键接口设计	254
12.1.3 A/D 转换器性能指标	237	13.1.3 矩阵式键盘接口设计	257
12.1.4 A/D 转换器应用实例	238	13.2 LED 数码显示接口电路设计	264
12.2 D/A 转换器	244	13.2.1 LED 数码显示器结构 与原理	264
12.2.1 D/A 转换器基本原理	244	13.2.2 LED 数码显示接口技术	265
12.2.2 D/A 转换器主要结构	244	13.3 LCD 液晶显示接口电路设计	267
12.2.3 D/A 转换器性能指标	246	13.3.1 LCD 数码显示器结构 及原理	267
12.2.4 D/A 转换器应用实例	247	13.3.2 LCD1602 简介及应用	268
本章小结	250	本章小结	270
思考题与习题	251	思考题与习题	271
第 13 章 MCS-51 单片机系统的 键盘及显示技术	252	参考文献	272
13.1 MCS-51 单片机应用系统 中键盘的设计	252		

本章教学基本要求

1. 微处理器是微型计算机的核心部件，熟悉微处理器的内部组成及其相应功能，理解各个部件的工作原理和特点。
2. 掌握 Intel8086 微处理器的子系统结构，熟悉不同工作模式下 CPU 的工作时序。
3. 了解 80X86 其他微处理器的特点。
4. 掌握常用微计算机总线的特点及其工作的基本原理。

重点与难点

1. 8086 处理器内部结构。
2. 8086CPU 在最小工作模式下总线读/写操作的时序。
3. 8086 处理器最小和最大工作模式下子系统的组成结构。

1.1 微型计算机概述

微型计算机（简称微机）具有体积小、功能强、价格低廉、可靠性高和使用方便等特点，经过近 50 年的迅速发展，显示出强大的生命力，为计算机的推广和应用开辟了广阔的前景。

1.1.1 微计算机的发展与应用

电子计算机通常按体积、性能（如运算速度、字长、存储容量及输入/输出能力等）和价格分为巨型机、大型机、中型机、小型机和微型机。这种划分并没有一个具体的量化标准，由于计算机的性能在日异地变化，划分标准也在不断改变。例如，20 世纪 70 年代巨型机的标准是速度超过每秒运算 1000 万次（10MIPS，Million Instructions Per Second），存储容量超过 1000 兆字节，价格在 1000 万美元以上。但这种划分标准才持续了 10 年，巨型机的运算速度已超过每秒运算 1 亿次（100MIPS）以上，尤其是随着超大规模集成电路（VLSI）的出现和发展，芯片集成度不断提高，器件价格不断下降。目前，流水线技术、高速缓冲存储器技术、虚拟存储器管理技术、多处理机并行处理技术以及精简指令集系统 RISC 等已在微型机系统广泛使用，从而使大、中、小、微型计算机的分界面不断发生变化。因此，从系统结构和基本工作原理上说，微型机与大、中、小型计算机并没有本质区别。其主要不同点是：

从结构上看,微型计算机的中央处理器(CPU)是集成在一小块硅片上的,而大中型计算机的CPU可以由很多电路或集成电路组成。为了区别于大、中、小型计算机的CPU,称微型计算机的CPU芯片为微处理器(Micro-Processing Unit, MPU)。通常在微型计算机中直接用CPU表示微处理器。从用途上看,大、中、小型计算机主要是面向多用户、多任务系统设计并能从事复杂的科学计算,而微型机主要是面向控制对象或面向个人使用的计算机,其功能和性能虽然没有大、中、小型机强大但具有结构简单、灵活、体积小、价格低等特点。微型计算机在发展过程中,其性能也在不断改进和提高。

1971年美国Intel公司生产出第一个4位的微处理器4004并宣布微型计算机MCS-4研制成功,接着8位处理器8008又被开发出来。这些芯片内部集成了近2000个器件,时钟频率约1MHz,指令平均执行时间约为20 μ s,这是世界上第一代微处理器。1973年~1977年,许多处理器厂商推出了第二代微处理器,其代表产品是Intel公司的8080/8085, Zilog公司的Z80, Motorola公司的6800/6802等。这些处理器字长8位,平均集成度8000元件/片,时钟频率为2MHz~4MHz,指令执行平均时间为1 μ s~2 μ s。1978年~1979年,16位微处理器相继出现,如Intel公司推出了8086/8088, Motorola公司的M68000等。这些处理器字长16位,平均集成度(20000~60000)元件/片,时钟频率为4MHz~8MHz,指令周期平均为0.5 μ s。1983年Intel公司推出了高性能的16位处理器80186和80286;1985年推出了32位的微处理器80386,集成度达45万个晶体管/片、时钟频率高达40MHz;1989年推出了80486;1993年推出了Pentium,其集成度高达310万个晶体管/片,其性能足以同以前的小型机的CPU相匹敌。近年来,Intel公司又推出了双核、三核等高性能产品,其运算速度和处理能力都有显著提高。

微型计算机由微处理器、存储器和输入/输出接口以及系统总线等组成,用户可以按不同的应用要求,配置不同的外部设备和系统软件以构成一个完整的计算机系统。如果按微处理器的字长划分,可分为4、8、16、32位和64位字长。从微计算机的结构形式划分,可分为单片机、单板机或多板机(个人计算机)。

单片微型计算机简称单片机,是把微型计算机的微处理器和一定容量的存储器及部分输入/输出接口电路都集成在一块芯片上的单芯片式微型计算机。单片机的应用可分为单机应用和多机应用。单机应用主要针对智能产品、智能仪表和简单的测控装置,如简单的数控机床、数字万用表、智能电表等。多机应用是单片机在高科技领域中的主要应用模式,此时单片机作为面向对象的控制核心,若干个单片机和系统主机组成集散型或分布式控制系统。例如,汽车生产线中使用的机器人与辅助控制器,飞行控制装置中的视觉系统与姿态控制系统,都是多片单片机组成的多机应用系统。

单板微型计算机简称单板机,是将微处理器、一定容量的存储器(ROM和RAM)、输入/输出接口、辅助电路通过总线全部安装在一块印制电路板上的单板式微型计算机。单板机结构简单、价格便宜,主要用于实验室装置中,其他用途类似于单片机。

多板机是将CPU模块、存储器模块和输入/输出接口模块等插到带电源的机箱底板,通过底板的系统总线互相连接组成的微型计算机,典型代表是具有STD总线的工业控制计算机。应用最为广泛的PC(个人计算机)系列微机也属于多板机结构。

目前,微型计算机的应用范围几乎涉及人类社会的所有领域:从国民经济各部门到个人家庭生活,从军事部门到民用部门,从科学教育到文化艺术,从生产领域到消费娱乐,都与微机密切相关。

本书以微型机为基础,讲解微型计算机的系统组成和基本工作原理,进而讲解 MCS-51 单片机的硬件组成、接口及其工作原理。

1.1.2 微型计算机的系统组成

1. 微型计算机的硬件组成

微型计算机的硬件主要由中央处理单元 (Central Processor Unit, CPU)、存储器 (RAM 和 ROM)、I/O 接口、I/O 设备及系统总线组成,如图 1-1 所示。

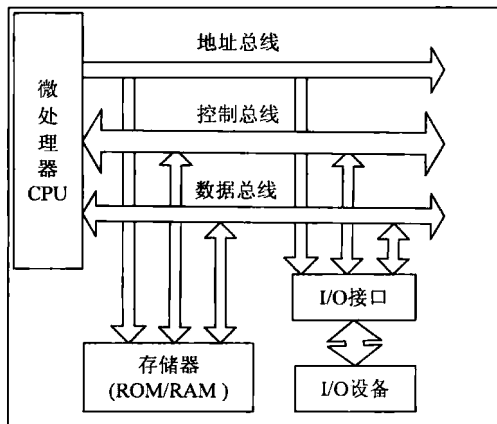


图 1-1 微型计算机的硬件组成

(1) 中央处理器 CPU

中央处理器具有算术运算、逻辑运算和控制操作的功能,是微型计算机的核心部分。它主要由 3 个部分组成:算术逻辑单元、寄存器组、控制器。

① 算术逻辑单元 (Arithmetic Logic Unit, ALU)。用来执行基本的算术运算和逻辑运算。

② 寄存器 (Register) 组。CPU 中有多个寄存器,用来存放操作数、中间结果以及反映运算结果的状态标志位等。

③ 控制器 (Control Unit)。控制器具有指挥整个系统操作的功能。它按一定的顺序从存储器中读取指令,进行译码,在时钟信号的控制下,发出一系列的操作命令,控制 CPU 以及整个系统有条不紊地工作。

(2) 存储器

存储器的主要功能是存放程序和数据,程序是计算机操作的依据,数据是计算机操作的对象。不管是程序还是数据,在存储器中都是用二进制的“0”或“1”表示,统称为信息。为实现自动计算,这些信息必须预先放在存储器中。存储器由寄存器组成,可以看成是一个寄存器堆。存储器被划分成许多小单元,称为存储单元。每个存储单元相当于一个缓冲寄存器。为了便于存入和取出,每个存储单元必须有一个固定的地址,称为单元地址,单元地址用二进制编码表示。每个存储单元的地址只有一个,固定不变,而存储在其中的信息可以是二进制的“0”或“1”组合的任何编码。为了减少存储器向外引出的地址线,在存储器内部都自带有地址译码器。向存储单元存放或取出信息,都称为访问存储器。访问存储器时,先由地址译码器将送来的单元地址进行译码,找到相应的存储单元;再由读/写控制电路,根据送来的读/写命令确定访问存储器的方式,完成读出或写入操作。

(3) 总线

总线是计算机把各个部分有机地连接起来的一组导线，是各个部分之间进行信息交换的公共通道。在微型计算机中，连接 CPU、存储器和各种 I/O 设备并使它们之间能够相互传送信息的信号线和控制线统称为系统总线。系统总线包括地址总线（Address Bus, AB）、数据总线（Data Bus, DB）和控制总线（Control Bus, CB）。

地址总线：负责传输数据的存储位置或 I/O 接口中寄存器的地址编号的一组信号线称之为地址总线。它传送 CPU 发出的地址，以便选中 CPU 所寻址的存储单元或 I/O 端口（一个接口有 1 个或几个端口入），因此地址总线为单向，如图 1-1 所示。8086 的地址总线为 20 位，用 $A_0 \sim A_{19}$ ，所以可寻址的存储单元个数为 $2^{20} = 1M$ （ $1M=1024 \times 1024$ ）；MCS-51 单片机对外部扩展的地址总线为 16 位，用 $A_0 \sim A_{15}$ 表示，可寻址的存储单元或 I/O 端口个数为 $2^{16}=64K$ （1K 为 1024）。

数据总线：负责传输数据的一组信号线称之为数据总线。数据可以由 CPU 向存储器或 I/O 接口发送，也可以由存储器或 I/O 接口向 CPU 传送，因此数据总线为双向的，故数据总线为双向总线。8086 和 80286 的数据总线为 16 位，用 $D_0 \sim D_{15}$ ，即字长为 16 位；MCS-51 单片机对外部扩展的数据总线为 8 位，用 $D_0 \sim D_7$ 表示，即字长为 8 位；80386 和 80486 的数据总线为 32 位，Pentium 的数据总线为 64 位。通常所说微处理器多少位，是指该处理器内部数据总线的位数。

控制总线：在传输与交换数据时起管理控制作用的一组信号线称之为控制总线。它传送各种信息，有的是 CPU 到存储器或 I/O 接口的控制信号，如读信号 RD、写信号 WR、地址锁存允许信号（Address Latch Enable, ALE）、中断响应信号（Interrupt Acknowledge, INTA）等；有的是 I/O 接口到 CPU 的信号，如可屏蔽中断请求信号 INTR、准备就绪信号 READY 等。控制信号线有的是高电平有效，如 ALE、INTR、READY 等；有的是低电平有效，如 $\overline{RD}$ 、 $\overline{WR}$ 、 $\overline{INTA}$ 等。由于控制总线既可以是 CPU 向存储器或 I/O 接口发送控制命令，也可有侦听存储器或 I/O 设备的状态信息，因此控制总线也是双向总线。

系统总线是连接微机系统各功能部件的公共数据通道，其性能直接关系到微机系统的整体性能。系统总线的性能主要表现为它所支持的数据总线位数和总线工作时钟频率。数据总线位数越宽，总线工作时钟频率越高，则系统总线的信息吞吐率就越高，微机系统的性能就越强。微型计算机总线性能指标与分类将在本章第五小节详解。

(4) I/O 接口

外部设备与计算机之间通过接口连接。I/O 接口主要以下三大功能。一是外部设备大多数都是机电设备，传送数据的速度远远低于计算机，因而需要 I/O 接口作数据缓存。二是外部设备表示信息的格式与计算机不同，例如，由键盘输入的数字、字母，先由键盘接口转换成 8 位二进制码（ASCII 码），然后再送入计算机，因此需用 I/O 接口进行信息格式的转换。三是 I/O 接口还可以向计算机报告设备运行的状态，传达计算机的命令等。

(5) I/O 设备

I/O 设备又称为外部设备，它通过 I/O 接口与微计算机连接。输入设备是变换输入信息形式的部件。它将人们熟悉的信息形式变换成计算机能接收并识别的信息形式。输入的信息形式有数字、字母、文字、图形、图像等多种形式，送入计算机的只有一种形式，就是二进制数据。一般的输入设备只用于原始数据和程序的输入。常用的输入设备有键盘、模数转换器、扫描仪等。输出设备是变换计算机的输出信息形式的部件。它将计算机处理结果的二进制信

息转换成人们或其他设备能接收和识别的形式，如字符、文字、图形等。常用的输出设备有显示器、打印机等。

磁盘和光盘等大容量存储器也是计算机的重要外部设备，它们既可以作输入设备，也可以作输出设备。此外，它们还具有信息存储的功能，因此，常常作为辅助存储器使用。

2. 微型计算机的系统组成

一台微型计算机如果只具备硬件系统（如 CPU、存储器、I/O 接口等），则不能进行任何具体计算，必须有多种程序配合，才能真正进行计算或事务处理。计算机程序是由计算机能识别并能执行的基本操作命令按照一定规则组成的命令序列，其中每一条基本操作命令就是一条指令，指令是对计算机发出的工作命令，命令计算机执行规定的操作。因此，程序是实现既定任务的指令序列，其中的每条指令都规定了计算机执行的一种基本操作，计算机按程序安排的顺序执行指令，就可以完成既定任务。因此只有在计算机的硬件系统上配置相应的软件，加上电源和合适的外部设备，才能构成一个可以使用的微型计算机系统。计算机软件是指用来实现对计算机资源进行管理，便于人们使用计算机而配置的软件。由此可见，微型计算机系统由硬件系统和用来管理计算机资源的软件系统两大部分组成。其中，硬件是构成计算机系统的物理实体或物理装置。例如，微处理器、存储器、主板、机箱、键盘、显示器和打印机等。软件是指为运行、维护、管理和应用计算机所编制的所有程序的集合。软件一般分为系统软件和应用软件两大类。一个完整的微型计算机系统组成如图 1-2 所示。

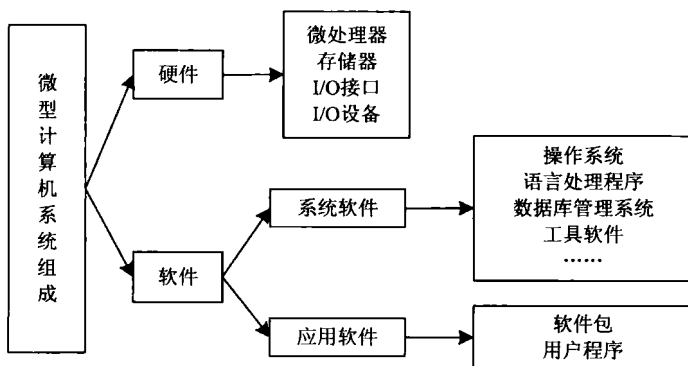


图 1-2 微型计算机系统组成

系统软件是指管理、控制和维护计算机的各种资源，以及扩大计算机功能和方便用户使用计算机的各种程序集合。它是构成计算机系统必备的软件，通常又分为操作系统、语言处理程序、数据库管理系统和工具软件四类。应用软件是为了解决各种实际问题而设计的计算机程序，通常由计算机用户或专门的软件公司开发。

各种软件都是根据某种需要设计的计算机程序，而构成微计算机程序的指令必须满足两个条件：一是指令的形式是计算机能够理解的，因此指令也采用和数据一样的二进制编码表示；二是指令规定的操作必须是计算机能够执行的，即每条指令的操作均有相应的电子线路实现。各种类型的计算机的指令都有特定的格式和具体的含义，且必须指明操作性质（如加、减、乘、除，比较等）和参加操作的有关信息（如数据或数据的存放地址等）。

一台机器的指令种类是有限的，但由于不同方式的指令组合，可以构成完成不同任务的程序，从而实现信息处理任务的程序可以无限多。计算机严格按照程序安排的指令顺序，有

有条不紊地执行规定的操作，完成预定任务。为实现自动连续地执行程序，必须先把程序和数据送到具有记忆功能的存储器中保存起来，然后由控制器和 ALU 根据程序中指令的顺序周而复始地取出指令，分析指令，执行指令，直到完成全部指令操作为止。

1.1.3 微计算机的数据表示方法

计算机内部的信息分为两大类：控制信息和数据信息。控制信息是一系列的控制命令，用于告诉计算机如何操作；数据信息是计算机操作的对象，一般又可分为数值数据和非数值数据。数值数据用于表示数量的大小，它有确定的数值；非数值数据没有确定的数值，它主要包括字符、汉字、逻辑数据等。对计算机而言，不论是控制命令还是数据信息，它们都要用“0”和“1”两个基本符号（即二进制码）来编码表示，原因主要有以下几点。

(1) 二进制码在物理上最容易实现。例如，用“0”和“1”表示高、低两个电位，或表示脉冲的有无，还可表示脉冲的正、负极性等，可靠性都较高。

(2) 二进制码用来表示二进制数，其编码、加减运算规则简单。

(3) 二进制码的两个符号“0”和“1”正好与逻辑数据“真”与“假”相对应，为计算机实现逻辑运算带来了方便。

因此，不论是什么信息，在输入计算机内部时，都必须用二进制编码表示，以方便存储、传送和处理。

1. 数与数制

进位计数制是一种计数的方法。在日常生活中，人们使用各种进位计数制。例如，六十进制（1h=60min，1min=60s），十二进制（1英尺=12英寸，1年=12月）等。

在计算机中，二进制计数得到了广泛使用。为便于人们阅读及书写，八进制计数和十六进制计数常用来表示二进制计数。十进制数的特点是“逢十进一，借一当十”，需要用到的数字符号为 10 个，分别是 0~9。二进制数的特点是“逢二进一，借一当二”，需要用到的数字符号为 2 个，分别是 0、1。八进制数的特点是“逢八进一，借一当八”，需要用到的数字符号为 8 个，分别是 0~7。十六进制数的特点是“逢十六进一，借一当十六”，需要用到的数字符号为 16 个，分别是 0~9、A~F。

任意一个十进制数可以用位权表示，位权就是某个固定位置上的计数单位。在十进制数中，个位的位权为 10^0 ，十位的位权为 10^1 ，百位的位权为 10^2 ，千位的位权为 10^3 ，而在小数点后第一位上的位权为 10^{-1} ，小数点后第二位的位权为 10^{-2} 等。因此，如果有十进制数 362.75，则百位上的 3 表示 3 个 100，十位上的 6 表示 6 个 10，个位上的 2 表示 2 个 1，小数点后第一位上的 7 表示 7 个 0.1，小数点后第二位上的 5 表示 5 个 0.01，用位权表示为 $3 \times 10^2 + 6 \times 10^1 + 2 \times 10^0 + 7 \times 10^{-1} + 5 \times 10^{-2}$ 。

同理，任意一个二进制数、八进和十六进制也可以用位权来表示，如

$$(1101.01)_2 = 1 \times 2^3 + 1 \times 2^2 + 0 \times 2^1 + 1 \times 2^0 + 0 \times 2^{-1} + 1 \times 2^{-2}$$

$$(1234.567)_8 = 1 \times 8^3 + 2 \times 8^2 + 3 \times 8^1 + 4 \times 8^0 + 5 \times 8^{-1} + 6 \times 8^{-2} + 7 \times 8^{-3}$$

$$(3C21.95)_{16} = 3 \times 16^3 + C \times 16^2 + 2 \times 16^1 + 1 \times 16^0 + 9 \times 16^{-1} + 5 \times 16^{-2}$$

据上述概念，可推广出表示任意进制数的公式 (1-1)

$$N = \pm \left(\sum_{i=0}^K x_i \times r^i + \sum_{j=-1}^{-L} y_j \times r^j \right) \quad (1-1)$$

式中, $\sum_{i=0}^K x_i \times r^i$ 为整数部分; $\sum_{j=1}^{-L} y_j \times r^j$ 为小数部分, r 为基数, 可以为任意进制。每一项

的数字可用 $0 \sim r-1$ 数字中的一个数字来表示。

2. 不同数制之间的转换

计算机在数据处理中, 有时需要在不同的数制之间进行转换, 转换方法如下。

(1) 将十进制整数转换为二进制整数、十六进制整数时, 分别用基数 2、16 连续去除该十进制数, 直至商等于“0”为止, 然后逆序排列得到的余数, 即为转换结果。

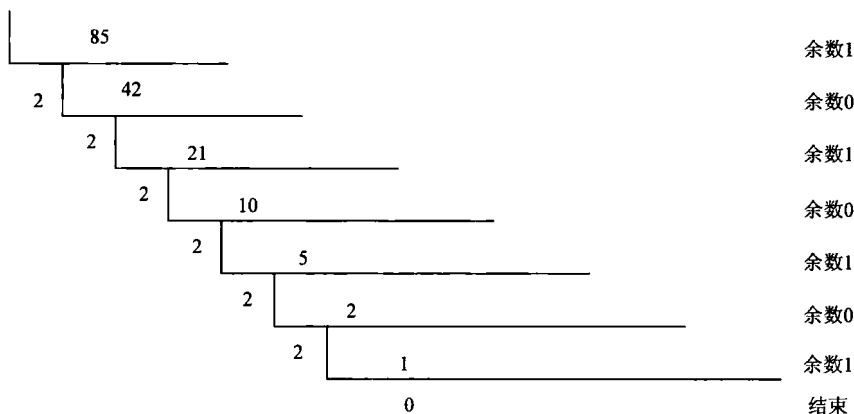
(2) 将十进制小数转化为二进制整数、十六进制小数时, 连续用基数 2、16 去乘该十进制数至乘积的小数部分等于“0”, 然后顺序排列每次乘积的整数部分, 即可得到转换结果。

(3) 将二进制、十六进制数转换为十进制数时, 依照“位权展开求和”的方法即可换结果。

(4) 将二进制数转换为十六进制数时, 从小数点开始分别向左和向右将每 4 位二分成 1 组, 最后不足位数的补 0, 然后每组用 1 位十六进制数表示即可得到结果。

(5) 将十六进制数转换为二进制数时, 从小数点开始分别向左和向右将每位十六进位二进制数表示即可得到结果。

【例 1.1】 将十进制数 $(85)_{10}$ 转换为二进制。采用“除 2 逆取余数”的方法。



最后结果为

$$(85)_{10} = (01010101)_2$$

【例 1.2】 将十进制小数 $(0.6875)_{10}$ 转换为二进制小数。采用“乘 2 顺取整”的方法。

$0.6875 \times 2 = 1.375$	取整数位 1
$0.375 \times 2 = 0.75$	取整数位 0
$0.75 \times 2 = 1.5$	取整数位 1
$0.5 \times 2 = 1$	取整数位 1

转换结果为: $(0.6875)_{10} = (0.1011)_2$

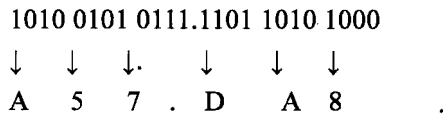
如出现乘积的小数部分一直不为“0”, 可根据精度要求截取一定的位数。同理, 要将十进制整数转换为十六进制整数时, 可采用“除 16 倒取余”的方法; 要将十进制数转换为十六进制小数时, 可采用“乘 16 顺取整”的方法。

【例 1.3】 用“按位权展开求和”的方法将二进制数 $(110110.101)_2$ 转换为十进制数。

$$(110110.101)_2=1\times2^5+1\times2^4+1\times2^2+1\times2^1+1\times2^{-1}+1\times2^{-3}=32+16+4+2+0.5+0.125=(54.625)_{10}$$

二进制数的每四位，刚好对应于十六进制数的一位（ $16^1=2^4$ ），其转换方法是：将二进制数从小数点开始，整数部分从右向左 4 位一组，小数部分从左向右 4 位一组，不足四位用 0 补足，每组对应一位十六进制数即可得到十六进制数。

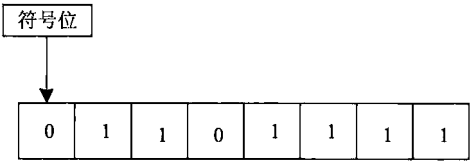
【例 1.4】 将二进制数 $(101001010111.110110101)_2$ 转换为十六进制数。



于是， $(101001010111.110110101)_2=(A57.DA8)_{16}$ 。

3. 进制数的计算机表示

计算机内表示的数，分成整数和实数两大类。在计算机内部，数据是以二进制的形式存储和运算的。数的正/负用最高位来表示，定义为符号位，用“0”表示正数，“1”表示负数。例如，二进制数+1101111 在机器内的表示为



计算机中的整数一般用定点数表示，定点数指小数点在数中有固定的位置。整数又可分为无符号整数和有符号整数。无符号整数中，所有二进制位全部用来表示数的大小，有符号整数用最高位表示数的正负号，其他位表示数的大小。如果用一个字节表示一个无符号整数，其取值范围是 $0\sim255(2^8-1)$ 。表示一个有符号整数，其取值范围为 $-128\sim+127(-2^7\sim+2^7-1)$ 。例如，如果用一个字节表示整数，则能表示的最大正整数为 01111111（最高位为符号位），即最大值为 127，若数值 $>|127|$ ，则“溢出”。计算机中的地址常用无符号整数表示，可以用 8 位、16 位或 32 位来表示。

实数一般用浮点数表示，因为它的小数点位置不固定，所以称浮点数。它是既有整数又有小数的数，纯小数可看作实数的特例，如 37.419、-2364.1.276、0.00123 都是实数。

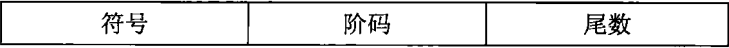
以上三个数又可以表示为

$$37.419 = 10^2\times(0.37419)$$

$$-2364.276 = 10^4\times(-0.2364276)$$

$$0.00123 = 10^{-2}\times(0.123)$$

其中，指数部分用来指出实数中小数点的位置，括号内是一个纯小数。二进制的实数表示也是这样。在计算机中一个浮点数由指数（阶码）和尾数两部分组成，其机内表示形式如下



阶码用来指示尾数中的小数点应当向左或向右移动的位数；尾数表示数值的有效数字，其小数点约定在数符和尾数之间，在浮点数中符号占一位，阶码的值随浮点数数值的大小而定，尾数的位数则依浮点数的精度要求而定。例如，短实数的符号 1 位，阶码 8 位，尾数 23 位，共占 32 位。

4. 常见信息编码

计算机中的数据是用二进制表示的，而人们习惯用十进制数，因此数据在输入/输出时，需要进行十进制和二进制之间的转换处理，这就要求必须采用一种编码的方法，使计算机能够识别和转换输入/输出数据格式。

(1) BCD 码 (二-十进制编码)

在数字系统中,各种数据要转换为二进制代码才能进行处理,而人们习惯于使用十进制数,所以在数字系统的输入/输出中仍采用十进制数,这样就产生了用四位二进制数表示一位十进制数的方法,这种用于表示十进制数的二进制代码称为二-十进制代码(Binary Coded Decimal),简称为BCD码。

4 位二进制码共有 16 种组合, 可从中任取 10 种组合来表示 0~9 这 10 个数。根据不同的选取方法, 可以编制出很多种 BCD 码, 如 8421 码、5421 码、2421 码、5211 码和余 3 码。常见的 BCD 码的编码规则如表 1-1 所列。

表 1-1 **常见的 BCD 码的编码规则**

	8421 码	5421 码	2421 码	5211 码	余 3 码
0	0000	0000	0000	0000	0000
1	0001	0001	0001	0001	0100
2	0010	0010	0010	0100	0101
3	0011	0011	0011	0101	0110
4	0100	0100	0100	0111	0111
5	0101	1000	0101	1000	1000
6	0110	1001	0110	1001	1001
7	0111	1010	0111	1100	1010
8	1000	1011	1110	1101	1011
9	1001	1100	1111	1111	1100
权	8421	5421	2421	5211	

8421-BCD 编码：这是一种使用最广的 BCD 码，是一种有权码，其各位的权分别是（从最有效高位开始到最低有效位）8，4，2，1。

【例 1.5】 写出十进数 563.97D 对应的 8421-BCD 码。

$563.97_D = 010101100011.10010111$ (8421-BCD)

【例 1.6】 写出 8421-BCD 码 1101001.010118421BCD 对应的十进制数。

$$1101001.01011 \text{ (8421BCD)} = 01101001.010110008421\text{BCD} = 69.58_{10}$$

在使用 8421-BCD 码时一定要注意其有效的编码仅十个, 即: 0000~1001。四位二进制数的其余六个编码 1010、1011、1100、1101、1110、1111 不是有效编码。

2421-BCD 编码: 2421-BCD 码也是一种有权码, 其从高位到低位的权分别为 2、4、2、1, 其也可以用四位二进制数来表示一位十进制数。

余3码: 余3码也是一种BCD码, 但它是无权码, 但由于每一个码对应的8421-BCD码之间相差3, 故称为余3码, 使用较少。

另外，BCD 又分为两种，非压缩式和压缩式两种。前面这种 81 存成“08, 01”是非压缩式，而压缩式会存成“81H”（直接以十六进制储存）。非压缩的 BCD 码只有低四位有效，