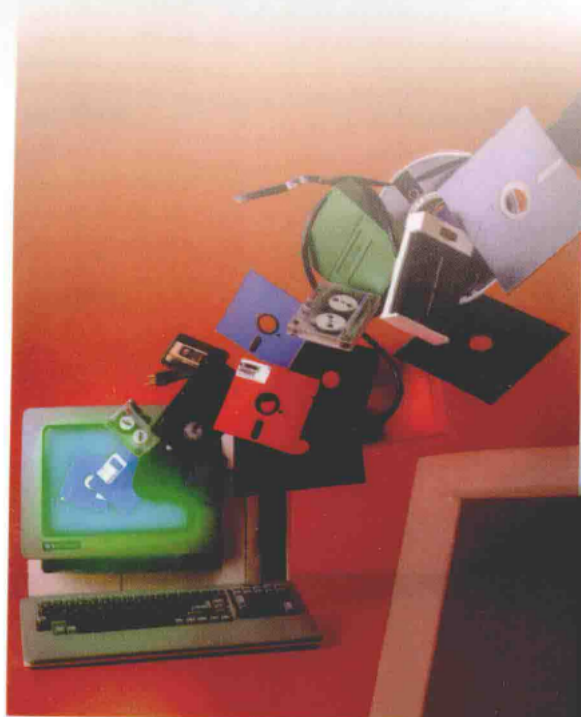


非计算机专业基础教材

微机原理与接口技术

主编 隋秀兰 主审 孙淑琪



非计算机专业基础教材

微机原理与接口技术

主编 隋秀兰

主审 孙淑琪

天津科学技术出版社

内 容 提 要

本书以广泛应用的 8086 16 位机为主,兼顾更高档机型,比较系统地阐述了微型计算机的基本工作原理、体系结构、指令系统、汇编语言程序设计、存储器、输入输出接口技术、中断技术、可编程接口芯片的编程及应用、模拟输入输出接口。

全书内容丰富、理论性和实用性强,配有相应的硬件和程序设计实例,便于学习和掌握。本书可作为高校非计算机专业计算机基础教学的本科生和研究生教材,也可作为高等教育自学教材及科技人员学习和应用开发的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

微机原理与接口技术/隋秀兰主编.

—天津:天津科学技术出版社,1999.9

非计算机专业基础教材

ISBN 7-5308-2691-3

I. 微… II. ①隋… III. ①微型

计算机-基本知识②微型计算机-接口-技术 IV. TP36

中国版本图书馆 CIP 数据核字(1999)第 45737 号

天津科学技术出版社出版

出版人:王树泽

天津市张自忠路 189 号 邮编 300020 电话(022)27306314

天津新华印刷二厂印刷

新华书店天津发行所发行

*

开本 787×1092 1/16 印张 20.25 字数 487 000

1999 年 9 月第 1 版

1999 年 9 月第 1 次印刷

印数:1-4 050

定价:29.50 元

前 言

本教材是在我校教育改革大潮的推动下,遵照国家教委高等学校工科计算机基础课程教学指导委员会关于非计算机专业计算机基础教育的改革精神,以及相关的非计算机专业计算机课程教学大纲要求编写的。

本教材原为我校内部讲义,经过校内近两学年非计算机专业的本科生、研究生、函授生的试用后,编者又做了适当的修改和完善,将其公开出版。

本教材结构形式更趋于层次化和模块化,因此,适合于不同授课学时的选择。内容组织上注意了公共基础课的特点,即包含基本知识、基础理论、基本技能等三个方面的内容。与此同时,始终围绕“应用”的需要,侧重基本技能的培养。例如,在接口技术中,对可编程接口芯片的阐述,列举了许多切实可行的应用实例,在阐述汇编语言程序设计中列举了大量的实用程序范例。内容选材加强了发展性,即以 16 位机 8086 为典型,使学生掌握微处理器的内部及外部结构特点和工作原理,做到举一反三,能着眼于更高档机型。例如,在阐述 16 位微处理器基本结构及特点的基础上,介绍 Intel Pentium 微处理器及最新 Pentium 处理器的主要性能、内部结构及工作原理等。

全书共分九章,主干章节是二至八章,其重点放在汇编语言程序设计和接口技术(主要包含中断、可编程接口芯片的编程及应用)。每章附有与内容紧密结合的习题。课程进行中可设置 5~7 个软硬件实验和一次课程设计。

本书由孙淑琪教授主审,并得到了我校领导、校教材委员会、教材科的关心和大力支持。对此,我们全体编写人员表示衷心感谢。

本书由隋秀兰主编,刘淑平、朱有产参加编写。其中第二、五章由刘淑平编著;第三、四章由朱有产编著;第一、六、七、八、九章由隋秀兰编著;附录由朱有产整理。由于编者水平有限,书中难免会有错误和疏漏之处,恳请读者批评指正。

编 者 于华北电力大学

1999 年 3 月

目 录

第一章 微型计算机基础知识概述

1.1 计算机的发展	(1)
1.1.1 计算机的发展	(1)
1.1.2 微型计算机的发展与特点	(1)
1.2 微型计算机系统组成及结构特点	(2)
1.2.1 计算机的基本组成原理	(2)
1.2.2 微型计算机系统组成及结构特点	(4)
1.3 微型计算机中数的表示及加减运算的溢出	(6)
1.3.1 数制及各种进制数之间的转换	(6)
1.3.2 数的表示及二进制编码	(9)
1.3.3 加减法运算的溢出	(14)
1.3.4 二进制编码	(15)
习题一	(19)

第二章 微 处 理 器

2.1 微处理器一般结构及工作原理	(21)
2.1.1 微处理器内部结构及主要功能	(21)
2.1.2 微处理器的简单工作过程	(22)
2.1.3 不同时期的 CPU 的主要性能指标	(23)
2.2 8086 微处理器	(23)
2.2.1 8086 CPU 内部结构	(24)
2.2.2 8086 系统的存储器组成	(30)
2.2.3 8086 的总线周期概念	(34)
2.2.4 8086 CPU 的外部特性(引脚功能)	(35)
2.3 8086 系统配置	(40)
2.3.1 最小方式系统配置	(40)
2.3.2 最大方式下系统的配置	(42)
2.4 8086 微处理器的基本时序	(44)
2.4.1 指令周期、总线周期、时钟周期	(44)
2.4.2 最小方式下的几种基本时序	(44)
2.5 Intel Pentium 微处理器	(47)

2.5.1 Pentium 的主要性能	(47)
2.5.2 Pentium 的内部结构及工作原理	(48)
2.5.3 最新的 Pentium 处理器	(49)
习题二	(50)

第三章 8086 的寻址方式和指令系统

3.1 概述	(53)
3.2 8086 的寻址方式	(54)
3.2.1 有效地址 EA 和段超越	(54)
3.2.2 与数据有关的寻址方式	(54)
3.2.3 与转移地址有关的寻址方式	(60)
3.3 8086 指令系统	(63)
3.3.1 数据传送指令	(63)
3.3.2 算术运算指令	(70)
3.3.3 逻辑运算和移位指令	(80)
3.3.4 串操作指令	(84)
3.3.5 输入输出指令	(90)
3.3.6 控制转移指令	(91)
3.3.7 处理器控制指令	(102)
习题三	(103)

第四章 8086 汇编语言程序设计

4.1 概述	(106)
4.2 汇编语言源程序格式	(107)
4.2.1 语句格式	(107)
4.3 指令语句	(112)
4.3.1 标号名为转移地址	(113)
4.3.2 段名、符号名、变量名为操作数	(113)
4.3.3 几种寻址方式的操作数	(113)
4.3.4 存储器操作数数据类型	(114)
4.3.5 段超越前缀	(115)
4.4 指示性语句	(115)
4.4.1 符号定义语句(Symbol definition)	(115)
4.4.2 数据定义伪指令	(116)
4.4.3 段定义伪指令	(118)
4.4.4 过程定义伪指令	(120)
4.4.5 其它伪指令	(121)

4.5 宏指令语句	(122)
4.5.1 宏定义、宏调用和宏展开	(122)
4.5.2 重复汇编	(124)
4.5.3 条件汇编	(125)
4.6 系统功能调用	(126)
4.6.1 键盘输入单字符	(126)
4.6.2 键盘输入字符串	(127)
4.6.3 输出单个字符	(127)
4.6.4 输出字符串	(127)
4.6.5 无回显键盘输入单字符	(127)
4.6.6 返回操作系统	(128)
4.7 基本程序设计	(128)
4.7.1 顺序结构程序设计	(128)
4.7.2 分支程序设计	(131)
4.7.3 循环程序设计	(137)
4.7.4 子程序设计	(142)
习题四	(151)

第五章 存 储 器

5.1 概述	(156)
5.1.1 存储器的分类及特点	(156)
5.1.2 内存新技术透视	(160)
5.2 半导体存储器组成原理	(162)
5.2.1 半导体存储器芯片的内部结构	(162)
5.2.2 随机存取存储器	(164)
5.2.3 只读存储器	(167)
5.2.4 存储器的工作时序	(170)
5.3 主存储器的设计	(171)
5.3.1 主存储器设计应考虑的问题	(171)
5.3.2 对存储器的寻址操作	(173)
5.3.3 半导体存储器芯片与 CPU 的连接	(177)
5.3.4 存储器与 CPU 连接举例	(180)
5.4 高速缓冲存储器 Cache	(183)
5.4.1 Cache 的基本原理	(183)
5.4.2 地址的映像和变换	(184)
5.4.3 内部 Cache 和外部 Cache	(186)
5.5 虚拟存储器	(186)
5.5.1 虚拟存储器的引入	(186)

5.5.2 段式管理	(186)
5.5.3 页式管理	(187)
5.5.4 段页式管理	(187)
习题五	(189)

第六章 输入/输出接口技术

6.1 输入/输出接口基本概念	(193)
6.1.1 主机与外设间的连接	(193)
6.1.2 I/O 接口的功能以及接口电路的基本结构	(194)
6.1.3 输入/输出的寻址及译码	(195)
6.2 主机与外设间数据传送控制方式	(199)
6.2.1 程序传送控制方式	(199)
6.2.2 程序中断传送方式	(202)
6.2.3 直接存储器存取(DMA)传送方式	(203)
习题六	(204)

第七章 中断技术

7.1 中断的基本概念	(205)
7.1.1 中断系统及功能	(205)
7.1.2 中断源和中断处理过程	(205)
7.2 8086 CPU 的中断源和中断处理过程	(208)
7.2.1 外部中断	(208)
7.2.2 内部中断	(209)
7.3 8259A 中断控制器及应用	(211)
7.3.1 8259A 的功能概述	(212)
7.3.2 8259A 的工作方式	(217)
7.3.3 8259A 的编程	(220)
7.3.4 8259A 应用举例	(227)
习题七	(229)

第八章 可编程接口芯片及应用

8.1 可编程并行接口芯片 Intel 8255A 及应用	(230)
8.1.1 8255A 的内部结构及外部特性	(230)
8.1.2 8255A 的工作方式、控制字及状态字	(232)
8.1.3 8255A 的编程及应用举例	(238)
8.2 串行通讯接口技术与可编程接口芯片 Intel 8251A	(244)

8.2.1	串行通讯的基本概念	(244)
8.2.2	串行通讯总线标准及其接口	(250)
8.2.3	典型可编程串行通讯接口芯片 Intel 8251A 介绍	(251)
8.2.4	8251A 的编程及应用举例	(255)
8.3	可编程定时器/计数器 Intel 8253 和 Intel 8254	(259)
8.3.1	Intel 8253 内部结构及外部特性	(259)
8.3.2	8253 的编程及应用	(261)
8.4	可编程键盘/显示器接口芯片 Intel 8279	(268)
8.4.1	Intel 8279 的内部逻辑及外部特性	(269)
8.4.2	8279 的初始化编程及应用举例	(271)
习题八		(278)

第九章 模拟输入输出接口

9.1	A/D 转换及接口	(279)
9.1.1	A/D 转换	(279)
9.1.2	典型的 A/D 转换器介绍	(280)
9.1.3	A/D 转换器接口及应用	(282)
9.2	D/A 转换及接口	(284)
9.2.1	D/A 转换	(284)
9.2.2	典型 D/A 芯片 DAC0832	(287)
9.2.3	D/A 转换器接口及应用	(288)
9.3	A/D、D/A 转换器综合应用举例	(291)
习题九		(293)

附 录

附录一	8086/8088 指令系统	(294)
附录二	DOS 系统功能调用(INT 21H)	(305)
附录三	ASM_86 中的保留字	(311)

第一章 微型计算机基础知识概述

微型计算机具有体积小、功能强、价格低廉和使用方便等特点。近年来微型机的发展十分迅速,显示出强大的生命力,为计算机的推广和应用开辟了广阔天地。

本章首先回顾计算机的发展历史,然后介绍微型计算机的系统组成及结构特点,微型计算机中数的表示及加、减运算溢出等内容。其目的是使读者对微型计算机的组成原理、工作过程等方面有一个整体概念。

1.1 计算机的发展

1.1.1 计算机的发展

计算机技术的发展是和电子技术,特别是半导体微电子技术和通信技术密切相关。按照构成计算机所采用的电子器件及其电路的变革,把计算机划分为若干“代”来标志它的发展过程,如表 1-1 所示。

表 1-1 计算机的发展阶段与特点

代	起止期	电子器件	主要特点	典型产品
第一代	1946 ~ 1958 年	电子管	磁鼓作内存,磁带作外存; 主要使用机器语言,后发展有汇编语言	1946 年第一台以 ENIAC 为标志的计算机问世; IBM650 为典型产品
第二代	1959 ~ 1964 年	晶体管	磁芯作内存,磁盘作外存; 使用机器语言、汇编语言及高级语言	IBM7090
第三代	1965 ~ 1971 年	中小规模 集成电路	半导体作内存;使用语言及软件有: 机器语言、汇编语言、高级语言; 语言标准化和结构化程序设计; 操作系统;网络软件及各种应用程序等等	IBM360/75
第四代	1972 年后	大规模 (LSI)、 超大规模 (VLSI)	出现了微处理器; 软件更加丰富	INTEL 8008 8080 8086 80 × 86 Pentium MMX 等
第五代	2000 年后	大规模 (LSI)、 超大规模 (VLSI)	毫微处理器(一块芯片上可达 1 亿个元件) (Nanoprocessor) 微处理器(电路达到分子级水平) (Picoprocessor)	

1.1.2 微型计算机的发展与特点

微型计算机的发展是和大规模及超大规模集成电路的发展分不开的。自第四代计算机以

后,它已在各种领域内得到广泛的应用,并且对计算机行业产生了变革性的影响,在计算机领域中越来越占有重要地位。微型计算机之所以获得如此惊人的发展,一个重要原因是它具有体积小、功能强、性能/价格比在各种机型中占有领先地位的特点,深受用户的欢迎。例如,自从 Intel 公司生产出第一个微处理器 Intel 4004 以来,微型计算机大约经历了五个阶段的发展,如表 1-2 所示。

表 1-2 微型机各阶段主要特点

阶 段 特 点	(一) 1971—1973 年	(二) 1973—1975 年	(三) 1975—1977 年	(四) 1978—1980 年	(五) 1981—...
典型微处理器	Intel4004 8008	Intel 8080 (DEC LSI-11) MC6800	Intel 8080 (LSI-11/2) MC6809、Z-80	Intel8088/8086 MC6800 Z-8000	Intel80386 80486
字长(位)	4~8	8(16)	8(16)	16/32	32
半导体工艺	P-MOS	N-MOS	E/DMOS	N/HMOS	HMOS~
集成度(晶体管/片)	2 千	5 千	1 万	2~6 万	10 万多
芯片引出线	16~24	40	40	40~64	64
时钟频率(MHz)	1	2	2.5~5	4~10	10 左右
平均指令周期(μ s)	20	2	1	0.5~0.1	0.1 左右
数据总线(位)	4	8(16)	8(16)	16	16/32
地址总线(位)	4~8	8(16)	8(16)	20~24	24~32

第一个阶段是微型机萌芽阶段。第二个阶段是设计和生产技术已进入成熟的阶段。微型机工业的真正大跃进应归功于 Intel 公司 1974 年研制成功的 8080 微处理器。该处理器的速度、计算能力和外设控制能力很引人注目,首先使微处理器可以应用于各种各样的产品中,从此微型机便进入了社会生活的各个领域。第三个阶段是 8 位机的改进阶段。第四个阶段是 16 位机的发展阶段,它是通过两个途径发展起来的。第一种是小型机微型化,第二个途径是从半导体厂家的 8 位机过渡而来,如 INTEL 公司的 8086、Motorola 公司的 6800 和 Zilog 公司的 Z8000,它们侵入了小型机市场。第五阶段是由 16 位向 32 位(或更高位)机发展的阶段。

微型计算机的发展很快,并且发展速度还在加快。发展的总方向是微型计算机具有更高的屏幕分辨率,更快的处理速度,更大的存贮能力和网络通信能力。

1.2 微型计算机系统组成及结构特点

1.2.1 计算机的基本组成原理

计算机的组成原理非常类似于人的某种工作过程,例如某学生学习某门课程的过程。这个过程从开始学习到结业考试,归纳起来在人的控制之下作了以下几件事:

- ①接收有关知识:认真阅读教材,专心听老师讲解,并认真记笔记和完成作业。
- ②用大脑和笔记本记住各种论据、概念和解题方法。
- ③考试时按试卷的要求,通过周密的思考后确定解题次序及方法。
- ④用笔或其它计算工具计算出各试题答案。

⑤考试结束将试卷交给老师。

如果要用计算机完成上述五步过程,并且要求它能脱离人的直接干预,自动地完成这个过程各个步骤,显然,它首先要有能代替人的控制作用的控制器。控制器根据事先给定的命令发出各种控制信号,使整个过程能一步步地进行;还必须有相当于笔或其它计算工具的部件,即运算器,用以完成算术和逻辑运算。其次,要有能起到相当于大脑和笔记本的记忆部件,即存储器;和能完成接收数据的输入设备和输出最后或中间结果的输出设备。这样就构成了一个基本的计算机,如图 1-1 所示。

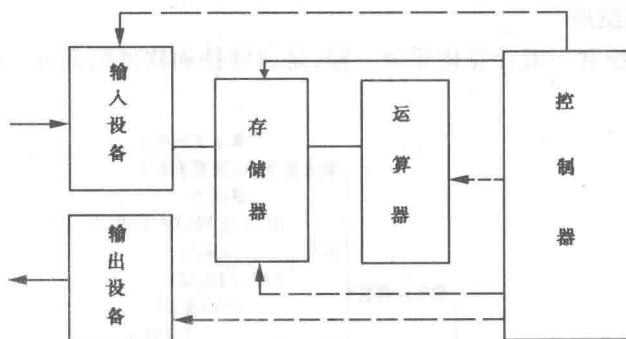


图 1-1 计算机的基本组成框图

在图 1-1 中,有两种带箭头的线,一种是用实线箭头表示为数据信息的流动,主要包括各种原始数据、中间结果、最后结果及程序等。这些要有输入设备输入至存储器中,在运算、处理过程中,数据从存储器取出送入运算器进行运算,其结果存入存储器或经输出设备输出。另一种是虚线箭头表示的信息,这是由控制器根据存储在存储器中的程序发给各个部件的控制信息。人给定计算机的各种命令(即程序)也以数据形式从存储器送入控制器,经指令译码电路译码后,控制器就发出相应的控制信号,用以控制输入设备的启停、运算器的各种运算、存储器的取出或存入、输出设备输出结果等。

通常,存储器又分为,内存储器(简称内存)和外存储器(简称外存)。内存直接与控制器和运算器相连接,所以可由运算器、控制器直接访问,用来存放当前运算所需的数据,或当前正在运行的程序。在微型计算机中,内存一般采用半导体存储器。外存位于计算机外部,存储容量大,但存取速度慢,它用来存放当前暂不参加操作的大量信息。外存设备有软磁盘、硬磁盘及光盘等。

输入设备是用来把程序和原始数据转成计算机能直接识别和接收的代码,送入计算机。常用的输入设备有键盘、鼠标器、扫描仪、光笔等。

输出设备的作用是把计算机处理的中间结果或最后结果,以人们可识别的字符、汉字、图形及图像等形式记录下来,或显示出来,供用户分析、判断和永久保存。如显示器、打印机等。

如图 1-1 所示的计算机,其基本原理是遵循美国数学家冯·诺依曼(John Von Neumann)提出的“存储程序”方案构成的。所以,将这种结构的计算机也称为冯·诺依曼计算机。它的工作原理是把复杂的计算、操作过程表示成由多条基本操作指令构成的程序,预先存入存储器中,需要时发出运行命令,计算机就按程序规定的操作顺序去执行一条条的指令,以达到自动处理之功能。

通常将图 1-1 中构成计算机实体部分的五大功能部件称为“硬件”。为了充分发挥“硬件”功能,提高机器工作效率,便于人们使用,必须配备各种各样的系统程序和应用程序。将所有的程序称为“软件”。硬件和软件是不可分割的统一体,它们相辅相成,相互促进。硬件和软件共同构成一个完整的计算机系统。

在计算机系统中,通常把运算器和控制器合称为中央处理器,简称 CPU(Central Processing Unit)。CPU 和内存合称为主机;输入输出设备合称为外设。

1.2.2 微型计算机系统组成及结构特点

1.2.2.1 系统组成

微型计算机系统和一般计算机系统一样,是由硬件和软件两部分构成,如图 1-2 所示。

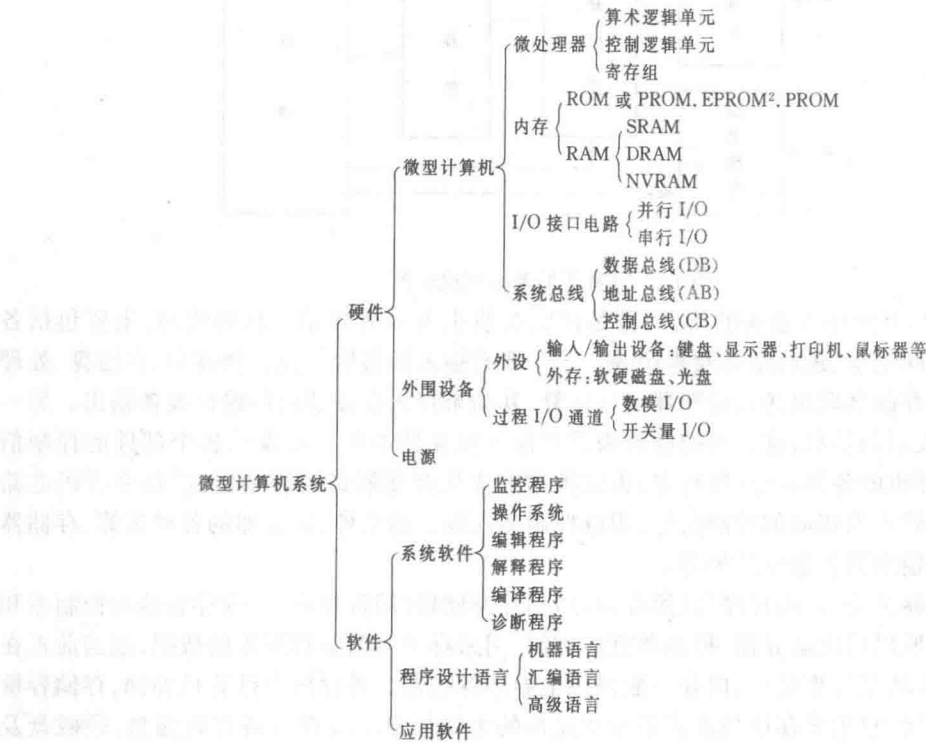


图 1-2 微型计算机系统组成关系图

1. 硬件

微型计算机硬件是机器的实体。它以微处理器(Microprocessor)为核心,配上大规模集成电路存储器(RAM 和 ROM)和输入/输出接口电路等功能部件而组成。其硬件结构如图 1-3 所示。

2. 软件

由图 1-2 可知,微型计算机的软件,一般包括各种程序设计语言、系统程序、应用程序和数据库等。由于应用场合及使用形态不同,微型计算机配置的软件规模也就不同。

1.2.2.2 硬件结构特点

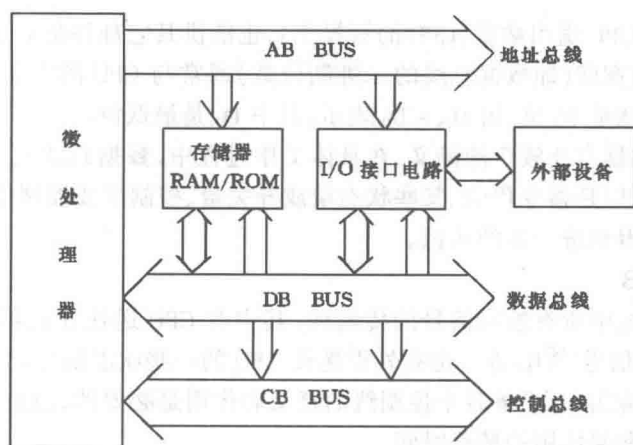


图 1-3 微型计算机硬件基本结构框图

由图 1-3 所示的微型计算机硬件基本结构图中我们看到：微型计算机尽管在基本功能部件的配置上与其它计算机大致相同，但由于微型计算机主要采用了各种具有特定功能的大规模集成电路器件和组件，这不仅使整个系统在体积上要比其它计算机小得多，而且在结构形式上也显示出了自己固有的特点。这些特点主要集中地反映在它的核心部件微处理器本身内部结构，及微处理器与系统中的功能部件存储器、输入/输出接口电路等之间的外部结构特点上。这里只论述微型计算机的外部结构特点，有关内部结构特点见第二章 2.1 节。

微型计算机外部结构特点主要体现总线(BUS)方式的采用，见图 1-3。这种结构方式不仅使微型计算机在系统结构上具有简单、规整和易于扩展之特点，而且使整个系统中各功能部件之间的相互关系变为面向总线的单一关系。这样只要将符合总线规范的功能部件接到总线上，系统的功能就得到扩展。也就是说，系统的主要用途也可方便地随总线上接入不同功能部件而扩充。目前，由于几乎所有微型计算机都是按某种类型的总线结构进行设计和制造的，所以从应用角度来看，了解和掌握有关总线的结构特点是很必要的。

什么是总线呢？总线是一组公共的信息传输通道。连接在总线上的部件都可通过总线与其它部件进行信息交换。尽管各类微机系统在总线的类型上有不同的标准，但就以微处理器为核心的芯片与芯片间的连接总线而言，它们大致都是由三组不同功能的总线而形成，即地址总线 AB、数据总线 DB 和控制总线 CB。

1. 地址总线 AB

地址总线是一组专门用来传送地址信息的公共通道。它的传送方向是由 CPU 送出的单一方向；它的二进制位数将决定 CPU 可直接寻址的内存空间，或 I/O 地址的范围。例如地址总线为 16 位(用 $A_{15} \sim A_0$ 表示，其中 A_0 为最低位)的微型机，它的最大可直接寻址内存空间为： $2^{16} = 64\text{KB}$ ；地址总线为 20 位的微型机(如 Intel8086)，它的最大可直接寻址内存容量范围则为 $2^{20} = 1\text{MB}$ 。一般，CPU 对输入/输出接口电路的寻址是利用地址总线的低位地址，如用低 8 位($A_7 \sim A_0$)实现对外设寻址，那么，最多分配给 I/O 接口电路的地址多为 $2^8 = 256$ 。显然，地址总线是 CPU 用来确定与哪个内存单元或哪个外设进行信息交换的必须条件。

2. 数据总线 DB

数据总线是用来传送数据的一组公共通道。一般情况下，数据总线都具有双向传送功能，

即这组总线既可供 CPU 送出数据(CPU 的写操作),也能供其它部件将数据送给 CPU(CPU 的读操作)。数据总线的宽度(即数据总线的二进制位数)通常与 CPU 的字长相一致。例如,16 位机的数据总线宽度就是 16 位,用 $D_{15} \sim D_0$ 表示,其中 D_0 是最低位。

在计算机中,数据有比较广的涵义,在具体工作过程中,数据总线上所传送的并不一定都是真正的数据,它可以是指令代码、某些状态量或开关量、控制字或控制信息。这一点,将在接口技术及应用部分得到进一步的认识。

3. 控制总线 CB

控制总线是系统中所有控制信号的传输线,其中有 CPU 送往存贮器和外设的控制信号,如:读信号($\overline{RD}$)、写信号($\overline{WR}$)等。也有外设送往 CPU 的一些状态信号,如:中断请求($\overline{INT}$)、总线请求等。在实际应用中,了解各个控制线的意义和作用是有必要的,但更重要的是要掌握好各个控制信号的产生和起作用的精确时间。

1.3 微型计算机中数的表示及加减运算的溢出

众所周知,计算机具有运算速度快、计算精度高及逻辑判断等突出特点。获得这些特点的的必要条件是构成计算机实体功能部件采用什么基本电路器件分不开的。计算机中的基本器件主要是高速电子开关器,所以,数据信息和控制命令在计算机中是以电子开关器件的物理状态(即:导通“0”电平和截止“1”电平)表示,这就使得计算机对信息加工、处理、传输等均以二进制数字形式进行。但有时计算机中的数据输入和输出形式需要与人们日常习惯使用的十进制数相一致;有时为了数据的书写方便,又需要将二进制数用十六进制数来表示,为此有必要澄清用于计算机中的数制、数的表示方法及编码等一些基本概念。

1.3.1 数制及各种进制数间的转换

1.3.1.1 进位计数制

为了理解二进制数制及其它进制数的结构,首先复习一下人们熟悉的十进制数。例如有一个十进制数 $N, N = 1978.12$,用数学式可将 N 示为(1-1)式形式:

$$1978.12 = 1 \times 10^3 + 9 \times 10^2 + 7 \times 10^1 + 8 \times 10^0 + 1 \times 10^{-1} + 2 \times 10^{-2} \quad (1-1)$$

在(1-1)式中 N 是用一组数字符号(1、9、7、8、1、2)表示的一个数,其中将这组数字符号中的每一个数字符号称数码;而每个数码表示的数值不仅取决于数码本身,还取决于数码所在的位置(如 1 的位置是“ 10^3 ”、9 的位置是“ 10^2 ”、...)这个位置的值称为位权;“10”称为基数,基数“10”为十进制中全部数码的个数(即 0~9)。

1.3.1.2 各种进制数之间的转换

1. 十进制数转换为其它进制数(如二进制、十六进制等)

• 将十进制数转换成其它进制数的转换原则:整数和小数部分分别进行转换。

• 转换方法:

整数部分的转换采用“除基取余”法;

小数部分的转换采用“乘基取整”法。

在(1-1)式中若用 a 表示数码、用 x 表示基数,那么(1-1)式可表示为(1-2)式的形式:

$$(N) = a_{n-1} \cdot x^{n-1} + a_{n-2} \cdot x^{n-2} + \cdots + a_0 \cdot x^0 + a_{-1} \cdot x^{-1} + a_{-2} \cdot x^{-2} + \cdots + a_{-m} \cdot x^{-m}$$

$$= \sum_{i=1}^m a_i \cdot x^i \quad (1-2)$$

其中 n 为整数的总位数;

m 为小数的总位数。

由(1-2)式可得其它进制数的表达式,如二进制,十六进制等。

若令 $x=2$,则二进制数的表达式为:

$$(N)_B = \sum_{i=n-1}^m a_i \cdot 2^i$$

其中数码 a_i 取值范围为 0 和 1。在二进制中,常把二进制位称为位或比特(bit),所以常在数后用“B”标明这个数为二进制数。

若令 $x=16$,则十六进制数的表达式为:

$$(N)_H = \sum_{i=n-1}^m a_i \cdot 16^i$$

其中数码 a_i 取值范围为 0~15(0~9, A~F),在计算机中需用二进制数据,但用计算机工作的人记忆很长的二进制数据是非常麻烦的,所以常用十六进制表示数据。十六进制用缩写词 hex 表示。因此在数后用“H”标明这个数为十六进制数。一个十六进制位等于 4 个二进制位,所以一个十六进制位能表示出最大为 15 的十进制数。两个十六进制位能表示出最大为 255 的十进制数;四个十六进制位能表示出最大为 65535 的十进制数。可见十六进制是比二进制及十进制等更为紧凑的数码。

根据上述的讨论,我们可总结出:所谓进位计数制是采用“逢基数进位”的原则进行计数,故称进位计数制。

【例 1-1】 将十进制数 237.6875。转换成二进制数、十六进制数。

向二进制整数部分的转换:

2 2 3 7.....	1B ₀ ←最低有效位, 表示为 LSB
2 1 1 8.....	0B ₁
2 5 9..	1B ₂
2 2 9..	1B ₃
2 1 4..	0B ₄
2 7..	1B ₅
2 3..	1B ₆
2 1..	1B ₇ ←最高有效位, 表示为 MSB
0	

向二进制小数部分的转换

	0.6875
	× 2
最高有效位 →	1.3750
	× 2
	0.7500
	× 2
	1.5000
	× 2
最低有效位 →	1.0000

即 $(237.6875)D = (11101101.1011)B$

向十六位整数部分的转换

$$\begin{array}{r} 16 \overline{) 237 \cdots 13} \quad \text{LSB} \\ \quad \quad \quad \uparrow \\ 16 \overline{) 14 \cdots 14} \quad \text{HSB} \\ \quad \quad \quad 0 \end{array}$$

向十六位小数部分再转换。

$$\begin{array}{r} 0.6875 \\ \times \quad 16 \\ \hline 41250 \\ + \quad 6875 \\ \hline 11.0000 \end{array}$$

即 $(237.6875)D = (ED.B)H$

在十进制到十六进制转换时,若已将十进制数转换成了二进制数,那么可采用直接从二进制向十六进制数转换的简便方法,即采用“四位组合”法,四位的位权为“8421”。小数点左边的整数部分,自右向左每隔四位一分,最左边一组不足四位者左边补零;小数点右边的小数部分,自左向右每隔四位一分,最右边不是四位者右边补零。

【例 1-2】 已知 $(27.75)D = (11011.11)B$ 那么 $(27.75)D = (\quad)H$

解: $(27.75)D = (0001 \underline{1011} . \underline{1100})B = (1B.C)H$

2. 其它进制数转换成十进制数

其它进位制数转换成十进制数,常用的方法有两种。

(1)用进位计数制按位权展开相加法 由进位计数制可知,任一数 N 均可写成如下式子的形式:

$$(N) = a_{n-1} \cdot x^{n-1} + a_{n-2} \cdot x^{n-2} + \cdots + a_0 x^0 + a_{-1} \cdot x^{-1} + a_{-2} \cdot x^{-2} + \cdots + a_{-m} x^{-m}$$

因此,只要将不同进位制表示的数按上式展开,就可转换成十进制数。

【例 1-3】 将二进制数 $(1011.11)B$ 转换成十进制数。

$$\begin{aligned} \text{解: } (1011.11)B &= 1 \times 2^3 + 0 \times 2^2 + 1 \times 2^1 + 1 \times 2^0 + 1 \times 2^{-1} + 1 \times 2^{-2} \\ &= (11.75)D \end{aligned}$$

【例 1-4】 将十六进制数 $(ED.B)H$ 转换成十进制数。

$$\begin{aligned} \text{解: } (ED.B)H &= E \times 16^1 + D \times 16^0 + B \times 16^{-1} \\ &= (237.6875)D \end{aligned}$$

(2)基数重复相乘(相除)法 这种方法只将整数和小数部分分别进行转换。

设 N 是一个四位二进制整数和四位二进制小数的数。即: $N = a_3 \cdot 2^3 + a_2 \cdot 2^2 + a_1 \cdot 2^1 + a_0 \cdot 2^0 + a_{-1} \cdot 2^{-1} + a_{-2} \cdot 2^{-2} + a_{-3} \cdot 2^{-3} + a_{-4} \cdot 2^{-4}$

可将上式改写为:

$$N = [(a_3 \cdot 2 + a_2)2 + a_1]2 + a_0 + 2^{-1} [a_{-1} + 2^{-1}(a_{-2} + 2^{-1}a_{-3})]$$

显然,用连续类似乘以 2 的方法就能得到它的十进制整数部分的转换值,用连续除以 2 的办法就得到它的十进制小数部分的转换值。其步骤如下:

整数部分的转换:

·从最高位开始,把最高位乘以 2,加上次高位,令其结果为 M_1 ;