

21 世 纪 计 算 机 科 学 系 列 教 材

微型计算机硬件基础教程

杨路明 彭 军 主编

中南大学出版社

前 言

《微型计算机硬件基础教程》是高等学校非计算机专业的一门技术基础课,通过本课程的学习,要求使学生具有微型机应用系统的分析能力和开发能力。

本书以 Intel 8086/8088 微处理器和 IBM PC 系列微计算机为主要对象,系统地介绍了计算机硬件工作原理,微型计算机的系统结构及特性,汇编语言程序设计技术,微型机的输入输出与接口技术,常用外部设备特性;此外,还介绍了微型机配置及购机指南。

全书共有 10 章。第 1 章阐述了计算机系统组成及硬件工作原理;第 2 章介绍了计算机数据运算基础;第 3 章描述了 8086 微处理器的内部结构和外部特性;第 4 章介绍了指令系统与汇编语言程序设计;第 5 章阐述了半导体存储器组成及其与系统的连接;第 6 章综述了输入输出接口与总线;第 7 章介绍了微型计算机中断系统组成和功能;第 8 章对可编程接口芯片及其应用进行了详细阐述;第 9 章介绍了一些常用外部设备;第 10 章对微型机系统设置、安装与购机指南进行了全面叙述。

本书是作者根据多年从事微型机系统及应用课程的教学实践经验和科研实践编写而成的。在编写过程中,按照高等学校非计算机专业教材的特点,力求突出重点,讲清难点,概述清楚,循序渐进,既注重实用性,又兼顾先进性。全书内容丰富,示例较多,每章后均附有习题。本书可用于高等院校非计算机专业教材,也可作为广大微型计算机应用开发人员的参考书和培训教材。

本书由杨路明、彭军组织编写和统稿,并任主编。杨路明编写第 1 章;彭军编写第 2 章;施荣华编写第 3 章;彭军编写第 4 章;段桂华编写第 6、8 章;严辉编写第 5、7、9 章;彭军、杨政宇编写第 10 章。

由于作者水平有限,加上编写时间紧迫,疏漏以及欠妥之处在所难免,恳请广大读者批评指正。

作 者

2001 年 6 月

目 录

1 计算机系统概论	(1)
1.1 电子计算机的发展	(1)
1.2 计算机的工作特点	(5)
1.3 计算机系统组成	(6)
1.4 计算机主要技术指标	(17)
1.5 微型计算机系统组成	(18)
习题	(21)
2 计算机运算基础	(22)
2.1 数制	(22)
2.2 计算机中数的表示方法	(26)
2.3 数字化信息的表示方法	(27)
2.4 计算机中数的运算方法	(29)
2.5 逻辑代数与逻辑电路	(31)
习题	(33)
3 微处理器	(34)
3.1 8086/8088CPU 微处理器结构	(34)
3.2 8086/8088CPU 引脚功能定义与工作模式	(38)
3.3 80286CPU	(43)
3.4 80386CPU	(46)
习题	(48)
4 指令系统与汇编语言程序设计	(49)
4.1 8086/8088CPU 指令系统概述	(49)
4.2 寻址方式	(50)
4.3 8086/8088CPU 指令系统	(54)
4.4 汇编语言的基本规定	(68)
4.5 汇编语言程序设计	(75)
4.6 系统功能调用	(85)
4.7 汇编语言程序的开发过程	(88)
习题	(93)
5 存储器	(96)
5.1 概述	(96)

5.2	存储器的组成	(96)
5.3	高速缓冲存储器与虚拟存储器基本原理	(111)
5.4	80486 存储器结构与存储管理	(112)
	习题	(115)
6	输入输出接口与总线	(117)
6.1	I/O 接口概述	(117)
6.2	数据输入输出控制方式	(120)
6.3	总线	(125)
	习题	(141)
7	微型计算机中断系统	(142)
7.1	微型计算机中断系统概述	(142)
7.2	8259A 可编程中断控制器	(147)
7.3	80486CPU 中断系统	(159)
	习题	(163)
8	可编程接口芯片及其应用	(165)
8.1	可编程并行接口芯片 8255A	(165)
8.2	可编程定时器/计数器芯片 8254	(172)
8.3	串行接口芯片	(183)
8.4	模拟 I/O 接口	(192)
	习题	(205)
9	常用外部设备	(207)
9.1	键盘	(207)
9.2	CRT 显示器	(212)
9.3	LED 显示器	(216)
9.4	辅助存储器	(218)
9.5	打印机	(228)
9.6	鼠标器	(231)
9.7	触摸屏	(232)
	习题	(234)
10	微型计算机系统的配置与安装	(235)
10.1	微型计算机的硬件配置	(235)
10.2	微型计算机系统硬件的安装	(243)
10.3	微型计算机购机指南	(247)
	习题	(257)
	参考文献	(258)

1 计算机系统概论

电子数字计算机是一种能自动、高速、精确地完成各种信息存储、数值计算、过程控制和数据处理功能的电子装置。由于组成它的物质基础主要是电子逻辑器件,而且它早期的基本功能是数值计算,所以,它被称为电子数字计算机。电子数字计算机是人类长期从事计算实践活动的产物,它的发明和发展是20世纪卓越的科学技术成就之一,也是现代科学技术发展水平的重要标志。

总的说来,电子计算机有两大类:电子模拟计算机和电子数字计算机。电子模拟计算机处理的是模拟量。电子数字计算机处理的是数字量。电子数字计算机是一种快速电子计算装置,它接受数字化的信息,经过处理,产生数字化信息输出。

采用数字化信息有很多优点:计算机的数值表示范围和精度几乎没有限制;便于保存和传输;可用于表示各种物理量和逻辑变量、文字符号和图形等。因此,数字计算机除了可以进行数值计算外,还能进行逻辑加工等,它已成为信息处理装置的主流。通常所称的电子计算机都是指电子数字计算机。

1.1 电子计算机的发展

1.1.1 计算机发展简史

电子计算机是一种能够高速度、精确、完全自动地进行信息处理的现代化电子装置。电子计算机最初是作为一种现代化的计算工具而问世的,它是人类在长期的生产和科研实践中,为减轻繁重的劳动和加快计算过程而不断发展的结果。

世界上第一台电子数字计算机 ENIAC (即 Electronic Numerical Integrator and Calculator) 问世,它是美国奥伯丁武器试验场为了满足计算弹道的需要而研制的,主要发明人是美国宾夕法尼亚大学的电气工程师普雷斯波·埃克特(J. Prespen Eckert)和物理学家约翰·莫奇勒博士(John W. Mauchly)。ENIAC 重达30 t,使用了18 000多个电子管,功率为100 kW。它的性能虽然还不如今天的一台微型机,但在当时是一个创举,开创了电子计算机时代。

自第一台电子计算机诞生,至今只不过五十余年,发展却非常迅猛,世界上还没有哪一门学科或哪一种设备有如此快的发展速度。在推动计算机发展的诸多因素中,电子器件的发展起着决定性的作用,计算机体系结构的发展也起着重要作用。

通常,计算机的发展按其所使用的器件可以划分为四代。

1. 第一代计算机(1946~1957年)

第一代计算机是电子管计算机。其基本特征是采用电子管作为计算机的逻辑元件;数据表示主要是定点数;用机器语言或汇编语言编写程序;主存储器采用延迟线或磁鼓,辅助存储器已开始使用磁带机;应用以科学计算为主,应用方式主要是成批处理。由于当时电子技术的限

制,第一代电子计算机体积庞大,造价高,耗电多,运算速度较慢,每秒钟运算速度仅为几千次,但它奠定了计算机发展的技术基础。

有代表性的电子计算机是1946年美籍匈牙利数学家冯·诺依曼及其同事们在普林斯顿研究所开始研制的所谓“存储程序”计算机IAS。它采用二进制形式表示数据和指令,并把程序按执行次序事先存入主存储器中,实现自动高速运算,确定了计算机由五大部件组成,并规定了它们的相互作用及相互联系。这就形成了著名的冯·诺依曼体系,它对后来计算机的发展产生了深远影响。事实上,从第一代计算机到目前的第四代计算机,不管结构怎样复杂,它们大都属于冯·诺依曼结构体系。

2. 第二代计算机(1958~1964年)

第二代电子计算机是晶体管计算机,它使用晶体管作逻辑元件,以用铁淦氧磁性材料制成的磁芯存储器作为主存储器,其辅助存储器除使用磁带机外,还开始使用磁盘,外设种类也有所增加;软件已开始使用操作系统及高级程序设计语言,如FORTRAN, COBOL, ALGOL等;应用从以科学计算为主进入以数据处理为主,并开始用于生产过程控制。

晶体管替代了电子管,使得计算机的体积、耗电量成倍减少,其计算速度、存储容量、可靠性等均大幅度增加,一般比第一代电子计算机提高了一个数量级。

3. 第三代计算机(1964~1972年)

第三代计算机是集成电路计算机。所谓集成电路(IC,即Integrated Circuit)是指在一小块仅有几个平方毫米的半导体材料——硅单晶片上,集中做成含有几十、几百个甚至更多的二极管、三极管、电阻、电容等电子元器件的电路。集成电路按其集成度可分为小规模集成电路(SSI, Small Scale Integration)、中规模集成电路(MSI, Middle Scale Integration)、大规模集成电路(LSI, Large Scale Integration)以及超大规模集成电路(VLSI, Very Large Scale Integration)。

这一代计算机的主要特点是:逻辑元件采用中、小规模集成电路;半导体存储器逐渐取代磁芯作为主存储器;使用微程序设计技术简化处理机设计和提高处理机的灵活性,引进了诸如流水线、多道程序及多重处理等技术,提高操作速度;操作系统日趋成熟,功能日益强大;高级程序设计语言发展很快,出现了多种高级语言;小型机得到了广泛的应用,出现了终端和网络,计算机应用领域更加广泛。第三代计算机在主存储器容量、运算速度和可靠性等方面都比第二代计算机提高了一个数量级。为了充分利用已有的软件资源,解决软件兼容问题,提出了系列机的概念,这是计算机发展史上的又一个里程碑。最具代表性、最有影响的第三代计算机是美国IBM公司于1964年研制成功的IBM360系列机。

4. 第四代计算机(1972年至今)

第四代计算机的主要特点是以大规模集成电路为计算机主要功能部件,主存储器也采用了集成度很高的半导体存储器。在体系结构方面发展了并行处理技术、多机系统、分布式计算机系统和计算机网络;在软件方面发展了数据库系统、分布式操作系统等。第四代计算机的一个重要分支是以大规模集成电路为基础发展起来的微处理器和微型计算机。

现在很多国家正在研制第五代计算机。第五代计算机突出了人工智能的思想,以人工智能原理为基础,进行知识处理、知识管理和快速推理,能自动编程、自动测试和自动排错,能用自然语言、图形、图像和文字进行输入、输出,其构思和理论综合起来有如下内容:新一代计算机

采用超大规模集成电路;使用常温超导材料和元器件;系统结构有革命性的变化,类似于人脑的神经网络,这种计算机一般采用非冯·诺依曼结构。但到目前为止,第五代计算机的研究尚未取得突破性进展。

1.1.2 计算机的发展趋势

在微电子技术的推动下,计算机不断得到高速发展。其发展趋势归纳起来体现在五个方面。

1. 巨型化

巨型化就是为了适应尖端科学技术的需要,发展高速度、大容量的巨型计算机。巨型计算机的发展集中体现了计算机科学技术的发展水平,它可以推动计算机系统结构、硬件和软件的理论和技术、计算数学以及计算机应用等多个学科分支的发展。巨型机的研制水平标志着一个国家科学技术和工业发展的程度,体现了一个国家的实力。

2. 微型化

微型化就是发展微处理器和微型计算机,以微处理器为核心的微型计算机属于计算机的第四代产品。微处理器自1971年问世以来,其发展速度异常迅猛,并对计算机的发展产生了巨大的影响。目前,以高档微处理器为中心构成的高档微型计算机系统,已达到和超过了传统的超级中型计算机系统。由于微型机具有可靠性和速度高、容量大、价格低等特点,在性能价值比方面占有绝对优势,因此,它开创了计算机普及应用的新纪元。

3. 网络化

所谓计算机网络,就是按照约定的协议,将若干台独立的计算机通过通信线路相互连接起来,形成彼此能够相互通信的一组相关的或独立的计算机系统。它们具有数据传输等功能,并具有共享数据、共享硬件和软件、均衡负荷等特点。

计算机网络的发展,使用户可在同一时间、不同地点使用同一个计算机网络系统,从而大大提高了计算机系统的使用效率。计算机网络的建立和发展,使计算机技术成为现代通信的重要手段,对加速国民经济的发展产生巨大的影响,而且对于建设现代化的国防有重大的战略意义。

4. 智能化

智能化就是使计算机具有人工智能。人工智能属于信息科学研究的范畴,它是控制论、计算机科学、仿生学、神经生理学、实验心理学等多种学科相互交叉渗透的产物。它涉及定理和公式证明、语言翻译、图像识别、模拟思维等等。智能机器人是智能模拟的前沿。现代科学技术的发展,为人工智能的研究开辟了广阔的前景。人工智能的研究,使得机器有可能代替人的大量脑力劳动,产生又一次工业革命,为消灭脑力劳动与体力劳动之间的差别提供重要的技术条件。

5. 多媒体化

信息表示和人机关系自然化,是计算机界长期追求的目标。多媒体技术把电视式的视听信息传播能力与计算机交互控制功能相结合,创造出集文、图、声、像于一体的新型信息处理模块,使计算机多媒体化,具有数字式全动画、全屏幕的播放、编辑和创作多媒体信息的功能,具有控制和传输多媒体电子邮件、电视会议等多种功能。近几年来,数字多媒体在计算机工业、电

信、家电等工业方面取得了令人瞩目的新成果,已充分显示了其广阔的应用前景。

1.1.3 计算机应用领域

随着计算机的不断发展,计算机应用已渗透到国民经济的各个领域,正改变着人们传统的工作、学习甚至生活方式,推动着整个社会不断发展。计算机的应用领域极为广泛,归纳起来有以下几个方面。

1. 科学计算

科学计算也称为数值计算,主要指用计算机完成科学研究和工程技术中提出的各种数学问题的计算,这也是计算机最根本的应用领域。计算机的高速度、高精度运算是人工计算机所无法比拟的。随着科学技术的发展,许多领域中的计算模型日趋复杂,计算工作量日趋增加,人工计算已无法完成这些计算任务。例如,在天气预报、天体研究、石油勘探、核物理学、量子化学等领域中,都需要依靠计算机完成大量、复杂的计算。

2. 数据处理

数据处理也称为非数值计算,指对在科研活动、生产活动、社会活动、经营活动、学习和生活中获得的大量数据进行加工处理,例如分析、分类、综合、统计等,形成各种表报、图形等有用信息,供人们使用。

数据处理与科学计算不同,其计算方法一般比较简单,但处理的数据量往往很大。数据处理是计算机应用的一个重要分支,目前已广泛应用于办公自动化、企业管理、事务管理、情报检索等领域。

3. 过程控制

过程控制也称实时控制,是指利用计算机及其外围设备及时采集数据,将数据处理后,按特定方案输出,以对控制对象进行控制。

计算机过程控制在工业、国防等许多领域得到广泛应用。在现代工业生产中,由于生产规模不断扩大,技术工艺日趋复杂,从而对实现生产过程自动化控制系统的要求也越来越高。利用计算机进行过程控制,不仅可以大大提高控制的自动化水平,而且可以提高控制的及时性和准确性,从而改善劳动条件,提高产品的产量和质量,节约能源,降低生产成本。目前,过程控制在国民经济的许多部门得到成功的应用。

4. 计算机辅助系统

计算机辅助系统一般指计算机辅助设计(CAD, Computer Aided Design)、计算机辅助制造(CAM, Computer Aided Manufacturing)和计算机辅助教育(CBE, Computer Based Education)。

计算机辅助设计(CAD)利用计算机快速计算、数据处理及模拟处理等功能,帮助设计人员进行设计,替代人们的部分设计工作,以提高设计质量,缩短设计周期。CAD在船舶、机械、飞机、建筑、大规模集成电路等设计领域得到普遍应用。

计算机辅助制造(CAM)是指用计算机进行生产设备的管理、控制和操作的技术,以提高产品产量和质量,降低成本,减轻劳动强度等。

计算机辅助教育(CBE)包括计算机辅助教学(CAI, Computer Assisted Instruction)、计算机辅助测试(CAT, Computer Aided Test)和计算机管理教学(CMI, Computer Management

Instruction)。开展 CBE 可以有效地改善教学手段和教学条件,有效地促进教学内容、课程体系改革,使学校教育发展发生根本性的变化,以培养更多的复合型人才。

5. 人工智能

人工智能(AI, Artificial Intelligence)是现代计算机的一个重要发展方向,也是计算机的一个重要应用领域。它一般指模拟人脑进行演绎推理和采取决策的思维过程,在计算机中存储一些定理和推理规则,然后设计程序让计算机自动探索解题的方法。

1.2 计算机的工作特点

电子数字计算机之所以能得到广泛的应用,是与它具有的基本特点密切相关的。一般地,计算机具有如下特点。

1.2.1 高速运算

电子计算机能够高速运算,运算速度之快是人和其他计算工具无法比拟的。例如,计算圆周率 π 值,用人工方法花 15 年的时间才算到小数点后 707 位。采用普通的电子计算机,只用不到 1 h 就能完成同样的计算,比人工计算的速度快 10 万多倍。快速运算为人们赢得了大量时间,特别是对诸如天气预报这种实时性很强的工作,也能顺利完成。

1.2.2 具有很强的记忆功能和逻辑判断功能

计算机中设有记忆装置,可存储、记忆大量信息,这为计算机成为信息处理机奠定了基础。

计算机的运算装置不仅能进行算术运算,还可以进行逻辑运算。这使得计算机不仅可以进行数值计算,还能对文字符号等信息进行识别、判断、比较。

1.2.3 运算精确度高

电子数字计算机采用二进制数字表示数据,其精度主要取决于数据表示的位数。通常位数越多,运算精度便越高。多数计算机数据位数为 8, 16, 32, 64 等。为了获得更高的计算精度,还可通过软件增加数据位数。

1.2.4 自动连续地运行

能自动连续地高速运行是计算机和其他一切计算工具的本质区别。计算机一旦启动,其工作不用人工干预,可以按预定的计划完成全部工作。

1.2.5 通用性强

计算机具有很强的通用性。大到探索宇宙空间的奥秘,小至揭示微观世界的规律,计算机都有用武之地。

1.3 计算机系统组成

自第一台电子计算机(ENIAC)问世以来,计算机在规模、性能、结构以及应用领域等方面有了很大的改进。整个计算机家族包括巨型机、大型机、中型机、小型机以及微型机等,其体系结构、运算速度、存储信息的容量、价格等差别很大。从计算机的应用情况看,它已远远超越了“计算”的范围,已渗透到国民经济的各个领域。尽管如此,从计算机的本质来看,其基本工作原理却是大致相同的。

计算机是一个自动化信息加工装置。

必须指出,“自动化信息加工”这个概念是非常重要的。电子计算机按照人们事先安排的程序自动、高速地进行信息加工,它不同于算盘、手摇计算机或电动计算器,也不同于电子计算器(因为这些计算工具或者不具有自动性,或者只能自动进行一次运算而不能执行复杂的计算程序,也不能处理数字以外的信息)。

1.3.1 计算机硬件基本组成和工作原理

1. 计算机硬件的基本组成

由于任何一种电子数字计算机的基本工作原理都相同,并且考虑到计算机实际上是模拟人类手工计算过程而产生的,因而首先应从分析具体的手工计算着手,从中归纳出手工计算的一般规律,借以认识电子数字计算机的基本原理。

例如,若已知 $a=12, b=8, c=256, x=5$, 借助算盘计算 ax^2+bx+c 的值。

为便于计算,将此算式作适当变换:

$$ax^2+bx+c=(a \cdot x+b) \cdot x+c$$

如果在运算时,把寄存十进制数的算盘面记为 R,算盘面上记录的内容记为(R)。还将计算过程的先后顺序预先列表如下:

序号	完成的操作	注 释
0	$0 \rightarrow R$	清除算盘面
1	$12 \rightarrow R$	在算盘上拨 12(即 a 的值)
2	$(R) \cdot 5 \rightarrow R$	算盘中乘上 5(即乘 x)
3	$(R)+8 \rightarrow R$	算盘中加上 8(即加 b)
4	$(R) \cdot 5 \rightarrow R$	算盘中乘上 5(即乘 x)
5	$(R)+256 \rightarrow R$	算盘中加上 256(即加 c)
6	(R) 抄在纸上	抄下运算结果
7	停止	计算结束

上述计算过程中的每一步[例如 $(R)+8 \rightarrow R$ 等]都是指示完成相应操作的命令。这种指示操作的命令称为指令。上面计算过程中按先后顺序列出的 8 条指令构成了解题的完整步骤,即构成了解题程序。编制解题程序的技术称为程序设计技术。

使用算盘解题时,完全依据上述解题程序进行。执行完上述 8 条操作指令后,在算盘 R 中便有如下运算结果: $(12 \times 5 + 8) \times 5 + 256 = 596$ 。

当然,算盘是不能自动运算的,实际运算操作由使用算盘的人按列于纸上的解题程序和数字一步一步进行。所以,使用算盘的人、算盘和记录数据及程序的纸张构成了计算过程不可缺少的必要的组成部分。

电子计算机实际上就是模拟上述解题过程的自动电子装置。为此,计算机必须具备如下几个基本部件。

(1)机器必须能保存和记录原始数据、解题程序、中间结果和最终结果,完成相当于人工计算时所用的纸张的功能。这个部件在计算机中被称为存储器。

(2)机器必须能进行全部的、必需的基本算术运算,因而计算机要有相当于算盘的运算器。

(3)机器应能够按照解题程序或根据中间运算结果自动选择所需的下一步操作。完成这个功能并指挥整个机器协调工作的部件是计算机的控制器。它好像是人的大脑,能判断、决定打算盘和记录数据等动作。

(4)为了使机器能按人的命令工作,需将原始数据和解题程序输送给机器,这需要输入设备。同时,为了将机器计算结果表达给人,还需要输出装置。它们相当于完成上述计算过程中手或眼的功能。

综上所述,为了完成数值计算的功能,电子计算机一般应由五大部件组成。这五大部件相互间的关系如图 1-1 所示。其中,实线表示数据流,虚线表示控制信息流。通常,计算机的运算器和控制器合称为中央处理器,简称 CPU(Central Processing Unit)。中央处理器和存储器合称为主机。

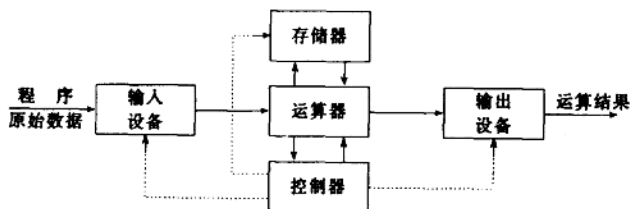


图 1-1 计算机组成框图

实际上,使用算盘解题时,如果只有算盘、纸和笔,而没有运算方法、珠算口诀及解题步骤,解题是无法进行的。同样,利用计算机解题时,如果只有中央处理器、存储器和输入输出设备,而没有运算方法、解题程序等,计算机也无法完成任何解题操作。通常,CPU、存储器、输入输出设备以及其他电气的或机械的装置统称为计算机的硬件;运算方法、解题程序等统称为计算机软件。计算机硬件和计算机软件是构成计算机整体的两个相互依存的部分。计算机硬件是计算机的基础,是软件活动的舞台;计算机软件是整个计算机的主导和灵魂,它将使硬件最大限度地发挥效能。

2. 存储器

(1)存储器功能。计算机进行计算时,必须要有原始数据和程序,它们应在计算机开始工作之前就送入计算机中。存储器就是用来存放这些程序和数据的部件。存储器的基本功能是根据计算机整机工作需要,按指定的位置存入(写入)或取出(读出)信息。

(2)存储器基本组成。存储器一般由存储体、地址寄存器及选址部件、数据缓冲寄存器、读

写控制线路等部件组成。如图 1-2 所示。

(a)存储体。存储体是整个存储器中存放信息的实体,它由大量的存储元件组成。通常为了使计算机便于制造和控制,在计算机中往往采用二进制数码系统,机器中的所有数据和指令均用二进制代码形式表示,存储体就是用于存放二进制代码的。凡是具有两个稳定状态的元件均可用作存储元件构成存储体。目前,存储器一般由半导体元件组成,早期的计算机大多采用磁芯存储元件。

存储体被划分为许多单元,称为存储单元。每个存储单元可存放一个数据或一条指令。为了能按指定位置进行存取,必须给每个存储单元编号,该编号就称为存储单元的地址。存储单元地址

与存储单元一一对应,每个地址都规定了一个惟一的存储单元。要访问某一单元(读出或写入),就应事先给出这个单元的地址。地址编号从 0 开始, n 个单元的存储体编号为 $0 \sim (n-1)$ 。

存储体中每个存储单元所包含的二进制代码的位数称为存储器的字长。同一计算机存储器中,各单元的字长是相同的;不同机器的存储器字长则各不相同。一般小型计算机存储器字长为 16 位或 32 位,微型机存储器字长大多为 8 位。

存储体所具有的存储空间的大小,即所包含的存储单元的总数称为存储器的存储容量。通常在表示存储器容量时,用“存储单元数 $\times$ 存储器字长”的形式,以全面反映存储器规模。例如:“ $1k \times 8$ 位”表示存储体有 1 024 个存储单元,每个单元可存放 8 位二进制代码;“ $64k \times 16$ 位”表示存储器有 65 536 个单元,每个单元可存放 16 位二进制代码。

(b)地址寄存器及选址部件。地址寄存器和选址部件的作用是保存待访问的存储单元的地址,并将这种地址编码转换成使对应单元被选中工作的电信号。

计算机内使用的地址也采用二进制编码表示。这样,地址寄存器的位数必须与地址码的位数完全一致,并且位数还应与存储器的容量对应起来。若存储器的容量为 $1k$,则地址寄存器就应有 10 位($2^{10}=1024$);若存储器容量为 $64k$,则地址寄存器至少应有 16 位。地址寄存器接收由中央处理器送来的地址代码。

(c)数据缓冲寄存器。数据缓冲寄存器用于暂存准备写入存储器中的数据,或暂存从存储单元中读出的数据。读出或写入的数据可以是加工过的数,也可以是指令,它们都是以二进制代码形式表示的。该寄存器的位数与存储器的字长相同,起着存储器与中央处理器交换数据的作用。

(d)读写控制线路。读写控制线路接收从中央处理器送来的“读命令”或“写命令”,并把这种命令变换成控制整个存储器协调工作的时序信号,使存储器准确地完成“读”或“写”操作。

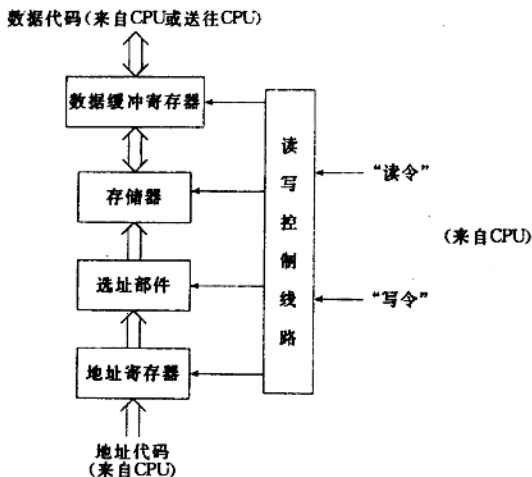


图 1-2 存储器组成

(3) 存储器读写操作。存储器工作时,首先由中央处理器把访问地址送到存储器的地址寄存器,然后根据存储器是写入数据还是读出数据发出相应的命令。如果是由存储器读出数据,则控制器发出读命令。存储器的选址部件按照地址寄存器中的地址查找相应的存储单元,在读命令的作用下,读出其中的代码,并送往数据缓冲寄存器,等待取入到 CPU 中。应当注意的是,这个存储单元中的代码不会由于被读出而受到破坏。

如果要向存储单元写入新的数据代码,则 CPU 必须将待写入的新代码预先置入数据缓冲寄存器中,然后再发出写命令。写操作时,选址部件同样要根据地址寄存器中的地址码查找到相应单元,在写命令的作用下,将数据缓冲寄存器中的数据写入该单元中。同样应当注意的是,一旦向存储单元写入了新的代码,该单元中原存的代码就被替换。

(4) 存储器性能指标。除了存储容量之外,存取周期也是存储器主要性能指标的一个重要指标。所谓存取周期,是指从存储器读出或向存储器写入一个数据所需的时间。该时间越短,存储器的读写速度就越快,计算机的整机性能便可得到提高。此外,存储器的价格也是一个衡量存储器的指标。

(5) 存储器分类。计算机的存储器一般分为两大类:一类存储容量相对较小,但存取周期短,并直接与中央处理器交换信息,这类存储器称为内存,简称内存。图 1-2 所示的就是内存存储器的基本组成。另一类是存储容量足够大,但存取周期相对较长的存储器,它不直接和中央处理器交换信息,而是作为内存的补充,称为外存储器,简称外存,有时也称为辅助存储器,简称辅存。常用的外存储器有磁盘、磁带、光盘等,它们和内存存储信息的机理截然不同。外存不直接与中央处理器交换信息,而是和内存成批交换信息,通过内存与 CPU 通信,其性质类似于输入输出设备,所以在许多场合也把外存归入输入输出设备一类的外部设备。

3. 运算器

(1) 运算器功能。在计算机中,运算器的主要功能是完成加、减、乘、除等算术运算和与、或、非等逻辑运算。它还用于构成数据通路,即数据传输的路径,以满足内部数据传输的要求。

(2) 运算器基本组成。现代电子计算机的运算器一般采用并行运算器,参加运算的两个二进制数的各位可以同时运算。运算器主要由加法器、移位器、寄存器组和控制门等部件组成,如图 1-3 所示。

根据计算机中数据信息的表示和数据信息加工的理论,计算机中的运算一般为二进制运算。计算机中的加法通过相加实现,减法也通过加负数实现,乘法和除法也都是通过相加和移位(左移或右移)来实现。相加和移位是运算器的两个基本操作。因此,加法器和移位器是整个运算器的核心。加法器实现两数(x 和 y)的相加;移位器主要完成将加法器的输出左

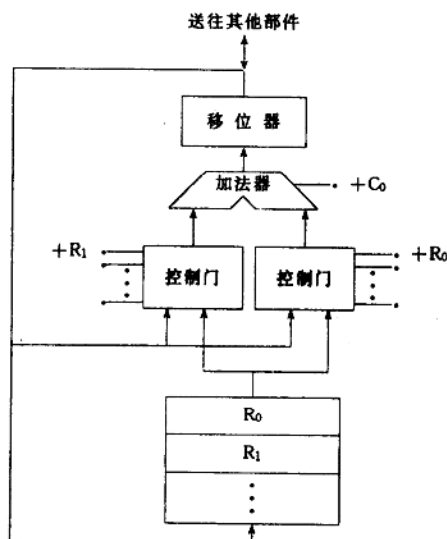


图 1-3 运算器组成框图

移、右移或不移位直送的操作。对于二进制系统,左移一位相当于将数乘以 2,右移一位相当于将数除以 2。移位器的输出经总线送往寄存器组或其他部件中。

运算器中设置寄存器组是现代小型计算机和微型计算机的主要特点之一,其目的是提高运算器的工作速度。寄存器组中往往包含多个寄存器,它们用于保存参加运算的数据或保存运算所得的结果。

由于送到运算器的信息很多,为了进行选择控制,运算器还设置了输入控制门。控制门实际上是一个多路选择逻辑部件,它输入来自寄存器组或计算机其他部件送来的信息,选择其中的某一个信息送入加法器中。多路选择的控制信号,如 $+R_0$ 、 $+R_1$ 等,由控制器送来。控制器正是通过发出不同的多路控制信号来使运算器完成不同的功能。

4. 控制器

(1)控制器功能。控制器是整个计算机的控制中心,它的功能是翻译指令代码,安排操作次序,接收机器各部分的反馈信息,发出适当的命令送到计算机的各个部件,以便完成预定的操作。

(2)控制器组成。控制器常由指令寄存器、指令计数器、指令译码器、地址形成部件、时序部件、微操作控制部件和中断部件等组成,如图 1-4 所示。

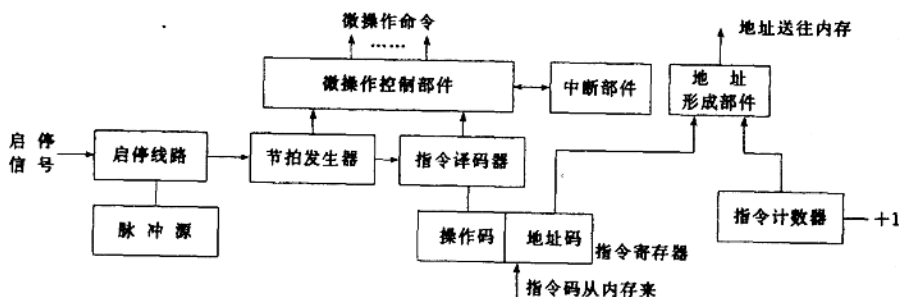
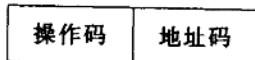


图1-4 控制器组成框图

(a)指令寄存器。电子计算机的解题过程,就是依据解题程序的顺序连续执行指令的过程。而构成程序的指令序列以二进制编码形式存放在存储器中。

指令是指示机器执行何种操作的命令。每台计算机都配备了一定数量的基本指令,这些指令的集合,一般称为指令系统。

指令通常由两部分构成,即操作码部分和地址码部分:



其中:操作码表明指令所规定的操作运算的性质,如加法、减法、数据传送或停机等;地址码部分用来指示参与运算的数据保存在什么地方或运算的结果存于何处。地址码表示的可以是运算器寄存器组中某一个寄存器的编号,或是内存存储器某个存储单元的地址。

在计算机中,指令的操作码和地址码均用二进制代码表示。例如,可以用 01001000 指令表示将 CPU 中 A 寄存器内容与 1000^h 单元的内容相加,结果存于寄存器 A 中。为了便于记忆和

使用,程序工作者往往用符号来表示操作码和地址码。上述指令可用符号指令“ADD (1000),A”表示。

指令寄存器保存着计算机当前正在执行的指令代码,这条指令代码是由存储器读出后送来的。指令寄存器保存的操作码通过指令译码器译码,地址码用于产生访问存储器的地址。

(b)指令计数器。程序是由一系列指令组成的,计算机执行程序的过程实际上就是按照程序中的指令顺序,逐条地执行指令的过程。当程序装入计算机内存时,总是将指令按顺序存放,也就是说,指令存放的地址是一个接一个按顺序递增的。这样,在一般情况下,每取出一条指令执行后,只要将地址加1就可以得到下条指令的地址,从而就能取到下一条指令。

指令计数器就是用于提供待执行指令在内存存放地址,它有时也称为程序计数器或指令地址寄存器。每当CPU向内存取指令时,指令计数器中保存的指令地址被送到存储器的地址寄存器,并按此地址读出指令送到控制器的指令寄存器。与此同时,指令计数器自动地转换成下条指令的地址,为取下条指令作好准备。

在一般情况下,指令是按顺序逐条执行的,因而每执行一条指令,指令计数器就自动加“1”,以给出下条指令的地址。但是在某些情况下,指令并不按存储的顺序执行,因而取指令使用的地址也不按顺序变化,而是由控制器将一个新的指令地址直接置入指令计数器,强行变更指令计数器内容,下一条指令就按这一新的地址从内存中取出执行。这种指令执行顺序的改变,称为转移。

可见,指令计数器有两个主要功能:它既能自动修改,提供顺序变化的指令地址,也能强行设置新的内容,以实现程序的转移或跳跃。设置指令计数器是现代计算机控制器的一个重要特点。

(c)指令译码器。指令的操作码部分用来指示指令的操作性质;指令译码器的功能是解释操作码,产生相应的操作码译码电位,将此电位送往微操作控制部件,进而形成完成该指令所必需的操作命令。

(d)地址形成部件。从存储器取数或存入数据时所送的地址称为操作数地址。指令的地址码部分可以直接给出操作数地址,也可以给出某个修改量,经过一定的运算后形成操作数地址。后者常称为寻址。

地址形成部件的主要作用,就是依据指令地址码形成操作数地址。

(e)时序部件。时序部件包括节拍信号发生器、启停线路和脉冲源等。

计算机是一个极为复杂的电子装置,其工作将依据严格的时序规定进行。计算机的时序信号因机器功能、规模而异,通常分为周期状态、节拍电位和节拍脉冲三级。周期状态、节拍电位、节拍脉冲实际上是宽度不同的“节拍”信号。计算机的每一条指令在执行时,总是划分成若干具体步骤来实现,其中每个步骤都要落实到一个“节拍”去完成。例如,执行一条加法指令时,必须先从存储器取出指令,然后依据这条指令的地址部分形成“操作数地址”,并按照这一地址从存储器中取数,在把操作数送往运算器进行加法运算后,最后将运算结果保存在寄存器中(或内存单元中)。这些步骤都是按时间先后次序一拍一拍地进行的。时序部件的作用就是接收脉冲源的脉冲信号,产生所需的“节拍”控制信号,使整个计算机按照严格的时序要求完成各种操作。

时序信号的发出与否受计算机启停控制线路的控制。启停控制线路将综合各种硬件、程序

的以及人工操作的要求,完成启停控制。

(f)微操作控制部件。所谓微操作,是指计算机中最简单、最初级、不能再进一步分解的操作。例如,打开某个控制门,向某个寄存器发数据接收脉冲等均属微操作。计算机中各种复杂的操作都是由许许多多的微操作组成的。每条指令总是通过若干微操作来完成,这些微操作是通过微操作控制部件向运算器、存储器、输入设备、输出设备以及控制器本身的各个基本部件发出微操作控制命令来完成。

因此,微操作控制部件的主要功能是:综合指令的操作码译码电位,综合时序部件产生的周期状态、节拍电位、节拍脉冲等时序信号,结合指令的操作结果及处理机状态,另加上其他一些条件,发出全机所需的成千上万种微操作控制信号,控制计算机各部件协调地运行。

根据微操作控制部件组成的不同,计算机的控制器可以分为组合逻辑控制器和微程序控制器两种。组合逻辑控制器的微操作控制部件由大量的逻辑电路构成,是一个极其复杂、相当庞大的“树形网络”。微程序控制器中的微操作控制部件设计采用了存储逻辑控制的思想,将计算机中的每一条指令都用对应的微程序段实现,并将这些微程序存放在控制器内的一个高速存储器中。后者在设计、制造、更新扩充功能等方面均优于前者。在现代计算机中,微程序设计技术应用相当普遍。

(g)中断处理部件。中断处理部件的作用是处理计算机工作中遇到的各种随机事件,它使计算机功能大大加强,应用领域大大拓广。

5. 输入输出设备

(1)输入设备。输入设备的作用是将人们编制好的程序和原始数据送入计算机中。它能把数据和程序转换成电信号,并按顺序把它们送到计算机的存储器中。

目前,常用的输入设备有:键盘、鼠标器、磁盘驱动器、扫描仪、光笔、数字化仪等。

(2)输出设备。输出设备把计算机处理的结果送出,它实际上是将机器内的电信号转换成其他形式的信号,例如把数字符号印刷在纸上或者显示在荧光屏上等。

常用的输出设备有 CRT 显示器、各类打印机、磁盘驱动器、绘图仪等。

(3)输入输出设备与主机的连接。输入设备和输出设备统称为外部设备,简称外设。外设的种类繁多,有机电类的,也有电子类的;速度差异很大,复杂程度也各不相同。然而,无论其组成如何,外部设备与主机的连接必须通过输入输出接口完成。

输入输出接口也称 I/O 接口,它是连接主机和外设的逻辑控制部件。输入输出接口的使用,可以使不同型号、不同特性的主机与各式各样的外部设备连接起来;计算机特别是微型机的应用开发,在很大程度上集中于 I/O 接口的开发应用上。

外部设备通过 I/O 接口实现与主机的硬件连接,外设的工作则受中央处理器执行的输入输出指令的控制。

外部设备工作有联机工作和脱机工作两种。联机即外部设备工作直接受中央处理器控制,脱机即外部设备工作不与中央处理器发生直接联系,脱离了主机的控制。脱机工作多用于慢速外部设备。例如,要绘制图形,可直接把计算机处理的结果记录到磁带上,然后利用磁带机和绘图仪连接在一起工作,这时绘图仪工作与主机无直接联系,这样就可以提高主机的利用率。

在计算机用于过程控制的场合,除了主机与外部设备之外,还应该配备外围设备。外围设备由许多与工业对象相互联系的装置组成,包括模/数转换器、数/模转换器、生产过程输入通

道、生产过程输出通道等。它们一方面把控制对象的工况参数取出,经过转换变成计算机能够接收的数字信息;另一方面又可把计算机发出的控制命令转换成改变控制对象状态的信号。计算机根据外围设备采集来的控制对象的工况参数,按照人们预先建立的数学模型和用户通过人机联系设备送来的有关信息,自动地分析、计算、作出判断,向外围设备不断地发出控制命令,控制控制对象。

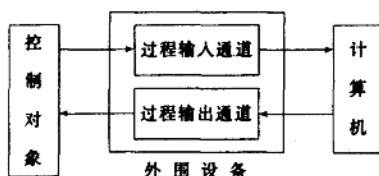


图1-5 工业控制计算机的基本组成

电子计算机与外围设备一起构成的系统称为工业控制计算机,如图1-5所示。

6. 控制台

除上述主要部件之外,控制台也是计算机的一个重要部件。控制台主要用于人-机联系,机器的调试和跟踪,启动运行和状态监控。在小型计算机和微型计算机系统中,通常不设专门的控制台。

7. 计算机的工作过程

计算机的所有工作是由程序事先安排的,计算机的每一步操作是由指令控制的,计算机进行解题的过程实际上就是逐条地执行程序中的指令的过程。执行一条指令的具体步骤如下:

(1)开始执行程序时,将程序的入口地址送入指令计数器中,以指示当前待执行的指令存放在存储器的哪一个单元内。

(2)控制器将指令计数器内容送往存储器的地址寄存器并发出“读指令”,从存储器的相关单元将该指令读到数据缓冲寄存器中。然后,控制器再将这条指令送入到指令寄存器。

(3)由指令译码器分析指令的操作性质,产生操作码译码电位。

(4)几乎在读出指令的同时,控制器自动将程序计数器加1,以形成后继指令的地址。

(5)根据指令的操作性质,结合时序电路产生的时序信号,向存储器、运算器以及有关部件发出微操作控制信号。

(6)在需要由存储器提供运算数据时,控制指令地址码送地址形成部件,形成操作数地址,并送往存储器,又向存储器发出读令取数。

(7)存储器读出的数据送往运算器。与此同时,由控制器发出的微操作控制命令控制运算器对数据进行指令规定的操作。

(8)一条指令执行完后,控制器依据指令计算器的当前值取下一条指令执行(此时,指令计数器当前值即为下一条指令的地址)。

控制器不断地重复上述执行指令的各个阶段(1)~(8),每重复一次,使执行完一条指令,直到整个程序执行完毕为止。

综上所述,电子计算机采用了程序存储和程序控制技术。所谓程序存储,即是在计算机工作之前,预先将工作程序和原始数据存放在存储器中。程序控制指的是在计算机被启动运行后,依据存储的程序控制全机自动、协调地完成预定的任务。

程序存储和程序控制的思想是组成现代电子数字计算机的最基本思想,体现了计算机的基本特征。匈牙利数学家冯·诺依曼首先将此思想用于计算机设计,并一直沿用至今。今天,人们常常把程序存储和程序控制这一基本概念称为冯·诺依曼概念或冯·诺依曼原理。利用