

计算机 组成原理

刘子良 孙贞运 陈欣荣 编著



吉林科学技术出版社

计算机组成原理

刘子良

孙道运

陈欣荣

编著

江苏工业学院图书馆
藏书章

吉林科学技术出版社

【吉】新登字 03 号

计算机组成原理

刘子良 孙贞运 陈欣荣 编著

责任编辑:珂 丽

封面设计:杨玉中

出版 吉林科学技术出版社 787×1092 毫米 32 开本 20.5 印张

插页 4 452,000 字

1995 年3月第1版 1995 年 3月第1次印刷

发行 吉林省新华书店 印数:1—7 000 册 定价:16.80 元

印刷 长春市第十一印刷厂 ISBN 7-5384-1487-8/TP·28

出版说明

本书是计算机及应用专业系列教材之一，本系列教材是根据机械电子工业部教育司领导制订的《计算机及应用专业（函授，大专）人才培养规格》及相应的教学计划的总要求，按由编委会审查通过的各门课程的教学大纲和编写大纲编写而成。参加教材编写的人员都具有丰富的教学经验，各书的主编都由有副教授以上职称的教师担任，并经高职称的专家教授审定，这就为保证这套教材能高质量高水平的出版奠定了基础。

根据需要，《电子计算机及应用专业》大学专科教材有：《BASIC 语言》、《离散数学》、《计算机组成原理》、《微型计算机组成原理》、《微型计算机控制系统》、《数据库系统原理》、《电子技术》、《数字逻辑》、《PASCAL 语言程序设计》、《数据结构》、《操作系统原理》、《汇编语言程序设计》、《高等数学》、《普通物理》等 14 种书，以后根据需要与可能，将陆续出版一些选修教材。

本系列教材在体现大专层次、成人对象、业余函授等基本特点的同时，也考虑了本科和全日制教学的需要；在取材上立足于三基（基本理论、基本概念、基本技能），着眼于应用，并具有一定的先进性；在叙述上力求可读和易懂。

本系列教材的出版，必将有利于深化成人高等教育的改革和质量的提高。

本系列教材的编写和出版是在机械电子工业部教育司的关心和领导下进行的，在书稿的出版过程中又得到吉林科学技术出版社的大力支持。在此，对上述单位表示谢意。

即 出 版

《计算机及应用》系列教材编委会

本系列教材的编写和出版是在机械电子工业部教育司的关心和领导下进行的，在书稿的出版过程中又得到吉林科学技术出版社的大力支持。在此，对上述单位表示谢意。

本系列教材的编写和出版是在机械电子工业部教育司的关心和领导下进行的，在书稿的出版过程中又得到吉林科学技术出版社的大力支持。在此，对上述单位表示谢意。

本系列教材的编写和出版是在机械电子工业部教育司的关心和领导下进行的，在书稿的出版过程中又得到吉林科学技术出版社的大力支持。在此，对上述单位表示谢意。

前 言

本书是根据国家机械电子工业部组织编写的高等教育系列教材之一。

本书由吉林工业大学刘子良、电子科技大学孙贞运、江苏工学院陈欣荣合编，由刘子良担任主编，燕山大学邹沐昌同志担任本书主审。编审者均以机电部《计算机及应用》教材编委会审定的编写大纲为依据进行编写和审阅。

本教材参考教学时数为 80~90 学时，主要讲述计算机各大部件的工作原理、逻辑实现、设计方法及相互连接构成整机的技术，重点讲解指令流程、CPU 组织与控制、微程序控制、中断、DMA、I/O 接口等内容，并对半导体存储器、磁表面存储器、打印设备及显示装置等 I/O 设备作了系统介绍。书中的内容比实际教学时数略多，在进行教学时，可根据具体情况进行选取。

本书不是以某种计算机为主来组织内容的，而是联系了较多的国内外计算机类型中较为成熟的先进技术从横向到纵向进行阐述，力求作到深入浅出。本书在叙述上力争适宜自学、做到条理清晰、层次分明、重点突出。每章末尾还配有习题与思考以巩固所学的知识。

| | |
|--|-------|
| 第三章 半导体存储器组织 | (166) |
| § 3.1 概述 | (166) |
| § 3.2 半导体 RAM 存储单元 | (174) |
| § 3.3 半导体只读存储器 | (196) |
| § 3.4 半导体存储器设计 | (205) |
| § 3.5 相关存储器简介 | (215) |
| § 3.6 双口存储器简介 | (218) |
| 习题与思考 | (220) |
| 第四章 磁表面存储器 | (226) |
| § 4.1 磁表面记录原理 | (226) |
| § 4.2 磁盘存储器 | (243) |
| § 4.3 磁带存储器 | (278) |
| § 4.4 存储系统的层次结构 | (290) |
| 习题与思考 | (294) |
| 第五章 指令系统 | (299) |
| § 5.1 概述 | (299) |
| § 5.2 地址结构 | (301) |
| § 5.3 操作码结构 | (311) |
| § 5.4 寻址方式 | (314) |
| § 5.5 指令类型与功能设置 | (335) |
| § 5.6 精简指令系统计算机 RISC 简介 | (353) |
| 习题与思考 | (355) |
| 第六章 CPU 的组织与控制 | (361) |
| § 6.1 CPU 的基本组成部件及连接方式 | (361) |
| § 6.2 CPU 与 MEM、I/O 设备之间的连接与信息交换 | (370) |
| § 6.3 控制方式与时序 | (371) |
| § 6.4 控制器组成 | (380) |
| § 6.5 模型机的总体设计 | (382) |
| § 6.6 组合逻辑控制器设计 | (393) |

| | |
|-------------------------------|-------|
| 习题与思考 | (428) |
| 第七章 微程序控制 | (433) |
| § 7.1 微程序设计的基本概念 | (434) |
| § 7.2 微指令控制字段的组成与设计 | (440) |
| § 7.3 微指令顺序控制字段的组成方式与设计 | (449) |
| § 7.4 微指令格式 | (457) |
| § 7.5 微程序时序 | (458) |
| § 7.6 模型机的微程序设计 | (461) |
| § 7.7 微程序设计技术的评价 | (480) |
| 习题与思考 | (483) |
| 第八章 输入/输出设备 | (488) |
| § 8.1 概述 | (488) |
| § 8.2 键盘输入设备 | (490) |
| § 8.3 CRT 显示器 | (496) |
| § 8.4 打印设备 | (504) |
| § 8.5 通讯设备简介与串行通讯的代码格式 | (514) |
| § 8.6 图形设备 | (518) |
| 习题与思考 | (526) |
| 第九章 输入/输出系统与外围接口 | (531) |
| § 9.1 概述 | (531) |
| § 9.2 程序直接控制 | (542) |
| § 9.3 程序中断控制 | (554) |
| § 9.4 中断接口 | (587) |
| § 9.5 DMA 通道 | (597) |
| § 9.6 I/O 通道简介 | (613) |
| § 9.7 单总线数据传递的异步操作 | (625) |
| § 9.8 通用接口举例 | (633) |
| 习题与思考 | (639) |

第一章 绪 论

计算机技术的发展是人类智力的延伸，然而人类对自身智力的规律性尚无充分的认识，因此，作为一种延伸的计算机技术，自然地也尚属于探索阶段。

作为绪论，本章将简要回顾计算机原理的发展史。其次，我们着眼于实际机器级，概括地介绍各部件的基本组成方法和工作原理。然后，从整体上概述计算机系统的硬件组成与层次结构，以期成为初学者建立整机概念的主要环节。

§ 1.1 计算机原理与发展

计算机工业形成于 40 年代末期，成熟于 50 年代。那一时期的计算机所表现出来的特点是：计算机能力集中于庞大笨重的中央处理机，而输入输出设备则很有限。计算机所使用的元件为电子管，不仅耗电量大，同时又是造成体积庞大的主要原因。主存储器采用磁鼓，因此主存容量只有几百个至几千个字，主存工作周期一般为几百 μs 至几 ms ；辅助存储器已开始采用磁带机；数据表示主要是定点表示；软件主要使用机器语言，符号语言已经开始出现并开始使用。此外，作业是按序成批的方式进行的这一时期是电子管计算机时代，人们认为这是计算机技术的第一代。

那时的计算机是很原始的，体积庞大，运算速度很慢，

内存容量很小。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。

第二代计算机约从 1958 年起至 1964 年为止。引起计算机技术变革有两个原因：其一，1948 年贝尔实验室发明了晶体管。到了 1957 年至 1958 年间晶体管开始应用于计算机；其二，宇航事业的发展需要既非常可靠又小巧灵活的先进计算机来导航和控制。这就引起了对集中计算机原理进行一场变革，形成新的设计思想，即将各级的计算能力分配到远离中央处理机的地方去。最初由当地的控制设备开始处理，然后要经过若干级预处理才能与远地的中央处理机进行通信，即将集中处理变为分级进行。这一时期计算机所表现出来的特点是：晶体管代替了电子管、用铁淦氧磁芯作主存储器、引入变址寄存器和浮点运算硬件并利用 I/O 处理机提高输入输出能力(如 1960 年 IBM 完成的 7094 机)，甚至采用快速浮点运算器进行并行运算，采用串行运算器进行定点及字符处理，并且开始采用多道程序技术使 CPU 与 I/O 设备并行工作，第一次采用了海明纠错码和先行控制，使多达 6 条指令可以重迭执行(如 1961 年 IBM 完成的 Stretch 计算机)。1959 年美国人巴登提出了堆栈计算机的设想。1963 年 Burroughs 公司推出第一台堆栈式计算机 B5000。在软件方面开始使用 FORTRAN, COBOL, ALGOL 等高级语言以简化程序设计。此时，建立了子程序库和批处理管理程序，并开始使用操作系统，通过操作系统以及硬件实现了在 16KW 的磁芯主存储器及 4 台磁鼓构成的辅助存储器之间以页为单位的自动调度(如 1961 年前后曼彻斯特大学运行的 Atlas 计算机)。这些对计算机的普及和应用产生了深远影响。

随着集成电路工艺技术的发展，一个芯片甚至于可以实

现好几个逻辑功能，这就导致了第三代计算机技术的到来。这一代从 1964 年延续到 70 年代中期。特点是：用集成电路 IC(Integrated Circuit)代替分离晶体管。一般用的 IC 为小规模集成电路 SSI(门密度为 1~10 门/片)和中规模集成电路 MSI(门密度为 20~100 门/片)，这样的芯片可以用作整机系统的一个功能逻辑部件。这代计算机由半导体存储器代替了磁芯存储器，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的不断发展并与通讯设备结合起来，广泛使用微程序设计技术，简化了处理机的设计，提高了处理机的灵活性；同时，由于多道程序、并行处理等新技术的引进，在系统结构上开始突破冯·诺依曼型结构。这一时期计算机技术的另一个特点是空间上展开，时间上并行的功能分散方式，CPU 开始采用多个专用运算器(如 CDC6600 机，有 9 个)，主存储器分散为多个模块进行交叉存取，而且每台 I/O 处理机都有自己的存储器。陈列结构、链式向量流水线结构成为这一时期巨型机的代表特点。在软件方面，操作系统的成熟及其功能的日益强化是第三代计算机的显著特点。多处理机，虚拟存储系统以及面向各种用户的软件的发展，大大地丰富了计算机软件资源。所谓的标准化，模块化、系列化已成为这一时期计算机设计的基本思想。最有代表性、最有影响的是 IBM 公司 1964 年研制成功的 IBM360 计算机系列。该系列内各种型号的计算机软件是兼容的，即在一种型号上运行的程序可以不加修改的在其他型号计算机上运行。之后研制出的 IBM370 系列、IBM303X 系列和后来又推出的 IBM4300 系列，都是向上兼容的。另一有影响的大型计算机是 CDC 公司 1964 年研制成功的 CDC6600 计算机和后来又推出的 CYBER 计算机系列。60 年代中期，小规模计算机开始

正式称为小型计算机。MSI 使得小型机可以兼备大型处理机的许多特点，如 PDP-11 系列机和 VAX-11 系列机等。

总的来说，第三代计算机在存储容量、运算速度和可靠性等几个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，使用遍及工业控制、数据处理和科学计算等各个领域。

计算机技术发展进入第四代是从 1975 年开始的！其特点是以大规模集成电路 LSI（门密度几百门~几千门/片）作为计算机的主要功能部件，用 16K，64K 或集成度更高的半导体存储单元作主存储器，主存容量一般为 0.5~1 兆字。在系统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，同时提出了不少关于体系结构的新思想，例如，数据流计算机、动态体系结构计算机等等。每秒 1 亿 5 千万次的巨型机已投入运行。每秒运算十亿次甚至百亿次的巨型机正在研制中，巨型机的发展集中体现了计算机科学的研究水平。

计算机技术发展的另一个重要分支，是以 LSI 技术支持的微处理机和微型计算机，微型计算机的出现使计算机进入了革命性的时代，数字系统的基本构件不再是电子元件，而是各种功能单元。MSI 将各种逻辑功能、存储器和接口放在几种半导体芯片里，LSI 已成功地把一个中央处理机做一个芯片上。自从 1971 年第一块微处理器问世以来，获得了惊人的发展。它的性能和集成度每二年增加一倍。1977 年左右，超大规模集成电路（VLSI）工艺宣告成功。1978 年，16 位微处理器问世。从计算机原理的发展史来看，16 位微型计算机的发展有两条途径：其一是，原有的小型机 LSI 化；其二是，在 8 位微处理器的基础上开发、研制 16 位机。

到了 80 年代初, 32 位微处理器的出现使微处理机开始进入一个崭新的时代。32 位微型机从结构特点、功能、应用范围等方面看, 实际是过去的小型机微型化。近年来, 微型机大多数是在操作系统控制下运行的, 其中最多任务数可达 256 个之多, 很多有网络支持, 实时处理的支持, 都有软盘、硬盘、磁带、行打印机等外部设备配备。所以, 在功能上微机不微, 相反, 他们之中有不少超过了 60 年代, 甚至 70 年代的某些中、小型机。目前所谓的微机只不过微在其物理尺寸而已, 而大型机的几乎所有特点, 正在所谓的微型机中出现。因此, 从计算机原理发展史的观点出发, 大、中、小、微这种区别是否还有实际意义很值得考虑, 甚至于对以 IC 为工艺手段的计算机, 是否还能称为微型计算机也有讨论的余地。总之, 微处理机和微型计算机的出现, 不仅影响着计算机技术本身的发展, 同时也使计算机技术更迅速地渗透到社会与生活的各个领域。

电子计算机经历了四代变革, 但其基本思想一直遵循冯·诺依曼计算机结构的原理。日本在 80 年代初制定了发展第五代计算机的计划, 突破冯·诺依曼结构原理, 功能设置如下:

- ①能识别自然语言(文字、语音)、图形、图象。
- ②根据自身存储的知识进行推理, 求解问题。
- ③具有知识库管理功能, 计算机内存储大量知识, 可供检索。

毫无疑问, 随着超大规模集成电路的发展, 以及新的计算机系统结构的发展, 以知识处理系统为特征的新一代计算机系统在不远的将来将会出现。

§ 1.2 诺依曼体制

第一台电子数字计算机是 ENIAC (Electronic Numerical Integrator And Calculator), 它是在 John Mauchly 和 J. Presper Eckert 的指导下, 于 1946 年在宾夕法尼亚大学建造的。ENIAC 机采用了十进制数制, 它的数据存放在由 20 个电子累加器组成的工作存储器中, 其中每一个都能容纳一个带符号的十位十进制数。一个十进制数字存放在由 10 个真空管触发器以闭合回路连接而成的环形计数器中。进行编程时, 先要人工对 6000 个多位开关进行机械定位, 然后用插入与拨出导线插头的方式来编制程序。这种原始的机械式编程方法效率很低, 这就促使设计者发展“存储程序”这一设计思想。这一设计思想体现在 1945 年提出的 EDVAC (Electronic Discrete Variable Computer) 的试制方案中。

作为 ENIAC 的设计顾问, EDVAC 的主要倡导者, 数学家冯·诺依曼 (Von Neumann) 教授在一篇题为“初步探讨电子计算机装置的逻辑结构”一文中, 提出数字计算机设计的一些思想, 概括起来有如下一些要点:

① 指出了 ENIAC 的开关定位和转插连线只不过代表一些数据信息, 它可以象受程序管理的那些数据一样, 即程序和数据同存于一个存储器, 这就是所谓“存储程序思想”。

② 进行内部操作的指令、数据一律采用二进制数制, 而不是十进制数制。

③ 程序能通过算术运算修改它自己的指令。

④ 在吸收了各种早期计算机精华的基础上, 提出计算机系统应该由运算器、存储器、控制器、输入装置和输出装

置五大基本部分组成，并规定了这五大部分的 basic 功能。这些理论，奠定了现代计算机的基本设计思想。直至目前为止，大多数计算机仍沿用这一体制，称诺依曼体制。

§ 1.3 计算机的基本组成

人们经常提到的诺依曼机与原始的以运控为中心的冯·诺依曼计算机在结构上有很大的改进，现在已转向以存储器为中心的计算机组成方式，如图 1-1 所示。

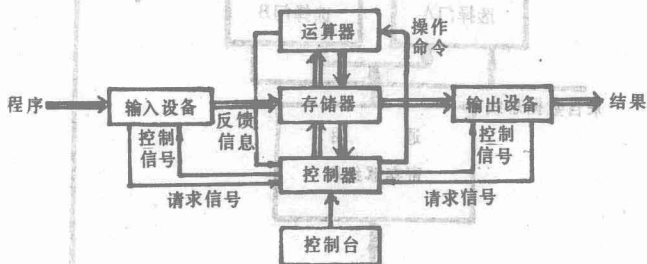


图 1-1 计算机基本组成框图

它由：输入设备、存储器、运算器、控制器、输出设备五大部分组成。运算器与控制器统称为中央处理机 CPU，又习惯将输入输出设备统称为 I/O 设备。

要了解计算机是怎样进行自动运算的，还须对运算器、存储器、控制器和 I/O 设备等部件进一步讨论才行。

1.3.1 运算器 ALU 的结构

运算器是数据处理部件，用以实现算术运算、逻辑运算及信息传送。由于任何数学问题最终都可以用加法和移位这两种最基本的操作来完成。所以，运算器的功能就是实现加

法和移位。这就决定了它的最基本的结构，如图 1-2 所示。

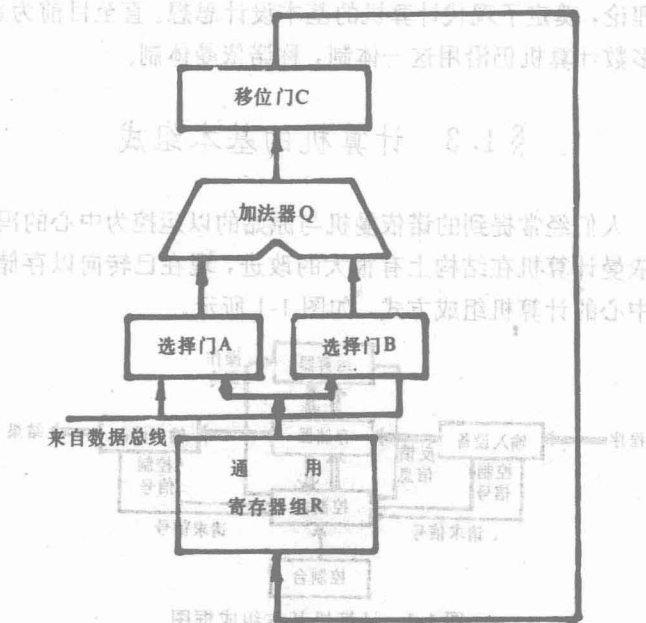


图 1-2 运算器结构框图

由图 1-2 可知，运算器由加法器、输入数据选择门、输出数据分配门和通用寄存器等部分组成。参加运算的数据来自通用寄存器 R 或其它部件，经输入门 A、B 送至加法器 Q，在 Q 中完成加法运算，然后送至移位门 C，在 C 中实现移位（根据需要可左移、右移或不移位）。输出门送出的数据就是完成了加法和移位的运算结果。这一运算结果，根据需要可送到通用寄存器、地址寄存器和数据寄存器。

有关运算器的详细内容在运算方法和运算器一章介绍。