

普通高校本科计算机专业特色教材精选 · 计算机原理

计算机组织与结构

李静梅 编著

普通高校本科计算机专业特色教材精选·计算机原理

计算机组织与结构

李静梅 编著



清华大学出版社
北京

内 容 简 介

本书综合介绍了计算机专业硬件的基础知识。

全书共分 8 章,内容包括:计算机系统的硬件组成、分类以及多级层次划分的原则与方法,寻址方式与指令系统,组合逻辑电路与触发器、时序逻辑电路,总线、中断与 I/O 系统,存储系统,重叠与流水技术,CPU 子系统及运算器的运算方法。每章都配有课后习题及习题解答。

本书可以作为高等院校计算机相关专业学生的“计算机组织与结构”课程的教材,也可作为从事计算机专业的工程技术人员的学习参考书。

本书封面贴有清华大学出版社防伪标签,无标签者不得销售。

版权所有,侵权必究。侵权举报电话:010-62782989 13701121933

图书在版编目(CIP)数据

计算机组织与结构/李静梅编著. —北京:清华大学出版社,2013.5

普通高校本科计算机专业特色教材精选·计算机原理

ISBN 978-7-302-31697-8

I. ①计… II. ①李… III. ①计算机体系结构—高等学校—教材 IV. ①TP303

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 045634 号

责任编辑:袁勤勇 顾 冰

封面设计:傅瑞学

责任校对:李建庄

责任印制:刘海龙

出版发行:清华大学出版社

网 址: <http://www.tup.com.cn>, <http://www.wqbook.com>

地 址:北京清华大学学研大厦 A 座 邮 编:100084

社 总 机:010-62770175 邮 购:010-62786544

投稿与读者服务:010-62776969, c-service@tup.tsinghua.edu.cn

质量反馈:010-62772015, zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn

课件下载: <http://www.tup.com.cn>, 010-62795954

印 刷 者:北京富博印刷有限公司

装 订 者:北京市密云县京文制本装订厂

经 销:全国新华书店

开 本:185mm×260mm

印 张:19.5

字 数:484 千字

版 次:2013 年 5 月第 1 版

印 次:2013 年 5 月第 1 次印刷

印 数:1~3000

定 价:33.00 元

产品编号:052405-01

出版说明

INTRODUCTION

在我国高等教育逐步实现大众化后，越来越多的高等学校将会面向国民经济发展的第一线，为行业、企业培养各级各类高级应用型专门人才。为此，教育部已经启动了“高等学校教学质量和教学改革工程”，强调要以信息技术为手段，深化教学改革和人才培养模式改革。如何根据社会的实际需要，根据各行各业的具体人才需求，培养具有特色显著的人才，是我们共同面临的重大问题。具体地说，培养具有一定专业特色的和特定能力强的计算机专业应用型人才则是计算机教育要解决的问题。

为了适应 21 世纪人才培养的需要，培养具有特色的计算机人才，急需一批适合各种人才培养特点的计算机专业教材。目前，一些高校在计算机专业教学和教材改革方面已经做了大量工作，许多教师在计算机专业教学和科研方面已经积累了许多宝贵经验。将他们的教研成果转化为教材的形式，向全国其他学校推广，对于深化我国高等学校的教学改革是一件十分有意义的事情。

清华大学出版社在经过大量调查研究的基础上，决定组织出版一套“普通高校本科计算机专业特色教材精选”。本套教材是针对当前高等教育改革的新形势，以社会对人才的需求为导向，主要以培养应用型计算机人才为目标，立足课程改革和教材创新，广泛吸纳全国各地的高等院校计算机优秀教师参与编写，从中精选出版确实反映计算机专业教学方向的特色教材，供普通高等院校计算机专业学生使用。

本套教材具有以下特点：

1. 编写目的明确

本套教材是在深入研究各地各学校办学特色的基础上，面向普通高校的计算机专业学生编写的。学生通过本套教材，主要学习计算机科学与技术专业的基本理论和基本知识，接受利用计算机解决实际问题的基本训练，培养研究和开发计算机系统，特别是应用系统的基本能力。

2. 理论知识与实践训练相结合

根据计算学科的三个学科形态及其关系，本套教材力求突出学科的理论与实践紧密结合的特征，结合实例讲解理论，使理论来源于实践，又进一步指导实践。学生通过实践深化对理论的理解，更重要的是使学生学会理论方法的实际运用。在编写教材时突出实用性，并做到通俗易懂，易教易学，使学生不仅知其然，知其所以然，还要会其如何然。

3. 注意培养学生的动手能力

每种教材都增加了能力训练部分的内容，学生通过学习和练习，能比较熟练地应用计算机知识解决实际问题。既注重培养学生分析问题的能力，也注重培养学生解决问题的能力，以适应新经济时代对人才的需要，满足就业要求。

4. 注重教材的立体化配套

大多数教材都将陆续配套教师用课件、习题及其解答提示，学生上机实验指导等辅助教学资源，有些教材还提供能用于网上下载的文件，以方便教学。

由于各地区各学校的培养目标、教学要求和办学特色均有所不同，所以对特色教学的理解也不尽一致，我们恳切希望大家在使用教材的过程中，及时地给我们提出批评和改进意见，以便我们做好教材的修订改版工作，使其日趋完善。

我们相信经过大家的共同努力，这套教材一定能成为特色鲜明、质量上乘的优秀教材。同时，我们也希望通过本套教材的编写出版，为“高等学校教学质量和教学改革工程”做出贡献。

清华大学出版社

前言

本书把计算机科学与技术专业的核心硬件课程进行了全面整合，将内容相通或相似的知识去粗存精，将过于繁杂或表面的内容进行了修整或具体，使读者可以用较少的时间对计算机硬件基础知识有一个由基本到全貌的掌握。

现阶段计算机硬件技术以及计算机软件技术互相制约、互相影响，促进了两种技术的良性发展，从而使计算机系统的整体性能呈现了迅速发展的态势。单从硬件技术角度讲，了解其基本组成、底层技术架构、内部工作流的特点及各大部件之间的相互关系原理，对任何软件技术的进一步优化都是十分有益的。

作者本着三个要点指导本书的编写工作：

(1) 保证专业知识在硬件课程群体体系中的连贯性。在介绍硬件专业基础知识时，考虑到核心课程“数字逻辑”、“计算机组成原理”、“计算机系统结构”等课程中一些知识点的重叠性，把相同或类似的知识集中整合进行了统一讲解。

(2) 本着由简单到复杂、由浅入深的原则，通过前提基础知识的介绍，例如，数制之间的相互转换到逻辑代数求解实际数字电路问题的一个自然过渡，让读者轻松掌握专业技能。

(3) 核心知识与习题的协调统一。为了让读者更好地理解教材中所阐述的内容，每章都有针对性地安排了习题，并全部给出了解答，能够有效帮助读者深入了解与掌握本书中的重点内容。

全书共分8章。第1章介绍计算机系统的分类方法，计算机系统的组成，计算机系统的层次划分方法，计算机系统内部的数制转换技术，数字代数基础与基本门电路，数的定点表示与浮点表示以及码制。第2章介绍计算机指令系统中指令格式等基本概念，与指令及操作数有关的寻址方式，指令系统中七类指令的功能与执行过程分析。第3章介绍逻辑代数的基本定律及规则，逻辑函数的代数化简方法与卡诺图化简方法，组合逻辑电路的分析与设计方法，竞争冒险及其成因，消除竞争冒险的技术

手段。第4章介绍触发器的性质、分类，基本触发器存储信息的原理，具有同步功能的常用时序触发器，以及时序逻辑电路的分析与设计方法，常用中规模集成时序逻辑电路的设计与分析方法。第5章介绍输入输出系统的组成、功能，总线的分类及输入输出总线的控制方式、通讯技术及总线标准化，通道处理机的工作原理及工作过程，输入输出系统中的中断技术。第6章介绍存储体系的基本概念，衡量存储体的性能指标，存储层次的形成与发展，虚拟存储器与高速缓冲存储器的工作原理、特点及替换算法。第7章介绍重叠技术与流水技术的原理及相互区别，流水线的分类方法，流水线的吞吐率、加速比、效率及计算方法，流水线中的数据相关、控制相关、结构相关、通用寄存器组相关、指令相关及解决这些相关的具体方案，流水线的调试策略。第8章介绍CPU的逻辑功能、组成和工作机制，包括执行指令、控制各类操作等，重点介绍算术、逻辑运算部件及运算方法。

由于作者的水平有限，书中难免有错误和不妥之处，恳请广大读者批评指正。

作者

2013年2月

目 录

CONTENTS

第 1 章 计算机基础知识	1
1.1 计算机系统	1
1.1.1 计算机的分类	1
1.1.2 计算机系统的组成	2
1.2 数制	4
1.2.1 计数进位制	4
1.2.2 二进制数的运算	9
1.3 逻辑代数基础与基本逻辑门电路	10
1.3.1 基本逻辑运算	10
1.3.2 基本逻辑门电路	12
1.4 数的定点表示与浮点表示(定点数与浮点数)	15
1.4.1 定点数	15
1.4.2 浮点数	16
1.4.3 带符号数的表示方法:原码、反码、补码和移码	17
1.5 码制	20
1.5.1 十进制的代码(BCD 码)	20
1.5.2 可靠性编码	21
习题及解答	24
第 2 章 指令系统与寻址方式	31
2.1 指令的基本格式	31
2.2 寻址方式	33
2.2.1 基本概念术语	33
2.2.2 有效地址 EA 与段超越	34
2.2.3 与操作数有关的寻址方式	36
2.2.4 与转移指令的偏移地址有关的寻址方式	40

2.3 指令系统	45
2.3.1 数据传送类指令	46
2.3.2 算术运算类指令	52
2.3.3 逻辑运算和移位类指令	60
2.3.4 串操作类指令	62
2.3.5 输入输出类指令(该类指令均不影响条件码)	64
2.3.6 控制转移类指令(该类所有指令均不影响条件码)	65
习题及解答	71
第3章 组合逻辑电路	77
3.1 逻辑代数的基本定律及规则	77
3.1.1 逻辑函数间的相等	77
3.1.2 逻辑代数的基本规律	78
3.1.3 逻辑代数中的三个规则	78
3.2 逻辑函数的化简方法	80
3.2.1 “与或”式、“或与”式	80
3.2.2 最小项与最大项	80
3.2.3 代数化简方法	84
3.3 逻辑函数的卡诺图化简方法	86
3.3.1 卡诺图	86
3.3.2 卡诺图的化简	88
3.3.3 包含无关最小项的逻辑函数的化简	91
3.4 组合逻辑电路	93
3.4.1 组合逻辑电路的分析	93
3.4.2 组合逻辑电路的设计	96
3.4.3 组合逻辑电路中的竞争冒险	98
3.4.4 中规模逻辑器件全加器	101
习题及解答	103
第4章 触发器与时序逻辑电路	119
4.1 触发器的性质与分类	119
4.1.1 触发器的性质	119
4.1.2 触发器的分类	119
4.2 基本 RS 触发器(也叫直接置位、复位触发器)	120
4.3 时序触发器	121
4.3.1 分类、术语及功能表现方式	122
4.3.2 同步 SR 触发器	122
4.3.3 D 触发器、JK 触发器和 T 触发器	124

4.3.4	触发方式与空翻·····	125
4.4	时序逻辑电路·····	129
4.4.1	时序逻辑电路概述·····	129
4.4.2	时序逻辑电路的分类·····	129
4.4.3	时序逻辑电路的分析·····	130
4.4.4	时序逻辑电路的设计·····	133
	习题与解答·····	136
第5章	总线、中断与 I/O 系统 ·····	147
5.1	总线系统·····	147
5.1.1	总线的基本概念·····	147
5.1.2	总线的控制方式(仲裁策略)·····	150
5.1.3	总线的通信技术·····	152
5.2	中断系统·····	154
5.2.1	基本概念·····	154
5.2.2	中断分类·····	155
5.2.3	中断服务程序入口地址的获取方式·····	156
5.2.4	中断处理程序的优先级别·····	156
5.3	输入输出系统·····	160
5.3.1	I/O 系统的组成·····	160
5.3.2	I/O 系统的功能·····	160
5.3.3	I/O 系统的 4 种工作方式·····	160
5.4	通道处理机与外围处理机·····	162
5.4.1	工作原理及工作过程·····	162
5.4.2	具有通道的计算机系统结构·····	163
5.4.3	通道的类型·····	163
5.4.4	通道的流量分析·····	164
5.4.5	外围处理机·····	168
	习题及解答·····	169
第6章	存储系统 ·····	179
6.1	概述·····	179
6.1.1	分层存储体系结构·····	179
6.1.2	衡量存储器性能的参数·····	179
6.1.3	各指标间的矛盾·····	180
6.1.4	解决措施·····	180
6.1.5	存储器的分类·····	181
6.2	存储体系的形成与发展·····	181

6.2.1	存储体系的演变过程	181
6.2.2	并行主存系统频宽的分析	182
6.2.3	存储体系	183
6.3	虚拟存储器	186
6.3.1	不同的虚拟存储管理方式	186
6.3.2	页式虚拟存储器构成	190
6.3.3	替换算法	193
6.4	高速缓冲存储器	201
6.4.1	基本结构	202
6.4.2	地址的映像与变换方法	203
6.4.3	替换算法的实现	213
6.4.4	Cache 的透明性及性能分析	215
6.4.5	Cache-主存-辅存存储层次	219
6.4.6	主存保护	219
	习题及解答	220
第 7 章	重叠与流水方式	231
7.1	重叠解释方式的基本思想	231
7.1.1	微操作解释方式	231
7.1.2	顺序解释与重叠解释	231
7.1.3	重叠对计算机组成的要求	232
7.2	相关处理方法	234
7.2.1	指令相关的处理	234
7.2.2	主存空间数相关的处理	234
7.2.3	通用寄存器组相关的处理	235
7.3	流水方式	238
7.3.1	基本概念	238
7.3.2	流水线处理机的主要性能	242
7.4	流水机器的相关处理和流水线调度	251
7.4.1	流水机器中的相关处理	252
7.4.2	流水线调度	254
	习题及解答	258
第 8 章	CPU 子系统	265
8.1	CPU 的结构	265
8.1.1	CPU 的功能	265
8.1.2	CPU 结构框图	265
8.1.3	CPU 内部寄存器	266

8.1.4	控制单元	266
8.1.5	ALU	267
8.1.6	中断系统	267
8.2	指令周期	267
8.2.1	指令周期的基本概念	267
8.2.2	指令周期的数据流	268
8.3	操作命令分析	269
8.3.1	取指周期	269
8.3.2	间址周期	270
8.3.3	执行周期	270
8.4	控制单元的功能	271
8.4.1	控制单元的外特性	271
8.4.2	控制信号举例	272
8.4.3	多级时序系统	274
8.4.4	控制方式	275
8.4.5	多级时序系统实例分析	276
8.5	运算方法	278
8.5.1	定点加减运算	278
8.5.2	溢出判断	279
8.5.3	定点乘法运算	282
8.5.4	定点除法运算	287
8.5.5	浮点四则运算	290
	习题及解答	292
	参考文献	297

第 1 章

计算机基础知识

本章主要内容包括计算机系统的分类方法,计算机系统的组成,计算机系统的层次划分方法,计算机系统内部的数制转换技术,数字代数基础与基本门电路,数的定点表示与浮点表示以及码制。最后针对本章重点内容安排了习题及详细解答。

1.1 计算机系统

1.1.1 计算机的分类

从专业的角度来讲,计算机的分类方法有许多种。站在不同的视角上,就会产生不同的分类。主要的分类方式有以下 3 种。

1. 分类方式一

- ① 模拟计算机;
- ② 数字计算机;
- ③ 数字模拟混合计算机。

2. 分类方式二

- ① SSI: 小规模集成申遗电路;
- ② MSI: 中规模集成电路;
- ③ LSI: 大规模集成电路;
- ④ VLSI: 超大规模集成电路。

3. 分类方式三

- ① 巨型机;
- ② 大型机;
- ③ 中型机;
- ④ 小型机;
- ⑤ 微型机。

当然,从使用者的角度划分,还可以根据机器的外形特征划分成台式机、便携机等。

1.1.2 计算机系统的组成

完整的计算机系统组成,经典描述如图 1.1 所示。

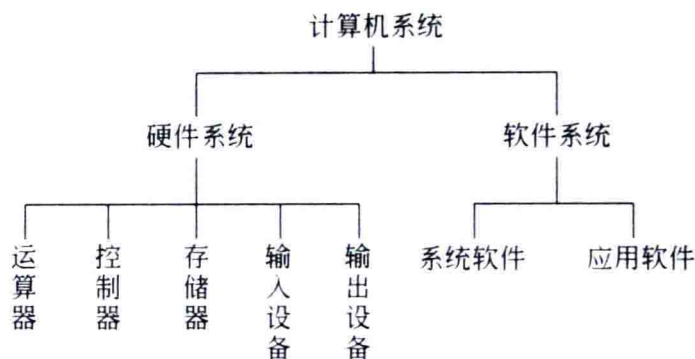


图 1.1 计算机系统的组成描述图

软件系统与硬件系统的关系：软件依赖于硬件而存在,所谓皮之不存,毛将焉附。硬件的性能依靠软件得以发挥,没有软件的硬件会成为无本之木。

计算机系统的简单结构如图 1.2 所示。

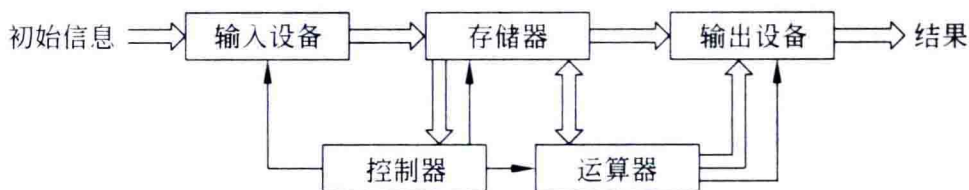


图 1.2 计算机系统的结构框图

现在从一种全新的视角即语言使用者的角度,进一步了解和认识计算机系统。在这一过程中,明确如下几个概念。

(1) 编译：是指将计算机所不识别的机外信息转化为能被计算机识别和处理的 0、1 代码的过程。在这一过程中,通常采取两种常用的技术手段或方法,即翻译和解释。

(2) 翻译：把某种语言统一转换成计算机机器语言,然后再执行机器语言以得到结果的技术。

(3) 解释：把某种语言从第一条语句执行开始,逐条转换成机器语言,转换一条执行一条,直到最后一条转换并执行的技术。

(4) 透明性：本来存在的事物或属性,从某个角度看好像不存在,把这种属性称为透明性。

(5) 透明性带来的好处：由于不用了解,所以简化了设计,方便了实现。

(6) 透明性所无法克服的弊端：容易失控,一旦出现问题,难以发现根源。

从使用语言的角度可以把计算机系统分成如图 1.3 所示的多级层次结构。在这个层次结构图中,软硬交界面在不同的时期是可以发生变化的,如图 1.4 所示。

(7) 裸机：完全由硬件组成的计算机。

(8) 虚拟机：完全由软件组成的计算机。

裸机与虚拟机的关系是：没有裸机,那么任何软件便没有可依赖的基础,而如果没有虚拟机,那么再好的机器硬件性能也难以得到表现,即硬件是根本,外因是条件。

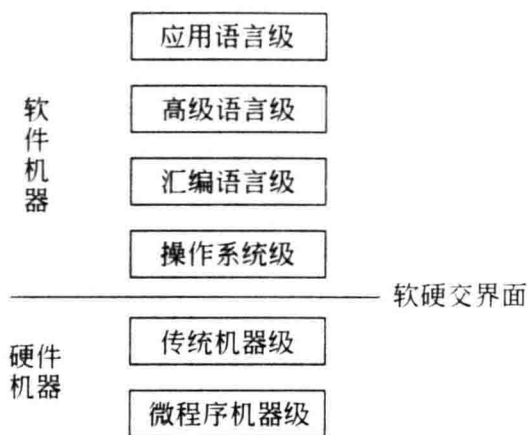


图 1.3 计算机系统的多级层次结构图

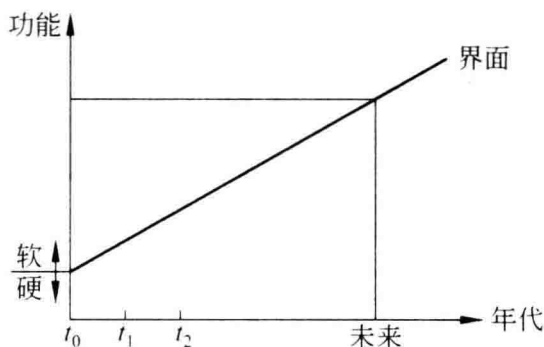


图 1.4 计算机软硬交界面的浮动情况图

例 1-1：有一个经解释实现的计算机，可按功能划分成 4 级。每一级为了执行一条本级指令需要下一级的 N 条指令解释。若执行第一级的一条指令需要时间 K_{ns} ，那么执行第 2、3、4 级的一条指令各需要多长时间？请见图 1.5。

设 $t_1, t_2, \dots, t_4$ 为一条指令的第 1 级至第 4 级的执行时间。

例 1-2：有一个计算机系统可按功能划分成 4 级，各级的指令都不相同，每一级的指令都比其下一级的指令在效能上强 M 倍，即第 i 级的一条指令能完成第 $i-1$ 级的 M 条指令的计算量。现若需要第 $i-1$ 级的 N 条指令解释第 i 级的一条指令，那么，有一段在第 1 级的程序运行时需要 k_s ，问在第 2、3、4 级上的一段等效程序各需要运行多长时间？

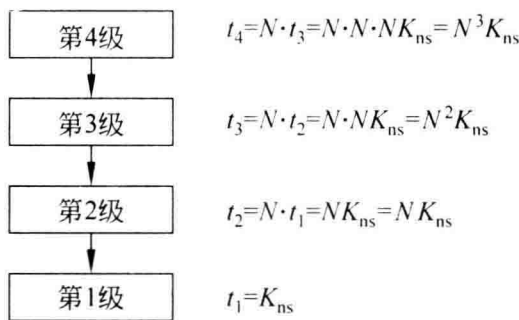


图 1.5 例 1-1 的解答

设在第一级上运行的程序共有 x 条第一级的语句，则有 $t_1 = \frac{k_s}{x}$ 便是第一级的一条语句运行时所需的时间，依次可类推出 t_2 至 t_4 。设 l_1 是程序在第一层运行时所需的本层语句条数，则依次可类推出 l_2 至 l_4 。设 T_1 是程序在第一层运行时所需要的时间，则依次可类推出 T_2 至 T_4 ，如图 1.6 所示。

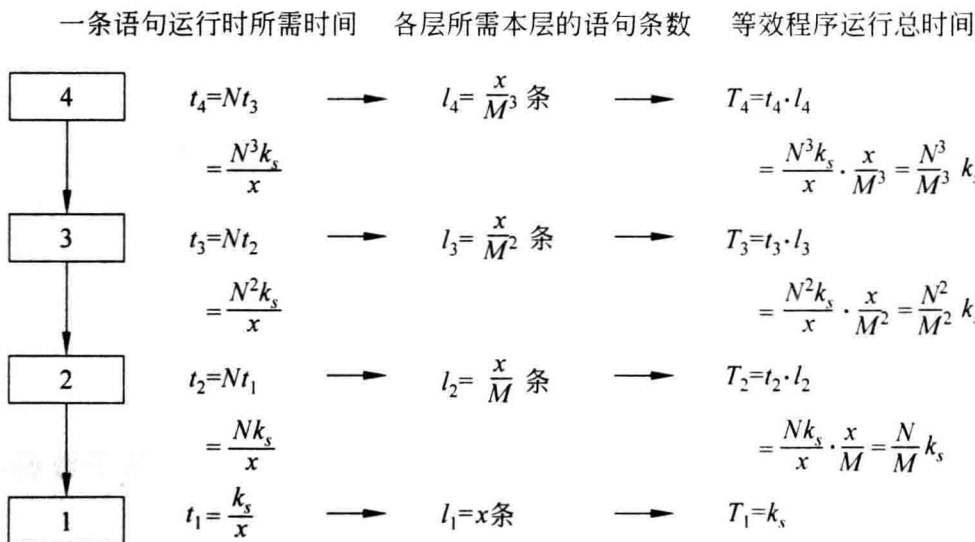


图 1.6 例 1-2 的解答

1.2 数 制

1.2.1 计数进位制

计数进位制是指按照累计的数量达到某个约定的数值时便产生一个进位的计数方法,通常把它称为位置表示法。

位置表示法:同一个数字处在不同的数位上,所代表的数值就不同,这种与位置有关的表示法称为位置表示法。

常用的位置表示法包括十进制、六十进制、十二进制、二进制表示法等。

1. 十进制

(1) 数码:在某种进制中允许使用的不同的数字符号。

- 十进制: 0, 1, 2, ..., 9;
- 八进制: 0, 1, 2, ..., 7;
- 十六进制: 0, 1, 2, ..., 9, A, B, C, D, E, F;
- 二进制: 0, 1。

(2) 数位:数码所处的具体位置。

同一个数码处在不同的位置,其代表的数值是不同的。

例 1-3:以十进制数 77.77 为例,该数据仅包含十进制数中不同的十个数码 0...9 中的 7,但 7 这个数码分别出现在十位至百分位四个不同的位置上,每个不同位置上的 7 所代表的数值是不同的。

十位	个位	十分位	百分位
7	7	7	7
7×10^1	7×10^0	7×10^{-1}	7×10^{-2}
↓	↓	↓	↓
70	7	0.7	0.07

(3) 基数(底数):某一计数制中可以使用的不同的数码的个数(每一位上所允许选用的数码个数)。如例 1-3 中的基数是十。

(4) 位权:每一位上所代表的数的量级,称为该数位上的权。

一般情况:对任何一个十进制数 N ,可以表示成

$$\begin{aligned}
 N &= \pm a_{k-1} a_{k-2} a_{k-3} \cdots a_1 a_0 . a_{-1} a_{-2} \cdots a_{-m} \\
 &= (a_{k-1} \times 10^{k-1} + a_{k-2} \times 10^{k-2} + \cdots + a_1 \times 10^1 + a_0 \times 10^0 \\
 &\quad + a_{-1} \times 10^{-1} + a_{-2} \times 10^{-2} + \cdots + a_{-m} \times 10^{-m}) \\
 &= \pm \sum_{i=-m}^{k-1} (a_i \times 10^i)
 \end{aligned}$$

其中, i, k 均为整数, i 可以称为数码 a_i 的数位序号。且每一个 a_i 属于数码 0, 1, ..., 9 其中的一个。

显然:数位 i 上的数码所代表的数值等于(数码 $\times$ 位权),即 $a_i \times 10^i$ 。

2. 二进制

(1) 特点：有两个不同的数码（0和1，逢二进一）。

(2) 优势：

- 二进制容易表示。
- 二进制运算简单。
- 节省设备、元器件。
- 可用逻辑代数简化电路结构。

任何一个二进制数 N 都可以表示为

$$\begin{aligned}(N)_2 &= \pm (a_n a_{n-1} \cdots a_2 a_1 a_0 . a_{-1} a_{-2} \cdots a_{-m})_2 \\ &= \pm (a_n \times 2^n + a_{n-1} \times 2^{n-1} + \cdots + a_2 \times 2^2 + a_1 \times 2^1 + a_0 \times 2^0 \\ &\quad + a_{-1} \times 2^{-1} + a_{-2} \times 2^{-2} + \cdots + a_{-m} \times 2^{-m})_2 \\ &= \pm \sum_{i=-m}^n (a_i \times 2^i)_2\end{aligned}$$

例 1-4：某个 r 进制数的书写方式可以用若干对数的数码序列连起来，然后加上个指标 r 。

$$1010 = 1 \times 10^3 + 0 \times 10^2 + 1 \times 10^1 + 0 \times 10^0 = 1010$$

$$(1010)_2 = 1 \times 2^3 + 0 \times 2^2 + 1 \times 2^1 + 0 \times 2^0 = 10$$

$$\begin{aligned}(1101.11)_2 &= 1 \times 2^3 + 1 \times 2^2 + 0 \times 2^1 + 1 \times 2^0 + 1 \times 2^{-1} + 1 \times 2^{-2} \\ &= 8 + 4 + 1 + 0.5 + 0.25 \\ &= 13.75\end{aligned}$$

通常的尾标字母有：

- 二进制尾标字母为 B。
- 八进制尾标字母为 Q。
- 十六进制尾标字母为 H。
- 十进制尾标字母为 D (D 可省略，如果一个数字不带尾标字母，默认是十进制数)。

3. 十进制到二进制的转换

给定任意一个十进制数，如何将它转换成相应的二进制数呢？例如：如何将 $(233.8125)_{10}$ 转换为二进制数。

对于任意十进制数，将其转换成二进制数时，应该将整数与小数两部分分别进行转换。为什么要分别进行转换呢？因为转换的原理和过程是不一样的。

(1) **整数转换规则：**除基取余逆序。如此反复，直到商为 0 时才结束，最后得到的余数便是二进制数的最高位。其详细过程如下：

奇数	2 233		逆序	偶数	2 232	
	2 116	→ 1 = a_0	↑		2 116	→ 0
	2 58	→ 0 = a_1			2 58	→ 0
	2 29	→ 0 = a_2			2 29	→ 0
	2 14	→ 1 = a_3			2 14	→ 1
	2 7	→ 0 = a_4			2 7	→ 0
	2 3	→ 1 = a_5			2 3	→ 1
	2 1	→ 1 = a_6			2 1	→ 1
	0	→ 1 = a_7			0	→ 1