

铁路中专计算机统编教材

单片机原理及应用

郑毛祥 主编



电子科技大学出版社

铁路中专计算机统编教材

单片机原理及应用

郑毛祥 主编

电子科技大学出版社

内 容 提 要

本书共分为十章, 主要内容包括: 8051 系列单片机的构成, 工作原理, 指令系统, 程序设计, 中断技术, 串行通信, 单片机系统配置和接口技术等。全书系统介绍了 8XC552、89C51、89C2051 等 8051 系列中目前流行的几种最新高性能单片机的原理及应用, 书中很多实例可以直接应用于实际工作中。本书配有实验指导和习题, 便于教学。

全书内容丰富, 构思新颖, 突出实用, 系统性强, 适用于作为职业技术学院、中等专业学校教材, 也可以作为高等学校教材和从事单片机产品开发的工程技术人员的参考资料。

图书在版编目(CIP)数据

单片机原理及应用/郑毛祥编, 一成都: 电子科技大学出版社, 2001.2

铁路中专计算机统编教材

ISBN 7-81065-631-7

I. 单... II. 郑... III. 单片微型计算机-专业学校-教材, IV. TP368.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2001) 第 08463 号

单片机原理及应用

郑毛祥 主编

出 版: 电子科技大学出版社(成都建设北路二段四号 邮编: 610054)

责任编辑: 杨铁铤

发 行: 新华书店

印 刷: 西南冶金地质印刷厂

开 本: 787×1092 1/16 印张 21 字数 496 千字

版 次: 2001 年 2 月第一版

印 次: 2001 年 2 月第一次印刷

书 号: ISBN 7-81065-631-7/TP·424

印 数: 1—5000 册

定 价: 25.00 元

前 言

近年来,随着高性能单片机的不断发展,单片机在微机领域中占据着不可替代的重要地位,MCS-51 系列单片机经过十几年的发展,从性能、指令功能、运算速度、控制能力等方面都有很大的提高,单片机的应用日益广泛,具有广阔的发展前景,已为越来越多的科学工作者所重视。为了适应职业技术教育发展的需要,我们精心组织编写了本书。

本书是铁道部中等专业学校计算机课程统编教材,由武汉铁路运输学校郑毛祥主编,株洲铁路机械学校徐建军主审,株洲铁路机械学校宋继军编写第一章、第二章的第二节和第八章,株洲铁路机械学校邓健平编写第三章,南昌铁路机械学校涂相仁编写第二章、第七章,株洲铁路电机学校梁洁婷编写第四章,天津铁路工程学校鲁志彤、冯宪慧编写第九章,沈阳铁路机械学校杨绍文编写第六章,武汉铁路运输学校郑毛祥编写第五章、第十章及实验指导和本书的统稿工作。铁道部中专计算机及应用教学指导委员会主任徐维祥认真审阅了本书的初稿,并提出了很多宝贵建议和意见,本书从编写到发行过程中,铁道部中专计算机及应用教学指导委员会给予了极大的关心和支持,在此表示感谢。

由于作者水平有限,书中难免有错误和不足之处,恳请读者批评指教。

郑毛祥

2001 年 2 月于武汉

目 录

第一章 单片微型计算机基础知识.....	1
第一节 概 述.....	1
一、单片机的发展概况.....	1
二、单片机的主要特点.....	2
三、单片机的应用.....	2
四、单片机的发展趋势.....	3
第二节 不同进制数之间的转换与二进制数运算规则.....	4
一、十进制数 (Decimal).....	4
二、二进制数 (Binary).....	4
三、十六进制数 (Hexadecimal).....	5
四、不同进制数之间的转换.....	5
五、二进制数的算术运算规则.....	7
六、逻辑运算.....	8
第三节 单片机中数的表示与编码.....	8
一、单片机中数的表示形式.....	8
二、补码的加减运算.....	10
三、BCD 码.....	11
四、ASCII 码.....	12
习题一.....	12
第二章 MCS-51 单片机系统结构.....	14
第一节 MCS-51 单片机概述.....	14
一、MCS-51 单片机的基本组成及系统特性.....	14
二、MCS-51 单片机内部结构.....	15
第二节 MCS-51 单片机工作原理.....	19
一、用指令编写程序.....	19
二、程序的执行过程.....	20
第三节 MCS-51 单片机存储器结构.....	24
一、程序存储器 (ROM).....	24
二、内部数据存储器与特殊功能寄存器.....	26
三、外部数据存储器.....	30

第四节 MCS-51 单片机并行输入/输出端口	31
一、P0 口	31
二、P1 口	33
三、P2 口	34
四、P3 口	34
五、端口负载能力和接口要求	35
第五节 MCS-51 单片机时钟电路与时序	36
一、振荡器和时钟电路	36
二、MCS-51 机器周期和指令周期	36
三、CPU 取指令、执行指令周期时序	37
第六节 MCS-51 单片机外部引脚及功能	38
一、电源引脚	40
二、外接晶体引脚	40
三、输入/输出引脚	40
四、控制线	40
第七节 MCS-51 单片机工作方式	41
一、复位方式	41
二、程序执行方式和单步执行方式	43
三、节电方式	43
四、8751 片内编程方式	46
习题二	48
第三章 MCS-51 指令系统	49
第一节 MCS-51 寻址方式	49
一、立即寻址	49
二、直接寻址	50
三、寄存器寻址	51
四、寄存器间接寻址	51
五、变址寻址	52
六、相对寻址	53
七、位寻址	53
第二节 数据传送指令	54
一、内部 8 位数据传送指令	55
二、16 位数据传送指令	57
三、外部数据传送指令	57
四、交换与查表类指令	57
五、堆栈操作指令	59
第三节 算术运算指令	61
一、加、减法指令	62

二、乘、除法指令	64
第四节 逻辑运算及移位指令	66
一、逻辑运算指令	66
二、循环移位指令	68
第五节 位操作指令	70
一、位传送指令	70
二、位变量修改指令	70
三、位变量逻辑操作指令	71
第六节 控制转移指令	72
一、无条件转移指令	72
二、条件转移指令	74
三、调用和返回指令	77
习题三	79
第四章 汇编语言程序设计	82
第一节 汇编语言的基本概念	82
一、程序设计语言	82
二、汇编语言的格式	83
第二节 汇编语言源程序的汇编	83
一、伪指令	84
二、人工汇编	86
三、机器汇编	88
第三节 简单程序设计	89
一、程序流程图	89
二、顺序程序设计	90
第四节 分支程序设计	93
一、分支程序的基本形式	93
二、分支程序设计举例	93
第五节 循环程序设计	97
一、循环程序的导出	97
二、循环程序设计举例	98
第六节 子程序设计	100
一、子程序的概念	100
二、子程序的设计举例	101
第七节 运算程序设计	104
一、多字节无符号数加减运算	104
二、16 位无符号二进制数乘法运算	105
三、16 位无符号二进制除法运算	107
习题四	108

第五章 中断系统	111
第一节 输入/输出方式及中断的概念	111
一、无条件传送方式	111
二、查询传送方式	111
三、中断传送方式	112
四、中断的概念	112
五、中断的功能	113
第二节 8051 中断系统结构及中断控制	113
一、8051 中断系统的结构	113
二、8051 中断源	114
三、中断控制	114
四、MCS-51 中断系统的初始化	118
第三节 中断处理过程	118
一、中断响应条件	119
二、中断处理	119
三、中断返回	120
四、中断响应时间	120
第四节 外部中断源的应用及扩展	120
一、外部中断源的应用	120
二、扩展外部中断源	122
习题五	124
第六章 定时器及应用	125
第一节 定时器结构	125
一、定时器工作方式寄存器 TMOD	126
二、定时控制寄存器 TCON	127
第二节 定时器工作方式	127
一、工作方式 0 及其应用	128
二、工作方式 1 及应用	130
三、工作方式 2 及应用	131
四、工作方式 3 及应用	133
第三节 定时器应用举例	134
一、超过定时/计数器量程的定时问题	134
二、用定时器测试脉冲宽度	135
三、用定时/计数器扩展外部中断源	136
四、定时器 T0 和 T1 连用实现长时间定时	136
五、定时/计数器应用实例	138
习题六	140

第七章 MCS-51 串行接口.....	141
第一节 串行数据通信基础知识.....	141
一、并行通信和串行通信.....	141
二、串行数据通信基本原理.....	142
三、波特率.....	143
四、通信方向.....	143
五、串-并转换.....	144
六、设备同步.....	144
第二节 MCS-51 的串行接口及控制寄存器.....	145
一、8051 串行口结构.....	145
二、串行口控制寄存器 SCON.....	146
三、特殊功能寄存器 PCON.....	148
第三节 串行口工作方式.....	148
一、工作方式 0.....	148
二、方式 1.....	150
三、方式 2 和方式 3.....	151
四、波特率设计.....	151
第四节 串行口的应用.....	153
一、方式 0 的应用.....	153
二、串行方式 1 的应用.....	155
三、串行方式 2、方式 3 的应用.....	157
第五节 单片机通信.....	159
一、双机通信举例.....	159
二、多机通信举例.....	161
三、单片机与 PC 机之间的通信.....	162
习题七.....	167
第八章 MCS-51 系统扩展.....	168
第一节 单片机系统扩展及结构.....	168
一、单片机的扩展结构.....	168
二、单片机系统扩展的实现.....	169
第二节 程序存储器扩展.....	170
一、常用的程序存储器芯片.....	170
二、程序存储器扩展.....	173
第三节 数据存储器扩展.....	177
一、常用的静态数据存储器芯片.....	177
二、数据存储器扩展.....	178
第四节 扩展 8255 可编程并行 I/O 接口.....	182

一、可编程的并行接口 8255A	183
第五节 扩展 8155 可编程并行接口	193
一、8155 芯片结构	193
二、RAM 和 I/O 端口寻址方式及应用	194
三、命令寄存器及状态寄存器	196
四、8155 内部定时器	198
五、MCS-51 与 8155 的接口方法和应用实例	199
习题八	200
第九章 接口技术	202
第一节 显示接口	202
一、LED 显示原理	202
二、LED 显示方式	203
第二节 键盘接口	206
一、键盘接口需解决的问题	206
二、独立式按键	207
三、行列式按键	208
第三节 A/D 转换器接口	212
一、ADC 0809 的结构	213
二、ADC 0809 与 8031 的连接	213
三、A/D 转换器的应用	214
第四节 D/A 转换器接口	215
一、DAC 0832 转换器	215
二、DAC 0832 与 8031 的接口	216
三、D/A 转换器的应用	218
第五节 系统设计及开发方法	219
一、总体设计	219
二、硬件及软件设计	221
三、利用开发机进行调试	223
习题九	228
第十章 80C51 系列单片机	229
第一节 8XC552 介绍	229
一、8XC552 单片机主要特性 (以 83C552 为代表)	229
二、8XC552 内部结构	231
三、8XC552 引脚配置与封装形式	231
四、8XC552 引脚功能	232
第二节 8XC552 存储器组织形式及端口特性	235
一、8XC552 存储器	235

二、8XC552 的 I/O 端口特性	237
第三节 8XC552 中断系统	237
一、8XC552 中断系统结构	237
二、中断允许寄存器	239
三、中断优先寄存器	239
四、中断向量	239
第四节 8XC552 定时器 T2	241
一、定时器 T2 内部结构	241
二、定时器 T2 的控制寄存器 TM2CON	241
三、输入捕捉逻辑	243
四、输出比较逻辑	244
五、定时器 T2 中断标志寄存器 TM2IR	246
六、定时器 T2 的应用	247
第五节 监视定时器 T3	248
一、定时器 T3 内部结构及工作原理	248
二、监视定时器的使用细则	249
三、监视定时器应用方法	249
第六节 8XC552 串行 I/O 接口	250
一、SIO1 口的内部结构	250
二、SIO1 的工作方式	253
第七节 脉冲宽度调制输出	254
第八节 8XC552 A/D 转换器	257
一、A/D 转换的启动	258
二、A/D 转换的应用	259
第九节 8XC552 低功耗运作方式	259
第十节 AT89C51 简介	261
一、AT89C51 主要性能及特点	261
二、AT89C51 内部逻辑结构及引脚功能	262
三、片内快闪存储器 (Flash Memory)	263
四、片内 FPEROM 的编程	264
第十一节 AT89C2051 简介	268
一、AT89C2051 性能及特点	268
二、AT89C2051 内部结构及引脚	268
三、AT89C2051 殊功能寄存器	270
四、对 89C2051 指令系统的说明	270
五、对片内 FPEROM 快闪存储器编程	271
习题十	273
实验一 简单程序设计	275
实验二 分支、循环程序设计	277

实验三	多重循环程序设计	279
实验四	子程序的设计与调用	280
实验五	单片机输入/输出接口实验	282
实验六	中断实验	284
实验七	定时计数器实验	286
实验八	串行口通信	288
实验九	存储器扩展	292
实验十	用 8255 扩展并口	294
实验十一	8155 扩展并口	296
实验十二	A/D 转换实验	298
实验十三	D/A 转换	300
实验十四	电脑时钟系统	302
实验十五	交通信号灯实时控制系统	303
实验十六	单片机显示与键盘系统设计	306
附录 I	ASCII 码(美国信息交接标准码)表	308
附录 II	MCS-51 单片机中特殊功能寄存器地址表	309
附录 III	MCS-51 单片机 RAM 中 20H~2FH 单元的位地址表	310
附录 IV	MCS-51 系列单片机指令表	311
附录 V	常用集成电路引脚图	320
参考文献		323

第一章 单片微型计算机基础知识

第一节 概 述

一、单片机的发展概况

单片微型计算机 (Single Chip Microcomputer or One Chip Microcomputer) 简称单片机, 它是将微处理器 (CPU)、数据存储器 (RAM)、程序存储器 (ROM 或 EPROM)、定时/计数器及输入输出接口等多个功能部件集成在一块芯片上的一种微型计算机。单片机的主要任务是面向控制, 因此又称微控制器 (Microcontroller)。它只需要与很少的软件及外部设备相结合, 便可组或为一个单片机控制系统。单片机作为微型计算机的一个重要分支, 它的发展和应用越来越引起人们的重视。

单片机发展到今天, 经历了五个发展阶段:

第一阶段 (1974—1976): 单片机的初级阶段。由于生产工艺水平和集成度的限制, 单片机采用双片形式, 且功能比较需单。如 Fairchild 公司 1974 年接出的 8 位单片机 F8, 它只包含 8 位 CPU、64B 数据存储器 (RAM) 和 2 个并行输入/输出接口, 必须外加一片 3815 (包含 1KB ROM、1 个定时/计数器和 2 个并行 I/O 口) 才能构成一个完整的微型计算机。

第二阶段 (1976—1979): 为低性能单片机阶段。此时的单片机是真正的 8 位单片微型计算机, 体积小, 功能全。在单块芯片上已经集或有 CPU、并行口、定时器、RAM 和 ROM 等器件。以 1976 年 Intel 公司符合世界标准的 MCS-48 系列为先导, 将单片机推向市场, 促进了单片机的变革。

第三阶段 (1979—1982): 为高性能单片机阶段。此时的单片机品种多, 功能强, 一般片内 RAM、ROM 都相对增大, 寻址范围可达 64KB, 并有串行输入/输出接口, 还可进行多级中断处理。如 Intel 公司的 MCS-51 系列、Motorola 公司的 68XX 等, 使单片机发展跃上一个新的台阶。

第四阶段 (1982—1990): 16 位单片机和 8 位高性能单片机并行发展阶段。它们最大的特点是实时处理能力强, 生产工艺先进, 集成度高、内部功能强, 而且允许用户采用工业控制的专用语言编程, 如 PL/M、C 语言、BASIC 语言等。如 Intel 生产的 MCS-96 系列和 ATMEL 公司生产的 8XC552 系列, 特别适用于实时控制。

第五阶段 (1990 至今): 1990 年 2 月美国推出的 i80860 超级单片机轰动了整个计算机界, 它的运算速度为 1.2 亿次/秒, 可进行 32 位整数运算、64 位浮点运算, 同时片内具有一个三维图形处理器, 可构成越级图形工作站。随着半导体技术的发展, 巨型计算机单

片化将成为现实。

目前,单片机正朝着高性能和多品种方向发展,尤其是8位单片机由于它具有价格低廉、应用软件齐全、开发应用方便等特点使它已成为当前单片机中的主流,16位单片机和专用单片机也已进入普及应用阶段。

二、单片机的主要特点

1. 体积小,功能全,价格低,面向控制。
2. 电源单一,功耗低。
3. 运算速度快,抗干扰性强,可靠性高,环境适应能力强。
4. 开发应用方便,研制周期短。

三、单片机的应用

由于单片机具有体积小、低功耗、可靠性高、控制功能强等优点。广泛应用于国民经济的各个领域,对各行各业的技术改造和产品更新换代起到了重要的推动作用。单片机的应用大致可分为以下几个方面:

1. 机、电、仪一体化智能产品

单片机体积小,可以把它做到产品的内部,取代部分老式机械零件或电子元器件,缩小产品体积、增强功能,实现不同程度的智能化,这是其它任何类型计算机种无法比拟的。

(1) 日常生活中的单片机电器产品

电子秤:这是出现最单、最典型的一种单片机应用产品。内装8039接收信息,计价处理时能立即显示单价、售价,在菜场、商店里获得广泛应用。

电脑缝纫机:用单片机代替了传统机械凸轮花样控制,不仅简化了机械结构,减少加工工序和设备,而且使缝纫机性能尤大提高了,能提供许多老式缝纫机无法提供的缝纫花样。

便携式心率监护仪:采用8031单片机,能判断心动过缓、心动过速、停搏、漏搏等异常心率,给出报替。

高级玩具:单片机使玩具替能化,有很大的潜力,尤其是在国际市场需求量较大。

此外,对电冰箱的控制、彩色电视机的控制、洗衣机的自动控制、照相机的控制、盒式录像机的控制、家用防盗报警器等许多产品中都有单片机的用武之地。

(2) 单片机在计算机外部设备中的应用

WP2 做型打印机:内部采用8035单片做机控制,带有小型汉字库(含114个汉字)能打印汉字(11×11点阵),可与一般4位或8位微机配接,通信方式简单。

较盘驱动器:采用8048单片机,存放了64种速度值,片内RAM中有磁道寄存器、制动计数器,能控制磁带的寻道和定位。

温盘驱动器:以8748为主控部件,控制主轴电机的启动和停止,控制高精度的步进电机实现精确定位,使温盘驱动器小型化、智能化。

(3) 智能化的仪器仪表

这是国内目前单片应用机最多、最活跃的领域。在备类仪器仪表中(包括温度、湿度、流量、流速、电压、频率、功率、厚度、角度、长度、硬度、元素测定等)引入单片机,

使仪器仪表数字化、智能化、微型化,功能大大提高。

2. 单片机在工业测控中的应用

单片机 I/O 线多、位指令丰富、逻辑操作能力强,特别适用于实时控制,既可作单机控制,又可作多级控制的前沿处理机,应用领域相当广泛。国外有相当一部分汽车工业,如汽车点火控制、反锁制动、牵引、转向等控制都是采用单片机实现的。

3. 单片机在计算机网络与通信技术中的应用

比较高档的单片机都具有通信接口,为单片机在计算机网络与通信设备中的应用创造了很好的条件。例如: Intel 公司推出的高性能单片机 8044 由 8051 单片机与 SDLC 通信接口组合而成,在一块硅片上既保留了 8051 的功能,又具有网络接口、通信链路,同时还固化了分布式通信软件和各节点处理机的实时多任务执行软件。以 8044 为基础的 BITBUS (位总线) 是一种高性能、低价格的分布式控制系统,比目前流行的 Ethernet 网及 Ominnet 网更经济、更灵活、更可靠。它用一对双绞线,以半双工方式通信,速率最高可达 2.4Mb/s,传输距离最远为 1200m,网络的节点为 28 个;若通过复用器,则传送距离可达 13.2km,节点数可为 250 个。

四、单片机的发展趋势

近些年来,单片机的发展速度很快,从有关资料提供的数据来看,单片机的产量已占整个微机(包括一般的微处理器)产量的 80%以上,在 1987 年达 90%。曾经占据 8 位微处理器产量约 1/3 的 Z80 CPU,1985 年产量下降到 1800 万片,而 8 位单片机,1985 年上升到 2.1 亿片。单片机正处在上升的前沿时期,就其整体的发展趋势而言,应该说是大容量高性能化、小容量低价格化和外围电路内装化。

所谓大容量高性能是指 CPU 的功能强、内存容量大,多用于复杂控制场合。目前单片机片内 ROM 可达 4~8KB, RAM 可达 128~256B。CPU 的功能强,主要体现在其数据处理速度快、精度高和系统控制的可靠性好等方面。如 Intel 公司的 MCS-51 系列单片机增加了一个布尔处理器,位处理功能特别强,输入/输出的速度更快。

小容量低价格化是指数字逻辑集成电路组成的控制电路单片化。这类单片机产品,CPU 多为 4 位,ROM 容量只有 0.5~1KB,它借助于软件的灵活编程来实现单片机的多功能性,是目前单片机发展的又一方向。

此外,还在片内程序存储器的编程和程序擦除方面采用快闪存贮技术,极大地缩短片内程序存储器的编程和擦除时间。

外围电路内装化,旨在增加单片机的内部资源,以降低成本,提高系统的可靠性。如将多路 8~10 位 A/D 转换器、DMA 通道、D/A 输出电路及系统故障监视器等都封装在片内。

随着半导体集成工艺的进步,外围电路也格是大规模的,达样在应用时,可把所需要的外围电路全部装入单片机内,简化外围电路的设计。可以预言,未来的单片机将会使系统单片化。

较低的工作电压和接小的功耗也是单片机发展所追求的目标,目前单片机普遍采用功耗小的 CHMOS 工艺制造,并增加空闲和掉电两种方式,以致不少单片机可采用干电池供电,使单片机适应环境的能力不断加强。

综上所述, 随着社会的进步和科学技术的发展, 单片机的发展及对单片机的需求和它在各个领域中的应用将得到进一步扩大。

第二节 不同进制数之间的转换与二进制数运算规则

所有计算机都是以二进制数形式进行算术运算和逻辑操作的, 单片机也不例外, 用户通过输入设备输入的十进制数字和命令符号, 只有转换成二进制形式, 单片机才能识别、运算和处理, 然后再把运算结果转换成十进制数和符号在输出设备上显示出来。为了弄清单片机的这一工作过程, 我们先学习数制及数制之间的转换和二进制的算术、逻辑运算规则。

一、十进制数 (Decimal)

人们习惯用十进制计数, 不难归纳出十进制的转点:

1. 有 10 个元素符号: 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9;
2. 计数规则: “逢十进一”, 基数为 10;
3. 十进制数每位的权值是 10 的 n 次方幂。

例 1.1 $666.6 = 6 \times 10^2 + 6 \times 10^1 + 6 \times 10^0 + 6 \times 10^{-1}$

虽然四个元素全是 6, 但它们的含义是不同的, 最高位的 6 的权是 10^2 , 最低位的 6 的权是 10^{-1} 。

任意一个十进制数都可表示为:

$$(D)_{10} = D_{n-1} \times 10^{n-1} + D_{n-2} \times 10^{n-2} + \dots + D_0 \times 10^0 + D_{-1} \times 10^{-1} + D_{-2} \times 10^{-2} + \dots + D_{-m} \times 10^{-m}$$

$$= \sum_{i=-m}^{n-1} D_i \times 10^i$$

其中 n 为整数部分的位数, m 为小数部分的位数, D_i 的值取决于一个具体的数。

二、二进制数 (Binary)

二进制数是一种最简单的数, 也是计算机中最基本的数。其转点如下:

1. 有两个元素符号: 0, 1;
2. 计数规则: “逢二进一”, 基数为 2;
3. 二进制数每位的权值是 2 的 n 次方幂。

例 1.2 $(1011.101)_2 = 1 \times 2^3 + 0 \times 2^2 + 1 \times 2^1 + 1 \times 2^0 + 1 \times 2^{-1} + 0 \times 2^{-2} + 1 \times 2^{-3} = (11.625)_{10}$

例 1.3 $(11111110)_2 = 1 \times 2^7 + 1 \times 2^6 + 1 \times 2^5 + 1 \times 2^4 + 1 \times 2^3 + 1 \times 2^2 + 1 \times 2^1 + 0 \times 2^0 = (254)_{10}$

任意一个二进制数可以表示为:

$$(B)_2 = B_{n-1} \times 2^{n-1} + B_{n-2} \times 2^{n-2} + \dots + B_0 \times 2^0 + B_{-1} \times 2^{-1} + B_{-2} \times 2^{-2} + \dots + B_{-m} \times 2^{-m}$$

$$= \sum_{i=-m}^{n-1} B_i \times 2^i$$

其中 n 为整数部分的位数, m 为小数部分的位数, B_i 的值取决于一个具体的数。

三、十六进制数 (Hexadecimal)

十六进制数的特点如下:

1. 有 16 个元素符号: 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, A, B, C, D, E, F;
2. 计数规则: “逢十六进一”, 基数为 16;
3. 十六进制数每位的权值是 16 的 n 次方幂。

例 1.4 $(41)_{16} = 4 \times 16^1 + 1 \times 16^0 = (65)_{10}$

例 1.5 $(3E8.11)_{16} = 3 \times 16^2 + 14 \times 16^1 + 8 \times 16^0 + 1 \times 16^{-1} + 1 \times 16^{-2} = (1000.0664)_{10}$

任意一个十六进制数可以表示为:

$(H)_{16} = H_{n-1} \times 16^{n-1} + H_{n-2} \times 16^{n-2} + \dots + H_0 \times 16^0 + H_{-1} \times 16^{-1} + H_{-2} \times 16^{-2} + \dots + H_{-m} \times 16^{-m}$

$$= \sum_{i=-m}^{n-1} H_i \times 16^i$$

其中 n 为整数部分的位数, m 为小数部分的位数, H_i 的值取决于一个具体的数。

为了能分辨出不同进制的数, 标记数的类型的方法有两种: 一种是如上面所表示那样, 把数加上括号, 并在括号右下角标注数制代号。如: $(11.011)_2$ 、 $(11.625)_{10}$ 、 $(11.625)_{16}$; 另一种方法是用英文字母标记, 加在被标记数的后面, 分别用 B、D 和 H 表示二进制数、十进制数和十六进制数, 如: 111.11B、123.5D、5AC.6H, 其中十进制数中的 D 标记也可省略不写。

四、不同进制数之间的转换

在研究问题的过程中, 我们习惯用十进制数, 总是用十进制数来考虑和书写。但要数据变成计算机能够“看得懂”的形式时, 就得把问题中的所有十进制数转换成二进制代码, 这就需要将“十进制数转换成二进制数”。在计算机运算结束后, 得到的是二进制数的结果, 再将“二进制数转换为十进制数”, 才能把运算结果用十进制数显示出来。在阅读或书写一个稍大一点的二进制数时, 由于二进制数位数太多, 阅读或书写很不方便, 且容易出错, 为此, 人们常常把它转换成容易转换的十六进制数。

1. 十进制数转换成二进制数的方法

一个十进制数转换成二进制数时, 整数部分采用“除 2 取余”的方法得到。即: 将十进制数一次一次地除以 2, 把每次所得到的余数按由下至上顺序书写, 就是用二进制数表示的整数部分; 十进制数小数部分转换成二进制数时, 通常采用“乘 2 取整”的方法得到。即: 将小数部分十进制数一次一次地纯小数部分乘 2, 把每次所得到的整数按由上至下顺序书写, 就是用二进制数表示的小数。

例 1.6 将十进制数 25.6875 转换成二进制数。

(1) 十进制整数部分 25 转换成二进制数