

21世纪高等院校创新规划教材



微机原理与接口技术

WEIJI YUANLI YU JIEKOU JISHU

■ 马善农 吴光文 徐猛华 编著



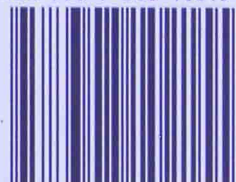
ZHEJIANG UNIVERSITY PRESS
浙江大学出版社



微机原理与接口技术

WEIJIYUANLIYUJIEKOUJISHU

ISBN 978-7-308-10215-5



9 787308 102155 >

定价：32.00元

21 世纪高等院校创新规划教材

微机原理与接口技术

马善农 吴光文 徐猛华 编著



ZHEJIANG UNIVERSITY PRESS

浙江大学出版社

内 容 简 介

本书主要阐述 80x86 汇编语言程序设计方法和微型计算机接口技术。全书共分三个部分:第 1 章和第 2 章为计算机基础知识部分;第 3 章和第 4 章为汇编语言程序设计部分,主要介绍 80x86 的指令系统和寻址方式,以及汇编语言程序设计的编程方法;第 5~8 章主要介绍微型计算机接口技术原理及应用,包括 I/O 端口译码技术、DMA 技术、存储器接口、中断技术、常用可编程接口技术等。

本书既可作为高等院校工科有关专业本科、研究生教材或专业技术培训教材,也可作为从事微型计算机应用与开发的工程技术人员的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

微机原理与接口技术/马善农,吴光文,徐猛华编著.
—杭州:浙江大学出版社,2012.6

ISBN 978-7-308-10215-5

I. ①微… II. ①马… ②吴… ③徐… III. ①微型计算机—理论②微型计算机—接口技术 IV. ①TP36

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 144838 号

微机原理与接口技术

马善农 吴光文 徐猛华 编著

责任编辑 邹小宁

文字编辑 王 蕾

封面设计 王聪聪

出版发行 浙江大学出版社

(杭州市天目山路 148 号 邮政编码 310007)

(网址: <http://www.zjupress.com>)

排 版 杭州教联文化发展有限公司

印 刷 浙江万盛达实业有限公司

开 本 787mm×1092mm 1/16

印 张 15.5

字 数 377 千

版 印 次 2012 年 6 月第 1 版 2012 年 6 月第 1 次印刷

书 号 ISBN 978-7-308-10215-5

定 价 32.00 元

版权所有 翻印必究 印装差错 负责调换

前 言

“微机原理与接口技术”是电子信息类专业必修的一门专业课,也是大学工科专业的一门重点课程,随着计算机的日益普及,该课程已经成为理工科很多专业的计算机硬件基础课程。既可作为高等院校工科有关专业本科、研究生教材或专业技术培训教材,也可作为从事微型计算机应用与开发的工程技术人员参考书。

本书结合 Intel 80x86 系列 CPU,主要讲解了微型计算机组成、CPU 内部结构、常用微机原理与接口技术的基本原理及应用方法,突出基本原理和原理的普遍性。

本书主要阐述 80x86 汇编语言程序设计方法和微型计算机接口技术。全书共分三部分:第 1 章和第 2 章为计算机基础知识部分;第 3 章和第 4 章为汇编语言程序设计部分,主要介绍 80x86 的指令系统和寻址方式,以及汇编语言程序设计的编程方法;第 5~8 章主要介绍微型计算机接口技术原理及应用,包括 I/O 端口译码技术、DMA 技术、存储器接口、中断技术、常用可编程接口技术等。

本书由马善农、吴光文和徐猛华编写。其中吴光文编写了第 1、5 章,徐猛华编写了第 2、6、7 章,马善农编写了第 3、4、8 章和附录部分,全书由马善农统稿。本书在编写过程中得到东华理工大学讲授该课程老师的大力支持,在此表示衷心的感谢,也感谢为本书的出版付出辛苦劳动的浙江大学出版社的编辑及其他工作人员。

由于编者水平有限,书中存在的不足之处,欢迎广大师生和读者批评指正。

编 者

2012 年 4 月

目 录

第1章 绪 论	1
1.1 微型计算机概述	1
1.2 微型计算机系统的组成及工作过程	4
1.3 计算机中数的表示方法与计算	8
习 题 一	16
第2章 80x86 计算机组织	17
2.1 80x86 微处理器	17
2.2 中央处理器	23
2.3 8086/8088 存储器组织	26
2.4 8086/8088 CPU 系统外部配置	31
习 题 二	41
第3章 80x86 的指令系统和寻址方式	42
3.1 指令与指令系统	42
3.2 80x86 的寻址方式	43
3.3 80x86 的指令系统	47
习 题 三	70
第4章 汇编语言程序设计	76
4.1 汇编语言格式与伪指令	76
4.2 循环与分支程序设计	85
4.3 子程序设计	92
4.4 汇编语言程序的上机过程	97
习 题 四	100
第5章 输入输出接口	103
5.1 接口的概念及其应用	103
5.2 CPU 与接口交换数据的方式	106
5.3 I/O 端口和地址编码	107
5.4 DMA 控制器	113

5.5 微型计算机系统常用总线	125
习 题 五	134
第6章 存储器	135
6.1 半导体存储器概述	135
6.2 随机存储器 RAM	138
6.3 只读存储器 ROM	144
习 题 六	149
第7章 中断系统	150
7.1 中断概述	150
7.2 8086/8088 CPU 的中断系统	154
7.3 可编程中断控制器 Intel 8259A	160
习 题 七	171
第8章 常用可编程接口芯片	173
8.1 可编程定时/计数器 8253/8254	173
8.2 可编程并行接口 8255A	187
8.3 可编程串行接口 8251A	200
8.4 数模(D/A)转换与模数(A/D)转换接口	211
习 题 八	221
附 录	223
附录 A 标准 ASCII 码字符表	223
附录 B 80x86 指令系统表	224
附录 C MSDOS 系统功能调用表	233
附录 D DEBUG 调试指令	238
参考文献	239

第1章 绪 论

微机原理与接口技术是一门研究微型计算机的基本工作原理以及微型计算机接口技术(如中断控制接口、定时/计数控制接口、DMA控制接口、并行/串行通信接口、模拟接口等)的课程。

电子计算机的出现是20世纪最重要的成果之一。从70年代开始,微型计算机开始以势不可挡的势头发展,并成为当今计算机发展的主流方向。它极大地改变了人们的工作、学习和生活方式,成为信息时代的主要标志。在本书第1章中,我们将对微型计算机的发展、组成以及工作过程等内容进行简要的介绍,让大家对微型计算机先有一个总体的概念。

1.1 微型计算机概述

1.1.1 微型计算机的发展

微型计算机指的是把以大规模、超大规模集成电路为主要部件的微处理器作为核心,配以存储器、输入/输出接口电路及系统总线所制造出的计算机系统。电子计算机的发展导致了微型计算机的产生和壮大,现在先了解一下电子计算机发展的波澜壮阔的历史。总体上来说,从电子计算机的硬件系统(材料)来划分,经过了如下几个阶段:电子管计算机、晶体管计算机、集成电路计算机、大规模集成电路计算机、人工智能计算机(尚在研制)。

从每一阶段的名字也可以看到,计算机的发展是建立在电子技术的发展基础之上的。具体地说:

(1)1946年第一代电子计算机(ENIAC)在美国研制成功。使用了18800个电子管,重30吨,占地150平方米,耗电150千瓦,每秒完成5000次加法运算。

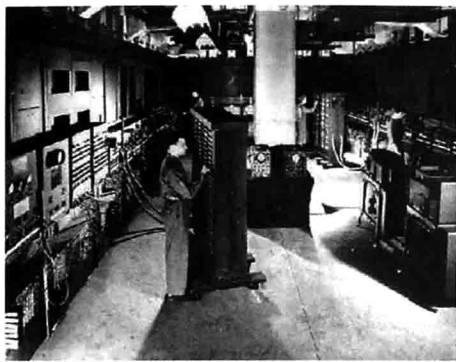


图 1.1 第一代电子计算机和早期电子管

(2)1958 年第二代晶体管计算机推出,用晶体管代替了电子管,大大降低了计算机的成本和体积,运算速度成百倍提高。



图 1.2 发明晶体管的三名科学家和一个晶体管

(3)1965 年,以中小规模集成电路为主体的计算机问世,使计算机的体积进一步缩小,配上各类操作系统,计算机性能极大提高。

(4)1970 年大规模集成电路(LSI)研制成功,计算机发展到第四代,微型计算机是第四代计算机的典型代表。

(5)1971 年在美国硅谷第一块通用微处理器芯片 Intel 4004 诞生,从而开创了微型计算机的新时代。作为微型计算机的核心,微处理器的发展代表了微型计算机的发展历程。

1.1.2 微处理器的发展历史

1971 年 11 月,Intel 公司第一枚微处理器芯片 4004,4 位机,它总共集成了 2200 个晶体管。每秒可以进行 6 万次运算,成本约为 200 美元。它是世界上第一枚微处理器芯片,以它为核心的 MCS-4 计算机,标志着世界第一台微型计算机的诞生。

1972 年 4 月,Intel 公司宣布另一种型号的微处理器 8008 研制成功。该处理器为 8 位机。1975 年 1 月,Motorola 公司宣布推出它的 8 位微处理器 6800。1979 年,Intel 公司推出了 Intel 8086/8088 微处理器。1983 年,Intel 公司推出了 Intel 80286 微处理器,它是完全 16 位微处理器。1985 年,Intel 公司推出了 Intel 80386 微处理器。1989 年,Intel 公司推出了 Intel 80486 微处理器。1993 年 3 月,Intel 公司推出了名为 Pentium(经典奔腾)的微处理器。1995 年 11 月 Intel 公司又推出了 Pentium Pro(高能奔腾)。1997 年 1 月,Intel 公司又推出了 Pentium MMX(多能奔腾)。1997 年 5 月,Intel 公司推出了 Pentium II(奔腾

二代)。1999年2月, Intel公司推出了PentiumⅢ(奔腾三代)。2000年11月, Intel公司推出了PentiumⅣ(奔腾四代)。2001年5月, Intel公司推出了64位微处理器Itanium。

歌登·摩尔(Gordon Moore)是Intel公司的奠基者之一,他在1964年提出一个摩尔定律,摩尔定律即每18个月半导体集成电路里面晶体管的个数会翻一倍,也就是集成度提升一倍,每隔18个月其性能会提升一倍。这个非常著名的摩尔定律,从1964年提出以来(尽管当时计算机集成电路芯片还没有出现),到1971年Intel公司做出第一块CPU 4004芯片,再到现在,发展了大概三十多年。可以发现,CPU一直是遵循摩尔定律在发展的,后来到1995年歌登·摩尔对摩尔定理稍微修改了一下,原来是每一年半(18个月)后来改成两年,也就是说每两年芯片的集成度会提升一倍,特性提升一倍,但价格不变。对Intel而言,IA-64是其下一个10~15年的架构。新的IA-64将使Intel摆脱x86架构的限制,从而设计出超越现有的所有RISC CPU和x86CPU的新型处理器。IA-64处理器,具有64位寻址能力和64位宽的寄存器,所以被称为64位CPU。

1.1.3 微型计算机的应用

微型计算机具有体积小、价格低、工作可靠、使用方便等特点,主要用于以下两个方向。

1. 数值计算,数据处理及信息管理

这一应用方向包括了工程计算、图形图像处理、计算机辅助设计、计算机辅助教育、文字图表处理、数据库管理及家庭娱乐等。其典型代表为PC机。

PC机是面向个人单独使用的一类微机。现行的PC机大多配备多媒体功能,使得一机多能,操作起来声图并茂,令人赏心悦目,成为学习娱乐的有利工具。

2. 过程控制及智能化仪表

应用于这一方向的计算机主要是一些专用微机,如工业用PC机、STD总线工控机及8/16位微处理器芯片或单片微控制芯片构成的各种目标系统。这类微机,重点要求其抗干扰性能好,同时要求一定的实时性。

由于一般控制场合对运算精度的要求不高,前端担任控制任务的多是一些8位机或者16位机,只有在一些比较复杂的应用中才使用32位机。

1.1.4 微型计算机的分类

微型计算机按照其应用对象可分为PC机、单片微型计算机和单板微型计算机。单片微型计算机称为单片机,是一种用于控制的微处理器芯片。它实际上是把CPU、存储器和输入/输出接口等集成到一块芯片上。只需要少量的硬件就能够组成一个计算机系统,随着芯片集成度的提高,近年来又推出了具有调制解调器、通信控制器、DMA控制器、浮点运算单元、A/D转换器和D/A转换器的高档单片机。

单板机常用在过程控制中,目前最常用的国产单板机是TP801。

1.2 微型计算机系统的组成及工作过程

这一部分内容主要介绍微型计算机系统的组成和微型计算机的工作过程,所谓的工作过程就是执行指令的过程。

1.2.1 微型计算机系统的组成

从系统的观点,一个微型计算机系统应该包括硬件系统和软件系统,如图 1.3 所示。硬件系统是一个执行程序的物质基础。硬件一般是指在主机的基础上,配以必要的外部设备。硬件需要软件配合才能完成一定的功能。软件系统就是计算机上运行的程序,依据功能的不同软件可分为系统软件和应用软件两大类。

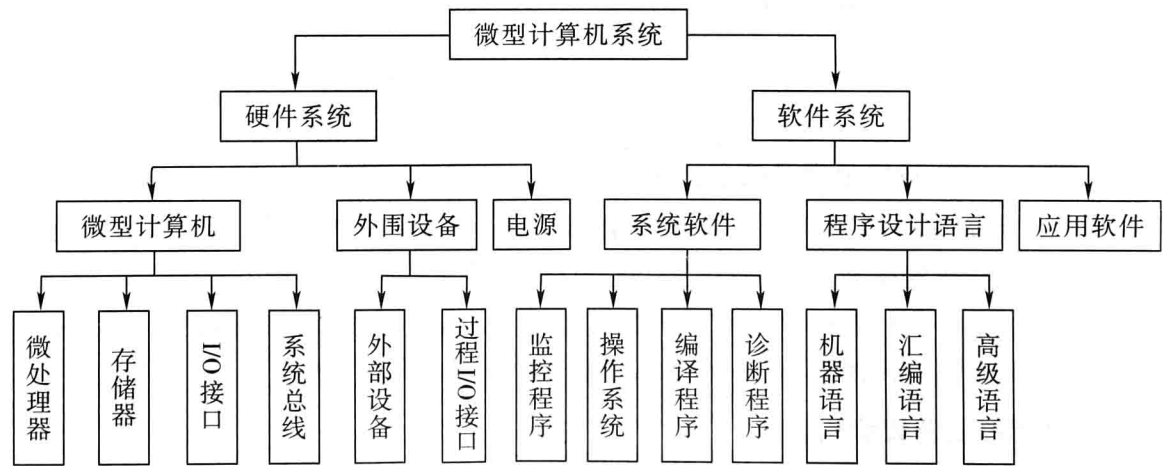


图 1.3 微型计算机系统的组成

系统软件指的是使用和管理计算机的各种软件。它通常是厂商作为产品提供给计算机用户的。计算机配置的基本系统软件,通常包括操作系统、各种高级语言处理程序、编译系统等软件。这些软件不是用来解决具体问题的,而是用来管理计算机的各种资源,提供人机间接口,简化或代替各个环节中人所承担的工作。

应用软件是由用户利用计算机及其系统软件编制用来解决实际问题的程序。对使用微机的人员来说,在必要时才需要对系统软件进行扩展。目前,应用软件已经逐步标准化、模块化和商业化。

微型计算机主要由运算器、控制器、存储器、输入设备和输出设备五个部分组成。其中运算器和控制器组成中央处理器(CPU)是计算机中最重要的组成部分(它在微型计算机中也称为微处理器)。微处理器是整个计算机的核心,它采用大规模集成电路技术做成的芯片,芯片内集成了控制器、运算器和若干高速存储元件寄存器。微处理器负责对系统各个部件进行统一协调控制。

1. 运算器

运算器是微处理器中加工和处理数据的功能部件,主要包括两个功能:一是对数据进行加工处理,主要包括算术运算和逻辑运算,这是运算器的重要功能,这些功能是通过运算器内部的算术逻辑单元(ALU)相连的寄存器组来完成的;二是暂时存放参与运算的数据和某些中间结果,通常是通过与ALU相连的寄存器组来实现的。

寄存器组中包含各种类型的寄存器,其中累加器是使用最频繁的寄存器,在进行运算时,它具有双重功能:运算前用来保存一个操作数,运算后用来保存运算结果。数据寄存器是通过数据总线向存储器或I/O设备写或者读数据的暂存单元。

2. 控制器

控制器是计算机内“指挥”与控制整个计算机各个功能部件协调工作,自动执行计算机程序的功能部件,它需要给出控制机器各个功能部件正常运行所需的全部信号。它由程序计数器(IP)、指令寄存器(IR)、指令译码器(ID)和时序信号产生部件组成。

指令寄存器用来保存当前正在执行的一条指令。指令译码器的作用是对指令进行译码,以便于确定所要求的动作。程序计数器用来告诉CPU下一条指令的地址,实现指令的自动顺序执行。

3. 存储器

存储器是存放程序和数据的功能部件。微机上的存储器包括主存和辅存两部分,主存的造价相对辅存高、速度快但是容量小,主要用来存放正在运行的程序和正待处理的数据。主存位于主板上,CPU可以通过总线直接对其中的数据进行存取,因而也被称为“内存”。辅存造价低、容量大,信息可以长时间保存,但是速度慢,主要用来存放暂时不运行的程序和不处理的数据。因为辅存被安装在计算机主机箱内或主机箱外,CPU通过I/O接口对它进行存取,因而也称为“外存”。

构成内存的半导体存储器又可以分为只读存储器(ROM)和随机存取存储器(RAM),前者只允许读操作,即在正常工作时只能读出它的存储信息,后者可以进行读写操作,所以又称为读写存储器。

4. I/O设备和I/O接口

I/O设备是指微机上配备的输入/输出设备,也称为外部设备,其功能是为微机提供具体的输入输出手段。

微机上配备的标准输入输出设备一般是指键盘和显示器,两者又合称控制台。此外,还可以配备鼠标、打印机、绘图仪、扫描仪等设备。

由于各种外设的工作速度、驱动方式差别很大,无法与CPU直接匹配,所以不可能把它们简单地连接到系统总线,而需要一个接口电路来充当它们和CPU间的桥梁,通过接口电路来完成信号的变换、数据的缓冲以及与CPU联络等工作。在微机系统中,复杂的I/O接口电路一般都做在一块独立的电路板上,这种电路又被称为“卡”,由卡的一侧引出连接到外界的插座,另一侧则做成插入端,只要将此插入端插入总线槽就等于此卡连接到了系统总线上。

5. 系统总线

所谓总线是指传递信息的一组公用导线。系统总线是指从处理器引出的若干信号线,CPU通过它们与存储器和I/O设备进行信息交换。系统总线可以分为三组。

(1)传递地址信息的总线称为地址总线,即AB(Address Bus)。CPU在地址总线上输出将要访问的内存单元或I/O端口的地址,该总线为单向总线。

地址总线的位数决定了CPU可以直接寻址的内存单元的范围。例如,地址总线是16位,则可以寻址的内存容量为 2^{16} 个字节,即64KB。 $1\text{KB}=1024\text{B}$ 。地址总线20位, $2^{20}=1\text{MB}$ 。

(2)传送数据信息的总线称为数据总线,即DB(Data Bus)。在CPU进行读操作时,内存或外设的数据通过数据总线送往CPU;在CPU进行写操作时,CPU的数据通过数据总线送往内存或外设,该总线为双向总线。

数据总线的位数是计算机的一个很重要的指标,它和微处理器的位数相对应。数据的含义是广义的,在数据总线内的数据可以是指令代码、状态量或控制量,也可以是真正的数据。

(3)传送控制信息的总线称为控制总线,即CB(Control Bus)。其中,有些信号线将CPU的控制信号和状态信号送往外界;有些信号线将请求或联络信号送往CPU;个别信号兼具以上两种情况。所以讨论控制总线的传送方向时要具体到某一个信号,它们可能是输出、输入或者双向。

微处理器的控制信号分为两类:一类是通过指令的译码,由CPU内部产生,这些信号由CPU送到存储器、输入/输出接口电路和其他部件;另一类是微型计算机系统的其他部件产生并送到CPU的信号,如中断请求信号、总线请求信号等。

在一个系统中,除了CPU有控制总线的能力外,DMA控制器等设备也有控制总线的能力,它们被称为总线主控设备或总线请求设备;而连在总线上的存储器和I/O设备,则是被访问和被控制的对象,它们被称为总线控制设备。

由于系统总线是传送信息的公用通道,因此非常繁忙,其使用特点是:

(1)在某一时刻,只能由一个主控设备来控制系统总线,其他总线控制设备放弃对总线的控制。

(2)在连接系统的各个设备中,在某一时刻只能由一个发送设备向总线发送信号,但可以有多设备从总线上同时获得信号。

总线结构是微机系统的一大特色,它使得微机系统具有了组态灵活、扩展方便的特点。

1.2.2 微型计算机的工作过程

计算机采取程序控制的工作方式,也就是把事先加载的程序按步骤执行的工作方式。为了说明计算机的工作过程,我们举一个简单的例子,假定计算机计算 $3+5=?$ 。尽管这个过程比较简单,但是为了能够让计算机识别人们的意图,就必须用计算机所能理解的具体指令来完成这个简单的加法运算。这种计算机能够理解的指令的集合就是计算机程序。为此我们在让计算机工作以前,应该做如下准备工作(用汇编语言):

- (1)编写程序；
 - (2)用编译软件将程序翻译成机器语言(计算机能够直接识别的二进制代码)；
 - (3)将数据和程序送到存储设备中。
- 3+5=? 的计算机程序如表 1.1 所示。

表 1.1 计算机程序表

操作	助记符号	机器码(二进制)(十六进制)		功能
立即数送累加器 加立即数	MOV AL,03H	10110000	B0H	将03送入累加器 A 05 与 A 中的内容相加, 并将结果存入累加器 A
		00000011	03H	
	ADD AL,05H	00000100	04H	
		00000101	05H	

整个程序有两条指令,4个字节。计算机执行程序是一条一条的执行的。假定它们存放在 1000H 开始的 4 个单元中。执行一条指令分成两个阶段,即取指令和执行指令阶段。这里着重介绍执行程序的过程。

开始执行程序时,必须先给程序计数器 PC 赋值,这个值就是第一条指令的地址 1000H,然后进入第一条指令的执行阶段。

1. 取指令阶段的执行过程

- (1)将程序计数器 PC 的内容(1000H)送至地址寄存器 AR。
 - (2)程序计数器 PC 的内容自动加一,为下一条指令作准备。
 - (3)地址寄存器 AR 将 1000H 通过地址总线送至存储器地址译码器译码,选中 1000H 单元。
 - (4)CPU 发“读”命令。
 - (5)选中的 1000H 单元的内容 B0H 读至数据总线 DB。
 - (6)经数据总线 DB,将读出的 B0H 送至数据寄存器 DR。
 - (7)数据寄存器 DR 将其内容送至指令寄存器 IR,经过译码,控制逻辑发出执行该条指令的一系列信号。经过译码 CPU“识别”出这个操作码就是 MOV AL,03H 指令,于是控制器发出执行这条指令的各种控制指令。
- 以上就是取一条指令的整个过程。

2. 执行指令阶段的过程

经过对操作码 B0H 译码后,CPU 就知道这是一条把 1001H 单元的内容送入累加器 AL 的指令。所以执行第一条指令,就把指令第二字节中的立即数取出来送入累加器 AL,这个执行过程为:

- (1)将程序计数器的内容 1001H 送到地址寄存器 AR。
- (2)程序计数器 PC 的内容自动加一,为下一条指令作准备。
- (3)地址寄存器 AR 将 1000H 通过地址总线送至存储器地址译码器译码,选中 1000H 单元。
- (4)CPU 发“读”命令。

(5)选中的 1000H 单元的内容 B0H 读至数据总线 DB。

(6)经数据总线 DB,将读出的 B0H 送至数据寄存器 DR。

(7)数据寄存器 DR 将其内容送至指令寄存器 IR,经过译码,控制逻辑发出执行该条指令的一系列信号。经过译码 CPU“识别”出这个操作码就是 MOV AL,03H 指令,于是控制器发出执行这条指令的各种控制指令。

上述讨论的仅仅是一条指令的执行过程,而其余指令也都是取指和执行两个步骤完成的,不过不同的指令有不同的操作码,要执行不同的操作。

从上面的例子我们可以总结出,微型计算机的工作过程是执行程序的过程。首先 CPU 进入取址阶段,从存储单元取出指令代码,通过数据总线,送到 CPU 的指令寄存器中寄存,然后对该指令进行译码,译码器经译码后发出相应的控制信号,通过控制总线,CPU 把控制信息传送到存储器或输入/输出系统,存储器或者输入/输出系统按照 CPU 的命令进行相应的动作,也即 CPU 执行指令指定的操作。

1.3 计算机中数的表示方法与计算

在计算机内部,数据都是采用二进制数 0 和 1 来表示的,按照数据的类型,可分为数值数据和非数值数据两类,数值数据通常用来表示数的大小,非数值数据指声音、图形、字符等类型的数据。这两类数据在用计算机进行处理时有很大的不同,本节将重点讨论数值型数据的表示方法和编码格式。

1.3.1 数制

使用有限个数码来表示数据,按照进位的方法进行计数,称为进位计数制,进位计数制有两个比较重要的概念:基数和位权。基数是表示数据的数码的个数,超过或者等于此数后就要向相邻高位进一;同一数码在不同位置上代表的数值是不同的,它所代表的实际数值等于数本身的值乘上一个确定的与位置有关的系数,这个系数称为位权,位权是以基数为底的指数函数。

以常用的十进制数为例,十进制数的基数为十,且遵循逢十进一的规则。位权是一个 10^k 的函数,k 可以是整数和零。所以用十进制数表示一个数值时,数值的大小为:每位数字乘以其权所得的乘积之和。例如:

$$123.45 = 1 \times 10^2 + 2 \times 10^1 + 3 \times 10^0 + 4 \times 10^{-1} + 5 \times 10^{-2}$$

十进制数是人们最熟悉、最常用的一种数制,但它不是唯一数制。例如,计时用的分、秒就是六十进制的。基数为 r 的 r 进制数可以表示为:

$$a_n \times r^n + a_{n-1} \times r^{n-1} + \cdots + a_0 \times r^0 + b_1 \times r^{-1} + b_2 \times r^{-2} + \cdots + b_m \times r^{-m}$$

其中: a_i 和 b_j 可以是 $0, 1, \cdots, r-1$ 中的任何数码, r^k 则为各位数相应的权。

计算机中为便于存储及计算的物理实现,采用了二进制数。二进制数的基数为 2,只有 0,1 两个数码,并遵循逢二进一的规则,它的各位权是以 2^k 表示的,因此二进制数 $a_n a_{n-1} \cdots a_0 . b_1 b_2 \cdots b_m$ 的值是:

$$a_n \times 2^n + a_{n-1} \times 2^{n-1} + \cdots + a_0 \times 2^0 + b_1 \times 2^{-1} + b_2 \times 2^{-2} + \cdots + b_m \times 2^{-m}$$

其中： a_i 和 b_j 可以是0,1两个数码中的一个。 n 位二进制数可以表示 2^n 个数,例如3位二进制数可以表示8个数,它们如表1.2所示。

表 1.2 3位二进制数表示的十进制数

二进制数	000	001	010	011	100	101	110	111
对应十进制数	0	1	2	3	4	5	6	7

而4位二进制数则表示十进制的0~15共16个数。16个数的表示在这个表格中省略,读者可自己作为练习。可以看到用二进制数不符合人们的计数习惯,更主要的问题是不好书写和阅读。为了解决这个主要问题,人们通常用八进制和十六进制来表示二进制数。几种常见的进位计数制的基数和数码如表1.3所示。

表 1.3 几种常见的进位计数制的基数和数码

进位计数制	基数	数码
十六进制数	16	0,1,2,3,4,5,6,7,8,9,a,b,c,d,e,f
十进制数	10	0,1,2,3,4,5,6,7,8,9
八进制数	8	0,1,2,3,4,5,6,7
二进制数	2	0,1

1.3.2 不同数制的转换

1. 二进制数和十进制数之间的转换

(1)二进制转换为十进制数。

二进制数转换为十进制数非常简单,转换公式如下: $a_n \times 2^n + a_{n-1} \times 2^{n-1} + \cdots + a_0 \times 2^0 + b_1 \times 2^{-1} + b_2 \times 2^{-2} + \cdots + b_m \times 2^{-m}$ 。

例 1-1 $(101.1)_2 = 1 \times 2^2 + 0 \times 2^1 + 1 \times 2^0 + 1 \times 2^{-1} = 5.5$

(2)十进制数转换为二进制数。

十进制数转换为二进制数要将十进制数分为整数部分和小数部分分别进行运算。整数部分的计算采用除以2倒序取余法,小数部分采用乘以2正序取整法。

例 1-2 将 $(132.625)_{10}$ 转换为二进制数。先计算整数部分,再计算小数部分。

2	132	余数	0.625	整数
2	66	0	$\times 2$	1
2	33	0	0.25	
2	16	1	$\times 2$	0
2	8	0	0.5	
2	4	0	$\times 2$	1
2	2	0	0	
2	1	0		
	0	1		