

微型计算机原理与应用

朱德森 温 鹏 编著

华中理工大学出版社

215.1/1

微型计算机原理与应用

朱德森 温 鹏 编著

华中理工大学出版社

• 武汉 •

(鄂)新登字第 10 号

图书在版编目(CIP)数据

微型计算机原理与应用/朱德森等编著

武汉:华中理工大学出版社, 1995.8

ISBN 7-5609-1187-0

I. 微…

II. ①朱… ②温…

III. 微型计算机-基本知识

IV. TP36

微型计算机原理与应用

朱德森 温 鹏 编著

责任编辑 黄以铭 王有登

*

华中理工大学出版社出版发行

(武昌喻家山 邮编:430074)

新华书店湖北发行所经销

华中理工大学出版社照排室排版

荆沙市印刷一厂印刷

*

开本:787×1092 1/16 印张:16.75 字数:410 000

1995年8月第1版 1995年8月第1次印刷

印数:1-5 000

ISBN 7-5609-1187-0/TP·160

定价:14.00 元

内 容 提 要

本书以 Intel 8086 16 位微处理器为背景,从应用角度系统阐述微型计算机的基本原理。重点讨论微型计算机的组成、工作原理及应用;以若干工业控制的基础应用软件为例,深入浅出地介绍了汇编语言程序设计及接口电路的应用;以自行研制的 16 位微机实验教学系统为典型,形成微型计算机的整体概念。书中引用的多层次应用实例直接来源于作者的教学和科研实践,可供读者应用时参考。各章附有适量的习题,便于教学和自学。

本书可作为工业自动化类及其他机电类专业“微型计算机原理及应用”课程的教材,也可供工程技术人员和微机爱好者自学之用。

35011/S1

2000.11

前 言

本书根据国家教委工科计算机基础课程教学指导委员会制定的“微型计算机原理及应用教学基本要求”,以作者多年讲授“IBM-PC 微型计算机原理及应用”课程的教案为基础,吸取作者 80 年代编写的“微型计算机原理”一书的长处,经多年教学实践,征求多方意见,几经修改而成。在内容上力求取材新颖,概念清楚,重点突出,通俗易懂。

本书以 Intel 8086 16 位微处理器为背景,从应用角度系统阐述了计算机的基础知识、微型计算机的工作原理及应用。全书共分十一章,其主要内容包括:计算机基础知识;微处理器结构及 8086 微处理器;半导体存储器;指令系统及操作时序;汇编语言程序设计;输入/输出及中断系统;接口电路及应用。本书在结构上组成单板机模式,在应用上兼顾微机小系统及微机通用系统;在选材上力求达到教材的系统性和先进性。

本书由朱德森主编。其中第一,二,三,四,八,十章由朱德森执笔;第五,六,七,九,十一章由温 鹏执笔。瞿 坦教授审读了全部书稿,提出了宝贵意见,谨此表示感谢。

限于编者的水平,书中的缺点和错误在所难免,敬请读者批评指正。

编 者

1995 年 3 月

目 录

第一章 绪论	(1)
第一节 微处理器与微型计算机的发展史	(1)
第二节 微处理器和微型计算机	(3)
一、微处理器	(3)
二、微型计算机	(3)
三、微型计算机系统	(4)
第三节 微型计算机的特点	(5)
第二章 运算基础	(6)
第一节 进位计数制	(6)
一、十进制数	(6)
二、二进制数	(6)
三、八进制数	(7)
四、十六进制数	(8)
第二节 数制之间的转换	(9)
一、十进制数转换成二进制数	(9)
二、二进制数转换成十进制数	(11)
三、任意进制数与十进制数之间的转换	(11)
第三节 原码、反码与补码	(11)
一、机器数与真值	(11)
二、原码	(12)
三、反码	(12)
四、补码	(13)
第四节 运算方法	(15)
一、算术运算	(15)
二、逻辑运算	(19)
第五节 数的定点及浮点表示法	(20)
一、定点数与浮点数的表示形式	(20)
二、浮点数的运算	(21)
第六节 数字代码和字符代码	(22)
一、数字代码	(22)
二、字符代码	(24)
习 题	(26)
第三章 微处理器结构	(27)
第一节 基本概念	(27)
一、总线	(27)

二、堆栈	(30)
三、定时	(31)
第二节 微处理器的一般结构	(32)
一、算术逻辑部件 ALU	(32)
二、寄存器阵列	(32)
三、控制部件	(33)
第三节 Intel 8086 微处理器	(34)
一、8086 CPU 结构	(34)
二、引脚信号及功能	(38)
第四节 8086 的存储器管理	(44)
习 题	(45)
第四章 半导体存储器	(47)
第一节 存储器概述	(47)
一、基本概念及术语	(47)
二、半导体存储器的分类	(48)
三、存储单元寻址	(50)
第二节 半导体存储器	(51)
一、随机存取存储器 RAM	(51)
二、只读存储器 ROM	(55)
第三节 存储器与 CPU 的连接	(58)
一、存储器与 CPU 连接时应注意的问题	(58)
二、存储器与 CPU 的连接	(59)
习 题	(64)
第五章 指令系统	(65)
第一节 概述	(65)
一、指令的基本内容	(65)
二、指令的种类	(66)
三、指令的表示方法	(66)
第二节 8086 指令的格式及寻址	(66)
一、编码方式	(66)
二、寻址方式	(68)
第三节 8086 指令系统	(71)
一、数据传送指令	(71)
二、算术运算指令	(73)
三、逻辑运算和移位循环指令	(78)
四、串操作指令	(79)
五、程序控制指令	(81)
六、处理器控制指令	(85)
习 题	(86)

第六章 汇编语言程序设计基础	(88)
第一节 汇编语言的格式	(88)
一、什么是汇编语言	(88)
二、汇编程序和汇编过程	(88)
三、汇编语言程序的运行	(89)
四、汇编语言程序的格式	(89)
第二节 伪指令和程序结构	(92)
一、程序分段及存储器分配	(92)
二、变量定义及存储器申请	(97)
三、过程定义伪指令	(100)
四、符号定义伪指令	(100)
五、程序模块通讯用伪指令	(102)
第三节 汇编语言属性操作符	(103)
一、修改属性的操作符	(103)
二、数值返回操作符	(103)
三、记录专用操作符	(104)
第四节 汇编语言程序设计	(104)
一、多字节加法和减法程序	(105)
二、分支转移程序	(107)
三、过程定义和调用	(109)
四、其他程序设计	(111)
第五节 控制系统程序设计实例	(112)
第六节 实用汇编语言程序设计技术	(115)
一、问题的定义	(115)
二、程序设计	(116)
三、编码	(116)
四、调试和检验	(117)
五、文件编制	(117)
六、汇编语言与高级语言的交叉使用	(117)
习 题	(117)
第七章 8086 时序	(119)
第一节 概述	(119)
一、时序的意义	(119)
二、时钟和时钟周期	(119)
三、指令周期和机器(总线)周期	(120)
第二节 典型总线周期分析	(121)
一、8086/8088 的读总线周期	(121)
二、8086/8088 的写总线周期	(123)
三、最小模式下的总线保持	(123)
四、最大模式下的总线请求/允许周期	(124)
五、中断响应周期	(124)

第三节 应用举例.....	(125)
习 题.....	(128)
第八章 输入/输出及中断系统	(129)
第一节 I/O 寻址方式	(129)
一、存储器编址(或称存储器对应)I/O 方式	(129)
二、专用 I/O 方式	(130)
三、存储器编址 I/O 方式与专用 I/O 方式的比较	(130)
第二节 I/O 控制方式	(130)
一、CPU 与 I/O 之间的接口信号	(130)
二、I/O 控制方式	(131)
第三节 中断原理.....	(138)
一、概述	(138)
二、中断响应与中断处理程序	(139)
三、中断优先权	(140)
第四节 可编程中断控制器 Intel 8259A	(144)
一、8259A 结构	(144)
二、引脚及功能说明	(145)
三、8259A 的工作方式	(147)
四、8259A 的编程	(150)
五、8259A 的级连	(156)
六、应用举例	(158)
第五节 8086 中断系统	(159)
一、中断种类	(159)
二、中断向量表	(161)
三、中断响应流程	(163)
习 题.....	(165)
第九章 输入/输出接口电路	(166)
第一节 不可编程接口电路 8212	(166)
一、8212 简介	(166)
二、8212 的几种典型使用方法	(168)
第二节 Intel 8253 可编程计数器/定时器	(169)
一、8253 PIT 的基本功能	(169)
二、内部结构	(169)
三、引脚和寄存器选择	(170)
四、8253 的控制字	(171)
五、8253 的工作方式	(173)
六、8253 PIT 和 8254 PIT	(177)
七、8253 的初始化	(178)
第三节 Intel 8255 A 可编程并行接口	(178)
一、8255A 的结构	(179)

二、8255A 的引脚和控制	(180)
三、工作方式选择	(181)
四、方式 0 的功能和使用	(184)
五、方式 1 的功能和使用	(186)
六、方式 2 的功能和使用	(188)
第四节 串行通信及 Intel 8251 可编程串行通信接口	(190)
一、串行通信的基本概念	(190)
二、串行通信中的几个问题	(191)
三、串行通信接口芯片 8251A	(192)
第五节 数/模和模/数转换	(199)
一、数/模和模/数转换简介	(199)
二、数/模(D/A)转换器	(199)
三、模/数(A/D)转换器	(203)
第六节 接口电路设计	(208)
习 题	(213)
第十章 微机最小系统	(215)
第一节 Intel 8086 微机最小系统实例	(215)
一、系统框图	(215)
二、存储器与 CPU 的连接	(216)
三、I/O 接口电路与 CPU 的连接	(217)
四、8255A 在系统中的应用	(218)
第二节 系统监控程序简介	(223)
一、监控程序简介	(223)
二、显示程序	(224)
三、键盘扫描程序	(225)
四、应用程序举例	(226)
习 题	(230)
第十一章 从 8086 到 80X86	(231)
第一节 Intel 80286	(231)
一、80286 的结构	(231)
二、指令系统	(234)
三、工作方式及引脚	(234)
第二节 Intel 80386	(236)
一、80386 的基本结构	(236)
二、80386 的指令集	(239)
第三节 80X86 及其汇编语言程序设计	(240)
附录 8086/8088 指令系统表	(242)

第一章 绪 论

第一节 微处理器与微型计算机的发展史

自 1946 年世界上第一台电子数字计算机在美国问世以来,计算机科学的发展十分迅速。按组成计算机的电子器件划分,计算机至今已经经历了电子管、晶体管、中小规模集成电路和大规模集成电路四代的演变,并正加紧进行以超大规模集成电路和人工智能为主要特征的新一代计算机的研制。

电子计算机在经历了四代演变之后,无论从硬件或从软件方面,技术都日臻完善。巨型机、大型机、超小型机、计算机网络、智能模拟、软件工程等都有新的进展。随着大规模集成电路技术的迅速发展,70 年代后,计算机一方面向功能极强的大型和巨型机发展,另一方面,则研制价格便宜的微型计算机。在此形势下,1971 年世界上第一台微处理器和微型计算机在美国问世,从而开创了微型计算机的新时代。

微处理器与微型计算机自诞生至今的二十几年时间里,已经迅速地跨过了 4 位、8 位、16 位,而今进入了 32 位的第四代发展阶段,其各代的代表性微处理器及其特点见表 1-1。

表 1-1 代表性微处理器及其特点

项目	代 别			
	第一代 1971~1972	第二代 1973~1977	第三代 1978~1980	第四代 1981 年以后
典型的微处理器	Intel 4004 Intel 8008	Intel 8080,8085 MC 6800 Z-80	Intel 8086,8088 MC 68000 Z-8000	Intel 80386,80486 MC 68020,68040 HP μ P 32 NEC V60
字长	4/8 位	8 位	16 位	32 位
芯片集成度	1 200~2 000 个 管/片	5 000~9 000 个 管/片	20 000~70 000 个 管/片	已达到 10 万~ 100 万个管/片
芯片引出线	16~24 条	40 条	40~64 条	64 条
时钟频率	0.5~0.8MHz	1~2.5MHz	5~10MHz	10MHz 以上
数据总线	4/8 位	8 位	8/16 位	32 位
地址总线	4~8 位	16 位	20~24 位	24~32 位
软 件	机器语言、简单的 汇编语言	汇编语言交叉驻留 汇编程序 高级语言 (FORTRAN/PL/M 等) BASIC 操作系统	汇编语言 高级语言 操作系统	操作系统 高级语言软件 硬化

美国 Intel 公司的 M. E. 霍夫发明了世界上第一台微处理器 Intel 4004,由它组成的微型

机型号为 MCS4.4004 采用了 PMOS 工艺,一块芯片上集成了 1 200 个晶体管,能进行串行的十进制运算,使用机器语言和简单的汇编语言。基本指令执行时间为 $10\sim 15\mu\text{s}$ 。虽然 MCS4 在结构性能上还很不断完善,但它获得了价格上的优势,取得了出人预料之外的成功。随之,许多机构都对微处理器产生了极大的兴趣,Intel 公司在 1972 年便推出了 8 位微处理器 Intel 8008,这些便是第一代的微处理器。

第一代微处理器推出后,生产微处理器的厂家剧增,仅在 1973~1974 年,就推出了多种型号的 8 位微处理器,如 Intel 8080, Motorola 公司的 MC6800,它们采用 NMOS 工艺,每片芯片上集成了 5 000 个左右晶体管,基本指令执行时间约 $2\mu\text{s}$ 。

随着微处理器的设计和生产技术日趋成熟,组成微型计算机系统的其他部件也愈来愈齐全。此后,微处理器及微型计算机朝着以下方向迅速发展:提高集成度;提高功能和速度;减少组成微型计算机所需电路芯片数目;增加外围配套电路的种类并增强其性能;把中央处理器、存储器和输入/输出电路制作在一片硅片上等等。于是,1975~1976 年出现了集成度更高和性能更强的 Zilog 公司生产的 Z-80 和 Intel 8085 等微处理器以及一系列单片微型计算机。特别是 Z-80 问世以后,曾在相当程度上占领了 8 位微处理器的市场,以上这些便是 8 位的第二代微处理器及微型机。

第二代微型计算机集成度较高,执行速度较快,指令系统较完善,已具有典型的计算机体系结构以及中断、DMA 等控制功能。软件除采用汇编语言外,还配有 BASIC, FORTRAN 和 PL/M 等高级语言及其相应的解释和编译程序,后期配上了操作系统。但是由 8 位微处理器组成的微型计算机仍有速度较慢、字长较短等不足之处,使它的应用范围在一定程度上受到限制。

1977 年左右,超大规模集成电路(VLSI)工艺研究成功,此时一片硅片上可以容纳一万个以上的晶体管,16K 位和 64K 位存储器也已问世,在此基础上,1978 年 Intel 公司便推出了新型的 16 位微处理器 8086,1979 年 Motorola 公司的 MC68000 和 Zilog 公司的 Z-8000 也相继问世,它们成为微处理器的第三代代表产品,也是国际市场上最流行的三种 16 位微处理器。8086 在一块芯片上集成了 29 000 个晶体管;Z-8000 和 MC68000 在一块芯片上分别集成了 17 500 个和 68 000 个晶体管。这些微处理器的运算速度快,指令的最短执行时间为 400ns,比典型的 8 位微处理器快 2~5 倍,它们的速度都赶上和超过了小型计算机。在软件方面,这些微型机配有多种高级语言,有常驻的汇编程序、完善的操作系统和大型数据库,并且可以构成多微处理器系统。16 位微型计算机的出现,形成了与小型计算机相竞争的局面。它的迅速发展,弥补了 8 位微型机由于字长和速度的局限性造成的缺陷,从而为微型计算机在实时数据处理和实时控制领域中更广泛的应用开辟了广阔的前景。

微型机的第四代是高性能的 32 位微处理器及微型计算机。这类微型机中微处理器芯片的集成度高,其数据总线和地址总线均为 32 位,因此系统的速度和性能大为提高。

这一代的典型产品如 Motorola 公司的 68020 和 Intel 公司的 80386,均采用 CMOS 工艺,集成度分别为 17 万个管/片和 27.5 万个管/片。之后,又推出了许多性能更强的 32 位微处理器,它们是 MC68030, Intel 80486 和 MC68040 等,其中后两种微处理器的集成度已超过 100 万个管/片,主振频率达 25~50MHz。而 1993 年面世的 Intel 80586 达到 300 万个管/片以上。总之,32 位微处理器无论在系统结构、元器件技术、组装工艺和软件功能等方面都有很大进展,由 32 位微处理器构成的 32 位超级微型机在实时控制事务管理、数据处理、工程计算、CAD/CAM 以及人工智能方面都得到广泛应用。可以预见,90 年代微型机将是计算机工业的

主流,而 32 位超级微型机的通用微型机系统和工程工作站系统将得到广泛的应用。

第二节 微处理器和微型计算机

众所周知,传统的电子数字计算机由五大部分组成,即运算器、控制器、存储器、输入设备和输出设备,如图 1-1 所示。

其中,存储器又分为内存储器 and 外存储器,外存储器和输入、输出设备统称外部设备;运算器、控制器和内存储器合称主机,而运算器和控制器两部分又称为中央处理器——CPU (Central Processing Unit)。随着大规模集成电路技术的迅猛发展,运算器和控制器两部分已经能集成在一块集成电路芯片上,这就是微处理器。由微处理器组成的微型计算机以及微型计算机系统为计算机的发展开创了一个新时期。

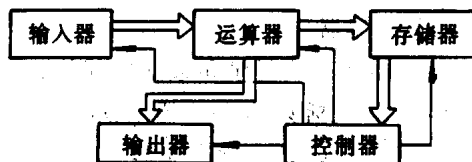


图 1-1 电子数字计算机的组成框图
图中: $\Rightarrow$ 代码传送方向, $\rightarrow$ 控制信息传送方向

一、微处理器

微处理器又称“微处理机”,它是指采用大规模集成技术、在一片(或几片)芯片上集成的计算机中央处理器(称微处理器)。有时为把大、中型计算机中的中央处理器 CPU 与微处理器区别开来,而称后者为 MPU 或 μP 。所以微处理器本身不是计算机,而是微型计算机的控制和运算部分。

二、微型计算机

微型计算机是具有完整运行功能的计算机。它是指以微处理器为基础,配以存储器、输入/输出(I/O)接口电路以及其他配套电路而构成的裸机。其基本结构框图如图 1-2 所示。

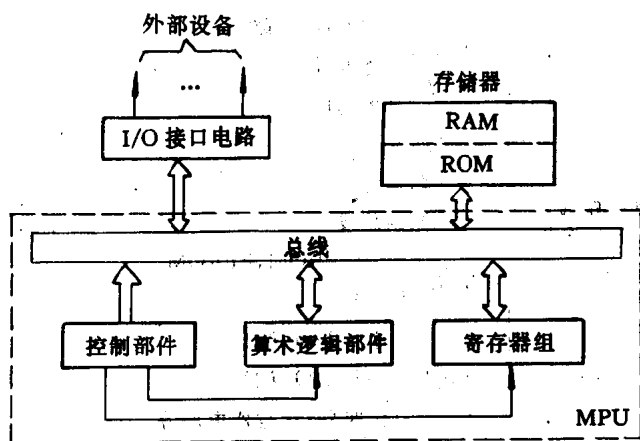


图 1-2 微型计算机基本结构框图

从图 1-2 可看出,微型计算机与一般计算机的组成是一致的。下面对各组成部分作一简要说明。

(1) 微处理器

图 1-2 中虚线框内为微处理器。微处理器是微型计算机的中央处理单元,它具有运算器和控制器的功能,因而它是组成微型计算机的核心部件。微处理器包括算术逻辑部件(ALU)、寄存器组及控制部件三个部分。

算术逻辑部件是专门用来处理各种数据信息的。它可以进行加、减、乘、除算术运算(低档的微处理器,如 8 位微处理器不能进行乘、除运算,乘、除运算由程序实现)和与、或、非、异或等

逻辑运算。

各种微处理器中都有多个寄存器,它们用于存放操作数、中间结果、地址以及标志工作状态的信息等。

控制部件是整个机器的控制中心,它相当于计算机中的控制器。控制部件包括指令寄存器、指令译码器以及控制信息的产生电路等。

算术逻辑部件、寄存器组、控制部件这三部分在微处理器内通过内部总线传送信息,并且通过芯片外部总线与存储器、I/O 接口电路相连。

(2) 存储器

存储器是存放程序 and 数据的部件。在微型计算机中都采用半导体存储器。

存储器包括只读存储器 ROM(Read Only Memory)与随机存取存储器 RAM(Random Access Memory)。只读存储器只能读出预先写入的信息,而随机存取存储器既能读出又能随时写入信息。

(3) 输入/输出(I/O)接口电路

微型计算机通过 I/O 接口电路与各种外部设备相连。

微处理器、存储器、I/O 接口电路通过总线连接起来便构成微型计算机。

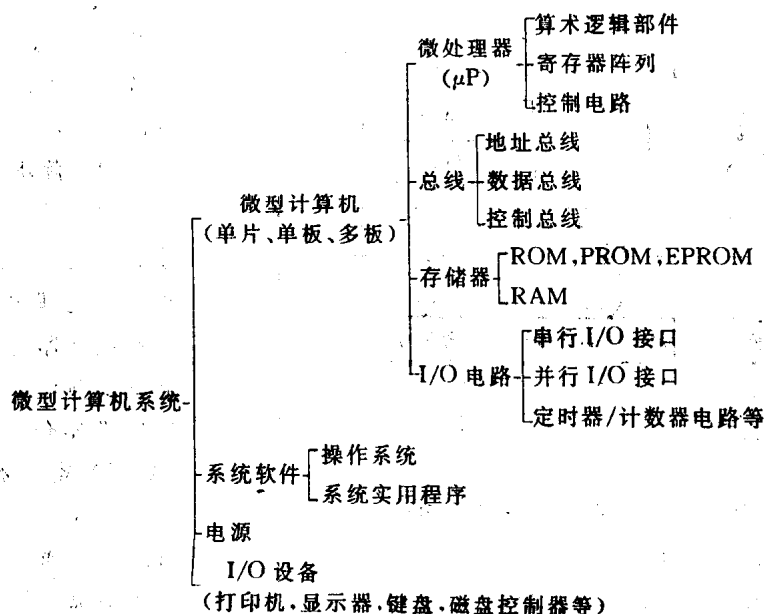
这里还要简单提及的是微型计算机中的总线。从图1-2可看出,总线为CPU和存储器、I/O 接口电路之间提供了信息的传输通道。总线有不同的类型和标准,但是不论何种类型的总线按其功能不同,可分为数据总线 DB(Data Bus),地址总线 AB(Address Bus)和控制总线 CB(Control Bus)。

以上便是微型计算机的基本组成结构。根据其组成规模,如果将微型计算机的组成部分制作在一块硅片上,则称为单片微型计算机(简称单片机);如果将其组成部分集中制作在一块电路板上,则称为单板微型计算机(简称单板机)。

三、微型计算机系统

以微型计算机为主体,配上系统软件、电源以及各种外部设备,便构成微型计算机系统。

微处理器、微型计算机和微型计算机系统三者的关系归纳说明如下:



第三节 微型计算机的特点

微型计算机除具有一般电子数字计算机的快速、精确和通用等许多优点外,还具有独自的特点,其中主要有以下几方面。

(1) 能获得最佳性能/价格比

微处理器有4位、8位低档,16位中档及32位高档。微型机有单片机、单板机、个人计算机乃至超级微机系统,各有各的用处。如:简单的家用电器或仪器仪表,采用4位微处理器最经济、实惠;CRT键盘显示终端和行式打印机等外部设备,可采用8位单片机控制;8位和16位的工业控制机则适用于单机或过程控制;而由多微处理器模块构成的超级微型机用于科学计算和复杂的数据处理,其功能往往可以与大型计算机相匹敌,其价格却不到后者的1/10。目前微型计算机正以每两年功能提高近一倍、价格下降一半的速度发展。

(2) 积木式,适应性强

微型计算机犹如积木式组合,用户可以根据需要进行搭配,灵活地组成各种不同规模的系统。所以微型机适应性强,能满足各种应用的需要。

(3) 可靠性高

微型计算机由于采用大规模集成电路,很多功能电路集成在一块芯片上,元器件大为减少,外部的接头和连线也因此而减少,所以故障率下降。由于集成工艺技术的不断提高,目前芯片的损坏率仅为0.0005片/千小时。

又由于将许多功能尽可能集成在最小数量的芯片上,因此,也给微型计算机系统的设计、应用带来很大的方便,既缩短了研制周期,也有利于应用普及。

(4) 微型计算机是硬件和软件相结合的产物

微型计算机在应用中,其硬/软件往往是密切结合的。对同一问题,既可靠软件来解决(这时硬件相对地简单一些),也可由硬件来解决,合理地运用硬、软件的结合,可以收到事半功倍的效果,这一特点,在微型机的接口技术上得到了充分的体现。

正因为微型计算机具有其独自的特点,使之能渗透和占领国民经济的各个技术领域。从宇宙飞船到日常生活,从科学计算到儿童玩具,都有微型计算机的踪迹。

当前微型机基本上沿着两个方向发展,一个是高性能、多功能的方向,从这方面不断取得的成就可能使微型机代替价格昂贵、功能优越的巨型机;另一个是价格低廉、功能专一的方向,这方面的发展使微型机在生产领域、服务部门和日常生活中得到越来越广泛的应用。

总之,微型机已成为应用最广泛、经济效益最为显著的一种机型,并以惊人的发展速度进行更新换代。

第二章 运算基础

计算机最基本的功能是进行数的加工和处理,在计算机中为便于对数的存储及物理实现,采用了二进制数。

为了讨论计算机中数的表示及运算,这一章,将首先从常用的十进制数开始,然后引入各种不同的进位计数制以及相互之间的转换。同时还将讨论数在计算机中的三种表示法:原码、补码和反码,并讨论它们的一些基本性质。最后概述数的浮点和定点表示及它们的运算。

第一节 进位计数制

一、十进制数

日常生活中,经常遇到各种进位计数制,但是人们最熟悉、最常用的是十进制。为了总结各种计数制的共同点,这里首先归纳十进制数的主要特点。

一个十进制数有两个主要特点:

- (1) 它有十个不同的数字符号,即 0, 1, 2, ..., 9。10 则称为十进制数的基数或底数;
 - (2) 逢十进位。因此同一数字符号在不同的数位代表的数值是不同的,即“权”是不同的。
- 如: 999.99 可写成:

$$999.99 = 9 \times 10^2 + 9 \times 10^1 + 9 \times 10^0 + 9 \times 10^{-1} + 9 \times 10^{-2}$$

一般地,任意一个十进制数 N 都可表示为

$$N = K_{n-1}10^{n-1} + K_{n-2}10^{n-2} + \cdots + K_110^1 + K_010^0 + K_{-1}10^{-1} + K_{-2}10^{-2} + \cdots + K_{-m}10^{-m} = \sum_{i=n-1}^{-m} K_i 10^i \quad (2-1)$$

(2-1) 式是十进制数按权的展开式。式中, 10 称十进制数的基数。 i 表示数的某一位, 10^i 称该位的权。 K_i 表示第 i 位的数码,它可以是 0~9 中的任一个数,由具体的数 N 确定。 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。

从十进制数的特点及按权的展开式不难总结出其他进制数的按权展开式。

二、二进制数

主要特点:

- (1) 它只有两个不同的数字符号,即 0 和 1,因此 2 称为二进制数的基数。
- (2) 逢 2 进位。任意一个二进制数可表示为

$$N = K_{n-1}2^{n-1} + K_{n-2}2^{n-2} + \cdots + K_12^1 + K_02^0 + K_{-1}2^{-1} + K_{-2}2^{-2} + \cdots + K_{-m}2^{-m} = \sum_{i=n-1}^{-m} K_i 2^i \quad (2-2)$$

式中, 2 为二进制数的基数, K_i 只能取 0 和 1, 其他符号含义与 (2-1) 式相同。

二进制数具有许多特殊的优点:第一,二进制只有 0 和 1 两个数字,显然,制造两个稳定状态的元件比制造多个稳定状态的元件容易;第二,便于数的可靠存储和传送;第三,运算简单。二进制运算的基本法则:

加法: $0+0=0$

$0+1=1$

$1+0=1$

$1+1=0$ 进位 1

$1+1+1=1$ 进位 1

减法: $0-0=0$

$1-1=0$

$1-0=1$

$0-1=1$ 有借位

乘法: $0 \times 0=0$

$0 \times 1=0$

$1 \times 0=0$

$1 \times 1=1$

因此计算机中采用了二进制。但是二进制数书写不方便,为了解决这个问题,便于人们对二进制数的书写,便引入了八进制和十六进制。

三、八进制数

特点:

(1) 它有 8 个不同的数字符号 0, 1, 2, ..., 7。8 称八进制的基数。

(2) 逢 8 进位。任意一个八进制数可写成

$$N = K_{n-1}8^{n-1} + K_{n-2}8^{n-2} + \cdots + K_18^1 + K_08^0 + K_{-1}8^{-1}$$

$$+ \cdots + K_{-m}8^{-m} = \sum_{i=n-1}^{-m} K_i 8^i \quad (2-3)$$

式中, K_i 可以是 0~7 中的任一个数,由具体的数 N 确定。其他符号含义同前。

因为 $2^3=8$, 所以一位八进制数相当于三位二进制数,它们是完全对应的,见表 2-1。

表 2-1 八进制数与二进制数的对应关系

八进制	二进制
0	000
1	001
2	010
3	011
4	100
5	101
6	110
7	111

这样,八进制与二进制之间的转换极为方便,将八进制数转换到二进制数时,只要把八进制数的每一位用三位二进制数表示即可;将二进制数转换成八进制数时,以小数点为基准,向左或向右将每三位二进制数用一个八进制数表示即可。

例 1 将八进制数 67.521 转换成二进制数。

$$\begin{array}{ccccccc} & 6 & 7 & . & 5 & 2 & 1 \\ & \downarrow & \downarrow & & \downarrow & \downarrow & \downarrow \\ 110 & 111 & . & 101 & 010 & 001 \end{array}$$

$$\therefore (67.521)_8 = (110111.101010001)_2$$

例 2 将二进制数 11111101.01001 转换成八进制数。

$$\begin{array}{ccccccc} & 011 & 111 & 101 & . & 010 & 001 & 0 \\ & \downarrow & \downarrow & \downarrow & & \downarrow & \downarrow & \downarrow \\ 3 & 7 & 5 & . & 2 & 2 \end{array}$$