



中等专业学校工科电子类教材

微型计算机原理

盛琳阳 孙菊江



西安电子科技大学出版社

<http://www.xduph.com>

中等专业学校教材

微型计算机原理

盛琳阳 孙菊江

西安电子科技大学出版社

(陕)新登字 010 号

内 容 简 介

本书以 MCS—51 系列单片机为主体, 全面介绍了微型计算机的组成原理及应用技术。内容包括微型计算机的基本知识, MCS—51 单片机的结构、指令系统、编程方法及对外部设备的接口, 单片机的开发与应用方法等。各章都安排了小结和习题, 附录中编排了实验练习及单片机应用中必须考虑的抗干扰内容。

本书可作为电子类中等专业学校微机原理课的教材, 也可供工程技术人员参考或作为职业学校或培训班的教材。

中等专业学校教材

微型计算机原理

盛琳阳 孙菊江

责任编辑 叶德福

西安电子科技大学出版社出版

陕西省乾兴印刷厂印刷

陕西省新华书店发行 各地新华书店经销

开本 787×1092 1/16 印张 21.75 字数 518 千字

1994 年 10 月第 1 版 2003 年 1 月第 8 次印刷 印数 56 001 - 60 000

ISBN 7 - 5606 - 0187 - 1/TP · 0062(课) 定价: 22.00 元

XDUP 0039041 - 8

出版说明

根据国务院关于高等学校教材工作的规定，我部承担了全国高等学校和中等专业学校工科电子类专业教材的编审、出版的组织工作。由于各有关院校及参与编审工作的广大教师共同努力，有关出版社的紧密配合，从1978~1990年已编审、出版了三个轮次教材，及时供给高等学校和中等专业学校教学使用。

为了使工科电子类专业教材能更好地适应“三个面向”的需要，贯彻国家教委《高等教育“八五”期间教材建设规划纲要》的精神，“以全面提高教材质量水平为中心，保证重点教材，保持教材相对稳定，适当扩大教材品种，逐步完善教材配套”，作为“八五”期间工科电子类专业教材建设工作的指导思想，组织我部所属的九个高等学校教材编审委员会和四个中等专业学校专业教学指导委员会，在总结前三轮教材工作的基础上，根据教育形势的发展和教学改革的需要，制订了1991~1995年的“八五”（第四轮）教材编审出版规划。列入规划的、以主要专业主干课程教材及其辅助教材为主的教材约300多种。这批教材的评选推荐和编审工作，由各编委会或教学指导委员会组织进行。

这批教材的书稿，其一是从通过教学实践、师生反映较好的讲义中经院校推荐，由编审委员会（小组）评选择优产生出来的，其二是在认真遴选主编人的条件下进行约编的，其三是经过质量调查在前几轮组织编定出版的教材中修编的。广大编审者、各编审委员会（小组）、教学指导委员会和有关出版社，为保证教材的出版和提高教材的质量，作出了不懈的努力。

限于水平和经验，这批教材的编审、出版工作还可能有缺点和不足之处，希望使用教材的单位、广大教师和同学积极提出批评和建议，共同为不断提高工科电子类专业教材的质量而努力。

机械电子工业部电子类专业教材办公室

前 言

本教材系由机电部中专电子技术类专业教学指导委员会评选审定，并推荐出版。

本教材由黑龙江省电子工业学校盛琳阳、孙菊江同志编写，南京无线电工业学校陈传虞副教授主审。编审者均依据机电部中专电子技术类专业教学指导委员会制定的《微型计算机原理》教学大纲进行编写和审阅。

本课程的参考授课学时数为 80 学时。其主要内容为：1. 微型计算机的基本知识（第一～四章），介绍了计算机的数制和码制，微型计算机的组成原理、存储器、中断处理及输入/输出技术。这部分可用 24 学时完成。2. MCS—51 系列单片机的结构、指令系统、程序设计及片内 I/O 接口部件（第五～八章）。这部分是本书的重点，可用 34 学时完成。3. 单片机的扩展及常用接口电路（第九、十章），可用 14 学时完成。4. 单片机的应用与开发方法（第十一章），可用 8 学时完成。使用本教材时应注重实践和应用。各校可根据实际情况，安排 20 学时上机实验，实验内容可参考附录。本书第一、二、四、六、七、九章由盛琳阳编写，其余章节由孙菊江编写。

承蒙陈传虞副教授审阅了全部书稿，并提出了许多宝贵意见。在编写过程中还得到了哈尔滨电工学院孙性如教授的关心和指导，在此表示诚挚的感谢。由于编者水平有限，书中难免有一些缺点和错误，诚恳希望广大读者批评指正。

编 者
于哈尔滨
1993 年 6 月

目 录

第一章 概述 1	三、只读存储器典型产品举例	43
§ 1.1 电子计算机的基本组成框图及常用术语	§ 3.3 随机存取存储器 RAM	45
§ 1.2 电子计算机的产生及发展	一、随机存取存储器的结构、分类及特点	45
§ 1.3 单片机的历史、现状及应用	二、基本存储电路举例	47
第二章 计算机基础知识 5	三、典型存储器芯片举例	48
§ 2.1 计算机中数的表示方法及运算	§ 3.4 微型计算机存储器的组成与扩展	50
一、进位计数制	一、存储器芯片的选择	50
二、二进制数与十进制数、十六进制数之间的相互转换	二、存储器芯片组的连接	51
三、二进制数的运算方法	三、CPU 与存储器的接口	55
四、数的符号表示——原码、反码与补码	本章小结	55
五、小数点问题	思考题与习题	55
§ 2.2 数字电子计算机的常用编码	第四章 微型计算机的输入/输出及中断方式	57
一、十进制数的二进制编码	§ 4.1 概述	57
二、字母与字符的编码	一、输入/输出设备在计算机系统中的地位 and 作用	57
三、奇偶校验码	二、常用输入/输出设备及其特点	57
§ 2.3 微型计算机的基本结构与工作过程	三、输入/输出设备与主机的连接方式	57
一、微型计算机的基本构成	四、I/O 设备的寻址	58
二、计算机的硬件与指令程序	五、I/O 接口的功能	59
三、计算机的工作过程	§ 4.2 输入/输出设备与主机交换信息的方式	59
四、计算机的软件	一、主机与外设间传送信息的种类	59
§ 2.4 单片微型计算机	二、传送方式	60
一、什么是单片计算机	三、联络方式	60
二、单片计算机的结构特点	四、服务方式	61
三、目前国内流行的几种单片机	§ 4.3 中断系统	64
本章小结	一、中断概述	64
思考题与习题	二、中断的处理过程	65
第三章 微型计算机的存储器 35	三、各中断源向 CPU 发出中断请求的特征标记	67
§ 3.1 概述	四、CPU 响应中断请求的条件	67
一、存储器的分类	五、寻找中断源及对应的中断服务子程序入口地址	68
二、内存存储器的主要性能指标	六、中断的优先权	70
三、存储器的基本结构	七、多重中断的处理	73
§ 3.2 只读存储器 ROM	本章小结	74
一、只读存储器的基本结构与特点		
二、ROM 的三种形式		

思考题与习题	75	思考题与习题	131
第五章 MCS—51 单片机的结构与 工作原理	77	第七章 汇编语言程序设计	135
§ 5.1 外部引脚及其功能	77	§ 7.1 汇编语言源程序的格式	135
一、四个 I/O 端口引脚 P0、P1、P2、P3	77	§ 7.2 伪指令	136
二、控制引脚	77	一、ORG(指定起始地址)	137
三、时钟引脚及复位	77	二、EQU(等值命令)	137
§ 5.2 MCS—51 单片机内部结构框图	82	三、DATA(数据地址赋值命令)	137
一、中央处理单元(CPU)	82	四、DB(定义存储字节)	138
二、存储器结构	83	五、DW(定义存储双字节)	138
三、多功能的接口部件	85	六、DS(定义空间命令)	138
§ 5.3 单片机的控制与定时操作	85	七、BIT(位地址符号命令)	139
一、单片机操作时序的概念	85	八、END(汇编结束命令)	139
二、单片机的控制操作过程	86	§ 7.3 汇编语言源程序的人工汇编	139
§ 5.4 I/O 端口结构及原理	88	§ 7.4 MCS—51 程序设计的一般方法	141
一、I/O 端口的结构及工作原理	88	一、简单程序	141
二、对端口锁存器的“读—修改—写” 指令	92	二、用框图描述程序的流程	143
三、端口的负载能力及接口要求	92	三、分支程序的编制	146
§ 5.5 MCS—51 单片机片内 RAM 功能	92	四、循环程序	152
一、低 128 字节 RAM	93	五、子程序及其设计方法	157
二、高 128 字节 RAM	95	§ 7.5 程序设计举例	164
三、特殊功能寄存器	95	一、查表程序	164
本章小结	98	二、算术程序	167
思考题与习题	98	三、代码转换	171
第六章 MCS—51 单片机指令系统	100	四、常用 I/O 端口程序	173
§ 6.1 指令系统简介	100	本章小结	175
一、指令系统分类	100	思考题与习题	176
二、MCS—51 指令系统中的符号说明	100	第八章 MCS—51 单片机 I/O 接口 电路	178
§ 6.2 寻址方式	101	§ 8.1 MCS—51 定时/计数器及应用	178
一、寄存器寻址	102	一、概述	178
二、直接寻址	102	二、定时器的方式和控制寄存器	178
三、寄存器间接寻址	103	三、定时器的的工作方式	180
四、立即寻址	103	四、定时器应用举例	183
五、基址寄存器加变址寄存器间接 寻址	103	§ 8.2 MCS—51 的中断系统及其控制	187
§ 6.3 指令系统	104	一、MCS—51 的中断系统结构	187
一、数据传送指令	104	二、中断源	188
二、算术运算指令	110	三、中断请求	188
三、逻辑操作指令	116	四、中断控制	190
四、控制转移指令	120	五、CPU 响应中断的过程	192
五、位操作指令	127	六、外部中断响应的的时间	193
本章小结	130	七、中断请求的撤除	193
		八、单步运行控制	195
		九、中断举例	195

十、多中断源	197	§ 10.3 单片机与键盘的接口	265
§ 8.3 MCS—51 内部 I/O 口及其应用	199	一、键输入的软件过程	266
一、I/O 口直接用于输入/输出	200	二、单键输入式键盘	267
二、将外设当作数据存储连接	202	三、矩阵式键盘	269
三、8 位 I/O 口改组为非 8 位端口	205	§ 10.4 单片机与显示器的接口	273
§ 8.4 MCS—51 串行接口	208	一、显示器的结构及工作原理	273
一、串行通信的基本知识	208	二、LED 显示器的显示方式	274
二、MCS—51 串行接口	211	三、静态显示接口实例	275
三、RS—232—C 接口设计	221	四、动态显示接口电路	278
本章小结	223	§ 10.5 综合练习——电脑时钟	281
思考题与习题	223	本章小结	285
第九章 MCS—51 单片机的系统		思考题与习题	285
扩展	225	第十一章 单片机应用系统及开发	288
§ 9.1 程序存储器的扩展	225	§ 11.1 单片机应用系统	288
一、基本的扩展方法	225	一、典型的单片机应用系统的	
二、常用 EPROM 与 MCS—51 单片机的		基本组成	288
连接方法	225	二、可供选择的几种应用系统	
三、扩展实例	226	构成方式	289
§ 9.2 数据存储器的扩展	228	§ 11.2 单片机应用系统开发过程	290
§ 9.3 多片存储芯片的扩展	228	一、明确主要技术指标	290
一、采用线选法扩展多片存储器	228	二、总体设计	290
二、用译码的方法扩展外部存储器	230	三、硬件设计方法	290
§ 9.4 I/O 接口的扩展	230	四、软件设计	292
一、简单接口的扩展	230	§ 11.3 单片机的开发工具与开发方法	294
二、8155 可编程接口芯片的扩展	233	一、单片机的开发工具	294
三、8255 可编程 I/O 扩展接口	240	二、DVCC—51—CH 开发机介绍	297
本章小结	246	§ 11.4 单片机应用系统实例	300
思考题与习题	247	一、系统功能要求	300
第十章 单片机常用接口电路	248	二、系统总体设计	300
§ 10.1 单片机与 D/A 转换器的接口	248	三、硬件设计	302
一、D/A 转换器简介	248	四、软件设计	304
二、D/A 转换接口设计中需要考虑的		五、系统调试	310
几个问题	249	本章小结	312
三、典型 D/A 转换器及其与 MCS—51 的		思考题与习题	312
接口	250	附录一 实验	313
四、D/A 转换器的应用	254	附录二 单片机应用系统的抗干扰	
§ 10.2 单片机与 A/D 转换器的接口	256	措施	322
一、A/D 转换器简介	256	附录三 有关表格	330
二、ADC 0809 及其与 MCS—51 的		附录四 寄存器功能汇总	336
接口	258	附录五 美国标准信息交换码 ASCII	
三、12 位双积分式 A/D 转换器 ICL 7109		字符表	339
及其与 MCS—51 单片机接口	261	参考书目	340
四、U/F 变换 A/D 转换简介	265		

第一章 概 述

§ 1.1 电子计算机的基本组成框图及常用术语

电子计算机可分为模拟计算机、数字计算机和混合计算机三类。由于电子数字计算机最常用，因而本书所提到的电子计算机都是指电子数字计算机。

可以说，电子计算机实质上是一种能对数字信息进行高速加工处理的设备。因而就其组成而言，它必须具备能把原始数据输入计算机内部的输入设备，以及输出计算处理结果的输出设备。输入/输出设备也称作 I/O 设备。计算机本身可称为主机。主机之外的各种输入/输出设备统称为外部设备。这样，一个最简单的计算机组成框图如图 1-1 所示。

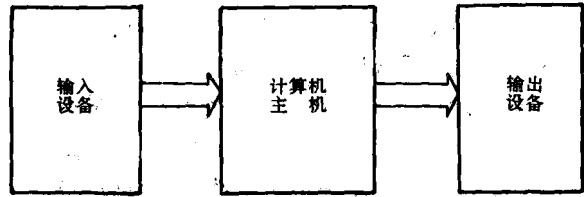


图 1-1 最简单的计算机组成框图

计算机主机一般由运算器、控制器和存储器三部分构成。输入的数据主要依靠运算器进行加工处理。它可以快速地进行各种算术和逻辑运算。存储器则是计算机的一个记忆装置，输入的数据、运算的中间结果以及其它一些有用信息都可以储存在存储器中。计算机在工作时可以随时从存储器中取出数据，称做“读”；也可以随时把数据存入存储器中，称作“写”。一般主机内部的存储器叫做内存储器，简称为内存。而主机以外也可以配接存储器，称为外存储器。控制器则可对全机各部件发出控制信号，指挥整个机器有条不紊地有节奏地自动工作。这样，由运算器、控制器、存储器、输入/输出设备及沟通各部件间的通道，就构成了一台完整的计算机，如图 1-2 所示。而运算器与控制器又常称为中央处理器 CPU (Central Processing Unit)。

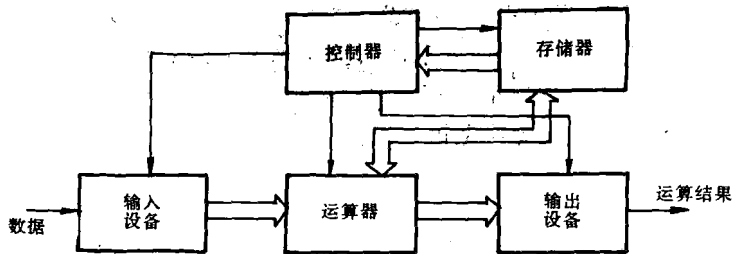


图 1-2 计算机的基本组成框图

§ 1.2 电子计算机的产生及发展

世界上第一台电子数字计算机 1946 年诞生于美国。在此后的几十年里,电子计算机的发展极其迅速,先后经历了电子管、晶体管、小规模集成电路及大规模集成电路四代的演变。

在此期间,随着大规模集成电路技术的迅速发展,70 年代初诞生了一代新型的电子计算机——微型计算机 (Microcomputer)。它利用大规模集成电路技术把计算机的中央处理单元集成在一个芯片上,称为微处理器 MP。同时利用大规模集成电路技术集成了容量相当大的半导体存储器芯片,集成了各种通用的或专用的、可编程序的接口电路。这样,把 CPU 配上一定容量的存储器和接口电路,就形成了微型计算机 MC,再加上各种外部设备、系统软件,就形成了微型机系统 MCS。

由于微型计算机具有体积小、价格低、使用方便、可靠性高等一系列优点,因而从一问世起就显示出了强大的生命力,被广泛用于国防、工农业生产和商业管理等领域。特别是近年来,微处理器以几乎每两年性能/价格比提高 4 倍(价格低一半,性能高一倍),平均 2~3 年便可推出一代新产品的高速度发展。它已渗透到人类生活的各种领域,给人类世界带来目前尚难以估计的深刻变革。可以毫不夸张地说,蒸汽机的发明,给人类带来渗透到各种领域的“动力”,而微型计算机的发明,给人类带来渗透到各种领域的“智能”。

微处理器二十几年来的发展,明显地看出朝着两个方面进行:

一是朝着面向数据运算、信息处理等功能的系统机方向发展,如 16 位的 IBM PC—XT, AST 286, 32 位超级微机 80386、80486 等。系统机以速度快、功能强、存储量大、软件丰富、输入/输出设备齐全为主要特点,采用高级语言编程,适用于数据运算、文字信息处理等场合。

另一方面,在有些应用领域中,如智能仪器仪表、电讯设备、自动控制设备、汽车乃至家用电器等,要求的控制功能并不复杂,但对体积、成本、功耗等的要求却比较苛刻。为适应这方面的需要,产生了一种将中央处理器、存储器、I/O 接口电路以及连接它们的总线统统集成在一块芯片上的计算机,即所谓单片微型计算机,简称单片机 (Single Chip Microcomputer)。单片机在设计上主要突出了控制功能,调整了接口配置,在单一芯片上制成了结构完整的计算机,因此,单片机也称为微控制器 (Microcontroller)。

单片机由于应用面广,生产批量大而使成本低廉;外引线少而使可靠性增加。采用 MOS 工艺大大降低了功耗,因此单片机问世后很快成为微型计算机的一个重要分支,发展极为迅速。本书主要以单片机为典型机介绍微机原理,因而下面对单片机的发展及应用情况作一点介绍。

§ 1.3 单片机的历史、现状及应用

单片机的历史并不长,从美国德克萨斯仪器公司推出 TMS 1000 系列 4 位单片机开始至今还不到 20 年,但单片机的发展很快,从 1 位、4 位、8 位、16 位到 32 位单片机种类已有数百种,世界上年销售量达几亿片。

单片机的发展也可分成4个阶段：

第一阶段：单片4位机，由于这类单片机功能有限，只适用于家用电器和简单的控制装置，如洗衣机、电风扇、微波炉的程序控制等，但因价格便宜，目前仍在广泛使用，并且性能不断提高。

第二阶段：低挡8位机(1974~1978)。1974年12月仙童公司首先推出了8位单片机F8，1976年9月Intel公司宣布了8048系列单片机，Rockwell公司1978年推出与6502兼容型的6500系列。此时的8位单片机，有多个输入/输出接口、定时/计数器，但内存容量较小，无串行接口，一般只适合简易工业控制和早期智能仪器仪表及计算机外部设备。目前它们正逐步被8位高性能单片机所淘汰。

第三阶段：高档8位机(1978~1982年)。这类单片机带有串行输入/输出，寻址范围达64kB，机内有多个定时/计数器，多级中断和较大容量的片内存储器。常见型号有Intel公司的8051，Motorola公司的6801、6805，Zilog公司的Z8和NEC公司的 μ PD7800系列等。这类单片机功能强，适用范围宽，随着集成电路工艺的不断提高，价格也在不断降低。因此，近年来8位单片机的产量在逐年增长，1990年8位单片机已成为单片机的主流产品。

第四阶段：16位单片机和超8位单片机，1982年推出16位单片机如Intel公司的8096，国家半导体公司的HPC1640和NEC公司的783XX单片机。但由于16位机价格较高，而且8位单片机一般已满足了大部分应用需要，所以，至今16位机的应用范围不够广，产量也很低。不过，Intel公司1988年在8096基础上推出的声称为8位机价格、16位机性能的8098准16位单片机以极高的性能/价格比开始打入我国市场。8098在高精度运算，高速实时处理和模拟信号接口功能方面有着8051 8位机无法比拟的优势，目前应用已经相当广泛。但是在推出16位机的同时，人们又是在高档8位机基础上增加了DMA(存储器直接读取)，特殊串行接口及模拟信号接口等功能，形成功能更强的超8位机，如Intel公司的8044、83C152等就是以8051为母片的派生型超8位单片机。

就应用而言，目前国内微机应用仍有很多都是采用单板机。单板机(如TP801，SDK—85)最初是作为性能评价用的实验型装置，由于其结构简单、价格便宜、使用方便而易于推广使用。因此进入80年代以来，在我国单板机几乎成了工业控制、设备改造、仪器仪表等智能化系统的主流机种。但是，单板机仍有明显的局限性，这表现在：开发不方便，针对性不强，难于获得高的性能/价格比，体积较大，不利于产品化等。

单片机与单板机相比，在控制应用领域中，有以下几个特点：

(1) 单片机体积小，使用灵活，成本低，易于产品化。组装各种智能式控制设备和仪器，能做到机电仪一体化。

(2) 面向控制、能有针对性地解决各种从简单到复杂的控制任务，因而能获得最佳的性能/价格比。

(3) 抗干扰能力强，适应温度范围宽，在各种恶劣的环境下都能可靠地工作。这是其它微机机种无法比拟的。

(4) 可以方便地实现多机、分布式集散控制，使整个控制系统的效率大大提高。

(5) 单片机的应用产品研制周期短，所开发出来的样机就是以后批量生产的产品，可以避免不必要的二次开发过程。

单片机可以应用到人类生活的各个领域中去。其应用面之广，数量之大，是任何其它类型的计算机所无法比拟的。以下列出的都是单片机应用比较活跃的领域：

1. 工业测控

单片机的结构特点决定了它特别适用于各种控制系统。它既可作单机控制制成控制器，又可作多级控制的前沿处理机用于控制系统，应用领域相当广泛。例如：

用于各种机床控制、电机控制、工业机器人、各种生产线、各种过程控制、各种监控系统等。

在军事工业中：导弹控制、鱼雷制导控制、智能武器装置、航天导航系统等。

在汽车工业中：点火控制、变速器控制、防滑刹车、排气控制等。

2. 智能化的仪器仪表

单片机用于包括温度、湿度、流量、流速、电压、频率、功率、厚度、角度、长度、硬度、元素测定等和各类仪器仪表中，使仪器仪表数字化、智能化、微型化，功能大大提高。

3. 日常生活中的电器产品

单片机可用于电子秤、录像机、录音机、彩电、洗衣机、高级电子玩具、冰箱、照相机、家用多功能报警器等。

4. 计算机网络与通信方面

它可用于 BIT BUS 分布式网络系统、调制解调器、各种智能通信设备（如用于小型背负式通信机、列车无线通信等）、无线遥控系统等。

5. 计算机外部设备

它可用于温氏硬盘驱动器、微型打印机、图形终端、CRT 显示器等。

总之，单片机具有体积小、功能强、价格便宜等优点，是微型机应用产品化的最佳选择机种。单片机的出现改变了传统的设计方法，过去经常采用模拟电路、脉冲电路、组合逻辑实现的电路系统，现在相当一部分可以用各种单片机（或叫微控制器）予以取代。传统的设计方法正在演变成软件和硬件相结合的方法，许多电路设计将转化为程序设计问题。

作为电子、信息一类专业的科技人员，如同 60 年代面临晶体管技术，70 年代面临数字集成电路技术，80 年代面临单板计算机技术一样，进入 90 年代单片计算机必将成为新一代电子应用技术中不可回避和缺少的一项新内容。为迎接新技术的挑战，培养大批具有单片机系统设计能力的人才已是一件刻不容缓的事情。

目前来看，Intel 公司的单片机在我国应用比较广泛，而 MCS—51 系列又是市场上性能/价格比较高的理想 8 位机种，它正在逐步取代 MCS—48 系列产品。因此从 MCS—51 单片机入手学习和掌握单片机的原理和应用技术，对于从事智能化系统设计是有普遍意义的。

第二章 计算机基础知识

§ 2.1 计算机中数的表示方法及运算

一、进位计数制

对数量进行表述称为计数。按进位的原则进行计数的法则称为进位计数制。如：当我们看到 234 这个数时，便读作二百三十四。这是因为这里的百位数是 2，十位是 3，个位是 4。这种按每个数字在不同的位置来表示数值大小的方法又叫做按位定值的计数制。用数学式可表示为

$$234 = 2 \times 10^2 + 3 \times 10^1 + 4 \times 10^0$$

其中 10^0 、 10^1 、 10^2 ... 叫做“权”，10 叫做计数制的基值，2、3、4 分别为权值 10^2 、 10^1 、 10^0 的系数。以基值为 10 的计数制又叫做十进位计数制，简称十进制数。

当然，我们也可以取基值为另一种数，便可获得另一种计数制的表示方法。推广到一般，对于一个 r 进位计数制，其表达式可写作：

$$N = a_{n-1}r^{n-1} + \dots + a_1r^1 + a_0r^0 + a_{-1}r^{-1} + \dots + a_{-m}r^{-m} \quad (2-1)$$

其中， r 为基值；

n 、 m 均为正整数，分别代表数 N 的整数和小数位的位数；

a_i 为系数， $i = n-1, n-2, \dots, 1, 0, -1, \dots, -m$ ；系数可以在 $0, 1, \dots, r-1$ ，共 r 种数中任意取值；

r^i 为权， $i = n-1, n-2, \dots, 1, 0, -1, \dots, -m$ ；式中从 a_0r^0 起向左是数的整数部分， $a_{-1}r^{-1}$ 向右是数的小数部分。

仍以十进制为例，434.56 按式(2-1)可写成

$$434.56 = 4 \times 10^2 + 3 \times 10^1 + 4 \times 10^0 + 5 \times 10^{-1} + 6 \times 10^{-2}$$

可见同样的系数在不同的位置，它的值是不一样的。如“4”在 10^2 位表示四百，在 10^0 位表示为四。可被用作系数的数字，其个数正好等于基值。如：十进制的基值为 10，其系数为 0、1、2、3、4、5、6、7、8、9 共 10 个。

一般来说，基值为 r 的计数制它的系数由 $0, 1, 2, \dots, r-1$ ，共 r 个数字组成。每当计到 r 时，需向高位进位，这就是“逢 r 进一”。对于 r 等于 10 来说，就是逢十进一。

二、二进制数与十进制数、十六进制数之间的相互转换

1. 二进制

将式(2-1)中的基值 r 取为 2 便得到了二进制，它的系数只有 0 和 1，计到 2 时，就要进位，这就是“逢二进一”的二进制计数制。例如：

$$(110.01)_2 = 1 \times 2^2 + 1 \times 2^1 + 1 \times 2^{-2} = (6.25)_{10}$$

计算机普遍采用二进制，这是因为：

首先,二进制是数码最少的进位计数制,其基本信息单元只有0和1两个,这使得二进制具有一些特殊的性质。0和1这两个状态既可表示量的对立,又可表示质的对立。如脉冲的“有”和“无”,电压的“高”和“低”,电路的“通”和“断”等等均可用0和1这两种状态来表示。这种表示方法鲜明可靠,识别容易,实现方便。电子计算机正是利用只有两个状态的双稳态电路来表示和处理信息的。

其次,同十进制相比,二进制的运算极为简单。以加法和乘法为例,一位数的十进制加法和乘法各有55种可能的运算组合,而二进制仅仅各有3种:

加法: $0+0=0$
 $0+1=1+0=1$
 $1+1=10$

乘法: $0\times 0=0$
 $0\times 1=1\times 0=0$
 $1\times 1=1$

这将大大简化计算机中的运算电路。

再其次,便于实现逻辑运算,计算机不仅要作算术运算,还要作逻辑运算。由逻辑代数可知,基本逻辑运算只有与、或、非三种。而逻辑变量只有“0”和“1”,这样利用二值元件也很容易实现逻辑运算。

上述几点决定了二进制在当代计算机中无可替代的地位。

2. 二进制与十进制数的转换

(1) 十进制数转换成二进制数(十一二转换)。

①整数的(十一二)转换:整数的十一二转换可以通过“除2取余”法进行:将待转换的十进制整数除以2,余数即为对应的二进制数 a_0 ,然后对商重复上述过程直至商为零,便可依次再求得 a_1, a_2, \dots, a_{n-1} 。

例 2-1 求十进制数43的二进制表示。

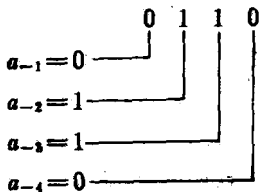
解	除以 2	得商 Q_i	余数 a_i
	43/2	21	$a_0=1$
	21/2	10	$a_1=1$
	10/2	5	$a_2=0$
	5/2	2	$a_3=1$
	2/2	1	$a_4=0$
	1/2	0	$a_5=1$

$\therefore (43)_{10}=(101011)_2$

②小数部分的转换:小数的十一二转换可以通过“乘以2取整”法进行。将待转换的十进制小数乘以2,积的整数部分即为对应的二进制数 a_{-1} 。然后对积的小数部分重复上述过程,直至积的小数部分为零,便可依次再求得 $a_{-2}, a_{-3}, \dots, a_{-n}$ 。

例 2-2 求 $(0.423)_{10}$ 的二进制的小数值。

解 乘以 2	得小数 F_i	得整数 a_i
0.423×2	0.846	$a_{-1} = 0$
0.846×2	0.692	$a_{-2} = 1$
0.692×2	0.384	$a_{-3} = 1$
0.384×2	0.768	$a_{-4} = 0$



即 $(0.423)_{10} = (0.0110)_2$

从上例可见, 当小数转换过程中, 出现 F_i 恒不为 0 时, 就要按精度的要求确定二进制小数的位数。显然, 此例 F_i 始终不为 0, 则若要求精度为 2^{-4} 时, 可取:

$$(0.423)_{10} = (0.0110)_2$$

对于既有整数部分又有小数部分的十进制数, 应分别对整数部分和小数部分进行转换, 然后合到一起。其做法同上面的例子, 在此不再举例。

(2) 二进制数转换成十进制数(二—十转换)。二—十转换比较简单, 只要根据通式(2-1), 将各项按权值展开即可。

例 2-3 将 $(10011.101)_2$ 转换成十进制数。

$$\begin{aligned} \text{解 } (10011.101)_2 &= 1 \times 2^4 + 1 \times 2^1 + 1 \times 2^0 + 1 \times 2^{-1} + 1 \times 2^{-2} \\ &= (16 + 2 + 1 + 0.5 + 0.125)_{10} \\ &= (19.625)_{10} \end{aligned}$$

3. 二进制与十六进制之间的转换

将式(2-1)中的 r 取为 16 便得到了十六进制。它的基数为 16, 系数数码 16 个, 一般用 0, 1, ..., 9, A, B, C, D, E, F 来表示。权为 16 的幂, 计到 16 时, 就要进位, 这就是“逢十六进一”。

十六进制的基数 16 可写为 2^4 , 即四位二进制数对应于一位十六进制数, 故当二进制数为整数时, 只要从低位开始, 每四位二进制数用一位十六进制数代替。若最高位不满四位时, 可在前面补“0”构成四位, 并以一位十六进制数代之即可。若二进制为小数时, 则从小数点后的最高位开始, 每 4 位二进制数用 1 位十六进制数代替。若最末位不满 4 位, 也可用“0”补之。

例 2-4 将 $(1101110010)_2$ 转换为十六进制数。

$$\begin{array}{ccc} \text{解} & 0011 & 0111 & 0010 \\ & 3 & 7 & 2 \end{array}$$

故 $(1101110010)_2 = (372)_{16}$

例 2-5 将 $(110111001.0011011)_2$ 转换为十六进制数。

$$\begin{array}{cccccc} \text{解} & 0001 & 1011 & 1001 & 0011 & 0110 \\ & 1 & B & 9 & 3 & 6 \end{array}$$

故 $(1100111001.0011011)_2 = (1B9.36)_{16}$

反之, 欲将一个十六进制数转换为二进制数时, 只要每位十六进制数用 4 位二进制数代替即可。

例 2-6 将 $(F57.48)_{16}$ 转换为二进制数。

$$\text{解 } (F57.48)_{16} = (111101010111.01001)_2$$

若将式(2-1)中的 r 取为 8, 则可得到八进制数。八进制数和十六进制数很相似。二一八和八一二转换时只要将二进制数按三位分节, 其它与二一十六和十六一二转换相似。

十六进制计数制和八进制计数制常常在人们书写计算机程序时被采用。

表 2-1 列出了四种进位制中数的表示法。其中二进制数后的 B 是 Binary 的缩写, 表示该数为二进制数; 十六进制数后的 H 是 Hexadecimal 的缩写, 表示该数是十六进制数; 八进制数后的 Q 本来应为字母“O”(Octal)的缩写, 但为区别于数字“0”而写作“Q”; 十进制数可以用字母 D(Decimal)表示, 但多数情况下不写。而前三种进制数在不致于发生混淆的情况下, 其后的字母也可以不写, 但一般情况下是不能省略的。

表 2-1 四种数制对照表

十进制	二进制	十六进制	八进制
0	0B	0H	0Q
1	1B	1H	1Q
2	10B	2H	2Q
3	11B	3H	3Q
4	100B	4H	4Q
5	101B	5H	5Q
6	110B	6H	6Q
7	111B	7H	7Q
8	1000B	8H	10Q
9	1001B	9H	11Q
10	1010B	AH	12Q
11	1011B	BH	13Q
12	1100B	CH	14Q
13	1101B	DH	15Q
14	1110B	EH	16Q
15	1111B	FH	17Q
16	10000B	10H	20Q
64	1000000B	40H	100Q
100	1100100B	64H	144Q
255	11111111B	FFH	377Q
1000	1111101000B	3E8H	1750Q

三、二进制数的运算方法

1. 二进制加法

一位二进制数的加法规则为:

$$0+0=0$$

$$0+1=1+0=1$$

$$1+1=0 \text{ (进位 1)}$$

$$1+1+1=1 \text{ (进位 1)}$$

依据如上规则，就可以进行两个二进制数的加法运算了。

例 2-7 试求 $1101B+1001B=?$

$$\begin{array}{r}
 \text{解} \quad \text{被加数} \quad 1101 \\
 \quad \quad \text{加数} \quad \quad 1001 \\
 \quad \quad \text{进位} \quad +1 \quad 1 \\
 \hline
 \quad \quad \quad 10110
 \end{array}$$

从这个例子可以看出，在两个二进制数做加法时，每一位有两个或三个数参加运算，这就是本位被加数和本位加数，若低位有进位，再加上低位来的进位。这样，每一位相加都可按一位二进制数的加法规则得到本位的和及向高位的进位。

2. 二进制减法

一位二进制数减法的规则为：

$$\begin{array}{lll}
 0-0=0 & 0-1=1 & \text{有借位} \\
 1-1=0 & 0-1-1=0 & \text{有借位} \\
 1-0=1 & &
 \end{array}$$

例 2-8 试求 $11001010B-00110011B=?$

$$\begin{array}{r}
 \text{解} \quad \text{被减数} \quad 11001010 \\
 \quad \quad \text{减数} \quad \quad 00110011 \\
 \quad \quad \text{借位} \quad - \quad 11111 \\
 \hline
 \quad \quad \quad 10010111
 \end{array}$$

可见，减法的每一位同样有两个或三个数参加运算，它们是本位被减数和减数，以及当低位有借位时从低位来的借位。同样，每一位都可按一位二进制数的减法规则得到本位的差及向高位的借位。

3. 二进制乘法

一位二进制数的乘法规则为

$$\begin{array}{ll}
 0 \times 0 = 0 & 1 \times 0 = 0 \\
 0 \times 1 = 0 & 1 \times 1 = 1
 \end{array}$$

例 2-9 试求 $1011B \times 1010B=?$

解 两个二进制数相乘可用与两个十进制数相乘相类似的方法进行。

$$\begin{array}{r}
 \text{被乘数} \quad 1011 \\
 \text{乘数} \quad \quad \times 1010 \\
 \hline
 \text{中间结果} \quad 0000 \\
 \text{中间结果} \quad \quad 1011 \\
 \text{中间结果} \quad \quad \quad 0000 \\
 \text{中间结果} \quad + 1011 \\
 \hline
 \text{积} \quad \quad 1101110
 \end{array}$$

仔细观察上例不难发现：

①乘数有几位就作几次乘法，且就有几个中间结果。

②若乘数的某一位为 0，则对应的中间结果为 0；若乘数的某一位为 1，则对应的中间结果为被乘数。