

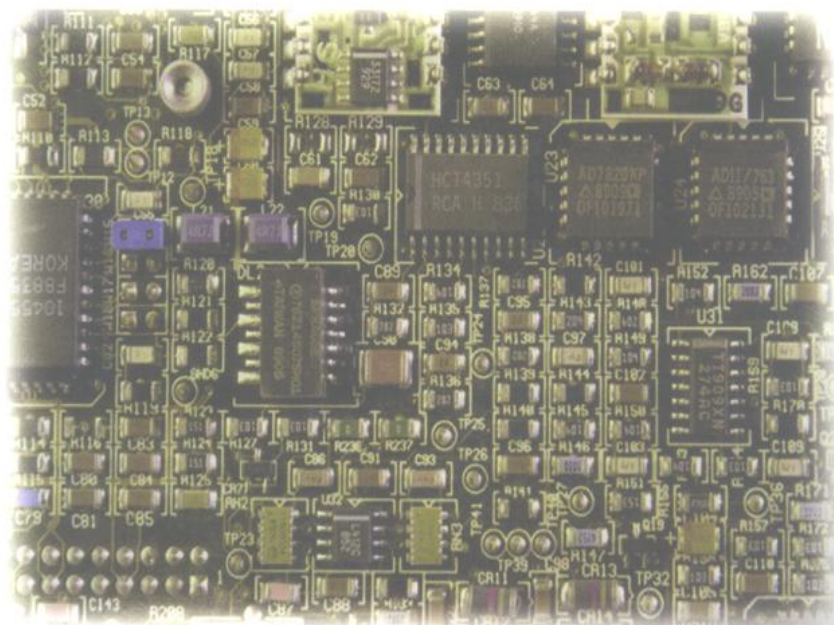


清华大学计算机基础教育课程系列教材

计算机硬件技术基础

(第2版)

张菊鹏等 编著



清华大学出版社

<http://www.tup.tsinghua.edu.cn>





清华大学计算机基础教育课程系列教材

TP303-43
ZJP/1

计算机硬件技术基础

(第 2 版)

张菊鹏等 编著



清华大学出版社

<http://www.tup.tsinghua.edu.cn>

157591

(京)新登字 158 号

内 容 简 介

本书是为清华大学非计算机专业本科生必修课程“计算机硬件技术基础”编写的同名教材的第 2 版。与第 1 版一样,书中首先介绍了微型计算机的基础知识、组成及基本工作原理;分析了 8086/8088 微处理器的寻址方式、指令系统、汇编语言程序设计和总线操作时序;接着讲述了微机和外设的数据传输方式、微机的中断系统;然后以 IBM PC/XT 为核心阐述了微型计算机系统中有关硬件的基础知识,逐一讲述了存储器、计数器/定时器 8253、中断控制器 8259A、并行接口 8255A、串行接口 8251、D/A 和 A/D 等芯片的原理与应用,并对常用外设的原理作了简单介绍。

在第 2 版中主要增加了 Intel 系列高档微处理器的内容,包括 80386~Pentium Pro 新增的指令;32 位微处理器的工作原理及其先进的硬、软件技术;以及与 32 位微处理器对应的存储器接口、总线接口、外设等有关的计算机先进技术。通过对上述基本知识的学习和总结,可使读者对微型计算机系统有一个完整和全面的了解。

本书是清华大学计算机基础教育课程系列教材之一,适于作为大专院校非计算机类各专业学生的教材,也可作为成人高等教育的培训教材及广大科技工作者的自学参考书。本书配套的《计算机硬件技术基础实验指导》、《计算机硬件技术基础习题集》及“计算机硬件技术基础”电子教案由清华大学出版社出版。

版权所有,翻印必究。

本书封面贴有清华大学出版社激光防伪标签,无标签者不得销售。

JS21/19

图书在版编目(CIP)数据

计算机硬件技术基础/张菊鹏等编著. —2 版. —北京:清华大学出版社,2000
清华大学计算机基础教育课程系列教材
ISBN 7-302-03970-4

I. 计… II. 张… III. 电子计算机-硬件-高等学校-教材 IV. TP303

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2000)第 35190 号

出版者:清华大学出版社(北京清华大学学研大厦,邮编 100084)

<http://www.tup.tsinghua.edu.cn>

印刷者:北京市人民文学印刷厂

发行者:新华书店总店北京发行所

开 本:787×1092 1/16 印张:29.25 字数:668 千字

版 次:2000 年 9 月第 2 版 2000 年 9 月第 1 次印刷

书 号:ISBN 7-302-03970-4/TP·2323

印 数:0001~5000

定 价:32.00 元

序

计算机科学技术的发展不仅极大地促进了整个科学技术的发展,而且明显地加快了经济信息化和社会信息化的进程。因此,计算机教育在各国备受重视,计算机知识与能力已成为 21 世纪人才素质的基本要素之一。

清华大学自 1990 年开始将计算机教学纳入基础课的范畴,作为校重点课程进行建设和管理,并按照“计算机文化基础”、“计算机技术基础”和“计算机应用基础”三个层次的课程体系组织教学:

第一层次“计算机文化基础”的教学目的是培养学生掌握在未来信息化社会里更好地学习、工作和生活所必须具备的计算机基础知识和基本操作技能,并进行计算机文化道德规范教育。

第二层次“计算机技术基础”是讲授计算机软硬件的基础知识、基本技术与方法,从而为学生进一步学习计算机的后续课程,并利用计算机解决本专业及相关领域中的问题打下必要的基础。

第三层次“计算机应用基础”则是讲解计算机应用中带有基础性、普遍性的知识,讲解计算机应用与开发中的基本技术、工具与环境。

以上述课程体系为依据,设计了计算机基础教育系列课程。随着计算机技术的飞速发展,计算机教学的内容与方法也在不断更新。近几年来,清华大学不断丰富和完善教学内容,在有关课程中先后引入了面向对象技术、多媒体技术、Internet 与互联网技术等。与此同时,在教材与 CAI 课件建设、网络化的教学环境建设等方面也正在大力开展工作,并积极探索适应 21 世纪人才培养的教学模式。

为进一步加强计算机基础教学工作,适应高校正在开展的课程体系与教学内容的改革,及时反映清华大学计算机基础教学的成果,加强与兄弟院校的交流,清华大学在原有工作的基础上,重新规划了“清华大学计算机基础教育课程系列教材”。

该系列教材有如下几个特色:

1. 自成体系:该系列教材覆盖了计算机基础教学三个层次的教学内容。其中既包括所有大学生都必须掌握的计算机文化基础,也包括适用于各专业的软、硬件基础知识;既包括基本概念、方法与规范,也包括计算机应用开发的工具与环境。

2. 内容先进:该系列教材注重将计算机技术的最新发展适当地引入教学中来,保持了教学内容的先进性。例如,系列教材中包括了面向对象与可视化编程、多媒体技术与应用、Internet 与互联网技术、大型数据库技术等。

3. 适应面广: 该系列教材照顾了理、工、文等各种类型专业的教学要求。

4. 立体配套: 为适应教学模式、教学方法和手段的改革, 该系列教材中多数都配有习题集和实验指导、多媒体电子教案, 有的还配有 CAI 课件以及相应的网络教学资源。

本系列教材源于清华大学计算机基础教育的教学实践, 凝聚了工作在第一线的任课教师的教学经验与科研成果。我希望本系列教材不断完善, 不断更新, 为我国高校计算机基础教育做出新的贡献。



1999 年 12 月

注: 周远清, 现任教育部副部长, 原清华大学副校长、计算机专业教授。

前 言

一、本书修订背景

为配合清华大学非计算机专业计算机硬件技术基础课的教学,我们于1996年2月编写了《计算机硬件技术基础》(第1版),并由清华大学出版社出版。由于计算机技术的发展日新月异,本课程的教学内容也在不断更新。为适应这种情况,我们决定对本书第1版进行修订,并编写配套的实验指导和习题集。

作为教材,针对非计算机类各专业对象的特点,以及目前实验设备等条件的制约,我们认为以16位微型计算机为起点来学习微型计算机的原理,辅之以32位微型计算机的有关内容,在当前是较为适合的。本书的修订正是基于这一思路,近两年的教学实践也证明这种教学安排是恰当的。

修订内容主要有以下几方面:

1. 去掉了原第9章“微机系统应用与开发”,改为“Intel系列高档微处理器”。该章先以80386为基础介绍了32位微处理器的基本工作原理,接下来分析了80486, Pentium及Pentium Pro的技术特点,结合这些微处理器重点叙述了现代先进计算机硬、软件技术。

2. 重写了原书第5章,在这一章中除增加了32位、64位数据总线与存储器的接口外,还介绍了当前应用越来越广泛的存储芯片Flash memory及PLD可编程译码器。

3. 其它各章的改动有:第1章的“微型计算机中的常用逻辑部件”一节删除(移至《计算机硬件技术基础实验指导》中);第2章增加了“Intel 32位微处理器的寻址方式及指令系统”一节;第3章的汇编语言程序设计部分添加了32位微处理器指令的编程实例;第7章增添了扩展的ISA总线及PCI总线;第10章引入了部分新型常用外设。

4. 从文字表达上对全书作了修订。

二、本书特点和内容摘要

本书适合于作为大专院校非计算机专业计算机硬件技术基础课的教材,是一本面向广大非计算机专业人员和初学者的入门教材。本书第1版已经在清华大学及部分兄弟院校的非计算机专业中使用,取得了良好的教学效果。

本书的作者多年来在清华大学从事非电专业的计算机硬件技术基础教学。我们认为,通过本书的学习,读者应能将本专业最基本的信息,动态实时地输入到计算机中去,经计算或处理后能够输出出来,构成一个实际系统。考虑到课程的学时一般偏少,这就决定了

本书具有如下特点:

1. 从内容取舍上尽可能做到少而精。

2. 编写上力图通俗易懂,由浅入深,各章节都插有应用实例,以加深对基本概念的理解和掌握。特别是“指令系统”和“汇编语言程序设计”这两章,适合读者自学,当课程的学时安排偏少时,这部分内容可减少学时讲授。

3. 实验对学好本门课程非常重要,读者可通过配套的《计算机硬件技术基础实验指导》中的实验安排,在实践中加深对本书内容的理解和熟练掌握。实验指导中除基本实验外,还提供了部分提高实验,如液晶显示,语音检测与回放,光笔检测条形码等,供有兴趣的读者选做。

本书共分10章。

第1章 微型计算机基础知识:讲述了数码系统、计算机的基本结构及工作原理、Intel 80X86 微处理器。

第2章 指令系统:对8086/8088及80X86~Pentium Pro微处理器每条指令的格式、功能都有举例说明,有些指令还有程序应用段的实例。

第3章 汇编语言程序设计:介绍了宏汇编基本语法、伪指令、汇编语言程序设计及举例。

第4章 8088的总线周期和时序:分析了两种模式下的时序。

第5章 半导体存储器及其接口:在讲述了RAM,ROM,EPROM及flash memory之后,对16位、32位、64位数据总线与存储器的接口作了举例说明。

第6章 输入/输出和中断控制器:介绍了CPU与外设的数据传送方式、中断的概念、8086/8088的中断方式、常用DOS和BIOS中断、定时中断和键盘中断应用举例。

第7章 常见接口电路:对接口电路功能及与系统的连接进行讲述后,重点介绍了可编程定时器、可编程并行接口及可编程串行通信接口。

第8章 数/模和模/数转换:讲述了D/A芯片、A/D芯片与CPU的连接及应用实例,并对采样保持电路作了简单介绍。

第9章 Intel系列高档微处理器:在讲述了80386微处理器的基本工作原理后,分析了80486,Pentium及Pentium Pro的技术特点,并对现代先进计算机的一些硬、软件技术作了介绍。

第10章 计算机常用外部设备:介绍了一些常用外设的基本工作原理。

三、本书使用指南

本书内容的讲课学时为48学时,实验学时为18学时(每学时45分钟)。建议讲课学时分配如下:第1章5学时,第2~3章15~17学时,第4章2学时,第5章2学时,第6章8学时,第7章4学时,第8章6学时,第10章4学时。对课程学时安排较少的学校,也可采用32学时的讲课,15学时的实验。建议讲课学时改为:第1章4学时,第2~3章10~12学时,第5章2学时,第6章6学时,第7章3学时,第8章5学时。

与本书配套的教材有:《计算机硬件技术基础习题集》和《计算机硬件技术基础实验指导》。前者对现有习题集进行了补充,并对其中部分习题提供解答;后者除基本实验外,还汇集了部分提高实验。此外还有用 PowerPoint 制作的“计算机硬件技术基础电子教案”,供讲课时用计算机联机大屏幕投影演示,或输出成投影胶片,以取代板书。

本书第 3,7,10 章由沈永林执笔,第 5,6,8 章由李芙英执笔,其余章节由张菊鹏执笔。

编 者

1999 年 10 月

第1版前言

计算机基础教育是面向非计算机类各专业学生的计算机教育。与其它传统的基础课(如数学、物理、化学、外语等)一样,计算机教育已成为大学本科生基础教学的重要组成部分。

计算机基础教育大致可分为三个层次:即“计算机文化基础”、“计算机技术基础”和“计算机应用基础”。

“计算机文化基础”课程是为了培养人们的“计算机意识”,使人们具备必要的计算机基础知识,掌握计算机的基本操作技能,以便于在未来信息化社会中更好地工作、学习和生活。

“计算机技术基础”课程则是为同学们毕业后在各自专业领域从事一些计算机的应用开发工作,为今后进一步学习计算机软、硬件知识与技术打下一个较为全面的基础。

而“计算机应用基础”课程则是针对当前计算机的主要应用领域,将那些通用的、具有普遍意义的内容传授给学生,使他们初步掌握计算机应用中一些必要的知识、方法、工具和技能。

本书是上述第二层次——“计算机技术基础”中有关硬件方面的适用教材。

本书以 8086/8088 CPU 的 16 位微型计算机系统 IBM PC/XT 作为基础,介绍 CPU 的结构、指令系统、存储器及输入/输出接口电路。这一方面是因为对初学者来说,学习微型计算机硬件原理以此为起点较易入门;另一方面 IBM PC/XT 曾经是最具有代表性的主流机型,其设计思想、体系结构、接口芯片的安排及信号关系等仍被高等微型计算机设计者在设计时作为参考因素。由于 Intel 80X86 系列机具有兼容性,因此了解它的工作原理后,有利于掌握微型计算机及其系统的概念,并为进一步学习和应用 32 位微型计算机打下良好的基础。

本书是编者以清华大学非电专业“计算机硬件技术基础”课的讲稿为基础而编著的教材。讲课学时安排为 48 至 64 学时。内容取材上注意做到少而精;叙述方法上力图由浅入深、循序渐进;章节安排上尽量使之独立成章,供讲授时选择,以适应不同读者的需要。第 10 章及第 1、9 章部分内容是针对非计算机专业的特点而增加的自学参考知识。

本书第 1,2,4,9 章由张菊鹏编写,第 3,7,10 章由沈永林编写,第 5,6,8 章由李芙英编写,全书由张菊鹏修改定稿。由于编者水平有限,书中难免存在错误及不妥之处,敬请读者提出宝贵意见。

编者

于 1996 年 2 月

目 录

第 1 章 微型计算机基础知识	1
1.1 计算机中的数和编码系统	1
1.1.1 常用进位计数制.....	1
1.1.2 各种进位制数之间的转换.....	3
1.1.3 二进制数的运算.....	4
1.1.4 计算机中带符号数的表示	8
1.1.5 8 位与 16 位二进制数的表示范围	12
1.1.6 计算机中数据单元表示法	13
1.1.7 计算机中字符的表示	14
1.2 微型计算机概述.....	16
1.2.1 微型计算机的基本结构	16
1.2.2 微型计算机的特点	18
1.2.3 微处理器、微型计算机和微型计算机系统.....	19
1.3 8086/8088 微处理器	21
1.3.1 8086/8088 的寄存器结构	21
1.3.2 8086/8088 的编程结构	23
1.3.3 8086/8088 的存储器组织	24
1.3.4 8086/8088 的 I/O 端口组织	27
1.3.5 8086/8088 的状态标志寄存器	27
1.4 IBM PC/XT 的基本配置	30
第 2 章 指令系统	33
2.1 8086/8088 的寻址方式	33
2.1.1 立即寻址	33
2.1.2 寄存器寻址	34
2.1.3 直接寻址	34
2.1.4 寄存器间接寻址	35
2.1.5 寄存器相对寻址(或称变址寻址)	35
2.1.6 基址加变址寻址	36
2.1.7 相对的基址加变址寻址	37
2.2 8086/8088 指令系统的概貌	37
2.2.1 指令的基本构成	37
2.2.2 指令的执行时间	42
2.3 8086/8088 指令系统	44

2.3.1	数据传送指令	45
2.3.2	算术运算指令	54
2.3.3	逻辑运算和移位指令	66
2.3.4	串操作指令	72
2.3.5	控制转移指令	76
2.3.6	处理器控制指令	83
2.4	Intel 32 位微处理器的寻址方式及指令系统	84
2.4.1	寻址方式	85
2.4.2	指令系统	87
第3章	汇编语言程序设计	97
3.1	宏汇编基本语法	98
3.1.1	汇编语言程序举例	98
3.1.2	汇编语言源程序结构	99
3.1.3	数据项及表达式	99
3.2	指示性语句	104
3.2.1	变量定义语句	104
3.2.2	符号赋值语句	106
3.2.3	段定义语句	106
3.2.4	过程定义语句	108
3.2.5	程序模块定义	109
3.3	汇编语言程序设计概述	110
3.3.1	程序的质量标准	110
3.3.2	编制汇编语言程序的步骤	111
3.3.3	程序流程图	111
3.4	数据输入和输出	112
3.4.1	输入字符串	112
3.4.2	输出字符串	114
3.5	顺序程序设计	114
3.6	分支程序设计	115
3.7	循环程序设计	119
3.8	子程序设计	124
3.8.1	寄存器传送参数	125
3.8.2	利用变量传送参数	126
3.8.3	利用地址表传送参数	129
3.8.4	利用堆栈传送参数	130
3.9	常见程序及软中断程序设计	132
3.9.1	常见程序设计	132

3.9.2	软中断程序设计	137
3.10	宏汇编和条件汇编	140
3.10.1	宏汇编	140
3.10.2	条件汇编	144
3.11	80X86 汇编语言程序设计	145
3.11.1	概述	145
3.11.2	源程序的基本格式	145
3.11.3	程序设计举例	146
第 4 章	8088 的总线周期和时序	148
4.1	总线周期的概念	148
4.1.1	总线周期的定义	148
4.1.2	基本总线周期举例	149
4.1.3	总线空闲周期	150
4.2	8088 的工作模式和引脚功能	151
4.2.1	8088 的两种工作模式	151
4.2.2	8088 的引脚和功能	153
4.3	最小模式下的 8088 时序	158
4.3.1	8088 的读周期时序	158
4.3.2	8088 的写周期时序	159
4.3.3	中断响应周期时序	160
4.3.4	8088 的复位时序	160
4.3.5	总线保持请求与保持响应的时序	161
4.3.6	最小模式下的交流参数	162
4.4	最大模式下的 8088 时序	165
4.4.1	总线控制器 8288	166
4.4.2	最大模式下的读周期时序	168
4.4.3	最大模式下的写周期时序	169
4.4.4	最大模式下的交流参数	170
4.5	IBM PC/XT 中的 CPU 子系统	174
4.5.1	时钟发生器 8284A	174
4.5.2	8088 与 8284A,8288 的配合工作	176
4.5.3	系统的等待逻辑电路	178
第 5 章	半导体存储器及其接口	181
5.1	概述	181
5.1.1	存储器分类	181
5.1.2	多层次存储器结构	184
5.1.3	主存储器的结构	184

5.1.4	存储器的主要性能指标	185
5.2	存储器芯片	186
5.2.1	存储器与CPU总线相关的信号线	186
5.2.2	存储器芯片外特性	187
5.2.3	微机内存(主存)的构成	200
第6章	输入/输出和中断控制器	212
6.1	I/O端口地址的译码技术	212
6.1.1	I/O端口的寻址方式	212
6.1.2	输入输出指令	213
6.1.3	端口地址译码	214
6.2	CPU与I/O之间的接口	217
6.2.1	CPU与I/O之间的接口信号	217
6.2.2	接口部件的I/O端口	218
6.3	CPU与外设之间的数据传送方式	218
6.3.1	无条件传送方式	218
6.3.2	查询方式	220
6.3.3	中断传送方式	223
6.3.4	直接存取存储器传送方式(DMA)	236
6.4	BIOS和DOS中断	239
6.5	8259A可编程中断控制器	247
6.5.1	8259A的编程结构和工作原理	247
6.5.2	8259A的引脚	249
6.5.3	8259A的工作方式	249
6.5.4	8259A编程	252
6.5.5	8259A在系统中的连接	261
6.5.6	中断举例	261
第7章	常见接口电路	264
7.1	接口电路功能及总线	264
7.1.1	接口电路功能	264
7.1.2	接口和系统的连接	265
7.1.3	微机系统的标准总线	265
7.1.4	XT总线	266
7.1.5	ISA总线	268
7.1.6	PCI总线	269
7.2	可编程定时器8253	275
7.2.1	概述	275
7.2.2	8253的结构和工作原理	275

7.2.3	编程命令	277
7.2.4	工作方式	279
7.2.5	8253 在 PC/XT 中的使用	283
7.3	可编程并行接口 8255A	284
7.3.1	8255A 的结构	285
7.3.2	8255A 控制字	287
7.3.3	8255A 工作方式 0	289
7.3.4	8255A 工作方式 1	292
7.3.5	8255A 工作方式 2	295
7.3.6	读状态字	298
7.3.7	8255A 应用举例	298
7.4	串行通信	301
7.4.1	概述	301
7.4.2	串行通信的几个问题	302
7.4.3	串行通信的接口标准	304
7.5	可编程串行通信接口 8251A	307
7.5.1	8251A 的基本性能	307
7.5.2	8251A 的工作原理	307
7.5.3	8251A 的对外连接信号	309
7.5.4	8251A 的编程	312
7.5.5	8251A 应用举例	314
第 8 章	数/模和模/数转换	318
8.1	概述	318
8.2	数/模转换器	319
8.2.1	数/模转换器的原理	319
8.2.2	数/模转换器的技术性能	321
8.2.3	典型的数/模转换器及 CPU 与 D/A 芯片的连接	323
8.2.4	数/模转换器的应用	328
8.3	模/数转换器	329
8.3.1	模/数转换器分类及工作原理	330
8.3.2	模/数转换器的技术指标	334
8.3.3	常用模/数转换器与系统的连接要注意的几个问题	335
8.3.4	几种常用的 A/D 芯片	336
8.4	微机系统的数据采集	354
8.4.1	多路开关及其芯片	355
8.4.2	采样保持电路及其芯片	358
8.4.3	微机系统的数据采集	363

第9章 Intel 系列高档微处理器	366
9.1 有关技术名词	366
9.1.1 CISC 和 RISC	366
9.1.2 计算机流水线(computer pipeline)	367
9.1.3 虚拟存储器(virtual memory)	367
9.1.4 高速缓冲存储器(cache)	368
9.2 80386 微处理器	368
9.2.1 80386 的内部功能结构	368
9.2.2 80386 的三种工作方式	369
9.2.3 80386 的寄存器结构	370
9.2.4 80386 的存储管理和保护机制	375
9.2.5 80386 的中断	379
9.3 80486 微处理器	382
9.4 Pentium 微处理器	383
9.5 Pentium Pro 微处理器	385
第10章 计算机常用外部设备	386
10.1 概述	386
10.2 键盘	387
10.3 鼠标及扫描仪	390
10.3.1 鼠标	390
10.3.2 扫描仪	391
10.4 显示器及触摸屏	392
10.4.1 CRT 显示器工作原理	392
10.4.2 显示器接口	393
10.4.3 液晶显示	397
10.4.4 触摸屏	399
10.5 打印机	400
10.5.1 点阵打印机	400
10.5.2 激光打印机	404
10.6 绘图机	405
10.7 软磁盘存储器	407
10.7.1 概述	407
10.7.2 软磁盘驱动器结构	409
10.7.3 软磁盘控制器	409
10.7.4 软磁盘信息组织	413
10.8 硬盘存储器	414
10.8.1 硬盘机的结构和工作原理	414

10.8.2	硬盘机接口	417
10.8.3	硬盘控制器	422
10.8.4	硬盘使用的准备	423
10.9	光盘存储器	424
10.9.1	光盘	424
10.9.2	光盘驱动器	425
附录 1	8086/8088 指令系统表	427
附录 2	BIOS 功能调用	439
附录 3	DOS 功能调用 (INT 21H)	443
	参考文献	448

第 1 章

微型计算机基础知识

1.1 计算机中的数和编码系统

1.1.1 常用进位计数制

在计算机中,数是用二进制表示的,由一串“0”或“1”的二进制数构成的代码是计算机唯一能识别的机器语言。但用二进制数来表示一个较大的数时,既长又不好记,为了阅读和书写方便,计算机中也广泛采用十六进制数。人们习惯于十进制数,故通过输入设备送入计算机的数,以及计算机通过输出设备送出的计算结果,一般都是用十进制表示的。

下面简单介绍一下这几种计数制。

1. 十进制数

十进制数共有 10 个数字符号,为 0~9,逢十进位。

一个十进制数 D 可表示为:

$$\begin{aligned} D &= D_{n-1} \times 10^{n-1} + D_{n-2} \times 10^{n-2} + \cdots + D_0 \times 10^0 + D_{-1} \times 10^{-1} \\ &\quad + \cdots + D_{-m} \times 10^{-m} \\ &= \sum_{i=-m}^{n-1} D_i \times 10^i \end{aligned}$$

其中, D_i 表示第 i 位的数码 0~9 中的 1 个; m 和 n 为正整数, n 为小数点左边的位数, m 为小数点右边的位数; 10 为十进制数的基数, 10^i 称为十进制数的权。

例 十进制数 6543.82 可表示为:

$$6543.82 = 6 \times 10^3 + 5 \times 10^2 + 4 \times 10^1 + 3 \times 10^0 + 8 \times 10^{-1} + 2 \times 10^{-2}$$

2. 二进制数

只有两个不同的数字符号 0 和 1,逢二进位。

一个二进制数 B 可表示为:

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

其中, B_i 只能取 1 或 0; 2 为基数, 2^i 称为二进制数的权; m 和 n 的含意同十进制表达式。于是一个二进制数可用它的权展开式来表示。

$$\text{例 } (10110.011)_2 = 1 \times 2^4 + 0 \times 2^3 + 1 \times 2^2 + 1 \times 2^1 + 0 \times 2^0 + 0 \times 2^{-1} + 1 \times 2^{-2} + 1 \times 2^{-3}$$