

高等职业教育
计算机类课程规划教材

微机原理及应用

新世纪高等职业教育教材编审委员会组编

主 编/顾可民



GAODENG ZHIYE JIAOYU JISUANJILEI
KECHENG GUIHUA JIAOCAI



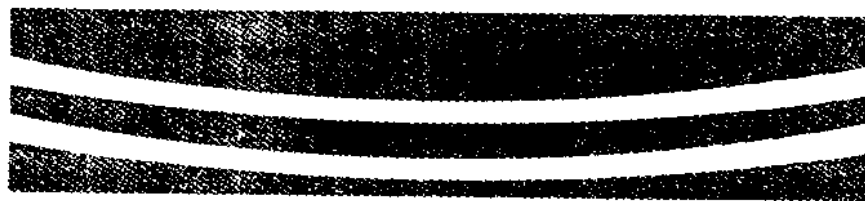
高等职业教育计算机类课程规划教材

GAODENGZHIYE JIAOYU JISUANJILEI KECHENG GUIHUAJIAOCAI

微机原理及应用

新世纪高等职业教育教材编审委员会组编

主 编/顾可民 副主编/王新颖 王志军 朱玉春



WEIJI YUANLI JI YINGYONG

大连理工大学出版社

DALIAN UNIVERSITY OF TECHNOLOGY PRESS

内容简介

本书是根据高职高专教学要求编写的。以 Intel 8088 微处理器为背景,系统全面地阐述了微型计算机基础知识、8088 CPU 的结构、存储器组织、指令系统、汇编语言程序设计、输入与输出、中断系统和典型的 I/O 接口芯片,并适当介绍 80286 以上至 Pentium CPU 的特点,每章后附有习题及实训,以便提高学生的动手能力。

本书在内容选择、层次安排和内容叙述等方面都力求做到简要合理,实用易懂。本书适用于高职高专、各类高等院校非计算机专业本、专科学生,各种成人教育和各种培训班,也可供各类专业人员自学参考。

图书在版编目(CIP)数据

微机原理及应用/顾可民主编. —大连:大连理工大学出版社,2002.2

ISBN 7-5611-1999-2

(高等职业教育计算机类课程规划教材)

I.微... II.顾... III.微型计算机—理论—高等学校:技术学校—教材 IV.TP36

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2002)第 000810 号

大连理工大学出版社出版发行
大连市凌水河 邮政编码 116024
电话:0411-4708842 传真:0411-4701466
E-mail:dlutp@mail.dlptt.ln.cn
URL: <http://www.dlutp.com.cn>
大连业发印刷有限公司印刷

开本:787 毫米×1092 毫米 1/16 字数:413 千字 印张:18

印数:1—5000 册

2002 年 2 月第 1 版

2002 年 2 月第 1 次印刷

责任编辑:汪会武

责任校对:林 丽

封面设计:王福刚

定价:22.00 元

先后加盟新世纪高等职业教育教材编审委员会部分会员单位名单

广西财政高等专科学校	大连职业技术学院
南昌水利水电高等专科学校	大连万成职业技术学院
烟台大学职业技术学院	丹东职业技术学院
山东铝业职业技术学院	辽宁机电职业技术学院
河北建材职业技术学院	东北财经大学高等职业技术学院
燕山大学继续教育学院	抚顺师范高等专科学校
承德石油高等专科学校	抚顺石油学院高等职业技术学院
内蒙古工业大学职业技术学院	抚顺职业技术学院
内蒙古财经学院高职教育部	阜新高等专科学校
呼和浩特建筑职业技术学院	锦州师范高等专科学校
呼伦贝尔学院	锦州师范学院
包头钢铁学院职业技术学院	辽宁财政高等专科学校
齐齐哈尔职业学院	辽宁大学高等职业技术学院
齐齐哈尔大学职业技术学院	辽宁工程技术大学职业技术学院
大庆职业技术学院	辽宁工学院职业技术学院
佳木斯大学职业技术学院	辽宁公安司法管理干部学院
黑龙江省建筑职业技术学院	辽宁经济管理干部学院
牡丹江大学	辽宁农业管理干部学院
吉林财税高等专科学校	辽宁农业职业技术学院
吉林交通高等专科学校	辽宁商务职业学院
吉林粮食高等专科学校	辽宁省交通高等专科学校
四平职业大学	辽阳高等职业学院
沈阳师范学院高等职业技术学院	辽阳石油化工高等专科学校
鞍山钢铁学院职业技术学院	盘锦职业技术学院
鞍山师范学院职业技术学院	沈阳大学高等职业技术学院
本溪冶金高等专科学校	沈阳大学师范学院
渤海船舶职业学院	沈阳电力高等专科学校
朝阳师范高等专科学校	沈阳工业大学高等职业技术学院
大连大学	沈阳建工学院高等职业技术学院
大连轻工业学院职业技术学院	沈阳农业大学高等职业技术学院
大连国际商务职业学院	铁岭师范高等专科学校
大连水产学院职业技术学院	营口高等职业学院

总 序

我们已经进入了一个新的充满机遇与挑战的时代,我们已经跨入了 21 世纪的门槛。

20 世纪与 21 世纪之交的中国,高等教育体制正经历着一场缓慢而深刻的革命,我们正在对传统的普通高等教育理论教学与社会发展的现实需要不相适应的现状作历史性的反思与变革的尝试。

20 世纪最后的几年里,高等职业教育的迅速崛起,是影响高等教育体制变革的一件大事。在短短的几年时间里,普通中专教育、普通高专教育全面转轨,以高等职业教育为主导的各种形式的应用型人才培养的教育发展到与普通高等教育等量齐观的地步,其来势之迅猛,迫人深思。

无论是正在缓慢变革着的普通高等教育,还是迅速推进着的应用型人才培养的高等职业教育,都向我们提出了一个同样的严肃问题:中国的高等教育为谁服务,是为教育发展自身,还是为包括教育在内的大千社会?答案肯定而且惟一,那就是教育也置身其中的现实社会。

由此又引发出高等教育的目的问题。既然教育必须服务于社会,它就必须按照不同领域的社会需要来完成自己的教育过程。换言之,教育资源必须按照社会划分的各个专业(行业)领域(岗位群)的需要实施配置,这就是我们长期以来明乎其理而疏于力行的学以致用问题,这就是我们长期以来来能给予足够关注的教育的目的问题。

如所周知,整个社会由其发展所需要的不同部门构成,包括公共管理部门如国家机构、基础建设部门如教育研究机构和各种实业部门如工业部门、商业部门,等等。每一个部门又可作更为具体的划分,直至同它所需要的各种专门人才相对应。教育如果不能按照实际需要完成各种专门人才培养的目标,就不能很好地完成社会分工所赋予它的使命,而教育作为社会分工的一种独立存在就应受到置疑(在市场经济条件下尤其如此)。可以断言,按照社会的各种不同需要培养各种直接有用人才,是教育体制变革的终极目的。

随着教育体制变革的进一步深入,高等院校的设置是否会同社会对人才类型的不同需要一一对应,我们姑且不论。但高等教育走应用型人才培养的道路和走理论型(也是一种特殊应用)人才培养的道路,学生们根据自己的偏好各取所需,始终是一个理性运行的社会状态下高等教育正常发展的途径。

高等职业教育的崛起,既是高等教育体制变革的结果,也是高等教育体制变革的一个阶段性表征。它的进一步发展,必将极大地推进中国教育体制变革的进程。作为一种应用型人才培养的教育,高等职业教育从专科层次起步,进而高职本科教育、高职硕士教育、高职博士教育……当应用型人才培养的渠道贯通之时,也许就是我们迎接中国教育体制变革的成功之日。从这一意义上说,高等职业教育的崛起,正是在为必然会取得最后成功的教育体制变革奠基。

高职教育还刚刚开始自己发展道路的探索过程,它要全面达到应用型人才培养的正常理性发展状态,直至可以和现存的(同时也正处在变革分化过程中的)理论型人才培养的教育并驾齐驱,还需假以时日;还需要政府教育主管部门的大力推进,需要人才需求市场的进一步完善发育,尤其需要高职教学单位及其直接相关部门肯于做长期的坚忍不拔的努力。新世纪高等职业教育教材编审委员会就是由北方地区近百所高职院校和出版单位组成的旨在以推动高职教材建设来推进高等职业教育这一变革过程的联盟共同体。

在宏观层面上,这个联盟始终会以推动高职教材的特色建设为己任,始终会从高职教学单位实际教学需要出发,以其对高职教育发展的前瞻性的总体把握,以其纵览全国高职教材市场需求的广阔视野,以其创新的理念与创新的组织形式,通过不断深化的教材建设过程,总结高职教学成果,探索高职教材建设规律。

在微观层面上,我们将充分依托众多高职院校联盟的互补优势和丰裕的人才资源优势,从每一个专业领域、每一种教材入手,突破传统的片面追求理论体系严整性的意识限制,努力凸现高职教育职业能力培养的本职特征,在不断构建特色教材建设体系的过程中,逐步形成自己的品牌优势。

新世纪高等职业教育教材编审委员会作为一种民间组织形式的联盟,在推进高职教材建设事业的过程中,始终得到了各级教育主管部门(如国家教育部、辽宁省教育厅)以及各相关院校相关部门的热忱支持和积极参与,对此我们谨致深深谢意;也希望一切关注、参与高职教育发展的同道朋友,在共同推动高职教育发展、进而推动高等教育体制变革的进程中,和我们携手并肩,共同担负起这一具有开拓性挑战意义的历史重任。

新世纪高等职业教育教材编审委员会

2001年8月18日

《微机原理及应用》是“新世纪高等职业教育教材编审委员会”组编的计算机类课程规划教材之一。

《微机原理及应用》以 Intel 的 8086/8088 微处理器为主讲内容。原因是由 Intel 的 80X86 系列微处理器构成的系列微型机,已广泛应用于社会的各个领域,它们之间具有系统向上兼容性,可以通过对简单结构的低档微机原理的学习,举一反三,较快地掌握先进微机的基本原理。

本教材从微机原理的最基本的内容出发,在讲清 8086/8088 微处理器的基本结构、基本工作原理、基本汇编语言程序设计之后,详细讨论了微机存储器系统结构及设计等内容,最后简单地讨论了最高级的 80X86 微处理器的体系结构特点,如 32 位字长的 80386、80486、Pentium II、Pentium III 的指令系统、工作原理。

本书具有下述一些特点:

第一,强调适应性。充分考虑高职学生的学历基础特点和培养目标要求,语言表述力求深入浅出,通俗易懂,以期适应高职课堂教学与学生自修的需要。

第二,突出实用性。本教材在内容的组织上力求实用和简约,配有实用的程序例子和习题,为了培养学生较强的动手能力,在有关章节中配置了相应的实训课题,以便提高学生的实际操作技能。

第三,兼顾持续性。在理论阐述的同时,也不忽略对学生后续学习和进一步提高专业水平所必需的知识系统性介绍,以利于培养学生自主学习能力与可持续发展能力。

本书是计算机类各专业必修的专业基础课教材,教学基本学时按 70 课时设计,各教学单位可根据需要对本教材内容作适当取舍。

本书由沈阳师范学院高等职业技术学院顾可民担任主编,沈阳电力高等专科学校王新颖、辽宁工程技术大学职业技术学院王志军、河北建材职业技术学院朱玉春担任副主编。各章编写分工如下:顾可民第 3,4,7 章及附录部分,王新颖第 5,6 章,王志军第 9,10 章,朱玉春、孙越第 1,2,8



章,由沈阳工业大学白殿生协助审校,顾可民统稿总纂。

由于编者水平有限,书中难免有错误和不妥之处,希望各教学单位在使用本教材的过程中不吝指正,以便修订时改进。

编 者

2001 年 12 月



第 1 章 微型计算机基础	1
1.1 概述	1
1.2 计算机中信息编码	6
1.3 微型计算机的主要组件	9
习题	11
第 2 章 8088 微处理机	12
2.1 8088CPU 结构及存储器组织	12
2.2 8088CPU 外部引脚	22
2.3 8088 的支持芯片	29
习题	38
第 3 章 8088 的指令系统	39
3.1 计算机语言	39
3.2 8088 指令的寻址方式	41
3.3 8088 的指令系统	49
习题	77
第 4 章 汇编语言程序设计	78
4.1 汇编语言程序格式	78
4.2 语句行的构成	80
4.3 伪指令	87
4.4 汇编语言上机过程	94
4.5 汇编语言程序设计举例	101
习题	131
实训	132
第 5 章 半导体存储器	133
5.1 半导体存储器的分类	133
5.2 读写存储器 RAM	136
5.3 RAM 与 CPU(CPU 子系统)的连接	141
5.4 只读存储器	145
习题	154
实训	154

第 6 章 输入和输出	156
6.1 输入、输出的信息种类与 I/O 端口的编址方式	156
6.2 主机与外设数据传送方式	160
习题	171
第 7 章 中断	172
7.1 引言	172
7.2 中断的过程	173
7.3 中断优先权	175
7.4 8088 的中断类型	178
7.5 中断向量表	180
7.6 可编程中断控制器 8259A	182
习题	199
第 8 章 并行输入/输出接口与计数器/定时器电路	200
8.1 I/O 接口及其功能	200
8.2 并行接口芯片 8255A	201
8.3 计数器/定时器电路 8253	209
习题	222
实训	222
第 9 章 串行通信及串行接口	224
9.1 串行通信的基本概念	224
9.2 可编程串行通信接口芯片 8251A	230
习题	237
实训	238
第 10 章 Pentium 系列微机简介	245
10.1 8086 到 80486 微处理器简介	245
10.2 Pentium 微处理器简介	248
10.3 80X86/Pentium CPU 的指令系统及寻址方式	251
10.4 现代技术在微机中的应用	253
习题	255
附录	256

第 1 章

微型计算机基础

本章要点

- 了解微型计算机的基本概念
- 掌握微型计算机的主要组件
- 掌握计算机信息编码

1.1 概述

1946 年美国宾夕法尼亚大学研制出世界上第一台数字电子计算机 ENIAC(Electronic Numerical Integrator And Calculator)以来,计算机的发展突飞猛进,日新月异。短短 50 多年中,已经历了电子管计算机、晶体管计算机、集成电路计算机和大规模/超大规模集成电路计算机等四代的发展历程。20 世纪 80 年代中期起,开始了以模拟人的大脑神经网络功能为基础的第五代计算机的研究。各代计算机的更替主要表现在组成计算机的电子元器件更新换代,还包括计算机系统结构和计算机软件技术的改进。

作为第四代计算机的一个重要分支,微型计算机于 20 世纪 70 年代初诞生了。微型计算机(Microcomputer)与其他大、中、小型计算机的区别,在于其中央处理器 CPU(Central Processing Unit)采用了大规模、超大规模集成电路技术,其他类型计算机的 CPU 则是由相当多的分立元件电路或集成电路所组成。为了将这两种 CPU 相区别,把微型计算机的 CPU 芯片称为微处理器。微处理器(Microprocessor),又称 MPU(Micro Processing Unit)。

目前主要有两大系列微处理器: Intel 80X86 和 Motorola 68X0。而其中又以 Intel 80X86 系列产品独领风骚,在各种通用微机、专用微机和工作站中应用最为广泛。

微处理器和微型计算机正在向着更微型化、更高速、更廉价和图形、超媒体、更强功能的方向发展。其结果是,一方面各种便携式微机(笔记本式微机、膝上微机、掌上微机等)大量涌现;另一方面将超级微型计算机和巨型计算机技术紧密结合、融为一体的“微巨机”也将不断问世。

计算机的应用,归纳起来主要有这样几个方面:

(1) 科学计算与数据处理。这是最原始、也是占比重最大的计算机应用领域。在科学研究、工程设计和社会经济规划管理中存在大量复杂的数学计算问题,如卫星轨道的计算、大型水坝的设计、航天测控数据的处理、中长期天气预报、地质勘探与地震预测、社会经济发展规划的制定等,常常需要涉及大量数值计算,利用计算机可快速得到较理想的结

果。

(2) 生产与试验过程控制。在工业、国防、交通等领域,利用计算机对生产和试验过程进行自动实时监测、控制和管理,可提高效率,提高质量,降低成本,缩短周期。

(3) 自动化仪器、仪表及装置。在仪器、仪表装置中使用微处理器或微型计算机,可明显增强功能,提高性能,减小重量和体积。

(4) 信息管理与办公自动化。现代企事业单位和政府、军队各部门需要管理的内容很多,如财务管理、人事档案管理、情报资料管理、仓库材料管理、生产计划管理、信贷业务管理、购销合同管理等。采用计算机和目前迅猛发展的计算机网络技术,可实现信息管理的自动化和办公自动化。

(5) 计算机辅助设计。在航空航天器结构设计、建筑工程设计、机械产品设计和大规模集成电路设计等复杂设计活动中,为了提高质量,缩短周期,提高自动化水平,目前普遍借助计算机进行设计,即计算机辅助设计 CAD(Computer Aided Design)。CAD 技术发展迅速,应用范围不断拓宽,目前又派生出计算机辅助测试 CAT(Computer Aided Test)、计算机辅助制造 CAM(Computer Aided Manufacture)和将设计、测试、制造融为一体的计算机集成制造系统等新的技术分支。

(6) 计算机仿真。在对一些复杂的工程问题和复杂的工艺过程、运动过程、控制行为等进行研究时,在建立数学模型的基础上,用计算机仿真的方法对相关的理论、方法、算法和设计方案进行综合、分析和评估,可以节省大量的人力、物力和时间。

(7) 人工智能。人工智能是用计算机系统模拟人类某些智能行为的新兴学科技术,它包括声音、图像、文字等模式识别,自然语言理解,问题求解,定理证明,程序设计自动化和机器翻译、专家系统等。

(8) 文化、教育、娱乐和日用家电。计算机辅助教学 CAI(Computer Aided Instruction)早已成为一种重要的教学手段。今天,电影、电视片的设计、制作,多媒体组合音像设备的推出,许多全自动、半自动“家电”产品的出现,以至许多智能型儿童玩具,无一不是微型计算机在发挥着作用,显示出奇功。

1.1.1 电子计算机的主要组成及功能

电子计算机是能够自动、高速、精确地进行逻辑控制和信息处理的现代化电子设备。计算机系统由硬件系统和软件系统两大部分组成。硬件是指计算机物理实体部分,由各种集成电路以及机械部件组成,是计算机存储和运算的基础。一台只有硬件的计算机叫做裸机,它不能为人们所用,必须为它配上相应软件,才能完成人们规定的工作。一个包括硬件和软件的计算机称为计算机系统。

1. 电子计算机基本结构

计算机硬件结构基本上采用计算机经典结构-冯·诺依曼结构。这种结构的主要特点是:

(1) 由运算器、控制器、存储器、输入设备和输出设备五大部分组成。其中运算器和控制器合称为中央处理单元,简称 CPU(Central Processing Unit)。它是计算机硬件的核心,完成控制和运算任务。存储器用来存放程序与数据。CPU 与存储器合称为主机,主机以外

的设备称为外部设备。

(2)数据和程序以二进制码形式存放在存储器中。

(3)控制器是根据存放在存储器中的指令序列即程序来控制计算机的工作过程。控制器具有判断能力,可选择不同工作流程。

2. 计算机硬件功能

计算机硬件的五大组成部分如图 1.1 所示。

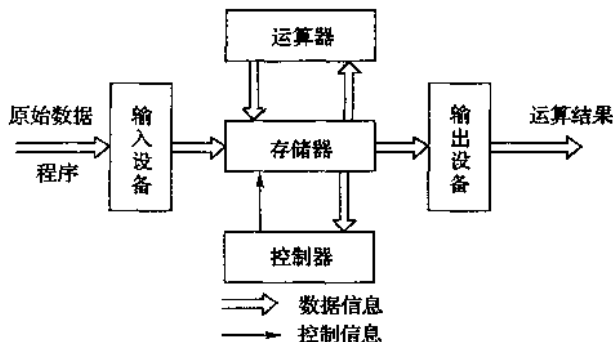


图 1.1 电子计算机的主要组成

(1) 运算器

运算器是计算机中进行运算的部件。运算分为两类：一类是算术运算，即加、减、乘、除四则运算；另一类是逻辑运算，如与、或、非等运算。运算器是由加法器、移位寄存器和一些控制电路组成。此外，电子计算机需要实现数码的传送和移位等操作，也是通过运算器完成的。

(2) 控制器

控制器是计算机的指挥中心，它严格按时间要求发出对各个部件动作进行控制的信号，使整个计算机各部件能够有条不紊地协同工作。

控制器主要由三大部分组成：指令部件、时序部件和微操作控制部件。控制器的工作实质就是执行程序，它每次从存储器中读取一条指令，经过分析译码，产生一串操作控制命令，控制各部件动作，从而执行这条指令。控制器产生操作命令依据以下三个方面：一是指令，它放在指令寄存器中，指令是计算机操作的主要依据。二是各部件的状态触发器，其中存放反映机器运行状态的有关信息。三是时序电路，使控制器执行命令被有序地发送出去，控制打开机器的控制门，完成指令所规定的动作。

(3) 存储器

存储器的主要功能是存放程序和数据。程序是计算机操作的依据，数据是计算机操作的对象，不论程序还是数据，在存储器中均以二进制形式表示，统称为信息。为了实现自动计算，人们对数据处理过程编制程序，把这些程序存入计算机中。计算机运行时逐条地从存储器中取出指令和数据，进行规定的运算。

(4) 输入设备与接口

输入设备的作用是将程序和各種信息转换成二进制形式存入计算机中,例如键盘、鼠标器、硬盘、光盘驱动器等。由于各种输入设备的信号形式及输入速度不同,为了使计算机正常接收这些数据,就需要在输入设备与主机之间加一个适配装置,称为接口,它使输入数据能够正确无误地存入计算机。

(5) 输出设备与接口

输出设备将计算机处理结果变换成我们所需要形式输出,如打印机、显示器等。有的输出设备将二进制信息变换一种格式存入磁盘,也有的通过通信线路传给远方计算机。输出设备与主机之间协调工作,也需要相应接口设备。

1.1.2 微处理机和微型计算机的概念

微型计算机是采用高集成度的器件和部件,它的核心部分是微处理器。微处理器(微处理机)是指一片或几片大规模集成电路组成具有运算器和控制器功能的中央处理器,称CPU,微型计算机在系统结构和基本原理上与其他计算机基本相同。典型微处理器结构如图1.2所示。

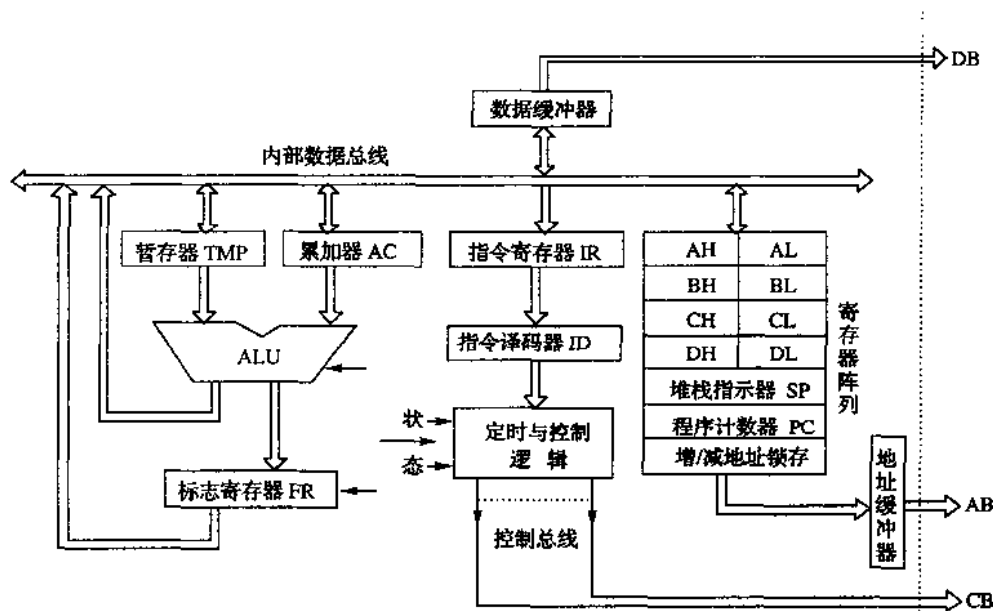


图 1.2 典型微处理器结构

以微处理机为核心,配备上存储器及可编程接口,再配上外部设备(包括键盘、显示器、打印机、磁盘机等)及电源组成了微型计算机。微型计算机与系统软件结合构成微型计算机系统。如图1.3所示。单纯的处理器不是计算机;单纯的微型计算机也不是完整的计算机;只有微型计算机系统才是完整的计算机系统,才能正常工作。

微型计算机的分类方法有多种,按微处理器处理位数,可分为1位机、4位机、8位

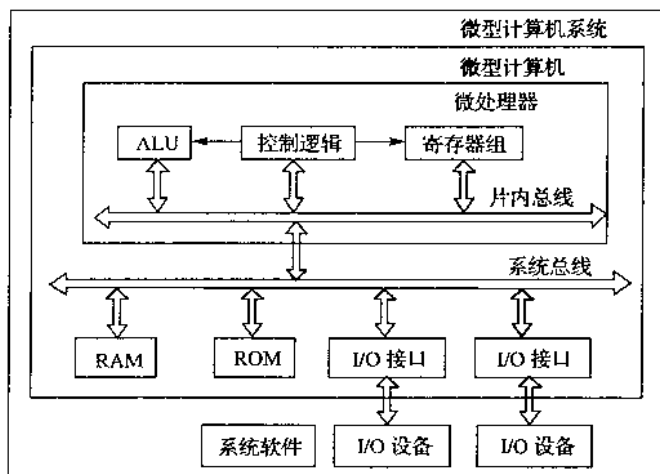


图 1.3 微型计算机组成框图

机、16 位机、32 位机和 64 位机等；按结构可分为单片机和多片机；按外型和使用特点，可分为台式微机和笔记本式微机等。

微型计算机系统和普通计算机系统一样，衡量其性能技术指标主要有：

1. 字长

计算机一次所能够处理的最多位数的二进制信息整体称作一个字。一个字所具有的 二进制位数叫字长。字长越长，一个字所表达的信息量越大，所能表示的数据精度越高；在完成同样精度运算时，则数据处理速度越快。在计算机中，8 位连续的二进制数称作一个字节。

2. 存储器容量

存储器中能够存放的二进制信息的多少称为存储容量，它是衡量计算机存储能力的一个重要指标。微型计算机中一般以字节 B(byte) 为单位表示存储容量，将 1024B 简称为 1KB，1024KB 简称为 1MB(兆字节)，1024MB 简称为 1GB(吉字节)，1024GB 简称为 1TB(太字节)。

3. 运算速度

计算机的运算速度一般用每秒能执行的指令数表示。由于不同类型的指令所需时间长度不同，因而运算速度的计算方法也不同。常用计算方法有：

(1) 根据不同类型指令出现的频率，乘以不同系数，求平均值，得到平均运算速度。这时常采用百万条指令/秒做单位。

(2) 以执行时间最短指令为标准来估算速度。

(3) 直接给出 CPU 的主频和每条指令的执行所需的时钟周期。主频一般以 MHz 为单位。

4. 外设扩展能力

主要指计算机系统配接各种外部设备的可能性、灵活性和适应性。计算机允许配接

多少外部设备,对于系统接口和软件都有重大影响。

5. 软件配置情况

软件是计算机系统必不可少的重要组成部分,它配置是否齐全,直接关系到计算机性能和应用效率的高低。

1.2 计算机中信息编码

计算机作为一种计算工具,它的基本功能是对信息进行加工和处理。计算机中存储信息(数值、字符、汉字、指令、状态等)都是用二进制数形式表示的,这样计算机才能识别。

1.2.1 带符号数的表示法

1. 无符号数和带符号数

在计算机中有无符号数和带符号数之分。所谓无符号数,就是计算机的全部有效位数用来表示数的大小,相当于绝对值。

实际中大量用到的还是带符号的数。由于计算机无法识别符号“+”或“-”,因此需要把符号数码化,通常约定二进制数的最高位为符号位,“0”表示该数为正,“1”表示为负。这种在计算机中表示的数形式称为机器数。带符号数有原码、补码、反码等不同的编码。

2. 原码表示法

原码表示法是保持机器数的原型不变,符号位为0表示该数为正,符号位为1表示该数为负,其有效数值部分用二进制数的绝对值表示。一个数 x 的原码记作 $[x]_{\text{原}}$

$$\text{例 } x_1 = +0110101 \quad [x_1]_{\text{原}} = 00110101$$

$$x_2 = -0110100 \quad [x_2]_{\text{原}} = 10110100$$

3. 反码表示法

正数的反码与原码相同,即符号位为0,数值位不变。负数的符号位为1,数值位变反,这是反码表示法。一个数 x 的反码记作 $[x]_{\text{反}}$ 。

$$\text{例 } [x_1]_{\text{原}} = 01100101 \quad [x_1]_{\text{反}} = 01100101$$

$$[x_2]_{\text{原}} = 10001010 \quad [x_2]_{\text{反}} = 11110101$$

4. 补码表示法

正数的补码与原码相同,即符号位为0,数值位原样不变。负数的符号位为1,数值位取反,且末位加1,这是补码表示法。一个数 x 的补码记作 $[x]_{\text{补}}$ 。

$$\text{例 } [x_1]_{\text{原}} = 00110101 \quad [x_1]_{\text{补}} = 00110101$$

$$[x_2]_{\text{原}} = 11010100 \quad [x_2]_{\text{补}} = 10101100$$

在微型计算机中,带符号数通常是用补码表示的。读者可以验证,一个数 x 它的 $[[x]_{\text{补}}]_{\text{补}} = [x]_{\text{原}}$ 。一个8位的二进制数表示的补码数的范围是 $-128 \sim +127$ (见表1.1),同理,1个16位的二进制数表示的补码数的范围是 $-32768 \sim +32767$ 。

表 1.1 8 位二进制数的原码、反码、补码对照表

二进制表数表示	原码	补码	反码
00000000	+0	+0	+0
00000001	+1	+1	+1
00000010	+2	+2	+2
⋮	⋮	⋮	⋮
01111100	+124	+124	+124
01111101	+125	+125	+125
01111110	+126	+126	+126
01111111	+127	+127	+127
10000000	-0	-128	-127
10000001	-1	-127	-126
10000010	-2	-126	-125
⋮	⋮	⋮	⋮
11111100	-124	-4	-3
11111101	-125	-3	-2
11111110	-126	-2	-1
11111111	-127	-1	-0

引入补码概念之后,符号位参加运算,能将减法运算转换成加法运算,从而简化了机器的硬件结构。举例如下:

$$\begin{array}{r}
 89 \\
 - 53 \\
 \hline
 36
 \end{array}$$

在计算机中是利用 +89 和 -53 的补码相加运算的(以 8 位二进制补码为例)。

$$\begin{array}{r}
 01011001 \quad \cdots \cdots +89 \text{ 的补码} \\
 + 11001011 \quad \cdots \cdots -53 \text{ 的补码} \\
 \hline
 00100100 \quad \cdots \cdots +36 \text{ 的补码}
 \end{array}$$

$$\begin{array}{r}
 53 \\
 \text{又如: } - 89 \\
 - 36
 \end{array}$$

在计算机中是利用 +53 和 -89 的补码相加运算的。

$$\begin{array}{r}
 00110101 \quad \cdots \cdots +53 \text{ 的补码} \\
 + 10100111 \quad \cdots \cdots -89 \text{ 的补码} \\
 \hline
 11011100 \quad \cdots \cdots -36 \text{ 的补码}
 \end{array}$$

1.2.2 定点数和浮点数

计算机常用的数据表示格式有定点数和浮点数两种。

1. 定点表示法

所谓定点表示法即事先约定机器中,所有的数据中的小数点的位置是固定不变的,且通常将数据表示为纯整数(规定小数点固定在最低数值位之后)或纯小数(规定小数点固