

高等学校教材



JISUANJI YUANLI

计·算·机·原·理

李大友 主编



高等教育出版社

高等学校教材

计算机原理

李大友 主编

高等教育出版社

内 容 提 要

本书总结了作者多年的教学实践经验及当前小型计算机和微型计算机迅速发展的特点,采用软件和硬件相结合的方法,全面地介绍了微型和小型计算机的基本组成、工作原理和汇编语言及其程序设计的其本方法。

本书内容全面、重点突出、由浅入深、通俗易懂。全书人其基础知识与程序设计基础到系统的组成与结构原理都有较全面的论述。每章之后均附有习题和思考题。

本书可作为高等院校非计算机专业教材,也可作为成人高等教育、大学专科计算机专业教材,还可作为高等院校有关专业师生及工程技术人员的参考书。

(京) 112 号

高等学校教材

计算机原理

李大友 主编

高等教育出版社出版

高等教育出版社照排中心照排

新华书店北京发行所发行

高等教育出版社印刷厂印刷

开本 850×1168 1/32 印张 12 字数 300 000

1989 年 9 月第 1 版 1994 年 10 月第 5 次印刷

印数 15 764 - 20 271

ISBN7-04-002288-5/TP·52

定价 6.20 元

前 言

计算机系统由硬件和软件两大部分组成。一个计算机系统要充分发挥其作用，依靠的就是硬件和软件的紧密结合，两者缺一不可。

本书总结了作者多年的教学经验，采用了硬件和软件相结合的方法，介绍计算机的基本组成、工作原理、汇编语言及程序设计的基本方法。全书共分为十章，由六个模块组成。

计算机系统导论属于第一个模块。其目的在于，通过对计算机系统组成、硬件系统结构、存储器组织、中央处理机组织、总线组织、计算机工作过程等内容的介绍，使读者初步建立起计算机的整体概念，明确计算机的工作过程就是执行程序的过程，也就是周而复始地取指令和执行指令的过程。从而为学习以后各章打下较好的基础。

运算基础属于第二个模块。其目的在于，通过对计数方法、数的表示方法、数的编码方法和数的运算方法的介绍，使读者掌握各种进位计数制的表示方法及其之间的转换方法，数在机器中的原码、补码和反码表示方法和运算方法。从而打下必要的运算基础。

逻辑线路属于第三个模块。逻辑线路是构成计算机逻辑线路的基础。虽然计算机很复杂，但是构成计算机逻辑线路的种类却只有有限几种。掌握好基本逻辑线路，就打好了逻辑基础。本章的目的在于，通过对基本逻辑线路和逻辑部件的介绍，建立起良好的逻辑基础。

指令系统以及程序设计技术和程序结构属于第四个模块。目的在于，使读者掌握从程序员角度看到的计算机外特性：掌握寻址方式及程序设计的基本方法。

算术运算逻辑运算及其实现、中央处理机和存储器，这三章构成第五个模块。目的在于，使读者掌握主机的工作原理。

输入输出系统属于第六个模块。主机与外部设备之间的信息交换方式是这一模块要解决的主要问题。

通过上述六个模块的讨论，全面介绍了计算机组成、工作原理及其程序设计的基本方法。

要很好地掌握计算机原理，必须理论与实践紧密地结合起来，也只有通过大量实践，才能真正学到手。为此，在本书每章后面附有习题和思考题，以帮助读者消化有关章节内容。

本书第三、四、九章由姜秀芳同志编写，其它各章由李大友同志编写，全书由李大友同志主编。

本书可作为高等院校非计算机专业学生的计算机原理课教材，也可作为其它有关专业的教学参考书使用。

本书由北京航空航天大学葛本修副教授初审，清华大学吴文虎副教授复审，他们对书稿提出了许多宝贵意见，在此编者表示衷心的感谢。

由于编者水平所限，书中有错误和不妥之处，敬请读者批评指正。

编 者

1988.6

目 录

第一章 绪 论

§1.1 计算机发展过程	(1)
§1.2 计算机目前发展趋势及对未来的展望	(3)
§1.3 计算机应用	(5)
复习参考题	(-8)

第二章 计算机系统导论

§2.1 计算机系统组成	(9)
§2.2 计算机硬件系统结构	(12)
§2.3 存储器组织	(13)
§2.4 中央处理机组织	(16)
§2.5 总线组织	(18)
§2.6 计算机工作过程	(24)
§2.7 程序设计模型	(28)
§2.8 评价计算机系统的主要技术指标	(30)
复习参考题	(32)

第三章 运 算 基 础

§3.1 计数方法	(33)
§3.2 数的表示方法	(40)
§3.3 数的编码方法	(50)
§3.4 数的运算方法	(54)
习题	(60)

第四章 逻辑线路

§4.1 逻辑代数 · 逻辑变量 · 逻辑运算	(64)
-------------------------------	--------

§4.2 真值表和逻辑函数	(67)
§4.3 基本逻辑电路	(71)
§4.4 逻辑代数的基本公式	(76)
§4.5 逻辑函数的代数化简法	(81)
§4.6 触发器	(89)
§4.7 寄存器	(92)
§4.8 计数器	(95)
§4.9 译码器	(97)
§4.10 节拍发生器	(101)
习题	(103)

第五章 指令系统

§5.1 程序设计语言	(105)
§5.2 汇编语言	(108)
§5.3 指令格式与寻址方式	(117)
§5.4 寻址方式举例	(128)
§5.5 指令系统	(156)
习题	(165)

第六章 程序设计技术和程序结构

§6.1 直线程序设计	(169)
§6.2 分支程序设计	(171)
§6.3 循环程序设计	(180)
§6.4 子程序和堆栈技术	(191)
习题	(205)

第七章 算术运算、逻辑运算及其实现

§7.1 加减法运算及加法器	(208)
§7.2 定点乘法	(215)
§7.3 定点除法	(221)
§7.4 逻辑运算	(227)

习题	(229)
----------	-------

第八章 中央处理机

§8.1 中央处理机组成和职能	(231)
§8.2 数据通路及其数据传送	(232)
§8.3 一条完整指令的执行过程	(237)
§8.4 典型中央处理机举例	(240)
§8.5 组合逻辑控制	(253)
§8.6 微程序控制	(257)
复习参考题	(270)

第九章 存 储 器

§9.1 存储器的职能、分类和组成	(271)
§9.2 半导体随机存取存储器	(273)
§9.3 半导体只读存储器	(284)
§9.4 中央处理机与存储器的连接	(286)
§9.5 磁表面存储器	(293)
习题	(307)

第十章 输入输出系统

§10.1 概述	(308)
§10.2 程序传送方式	(309)
§10.3 中断系统, 程序中中断传送方式	(315)
§10.4 直接内存访问(DMA)传送方式简介	(326)
复习参考题	(329)
附录一	(331)
附录二	(342)

第一章 绪 论

数字电子计算机的出现是近代重大科学成就之一。它的出现,有力地推动了其它科学技术的发展。它在科学研究、工农业生产、国防建设以及社会生活等方面,都得到越来越广泛的应用。70年代以后,由于采用大规模集成电路,使得计算机的发展更加迅速。计算机科学技术不断取得新的进展,已成为独立的学科,其应用范围已普及到各个领域。

本章将对计算机的发展过程、计算机目前的发展趋势以及其应用范围作一扼要的介绍。

§ 1.1 计算机发展过程

从1946年第一台电子数字计算机诞生以来,它的发展经历了四代,目前正在向第五代过渡。虽然各代之间难以找到严格的时间界限,但总有一个大家公认的大致范围。

一般说来,从1946年到1959年为第一代。第一代计算机的主要特点是:计算机所使用的逻辑元件为电子管;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;软件主要使用机器语言,符号语言已开始使用;应用以科学计算为主,应用方式主要是成批处理。

用现在的眼光来看,那时的计算机相当落后,是很原始的,体积庞大,运算速度很慢,内存储器容量很小,可靠性不高。例如,1946年出现的第一台计算机,内存储器容量为17k位,字长只有二进制的12位,加法运算速度为5000次/秒,使用了18800个电子管,重量为30吨,耗电量为150千瓦,价值40万

美元，占地面积达 150 平方米。尽管如此，它却确立了计算机发展的技术基础，如数字编码，自动运算方式和程序设计等。

从 1959 年到 1964 年为第二代。这一代的主要特点是：逻辑元件采用晶体管；以磁芯存储器作为主存储器，辅助存储器已开始使用磁盘；软件已开始使用操作系统及高级程序设计语言；应用已从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。

第二代计算机在计算速度、存储器容量和可靠性等方面都比第一代计算机提高了一个数量级(十倍到九十九倍之间)；在结构上已向通用型方向发展。

从 1964 年美国 IBM 公司的 IBM360 系列计算机问世起到 60 年代末为第三代。其特点是：逻辑元件采用小规模集成电路；主存储器还是以磁芯存储器为主；机种多样化、系列化；外部设备不断增加，品种繁多，尤其是终端设备和远程终端设备发展迅速，并与通讯设备结合起来；操作系统进一步发展和普及，高级程序设计语言发展很快，出现了多种高级语言。

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又提高了一个数量级，系统结构方面有了很大改进。应用方面已广布于生产过程控制、数据处理和科学计算等各个领域。

计算机的第四代系指全面采用大规模集成电路的时代。1970 年研制成功并于 1971 年正式投产的 IBM370 系列机，首先使用了大规模集成电路做主存储器，由于逻辑电路还是采用小规模集成电路，所以有人称它为三代半计算机。1975 年研制成功的 470V/6 和 M-190 计算机，其主存储器和逻辑电路均采用大规模集成电路，可以作为第四代计算机的代表。

第四代计算机的另一个特点是在软件和硬件方面有更多的相互结合。

在应用方面，此时已进入以网络为特征的时代。

§ 1.2 计算机目前发展趋势及对未来的展望

计算机目前已全面进入第四代，并向超大规模集成电路时代过渡。第五代计算机的研制工作，在日本和美国已经开始，并投入大量的人力和物力，人工智能计算机已开始出现。

当前，计算机发展的主要特点是向巨型化、微型化、网络化和智能化等方面发展。

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。一般速度要在每秒五千万次以上，以至每秒运算速度为十亿次甚至百亿次。主存储器容量要在 10M 字节甚至 100 M 字节以上。

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科学分支的发展。

微型化，就是发展微处理机和微型计算机。

微型计算机是 1971 年出现的。它是大规模集成电路发展的产物，它的发展又促进了大规模和超大规模集成电路的发展。

微型计算机的发展是以微处理机的发展为表征的。所谓微处理机就是将传统的运算器和控制器集成在一块大规模或超大规模集成电路芯片上，作为中央处理单元。这种单元称之为微处理器或微处理机。以微处理机为核心，再加上存储器和接口等芯片，便构成了微型计算机。

以微处理机为核心的微型计算机属于计算机的第四代产品。微处理机自 1971 年诞生以来，在短短的十几年里，微处理机自身已发展了五代产品，几乎每隔二三年就要更新换代。

1971 年至 1973 年为第一代。其典型产品为 INTEL4004 和 INTEL8008 微处理机，字长 4 ~ 8 位，集成度约在 2000 器件 / 片，时钟频率为 1MHz、指令周期为 20 μ s。

1973年至1975年为第二代。其典型产品为INTEL8080和M6800微处理机,字长8位,集成度约在5000器件/片,时钟频率为2MHz,指令周期在 $2\mu\text{s}$ 左右。可见,第二代产品比第一代,其集成度提高了一倍,速度提高了十倍。

1975年至1977年为第三代。其典型微处理机产品为INTEL8085、M6802、Z80,字长8位,集成度约在1万个器件/片,时钟频率为2.5MHz~5MHz,指令周期在 $1\mu\text{s}$ 。也就是说,集成度和速度又提高了一倍。

1978年至1980年微处理机进入超大规模集成电路时代,通常称为第四代。其典型产品为INTEL8086、M6809和Z8000,字长16位,集成度约在3万个器件/片,时钟频率可达5MHz以上,指令周期小于 $0.5\mu\text{s}$ 。

1981年至现在已产生了第五代产品。如iAPX43201和M68000,字长32位,集成度约在10万个器件/片,时钟频率可达10MHz以上,指令周期可到100ns以下。

1985年公布的M68020微处理机芯片,集成度为20万个器件/片,时钟频率为16.67MHz,这种芯片目前时钟频率已达到25MHz。近两年推出的INTEL80386和M68030微处理机芯片,不但性能进一步提高,而且在内部系统结构方面已采用了某些大型机和超级小型机采用的先进技术。

总之,微处理机发展十分迅速。目前,以高档微处理机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小型计算机系统水平。

由于微型机具有高可靠性,高速度,大容量,低价格等特点,在性能价格比方面占有绝对优势,因此它已开拓了计算机广泛普及应用的新纪元。

网络化,就是说,计算机发展到今天,计算机网络,尤其是以微型计算机为主的计算机局部网,发展十分迅速,并且已十分普及。

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讯线路相互连接起来，形成彼此能够相互通讯的一组相关的或独立的计算机系统。它们有数据传输等功能，并具有共享数据、共享硬件和软件以及均衡负荷等优点。

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。目前世界上最大的和较完善的计算机网络是由美国国防部高级研究局建造的 ARPA 网。它使用高速传输线把不同地点的计算机系统连接起来，不但涉及美国国内，还把英国、挪威等国家的某些计算机系统连到网内，通过通讯卫星实现信息传送。

计算机网络已在交通、企业管理、气象预报、航空航天系统和情报检索等领域得到较为广泛的应用。

智能化，就是使计算机具有人工智能。当前在一些国家已大力开展具有学习功能、自动进行逻辑判断的人工智能计算机的研究。智能模拟是在计算技术和控制论研究的基础上发展起来的，是自动化发展的高级阶段。智能模拟系指让计算机能够进行图象识别、定理证明、研究学习、探索、联想、启发、理解人的语言等活动的过程和机理。

展望未来，在计算机的发展过程中，必将有很多新的突破。但从目前的发展趋势来看，未来的计算机将是半导体技术、光学技术、超导技术和电子仿生技术互相结合的产物。集成光路、超导器件以及电子仿生技术将进入计算机，从而产生光学计算机、超导计算机和人工智能计算机等全新的计算机。届时，计算机技术将发展到一个更高更先进的水平。从而也将更进一步推动四个现代化事业的飞速发展。

§1.3 计算机应用

由于计算机具有很高的运算速度、很大的存储容量，并且具

有逻辑分析和逻辑判断能力，所以它已得到十分广泛的应用。据不完全统计，其应用场合已达千、万种之多。从导弹的弹道计算到导航；从工业生产的计划调度到生产的过程控制；从铁路运输的计划统计到机车运行的自动调度；从自动售货到银行存取自动化；从医学自动生化分析到自动问诊、提出治疗方案、开据处方；从儿童玩具到整个家庭生活计划管理和控制等等，应用实例不胜枚举。我们不可能把所有应用逐项列出，但我们可以把它概括为以下几类。

一、应用于科学计算

在现代科学技术工作中，科学计算问题是大量的和复杂的。利用计算机的高速性、大存储容量和连续运算的能力，可实现人工无法实现的各种科学计算问题。

例如，高层建筑的结构力学分析，薄板理论计算、光路系统的数学分析等各种数学和物理问题的科学计算，都需要计算机来做得力助手。

由于计算机强大的解题能力，大大改变了工程设计和产品设计的面貌。很多设计，在过去由于计算工作量十分庞大而无法进行或只能采用粗略近似的算法。使用计算机之后，由于运算速度可以提高成千上万倍，过去人工计算需要以年或十年为单位才能完成的，现在用几天、几小时，甚至几分钟就可以得到十分满意的结果。从而也就可以采用更精确的算法，甚至可对不同计算方案进行比较，以获得最佳方案。

二、应用于数据处理

所谓数据处理，系指企业管理、会计、统计、生物化学分析、医学、资料管理和试验资料整理等计算方法比较简单，但数据处理量比较大的数据加工、合并、分类等方面的工作。

数据处理是计算机应用的十分重要的一个方面。据统计，用于数据处理的计算机在所有应用方面是占比例最大的。

三、自动控制方面的应用

利用计算机实现单机或整个生产过程的控制，不仅可以大大提高自动化水平、减轻劳动强度，而且可以提高控制的准确性、提高产品质量及成品合格率。因此，近年来在机械、冶金、石油化工、电力、建筑以及轻工业等各个部门已得到十分广泛的应用，并且获得了非常好的效果。

如，在机械工业方面，用计算机控制机床、控制整个生产线以至控制整个车间和整个工厂。不仅可以实现精度要求高、形状复杂的零件加工自动化，而且可以使整个生产线，整个车间甚至整个工厂实现全盘自动化。

又如，在石油化工工业方面，可对液面高度、温度、压力、流量和对液体、气体的化学成分等工艺参数进行过程控制，也可实现整个车间，甚至整个工厂的生产过程控制，可以实现无人化的工厂。

四、计算机辅助设计、辅助制造和辅助测试

所谓计算机辅助设计(CAD)，就是用计算机来帮助设计人员进行设计。

例如，在电子计算机的设计过程中，可以使用 CAD 技术进行体系模拟、逻辑模拟、插件划分、自动布线等，从而大大提高了设计工作的自动化程度。

又如，在建筑设计过程中，可以使用 CAD 技术进行力学计算、结构设计、绘制建筑图纸等，这不但提高了设计速度，而且可以大大提高设计质量。

所谓计算机辅助制造(CAM)，就是用计算机来进行生产设备的管理、控制和操作的过程。

例如，在产品的制造过程中，应用计算机来控制机器的运行，处理生产过程中所需要的数据，控制和处理材料的流动以及对产品进行测试和检验等。

在生产过程中，使用 CAM 技术能提高产品质量、降低成本、

缩短生产周期、改善劳动条件。

所谓计算机辅助测试(CAT),就是利用计算机进行产品测试。

例如,在生产大规模集成电路的过程中,由于电路复杂,用人工测试往往比较困难,不但效率低,而且容易损坏产品。而利用计算机进行测试,就可以自动地测试集成电路的各种交、直流参数、逻辑关系,并且可以实现产品的分类和筛选。

五、系统仿真

所谓系统仿真,就是利用模型来模仿真实系统的技术。

为实现系统仿真,首先要建立一个数学模型,再应用一些数值计算方法把数学模型变换成可以直接在计算机中运行的仿真模型。通过对模型的试验,便可以了解实际系统(或过程)在各种内、外因素变化的条件下,其性能的变化规律。

例如,可以将反映自动控制系统的数学模型选入计算机,利用计算机来研究自动控制系统的运行规律等。

总之,数字电子计算机和其它机械相比,其最大的不同之处在于,它能代替一部分特定的脑力劳动,从而大大提高了自动化水平。电子计算机所带来的影响,远远超过了蒸汽机和电的出现所带来的影响。如果说,第一次工业革命是以蒸汽机为代表的动力革命的话。那么,第二次工业革命就是以电子计算机为代表的信息革命。人类把更多的人脑的机械思维活动交给电子计算机去做,而集中更多的精力用于从事更高级的创造性劳动。

电子计算机在实现四个现代化的进程中,将发挥出巨大的“光”和“热”,将为四化大业做出卓越的贡献。

复习参考题

1. 根据所使用的逻辑元件的不同,计算机的发展可分为哪几代?其主要特点是什么?
2. 计算机目前发展趋势是什么?各有什么特点?
3. 计算机的应用,概括起来应包括哪些方面?简要说明之。

第二章 计算机系统导论

本章首先说明计算机系统由硬件系统和软件系统两大部分组成，并对硬件系统和软件系统的具体组成作介绍，说明硬件和软件之间的关系以及人是通过软件系统来使用硬件系统的。

然后，重点讨论典型的单总线硬件系统结构，存储器组织、存储器的读写工作过程，中央处理机组织，总线组织。在此基础上，将中央处理机、存储器和总线连接起来构成计算机的主机，通过具体例子说明计算机的工作过程就是执行指令序列的过程，也就是周而复始地取指令和执行指令的过程。

最后，我们给出计算机的程序设计模型和评价计算机性能的主要技术指标。

§2.1 计算机系统组成

计算机系统由硬件子系统和软件子系统两大部分组成。

所谓硬件子系统(简称硬件系统)系指构成计算机系统的物理实体或称物理装置。它包括构成计算机的各大部件和外部设备。

计算机各大部件由中央处理机(它包括运算器和控制器)、存储器和输入/输出接口等部分组成。

外部设备包括输入设备(如键盘、卡片输入机等)、输出设备(如CRT显示器、行式打印机等)。

计算机硬件系统组成如图2.1.1所示。

图中，中央处理机是计算机的运算和控制中心，用来实现算