

WEI XING
JI SUAN JI
YING YONG

微型计算机应用

湖南省技术教育计算机教研会 编



机械工业出版社

36

15/1

10/26
4/10/1

微型计算机应用

湖南省技术教育计算机教研会 编



机械工业出版社

内 容 简 介

本书内容包括微型机应用基础、Z80 指令系统、汇编语言程序设计、半导体存储器、输入输出和中断、接口电路、TP801A 单板机电路分析、微型机控制系统及其应用实例、实验指导等。

本教材文字简练，强调基础，突出应用，联系实际。可作为工科各类大专、中专和职工培训等方面的教材。

微型计算机应用

湖南省技术教育计算机教研室 编

*

责任编辑：贡克勤 韩雪清

封面设计：姚 毅

*

机械工业出版社出版（北京阜成门外百万庄南里一号）

（北京市书刊出版业营业许可证出字第117号）

长沙炮兵学院印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·新华书店经售

*

开本787×1092 1/16·印张 14 1/4·字数 358千字

1990年2月长沙第一版·1990年2月长沙第一次印刷

印数 0,001—8,450·定价：4.55元

*

ISBN 7-111-02044-8/TP·113(X)

前 言

为贯彻教育“面向现代化、面向世界、面向未来”的方针，为适应四化建设的需要，遵照国家教委关于学生培养目标中所提出的“了解电子计算机在本专业的实际运用，并有初步的应用能力”的要求，以培养出具有现代化先进科学技术、掌握微型计算机知识的应用型人才，当前各类大、中专学校都开设了计算机有关课程，工科类专业开设微型计算机课程已是非常必要。为适应教学需要，我会特组织具有丰富教学经验和实践能力的教师，根据国内微型计算机应用情况和培养目标的要求，编写了本书。该书可作为工科各类大专、中专、职工培训等方面的教材。

鉴于国内微型计算机所用微处理器以Z80-CPU居多，故本教材以Z80-CPU为典型。

本教材强调打好基础，突出应用，联系实际。在介绍内容时，力图从实际应用的角度去分析和解决问题；在组织内容时，精选了有价值的微型计算机应用方面的知识。每章附有习题，并有实验指导，以培养读者的实践能力。

由卢尊甫、徐润德、徐志忠、李康林、蒋外文、张深基、崔生瑞、王时德、张素兰、廖哲智组成的编审委员会对本书的编写进行了认真的讨论和审定。

1988年春由湖南省化工学校高级讲师徐润德，株洲铁路机械学校高级讲师徐志忠，长沙有色金属专科学校副教授卢尊甫、讲师蒋外文和湖南省广播电视学校讲师李康林合编了本书初稿供内部使用。

经过一年多的教学实践，本次出版在广泛征求意见的基础上对初稿进行了较大的修改和补充。由徐润德主编并修改第1、2、5章，廖哲智修改第3、4、7、8章，并补写应用实例，李康林修改实验指导和附录，第6章由李康林、廖哲智共同修改。全书由卢尊甫主审。审定前后由廖哲智负责校订。湖南省机械工业学校高级讲师谭维瑜对书稿提出了许多宝贵的修改意见，并为本书的出版做了许多工作。

使用本教材可根据学生情况和所安排的教学时数进行取舍，有些章节可作为自学和提高部分。

由于编写时间仓促，水平有限，难免会有谬误之处，敬请广大读者和老师批评指正，以求不断改进。

湖南省技术教育计算机教研会

1989年7月

目 录

第一章 微型计算机应用基础	1
第一节 计算机与信息化社会	1
第二节 微型计算机的应用及其特点	3
第三节 微型计算机运算基础	6
第四节 微型计算机硬件基础	14
第五节 微型计算机的工作过程	20
习题	23
第二章 Z80微处理器及其指令系统	25
第一节 Z80微处理器的结构	25
第二节 指令格式和机器周期	30
第三节 Z80寻址方式	31
第四节 数据传送指令	34
第五节 数据操作指令	39
第六节 程序控制指令	44
第七节 CPU控制指令和位操作指令	46
习题	48
第三章 汇编语言程序设计基础	50
第一节 汇编语言的基本概念	50
第二节 Z80汇编语言程序设计基础	52
第三节 汇编语言程序设计综合举例	58
习题	63
第四章 半导体存储器	64
第一节 读写存储器 RAM	64
第二节 只读存储器 ROM	68
第三节 存储器与 CPU 的连接	71
习题	73
第五章 输入输出和中断	74
第一节 I/O寻址方式及指令	74
第二节 CPU与外设之间的数据传送	76
第三节 微型计算机的中断概念	82
第四节 中断处理过程	84
第五节 Z80-CPU中断系统及其应用	87
习题	93
第六章 接口电路	94
第一节 概述	94
第二节 Z80-CTC接口芯片及其应用	94

第三节	Z80-PIO接口芯片及其应用	105
第四节	Z80-CTC、PIO 应用综合举例——定时控制系统	116
第五节	D/A转换接口及其应用	121
第六节	A/D转换接口及其应用	126
习题		135
第七章	TP801A单板机	137
第一节	TP801A单板机的组成	137
第二节	TP801A显示器电路及原理	141
第三节	键盘及接口	146
第四节	盒式磁带机接口	152
第五节	EPROM写入接口电路	154
第六节	TP801A单板机操作	155
习题		159
第八章	微型计算机在控制中的应用	160
第一节	计算机控制系统及其分类	160
第二节	数字滤波	164
第三节	PID调节	168
第四节	应用实例	171
实验指导书		179
附录		204
附录一	如何在APPLE机上使用Z80汇编语言	204
附录二	ASCII 码表	208
附录三	Z80指令系统表	209
附录四	标志操作摘要表	216
附录五	Z80指令机器周期表	217
参考文献		222

第一章 微型计算机应用基础

提要 信息化社会以计算机为标志,计算机将象电动机一样普及。因此,微型计算机(简称微型机或微机)的应用就是本书的纲。为此,在本章中,应学好微型机的运算基础和硬件基础;掌握数制、码制、运算方法(四则运算、补码运算、10进制运算、逻辑运算)、微机结构和工作原理;理解两股信息(数据、控制命令)在微机系统中的流动;了解计算机就是信息处理自动机的含义。

第一节 计算机与信息化社会

一、信息化社会

人类社会经过农业化阶段、工业化阶段已进入一个高度现代化的信息化社会。大约在六千到一万年以前,人类从鱼猎游牧社会进入到农业社会。18世纪由于三大技术的发明(纺织机、蒸汽机、工作机),使人类进入工业社会。在工业社会阶段发生了三次重大技术变革:

- 1)以力学为基础,以纺织机、蒸汽机、工作机为生产手段的机械时代(18世纪70年代);
- 2)以电磁学为基础,以电机、原动机为生产手段的电气时代(19世纪中期);
- 3)以电子、核子、相对论为基础,以电信、电子控制设备为生产手段的电子时代(20世纪初)。

信息化社会以计算机为标志展现在人类面前(起始于20世纪40年代),它以信息科学、生命科学、材料科学为基础;它的生产手段是信息处理设备、知识处理设备;它的资源是信息资源;它的目标是实现时间价值,提高社会效益;它的主导产业是智力产业——计算机及计算机软件。

人们把信息化社会总结为三“C”四“A”:

COMMUNICATION、COMPUTERIZATION、CONTROL;FACTORY AUTOMATION、OFFICE AUTOMATION、HOME AUTOMATION、AGRICULTURAL AUTOMATION。

二、信息、信息处理机(计算机)

一个工矿企业的生产情况、计划执行情况、物资器材情况、资金流动情况等等都要产生大量信息;一个人从早到晚都要从工作、生活中,从电视、收音机、报刊以及从别人那儿接收大量信息。

据推测,人类掌握的知识在20世纪初每隔30年增加一倍;50年代每10年增加一倍;70年代每5年增加一倍;现在大约每三年增加一倍,现在全世界约每小时有二十项发明;每天有6000篇到7000篇的学术论文发表;如果你要把全世界每天出的报纸看完,就得花六十年的时间。

信息量如此巨大,它随时间成指数曲线增长,进行信息的收集、存贮、加工、检索和传输工作既宏大浩繁,又琐碎细小,谁当此任?自然是应运而生的信息处理机(计算机)。

什么是信息?如上所述,只要是能用文字、符号、数字、图表等所描述出来的就都是信息。信息是人类认识世界和改造世界的知识,是能创造价值和能交流的知识。它是客观世界三大要素(物质、能量、信息)之一;是物质与能量形态的表现;是事物客观存在和运动状

态的映象；是人与客观世界万物间的媒介。

信息有两种：一种是自然信息，这是天然存在的，如严寒、酷暑、雷、电、火等；另一种是加工信息，语言是这种信息的第一载体，它是人类相互交换的信息；文字是信息的第二载体，它是人类超过时域、超过地域传递和交换的信息；电磁波是信息的第三载体，它使信息可以运载，如电报、电话、广播、电视，这不仅可以超越空间在瞬间同时收听语言和音响信息，还可以收看图象和文字信息，使信息普及到社会的每个角落。

信息有不同的表现形式，如声、电磁波、文字、符号、颜色、图象等。信息便通过这些形式传递情报、指示、数据、信号等。它们都可以利用各种“换能器件”（如机电器件、光电器件、电声器件等）变换为电信息的形式，以便利用计算机进行信息的加工处理。

三、信息处理与计算机

人用耳朵听，眼睛看，是在进行信息的收集与输入；脑子记是在进行信息的存贮；脑子想是进行信息的加工；用嘴说，则是信息的输出；语言则是信息的传输渠道。这就是信息简单的加工处理过程。

用什么来处理信息呢？用信息机，它是现代三大生产工具之一。现代三大生产工具是指工具机（如机床、纺织机等）、动力机（如发电机、原动机、核电站等）、信息机。信息机就是计算机，信息处理系统就是计算机系统。

计算机就是信息处理的自动机，计算机原理就是研究信息自动处理的科学。

计算机中的信息（如图1-1所示）归结起来是二类：数据信息和控制信息。这两股信息在计算机中流动，在流动过程中相互作用，便产生我们所要求的结果。在信息的流动和作用过程中，控制信息处于主动地位，数据信息处于被动地位。数据信息是在控制信息的控制下实现流动、发生作用和产生结果的。因此计算机原理又可以说是研究两种信息流动和作用的原理。

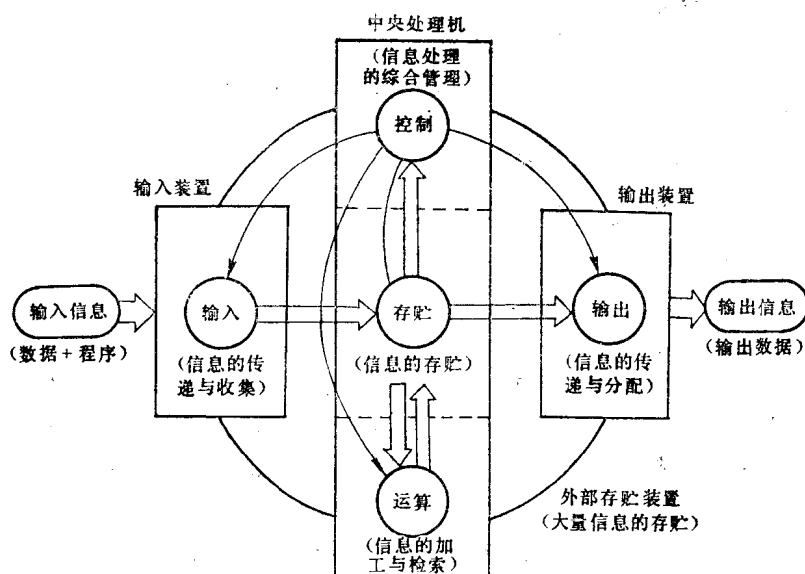


图1-1 计算机系统的五大功能

信息处理就是指信息表达、信息组织、信息加工、信息变换、信息存贮、信息控制和信息传送。

信息表达包括数据信息和控制信息的表达。数据信息的表达方法是实现运算的基础，它主要讨论各种数据信息的表示方法、编码形式及它们间的转换方法。如进位计数制及其转换方法、原码、补码、反码。控制信息的表达方法是实现控制的基础，主要讨论指令表达方法，即指令结构格式、指令类型和寻址方式等。

信息组织，即如何应用控制信息对不同数据信息按确定算法进行处理。具体地讲，就是讨论汇编语言及其程序设计的基本方法，它是硬、软件相结合的具体的统一。

信息加工主要讨论算术运算和逻辑运算的算法及实现算法的物理装置——运算器。

信息变换是人机联系的媒介。具体方法是通过输入输出设备实现的。

信息存贮即指控制信息和数据信息的存贮。控制信息的存贮又称程序存贮。存贮控制信息和数据信息的物理装置就是存贮器。

信息控制是指中央处理单元（CPU）对全机的指挥控制，在它的控制下实现主机内部及主机与外设之间的信息传送，如程序控制技术、中断系统技术等。信息控制具体可归结为执行指令序列的过程，即取指令、分析指令、执行指令的过程。

信息传送包括主机内部的信息传送、主机与外设之间的信息传送和总线技术。

如图1-1所示，计算机系统可归纳有五大功能：信息的传递与采集——由输入设备完成；信息的存贮——由存贮装置完成；信息的加工与检索——由运算处理装置完成；信息处理的综合管理——由控制装置完成；信息的传递与分配——由输出设备完成。

如上所述，计算机的信息处理功能和人的信息处理功能十分相似，符合对偶原理。

计算机系统可归纳为二大系统：硬件（机器系统）即图1-1的五大件；软件（程序系统）即管理、使用和维护计算机所需要的所有程序和文档。人的躯体相当于硬件，人的所有知识、本领相当于软件。如人学会了英语，就等于此人配上了英语软件；人会开车，就配上了开车软件。

第二节 微型计算机的应用及其特点

由于半导体集成技术的发展，诞生了微机，微机的出现开拓了计算机普及应用的新纪元。

微机的应用有着极广阔的天地，有待于使用者开发、创造，其应用是千变万化的，主要决定于使用者对微机系统的掌握程度和在实际应用中的编程能力、接口应用能力。

一、微机应用分类

微机的应用大体可分为三类：

（一）科学与工程计算

这方面的计算一般与数值计算有关，其特点是输入输出量较少，计算量很大，要求有较高的计算速度、高的计算能力、大的内存，如计算机辅助设计、建筑结构计算、飞机结构计算等。

（二）数据处理

计算机用作文件、数据的处理系统，其处理对象是数值的或非数值的数据；其特点是计

算量小、输入输出量大、重复操作多，如数据的分类、整理、比较、综合等。因此要求有较好的外设、大容量的内存和外存储器，如用在企业管理、资料信息检索、印刷排版、物资调运、库存管理、机关事务管理、银行帐目管理等时就是如此。

(三) 自动控制

本书主要讲述微机对生产过程的控制。微机应用于生产过程控制时，要求响应速度快、人机通讯方便、可靠性高，另外，一般由于控制参数不多，内存容量可小些。由于生产过程中各种参数都要通过各种专用的外设（外部设备）输入计算机，计算和分析结果又要通过各种专用的外设输出到生产过程中的执行机构，以进行自动控制，因此还要求有较多的外设和各种各样的专用接口（接口是外设与微机联系的桥梁）。

二、微机应用简介

计算机用于过程控制起始于60年代，随着微型计算机的问世，计算机在工业控制中的应用便迅速发展起来。

将微处理器或微型计算机与其它机器、设备、仪器等控制对象连接，对它们的工作过程进行控制的系统称为微机控制系统。微机控制系统实时采集控制对象工作过程中的有关参数（如温度、压力、流量、流速、电流、电压、速度、加速度、光通量等等）。这些参数通过换能器件（如光电器件，声电器件等），模—数转换（A/D），以数字形式送入计算机，计算机对收集的数据进行整理，并与理想数据（给定值）进行比较、处理，然后把结果送到控制调节机构（如阀门、开关等）实现给定控制，其过程如图1-2所示。

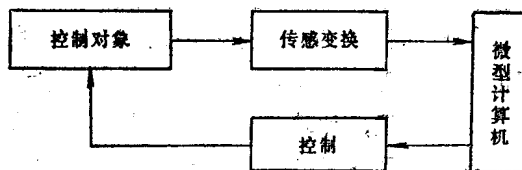


图1-2 微机控制示意图

计算机过程控制的优点是：

1) 能实时进行调节。很多工业生产过程（如化工、钢铁等等），当采用常规检测手段时，待结果出来后，生产情况早已变化，因此不能及时地进行控制，产品达不到优质低耗。使用计算机控制系统（称实时系统）能适时地进行动态分析，缩短检测与控制的时间滞后，立即求出结果，及时地进行调节，确保优质高产。

2) 大大提高劳动生产率，充分发挥设备潜力。据有关资料统计，应用计算机进行自动控制可使合成氨厂增产5%，可使乙烯厂增产6%，可使原油蒸馏增产2~5%。某钢厂的一座转炉，用计算机控制后，炼钢时间从原来的每炉47min缩短到38min。美国一台带钢热轧机，应用计算机控制，产量提高100倍。据化工、石油、电力、冶金等部门统计，计算机系统的设备投资一般可在1~2年内全部收回。

3) 易使产品智能化。如某厂生产一种出口机床，其质量与国外同类产品相当，而国外的产品，因用上了价值仅为1000美元的微处理器，实现了数控，机床就卖20万美元一台，而我国没有装微处理器的机床，由于没有自动控制功能，只值2万美元。

4) 易实现优质、高产、低耗、节能。

5) 微机应用投资少，周期短，经济效率高。

自动控制中的顺序控制（主要控制生产过程中的动作）也最宜用微机作控制机。如各种

自动线的控制。

仪器仪表是人们进行科学实验和生产所必备的工具和手段。由于微机和微处理器的出现,使仪器仪表发生了根本的变化,出现了带有计算处理功能的自动测量、自动分析、自动调节的仪器仪表——智能化仪器仪表。

由声音指示的电压表就是一例。通常的电压表不是指针式就是数字式的,使用时总离不开眼睛,既要注意测试棒,又要注意测试点,还要看准读数,很不方便。现在由微处理器所构成的声音电压表就很方便。它用发音来向使用者报告电压,使用者用耳朵就可以听出电压有多高。

声音电压表专用于测量逻辑电路中的逻辑电平,测量范围是 $0 \sim 5\text{ V}$ 。整个表的核心是微处理器MC6800,它通过工作程序控制整机工作,另外还有时钟芯片、存贮器、接口、D/A转换器、运放器、反相门及扬声器等部件。

该表的声音有三种音调,一种发“di”的短促音,另一种发“da”的长音,“di”表示数值1,“da”表示数值0,而“di”的鸣响次数即是它所表示的数值,如“didi”代表 2 V ,“didi—停顿—di”代表 2.1 V 。

智能化仪器仪表具有以下优点:

1)提高了自动化程度。在仪器装入微机后,仪器可以自动转换量程、自动调节、自动测量、自动变换参数、自动计算、自动存贮有关数据和程序,并以先进的方式输出结果。

2)提高了测量、分析精度。应用微机后,仪器具有自动调零、自动核准及自动修正误差等功能,不仅避免了繁琐的人工校正,更重要的是保证了仪器的精度。

3)提高了测量、分析的实时性。由于能及时处理测量数据,随时显示或输出结果,便于及时提高检测质量,提高经济效益。

4)便于维修。有自动诊断故障的功能。

5)体积小,成本低,可靠性高,灵活性大。

现在,人们熟知的数字万用表、信号源、示波器、频谱仪、色谱仪等等都已经或即将装上电脑,它们变得更加“灵巧”了。

三、微机应用的特点

微型计算机及其系统随着大规模集成电路的发展而蓬勃发展。因此,它的性能指标已远远超过它刚出现时的小型计算机,从而取代了小型机的应用领域。其应用特点简述如下。

1)价格低、可靠性高。一块含有几千个门电路以上的大规模集成电路,其价格只相当于把五、六块中小规模电路加以组装和调试所需的总费用。这样原来很多用组合逻辑来实现的应用场合,大都可以用微机来代替,其结果往往是不增加成本,而大大增加原设备功能。由于大规模集成电路芯片集成度很高,和原来用中、小规模电路设计成的功能相似的计算机相比,其用片量要减少十倍甚至千倍以上,这就明显地提高了应用系统的可靠性。

2)由于价低,可靠性高,由微机组成的模块化的可扩充的多机系统正在发展。大型机和微型机的关系正在变化,它们的关系是大中有微,微可拼大,微可促大。以往计算机技术着力于提高机器的集中处理能力,现在人们试图用成千上万部微机来构成复杂的巨型机系统,用这种功能分散的分布式处理技术来提高性能/价格的比值。

3)使用灵巧。采用相同的硬件,只要通过设计不同的软件就可适应不同的应用要求,故微机的功能扩展相当容易。

4) 由于软件工作量的增大, 二次开发成为微机应用的最大特点。人们一看到电视机、收音机, 容易知道它是干什么的。但计算机不一样, 它的用途不是一眼就能看出来的。严格地讲, 计算机从出厂到用户手中只是个半成品, 要使它在生产和工作上发挥作用, 还需要花费很大力气, 还要根据应用环境和生产过程重新进行开发, 才能显示其功能。

因此, 我们要把计算机的应用当做它的生命, 用系统的观点和方法, 建立一个应用体系, 使它直接为经济振兴服务; 建立一个服务性体系, 抓好科研、开发、使用、培训和维修等工作; 建立一个管理体系, 做到既有硬件、软件, 又有操作员、程序员和维修人员, 把微机应用推广到信息化社会的每个角落。

第三节 微型计算机运算基础

微机的本质还是一种数字计算机, 计算机的最基本功能是进行数的运算或加工处理。因此必须了解数据信息在计算机中是如何表示的。

一、数制

按进位的方法进行计算, 称为进位计数制, 简称数制。日常使用的是“十进制”, 而计算机中常采用“二进制”、“十六进制”等。

(一) 十进制数的特点

1) 有十个不同的数字符号, 即 0, 1, 2, ..., 9。

2) 逢十进一。同一个数值符号处于数的不同位置, 它所代表的数值不同。如 353.3, 其中三个 3 分别代表不同的数值 300、3 和 0.3, 这个数可以写成:

$$353.3 = 3 \times 10^2 + 5 \times 10^1 + 3 \times 10^0 + 3 \times 10^{-1}.$$

上式中 10 为十进制的“基数”, “基数”就是所用数字符号 (或称数码) 的个数, 而称 $10^2, 10^1, 10^0, 10^{-1}, \dots$ 等为各位数的位值 (即“权”)。

(二) 二进制数的特点

1) 有二个不同的数字符号, 即 0, 1。

2) 逢二进一。同一个数字符号在不同位置所代表的数字也是不同的。

例 1-1 二进制数 $1101.101_{(2)}$, 按权展开为

$$1101.101_{(2)} = 1 \times 2^3 + 1 \times 2^2 + 0 \times 2^1 + 1 \times 2^0 + 1 \times 2^{-1} + 0 \times 2^{-2} + 1 \times 2^{-3}$$

二进制数的“基数”是 2, 其各位数上的“权”分别为 $2^2, 2^1, 2^0, 2^{-1}, \dots$ 等。

(三) 十六进制数的特点

1) 有十六个不同的数字符号, 即 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, A, B, C, D, E, F。

2) 逢十六进一。

例 1-2 十六进制数 $4BA.12_{(16)}$, 按权展开为:

$$4BA.12_{(16)} = 4 \times 16^2 + 11 \times 16^1 + 10 \times 16^0 + 1 \times 16^{-1} + 2 \times 16^{-2}$$

二、数制间的转换

(一) 二进制数与十进制数间的转换

(1) 二进制数转换为等效的十进制数 转换方法是按权展开相加, 即得到十进制数。

例 1-3 $101.101_{(2)} = 1 \times 2^2 + 0 \times 2^1 + 1 \times 2^0 + 1 \times 2^{-1} + 0 \times 2^{-2} + 1 \times 2^{-3}$

$$= 5.625_{(10)}$$

(2) 十进制数转换为等效的二进制数 其方法是将整数部分和小数部分分别采用“除2取余”法和“乘2取整”法。

1) 整数部分的转换方法: 把十进制数连续除以2, 取其余数, 直至被除数为零时为止。最早的余数是等效二进制数的最低位, 而最后的余数, 却是等效二进制数的最高位。

例1-4 把 $59_{(10)}$ 转换为二进制数

2	59		
2	29	……余1	(最低位)
2	14	……余0	
2	7	……余0	
2	3	……余1	
2	1	……余1	
	0	……余1	(最高位)

即: $59_{(10)} = 111011_2$

2) 小数部分的转换方法: 把十进制小数连续乘以2, 取其整数, 直至满足精度要求。

例1-5 把 $0.625_{(10)}$ 转换为二进制。

$$0.625 \times 2 = 1.25 \quad \dots\dots \text{取整数1 (即小数点后第1位)}$$

$$0.25 \times 2 = 0.5 \quad \dots\dots \text{取整数0 (小数点后第2位)}$$

$$0.5 \times 2 = 1.0 \quad \dots\dots \text{取整数1 (小数点后第3位)}$$

$$\text{即, } 0.625_{(10)} = 0.101_{(2)}$$

(二) 十六进制与二进制间的转换

(1) 二进制转换为十六进制 因为 $2^4 = 16$, 所以一位十六进制数相当于四位二进制数, 把每四位二进制数用相当的十六进制数表示即可。

例1-6 $0010\ 1011\ 1111_2 = 2B.F_{(16)}$

(2) 十六进制数转换为二进制数 把每位十六进制数用相应的四位二进制数表示即可。

例1-7

9	D	E	
↓	↓	↓	
1001	1101	1110	$\therefore 9DE_{(16)} = 1001\ 1101\ 1110_2$

(三) 十进制转换为十六进制

(1) 直接法 类似于十进制数转换为二进制数的方法, 整数部分采用“除16取余”法, 小数部分采用“乘16取整”法。小数部分的转换有误差, 一直转换到所要求的精度为止。

(2) 间接法 先将十进制数转换为二进制数, 再由二进制数转换为十六进制数。

例1-8 将十进制数 $543.625_{(10)}$ 转换为十六进制数。

先采用“除2取余”法和“乘2取整法”, 将它转换为二进制数即 1000011111.101_2 , 然后以小数点为界, 向左(整数部分)或向右(小数部分)将每4位二进制数(不足4位的添0补足)用1位十六进制数代替, 就可得到十六进制数即 $21F.A_{(16)}$ 。

几种进位制数的对照如表1-1所示。

表1-1 几种进位制数的对照表

十进制	十六进制	二进制	十进制	十六进制	二进制
0	0	0	9	9	1001
1	1	1	10	A	1010
2	2	10	11	B	1011
3	3	11	12	C	1100
4	4	100	13	D	1101
5	5	101	14	E	1110
6	6	110	15	F	1111
7	7	111	16	10	10000=2 ⁴
8	8	1000	31	1F	11111
32	20	100000=2 ⁵	512	200	100000000=2 ⁹
64	40	1000000=2 ⁶	1024	400	2 ¹⁰
128	80	10000000=2 ⁷	2048	800	2 ¹¹
256	100	100000000=2 ⁸	4096	1000	2 ¹²
			65536	10000	2 ¹⁶

三、二进制编码

(一) BCD码

二进制数字电路容易实现，工作可靠且二进制运算规律十分简单，所以在计算机中都采用二进制，但在计算机的数字输入和输出时，人们习惯用十进制数。于是十进制数需要用二进制编码来表示。这种编码称二进制编码的十进制数，即BCD码。

BCD码的英文是“BINARY CODED DECIMAL”。BCD码的含义是用四位二进制数来表示0~9之间的一位十进制数，而0~9通常采用所对应的二进制数作为代码，这就是8421 BCD码。

例1-9 将十进制数84.7转换为BCD码

$$\begin{array}{ccc} 8 & 4 & 7 \\ \downarrow & \downarrow & \downarrow \\ 1000 & 0100 & 0111 \end{array} \quad \therefore 84.7_{(10)} = 1000 \ 0100 \ . \ 0111_{(BCD)}$$

注意：BCD码与真正的纯二进制是不同的，它貌似二进制，实为十进制；四位二进制编码中仅有0~9的数值是有效的，大于9的数（不含9）在BCD码中无效，要用二个四位二进制数表示。如 $10_{(10)} = 0001 \ 0000_{(BCD)}$

由于BCD码能直接表示十进制数，因此特别适用于计算机中数的输入及数的显示输出。

(二) ASCII码

ASCII码（美国标准信息交换码）是一种广泛用于微型机及数据通信设备中的字符码。所谓字符是指十进制数字、英文字母和专用符号。ASCII码就是用7位二进制代码来对字符进行编码（第八位可用作奇偶校验位）。见附录二。

表示数字、字母或控制功能的七位ASCII码是由3位和4位一组组成，其格式是：

$\begin{array}{ccccccc} 6 & 5 & 4 & & 3 & 2 & 1 & 0 \\ \text{三位组} & & & & \text{四位组} & & & \end{array}$
 (0为最低位)

例如，数字0~9的ASCII码是30H~39H。当使用6位ASCII码时，三位一组的减为二位一组，它去掉了26个英文小写字母。

四、带符号数在计算机中的表示法

(一) 机器数与真值

实际的二进制数，是有正、负符号的，人们规定用“0”表示正数符号，用“1”表示负数符号。而且规定一个数的编码的最高位是符号位。

符号位 ← 数值位

 ↓ ↓

例1-10 $Y = 1\ 1\ 0\ 1\ 1\ 0\ 1\ 0_{(2)} = -90_{(10)}$

这样，连同符号位在内的若干位二进制数作为一个数——机器数。它所代表的数值称为机器数的真值。

(二) 数的定点表示法

在计算机中，数值的小数点位置可用定点法和浮点法确定。定点表示就是小数点在数中的位置是固定不变的；浮点表示是指小数点在数中的位置不是固定而是浮动的。采用定点运算的计算机电路较简单，故本书只介绍定点表示法。

定点表示法有二种情况：一种是规定小数点在数据的末尾，即参加运算的数据全部为整数；另一种是规定小数点固定在符号位与数据位之间，即认为参加运算的数据全部为小数。

(三) 原码

为了运算方便，计算机中的正数永远用原码表示，而负数有三种表示法，即原码、反码和补码。

原码就是正数的符号位用“0”表示，负数的符号位用“1”表示，数值位保持二进制数值不变的数码。

例1-11 $X = +19_{(10)}$ 则 $[X]_{\text{原}} = 00010011_{(2)}$

$Y = -19_{(10)}$ 则 $[Y]_{\text{原}} = 10010011_{(2)}$

原码表示简单，但用原码作减法运算时，计算机电路复杂，速度低，故一般用反码、补码。

(四) 反码

正数的反码和原码相同。负数的反码是把它对应的正数按位取反(连同符号位)而形成的。

例1-12 $[+3]_{\text{反}} = [+3]_{\text{原}} = 00000011$ $[-3]_{\text{反}} = 11111100$

$[+4]_{\text{反}} = [+4]_{\text{原}} = 00000100$ $[-4]_{\text{反}} = 11111011$

$[+0]_{\text{反}} = [+0]_{\text{原}} = 00000000$ $[-0]_{\text{反}} = 11111111$

注意：负数用反码表示时，符号位后面各位所表示的不是此负数的真实数值，必须把反码值部分按位取反，才是负数的真实值。如上例中，反码值1111100(除符号位)其真实值为0000011，考虑符号后为-3。

(五) 补码

正数的补码与原码相同。负数的补码是在它的反码的末位加1(称求反加1)

例1-13 $[+3]$ 原 = 00000011 $[+5]$ 原 = 00000101
 $[-3]$ 反 = 11111100 $[-5]$ 反 = 11111010
 $[-3]$ 补 = 11111101 $[-5]$ 补 = 11111011

即: $[X]$ 补 = $[X]$ 反 + 1

补码引入的目的是采用补码以后, 可使正、负数的加、减运算简化为单纯的加法运算。

例1-14 求解十进制数 $13 - 5 = ?$

用二进制补码计算, 其算式是:

$$\begin{array}{r} [+13] \text{ 补} = 00001101 \\ +) [-5] \text{ 补} = 11111011 \\ \hline \textcircled{1}00001000 \\ \downarrow \text{自动丢失 (不影响运算结果)} \end{array}$$

例1-15 求解十进制数 $5 - 13 = ?$

用二进制补码计算

$$\begin{array}{r} [+5] \text{ 补} = 00000101 \\ [-13] \text{ 原} = 10001101 \\ [-13] \text{ 补} = 11110011 \\ \hline \text{+) } [-13] \text{ 补} = 11110011 \\ \hline 11111000 \end{array}$$

补码运算注意事项:

- 1) 在微机中, 凡是带符号的数, 一律是用补码表示的。所以运算的结果也是用补码表示的。
- 2) 符号位与其余的位一起参加运算, 结果符号位为 0 时, 符号后面的数值是真实值; 结果符号位为 1 时, 符号位后面的值不是真实值, 而是补码值。必须对该补码再一次求补之后, 才得到结果的真实值, 且一定为负。

如对 11111000 再次求补, 即

$$\begin{array}{c} \downarrow \downarrow \downarrow \downarrow \downarrow \downarrow \\ 10000111 + 1 = 10001000 = [X] \text{ 原} \end{array}$$

- 3) 要保证运算不超过补码所能表示的最大范围。
- 4) 符号位产生的进位丢失不影响运算结果。

五、微机中的运算方法

微机中的基本运算有二类, 一类是算术运算, 另一类是逻辑运算。

(一) 二进制四则运算

1. 二进制加法

【规则】 $0 + 0 = 0$ $0 + 1 = 1$
 $1 + 1 = 0$ (进位 1) $1 + 1 + 1 = 1$ (进位 1)

例1-16 $1101 + 1011 = ?$

$$\begin{array}{r} \text{进位 } 1 \ 1 \ 1 \\ \text{被加数 } 1 \ 1 \ 0 \ 1 \\ \text{加数 +) } 1 \ 0 \ 1 \ 1 \\ \hline 1 \ 1 \ 0 \ 0 \ 0 \end{array}$$

2. 二进制减法

【规则】 $0 - 0 = 0$ $1 - 0 = 1$

$$1-1=0$$

$$0-1=1 \text{ (有借位)}$$

例1-17 $11000100 - 00100101$

借	位	1 1 1 1 1 1
借位后的被减数		1 0 1 1 1 0 1
被 减 数		1 1 0 0 0 1 0 0
减	数 -)	0 0 1 0 0 1 0 1
		1 0 0 1 1 1 1 1

计算时先用被减数和借位相运算，得到考虑了借位以后的被减数，然后再与减数相减，最后可得到每一位的差，以及所产生的借位。

3. 二进制乘法

【规则】 $0 \times 0 = 0$ $1 \times 0 = 0$
 $0 \times 1 = 0$ $1 \times 1 = 1$

例1-18 $1101 \times 1001 = ?$

1101	
×) 1001	
1101	……第一次部分积
0000	
01101	……第二次部分积
0000	
001101	……第三次部分积
1101	
1110101	……最后乘积

由于 $1110101_{(2)} = 117_{(10)}$ ，故上述二进制乘法是正确的。但在计算机上实现时，为了节省设备，对上述乘法过程作了如下修改：

1) 被乘数左移改为部分积左移。

2) 当乘数某位为0时不进行加法运算，只进行一次部分积左移操作。

例1-19 对例1-18的运算，用部分积左移的方法求其乘积。

被 乘 数	乘 数	部 分 积
1101	1001	0000
① 乘数最高位为1，把被乘数加至部分积，		+) 1101
然后乘数左移1位，	10010…①	1101…①
② 乘数为0，部分积左移1位，不加被乘数，		11010…②
然后乘数左移1位，	100100…②	
③ 同②，	1001000…③	110100…③
④ 乘数为1，部分积左移1位，加被乘数，		1101000…④
得最后乘积。		+) 1101…④
		1110101

4. 二进制除法