

职业教育机电类技能人才培养规划教材  
ZHIYE JIAOYU JIDIANLEI JINENG RENCAI PEIYANG GUIHUA JIAOCAI

 机电一体化专业系列

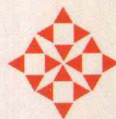
# 单片机技术与应用

□ 许志刚 编著

- ▶ 理论与实践紧密结合
- ▶ 突出应用能力的培养
- ▶ 案例典型真实，知识体系完整



 人民邮电出版社  
POSTS & TELECOM PRESS



高级

职业教育机电类技能人才培养规划教材  
ZHIYE JIAOYU JIDIANLEI JINENG RENCAI PEIYANG GUIHUA JIAOCAI

● 机电一体化专业系列

# 单片机技术与应用

□ 许志刚 编著



人民邮电出版社  
北京

## 图书在版编目 (CIP) 数据

单片机技术与应用 / 许志刚编著. —北京: 人民邮电出版社, 2009.6

职业教育机电类技能人才培养规划教材. 机电一体化专业系列

ISBN 978-7-115-19761-0

I. 单… II. 许… III. 单片微型计算机—职业教育—教材 IV. TP368.1

中国版本图书馆CIP数据核字 (2009) 第038584号

## 内 容 提 要

本书以 8051 单片机为阐述对象, 在内容安排上, 既将计算机原理基础课程内容融入, 又加入了新知识、新技术, 并将单片机仿真软件 PROTEUS 结合到单片机的教学中。

本书共 6 章, 主要内容包括: 计算机基础、单片机的结构与工作方式、单片机的指令系统、汇编语言程序设计、单片机内部功能、单片机应用实例等。

本书可作为技工学校、技师学院以及各职业院校单片机课程的教材, 也可作为相关从业人员自学与提高的参考用书。

职业教育机电类技能人才培养规划教材

机电一体化专业系列

单片机技术与应用

- 
- ◆ 编 著 许志刚  
责任编辑 张孟玮  
执行编辑 曾 斌
  - ◆ 人民邮电出版社出版发行 北京市崇文区夕照寺街 14 号  
邮编 100061 电子函件 315@ptpress.com.cn  
网址 <http://www.ptpress.com.cn>  
北京鑫正大印刷有限公司印刷
  - ◆ 开本: 787×1092 1/16  
印张: 20  
字数: 514 千字 2009 年 6 月第 1 版  
印数: 1—3 000 册 2009 年 6 月北京第 1 次印刷

---

ISBN 978-7-115-19761-0/TN

定价: 30.00 元

读者服务热线: (010)67170985 印装质量热线: (010)67129223

反盗版热线: (010)67171154

# 职业教育机电类技能人才培养规划教材

## 专家指导委员会

陈德兴 陈玉堂 李春明 李献坤 邵佳明 俞勋良

## 编写委员会

### 主任委员

黄志 刘钧杰 毛祥永 秦伟 孙义宝

### 委员

蔡 菘	曹 琪	陈海舟	陈长浩	陈建国	陈移新	成百辆	成振洋	崔元刚	邓万国
丁向阳	董国成	董伟平	董扬德	范继宁	封贵牙	冯高头	冯光明	高恒星	高永伟
葛小平	宫宪惠	顾颂虞	管林东	胡 林	黄汉军	贾利敏	姜爱国	金伟群	孔凡宝
李乃夫	李 煜	梁志彪	刘水平	柳 杨	陆 龙	吕 燕	罗 军	骆富昌	穆士华
钱 锋	秦红文	单连生	沈式曙	施梅仙	孙海锋	孙义宝	汤国泰	汤伟文	唐监怀
汪 华	王德斌	王立刚	王树东	王以勤	吴琰琨	解晨宁	许志刚	杨寿智	叶光胜
于书兴	于万成	袁 岗	张 鹭	张璐青	张明续	张启友	张祥宏	张 燊	赵 真
仲小敏	周成统	周恩兵	周晓宏	祝国磊					

## 审稿委员会

鲍 勇	蔡文泉	曹淑联	曹 勇	陈海波	陈洁训	陈林生	陈伟明	陈煜明	程显吉
崔 刚	但汉玲	邓德红	丁 辉	窦晓宇	冯广慧	付化举	龚林荣	何世勇	洪 杰
黄 波	黄建明	蒋咏民	康建青	李春光	李天亮	李铁光	梁海利	梁红卫	梁锦青
廖 建	廖圣洁	林志冲	刘建军	刘 立	刘 霞	柳胜雄	卢艾祥	吕爱华	罗谷清
罗 恺	罗茗华	罗晓霞	孟庆东	聂辉文	彭向阳	乔 宾	孙名楷	谭剑超	腾克勇
万小林	王大山	王 峰	王来运	王灵珠	王 茜	王为建	王为民	王学清	王屹立
王 勇	王玉明	王定勇	伍金浩	肖友才	谢 科	徐丽春	许建华	许启高	鄢光辉
严大华	严 军	杨小林	姚小强	姚雅君	叶桂容	袁成华	翟 勇	詹贵印	张 彬
张东勇	张旭征	张志明	钟建明	周朝辉	周凤顺	周青山	邹 江		





随着我国制造业的快速发展，高素质技术工人的数量与层次结构远远不能满足劳动力市场的需求，技术工人的培养培训工作已经成为国家大力发展职业教育的重要任务。为此，中共中央办公厅、国务院办公厅印发了《关于进一步加强高技能人才工作的意见》（中办发[2006]15号）的通知。目前，各类职业院校主动适应经济社会发展要求，主动开展教学研讨，探索更加适合当前技能人才需求的教育培养模式，对中高级技能人才的培养和培训工作起到了积极推动的作用。

职业教育要根据行业的发展和人才的需求，来设定人才的培养目标。当前各行业对技能人才的要求越来越高，而激烈的社会竞争和复杂多变的就业环境也使得职业教育学生只有确实地掌握一技之长才能实现就业。但是，加强技能培养并不意味着弱化或放弃基础知识的学习；只有扎实地掌握相关理论基础知识，才能自如地运用各种技能，甚至进行技术创新。所以，如何解决理论与实践相结合的问题，走出一条理实一体化的教学新路，是摆在职业教育工作者面前的一个重要课题。

我们本着为职业教育教学改革尽一份社会责任之目的，依据职业教育专家的研究成果，依靠技工学校教师和企业一线工作人员，共同参与“职业教育机电类技能人才教学方案研究与开发”课题研究工作。在对职业教育机电类专业教学进行规划的基础上，我们的课题研究以职业活动为导向、以职业能力为核心，根据理论知识够用、强化技能训练的原则，将理论和实践有机结合，开发出机电类技能人才培养专业教学方案，并制定出每门课程的教学大纲，然后组织教学一线骨干教师进行教材的编写。

本套教材针对不同课程的教学要求采用“理实相结合”或“理实一体化”两种形式组织教学内容，首批55本教材涵盖2个层次（中级工、高级工），3个专业（数控技术应用、模具设计与制造、机电一体化）。教材内容统筹规划，合理安排知识点与技能训练点，教学内涵生动活泼，尽可能使教材体系和编写结构满足职业教育机电类技能人才培养教学要求。

我们衷心希望本套教材的出版能够对目前职业院校的教学工作有所帮助，并希望得到职业教育专家和广大师生的批评与指正，以期通过逐步调整、完善和补充，使之更符合机电类技能人才培养的实际。

“职业教育机电类技能人才教学方案研究与开发”课题专家指导委员会

2009年2月



# 前言

## PREFACE

机、电、计算机技术组成了现代工业的基础。而单片微型计算机（本书简称为单片机）技术作为兼跨电和计算机两方面的一种综合性应用技术，已经成为现代控制技术和机电产品制造的主要应用手段。单片机技术已渗透到各个领域，其中的 8051 系列微处理器基于简化的嵌入式控制系统结构，在国防科技、自动控制乃至日常生活各方面都得到了广泛的应用。因此，本书以 8051 系列微处理器为阐述对象，介绍单片机的结构组成、工作原理及其应用。

随着职业教育的不断发展，职业教育的教学内容已向高端延伸。根据《2008 年国家职业资格全国统一鉴定工作指导手册》精神及原劳动和社会保障部公布的几十个机电类工种具体鉴定内容，单片机技术对于职业教育来说，作为一门新知识、新技术课程，已成为各地区、各行业、各工种机电类高技能人才所必须掌握的、可鉴定的职业技能之一。

本书立足于单片机的教学，兼顾了计算机原理的介绍，从而使学生能从计算机零起点学习本书，实现掌握计算机原理的目标。因此本书可作为非计算机类专业学生学习计算机原理的参考书。

本书根据作者教学的实际经验和产品开发经验，对单片机内容的介绍进行了创新，改变了注重理论教学或将理论教学与实际产品设计相分隔的呆板教学法，也改变了过于注重实际产品制作的介绍，忽略教学规律和理论知识讲解的教学方法，将理论知识的学习和实际技能操作进行全过程整合，边学边做，边做边学，学有所得，学有所乐，使枯燥的内容趣味化，实现技能同理论知识水平的同步提高。

全书贯穿了两条主线，一是介绍单片机的原理，二是用 PROTEUS 软件实现单片机的电路设计、调试、仿真、PCB 板制作等。这两条主线在叙述时即分又合，使用本教材时，可以以其中一条主线为教学目标，也可以合二为一，在学完单片机技术同时，也掌握了 PROTEUS 软件的应用。

本书共分 6 章，主要介绍计算机基础知识，计算机的结构、组成和工作原理，单片机的硬件结构组成和工作方式，PROTEUS 软件和在此软件中设计电路的基本方法，单片机的指令系统和汇编语言程序设计，在 PROTEUS 软件中各种电路设计、仿真的实现，单片机内部功能，单片机的具体应用。

本书中的程序都通过实际验证，但由于设备情况不同，在运行时可能仍需进行部分修改，敬请注意。

由于编者水平有限，书中难免存在不妥之处，敬请读者批评指正。

本书使用的 PROTEUS 软件为 7.1 版本，软件提供者：风标科技广州技术支持中心，网址：<http://www.windway.cn>。

编者

2009 年 1 月



# 目录

# CONTENTS

## 第1章 计算机基础.....1

### 1.1 计算机中的数制.....2

#### 1.1.1 计算机中的常用数制.....2

#### 1.1.2 二进制数的运算.....4

#### 1.1.3 数制相互间的转换.....7

### 1.2 计算机中的码制和编码.....11

#### 1.2.1 二进制数值数据的编码方法.....11

#### 1.2.2 定点数和浮点数.....15

#### 1.2.3 计算机中常用的信息编码.....17

### 1.3 计算机基础知识.....20

#### 1.3.1 计算机的基本结构.....20

#### 1.3.2 计算机的基本工作原理及系统组成.....26

### 1.4 单片机及其应用.....29

#### 1.4.1 单片机及其特点.....29

#### 1.4.2 单片机的应用及发展.....32

### 本章小结.....33

### 思考与练习.....35

## 第2章 单片机的结构与工作方式.....37

### 2.1 8051单片机的组成结构.....38

#### 2.1.1 8051单片机的基本组成.....38

#### 2.1.2 8051单片机的内部结构.....38

### 2.2 8051单片机的引脚.....45

#### 2.2.1 振荡器、时钟电路和CPU时序.....46

#### 2.2.2 专用控制脚.....48

#### 2.2.3 并行I/O端口.....48

### 2.3 8051单片机的工作方式.....52

#### 2.3.1 8051单片机的复位工作方式.....52

#### 2.3.2 8051单片机的程序执行方式.....53

#### 2.3.3 8051单片机的单步执行方式.....53

#### 2.3.4 8051单片机的掉电工作方式和待机工作方式.....54

#### 2.3.5 8051单片机的编程和校验方式.....54

### 2.4 技能训练.....55

#### 2.4.1 小型单片机系统设计.....55

#### 2.4.2 观察单片机系统的工作时序.....62

### 本章小结.....80

### 思考与练习.....81

## 第3章 8051单片机的指令系统.....83

### 3.1 指令及寻址方式.....84

#### 3.1.1 指令及指令格式.....84

#### 3.1.2 寻址方式.....87

#### 3.1.3 伪指令.....90

### 3.2 数据传送类指令.....93

#### 3.2.1 内部存储器间的传送指令.....94

#### 3.2.2 涉及外部存储器间的传送指令.....96

#### 3.2.3 堆栈及交换类指令.....99

### 3.3 算术运算类指令.....106

#### 3.3.1 加法指令.....107

#### 3.3.2 减法指令.....109

#### 3.3.3 乘除法指令和其他指令.....111

### 3.4 逻辑运算类指令.....117

#### 3.4.1 逻辑与运算指令.....117

#### 3.4.2 逻辑或运算指令.....119

#### 3.4.3 逻辑异或运算指令.....121

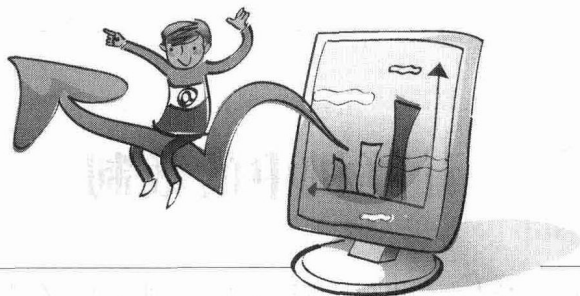
#### 3.4.4 累加器专用指令.....122

### 3.5 控制转移类指令.....127

#### 3.5.1 无条件转移指令.....127

3.5.2 条件转移指令·····	128	<b>第 5 章 单片机的内部功能</b> ·····	207
3.5.3 调用子程序指令·····	133	5.1 中断系统·····	208
3.5.4 空操作指令·····	135	5.1.1 中断的有关概念·····	208
<b>3.6 位处理指令</b> ·····	140	5.1.2 中断的处理过程·····	212
3.6.1 位传送类指令·····	140	5.2 定时器/计数器·····	216
3.6.2 位变量修改指令·····	140	5.2.1 定时器/计数器的工作原理·····	216
3.6.3 位变量逻辑运算指令·····	142	5.2.2 定时器/计数器的应用·····	220
3.6.4 位变量条件转移指令·····	143	5.3 串行接口·····	224
<b>3.7 技能训练</b> ·····	147	5.3.1 串行接口结构及其工作原理·····	225
3.7.1 在 PROTEUS 中输出线路图·····	147	5.3.2 串行通信的工作方式·····	227
3.7.2 菜单选择电路的分步制作		5.4 技能训练·····	232
——功能程序编写·····	151	5.4.1 在 PROTEUS 中设计 PCB 板	
本章小结·····	156	——PCB 板的制成·····	232
思考与练习·····	157	5.4.2 定时发送数码显示电路·····	238
<b>第 4 章 汇编语言程序设计</b> ·····	160	本章小结·····	244
4.1 程序与汇编语言·····	161	思考与练习·····	246
4.1.1 程序设计与汇编语言·····	161	<b>第 6 章 单片机的应用</b> ·····	248
4.1.2 汇编语言程序设计步骤·····	162	6.1 十字路口交通灯及程序设计·····	249
4.1.3 程序流程图与结构化程序		6.2 A/D 转换电路及程序设计·····	257
设计·····	164	6.3 D/A 转换电路及程序设计·····	264
4.2 常用汇编语言程序设计·····	167	6.4 直流电机调速电路及程序设计·····	271
4.2.1 顺序结构程序设计·····	167	6.5 步进电机控制电路及程序设计·····	280
4.2.2 分支结构程序设计·····	168	6.6 电子音乐制作·····	288
4.2.3 循环结构程序设计·····	172	本章小结·····	299
4.2.4 子程序设计·····	175	思考与练习·····	300
4.2.5 查表程序设计·····	178	<b>附录 A ASCII 字符表</b> ·····	303
4.3 技能训练·····	181	<b>附录 B 8051 单片机指令表</b> ·····	305
4.3.1 在 PROTEUS 中设计 PCB 板		<b>附录 C PROTEUS 与 KEIL 联合</b>	
——制作元件封装·····	181	仿真的实现·····	312
4.3.2 菜单选择电路分步制作			
——系统整合·····	189		
本章小结·····	204		
思考与练习·····	205		





## 计算机基础

日常生活中，人们已经习惯了用十进制数制来计数，即逢十进一。但数制有很多种，使用的数制不同，计数方式也就不同，计数的方法可以是逢十进一，也可以是逢二进一、逢三进一、逢八进一等。下面来研究在微型计算机中的计数方式、运算规则，以及各种数制间的相互转换。

计算机唯一能够识别的就是二进制数字，那么计算机是由哪些部分组成？它的工作原理是怎样的？它有哪些指标？计算机和微型计算机系统是什么关系？

什么是单片机？单片机有哪些特点？通过第1章的学习，来回答这些问题。

### 知识目标

- ◎ 掌握计算机中常用数制的特点和表示方法
- ◎ 掌握二进制数的运算方法
- ◎ 掌握各常用数制间的相互转换
- ◎ 掌握机器数和真值的概念，以及原码、反码、补码的概念
- ◎ 理解定点数和浮点数的概念
- ◎ 了解计算机中的常用编码
- ◎ 掌握微型计算机的基本结构、主要指标和工作原理
- ◎ 了解微型计算机系统的主要组成
- ◎ 掌握单片机的概念和结构组成
- ◎ 了解单片机的特点、应用和发展方向

### 技能目标

- ◎ 掌握各种数制的计算方法和相互转换方法
- ◎ 掌握 BCD 码和 ASCII 码的表示方法
- ◎ 掌握原码、反码和补码的计算方法
- ◎ 掌握存储器容量的表示方法和容量单位的换算方法
- ◎ 掌握存储单元地址与地址线的关系

## 1.1

## 计算机中的数制

数制，是数的制式，是人们利用符号进行计数的一种方法。在计算机中，常用的数制有十进制、二进制、十六进制及八进制。下面讨论计算机常用数制的特点、表示形式、运算和相互间的转换。

### 1.1.1 计算机中的常用数制

十进制数在日常生活中经常使用，但它有哪些特点、如何表示、为什么能被计算机接受？而计算机中的二进制数是如何表示的？除了十进制和二进制还有哪些数制？通过下面的学习，来回答这些问题。

#### 基础知识

##### 一、十进制 (Decimal)

十进制是人类在长期的社会实践中形成的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。十进制通常具有以下两个主要特点。

1. 构成十进制的基本符号是 0、1、2、3、4、5、6、7、8、9 十个不同的数码。
2. 它的基数是 10，即逢十进位：一个数值中的某一位计满 10 时，就要向与它相邻的高位进 1。

因此，一个十进制数的大小，不仅与它本身的数码大小有关，而且还与它在数中所处的位置有关。在数学中，是采用幂级数形式来表示一个十进制数的。例如：

$$123.56 = 1 \times 10^2 + 2 \times 10^1 + 3 \times 10^0 + 5 \times 10^{-1} + 6 \times 10^{-2}$$

式中的 10 称为数的基数，即数制的基。在以上数值 123.56 中，每一位数都有相同的基 10，则称该数制为固定的基数制，这是在计算机中普遍采用的方案。当然在特定的场合下也允许不同的位有不同的基，称为混合基数制，如时、分、秒计时制，时的基为 24，分和秒的基为 60。

##### 二、二进制 (Binary)

二进制数是计算机唯一能够直接识别的数制形式，不管计算机运行的程序多么复杂，其最终执行的操作都是二进制数。

二进制数具有以下特点。

1. 构成二进制的基本符号是 0 和 1 两个数码。
2. 它的基数是 2，即逢二进位。

从二进制的 0 和 1 两个数码，可以看出它比十进制要简单得多。这仅有的两个数码，使二进制成了计算机进行运算、判断、记忆的基本符号和依据。

二进制同样也可以展开成幂级数的形式，例如

$$1101.101 = 1 \times 2^3 + 1 \times 2^2 + 0 \times 2^1 + 1 \times 2^0 + 1 \times 2^{-1} + 0 \times 2^{-2} + 1 \times 2^{-3}$$

##### 三、十六进制 (Hexadecimal)

十六进制数特点如下。

1. 它有 0、1、2、3、4、5、6、7、8、9、A、B、C、D、E、F 十六个数码。
2. 十六进制的基数为 16，即逢十六进一。

十六进制也可以展开成幂级数形式，例如：

$$70F.B2 = 7 \times 16^2 + 0 \times 16^1 + F \times 16^0 + B \times 16^{-1} + 1 \times 16^{-2}$$

#### 四、八进制 (Octal)

八进制数具有以下特点。

1. 它有 0、1、2、3、4、5、6、7 八个数码。
2. 八进制的基数是 8，即逢八进一。

八进制数按幂级数展开的形式同以上几个数制的展开形式类似，例如：

$$207.56 = 2 \times 8^2 + 0 \times 8^1 + 7 \times 8^0 + 5 \times 8^{-1} + 6 \times 8^{-2}$$

#### 五、各数制数据的书写方式

以上各数制数据在书写时，如不加以区分就会产生混淆，如 234，单从字面上无法确定它究竟是十进制数还是八进制数或十六进制数。下面介绍不同进制的数的区分方法。

有两种方法来区分不同数制表示的数，一是在数的右下角标上该数的基数，例如： $165_{10}$ 、 $110_2$ ，或者用中括号或小括号把数括起来： $(165)_{10}$ 、 $[110]_2$ ；二是在数的右边标上该数的数制的英文单词的首个字母，例如：**ABH**、**10D**、**11B**，其中，十进制数后的 **D** 可以省略不写。

为了便于理解和对照记忆使用，现将常用数字分别用不同的数制表示在表 1.1 中。

表 1.1 常用数字用不同数制表示

整 数				小 数			
十进制	二进制	八进制	十六进制	十进制	二进制	八进制	十六进制
0	0	0	0	0	0	0	0
1	1	1	1	0.5	0.1	0.4	0.8
2	10	2	2	0.25	0.01	0.2	0.4
3	11	3	3	0.125	0.001	0.1	0.2
4	100	4	4	0.0625	0.0001	0.04	0.1
5	101	5	5	0.03125	0.00001	0.02	0.08
6	110	6	6	0.015625	0.000001	0.01	0.04
7	111	7	7				
8	1000	10	8				
9	1001	11	9				
10	1010	12	A				
11	1011	13	B				
12	1100	14	C				
13	1101	15	D				
14	1110	16	E				
15	1111	17	F				



想一想

三进制数有什么特点？写出其幂级数展开式。

### 作业测评

- 把下列数字按幂展开。  
(1) 245D      (2) 3561H      (3) 9BACH      (4) 1011110B
- 写出 0~15 十六个数字的十进制数、二进制数和十六进制数。
- 数字 10、0.1 在二进制、十进制、十六进制中各表示多少数值？

### 1.1.2 二进制的运算

计算机能够识别的数制是二进制数，因为二进制数只有 0 和 1 两个数码，人们可以采用晶体管的导通和截止、脉冲的高电平和低电平来表示这两个数码，而且二进制数的运算极其简单，便于用电子线路来实现。因此，二进制数成了微型计算机内部的数的表示形式，要熟悉其各种运算规则。

#### 基础知识

二进制数的运算分为算术运算和逻辑运算两种，在计算机中，这两种运算同时存在，缺一不可。

#### 一、二进制数的算术运算

同十进制数一样，二进制数的算术运算也分成加、减、乘、除 4 种，具体运算规则如下。

##### 1. 二进制加法法则。

$$\begin{aligned} 0 + 0 &= 0 \\ 1 + 0 &= 0 + 1 = 1 \\ 1 + 1 &= 0 \quad (\text{向邻近高位进 } 1) \end{aligned}$$

**【例 1.1】** 求两个八位二进制数  $X = 10110110B$  和  $Y = 11100011B$  的和。

**解：**  $X + Y$  可写成如下竖式：

$$\begin{array}{r} 10110110 \\ + 11100011 \\ \hline 110011001 \end{array}$$

即  $X + Y = 10110110B = 11100011B = 110011001B$

##### 2. 二进制减法法则。

$$\begin{aligned} 0 - 0 &= 0 \\ 1 - 1 &= 0 \\ 1 - 0 &= 1 \\ 0 - 1 &= 1 \quad (\text{向邻近高位借 } 1) \end{aligned}$$

**【例 1.2】** 求两个八位二进制数  $X = 10110110\text{B}$  和  $Y = 11100011\text{B}$  的差。

**解:** 因  $Y > X$ , 故  $X - Y = -(Y - X)$ , 相应竖式如下:

$$\begin{array}{r} 1\ 1\ 1\ 0\ 0\ 0\ 1\ 1 \\ - 1\ 0\ 1\ 1\ 0\ 1\ 1\ 0 \\ \hline 0\ 0\ 1\ 0\ 1\ 1\ 0\ 1 \end{array}$$

所以,  $X - Y = -(Y - X) = -(11100011 - 10110110) = -101101\text{B}$

在计算机中, 两个二进制数相减时, 先要判断两者的大小, 把大数作为被减数, 小数作为减数, 差的符号由两数的关系决定。此外, 在减法过程中还要注意, 低位向高位借 1 应看做 2, 就如十进制中借位看做 10 一样。

3. 二进制乘法法则。

$$\begin{aligned} 0 \times 0 &= 0 \\ 1 \times 0 &= 0 \times 1 = 0 \\ 1 \times 1 &= 1 \end{aligned}$$

**【例 1.3】** 设有两个 4 位二进制数  $X = 1101\text{B}$ ,  $Y = 1011\text{B}$ , 试用竖式计算两者的积。

**解:** 二进制乘法运算竖式为:

$$\begin{array}{r} \phantom{\times} \phantom{1\ 1\ 0\ 1} 1\ 1\ 0\ 1 \\ \times \phantom{1\ 1\ 0\ 1} 1\ 0\ 1\ 1 \\ \hline \phantom{\times} \phantom{1\ 1\ 0\ 1} 1\ 1\ 0\ 1 \\ \phantom{\times} \phantom{1\ 1\ 0\ 1} \phantom{1\ 1\ 0\ 1} 1\ 1\ 0\ 1 \\ \phantom{\times} \phantom{1\ 1\ 0\ 1} \phantom{1\ 1\ 0\ 1} \phantom{1\ 1\ 0\ 1} 0\ 0\ 0\ 0 \\ \phantom{\times} \phantom{1\ 1\ 0\ 1} \phantom{1\ 1\ 0\ 1} \phantom{1\ 1\ 0\ 1} \phantom{1\ 1\ 0\ 1} 1\ 1\ 0\ 1 \\ \hline 1\ 0\ 0\ 0\ 1\ 1\ 1\ 1 \end{array}$$

所以,  $X \times Y = 1101 \times 1011 = 10001111\text{B}$

4. 二进制除法运算。

除法是乘法的逆运算。与十进制类似, 二进制除法也是从被除数最高位开始, 查找出够减除数的位数, 并在其最高位处上商 1, 并完成它对除数的减法运算, 然后把被除数的下一位移到余数的位置上。若余数不够减除数, 则上商 0, 并把被除数的再下一位移到余数位置上; 若余数够减除数, 则上商 1 并进行余数减除数运算。如此不断反复进行, 直到全部被除数的各位都下移到余数位置上为止。

**【例 1.4】** 设  $X = 10101011\text{B}$ ,  $Y = 110\text{B}$ , 试求  $X \div Y$  之值。

**解:**  $X \div Y$  的竖式如下:

$$\begin{array}{r} \phantom{1\ 1\ 0} \phantom{)1\ 0\ 1\ 0\ 1\ 0\ 1\ 1} 1\ 1\ 1\ 0\ 0 \\ 1\ 1\ 0 \phantom{)1\ 0\ 1\ 0\ 1\ 0\ 1\ 1} \overline{)1\ 0\ 1\ 0\ 1\ 0\ 1\ 1} \\ \phantom{1\ 1\ 0} \phantom{)1\ 0\ 1\ 0\ 1\ 0\ 1\ 1} 1\ 1\ 0 \\ \hline \phantom{1\ 1\ 0} \phantom{)1\ 0\ 1\ 0\ 1\ 0\ 1\ 1} 1\ 0\ 0\ 1 \\ \phantom{1\ 1\ 0} \phantom{)1\ 0\ 1\ 0\ 1\ 0\ 1\ 1} \phantom{1\ 1\ 0} 1\ 1\ 0 \\ \hline \phantom{1\ 1\ 0} \phantom{)1\ 0\ 1\ 0\ 1\ 0\ 1\ 1} \phantom{1\ 1\ 0} 1\ 1\ 0 \\ \phantom{1\ 1\ 0} \phantom{)1\ 0\ 1\ 0\ 1\ 0\ 1\ 1} \phantom{1\ 1\ 0} \phantom{1\ 1\ 0} 1\ 1\ 0 \\ \hline \phantom{1\ 1\ 0} \phantom{)1\ 0\ 1\ 0\ 1\ 0\ 1\ 1} \phantom{1\ 1\ 0} \phantom{1\ 1\ 0} \phantom{1\ 1\ 0} 1\ 1 \end{array}$$



所以,  $X \div Y = 10101011 \div 110 = 11100B \cdots \cdots$  余 11B

## 二、二进制数的逻辑运算

计算机中处理数据时常常要用到逻辑运算, 逻辑运算由专门的逻辑电路完成。二进制数的逻辑运算如下。

### 1. 逻辑乘运算。

逻辑乘又称逻辑与, 常用符号“ $\wedge$ ”表示。逻辑乘运算法则为

$$\begin{aligned} 0 \wedge 0 &= 0 \\ 1 \wedge 0 &= 0 \wedge 1 = 0 \\ 1 \wedge 1 &= 1 \end{aligned}$$

**【例 1.5】** 已知  $X = 01100110B$ ,  $Y = 11110000B$ , 试求  $X \wedge Y$  的值。

**解:** 多位二进制数相与, 可如下竖式所示, 从最低位开始, 两数各位依次相与。

$$\begin{array}{r} 0\ 1\ 1\ 0\ 0\ 1\ 1\ 0 \\ \wedge\ 1\ 1\ 1\ 1\ 0\ 0\ 0\ 0 \\ \hline 0\ 1\ 1\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0 \end{array}$$

所以,  $X \wedge Y = 01100000B$

从上式可知,  $X$  的高 4 位与上的  $Y$  全是 1, 而低 4 位与上的  $Y$  全是 0, 即一个数与上一个 0, 其结果为 0; 与上一个 1, 其结果不变, 还是原来的值。在实际使用中, 这一结果经常被用到。

### 2. 逻辑加运算。

逻辑加又称逻辑或, 常用符号“ $\vee$ ”表示。逻辑加的运算法则为:

$$\begin{aligned} 0 \vee 0 &= 0 \\ 1 \vee 0 &= 0 \vee 1 = 1 \\ 1 \vee 1 &= 1 \end{aligned}$$

**【例 1.6】** 已知  $X = 01100110B$ ,  $Y = 11110000B$ , 试求  $X \vee Y$  的值。

**解:** 多位二进制数相或, 可如下竖式所示, 从最低位开始, 两数各位依次相或。

$$\begin{array}{r} 0\ 1\ 1\ 0\ 0\ 1\ 1\ 0 \\ \vee\ 1\ 1\ 1\ 1\ 0\ 0\ 0\ 0 \\ \hline 1\ 1\ 1\ 1\ 0\ 1\ 1\ 0 \end{array}$$

所以,  $X \vee Y = 11110110B$

从以上例题可知, 一个数或上 1, 结果为 1; 一个数或上 0, 结果不变, 还是原来这个数。

### 3. 逻辑非运算。

逻辑非运算又称逻辑取反, 常采用在所求数上加“ $\bar{\quad}$ ”来表示。运算规则为:

$$\begin{aligned} \bar{0} &= 1 \\ \bar{1} &= 0 \end{aligned}$$

**【例 1.7】** 已知  $X = 11000111B$ , 试求  $\bar{X}$  的值。

**解:** 将  $X$  每一位取反, 即得  $\bar{X} = 00111000B$

### 4. 逻辑异或。

逻辑异或又称为半加, 是不考虑进位的加法, 常采用符号“ $\oplus$ ”表示, 其运算规则为:

$$0 \oplus 0 = 1 \oplus 1 = 0$$

$$1 \oplus 0 = 0 \oplus 1 = 1$$

**【例 1.8】** 已知  $X = 10110110B$ ,  $Y = 11110000B$ , 试求  $X \oplus Y$  的值。

解:

$$\begin{array}{r} 1\ 0\ 1\ 1\ 0\ 1\ 1\ 0 \\ \oplus\ 1\ 1\ 1\ 1\ 0\ 0\ 0\ 0 \\ \hline 0\ 1\ 0\ 0\ 0\ 1\ 1\ 0 \end{array}$$

所以,  $X \oplus Y = 01000110B$

从以上竖式可知, 当一个数异或上 1 时, 结果是该数变反; 而异或上 0 时, 其结果还是原来的数不变。此结果常常被用来对某一位或某几位求反。

### 作业测评

1. 计算下列算式。

(1)  $1111B + 1B$

(2)  $11111111B + 1B$

(3)  $10000 - 1B$

(4)  $100000000B - 1B$

(5)  $110B \times 1111B$

(6)  $100000000B \div 1000B$

2. 进行下列逻辑运算。

(1)  $1100 \wedge 1111$

(2)  $10101010 \wedge 00110011$

(3)  $111 \vee 101$

(4)  $111100 \vee 101011$

(5)  $10101010 \oplus 11110000$

(6)  $\overline{110101}$

### 1.1.3 数制相互间的转换

微型计算机中的数据的数据的处理是用二进制数来进行操作的, 但人们习惯于使用十进制数, 这就引出了数制的转换问题, 下面主要介绍在数学上是怎样实现不同数制间的转换的。

#### 基础知识

常用数制间的转换有二进制数同十进制数间的相互转换、二进制数同十六进制数间的相互转换、十进制数同十六进制数间的相互转换等。

#### 一、二进制数和十进制数间的相互转换

1. 二进制数转换成十进制数的方法。

要把一个二进制数转换成十进制数, 只要把二进制数按照幂级数的形式展开相加就可以。

**【例 1.9】** 把二进制数  $1101.11B$  转换成十进制数。

解: 按幂级数展开二进制数  $1101.11B$

$$\begin{aligned}
 1101.11B &= 1 \times 2^3 + 1 \times 2^2 + 0 \times 2^1 + 1 \times 2^0 + 1 \times 2^{-1} + 1 \times 2^{-2} \\
 &= 8 + 4 + 1 + 0.5 + 0.25 \\
 &= 13.75
 \end{aligned}$$

2. 十进制数转换成二进制数的方法。

十进制整数同十进制小数转换成二进制数的方法不同。

(1) 十进制整数转换成二进制整数。

十进制整数转换成二进制整数的方法有很多种，最常用的是“除 2 反序取余法”。

除 2 反序取余法是用 2 连续去除要转换的十进制数，直到商小于 2 为止，最后，各次所除的余数按照最后一个为最高位，其余依次降位的原则，所排列而成的数便是所求的二进制数。例如：

**【例 1.10】** 试求出十进制数 254 的二进制数。

**解：**把 254 连续除以 2，直到商数小于 2 为止。相应算式如下：

2	2 5 4	.....	余0	最低位
2	1 2 7	.....	余1	
2	6 3	.....	余1	
2	3 1	.....	余1	
2	1 5	.....	余1	
2	7	.....	余1	
2	3	.....	余1	
	1	.....	余1	最高位

把所得余数按箭头方向从高到低排列起来便得到

$$254D = 11111110B$$

(2) 十进制小数转换成二进制小数。

十进制小数转换成二进制小数通常采用“乘 2 顺序取整法”。乘 2 顺序取整法是用 2 连续去乘要转换的十进制小数，直到积的小数部分为 0 或满足所需精度为止，然后把各次相乘所得的整数依次排列起来，便是所求二进制小数。排列方法：最先得到的为最高位、最后得到的是最低位。举例如下。

**【例 1.11】** 试把十进制小数 0.6789 转换成二进制小数，要求精度为  $2^{-4}$ 。

**解：**相应计算竖式如下：

0.	6	7	8	9		
×				2		
	1.	3	5	7	8	..... 取得整数1 最高位
	0.	3	5	7	8	
×				2		
	0.	7	1	5	6	..... 取得整数0
	0.	4	3	1	2	
×				2		
	1.	4	3	1	2	..... 取得整数1
	0.	4	3	1	2	
×				2		
	0.	8	6	2	4	..... 取得整数0 最低位

把所得整数按箭头方向从高位到低位排列后得到：

$$0.6789D \approx 0.1010B$$

## 二、十六进制数和十进制数间的相互转换

### 1. 十六进制数转换成十进制数。

同二进制数转换成十进制数一样，把十六进制数按照幂级数的形式展开相加就可以转换成十进制数，例如

**【例 1.12】** 把十六进制数 7EFH 转换成十进制数。

**解：**把 7EFH 展开：

$$7EFH = 7 \times 16^2 + 14 \times 16^1 + 15 \times 16^0 = 1792 + 224 + 15 = 2031D$$

### 2. 十进制数转换成十六进制数。

#### (1) 十进制整数转换成十六进制整数。

十进制整数转换成十六进制整数可以采用“除 16 反序取余法”，其法则是：用 16 连续去除要转换的十进制数，直到商小于 16 为止，然后把各次余数按逆得到次序排列起来所得的数，便是所求的十六进制数。

**【例 1.13】** 求 2901 所对应的十六进制数。

**解：**把 2901 连续除以 16，直到商为 11。竖式如下：

16	2901	.....	余 5	写作 5	最低位
	181	.....	余 5	写作 5	↑
	11	.....	余 11	写作 B	最高位

所以，2901D = B55H。

#### (2) 十进制小数转换成十六进制小数。

十进制小数转换成十六进制小数常采用“乘 16 顺序取整法”，其法则是：把欲转换的十进制小数连续乘以 16，直到所得乘积的小数部分为 0 或达到所需精度要求为止，然后把各次整数按得到的先后次序排列起来，便得到所求的十六进制数。

**【例 1.14】** 求 0.76 171 875 的十六进制数。

**解：**把 0.76 171 875 连续乘以 16，直到乘积的小数部分为 0，相应的竖式如下：

0. 7 6 1 7 1 8 7 5	
×	1 6
1 2. 1 8 7 5 0 0 0 0	..... 取整数 12 写作 C
0. 1 8 7 5 0 0 0 0	↓
×	1 6
3. 0 0 0 0 0 0 0 0	..... 取整数 3 写作 3

所以，0.76 171 875D = 0.C3H。

## 三、二进制数和十六进制数的转换

二进制数和十六进制数间的相互转换非常方便，因此在计算机中常常用十六进制数来表示二进制数。

### 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采用“四位合一法”，即从二进制数的小数点开始，向左向右每