



普通高等教育“十一五”国家级规划教材

21世纪高等院校计算机教材

数字逻辑

朱勇 主编 高晓清 曾西洋 副主编

全面阐述数字电路与逻辑设计基本理论
介绍了当今先进的逻辑设计方法与技术



条理清晰 深入浅出



中国铁道出版社
CHINA RAILWAY PUBLISHING HOUSE

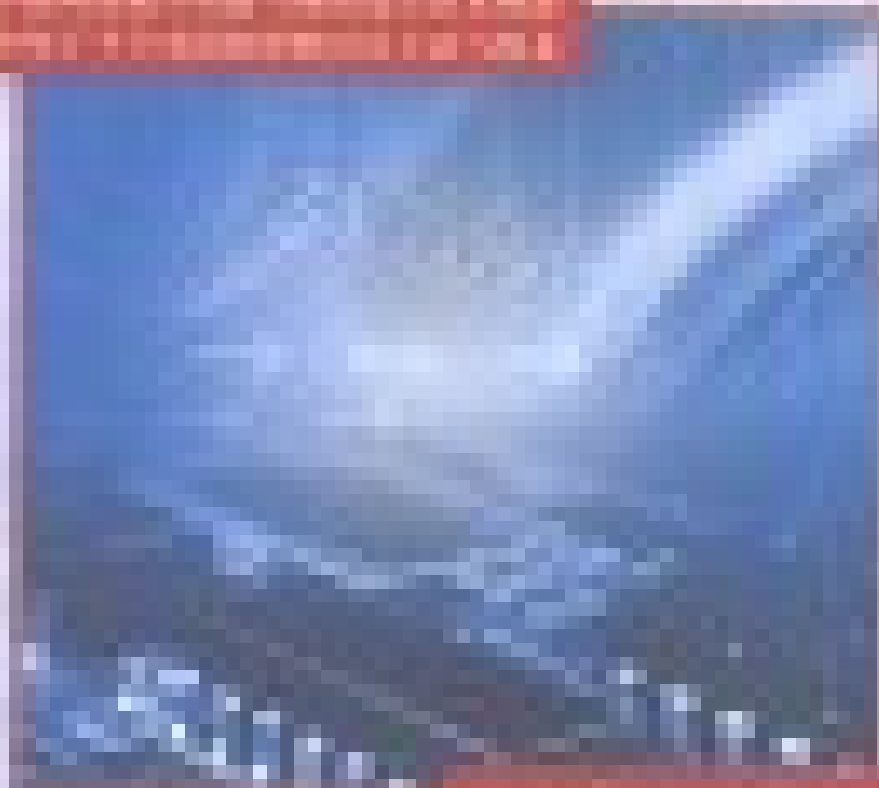


清华大学出版社
Tsinghua University Press
地址: 北京清华大学学研大厦A座
邮编: 100084
电话: (010) 62770175
http://www.tup.tsinghua.edu.cn

数字逻辑

第2版 阎石 主编 蔡天石 副主编 蔡国燕 编

本书可作为高等院校计算机专业及相关专业
专业基础课程教材,也可供从事计算机工作的工程技术人员参考



中国出版集团 人民邮电出版社



数字逻辑
第2版



普通高等教育“十一五”国家级规划教材
21 世纪高等院校计算机教材 容 内

数 字 逻 辑

朱 勇 主 编

高晓清 曾西洋 副主编

中国铁道出版社
CHINA RAILWAY PUBLISHING HOUSE

内 容 简 介

本教材根据普通高等学校计算机专业教学大纲精神,以及数字电路与逻辑设计课程的特点编写而成,全面系统地阐述了数字电路与逻辑设计的基本理论、基本概念、基本方法以及现代逻辑设计技术。全书共分9章:数制与编码、逻辑代数基础、组合逻辑、同步时序逻辑、异步时序逻辑、脉冲产生电路、数/模与模/数转换电路、编程逻辑及EDA设计。

本教材的编者是长期从事高校数字逻辑课程教学的骨干教师,并有丰富的数字系统设计经验与相关项目工程背景。教材中不仅对经典逻辑理论作了详细地论述,同时也考虑到当今数字电路与逻辑设计的发展趋势,介绍了当今先进的逻辑设计方法与技术,如PLD(可编程逻辑器件)、HDL(硬件描述语言)、SoC(片上系统)、EDA(电子设计自动化)技术等。理论紧密联系实际。

本教材适合作为高等学校计算机及其相关专业本科教材,也可作为相关专业高职高专教材和工程科研人员的参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

数字逻辑/朱勇主编. —北京:中国铁道出版社,

2007.8

21世纪高等院校计算机教材

ISBN 978-7-113-07915-4

I. 数… II. 朱… III. 数字逻辑—高等学校—教材

IV. TP302.2

中国版本图书馆CIP数据核字(2007)第129019号

书 名: 数字逻辑

作 者: 朱 勇 高晓清 曾西洋

出版发行: 中国铁道出版社(100054,北京市宣武区右安门西街8号)

策划编辑: 严晓舟 秦绪好

责任编辑: 翟玉峰 王春霞

特邀编辑: 韩玉彬

封面设计: 付 巍

封面制作: 白 雪

印 刷: 中国铁道出版社印刷厂

开 本: 787×1092 1/16 印张: 21.75 字数: 510千

版 本: 2007年12月第1版 2007年12月第1次印刷

印 数: 1~5 000册

书 号: ISBN 978-7-113-07915-4/TP·2338

定 价: 29.00元

版权所有 侵权必究

本书封面贴有中国铁道出版社激光防伪标签,无标签者不得销售

凡购买铁道版的图书,如有缺页、倒页、脱页者,请与本社计算机图书批销部调换。

前言

FOREWORD >>>

随着 IC (集成电路) 工艺和计算机硬件技术的飞速发展以及两者的相互渗透, 数字逻辑设计方法发生了很大的变化: 元件规模从简单逻辑功能的分离器件到实现复合逻辑以及通用功能的中大规模 IC, 器件类型从通用逻辑器件到 ASIC (专用集成电路) 以及 PLD 半用户定制电路, 设计模式也从传统的以基本具体的逻辑单元搭建数字电路的方式到采用硬件语言抽象描述数字系统的 EDA 设计环境。因此《数字逻辑》教程必须顺应当前主流技术的发展, 达到与时俱进。

数字逻辑教程的主旨在于训练学生的逻辑思维能力, 掌握运用形式化方法描述客观世界的能力, 为学习计算机硬件课程打下扎实基础。本书着眼于培养读者分析问题和解决问题的能力。对每一个逻辑问题的讲述做到条理清晰、深入浅出, 尽量避免就事论事, 从而达到举一反三的效果。每章均列举了相当数量的例题, 以加深基本概念的理解, 掌握基本方法的运用。

本教材除了全面详尽地论述经典数字逻辑外, 还增添了非常具有实用价值的三个特色部分:

(1) 可编程逻辑。可编程逻辑器件及其设计方法是对逻辑设计的一个重要补充, 而且发展相当迅猛。纵观最新出版的数字逻辑教材, 这部分的分量越来越重。笔者非常认同当前现状, 结合多年的可编程逻辑研究与设计经验, 详细阐述了可编程原理、可编程器件和可编程设计方法。避免了某些教科书只蜻蜓点水地介绍一些抽象的可编程原理, 或罗列几个可编程器件的表面文章做法。

(2) EDA 设计。在校学生学完课程后往往动不了手, 极大地影响了学习兴趣, 这也是为什么同学们学习软件的兴趣高于硬件的原因之一。本书以国内最为流行的 Protel 设计环境为例, 讲述电路的整个设计流程, 使得在学完数字逻辑基础知识后, 就可以设计、制作数字电路 PCB 了。

(3) 综合实例。最能体现实用性的内容就是本书最后给出的两个设计实例。它们贯穿了整个数字逻辑设计的完整过程, 不仅仅是理论上的, 而且包括实践过程。可以说, 如果读者完全掌握这个过程, 他就已经能够担任产品研发工程师了。同时, 这两个实例也可以作为数字逻辑课程的设计题目。

全书共分 9 章: 数制与编码、逻辑代数基础、组合逻辑、同步时序逻辑、异步时序逻辑、脉冲产生电路、数/模与模/数转换电路、编程逻辑和 EDA 设计。全书由朱勇教授主编, 并编写数制与编码、编程逻辑及 EDA 部分, 高晓清编写同步时序逻辑、异步时序逻辑、脉冲产生电路和数/模与模/数转换电路部分, 曾西洋编写逻辑代数基础与组合逻辑部分。还要感谢王文斌、周湜、杨琳、陈笑春、计臣、周游、李涪、施静、夏玲为本教材的出版提供了帮助。

对于教材中的不妥之处, 敬请同仁和读者批评指正。

编者

2007 年 11 月

目 录

CONTENTS >>>

第 1 章 数制与编码	1
1-1 数字逻辑概述	1
1-1-1 数字信号与模拟信号	1
1-1-2 数字系统	2
1-2 数制及其转换	3
1-2-1 十进制	4
1-2-2 二进制	4
1-2-3 八进制	5
1-2-4 十六进制	5
1-2-5 二、八、十六进制数转换为十进制数	6
1-2-6 十进制数转换为二、八、十六进制数	6
1-2-7 二进制、八进制、十六进制数间的转换	9
1-3 带符号二进制数的代码表示	10
1-3-1 机器码与真值	11
1-3-2 原码	11
1-3-3 反码	12
1-3-4 补码	13
1-3-5 数码运算	14
1-4 编码	15
1-4-1 BCD 码	16
1-4-2 余 3 码	16
1-4-3 格雷码	17
1-4-4 奇偶校验码	19
1-4-5 CRC 码	19
1-4-6 ASCII 码	20
1-5 小结	21
1-6 习题	21
第 2 章 逻辑代数基础	23
2-1 逻辑代数的基本定理和规则	23
2-1-1 逻辑代数公理	23
2-1-2 逻辑代数定理	23
2-1-3 逻辑代数规则	26
2-2 逻辑函数的表示方法	28
2-2-1 逻辑表达式	28

2-2-2	真值表	28
2-2-3	逻辑图	29
2-3	逻辑函数表达形式与变换	30
2-3-1	积之和	30
2-3-2	和之积	30
2-3-3	最小项标准形式	30
2-3-4	最大项标准形式	32
2-4	逻辑函数的化简	35
2-4-1	与或式的化简	36
2-4-2	或与式的化简	37
2-5	卡诺图	38
2-5-1	卡诺图构成	38
2-5-2	典型卡诺圈	40
2-5-3	卡诺图化简	44
2-5-4	无关项的卡诺图表示	47
2-6	蕴涵法化简逻辑函数	49
2-7	小结	51
2-8	习题	52
第3章	组合逻辑	54
3-1	门电路	54
3-1-1	二极管、三极管门电路	54
3-1-2	TTL 门电路	58
3-1-3	CMOS 门电路	62
3-2	组合逻辑分析	65
3-2-1	分析步骤	65
3-2-2	分析实例	66
3-3	组合逻辑设计	68
3-3-1	设计步骤	68
3-3-2	问题的描述	69
3-3-3	设计实例	72
3-3-4	不完全项设计	76
3-4	组合逻辑电路的险象	78
3-4-1	险象的产生	78
3-4-2	险象的判断	79
3-4-3	险象的解决	80
3-5	常用的中规模组合逻辑构件的使用	81
3-5-1	译码器	82
3-5-2	编码器	89

3-5-3	多路选择器	91
3-5-4	比较器	97
3-5-5	加法器	99
3-5-6	ALU	102
3-6	小结	107
3-7	习题	108
第4章	同步时序逻辑	111
4-1	时序逻辑结构模型	111
4-1-1	结构模型	111
4-1-2	时序电路的分类	113
4-2	触发器	113
4-2-1	RS 触发器	114
4-2-2	D 触发器	118
4-2-3	JK 触发器	120
4-2-4	T 触发器	124
4-2-5	不同类型时钟触发器间的转换	125
4-2-6	集成触发器的参数	130
4-3	同步时序逻辑分析	131
4-3-1	特性函数	133
4-3-2	激励表	133
4-3-3	状态图、状态表	133
4-3-4	波形图	135
4-3-5	分析实例	135
4-4	同步时序逻辑设计	142
4-4-1	原始状态图和状态表	142
4-4-2	状态表化简	147
4-4-3	状态分配	155
4-4-4	设计实例	159
4-4-5	不完全状态逻辑设计	163
4-5	常用的中规模同步时序逻辑构件的使用	170
4-5-1	寄存器	170
4-5-2	计数器	174
4-6	小结	183
4-7	习题	184
第5章	异步时序逻辑	188
5-1	异步时序逻辑电路的特点	188
5-1-1	基本概念	188
5-1-2	分析和设计异步时序电路的几点规定	188

5-2	脉冲异步时序逻辑分析	190
5-2-1	分析步骤	190
5-2-2	分析实例	190
5-3	脉冲异步时序逻辑设计	195
5-3-1	设计步骤	195
5-3-2	设计实例	196
5-4	常用中规模异步计数器	205
5-5	小结	206
5-6	习题	206
第6章	脉冲产生电路	208
6-1	多谐振荡器	208
6-1-1	TTL 环形振荡器	208
6-1-2	MOS 多谐振荡器	210
6-2	单稳态触发器	211
6-3	施密特触发器	214
6-4	555 定时器及其应用	215
6-4-1	555 定时器	216
6-4-2	单稳态触发器	216
6-4-3	多谐振荡器	217
6-4-4	施密特振荡器	219
6-5	小结	220
6-6	习题	220
第7章	数/模与模/数转换电路	223
7-1	数/模转换电路	223
7-1-1	权电阻网络 DAC	223
7-1-2	2T 形电阻网络 DAC	224
7-1-3	DAC 的主要技术指标	225
7-1-4	集成 DAC 举例	226
7-1-5	DAC 转换器应用举例	228
7-2	模/数转换电路	231
7-2-1	逐次比较型 ADC	234
7-2-2	双积分型 ADC	237
7-2-3	ADC 的主要技术指标	239
7-2-4	集成 ADC 举例	239
7-2-5	ADC 应用举例	242
7-3	小结	243
7-4	习题	243

第 8 章 编程逻辑	245
8-1 阵列示意图	245
8-1-1 ROM	245
8-1-2 阵列示意图	246
8-2 CPLD	249
8-2-1 PLA	249
8-2-2 PAL	250
8-2-3 GAL	251
8-2-4 CPLD 简介	252
8-2-5 CPLD 编程原理	253
8-3 FPGA	254
8-3-1 FPGA 编程原理	254
8-3-2 Altera FPGA 典型结构	256
8-3-3 Xilinx FPGA 典型结构	260
8-4 VHDL	263
8-4-1 VHDL 概述	263
8-4-2 VHDL 基本结构	264
8-4-3 VHDL 数据类型与表达式	265
8-4-4 VHDL 基本语句	271
8-4-5 Quartus II 开发环境	278
8-4-6 组合逻辑设计实例	282
8-4-7 时序逻辑设计实例	286
8-5 小结	293
8-6 习题	293
第 9 章 EDA 设计	295
9-1 EDA 概述	295
9-1-1 EDA 及其发展	295
9-1-2 数字系统设计	296
9-2 Protel 原理图设计	297
9-2-1 电路设计流程	297
9-2-2 Protel 原理图设计	298
9-2-3 网络表导出	305
9-3 Protel PCB 设计	306
9-3-1 PCB 设计流程	306
9-3-2 Protel PCB 设计	307
9-3-3 布线	312
9-4 数字系统综合设计实例一：七段 LED 显示器	314
9-4-1 LED 显示原理概述	314

9-4-2	电路设计	315
9-4-3	VHDL 设计	322
9-5	数字系统综合设计实例二: ADC 0804 数据采集	325
9-5-1	ADC 0804 时序概述	325
9-5-2	电路设计	325
9-5-3	VHDL 设计	330
9-6	小结	332
9-7	习题	333
参考文献		334
附录 A 逻辑符号对照表		335

第 1 章 数制与编码

数字系统包含两种类型的运算，即逻辑运算和算术运算。不论哪种运算都与数的关系十分密切，因此了解数的表示形式和基本特征是大有必要的。计算机是数字系统中最常见、最有代表性的设备，因此必须了解数在计算机系统中的表示方法和特征。

数字系统所处理的信息都是离散元素，这些离散元素可以有不同的表示形式，如十进制数字、字母、标点符号等。现实生活中人类通常采用十进位计数制来表示数，但计算机不能直接接受十进制。因此需要选择一种进位计数制来确定小数点及数的正、负符号在计算机中的表示，同时人-机通信也需要进行数制转换。

本章重点介绍数字系统中数据的表示形式——数制与编码。

1-1 数字逻辑概述

1-1-1 数字信号与模拟信号

客观世界存在着各种物理信号，按其变化规律可以分为两种类型：一种是连续信号，另一种是离散信号。

所谓连续信号是指在时间上和数值上均作连续变化的物理信号，例如温度、压力等。在工程应用中为了便于处理和传输，通常用某一种连续信号去模拟另一种连续信号，例如用电压的变化代替温度的变化等。因此，连续信号又称为**模拟信号**，简称模拟量。直接对模拟量进行处理的电子线路称为**模拟电路**。

所谓离散信号是指信号的变化在时间上和数值上都是离散的，或者说的不连续的。例如，学生成绩记录、产品统计、电路开关的状态等。离散信号的变化可以用不同的数字表示，所以又称为**数字信号**，简称数字量。直接对数字量进行处理的电子线路称为**数字电路**，由于数字电路的各种功能是通过逻辑运算和逻辑判断来实现的，所以又称为数字逻辑电路或者逻辑电路。

通常以正弦波为例来说明模拟信号和数字信号。正弦波既能用连续方式表示也能用离散方式表示，图 1-1 是其两种表示方式。

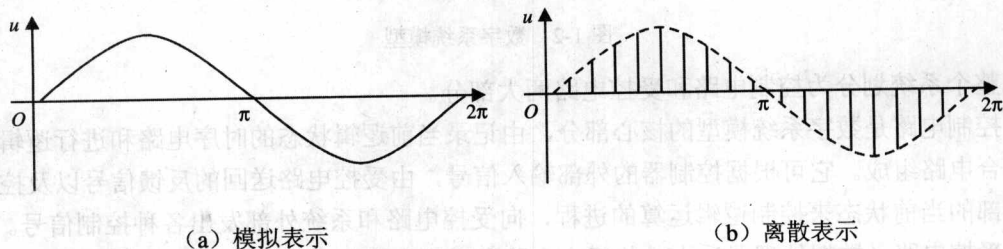


图 1-1 正弦波的模拟表示和离散表示

图 1-1 (b) 中的离散信号可以表示为如表 1-1 所示的数字值。

表 1-1 正弦波的离散数字值

(X 坐标单位为度)

X	Y	X	Y	X	Y	X	Y
0	0	90	1	180	0	270	-1
18	0.31	108	0.95	198	-0.31	288	-0.95
36	0.59	126	0.81	216	-0.59	306	-0.81
54	0.81	144	0.59	234	-0.81	324	-0.59
72	0.95	162	0.31	252	-0.95	342	-0.31

1-1-2 数字系统

数字系统已经成为日常生活中重要的组成部分。在人们周围可以发现无数个数字硬件的例子，如自动播音器、CD 播放机、电话系统、PC 以及视频游戏机等，这样的例子举不胜举。

简单地说，数字系统是一个能对数字信号进行加工、传输和存储的实体，它由实现各种功能的数字逻辑电路相互连接而成。数字系统是仅仅用数字来“处理”信息以实现计算和操作的电子网络。但是，数字系统中所用的数字是来自于特别的数制系统，该数制系统只有两个值：0 和 1。此特征定义了二进制系统中数字的本身（0 和 1）称为比特（bit），简称为“二进制数字”。虽然这似乎十分简单，但是由于只使用 0 和 1 来完成所有的计算和操作，所有数字系统的设计实际上是相当复杂的。数字系统必须完成如下任务：

- ① 将现实世界的信息转换成数字系统可以理解的二进制“语言”。
- ② 仅用数字 0 和 1 完成所要求的计算和操作。
- ③ 将处理的结果以用户可以理解的方式返回给现实世界。

数字系统模型如图 1-2 表示。

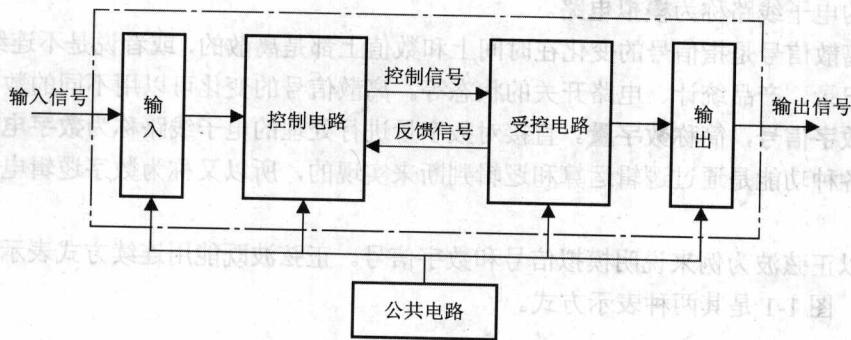


图 1-2 数字系统模型

整个系统划分为控制电路和受控电路两大部分。

控制电路是数字系统模型的核心部分，由记录当前逻辑状态的时序电路和进行逻辑运算的组合电路组成。它可根据控制器的外部输入信号，由受控电路送回的反馈信号以及控制电路内部的当前状态来控制逻辑运算的进程，向受控电路和系统外部发出各种控制信号。

受控电路（数据处理器）由一些组合电路和时序电路组成。它可根据控制电路发出的控制信号对输入的数据信号进行处理并输出，同时，还将反映受控器自身状态并将控制要求的信号反馈给控制器。

控制器是数字系统的核心, 根据其内部功能可以建立如图 1-3 所示的控制器模型。

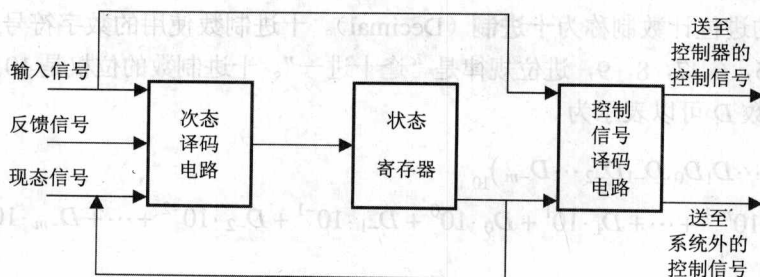


图 1-3 控制器模型

控制器的模型可清楚地表明控制器内部电路的类型及连接关系, 它是逻辑电路设计的基本依据。控制器逻辑电路设计的主要任务包括: 状态寄存器的选择、状态值分配、次态译码电路设计和输出译码电路设计。

1-2 数制及其转换

人们常用一组符号并根据一定的规则来表示数值的大小, 这些符号和规则构成了不同的进位计数制, 简称**数制** (Number System)。

数制在日常生活中随处可见, 例如普遍使用的十进制以及用于计时的六十进制和十二进制等。根据冯·诺依曼的“存储程序”思想, 人们在电子计算机中引入了二进制, 为了便于二进制的书写和记忆, 人们又引入了八进制和十六进制。

广义地说, 一种进位计数制包含基数和位权两个基本因素。

基数是指计数制中所用到的数字符号的个数。在基数为 r 的计数制中, 包含 $0, 1, \dots, r-1$, 共 r 个数字符号, 进位规律是“逢 r 进一”, 称为 r 进位计数制, 简称 r 进制。

位权是指在一种进位计数制表示的数中, 用来表明不同数位上数值大小的一个固定常数。不同数位有不同的位权, 某一个数位的数值等于这一位的数字符号乘以与该位对应的位权。 r 进制的位权是 r 的整数次幂。例如, 十进制数的位权是 10 的整数次幂, 其个位的位权是 10^0 , 十位的位权是 10^1 , ……

一般来说, 对任意的 r 进制而言, 数 N 的表示方法有以下两种:

(1) 位置计数法

$$(N)_r = (a_{n-1}a_{n-2} \cdots a_1a_0.a_{-1}a_{-2} \cdots a_{-m})_r \quad (1-1)$$

(2) 多项式表示法, 又称按权展开式

$$\begin{aligned} (N)_r &= a_{n-1} \cdot r^{n-1} + \cdots + a_1 \cdot r^1 + a_0 \cdot r^0 + a_{-1} \cdot r^{-1} + a_{-2} \cdot r^{-2} + \cdots + a_{-m} \cdot r^{-m} \\ &= \sum_{i=-m}^{n-1} a_i \cdot r^i \end{aligned} \quad (1-2)$$

式 (1-1)、(1-2) 中, n 为整数部分的位数, m 为小数部分的位数, a_i 为数字符号 ($0 \leq a_i \leq r-1$), r 为进位计数制基数, r^i 为 a_i 位上的权值。

1-2-1 十进制

基数 $r=10$ 的进位计数制称为**十进制** (Decimal)。十进制数使用的数字符号有 10 个, 即 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 进位规律是“逢十进一”。十进制数的位权是 10 的整数次幂。

任意十进制数 D 可以表示为

$$\begin{aligned}(D)_{10} &= (D_{n-1} \cdots D_1 D_0 . D_{-1} D_{-2} \cdots D_{-m})_{10} \\ &= D_{n-1} \cdot 10^{n-1} + \cdots + D_1 \cdot 10^1 + D_0 \cdot 10^0 + D_{-1} \cdot 10^{-1} + D_{-2} \cdot 10^{-2} + \cdots + D_{-m} \cdot 10^{-m} \quad (1-3) \\ &= \sum_{i=-m}^{n-1} D_i \cdot 10^i\end{aligned}$$

式 (1-3) 中, n 为整数部分的位数, m 为小数部分的位数, D_i 为数字符号 ($0 \leq D_i \leq 9$), 10 为进位计数制基数, 10^i 为 D_i 位上的权值。

【例 1-1】十进制数 2004.98 可以表示为

$$(2004.98)_{10} = 2 \times 10^3 + 0 \times 10^2 + 0 \times 10^1 + 4 \times 10^0 + 9 \times 10^{-1} + 8 \times 10^{-2}$$

1-2-2 二进制

基数 $r=2$ 的进位计数制称为**二进制** (Binary)。二进制数只有 0 和 1 两个数字符号, 进位规律是“逢二进一”。二进制数的位权是 2 的整数次幂。

任意二进制数 B 可以表示为

$$\begin{aligned}(B)_2 &= (B_{n-1} \cdots B_1 B_0 . B_{-1} B_{-2} \cdots B_{-m})_2 \\ &= B_{n-1} \cdot 2^{n-1} + \cdots + B_1 \cdot 2^1 + B_0 \cdot 2^0 + B_{-1} \cdot 2^{-1} + B_{-2} \cdot 2^{-2} + \cdots + B_{-m} \cdot 2^{-m} \quad (1-4) \\ &= \sum_{i=-m}^{n-1} B_i \cdot 2^i\end{aligned}$$

式 (1-4) 中, n 为整数部分的位数, m 为小数部分的位数, B_i 为数字符号 ($B_i=0, 1, \cdots$), 2 为进位计数制基数, 2^i 为 B_i 位上的权值。

【例 1-2】二进制数 11010.11 可以表示为

$$(11010.11)_2 = 1 \times 2^4 + 1 \times 2^3 + 0 \times 2^2 + 1 \times 2^1 + 0 \times 2^0 + 1 \times 2^{-1} + 1 \times 2^{-2}$$

二进制数的运算十分简单, 其运算规则如下所示。

加法规则:

$$0+0=0 \quad 0+1=1$$

$$1+0=1 \quad 1+1=0 \text{ (进位为 1)}$$

减法规则:

$$0-0=0 \quad 0-1=1 \text{ (借位为 1)}$$

$$1-0=1 \quad 1-1=0$$

乘法规则:

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

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

除法规则:

$$0 \div 1 = 0 \quad 1 \div 1 = 1$$

1-2-3 八进制

基数 $r=8$ 的进位计数制称为**八进制** (Octal)。八进制数使用的数字符号有 8 个, 即 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 进位规律是“逢八进一”。八进制数的位权是 8 的整数次幂。

任意八进制数 C 可以表示为

$$\begin{aligned}(C)_8 &= (C_{n-1} \cdots C_1 C_0 . C_{-1} C_{-2} \cdots C_{-m})_8 \\&= C_{n-1} \cdot 8^{n-1} + \cdots + C_1 \cdot 8^1 + C_0 \cdot 8^0 + C_{-1} \cdot 8^{-1} + C_{-2} \cdot 8^{-2} + \cdots + C_{-m} \cdot 8^{-m} \quad (1-5) \\&= \sum_{i=-m}^{n-1} C_i \cdot 8^i\end{aligned}$$

式 (1-5) 中, n 为整数部分的位数, m 为小数部分的位数, C_i 为数字符号 ($0 \leq C_i \leq 7$), 8 为进位计数制基数, 8^i 为 C_i 位上的权值。

【例 1-3】八进制数 204.53 可以表示为

$$(204.53)_8 = 2 \times 8^2 + 0 \times 8^1 + 4 \times 8^0 + 5 \times 8^{-1} + 3 \times 8^{-2}$$

1-2-4 十六进制

基数 $r=16$ 的进位计数制称为**十六进制** (Hexadecimal)。十六进制数使用的数字符号有 16 个, 即 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, A, B, C, D, E, F, 进位规律是“逢十六进一”。十六进制数的位权是 16 的整数次幂。

任意十六进制数 H 可以表示为

$$\begin{aligned}(H)_{16} &= (H_{n-1} \cdots H_1 H_0 . H_{-1} H_{-2} \cdots H_{-m})_{16} \\&= H_{n-1} \cdot 16^{n-1} + \cdots + H_1 \cdot 16^1 + H_0 \cdot 16^0 + H_{-1} \cdot 16^{-1} + H_{-2} \cdot 16^{-2} + \cdots + H_{-m} \cdot 16^{-m} \quad (1-6) \\&= \sum_{i=-m}^{n-1} H_i \cdot 16^i\end{aligned}$$

式 (1-6) 中, n 为整数部分的位数, m 为小数部分的位数, H_i 为数字符号 ($H_i=0 \sim 9, A \sim F$), 16 为进位计数制基数, 16^i 为 H_i 位上的权值。

【例 1-4】十六进制数 2EB5.C9 可以表示为

$$(2EB5.C9)_{16} = 2 \times 16^3 + 14 \times 16^2 + 11 \times 16^1 + 5 \times 16^0 + 12 \times 16^{-1} + 9 \times 16^{-2}$$

表 1-2 列出了与十进制数 0~15 对应的二进制、八进制、十六进制数。

表 1-2 十进制数与二、八、十六进制数对照表

十进制数	二进制数	八进制数	十六进制数
0	0000	00	0
1	0001	01	1
2	0010	02	2
3	0011	03	3
4	0100	04	4
5	0101	05	5
6	0110	06	6
7	0111	07	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

1-2-5 二、八、十六进制数转换为十进制数

二进制、八进制、十六进制数转换成十进制数非常简单，只需采用多项式替代法，即将 2^n ($n=1, 3, 4$) 进制数写成按权展开式，再按十进制运算规则求和，即可得到与 2^n 进制数等同的十进制数。

【例 1-5】将二进制数 11010.11 转换成十进制数。

解： $(11010.11)_2 = 1 \times 2^4 + 1 \times 2^3 + 0 \times 2^2 + 1 \times 2^1 + 0 \times 2^0 + 1 \times 2^{-1} + 1 \times 2^{-2} = (26.75)_{10}$

【例 1-6】将八进制数 204.5 转换成十进制数。

解： $(204.5)_8 = 2 \times 8^2 + 0 \times 8^1 + 4 \times 8^0 + 5 \times 8^{-1} = (132.625)_{10}$

【例 1-7】将十六进制数 EB5.C 转换成十进制数。

解： $(EB5.C)_{16} = 14 \times 16^2 + 11 \times 16^1 + 5 \times 16^0 + 12 \times 16^{-1} = (3765.75)_{10}$

注意：十六进制数转换成十进制数时，应将其字母 A~F 转换成相应的十进制数。

1-2-6 十进制数转换为二、八、十六进制数

十进制数转换成 2^n ($n=1, 3, 4$) 进制数时，需将待转换的数分成整数部分和小数部分，分别按基数除法和基数乘法进行转换。

1. 整数转换

十进制整数部分采用基数除法，即“除 2^n 取余”进行转换。把十进制整数 N 除以 2^n ，取