

21世纪高等教育计算机规划教材



微机原理与 接口技术

Microcomputer Principle and
Interface Technology

尚凤军 易芝 薛峙 编著

- 兼顾 16/32 位 Intel CPU
- 实例丰富，精心筛选习题与思考题
- 增加了微机系统的新技术，面向应用



 人民邮电出版社
POSTS & TELECOM PRESS

21世纪高等教育计算机规划教材

COMPUTER

微机原理与 接口技术

Microcomputer Principle and
Interface Technology

■ 尚凤军 易芝 薛峙 编著



人民邮电出版社

北京

图书在版编目 (C I P) 数据

微机原理与接口技术 / 尚凤军, 易芝, 薛峙编著

— 北京: 人民邮电出版社, 2014. 2

21世纪高等教育计算机规划教材

ISBN 978-7-115-34084-9

I. ①微… II. ①尚… ②易… ③薛… III. ①微型计算机—理论—高等学校—教材②微型计算机—接口技术—高等学校—教材 IV. ①TP36

中国版本图书馆CIP数据核字(2014)第006693号

内 容 提 要

本书以 80X86 系列微处理器和 32 位汇编语言为基础, 充分考虑到计算机软硬件的发展。全书主要包括四部分内容: 微处理器结构及其基本原理、32 位汇编语言指令系统及其程序设计; 接口技术和常用接口芯片、人机交互接口原理及其 A/D 和 D/A 的接口原理及其应用。本书实例丰富、突出应用。文字叙述深入浅出、循序渐进, 避免了基础内容和较深内容之间跨度过大, 从而较好地解决了它们之间的衔接和过渡。习题与思考题经过精心筛选, 其中大多数参考了近年来国内一些重点院校考研试题类型, 颇具启发性。

本书概念清楚、内容丰富, 每章配有习题与思考题, 便于教学和学习。本书可作为高等院校的教材和教学参考书, 也可供有一定实践经验的硬件开发人员、管理人员参考和作为继续教育的教材。

-
- ◆ 编 著 尚凤军 易 芝 薛 峙
责任编辑 刘 博
责任印制 彭志环 焦志炜
 - ◆ 人民邮电出版社出版发行 北京市丰台区成寿寺路 11 号
邮编 100164 电子邮件 315@ptpress.com.cn
网址 <http://www.ptpress.com.cn>
大厂聚鑫印刷有限责任公司印刷
 - ◆ 开本: 787×1092 1/16
印张: 20.25 2014 年 2 月第 1 版
字数: 534 千字 2014 年 2 月河北第 1 次印刷
-

定价: 45.00 元

读者服务热线: (010)81055256 印装质量热线: (010)81055316
反盗版热线: (010)81055315

微机原理与接口技术课程是高等院校理工科非计算机专业学生必修的一门计算机基础课程,是提高学生微型计算机或微处理器应用与开发能力的重要课程。这是一门包括软件和硬件两方面知识的课程,以具体处理器为实例,讲解处理器的构成、工作原理及程序设计,从而使读者更深刻、更全面地理解计算机系统。通过教学与实验,读者能够掌握微型计算机的基本工作原理、汇编语言程序设计的基本方法、微机与输入输出设备的典型接口电路和接口技术等。

通过多年的教学实践,尤其是近几年作为重庆市精品课程建设以来的课程改革经验,编者对教材内容和课程体系进行了深入研究和完善。本教材除了对汇编指令进行详细讲解,还列举了大量的相应案例。本书在微机接口内容部分,增加了 8259A 控制字的有关内容,便于学生从总体上理解中断应用编程,同时也给出了具体的实例,让读者从实例入手进行学习;本书还增加了对计算机新技术的介绍,例如双核芯片原理、虚拟存储技术等,使读者从课本上了解更多的计算机知识和发展趋势。本教材面向 32 位微机和实际应用,为有志于从事接口设计开发的人员提供了有价值的参考信息,具有较好的市场前景。

本课程紧密结合电气信息类(含电气工程、自动化、通信工程、电子科学与技术、控制科学与工程、仪器科学与技术、生物医学工程等)的专业特点,围绕微型计算机原理和应用主题,以 Intel X86 CPU 为主线,以 32 位汇编语言为基础,系统介绍微型计算机的基本知识、基本组成、体系结构和工作模式等,Intel X86 CPU 的指令系统、汇编语言及程序设计方法和技巧,存储器的组成和 I/O 接口扩展方法,微机的中断结构、工作过程和 8259A 的编程与应用,DMA 控制器的工作过程和 8237 的编程结构,从而使学生能较清楚地了解微机的结构与工作流程,建立起系统的概念。

全书共分 10 章:第 1 章介绍了微型计算机的运算基础和结构基础;第 2 章详细介绍了微处理器结构及其基本原理,包括当代微机新技术、微处理器的寄存器结构、物理/虚拟存储器的寻址和管理等;第 3 章介绍了存储器系统,包括主存、硬盘和光盘的工作原理等;第 4 章介绍了 80X86 寻址方式、指令系统;第 5 章介绍了汇编语言程序设计的基本方法,并给出了通俗的注释;第 6 章介绍了接口技术及常用 I/O 接口芯片,包括 8255A、8251、8253/8254、8237 芯片的端口地址、控制字、状态字、工作方式、初始化编程及应用编程,并介绍了人机交互接口;第 7 章介绍了中断技术,包括中断的基本概念和中断控制器 8259A 的原理及应用;第 8 章介绍了计算机系统的总线;第 9 章介绍了 A/D 和 D/A 转换技术以及相应的应用技术;第 10 章介绍了总线及其典型应用,并给出了丰富的实例。

本书采用的一些素材以及列举的一些接口用例选自作者多年的科(教)研实践和研究成果。本书内容先进、结构新颖、实例丰富、突出应用。文字叙述深入浅出、循序渐进,避免了基础内容和较深内容之间跨度过大,从而较好地解决了它们之间

的衔接和过渡。习题与思考题经过精心筛选，其中大多数参考了近年来国内一些重点院校考研试题题型，颇具启发性。

本书概念清楚、内容丰富，每章配有思考题，便于教学和学习。本书可作为高等院校的教材和教学参考书，也可供有一定实践经验的硬件开发人员、管理人员参考和作为继续教育的教材。另外本书配有电子教案，便于教学工作。

参加本书编写、调试工作的教师有尚凤军、易芝、杨勇、薛峙。本书的出版得到重庆市“微机原理与接口技术”精品课程建设、重庆市高等教育教学改革研究项目（项目编号：1203035）、重庆邮电大学教育教学改革研究项目（项目编号：XJG1102、XJG1118）、重庆邮电大学特色专业和重点课程建设的资助，在此深表感谢。本书的顺利出版，还要感谢人民邮电出版社和重庆邮电大学计算机科学与技术学院的大力支持和帮助，特别感谢计算机系统与网络教研部的老师提出的宝贵建议和修改意见。

由于编写仓促和编者水平有限，书中难免存在错误和不足之处，恳请读者原谅，并提出宝贵意见。

编者

2013年12月

目 录

第 1 章 微型计算机基础..... 1	习题与思考题.....36
1.1 微型计算机基础知识..... 1	第 3 章 存储系统.....37
1.1.1 微处理器、微型计算机、 微型计算机系统的概念..... 2	3.1 存储器的技术指标.....37
1.1.2 微型计算机系统的主要 技术指标..... 3	3.2 半导体存储器.....38
1.1.3 微型计算机的应用概况..... 4	3.2.1 DRAM 的分类.....40
1.2 微型计算机中的数据类型..... 5	3.2.2 DRAM 的两种接口类型.....41
1.2.1 常用数据类型..... 5	3.2.3 高速缓冲存储器.....42
1.2.2 数制转换..... 5	3.2.4 ROM 存储器.....43
1.2.3 有符号数的表示..... 7	3.3 存储器与 CPU 的连接.....45
1.2.4 常用的编码..... 9	3.3.1 EPROM 与 CPU 的接口.....46
1.3 微型计算机系统的组成..... 11	3.3.2 SRAM 与 CPU 的接口.....48
1.3.1 微型计算机的硬件..... 11	3.3.3 DRAM 与 CPU 的接口.....50
1.3.2 微型计算机的软件..... 16	3.4 外部存储器.....53
1.4 本章小结..... 17	3.4.1 技术指标.....54
习题与思考题..... 17	3.4.2 硬盘发展.....55
第 2 章 微处理器结构及基本原理..... 18	3.4.3 硬盘技术.....56
2.1 中央处理器结构..... 18	3.4.4 固态硬盘.....59
2.1.1 中央处理器的发展过程..... 18	3.4.5 光盘存储设备.....60
2.1.2 8086/8088 CPU..... 21	3.4.6 CD-ROM 及其驱动器.....61
2.1.3 80486 CPU..... 22	3.4.7 DVD.....62
2.1.4 Pentium CPU..... 25	3.5 本章小结.....62
2.1.5 Itanium 处理器..... 27	习题与思考题.....63
2.2 80486 的工作模式..... 28	第 4 章 指令系统.....64
2.2.1 实地址模式..... 28	4.1 80X86 指令系统的寻址方式.....64
2.2.2 保护虚地址模式..... 29	4.1.1 与数据有关的寻址方式.....64
2.2.3 虚拟 8086 模式..... 31	4.1.2 与转移地址有关的寻址 方式.....70
2.3 80486 的外部引脚介绍..... 31	4.2 80X86 微处理器的指令格式.....73
2.3.1 地址总线 and 数据总线..... 32	4.2.1 80X86 微处理器的指令 编码格式.....73
2.3.2 控制总线..... 32	4.2.2 Pentium 指令格式.....75
2.3.3 时钟信号..... 34	4.2.3 80X86 微处理器的 指令书写格式.....77
2.4 当前微处理器所使用的先进技术..... 34	
2.5 本章小结..... 35	

4.3	80X86 微处理器的指令系统	78	5.8.1	汇编语言源程序设计的 基本过程	144
4.3.1	数据传送类指令	78	5.8.2	顺序程序设计	145
4.3.2	算术运算类指令	85	5.8.3	分支程序设计	146
4.3.3	转移和调用指令	95	5.8.4	循环程序设计	148
4.3.4	逻辑运算和移位指令	101	5.8.5	子程序设计	150
4.3.5	串操作指令	103	5.9	程序设计举例	154
4.3.6	处理机控制指令	108	5.9.1	进制转换	154
4.4	Pentium 指令系统	109	5.9.2	人机对话	155
4.5	本章小结	112	5.10	本章小结	156
	习题与思考题	113		习题与思考题	157
第 5 章	汇编语言程序设计	115	第 6 章	接口技术与常见 接口芯片	158
5.1	汇编语句格式	115	6.1	接口技术概述	158
5.1.1	伪指令	115	6.1.1	接口电路的主要功能	158
5.1.2	常量和变量定义伪指令	119	6.1.2	I/O 端口	159
5.2	变量及变量定义伪指令	120	6.1.3	I/O 指令的两种寻址 方式	159
5.2.1	变量定义	120	6.1.4	I/O 端口编址	160
5.2.2	过程定义伪指令	122	6.1.5	端口地址译码技术	161
5.3	运算符和表达式	123	6.1.6	CPU 与 I/O 设备间的 数据传送	163
5.3.1	算术运算符	123	6.2	常用 I/O 接口芯片	165
5.3.2	逻辑运算符	123	6.2.1	可编程并行接口芯片 8255A	165
5.3.3	关系运算符	123	6.2.2	可编程串行通信接口 芯片 16550	178
5.3.4	分析运算符	124	6.2.3	可编程定时/计数器 8253/8254	192
5.3.5	综合运算符	124	6.2.4	DMA 控制器 8237A	205
5.4	宏指令语句	125	6.3	人机交互设备接口技术	218
5.4.1	宏指令的定义	125	6.3.1	键盘的分类	218
5.4.2	宏指令的使用	126	6.3.2	键盘的工作原理	219
5.4.3	宏嵌套	127	6.3.3	PC 系列机的键盘	221
5.4.4	LOCAL 伪指令的使用	128	6.3.4	鼠标接口	225
5.4.5	宏指令与子程序的区别	129	6.3.5	显示器接口技术	227
5.5	条件汇编伪指令	130	6.4	本章小结	235
5.6	汇编语言源程序的格式	130		习题与思考题	236
5.6.1	EXE 文件的编程格式	131			
5.6.2	COM 文件的编程格式	131			
5.6.3	EXE 文件和 COM 文件的内存映像	132			
5.6.4	程序段前缀	133			
5.7	汇编语言程序的上机过程	134			
5.8	汇编语言程序设计的基本方法	144			

第 7 章 中断技术	237	第 9 章 A/D 和 D/A 转换器	283
7.1 中断技术概述.....	237	9.1 D/A 转换器接口技术.....	283
7.1.1 中断的提出.....	237	9.1.1 D/A 转换器的主要性能指标.....	284
7.1.2 中断源和中断优先权.....	238	9.1.2 D/A 转换器的基本工作原理.....	284
7.2 80X86 中断系统.....	239	9.1.3 8 位 D/A 转换器接口设计.....	285
7.2.1 80X86 中断系统分类.....	239	9.1.4 12 位 D/A 转换器 DAC1210 接口设计.....	288
7.2.2 中断向量表.....	241	9.1.5 DAC1210 与微机 CPU 的接口设计.....	289
7.2.3 CPU 响应中断的流程.....	242	9.2 A/D 转换器接口技术.....	290
7.3 80X86 CPU 的异常处理功能.....	243	9.2.1 A/D 转换的工作过程.....	290
7.3.1 异常的 3 个层次.....	244	9.2.2 并行比较型 A/D 转换器.....	291
7.3.2 80X86 CPU 的异常类型.....	244	9.2.3 双积分式 A/D 转换器.....	291
7.4 保护虚拟地址方式下的中断管理.....	244	9.2.4 A/D 转换器接口的主要性能指标.....	294
7.4.1 中断描述符表 IDT.....	245	9.2.5 8 位 A/D 转换器接口设计.....	295
7.4.2 中断门和陷阱门的转移功能.....	245	9.2.6 12 位 A/D 转换器接口设计.....	299
7.4.3 任务门的转移功能.....	246	9.3 本章小结.....	304
7.5 8259A 可编程中断控制器件.....	246	习题与思考题.....	305
7.5.1 8259A 的功能.....	246	第 10 章 微机应用实例	306
7.5.2 8259A 的内部结构与引脚信号.....	247	10.1 内接插卡方式应用实例.....	306
7.5.3 8259A 的工作方式.....	249	10.1.1 基于 ISA 总线的应用实例.....	306
7.5.4 8259A 的级联.....	252	10.1.2 基于 PCI 总线的应用实例.....	308
7.5.5 8259A 的控制字与初始化编程.....	253	10.2 外部接口方式的应用实例.....	311
7.6 本章小结.....	257	10.2.1 基于 USB 总线的应用实例.....	311
习题与思考题.....	258	10.2.2 基于 I ² C 总线的应用实例.....	313
第 8 章 总线	259	10.3 本章小结.....	314
8.1 总线规范及性能指标.....	259	习题与思考题.....	315
8.2 总线分类.....	260	参考文献	316
8.2.1 内部总线.....	261		
8.2.2 系统总线.....	261		
8.2.3 外部总线.....	268		
8.3 本章小结.....	282		
习题与思考题.....	282		

第 1 章

微型计算机基础

微型计算机是由大规模集成电路组成的、体积较小的电子计算机。它是以微处理器为基础，配以内存存储器及输入输出（I/O）接口电路和相应的辅助电路而构成的裸机，特点是体积小、灵活性大、价格便宜、使用方便。把微型计算机集成在一个芯片上即构成单片微型计算机（Single Chip Microcomputer）。由微型计算机配以相应的外围设备（如打印机）及其他专用电路、电源、面板、机架以及足够的软件构成的系统叫作微型计算机系统（Microcomputer System）。

1.1 微型计算机基础知识

漫长的历史长河中，人类发明和创造了许多算法与计算工具，例如我国商朝时期的算珠、唐宋时期发明的算盘，欧洲 16 世纪以后出现的计算圆图、对数计算尺等。电子计算机是 20 世纪最重要的科技发明之一，它对人类活动的各个领域产生了重大而深远的影响。

1642 年，法国物理学家帕斯卡（Blaise Pascal）发明了齿轮式加法器。

1822 年英国剑桥大学查尔斯·巴贝奇（Charles Babbage）教授提出了“自动计算机”概念，于 1834 年设计成一台分析机，由五个基本部件组成，即输入装置、处理装置、存储装置、控制装置和输出装置。

1847 年英国数学家乔治·布尔（George Boole）创立了逻辑代数。

1944 年由美国哈佛大学霍华德·艾肯（Honward Aiken）设计、IBM 公司制造而成的 Mark I 计算机，使用十进制齿轮组作为存储器，使巴贝奇梦想变成了现实。

1946 年由美国宾夕法尼亚大学的约翰·莫克利（John Mauchly）和普雷斯普尔·埃克特（J.Presper Eckert）主持研制成的世界上第一台电子数字计算机“埃尼阿克”，使用 18800 多个电子管、1500 多个继电器，占地 170m²，重 30t，功耗 150kW，内存存储器容量 17 KB，字长 12 位，每秒完成 5000 次加法运算。由于存储容量小，没有完全实现“存储程序”思想。

1951 年冯·诺依曼（John von Neumann）主持研制成 EDVAC。它完全实现了“存储程序”的思想，故称为冯·诺依曼计算机。

自从第一台电子计算机诞生以来，计算机经历了四个时期，也称为四代。现在，又在向第五代智能化计算机的方向发展。

第一代计算机（1946~1958 年）的基本电子器件是电子管，主存使用延迟线，外存有穿孔纸带、穿孔卡片和磁鼓，运算速度为每秒几千到几万次，编程语言是最基本的机器语言和汇编语言，用于科学计算。特点是：存储容量小，体积大，功耗大，成本高。后期使用磁芯存储器，且出现

了高级语言。

第二代计算机（1959～1964 年）的基本电子器件是晶体管，主存使用磁芯存储器，外存有穿孔纸带、磁鼓、磁盘和磁带等。编程语言有汇编语言和高级语言，比如 FORTRAN、COBOL、ALGOL 等，且出现了操作系统，运算速度可达到每秒 100 万次以上。体积、功耗减小，可靠性提高，用于科学计算和自动控制。

第三代计算机（1964～1971 年）的基本电子器件是集成电路。主存以磁芯存储器为主，外存有磁盘和磁带。操作系统进一步发展，高级语言种类增加，功能增强。体积减小，功耗降低，运算速度达到每秒 1000 万次以上。产品向标准化、模块化和系列化的方向发展，且与通信技术结合，出现了计算机网络，用于科学计算、工业自动化控制、数据信息处理和事务管理等方面。

第四代计算机（1971 年到现在）的基本电子器件是大规模或超大规模集成电路，主存使用半导体存储器，外存主要有磁盘、磁带和光盘。产品进一步向标准化、模块化、系列化和多元化发展，运算速度达每秒几亿至千万亿次以上。在结构上产生了多处理机系统，尤其是上世纪 80 年代以来，微型机、多媒体计算机迅速发展，且与通信技术结合，产生了全球 Internet。

在第四代计算机产生以后，人们就期待第五代智能计算机的诞生，希望它能够模拟人的大脑、具有逻辑思维和推理功能。因此，随后出现了专家系统、人工智能、模糊计算机和神经网络技术的研究，如今，又开始了真实（现实）世界计算（Real World Computing）的研究。这些，标志着第五代计算机在向我们走来。

1.1.1 微处理器、微型计算机、微型计算机系统的概念

微型计算机在 20 世纪 70 年代登上历史舞台，成为当今计算机发展的一个主流方向。当前，微型计算机日益普及，其应用已深入到社会的各个角落，极大地改变着人们的工作方式、学习方式和生活方式，成为信息时代的主要标志。

1970 年大规模集成电路（LSI）研制成功，计算机发展到第四代，微型计算机是第四代计算机的典型代表。1971 年在美国硅谷第一块通用微处理器 Intel4004 诞生，开创了微型计算机的新时代。

微处理器（也称微处理机）是由一片或几片大规模集成电路组成的中央处理器，一般也称为 CPU（Center Process Unit）。其内部通常包括算术逻辑部件、累加器和通用寄存器组、程序计数器、时序和控制逻辑部件、内部总线等。微处理器的发展大致经历了如下阶段，如表 1-1 所示。

表 1-1 微处理器的发展

	第一代 1971 年～1973 年	第二代 1974 年～1977 年	第三代 1978 年～1980 年	第四代 1980 年以后
典型的微处理器芯片	Intel 4004 Intel 4040 Intel 8008	Intel 8080 M6800 Z-80	Intel 8086/8088 M68000	Intel 80X86 M68020 Z-80000
字长（位）	4/8	8	16	16/32
集成度（晶体管数/芯片）	1000～2000	5000～9000	20000～70000	>100000
时钟频率（MHz）	0.5～0.8	1～4	5～10	>10
数据总线宽度（位）	4/8	8	16	16/32
地址总线宽度（位）	4～8	8	20～24	20～32

续表

	第一代 1971 年 ~ 1973 年	第二代 1974 年 ~ 1977 年	第三代 1978 年 ~ 1980 年	第四代 1980 年以后
存储容量	≤16KB 实存	≤64KB 实存	≤1MB 实存	≤4GB 实存和 64GB 虚存
指令执行时间 (μs)	10 ~ 15	1 ~ 2	<1	<0.125
软件水平	机器语言 汇编语言	汇编语言 高级语言 操作系统	汇编语言 高级语言 操作系统	汇编语言 高级语言 部分软件硬化

微型计算机（简称微机或微型机）是以微处理器为核心，配上输入输出接口电路和系统总线构成的裸机。微型计算机通常是指计算机的硬件（硬设备），包括主机、显示器、鼠标和键盘等。

微型计算机系统是指以微型计算机为主体，再配以相应的外围设备、电源、辅助电路和所需要的软件而构成的计算机系统。常用的外围设备有显示器、打印机、键盘等；系统软件一般包括操作系统、编译、编辑、汇编软件等。

微处理器、微型计算机和微型计算机系统三者关系如图 1-1 所示。微型计算机、微型计算机系统都是以微处理器为基础，加上相应的硬件和软件组装而成的。需要注意，单纯的微处理器不是计算机，单纯的微型计算机也不是完整的计算机系统，它们都不能独立地工作，只有微型计算机系统才是完整的计算机系统，才有实用意义。

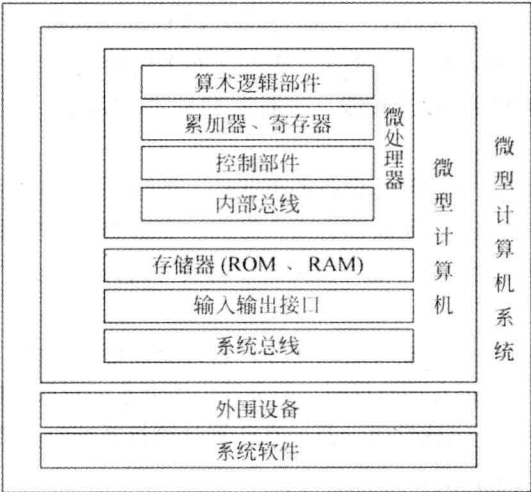


图 1-1 微处理器、微型计算机和微型计算机系统三者的关系

1.1.2 微型计算机系统的主要技术指标

1. 字长

字长是计算机内部一次可以处理的二进制数码的位数。一般一台计算机的字长取决于它的通用寄存器、内存储器、算术逻辑单元（ALU）的位数和内部数据总线的宽度。字长越长，一个字所能表示的数据精度就越高；在完成同样精度的运算时，则数据处理速度越高。然而，字长越长，计算机的硬件代价相应也越大。为了兼顾精度 / 速度与硬件成本两方面，有些计算机允许采用变

字长运算。

一般情况下，CPU 的内、外数据总线宽度是一致的。但有的 CPU 为了改善运算性能，加宽了 CPU 的内部总线宽度，致使内部字长和外部数据总线宽度不一致，如：Intel 8088/80188 的内部数据总线宽度为 16 位，外部为 8 位，对这类芯片，称之为“准 XX 位”CPU，因此 Intel 8088/80188 被称为“准 16 位”CPU；Pentium CPU 的外部数据总线宽度却是内部字长的 2 倍。

2. 存储器容量

存储器容量是衡量计算机存储二进制信息量大小的一个重要指标。它指的是存储设备可容纳二进制信息的最大字节数。存储二进制信息的基本单位是位（bit）。一般把 8 个二进制位组成的通用基本单元叫作字节 B（Byte 的缩写）。微型计算机中通常以字节为单位表示存储容量，并且将 1024B 称为 1KB（千字节），1024KB 称为 1MB（兆字节），1024MB 称为 1GB（吉字节），1024GB 称为 1TB（太字节）。286 以上的微机一般都具有 1MB 以上的内存容量和 40MB 以上的外存容量。

3. 运算速度

计算机的运算速度一般用每秒钟所能执行的指令条数来表示。由于不同类型的指令所需时间长度不同，因而运算速度的计算方法也不同。常用计算方法有：

（1）将不同类型的指令出现的频度乘上不同的系数，求得统计平均值，得到平均运算速度，这时常用 MIPS（Millions of Instruction Per Second，即百万条指令 / 秒）作单位。

（2）以执行时间最短的指令（如加法指令）为标准来估算速度。

（3）直接给出 CPU 的主频和每条指令执行所需的时钟周期。主频为 CPU 的额定工作频率，亦称内频，为 CPU 工作周期的最小时序，直接反映了 CPU 的工作速度。主频一般以 MHz 为单位。目前，微机的主频已达 1000MHz（1GHz），但与之相关的系统总线工作速率（外频）因受主板芯片组和内存工作频率的制约，提升较慢，一般为 133 ~ 200MHz。

4. 外设扩展能力

这主要指计算机系统配接各种外部设备的可能性、灵活性和适应性。一台计算机允许配接多少外部设备，对于系统接口和软件研制都有重大影响。在微型计算机系统中，打印机型号、显示器屏幕分辨率，外存储器容量等，都是外设配置中需要考虑的问题。

5. 软件配置情况

软件是计算机系统必不可少的重要组成部分，它的配置是否齐全，直接关系到计算机性能的好坏和效率的高低。例如，是否有功能很强、能满足应用要求的操作系统和高级语言、汇编语言，是否有丰富的、可供选用的应用软件等，都是在购置计算机系统时需要考虑的。

1.1.3 微型计算机的应用概况

微型计算机具有广阔的应用领域，已深刻影响了我们工作、学习和生活的各个方面。微型计算机的典型应用包括科学计算、实时控制、信息处理、计算机辅助技术、家用电器、人工智能等。

科学研究和工程技术计算领域是微型计算机应用最早的领域，也是应用得较广泛的领域。微型计算机在工业测量和控制方面的应用已十分成熟和广泛，应用于工业、农业、科学技术、国防以至我们日常生活等各个领域。信息处理又称为数据处理，是指微型计算机用于处理生产、经济活动、社会和科学研究中获得的大量信息。计算机在发展初期仅仅用于数值计算，后来其应用范围逐渐发展到非数值计算领域，可用来处理文字、表格、图像、声音等。计算机辅助技术包含计算机辅助设计（CAD）、计算机辅助制造（CAM）、计算机辅助测试（CAT）、计算机辅助教学（CAI）

等。办公自动化系统是以支持办公自动化为目的的一个信息系统，如日程管理、电子邮件、电子会议、文档管理、统计报表等，并能辅助管理和决策。目前，家用电器不仅使用各种类型的个人计算机，而且将单片机广泛应用于微波炉、磁带录音机、自动洗涤机、煤气用定时器、家用空调设备控制器、电子式缝纫机、电子玩具、游戏机等。人工智能的研究课题是多种多样的，诸如计算机学习、计算机证明、景物分析、模拟人的思维过程和研制机器人等。

1.2 微型计算机中的数据类型

在日常生活中，人们最常用的是十进制数，但是在电子器件中表示两种状态比较容易实现，也便于存储和运算，因此在计算机中一般采用二进制数。因为二进制数书写格式冗长，不便于阅读，所以程序设计中又常常使用十六进制数、八进制数、二一十进制数等。

1.2.1 常用数据类型

1. 十进制数

在程序设计中，人们广泛使用十进制数。十进制数的特点是：每一位有 0~9 十种数码，基数为 10，高位权是低位权的 10 倍，加减运算的法则为“逢十进一，借一当十”。

2. 二进制数

在计算机内部所有信息都以二进制数形式出现。二进制数的特点是：只有两个不同的数字，即 0 和 1，因此基数为 2，高位权是低位权的 2 倍，加减运算的法则为“逢二进一，借一当二”。

3. 八进制数

八进制数是二进制数的另一种书写形式，把 3 位二进制数作为一组，每一组用等值的八进制数（实际上是十进制数中的 0~7）来表示。八进制数的特点是：每一位有 0~7 这 8 种数码，因此基数为 8，高位权是低位权的 8 倍，加减运算的法则为“逢八进一，借一当八”。

4. 十六进制数

十六进制数也是二进制数的另一种书写格式。十六进制数的特点是：每一位有 0~9 和 A~F 这 16 种数码，因此基数为 16，高位权是低位权的 16 倍，加减运算的法则为“逢十六进一，借一当十六”。

1.2.2 数制转换

1. 二进制数转换为十进制数

二进制数第 0 位的权值是 2 的 0 次方，第 1 位的权值是 2 的 1 次方……设有一个二进制数 0110 0100，转换为 10 进制为：

$$0 \times 2^0 + 0 \times 2^1 + 1 \times 2^2 + 0 \times 2^3 + 0 \times 2^4 + 1 \times 2^5 + 1 \times 2^6 + 0 \times 2^7 = 100$$

$$\text{去除乘积为 0 的几项简化为：} 1 \times 2^2 + 1 \times 2^5 + 1 \times 2^6 = 100$$

下面是竖式将 0110 0100 换算成十进制数：

$$\text{第 0 位 } 0 \times 2^0 = 0$$

$$\text{第 1 位 } 0 \times 2^1 = 0$$

$$\text{第 2 位 } 1 \times 2^2 = 4$$

$$\text{第 3 位 } 0 \times 2^3 = 0$$

$$\begin{aligned}
 &\text{第 4 位 } 0 \times 2^4 = 0 \\
 &\text{第 5 位 } 1 \times 2^5 = 32 \\
 &\text{第 6 位 } 1 \times 2^6 = 64 \\
 &+ \text{第 7 位 } 0 \times 2^7 = 0 \\
 &\hline
 \end{aligned}$$

100

2. 八进制数转换为十进制数

八进制就是逢 8 进 1，八进制数采用 0~7 这八个数来表达一个数。八进制数第 0 位的权值为 8 的 0 次方，第 1 位权值为 8 的 1 次方，第 2 位权值为 8 的 2 次方……

例如八进制数 1507 转换为十进制为：

$$7 \times 8^0 + 0 \times 8^1 + 5 \times 8^2 + 1 \times 8^3 = 839$$

用竖式表示为：

$$\begin{aligned}
 &\text{第 0 位 } 7 \times 8^0 = 7 \\
 &\text{第 1 位 } 0 \times 8^1 = 0 \\
 &\text{第 2 位 } 5 \times 8^2 = 320 \\
 &+ \text{第 3 位 } 1 \times 8^3 = 512 \\
 &\hline
 \end{aligned}$$

839

3. 十进制数转换为二进制数

十进制数转换成二进制数，这是一个连续除 2 的过程：把要转换的数，除以 2，得到商和余数，将商继续除以 2，直到商为 0，最后将所有余数倒序排列，得到数就是转换结果。例如将十进制数 6 转换为二进制数，结果为 110。用表格来表示，则为：（在计算机中，÷ 用 / 来表示）

被除数	计算过程	商	余数
6	6/2	3	0
3	3/2	1	1
1	1/2	0	1

4. 十进制数转换为八、十六进制数

十进制数转换成八进制的方法和转换为二进制的方法类似，唯一变化是除数由 2 变成 8。例如将十进制数 120 转换成八进制数，结果为 170。用表格表示，则为：

被除数	计算过程	商	余数
120	120/8	15	0
15	15/8	1	7
1	1/8	0	1

十进制数转换成十六进制的方法和转换为二进制的方法类似，唯一变化是除数由 2 变成 16。同样是十进制数 120，转换成十六进制结果为 78。用表格表示，则为：

被除数	计算过程	商	余数
120	120/16	7	8
7	7/16	0	7

5. 二进制数和十六进制数互相转换

二进制和十六进制的互相转换比较重要。不过二进制数转换为十六进制却不用计算，直接就能转换为十六进制数，反之亦然。

二进制数要转换为十六进制数，就是以 4 位一段，分别转换为十六进制数。

例如二进制数：1111 1101, 1010 0101, 1001 1011

转换为十六进制数为：F D , A 5 , 9 B

反过来，当我们看到 FD 时，如何迅速将它转换为二进制数呢？

先转换 F 为 1111，接着转换 D 为 1011。所以，FD 转换为二进制数为：1111 1011。

由于十六进制转换成二进制相当直接，所以，我们需要将一个十进制数转换成二进制数时，也可以先转换成十六进制，然后再转换成二进制。

1.2.3 有符号数的表示

微机可以看作一个只有两个状态的部件，因此任何被处理的数据都要转换为“0”和“1”的有序组合。计算机中的数包括无符号数和有符号数两种，这两种数在机器中的表示形式，统称为机器数。通常把用“+”、“-”表示的数称为真值数。把二进制数的最高一位定义为符号位，符号位为 0 表示正数，符号位为 1 表示负数，把用符号位上的 0、1 来表示正、负的数称为有符号数的机器数。有符号的机器数的表示方法常用的有原码、反码和补码。

1. 机器数的原码

对一个二进制数而言，若是最高位表示数的符号（常以 0 表示正数，1 表示负数）、其余各位表示数值本身，则将该数称为原码。如：

原码	真值数
+81=01010001	+1010001
-81=11010001	-1010001
+0=00000000	+0000000
-0=10000000	-0000000

可以看到，在八位机器字长表示数据的计算机中，表示 +81 和 -81 的原码的低七位是相同的。原码简单，与真值转换方便。

2. 机器数的反码

正数的反码与其原码相同，最高位为 0 表示正数，其余位为数值位。负数的反码是其对应的正数连同符号位取反求得。如：

原码	反码
+81=01010001	01010001
-81=11010001	10101110
+0=00000000	00000000
-0=10000000	11111111

3. 机器数的补码

正数的补码与其原码相同，负数的补码为其反码加 1，即在其反码的最低位加 1 得到。例如：

原码	反码	补码
+81=01010001	01010001	01010001
-81=11010001	10101110	10101111

$+0=00000000$	00000000	00000000
$-0=10000000$	11111111	00000000

补码表示法的特点是：使符号位参加运算，从而简化了加、减法的规则；使减法运算转换为加法运算，从而简化了机器的运算器电路。

补码加减法的规则是： $[X \pm Y]_{\text{补}} = [X]_{\text{补}} + [\pm Y]_{\text{补}}$ 。

例 1：以 2^8 为模，设 $[X]_{\text{补}} = 00000100$ ， $[Y]_{\text{补}} = 11110010$ ，求 $[X+Y]_{\text{补}}$ 和 $[X-Y]_{\text{补}}$ 。

解： $[X+Y]_{\text{补}} = [X]_{\text{补}} + [Y]_{\text{补}} = 00000100 + 11110010 = 11110110$ （-10 的补码）

$[X-Y]_{\text{补}} = [X]_{\text{补}} + [-Y]_{\text{补}} = 00000100 + 00001110 = 00010010$ （18 的补码）

补码的另一种表示方法为使用模的方法。模是计量器的最大容量。4 位寄存器能够存放 0000 ~ 1111 共计 16 个数，因此它的模为 16。一个 8 位寄存器能够存放 00000000 ~ 11111111，共计 256 个数，因此它的模为 256，依次类推，32 位寄存器的模是 2^{32} 。有了模的概念后，我们可以很容易地得到二进制的另一种补码表示方法，即

$$[X]_{\text{补}} = 2^n + X \quad (\text{模 } 2^n - n \text{ 位二进制数})$$

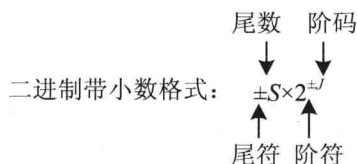
从上式可以看出：当 X 为正数时， $[X]_{\text{补}}$ 就是 X 本身；当 X 为负数时， $[X]_{\text{补}}$ 就是从 2^n 中减去 X 的绝对值。有兴趣的读者可以自行验证上述例子，看从中能得出什么结论。

4. 无符号数

在实际处理问题时，如果参加运算的数都是正数或者数的符号是没有意义的，则可以不关心符号问题，此时数的符号位就是数值的一部分了，这样的数称为“无符号数”。在微机中内存地址就是用无符号数来表示的。

5. 数的浮点表示法

在计算机中，数有两种表示方法，即定点和浮点表示法。所谓定点表示法，就是小数点在数中的位置是固定不变的；浮点表示法就是小数点在数中的位置是浮动的。对于整数，小数点约定在最低位的右边，称为定点整数。对于纯小数，小数点约定在符号位之后，称为定点小数。只有在高级语言程序中才用到浮点数，且它有一套运算法则。在微型计算机中指令运算的操作数是定点整数，汇编语言涉及的都是整数。



浮点数主要由阶码和尾数两部分组成，阶码表示小数点的实际位置，尾数表示有效数值的大小。规格化浮点数中尾数是纯小数，即小数点后是 1 不是 0；阶码是整数。

计算机硬件常用以下格式存储一个浮点机器数，其格式如图 1-2 所示。

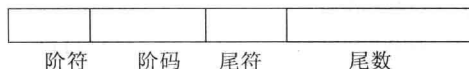


图 1-2 浮点数存储格式

(1) 浮点机器数将符号数值化，阶符和尾符各占一位。阶码和尾码若干位，阶码为纯小数。尾符和尾数之间是小数点约定位置。

(2) 在定字长条件下，浮点数所能表示的真值范围比定点数大，分配给阶码的位数越多，表

示的数的范围越大。但由于尾数的位数减少, 数的精度减小。

例 2: 设字长为 16 位, 其中, 阶符 1 位, 阶码 4 位, 尾符为 1 位, 尾数 10 位。要求把 $X = -101101.0101\text{B}$ 写成规格化的浮点补码数, 阶码和尾数均为补码表示。

解: 首先把 X 写成规格化的浮点真值: $X = -0.1011010101 \times 2^{+6}$

则规格化的浮点补码数如图 1-3 所示。

0	0110	1	0100101011
阶符	阶码	尾符	尾数

图 1-3 浮点数存储

例 3: 设阶码用原码表示, 尾数用补码表示, 求图 1-4 所示浮点机器数的真值。

0	0010	1	0010011001
阶符	阶码	尾符	尾数

图 1-4 浮点数存储

解: 真值 $= -0.1101100111 \times 2^{+2}$

6. 进位和溢出

进位是运算结果符号位向更高位的进位, 进位位保存在进位标识位中。

在对两个带符号的二进制数进行补码运算时, 若运算结果的绝对值超过运算装置的容量, 数值部分便会发生溢出, 占据符号位的位置, 从而引起计算出错。这和补码运算过程中的正常溢出(符号位的进位)性质上是不同的。正常溢出是以 2^n (n 为二进制数的位数) 为模的溢出, 它被自然丢失, 不影响结果的正确性。例如以 2^5 为模, 除符号位外有 4 位用来表示数值, 补码运算中的溢出和符号位的进位分别如下:

$01101\text{B} (13) + 00111\text{B} (7) = 1\ 0100\text{B} = -12$ ——溢出

$11100\text{B} (-4) + 11100\text{B} (-4) = 1\ 11000\text{B} = -8$ ——符号位进位, 自认丢失

任何一种运算都不允许发生溢出, 除非是只利用溢出作为判断而不使用所得的结果, 所以当溢出产生时, 应使计算机停机或进入检查程序找出溢出原因, 然后做相应处理。

进位和溢出所表示的物理含义是不同的: 进位一般描述无符号数结果的正确与否, 溢出主要描述有符号数运算结果的正确与否。至于运算的两个操作数是有符号数还是无符号数由程序员根据实际的物理意义而定。

1.2.4 常用的编码

1. BCD 码

由于二进制数比较冗长, 再加上计算机采用二进制数, 人们实际处理时不方便, 所以必须对十进制的 0~9 这十个数字进行二进制编码。但从二进制数直接看出所对应的十进制数是比较困难的。虽然我们学过二—十进制的转换, 但这种转换比较慢, 这是一个明显的缺点。为此, 人们提出了一个比较适合十进制的二进制码的特殊形式, 即二—十进制码, 通常用英文字母 BCD (Binary Coded Decimal) 表示, BCD 码具有二进制和十进制两种数制的某些特征。BCD 编码用 4 位二进制码表示 0~9 的十进制数。它采用了标准 8421 的纯二进制码的十六个状态, 其中只有 0000~1001 十个码有效, 其余 1010~1111 没有使用, 它的表示规则以及与十进制数之间的等价关系如表 1-2