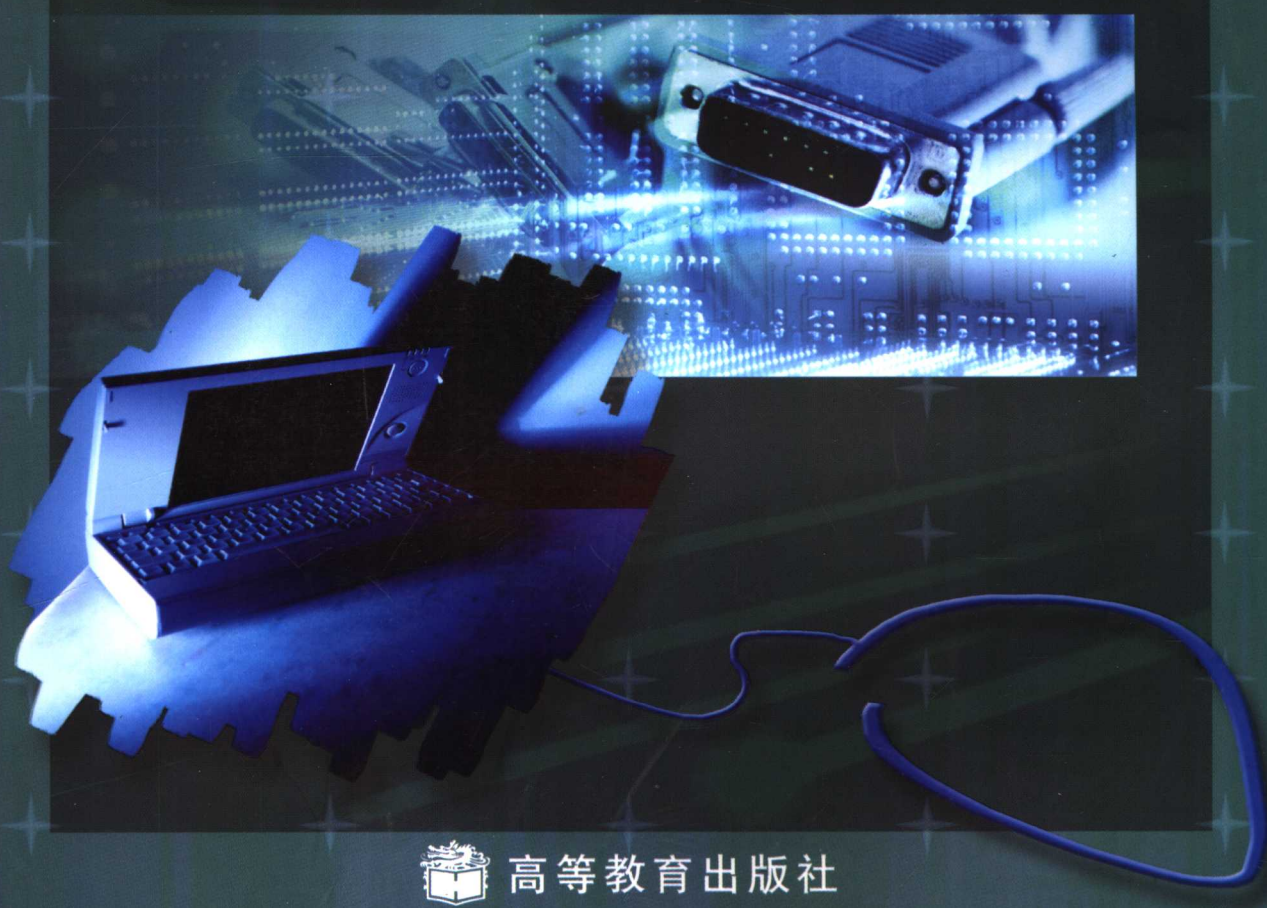
高等学校教材

32位微型计算机原理与接口技术

谢瑞和 翁 虹 张士军 杨 明 编著



高等教育出版社

高等学校教材

32位微型计算机原理与接口技术

谢瑞和　翁　虹　张士军　杨　明　编著

高等教育出版社

内容提要

本书以 Pentium 系列微处理器为主体，全面地介绍了 32 位微型计算机的原理与接口技术。根据由浅入深的原则，精心组织内容，共分为微型计算机基础、接口与提高三个层次，不仅能明显提高学生的学习效率，而且显著压缩了全书的篇幅。基础篇主要讲述 Pentium 系列微处理器的基本结构与中断技术等基本操作原理、指令系统和汇编语言程序设计；接口篇以崭新的面貌区别于传统的同类教材，首先系统介绍微处理器的总线操作与时序、存储器与 I/O 接口技术，然后分章详细讨论了当代 PC 的串行接口、并行接口、USB 接口与 PCI 扩展总线；提高篇首先全面剖析了 Pentium 系列的操作模式，尤其对保护模式进行了系统而精辟的描述，然后详细介绍了 Pentium 系列的 MMX、超标量、动态执行、分支预测、条件传送及 CPU 识别等一系列增强技术以及 Pentium 系列主板与芯片组。

本书集作者 20 多年从事微型计算机技术应用的教学、科研与写作经验，内容丰富、层次分明、语言精炼流畅，概念清晰，便于读者自学。

本书是高等院校理工专业微型计算机原理与接口技术类课程的通用教材，对于广大的工程应用与科技人员也是一本难得的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

32 位微型计算机原理与接口技术/谢瑞和等编著.
北京：高等教育出版社，2004.8
ISBN 7-04-015501-X

Ⅰ.3… Ⅱ.谢… Ⅲ.①微型计算机-理论-教材
②微型计算机-接口-教材 Ⅳ.TP36

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2004)第 066965 号

策划编辑 陈红英 **责任编辑** 陈红英 **市场策划** 刘 茜
封面设计 李卫青 **责任印制** 陈伟光

出版发行	高等教育出版社	**购书热线**	010-64054588
社 址	北京市西城区德外大街 4 号	**免费咨询**	800-810-0598
邮政编码	100011	**网 址**	http://www.hep.edu.cn
总 机	010-82028899		http://www.hep.com.cn
经 销	新华书店北京发行所		
印 刷	北京民族印刷厂		
开 本	787×1092 1/16	**版 次**	2004 年 7 月第 1 版
印 张	20	**印 次**	2004 年 7 月第 1 次印刷
字 数	480 000	**定 价**	25.00 元

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题，请到所购图书销售部门联系调换。

前　言

每当我们主讲微型计算机原理与接口技术课程时，不时有学生发问："我们现在使用的计算机都是 Pentium Ⅲ或 Pentium 4，为什么学的还是20世纪70年代的8086、8088？"。面对这类问题，作为教师确实没有任何充足的理由能说服他们。

接口技术也是一样，学的是ISA扩展总线与825x系列早期接口芯片，但使用的都是PCI扩展总线和功能强大的超大规模芯片组，或者各类可编程逻辑器件，时差也有约20年。

在和许多兄弟院校的学习交流中，大家都一致认为应该彻底改变这种现象，但难于找到一本真正适合本科教学的32位微型计算机原理与接口技术教材。

本书试图在这方面作一些尝试，全书以 Pentium 系列微处理器为主线，介绍32位微型计算机原理与接口技术。在内容的选材与安排上颇具特色，彻底抛弃了同类教材中近20年来基本维持不变的传统内容，实际上这些内容早已被当代微型计算机所淘汰。根据由浅入深的原则，精心组织内容，将其划分为基础、接口与提高三个层次，不仅能明显提高学生学习效率，而且显著压缩了全书的篇幅。基础篇主要讲述 Pentium 系列微处理器的基本结构与中断技术等基本操作原理、指令系统和汇编语言程序设计。接口篇以崭新的面貌区别于传统的同类教材，首先系统介绍了 Pentium 微处理器的总线操作与时序、存储器与 I/O 接口技术，然后分章详细讨论了当代 PC 的串行接口、并行接口、USB 接口与 PCI 扩展总线。提高篇首先全面剖析了 Pentium 系列的操作模式，尤其对保护模式进行了系统而精辟的描述，然后详细介绍了 Pentium 系列的 MMX、超标量、动态执行、分支预测、条件传送及 CPU 识别等一系列增强技术以及 Pentium 系列主板与芯片组。

本书集编著者20多年从事微型计算机技术应用的教学、科研与写作经验，在内容层次、语言表达以及概念描述等诸方面都力争便于读者自学。本书是高等院校理工专业微型计算机原理与接口技术类课程的通用教材。同时我们正在着手编著同本书配套的实验课教材及开发相应实验装置，不久即可问世。

参加本书编著的有谢瑞和、翁虹、张士军、杨明、马爱梅、曾延安等多年主讲微型计算机原理与接口技术的教师。全书由谢瑞和主编、统一策划。第1～4章由谢瑞和、翁虹、张士军、杨明等集体编著，第5～15章由谢瑞和编著。周丽军、张金与何博等研究生为本书的例题程序和接口技术实例做了大量开发工作。高等教育出版社领导与编辑以非凡的决策与胆略全力支持本书出版，在此一并致谢。

由于我们组织32位微型计算机原理与接口技术教学的时间还不长，积累的经验不多，编著者个人学识很有限，书中难免会有不少错误或不妥之处，诚心期待同行与读者批评赐教。

编　者

2004年4月于华中科技大学

目　录

第一篇　微型计算机基础

第二篇 接口部分

第三篇 提高部分

第一篇　微型计算机基础

本篇系统地介绍了微型计算机的运算基础、硬件基础及其软件基础，重点是学习 Intel 系列的指令系统、汇编语言程序设计及中断。

第 1 章系统地介绍了二进制数及其同十进制数之间的转换与计算机中常用的几种编码。二进制数制是计算机操作原理的基础，因而本章内容是学习微型计算机技术最起码的入门常识。

第 2 章概述了微型计算机发展的过程，简单描述了计算机操作的基本过程，扼要介绍了 Intel 体系各代微处理器的结构与特点，重点描述了 Pentium 系列微处理器的内部寄存器。这些内容都是为第 3、4 章的指令解说与汇编语言和第 5 章的中断系统奠定基础。至于更细节的微型计算机系统硬件原理描述将放在后面的第二、三篇中。

第 3 章详细介绍 Intel 体系微处理器的指令系统，这是全书的重点。由于指令系统的内容繁杂，试图逐条地解说将使本章内容繁琐而庞大，本章只能针对最常用的典型指令进行解说，并总结出一些规则，起到举一反三的作用，从而使读者全面理解与掌握整个指令集并不困难。

第 4 章专门讨论汇编语言程序设计方法以及汇编语言与高级语言如何接口的问题，全章内容是本书的重点，也可以视为重中之重。学习汇编语言主要是解决微型计算机系统底层用户接口的问题，用汇编语言来编制复杂的数学运算程序似乎没有必要，因为使用高级语言来解决此类问题非常简便。因此掌握汇编语言同高级语言之间的接口方法极其重要。

第 5 章描述了微型计算机系统的中断概念，包括中断系统的原理与操作过程，对内部软中断与外部硬中断、中断向量表等基本模块或概念进行了全面的解释。但这里只涉及实模式下的中断，保护模式下的中断将在第三篇中讨论。

本篇没有涉及操作模式这个基本概念，因为保护模式包含的内容太多，而且相对于传统的 16 位微型计算机教学而言都是全新的知识，学习起来比较费力，本书安排在第三篇中学习保护模式。

第1章　计算机运算基础

计算机是用来进行各种信息处理的工具，尽管这些被处理的信息千差万别，但它们都是以数据的形式由计算机来操作的，而且通常都是以二进制为基础的。本章简要地概述了计算机中使用的数制系统及其几种常用的编码，可能多数读者对这些内容并不陌生，但作为计算机的运算基础来温习一遍，有助于更好地理解计算机内部操作的机理，提高学习后续内容的效率。

1.1　无符号数

无论计算机如何发展，它的内部操作总是基于由“0”与“1”组成的二进制数制，换言之，计算机实质上只能识别出二进制的“0”和“1”，只是由不同的二进制位串可以编制出由它执行的各种不同的复杂操作而已。

1.1.1　二进制与十六进制

1. 二进制数

二进制数的基数为2，逢二进一，它的多项式表示为：

$$b_n \times 2^n + b_{n-1} \times 2^{n-1} + \cdots + b_1 \times 2^1 + b_0 \times 2^0 + b_{-1} \times 2^{-1} + b_{-2} \times 2^{-2} + \cdots$$

二进制整数部分的位权从小到大依次为 $2^0, 2^1, 2^2, 2^3, 2^4, 2^5, 2^6, 2^7 \cdots$，亦即为十进制的1，2，4，8，16，32，64，128，256…。二进制小数部分的位权从大至小依次为 $2^{-1}, 2^{-2}, 2^{-3}, 2^{-4} \cdots$，即为十进制的1/2，1/4，1/8，1/16…。它的系数只有“0”与“1”两个数字，例如，

$$(1101.11)_2 = 1 \times 2^3 + 1 \times 2^2 + 0 \times 2^1 + 1 \times 2^0 + 1 \times 2^{-1} + 1 \times 2^{-2}$$

可见它等于十进制的13.75。

为区别起见，规定二进制数以英文字母“B”(Binary)为后缀标记，如1101.11B。

为方便起见，在二进制中经常使用K(Kilo)、M(Mega)、G(Giga)等作为计量单位，应注意，它们与十进制表示的数有所差异。

$1\ \mathrm{K} = 2^{10} = 1\ 024$

$1\ \mathrm{M} = 2^{20} = 1\ 048\ 576$

$1\ \mathrm{G} = 2^{30} = 1\ 073\ 741\ 824$

2. 十六进制数

十六进制数的基数是十六，逢十六进一，它的多项式表示法为

$$h_n \times 16^n + h_{n-1} \times 16^{n-1} + \cdots + h_1 \times 16^1 + h_0 \times 16^0 + h_{-1} \times 16^{-1} + h_{-2} \times 16^{-2} + \cdots$$

十六进制整数部分的位权从小到大依次为 $16^0, 16^1, 16^2, 16^3, 16^4 \cdots$，亦即十进制的1，16，256，4096，65536…。十六进制小数部分的位权从大到小依次为 $16^{-1}, 16^{-2}, 16^{-3}, 16^{-4}$

…,亦即十进制的1/16,1/256,1/4096,1/65536…。它的系数有16个数字,前10个为十进制数字0~9,后6个为英文字母A,B,C,D,E,F,分别为十进制数的10,11,12,13,14,15。例如:

$$(89AB.4)_{16}=8\times16^3+9\times16^2+10\times16^1+11\times16^0+4\times16^{-1}$$

可见它等于十进制的35243.25。

为区别起见,规定十六进制数以英文字母"H"(Hexadecimal)为后缀标记,如89AB.4H。必须注意的是,为了与非数字含义的字符串相区别,当十六进制数的最高位为A~F中任何一个数字时,应在最前面加一位数字"0",例如,ABCD3456H是非法的,而应改写为0ABCD3456H;当最高位为数字1~9时,则默认为是数据而非字符串,例如,9FEDCH是合法的。

表1.1列举了部分二进制数、十进制数与十六进制数的对照。这里将所有的位都用来表示数值,所以是无正负符号位的数。

表1.1　无符号二进制数、十进制数和十六进制数的对照

二进制	十进制	十六进制	二进制	十进制	十六进制	二进制	十进制	十六进制
00000000B	0	00H	00001000B	8	08H	00010000B	16	10H
00000001B	1	01H	00001001B	9	09H	00010001B	17	11H
00000010B	2	02H	00001010B	10	0AH	00010010B	18	12H
00000011B	3	03H	00001011B	11	0BH	00010011B	19	13H
00000100B	4	04H	00001100B	12	0CH	00010100B	20	14H
00000101B	5	05H	00001101B	13	0DH	00010101B	21	15H
00000110B	6	06H	00001110B	14	0EH	00010110B	22	16H
00000111B	7	07H	00001111B	15	0FH	00010111B	23	17H

在计算机中,将8位二进制数称为一个字节(Byte),在数据的存储与处理中往往以字节为基本单元。

- 对于8位无符号的二进制数,所能表示的十进制数范围是0~255。
- 对于16位无符号的二进制数,所能表示的十进制数范围是0~65535。
- 对于32位无符号的二进制数,所能表示的十进制数范围是0~4294967295。

1.1.2　数制转换

上述二进制数与十六进制数的介绍中就已经描述了将它们转换成十进制数的方法,这种方法也适用于其他任何非十进制数,即只需将非十进制数以多项式的形式展开表示,然后计算它们的十进制之和即可将其转换为十进制数。

下面讨论十进制数转换成非十进制数,以及二进制数与十六进制数之间的相互转换。

1. 十进制数转换为非十进制数

将十进制数整数部分转换成其他进制数,只需将整数除以该进制的基数,取其余数作为转换结果。将十进制数小数部分转换成其他进制数,则应将该进制的基数乘以十进制数小数部分,然后取乘积的整数作为转换结果。

① 十进制数转换为二进制数,采用除2取余法。即将十进制整数除以2,得到一个商数和余数,再将商数除以2又得到一个商数和余数,如此继续除下去直至除尽为止。以最后所得的商数"1"作为最高位,将各次所得的余数按"后得先排"的顺序写下来,即得二进制转换结果。

【例1.1】 100 = (?)B

转换过程如图1.1所示。

除数	被除数/商数	余数	
2	100		
2	50	0	最低位
2	25	0	
2	12	1	
2	6	0	
2	3	0	次高位
	1	1	

图1.1 除2取余法

结果得:100 = 1100100B。

② 同样的方法可将十进制数转换成十六进制数,采用除16取余法。即将十进制整数除以16,得到一个商数和余数,再将商数除以16又得到一个商数和余数,如此继续除下去直至除尽为止。以最后所得的商数作为最高位,将各次所得的余数按"后得先排"的顺序写下来,即得十六进制转换结果。

【例1.2】 35243 = (?)H

转换过程如图1.2所示。

除数	被除数/商数	余数	
16	35243		
16	2202	11	最低位
16	137	10	
	8	9	次高位

图1.2 除16取余法

结果得:35243 = 89ABH。

③ 将十进数小数部分转换成二进制小数,采用乘2取整法。即将十进制纯小数乘以2,摘除乘积中的整数后保留小数部分再乘2,如此继续下去直至乘积小数部分为零或者得到要求的精度为止。将各次摘取的整数依先后顺序写出来即为转换的二进制纯小数结果。

【例1.3】 0.1875 = (?)B

转换过程如图1.3所示。

	积的整数部分	被乘数/积的小数部分	乘数
高位		0.1875	2
	0	0.375	2
	0	0.75	2
低位	1	0.5	2
	1	0.0	

图1.3 乘2取整法

结果得:0.1875 =0.0011B。

④ 将十进数小数部分转换为十六进制小数,采用乘16取整法。即将十进制纯小数乘以16,摘除乘积中的整数后保留小数部分再乘16,如此继续下去直至乘积小数部分为零或者得到要求的精度为止。将各次摘取的整数依先后顺序写出来即为转换的二进制纯小数结果。

【例1.4】 0.78125 = (?)H。

转换过程如图1.4所示。

	积的整数部分	被乘数/积的小数部分	乘数
高位 ↓ 低位		0.78125	16
	12	0.5	16
	8	0.0	

图1.4　乘16取整法

结果得:0.78125 =0.C8H。

2. 十六进制数与二进制数之间的转换

由于十六进制数实际上是4位二进制数,所以两者之间的转换是轻而易举的。将二进制数转换成十六进制数时,以小数点为界,整数部分自右至左每4位用对应的1位十六进制数表示,最高位部分不足4位时在左边补0;而小数部分则自左至右每4位用对应的1位十六进制数表示,最低位部分不足4位时在右边补0。例如:

1101　1010　0011　.　0110　11　　B
=D　　A　　3　　.　6　　C　　H

注意,不要将十六进制数小数点最后一位"C"误写为"3"。

由此可见,引入十六进制数的主要目的是为了免除书写与阅读一长串二进制数码的麻烦,克服容易出错的弊病,计算机本身并不需要做转换运算。

如果要将十六进制数转换成二进制数,只需将十六进制数的每1位用对应的4位二进制数表示,并按原顺序排列即可。例如:

5　　F　　8　　4　　.　E　　4　　H
=0101　1111　1000　0100　.　1110　0100　B

1.2　常用的编码

计算机总是以量化的数据形式来进行操作的,但它处理的对象不一定都是"数",例如,我们现在阅读的就是"字符"。因此采用一些标准的二进制编码来表示部分常用的对象或信息就会方便得多,这里介绍最常用的BCD码与ASCII码。

1.2.1　BCD码

人们已经习惯了十进制数,而且计算机的原始数据多数也是十进制的,但十进制数不能

直接在计算机中进行处理,必须用二进制为它编码,这样就产生了二进制编码的十进制数,简称 BCD(Binary Coded Decimal)码。

BCD 码用 4 位二进制数表示一位十进制数,但这 4 位二进制数中可表示的 16 个数码中有 6 个数码是多余的,应该抛弃,可以使用不同的方法来处理这些数码,因而产生了各种不同的 BCD 码,但最通用的是 8421 BCD 码,它是将十六进制数的 A ~ F 放弃不用。例如:

89 的 BCD 码为 1000 1001;

105 的 BCD 码为 0001 0000 0101;

2004 的 BCD 码为 0010 0000 0000 0100。

可见,BCD 码是很容易编制的,而且用它来表示十进制数也很直观,但是一定要区别于二进制数,两者表征的数值完全不同,例如:

$(0010000000000001.1001)_{BCD} = 2001.9$

0010000000000001.1001B = 8193.5625

以上用 4 位二进制表示 1 位十进制的编码称为紧(压)缩型 BCD 码(Packed BCD),此时用 8 位二进制就能表示 2 位十进制。将一个字节分成高半字节与低半字节,各表示一位十进制数,CPU 通过对一个专门针对半字节的辅助进位的调整就可对 BCD 数直接进行运算。

如果用 8 位二进制来表示 1 位十进制,则称为非紧(压)缩型 BCD 码(Unpacked BCD),此时它的高 4 位全为 0。

例如,86 的紧缩型 BCD 码是 1000 0110B,它的非压缩型 BCD 码是 0000 1000 0000 0110B。

BCD 码的不足之处是抛弃了二进制中 6/16 的信息位不使用,非压缩的 BCD 码浪费更大,在相同的二进制位数条件下 BCD 能表示的数值范围变窄。换言之,如果信息量相同的话,那么使用 BCD 数据占用的内存空间比使用纯二进制数据要大得多。

1.2.2 ASCII 码与奇偶校验

计算机不仅仅只对数据进行运算,而且还要处理其他各种事务,因而它应能识别字母与各种字符,目前普遍使用 ASCII 码来表示字母与字符。

ASCII(American Standard Code for Information Interchange)码,即美国标准信息交换码,这是一种 7 位的二进制编码,可表示 128 个字符,包括英文大小写字母与数字 0 ~ 9,表 1.2 列出了全部 ASCII 码及其表示方法。

表 1.2 ASCII 码表

$b_6b_5b_4$ / $b_3b_2b_1b_0$		0	1	2	3	4	5	6	7
		000	001	010	011	100	101	110	111
0	0000	NUL	DLE	SP	0	@	P	`	p
1	0001	SOH	DC1	!	1	A	Q	a	q
2	0010	STX	DC2	"	2	B	R	b	r
3	0011	ETX	DC3	#	3	C	S	c	s
4	0100	EOT	DC4	$	4	D	T	d	t
5	0101	ENQ	NAK	%	5	E	U	e	u

（续表）

$b_3b_2b_1b_0$		$b_6b_5b_4$ 0	1	2	3	4	5	6	7
		000	001	010	011	100	101	110	111
6	0110	ACK	SYN	&	6	F	V	f	v
7	0111	BEL	ETB	'	7	G	W	g	w
8	1000	BS	CAN	(	8	H	X	h	x
9	1001	HT	EM	)	9	I	Y	i	y
A	1010	LF	SUB	*	:	J	Z	j	z
B	1011	VT	ESC	+	;	K	[	k	{
C	1100	FF	FS	,	<	L	\	l	|
D	1101	CR	GS	-	=	M	]	m	}
E	1110	SO	RS	.	>	N	^	n	~
F	1111	SI	US	/	?	O	_	o	DEL

由于存储器的基本单元是8位一个字节，故通常还是用一个字节来表示ASCII码，并认为最高位b_7恒为零，于是0～9的ASCII码为30H～39H，大写英文字母A～Z的ASCII码为41H～5AH，小写英文字母a～z的ASCII码为61H～7AH等。

必须指出的是，在许多实际应用中，最高位b_7又常常用来作为ASCII码的奇/偶校验位。奇校验时该位的取值应使得8位ASCII码中1的个数为奇数；反之，偶校验时该位的取值应使得8位ASCII码中1的个数为偶数。例如：

- “8”的奇校验ASCII码为00111000B，偶校验ASCII码为10111000B；
- “B”的奇校验ASCII码为11000010B，偶校验ASCII码为01000010B。

奇偶校验的主要目的是用于数据传输中检测接收方的数据是否正确。收发双方先预约为何种校验，接收方收到数据后检验1的个数，判断是否与预约的校验相符，倘若不符，则说明传输出错，可请求重新发送。

1.3　带符号数

如同用“+”、“-”符号表示正数与负数一样，计算机用最高位作为符号位，该位为0表示正数，该位为1表示负数。这样在一个字节的8位二进制中就只有7位表示数值了，这种数就称为带符号的数。在此之前介绍的数均未涉及符号这一概念，它们是不带符号的数，两者在表达形式上看不出任何差别，但它们所表示的数值是完全不同的。

计算机中的数有原码、反码、补码三种表示方法，而且一般都是采用补码表示法，由于三者有不可分割的联系，下面将逐一介绍。

1.3.1　原码、反码与补码

1. 原码

原码是在原来二进制数值位中用最高位作正负符号位，其他位均为数值位，其值不变，

最高位为“0”表示正数,最高位为“1”表示负数。例如:

- +1010101B 的原码为 01010101B;
- -1010101B 的原码为 11010101B。

2. 反码

对于负数而言,最高位始终为“1”,数值位则与原码相反,即“0”变成“1”,“1”变成“0”。例如:

-1010101B 的原码表示法为 11010101B,反码表示法则是 10101010B。

3. 补码

在反码的最低位加“1”,就成为补码表示法,例如:

原码 11010101B 的反码是 10101010B,补码是 10101011B。

值得指出的是,对于正数来说,其最高位保持为“0”,不引入反码与补码之说,换言之,正数只采用原码表示法。

由于计算机的数字逻辑电路对于“取反”、“加 1”、“进位”等操作轻而易举,所以,引入补码为计算机的运算操作提供了极大方便,提高了机器的运算效率。例如采用补码就可以将减法当加法来操作。

【例 1.5】 127 - 16 = ?

因为 127 - 16 = 127 + (-16),所以只需将 127 的原码与 -16 的补码相加:

```
    0 1 1 1 1 1 1 1
+   1 1 1 1 0 0 0 0
= 1 0 1 1 0 1 1 1 1
```

忽略进位即为运算结果。验算

01101111B = 6FH = 6 × 16 + 15 = 111

1.3.2 补码的换算

对正数求补可得到它对应的负数,如果再对该负数求补又可以得到正数,也就是得到了绝对值。因此补码的换算并不复杂。

当要将一个十进制负数转换为补码表示时,可按以下步骤进行:

① 将该负数对应的正数转换成二进制数;

② 将该二进制数按位取反后末位加 1。

【例 1.6】 -100 = (?)B

因为 +100 = 64H = 01100100B,所以

```
    0 1 1 0 0 1 0 0
    1 0 0 1 1 0 1 1   ;取反
+               1     ;加 1
= 1 0 0 1 1 1 0 0
```

结果得:-100 = 10011100B = 9CH

反过来,已知二进制的补码,将它转换为十进制符号数的方法是:

① 判断最高位,即符号位是 0 还是 1。如果符号位是 0,说明是正数,此时不需做任何