

大学计算机基础教育规划教材

微机原理·接口技术及应用

孔庆芸 秦晓红 赵光飞 陈江 编著



1+X



清华大学出版社

大学计算机基础教育规划教材

微机原理·接口技术及应用

孔庆芸 秦晓红 赵光飞 陈江 编著

1+X

清华大学出版社
北京

内 容 简 介

本书是为电子信息类(非计算机专业)或其他工科类专业的计算机硬件基础课程“微机原理·接口技术及应用”的教学而编写的,目的是让学生掌握微型计算机的工作原理、汇编语言程序设计、微型计算机的原理及接口技术,使学生具有汇编语言编程和硬件接口电路开发的基本能力,学懂、学通、能实际应用。本书的主要内容包括微型计算机工作原理、80x86 微处理器、指令系统、汇编语言程序设计、微型计算机存储器接口技术、输入输出和中断技术、常用可编程接口芯片、A/D 及 D/A 技术、微机总线、微型计算机应用举例等。全书共 11 章,每章附有习题与思考题。

本书可作为高等院校本科三航、信息、电气、机电等非计算机专业的教材,也可以作为相关技术人员的参考书。

本书封面贴有清华大学出版社防伪标签,无标签者不得销售。

版权所有,侵权必究。侵权举报电话:010-62782989 13701121933

图书在版编目(CIP)数据

微机原理·接口技术及应用/孔庆芸等编著. —北京:清华大学出版社,2015

大学计算机基础教育规划教材

ISBN 978-7-302-39430-3

I. ①微… II. ①孔… 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(2015)第 033900 号

责任编辑:张 民 赵晓宁

封面设计:常雪影

责任校对:焦丽丽

责任印制:何 芊

出版发行:清华大学出版社

网 址: <http://www.tup.com.cn>, <http://www.wqbook.com>

地 址:北京清华大学学研大厦 A 座 邮 编:100084

社总机:010-62770175 邮 购:010-62786544

投稿与读者服务:010-62776969, c-service@tup.tsinghua.edu.cn

质量反馈:010-62772015, zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn

课件下载: <http://www.tup.com.cn>, 010-62795954

印 刷 者:三河市君旺印务有限公司

装 订 者:三河市新茂装订有限公司

经 销:全国新华书店

开 本:185mm×260mm 印 张:21.5 字 数:494 千字

版 次:2015 年 5 月第 1 版 印 次:2015 年 5 月第 1 次印刷

印 数:1~2000

定 价:34.50 元

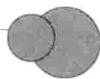
产品编号:059818-01

微

前

言

机原理·接口技术及应用



“微机原理·接口技术及应用”课程是大学本科三航、信息、电气、机电等非计算机专业的一门重要基础课程,学生通过对这门课程的学习,掌握微型计算机硬件系统的组成和工作原理,提高对微型计算机系统的理解和应用能力,为将来学习和应用微型计算机新技术打下良好的基础。

本书是在参阅了当前国内外有关微型计算机的大量资料基础上,根据作者多年的教学实践经验编写的,内容翔实,结构新颖,深入浅出,便于教学与自学。

本教材的主要特点有:

(1) 注重基础,强调理论和实践相结合;结构清楚、重点突出、循序渐进、实例丰富。

(2) 以目前最为普及的 Intel 80x86 系列计算机系统作为背景,详细介绍微处理器的组成结构、工作原理及其指令系统,汇编语言程序设计,微型计算机的存储器,输入输出与中断,可编程芯片等,为后续课程的学习及计算机应用、开发打下良好的基础。

全书共 11 章,第 1~第 5 章为基本原理部分,主要介绍 80x86 微型计算机的基本原理;第 6~第 10 章为接口及应用技术部分,主要介绍微型计算机常用接口技术和应用技术,第 11 章为综合应用举例。其中,第 1 章简要介绍微型计算机的基本结构、数制及编码,第 2 章阐述 80x86 32 位 CPU 的基本结构、通用寄存器和工作模式,第 3 章讲解 80x86 微处理器的指令系统,第 4 章讲解汇编语言程序设计,第 5 章主要阐述微型计算机存储器及其管理,第 6 章阐述输入输出的接口技术及硬件连线,第 7 章论述中断概念及应用,第 8 章阐述微机常用接口芯片及应用,第 9 章介绍 A/D 及 D/A 芯片及应用,第 10 章介绍总线的基本概念及常用的外部总线,第 11 章为综合应用举例。

本书第 1、第 3~第 5 章由孔庆芸编写,第 2 章由陈江编写,第 6~第 10 章由秦晓红编写,第 11 章由赵光飞编写。全书由孔庆芸统稿。

由于编者的水平和经验有限,书中难免有疏漏和错误之处,恳请专家和读者批评指正。

编者

2015 年 2 月



第1章 绪论	1
1.1 概述	1
1.1.1 微型计算机的发展概况	1
1.1.2 微型计算机的特点和分类	4
1.1.3 微处理器的字长	5
1.2 运算基础	5
1.2.1 进位记数制及其相互转换	5
1.2.2 二进制数的运算规则	9
1.2.3 计算机中的四则运算	11
1.2.4 计算机中带符号数的表示方法	12
1.2.5 计算机中数的小数点表示方法	17
1.2.6 二进制编码	18
1.2.7 逻辑运算与基本逻辑电路	20
1.3 微型计算机的基本结构	23
1.3.1 微型计算机的总体结构	23
1.3.2 微处理器的基本结构	26
1.4 多媒体计算机	32
1.4.1 人机接口	32
1.4.2 多媒体计算机的主要功能	32
1.4.3 多媒体计算机的组成	33
习题与思考题	34
第2章 Intel 32位 CPU	36
2.1 CPU的基本结构	36
2.1.1 CPU的内部基本结构	36
2.1.2 CPU的外部基本引脚	38
2.1.3 CPU的主要结构逻辑框图	42
2.2 寄存器	44
2.2.1 通用寄存器	45
2.2.2 段寄存器	46



2.2.3	指令指针指示器——EIP	47
2.2.4	标志寄存器——EFLAGS	48
2.2.5	系统地址寄存器	49
2.2.6	控制寄存器	50
2.2.7	测试寄存器	51
2.2.8	调试寄存器	51
2.3	CPU的工作模式	52
2.3.1	实地址工作模式	52
2.3.2	保护工作模式	52
2.3.3	虚拟 8086 工作模式	53
2.3.4	三种工作模式的状态转换	53
2.3.5	系统管理模式	54
2.4	指令流水线操作	55
2.5	Pentium 32 位微处理器	56
2.5.1	Pentium 微处理器的特点	56
2.5.2	Pentium 微处理器寄存器结构	59
2.6	64 位微处理器	60
	习题与思考题	61
第 3 章	80x86 寻址方式和指令系统	62
3.1	80x86 寻址方式	62
3.1.1	数据寻址方式	62
3.1.2	程序地址寻址方式	69
3.1.3	堆栈地址寻址	72
3.2	80x86 指令格式	73
3.2.1	80x86 指令编码格式	73
3.2.2	80x86 指令基本格式	74
3.3	80x86 指令系统	75
3.3.1	数据传送指令	75
3.3.2	算术运算指令	79
3.3.3	逻辑运算指令	83
3.3.4	控制转移类指令	89
3.3.5	串操作指令	95
3.3.6	输入输出指令	99
3.3.7	处理器控制	100
3.3.8	中断指令与 DOS 功能调用	100
	习题与思考题	103

第 4 章 汇编语言及其程序设计	106
4.1 概述	106
4.1.1 机器语言	106
4.1.2 汇编语言	106
4.1.3 高级语言	107
4.1.4 宏汇编程序及上机过程简介	107
4.2 汇编语言的格式及指令	108
4.2.1 汇编语言格式	108
4.2.2 简化的段定义伪指令	109
4.2.3 常用伪指令	110
4.3 分支程序设计	110
4.3.1 简单分支程序	111
4.3.2 复杂分支程序	112
4.4 循环程序设计	114
4.4.1 单重循环程序	114
4.4.2 多重循环程序	116
4.5 子程序设计	117
4.5.1 过程定义	117
4.5.2 调用指令	118
4.6 汇编语言程序上机过程	119
习题与思考题	120
第 5 章 内存储器及其管理	121
5.1 存储器概述	121
5.1.1 微型计算机中存储器的类型	121
5.1.2 半导体存储器的性能指标	122
5.2 存储器的扩展设计	123
5.2.1 存储器的构成原理	123
5.2.2 存储器的扩展	124
5.2.3 存储器的地址译码	127
5.2.4 存储器的扩展设计举例	130
5.3 80486 存储器管理模式	131
5.3.1 80486 保护模式存储管理	131
5.3.2 虚拟 8086 模式存储管理	136
习题与思考题	137
第 6 章 输入输出接口	138
6.1 输入输出接口概述	138

6.1.1	CPU 与外设通信的特点	138
6.1.2	接口的基本功能	138
6.1.3	I/O 接口与 CPU、外设之间交换的信号	139
6.1.4	I/O 端口的寻址方式	140
6.1.5	I/O 端口地址的形成	140
6.2	输入输出方式	141
6.2.1	程序控制传送方式	142
6.2.2	中断控制传送方式	142
6.2.3	直接存储器存取方式——DMA 方式	142
6.2.4	I/O 处理器方式	142
6.3	CPU 与外设通信的接口	143
6.3.1	同步传送方式的接口	143
6.3.2	异步查询方式的接口	145
6.3.3	中断方式的接口	148
6.3.4	DMA 传送方式的接口	148
	习题与思考题	161
第 7 章	中断系统	162
7.1	中断的有关概念	162
7.1.1	中断的基本概念	162
7.1.2	中断源与中断分类	162
7.1.3	CPU 的中断优先顺序	163
7.1.4	中断类型码	164
7.1.5	中断处理过程	165
7.1.6	中断向量表与中断描述符表	167
7.1.7	中断向量表的建立方法	169
7.2	可编程中断控制器 8259A	172
7.2.1	8259A 的内部结构及引脚分配	173
7.2.2	8259A 的工作过程	175
7.2.3	8259A 的中断管理方式	175
7.2.4	8259A 的编程	178
7.2.5	8259A 的应用举例	184
	习题与思考题	189
第 8 章	可编程接口芯片	190
8.1	概述	190
8.2	可编程并行接口芯片 8255A	191
8.2.1	8255A 的内部结构	191

8.2.2	8255A 的引脚分配	193
8.2.3	8255A 的工作方式	195
8.2.4	8255A 的控制字和状态字	198
8.2.5	8255A 的应用举例	202
8.2.6	8255A 的特性总结	208
8.3	可编程计数器/定时器 8254	208
8.3.1	8254 的结构	209
8.3.2	8254 的功能	211
8.3.3	8254 的控制字	212
8.3.4	8254 的编程	214
8.3.5	8254 的工作方式	215
8.3.6	8254 的应用举例	221
8.4	可编程串行输入输出接口芯片 8251A	224
8.4.1	串行通信概述	224
8.4.2	8251A 的内部结构	229
8.4.3	8251A 的引脚分配	231
8.4.4	8251A 的编程	233
8.4.5	8251A 的接口技术与应用举例	236
	习题与思考题	240
第 9 章	D/A 与 A/D 转换技术	242
9.1	概述	242
9.2	D/A 转换器	242
9.2.1	D/A 转换基本原理	242
9.2.2	D/A 的主要性能参数	245
9.2.3	典型 D/A 芯片及接口	246
9.2.4	D/A 转换器芯片和微处理器接口时需要注意的问题	251
9.3	A/D 转换器	253
9.3.1	A/D 转换基本原理	253
9.3.2	A/D 的主要性能参数	254
9.3.3	典型 A/D 芯片及接口	255
9.3.4	A/D 转换器芯片和微处理器接口时需要注意的问题	266
9.4	D/A 和 A/D 器件的选择	269
	习题与思考题	270
第 10 章	总线技术	271
10.1	概述	271
10.1.1	总线规范的基本内容	271

10.1.2	总线分类	272
10.1.3	总线的主要性能参数	273
10.1.4	总线数据传输	273
10.1.5	总线传输方式	274
10.2	常用总线介绍	276
10.2.1	PCI 总线	276
10.2.2	PCI Express 总线	287
10.2.3	USB 总线	292
10.2.4	其他总线简介	297
	习题与思考题	299
第 11 章	微型计算机的应用	301
11.1	在过程控制中的应用	301
11.1.1	中央处理器和存储器	301
11.1.2	生产过程的输入输出	303
11.1.3	人机接口	306
11.1.4	通信	306
11.1.5	程编配套装置	307
11.1.6	控制手段	307
11.2	I/O 接口与 32 位微处理器的连接	310
11.3	应用举例	311
	习题与思考题	325
附录	7 位 ASCII 码编码表	328
参考文献		330

第1章

绪 论



1.1 概述

计算机是20世纪的一项伟大发明,自问世以来,对国民经济和科学技术的发展起到了巨大的推动作用。目前,人们所说的计算机主要是指电子的、数字的计算机,机械计算机已经消失,电子模拟计算机一般很难看到,它在一些专用场合使用,而且逐渐被电子数字计算机所取代。

计算机是一种能够自动完成运算的电子装置。其之所以能够自动完成运算,是因为它能够存储程序和原始数据、中间结果及最终运算结果。存储程序和采用二进制运算体现了冯·诺依曼结构的计算机的设计思想。

显然,计算机不同于一般的计算工具(如计算器等),因为一般的计算工具离不开人的直接干预。

利用计算机不仅能够完成数学运算,而且还可以进行逻辑运算,同时还具有推理判断的能力,因此,人们又称它为“电脑”。现在,科学家们正在研究具有“思维能力”的智能计算机。随着科学技术的发展,人们对计算机能力的认识也在不断地深入。

1.1.1 微型计算机的发展概况

1946年在美国诞生了世界上第一台电子计算机ENIAC,该机字长为12位,每秒完成5000次加法运算,它使用了18800个电子管、70000个电阻、1000个电容、6000个开关,占地约为170m²,耗电150kW,重达30t。这个庞然大物被称作第一代电子计算机,为当今的电子计算机的产生奠定了基础。1958—1964年,用晶体管取代电子管,研制了第二代电子计算机,它不仅大大缩小了计算机的体积,而且还降低了成本,同时将运算速度提高了近百倍。1965年集成电路问世,形成了中、小规模集成电路构成的第三代计算机。1970年出现了以大规模集成电路为主体的第四代计算机,这是大规模集成电路迅猛发展的产物。所谓第五代计算机,其目标主要是:采用超大规模集成电路,在系统结构上要类人脑的神经网络,在材料上使用常温超导材料和光器件,在计算机结构上采用超并行的数据流计算等。

由于在一块芯片上可集成上千万个电子元件,因而使电子计算机的体积大为缩小,这就促成了微型计算机的问世。因为微型计算机具有体积小、功耗低、重量轻、价格低、可靠性高、使用方便等一系列优点,因此获得了广泛的应用和迅速的发展。自微型计算机于1971年问世以来,大约每隔2~4年就更新换代一次,至今已经历了多个阶段的演变。

1. 第一阶段(1971—1973年)

第一阶段包括4位和低档8位微处理器及微型计算机。美国Intel公司首先研制成功4位的4004微处理器,以它为核心再配以RAM,ROM和I/O接口芯片就构成了MCS-4微型计算机。随后又研制出8位的8008微处理器及MCS-8微型计算机,其特点是指令系统简单,运算功能较差,速度较慢(平均指令执行时间约为 $20\mu\text{s}$)。

2. 第二阶段(1973—1978年)

第二阶段包括中档8位微处理器和微型计算机。其间又分为两个时段。1973—1975年,以美国Intel公司的8080和Motorola公司的MC6800为代表,集成度提高1~2倍,运算速度提高一个数量级;1976—1978年为高档的8位微型计算机时段,被称为第二代半微型计算机,代表产品是美国Zilog公司的Z80和Intel公司的8085微处理器,集成度和运算速度都比典型的中档8位微处理器提高一倍以上。

3. 第三阶段(1978—1981年)

第三阶段包括16位微处理器和微型计算机,又称为第一代超大规模集成电路的微处理器。其代表产品是Intel公司的8086/8088,Zilog公司的Z8000和Motorola公司的M68000。这些16位微型计算机都具有丰富的指令系统,并配有强有力的软件系统,时钟频率为4~8MHz,平均指令执行时间为 $0.5\mu\text{s}$ 。

4. 第四阶段(1981年以后)

第四阶段包括高性能的16位机和32位微处理器和微型计算机。其代表产品是Intel公司的80386和Motorola 68020,时钟频率达16~20MHz,平均指令执行时间约为 $0.1\mu\text{s}$ 。通常称由这类微处理器构成的微型计算机为超级微型机。Intel公司又相继开发出了80486、80586等微处理器。

第四代微处理器向着系列化方向发展,首先Intel公司推出了性能更高、功能更强的高级16位微处理器80186和80286,它们与8086向上兼容。1985年,Intel公司又率先推出了32位微处理器80386,它与8086,80186,80286向上兼容。进入20世纪90年代,该公司又推出80486,形成完整的80系列。

与此同时,Motorola公司也推出了32位微处理器M68020;HP公司推出了HP32;IBM公司推出了IBM320;Zilog公司推出了Z80000等。

5. 第五代32位高档处理器(1993年后)

1993年,Intel公司推出了32位处理器Pentium(以P5代称)。它集成了330万个晶

晶体管,内部采用4级超标量结构,数据线64位,地址线36位,工作频率为60/66MHz,处理速度达110MIPS。由于第一代Pentium采用 $0.8\mu\text{m}$ 工艺技术和5V电源驱动,使得芯片尺寸较大,成本过高,其功耗达15W,使系统散热成为问题。1994年3月,Intel公司推出了第二代Pentium(以P54C代称),P54C采用 $0.6\mu\text{m}$ 工艺和3.3V电源,功耗仅为4W,而且可在不需要时自动关闭浮动单元,散热问题基本得以解决。P54C的主时钟为100MHz和90MHz两种。常规配置下,P54C系统的处理能力比P5系统高出了40%。在体系结构上,Pentium在内核中采用了RISC技术。

同期推出的第五代微处理器还有IBM、Apple和Motorola三家联盟的Power PC(这是一种完全的RISC微处理器),以及AMD公司的K5和Cyrix公司的M1等。

6. 第六代微处理器

1996年,Intel公司推出了Pentium Pro微处理器(也将此后的微处理器称为第六代)。该处理器的集成电路采用了 $0.35\mu\text{m}$ 的工艺,时钟频率为200MHz,运算速度达200MIPS。Pentium Pro的两个显著特点是:内部集成了16KB的一级(L1)高速缓冲存储器 and 256KB的二级(L2)高速缓冲存储器;使用三个执行部件,可同时执行三条命令。

从1997年后,Intel公司又进一步推出了一系列新的Pentium型微处理器,包括Pentium II、Pentium III和Pentium 4。其他公司类似的产品还有AMD的K7。这些CPU的集成度已高达近1千万个晶体管,时钟频率也达到了1GHz以上。Pentium 4 CPU,工作频率已达3.2GHz。

7. Intel 超线程处理器

Intel公司于2002年推出了具有超线程技术的IA-32系列处理器。超线程(Hyper Thread, HT)技术允许单个物理处理器用共享的执行资源并发地执行两个或多个分别的代码流(线程),以提高80x86系列处理器执行多线程操作系统与应用程序代码的性能。

在体系结构方面,支持HT技术的IA-32处理器,在一个物理处理器核中由两个或多个逻辑处理器构成,每个逻辑处理器有它自己的IA-32体系结构状态。每个逻辑处理器由全部的IA-32数据寄存器、段寄存器、控制寄存器与大部分的MSR构成。

8. Intel 双核技术处理器

2005年,Intel公司推出了使用双核技术的奔腾处理器极品版840 IA-32处理器。这是IA-32处理器系列中引入双核技术的第一个成员。此处理器用双核技术与超线程一起提供硬件多线程支持。双核技术是在IA-32处理器系列中硬件多线程能力的另一种形式。双核技术由用在单个物理包中的两个分别的执行核心提供硬件多线程能力。因此,Intel Pentium处理器极品版在一个物理包中提供4个逻辑处理器(每个处理器核有两个逻辑处理器)。

Intel Pentium D处理器也以双核技术为特色。此处理器用双核技术提供硬件多线程支持,但它不提供超线程技术。因此,Intel Pentium D处理器在一个物理包中提供两个逻辑处理器,每个逻辑处理器拥有处理器核的执行资源。

Intel Pentium 处理器极品版中引入了 Intel 扩展的存储器技术(Intel EM64T)对于软件增加至 64 位线性地址空间并支持 40 位物理地址空间。此技术也引入了称为 IA-32e 模式的新操作模式。

IA-32e 模式在两种子模式之一上操作:

- 兼容模式允许 64 位操作系统不修改地运行大多数 32 位软件;
- 64 位模式允许 64 位操作系统运行应用程序访问 64 位地址空间。

Intel EM64T 的处理器可以支持 80x86 系列软件,因为它能运行在非 64 位传统模式。大多数已存在的 IA-32 应用程序也能在兼容模式运行。

微处理器的迅速发展和更新换代,使基于微处理器的微型计算机的性能不断提高。

所谓微处理器,是把运算器和控制器集成在一个芯片上。

所谓微型计算机,是把微处理器(CPU)配上一定容量的半导体随机存储器(RAM)、半导体只读存储器(ROM)及接口电路、必要的外设组成的。

所谓微型计算机系统,是指硬件系统和软件系统的总称。硬件系统包括微型计算机、时钟、电源等;软件系统包括系统软件和应用软件。

所谓单板机,是把 CPU、一定数量的存储器芯片和 I/O 接口芯片装在一块印刷电路板上,在该板上再配以具有一定功能的输入输出设备(如小键盘等)。

所谓单片机,是把微处理器 CPU、一定容量的存储器和必要的 I/O 接口电路集成在一个硅片上。有的单片机还包括模数(A/D)数模(D/A)转换器。

微型计算机的发展趋势是不仅向小型化方向发展,而且也向着巨型化方向发展。

1.1.2 微型计算机的特点和分类

1. 微型计算机的特点

由于微型计算机广泛采用了集成度相当高的器件和部件,因此,带来以下特点。

(1) 体积小、重量轻、耗电省。

由于采用大规模集成电路和超大规模集成电路,微型机所含的器件数目大为减小,体积大为缩小。近几年来,微型机还大量地采用大规模集成专用芯片(ASIC)和通用可编程门阵列(GAL)器件,使得微型机的体积明显缩小。微型机中的芯片大多采用 MOS 和 CMOS 工艺,因此耗电量就很小。在航空、航天等部门中这一特点使过去无法实现的某些应用领域,现在利用微型机就很容易实现。

(2) 可靠性高。

由于微处理器及其配套系列芯片采用大规模集成电路,减少了大量的焊点,简化了外接线和外加逻辑,因而大大提高了可靠性。

(3) 系统设计灵活,使用方便。

由于微处理器芯片及其可选用的支持逻辑芯片都有标准化、系统化的产品,同时又有许多有关的支持软件可选用,用户可根据不同的要求构建不同规模的系统。

(4) 价格低廉。

由于微处理器及其配套系列芯片采用集成电路工艺,集成度高,产品造价十分低廉。

(5) 维护方便。

由于微处理器及其系统产品已逐渐趋于标准化、模块化和系列化,从硬件结构到软件配置都作了较全面的考虑,一般可用自检诊断及测试发现系统故障。发现故障后,可方便地更换标准化模块芯片来排除故障。

2. 微型计算机的分类

可以从不同角度对微型计算机进行分类:

- (1) 按微处理器的字长,可分为4位、8位、16位、32位、64位微处理器。
- (2) 按微型计算机的组装形式,可分为单片、单板、多板微型计算机等。
- (3) 按应用领域不同,又可分为控制用、数据处理用微型计算机等。
- (4) 按微处理器的制造工艺,又可分为MOS型器件和双极型器件两大类。

1.1.3 微处理器的字长

字长,是计算机字所含二进制位数。计算机字也就是作为一个整体被一次传送或运算最多的二进制数位。它和计算机能够处理二进制信息的位数是两个概念。例如,32位和32位数相加,用8位机需加4次,用16位机需加两次,用32位机只加一次即可。显然,32位机的速度要快的多。字长是对某一型号的机器而言的。

字节:无论对哪个厂家、哪种型号的计算机,都指的是8位二进制信息。

1.2 运算基础

1.2.1 进位记数制及其相互转换

1. 进位记数制

凡是按进位的方式记数的数制称为进位记数制,简称进位制。数据无论使用哪种进位制表示,都涉及基数(Radix)与各位数的“权”(Weight)。所谓某进位制的基数是指该进位制中允许选用的基本数码的个数。对任意进位制数都可以写成按权展开的多项式和的形式:

$$\begin{aligned} K &= K_{n-1} \times R^{n-1} + K_{n-2} \times R^{n-2} + \cdots + K_1 \times R^1 + K_0 \times R^0 \\ &\quad + K_{-1} \times R^{-1} + K_{-2} \times R^{-2} + \cdots + K_{-m} \times R^{-m} \\ &= \sum_{i=n-1}^{-m} K_i \times R^i \end{aligned}$$

式中: i ——数位;

m, n ——正整数;

R ——基数;

K_i ——第 i 位数码。

总之,位置记数法(带权记数法)的数制均有以下几个主要特点:

- (1) 数码个数等于基数,最大数码比基数小1。

(2) 每个数码都要乘以基数的幂次,而该幂次是由每个数所在位置决定的,即“位权”,简称权。

(3) 低位向高位的进位是“逢基数进 1”。

2. 几种常用的进位制

众所周知,在计算机中采用二进制记数法,但在编程时,为了书写方便,常采用八进制或十六进制数。因为它们和二进制数之间有一种特殊的“缩写”关系,因此得到广泛使用。人们日常生活最习惯使用的是十进制数,这样这些进制数之间就存在着一种对应转换关系。

(1) 十进制数(Decimal Notation)。

它有以下 3 个特点。

① 10 个数码,即 0,1,2,3,4,5,6,7,8,9。

② 在数的表示中,每个数码都要乘以基数 10 的幂次,而此幂次是由该数码所在位置决定的。

【例 1.1】 $555.5D = (555.5)_{10} = 5 \times 10^2 + 5 \times 10^1 + 5 \times 10^0 + 5 \times 10^{-1}$ 。

D 可以省略。可以看出同样的数码在不同的位置(权不一样)所表示的数值不一样。

③ 低位向高位的进位是逢 10 进 1。

(2) 二进制数(Binary Notation)。

它有以下 3 个特点。

① 2 个数码,即 0 和 1。

② 在数的表示中,每个数码都要乘以基数 2 的幂次,而此幂次是由该数码所在位置决定的。

【例 1.2】 $101.1B = (101.1)_2 = 1 \times 2^2 + 0 \times 2^1 + 1 \times 2^0 + 1 \times 2^{-1}$ 。

B 不能省略。

③ 低位向高位的进位是逢 2 进 1。

由于二进制数还具有以下独特的性质,所以奠定了当代计算机的设计基础。

- 具有两个不同的数码,在自然里很容易找到具有两个稳定的物理状态来实现它。
- 整个数向左移一位,数值增大一倍;反之,向右移一位,数值就减小一半。
- 对于二进制整数,若最低位是 1 则为奇数;最低位是 0 则为偶数。
- 二进制数运算规则简单。例如, $0+0=0$; $0+1=1$; $1+0=1$; $1+1=0$, 向上进位 1。

也就是说,两个一位二进制数相加,相同则本位和为 0,不相同则本位和为 1;只有在都为 1 时才有进位。本位和恰好是异或二值逻辑的关系,进位则是二值逻辑与的关系。这样,在计算机里,是把二进制数的运算用逻辑运算来实现的,因此 CPU 是由一些组合逻辑电路(实现一定逻辑关系的门电路)和时序逻辑电路(能够存储二进制信息的电路)组成的。

(3) 八进制数(Octal Notation)。

它有以下 3 个特点。

① 有 8 个数码,即 0,1,2,3,4,5,6,7。

② 在数的表示中,每个数码都要乘以基数 8 的幂次,而此幂次是由该数码所在位置决定的。

【例 1.3】 $35.7Q = (35.7)_8 = 3 \times 8^1 + 5 \times 8^0 + 7 \times 8^{-1}$ 。

Q 不能省略。这里用 Q 而不用 O 是为避免把字母 O 误作数字 0。

③ 低位向高位的进位是逢 8 进 1。

(4) 十六进制数(Hexadecimal Notation)。

它有以下 3 个特点。

① 有 16 个数码,即 0,1,2,3,4,5,6,7,8,9,A,B,C,D,E,F。

② 在数的表示中,每个数码都要乘以基数 16 的幂次,而此幂次是由该数码所在位置决定的。

【例 1.4】 $5BD.3H = (5BD.3)_{16} = 5 \times 16^2 + 11 \times 16^1 + 13 \times 16^0 + 3 \times 16^{-1}$ 。

【例 1.5】 $0FEA.C8H = (FEA.C8)_{16} = 15 \times 16^2 + 14 \times 16^1 + 10 \times 16^0 + 12 \times 16^{-1} + 8 \times 16^{-2}$ 。

H 不能省略。第一个数码为字母时,前面要加数字 0,避免把十六进制数误作变量或标号名(变量和标号在后面汇编语言章节中将要说明)。

③ 低位向高位的进位是逢 16 进 1。

3. 数制之间的转换关系

(1) 任意进制数转换成十进制数。

任意进制数转换成十进制数就是该数按权展开多项式之和。

【例 1.6】 二进制数 101.1B 转换成十进制数。

$101.1B = 1 \times 2^2 + 0 \times 2^1 + 1 \times 2^0 + 1 \times 2^{-1} = 4 + 0 + 1 + 0.5 = 5.5$ 。

其他进位制数同理。

(2) 十进制数转换成任意进制数。

① 整数转换。整数转换法就是除基数取余数法,第一次得到的余数为最低位,最后得到的余数为最高位。

【例 1.7】 $(28)_{10} = (?)_2$ 。

$$\begin{array}{r}
 2 \overline{) 28} \quad \text{余数} \\
 \underline{2 \quad 14} \quad 0 \\
 2 \overline{) 7} \quad 0 \\
 \underline{2 \quad 3} \quad 1 \\
 2 \overline{) 3} \quad 1 \\
 \underline{2 \quad 1} \quad 1 \\
 0 \quad 1
 \end{array}$$

最后转换的结果是 $28D = 11100B$ 。

其他进位制数同理。

② 小数转换。小数转换法就是乘基数取整数法,第一次得到的整数为小数的最高位,直到十进制小数部分乘积为 0 时停止,最后得到的是转换结果的小数最末位(若出现无限循环,可按要求取小数点后几位即可)。