

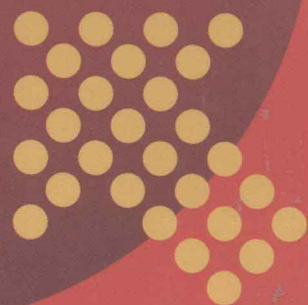
21世纪高等学校规划教材



WEIXING JISUANJI YUANLI
JI YINGYONG JISHU

微型计算机原理 及应用技术

李晖 许会 刘阳 编著



中国电力出版社

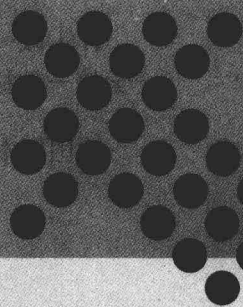
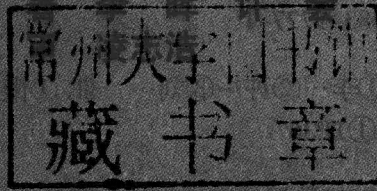
<http://jc.cepp.com.cn>

微型计算机原理及应用技术 第2版 刘阳 主编
本书可作为高等院校计算机专业及相关专业教材，也可供从事计算机工作的工程技术人员参考。
本书可作为高等院校计算机专业及相关专业教材，也可供从事计算机工作的工程技术人员参考。

WEIXING JISUANJI YUANLI
JI YINGYONG JISHU

微型计算机原理 及应用技术

编 者 刘 阳



中国电力出版社
<http://jc.cepp.com.cn>

内 容 提 要

本书为 21 世纪高等学校规划教材。

全书共分 8 章，主要内容包括微型计算机组成与数制表示、Intel 8086 CPU 内部结构及指令系统、汇编语言程序设计、Intel 8086 CPU 外部硬件特性、存储器原理及设计、输入输出系统、I/O 接口技术及应用（定时与计数技术、并行接口技术、串行接口技术、DMA 技术、模拟量输入输出接口技术）、中断技术等。

本书可作为自动化、计算机科学与技术、电子信息工程、通信工程等相关专业本专科教材，也可供相关工程技术人员参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

微型计算机原理及应用技术 / 李晖, 许会, 刘阳编著. —北京:
中国电力出版社, 2010.1

21世纪高等学校规划教材

ISBN 978-7-5083-9777-1

I. ①微… II. ①李…②许…③刘… III. ①微型计算机—高等
学校—教材 IV. ①TP36

中国版本图书馆CIP数据核字 (2009) 第215705号

中国电力出版社出版、发行

(北京三里河路6号 100044 <http://jc.cepp.com.cn>)

汇鑫印务有限公司印刷

各地新华书店经售

*

2010年2月第一版 2010年2月北京第一次印刷
787毫米×1092毫米 16开本 1475印张 358千字
定价 23.60元

敬告读者

本书封面贴有防伪标签，加热后中心图案消失
本书如有印装质量问题，我社发行部负责退换

版 权 专 有 翻 印 必 究

前 言

随着信息时代的到来,计算机已经成为人们生活中不可缺少的有力工具。对于高等院校的学生来说,掌握计算机原理有助于更好的利用它。

“微型计算机原理及应用技术”作为高等院校工科专业的一门重要课程,是电子信息类专业必修的专业基础课与专业主干课,也是其他相关专业必修的专业基础课。其目的和任务是使学生了解微型计算机产生的历史和发展趋势,加强学生对微型计算机硬件组成的理解,掌握微型计算机的基本特点、结构和原理,掌握具体的指令系统、接口方法,提高学生对于计算机应用和硬件开发能力。

本书是在课程组长博士生导师许会教授的支持下,总结多年教学经验编写的。本书以 Intel8086 微型计算机为依托平台,从课程教学目标出发,本着三个突出(突出课程重点、突出基本原理、突出实践性)的原则、以人对新知识掌握理解的规律出发,由浅入深、循序渐进。本书编写特别是突出了原理的普遍性,以适应 Intel 系列 CPU 的发展;采用大量的例题、突出了实践性,达到理论与实践相结合的目的。

本书包括三个部分:CPU 结构与工作原理、指令系统与汇编语言程序设计、存储器及 I/O 接口技术应用。其主要内容有:微型计算机组成与数制表示、Intel8086CPU 内部结构及指令系统、汇编语言程序设计、Intel8086CPU 外部硬件特性、存储器原理及设计、输入输出系统、I/O 接口技术及应用(定时与计数技术、并行接口技术、串行接口技术、DMA 技术、模拟量输入输出接口技术)、中断技术等。

通过本课程的学习,学生可以了解:微型计算机的发展历史和发展趋势,微型计算机的特点及应用;微型计算机的基本工作原理;8086/8088 微处理器的结构、工作模式;8086/8088CPU 时序;中断类型,中断优先级;汇编语言的作用和地位,系统功能调用的方法,Debug 程序的使用。理解补码的定义,运算方法;计算机中指令的读取和执行过程,存储器的原理;中断处理的一般过程;I/O 接口电路的编址方式及与微处理器的连接。掌握数制转换方法,带符号数在计算机中的表示方法;微型计算机系统的组成;8086/8088CPU 的中断系统结构,中断向量表的含义;标志位的含义、判别及作用;操作数的存储及寻址方式;8086/8088 存储器管理和物理地址生成方式;简单汇编程序的编制;CPU 与存储器的连接;微机 I/O 信号的类型;串、并行通信的基本知识及应用;输入/输出的控制方式,I/O 接口的基本功能和基本结构,并对微机系统设计与实现的思想有清晰的理解并且掌握 CPU 的构成和应用方法。

本书适用于 40~48 学时的教学安排,未附实验部分。作者还将提供本书各章后的习题答案与配套的电子课件,以供教师、学生及广大读者参考。

参与本书编写有李晖、许会、刘阳,参与本书编排工作的有何志强、常全成、郭长顺、孙兵兵等。

本书由华东理工大学凌志浩教授主审,他给本书提供了许多改进意见,在此表示深深的感谢。

在本书的编写过程中,参阅了大量的资料、文献和网站等,在参考资料中已尽量列出,

但恐仍有遗漏，在此表示歉意。在这里对这些作者的辛勤劳动和付出致以由衷的敬意。

本书可以作为大学电子信息类专业“微型计算机原理”课教材、大学工科各专业计算机硬件技术基础教材，也可以作为普通读者和从事计算机硬件开发的工程技术人员的自学参考书。

由于编写工作时间紧，书中难免存在错漏和不足之处，欢迎广大师生和读者批评指正。我们的电子信箱为：diale6@yahoo.com.cn。

编 者

2009年9月

目 录

前 言	
第 1 章 微型计算机	1
1.1 微型计算机的发展及应用	1
1.2 微型计算机系统	3
1.3 计算机中数的表示	7
习题	14
第 2 章 8086 基本结构与指令系统	16
2.1 8086 微处理器基本结构	16
2.2 8086 指令格式及寻址方式	21
2.3 8086 指令系统	29
习题	56
第 3 章 汇编语言程序设计	60
3.1 汇编语言基础	60
3.2 伪指令	68
3.3 系统功能调用	72
3.4 汇编语言程序设计	74
习题	93
第 4 章 8086 微处理器的硬件特性	96
4.1 8086 微处理器总线基本概念	96
4.2 8086 芯片引脚及功能	98
4.3 8086 CPU 总线工作时序	103
4.4 8086 工作模式系统配置	105
4.5 最小模式下总线操作	112
4.6 最大模式下总线操作	114
习题	118
第 5 章 半导体存储器	119
5.1 存储器和存储器件	119
5.2 内存容量扩展	130
5.3 存储器地址译码	132
5.4 存储器系统设计	135
5.5 8086 存储器	137
习题	141
第 6 章 输入/输出系统	142
6.1 概述	142

6.2	数据传送方式	145
6.3	I/O 端口地址译码与读写控制	151
	习题	153
第 7 章	外围接口器件及应用	154
7.1	可编程定时器/计数器 8254	154
7.2	可编程并行接口芯片 8255A	166
7.3	串行通信及可编程串行通信接口芯片 8251A	182
7.4	DMA 控制器 8237A	189
7.5	D/A、A/D 转换器	198
	习题	207
第 8 章	中断系统	210
8.1	中断基本概念	210
8.2	8086 中断系统	213
8.3	中断处理器 8259A	218
	习题	226
参考文献	228

第 1 章 微型计算机

本章主要介绍两部分内容：微型计算机概况以及计算机中信息与数据的表示与运算。其中，微型计算机概况包括微型计算机的发展历史和发展趋势、微型计算机的特点及应用、微处理器、微型计算机和微型计算机系统的组成、微型计算机工作过程、微机系统外围设备的连接等；计算机中信息与数据的表示与运算部分包括计算机中信息的表示与运算，二进制、八进制、十六进制、十进制数相互之间的转换、带符号数表示、机器数表示、ASCII 码、BCD 码表示。

要求掌握：①微处理器、微型计算机和微型计算机系统的差别；②CPU 的组成部件；③微处理器的性能指标；④微型计算机的基本结构；⑤进制转换、机器数表示、二进制计算。

1.1 微型计算机的发展及应用

1.1.1 电子计算机的发展

1946 年 2 月，美国宾夕法尼亚大学的莫尔学院物理学博士莫克利 (I. W. Mauchy) 和电气工程师埃克特 (J. P. Ecken) 领导的开发小组研制了世界上第一台用于军事科学计算的数字式电子计算机 (Electronic Number Integrator And Calculator, ENIAC)，开启了计算机发展的历程。

自 1946 年 ENIAC 计算机诞生后，60 多年时间里，随着电子器件的不断发展，计算机技术得以迅速发展，集成度不断增加、体积不断缩小，技术不断完善、价格不断下降、应用日趋广泛，目前计算机应用已渗透到社会生活的各个领域，计算机已成为信息化水平的重要标志。电子计算机的发展以电子器件发展为标志，经历了电子管、晶体管、集成电路 (IC) 和超大规模集成电路 (VLSI) 四个时代。

第一代 (1946~1957 年)：电子管计算机时代。这个时代采用电子管作为逻辑部件，以磁芯和磁鼓等作为主存储器，外存采用纸带或卡片等，该阶段的计算机体积大、耗电多、运算速度慢、内存容量小。硬件结构是以运算器为中心包含运算部件、控制部件、存储部件和输入/输出部件的冯·诺伊曼结构。软件方面最初只能使用二进制表示的机器语言，后期采用汇编语言。这个时期，计算机主要用于科学计算和军事方面。

第二代 (1958~1964 年)：晶体管计算机时代。这个时代采用晶体管代替电子管作为逻辑部件，用磁芯、磁盘、磁带作为存储器，这个时代计算机体积显著减小、可靠性提高、运算速度可达每秒上百万次。软件方面出现了不依赖于机器的高级程序设计语言和编译系统，简化了编程，并建立了批处理程序。该阶段计算机应用重点在于以管理、工程设计为目的的信息处理。

第三代 (1965~1971 年)：集成电路计算机时代。这个时代采用中、小规模集成电路为主要部件，半导体存储器逐步代替磁芯存储器，体积进一步缩小、运算速度达每秒上千万次，可靠性大大提高。硬件设计采用标准化、模块化、系列化，提高了系统的兼容性，降低了成本。软件方面，操作系统及功能日臻成熟完善，出现了结构化程序设计方法。这一时

代, 通信与计算机技术相互融合, 出现了计算机网络, 进一步扩大了计算机的应用范围。

第四代 (1971 年至今): 大规模集成电路和超大规模集成电路计算机时代。这个时代采用大规模集成电路 (LSI) 和超大规模集成电路 (VLSI) 为主要功能部件, 存储器采用半导体存储器和磁盘, 集成度进一步增加, 运算速度可达每秒上亿次, 在存储容量、可靠性和性能价格比等方面比第三代计算机有了很大突破。软件方面产生面向对象方法, 分布式操作系统、数据库管理系统等得到广泛的应用。

1.1.2 微型计算机的发展及特点

第四代计算机的一个重要标志是微型计算机和微处理器。所谓微型计算机 (Micro Computer) 是指体积、质量、计算能力都相对比较小的一类计算机, 主要是指个人使用的计算机 (PC) 和结构相对简单的工业控制计算机 (工控机)。微型计算机具有体积小、质量轻、结构灵活、可靠性高、价格低廉、应用广泛的特点。

自 1971 年 Intel 公司 Intel 4004—4 位微处理器问世以来, 微处理器按摩尔定律得到了异乎寻常的发展, 微处理器的发展决定了微型计算机发展, 到目前为止经历了四个阶段。

第一阶段 (1971~1973 年), 这个阶段产品主要以 Intel 公司字长为 4 位微处理器 4040 的 MCS-4 微型计算机为开端, 进而推出字长为 8 位微处理器 8008, 并以 8008 微处理器为核心制成 MCS-8 型微型计算机。该阶段特点字长为 8 位, 时钟频率为 0.5MHz, 指令执行周期为 $20\mu\text{s}$, 芯片集成度为 3500 晶体管/片, 指令系统和处理器功能比较完善。

第二阶段 (1973~1977 年), 这个阶段产品有 Intel 公司的字长为 8 位微处理器 8080 的 MCS-80 型微型计算机, 基本指令执行时间缩短到 $2\mu\text{s}$, 具有 8 级中断功能, 多种寻址方式, 并配备有高级语言。此外, 还有 Motorola 公司的 M6800 微型计算机、Zilog 公司 Z80 和 Intel 公司 8085。该阶段特点字长为 8 位, 时钟频率约为 2MHz, 指令执行周期缩短为 $2\mu\text{s}$, 芯片集成度达到 5000 晶体管/片。

第三阶段 (1978~1983 年), 这个阶段是 16 位微型计算机的发展阶段。各公司相继推出 16 位微处理器芯片, 如 Intel 公司的 8086 芯片, 主要产品为 IBM 公司生产的著名的 IBM PC 微型计算机。此外, 这一阶段的产品还有 Motorola 公司的 M68000、Zilog 公司 Z8000。随着 16 位微机产品的普及, 微机整机的硬件和软件, 包括语言、操作系统、开发系统、配套外部设备等得到了蓬勃发展。该阶段特点字长为 16 位, 时钟频率约为 5MHz, 指令执行周期缩短为 $0.5\mu\text{s}$, 芯片集成度约为 3 万晶体管/片。

第四阶段 (1984 年至今), 这个阶段是 32 位微型计算机的发展阶段。1981 年初在国际固体电路会议 (ISSCC) 上发表了几篇关于 32 位微机的研究成果论文; 1983 年美国国家半导体公司抢先将 NS32032 微处理器推入市场, 1984 年 Intel 公司推出了人们所熟知的以 80386 微处理器为核心的 386PC, 时钟频率为 16MHz, 基本指令执行周期为 $0.1\mu\text{s}$, 集成度高达 27.5 万晶体管/片。从此, Intel 公司陆续推出 80486 微处理器、“奔腾” (Pentium) 的微处理器, 它具有 64 位的内部数据通道, 故可称为 64 位处理器, 并于 20 世纪末推出 P6 和 P7 微处理器, 集成度达到 1000 万个以上晶体管/片, 运行速度为 10 亿次/s。32/64 位微型计算机是微机和整个计算机发展的一个新的里程碑。

回顾微型计算机的发展历程, 可以得出微处理器的发展决定了计算机的发展。

1.1.3 微型计算机的应用

微型计算机在社会经济发展和全球经济一体化、国家信息现代化中的作用已得到了充分

肯定。由于微型机具有体积小、质量轻、价格低、耗电少和可靠性高等优点，所以在科学计算、信息处理、事务管理和过程控制、智能仪器、仪表、家用电器、民用和军用产品控制、辅助制造、计算机仿真等方面得到广泛应用，并且在日常生活中也发挥了不可缺少的作用。计算机的应用可以大大提高产品开发周期、产品设计质量、工作效率和管理水平。归纳起来有如下五个方面。

1. 科学计算

科学计算的特点是计算量大和数值变化范围大，因而一直是微型计算机的重要应用领域之一。在天文学、量子化学、空气动力学、核物理学、军事、民用等领域中，计算机得到广泛应用。用多片微处理器构成的并行处理器满足了各种科学计算的需要。

2. 管理和信息处理

在企业管理、金融商贸、办公事务、教育卫生、军事活动、情报检索等领域，都需要利用计算机对大量的数据进行搜索、归纳、分类、整理、存储、统计和分析，处理结果往往以图表形式输出。

3. 生产过程的自动控制

现代化工厂里，计算机普遍用于生产过程的自动控制，例如计算机控制配料、温度、阀门的开闭等。

4. 计算机辅助设计/计算机辅助制造 (CAD/CAM)

为了提高产品质量，缩短周期，降低成本，在飞机、汽车、船舶、机械、建筑工程、集成电路等行业中，设计和制造人员借助于计算机自动或半自动地完成设计和产品制造所采用的技术，称为计算机辅助设计 (Computer Aided Design, CAD) 和计算机辅助制造 (Computer Aided Manufacturing, CAM)。CAD/CAM 技术发展非常迅速，应用范围不断扩大，并衍生出许多新的技术分支，如计算机辅助测试 (Computer Aided Test, CAT)、计算机辅助工艺规划 (Computer Aided Process Planning, CAPP) 等。形成计算机综合应用系统就称为计算机集成制造系统 (CIMS)。

5. 人工智能

人工智能是用计算机模拟人类某种智能行为 (如感知、思维、推理、学习、理解等) 的相关应用。

1.2 微型计算机系统

从 1.1 节的介绍，我们了解到微型计算机的发展历程与微处理器的发展是分不开的，可见微处理器构成了微型计算机的核心，决定了微型计算机的性能。从对熟悉的计算机系统的认识开始，以剥洋葱皮的方法，从组成结构上来区分微型计算机系统、微型计算机和微处理器的概念，认知基本组成结构和基本工作方式。

1.2.1 微型计算机系统

一个微型计算机系统 (简称微机系统) 的组成，必须包括硬件系统和软件系统。图 1-1 所示为微机系统组成。我们日常使用的 PC 机就是一个微机系统。

1. 硬件系统

硬件系统是指组成计算机看得见摸得着的物理实体，它由微型计算机 (或主板)、键盘、

鼠标、显示器、打印机等外围设备及电源等部分组成。硬件系统是一个为执行程序建立物质基础的物理装置，若无软件的配合，硬件系统什么也干不了。

2. 软件系统

软件系统是指能在硬件系统上运行，从而实现各种功能的程序集合。依据功能的不同，可分为系统软件、应用软件和中间件三大类。操作系统软件是用来管理整个计算机系统硬件并为其他程序的开发、调试、运行等建立一个良好的环境，它是运行在机器语言之上的解释程序，如 BIOS、操作系统以及各种工具软件和各种语言处理程序。应用软件是系统用户为解决特定问题的需要而开发或购买的程序，包括各种为用户开发应用软件提供的工具软件、各种编译系统等，如计算机辅助程序设计（CAD）、办公自动化软件（Office）、Matlab 工具软件等。中间件是指语言处理程序和工具类程序，如编译程序、数据库管理程序、软件调试工具等。

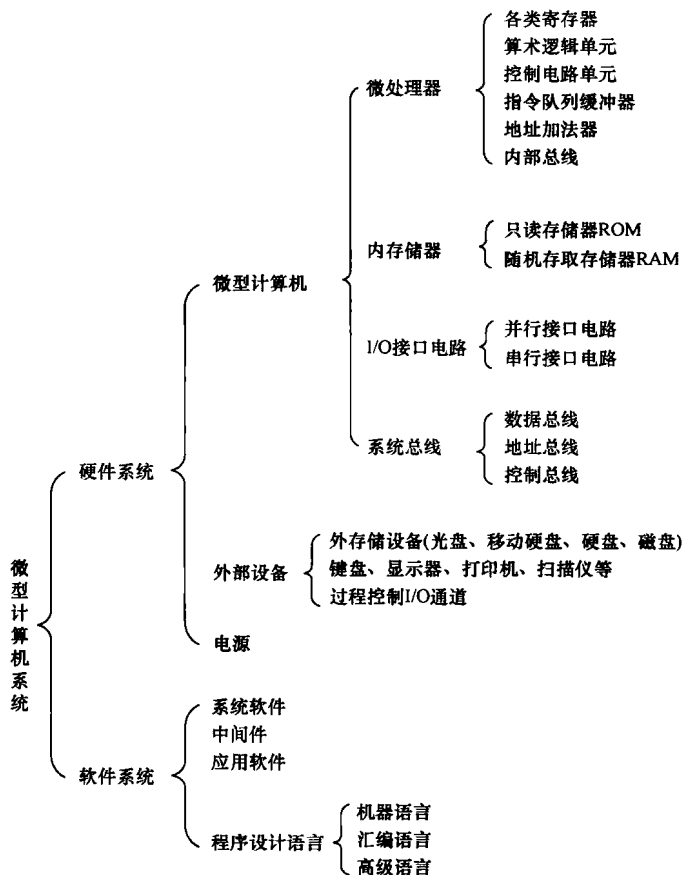


图 1-1 微型计算机系统组成

1.2.2 微型计算机

微型计算机的结构是根据冯·诺依曼关于程序存储和控制的基本原理设计出来的。从组成结构上看，微型计算机系统中去掉外围设备——显示器、键盘、鼠标、打印机、Modem 等，剩下的主板或主机箱，即微型计算机。微型计算机采用开放式总线结构，这种结构使得

系统中各功能部件之间的相互连接关系变为各个部件与总线之间的单一连接关系。一个部件只要符合总线标准，就可以连接到采用这种总线标准的系统中，使系统功能得到扩展。

1. 基本组成

微型计算机是由微处理器（中央处理器或 CPU）、内部存储器、输入输出接口电路和系统总线构成。图 1-2 所示为微型计算机的基本组成结构。

中央处理器也称微处理器（CPU），如同微型计算机的心脏，包含各种类型寄存器、运算器、控制电路、指令队列缓冲器、加法器和总线，CPU 的性能决定了整个微型机的各项关键指标。

内部存储器包括随机存取存储器（RAM）和只读存储器（ROM），用于存放事先写入的程序和数据以及当前运算结果，供微处理器进行读写访问。

输入输出接口电路用来连接外部设备和微型计算机，实现两者之间的数据传输控制。系统总线为 CPU 和其他部件之间提供数据、地址和控制信息的传输通道。

在微型机系统的不同层次结构中，有不同的总线。同 CPU 直接相连的总线称为 CPU 总线。CPU 总线实际上包含三种不同功能的总线，即数据总线 DB（data bus）、地址总线 AB（address bus）和控制总线 CB（control bus）。

数据总线用来传输数据、指令代码、状态量、控制量等信息。从结构上看，数据总线是双向的，即数据既可以从 CPU 送到其他部件，也可以从其他部件送到 CPU。数据总线上可以传送的数据的位数称为数据总线位数或宽度，是微型机的一个很重要的指标，它和微处理器的字长相对应。

地址总线专门用来传送地址信息。地址总线和数据总线不同，地址总线是单向的，总是从 CPU 发送出去的。地址总线的位数决定了 CPU 可以直接寻址的内存大小。例如，16 位地址总线的 8 位微型机，最大内存容量为 $2^{16} \text{B} = 64 \text{KB}$ ；地址总线为 20 位的 16 位微型机，最大内存容量为 $2^{20} \text{B} = 1 \text{MB}$ ；32 位地址总线的 32 位微型机，其最大内存容量为 $2^{32} \text{B} = 4 \text{GB}$ ；24 位地址总线的微型机，其最大内存容量为 $2^{24} \text{B} = 16 \text{MB}$ 。

控制总线用来传输控制信号。和数据总线一样是双向的，其中包括 CPU 送往存储器和输入输出接口电路的控制信号，如读信号、写信号和中断响应信号等；还包括其他部件送到 CPU 的信号，如时钟信号、中断请求信号和准备就绪信号等。

2. 微型计算机的工作过程

微型计算机的整个工作过程就是不断执行命令的过程，这些命令在计算机系统中称为指令，所以微型计算机的整个工作过程就是周而复始地从存储器中取指令、分析指令和执行指令的过程。

1.2.3 微处理器

1. 微处理器基本功能

微型计算机中的核心部件即为微处理器也称中央处理器（CPU），它具有运算能力和控

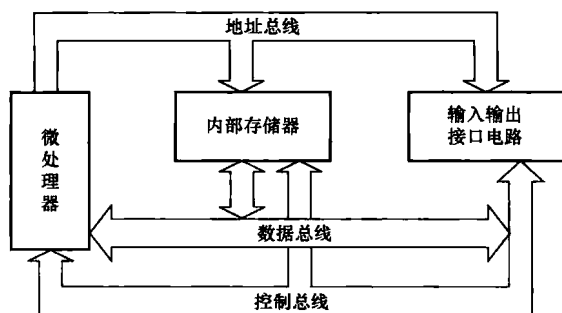


图 1-2 微型计算机的基本组成结构

制能力。微处理器如同微型计算机的心脏一样，其性能决定了整个微型机的各项关键指标。微处理器（CPU）的具体功能如下：

- (1) 可进行算术和逻辑运算；
- (2) 可暂存少量数据；
- (3) 能对指令进行译码并执行规定的操作；
- (4) 能处理和控制与存储器、外设进行的数据交换；
- (5) 提供整个系统所需要的定时和控制；
- (6) 能够响应其他部件发来的中断请求。

2. 微处理器基本组成结构

微处理器是微型计算机的核心部件，主要由算术逻辑运算单元、控制器、寄存器组、地址加法器、指令队列缓冲器、指令译码器和内部总线组成。

算术逻辑运算单元主要用于实现算术运算和逻辑运算，即与寄存器组、数据总线等逻辑器件共同完成对数据进行加工处理，包括加、减、乘、除基本的算术运算和与、或、非、移位、等逻辑运算，以及求补等操作。

控制器顾名思义，是用来对微型计算机工作过程实行控制的器件。它的主要作用是根据存放在存储器中的程序，从内存中取出指令，将取出的指令经由指令寄存器送往指令译码器，经过对指令的分析，发出相应的控制和定时信息，协调计算机各个部件有条不紊地工作。

寄存器组是用来保存参加运算的数据和运算的中间结果，包括通用寄存器组、专用寄存器组和段寄存器组。

(1) 通用寄存器组：包括累加器 AX、基址寄存器 BX、计数器 CX 和 DX，以及 AH、AL、BH、BL、CH、CL、DH、DL；

(2) 专用寄存器组：包括堆栈指针寄存器 SP、基址指针寄存器 BP、源变址指针寄存器 SI、目的变址指针寄存器 DI、标志寄存器 FR，指令指针寄存器 IP；

(3) 段寄存器组：代码段寄存器 CS、数据段寄存器 DS、堆栈段寄存器 SS 和数据附加段寄存器 ES。

地址加法器用来将 16 位逻辑地址形成 20 位物理地址，用以寻址 1MB 内存空间。

指令队列缓冲器用来存放从内存中取出尚未执行的指令，等待 CPU 执行完当前指令后，可立即执行指令队列缓冲器中的指令，通常 8086 指令队列为 6 个字节。取指令是与 8086 执行指令的同时进行的，这样可大大提高指令的处理速度。

指令译码器用于对指令进行译码操作，产生相应的控制信号送时序和控制逻辑电路，组合成外部电路所需的时序和控制信号。

3. CPU 主要性能指标

微处理器的性能决定了微型计算机乃至计算机系统的性能指标，所以我们要了解 CPU 的主要性能指标。CPU 最主要的性能指标有以下四项：

(1) 字长：字长是指 CPU 能同时处理的数据位数，也称为数据宽度。字长越长，计算能力越高，速度越快，集成度要求也越高，制造工艺越复杂，价格也越贵。8086 是 16 位字长，80286/80386/ Pentium 均属于 32 位字长，对应的微机系统则分别称为 16 位机和 32 位机。目前，用于服务器中的 Itanium 微处理器，为 64 位字长。

(2) 主频：主频是CPU的时钟频率，主频决定了CPU的运算速度，主频越高，处理速度越快。8086的主频为10MHz，而目前市场上性能最好的PentiumIV的主频高达3.06GHz。

(3) 存储容量：存储容量是指与CPU直接相连的内存储器所能存储的信息总量，它是衡量微处理器的处理能力大小的一个重要指标。存储容量越大，CPU处理能力也越强，微型计算机处理能力也越强。通常有两种表示方法：

- 1) 字节数表示法；
- 2) 单元数×字长表示法。

(4) 运算速度：运算速度是指计算机每秒钟运算的次数。计算机执行不同的操作，所需的时间不同，运算速度也不同。现在普遍采用的方法是根据指令的使用频度和每一种指令的执行时间来计算平均速度。

微处理器的发展历程决定了微型计算机的发展。自1971年美国Intel公司推出Intel 4004微处理器以来，短短的40年，Intel相继推出了8086/8088、80286、80386、80486和Pentium、Pentium Pro、Pentium II、Pentium VI、Pentium IV。随着CPU的升级，集成度越来越高、速度越来越快。8086是16位微处理器，设计中包含了CPU最关键最重要的技术，其主要技术在随后的最先进的微处理器中仍被继承和应用，并在性能上保持对其兼容。80386是32位CPU，它的出现象征微处理器技术迈上一个新台阶。Pentium内部仍为32位，但对外数据总线采用64位，Pentium的设计中包含了最新的技术。Intel系列的CPU采用向下兼容的策略，每一种新的CPU都对原有的系列产品保持兼容，从而使此前的软件都能够继续运行。

1.3 计算机中数的表示

在日常生活中，总会遇到数的表示问题，一般采用从低位向高位进位的计数方式，称作进位计数制。在进位计数制中，每个位数所用的不同数字的个数叫做基数。我们日常生活中常采用十进制，而计算机中则采用二进制计数方式。本节将介绍计算机中常用的数制及其相互之间的转换，计算机中数的表示以及数的运算方法。要求重点掌握数制及其转换、带符号数的表示及运算。

1.3.1 数制及其转换

计算机使用的是二进制数，为了书写和阅读方便，引入了十六进制数。书写时为区分不同进制数，常采用脚标或字母后缀的形式，例如：

- (1) 十进制数：23D、23、 $(23)_{10}$ ；后缀字母为D或不加；
- (2) 二进制数：1101B、 $(1101)_2$ ；后缀字母为B；
- (3) 十六进制数：101AH、 $(101A)_{16}$ ；后缀字母为H。

1. 十进制数 (Decimal)

十进制数是人们日常生活中使用最频繁的计数制，是由0、1、2、…、9十个基本数字组成。其特点如下：

- (1) 具有10个数字符号0, 1, 2, …, 9；
- (2) 由低位向高位进位是按“逢10进1”的规则进行的；

(3) 基数为 10, 第 i 位的权为 10^i 。其中 $i=n, n-1, \dots, 2, 1, 0, -1, -2, \dots$, 规定整数最低位的位序号 $i=0$ 。

【示例 1-1】 $(6543.21)_{10} = 6543.21D = 6 \times 10^3 + 5 \times 10^2 + 4 \times 10^1 + 3 \times 10^0 + 2 \times 10^{-1} + 1 \times 10^{-2}$

2. 二进制数 (Binary)

二进制数是计算机中使用的计数制。计算机之所以使用二进制数是因为 0、1 两种状态逻辑判断简单、硬件容易实现, 使数据计算、存储、传送和处理都更加快速稳定。二进制的特点如下:

(1) 具有 2 个数字符号 0, 1;

(2) 由低位向高位进位是按“逢 2 进 1”的规则进行的;

(3) 基数为 2, 第 i 位的权为 2^i 。其中 $i=n, n-1, \dots, 2, 1, 0, -1, -2, \dots$ 。规定整数最低位的位序号 $i=0$ 。

【示例 1-2】 $(1010.101)_2 = 1010.101B = 1 \times 2^3 + 0 \times 2^2 + 1 \times 2^1 + 0 \times 2^0 + 1 \times 2^{-1} + 0 \times 2^{-2} + 1 \times 2^{-3}$

3. 十六进制数 (Hexadecimal)

计算机中使用的二进制数, 若位数很长, 不便于人们的读写, 为此引入了十六进制数。十六进制数是学习微型计算机过程中常用到的进位计数制。其特点如下:

(1) 具有 16 个数字符号 0, 1, 2, \dots , 9, A, B, C, D, E, F;

(2) 由低位向高位进位是按“逢 16 进 1”的规则进行的;

(3) 基数为 16, 第 i 位的权为 16^i 。其中 $i=n, n-1, \dots, 2, 1, 0, -1, -2, \dots$ 。规定整数最低位的位序号 $i=0$ 。

【示例 1-3】 $(9BF.ABE)_{16} = 9BF.ABEH = 9 \times 16^2 + 11 \times 16^1 + 15 \times 16^0 + 10 \times 16^{-1} + 11 \times 16^{-2} + 14 \times 16^{-3}$

1.3.2 各种数制的相互转换

1.3.1 中介绍了二进制、十进制、十六进制进位制。在生活、工作中常需要将生活中的十进制数转换为机器使用的二进制数, 为便于书写和阅读, 又要转换成十六进制。为此, 本节我们学习数制之间的转换, 要求熟练掌握以下进制转换:

1) 二进制、十六进制转换为十进制;

2) 十进制转换为二进制;

3) 二进制转换为十六进制。

1. 二进制、十六进制转换为十进制

二进制、十六进制转换为十进制, 采用按权展开求和的方法, 即各位乘权之积再求和。

【示例 1-4】 (1) $10101.101B = 1 \times 2^4 + 1 \times 2^2 + 1 \times 2^0 + 1 \times 2^{-1} + 1 \times 2^{-3}$
 $= 16 + 4 + 1 + 0.5 + 0.125$
 $= 21.625D$

(2) $19B.ABH = 1 \times 16^2 + 9 \times 16^1 + 11 \times 16^0 + 10 \times 16^{-1} + 11 \times 16^{-2}$
 $= 256 + 144 + 11 + 0.625 + 0.04296875$
 $= 411.66796875D$

2. 十进制转换为二进制

十进制转换为二进制常采用基数除法。对于十进制整数部分，采用除基数取余数，先余数为低位，后余数为高位；对于十进制小数部分，正好相反，采用乘基数取整数，先整数为高位，后整数为低位。

(1) 整数部分——除2取余法。

(2) 小数部分——乘2取整法。

【例 1-1】 将十进制数 19.625D 化为二进制

解：	整数 余数		积	整数
	$19 \div 2 = 9 \dots\dots 1$	低位	$0.625 \times 2 = 1.25 \dots\dots$	1 高位
	$9 \div 2 = 4 \dots\dots 1$	↓	$0.25 \times 2 = 0.5 \dots\dots$	0 ↑
	$4 \div 2 = 2 \dots\dots 0$	↓	$0.5 \times 2 = 1.0 \dots\dots$	1 低位
	$2 \div 2 = 1 \dots\dots 0$	↓		
	$1 \div 2 = 0 \dots\dots 1$	高位		

所以，我们可以得到：19D = 10011B

所以，我们可以得到：0.625D = 0.101B

于是，19.625D = 10011.101B

3. 二进制与十六进制之间的转换

因 $2^4 = 16$ ，即四位二进制数正好等于一位十六进制数，因此二进制与十六进制之间的转换从小数点开始，向左、右两边每4位二进制数为一组，最左、最右不足4位的补0，然后每一组用1位十六进制数代替即完成进制间转换，4位二进制与1位十六进制数的对应关系见表1.1。

【例 1-2】 将二进制数 1110110101100.10101B 化为十六进制

解：

1110110101100 . 10101					
←-----→					
0001	1101	1010	1100	. 1010	1000
↓	↓	↓	↓	↓	↓
1	D	A	C	A	8

所以，1110110101100.10101B = 1DAC.A8H

表 1-1

四位二进制与一位十六进制数的对应关系

四位二进制数	一位十六进制数	四位二进制数	一位十六进制数
0000B	0H	1000B	8H
0001B	1H	1001B	9H
0010B	2H	1010B	AH
0011B	3H	1011B	BH
0100B	4H	1100B	CH
0101B	5H	1101B	DH
0110B	6H	1110B	EH
0111B	7H	1111B	FH

1.3.3 计算机中的数及编码

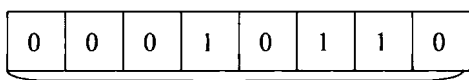
前面提到的进位计数制均未涉及数的符号问题，我们称其为无符号数。而实际问题中的数常常可以是正数、也可以是负数，那么计算机如何区别正数、负数？这一节我们介绍计算机中数的表示、机器数与真值、带符号数和无符号数、原码、补码、反码及运算、二进制编码。

1. 带符号数与无符号数

(1) 无符号数：如果把全部有效位都用来表示数的大小，即没有符号位，这种方法表示的数，叫无符号数。无符号数表示形式如下：

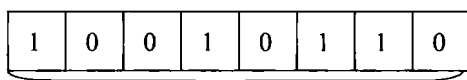
【示例 1-5】

22



8位全部用来表示数值大小

150

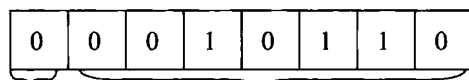


8位全部用来表示数值大小

(2) 带符号数：二进制数的最高位用 0 表示正数，用 1 表示负数，这种方法表示的数，称为带符号数。带符号数的表示形式如下：

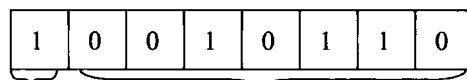
【示例 1-6】

+22



符号位 7位数值位表示数值大小

-22



符号位 7位数值位表示数值大小

2. 机器数与真值

在计算机中，数是用二进制数来表示的，高电平代表“1”，低电平代表“0”；数的符号也是用二进制数表示，“+”用“0”表示，“-”用“1”表示。这种用 0、1 表示正负并约定最高位为符号位，“0”为正数，“1”为负数的二进制数称为机器数。机器数是机器能够识别的带符号数。用“+”、“-”号来表示机器数中全部有效位的数值为真值。

【示例 1-7】有两个数，正的 1101001 和负的 1101001，在计算机中的表示形式如下：

真值：N1 = +1101001 机器数：N1: 01101001

N2 = -1101001 N2: 11101001

3. 原码、反码及补码

原码、反码及补码是机器数的 3 种不同形式的编码，用于解决带符号数在计算机中的运算问题。

(1) 原码。

定义：一个数的原码就是该数的机器数。

1) 对正数 $X = +X_6 X_5 X_4 X_3 X_2 X_1 X_0$ ($X_i = 0$ 或 1)，则： $[X]_{\text{原码}} = 0X_6 X_5 X_4 X_3 X_2 X_1 X_0$

2) 对负数 $X = -X_6 X_5 X_4 X_3 X_2 X_1 X_0$ ($X_i = 0$ 或 1)，则： $[X]_{\text{原码}} = 1X_6 X_5 X_4 X_3 X_2 X_1 X_0$

(2) 反码。

定义：正数的反码就等于它的原码；负数的反码就是它的原码除符号位外，各位取反。

1) 对正数 $X = +X_6 X_5 X_4 X_3 X_2 X_1 X_0$ ($X_i = 0$ 或 1)，则： $[X]_{\text{反码}} = 0X_6 X_5 X_4 X_3 X_2 X_1 X_0$