



M icrocontroller Principle and Interface Technology

高等教育轨道交通“十二五”规划教材 • 机车车辆类

单片机原理与接口技术

主 编 郭保青
副主编 史红梅 许西宁



北京交通大学出版社
<http://press.bjtu.edu.cn>

TP368.1/800

2012

高等教育轨道交通“十二五”规划教材·机车车辆类

单片机原理与接口技术

郭保青 主 编

史红梅 许西宁 副主编

北方工业大学图书馆



C00322369

北京交通大学出版社

· 北京 ·

内 容 简 介

本书深入浅出地介绍了 MCS-51 系列单片机的组成及原理、软件指令和硬件接口技术,并在此基础上讨论了单片机系统扩展和系统设计的方法。

全书共分为 10 章,包括微型计算机基础、MCS-51 单片机的结构与原理、MCS-51 系列单片机指令系统、汇编语言程序设计、中断系统、定时/计数器、串行通信接口、并行 I/O 接口、MCS-51 单片机的系统扩展和单片机应用系统设计。每一章后都附有复习参考题,整书末尾配有两套模拟试题,可供读者测试学习效果。为了帮助初学者学习 MCS-51 单片机,本书除了介绍单片机基本原理以外,还列举了大量实例,书中的程序都经过作者在计算机上进行了验证。

本书既可作为测控技术与仪器,自动化,机械工程及自动化专业的本、专科生教材和参考书目,也可作为广大电子爱好者和科技人员的自学参考书。

版权所有,侵权必究。

图书在版编目(CIP)数据

单片机原理与接口技术 / 郭保青主编. — 北京: 北京交通大学出版社, 2012.5

(高等教育轨道交通“十二五”规划教材)

ISBN 978-7-5121-1011-3

I. ① 单… II. ① 郭… III. ① 单片微型计算机-基础理论 ② 单片微型计算机-接口技术 IV. ① TP368.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2012) 第 110310 号

责任编辑: 高振宇

出版发行: 北京交通大学出版社

电话: 010-51686414

<http://press.bjtu.edu.cn>

北京市海淀区高粱桥斜街 44 号

邮编: 100044

印刷者: 北京交大印刷厂

经 销: 全国新华书店

开 本: 185×260 印张: 14.25 字数: 356 千字

版 次: 2012 年 9 月第 1 版 2012 年 9 月第 1 次印刷

书 号: ISBN 978-7-5121-1011-3/TP·692

印 数: 1~3 000 册 定价: 33.00 元

本书如有质量问题, 请向北京交通大学出版社质监组反映。对您的意见和批评, 我们表示欢迎和感谢。

投诉电话: 010-51686043, 51686008; 传真: 010-62225406; E-mail: press@bjtu.edu.cn。

高等教育轨道交通“十二五”规划教材·机车车辆类

编 委 会

顾 问：施仲衡

主 任：司银涛

副 主 任：李建勇 陈 庚

委 员：（按姓氏笔画排序）

王文静 史红梅 刘 伟

刘志明 齐红元 宋永增

宋雷鸣 张励忠 张欣欣

周明连

编委会办公室

主 任：赵晓波

副 主 任：孙秀翠

成 员：（按姓氏笔画排序）

吴嫦娥 郝建英 徐 琤

出版说明

为促进高等轨道交通专业机车车辆类教材体系的建设,满足目前轨道交通类专业人才培养的需要,北京交通大学交通机械与电子控制学院、远程与继续教育学院和北京交通大学出版社组织以北京交通大学从事轨道交通研究教学的一线教师为主体、联合其他交通院校教师,并在有关单位领导和专家的大力支持下,编写了本套“高等教育轨道交通‘十二五’规划教材·机车车辆类”。

本套教材的编写突出实用性。本着“理论部分通俗易懂,实操部分图文并茂”的原则,侧重实际工作岗位操作技能的培养。为方便读者,本系列教材采用“立体化”教学资源建设方式,配套有教学课件、习题库、自学指导书,并将陆续配备教学光盘。本系列教材可供相关专业的全日制或在职学习的本专科学生使用,也可供从事相关工作的工程技术人员参考。

本系列教材得到从事轨道交通研究的众多专家、学者的帮助和具体指导,在此表示深深的敬意和感谢。

本系列教材从2012年1月起陆续推出,首批包括:《设计与制造公差控制》、《可靠性基础》、《液压与气动技术》、《测试技术》、《单片机原理与接口技术》、《计算机辅助机械设计》、《控制理论基础》、《机械振动基础》、《动车组网络控制》、《动车组运行控制》、《机车车辆设计与装备》、《列车传动与控制》、《机车车辆运用与维修》。

希望本套教材的出版对轨道交通的发展、轨道交通专业人才的培养,特别是轨道交通机车车辆专业课程的课堂教学有所贡献。

编委会

2012年9月

总 序

我国是一个内陆深广、人口众多的国家。随着改革开放的进一步深化和经济产业结构的调整,大规模的人口流动和货物流通使交通行业承载着越来越大的压力,同时也给交通运输带来了巨大的发展机遇。作为运输行业历史最悠久、规模最大的龙头企业,铁路已成为国民经济的大动脉。铁路运输有成本低、运能高、节省能源、安全性好等优势,是最快捷、最可靠的运输方式,是发展国民经济不可或缺的运输工具。改革开放以来,中国铁路积极适应社会的改革和发展,狠抓制度改革,着力技术创新,抓住了历史发展机遇,铁路改革和发展取得了跨越式的发展。

国家对铁路的发展始终予以高度重视,根据国家《中长期铁路网规划》(2005—2020年):到2020年,中国铁路网规模达到12万千米以上。其中,时速200千米及以上的客运专线将达到18万千米。加上既有线提速,中国铁路快速客运网将达到5万千米以上,运输能力满足国民经济和社会发展的需要,主要技术装备达到或接近国际先进水平。铁路是个远程重轨运输工具,但随着城市建设和经济的繁荣,城市人口大幅增加,近年来城市轨道交通也正处于高速发展时期。

城市的繁荣相应带来了交通拥挤、事故频发、大气污染等一系列问题。在一些大城市和一些经济发达的中等城市,仅仅靠路面车辆运输远远不能满足客运交通的需要。城市轨道交通节约空间、耗能低、污染小、便捷可靠,是解决城市交通的最好方式。未来我国城市将形成地铁、轻轨、市域铁路构成的城市轨道交通网络,轨道交通将在我国城市建设中起着举足轻重的作用。

但是,在我国轨道交通进入快速发展的同时,解决各种管理和技术人才匮乏的问题已迫在眉睫。随着高速铁路和城市轨道新线路的不断增加以及新技术的开发与引进,管理和技术人员的队伍需要不断壮大。企业不仅要对新员工进行培训,对原有的职工也要进行知识更新。企业急需培养出一支能符合企业要求、业务精通、综合素质高的队伍。

北京交通大学是一所以运输管理为特色的学校,拥有该学科一流的师资和科研队伍,为我国的铁路运输和高速铁路的建设作出了重大贡献。近年来,学校非常重视轨道交通的研究和发展,建有“轨道交通控制与安全”国家级重点实验室、“城市交通复杂系统理论与技术”教育部重点实验室,“基于通信的列车运行控制系统(CBTC)”取得了关键技术研究的突破,并用于亦庄城轨线。为解决轨道交通发展中人才需求问题,北京交通大学组织了学校有关关系的专家和教授编写了这套“高等教育轨道交通‘十二五’规划教材”,以供高等学校学生教学和企业技术与管理人员培训使用。

本套教材分为交通运输、机车车辆、电气牵引和土木工程四个系列,涵盖了交通规划、运营管理、信号与控制、机车与车辆制造、土木工程等领域,每本教材都是由该领域的专家

执笔，教材覆盖面广，内容丰富实用。在教材的组织过程中，我们进行了充分调研，精心策划和大量论证，并听取了教学一线的教师和学科专家们的意见，经过作者们的辛勤耕耘以及编辑人员的辛勤努力，这套丛书得以成功出版。在此，我们向他们表示衷心的感谢。

希望这套系列教材的出版能为我国轨道交通人才的培养贡献绵薄之力。由于轨道交通是一个快速发展的领域，知识和技术更新很快，教材中难免会有诸多的不足和欠缺，在此诚请各位同仁、专家予以不吝批评指正，同时也方便以后教材的修订工作。

编委会
2012年9月

前 言

单片机是 20 世纪 70 年代中期发展起来的一种面向控制的大规模集成电路模块, 由于其功能强、体积小、可靠性高和价格低廉等优点, 已广泛应用在工业控制、数据采集、智能仪表、机电一体化和家用电器等领域, 极大地提高了这些领域的技术水平和自动化程度。MCS-51 系列单片机是我国目前应用最广泛的 8 位单片机之一, 经过二十多年的推广与发展, 已形成一个规模庞大、功能齐全、资源丰富的产品群, 本书即以 MCS-51 系列单片机为典型机进行介绍。

单片机原理与接口是一门实践性很强的课程。本着原理和应用并重的原则, 本书在保证理论完整性的基础上, 更加强调实用性。讲述指令与编程的章节给出了大量的编程实例, 讲述单片机部件的章节给出了具体的应用实例。力图使读者学习后, 既能掌握单片机的原理, 又能掌握单片机应用系统的设计方法。

为了便于读者学习, 本书后面附有两套模拟试题和配套视频教学光盘, 光盘中有单片机开发工具软件, 读者安装并设为软件模拟仿真后即可进行程序的编写与验证, 从而很好地解决做单片机实验难的问题。

本书第 1、9 章由许西宁编写, 第 2、3、4、7、10 章由郭保青编写, 第 5、6、8 章由史红梅编写。课题组博士生王尧及其他研究生参与了资料查找、校对和编写复习参考题等工作, 在此一并表示感谢。

本书适合高等院校自动化, 测控技术与仪器, 电子信息工程, 计算机应用, 电气工程等相关专业的本、专科生和研究生作为单片机技术类课程的教材, 也可供从事单片机产品开发的工程技术人员与业余爱好者参考。

由于作者水平所限, 加之时间仓促, 书中错误和不妥之处在所难免, 恳请广大读者批评指正。

编者

2012 年 9 月

目 录

第1章 微型计算机基础.....1	2.4.1 复位方式.....40
1.1 计算机中数的基础知识.....1	2.4.2 程序执行方式.....41
1.1.1 计算机中的数制.....1	2.4.3 节电工作方式.....42
1.1.2 数制间的转换.....3	2.4.4 编程和校验方式.....43
1.1.3 二进制数的运算.....5	2.5 MCS-51 单片机时钟电路
1.1.4 计算机中数的表示方法.....8	与时序.....45
1.1.5 计算机中数和字符的编码.....11	2.5.1 振荡器和时钟电路.....45
1.2 单片微型计算机概述.....13	2.5.2 CPU 的时序及有关概念.....46
1.2.1 单片机的内部结构.....13	2.5.3 MCS-51 指令的取指/ 执行时序.....47
1.2.2 单片机的基本原理.....15	2.5.4 访问片外 ROM/RAM 的指令时序.....48
1.3 单片机的发展及特点.....18	复习参考题.....49
1.4 常用单片机系列介绍.....19	第3章 MCS-51 系列单片机
1.4.1 Intel 公司 MCS 系列 单片机.....20	指令系统.....50
1.4.2 与 MCS-51 系列兼容 的单片机.....22	3.1 指令系统基本知识.....50
复习参考题.....23	3.1.1 指令的3种表示形式.....50
第2章 MCS-51 单片机结构与原理.....25	3.1.2 指令格式及字节数.....51
2.1 MCS-51 单片机的主要 性能特点.....25	3.1.3 指令的分类.....53
2.2 MCS-51 单片机内部结构.....26	3.1.4 指令系统综述.....53
2.2.1 中央处理器 CPU.....27	3.2 寻址方式.....54
2.2.2 存储器.....31	3.2.1 寄存器寻址.....55
2.2.3 定时/计数器.....35	3.2.2 直接寻址.....55
2.2.4 I/O 端口.....36	3.2.3 立即寻址.....55
2.2.5 中断系统.....37	3.2.4 寄存器间接寻址.....56
2.3 MCS-51 单片机引脚功能.....37	3.2.5 变址寻址.....56
2.3.1 MCS-51 系列单片机引脚 及功能.....37	3.2.6 相对寻址.....57
2.3.2 三总线结构.....39	3.2.7 位寻址.....58
2.4 MCS-51 单片机工作方式.....40	3.3 数据传送类指令.....59
	3.3.1 内部 RAM 数据传送指令.....59
	3.3.2 访问外部 RAM 的数据

传送指令	61	4.5 查表程序设计	99
3.3.3 程序存储器向累加器 A		4.6 子程序设计	101
传送数据指令	62	复习参考题	105
3.3.4 数据交换指令	63	第 5 章 中断系统	107
3.3.5 堆栈操作指令	63	5.1 中断概述	107
3.4 算术运算类指令	64	5.1.1 中断的概念与功能	107
3.4.1 加法指令	64	5.1.2 中断源类型	109
3.4.2 带进位加法指令	65	5.1.3 中断的分类	109
3.4.3 带借位减法指令	65	5.1.4 中断嵌套	110
3.4.4 加 1 指令	66	5.2 MCS-51 的中断系统	110
3.4.5 减 1 指令	66	5.2.1 MCS-51 的中断源和	
3.4.6 乘、除法指令	67	中断标志	110
3.4.7 十进制调整指令	67	5.2.2 MCS-51 对中断请求	
3.5 逻辑运算及移位类指令	69	的控制	112
3.5.1 逻辑与运算指令	69	5.3 MCS-51 中断处理过程	114
3.5.2 逻辑或运算指令	69	5.3.1 MCS-51 对中断的响应	114
3.5.3 逻辑异或运算指令	70	5.3.2 中断处理	115
3.5.4 累加器清零、取反指令	70	5.3.3 中断返回	116
3.5.5 循环移位指令	70	5.3.4 中断请求的撤销	116
3.6 控制转移类指令	71	5.3.5 中断响应时间	117
3.6.1 无条件转移指令	71	5.4 MCS-51 中断系统的应用	117
3.6.2 条件转移指令	74	复习参考题	121
3.6.3 子程序调用及返回指令	76	第 6 章 定时/计数器	122
3.6.4 空操作指令	78	6.1 定时/计数器概述	122
3.7 位操作类指令	78	6.2 MCS-51 定时/计数器的结构	
3.7.1 位变量传送指令	79	及功能	122
3.7.2 位置位、清零指令	79	6.3 MCS-51 对定时/计数器	
3.7.3 位逻辑运算指令	79	的控制	124
3.7.4 位控制转移指令	80	6.4 MCS-51 定时/计数器的 4 种	
复习参考题	81	工作方式	125
第 4 章 汇编语言程序设计	84	6.5 定时/计数器应用举例	127
4.1 汇编语言程序设计概述	84	6.5.1 定时/计数器方式 0 的	
4.1.1 程序设计语言	84	应用	127
4.1.2 汇编语言格式	85	6.5.2 定时/计数器方式 1 的	
4.1.3 伪指令	86	应用	128
4.1.4 汇编语言程序设计与汇编	89	6.5.3 定时/计数器方式 2 的	
4.2 顺序程序设计	90	应用	129
4.3 分支程序设计	92	6.5.4 定时/计数器门控位 GATE	
4.4 循环程序设计	96	的应用	129

6.5.5 运行中读定时/计数器	130	第9章 MCS-51 单片机的	
6.5.6 定时/计数器中断方式		系统扩展	169
的应用	130	9.1 单片机系统扩展的必要性	169
复习参考题	131	9.2 程序存储器的扩展	170
第7章 串行通信接口	132	9.2.1 程序存储器芯片	170
7.1 串行通信基础知识	132	9.2.2 程序存储器的扩展	171
7.1.1 串行通信的两种基本方式	132	9.3 数据存储器的扩展	174
7.1.2 串行通信的制式	134	9.4 片选方法简介	176
7.1.3 串并转换和串行接口	134	9.4.1 线选法	176
7.2 MCS-51 单片机的串行接口	135	9.4.2 译码法	177
7.2.1 MCS-51 串行口的结构	135	复习参考题	179
7.2.2 串行口的工作方式	137	第10章 单片机应用系统设计	180
7.2.3 串行口波特率的设置	139	10.1 单片机系统设计的一般过程	180
7.3 串行口应用举例	140	10.1.1 总体设计	180
7.3.1 用串行口扩展 I/O 口	140	10.1.2 硬件设计	181
7.3.2 单片机双机通信技术	143	10.1.3 软件设计	181
7.3.3 单片机多机通信技术	149	10.2 单片机系统抗干扰设计	182
复习参考题	155	10.2.1 单片机系统的主要	
第8章 并行 I/O 接口	157	干扰源与防护	182
8.1 概述	157	10.2.2 硬件抗干扰设计	186
8.1.1 I/O 接口的作用	157	10.2.3 软件抗干扰设计	187
8.1.2 I/O 数据的4种传送方式	158	10.3 列车制动压力同步采集记录	
8.1.3 外部设备的编址方式	159	系统设计实例	188
8.2 MCS-51 内部并行 I/O 端口	161	10.3.1 应用背景	188
8.3 MCS-51 内部并行 I/O 端口		10.3.2 系统总体方案设计	189
的应用	164	10.3.3 货车压力采集装置详细	
8.3.1 MCS-51 内部 I/O 口的		设计	190
操作方式	164	复习参考题	203
8.3.2 I/O 口直接用于输入/输出	165	附录 A ASCII 码字符表	204
8.3.3 I/O 口对外部三态门和		附录 B MCS-51 系列单片机指令表	206
锁存器的接口	166	附录 C 模拟试题	211
8.3.4 8 位 I/O 端口改装为非		C1 模拟试题一	211
8 位端口	167	C2 模拟试题二	212
复习参考题	168	参考文献	214

第1章

微型计算机基础

【本章内容概要】

本章是全书的基础，首先介绍了计算机中数的基础知识，包括常用数制及转换、二进制数的算术及逻辑运算方法，计算机中数和字符的表示方法等；然后介绍了单片机的内部组成结构和基本原理；最后对单片机的发展历程、特点及常用单片机系列进行了阐述。

【本章学习重点与难点】

学习重点是：常用数制及相互转换；二进制数的算术及逻辑运算；单片机的组成结构及各部分功能；了解常用单片机系列及特点。

学习难点是：熟练掌握各种进制数之间的相互转换；单片机程序执行的基本原理。

计算机是一种能对信息进行加工处理的机器，它具有记忆、判断和运算能力，能模仿人类的思维活动，代替人的部分脑力劳动，并能对生产过程实施某种控制。世界上公认的第一台计算机于1946年诞生在宾夕法尼亚大学，它的诞生标志着人类文明进入了一个新的历史阶段。近70年来，计算机经历了电子管、晶体管、集成电路和超大规模集成电路4代后，正在向人工智能计算机（第5代）和神经网络计算机（第6代）发展，已经成为人们工作生活和生产控制不可或缺的工具。

本章主要介绍微型计算机的基础知识和组成原理，介绍单片微型计算机的发展、应用和常用的单片机系列，为读者学习后续章节打下基础。

1.1 计算机中数的基础知识

计算机是以二进制形式进行算术运算和逻辑操作的，二进制数是计算机系统能认识、处理的唯一数制。因此，对于用户在键盘上输入的十进制数字和符号命令，计算机必须先把它们都转换成二进制形式进行识别、运算和处理，然后再把运算结果还原成十进制数字和符号在显示器上显示出来。为了使读者弄清计算机的这一工作机理，本节将探讨计算机中常用的数制及相互转换、计算机中数的表示方法和编码形式。

1.1.1 计算机中的数制

所谓数制是指数的制式，是人们利用符号计数的一种科学方法。数制有很多种，微型计算机中常用的数制有十进制、二进制和十六进制3种。

1. 十进制 (Decimal)

十进制是大家非常熟悉的进位计数制，它共有0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8和9十个数字符号，这十个数字符号又称为数码。任何一个十进制数不仅与构成它的每个数码本身有关，

还和这些数码在数中的位置有关。例如，十进制数 78 中的数码 7，其本身的值为 7，但它实际代表的值为 70。在数学上，数制中数码的个数定义为基数，故十进制的基数为 10。

十进制是一种科学的计数方法，它所能表示的数的范围很大，可以从无限小到无限大。十进制数通常具有如下主要特点：

- (1) 它有 0~9 十个不同的数码，这是构成所有十进制数的基本符号；
- (2) 采用“逢十进一”的原则，当某位计满 10 时向邻近高位进一；
- (3) 每个位数的位值，或称为“权”，均是基数 10 的某次幂。

这就是说，任何一个十进制数都可以“按权展开”成幂级数形式。例如，

$$43.78 = 4 \times 10^1 + 3 \times 10^0 + 7 \times 10^{-1} + 8 \times 10^{-2}.$$

式中，指数 10^1 ， 10^0 ， 10^{-1} 和 10^{-2} 在数学上称为权，10 为它的基数。整数部分中每位的幂是该位位数减 1；小数部分中每位的幂是该位小数的位数。一般地说，任意一个十进制数均可表示为

$$A_{n-1} \times 10^{n-1} + A_{n-2} \times 10^{n-2} + \cdots + A_1 \times 10 + A_0 + B_1 \times 10^{-1} + B_2 \times 10^{-2} + \cdots + B_m \times 10^{-m}.$$

2. 二进制 (Binary)

计算机内部一切信息的存放、处理和传送都采用二进制数的形式，二进制数的特点如下：

- (1) 只有两个数码，即 0 和 1；
- (2) 基数为 2，采用“逢二进一”原则；
- (3) 各位上的权均为 2 的某次幂。

为了不致引起误解，二进制数要加后缀字母 B。与十进制数类似，二进制数也可以展开成幂级数形式，例如，

$$11011.01B = 1 \times 2^4 + 1 \times 2^3 + 0 \times 2^2 + 1 \times 2^1 + 1 \times 2^0 + 0 \times 2^{-1} + 1 \times 2^{-2}, \text{ 即 } 27.25.$$

任何二进制数的通式可表示为

$$A_{n-1} \times 2^{n-1} + A_{n-2} \times 2^{n-2} + \cdots + A_1 \times 2 + A_0 + B_1 \times 2^{-1} + B_2 \times 2^{-2} + \cdots + B_m \times 2^{-m}.$$

1 位二进制数只能表示 0 和 1 两个状态。为了表示更多的状态，可用两位或两位以上的二进制数表示。二进制数的位数与它能表示的状态数之间的关系如下：

- 1 位二进制数，共有 2^1 （即 2）个状态，分别编码为 0，1；
- 2 位二进制数，共有 2^2 （即 4）个状态，分别编码为 00，01，10，11；
- 4 位二进制数，共有 2^4 （即 16）个状态，分别编码为

0000	0001	0010	0011
0100	0101	0110	0111
1000	1001	1010	1011
1100	1101	1110	1111

3. 十六进制 (Hexadecimal)

由于二进制数由一长串的 0、1 组成，位数太长，不便书写和记忆；另一方面，二进制数和十六进制数之间的换算非常方便、直观。为此，书写时常采用十六进制数表示二进制数。但必须注意引入十六进制数的目的仅仅是为了便于书写和记忆，被计算机认识、处理的数据依然是二进制数，或者说二进制数是计算机系统中唯一存在的数制。

十六进制数的特点是：

- (1) 具有 16 个数码，用 0，1，…，9 和 A，B，C，D，E，F 表示；
- (2) 采用“逢十六进一”的原则；

(3) 各位上的权均为 16 的某次幂。

由此可见,十六进制数位短,便于书写和记忆。为了不致引起误解,十六进制数要加后缀字母 H,如十六进制数“3E”记为“3EH”;为区别于一般字符串,以字母开头的十六进制数必须带有前缀 0(零),如十六进制数“EF”记为“0EFH”。

与十进制数类似,对于 n 位的十六进制数,可以表示为

$$A_{n-1} \times 16^{n-1} + A_{n-2} \times 16^{n-2} + \cdots + A_1 \times 16 + A_0 + B_1 \times 16^{-1} + B_2 \times 16^{-2} + \cdots + B_m \times 16^{-m}。$$

1.1.2 数制间的转换

由于计算机仅能处理二进制数,而人们习惯于使用十进制数,这就要求计算机能自动对不同数制的数进行转换,3种数制之间的转换方法如图 1-1 所示。

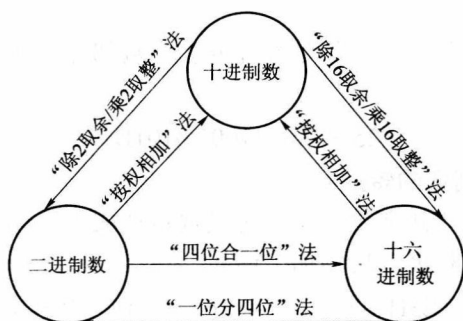


图 1-1 3 种数制间数的转换方法

1. 二进制数和十进制数的转换

(1) 将二进制数转换成十进制数时,只要把欲转换数按权展开后相加即可。例如,

$$1\ 101.101 = 1 \times 2^3 + 1 \times 2^2 + 0 \times 2^1 + 1 \times 2^0 + 1 \times 2^{-1} + 0 \times 2^{-2} + 1 \times 2^{-3} = 13.625。$$

(2) 将十进制数转换为二进制数时,要分别将十进制整数转换为二进制整数,十进制小数转换为二进制小数,然后将二进制整数和小数用小数点连接起来就得到转换后的二进制数结果。

① 十进制整数转换为二进制整数。

最常用的转换方法是采用“除 2 取余法,直到商为 0 为止”。第一次除得的余数为等效二进制的最低位,最后一次除得的余数为最高位。

【例 1.1】 将十进制数 25 转化为二进制数。

解 把数 25 连续除以 2,直到商数小于 2,相应竖式为

$$\begin{array}{rcl} 2 & \overline{) 25} & \cdots \cdots \cdots \text{余} 1 \text{ (LSB)} \\ 2 & \overline{) 12} & \cdots \cdots \cdots \text{余} 0 \\ 2 & \overline{) 6} & \cdots \cdots \cdots \text{余} 0 \\ 2 & \overline{) 3} & \cdots \cdots \cdots \text{余} 1 \\ 2 & \overline{) 1} & \cdots \cdots \cdots \text{余} 1 \text{ (MSB)} \\ & 0 & \end{array}$$

把所得余数按箭头方向从高到低排列起来便可得到 25 的二进制表示:

$$25 = 11001\text{B}。$$

上述方法如将基数 2 改为 N ,则适用于将十进制转换为 N 进制数。

② 十进制小数转换为二进制小数。

转换方法采用“乘 2 取整法”，即依次用 2 去乘要转换的十进制小数，记录每次所得溢出数（即整数部分，0 或 1）。若乘积的小数部分最后不为 0，则只要换算到所需精度为止。将起始溢出数写在二进制小数点后的第一位（即小数部分的最高位），依次写到最低位。小数部分从最高位到最低位的顺序与产生溢出的顺序相同。

【例 1.2】 将十进制数 0.3125 转换为相应的二进制数。

解	$0.3125 \times 2 = 0.625$	溢出 0 ← MSB	↓
	$0.6250 \times 2 = 1.250$	1	
	$0.2500 \times 2 = 0.500$	0	
	$0.5000 \times 2 = 1.000$	1 ← LSB	
即 $0.3125 = 0.0101\text{B}$ 。			

对十进制混合小数的转换，只要将整数部分和小数部分的转换结果合并即可。根据上面的转换结果，可知

$$25.3125 = 11001.0101\text{B}。$$

2. 十六进制数和十进制数的转换

(1) 十六进制数转换成十进制数。十六进制数转换成十进制数的方法和二进制数转换成十进制数的方法相同，即按权展开后相加，例如，

$$1\text{E}3\text{H} = 1 \times 16^2 + 14 \times 16^1 + 3 \times 16^0 = 483。$$

(2) 十进制数转换成十六进制数。

十进制数转换成十六进制数与十进制数转换成二进制数类似，也要分别对整数和小数部分进行变换。整数部分变换采用“除 16 取余法”，即用 16 连续去除要转换的十进制数，直到商小于 16 为止，然后再把各次余数按得到顺序的逆方向排列起来即可。小数部分变换采用“乘 16 取整法”，即把欲变换的小数连续乘以 16，直到所得乘积的小数部分为 0 或达到所需精度为止，再把各次整数按得到的顺序排列起来即可。

【例 1.3】 求 3245 所对应的十六进制整数。

解 把 3245 连续除以 16，直到商小于 16，相应竖式为

16	3245		余 13	写作 D (LSB)
16	202		余 10	写作 A
	12		商 12	写作 C (MSB)

所以， $3245 = 0\text{CADH}$ 。

【例 1.4】 求 0.76171875 所对应的十六进制小数。

解 把该数连续乘以 16，直到所得乘积的小数部分为 0，相应竖式为

	0.76171875	
×	16	
	12.18750000	 取整数 12，写作 C
	0.18750000	
×	16	
	3.00000000	 取整数 3，写作 3

所以, $0.76171875=0.C3H$ 。

因此, $3245.76171875=0CAD.C3H$ 。

3. 二进制数和十六进制数的转换

二进制和十六进制数间的转换十分方便, 这也是人们采用十六进制形式对二进制数进行表示的内在原因。

(1) 二进制数转换成十六进制数。二进制数转换成十六进制数可采用“四位合一法”, 即从二进制数的小数点开始, 或左或右每 4 位一组, 不足 4 位的以 0 补足, 然后分别把每组用十六进制数码表示, 并按序相连。

【例 1.5】 把二进制数 $1101101011000010.10010101$ 转换为十六进制数, 则有

1101	1010	1100	0010	.1001	0101
D	A	C	2	9	5

所以, $1101101011000010.10010101B=0DAC2.95H$ 。

(2) 十六进制数转换成二进制数。这种转换方法是把十六进制数的每位分别用 4 位二进制码表示, 然后把它们连成一体。

【例 1.6】 把十六进制数 $4AF.C3$ 转换成二进制数, 则有

4	A	F	.C	3
0100	1010	1111	1100	0011

所以, $4AF.C3H=010010101111.11000011B$ 。

1.1.3 二进制数的运算

在计算机中, 经常遇到的运算分为两类: 一类是算术运算; 另一类是逻辑运算。算术运算包括加、减、乘、除运算, 逻辑运算有逻辑乘、逻辑加、逻辑非和逻辑异或运算, 下面分别介绍。

1. 算术运算

(1) 加法运算。二进制加法法则为

$$0+0=0$$

$$1+0=0+1=1$$

$$1+1=0 \quad (\text{向邻近高位有进位})$$

$$1+1+1=1 \quad (\text{向邻近高位有进位})$$

两个二进制数的加法过程和十进制加法过程类似, 现举例说明。

【例 1.7】 设有两个 8 位二进制 $X=11010101B$, $Y=01001101B$, 试求 $X+Y$ 的值。

解 $X+Y$ 可写成如下竖式:

$$\begin{array}{r}
 \text{被加数 } X \quad 11010101B \\
 \text{加数 } Y \quad 01001101B \\
 \hline
 \text{和 } X+Y \quad 100100010B
 \end{array}$$

两个二进制数相加时要注意低位的进位, 且两个 8 位二进制数的和最大不会超过 9 位。

(2) 减法运算。二进制减法法则为

$$0-0=0$$

$$1-1=0$$

$$1-0=1$$

$0-1=1$ (向邻近高位借 1 当做 2)

两个二进制数的减法运算过程和十进制减法类似, 现举例说明。

【例 1.8】 设有两个 8 位二进制 $X=10010101\text{B}$, $Y=11001101\text{B}$, 试求 $X-Y$ 的值。

解 由于 $Y>X$, 故有 $X-Y=-(Y-X)$, 相应竖式如下:

$$\begin{array}{r} \text{被减数 } Y \quad 11001101\text{B} \\ \text{减数 } X \quad 10010101\text{B} \\ \hline \text{差 } Y-X \quad 00111000\text{B} \end{array}$$

所以, $X-Y=-00111000\text{B}$ 。

两个二进制数相减时先要判断它们的大小, 把大数作为被减数, 小数作为减数, 差的符号由两数的大小决定。此外, 减法过程中还要注意低位向高位借 1 应当作 2。

(3) 乘法运算。二进制乘法法则为

$$0 \times 0 = 0$$

$$1 \times 0 = 0 \times 1 = 0$$

$$1 \times 1 = 1$$

两个二进制数的乘法过程和十进制乘法过程类似, 可以用乘数的每一位分别去乘被乘数, 所得结果的最低位与相应乘数位对齐, 最后把所得结果加起来便得到积, 这些中间结果又称为部分积。

【例 1.9】 设有两个 4 位二进制 $X=1110\text{B}$, $Y=1101\text{B}$, 试求 $X \times Y$ 的值。

解 二进制乘法运算竖式如下:

$$\begin{array}{r} \text{被乘数 } X \quad 1110\text{B} \\ \text{乘数 } Y \quad 1101\text{B} \\ \hline 1110 \\ 0000 \\ 1110 \\ 1110 \\ \hline \text{乘积} \quad 10110110\text{B} \end{array}$$

所以, $X \times Y = 10110110\text{B}$ 。

上述算法可总结为: 先对乘数最低位判断, 若是 1 就把被乘数写在和乘数位对齐的位置上 (若乘数该位为 0, 写全 0); 然后逐次从低位向高位对乘数其他位进行判断, 每判断一位就把被乘数或“0”左移一位后写下来, 直到判断完乘数的最高位, 最后进行相加。这种乘法算法复杂, 用电子线路实现较困难, 故计算机中通常不采用。

在计算机中, “部分积左移”和“部分积右移”是普遍采用的两种乘法算法。前者从乘数最低位向高位逐次进行, 后者从乘数最高位向低位进行, 其本质相同。“部分积右移”是: 先使部分积为“0”并右移一位, 若乘数最低位为“1”, 则右移后的部分积与被乘数相加 (若乘数最低为 0, 则该部分积与 0 相加); 然后使得到的部分积右移 1 位, 用同样的方法对乘数次低位进行处理, 直至处理到乘数的最高位为止。这就是说: 部分积右移法采用了边乘边加的方法, 每次加被乘数或“0”时总要先使部分积右移 (相当于人工算法中的被乘数左移), 而被乘数的位置可保持不变。

上述算法虽然难以被人们理解, 但它却十分利于计算机采用硬件或软件方法实现。通常,