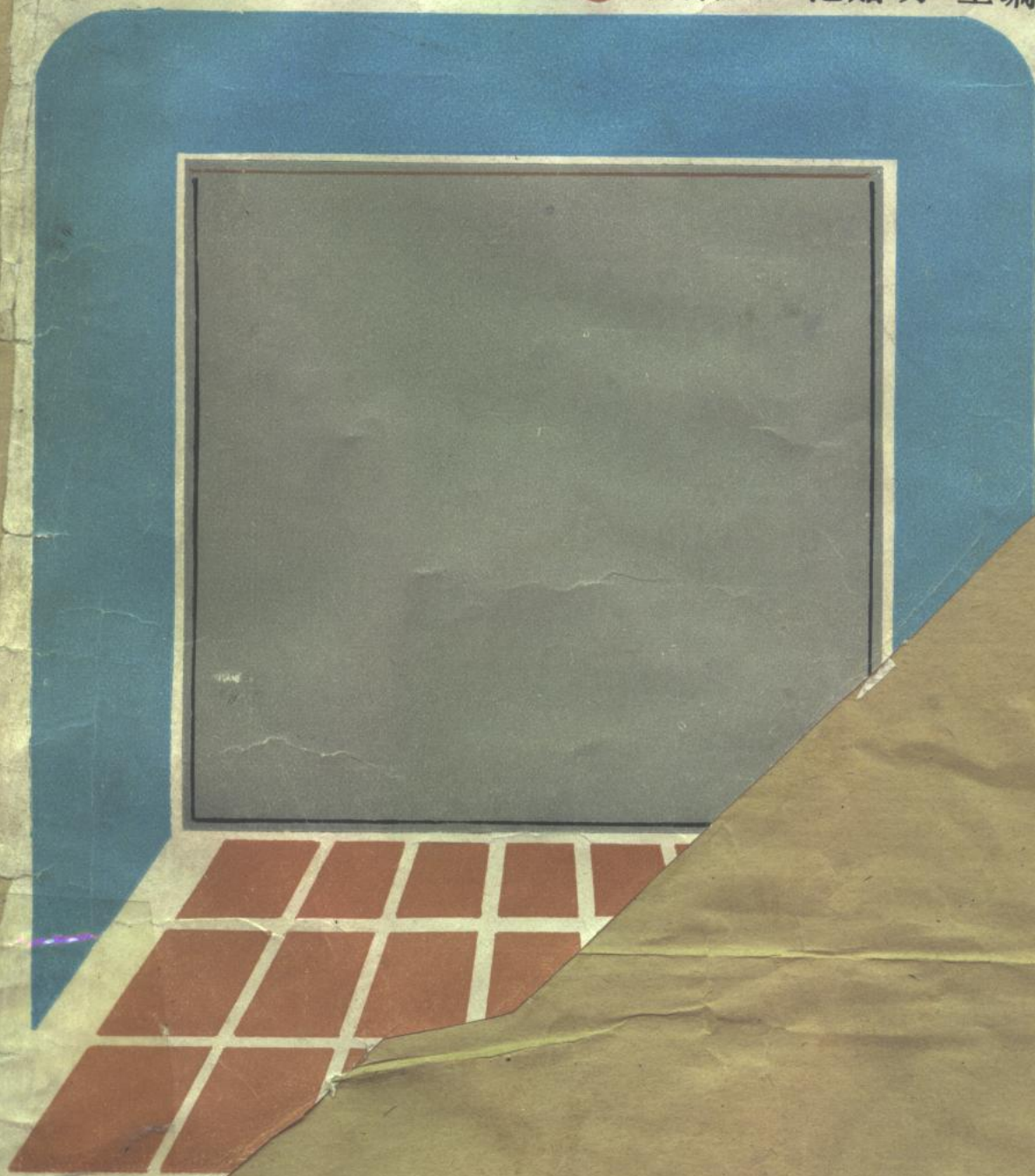


新编微型 计算机原理及应用

● 傅景义 范贻明 主编



TP36
77

新编微型计算机原理及应用

傅景义 范贻明 主编

海 洋 出 版 社

1990年·北京

内 容 简 介

本书是作为高等院校工科各专业的微机原理及应用课程教材编写的，同时兼顾了作为科技参考资料，因而编写中注意了基础性、系统性、理论性和先进性，同时还注意了实用性。

全书共十七章。第一至十一章讲述Z80微机原理，包含数制码制、CPU结构、指令系统、汇编语言程序设计、存储器、Z80时序、输入输出技术、接口芯片、TP801单板机分析与应用示例；第十二至十五章介绍MCS-51单片机，包含硬件结构，指令系统及扩展应用技术；第十六和十七章概述了系统机操作知识，包含CP/M与IBMPC DOS的简介与应用及数据在微机中存放的方法。

本书可适应不同专业和64，72，80，96各学时教学需要。工科各专业学生进行课程设计或有关专业进行毕业设计时，本书可成为主要参考资料，并可兼作工程技术人员和研究生的参考资料。

全书讲法深入浅出、易于阅读。每章之后附有习题，书后附有实验指导材料，供教学使用配套。

JS446/232

责任编辑：刘莉蕾

责任校对：俞丽华

新编微型计算机原理及应用

傅景义 范贻明 主编

*

海洋出版社出版（北京市复兴门外大街1号）

新华书店北京发行所发行 兴华印刷厂印刷

开本：787×1092 1/16 印张：23.75 字数：500千字

1990年7月第一版 1990年7月第一次印刷

印数：1—8300

*

ISBN 7-5027-0858-8/TP·15 ¥:11.00元

前 言

随着电子技术和计算技术的进步,微型计算机获得了良好的发展基础。成本低、体积小、功能强的各种通用与专用微型计算机大量涌现,使微型计算机的应用已遍及工业、农业、商业、交通等各个行业。从管理决策到监测控制、从生产到生活、从科学研究到一般应用已无所不及。计算机已成为各行各业的工具。

高等院校工科各专业,当前绝大多数已将微机原理及应用设为必修课程。虽然由于专业性质和学时不同而对这门课程提出了不同要求,但在当前的实际应用中,却多数涉及到新型工业控制微机芯片、单片机和微机系统操作技术。而这些技术和知识,又基本上以8位微型计算机原理及接口技术为基础。为此,在当前同类教材及参考书籍种类繁多的情况下,本书将Z80微机原理部分、目前最流行的MCS-51单片机部分和CP/M与IBMPC DOS操作系统应用部分有机地组织在一起,形成了系统、完整、内容能满足当前微机应用需要的教材和参考资料。在各个部分中,根据编者在实际教学中的体会,对易于混淆和较难掌握的环节,做了明确的阐述和形象的比喻。如“补码”与“求补”的概念;“锁存”与“缓冲”的概念及应用;Z80中断方式0与RST P指令的异同处;伪指令的功能与应用等,从而使本书具有深入浅出、简明扼要、易于阅读的特点。在全书的结构中,既考虑各章、各部分的独立性,又考虑相互之间的衔接性、系统性与完整性。如从第三章指令系统到第四章汇编语言程序设计至第十七章微计算机系统操作之间,形成了有机的联系。既可以删除后面的部分而不影响前面章节,又可使后面的章节依附前面的基础而使篇幅、学时占用均可达到较少的地步。尤其有利于教师指导课程设计和毕业设计。只需稍加辅导,即可使学生通过自学掌握进一步的操作与开发手段,从而增强学生的动手能力。同时可以使学生掌握当前微计算机应用中的一般研制方法与研制步骤。

在内容划分上,除第一章至第九章为Z80微机原理与接口技术外,第十章与第十一章为Z80的实际应用分析,第十二章至第十五章为MCS-51单片机介绍,第十六章与第十七章叙述了微机系统操作知识。教学中可根据不同学时安排在以第一部分为基础的情况下,任意选择其后三个部分之一、之二、全部或不选,组成各种类型的内容体系。在讲授顺序上也可任意安排各部分间的次序。书中的习题和实验以基本要求为准,对较高要求的专业或院校,应由教师适当补充。为了满足应用发展的需要,在第五章和单片机部分,介绍了一些新型器件,如E²PROM等,做为参考资料。

参加本书编写的有傅景义、范贻明、李勋、邹敦颐、方大寿、马崇良、范兆书和李惠然同志。全稿由傅景义、范贻明同志统稿。此外贾景云同志编写了实验部分并经调试通过。由于编者业务水平及教学经验所限,加之编写时间仓促,书中难免错误和不足之处,敬希读者批评指正。

编写过程中,受到天津纺织工学院、河北工学院、天津轻工业学院领导和有关部门的大力支持和帮助。乐毓俊教授、吕德忠副教授和陆云龙老师对本书的编写,提出了许多宝贵的建议,并给予了极大的帮助,在此一并致谢。

编 者

1989. 8. 天津

目 录

绪论	(1)
第一章 计算机中的数和码	(3)
1.1 进位计数制	(3)
1.1.1 什么是进位计数制	(3)
1.1.2 进位计数制的表示方法	(3)
1.2 不同进位制数之间的转换	(5)
1.2.1 十进制数和二进制数间的转换	(5)
1.2.2 十进制数转换为十六进制数	(7)
1.2.3 二进制数与十六进制数间的转换	(7)
1.3 码制——原码、反码和补码	(8)
1.3.1 带符号数的表示法	(8)
1.3.2 补码的运算	(12)
1.4 进位与溢出	(16)
1.5 编码	(16)
1.5.1 数的编码	(16)
1.5.2 文字符号代码	(17)
第二章 中央处理单元CPU	(20)
2.1 微型计算机的结构	(20)
2.1.1 几个名词术语	(20)
2.1.2 微型计算机的结构	(20)
2.2 Z80 CPU 的内部结构	(22)
2.2.1 寄存器组	(22)
2.2.2 算术逻辑单元ALU	(25)
2.2.3 指令寄存器IR、指令译码器、CPU 定时和控制	(25)
2.3 Z80 CPU 的外部引线	(25)
第三章 指令系统	(29)
3.1 指令格式、寻址方式和状态标志	(29)
3.1.1 指令格式	(29)
3.1.2 寻址方式	(30)
3.1.3 状态标志	(34)
3.2 Z80指令系统	(36)
3.2.1 数据传送与交换类指令	(36)
3.2.2 算术与逻辑运算类指令	(42)
3.2.3 转移、调用与返回类指令	(48)
3.2.4 循环与移位类指令	(51)
3.2.5 数据块传送与查找类指令	(54)

3.2.6 位操作指令	(56)
3.2.7 CPU控制指令	(57)
第四章 汇编语言程序设计基础	(59)
4.1 程序设计语言介绍	(59)
4.1.1 机器语言	(59)
4.1.2 汇编语言与汇编	(59)
4.1.3 高级语言	(60)
4.2 Z80汇编语言语法	(60)
4.2.1 汇编语言语句结构	(60)
4.2.2 伪指令	(62)
4.2.3 宏指令和条件汇编	(64)
4.3 汇编语言程序设计	(67)
4.3.1 程序设计方法概述	(67)
4.3.2 顺序结构程序	(68)
4.3.3 分支结构程序	(69)
4.3.4 循环结构程序	(70)
4.3.5 子程序	(73)
4.3.6 查表方法	(76)
4.4 汇编语言程序设计示例	(78)
4.4.1 组合逻辑函数的模拟	(78)
4.4.2 双字节无符号数乘法和除法	(79)
4.4.3 冒泡排序法	(81)
4.4.4 对分查找	(82)
第五章 半导体存储器	(86)
5.1 分类概述	(86)
5.1.1 读写存储器	(86)
5.1.2 只读存储器	(87)
5.2 随机存取存储器	(88)
5.2.1 静态RAM	(88)
5.2.2 动态RAM	(89)
5.2.3 集成RAM	(91)
5.2.4 不挥发RAM	(93)
5.3 只读存储器	(94)
5.3.1 可擦除的可编程只读存储器EPROM	(94)
5.3.2 电可擦除的可编程只读存储器	(98)
5.4 存储器与CPU的连接	(100)
5.4.1 存储器与CPU接口的几个问题	(100)
5.4.2 地址译码和片选	(101)
5.4.3 控制信号的连接	(102)
第六章 Z80 CPU时序	(105)
6.1 概述	(105)

6.1.1 指令周期、机器周期和T周期	(105)
6.1.2 T ₁ 状态	(107)
6.2 Z80的典型时序分析	(108)
6.2.1 Z80 CPU七种最基本时序	(108)
6.2.2 典型时序应用举例	(115)
第七章 输入与输出	(117)
7.1 概述	(117)
7.2 输入输出的寻址方式及输入输出指令	(118)
7.2.1 输入输出的寻址方式	(118)
7.2.2 Z80输入输出指令	(119)
7.3 输入输出传送方式	(120)
7.3.1 无条件传送方式	(120)
7.3.2 查询传送方式	(120)
7.3.3 中断传送方式	(123)
7.3.4 直接存储器存取(DMA)传送方法	(124)
7.4 中断	(125)
7.4.1 非屏蔽中断与可屏蔽中断	(125)
7.4.2 可屏蔽中断模式	(127)
7.4.3 中断优先排队与中断嵌套	(131)
7.4.4 Z80中断控制逻辑	(133)
第八章 接口芯片	(136)
8.1 计数/定时器接口芯片Z80 CTC	(136)
8.1.1 Z80 CTC结构	(136)
8.1.2 CTC引脚及硬件连接	(137)
8.1.3 CTC的工作方式	(139)
8.1.4 CTC的程序设计	(139)
8.1.5 CTC程序设计示例	(141)
8.2 可编程序并行接口芯片Z80 PIO	(144)
8.2.1 Z80 PIO结构	(145)
8.2.2 PIO引脚及硬件连接	(146)
8.2.3 PIO工作方式	(148)
8.2.4 PIO初始化	(150)
8.2.5 PIO初始化编程举例	(152)
8.2.6 PIO应用举例	(154)
8.3 D/A转换器	(158)
8.3.1 D/A转换器工作原理	(158)
8.3.2 DAC0832数/模转换器	(159)
8.4 A/D转换器	(163)
8.4.1 A/D转换器工作原理	(164)
8.4.2 ADC0809模数转换器	(165)

第九章 单板机系统结构	(170)
9.1 TP801单板机结构	(170)
9.1.1 CPU	(170)
9.1.2 存储器地址分配	(171)
9.1.3 I/O接口及外设	(172)
9.2 TP801的外部设备及其管理	(173)
9.2.1 显示器接口电路	(173)
9.2.2 键盘	(177)
9.2.3 EPROM写入装置	(183)
9.2.4 磁带机与串行通讯接口	(186)
第十章 单板计算机的监控程序	(194)
10.1 TPBUG-A 功能介绍	(194)
10.2 监控程序的结构	(197)
10.2.1 TPBUG-A程序总流程图	(197)
10.2.2 监控程序使用的RAM数据区	(197)
10.2.3 监控程序中的实用程序块和表格	(198)
10.3 监控程序的主要内容	(200)
10.3.1 初始化程序	(200)
10.3.2 显示、键盘查询与键盘分析程序	(201)
10.3.3 命令键处理程序(一)	(203)
10.3.4 命令键处理程序(二)——与程序执行有关的键	(212)
10.3.5 监控程序的改进	(219)
第十一章 Z80应用设计示例	(222)
11.1 应用TP801单板机做电子时钟	(222)
11.1.1 设计思路	(222)
11.1.2 基本参数与存储器分配	(223)
11.1.3 软件设计	(223)
11.1.4 运行、调试和修改	(227)
11.2 单台载客电梯选层控制系统	(227)
11.2.1 单台载客电梯选层控制的主要特征	(228)
11.2.2 设计思路	(228)
11.2.3 基本参数	(229)
11.2.4 硬件系统设计	(230)
11.2.5 软件设计	(231)
11.3 步进电动机控制系统	(235)
11.3.1 步进电动机的工作原理	(235)
11.3.2 微机控制步进电动机工作原理	(236)
11.3.3 硬件设计	(236)
11.3.4 软件设计	(236)
第十二章 MCS-51硬件结构	(240)
12.1 内部结构	(240)

12.1.1	CPU	(240)
12.1.2	并行I/O口	(243)
12.1.3	存储器组织	(246)
12.1.4	片内时钟振荡器和CPU定时	(248)
12.1.5	片外存储器的存取	(249)
12.1.6	复位电路	(252)
12.2	外形和引脚	(253)
第十三章	MCS-51指令系统	(256)
13.1	寻址方式	(256)
13.1.1	寄存器寻址	(256)
13.1.2	直接寻址	(256)
13.1.3	寄存器间接寻址	(256)
13.1.4	立即寻址	(256)
13.1.5	基址寄存器加变址寄存器间接寻址	(256)
13.2	数据传送指令	(257)
13.2.1	通用型数据传送	(257)
13.2.2	累加器专用型数据传送	(258)
13.2.3	16位数据传送	(260)
13.3	算术指令	(260)
13.3.1	加法指令	(260)
13.3.2	减法指令	(262)
13.3.3	乘除指令	(262)
13.4	逻辑指令	(262)
13.4.1	单操作数逻辑	(262)
13.4.2	双操作数逻辑指令	(263)
13.5	控制转移指令	(264)
13.5.1	无条件调用、返回和转移	(265)
13.5.2	条件转移指令	(265)
13.5.3	中断返回和空操作指令	(267)
第十四章	MCS-51定时器、串行口和中断系统	(268)
14.1	定时/计数器	(268)
14.1.1	定时器0和1的方式控制	(268)
14.1.2	定时器0和1的运行方式	(268)
14.2	串行口	(270)
14.2.1	运行方式	(270)
14.2.2	串行口控制寄存器	(271)
14.2.3	多机通讯	(271)
14.2.4	波特率	(272)
14.3	MCS-51中断系统	(273)
14.3.1	中断源	(273)
14.3.2	中断允许和优先权寄存器	(274)

14.3.3	中断响应过程	(275)
14.3.4	外部中断的触发方式	(276)
14.3.5	中断响应时间	(276)
14.3.6	中断应用举例	(277)
第十五章	MCS-51 应用技术	(282)
15.1	MCS-51 程序设计技巧	(282)
15.1.1	数制转换	(282)
15.1.2	查表	(283)
15.1.3	堆栈在参数传递中的应用	(284)
15.1.4	代码队列参数传递法	(285)
15.2	外围接口技术	(286)
15.2.1	接口软件实例	(286)
15.2.2	外围接口实例	(290)
15.3	布尔处理能力的应用实例	(294)
第十六章	数据结构简介	(301)
16.1	什么是数据结构	(301)
16.2	线性表结构	(301)
16.2.1	线性表	(301)
16.2.2	堆栈与队列	(302)
16.2.3	线性链表	(303)
16.3	树结构	(304)
16.3.1	什么是树	(304)
16.3.2	二叉树	(305)
16.3.3	树的应用	(305)
第十七章	微型计算机系统	(306)
17.1	微型计算机系统结构和功能	(306)
17.1.1	微型计算机系统结构	(306)
17.1.2	计算机系统的功能	(306)
17.2	操作系统概述	(308)
17.2.1	什么是操作系统	(308)
17.2.2	操作系统的基本术语	(308)
17.3	操作系统的功能	(309)
17.3.1	存储管理	(309)
17.3.2	CPU管理	(311)
17.3.3	设备管理	(313)
17.3.4	文件管理	(313)
17.4	CP/M操作系统概述	(317)
17.4.1	CP/M操作系统的基本概念	(317)
17.4.2	CP/M操作系统的启动	(318)
17.4.3	CP/M操作系统命令	(319)
17.4.4	ED(EDIT)文本编辑命令	(322)

17.4.5 DDT86 (或DDT) 动态调试程序.....	(325)
17.5 微型机开发系统.....	(329)
17.5.1 微机开发系统的功能.....	(329)
17.5.2 用 8 位微型机系统开发单板机.....	(330)
17.5.3 用16位微型机系统开发单片机、单板机.....	(331)
17.5.4 单片机仿真器组合软件的使用.....	(335)
主要参考书及资料	(338)
附录	(339)
附录一 实验指导书	(339)
附录二 Z80指令的机器码表.....	(347)
附录三 Z80指令表.....	(356)

绪 论

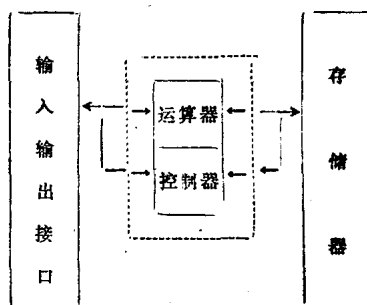
世界上第一台电子计算机诞生到现在,经历了40多年的时间。1946年,美国宾西法尼亚大学研制出世界上第一台电子计算机ENIAC,使用了18800个电子管,占地150平方米,重30吨,耗电150千瓦,价值40万美元。加法运算速度5000次/秒。在今天看来,这台计算机既笨又重,功能又不强。但是,它为电子计算机此后的发展奠定了基础。它确立了在计算机中以二进制数进行运算与控制的基本结构和理论,建立了程序设计的概念等。同时不可忽视的是电子技术的发展。40年来由电子管—晶体管—集成电路—大规模集成电路的迅速发展,为电子计算机的换代奠定了物质基础。

第一代电子计算机是电子管计算机,其发展年代约为1946年至1958年。当时主要用于计算。第二代电子计算机采用晶体管,时间约在1958年至1964年。外存已开始使用磁盘。软件方面有了很大的发展,创建了ALGOL, FORTRAN等高级语言,出现了电子计算机应用于工业控制的初级形式。开始建立操作系统。1965年以后,电子计算机进入第三代的阶段。这一阶段持续至1972年。此时由中小规模集成电路取代了晶体管。使电子计算机体积更小,耗电更省,可靠性更高。出现了微型计算机、小型和超小型计算机。操作系统进一步完善、普及和商品化。应用遍及科学计算、工业控制和企事业管理。1972年以后,由于大规模集成电路的出现,在单片硅上可以集成1000至20000个晶体管的集成电路,促使微型计算机得以迅速发展,自70年代初诞生了第一个微处理器CPU4004之后,1975、1976年先后有三大公司生产了各自的8位微处理器系列,即INTEL公司的8080和8085, MOTOROLA公司的M6800和ZILOG公司的Z80,从而使电子计算机时代进入了第四代。在1978年至1980年,上述几家公司又先后生产了8086, M68000和Z8000等16位微处理器。微型计算机占领了计算机领域中的主体地位。8位微处理器与16位微处理器各自发挥着自身的特长,形成了丰富多采的品种。进入了硬件与软件相辅相成、相互结合、相互补充的状态。软件已大量呈现产品化、通用化、系列化和标准化。进入80年代之后,超大规模集成电路的发展,把电子计算机时代引入第五代,80386, 68020等32位微处理器的出现、形形色色的单片机MCS-51, MCS-96, Z8, 6801, 6805等,使电子计算机一方面向功能极强、运算速度极快、存储容量很大的巨型机方面发展,另一方面向更加微型化方面发展,一些单片机的性能已不亚于传统的小型机。当前,电子计算机的应用已遍及生产、生活的各个领域。

在今天,计算机课程已成为各个专业的必修课程。然而,这个学科的性质却不同于其他的学科。因为从外观上看,计算机也是一台机器,如果人们像分析研究其他机器(例如机床、汽车等等)一样去研究计算机,那就不可能了解和掌握它。这是由于,其他的机器(如机床、汽车)是人创造的,人可以把它的性能、功能分析得一清二楚。然而,计算机虽然也是人创造的,但是人却不能把它的性能、功能讲清楚。这正是由于计算机是一个硬件与软件结合的设备,在相同的硬件基础上,赋以不同的软件,就会产生不同的性能和功能。而软件的研究和发展,可以说是无限的。因此有人说,计算机是智能机器,计算机本身就是一门科

学，它不同于其他任何机器就在于它能够部分地再现人的大脑的某些功能。因此，学习计算机，具体地说，学习微机原理必须掌握这一特点。

一台计算机的组成，包括硬件和软件两大部分，其基本硬件组成如右图所示。运算器（ALU）作为计算机的核心，负责进行算术与逻辑运算，存储器用以存放程序和数据代码，输入输出接口作为与外部设备联接的桥梁，协调和外部设备之间的速度，电平状态之间的关系，控制器负责统一调度安排各个部分之间的工作。



微型计算机（Microcomputer）的特点，就是将运算器与控制器集成在一块大规模集成电路芯片上，被称为微处理器MPU（Microprocessor），也叫中央处理单元CPU（Central Processing Unit）。同样配以存储器和输入输出接口就构成了微型计算机。在这一基础上，配以相应的外围设备，如键盘、显示器、打印机和系统软件等就构成了微型计算机系统。

软件包含系统软件和应用软件两类，所谓系统软件就是管理计算机的软件，应用软件就是用于服务用户需要的各种软件。

在计算机的发展过程中，硬件和软件相互补充、相互促进、交叉发展，某些软件的功能可以部分地取代某些硬件环节，而某些硬件系统的集成芯片出现，又大大简化了软件的编制。因此，学习微机原理，不可割断硬件与软件之间的联系，它们是紧密联系在一起。要掌握它们之间的相互依存、相互协调，又要理解它们各自独立的特点。

因此，微型计算机的应用研究主要反应在三个方面：一是利用通用硬件系统和软件系统构成的定型微机系统，根据用户需要编制应用软件，或与此同时进行部分硬件扩充并编制相应的应用软件；另一方面是按照需要，选择器件，根据硬软件系统构成的基本原则，组装专用的微型计算机硬件系统，并编制相应的系统软件和应用软件（在这里，往往很难划分系统软件与应用软件的界限）。第三方面是由于大量的用户组装专用的硬、软件系统，因而对调试手段提出了较高的和多种多样的要求，尤其是单片机的出现，加速和加剧了这方面的要求。因而在通用微机系统中，出现了大量用于开发其他芯片或其他微机系统的软件，随之，又出现了与之相辅的硬件系统——开发装置。因而在应用研究方面形成了一个分支，即对开发装置及相应的开发软件的研究。为了能较全面地掌握微机应用技术，因而要一方面从理论上探讨，另一方面要通过上机实践才能收到较好的效果，更进一步体会硬软件之间的关系。

第一章 计算机中的数和码

本章主要介绍数在计算机中如何表示的问题。包括两方面的内容，即数制和码制。

数制就是计数的方法。人们习惯上以十进制来记录和处理数据。但是在计算机中广泛使用的电子器件只具有识别及处理“0”或“1”两种物理状态的能力，所以在计算机中数的存储、传送及运算均采用二进制。由于二进制数由0和1组成，给书写和记忆带来了许多不便。因此在计算机中对数的表示形式除采用二进制外，还常采用八进制或十六进制。

为了使各种字符、数字及汉字符号能在微型计算机中传送和显示，又有许多种以二进制和十六进制数表示的标准代码。

用一串数字或一串符号表示某个数时，这一串数字或符号就是这个数的编码。为了表达一个数的大小和正负而采用的不同方法叫做码制。

1.1 进位计数制

1.1.1 什么是进位计数制

按照进位的原则进行计数的方法叫进位计数制。例如，十进制就是进位计数制的一种。它是根据“逢十进一”的原则进行计数的。

十进制用0, 1, 2, …, 9十个数码表示数的大小。数码所处的位置不同，代表数的大小也不同。如4124，左起第一个4表示4千，右面第一个4表示4个。这就是说，从右向左依次为个位，十位，百位，千位。对每一个数位赋以的位值，在数学上叫做“权”。某一位数字代表的数值的大小是该位数字与该位权的乘积。相邻两位中高位权与低位权之比如果是常数，则此常数称为这种进位计数制的基数。十进制中基数为10。

“权”和“基数”是进位计数制中的两个要素。

在微型计算机中常用的进位计数制是十进制，二进制，八进制和十六进制。为了区别所使用的数制，在几种数制混合使用的场合，常用下标或数制代号标注。例如4124₁₀或4124D表示十进制数4124。本书采用代号标注。二进制用“B”表示；八进制用“Q”表示；十六进制用“H”表示。考虑到使用十进制的习惯，在其他数制已有标注的情况下，十进制数也可以不加标注或用“D”标注。

Decimal

1.1.2 进位计数制的表示方法

十进制数的各位位权由基数10的N次幂来确定。十进制数的位权分别是…10⁻³, 10⁻², 10⁻¹, 10⁰, 10¹, 10²…等。10^N幂代表的十进制数值为

$$10^{-3} = \frac{1}{1000} = 0.001; \quad 10^{-2} = \frac{1}{100} = 0.01; \quad 10^{-1} = \frac{1}{10} = 0.1; \quad 10^0 = 1; \quad 10^1 = 10;$$

$$10^2=100$$

例如：4094.94，按权计数可表示为

$$4094.94 = (4 \times 10^3) + (0 \times 10^2) + (9 \times 10^1) + (4 \times 10^0) + (9 \times 10^{-1}) + (4 \times 10^{-2})$$

一般来讲，任意一个十进制数 N 可表示为

$$N = \pm [a_{n-1} \times 10^{n-1} + a_{n-2} \times 10^{n-2} + \dots + a_1 \times 10^1 + a_0 \times 10^0 + a_{-1} \times 10^{-1} + \dots + a_{-m} \times 10^{-m}] = \pm \sum_{i=-m}^{n-1} [a_i \times 10^i]$$

式中， m, n 为正整数， a_i 可以是0—9十个数字中的任一个，10是十进制的基数，它是该计数制中数字符号状态的个数。

对于任意进位计数制，基数可用正整数 R 表示，则有

$$N = \pm \sum_{i=-m}^{n-1} a_i R^i$$

其中， m, n 为正整数； a_i 是0, 1, ..., $(R-1)$ 中的任意一个数； R 是基数。

若 $R=2$ ，即基数为2， a_i 只有0和1两种数字状态。这就是二进制，即“逢二进一”。各位的权是：

$$\dots 2^{-4} = \frac{1}{16}; 2^{-3} = \frac{1}{8}; 2^{-2} = \frac{1}{4}; 2^{-1} = \frac{1}{2}; 2^0 = 1; 2^1 = 2; 2^2 = 4;$$

$$2^3 = 8 \dots$$

若 $R=8$ ，基数为8， a_i 有0, 1, 2, ..., 7共八种数字状态，这就是八进制，即“逢八进一”。各位的权是：

$$\dots 8^{-2} = \frac{1}{64}; 8^{-1} = \frac{1}{8}; 8^0 = 1; 8^1 = 8; 8^2 = 64; 8^3 = 512 \dots$$

若 $R=16$ ，基数为16， a_i 有0, 1, 2, ..., 9, A, B, C, D, E, F共十六种数字状态，这就是十六进制，即“逢十六进一”。各位的权是：

$$\dots 16^{-2} = \frac{1}{256}; 16^{-1} = \frac{1}{16}; 16^0 = 1; 16^1 = 16; 16^2 = 256; 16^3 = 4096 \dots$$

综上所述，可以得出这样的结论，即在进位计数制中，任一种进位计数制都对应着一个基数 R 。表明该进位计数制逢 R 进一；且该进位计数制有 R 个数字符号状态。

表1-1和表1-2分别列出了十进制，二进制和十六进制整数和小数的对照表。

表 1-1 三种数制整数对照表

十进制	十六进制	二进制	十进制	十六进制	二进制
0	0	0	17	11	10001
1	1	1	18	12	10010
2	2	10	19	13	10011
3	3	11	20	14	10100
4	4	100	21	15	10101
5	5	101	22	16	10110
6	6	110	23	17	10111
7	7	111	24	18	11000

续 表

十进制	十六进制	二进制	十进制	十六进制	二进制
8	8	1000	25	19	11001
9	9	1001	26	1A	11010
10	A	1010	27	1B	11011
11	B	1011	28	1C	11100
12	C	1100	29	1D	11101
13	D	1101	30	1E	11110
14	E	1110	31	1F	11111
15	F	1111	32	20	100000
16	10	10000	33	21	100001

表 1-2 三种数制小数对照表

十进制	十六进制	二进制	十进制	十六进制	二进制
0.00390625	0.01	0.00000001	0.07421875	0.13	0.00010011
0.0078125	0.02	0.0000001	0.078125	0.14	0.000101
0.01171875	0.03	0.00000011	0.08203125	0.15	0.00010101
0.015625	0.04	0.000001	0.0859375	0.16	0.0001011
0.01953125	0.05	0.00000101	0.08984375	0.17	0.00010111
0.0234375	0.06	0.0000011	0.09375	0.18	0.00011
0.02734375	0.07	0.00000111	0.09765625	0.19	0.00011001
0.03125	0.08	0.00001	0.1015625	0.1A	0.0001101
0.03515625	0.09	0.00001001	0.10546875	0.1B	0.00011011
0.0390625	0.0A	0.0000101	0.109375	0.1C	0.000111
0.04296875	0.0B	0.00001011	0.11328125	0.1D	0.00011101
0.046875	0.0C	0.000011	0.117185	0.1E	0.0001111
0.05078125	0.0D	0.00001101	0.12109375	0.1F	0.00011111
0.0546875	0.0E	0.0000111	0.125	0.2	0.001
0.05859375	0.0F	0.00001111	0.1875	0.3	0.0011
0.0625	0.1	0.0001	0.25	0.4	0.01
0.06640625	0.11	0.00010001	0.3125	0.5	0.0101
0.0703125	0.12	0.0001001	0.375	0.6	0.011

1.2 不同进位制数之间的转换

不同进位制数间的转换是根据“如两个有理数相等，则两数的整数部分和分数部分一定分别相等”的原则进行的。

1.2.1 十进制数和二进制数间的转换

把二进制数转换为相应的十进制数，只需要把二进制数对应“1”的位权相加即可。

例如，把二进制数10111.10111B转换成相应的十进制数。

二进制数：1 0 1 1 1 . 1 0 1 1 1 B

位 权： 2^4 2^3 2^2 2^1 2^0 2^{-1} 2^{-2} 2^{-3} 2^{-4} 2^{-5}
 16 8 4 2 1 $\frac{1}{2}$ $\frac{1}{4}$ $\frac{1}{8}$ $\frac{1}{16}$ $\frac{1}{32}$

$$\text{十进制数: } 1 \times 2^4 + 1 \times 2^2 + 1 \times 2^1 + 1 \times 2^0 + 1 \times 2^{-1} + 1 \times 2^{-2} + 1 \times 2^{-3} + 1 \times 2^{-4} + 1 \times 2^{-5} = 23.71875\text{D}$$

而把十进制数转换为相应的二进制数的方法要繁琐一些。一般是把整数和小数部分分开进行，然后再组合起来。十进制整数转换成二进制数，采用“除2取余”的方法。即把十进制数反复除以2，若每次相除之后余数为1，则对应的二进制数相应位为1；若余数为0，则对应位为0，从低位到高位逐次进行，直到商是0为止。先得到的余数是二进制数的低位，最后得到的余数是二进制数的高位。

例如，把十进制数196D转换成二进制数。

196 ÷ 2 = 98	余数 0	最低位
98 ÷ 2 = 49	0	↑
49 ÷ 2 = 24	1	
24 ÷ 2 = 12	0	
12 ÷ 2 = 6	0	
6 ÷ 2 = 3	0	
3 ÷ 2 = 1	1	
1 ÷ 2 = 0	1	最高位

所以 196D=11000100B

把一个十进制纯小数转换为二进制数采用“乘2取整”的方法。也就是，把十进制纯小数反复乘以2，若每次乘2后所得积的整数部分为1，则对应的二进制数相应位为1；若整数部分为0，则相应位为0。从高位到低位依次进行，直到满足精度要求或乘积的小数部分为0为止。最先得到的整数为二进制小数的高位，最后得到的整数为二进制小数的低位。

例如，把十进制纯小数0.6875D转换成二进制数。

0.6875 × 2 = 1.375	整数 1	最高位
0.375 × 2 = 0.75	0	↓
0.75 × 2 = 1.5	1	
0.5 × 2 = 1.0	1	最低位

所以 0.6875D=0.1011B

再举一个例子，把十进制纯小数0.196D转换成二进制数。

0.196 × 2 = 0.392	整数 0
0.392 × 2 = 0.784	0
0.784 × 2 = 1.568	1
0.568 × 2 = 1.136	1
0.136 × 2 = 0.272	0
...	

所以 0.196D=0.00110...B

可见，一个有限位的十进制纯小数不一定能转换成完全等值的纯二进制小数。此时只需要转换到精度要求的位数即可。

如果十进制数包括整数和小数两部分，则必须把整数和小数部分分别转换成二进制数。

例如，把十进制数144.375D转换成二进制数。则根据：