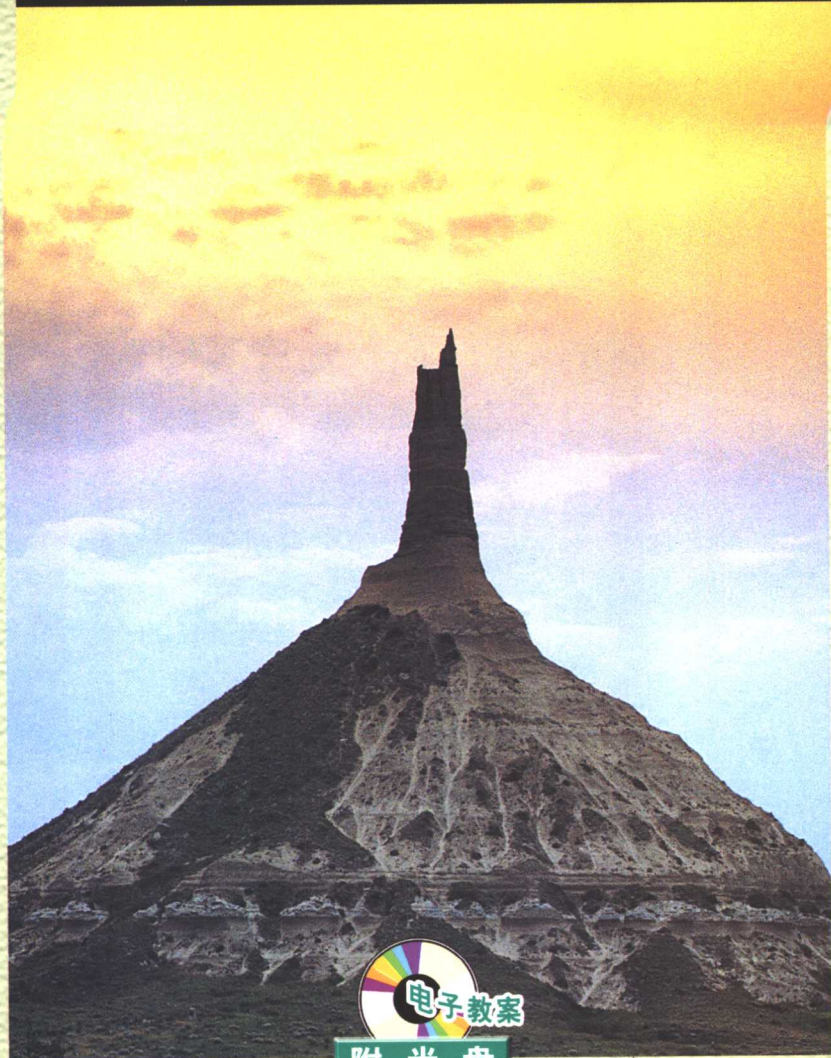


高等院校计算机基础教育规划教材



附光盘

赵子江 尚 颖 等编著

计算机硬件技术基础



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

高等院校计算机基础教育规划教材

计算机硬件技术基础

赵子江 尚颖 等编著



机械工业出版社

本书对计算机硬件技术的基本概念、工作原理、在相关技术领域的应用等方面进行了系统阐述。

全书共 9 章。第 1 章介绍了计算机的发展、结构,以及数的表示方法等知识;第 2 章讲述了 80x86 以及 Pentium 微处理器的结构特点和基本工作原理;第 3 章介绍了总线的基本工作原理和常用系统总线等内容;第 4 章对指令的种类、寻址方式,以及新增指令等内容进行了阐述;第 5 章介绍了汇编语言的编程方法与技巧;第 6 章介绍了数据的存储与存储器;第 7 章介绍了数据传送方式、可编程接口芯片、模拟接口等内容;第 8 章介绍了中断方式与中断控制器等知识;第 9 章介绍了显示器、打印机、光盘存储器,以及数码照相机等外围设备。本书各章配有习题。

附录列出了一些与硬件有关的常用资料。

本书可作为高等院校计算机及相关专业的教材,也可作为非计算机专业类的参考书,以及电脑爱好者的自学读物。

图书在版编目(CIP)数据

计算机硬件技术基础 / 赵子江等编著. —北京:机械工业出版社, 2005.1

(高等院校计算机基础教育规划教材)

ISBN 7-111-16077-0

I. 计... II. 赵... III. 硬件—高等学校—教材 IV. TP303

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005)第 006773 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: 胡毓坚

责任编辑: 丁 诚

责任印制: 杨 曦

北京蓝海印刷有限公司印刷·新华书店北京发行所发行

2005 年 3 月第 1 版·第 1 次印刷

787mm×1092mm 1/16·16.75 印张·413 千字

0001~5000 册

定价: 29.00 元(含 1CD)

凡购本图书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

本社购书热线电话(010) 68993821、88379646

68326294、68320718

封面无防伪标均为盗版

出版说明

计算机基础教育是当今经济建设与社会发展的重要保障，是各个领域利用计算机技术寻求发展的基本条件。多年来，国家教育主管部门和高等院校十分重视计算机基础教育，为了培养合格的具有计算机应用技能的高素质人才，在指导思想、教学设置及安排、优化知识结构等方面进行了大量的工作。为了配合教育工作的开展，提高计算机基础教育的水平，机械工业出版社汇集了高等院校的教授、学者，经过认真细致的研讨，组织编写了这套“高等院校计算机基础教育规划教材”。

在组织编写过程中，我社与各高等院校承担计算机基础教育工作的教授、学者们共同研讨，把总结和提炼出来的教学经验、前瞻性课题，以及教学知识点、重点和难点一并融入教材的编写中。

本套系列教材与课程紧密结合，定位准确，注重理论教学和实践教学相结合，符合教学规律。其特点是：叙述准确而精练，逻辑性强，层次分明，图文并茂，习题丰富。本套系列教材非常适用于各类高等院校、高等职业技术学校及相关院校的计算机基础教育，也适合用作各类培训班的教材或自学参考书。

前 言

随着时代的发展，计算机已经成为人们的有力工具。计算机技术的飞速发展不但改变了人们的生活，改变了我们生存的这个星球，而且还使人类有能力走向外太空，去探索广袤的宇宙。

计算机是一种由硬件和软件组成的复杂系统。硬件是指计算机的物理设备，是计算机的基础，看得见，摸得着；而软件则是指程序、数据和其他形式的信息。

近年来，计算机的硬件技术飞速发展，新的硬件产品不断涌现，使计算机的运算速度、综合处理能力不断提高，应用的领域也不断地拓展。对于每一位从事计算机工作的人员、计算机专业的学生和广大的计算机爱好者，眼前面临的问题是：如何跟上科学技术的发展，系统、全面地了解计算机的硬件技术，认识计算机硬件的组成和基本工作原理。

本书主要介绍以下内容：

1) 从计算机的核心部件——微处理器开始，逐步向读者展开微处理器的基本构成、工作原理、微型计算机的总线结构、指令系统以及编程方法，使读者对计算机的基本结构有一个全面的了解。

2) 从数据的存放地——存储器开始，向读者介绍存储器的基本构造、工作原理、高速缓冲存储器的有关知识、虚拟存储技术等内容。同时，还介绍了存储器产品的新种类和特点。

3) 从数据、信息的传送之门——接口开始，介绍接口的形式、基本原理、可编程接口芯片、具体的工作方式，以及中断系统等内容，力图使读者了解接口的原理及其重要作用。

4) 从人类与计算机的对话设备——输入设备与输出设备开始，简要阐述常用的计算机外围设备，如显示器、键盘、打印机、数码照相机、扫描仪等的相关知识。

在编写本书时，作者力图把多年的教学经验融会到书中，力求深入浅出、循序渐进，以大量的图解和实例展现硬件的基本概念和相关知识，避免呆板、晦涩的描述。

本书适用于计算机及相关专业的教师、学生、普通读者和从事计算机硬件开发的技术人员。各章末尾的习题和随书光盘将对广大读者掌握本书内容有所帮助。

参与本书编写的除赵子江、尚颖外，还有鞠晓东、张海斌、胡滔、解莉、王颖楠、滕飞、于雷。对于书中存在的不足和错误，请读者给予指正。

作 者

目 录

出版说明

前言

第 1 章 概论	1
1.1 计算机发展概况	1
1.1.1 计算机的发展史	1
1.1.2 微型计算机的发展	2
1.2 微型计算机的结构	2
1.2.1 基本组成	2
1.2.2 结构特点	3
1.3 硬件系统	4
1.3.1 微处理器	4
1.3.2 存储器	4
1.3.3 总线	4
1.3.4 输入输出接口	5
1.3.5 外围设备	5
1.4 软件系统	5
1.4.1 系统软件	5
1.4.2 应用软件	6
1.5 数的表示与计算	6
1.5.1 进制数的基本表示方法	6
1.5.2 数的进制转换	8
1.5.3 字符二进制编码	10
1.6 习题	11
第 2 章 微处理器	12
2.1 8086 的结构特点	12
2.1.1 CPU	12
2.1.2 寄存器组	13
2.1.3 外部引脚及功能	16
2.2 8086 CPU 的工作时序	20
2.2.1 基本时序	20
2.2.2 最小模式	21
2.2.3 最大模式	24
2.3 80x86 微处理器及其发展	28
2.3.1 80286 微处理器	28
2.3.2 80386 微处理器	29

2.3.3	80486 微处理器	31
2.3.4	Pentium 微处理器	33
2.4	流水线技术	36
2.4.1	流水线工作原理	36
2.4.2	流水线相关问题	37
2.4.3	流水的实现与控制	38
2.5	习题	39
第 3 章	总线结构	40
3.1	概述	40
3.1.1	基本概念	40
3.1.2	总线分类	41
3.2	总线的工作原理	42
3.2.1	总线的应用	42
3.2.2	总线的功能	43
3.2.3	总线仲裁	44
3.3	常用系统总线	46
3.3.1	PC 总线	46
3.3.2	ISA 总线	46
3.3.3	PCI 总线	47
3.4	主要外设总线	48
3.4.1	IDE 总线	48
3.4.2	SCSI 总线	49
3.4.3	USB 总线	49
3.5	习题	51
第 4 章	指令系统	52
4.1	寻址方式	52
4.1.1	与数据有关的寻址方式	52
4.1.2	与转移地址有关的寻址方式	55
4.2	指令系统	58
4.2.1	数据传送指令	58
4.2.2	算术运算指令	63
4.2.3	逻辑指令	65
4.2.4	串处理指令	68
4.2.5	控制转移指令	72
4.2.6	处理器控制指令	76
4.3	80x86 新增指令	76
4.3.1	80286 新增指令	76
4.3.2	80386 新增指令	77
4.3.3	80486 新增指令	78

4.3.4	MMX 多媒体指令集	79
4.4	RISC 技术	80
4.4.1	RISC 的产生与发展	80
4.4.2	RISC 的特点	80
4.5	习题	81
第 5 章	汇编语言	83
5.1	8086 汇编语言基础	83
5.1.1	汇编语言基本语法	84
5.1.2	汇编语言语句	85
5.1.3	伪指令语句	88
5.1.4	宏指令语句	92
5.2	汇编语言程序设计	94
5.2.1	顺序程序设计	95
5.2.2	分支程序设计	96
5.2.3	循环程序设计	98
5.2.4	子程序设计	102
5.2.5	DOS 功能调用	104
5.3	习题	105
第 6 章	存储系统	107
6.1	概述	107
6.1.1	存储器的层次结构	107
6.1.2	存储器的分类	108
6.1.3	存储器的基本组成	109
6.2	RAM 随机存储器	110
6.2.1	静态 RAM	110
6.2.2	动态 RAM	112
6.2.3	动态 RAM 的刷新	113
6.3	ROM 只读存储器	115
6.3.1	掩膜只读存储器 (MROM)	115
6.3.2	可编程的只读存储器 (PROM)	115
6.3.3	可编程、可擦除的只读存储器 (EPROM)	115
6.3.4	闪速存储器	116
6.4	存储器的设计与控制	116
6.4.1	常用的译码电路	116
6.4.2	内存容量扩充	118
6.4.3	设计实例	120
6.5	cache 高速缓冲存储器	121
6.5.1	高速缓存工作原理	121
6.5.2	替换策略	121

6.5.3	cache 读/写	122
6.6	虚拟存储器	122
6.6.1	基本原理	122
6.6.2	虚拟存储的实现	123
6.7	内存技术的发展	125
6.7.1	内存的技术特点	125
6.7.2	内存的硬件新技术	126
6.8	习题	128
第 7 章	输入/输出接口	129
7.1	概述	129
7.1.1	基本概念	129
7.1.2	输入/输出端口寻址	129
7.2	主机与外设的数据传送方式	130
7.2.1	程序查询方式	130
7.2.2	程序中断方式	133
7.2.3	DMA 方式的数据传输	133
7.2.4	I/O 通道控制方式	134
7.3	可编程接口芯片	135
7.3.1	计数器和定时器 Intel8253	135
7.3.2	并行接口芯片 8255	147
7.3.3	串行接口标准 RS-232C	156
7.3.4	串行通信接口 8251A	159
7.3.5	DMA 控制器 8237A	170
7.4	模拟量输入/输出接口	179
7.4.1	基本工作原理	179
7.4.2	数模 (D/A) 转换器	180
7.4.3	模数 (A/D) 转换器	184
7.5	习题	188
第 8 章	中断	190
8.1	中断系统	190
8.1.1	基本概念	190
8.1.2	中断的类型	191
8.1.3	中断的响应过程	192
8.1.4	中断向量表	194
8.2	8086 微处理器的中断方式	196
8.2.1	内部中断	198
8.2.2	外部中断	199
8.3	中断控制器 Intel 8259A	202
8.3.1	基本功能	202

8.3.2	结构特点	202
8.3.3	外部引脚	204
8.3.4	中断顺序	205
8.3.5	8259A 编程	205
8.3.6	工作方式	210
8.4	习题	212
第 9 章	外围设备	213
9.1	输入设备	213
9.1.1	键盘	213
9.1.2	鼠标	215
9.1.3	触摸屏	216
9.1.4	扫描仪	219
9.2	输出设备	222
9.2.1	显示器	222
9.2.2	显示适配器	224
9.2.3	显示器的环保概念	225
9.2.4	投影机	225
9.2.5	打印机	227
9.3	存储设备	229
9.3.1	激光存储器	229
9.3.2	移动硬盘存储器	232
9.3.3	半导体移动存储器	233
9.4	习题	234
附录		235
附录 A	ASCII 字符表	235
附录 B	8086/8088 指令系统一览表	236
附录 C	DOS 功能调用	244
附录 D	BIOS 中断	248
附录 E	DEBUG 简要使用方法	251
参考文献		258

第1章 概 论

本章介绍了微型计算机、微处理器、微型计算机系统的构成、微型计算机的发展过程以及计算机中数的表达方式。

1.1 计算机发展概况

1.1.1 计算机的发展史

“计算”是人类生活中的一项重要活动。人类祖先很早就知道用物品来计数，后来人类创造了简单的计算工具，如我国在唐宋时期就开始使用算盘。随着科学技术的发展，科学家们又发明了机械式计算器、继电式计算器等计算工具。

1946年2月，在美国宾夕法尼亚大学的莫尔学院，由物理学博士莫克利（J.W.Mauchly）和电气工程师埃克特（J.P.Eckert）领导的小组研制成了世界上第一台数字式电子计算机ENIAC（Electronic Numerical Integrator And Calculator）。这台计算机用电子管实现，编程通过接插线进行，采用字长10位的十进制计数方式，每秒可进行5000次加法运算。该机在1943年研制，其最初的目的是用于为陆军编制各种武器的弹道表。以后经过多次改进，成为能进行各种科学计算的通用计算机。在这以后的近60年时间，计算机技术取得了突飞猛进的发展。

在推动计算机发展的诸多因素中，电子器件的发展是最为重要的。因此，人们常常把计算机的发展以电子器件为标志，将它划分为：

第一代（1946~1957年）：电子管时代。采用电子管为逻辑部件，以磁芯和磁鼓等作为存储器，该阶段的计算机体积大、耗电多、运算速度慢。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）：晶体管时代。采用晶体管为逻辑部件，用磁芯、磁盘作为存储器，这个时期计算机体积显著减小、可靠性提高、运算速度可达每秒百万次。软件方面出现了高级程序设计语言和编译系统。计算机开始广泛应用于以管理为目的的信息处理。

第三代（1965~1971年）：集成电路时代。采用中、小规模集成电路为主要部件，以磁芯、半导体存储器和磁盘为存储器，运算速度达每秒千万次，可靠性大大提高，体积进一步缩小，价格大大降低。软件方面进步很大，有了操作系统，开展了计算机语言的标准化工作并提出了结构化程序设计方法，出现了计算机网络。

第四代（1971年至今）：大规模集成电路时代。采用大规模集成电路为主要部件，以半导体存储器和磁盘为存储器，在存储容量、运算速度、可靠性和性能价格比等方面都比上一代计算机有了较大突破。软件方面产生了结构化开发设计方法和面向对象方法，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

目前,严格界定什么是微型计算机变得有些困难。但是,大家把个人计算机和结构相对简单的工业控制计算机等统称为微型计算机。

1971 年 Intel 公司发布了 Intel 4004——4 位微处理器,也被认为是世界上第一个微处理器。从此,微处理器得到了极其迅速的发展,直至今日,微处理器的发展基本上按摩尔定律指出的那样,每隔两年集成度和性能增长一倍,价格却下降一半。

从第一台微型计算机产生到现在,主要经历了如下几个阶段。

第 1 阶段(1971~1972 年):主要产品是 4 位微机和低档 8 位微机。1971 年 4004 诞生,随后改进为 4040,第二年 Intel 研制出 8 位微处理器芯片 8008。Intel 8008 采用 PMOS 工艺,字长 8 位,时钟频率 0.5MHz,指令周期为 20 μ s,集成度约 3500 晶体管/片。

第 2 阶段(1973~1977 年):主要产品为中、高档 8 位微机。其中,中档机有 Motorola 公司的 M6800、Intel 公司的 8080。以 Intel 8080 为例,字长 8 位,时钟频率 2MHz,指令周期为 2 μ s,集成度约 5000 晶体管/片。在 1975~1977 年间,又有一批性能更好的高档 8 位机问世,如 Zilog 公司的 Z80 和 Intel 公司的 8085。以 Intel 8085 为例,字长 8 位,指令周期 1 μ s,时钟频率高于 2.5~5MHz,集成度约 1 万晶体管/片。

第 3 阶段(1978~1983 年):各公司相继推出一批 16 位的微处理器芯片,如 Intel 公司的 8086/8088, Motorola 公司的 M68000、Zilog 公司的 Z8000 等。以 Intel 8086 为例,该芯片采用 HMOS 工艺,字长 16 位,基本指令执行时间约 0.5 μ s,时钟频率为 5MHz,集成度达到约 3 万晶体管/片。本书主要介绍 8086 微处理器和 IBM/PC 系列机。

第 4 阶段(1984~至今):Intel 公司推出 32 位微处理器芯片 80386,其时钟频率为 16MHz,指令周期为 0.1 μ s,集成度达到 27.5 万晶体管/片,从这时起,微型计算机步入了第 4 个发展阶段。Intel 公司陆续研制生产了 80486、Pentium(奔腾)、Pentium Pro(高能奔腾)、MMX Pentium(多能奔腾)、Pentium II、Pentium III 和 Pentium 4 微处理器芯片。

1.2 微型计算机的结构

在研制 ENIAC 的过程中,冯·诺依曼(Von Neumann)首先提出了采用二进制计算、存储程序并在程序控制下自动执行的思想。按照这一思想,计算机由五个部件构成,即运算部件、控制部件、存储部件、输入部件和输出部件。采用这种模式的计算机就被称为“冯·诺依曼计算机”。

所谓微型计算机(Micro Computer)是指体积、重量、计算能力都相对比较小的一类计算机,一般供个人使用,所以通常又称为个人计算机(PC, Personal Computer)。随着科学技术的发展,当今一台微型计算机的性能已达到当年一台大型机的性能,而其价格却很低廉。由于它体积小,价格低,性能上能满足大多数用户的需要,所以得到了广泛应用和迅速发展。

1.2.1 基本组成

本书提到的微型计算机严格地说是指微型计算机系统。它与常说的微型计算机和微处理器是不同的概念。微型计算机是通常所说的主机系统,包括 CPU、存储设备、用于传送信息

的总线及连接外围设备的输入/输出接口等。但仅有主机的计算机是没有任何实际价值的，只有在配备了基本的外围设备（如键盘、鼠标、显示器等）、并安装好可在其上运行的各种相关软件后，它才能够成为真正有用的计算机，也就是计算机系统。因此，一个完整的计算机系统不仅应包含硬件系统，还应包含能在硬件系统上运行、从而实现各种功能的软件系统（如图 1-1 所示）。

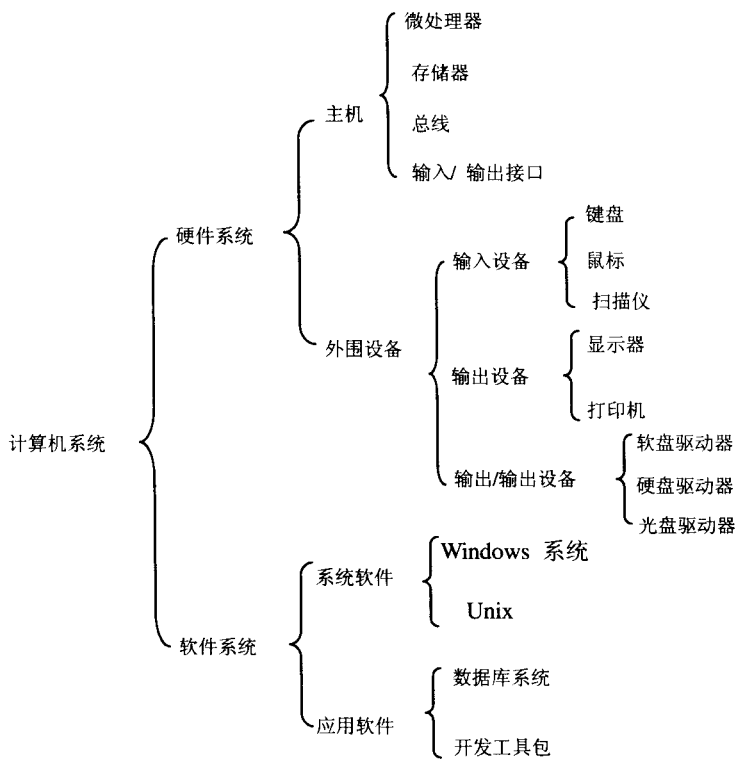


图 1-1 计算机系统构成

1.2.2 结构特点

微型计算机系统除在概念上具有图 1-1 所示的结构外，还可按照功能更细地划分为图 1-2 所示的多级层次结构。

图中最低的是硬件层，是具体实现机器指定功能的物理层，也是整个系统运行的物理基础。它包括逻辑电路及时序电路等硬件设备以及一些固化在逻辑部件上的微程序。

第二层是机器语言级。机器语言是计算机惟一能够直接识别的语言。程序员用机器语言编写的程序由微程序进行解释。

从第三层向上，属于软件系统范畴。操作系统是用来管理整个计算机系统硬件并支持用户开发应用的一种系统软件，它是运行在机器语言级上的解释程序。系统应用程序是直接为用户开发应用软件提供的工具和平台，它包括各种编译系统、为应用程序提供开发平台的各种工具软件。最上一层才是用户级，用户可在各类系统软件的支持下完成自己的应用程序设计。

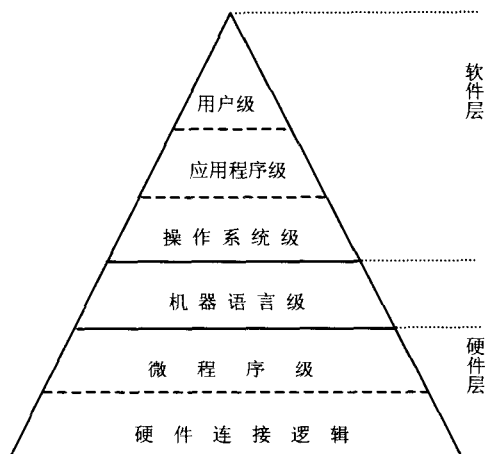


图 1-2 多级层次结构

1.3 硬件系统

计算机系统是一个复杂的工作系统，由硬件系统和软件系统组成。所谓计算机的硬件系统，就是构成计算机的看得见摸得着的部件，即构成计算机的硬设备。例如：计算机的主机，包括微处理器、存储器、总线、I/O 接口；外围设备如显示器、键盘、鼠标、磁盘驱动器等。下面从上述几个方面简要介绍微型计算机的硬件系统。

1.3.1 微处理器

微处理器也称为中央处理单元（Central Processing Unit, CPU），其内部包括运算器、控制器以及寄存器组，是整个硬件系统的核心。目前市场上大多数微型计算机的 CPU 都是 Intel 公司生产的，其系列产品由早期的 8088/8086 到现在最新型的 Pentium 系列，在性能上、功能上都有大幅度的提高和改进，但其基本体系结构没有改变，且指令系统保持向下兼容。

1.3.2 存储器

顾名思义，存储器是计算机系统的一种存储记忆设备，用来存放指令、数据、运算结果以及各种需要保存的信息，是计算机系统的一个重要组成部分。在现代计算机系统中，通常有多种用途不同的存储器，如为提高系统整体存取速度而设置的高速缓冲存储器（cache）、用于在运行中暂时存储 CPU 正在执行的指令和数据的主存储器（或称内存）、用于大容量信息保存的磁带、磁盘和光盘存储器（辅助存储器）等、它们共同构成了计算机的存储系统。

1.3.3 总线

微型计算机是由若干系统功能部件构成的，这些系统功能部件协同工作才能形成一个完整的计算机系统。微型计算机系统采用总线结构，所谓总线就是一组信号线的集合，是计算

机系统中各部件之间传输地址、数据和控制信息的公共通路。从物理结构来看，它由一组导线和相关的控制电路、驱动电路组成。在微型计算机系统中常把总线作为一个独立部件来看待。目前在基于 80X86 系列 CPU 系统中所采用的标准总线主要是 PC/XT 总线、ISA 总线、EISA 总线、PCI 总线。

1.3.4 输入输出接口

外围设备是微型计算机系统的重要组成部分，微机通过他们与外界进行数据交换。例如：需要计算机处理的信息要通过键盘、扫描仪、存储介质等设备输入，而处理的结果则要通过显示器、打印机等设备输出。而这些设备与主机之间要实现信息的传递，必须通过一个中间环节，即输入/输出接口来连接。输入/输出接口简称 I/O（Input/Output）接口，接口起着主机与外围设备之间数据通信的“桥梁”作用。各种外设通过 I/O 接口（Interface）与系统相连，并在接口电路的支持下实现数据传送和操作控制。

1.3.5 外围设备

微机的构成除了主机之外，还有许多外围设备，随着计算机技术的发展，外围设备的种类越来越多，功能越来越强大。目前的外围设备主要分为输入设备、输出设备和输入/输出双向设备。

输入设备：主要是指将外部信息通过此设备进入计算机内，目前主要的输入设备有键盘、鼠标、扫描仪、数码相机。

输出设备：主要是将计算机内部的信息传送出来，目前主要的输出设备有显示器、打印机。

输入/输出双向设备：有一些设备是双向传输信息的，它既可以作为输入设备又可以作为输出设备，目前常用的此类设备软盘驱动器、硬盘驱动器、光盘驱动器。

1.4 软件系统

计算机软件系统由系统软件和应用软件构成。系统软件用于管理计算机系统的协调动作；应用软件用于某个特定应用领域的处理和编辑。

1.4.1 系统软件

系统软件又称为系统程序，主要用来管理计算机系统，监视服务，使系统资源得到合理调度，确保整个系统高效运行。

系统软件通常包括编译系统、操作系统、设备驱动系统、程序开发系统等。在系统软件中，最重要的是操作系统 OS（Operating System）。目前的操作系统主要有 MS-DOS 操作系统、Windows 操作系统、Linux 操作系统、Unix 操作系统。PC 机的操作系统大都是微软的 Windows 操作系统，按照发展的历程，其版本为 Windows 3.1、Windows 95、Windows 98、Windows NT、Windows 2000、Windows XP 等。Windows 系统从单机版到服务器版，非常适用于 PC 机系统。

1.4.2 应用软件

应用软件又称为应用程序，他是由用户或第三方软件公司专门为解决某个应用领域中的具体任务而编写的程序。

从大的方面，主要是面向数据库管理、计算机辅助设计、文字处理、软件开发等软件包，如目前的数据库管理软件 Oracle、SQL Server，办公软件 Microsoft Office 等。

从小的方面，可以是为企业、单位、项目的具体需要而开发的软件，如某个企业的 ERP 系统、医疗管理信息系统、学校的学生成绩管理系统、图书管理系统等。

1.5 数的表示与计算

在日常生活中，总要遇到数的表示问题，一般采用从低位到高位进位的方式来计数，这种表示数据的方法称为进位计数制。

在进位计数制中，每个数位所用的不同数字的个数叫做基数，十进制是现实世界中最常用的一种进位计数制，由 0、1、2、…… 9 十个不同数字组成，也就是说十进制的基数为 10。但是在计算机的世界中能识别的只有 0、1，也就是二进制。除了这些外，目前还有八进制和十六进制，但八进制和十六进制都是以二进制为基础的。下面将这几种进制方式作简要的介绍。

1.5.1 进制数的基本表示方法

1. 十进制数

十进制数是现实生活中最常使用的数字，它含有 0、1、2、3、4、5、6、7、8、9 十个基本数字，进位是逢十进一。任意十进制数 D 都可以由这十个数字组合而成，按照权重展开式可以表达成：

$$(D)_{10}=D_{n-1} \times 10^{n-1}+D_{n-2} \times 10^{n-2}+D_{n-3} \times 10^{n-3}+\cdots \cdots +D_0 \times 10^0+D_{-1} \times 10^{-1}+D_{-2} \times 10^{-2}+\cdots \cdots +D_{-m} \times 10^{-m}$$

其中， D_i 表示第 i 位的数值，且只能为 0~9 中的任意一个值， 10^i 为第 i 位的权重。

例 1-1 $(1023)_{10}=1 \times 10^3+0 \times 10^2+2 \times 10^1+3 \times 10^0$

例 1-2 $(127.69)_{10}=1 \times 10^2+2 \times 10^1+7 \times 10^0+6 \times 10^{-1}+9 \times 10^{-2}$

由于十进制数在人们的日常生活中用的非常频繁，本书不再多作介绍。

2. 二进制数

二进制数只含有 0、1 两个数字，进位是逢二进一。例如一个二进制数字 B 可以由若干数字符号组合来表示：

$$B=B_{n-1} B_{n-2} B_{n-3} \cdots \cdots B_0 . B_{-1} B_{-2} B_{-m}$$

如果按照权重展开表示，则表示如下：

$$(B)_2=B_{n-1} \times 2^{n-1}+B_{n-2} \times 2^{n-2}+B_{n-3} \times 2^{n-3}+\cdots \cdots +B_0 \times 2^0+B_{-1} \times 2^{-1}+B_{-2} \times 2^{-2}+\cdots \cdots +B_{-m} \times 2^{-m}$$

其中， B_i 表示第 i 位的数值，且只能为 0 或 1， 2^i 为第 i 位的权重。

例 1-3 和例 1-4 是二进制数按照权重展开的表示方法。

例 1-3 $(1100)_2 = 1 \times 2^3 + 1 \times 2^2 + 0 \times 2^1 + 0 \times 2^0$

例 1-4 $(1010.01)_2 = 1 \times 2^3 + 0 \times 2^2 + 1 \times 2^1 + 0 \times 2^0 + 0 \times 2^{-1} + 1 \times 2^{-2}$

二进制与十进制的运算原理一致，只是在二进制运算时，逢二进一，借一当二。例 1-5~例 1-7 是几个具体的实例。

二进制乘法运算可以转换为加法和移位运算，计算机实际的乘法运算就是采用这种方法实现的。每左移 1 位相当于乘以 2，而左移 n 位相当于乘以 2^n 。

例 1-5 加法运算

$$\begin{array}{r} 1010 + 0110 = 10000 \\ 1\ 0\ 1\ 0 \\ + 0\ 1\ 1\ 0 \\ \hline 1\ 0\ 0\ 0\ 0 \end{array}$$

例 1-6 减法运算

$$\begin{array}{r} 10101 - 1010 = 01011 \\ 1\ 0\ 1\ 0\ 1 \\ - 1\ 0\ 1\ 0 \\ \hline 0\ 1\ 0\ 1\ 1 \end{array}$$

例 1-7 乘法运算

$$\begin{array}{r} 1001 \times 1101 = 1110101 \\ 1\ 0\ 0\ 1 \\ \times 1\ 1\ 0\ 1 \\ \hline 1\ 0\ 0\ 1 \\ 0\ 0\ 0\ 0 \\ 1\ 0\ 0\ 1 \\ 1\ 0\ 0\ 1 \\ \hline 1\ 1\ 1\ 0\ 1\ 0\ 1 \end{array}$$

除法运算是乘法运算的逆运算，相应二进制除法运算可以转换为减法和右移位运算。每右移一位相当除以 2，右移 n 位相当于除以 2^n 。

计算机采用二进制的原因主要有以下几点：

- 1) 容易实现：二进制在硬件技术上容易实现。
- 2) 运算简单：二进制运算规则简单，操作实现简便。
- 3) 工作可靠：由于采用两种稳定的状态来表示数字，使数据的存储、传送、和处理都变得更加可靠。
- 4) 逻辑判断方便。

但是，使用二进制表示一个数所使用的位数要比十进制表示时所使用的位数长的多，书写不方便，并且不好读也不容易记忆。为了书写和读取的方便，通常使用八进制和十六进制来弥补二进制的不足。

3. 八进制数

八进制数在现实生活中基本没有使用，它含有 0、1、2、3、4、5、6、7 八个基本数字，