

● 计算机实验指导丛书

计算机组成原理实验

赵志英 编



复 旦 大 学 出 版 社

393046

计算机实验指导丛书

计算机组成原理实验

赵志英 编



复旦大学出版社

计算机组成原理实验

赵志英 编

出 版 复旦大学出版社

(上海国权路 579 号 邮政编码 200433)

发 行 新华书店上海发行所

印 刷 复旦大学印刷厂

开 本 787×1092 1/16

印 张 13.25

字 数 322 000

版 次 1996 年 9 月第 1 版 1996 年 9 月第 1 次印刷

印 数 1—5 000

书 号 ISBN7-309-01789-7/T · 168

定 价 15.00 元

本版图书如有印订质量问题, 请向承印厂调换。

JS175/08
内 容 简 介

全书共分四章。第一章概要介绍计算机基本组成和工作原理,以及计算机系统若干技术,其中对 CPU 的组成和微程序设计技术进行了较详细的介绍。第二章介绍 FD-CES 计算机实验仪的性能特点及它提供的功能模块使用方法。第三章编排了若干计算机部件实验,这些实验尤其是其中的总线传输实验为计算机整机实验打基础。第四章先举例分析如何利用 FD-CES 实验仪研制一台微程序控制的计算机的整个过程,然后由简单到复杂,编排了若干计算机整机实验题,供选择。

本书可作为大专院校开设计算机组成原理与实验课程的教材。



前 言

现代电子数字计算机技术尤其是微机技术的发展日新月异,与计算机相关的新材料、新器件、新工艺、新体系、新软件及新的应用层出不穷,令人目不暇接。然而,迄今为止绝大多数电子数字计算机其基本组成依然是处理器、存贮器和外部设备,其基本工作原理依然是存贮程序和程序控制,这些仍将是今后相当一个时期内计算机组成原理课程的基本内容。

开设计算机组成原理实验课的目的,一方面为了使学生真正透彻了解电子数字计算机的基本组成原理、掌握计算机系统设计技术;另一方面为了培养学生分析和解决较大数字系统问题的实际能力,为学习计算机体系结构、计算机接口技术、微程序仿真技术等课程打下良好的基础。总之,开设计算机组成原理实验课对培养合格的计算机人才是不可缺少的。

开设计算机组成原理实验课需要合适的实验仪器,以保证该课程的教学效果。为此,在国家教育委员会的支持下,我们在总结该课程多年教学实践基础上研制了FD-CES-A和FD-CES-B(以下统称为FD-CES)计算机实验仪,并编写了这本《计算机组成原理实验》。

本书共分四章。前两章先概要介绍计算机基本组成原理和计算机系统一些基本技术,然后介绍FD-CES计算机实验仪。后两章编排了若干计算机部件实验和计算机整机实验,指导学生利用FD-CES提供的资源,具体研制一台从整机逻辑组成结构到指令系统由自己设计的、能实际运行工作的微程序控制的计算机。

对于已开设过计算机组成原理课的学生可直接从第二章开始教学。第三章的部件实验可选做一两个,每个约需3单元时间。第四章整机实验选做一个,大约需8单元时间。整个教学过程宜采取教师课堂讲解、学生课后设计实验方案、实验室组装调试三个阶段进行。

在本书的编写过程中得到复旦大学计算机科学系领导和陈章龙教授的关心支持,得到了复旦大学科教仪器厂领导和俞根富、马国森工程师的关心和帮助,涂时亮副教授、万惠玲老师审阅了全部书稿,沈利芳为本书的付印做了大量工作,在此对他们一并致谢。

由于作者水平和时间有限,书中难免有不妥和错误,敬请读者指正。

编 者
1996年8月

丛书序言

根据国家教育委员会对高等学校计算机专业的要求以及 IEEE91 教程的建议,对计算机的硬件实验提出了新的要求。复旦大学计算机科学系在新要求的形势下,在所开设的“数字逻辑”、“计算机组成原理”、“计算机系统结构”、“微机与接口技术”、“单片机应用技术”等课程的基础上,相应地开设了一些实验课。由复旦大学研制并生产的“计算机组成实验仪”、“单片机实验仪”等已经被全国很多学校采用。

根据计算机实验教学的需要,同时也应兄弟院校的要求,在复旦大学出版社的支持下,我们组织人员,整理编写了《计算机实验指导丛书》,献给广大读者。这套丛书包括:《数字逻辑实验指导》、《计算机组成原理实验》、《微机(PC机)接口实验指导》、《MCS-51单片机实验指导》。

由于新开设的实验有不少新的要求,编写这一套丛书是一个尝试,希望读者提出宝贵的意见,使这套丛书能适应我国计算机教学的需要。

《计算机实验指导丛书》编委会

目 录

丛书序言

前 言

第一章 计算机基本组成原理	1
§ 1.1 电子数字计算机发展概况	1
1.1.1 计算机硬件的发展	1
1.1.2 计算机软件的发展	2
1.1.3 计算机应用的发展	4
§ 1.2 电子数字计算机是怎样工作的	5
§ 1.3 计算机的数制和编码	7
1.3.1 机器数与真值	7
1.3.2 数的定点和浮点表示	8
1.3.3 各种进位计数制及其相互转换	8
1.3.4 其 他 编 码	11
§ 1.4 计算机的指令系统	11
1.4.1 指 令 类 型	11
1.4.2 指令格式及其设计	13
1.4.3 指令系统设计举例	15
§ 1.5 存 贮 器	17
1.5.1 半导体存贮器	18
1.5.2 半导体存贮器容量扩展技术	19
1.5.3 CPU 对主存的连接与操作	21
§ 1.6 运 算 器	23
1.6.1 运算器基本组成	23
1.6.2 运算器结构	24
1.6.3 运算器和其他部件的联系	26
§ 1.7 控 制 器	27
1.7.1 指 令 部 件	27
1.7.2 时 序 部 件	28
1.7.3 微操作信号发生器	29
§ 1.8 外 部 设 备	30
1.8.1 主机和外部设备的接口	30
1.8.2 主机对外设的寻址方式	31

1.8.3 主机与外设的信息传送方式	31
§ 1.9 计算机结构	34
1.9.1 总线	34
1.9.2 总线结构计算机	37
§ 1.10 微程序控制的计算机	39
1.10.1 微程序控制部件的设计	39
1.10.2 微程序控制的计算机组成原理	41
§ 1.11 提高计算机系统性能的若干技术	43
1.11.1 多级存贮体系技术	43
1.11.2 中断技术	45
1.11.3 指令重叠和流水线控制技术	51
1.11.4 总线控制技术	52
第二章 FD-CES 实验仪	54
§ 2.1 FD-CES 特性	54
§ 2.2 FD-CES 控制台及其使用方法	57
2.2.1 写内存(键入程序或数据)	59
2.2.2 读内存(读程序或数据)	59
2.2.3 修改内存单元(修改指令或数据)	60
2.2.4 写控存(键入微程序)	60
2.2.5 读控存(读微指令)	60
2.2.6 修改控存单元(修改微指令)	61
2.2.7 内存块保存到 EEPROM	61
2.2.8 控存块保存到 EEPROM	61
2.2.9 从 EEPROM 读回内存	62
2.2.10 从 EEPROM 读回控存	62
2.2.11 单拍运行程序	62
2.2.12 连续运行程序	63
§ 2.3 实验计算机使用外设的方法	63
2.3.1 键盘的等效框图和工作原理	63
2.3.2 打印机的等效框图和工作原理	64
2.3.3 实验计算机与外部设备的连接使用方法	66
§ 2.4 运算器模块(ALU)	67
2.4.1 运算器模块逻辑框图和符号说明	67
2.4.2 运算器模块的组成和工作原理	69
2.4.3 运算器模块的使用	71
§ 2.5 寄存器堆模块(REG)	72
2.5.1 寄存器堆模块逻辑框图和符号说明	73
2.5.2 寄存器堆模块的工作原理和使用方法	74
2.5.3 运算器结构	74

§ 2.6	指令部件模块 (I-PC)	76
2.6.1	指令部件模块逻辑框图和符号说明	76
2.6.2	指令部件模块的工作原理	78
2.6.3	指令部件模块的使用	82
§ 2.7	内存模块(MEM)	83
2.7.1	内存模块逻辑框图和符号说明	83
2.7.2	内存模块的工作原理和使用方法	85
§ 2.8	总线缓冲模块(BUS)	86
2.8.1	总线缓冲模块逻辑框图和符号说明	86
2.8.2	总线缓冲模块的工作原理和使用方法	87
§ 2.9	微程序控制模块(MPG)	88
2.9.1	微程序控制模块逻辑框图和符号说明	88
2.9.2	微程序控制模块的工作原理和使用方法	90
§ 2.10	启停和时序模块(R-P)	92
2.10.1	启停和时序模块逻辑框图和符号说明	92
2.10.2	启停和时序模块的工作原理和使用方法	93
§ 2.11	控制台控制模块	94
§ 2.12	实验接线板	96
§ 2.13	FD-CES-A 型与 FD-CES-B 型比较	98
第三章	计算机基本部件实验	102
§ 3.1	计算机时序电路实验	102
§ 3.2	运算器实验	106
§ 3.3	存贮部件实验	109
§ 3.4	总线传输实验	111
第四章	实验计算机的研制	115
§ 4.1	实验计算机的设计	115
4.1.1	确定设计总要求	115
4.1.2	设计整机逻辑框图	115
4.1.3	设计指令系统	120
4.1.4	设计指令执行流程	123
4.1.5	设计微操作控制信号及其实现方法	130
4.1.6	设计微指令格式	131
4.1.7	确定微程序控制方式	131
4.1.8	编写各指令的微程序	133
4.1.9	设计实验接线表	133
4.1.10	编写调试程序	135
4.1.11	编写应用程序	137
§ 4.2	实验计算机组装	144
4.2.1	器件排列	144

4.2.2	信号连线.....	144
4.2.3	实验接线板安装.....	144
§ 4.3	实验计算机的调试.....	145
4.3.1	调试准备.....	145
4.3.2	程序调试.....	145
§ 4.4	实验计算机故障的排除.....	146
4.4.1	故障类型和原因.....	146
4.4.2	故障的分析查找.....	147
4.4.3	故障的纠正.....	150
§ 4.5	实验仪样机分析.....	151
4.5.1	调试样机方案一.....	151
4.5.2	调试样机方案二.....	166
§ 4.6	整机实验题.....	179
附录一	FD-CES 实验仪符号表.....	185
附录二	FD-CES 有关集成电路.....	187
附录三	ASCII 字符表.....	199

第一章

计算机基本组成原理

计算机由硬件和软件两大部分组成。硬件是计算机的物理实体，是执行软件的物质基础。其中存储器、运算器、控制器和输入输出设备是计算机的基本功能部件，它们构成了计算机系统的内核。它的工作语言是指令系统。软件是计算机系统中各种程序和资料的统称，这包括计算机正常工作不可少的基本监控程序和为了扩大计算机功能、方便计算机用户和提高计算机工作效率的操作系统，以及各种计算机符号语言的编译程序等，其中操作系统是计算机和用户的界面，是软件的基本成分。计算机的工作是由硬件和软件相辅相成配合完成的，有些功能既能由硬件实现也可由软件实现。

本章首先介绍计算机的发展情况，然后讲解计算机主要功能部件 CPU、存储器和外设接口，以及计算机的组成原理和一些有关技术。

§ 1.1 电子数字计算机发展概况

自 1946 年由冯·诺依曼为主的科学家研制成世界上第一台存储程序式电子数字计算机以来，经过半个多世纪几代演绎，计算机已发展成一个具有丰富内涵功能强大的电子数字系统，而且正以更快的速度发展着。

1.1.1 计算机硬件的发展

计算机硬件包括各种功能部件以及电源、信号线、接插件等。计算机硬件的发展主要表现在以下两方面：

一、计算机元器件的发展

随着电子技术尤其是微电子技术的发展，构造计算机的主要元器件经历了从电子管到晶体管到中小规模集成电路到大规模集成电路到超大规模集成电路的发展阶段。

以 Intel 公司的微处理器 μP 为例，1971 年的 μP 4004 集成 300 个晶体管，1982 年的 μP 80286 集成 13 万个晶体管，1993 年的 μP 486 则集成了 310 万个晶体管。电路的速度也有长足的发展， μP 的时钟频率已达几百兆赫以上。

单片半导体存储器的容量也已从最初的几百字节发展到几兆字节，存取速度也大大提高。

集成电路的发展使高性能芯片构造体积小、功耗低、速度快、价格低、功能强的计算机成为现实。

二、计算机系统结构的发展

早期的计算机是采用以 CPU 为中心的结构，外设和内存间不能直接进行数据传送，必须经过 CPU，因而数据传送慢，整机工作效率低，而且计算机系统不易扩充和修改。

现代计算机则多采用总线结构，而且已形成多种国际工业化标准的各类总线，如在微机系统中广泛应用的 ISA、EISA、PCI、VL 等总线。

采用总线结构的计算机，其组成功能部件采用模块化（或称积木化），通过一定的总线接口“挂”在总线上，见图 1-1，使计算机系统的组装、扩充、修改或拆卸都很方便，这对计算机制造商、计算机用户都有利。

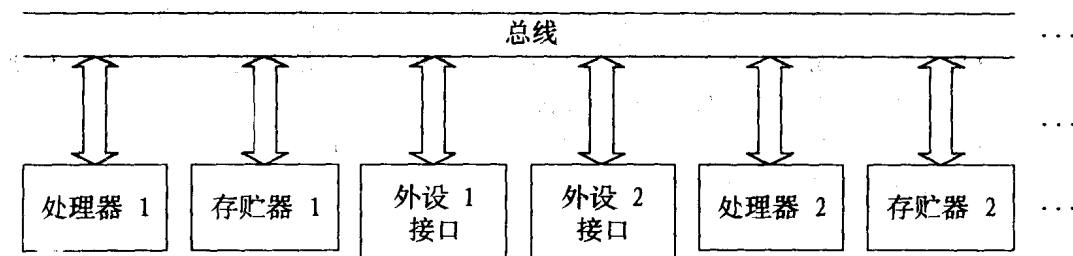


图 1-1 总线结构计算机示意图

为了提高计算机系统性能，现代计算机常采用多处理器和多存储器技术，在操作系统支持下采用并行处理和流水线等技术浑然一体地运作。

1.1.2 计算机软件的发展

计算机软件的发展比硬件的发展快，主要表现在：

一、计算机语言的发展

计算机语言是指人们编写计算机程序所用的语言，故又称程序设计语言。

最早的计算机语言是机器语言，后来有了汇编语言。50 年代以来才有了各种高级语言。

1. 机器语言（第一代语言）

机器语言是与计算机硬件密切有关的机器指令集合，它是能被计算机直接识别和执行的二进制代码语言。因此用机器语言编写程序相当麻烦，必须记住代码含义，费时易错，而编出的程序易读性差。

2. 汇编语言（第二代语言）

汇编语言是面向机器特性的低级符号化语言，与机器语言很接近，只是用符号来表示指令操作码，用变量来表示操作数地址。

由于汇编语言是符号化语言，不能被计算机直接运行。所以用某计算机的汇编语言编写的程序必须经过“汇编”加工，翻译成该计算机的机器语言程序后才能被该计算机执行。

用汇编语言编写的程序快速、紧凑，所以实时控制类程序常用汇编语言编写。

3. 高级语言（第三代语言）

高级语言是高级符号化语言的简称，它脱离了计算机硬件特性而面向解题过程，所以高级语言又叫算法语言。

常用的算法语言有：

FORTRAN：它是最早的高级语言，尤其适用于科学计算。采用主程序和子程序分块结构。

COBOL：它是面向商业数据处理用途的高级语言，表达方式类似英语语句。

BASIC：最初是为教学而设计的，现在其用途已远远超过教学范围。

C：很适用于编写系统程序的高级语言，可提供丰富的数据结构。用它编出的程序结构清晰。

PL/I：适用于实时控制等领域。

不少高级语言都在各自原始版本基础上形成不少兼容版本，无疑，高版本比低版本的功能强。例如 **BASIC** 语言，最初是为了初学者而编写的通用程序设计语言，是 **FORTRAN** 的简本，但高版本的 **BASIC**，如 **TRUE BASIC**，它保持了原 **BASIC** 简单易学等优点，程序设计风格不逊色于 **FORTRAN**，其丰富的作图功能优于 **FORTRAN**。

由于高级语言是面向解题过程的，对计算机硬件依赖性小，所以用高级语言编写的程序具有通用性、可移植性。高级语言编写的程序不能被计算机直接运行，必须经过翻译程序加工成该计算机机器语言后方可被此计算机执行。

至于 **LIST**、**PROLOG** 等语言则是面向对象的语言，又称为第四代计算机语言。

二、计算机操作系统的发展

操作系统是为了提高计算机的利用率、方便用户使用计算机以及提高计算机响应时间而配备的系统软件。操作系统是硬件功能的扩充，是紧靠裸机的第一层软件，其他软件都在它的基础上得到运行。操作系统也是用户和计算机之间的软接口，用户通过操作系统来使用计算机的一切硬件资源和软件资源。操作系统的基本功能是存储器管理、处理器管理、文件管理和作业管理等。

操作系统的真正形成是从 60 年代晶体管计算机开始的。初期的代表是多道成批系统、分时系统和实时系统等，它们可以使计算机系统同时运行多道成批作业、同时为多个用户服务、能实时响应各种事件的请求，充分发挥了计算机硬件功能。

操作系统的进一步发展产生了数据库管理系统、远程信息处理系统和计算机网络操作系统，它们除了具有一般操作系统的处理器管理、信息管理及作业管理等功能外还有网络通信、网络服务、网络资源共享等管理功能。

当代计算机中常用的操作系统有 UNIX、MS-DOS、Windows 等。其中 UNIX 是一个多用户多任务操作系统，最初配备在小型机上，如今已在各种工作站、网络系统和微机系统中得到广泛应用。MS-DOS 是 PC 机磁盘操作系统，是世界上用得最多的操作系统，最初是单用户系统，现已发展成功能很强的多任务系统。MS-DOS 由引导程序、基本 IO 管理、磁盘操作和命令处理几部分组成。Windows 是一个图形窗口操作系统，操作命令图形化，操作直观简便，独立于设备，具有虚存管理能力和桌面办公工具，兼容性强。Windows 是继 PC-DOS 的又一个 PC 机操作系统标准。

1.1.3 计算机应用的发展

计算机已和人类文明社会的各个领域有密切关系，它早已不是单纯的计算工具，而是一个多用途的智能工具。

现代计算机的用途主要有以下几方面：

一、用于科学计算

气象、航天、核物理研究等尖端学科领域里，常用巨型机进行高速度高精度的科学计算。可实现每秒几亿次的浮点运算，完成大量的向量运算。这种用途的计算机通常含有多个处理器，构成方阵，采用并行处理技术工作。

二、用于实时控制

工农业生产现场和军事现场常需要实时控制技术，这包括实时检测、开环控制和闭环控制。控制的对象是各种各样的模拟量。微型机及单片微型机尤擅长于这方面用途。

三、用于信息处理

这是现代社会里计算机的最大用途。高节奏的现代社会各领域每天都有大量信息需要计算机处理，这些信息不仅仅是数据和文字，还有声音、图象等等。

四、用于 CAD、CAM、CAT

CAD、CAM 和 CAT 分别是计算机辅助设计、计算机辅助制造和计算机辅助测试的简称，又常统称为计算机辅助技术。具有这类用途的计算机应具有图形处理软件和设备。计算机辅助技术已广泛用于电子、机械、建筑乃至服装设计各个方面。

五、多媒体系统

近年来计算机技术和声频视频技术及通信技术结合,构成了多媒体系统,它以声音、文字、图表、图象、动画等各种方式表达信息,更迅速地推动了计算机的应用。目前多媒体技术已开始广泛应用于教育、文娱及各行业的计算机辅助技术。

六、计算机网络应用

现在计算机网络已遍布世界各地,人们通过网络可以相互通信、查阅各种感兴趣的资料、进行远程文件管理、实现计算机软硬件资源共享。通过 Internet 网可以和世界各国通信,交换多媒体信息。

§ 1.2 电子数字计算机是怎样工作的

迄今为止的电子数字计算机都是按冯·诺依曼原理为基础工作的,其主要特征是存贮程序和程序控制。

“存贮程序”指的是要计算机运行的程序及数据事先通过输入设备存放在计算机内存。其中数据是以某种二进制编码表示的,程序是指令的有机组合,计算机的功能是通过执行程序来体现的。指令和数据一样也是以某种二进制编码表示并同样存放在存贮器中的。

“程序控制”指的是计算机工作时由控制器中的程序计数器指示,从内存取出一条指令代码,存放到指令寄存器,由指令译码器对其中的指令操作码进行译码分析,在时序信号配合下使微操作发生器产生执行该指令所需的微操作控制信号,使计算机有关部件协调地动作,实现该条指令功能。然后再取下一条指令执行,……,直至程序结束。计算机中的时序部件是计算机高速不紊执行程序的重要保证。

计算机不仅能自动地依次从存贮器读取下一条指令执行,而且能根据指令运行结果或其他情况确定是否不取紧接的下一条指令而是跳到别处取另一条指令执行,即具有自动实现程序转移的功能。

另外,现代计算机还能暂停处理当前程序,转去处理系统中出现的特殊请求和突发事件,即具有中断处理的能力。

凡具有一定规律的问题,都可以编成程序交计算机运算和处理。

图 1-2 示意了计算机是怎样工作的。本章后面“微程序控制的计算机”一节将对计算机工作原理继续介绍。

用户和计算机系统的软接口是计算机操作系统,硬接口是计算机控制台,控制台主要由键盘和显示器组成。操作系统通常提供多种键盘操作命令,用户通过控制台键盘向计算机发出操作命令使用计算机。这包括程序输入命令、程序编辑修改命令、程序运行命令、输出打印命令、磁盘存取命令等等。

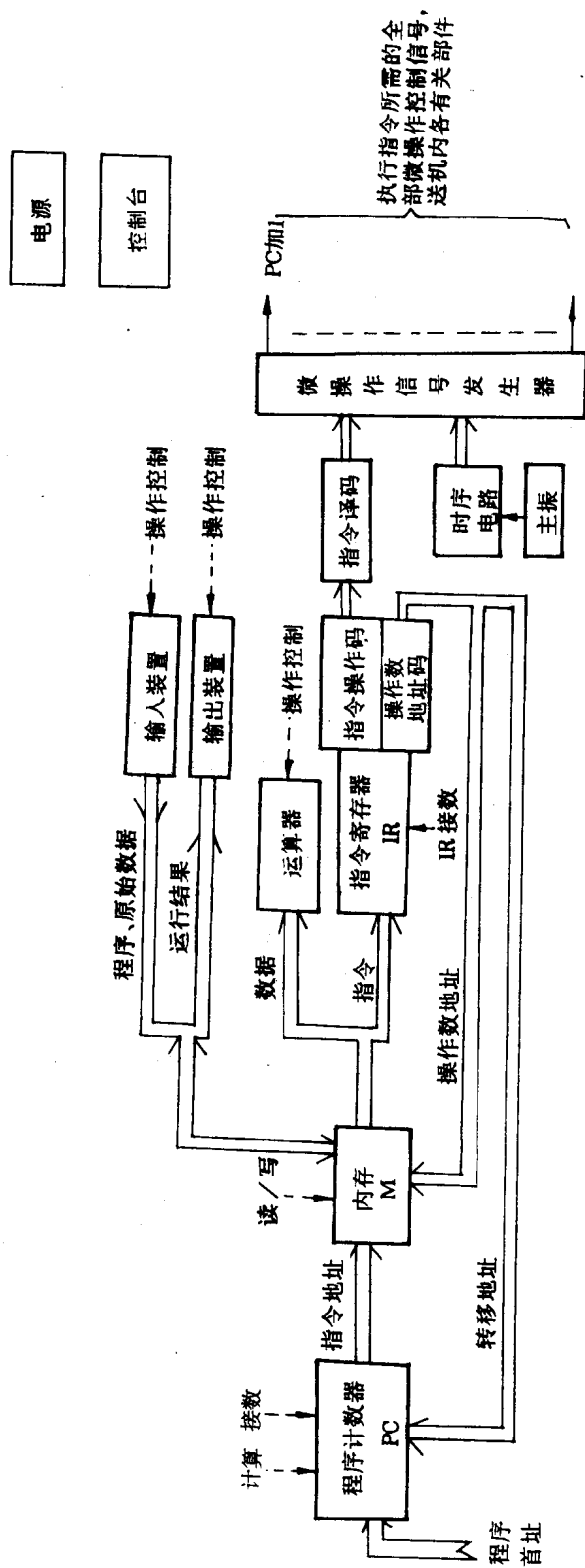


图 1-2 计算机工作原理示意图

§ 1.3 计算机的数制和编码

电子数字计算机是一种进行数值计算、逻辑推理、符号化处理等方面信息加工的机器。信息在电子数字计算机中是以电子器件的物理状态来表示的，这些电子器件具有两种不同的稳态，如电平的高和低、脉冲的有和无等，我们用它们来表示二进制数“1”和“0”。可以这么说，电子数字计算机只认得“1”和“0”，要让电子数字计算机处理的数字、字母、符号、图形、声音等信息都应以“1”和“0”及其有机组合来表示。把信息以某种预定形式表示出来叫做编码（Coding）。

1.3.1 机器数与真值

数连同它的符号在计算机中的表示称为机器数。它所代表的那个数称为这个机器数的真值，它们是相互对应的。计算机中的机器数有三种形式，即原码、反码和补码。在定点小数机器中它们的定义分别为：

$$[X]_{\text{原}} = \begin{cases} X & 1 > X \geq 0 \\ 1 - X & 0 \geq X > -1 \end{cases}$$

$$[X]_{\text{反}} = \begin{cases} X & 1 > X \geq 0 \\ (2 - 2^{-n}) + X & 0 \geq X > -1 \end{cases}$$

$$[X]_{\text{补}} = \begin{cases} X & 1 > X \geq 0 \\ 2 + X & 0 > X \geq -1 \end{cases}$$

可以看出，对正数 X ，其原码、反码和补码的表示是一样的，负数就不同了。表 1-1 给出了一些例子。

表 1-1 机器数真值的原码、反码和补码表示举例

真 值	原 码	反 码	补 码
+ 0.1010110	01010110	01010110	01010110
- 0.1010110	11010110	10101001	10101010
+ 0.1111111	01111111	01111111	01111111
- 0.1111111	11111111	10000000	10000001
+ 0.0000000	00000000	00000000	00000000
- 0.0000000	10000000	11111111	00000000

最高位表示数的符号，0 表示正数，1 表示负数。