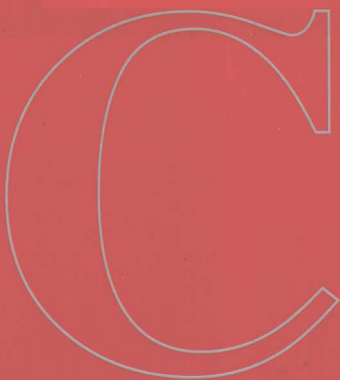


21世纪高等学校计算机**基础**实用规划教材

单片微机原理、汇编 与C51及接口技术

A stylized, outlined letter 'M' in a light red color, positioned on a grey square background.

朱定华 戴颖颖 李川香 编著

A large, outlined letter 'C' in a light red color, positioned on a red square background.A stylized, outlined letter 'U' in a light red color, positioned on a red square background.

清华大学出版社

21世纪高等学校计算机**基础**实用规划教材

单片微机原理、汇编 与C51及接口技术

朱定华 戴颖颖 李川香 编著

清华大学出版社
北京

内 容 简 介

本书以 MCS-51 单片机为背景,系统地介绍了微型计算机的原理及接口技术。主要内容包括微型计算机基础、汇编语言程序设计、MCS-51 单片机的内部接口、MCS-51 单片机的扩展方法、半导体存储器、常用可编程接口芯片、A/D 和 D/A 转换芯片、C51 程序设计及 MCS-51 单片机的实验等,较详细地介绍了以 80C51 为基础结构并与其兼容的 8xC552 单片机和 C8051Fxxx 单片机。

本书内容丰富,实例众多,其中大量的接口电路和程序是作者在多年的科研和教学中反复提炼得来的,因而应用性很强。本书内容系统全面,论述深入浅出,循序渐进,可作为大专院校电子信息工程、通信工程、自动化、电气控制类等专业的“汇编语言程序设计”、“微机原理”或“微机原理及接口技术”等课程的教学用书,也可以作为参加各类电子制作、课程设计和毕业设计的教学参考书,还可供从事电子技术、计算机应用与开发的科研人员和工程技术人员及初学者学习参考。

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

单片微机原理、汇编与 C51 及接口技术/朱定华,戴颖颖等编著. —北京:清华大学出版社, 2010.6

(21 世纪高等学校计算机基础实用规划教材)

ISBN 978-7-302-22203-3

I. ①单… II. ①朱… ②戴… III. ①单片微型计算机—高等学校—教材
IV. ①TP368.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 028919 号

责任编辑:魏江江 李玮琪

责任校对:时翠兰

责任印制:杨 艳

出版发行:清华大学出版社

地 址:北京清华大学学研大厦 A 座

<http://www.tup.com.cn>

邮 编:100084

社 总 机:010-62770175

邮 购:010-62786544

投稿与读者服务:010-62795954,jsjic@tup.tsinghua.edu.cn

质 量 反 馈:010-62772015,zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn

印 刷 者:北京密云胶印厂

装 订 者:北京市密云县京文制本装订厂

经 销:全国新华书店

开 本:185×260 印 张:24 字 数:577 千字

版 次:2010 年 6 月第 1 版 印 次:2010 年 6 月第 1 次印刷

印 数:1~3000

定 价:33.50 元

产品编号:036628-01

编审委员会成员

(按地区排序)

清华大学

周立柱 教授

覃 征 教授

王建民 教授

冯建华 教授

刘 强 副教授

北京大学

杨冬青 教授

陈 钟 教授

陈立军 副教授

北京航空航天大学

马殿富 教授

吴超英 副教授

姚淑珍 教授

中国人民大学

王 珊 教授

孟小峰 教授

陈 红 教授

北京师范大学

周明全 教授

北京交通大学

阮秋琦 教授

赵 宏 教授

北京信息工程学院

孟庆昌 教授

北京科技大学

杨炳儒 教授

石油大学

陈 明 教授

天津大学

艾德才 教授

复旦大学

吴立德 教授

吴百锋 教授

杨卫东 副教授

同济大学

苗夺谦 教授

徐 安 教授

华东理工大学

邵志清 教授

华东师范大学

杨宗源 教授

应吉康 教授

上海大学

陆 铭 副教授

东华大学

乐嘉锦 教授

孙 莉 副教授

浙江大学	吴朝晖	教授
	李善平	教授
扬州大学	李 云	教授
南京大学	骆 斌	教授
	黄 强	副教授
南京航空航天大学	黄志球	教授
	秦小麟	教授
南京理工大学	张功萱	教授
南京邮电学院	朱秀昌	教授
苏州大学	王宜怀	教授
	陈建明	副教授
江苏大学	鲍可进	教授
武汉大学	何炎祥	教授
华中科技大学	刘乐善	教授
中南财经政法大学	刘腾红	教授
华中师范大学	叶俊民	教授
	郑世珏	教授
	陈 利	教授
江汉大学	颜 彬	教授
国防科技大学	赵克佳	教授
中南大学	刘卫国	教授
湖南大学	林亚平	教授
	邹北骥	教授
西安交通大学	沈钧毅	教授
	齐 勇	教授
长安大学	巨永峰	教授
哈尔滨工业大学	郭茂祖	教授
吉林大学	徐一平	教授
	毕 强	教授
山东大学	孟祥旭	教授
	郝兴伟	教授
中山大学	潘小轰	教授
厦门大学	冯少荣	教授
仰恩大学	张思民	教授
云南大学	刘惟一	教授
电子科技大学	刘乃琦	教授
	罗 蕾	教授
成都理工大学	蔡 准	教授
	于 春	讲师
西南交通大学	曾华燊	教授

出版说明

随着我国改革开放的进一步深化,高等教育也得到了快速发展,各地高校紧密结合地方经济建设发展需要,科学运用市场调节机制,加大了使用信息科学等现代科学技术提升、改造传统学科专业的投入力度,通过教育改革合理调整和配置了教育资源,优化了传统学科专业,积极为地方经济建设输送人才,为我国经济社会的快速、健康和可持续发展以及高等教育自身的改革发展做出了巨大贡献。但是,高等教育质量还需要进一步提高以适应经济社会发展的需要,不少高校的专业设置和结构不尽合理,教师队伍整体素质亟待提高,人才培养模式、教学内容和方法需要进一步转变,学生的实践能力和创新精神亟待加强。

教育部一直十分重视高等教育质量工作。2007年1月,教育部下发了《关于实施高等学校本科教学质量与教学改革工程的意见》,计划实施“高等学校本科教学质量与教学改革工程(简称‘质量工程’)”,通过专业结构调整、课程教材建设、实践教学改革、教学团队建设等多项内容,进一步深化高等学校教学改革,提高人才培养的能力和水平,更好地满足经济社会发展对高素质人才的需要。在贯彻和落实教育部“质量工程”的过程中,各地高校发挥师资力量强、办学经验丰富、教学资源充裕等优势,对其特色专业及特色课程(群)加以规划、整理和总结,更新教学内容、改革课程体系,建设了一大批内容新、体系新、方法新、手段新的特色课程。在此基础上,经教育部相关教学指导委员会专家的指导和建议,清华大学出版社在多个领域精选各高校的特色课程,分别规划出版系列教材,以配合“质量工程”的实施,满足各高校教学质量和教学改革的需要。

本系列教材立足于计算机公共课程领域,以公共基础课为主、专业基础课为辅,横向满足高校多层次教学的需要。在规划过程中体现了如下一些基本原则和特点。

(1) 面向多层次、多学科专业,强调计算机在各专业中的应用。教材内容坚持基本理论适度,反映各层次对基本理论和原理的需求,同时加强实践和应用环节。

(2) 反映教学需要,促进教学发展。教材要适应多样化的教学需要,正确把握教学内容和课程体系的改革方向,在选择教材内容和编写体系时注意体现素质教育、创新能力与实践能力的培养,为学生的知识、能力、素质协调发展创造条件。

(3) 实施精品战略,突出重点,保证质量。规划教材把重点放在公共基础课和专业基础课的教材建设上;特别注意选择并安排一部分原来基础比较好的优秀教材或讲义修订再版,逐步形成精品教材;提倡并鼓励编写体现教学质量和教学改革成果的教材。

(4) 主张一纲多本,合理配套。基础课和专业基础课教材配套,同一门课程可以有针对不同层次、面向不同专业的多本具有各自内容特点的教材。处理好教材统一性与多样化,基本教材与辅助教材、教学参考书,文字教材与软件教材的关系,实现教材系列资源配套。

(5) 依靠专家,择优选用。在制定教材规划时依靠各课程专家在调查研究本课程教材建设现状的基础上提出规划选题。在落实主编人选时,要引入竞争机制,通过申报、评审确定主题。书稿完成后要真实行审稿程序,确保出书质量。

繁荣教材出版事业,提高教材质量的关键是教师。建立一支高水平教材编写梯队才能保证教材的编写质量和建设力度,希望有志于教材建设的教师能够加入到我们的编写队伍中来。

21 世纪高等学校计算机基础实用规划教材

联系人:魏江江 weijj@tup.tsinghua.edu.cn

前 言

当今微型计算机技术的发展形成两大分支,一大分支是以微处理器(Micro Processor Unit)为核心所构成的通用微机系统,另一大分支是微控制器(Micro Controller Unit),俗称单片机。面对这样“势均力敌”的两大分支,大专院校的“微机原理”课程究竟应选用何种机型为背景来组织教学,也出现分歧。

作为 21 世纪的工科大学生,不仅要熟练地使用通用微机进行各种数据处理,还要把计算机技术运用到本专业领域或相关领域,即具有“开发”能力。所以新世纪的工科大专院校的大学生既要掌握通用微机,又要掌握单片机。因此有些学校在学习以通用微机为背景机的“微机原理”课程后,又开设“单片机及接口技术”选修课。单片机和通用微机作为微型机发展的两大分支,其基本结构、工作原理、控制思路及实现方法都非常类似。有了一个做基础,再学另一个就很容易了。选用 80x86 通用微机和 MCS-51 系列单片机为背景机来组织“微机原理”课程的教学都是可行的。

MCS-51 单片机应用于控制目的时,功能已足够强大,已能满足控制领域中多数场合的要求。MCS-51 单片机正朝着高速、高性能和多功能方向发展。Philips 公司开发的 8xC552 单片机和 Cygnal 公司开发的 C8051Fxxx 单片机都以 80C51 为基础结构,并与 80C51 兼容。因此,选用 MCS-51 系列单片机作为“微机原理”课程的主要内容,既可满足教学内容稳定、实验设备成熟便宜的条件,又不失其先进性与实用性。本书是以 Intel 公司的 MCS-51 系列单片机为背景机的“微机原理”课程的教学用书,并在附录中详细地介绍了 8xC552 单片机和 C8051Fxxx 单片机。

本书全面地介绍了 MCS-51 单片机的结构原理和应用技术,共分 10 章和 5 个附录。第 1 章介绍微型计算机的基础知识,包括计算机中的数制和编码、逻辑单元和逻辑部件。微型计算机的结构和工作原理以及 MCS-51 单片机的结构和主要系列产品的特性。第 2 章介绍 MCS-51 单片机常用的汇编指令和伪指令以及指令的时序。第 3 章介绍汇编语言程序设计的基本技术。通过第 2 章和第 3 章的学习,使读者能更透彻地了解汇编语言程序设计,为编程应用打下基础。第 4 章介绍 MCS-51 单片机的内部接口电路,包括中断系统、定时器、并行口和串行口,同时还介绍了计算机间的通信。第 5 章介绍 MCS-51 单片机的最小应用系统和扩展技术。第 6 章介绍存储器及其与微型计算机的接口技术。第 7 章介绍常用可编程接口芯片的功能与应用。第 8 章介绍 A/D 和 D/A 转换器与微型计算机的接口与应用。第 9 章介绍 MCS-51 单片机的 C 语言——C51。第 10 章是 MCS-51 单片机汇编、C51 和单片机接口技术的实验。

本书内容丰富,实例众多,每章后均附有思考题与习题。编写本书时,注意了理论和实践相结合,力求做到既有一定的理论基础,又能运用理论解决实际问题;既掌握一定的先进

技术,又着眼于当前的应用服务。

本课程的参考学时数为 64 学时(不含实验)。

本书由朱定华、戴颖颖和李川香编写。参加本书编写工作的人员还有周斌、蔡红娟、蔡苗、翟晟、黄松、吕建才、陈艳、林卫、程萍、张德芳、李志文、林威等。

由于作者水平有限,书中难免还存在一些不足和错误,殷切希望广大读者批评指正。

编 者

2010 年 2 月

目 录

第 1 章 微型计算机基础	1
1.1 计算机中的数和编码	1
1.1.1 计算机中的数制	1
1.1.2 符号数的表示法	2
1.1.3 二进制数的加减运算	5
1.1.4 二进制数的逻辑运算与逻辑电路	7
1.1.5 二进制编码	9
1.1.6 BCD 数的加减运算	11
1.2 逻辑单元与逻辑部件	11
1.2.1 触发器	11
1.2.2 寄存器	14
1.2.3 移位寄存器	14
1.2.4 计数器	14
1.2.5 三态输出门与缓冲放大器	16
1.2.6 译码器	16
1.3 微型计算机和单片机	16
1.3.1 微型计算机常用的术语	16
1.3.2 微型计算机	17
1.3.3 单片机	19
1.4 MCS-51 单片机及其兼容单片机的基本组成和存储器配置	20
1.4.1 8051 单片机的基本组成	20
1.4.2 MCS-51 单片机的存储器	22
1.4.3 特殊功能寄存器	23
1.5 MCS-51 系列单片机及兼容机	27
1.5.1 51 子系列和 52 子系列	27
1.5.2 AT89 系列单片机	28
1.5.3 MCS-51 单片机的引线	29
习题与思考题	30
第 2 章 汇编语言与汇编程序	33
2.1 符号指令的寻址方式	33

2.2	常用指令	36
2.2.1	数据传送类指令	36
2.2.2	加减运算指令	39
2.2.3	逻辑运算及移位类指令	42
2.2.4	位操作指令	45
2.2.5	指令应用举例	46
2.3	伪指令	48
2.3.1	常量和标号	49
2.3.2	程序的定位和结束伪指令	50
2.4	指令的时序	51
	习题与思考题	54
第3章	汇编语言程序设计的基本技术	57
3.1	顺序程序设计	57
3.1.1	乘除法指令	57
3.1.2	BCD 数加法调整指令 DAA	58
3.1.3	顺序程序设计举例	60
3.2	分支程序设计	62
3.2.1	条件转移指令	62
3.2.2	比较不等转移指令	63
3.2.3	无条件转移指令	64
3.2.4	应用举例	66
3.3	循环程序设计	67
3.3.1	减 1 非零转移指令 DJNZ	68
3.3.2	单重循环程序设计举例	69
3.3.3	多重循环程序	72
3.4	子程序设计	74
3.4.1	子程序的概念	74
3.4.2	子程序的调用指令与返回指令	76
3.4.3	子程序及其调用程序设计举例	77
	习题与思考题	81
第4章	MCS-51 单片机内部接口电路	83
4.1	接口的基本概念	83
4.1.1	接口电路的功能	83
4.1.2	接口控制原理	84
4.1.3	串行接口 UART、SPI 和 I ² C/SMBus	85
4.1.4	并行接口	87
4.2	中断及 MCS-51 单片机的中断系统	87

4.2.1	中断和中断处理	87
4.2.2	MCS-51 单片机的中断系统	89
4.2.3	多个外部中断源的系统设计	92
4.3	定时器	93
4.3.1	定时器的结构	94
4.3.2	定时器的工作方式	95
4.3.3	定时器应用举例	98
4.4	并行输入输出接口	101
4.5	UART 串行输入输出接口	110
4.6	串行通信	116
4.6.1	双机通信	116
4.6.2	多机通信	117
4.6.3	MCS-51 单片机与 80x86 微型计算机的通信	123
4.7	52 子系列单片机	127
4.7.1	内部 RAM	127
4.7.2	定时器 T2	128
	习题与思考题	133
第 5 章	单片机的最小应用系统与外部扩展	135
5.1	单片机的最小应用系统	135
5.1.1	单片机的时钟电路	135
5.1.2	复位电路及复位状态	136
5.1.3	MCS-51 单片机的片外总线结构	137
5.1.4	89S51 单片机的最小应用系统	139
5.1.5	8031 单片机的最小应用系统	139
5.2	单片机的外部扩展	139
5.2.1	外部扩展芯片与地址总线的连接	140
5.2.2	外部扩展芯片与数据总线的连接	142
5.2.3	外部扩展芯片与控制总线的连接	142
5.3	用 TTL 或 CMOS 芯片扩展简单的 I/O 接口	143
5.3.1	用寄存器扩展简单的输出接口	143
5.3.2	用三态缓冲器扩展输入接口	144
5.3.3	三态缓冲寄存器扩展输入输出接口	145
5.3.4	应用举例	146
5.3.5	开关量的驱动与隔离	151
	习题与思考题	153
第 6 章	半导体存储器	154
6.1	存储器概述	154

6.2	常用的存储器芯片	155
6.2.1	半导体存储器芯片的结构	155
6.2.2	随机读写存储器 RAM	156
6.2.3	只读存储器 ROM	157
6.3	存储器的扩展	159
6.4	串行 EEPROM 存储器及其应用	163
6.4.1	24LC××	164
6.4.2	X25043/45	174
6.4.3	X84041	182
	习题与思考题	185
第 7 章	常用可编程接口芯片	187
7.1	可编程并行接口 8255	187
7.1.1	8255 的组成与接口信号	187
7.1.2	8255 的工作方式与控制字	188
7.1.3	三种工作方式的功能	191
7.1.4	8255 在液晶显示器接口中的应用	195
7.2	可编程计数器/定时器 8253	202
7.2.1	8253 的组成与接口信号	203
7.2.2	计数器的工作方式及其与输入输出的关系	204
7.2.3	8253 的控制字和初始化编程	206
7.2.4	8253 的应用	207
7.3	可编程多功能接口 8155	209
7.3.1	8155 的组成与接口信号	209
7.3.2	8155 的命令状态字	211
7.3.3	8155 与 MCS-51 单片机的连接	212
7.3.4	8155 在键盘和七段显示器接口中的应用	214
7.4	键盘/显示控制器 8279	217
7.4.1	8279 的组成与接口信号	217
7.4.2	8279 的操作命令	219
7.4.3	8279 在键盘和显示器接口中的应用	220
7.5	HD7279 键盘、显示器接口芯片	224
7.5.1	HD7279 的引线排列和接口信号	224
7.5.2	HD7279 的操作命令	224
7.5.3	HD7279 的操作时序	226
7.5.4	HD7279 的应用举例	227
	习题与思考题	229

第 8 章 模拟通道接口	231
8.1 数模转换器及其与微型计算机的接口	231
8.1.1 8 位数模转换芯片 DAC0832	232
8.1.2 12 位数模转换芯片 DAC1210	239
8.1.3 10 位 D/A 转换器 AD7520	241
8.2 模数转换器 ADC 及其与微型计算机的接口	241
8.2.1 8 位逐次逼近式 A/D 转换芯片 ADC0808	242
8.2.2 12 位逐次比较式数模转换芯片 AD574	243
8.3 串行模数转换器和数模转换器	246
8.3.1 串行模数转换器 TLC2543	246
8.3.2 串行输入 12 位电压输出数模转换器 TLV5616	250
习题与思考题	253
第 9 章 MCS-51 单片机 C 语言——C51	254
9.1 C51 的程序结构	254
9.2 变量	255
9.3 C51 的运算符	257
9.4 C51 对存储器和特殊功能寄存器的访问	258
9.5 函数	259
9.6 C51 的程序控制语句	261
9.7 C51 程序设计举例	262
习题与思考题	272
第 10 章 单片机实验	273
实验一 仿真软件的使用	273
实验二 程序设计	283
实验三 P1 口实验	288
实验四 外部中断和定时器实验	289
实验五 键盘、七段显示器实验	292
实验六 A/D 转换实验	294
实验七 D/A 转换实验	296
实验八 串行通信实验	299
附录 A 超想 3000 仿真器使用说明	300
附录 B 8XC552 单片机	311
附录 C C8051Fxxx 单片机	325
附录 D MCS-51 指令系统表	360
附录 E MCS-51 指令速查表	364

1.1 计算机中的数和编码

1.1.1 计算机中的数制

计算机最早是作为一种计算工具出现的,所以它的最基本的功能是对数进行加工和处理。数在机器中是以器件的物理状态来表示的。一个具有两种不同的稳定状态且能相互转换的器件就可以用来表示 1 位(b)二进制数。二进制数有运算简单、便于物理实现、节省设备等优点,所以目前在计算机中数几乎全是采用二进制表示。但是二进制数书写起来太长,且不利于阅读和记忆;而 4 位二进制数有 16 个不同的状态 0000~1111,即是 1 位十六进制数;所以微型计算机中的二进制数都采用十六进制数来缩写。十六进制数用 0~9 和 A~F 16 个数码表示 4 位二进制数 0000~1111,这 16 个二进制数 0000~1111 的大小就是十进制数 0~15。1 个 8 位的二进制数用 2 位十六进制数表示,1 个 16 位的二进制数用 4 位十六进制数表示等。这样书写方便,又便于阅读和记忆,且转换方便,因此常用十六进制数来缩写二进制数。然而人们最熟悉、最常用的是十进制数。为此,要熟练地掌握十进制数、二进制数和十六进制数间的相互转换。它们之间的关系如表 1-1 所示。

表 1-1 十进制数、二进制数及十六进制数对照表

十进制	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
二进制	0000	0001	0010	0011	0100	0101	0110	0111	1000	1001	1010	1011	1100	1101	1110	1111
十六进制	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	A	B	C	D	E	F

为了区别十进制数、二进制数及十六进制数 3 种数制,可在数的右下角注明数制,或者在数的后面加一字母,如 B(binary)表示二进制数制;D(decimal)或不带字母表示十进制数制;H(hexadecimal)表示十六进制数制。

1. 二进制数和十六进制数整数间的相互转换

根据表 1-1 所示的对应关系即可实现它们之间的转换。

二进制整数转换为十六进制数,其方法是从右(最低位)向左将二进制数分组:每 4 位为 1 组,最后一组若不足 4 位则在其左边添加 0,以凑成 4 位 1 组,每组用 1 位十六进制数表示。如:

$$11111110001111\text{B} \rightarrow 1\ 1111\ 1100\ 0111\text{B} \rightarrow 0001\ 1111\ 1100\ 0111\text{B} = 1\text{FC7H}$$

十六进制数转换为二进制数,只需用 4 位二进制数代替 1 位十六进制数即可。如:

$$3\text{AB9H} = 0011\ 1010\ 1011\ 1001\text{B}$$

2. 十六进制数和十进制数间的相互转换

十六进制数转换为十进制数十分简单,只需将十六进制数按权展开相加即可。如:
 $1F3DH = 16^3 \times 1 + 16^2 \times 15 + 16^1 \times 3 + 16^0 \times 13 = 4096 \times 1 + 256 \times 15 + 16 \times 3 + 1 \times 13$
 $= 4096 + 3840 + 48 + 13 = 7997$

十进制整数转换为十六进制数可用除 16 取余法,即用 16 不断地去除待转换的十进制数,直至商等于 0 为止。将所得的各次余数,依倒序排列,即可得到所转换的十六进制数。如将 38947 转换为十六进制数,其方法及算式如下:

$$\begin{array}{r} 16 \overline{) 38947} \quad 3 \\ \underline{16 \quad 2434} \quad 2 \\ \quad 16 \overline{) 152} \quad 8 \\ \quad \quad \underline{16 \quad 9} \quad 9 \\ \quad \quad \quad 0 \end{array}$$

即 $38947 = 9823H$ 。

1.1.2 符号数的表示法

1. 机器数与真值

二进制数与十进制数一样有正负之分。在计算机中,常用数的符号和数值部分一起编码的方法表示符号数。常用的有原码、反码和补码表示法。这几种表示法都将数的符号数码化。通常正号用 0 表示,负号用 1 表示。为了区分一般书写时表示的数和机器中编码表示的数,我们称前者为真值,后者为机器数,即数值连同符号数码 0 或 1 一起作为一个数就称为机器数,而它的数值连同符号 0 或 1 称为机器数的真值。把机器数的符号位也当作数值的数,就是无符号数。

为了表示方便,常把 8 位二进制数称为字节,把 16 位二进制数称为字,把 32 位二进制数称为双字。对于机器数应将其用字节、字或双字表示,所以只有 8 位、16 位或 32 位机器数的最高位才是符号位。

2. 原码

按上所述,数值用其绝对值,正数的符号位用 0 表示,负数的符号位用 1 表示,这样表示的数就称为原码。如:

$$\begin{array}{ll} X_1 = 105 = +01101001B & [X_1]_{\text{原}} = 01101001B \\ X_2 = -105 = -01101001B & [X_2]_{\text{原}} = 11101001B \end{array}$$

其中最高位为符号,后面 7 位是数值。用原码表示时,+105 和 -105 的数值部分相同而符号位相反。

原码表示简单易懂,而且与真值的转换方便。但若是两个异号数相加,或两个同号数相减,就要做减法。为了把减运算转换为加运算,简化计算机的结构,从而引进了反码和补码。

3. 反码

正数的反码与原码一样,符号位为 0,其余位为其数值;负数的反码为它的绝对值(即与其绝对值相等的正数)按位(连同符号位)取反。如:

$$\begin{array}{ll} X_1 = 105 = +01101001B & [X_1]_{\text{反}} = 01101001B \\ X_2 = -105 = -01101001B & [X_2]_{\text{反}} = 10010110B \end{array}$$

4. 补码

正数的补码与原码一样,符号位为 0,其余位为其数值;负数的补码为与该负数的绝对

值相等的正数的补数。把一个数连同符号位按位取反再加 1,可以得到该数的补码。如:

$$\begin{aligned} X_1 &= 105 = +01101001B & [X_1]_{\text{补}} &= 01101001B \\ X_2 &= -105 = -01101001B & [X_2]_{\text{补}} &= 10010111B \end{aligned}$$

求补码还可以直接求,方法是从最低位向最高位扫描,保留直至第一个“1”的所有位,以后各位按位取反。负数的补码可以由与其绝对值相等的正数求补得到。根据两数互为补数的原理,对补码表示的负数求补就可以得到该负数的绝对值。如:

$$[-105]_{\text{补}} = 10010111B = 97H$$

对其求补,从右向左扫描,第一位就是 1,故只保留该位,对其左面的七位均求反得:01101001,即补码表示的机器数 97H 的真值是 -69H(=-105)。

一个用补码表示的机器数,若最高位为 0,则其余几位即为此数的绝对值;若最高位为 1,则其余几位不是此数的绝对值,把该数(连同符号位)求补,才得到它的绝对值。

当数采用补码表示时,就可以把减法转换为加法。例如:

$$\begin{aligned} 64 - 10 &= 64 + (-10) \\ [64]_{\text{补}} &= 40H = 0100\ 0000B \\ [10]_{\text{补}} &= 0AH = 0000\ 1010B \\ [-10]_{\text{补}} &= 1111\ 0110B \end{aligned}$$

做减法运算过程如下:

$$\begin{array}{r} 0100\ 0000 \\ -0000\ 1010 \\ \hline 0011\ 0110 \end{array}$$

用补码相加过程如下:

$$\begin{array}{r} 0100\ 0000 \\ +1111\ 0110 \\ \hline 10011\ 0110 \\ \downarrow \\ \text{进位自然丢失} \end{array}$$

结果相同,其真值为:54(36H=48+6)。

最高位的进位是自然丢失的,故做减法与用补码相加的结果是相同的。因此,在微型机中,凡是符号数一律是用补码表示的。一定要记住运算的结果也是用补码表示的。如:

$$\begin{aligned} 34 - 68 &= 34 + (-68) \\ 34 &= 22H = 0010\ 0010B \\ 68 &= 44H = 0100\ 0100B \\ -68 &= 1011\ 1100B \end{aligned}$$

做减运算过程如下:

$$\begin{array}{r} 0010\ 0010 \\ -0100\ 0100 \\ \hline 11101\ 1110 \\ \downarrow \\ \text{借位自然丢失} \end{array}$$

用补码相加过程如下:

$$\begin{array}{r} 0010\ 0010 \\ +1011\ 1100 \\ \hline 1101\ 1110 \end{array}$$

结果相同。因为符号位为 1,所以结果为负数。对其求补,得其真值: -00100010B,即为