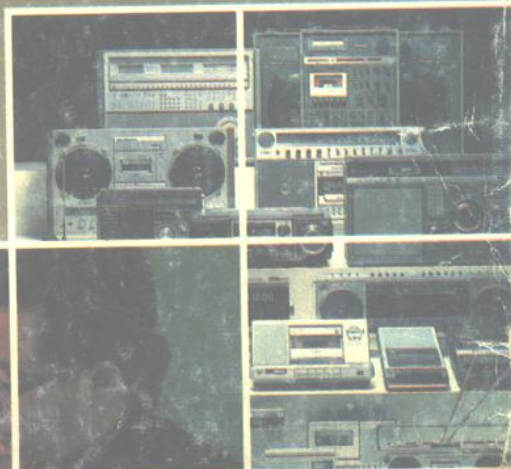
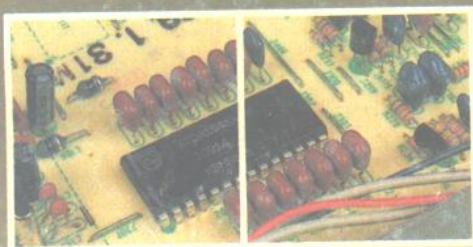


微型计算机 原理及应用基础

高元华 编著



● 电子技术教育丛书 ●



科学技术文献出版社

电子技术教育丛书

微型计算机原理及应用基础

高元华 编著

科学技术文献出版社

1991年

内 容 提 要

《微型计算机原理及应用基础》共分10章:概述,二进制运算和编码,Z80CPU,Z80指令系统,Z80汇编语言程序设计基础,微型计算机的存储器,接口与中断,TP801、TRS80微型计算机简介,BASIC语言,FORTTRAN语言。读者学习本书,可初步掌握微型计算机的基本概念,从使用的角度了解微型计算机各组成部分的功能和结构,以及用汇编语言、BASIC语言和FORTTRAN语言进行程序设计的基本方法,为今后进一步学习微型计算机技术和使用微型计算机打下一定基础。

在编写本书过程中,编者注意到职业培训的特点,力求作到深入浅出和循序渐进,突出基本概念和操作方法,并为读者上机操作提供了必要的资料。但由于编者水平有限,书中难免尚有不妥之处,敬希广大读者批评指正。

在编写过程中,编者参考了中国电子学会普及工作部主办的全国电子技术自修班教材《微型电子计算机原理和程序设计》,以及其它有关资料,并得到了高坦弟指导在此谨对这些教材和资料的编者表示谢意!

编者

1990年7月于北京

微型计算机原理及应用基础

高元华 编著

科学技术文献出版社出版

(北京复兴路15号 邮政编码:100038)

北京仰山印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

787×1092毫米 16开本 17.25印张 427千字

1991年8月第1版 1991年8月第1次印刷

印数 1-4,800册

科技新书目:242-097

ISBN 7-5023-1417-2/TN·80

定价:10.80元

序

电子技术教育丛书编委会组织了富有实践经验的教授、高级讲师、高级工程师们花了一年多的时间，编写了这套《电子技术教育》丛书，是非常可喜的。

这套丛书的出版，对电子技术人才的培训，职业技术人员的成长会起到一定的积极作用，它将成为广大电子技术爱好者的良师益友。

我希望这套丛书能得到社会各界的关心和支持，同时通过广泛的数学实践，再据以修改补充，使其更加充实完善。

中国电子协会学会理事长

A stylized handwritten signature in black ink, likely belonging to Guo Jia Ren, the President of the China Association of Electronic Education.

1990. 10. 18

电子技术教育丛书编委会

顾问：邢纯洁

主任委员：刘学达 郭厚登 佟力

副主任委员：游泽清 王明臣

委员：（按姓氏笔划）：

丁新 卫功宜 王有春 王玉生

左万昌 宁云鹤 齐元昌 朱毅

陈忠 李军 李兴民 陆如新

周贵存 张道远 张珍华 廖汇芳

前 言

为适应我国电子技术教育迅速发展的迫切需要,使教育更好地为四化建设服务,为电化教育服务,电子技术教育丛书编委会组织编写了这套《电子技术教育丛书》。

丛书包括:电子技术数学基础,电子技术电工基础,晶体管电路基础,脉冲与数字电路基础,模拟集成电路原理及应用,收录机和组合音响原理及电路解说,黑白电视机原理及电路解说,彩色电视机原理及电路解说,家用和专业用录像机原理及电路解说,卫星电视接收与转播,小型电视台转发设备,电子特技原理及应用,共用天线电视系统、摄像机与摄录放一体化机原理、操作和维护,小型电视台设备系统及其管理,实用无线电仪器与测量,微型计算机原理及应用基础,最新录像技术与设备,共十八册。

这套丛书是参照电子技术类职业教育的计划和大纲编写的。它包括了电子技术专业的基础课和专业课,具有较强的系统性,每册内容又具有一定的独立性。这套丛书可作为职业教育参考教材,也可供具有中等文化程度和电子技术爱好者和自学时选用。

在编写丛书过程中,编者注意到理论与实践密切结合,硬件与软件相结合,并以小型电视台(站)所必须具备的配套设备作为专业课的基础。通过一定的理论分析和运用具体实例来加深对理论概念的理解,以简明分析问题的步骤和思路为线索,突出了物理概念。在文字上力求深入浅出和通俗易懂。每章后面一般都有一定数量的习题,帮助读者巩固所学的内容。书后还附有习题解答或提示,以便读者自我检查。

本套丛书前10本自1986年出版以来,已作了三次印刷,部分内容曾作为中国电子学会举办的“全国电子技术自修班教材使用过,充分听取了广大教师、学员对本书的意见。这次出版,对书中的遗误和不要之处进行了必要的修改;对部分内容也作了适当的调整和增删。例如“数字电路原理及应用”、“盒式收录机原理与电路解说”、“黑白彩色电视机原理与电路解说(上下册)”、“模拟低频电子电路”和“模拟高频电子电路”进行了改写,并增加了最新的机型和机种;“无线电数学”、“微型计算机原理及应用基础”进行了重写;同时又增添了“模拟集成电路原理及应用”,“卫星电视接收与转播”,“小型电视台转发设备”,“电子特技原理及应用”,“共用天线电视系统”、“摄像机与摄录放一体化原理、操作和原理”,“小型电视台设备系统及其管理”,“实用无线电仪器与测量”,“最新录像技术与设备”等新书。

原电子工业部副部长,现中国电子学会理事长孙俊人同志亲自为本套丛书写了“序”,国家教委有关司局领导,对丛书的出版工作给予大力支持,并直接组织指导了全套丛书的选题、编写、定稿和印刷出版全过程;有关工作人员和编辑也为全套丛书尽早与读者见面做出了很大努力。尽管如此,在较短时间里,组织出版这样一套职业教育系列丛书,难度是很大的。因此,书中的错误与不当之处在所难免,尤其是这套丛书是否能满足职业教育的要求,更有待于广大读者通过学习实践提出宝贵意见,以便在此基础上编出更适合我国职业技术教育丛书。

最后,我们还应向为这套丛书及时出版而付出辛勤劳动的出版、印刷等部门,以及所有参与此项工作的同志表示衷心的感谢。

丛书编辑委员会

1990年8月于北京

目 录

第一章 概 述	(1)
1-1 电子计算机的特点.....	(1)
1-2 电子计算机的用途.....	(2)
1-3 电子计算机的结构.....	(2)
1-4 微处理器、微型计算机、单片机和单板机的概念.....	(3)
1-5 微型计算机的发展.....	(5)
思考题与习题.....	(5)
第二章 二进制运算和编码	(6)
2-1 二进制加减法.....	(6)
2-2 有符号数的运算.....	(7)
2-3 编码.....	(9)
思考题与习题.....	(10)
第三章 Z80 CPU	(12)
3-1 Z80 CPU结构.....	(12)
3-2 关于三态的概念.....	(19)
3-3 Z80 CPU电路引脚说明.....	(20)
3-4 Z80 CPU时序.....	(23)
思考题与习题.....	(26)
第四章 Z80指令系统	(27)
4-1 指令及其表示法.....	(27)
4-2 Z80的寻址方式.....	(28)
4-3 Z80的有关指令.....	(34)
思考题与习题.....	(65)
第五章 Z80汇编语言程序设计基础	(67)
5-1 微型机所使用的语言.....	(67)
5-2 Z80汇编语言概述.....	(71)
5-3 汇编语言程序设计.....	(79)
5-4 程序举例.....	(87)
思考题与习题.....	(94)
第六章 微型计算机的存储器	(97)
6-1 存储器的分类.....	(97)
6-2 存储器的组成.....	(98)
6-3 2114 RAM和2716EPROM	(100)
6-4 存储器的连接.....	(102)

思考题与习题	(104)
第七章 接口与中断	(105)
7-1 接口概念	(105)
7-2 Z80中断方式	(109)
7-3 Z80 并行输入输出接口 (PIO)	(113)
7-4 Z80 计数/定时接口 (CTC)	(124)
思考题与习题	(133)
第八章 TP801、TRS 80微型计算机简介	(135)
8-1 TP801单板机的基本性能	(135)
8-2 TP801硬件结构	(136)
8-3 TPBUG监控程序模块及流程	(142)
8-4 TRS 80微型机简介	(144)
8-5 16位微处理器概述	(145)
思考题与习题	(145)
第九章 BASIC语言	(147)
9-1 BASIC语言特点和程序的基本结构	(148)
9-2 BASIC语言的基本成分	(149)
9-3 简单程序设计	(154)
9-4 分支程序设计	(163)
9-5 循环程序设计	(167)
9-6 函数与子程序	(178)
9-7 字符串变量	(182)
思考题与习题	(186)
第十章 FORTRAN语言	(189)
10-1 FORTRAN的基本概念	(189)
10-2 FORTRAN的基本语句	(201)
10-3 控制语句	(208)
10-4 循环语句	(212)
10-5 语句函数与子程序	(219)
10-6 微型计算机FORTRAN程序运行	(229)
思考题与习题	(237)
思考题与习题解答	(239)
附录 I ASCII码表	(256)
附录 II Z80指令系统	(257)

第一章 概 述

目的与要求

学习本章的目的是：使读者初步了解电子计算机的特点、用途、结构及发展概况，以及建立微处理器的基本概念。

本章要达到的要求如下：

- (1) 掌握电子计算机结构方框图，并能简要说明每一部件的作用；
- (2) 掌握有关微型计算机中的常用术语 位(Bit)、字节(Byte)、KB、MB、CPU的含义；
- (3) 了解微处理器、微型计算机、微型计算机系统三者之间的相互关系。

电子计算机是本世纪最重大的工业革命成果之一。自从1946年世界上第一台计算机问世以来，它已被越来越广泛地应用于科学运算、工程设计、数据处理以及人们日常生活等广大领域中，成为减轻人们体力与脑力的有力工具。

1-1 电子计算机的特点

一、计算速度快

所谓计算机的运算速度，是指1秒钟内计算机能够存取指令的数目。指令是规定计算机进行某种操作的命令，它是计算机自动控制的依据（在下面章节中我们还会对指令作详细的介绍）。比如有一台计算机，它具有1秒钟存（或取）20万条指令的能力，则这台计算机的运算速度为20万次/秒。我国研制成的“银河”计算机，其运算速度为每秒1亿次，国外已有每秒达十几亿次的计算机。

二、存储量大

电子计算机的存储容量，是以字节（byte，简称为“B”）为单位计算的。一个字节规定为8位二进制代码。位（Bit，是Binary Digit的缩写）是计算机所能表示的最基本的、最小的数据单位，Bit只能有两种状态——“0”或“1”。

每1024个字节称为1千字节（简称为KB）， $1KB = 2^{10}B = 1024B$ ，而 1024×1024 个字节称为1兆字节（简称为MB）。

三、运算精度高

计算机输出的数据一般有6—7位有效数字，若使用双精度类型可达15~16位有效数字。

四、自动工作

计算机在运用期间，只要人们事先编好程序（程序即指令的集合）并将其存入计算机，即能按指令自动操作。

综上所述，电子计算机是一种高速度、高精度、具有存储能力且由程序控制自动进行操作的电子设备。

目前正在建立各种计算机网。它是利用通信线路把多个分布在不同地点的计算机联系起来的一种网络，使计算机发挥更大的效益。另外，近年来也不断地加强有关计算机智能模拟方面的研究，努力使未来的计算机具备“听觉”、“视觉”、“嗅觉”和“触觉”的功能，甚至还具有“情感”等多种功能。

1-2 电子计算机的用途

计算机不但能够进行一般的算术运算，而且还能够进行逻辑运算，具有逻辑判断的能力。计算机用途大致可归纳为三个方面：

一、数值计算

在现代科学技术工作中，存在着大量的数值计算的问题。当计算量太大时用人手工无法胜任，而使用计算机不但快而且能达到一定精度要求。

另外，可以用计算机获得工程设计最佳方案，这就是所谓计算机辅助设计（CAD——Computer Aider Design）；也可以通过计算对要解决的实际问题进行分析，这就是所谓计算机辅助分析（CAA——Computer Aider Analysis）。

二、数据处理

计算机可以对实际工作中收集来的大量数据进行分类、组织、转换、存储、检索等，还可根据需要绘制数据分布曲线或打印出各种形式的统计表格。

随着工农业生产的发展和社会经济活动的不断扩大，计算机的数据处理应用越来越广泛；大到国民经济计划的制定，小到商店的财务管理，都已使用计算机处理了。

三、自动控制

在工业生产中，自动化的程度越来越高，已有不少工厂使用计算机来指挥生产过程。此外，由计算机控制的“机器人”，不仅可以代替人的繁重的重复劳动，而且可以代替人在那些不适宜于人直接工作的地方工作（如在辐射场所工作，深水打捞作业等）。

1-3 电子计算机的结构

计算机由存储器、运算器、控制器和输入、输出设备组成，其相互关系如图1-1所示。

为了便于理解，我们用算盘的计算来进行比较。当使用算盘算题时，算盘本身就是一个“运算器”；人头脑和手控制算盘，相当于“控制器”；需要计算的内容和结果，一般记在一

张纸上，这张纸就是一个“存储器”。

一、存储器

存储器用于存放程序和数据。为了管理上的方便，一个存储器分为若干个单元，每个单元好像一个大旅馆中一个房间。每个存储单元有一个编号，该编号常称为地址。但需注意，不要将存储单元的地址和存储单元的内容两者混淆，前者是指存储单元的标志，用于查找指定的存储单元，而后者是指所存储的内容。另外，存储器还有一个特点：当其内容被“取”

出之后，存储单元的内容仍不改变，只有向同一存储单元存入新的内容时，其原有内容才会被“冲”掉。因此，对计算机内存储器的“存”和“取”，应管解为“写入”和“读出”。

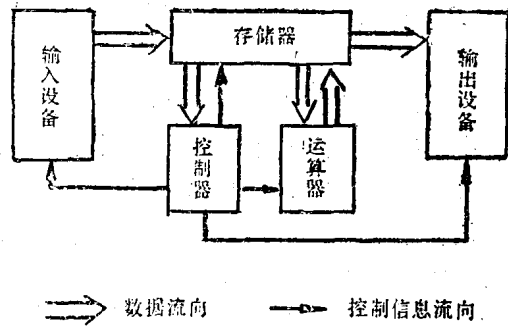


图1-1 计算机结构框图

二、运算器

运算器用于进行加、减、乘、除等算术运算和逻辑运算。逻辑运算包括逻辑“与”、逻辑“或”、逻辑“异或”等。

三、控制器

控制器是整个机器的指挥控制中心，其主要的功能是向机器的各个部分发出控制信号，使整个机器自动地、协调地进行工作。例如，数据输入、数据输出打印、数据运算处理等等，均在控制器统一控制下进行。

四、输入设备

输入设备用于把程序及原始数据转换成计算机可以识别的代码，并送入存储器中保存。常见的输入设备有纸带读入机、卡片读入机、电传打字机、终端键盘等。

五、输出设备

输出设备用于送出计算结果及人们所需的其它信息，例如可以将计算结果打印在纸上、显示在荧光屏上或存储在磁盘上。常见的输出设备有打印机、磁带机、磁盘机、终端显示器、绘图机等。

计算机中的运算器、控制器及存储器统称为主机 (main frame)。运算器与控制器合在一起又称为中央处理机CPU (Central Processing Unit)。

1-4 微处理器、微型计算机、单片机和单板机的概念

通常把一片或几片具有CPU功能的大功模集成电路称为微处理机或微处理器 (Micro processor)。有时为了区分大型、中型中央处理机与微处理机，又把前者称为CPU，后者

称为MPU（或 μp ）。但习惯上，也称微处理器为CPU。

微处理器由三个基本部分组成：

（1）算术逻辑部件ALU（Arithmetic Logic Unit）中，它执行基本的算术运算和逻辑运算。

（2）寄存器（Register）CPU中有多个寄存器，称为CPU寄存器，用来存放操作数、中间结果以及存储运算结果的状态标志等。

（3）控制器CU（Control Unit）它具有指挥整个系统操作次序的功能。它按一定顺序从存储器读取指令，加以“解释”，在定时信号（时钟）的控制下，按一定的节拍发出一系列的操作命令，控制CPU内部以及整个系统有条不紊地进行工作。

通常，微型计算机是由微处理器加上半导体存储器和输入／输出（I/O）接口电路组成的。这三者通过外部总线连接起来。总线包括地址总线、数据总线和控制总线。计算微型计算机的结构框图如图1-2所示。

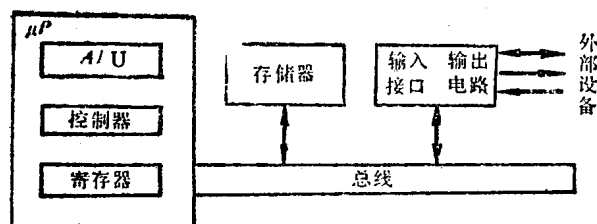


图1-2 微型计算机的结构框图

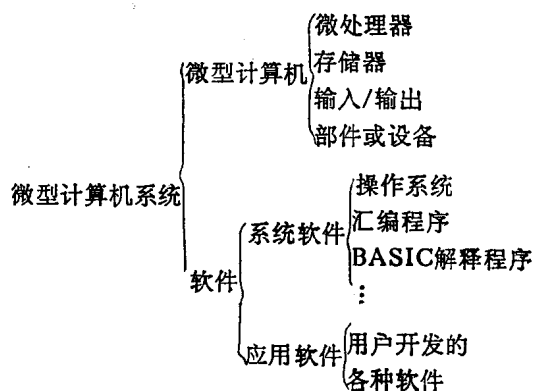
由图1-2可见，微型计算机的结构与我们在图1-1介绍的普通电子计算机一样，也是由CPU、存储器、I/O设备、接口以及总线等部分组成的。不过微型计算机是一种微型化了的电子计算机系统，各功能部件尽量采用大规模集成电路技术（例如，CPU采用一片或几片大规模集成电路构成）。

单片机是最简单的微型计算机，它仅由一块大规模集成电路组成。CPU、存储器、I/O接口及总线等都制作在一块芯片上。

它的单板机规模比单片机大一些，它的CPU是一块单独的大规模集成电路芯片，而存储器和输入／输出接口电路各是一块或几块大规模集成电路芯片。三者和若干附加电路装在同一块印制电路板上。

微型计算机再配上成套的功能齐全的外围设备，以及较为丰富的软件（为了完成某些特定的功能而编制的行之有效的程序称为软件，包括程序设计语言、编译程序、操作系统以及

表1-1



与计算机密切相关的一切程序，统称为系统软件），一般称为微型计算机系统。

不过，在微型机和微型机系统之间，划分的界线是不很严格的。由于目前微型机在设计时，一般已经考虑到软件、硬件（计算机的各组成部分如运算器、存储器、控制器和输入、输出设备等，统称为硬件）的扩充可能性，故一台简单的微型机可很方便地扩充为设备齐全的微型机系统。

1-5 微型计算机的发展

自从1971年美国英特尔（Intel）公司的第一台微处理器（Microprocessor）问世以来，在短短20年间，我们已进入一个微型计算机时代，这与当前大规模集成电路（LSI）技术的飞速发展是分不开的。微型计算机无论在系统结构或基本工作原理上与大、中型计算机没有什么本质的区别，所不同的是微型计算机采用了集成度相当高的器件、部件，尤其是其核心部件——微处理器，采用了大规模集成电路和超大规模集成电路（VLSI）芯片，使微处理机体积、价格进一步减小，性能进一步提高。微型计算机的出现为普及计算机技术创造了条件。

最初的微型计算机为字长4位的4位机，平均指令周期约为 $20\mu\text{s}$ ，芯片的集成度约为2000晶体/片。然后发展为8位机，平均指令周期约为 $2\mu\text{s}$ ，芯片的集成度约为5000晶体/片。再后，以美国Zilog公司为代表的8位机问世其指令周期可达 $1\mu\text{s}$ ，芯片集成度约为1万晶体管/片。

最近几年，广泛应用的16位机，指令周期小于 $0.5\mu\text{s}$ ，集成度已超过3万晶体管/片。它的功能已达到或接近中档小型计算机水平，是微型计算机中的高档机。

目前32位机也已问世。其微周期已达100ns左右（ $1\text{ns} = 10^{-9}\text{s}$ ），集成度已超过10万晶体管/片。

可以预见，进入90年代后，不仅会出现更多更好的新型微型计算机，而且会逐步实现硬件、软件的标准化和系列化，外部设备的多样化以及微型计算机为主体的计算机网。

刚才提到了字长，这里我们再介绍一下计算机字长的概念。计算机字是CPU与输入/输出（I/O）设备和存储器之间传送数据的基本单元。字长指一个计算机字的二进制代码的位数。虽然不同类型的计算机字长不同，但对一个确定的具体计算机来讲，其字长是固定的，比如Z80微型计算机的字长为8位。

思考题与习题

- 1-1 简要说明指令、程序、硬件、软件、CPU的含意。
- 1-2 一台电子计算机由哪些基本部分组成？
- 1-3 什么是B（byte）、KB和MB？
- 1-4 某微型机存储器容量为64KB，它有多少个存储单元？（每8bit为一个单元）
- 1-5 微型计算机与小型电子计算机的主要区别是什么？
- 1-6 什么是微处理器、微型计算机、微型计算机系统？

第二章 二进制运算和编码

目的与要求

学习本章的目的是：了解在计算机中的“数据”都是以二进制形式出现；为使计算机结构简单，把四则运算都变换为加法运算的形式。同时，介绍两种常用的信息代码，即8421 BCD码和ASCII码。本章要达到的要求如下：

(1) 掌握二进制数加、减法的法则；

(2) 掌握BCD码加法法则。

计算机内运算的数都是“二进制”数。同样，送入计算机内的一切运算符号，书写符号以及字母等也必须具有二进制代码形式，方能被机器所接受。所以，这里有一个转换与运算的问题。有关二进制数的知识，在我们这套“丛书”有关部分已作过介绍（见《脉冲数字电路基础》一书），为了使读者更好地理解和掌握本书内容，在本章中我们通过例子对有关内容作简要介绍。

2-1 二进制加减法

一、二进制加法

任何两个二进制数相加，各位的变化有以下四种情况。

$$0 + 0 = 0$$

$$1 + 0 = 1$$

$$1 + 1 = 0 \quad \text{产生一进位到高位}$$

$$1 + 1 + 1 = 1 \quad \text{产生一进位到高位}$$

最后这种情况，是两位均为1，而且有一位由低位来的进位。

例如（括号内的数是相应的十进制数）：

$$\begin{array}{r} 111(7) \\ + 110(6) \\ \hline 1101(13) \end{array}$$

加法是计算机中最重要的算术运算，它是减法、乘法、除法的基础。

二、二进制减法

在计算机中，为了减少硬件复杂性，减法基本上都是通过加法来实现，这就需要用到数的补码。

二进制数的“补码”是指把二进制数所有各位的0变为1，1变为0，得出“反码”，再

在结果上加 1 得到的，即所谓的“求反加 1”。

例如，求 1 0 0 1, 1 1 1 1 的补码：

$$\begin{array}{r}
 \text{原数} \quad 1 \ 0 \ 0 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \\
 \text{反码} \quad 0 \ 1 \ 1 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \\
 \text{加 1} \quad + \quad \quad \quad \quad \quad 1 \\
 \hline
 \text{补码} \quad 0 \ 1 \ 1 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 1
 \end{array}$$

作减法运算时，把减数转换为补码，然后加到被减数上即可。例如，从 1 1 0 0 中减去 0 1 0 1（即从十进制数 12 中减去 5）可如下进行：

$$\begin{array}{r}
 \text{被减数} \quad \quad \quad 1 \ 1 \ 0 \ 0 \\
 \text{减数的补码} \quad + \ 1 \ 0 \ 1 \ 1 \\
 \hline
 \quad \quad \quad 1 \ 0 \ 1 \ 1 \ 1
 \end{array}$$

略去此进位——↑

最后结果为 0 1 1 1（即十进制 7）。

2-2 有符号数的运算

一、有符号数

在计算机中，二进制数通常是以一组二进制存储元件（如触发器）的状态来表示的。每个元件表示一位二进制数。例如，一个用 8 位触发器组成的寄存器，可存储二进制数的范围是从 0 0 0 0 0 0 0 0 到 1 1 1 1 1 1 1 1（即十进制数的 0 到 255）。但因为计算机中处理的数有正有负，所以要在计算机中表达出数的符号（一或十）。这就要在原来的数上另加一符号位。通常我们指定符号位 0 表示正数，符号位为 1 表示负数。这样，一个 8 位二进制数就被划分为两部分：最左位为符号位，另外 7 位表示数的值。如

$$0 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 0 \ 0 = +124_{10}$$

而 -124_{10} 可用二进制数

$$1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 0 \ 0$$

来表示。像上面这样，符号位为 0 表示正数，符号位为 1 表示负数，即把符号也数码化了的二进制数转为原码。

一个数的补码可以很方便地从原码求得。如果是正数，则其补码和原码相同；如果是负数，则其补码除了符号位为 1 外，其它位为求反加 1。例如 $x = +1 \ 0 \ 1 \ 0 \ 1 \ 0$ 时， $[X]_{\text{原}} = 0 \ 1 \ 0 \ 1 \ 0 \ 1 \ 0$ ，而 $[x]_{\text{补}} = 0 \ 1 \ 0 \ 1 \ 0 \ 1 \ 0$ ；

$$x = -1 \ 0 \ 1 \ 0 \ 1 \ 0 \text{ 时， } [X]_{\text{原}} = 1 \ 1 \ 0 \ 1 \ 0 \ 1 \ 0, \text{ 而 } [x]_{\text{补}} = 1 \ 0 \ 1 \ 0 \ 1 \ 1 \ 0。$$

一个 8 位二进制码，作为无符号数、原码、补码和反码时所表示的十进制数如表 2-1 所示。

从表 2-1 可见：

8 位二进制数码，作为无符号数表示十进制数 0 ~ 255；作为原码，表示 $-127 \sim +127$ ；作为补码，表示 $-128 \sim +127$ ；表示反码为 $+127 \sim -127$ 。

表2-1

八位二进制数码	无符号数	原 码	补 码	反 码
0 0 0 0 0 0 0 0	0	+0	+0	+0
0 0 0 0 0 0 0 1	1	+1	+1	+1
0 0 0 0 0 0 1 0	2	+2	+2	+2
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
0 1 1 1 1 1 0 0	124	+124	+124	+124
0 1 1 1 1 1 0 1	125	+125	+125	+125
0 1 1 1 1 1 1 0	126	+126	+126	+126
0 1 1 1 1 1 1 1	127	+127	+127	+127
1 0 0 0 0 0 0 0	128	-0	-128	-127
1 0 0 0 0 0 0 1	129	-1	-127	-126
1 0 0 0 0 0 1 0	130	-2	-126	-125
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
1 1 1 1 1 1 0 0	252	-124	-4	-3
1 1 1 1 1 1 0 1	253	-125	-3	-2
1 1 1 1 1 1 1 0	254	-126	-2	-1
1 1 1 1 1 1 1 1	255	-127	-1	-0

二、有符号数的加法

下面介绍用补码表示负数时，进行有符号数的加法及减法运算的方法。请注意，下面所介绍的各种情况，数的符号位与数值部分一样地参与运算。

1. 两正数相加

$$\begin{array}{r}
 \text{如:} \quad +9 \quad 0 \ 1 \ 0 \ 0 \ 1 \text{ (被加数)} \\
 +(+4) \quad 0 \ 0 \ 1 \ 0 \ 0 \text{ (加数)} \\
 \hline
 \quad \quad 0 \ 1 \ 1 \ 0 \ 1 \text{ (和 = +13)} \\
 \quad \quad \uparrow \\
 \quad \text{符号位}
 \end{array}$$

2. 正数与绝对值较小的负数相加

$$\begin{array}{r}
 \text{如:} \quad +9 \quad 0 \ 1 \ 0 \ 0 \ 1 \\
 +(-4) \quad 1 \ 1 \ 1 \ 0 \ 0 \text{ (用补码表示)} \\
 \hline
 \quad \quad 1 \ 0 \ 0 \ 1 \ 0 \ 1 \\
 \quad \quad \uparrow
 \end{array}$$

此进位略去。和为 0 0 1 0 1，即 +5₁₀。

3. 正数与绝对值较大的负数相加

如:
$$\begin{array}{r} -9 \quad 1\ 0\ 1\ 1\ 1 \quad (\text{用补码表示}) \\ +(+4) \quad 0\ 0\ 1\ 0\ 0 \\ \hline 1\ 1\ 0\ 1\ 1 \\ \uparrow \end{array}$$

和的符号为1, 表示是一负数。因为和为负, 是用补码表示的, 后4位是0101 (5_{10}) 的补码。即11011表示了 -5_{10} 。

4. 两负数相加

如:
$$\begin{array}{r} -9 \quad 1\ 0\ 1\ 1\ 1 \quad (\text{用补码表示}) \\ +(-4) \quad 1\ 1\ 1\ 0\ 0 \quad (\text{用补码表示}) \\ \hline 1\ 1\ 0\ 0\ 1\ 1 \\ \uparrow \end{array}$$

此进位略去。结果为10011 = -13_{10} 。

5. 两绝对值相等的相反数相加

如:
$$\begin{array}{r} -9 \quad 1\ 0\ 1\ 1\ 1 \quad (\text{用补码表示}) \\ +(+9) \quad 0\ 1\ 0\ 0\ 1 \\ \hline 1\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0 \\ \uparrow \end{array}$$

此进位略去。结果为00000 = $+0_{10}$ 。

2-3 编码

因在计算机中只能处理二进制数。因此, 凡是要送入计算机中去处理的数据、字母、符号等信息, 均应以特定的二进制编码来表示。

一、十进制数的二进制编码

虽然二进制数对计算机来说是最理想的数制, 但人们仍然习惯使用十进制。为方便用户在输入和输出时应用十进制, 而又能使机器接受, 必须对十进制数进行二进制编码。

显然一位十进制数, 至少应由4位二进制数来表示。由于4位二进制数可提供 $2^4 = 16$ 种状态, 而十进制0~9只需10种状态。因此有6种状态是不可使用的。这种用二进制数来编码的十进制数称为BCD (Binary Coded Decimal) 码。通常使用为8421BCD码, 从最高位至低位的每位的权分别为8、4、2、1, 其编码表见表2-2。

例如: (0100 0111 0101) = 475_{10} 。

利用BCD码进行运算要复杂些。下面介绍BCD码的加法法则。