

高等学校计算机基础教育系列教材

微型计算机原理及其应用

主编 傅麒麟



上海交通大学出版社

高等学校计算机基础教育系列教材

微型计算机原理及其应用

傅麒麟 编



上海交通大学出版社

内容简介

本书以 Intel 8086 系列 CPU 作为典型机型, 介绍微型计算机的原理与应用。内容包括: 计算机基础知识; 微型计算机系统; 8086 CPU 的指令系统; 汇编程序设计; 微机系统中的总线结构; 内存系统; 微机的输入输出及其控制; 并行接口; 模拟接口技术; 串行接口与数据通信以及人机交互设备接口等。书中每章均附有习题并给出了大量应用实例。通过本书学习, 使读者具备一定的微机应用系统开发能力, 掌握微机接口电路与相应控制程序的设计, 并学会其制作与调试方法。

微型计算机原理及其应用

上海交通大学出版社出版·发行

上海市番禺路 877 号 邮政编码: 200030

全国新华书店经销

松江县新桥新生印刷厂印刷

开本: 787×1092(毫米) 1/16 印张: 19.5 字数: 484000

版次: 1997 年 8 月 第 1 版 印次: 1997 年 8 月 第 1 次

印数: 1-4500

ISBN 7-313-01805-3/TP·328 定价: 30.50 元

序

近年来,随着国民经济和科学技术的发展,计算机应用得到了日益广泛的普及。计算机作为一种工具与文化,在与科学技术各专业的渗透结合中,推动了各学科的发展,已逐渐成为各学科的重要组成部分,甚至形成了新的学科方向。这一点正逐渐为人们所认识。因此,由一系列课程组成的计算机基础教育,如同数学、物理、外语那样,已成为高等学校非计算机专业的重要基础课程。培养大批的掌握计算机应用技术的跨世纪高级人才,已成为历史赋予我们高等学校的一项重任。

经过多年的教学实践与努力,高等学校的计算机基础课程大致可以归结为文化基础、技术基础与应用基础这三个层次。这不仅表现在高等学校课程体系的设置上,而且表现在教学内容上。这一点已成为高等学校的共识。高等学校应在注重基础、注重应用的原则下,适应新发展,不断更新计算机基础教育的教学内容。

为此,我们组织了上海、南京等地近 20 所大学、高等专科学校的几十位多年从事这方面教学、有丰富教学经验的教师,编写了这套高等学校计算机基础教育系列教材,以适应高等学校在新形势下的需要,为高等学校开展计算机基础教育提供教材的选择。

这套系列教材共分两辑:第一辑适用于高等学校非计算机专业少学时本科生和大专生,它包括了《计算机文化基础》、《C 语言程序设计与软件开发基础》、《FOXPRO 数据库及其应用》、《微型计算机原理》、《计算机文化基础上机教程》;第二辑适用于高等学校非计算机专业多学时本科生,它包括了《计算机文化基础教程》、《计算机通信网络》、《数据库应用基础》、《计算机办公事务处理基础》、《计算机辅助绘图与设计》、《微型计算机原理及其应用》、《单片机原理与应用》、《实用 Internet 教程》等。

这套系列教材既可作为高等学校计算机基础教育、成人高等教育与继续教育的教材,也可供专业技术人员、管理人员与有关读者参考。

本套教材将先后陆续出版,因时间仓促,书中若有疏漏及不妥之处,恳请读者提出批评与宝贵意见,以便修订时更正。

盛焕烨

1996 年 5 月

高等学校计算机基础教育系列教材编纂委员会

编纂委员会顾问：**张钟俊**

编纂委员会主任：盛焕烨

编纂委员会副主任：侯文永 杭必政 钱培德 东鲁红 史九林 黄国建

编纂委员会委员(以姓氏笔画为序)：

王 蕾	东鲁红	史九林	冯矢勇	孙一平	孙平川	孙德文	张小明
张 立	张汝杰	张钟俊	张国华	刘伯生	祁惠民	乔沛荣	朱秀珍
汤宝骥	汤文彬	杨 健	吴念勤	杭必政	周少明	周治仁	范荷英
侯文永	姚天昉	施小英	俞丽和	俞德礼	钱培德	钱焕延	盛焕烨
章 鲁	黄国建	程自强	瞿彭志				

编纂委员会秘书：朱秀珍 周少明 张国华

前 言

自从 70 年代初 Intel 公司发明了第一个微处理机以来, 仅仅过了 20 多年, 微处理机技术已经发生了好几代质的飞跃。早期的微处理机字长比较短, 只有 4 或 8 个二进制位; 时钟只有 2MHz 或 4MHz, 运行的速度比较慢; 只具有一些基本的传送、运算、转移等指令, 功能比较单一。随着微电子技术的发展, 集成电路的集成度越来越高, 从早期在一个芯片上集成几千个晶体管到现在的几百万个晶体管。由此带来的结果是微处理机的功能不断增强。它们的字长增加到 32 位甚至 64 位; 时钟频率提高到了 100 多 MHz; 它们的指令系统不断地完善, 还增加了许多过去在大型机上才有的对系统的管理能力。现在, 微处理机的水平已经达到了一个前所未有的高度, 其能力已经可以与过去的大型计算机的中央处理机相媲美, 并正在不断加快它的发展步伐, 取得更加辉煌的成就。

我们知道, 计算机从一开始就是应科研和生产的需要而研制和服务的。应用的需求一直是推动计算机发展的原动力。过去的计算机一般体积都比较大, 重量和耗电也都很可观, 而且通常都要求安装在有空调的房间内, 这就在一定程度上限制了计算机的应用领域。微处理机的出现彻底改变了这种状况。由于微处理机具有体积小、功耗低、对工作环境要求低等突出优点, 以它为核心所组织的计算机适应面更广, 也更能满足复杂环境的要求, 从而为拓展计算机的应用领域奠定了基础。随着应用的不断深入, 反过来又给微处理机提出了新的要求, 进一步推动了微处理机的发展, 使之更加多样化, 性能覆盖范围更广。

以微处理机为核心组成的个人计算机(PC)是最常见的一种应用系统, 它是一种通用计算机系统。由于可以用它进行各种科学计算、文字处理、报表统计, 甚至用它来画图、制作动画等, 特别是当在个人计算机上扩展了多媒体功能后, 使它更加受到人们的青睐, 并开始大量进入家庭。其实, 微处理机更为大量的使用是把它们镶嵌在各种系统和设备中, 利用微处理机的“智能”, 使原有的系统性能更好、使用更加方便。比如, 许多工业自动化控制系统, 由于采用了微机控制, 不但大大地提高了劳动生产率, 而且使产品上了一个新的台阶。新的基于计算机控制的柔性生产系统, 使从产品设计直到成品完成实现了更高层次的自动化。各种测量仪表和医疗仪器在加入了微处理机控制后, 不但使检测的功能更多, 而且使测量的精度和自动化程度更高。在家用电气中加上微型计算机(以下简称微机), 大概应该是微处理机与千百万人关系最为密切的一种应用领域了。从电视、音响, 到洗衣机、电冰箱等, 都由于微处理机的加盟而使产品性能更好, 使用更方便, 甚至现在的许多玩具中也由于加了智能化的控制, 使玩具平添了许多乐趣。现在, 微处理机已经渗入到了日常工作和生活的各个角落, 似乎可以这样说, 只要是你能想得到的地方, 都有微处理机的用武之地。

微处理机在高性能计算机领域方面也在发挥着自己的作用。例如用多个微处理机联合起来工作, 形成多处理机系统, 使整个计算机达到很高的性能。现在, 微机不但已经占领了传统小型机甚至中型机的市场, 使大型机、小型机的分界由模糊而不存在, 并且开始在大机、巨型机的制造上得到了足够的重视, 且已取得了令人瞩目的成绩。正在大量建设

中的各种计算机网络，为在世界范围内的信息传递和资源共享创造了良好的条件，使个人计算机由于加入到网络中工作而大大增强了功能，拓宽了它的使用范围。

目前微机在应用上达到的广度和深度，以及将来可能具有的发展潜力都给我们提出了一个不容推卸的责任，即尽可能多地掌握计算机应用技术，使之成为我们得心应手的工具。那么，怎样才算是掌握了应用技术呢？对于非计算机专业的工科学生来说，主要应该包括两个方面：一方面是学会个人计算机的操作使用，即熟悉它的操作系统，学会使用最常用的一些应用软件，如文字处理等，此外还应学会至少一种程序设计语言，能够根据专业的需要，开发一些必要的应用程序，当然，不同的专业可以有不同的选择；另一方面还应具备一定的应用系统开发能力，能利用个人计算机或直接用单片微机，开发一个用于控制或其他目的包括硬件和软件在内的系统。这就要具备一定的计算机原理知识，学会微机的接口电路设计和相应的控制程序设计，并且学会制作和调试方法。

为满足上述第二方面的能力要求，本教材由三个部分组成，即：计算机基本原理；汇编程序设计；微机接口技术。这四个部分各有若干章节进行阐述，它们结合在一起形成一个完整的体系。其中汇编和接口是全书的重点。

如果泛泛地谈微机原理，是难以达到我们的目标的，所以本教材内容以国内最常用的 Intel 8086 系列 CPU 为典型机型展开，阐述一般原理，讲述基本方法。由于微处理机实在发展太快，往往是写在书中的内容跟不上市场的变化，但是只要我们牢牢地把握住基本原理和基本方法，就可以处变而不惊，跟上微处理机的前进步伐。当然，我们在教材中也尽量地反映一些当前的新成果和新趋向，以增强读者对技术进步的适应能力。

本教材力图在基本原理和实际应用的结合、在现实和发展的结合上有所进步，有意义的尝试往往还会存在着某种不足，祈望读者给予指正。

编者

1997 年 3 月

目 录

第1章 计算机基础知识	1
1.1 计算机中数值数据的表示	1
1.1.1 进位计数制	1
1.1.2 二进制算术运算	5
1.1.3 计算机中数的表示	6
1.2 计算机中非数值数据的表示	13
1.2.1 字符编码	13
1.2.2 汉字编码	15
1.2.3 其他信息在计算机中的表示	16
1.3 计算机的运算基础	16
1.3.1 逻辑运算	16
1.3.2 算术运算	17
1.4 计算机系统及其工作特点	22
1.4.1 计算机系统的组成	22
1.4.2 存储程序与程序控制	25
1.4.3 用于表示计算机性能的常见术语	27
习 题	28
第2章 微型计算机系统	29
2.1 微机系统概述	29
2.1.1 微处理机	29
2.1.2 微机	31
2.1.3 微机系统	32
2.2 微机系统中的硬件结构	33
2.2.1 总线结构的微机	33
2.2.2 微机系统中的接口问题	34
2.3 典型微机系统介绍	37
2.3.1 低档个人计算机 PC/XT 与 PC/AT	37
2.3.2 386 与 486 系统	38
2.3.3 MS-DOS 与 WINDOWS	38
2.3.4 典型外设及其连接	39
习 题	40
第3章 8086 CPU 的指令系统	41
3.1 Intel 8086 CPU 的结构	41
3.1.1 8086 CPU 的结构和编程模式	41
3.1.2 关于指令的概念	45

3.2 8086 CPU 的寻址方式	47
3.2.1 立即寻址方式	47
3.2.2 寄存器寻址方式	47
3.2.3 直接寻址方式	47
3.2.4 寄存器间接寻址方式	48
3.2.5 寄存器相对寻址方式	48
3.2.6 基址变址寻址方式	49
3.2.7 相对基址变址寻址方式	49
3.2.8 寻址方式的小结	49
3.3 8086 CPU 的指令系统	49
3.3.1 数据传输指令	50
3.3.2 算术指令	55
3.3.3 逻辑指令	59
3.3.4 串操作指令	60
3.3.5 转移控制指令	62
3.3.6 处理机控制类指令	68
习 题	68
第4章 汇编程序设计	72
4.1 汇编语言程序格式	72
4.1.1 汇编语言的基本概念	72
4.1.2 伪指令与伪操作	73
4.1.3 汇编语言程序的基本格式	78
4.2 汇编语言程序设计的基本方法	83
4.2.1 顺序程序结构	83
4.2.2 分支程序结构	84
4.2.3 循环程序结构	85
4.2.4 子程序	88
4.3 几种典型问题的汇编程序设计	93
4.3.1 代码转换程序设计	93
4.3.2 表处理程序设计	98
4.4 汇编程序的调试	102
4.4.1 上机过程	102
4.4.2 调试程序 DEBUG	104
4.4.3 .EXE 和.COM 文件	107
习 题	108
第5章 微机系统中的总线结构	110
5.1 总线的概念	110
5.1.1 总线的作用与分类	110
5.1.2 总线的物理特性	111
5.1.3 总线的控制特性	113

5.1.4 总线仲裁的概念	114
5.2 8086 CPU 的引脚与时序	115
5.2.1 8086 CPU 在小模式下的引脚功能	115
5.2.2 8086 CPU 的基本时序	120
5.2.3 8086 CPU 在大模式下的引脚功能	121
5.2.4 8087 和 8089 处理机简介	123
5.3 PC 总线的形成	124
5.3.1 系统时钟的产生	124
5.3.2 数据与地址总线的形成	127
5.3.3 控制总线的形成	128
5.4 几种总线标准	130
5.4.1 PC 总线	131
5.4.2 ISA (16 位) 与 EISA 总线	132
5.4.3 局部总线	134
5.4.4 VIX 总线	135
习 题	136
第 6 章 内存系统	137
6.1 计算机存储系统概述	137
6.1.1 分级存储的概念	137
6.1.2 存储器芯片分类	140
6.1.3 存储器芯片工作特性	142
6.2 内存的组织	147
6.2.1 存储空间的配置	147
6.2.2 存储器的连接	148
6.2.3 动态存储器的地址译码和刷新	152
6.3 内存系统实例	155
6.3.1 存储器配置和结构	155
6.3.2 ROM 子系统	156
6.3.3 系统板上的 RAM 子系统	156
6.3.4 RAM 容量的扩展	159
6.3.5 高档微机中的内存条	161
习 题	162
第 7 章 微机的输入输出及其控制	163
7.1 微机的输入输出	163
7.1.1 无条件输入输出	163
7.1.2 CPU 主动查询方式	164
7.1.3 中断请求响应方式	165
7.1.4 DMA 方式	165
7.2 8086 的中断机构	166
7.2.1 中断系统	166

7.2.2	8086 CPU 的中断机构	168
7.3	中断控制器 8259A 简介	170
7.3.1	8259A 的基本功能	170
7.3.2	框图及引脚功能	171
7.3.3	8259A 的工作过程	173
7.3.4	编程简介	173
7.4	一个中断系统的实例	179
7.4.1	PC 机的中断机构	179
7.4.2	系统对中断机构的初始化	181
7.4.3	用户如何使用中断资源	181
7.5	DMA 控制器	182
7.5.1	概述	182
7.5.2	DMA 控制器 8237A	183
7.5.3	PC 机中的 DMA 传输系统	191
7.6	定时/计数器 8253-5	193
7.6.1	微机系统中的定时器和计数器	193
7.6.2	8253-5 的主要特性和工作方式	195
7.6.3	方式控制字	200
7.6.4	应用举例	201
习 题		203
第 8 章	并行接口	204
8.1	并行接口技术概述	204
8.1.1	并行接口的概念	204
8.1.2	接口所用的基本技术	205
8.2	简单并行接口 8212	206
8.2.1	性能与结构	207
8.2.2	使用举例	208
8.3	可编程并行接口芯片 8255A	209
8.3.1	性能概述	209
8.3.2	结构和引脚	209
8.3.3	工作方式与控制字	211
8.3.4	使用举例	216
习 题		220
第 9 章	模拟接口技术	222
9.1	概述	222
9.1.1	模拟信号与数字信号	222
9.1.2	模拟信号与计算机接口	224
9.1.3	传感器简述	225
9.2	DAC 及其与微机的接口	225
9.2.1	DAC 的性能参数	225

9.2.2	D/A 转换器接口概述	227
9.2.3	几种 DAC 芯片接口示例	227
9.3	ADC 及其与微机的接口	230
9.3.1	ADC 的主要指标	230
9.3.2	ADC 转换芯片与微机系统接口的原理	231
9.3.3	ADC 转换器与微机系统接口的几个例子	233
习 题		236
第 10 章	串行接口与数据通信	238
10.1	数据通信的基本概念	238
10.1.1	串行数据传输的基本模型	238
10.1.2	两种数据传输模式	240
10.1.3	调制与解调	245
10.2	串行接口标准 RS-232C	248
10.2.1	电气特性	248
10.2.2	接口功能规定	249
10.2.3	一次数据通信的建立过程	251
10.3	可编程串行接口芯片 8251A	252
10.3.1	主要性能	252
10.3.2	结构与引脚	252
10.3.3	8251A 的编程	255
10.3.4	应用举例	258
习 题		261
第 11 章	人机交互设备接口	262
11.1	概述	262
11.1.1	人机交互设备分类及特点	262
11.1.2	人机交互设备接口的特点	263
11.2	输入设备及其接口	264
11.2.1	键盘	264
11.2.2	PC 机键盘与主机的接口	270
11.3	输出设备及其接口	271
11.3.1	七段数字显示器接口	271
11.3.2	CRT 显示器接口	275
习 题		284
附录一	8086 指令系统表	286
附录二	DOS 功能调用	293
附录三	汇编程序出错信息	297

第 1 章 计算机基础知识

1.1 计算机中数值数据的表示

1.1.1 进位计数制

1. 十进计数制的特点

也许是受到每个人有十个手指的启示，几乎在上学以前我们就会用十进制方法计数了。上学以后不但学习了如何书写这种计数方法，还学习了以十进制计数为基础的数的运算。下面，我们就从这再熟悉不过的计数方法入手，了解这种计数制的特点，进而研究计算机中是如何表示“数”的，以及它是如何对“数”进行运算的。

在十进制计数时，可以用来计数的符号一共有 10 个，那就是：0，1，2，... 9 这十个数字。不同的数字符号表示大小不同的数。显然，当要计的数少于“十”时，只要取其中的一个符号就可以了。当所计的数超过“十”时，我们熟记的一条规则是：“逢十进一”。于是在这种计数制中又产生了“位”的概念，即对同一个数字符号而言，当它们处在不同的位置上时，它们所表示的数的大小是不同的。比如，一个数“5555”，从数值的观点出发，应该念作“五千五百五十五”，虽然 4 个数都是“5”，但每个数所表达的数值是不同的。最左边的一个“5”表示计了 5000 个数，而最右边的一个“5”则表示仅计了 5 个数，两者差了一千倍。平时我们就叫它们为个位、十位、百位等，以示位的区别。用一个新一点的名词，把它们称为“权”。“权”是用该进制数作基数的某次幂表示的，在十进制中，其基数为“10”，所以从个位开始，各位的权分别是 10^0 ， 10^1 ， 10^2 等。这种“权”的表示方法对于小数也同样适用，只是它们的幂次要负值表示。

例:

5	5	5	5	5	5
千位	百位	十位	个位	十分位	百分位
10^3	10^2	10^1	10^0	10^{-1}	10^{-2}

这个数值也可以表示成:

$$5555.55 = 5 \times 10^3 + 5 \times 10^2 + 5 \times 10^1 + 5 \times 10^0 + 5 \times 10^{-1} + 5 \times 10^{-2}$$

归纳起来，任意一个十进制数“A”都可以表示成

$$A = \sum_{i=m}^n K_i \cdot 10^i \quad (1-1)$$

式中， i 表示十进制数的位，从右往左逐步递增（从 $m \rightarrow n$ ），其取值可为正也可为负。 K_i 则表示在第 i 位上的数字符号。

2. 常用的几种进位计数制

如果把式(1-1)改写成下面的形式:

$$A = \sum_{i=m}^n K_i \cdot R^i \quad (1-2)$$

式中把基数改成了任意数 R ，它就成了一个任意进制数的表达式了。譬如， $R=2$ ，就成了二进制数。它只有两个符号，即“0”和“1”，它的进位规律也成了“逢二进一”，而各位的权当然也要改成以 2 为底的幂。例如：

数值	1	0	1	1	.	0	1
位权	2^3	2^2	2^1	2^0		2^{-1}	2^{-2}

在计算机中由于所用的逻辑元件只有两个状态，即“通”或“断”，或者说“高电平”与“低电平”。把这两种截然不同的电路状态与两个符号“0”和“1”对应起来，就可以使每一个逻辑元件表示二进制数中的一个位。如“低电平”表示“0”；“高电平”表示“1”。如果把若干个逻辑元件排列起来，就可以表示一个足够长度的二进制数了。

用二进制表示数对于计算机是合适的，但是对于我们人却并不方便，它既不好读，也不好写，且由于与习惯的计数方法相去甚远，难以在脑子中形成一个明确的数值概念。于是在计算机技术中又提出一种十六进制计数法。

既然是十六进制，它用以表示数的符号就应该有 16 个，于是除了在十进制中使用的 0 ~ 9 这 10 个符号以外，还规定了字母 A ~ F 作为另外 6 个符号（通常用大写字母）。它们按照从 0 到 9，然后从 A 到 F 次序排列，表示数值从小到大的排列规则。它的进位方式也成了“逢十六进一”，显然这时各位的权也相应地变成 16 的某次幂。例如：

数值	5	B	3	A	.	7	C
位权	16^3	16^2	16^1	16^0		16^{-1}	16^{-2}

选择式(1-2)中的 R 为不同值时，可以产生不同的进位制度。在实用中有时也有采用八进制计数的，其原理同上，不再赘述。

用各种不同进制表示数时，由于某些符号是各种进制共用的，为了在书写和辨识上提供方便，规定在一串数字后面加上一个标明其进制的字母。二进制用 B(inary)，十进制用 D(ecimal)，十六进制用 H(exadecimal)，八进制用 O(ctal)。

例如：
 32749.24D
 10110.101B
 2D64A.F6H

3. 不同进制数之间的转换

我们平时使用“数”，是因为有“数值”这样一个客观存在需要我们去表示它。而采用不同的进制，仅仅是为了使用方便而采取的不同表示方法。如果以我们所熟悉的十进制数为基准，即认为它的数值与表示方法是一致的，按照进位计数制最基本的原则，列表对比十进制和二进制在“十”以内的计数情况，就可以清楚地看出同一个数既可以用十进制表示，也可以用二进制来表示这样一个事实，其基础是它们所代表的数值相等。

表 1-1 十以内数的二进制和十进制表示

十进制	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
二进制	0000	0001	0010	0011	0100	0101	0110	0111	1000	1010

既然可以用不同的方法表示同一个数，那么这不同进制表示的数应该是可以进行同等转

换的，下面介绍它们之间相互转换的方法。

(1) 由十进制数转换成其他进制数 当将一个十进制数转换成其他进制数时，要将十进制数的整数和小数部分分别进行转换，然后再合并在一起，下面分别予以说明。

① 整数部分 先以将十进制数转换成二进制数作为例子，然后再把结论推广到一般。根据等值转换的原则，我们总是可以写出下面的一个等式：

$$(A)_{10} = (b_n) \times 2^n + (b_{n-1}) \times 2^{n-1} + \dots + (b_1) \times 2^1 + (b_0) \times 2^0 \quad (1-3)$$

上式的左边是一个十进制数，右边是与它等值的二进制数。如果将等式的两边同除以 2，左边所得应是一个商和一个为“1”或“0”的余数。右边的结论是相同的，也应是一个整数商和一个余数，且两边的整数和余数分别相等。显然，余数正好等于“ b_0 ”。等式两边去除余数后，再进行除以 2 的工作，可以得到从 b_1 到 b_n 各位的数值。简单地说，这个方法是将十进制数反复除以 2，依次所得的余数就是所求的二进制数序列。由于被 2 除的运算很便于心算，故推荐下面这种计算形式。

例 1-1 将十进制数 325 转换成二进制数。

0	1	2	5	10	20	40	81	162	325
1	0	1	0	0	0	1	0	1	

全式分两行，上行的最右边写上欲转换的十进制数，逐次被除所得的商往左边写，每次除后所得余数写在本次商的下面。最后得到的第二行由余数组成的序列就是变换所得结果。在此例中可得： $(325)_{10} = (101000101)_2$ 。也可以写成 $325D = 101000101B$ 。

这个基本方法可以推广到其他各种不同进制的转换中去，归纳起来，可以这样来表述：用待转换的十进制整数反复地除以目的进制的基数，依次取得的余数就是欲求的该进制数从低到高各位的数值，除法进行到商为零时终止。

作为此方法的一个使用例子，我们来试一下十进制数转换成十六进制时的过程。仍以 325D 作为待转换的数，列出的除法式如下：

16	325	余数
	20	 5
	1	 4
	0	 1

显然， $325D = 145H$ 是这个变换的结果。

② 小数部分 作单独处理的小数也可以写成一个表示式，仍以二进制为例，等式写成：

$$(.A) = (b_{-1}) \times 2^{-1} + (b_{-2}) \times 2^{-2} + \dots + (b_{-n}) \times 2^{-n} \quad (1-4)$$

将等式的两边都乘上 2。左边可得一个为“1”或“0”的整数部分（即它的整数部分进位最大为 1，或者为 0），以及所带的小数。与它相等的右式中 b_{-1} 就是相应的整数部分。即进位到整数去的那一位就是所求 b_{-1} 的取值。去除两边的整数部分，继续乘法运算，可以得到后面的各位。

例 1-2 将十进制小数 0.625D 转换成二进制小数。

$$\begin{array}{r}
 0.625 \\
 \times 2 \\
 \hline
 b_1 \text{---} \boxed{1}.250 \\
 \times 2 \\
 \hline
 b_2 \text{---} \boxed{0}.50 \\
 \times 2 \\
 \hline
 b_3 \text{---} \boxed{1}.0
 \end{array}$$

结果是: $0.625D=0.101B$ 。

应该指出, 当十进制小数连续乘 2 后, 不一定都能在最后得到小数为零的结果, 也就是说二进制小数不一定能完全精确地表示所有的十进制数, 这时可按精度要求取足够多位的二进制小数近似地表示。

归纳起来, 一个十进制小数转换成其他进制小数时, 可用该进制的基数去乘它, 所得整数部分就是转换后的第一个小数位的值, 剩余的小数继续做同样的工作, 直至达到所需的精度为止。

仍以 $0.625D$ 转换成十六进制小数为例 $0.625 \times 16=10.000$, 即 $0.625D=0.AH$ 。

(2)其他进制数转换成十进制数 从原理上讲, 各种不同进制数转换成十进制数时也可以用前述的方法。但是, 这就要进行非十进制数的运算, 而这是我们所不习惯的。按照进位计数制中“权”的方法把欲转换进制的数展开, 并且进行十进制运算, 正是我们的长处。例如, 要将二进制数 10101.101 转换成十进制数, 可以先把它按权相加的形式表示, 然后算出各项值, 最后加在一起。

例 1-3 将 $10101.101B$ 转换成十进制数表示。

$$\begin{aligned}
 10101.101 &= 1 \times 2^4 + 0 \times 2^3 + 1 \times 2^2 + 0 \times 2^1 + 1 \times 2^0 + 1 \times 2^{-1} + 0 \times 2^{-2} + 1 \times 2^{-3} \\
 &= 16 + 4 + 1 + 0.5 + 0.125 \\
 &= 21.625
 \end{aligned}$$

将十六进制数转换成十进制数时也可用同样方法进行。

例 1-4 将 $3F8.4H$ 转换成十进制数表示。

$$\begin{aligned}
 3F8.4 &= 3 \times 16^2 + 15 \times 16^1 + 8 \times 16^0 + 4 \times 16^{-1} \\
 &= 768 + 240 + 8 + 0.25 \\
 &= 1016.25
 \end{aligned}$$

(3)各种进制数的相互转换 在各种进制数相互转换时, 上述的一般方法都是适用的。但是如果在某些转换中能利用不同进制的一些特殊性质, 采用一些更简便的方法, 将使我们的工作大大地简化。二进制与十六进制数之间的转换就是一个例子。

让我们再回顾一下表 1-1 中的二进制与十进制数对应关系, 在十六进制计数法中, 它的前 10 个符号与十进制是一样的, 只要把这个表扩展, 就可以使之成为十六进制数与二进制数的对照表, 表 1-2 仅列出十六进制中扩展了的 6 个符号与二进制计数的关系:

表 1-2 9 以上十六进制符号与二进制数的表示

A	B	C	D	E	F
1010	1011	1100	1101	1110	1111

从两个表中可以看出，十六进制计数所用的 16 个符号与四位二进制数正好一一对应，而且使用了四位二进制的全部组合。换句话说，在进行十六进制数与二进制数之间转换时，只要直接利用一位十六进制数与四位二进制数相对应的关系，就会使转换变得十分简单。下面的两个例子分别作为正反两种转换方法的说明。

例 1-5 将十六进制数 3FC.B2H 转换成二进制数。

解：只要把每位十六进制数字分别用它对应的二进制数代替，所得的二进制字符串就是所求的结果。

3	F	C	B	2
0011	1111	1100	1011	0010

即：3FC.B2H=001111111100.10110010B

例 1-6 将二进制数 11010101101.101010B 转换为十六进制数表示。

解：先把二进制数以小数点为界，分别将整数和小数部分划分成四位一组。其原则是：整数部分从低位向高位方向进行，最后若不够四位可以在更高位上补 0，直到补够四位为止；小数部分由高向低（即由左向右）划分，若不够四位则在右边补 0，直到补足四位为止。然后将每组二进制数分别写出与其对应的十六进制数即可。

0110	1010	1101.1010	1000		分组及补 0	
6	A	D	A	8		各组转换

即：11010101101.101010B=6AD.A8H

1.1.2 二进制算术运算

对于熟悉十进制数运算的人来说，了解二进制的运算规律不是什么困难事，而且在实现时还相对地比较简单。下面我们分别列出四则算术运算的基本规律，作为了解计算机运算的基础。

1. 二进制加法

由于在二进制数中每一位只有“0”和“1”两个可能的符号，所以将两个二进制数相加时，同一位上相加只有以下三种情况：

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

在同位相加的基础上再考虑到前位进位的影响，最多再增加一个 $1+1+1=11$ 的规律。

平时所用的二进制数通常是多位的，而且可能包括小数点。所以在实现两数相加时也要进行对位操作，其方法与十进制运算时一样。

例 1-7 求出两个二进制数 101101.01 与 11001.101 相加的结果。

$$\begin{array}{r} 101101.01 \\ +) 11001.101 \\ \hline 1000110.111 \end{array}$$

2. 二进制减法

采用类比的方法，我们可以得到二进制减法的规则：

$$\begin{array}{l} 1-1=0-0=0 \\ 1-0=1 \end{array}$$

当本位不够减，即 $0-1$ 时，也需向高位借位，其规则是“借一作二用”。在实施二进