



工业和信息化部职业教育指导委员会“十二五”规划教材
新编高等职业教育电子信息、机电类规划教材



应用电子技术专业

数字电子技术 (第2版)

徐丽香 主编
黎旺星 副主编
程周 主审

010101001
010101001010010101010010100101010
01010100101001010101
01010100101001010101001010010101001
01010100101
010101001010010101010010100
010101001010010101010010100101010
01010100101001010101
010101001010010101010010100101001
01010100101
010101001010010101010010100
010101001
010101001010010101010010100101010
01010100101001010101
010101001010010101010010100101001
01010100101
010101001010010101010010100
010101001
010101001010010101010010100101010
010101001

以芯片典型应用电路为主线,采用项目驱动教学方式

制作报警电路,密码锁,编、译码和显示驱动电路

制作数字钟,波形发生器和霓虹灯控制电路

省级精品课程配套教材,课程网站上有完整的课程资料

教育资源网上免费提供电子教案和习题答案



电子工业出版社

PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

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

工业和信息产业职业教育教学指导委员会“十二五”规划教材
新编高等职业教育电子信息、机电类规划教材·应用电子技术专业

数字电子技术

(第2版)

徐丽香 主 编

黎旺星 副主编

程 周 主 审

電子工業出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

内 容 简 介

教材采用看、想、学、做的一体化教学模式,贯穿以应用为目的,以必需、够用为度的高职教学原则,通过典型产品引入课程内容,以启发性课程实验和课程设计为主导,把理论教学和实践教学有机地结合在一起,传授数字电子技术的知识,培训电子电路设计和制作的基本技能。

本教材内容包括:数字电路基础知识、逻辑门电路、组合逻辑电路、集成触发器、时序逻辑电路、脉冲波形的产生和变换、数/模、模/数转换、存储器、可编程逻辑器件、数字电子技术课程设计。

本书可作为高等职业技术学院理工科各专业学生的理论和实践教学教材,也可作为教师的教学参考书,还可供有关工程技术人员自学。

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。

版权所有,侵权必究。

图书在版编目(CIP)数据

数字电子技术 / 徐丽香主编. —2 版. —北京:电子工业出版社, 2011. 8

新编高等职业教育电子信息、机电类规划教材. 应用电子技术专业

ISBN 978-7-121-14141-6

I. ①数… II. ①徐… III. ①数字电路-电子技术-高等学校-教材 IV. ①TN79

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2011) 第 146731 号

策 划: 陈晓明

责任编辑: 赵云峰 特约编辑: 张晓雪

印 刷: 北京天宇星印刷厂

装 订: 三河市鹏成印业有限公司

出版发行: 电子工业出版社

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编 100036

开 本: 787 × 1 092 1/16 印张: 14. 75 字数: 378 千字

印 次: 2011 年 8 月第 1 次印刷

印 数: 4 000 册 定价: 26. 00 元

凡所购买电子工业出版社的图书,如有缺损问题,请向购买书店调换。若书店售缺,请与本社发行部联系,联系及邮购电话:(010) 88254888。

质量投诉请发邮件至 zltz@phei.com.cn, 盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

服务热线:(010) 88258888。

前 言

数字电子技术是一门应用性很强的专业基础课，主要任务是在传授有关数字电子技术基本知识的基础上，培训分析和设计数字电路的能力。本教材根据初学者的学习规律，在内容的编写上力求通俗易懂，在内容的处理上符合高职教学“以应用为目的，以必需、够用为度”的原则，并体现以下特色。

1. 理论和实践的密切结合

教材内容由理论知识和实训内容构成。主体教学过程是：看、想、学、做。通过前述部分、多媒体课件在讲授内容前演示某些功能电路的工作过程，让读者通过观察，掌握器件的功能，快速入门，然后通过教学，并结合在实训内容中运用器件实现电路，把实践和理论有机地融合在一起。单元内容后面的想一想给读者进一步的启迪。

本教材内容的编写打破读者一定要懂得内部结构才能运用器件的传统思想。采用了编者多年来在教学实践中运用并行之有效的、既淡化不实用又难学的器件内部结构知识又突出器件实际应用知识的教学模式，重点传授从器件资料如符号、功能表等来掌握应用器件的方法，并结合采用常用芯片构成的典型电路的实例分析来强化学生的知识，培养学生举一反三的能力。

教师选用这本教材可完成数字电子技术课程整体教学过程，无须另行准备实训内容。本教材的实训项目有一定的挑战性，在提供给读者足够启发的基础上，由读者自行确定最终的实验电路，在参与制作的过程中激发读者学习的兴趣和潜能，培训他们的创新能力。

本书最后一章课程设计的课题可以由读者利用实习课的时间或课余时间完成，教师也可以在教学过程中作为设计的例子进行分析。这部分内容可帮助读者进一步明确各电路的功能并学习综合运用能力。

2. 实用的工程理念贯穿其中

本教材强调基本概念、突出实用的应用技术。本教材选用的实例是截取于典型电子产品整机电路中的部分电路，学生学习后可方便地把所学知识和实际应用紧密地结合在一起。

实用的工程理念始终贯穿在整个内容处理过程中。教材通过单元电路的实训项目，以及对总内容整合的课程设计，把资料查阅、电路整合、安装调试、报告编写等电子工程设计和制作的方法传授给读者，培养其再学习的能力，在基础课程中逐步培养完成项目和构筑工程的能力。

3. 完整的多媒体教学配套课件有助于教师的授课和学生的自学

本教材配套制作了完整的多媒体教学课件。内容包括课程的教学大纲，每一章节具体的教学安排，CAI教案，实训的设计方案，试题库和教学自测，以及主要功能电路的仿真等等。这些教学资料和教材的内容紧密结合，可方便教师的教和学生的学。

配套教学资料可以在以下网址：www.gdmec.cn→网站地图→精品课程→数字电子技术课程中下载获得，也可通过电子邮箱 lixiangxu2004@163.com 与编者联系。同时，广东

机电职业技术学院备有实训所需的全套电路板和器件，如使用本教材所需，可与编者联系。

本书共 10 章，第 1 章至第 6 章由徐丽香编写，第 7 章到第 10 章由黎旺星编写，由徐丽香对全书进行了统稿。安徽职业技术学院程周老师主审了全书。

由于编者水平有限，书中的错误和缺点在所难免，热忱欢迎使用者对本书提出批评与建议。

编 者

2011 年 3 月

《数字电子技术(第2版)》读者意见反馈表

尊敬的读者:

感谢您购买本书。为了能为您提供更优秀的教材,请您抽出宝贵的时间,将您的意见以下表的方式(可从<http://www.huaxin.edu.cn>下载本调查表)及时告知我们,以改进我们的服务。对采用您的意见进行修订的教材,我们将在该书的前言中进行说明并赠送您样书。

姓名: _____ 电话: _____
职业: _____ E-mail: _____
邮编: _____ 通信地址: _____

1. 您对本书的总体看法是:

☐很满意 ☐比较满意 ☐尚可 ☐不太满意 ☐不满意

2. 您对本书的结构(章节): ☐满意 ☐不满意 改进意见 _____

3. 您对本书的例题: ☐满意 ☐不满意 改进意见 _____

4. 您对本书的习题: ☐满意 ☐不满意 改进意见 _____

5. 您对本书的实训: ☐满意 ☐不满意 改进意见 _____

6. 您对本书其他的改进意见:

7. 您感兴趣或希望增加的教材选题是:

请寄: 100036 北京市万寿路 173 信箱职业教育分社 陈晓明 收
电话: 010-88254575 E-mail: chxm@phei.com.cn

目 录

第1章 数字电路基础知识	(1)
1.1 数字信号和数字电路	(1)
1.2 数制和编码	(4)
1.2.1 数制	(4)
1.2.2 不同进制之间的相互转换	(6)
1.2.3 编码	(7)
1.3 逻辑代数基础	(10)
1.3.1 逻辑变量与逻辑函数	(10)
1.3.2 基本的逻辑运算	(11)
1.3.3 逻辑运算的应用	(16)
1.3.4 逻辑函数及其表示方法	(17)
实训1 认识常用实训设备和集成电路,制作逻辑笔	(21)
本章学习指导	(22)
习题1	(23)
第2章 逻辑门电路	(24)
2.1 概述	(24)
2.2 TTL 门电路	(25)
2.2.1 TTL 与非门	(25)
2.2.2 TTL 门电路电压传输特性测试	(25)
2.2.3 TTL 门电路的主要参数	(26)
2.2.4 电路应用	(30)
2.2.5 TTL 与非门的改进系列	(31)
2.3 TTL 门电路的输出结构	(31)
2.3.1 集电极开路门	(31)
2.3.2 三态门	(34)
2.4 CMOS 集成门电路	(36)
2.4.1 常用 CMOS 门电路	(36)
2.4.2 CMOS 逻辑门电路的主要参数	(39)
2.4.3 CMOS 集成门电路的应用	(39)
2.5 集成门电路的实用知识	(40)
2.5.1 常用集成门电路型号系列简介	(40)
2.5.2 集成门电路使用注意事项	(42)
2.5.3 TTL 与 CMOS 电路的接口技术	(43)
实训2 门电路的应用——门控报警电路	(45)
本章学习指导	(47)
习题2	(48)

第3章 组合逻辑电路的分析与设计	(51)
3.1 概述	(51)
3.2 逻辑代数的公式	(53)
3.3 逻辑函数的化简	(55)
3.3.1 化简意义及标准	(55)
3.3.2 公式化简法	(56)
3.3.3 逻辑函数的卡诺图化简	(56)
3.3.4 具有约束项的逻辑函数及其化简	(61)
3.4 组合逻辑电路的分析与设计方法	(62)
3.4.1 组合逻辑电路的分析方法	(63)
3.4.2 组合逻辑电路的设计	(65)
3.4.3 组合逻辑电路中的竞争冒险	(67)
实训3 组合逻辑电路设计之密码锁、8线-3线编码器	(69)
本章学习指导	(70)
习题3	(71)
第4章 常用组合逻辑电路模块	(73)
4.1 概述	(73)
4.2 编码器	(74)
4.3 译码器及数码显示电路	(78)
4.3.1 二进制译码器	(78)
4.3.2 二-十进制译码器(又称BCD译码器)	(80)
4.3.3 唯一地址译码器的应用	(81)
4.3.4 七段数字显示译码器	(82)
4.4 数据分配器和选择器	(84)
4.4.1 数据分配器	(85)
4.4.2 数据选择器	(87)
4.4.3 数据选择器和分配器的应用	(89)
4.5 数据比较器	(90)
4.5.1 1位数值比较器	(90)
4.5.2 考虑低位比较结果的多位比较器	(90)
4.5.3 数据比较器的应用	(91)
4.6 加法器	(92)
实训4 编码、译码和显示驱动电路综合实训	(93)
本章学习指导	(95)
习题4	(95)
第5章 集成触发器	(96)
5.1 概述	(96)
5.2 集成触发器的基本形式	(97)
5.2.1 基本RS触发器	(97)
5.2.2 触发器的各种触发方式的实现	(101)
5.3 各种功能的触发器	(104)
5.3.1 JK触发器	(104)

5.3.2	T 触发器和 T' 触发器	(107)
5.3.3	D 触发器	(108)
实训 5	基本 RS 触发器的构成, 抢答器和二 - 四分频电路	(112)
本章学习指导		(114)
习题 5		(114)
第 6 章	时序逻辑电路	(117)
6.1	概述	(117)
6.1.1	时序逻辑电路的基本特点和结构	(117)
6.1.2	时序逻辑电路的一般分析方法	(118)
6.2	寄存器 (Register)	(120)
6.2.1	数码寄存器 (Digital Register)	(120)
6.2.2	移位寄存器 (Shift Registers)	(121)
6.2.3	移位寄存器应用举例	(123)
6.3	计数器	(124)
6.3.1	2^n 进制计数器	(126)
6.3.2	十进制计数器	(127)
6.3.3	N 进制计数器	(130)
6.3.4	计数器应用举例	(134)
6.3.5	寄存器和计数器的综合应用	(137)
实训 6	移位寄存器的运用, 七进制计数器, 60 进制计数器	(139)
本章学习指导		(140)
习题 6		(141)
第 7 章	脉冲波形的产生和变换	(143)
7.1	概述	(143)
7.2	集成 555 定时器	(144)
7.3	施密特触发器	(146)
7.3.1	用 555 定时器构成的施密特触发器	(146)
7.3.2	集成施密特触发器	(148)
7.3.3	施密特触发器的应用举例	(148)
7.4	单稳态触发器	(149)
7.4.1	采用 555 定时器的单稳态触发器	(149)
7.4.2	集成单稳态触发器	(151)
7.4.3	单稳态触发器的应用	(154)
7.5	多谐振荡器	(155)
7.5.1	用 555 定时器构成的多谐振荡器	(155)
7.5.2	多谐振荡器应用实例	(158)
实训 7	时基电路	(159)
本章学习指导		(162)
习题 7		(162)
第 8 章	数/模、模/数转换	(164)
8.1	概述	(165)
8.2	数/模 (D/A) 转换器	(165)

8.2.1	D/A 转换器的基本原理	(165)
8.2.2	电阻网络 D/A 转换器	(166)
8.2.3	一位 D/A 转换器	(171)
8.3	模/数 (A/D) 转换器	(171)
8.3.1	A/D 转换器的基本原理	(171)
8.3.2	逐次逼近型 A/D 转换器	(173)
实训 8	D/A、A/D 转换	(178)
	本章学习指导	(180)
	习题 8	(181)
第 9 章	大规模集成电路及其应用	(182)
9.1	半导体存储器概述	(182)
9.1.1	半导体存储器的分类	(182)
9.1.2	存储器的主要指标	(183)
9.2	存储器的结构和工作原理	(183)
9.2.1	存储器的结构	(183)
9.2.2	存储器的工作原理	(184)
9.2.3	存储器的工作时序	(185)
9.3	只读存储器	(186)
9.3.1	常用 ROM 介绍	(186)
9.3.2	应用举例	(189)
9.3.3	常用的 E ² PROM 举例	(192)
9.4	随机存储器 RAM	(193)
9.5	可编程逻辑器件 (PLD) 简介	(195)
9.5.1	概述	(195)
9.5.2	PLD 器件的描述规则	(196)
9.5.3	PLD 的开发环境	(197)
9.6	大规模集成电路的综合应用	(197)
9.6.1	波形产生电路	(197)
9.6.2	霓虹灯控制电路	(205)
实训 9	霓虹灯控制电路	(206)
	本章学习指导	(206)
	习题 9	(207)
第 10 章	课程设计	(208)
10.1	概述	(208)
10.1.1	课程设计的基本任务	(208)
10.1.2	课程设计的基本要求	(208)
10.1.3	课程设计的基本步骤和方法	(209)
10.1.4	课程设计实验文件的标准格式	(211)
10.2	提供的参考选题及参考方案	(212)
10.2.1	设计数码抢答器	(212)
10.2.2	设计数字钟	(216)
10.2.3	设计音乐 D/A 和 A/D 转换电路	(222)
10.2.4	3 $\frac{1}{2}$ 位直流数字电压表	(227)

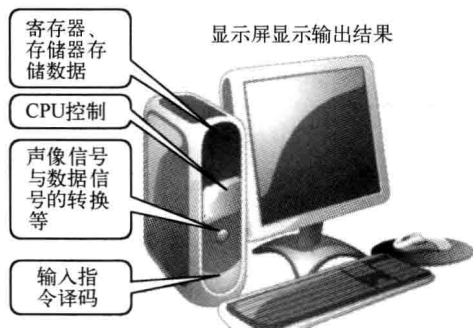
第1章 数字电路基础知识



近年来,数字化已成为当今电子技术的发展潮流。数字手机取代模拟手机;高清晰数字电视已经在国内多个城市开播,模拟制式电视逐渐退出舞台;数字控制系统使工业发展进入一个新的里程;数字视听设备如CD、DVD、MP3等带给我们美的享受;数码相机和数码录像机帮你留住人生美妙的回忆;基于数字电子技术的计算机和Internet技术使世界成为一个大家庭。采用数字电子技术的还有身边的一些小型电子产品如数字钟、数字电子秤、数字化仪器仪表等等。如图1.1所示的计算机更是数字电子技术应用的典型例子。数字电路是数字技术的核心,是计算机和数字通信的基础。现在,让我们一起探索数字电子技术的奥秘吧。

通过本章学习,你可以知道:

- (1) 二进制数及其在电路上的形式。
- (2) 用二进制数表示其他数值和字符的方法。
- (3) 研究二进制数关系是逻辑代数。
- (4) 常用的逻辑代数关系是与、或、非。
- (5) 逻辑关系的多种表示形式。



键盘和鼠标为输入电路,内含编码电路,把每一个键或鼠标移动编制成不同的二进制码代表不同的控制指令

图1.1 计算机是数字电子技术应用的典型例子

1.1 数字信号和数字电路

1. 模拟信号与数字信号

模拟信号:在时间和幅度上都是连续的信号。

数字信号：在时间和幅度上都是离散的信号。

我们通常处理的电信号是模拟信号，如音乐、电视信号等，其信号形式是连续的，如图 1.2 (a) 所示。这种信号在电路中难以不失真地存储、处理、分析和传输。把模拟信号通过一定的变换，可以变成为在时间和数值上都是不连续的（即称为离散）的信号，即它们的变化在时间上是不连续的，一段时间只有一种取值，而且其取值的大小和增减变化都采用数字的形式，这一类信号称为数字信号，如图 1.2 (b) 所示。数字信号由于在时间上是离散的，所以非常容易进行不失真的存储、处理、分析和传输。

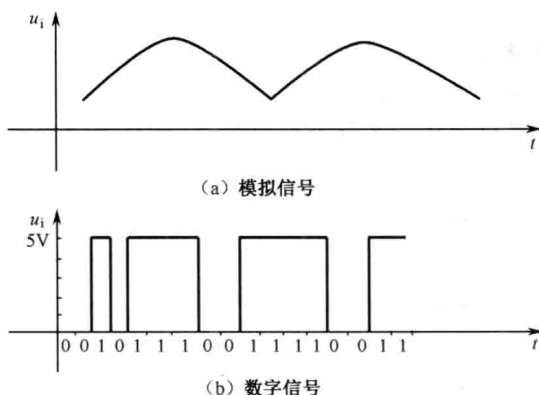


图 1.2 模拟信号与数字信号

数字信号在电路中只分辨两种状态：高电平和低电平。它们对应于数值“1”和“0”。通常用高电平表示“1”，低电平表示“0”。特别注意，这时的数字符号“0”和“1”并不是通常在十进制中表述的数字“0”、“1”，而只是一种符号，可以表示逻辑 0 和逻辑 1，也可以表示事物彼此相关又互相对立的两种状态，如是与非、真与假、开与关、高与低等。



想一想：数字信号的“1”和“0”有没有大小之分，能否用“0”表示高电平，“1”表示低电平。

2. 数字电路

数字电路：工作于数字信号下的电路称为数字电路。

在电路中，并不可能出现数字“0”和“1”，而只能通过电压或电流的变化来代表“0”和“1”的信息。

数字电路通常是通过不同的电压值（通常又称为逻辑电平，Logic level）来代表和传输“0”和“1”这样的数字信息。通过示波器观察可以看到这些电压的波形是不断跳动的，通常称为数字波形。当波形仅有两个离散数值时，通常又称为脉冲波形。图 1.2 (b) 所示是数字波形。图 1.2 (b) 中用 0V 表示逻辑 0，用 5V 表示逻辑 1。图 1.2 (b) 表示 16 位数据的波形。当然，如果把每一位信号所占用的脉冲宽度减小一半，也可以认为图 1.2 (b) 表示 32 位数据的波形。所以在数字电路中，每一位数字信号所占的时间也是非常重要的，每一位数据信号所用的时间越长，数字电路信号传送的速度越慢。在数字电路中，通常是通过时钟脉冲作为数字系统中的时间参考信号，利用时钟脉冲的宽度来决定每一位数字信号的波

形长度。图 1.3 所示即是时钟脉冲与读取信号时位数的对应关系。此时，假设每一个时钟周期对应读取一位数据。在数据存取过程中，为保证数据不出错，记录和读取信号应采用频率相同的时钟脉冲。

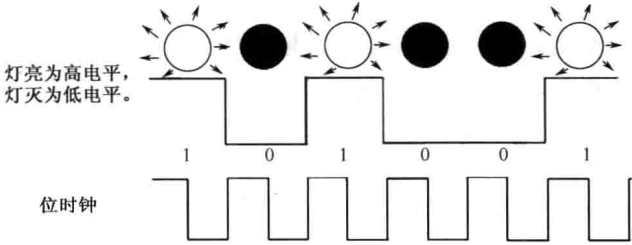


图 1.3 时钟脉冲与读取信号时位数的对应关系

例 1.1 某通信系统连续不间断地传送数据，每秒钟可传输 10000 位的数据，求每位数据的时间。

解：按题意，每位数据的时间为：

$$\frac{1}{10000} = 1 \times 10^{-4} \text{ s} = 100 \mu\text{s}$$



想一想：既然每位数据所占的时间是固定的，为什么在登录 Internet 网时，会有网速即单位时间内得到的数据量不同的情况出现？

知识拓展：在数字通信中，所传输出的数据通常不是直接用高电平表示 1 或者低电平表示 0 的，因为这样传送容易受噪声干扰误传。把 0、1 通过过调制，然后用不同形状的波形或数据的跳变沿来表示信号，如图 1.4 所示，就是用不同形状的信号分别表示 1 和 0，在接收端再解调恢复原来的表示方法，这样可以提高信号传送的保真度。数字信号调制解调的方法可通过阅读数字通信技术的书籍进行了解。图 1.4 中基带信号表示原始二进制数码，ASK 是幅移键控，FSK 是频移键控，PSK 是相移键控，它们都是数字信号的频带传输方法。试分析图 1.4 说明这几种键控方式分别是什么来表示 0 和 1 的。

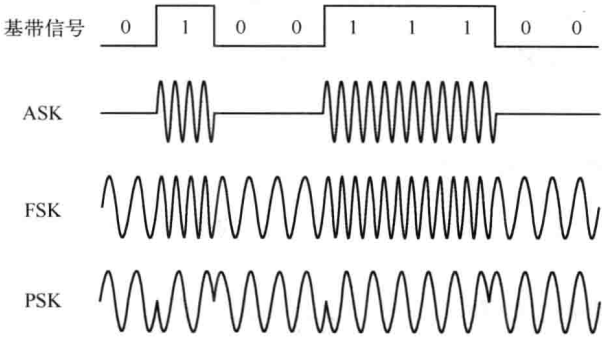


图 1.4 数字信号的频带传输

3. 数字电路优点

数字电路与模拟电路相比主要有列优点：

(1) 由于数字电路是以二值数字逻辑为基础的, 只有“0”和“1”两个基本字符, 只要处理两种电平: 高电平与低电平, 因此易于用电路来实现。这时电路中的二极管、三极管通常工作于导通、截止这两个对立的状态就可正常工作, 解决了模拟电路的器件参数误差对电路的影响。

(2) 高电平与低电平允许有一定的范围, 因此数字电路的抗干扰能力较强。由数字电路组成的数字系统通过整形可以很方便地去除叠加于传输信号上的噪声与干扰; 利用数字信号是离散的特点还可以加入检错、纠错信号减少传输引起的错误; 加入控制和工作状态信号可以方便信号的处理。

(3) 数字电路不仅能完成数值运算, 而且能进行逻辑判断和运算, 这在控制系统中是不可缺少的。

(4) 数字信息便于长期保存, 凡是可以区分两种状态的物体就可以记录数字信号, 比如可将数字信息存入磁盘、光盘等长期保存。

数字电路由于其具有使用方便、可靠性好、精度高等特点, 应用范围越来越广泛。如: 电视、光盘机、数字仪器、数字通信、数控装置、雷达和电子计算机等, 了解数字电路的功能和应用, 以便合理选择、正确运用器件和设备。



想一想: 数字光盘和磁盘是通过什么方式来保存二进制数据的?

1.2 数制和编码

人们在日常生活中, 习惯于用十进制数。在数字系统, 例如数字计算机中, 则只有二进制数。二进制数与我们常用的十进制数一样, 可表示数值大小和符号。人们为了方便输入二进制数据, 通常还使用十六进制数。

1.2.1 数制

数制: 计数进位的简称。

当人们用数字量表示一个物理量的多少时, 只用一个数字量在绝大多数情况下是不够的, 因此必须采用多位数字量。而多位数字量按某种进位方式实现计数, 这就是进位计数制。

1. 十进制数 (Decimal Number)

十进制数: 采用 0, 1, 2, 3, ..., 9 十个不同的数码来表示数。十进制数的基数是 10, 进位规律是“逢 10 进 1”。

十个数码本来只能表示数值“0~9”十种取值, 若超出此范围, 可以通过多位数来表示。各数码处在不同数位时, 所代表的数值是不同的。例如, 331 里有两个 3 数码, 但是各自表示的数值是不同: 高位的“3”表示 300, 低位的“3”表示 30。

$$\begin{array}{ccccc} & & 331 & & \\ & \swarrow & | & \searrow & \\ 3 \times 10^2 & & 3 \times 10^1 & & 1 \times 10^0 \end{array}$$

其中， 10^2 ， 10^1 ， 10^0 称为十进制各数位的权。

任何数值都可以用十进制数表示。如 $a_{n-1}a_{n-2}\cdots a_1a_0.a_{-1}a_{-2}\cdots a_{-m}$ 中，每一位都是十进制数的数码其中的一个数码，这样可以表示的值 N 的大小为：

$$\begin{aligned}[N]_{10} &= a_{n-1} \times 10^{n-1} + a_{n-2} \times 10^{n-2} + \cdots + a_1 \times 10^1 + a_0 \times 10^0 + a_{-1} \times 10^{-1} \\ &\quad + a_{-2} \times 10^{-2} + \cdots + a_{-m} \times 10^{-m} \\ &= \sum_{i=-m}^{n-1} a_i \times 10^i\end{aligned}$$

式中， i 表示位数，以小数点为分界，向左位数依次为 0, 1, 2, $\cdots$, $n-1$ ；向右位数依次为 -1, -2, $\cdots$, $-m$ 。这样第 i 位数表示量的权值为 10^i ，即 a_i 实际所表示数值的大小为 $a_i \times 10^i$ ，习惯上称为这一位的加权系数。

十进制数的下标可以用 10 或 D (Decimal 的缩写) 表示，也可省略下标，标注时还可直接把英文缩写写在数值后面。

2. 二进制数 (Binary Number)

二进制数：用两个数码“0”和“1”表示数。进位规律是“逢 2 进 1”，即加法运算规则为“ $1+1=10$ ”。

特别注意这里“ $1+1$ ”在十进制数中等于“2”，但二进制数中没有“2”这个字符，按二进制定义进制规则“逢 2 进 1”，因此可以用“1”放在高一位来表示，即用“10”表示。

任何十进制数可表示的数据，二进制数也可以表示。如 $a_{n-1}a_{n-2}\cdots a_1a_0.a_{-1}a_{-2}\cdots a_{-m}$ 中，每一位都是二进制数的数码“0”或“1”中的其中一个数码，这样可以表示的值 N 的大小为：

$$\begin{aligned}[N]_2 &= a_{n-1} \times 2^{n-1} + a_{n-2} \times 2^{n-2} + \cdots + a_1 \times 2^1 + a_0 \times 2^0 + a_{-1} \times 2^{-1} \\ &\quad + a_{-2} \times 2^{-2} + \cdots + a_{-m} \times 2^{-m} \\ &= \sum_{i=-m}^{n-1} a_i \times 2^i\end{aligned}$$

式中， i 表示位数，以小数点为分界，向左位数依次为 0, 1, 2, $\cdots$, $n-1$ ；向右位数依次为 -1, -2, $\cdots$, $-m$ 。这样第 i 位数表示量的权值为 2^i ，即 a_i 实际所表示数值的大小为 $a_i \times 2^i$ 。

这种按权展开的方法，可以方便地把二进制数转换为十进制数制。如：

$$[1101.01]_2 = 1 \times 2^3 + 1 \times 2^2 + 0 \times 2^1 + 1 \times 2^0 + 0 \times 2^{-1} + 1 \times 2^{-2} = 8 + 4 + 1 + 0.25 = [13.25]_{10}$$

二进制数的下标通常用 2 或者用 B (Binary 的缩写) 表示。可见，数码 1 在不同位置所表示的意义不同。示例见表 1.1。

表 1.1 部分不同位置的 1 数值所对应的十进制数

1 所在位置的 i 值	$\cdots$	5	4	3	2	1	0	小数点	-1	-2	$\cdots$
权值		2^5	2^4	2^3	2^2	2^1	2^0		2^{-1}	2^{-2}	
所表示十进制数	$\cdots$	32	16	8	4	2	1		0.5	0.25	$\cdots$

如： $[1101.01]_2$ 对照表 1.1，根据 $[1101.01]_2$ 中 4 个 1 所在的位置权值直接相加得 $[1101.01]_2 = 8 + 4 + 1 + 0.25 = [13.25]_{10}$ 。

3. 十六进制数 (Hexadecimal Number)

十六进制：用 0, 1, 2, ..., 9, A, B, C, D, E, F 十六个数码表示数。十六进制基数是 16，进位规律是“逢 16 进 1”。

用二进制表示数时，数码串很多，为书写和阅读方便，常用十六进制显示输入的二进制数，十位十六进制数对应可表示 4 位二进制数。

十六进制每个数位的权是 16 的幂。十六进制的下标可用 16 或 H (Hex 的缩写) 表示。如 $[a_{n-1}a_{n-2}\cdots a_1a_0.a_{-1}a_{-2}\cdots a_{-m}]_{16}$ 中，每一位都是十六进制的数码“0, 1, ..., 9, A, B, ..., F”中的其中一个数码，这样可以表示的值 N 的大小为：

$$\begin{aligned}[N]_{16} &= a_{n-1} \times 16^{n-1} + a_{n-2} \times 16^{n-2} + \cdots + a_1 \times 16^1 + a_0 \times 16^0 + a_{-1} \times 16^{-1} \\ &\quad + a_{-2} \times 16^{-2} + \cdots + a_{-m} \times 16^{-m} \\ &= \sum_{i=-m}^{n-1} a_i \times 16^i\end{aligned}$$

在程序设计、指令书写、数据地址分配中十六进制用得非常广泛。在计算机应用中，通常一个数字或英文字母需要用 8 位二进制数表示，而一个汉字需要 16 位二进制数表示，这时若用十六进制表示则分别需要 2 位和 4 位。

1.2.2 不同进制之间的相互转换

人们通常习惯采用十进制数进行计数和表示一些物理量的大小，而微型计算机或其他数字电路内部只有二进制数。此时，往往需要两者之间进行转换。下面介绍两种数制之间的转换方法。

1. 二进制数转换为十进制数

二进制数转换成十进制数，简记为“按权展开，相加即可”。

例 1.2 将二进制数 $[101.1]_2$ 转换成十进制数。

解：

$$[101.1]_2 = 1 \times 2^2 + 0 \times 2^1 + 1 \times 2^0 + 1 \times 2^{-1} = 4 + 0 + 1 + 0.5 = [5.5]_{10}$$

2. 十进制数转换为二进制数

十进制整数转换成二进制整数采用“除 2 取余，逆序排列”法。

十进制小数转换成二进制小数采用“乘 2 取整，顺序排列”法。

因整数部分和小数部分的转换方法不同，所以要分开转换。

例 1.3 将十进制数 $[67]_{10}$ 转换成二进制数。

解：

2	67	1	低位
2	33	1	
2	16	0	
2	8	0	
2	4	0	
2	2	0	
2	1	1	高位
	0		

从例 1.3 中看出,“除 2 取余”,就是不断用 2 去整除十进制数直到商为 0;“逆序排列”就是把得到的余数从最低位起逆序排列,即可得到相应的二进制数。所以,

$$[67]_{10} = [1000011]_2$$

例 1.4 将 $[0.782]_{10}$ 转换成二进制数。

解:

$0.782 \times 2 = 1.564$	取整 = 1	高位
$0.564 \times 2 = 1.128$	取整 = 1	↓
$0.128 \times 2 = 0.256$	取整 = 0	↓
$0.256 \times 2 = 0.512$	取整 = 0	低位

如果需要,还可以继续乘下去。位数越多越精确,若只要四位小数,则

$$[0.782]_{10} \approx [0.1100]_2$$

显然,十进制数转换成二进制数表示以后可能存在误差。

例 1.5 将 $[67.7822]_{10}$ 转换成二进制数。

解:显然把 $[67]_{10}$ 和 $[0.782]_{10}$ 分别转换后合成可得转换结果为:

$$[67.782]_{10} = [1000011.1100]_2$$

十进制数转换成其他任意进制数都可用基数乘法。即如十进制数转换成十六进制数,则整数部分“除 2 取余,逆序排列”改成“除 16 取余,逆序排列”即可,小数部分“乘 2 取整,顺序排列”改成“乘 16 取整,顺序排列”。其余类推。

3. 二进制数与十六进制数之间的转换

二进制数转换为十六进制数的方法为:以小数点为分界,4 位一组,不足 4 位时整数部分高位补零,小数部分低位补零。

十六进制数转换为二进制数的方法:每 1 位十六进制数用 4 位二进制数表示。

例 1.6 把 $[10010.00111]_B$ 转换成十六进制数,把 $[3F.25]_H$ 转换成二进制数。

解:

$$[10010.00111]_B = [\underline{0001} \ \underline{0010} \ . \ \underline{0011} \ \underline{1000}]_B = [12.38]_H$$

$$[3F.25]_H = [0011 \ 1111.0010 \ 0101]_B = [11 \ 1111.0010 \ 0101]_B$$



想一想:数学中的所有十进制数是否都可以用二进制数精确表示?

1.2.3 编码

编码:用一种代码表示其他事物的方法称为编码。

在数字系统中,只有二进制数。若要处理或存储符号,则只能把十进制的数码、不同文字的符号等其他信息用二进制数码来表示才能进行处理。建立这种二进制数与其他信息符号一一对应的关系称为编码,这时的二进制数就是一种代码。

由于 n 位二进制数的取值组合为 2^n ,所以,若所需编码的信息符号有 M 项,则需用的二进制数码的位数 n 应满足如下关系:

$$2^n \geq M$$