

中等职业学校计算机系列规划教材

微型计算机原理与应用

武马群 主编

罗江 郝佳波 编著

北京工业大学出版社

内 容 提 要

本书由浅入深,循序渐进地对微型计算机各组成部件的基本概念、结构、功能及工作原理进行了详细的讲解。全书共分8章,分别讲述了计算机的基础知识、运算器和控制器、存储系统、8086微处理器与指令系统、汇编语言程序设计基础、总线与接口、输入输出系统、微机中断系统等内容。

本书层次分明、结构合理,适于中等职业学校计算机专业作为教材使用,也可供广大计算机爱好者阅读参考。

图书在版编目(CIP)数据

微型计算机原理与应用/武马群主编;罗江,郝佳波
编著. —北京:北京工业大学出版社,2006.6
ISBN 7-5639-1598-2

I. 微... II. 武... 罗... 郝... III. 微型计
算机 - 专业学校 - 教材 IV. TP36

中国版本图书馆CIP数据核字(2005)第130116号

微型计算机原理与应用

武马群 主编

罗江 郝佳波 编著

*

北京工业大学出版社出版发行

邮编:100022 电话:(010)67392308

各地新华书店经销

徐水宏远印刷厂印刷

*

2006年6月第1版 2006年6月第1次印刷

787mm×1092mm 16开本 14印张 346千字

印数:1~5000册

ISBN 7-5639-1598-2/T·272

定价:19.00元

序

近年来，随着国民经济发展水平的提高和教育改革的不断深入，我国的职业教育发展迅速，进入到了一个新的历史阶段。国家对中等职业教育的改革与发展提出了明确的要求，倡导“以职业能力为本位，以就业为导向”的教育观念，促进中等职业教育更好地满足劳动力市场的需要。

为了适应全面推进素质教育，深化中等职业教育教学改革的需要，提高中等职业学校教学质量，培养“具有综合职业能力强，在生产、服务、技术和管理第一线工作的高素质的劳动者和初中级专门人才”，我们依据教育部制定的《中等职业学校计算机及应用专业教学指导方案》，以及教育部等六部委最新制定的《中等职业学校计算机应用与软件技术专业领域技能型紧缺人才培养指导方案》的精神，组织职教专家和一批优秀教师，结合最新的教学改革研究成果，编写了这套中等职业学校计算机系列教材。

本套教材在编写上具有以下特点：

1. 适应中等职业教育课程模块化和综合化改革的需要，本套教材采用模块化结构，运用“任务驱动，案例教学”的方法编写。
2. 联系实际，强化应用。每章前明确学习目标，章末配有习题和上机操作实训，突出实践技能和动手能力的培养。
3. 适应行业技术发展，体现教学内容的先进性和前瞻性。在教材中注意突出本专业领域的新知识、新技术、新软件，尽可能实现专业教学基础性与先进性的统一。

为了方便教师教学，我们免费为使用本套教材的师生提供电子教学参考资料包，包括以下内容：

- ◆ PowerPoint 多媒体课件
- ◆ 习题参考答案
- ◆ 教材中的程序源代码
- ◆ 教材中涉及的实例制作的各类素材

有需要的教师请登录 <http://www.21pcedu.com> 免费下载。在教材使用中有什么意见或建议也可以直接和我们联系，电子邮件地址：scqcwh@163.com。

武马群

2006年4月

《中等职业学校计算机系列规划教材》

编委会

主任：武马群

(北京市高职中专教育研究会副会长、计算机教学研究会理事长
中国计算机学会教育专业委员会常委、高职中专教育研究会理事长
北京信息职业技术学院院长)

副主任：匡松 罗光春 丁文健

编委：梁庆龙 张艳珍 王勇杰 李自力 何振林
吕峻闽 缪春池 郭黎明 薛飞 何嘉
卫丹 何峥 梁浴文 林珣 何福良
刘金 蒋义军 涂宏 曾吉贵 张力

前 言

《微型计算机原理与应用》是计算机科学与技术专业的一门核心课程，它的先修课程是数字电路、汇编语言，它的后继课程有计算机维修、单片机原理、计算机控制等。

本课程的目的是使学生对微型计算机的系统组成、工作原理及应用有全面深入的认识，初步掌握微型计算机接口硬件的特点及使用方法，能够读懂微型计算机系统原理图及简单的接口硬件原理图和相关控制程序，能够根据要求设计一些常用的较为简单的接口控制线路。

本书由浅入深，循序渐进地对微型计算机各组成部件的基本概念、结构、功能及工作原理进行了讲解。

全书共分 8 章，具体内容安排如下：

第 1 章 介绍了计算机系统、计算机中的数制和编码、数字逻辑电路基础、计算机的基本组成和工作原理、微型计算机等内容；

第 2 章 对计算机的运算器和控制器进行了详细介绍；

第 3 章 对计算机的存储器进行了详细介绍，包括存储器分类和存储器性能指标、主存储器的组成和工作原理、存储器的刷新与校验、存储器容量扩展等内容；

第 4 章 详细介绍了 8086 微处理器的功能、时序、特征、寻址方式与指令系统；

第 5 章 介绍了汇编语言程序设计的基础知识；

第 6 章 介绍了计算机的总线与接口，其中包括系统总线和接口的概念、功能、原理以及数据的传输控制方式等内容；

第 7 章 介绍了计算机的输入/输出系统，其中包括输入/输出系统的基本构成、常见输入/输出设备的特性等内容；

第 8 章 介绍了计算机中断系统，其中包括中断系统的概念、用途、分类，中断优先级与中断处理过程、8259A 可编程中断控制器及其应用等内容。

书中各章都配有习题，以利于学生巩固所学内容。

本书可作为中职中专计算机专业教材，也可供广大计算机爱好者参考使用。

由于时间仓促，加之水平有限，若有不当之处，恳请广大读者批评指正。

编 者

目 录

第 1 章 概述	1
1.1 计算机系统概论	1
1.1.1 计算机发展简史	1
1.1.2 计算机的分类	2
1.1.3 计算机的特点	3
1.1.4 计算机的应用	3
1.2 计算机中的数制和编码	5
1.2.1 进位计数制	5
1.2.2 数制之间的转换	6
1.2.3 原码、补码和反码	7
1.2.4 字符的编码	8
1.3 数字逻辑电路基础	9
1.3.1 基本逻辑电路	9
1.3.2 逻辑代数	9
1.3.3 逻辑代数的基本规律	11
1.4 计算机的基本组成和工作原理	13
1.4.1 计算机的基本组成	13
1.4.2 计算机的工作过程	14
1.4.3 计算机系统组成	16
1.5 微型计算机概述	17
1.5.1 微型机的发展	17
1.5.2 微型计算机的基本结构	18
1.5.3 微型计算机的特点	19
1.5.4 主要性能指标	19
【本章小结】	20
【习题】	20
第 2 章 运算器和控制器	21
2.1 定点加减运算	21
2.1.1 数的定点与浮点表示	21
2.1.2 定点数的运算	23
2.2 算术逻辑运算的基本电路	25
2.2.1 半加器	25
2.2.2 全加器（加法单元）	25

2.3	定点运算器	26
2.3.1	运算器的基本结构	26
2.3.2	运算器的组成	27
2.4	控制器的功能和基本组成	28
2.4.1	控制器的功能	28
2.4.2	控制器的组成	29
2.4.3	指令的执行过程	30
2.4.4	控制器的控制方式	30
2.5	两类基本控制器	33
2.5.1	组合逻辑控制器简介	33
2.5.2	微程序控制器简介	34
2.6	简化指令系统计算机 (RISC)	36
	【本章小结】	37
	【习题】	37
第3章	存储器	38
3.1	概述	38
3.1.1	存储器分类	38
3.1.2	存储器性能指标	39
3.2	主存储器	40
3.2.1	主存的概念	40
3.2.2	主存的组成和工作原理	41
3.2.3	半导体静态随机存储器 (SRAM)	42
3.2.4	半导体动态随机存储器 (DRAM)	46
3.3	存储器的刷新与校验	48
3.3.1	DRAM 动态刷新方式	48
3.3.2	主存的校验	49
3.4	处理器与存储器的连接	50
3.4.1	几种常用存储器芯片	50
3.4.2	处理器与存储器的连接	50
3.5	存储器容量扩展	54
3.6	外部存储设备	56
3.6.1	软磁盘存储器	56
3.6.2	硬磁盘存储器	59
3.6.3	光驱	61
3.6.4	USB 存储器	62
3.7	虚拟存储器	62
	【本章小结】	63

【习题】	64
第 4 章 8086 微处理器与指令系统	65
4.1 中央处理器	65
4.1.1 CPU 的概念	65
4.1.2 CPU 的功能	67
4.1.3 CPU 的时序	67
4.1.4 Intel 80x86 系列 CPU 简介	69
4.2 8086 系统结构	73
4.2.1 8086 内部结构	73
4.2.2 引脚及其功能	78
4.2.3 最小与最大模式系统	80
4.3 寻址方式	83
4.3.1 指令的基本格式	83
4.3.2 8086 汇编语言指令语句格式	85
4.3.3 寻址方式	86
4.4 8086 指令系统	89
4.4.1 传送类指令	89
4.4.2 算术运算类指令	93
4.4.3 位操作指令	95
4.4.4 串操作指令	98
4.4.5 循环和转移指令	101
4.4.6 子程序的调用和返回指令	103
4.4.7 输入输出指令	103
4.4.8 处理器控制指令	104
【本章小结】	105
【习题】	105
第 5 章 汇编语言程序设计基础	107
5.1 汇编语言基础	107
5.1.1 汇编语言语句的种类及其格式	108
5.1.2 汇编语言数据	109
5.1.3 符号定义语句	113
5.1.4 表达式与运算符	114
5.1.5 程序的段结构	116
5.1.6 过程定义伪指令	118
5.1.7 定位伪指令和当前位置计数器	119
5.1.8 标题伪指令	120
5.1.9 连接伪指令	120
5.2 汇编语言程序设计	121

5.2.1	程序设计步骤	121
5.2.2	顺序程序设计	122
5.2.3	分支程序设计	124
5.2.4	循环程序设计	127
5.2.5	子程序设计	129
5.3	DOS 系统功能调用和 BIOS 功能调用	131
5.3.1	DOS 系统功能调用	131
5.3.2	BIOS 中断调用	135
5.4	宏指令、条件汇编	135
5.4.1	宏指令	136
5.4.2	条件汇编和重复汇编	137
5.5	汇编程序的调试	137
5.5.1	调试软件 DEBUG	138
5.5.2	调试步骤	141
	【本章小结】	142
	【习题】	142
第 6 章	总线与接口	144
6.1	系统总线概述	144
6.2	系统总线功能及原理	145
6.2.1	系统总线特性与工作原理	145
6.2.2	ISA 总线	148
6.2.3	PCI 总线	149
6.2.4	PCMCIA 总线	150
6.3	输入/输出接口概述	150
6.3.1	接口基本概念	150
6.3.2	CPU 和 I/O 设备之间的信号	151
6.3.3	接口的组成	152
6.3.4	接口的功能	153
6.3.5	I/O 接口的分类	154
6.4	数据的传输控制方式	155
6.4.1	程序方式(查询方式)	155
6.4.2	中断传送方式	156
6.4.3	DMA(直接存储器存取)方式	157
6.4.4	通道与 I/O 处理机方式	159
	【本章小结】	161
	【习题】	162
第 7 章	输入/输出系统	163

7.1	输入/输出系统的基本构成	163
7.2	常见的输入设备	164
7.2.1	键盘	164
7.2.2	鼠标	167
7.2.3	扫描仪	168
7.3	输出设备	169
7.3.1	显示器	169
7.3.2	打印机	179
7.4	外存储器	189
	【本章小结】	189
	【习题】	189
第 8 章	微机中断系统	190
8.1	中断系统概述	190
8.1.1	提出中断概念的原因	190
8.1.2	中断的基本概念	191
8.1.3	中断的用途	191
8.1.4	中断源的分类	192
8.2	中断优先级与中断处理过程	193
8.2.1	中断优先级	193
8.2.2	中断处理过程	193
8.3	8086 中断系统	196
8.4	8259A 可编程中断控制器及其应用	198
8.4.1	8259A 引脚和结构	199
8.4.2	8259A 芯片的工作方式	200
8.4.3	8259A 的编程控制	202
8.4.4	8259A 级联与编程	204
	【本章小结】	205
	【习题】	205
附录		206
参考文献		210

第 1 章 概 述

【学习目标】

1. 了解计算机发展简史。
2. 掌握计算机中的数制和编码知识。
3. 掌握数字逻辑电路基础知识。
4. 了解计算机的基本组成和工作原理。
5. 了解微型计算机的基础知识。

1.1 计算机系统概论

1.1.1 计算机发展简史

由于科学技术的不断发展，迫切需要计算速度快、精度高并且能够自动处理信息的新型电子设备。早期的计算工具有中国人独创的算盘，它采用十进制，灵活方便，但是它只能进行数值计算。1642年，法国科学家 B. Pascal 设计了能实现加减法的机械计算机；20世纪40年代初期，德国工程师 Komrad Zuse 采用继电器制造了 z-3 机电式程控计算机，该种计算机运用了二进制数，二进制运算法则是德国数学家 LeibnizGW 从中国古代的八卦图中受到启迪而提出的。数字式计算工具的发展为后来数字计算机的发展奠定了理论和技术基础。

第二次世界大战期间，美国为了军事上的需要，急需高速、准确的计算工具来解决弹道计算问题，于是投入巨资研制新型计算工具。1946年，由宾夕法尼亚大学的 John Mauchly 和 LPeckert 领导的研制小组成功地研制了世界上第一台电子数字计算机 ENIAC (Electronic Numerical Integrator And Calculator)。它由 18000 个电子管组成，占地约 170m²，耗电 140kW，每秒完成加法运算的次数为 5000 次，平均出错率 20 次/时。

第一台电子数字计算机的诞生，具有划时代的意义，为计算机今后的发展奠定了技术基础。计算机诞生至今仅有 50 多年的历史，由于它卓越的功能，吸引越来越多的人对此进行研究开发，使其以惊人的速度飞速发展。50 多年来，计算机的发展已经历了 4 代，正在向第五代发展。在推动计算机发展的众多因素中，电子器件的发展起着决定性的作用，可以说电子器件向前迈进一步，计算机技术亦随之发展；其次是计算机系统结构和计算机软件的发展也起着重大作用。

第一代计算机 (1946—1958)。这一代计算机的主要特点是：以电子管作为基本电子元件，主存储器采用磁鼓或磁芯，外存储器采用磁带，数据表示主要是定点数，程序编制采用机器指令或汇编语言，运算速度一般为每秒几千次至几万次，主要用于科学计算。虽然这一代计算机体积大、耗电多、运算速度低、可靠性不高且价格昂贵，但是它确立了计算机技术

的发展基础。有代表性的机器是冯·诺依曼的 IAS 计算机。

第二代计算机（1958—1964）。这一代计算机的主要特点是：基本逻辑部件采用晶体管分立元件，主存储器仍然采用磁芯，外存储器开始出现了磁盘，运算方式采用了浮点运算，其运算速度提高到每秒十万次至数百万次。在这一时期，软件有了很大的发展，各种高级语言和编译程序的相继问世，使得数据处理变得相对方便。体积、功耗、价格都有所下降，可靠性得以提高。这一时期代表性的机器如 IBM7094。

第三代计算机（1964—1975）。其主要特点是：由中、小规模集成电路（C）代替了分立元件晶体管作为基本逻辑元件，用半导体存储器代替了磁芯作为主存储器，外存储器仍然用磁盘，采用了微程序设计技术，软件技术进一步成熟，出现了操作系统等系统软件；计算速度进一步提高，可达每秒数百万至数千万次。性能/价格比上升，应用领域不断扩大，出现了系列化计算机。有代表性的计算机如 IBM360 系列以及 DEC 公司的 PDP-8 等。

第四代计算机（1975 年至今）。这一代计算机采用了大规模集成电路（LS）和超大规模集成电路（VLS），主存储器普遍采用了半导体存储器，在系统结构方面及软件方面都有了很大的发展，如分布式计算机系统、数据库系统，平均运算速度达到每秒一千万次以上，进一步提高了机器的性能，有代表性的计算机如 IBM4300 系列等。

第五代计算机是智能型计算机，是以人工智能为基础的。也就是说利用计算机模拟人的某些思维过程和智能行为，如模式识别、自然语言理解、专家系统、绘画系统等。目前，美国、日本等国家都投入了大量的人力、物力和财力来研制的第五代计算机是一个知识信息处理系统。

计算机经过了几十年的发展。随着计算机的广泛应用，也看到了它存在的问题。比如计算机虽然有极高的运算速度和极大的存储容量，但是“感觉器官”很不发达；只能靠几种输入设备去接收外部的信息，这就限制了计算机功能的进一步发挥；从计算机的“思维”来看，计算机采用的是事先编制好的程序，没有总结经验和自我完善的能力，同时，计算机只能按一种“不是即非”的逻辑工作，无法理解人类广泛使用的模糊概念。要使计算机能发挥出更大的作用，具有广泛的问题求解能力，我们必须为它配置高级的人—机接口，还要使它具有解决问题的能力和高推理能力。计算机智能化正是第五代计算机要实现的目标。

1.1.2 计算机的分类

计算机按照不同的原则可以有多种分类方法，主要介绍以下 3 种。

（1）按信息的处理方式可分为：数字计算机、模拟计算机和混合计算机。计算机所处理的电信号在时间上是离散的，这种计算机是数字计算机，通常所说的计算机都是指数字计算机。而处理的电信号在时间上是连续的计算机是模拟计算机，其特点是数值由连续量来表示。混合计算机是取数字计算机和模拟计算机的长处，既有数字量又有模拟量，这种计算机结构复杂，设计也有一定难度。

（2）按照计算机用途可分为：通用计算机和专用计算机。通用计算机主要用于科学计算、数据处理和信息管理等方面，其通用性强，现在一般所指的计算机都是通用计算机。专用计算机则是用于军事、工业控制等方面的专用设备，是为解决某一特定问题而专门设计的计算机，可靠性高。

（3）按计算机规模可分为：巨型机、大型机、小型机、微型机和单片机。巨型机（超级

电脑) 专用于大型运算且速度至少为 50MIPS (Instruction Per Second, 百万条指令每秒, 是指 CPU 每秒所处理的指令数), 主要用于军事技术和尖端科学研究。它具有运算速度快、效率高、软硬件配套齐备等特点, 但价格昂贵。大型机处理速度一般在 1MIPS ~ 50MIPS, 无论在速度上、规模上均不如巨型机, 但结构更简单, 价格更便宜, 多用于事务处理、高速处理、信息管理及大型数据库和数据通信。小型机是计算机中最低档次的机器, 具有体积小、价格低、性能/价格比高等优点, 多用于一般企业、事业单位如学校机构中。微型机又称 PC, 其特征是体积小, 使用简单, 可靠性高、灵活性强, 价格十分便宜。单片计算机就是将运算、控制、少量 RAM 单元及部分接口电路集成在一块芯片上, 由于单片计算机体积小、价格低, 在测试和控制方面得到广泛应用。但由于计算机技术及微电子技术的迅速发展, 以上 5 类机型的界限愈来愈不明显, 计算机正在朝着巨型化、微型化、网络化及智能化方向发展。

1.1.3 计算机的特点

计算机发展之快、应用之广、对人们的贡献之大, 是以前任何一种机械不能比拟的。这与它本身所具有的特点是分不开的。相对于其他工具, 其具有以下特点。

1. 数据运算与处理速度快

到目前为止电子计算机的运算速度可高达千亿次每秒, 这种运算能力已远远超过人类以往任何年代的处理能力。如: 一位科学家花了 15 年时间把圆周率 π 的值算到小数点后 707 位, 而现代计算机, 不到 1 小时即可完成。

2. 计算精度高

随着科学技术的发展, 特别是一些尖端科学技术的发展愈来愈需要具有高度准确的计算结果, 如在宇航部门, 可借助计算机来做精密的卫星和飞船航道分析。只要电子计算机内用以表示数值的位数足够多, 就能提高运算的精度。

3. 存储容量大

计算机具有存储“信息”的装置, 除本身的主存储器外, 还包含了外部存储器(比如磁带、磁盘、光盘等), 均可存储大量的信息。单单是主流 PC 的内存就高达 1GB, 一张普通的 DVD 光盘容量就达 4.7GB, 相当于一个小型的图书馆了。

4. 自动连续运行的能力

计算机不仅具有存储数据的功能, 而且还能存储程序。它根据人们预先编好的程序自动地逐条地执行直到程序执行完毕, 整个过程不需要人为干预。这就是它与其他计算设备最本质的区别。

5. 通用性强

在计算机上解决不同的问题, 只是执行的计算程序不同, 都可以在计算机上运算。因此, 计算机可以广泛用于科学计算、数据处理、过程控制、仪器仪表智能化、辅助技术等。

1.1.4 计算机的应用

现代电子计算机已广泛渗透到工业、农业、文教、通信、生物、医学、日常生活等各个

领域。计算机在人们的发掘下，日益显示出其强大的生命力。它是一个国家现代化水平的重要标志。

当前，计算机的应用范围主要有以下几个方面。

1. 数值计算

数值计算是指通过精度可控的近似计算，将原始数据转换成结果数据。由于许多工程设计和科研课题的计算中要涉及大量的、复杂的数学问题，如微分方程和积分方程等，计算工作量庞大，费时费力，只能进行近似估算，结果精度很低。如圆周率的计算，18世纪英国数学家商克斯用“手算”花了20年的时间，只算到了707位小数，且第527位数还是错的。在今天，有了高速电子计算机的帮助，每秒可进行上亿次计算，仅需6.8小时就可达到800万位小数。又如，没有计算机的“帮助”，导弹和宇宙航行的运动轨迹及气动干扰等问题的计算就很难进行。

2. 数据处理

对大量数据进行收集、推理、合并、选择、存储、传递、输出等加工，并按照人们的要求将一种数据形式转换成另一种数据形式，称之为数据处理。它主要表现在办公自动化、生产管理自动化、军事自动化、医疗管理和诊断、专家系统和决策系统等方面。

据统计，目前在计算机的应用中，属于非数值的数据处理占整个计算机应用的80%以上。

3. 实时控制

这是指计算机对被控对象及时地收集和检测其若干需要的数据，并按最佳状况进行自动控制或自动调节控制对象的一种控制方式。因为被控制的总是一个物理过程或生产过程，所以又称过程控制。目前已广泛用于电力、冶金、石油化工、机械等工业部门。从而可以节省劳动力，减轻劳动强度，提高生产效率，节省原料及能源消耗，降低成本。

4. 计算机辅助设计、辅助制造和辅助测试

(1) 计算机辅助设计(CAD): 计算机辅助设计是指使用电子计算机来帮助设计人员进行设计。如在电子计算机的设计过程中，利用计算机对要设计的机器进行体系模拟、逻辑模拟、插件划分、自动布线等，从而可提高设计工作的自动化程度、节省人力和物力。

(2) 计算机辅助制造(CAM): 计算机辅助制造是使用计算机来进行生产设备的管理、控制和操作的过程。例如在产品制造过程中，应用计算机来控制生产机器的运行，处理产品制造中所需要的数据、控制和处理材料的流动以及对产品进行测试和检验等。这种技术的使用能提高产品的质量、降低成本、缩短生产周期，改善生产人员的工作条件等。

(3) 计算机辅助测试(CAT): 计算机辅助测试是利用计算机帮助进行测试。比如大规模集成电路的各种参数测试，产品分类和筛选等。

(4) 计算机辅助教学(CAI): 计算机辅助教学是在教学中利用计算机进行课件展示、模拟实验、课程总结、习题解答等。如此可以大大减少板书时间和增加生动形象性，提高教学效率和质量。

5. 系统仿真

所谓仿真就是利用模型模仿真实系统的技术。首先要建立一个用数学方程来描述真实系统的数学模型，在此基础上应用一些数值计算方法把已建立的数学模型变换成可以直接在计算机上运行的仿真模型。通过对模型的试验，便可以了解实际系统(或过程)在各种内、外

因素变化条件下,各性能的变化规律。例如计算机制成仿真器,用于训练航空、航海以及作战指挥等。因此,可以收到投资少、省能源、周期短、见效快的效果。

6. 日常生活

由于应用集成电路技术,从1971年开始出现微型计算机,使得计算机很快地渗透到人们的日常生活,目的在于提高社会效益,追求未来目标,满足人们物质和文化生活的需要。例如将计算机用于家庭财务管理、家务自动管理(自动洗衣机、自动炊具)、节省能源管理(自动空调、自动调节照明),自动告警和防火、防盗,代替家庭教师,查找外部资料,提供电子游戏等。

1.2 计算机中的数制和编码

由于计算机内部加工和存取的数据采用二进制,也就是说各种数据和信息都是以二进制的形式在机器中处理的。再加上二进制数据在机器中的编码形式也不尽相同,因此有必要讨论各种进制的表示和信息编码。

1.2.1 进位计数制

1. 数制的概念

所谓数制就是用一组固定的数字符号和一套统一的规则来表示数目的方法。也就是说:

(1) 数制的种类很多,如十进制、二进制、八进制、十六进制等。

(2) 在一种数制中,只能使用一组固定的数字符号来表示数目的大小,通常把某种进制所使用的数字符号的多少称为该数制的基数。如常用的十进制数只能用0~9这10个符号来表示,它的基数就是10。

(3) 同一种进制中,有统一的规则。N进制数的进位规则是“逢N进一”。

2. 几种常用进制的比较

为什么计算机中采用二进制,而不采用其他通常的十进制呢?原因是二进制数本身所具有的特点适合计算机的工作。

(1) 二进制表示数字容易实现。二进制只使用了数字符号“0”和“1”,显然,找到具有两种稳定状态的电子器件比具有10种稳定状态的电子器件要容易得多。如晶体管的导通与截止,电压的高低等。

(2) 与十进制相比,二进制的运算规则更简单。如求和:

$$0+0=0 \quad 0+1=1 \quad 1+1=10$$

计算机中任何运算结果都是通过运算器得到的,采用二进制可使计算机的运算器结构简单。

(3) 采用二进制可以进行逻辑运算,使逻辑代数成为计算机硬件设计的数学基础。

(4) 由于二进制是用“0”和“1”表示的,数据在传输、处理中不易出错,保证了计算的可靠性。

1.2.2 数制之间的转换

计算机内部采用二进制，而在外部表现数据和程序员编程则常用到八进制和十六进制，人们又习惯看十进制数据，因此这几种数制间常常需要相互转换。

1. 十进制转化为其他进制

十进制整数部分通常采用“除基取余”法，即将十进制整数反复除以基数，直到商为0，然后将每次相除所得余数按先得到的余数作为某种进制的低位依次排列即可得到该进制数。

十进制小数部分通常采用“乘基取整”法，让小数反复与基数相乘，把每次积的整数取出，依次作为该进制数小数点后的第一位、第二位……直到达到指定的精度。

例 1-1：将十进制 153 转化为八进制。

$$\begin{array}{r} 8 \overline{) 153} \\ \underline{8 \quad 19} \quad \text{余 1} \\ 8 \overline{) 19} \quad \text{余 3} \\ \underline{0} \quad \text{余 2} \end{array}$$

然后，从下到上地把余数串起来就得到了结果： $(153)_{10}=(231)_8$ 。

例 1-2：将十进制 0.2735 转化为十六进制。

$$0.2735 \times 16 = 4.3760 \quad \text{.....取积的整数 4}$$

$$0.3760 \times 16 = 6.0160 \quad \text{.....取积的整数 6}$$

$$0.0160 \times 16 = 0.256 \quad \text{.....取积的整数 0}$$

$$0.256 \times 16 = 4.096 \quad \text{.....取积的整数 4}$$

.....直到没有小数位或者满足精度要求为止。

从上到下地把取出的整数串起来作为结果的小数部分，即 $(0.2735)_{10}=(0.4604)_{16}$ 。

例 1-3：将十进制 35.125 转化为二进制。

综合利用上面两个例子的方法不难得到： $(35.125)_{10}=(100011.001)_2$ 。

$$\begin{array}{r} 2 \overline{) 35} \\ \underline{2 \quad 17} \quad \text{余 1} \\ 2 \overline{) 17} \quad \text{余 1} \\ \underline{2 \quad 8} \quad \text{余 1} \\ 2 \overline{) 8} \quad \text{余 0} \\ \underline{2 \quad 4} \quad \text{余 0} \\ 2 \overline{) 4} \quad \text{余 0} \\ \underline{2 \quad 2} \quad \text{余 0} \\ 2 \overline{) 2} \quad \text{余 0} \\ \underline{2 \quad 1} \quad \text{余 0} \\ 0 \quad \text{余 1} \end{array} \quad \begin{array}{l} 0.125 \times 2 = 0.25 \quad \text{.....取整数 0} \\ 0.25 \times 2 = 0.5 \quad \text{.....取整数 0} \\ 0.5 \times 2 = 1 \quad \text{.....取整数 1} \end{array}$$

2. 将其他进制转化为十进制

在进位计数制中，一个数码处在数的不同位置所代表的数值是不同的。每一个数位赋予的数值称为位权。位权的大小是以基数 R 为底，数位的序号 i 为指数的整数次幂，用 i 表示数位的序号，则数位的位权就是 R^i 。例如 $(536.21)_{10}$ 各数位的权分别为 10^2 、 10^1 、 10^0 、 10^{-1} 和 10^{-2} ； $(1101.11)_2$ 各数位的权分别为 2^3 、 2^2 、 2^1 、 2^0 、 2^{-1} 和 2^{-2} ； $(25A.7)_{16}$ 各数位的权分别为 16^2 、 16^1 、 16^0 和 16^{-1} 。

将其他进制转化为十进制的方法是将各种进制数按其各位权展开为位数多项式求和，结果就是等值的十进制数。

例如： $(357)_8 = 3 \times 8^2 + 5 \times 8^1 + 7 \times 8^0 = (239)_{10}$

$(1011.101)_2 = 1 \times 2^3 + 0 \times 2^2 + 1 \times 2^1 + 1 \times 2^0 + 1 \times 2^{-1} + 0 \times 2^{-2} + 1 \times 2^{-3} = (11.625)_{10}$

$(23A)_{16} = 2 \times 16^2 + 3 \times 16^1 + 10 \times 16^0 = (570)_{10}$

3. 二进制与八进制、十六进制之间的转换

八进制（或十六进制）转换为二进制：以小数点为界，分别向左向右，将八进制（或十六进制）的各位用相应的3位（或4位）二进制取代。不足3位（或4位）二进制数的补“0”。例如： $(375.21)_8 = (011\ 111\ 101.010\ 001)_2$ ， $(0A5.F)_{16} = (1010\ 0101.1111)_2$ 。

二进制转换为八进制（或十六进制）：以小数点为界，分别向左向右，将二进制数按3位（或4位）进行分组，分组后不足者必须补“0”，整数在最左面补，小数部分在最右边补。然后将各组用相应的八进制（或十六进制）位取代即可。例如： $(10\ 011\ 101.101\ 11)_2 = (010\ 011\ 101.101\ 110)_2 = (235.56)_8$ ， $(1001\ 1101.1011\ 1)_2 = (1001\ 1101.1011\ 1000)_2 = (9D.B8)_{16}$ 。

1.2.3 原码、补码和反码

在日常的书写习惯中，往往用正负号加绝对值表示数值，这种形式表示的原值，在计算机科学中被称为真值。但计算机采用数字化信息表示方法，对正负号也要数字化。在计算机中把这种连同符号一起数字化了的数称为机器数。常用的机器数形式可分为：原码、补码和反码。

1. 原码

原码表示简单直观。它规定：用最高位表示符号，正数的符号位用“0”表示，负数的符号位用“1”表示，数值部分则用二进制数的绝对值表示。

例如：

$X = +10101$ （真值） $[X]_{\text{原}} = 010101$ （最高位是符号位）

$Y = -10101$ （真值） $[Y]_{\text{原}} = 110101$ （最高位是符号位）

上例表明，在原码表示法中，正数形式与负数形式的不同之处仅在于符号位不同，对原数的数值部分没有影响，使数值部分仍保留着其真值的特征。

原码表示易于与真值转换。用原码作乘除运算时，可以取其绝对值运算而符号单独按异或逻辑处理，因而比较方便。但对于应用得最多的加减运算，不仅需要根据操作码还要根据两数的符号才能决定实际的操作性质，这就使计算机的控制变得复杂，原码表示就不方便了。

2. 补码

原码加减运算不很方便，例如要作这样一次运算 $(-5) + 3 = ?$ 表面上要求作加法，但由于两操作数异号，实际上需作 $(3 - 5)$ 的操作。如果让符号位也参加运算，使其操作仅与操作码有关，则运算就简单了；如果更进一步，使减法转换为加法，从而使正负数的加减运算转化为单纯的加法运算，那么就简化了运算，从而可以提高机器的运算速度，而且节省了机器设备。补码表示法就是可以实现上述观点的一种很好的机器数表示法。

我们引出“同余”的概念。设两整数 A 、 B 可用同一个整数 M 去除而余数相等，则称 A 、 B 对 M 同余，记作：

$$A = B \pmod{M}$$

其中 M 叫做模或模数，称 A 与 B 对 M 互补。