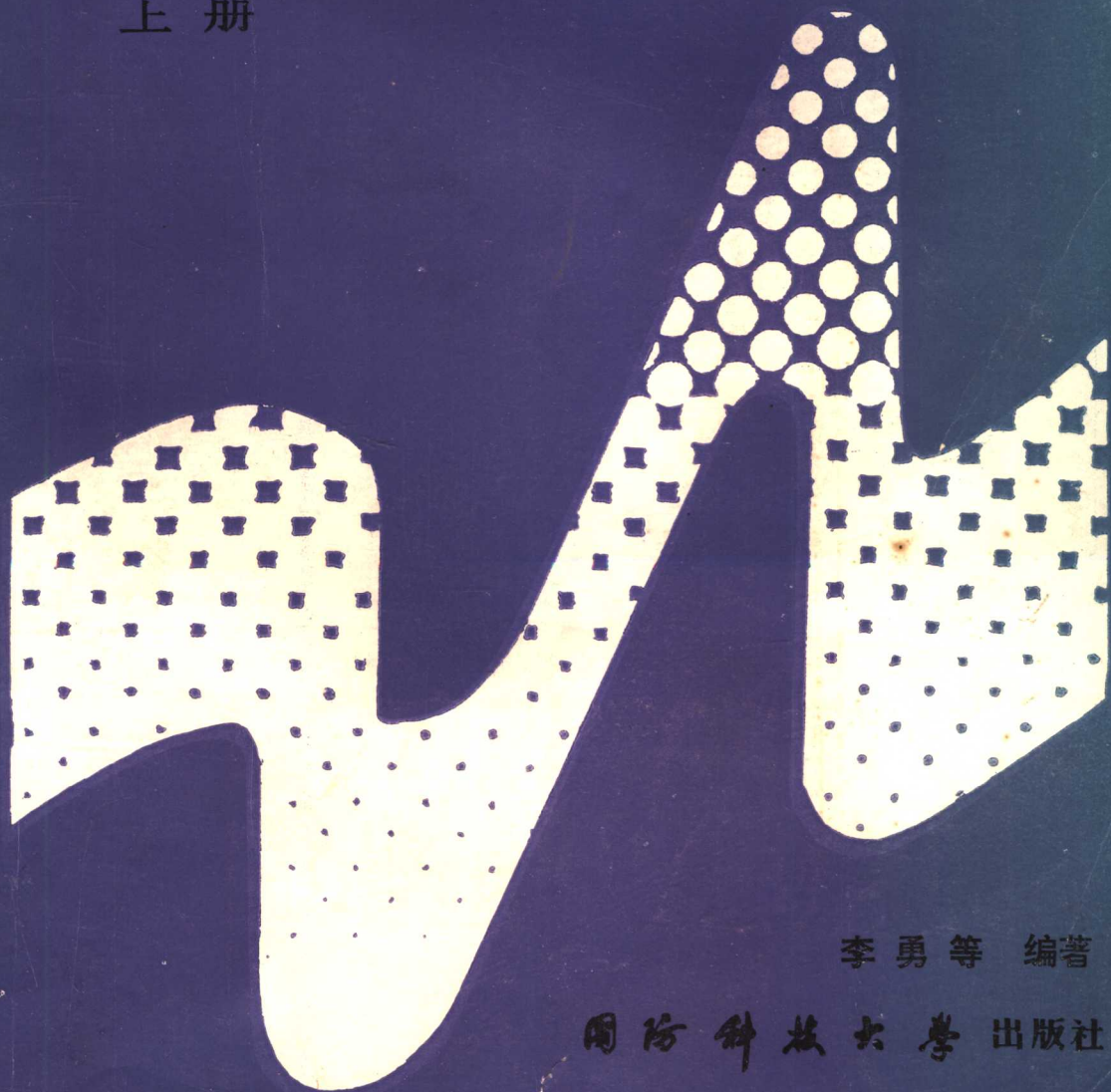


计算机原理与设计

JISUANJI
YUANLI
YU
SHEJI

上册



李勇等 编著

国防科技大学出版社

JISUANJI
YUANLI
YU
SHEJI

计 算 机 原 理
与 设 计

上 册

李 勇 裘式纲 王凤学 宋焕章 编著

国防科技大学出版社

内 容 简 介

本书分上、下两册，上册为中央处理机部分，下册为存贮和外设部分，两部分有一定的独立性。

上册共十章，包括绪论，计算机组成和工作原理，计算机中数据表示，流程图与寄存器传送语言，运算方法和运算器，浮点运算与双精度运算，快速乘法运算，指令系统与寻址技术，控制器组织，微程序。

本书是作者结合多年在国防科技大学从事计算机研制和教学工作的经验，为计算机及应用专业和计算机软件专业编写的教材，内容丰富，反映现代科学技术水平，可作为有关专业教材和科技人员参考，并可作为自学用书。

计 算 机 原 理 与 设 计

上 册

李 勇 等 编 著

责任编辑 王金荣

*

国防科技大学出版社出版

湖南省新华书店发行

国防科技大学印刷厂印装

*

787×1092 1/16 印张 22 3/4. 字数 515,520千字

1985年9月第一版 1986年4月第二次印刷 印数：5,001—15,000册

统一书号：15415·003 定价：3.72元

前 言

本书是为计算机及应用专业、计算机软件专业而编写的《计算机原理与设计》教材，并经过三期试用而定稿的。

作者结合多年来从事计算机研制工作所取得的科研成果，以及在长期教学实践中所积累的经验，力图使内容丰富、具体并反映现代科学技术水平。

作者力求深入浅出地阐述计算机各组成部件的基本原理和基本概念，以及基本分析方法和设计方法。

本书不是以某种类型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，如DJS—100系列机、PDP—11系列机、VAX—11/780机、IBM360/370系列机、YH—1巨型机等，着重介绍现代计算机发展中较成熟的先进技术。

打“*”号的章节是专为计算机及应用专业而编写的，其他专业可作为参考或选修内容。

本书第一、二、三、四、八、九、十章由李勇编写；第五、六、七章由裘世纲编写；第十一、十二章由王凤学编写；第十三、十四、十五章由宋焕章编写。全书各章内容由李勇进行统编和某些内容的修改工作。在编写过程中得到慈云桂教授、胡守仁教授的帮助和支持，也得到国防科技大学计算机系许多同志的帮助和支持，在此一并表示感谢！

本书分上、下两册。上册为中央处理机部分，下册为存贮和外设部分，内容上有一定的独立性，两部分可并行开课。

由于作者学识有限，谬误之处在所难免，敬请读者指正。

编 者

1984年8月30日

目 录

第一章 绪论

- 1.1 计算机发展简史.....7
- 1.2 计算机系统的层次结构.....4
 - 1.2.1 计算机系统的组成.....4
 - 1.2.2 计算机系统的层次结构.....4
- 1.3 计算机的特点与分类.....6
 - 1.3.1 计算机性能与特点.....6
 - 1.3.2 计算机分类.....3
- 1.4 计算机应用.....9

第二章 计算机组成和工作原理

- 2.1 计算机组成.....13
 - 2.1.1 计算机基本组成部件.....13
 - 2.1.2 运算器 ALU.....14
 - 2.1.3 存储器 M.....15
 - 2.1.4 控制器 CU.....17
 - 2.1.5 I/O 部件.....19
- 2.2 指令与机器语言程序.....20
 - 2.2.1 指令类型与指令格式.....20
 - 2.2.2 机器语言程序.....21
- 2.3 汇编语言程序.....24
- 2.4 计算机工作过程.....29
 - 2.4.1 计算机总框图.....29
 - 2.4.2 指令执行过程.....29
 - 2.4.3 计算机工作过程.....31
- 习 题.....32

第三章 计算机中数据表示

- 3.1 引言.....33
- 3.2 定点数(整数与小数)表示.....34
- 3.3 浮点数表示.....35
- 3.4 字符串数据表示.....39
- 3.5 十进制数据表示.....43
- 3.6 向量数据表示.....47
- 3.7 堆栈数据表示.....51
- 习 题.....58

第四章 流程图与寄存器传送语言

- 4.1 流程图.....60
- 4.2 寄存器传送语言 RTL.....61
- 4.3 寄存器信息传送.....62
 - 4.3.1 并行传送.....62
 - 4.3.2 串行传送.....63
 - 4.3.3 总线传送.....64
 - 4.3.4 寄存器传送.....66
- 4.4 控制函数.....67
 - 4.4.1 时序信号.....67
 - 4.4.2 控制函数的产生.....68
- 4.5 其他微操作的描述.....70
 - 4.5.1 逻辑微操作.....70
 - 4.5.2 移位微操作.....73
 - 4.5.3 算术微操作.....76
- 习 题.....78

第五章 运算方法和运算器

- 5.1 定点加(减)法运算及其加速方法.....80
 - 5.1.1 原码加(减)法运算.....80
 - 5.1.2 补码加(减)法运算.....82
 - 5.1.3 反码加(减)法运算.....83
 - 5.1.4 二进制加法器.....85
 - 5.1.5 十进制加法器.....88
 - 5.1.6 加法运算及其加速方法.....91
- 5.2 定点乘法运算.....99
 - 5.2.1 原码一位乘法.....99
 - 5.2.2 补码一位乘法.....102
- 5.3 定点除法运算.....110
 - 5.3.1 原码一位除法.....110
 - 5.3.2 补码一位除法.....116
- 习 题.....128

第六章 浮点运算与双精度运算

- 6.1 浮点加(减)法运算.....130
- 6.2 浮点乘法运算.....134

6.3 浮点除法运算.....	137	9.2.2 非总线传送方式.....	289
*6.4 浮点双精度乘法运算.....	139	9.3 时标系统.....	292
*6.5 浮点双精度除法运算.....	143	9.3.1 指令周期与节拍信号.....	292
*6.6 截断、舍入规则与误差 分析.....	146	9.3.2 指令周期与存储周期.....	293
习题.....	160	9.3.3 节拍的划分.....	294
*第七章 快速乘除法运算		9.4 中断系统.....	295
7.1 两位乘法.....	162	9.4.1 中断分类.....	297
7.1.1 原码两位乘法.....	162	9.4.2 中断建立与判优.....	299
7.1.2 补码两位乘法.....	168	9.4.3 中断响应.....	302
7.2 三位乘法.....	173	9.4.4 中断处理.....	305
7.3 多位乘法.....	178	*9.5 组合逻辑控制器设计举例.....	309
7.4 加(减)除数的跳1跳0 除法.....	200	9.5.1 设计方法.....	309
7.5 迭代除法.....	223	9.5.2 设计环境的描述.....	310
习题.....	234	9.5.3 指令流程分析.....	312
第八章 指令系统与寻址技术		9.5.4 微操作控制部件的设计.....	313
8.1 指令格式.....	236	习题.....	316
8.2 寻址技术.....	242	第十章 微程序	
8.2.1 直接寻址.....	242	10.1 引言.....	317
8.2.2 变址寻址.....	243	10.2 微程序控制基本原理.....	317
8.2.3 间接寻址.....	246	10.3 微指令编码.....	320
8.2.4 直接数寻址.....	249	10.4 微指令地址.....	324
8.2.5 基址寻址.....	249	10.4.1 微地址形成问题.....	324
8.2.6 自相对寻址.....	251	10.4.2 顺序—转移型微地址.....	327
8.2.7 寻址方式举例.....	252	10.4.3 断定型微地址.....	330
8.3 指令系统.....	254	10.5 微指令格式.....	333
8.3.1 指令系统基本要求.....	254	10.5.1 水平微指令.....	333
8.3.2 指令分类与基本指令类型.....	256	10.5.2 垂直微指令.....	335
8.3.3 程序控制指令.....	260	*10.6 微指令时序控制.....	338
*8.4 指令系统举例.....	267	10.6.1 微指令周期.....	338
8.4.1 IBM 370 指令系统.....	268	10.6.2 微指令多相控制.....	338
8.4.2 PDP-11 指令系统.....	275	10.6.3 串行控制与并行控制.....	339
习题.....	280	10.6.4 快速微程序转移.....	341
第九章 控制器组织		*10.7 微程序设计举例.....	345
9.1 控制器概述.....	281	10.7.1 设计环境的描述.....	345
9.1.1 控制器基本功能.....	281	10.7.2 微程序控制方案与控制时序选择.....	346
9.1.2 控制器的控制方式.....	283	10.7.3 微程序流程分析.....	347
9.1.3 控制器的组成方式.....	285	10.7.4 微指令编码设计与微地址分配.....	349
*9.2 信息传送方式与控制器结构.....	286	10.7.5 编制微码表.....	352
9.2.1 总线信息传送方式.....	286	*10.8 微程序其它应用与优缺点.....	354
		习题.....	357
		参考文献.....	358

第一章 绪 论

本章简要地回顾数字计算机(以下简称计算机)的发展历史,同时讲述与分析计算机系统的层次结构和分类;而后叙述计算机的基本特点和性能及其在各个技术领域中的广泛应用。

1.1 计算机发展简史

“计算”是人类向自然界作斗争的重要活动。因此,计算机的产生与发展,也是与人类的生产活动紧密相連的。

很久以来,人们在生产实践中,已创造了各式各样的计算工具,用以减轻繁琐复杂的计算劳动。例如,我国在六百多年以前就发明了算盘,它至今仍是人们喜用的一种简便计算工具。其他的如计算尺、机械计数器等也早已发明。它们在一定程度上满足了当时的生产和科学技术各部门所提出的计算任务要求。但这些计算工具只能简化人的手工计算,而计算的方法和计算步骤的提出、计算过程的控制、数据整理等主要还是靠人完成的。但是,随着生产范围的扩大和科学技术的迅速发展,计算规模与复杂程度也不断增长。利用已有的计算工具进行手工计算就暴露出其明显的缺点:

1) 手工计算速度慢

进行典型的加法和乘法一类手工运算需要几秒钟,而记录中间数据、寻找数据和判断数据等所花费的时间则更长。这样,用人工计算来完成需要进行千百万次基本运算的任务是非常困难,甚至是不可能的。例如,对于国防、农业、渔业和交通运输业有着重要意义的气象预报工作,提出24小时天气预报的初步方案,需要进行两百多万次的运算。若采用人工计算需要计算两个星期才能完成,显然已失去预报的意义。其他的如大地测量,地震数据处理等都需要上亿次的运算,人工计算都是难以胜任的。

2) 手工计算容易出错

由于人参与整个计算过程,人的主观因素直接影响计算结果的正确性。比如说,人的精力不集中,粗枝大叶,视力欠佳,工作引起的疲劳,习惯性错读错写等都会造成计算错误。因此,用人工计算大型、复杂问题其结果一般是不很可靠的。

基于上述原因,人们开始研究自动计算的理论并进行自动计算机的研制。法国哲学家和科学家巴斯噶(Blaise Pascal)(1623—1662)于1642年创造了第一台能自动实现加减法运算的机械计算器。1671年德国哲学家和数学家莱布尼兹(Gottfried Leibniz)(1646—1716)制造了一台能自动实现乘除法运算的机械计算器。他们创造性的工作,使局部计

算自动化。到十九世纪三十年代英国数学家白贝治(Charles Babbage) (1791—1871)首先提出了整个计算过程自动化的概念。他设计了第一台通用自动时序控制机械式计算机。为了精心设计分析机,白贝治在他的后半生花费了大部分精力和财产。可惜,由于当时技术水平的限制,未能实现他的愿望。但是,他对计算机的发展作出了卓越的贡献。

机械式计算机由于存在着严重的缺点,如机械传动惯性直接影响计算速度,特别是机械装置靠计数齿轮、棘轮、连杆等来传送信息很不可靠等,虽然前后经历了三百多年,发展是缓慢的。机械式计算机只不过是一种计算工具而已。

二十世纪初,由于电子管的出现,使构成非常快速的电子计数器和存贮部件成为可能。到40年代,由于第二次世界大战,军事工业发展迅速,电子技术在军事上的应用研究非常活跃,通讯技术、雷达技术等都有较大的发展。同时,也为电子技术和计算技术的结合开辟了广阔前景。战争对“计算”提出了迫切要求,急需快速而准确地解决弹道计算问题。于是,在美国陆军军械署的资助下,John Mauchly和J. presper Eckert设计的ENIAC(Electronic Numerical Integrator and Calculator)于1943年在宾夕伐尼亚大学开始研制,到1946年宣布完成。它是重达30吨、用了18000多电子管、耗电100千瓦以上的庞然大物。它的性能虽然还不如目前一台微型计算机的性能高,然而在当时却是划时代的创举,成为电子数字计算机的始祖。从此,计算机进入了一个飞速发展的崭新时代。

计算机自ENIAC诞生起,至今不过短短三十几年历史。然而,它发展之迅速,普及之广泛,对整个社会和科学技术影响之深远,是任何其他学科所不及的。三十几年间,计算机已经发展了四代。在推动计算机发展诸因素中,电子器件的发展起着决定性的作用;其次,计算机系统结构和计算机软件的发展也起着重大的作用。

第一代计算机(1946—1954)*:特征是采用电子管作为逻辑元件;用阴极射线管或声延迟线作主存贮器;数据表示主要是定点表示;用机器语言或汇编语言编写程序。有代表性的计算机是1946年美国数学家冯·诺曼(Von Neuman)与他的同事们在普林斯顿研究所开始设计的存贮程序计算机IAS。它的设计思想是很先进的,自成一体,所谓诺曼型计算机结构体系,对后来计算机的发展产生了深远的影响。

第二代计算机(1955—1964),特征是用晶体管代替了电子管;用铁淦氧磁芯和磁盘作主存贮器;引入变址寄存器和浮点运算硬件;利用I/O处理机提高输入输出操作能力等。在软件方面引进了FORTRAN、COBOL、ALGOL等高级程序语言以简化程序设计;建立了子程序库和批处理的管理程序。这些对计算机的普及和应用产生了深刻的影响。有代表性的计算机是IBM公司生产的IBM 7094计算机和CDC公司生产的CDC 1604计算机。

第三代计算机(1965—1974),特征是用集成电路IC(Integrated Circuit)代替了分立晶体管,一般用的IC为小规模集成电路SSI(Small-Scale Integration)(门密度1~10门/片)和中规模集成电路MSI(Medium-Scale Integration)(门密度为20~100门/片);用半导体存贮器逐渐代替铁淦氧磁芯存贮器;广泛使用微程序技术简化处理机设计、提高了处理机的灵活性;引进了多道程序、并行处理等新技术,在系统结构上开始突破冯·

* 时期划分尚无一致意见。

诺曼型结构。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、虚拟存储器系统以及面向各种用户的应用软件的发展，大大丰富了计算机软件资源。为了充分利用已有的软件资源，解决软件兼容问题而发展了多种系列机。所谓标准化、模块化、系列化已成为计算机设计的基本指导思想。最有代表性、最有影响的计算机是IBM公司1964年研制成功的IBM 360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，只是执行时间不同而已。另外有影响的大型计算机系列是CDC公司1964年研制成功的CDC 6600计算机及其后研制出的CDC 7600计算机，和后来又推出的CDC、CYBER计算机系列。六十年代中期另一个进展方向是大量生产低成本的小型计算机。DEC公司于1965年研制成功了PDP-8计算机，以后又发展成有名的PDP-11系列机和VAX-11系列机等。由于它成本低、性能好、适用范围广，在计算机的推广普及方面起了巨大的作用。

第四代计算机(1975—)，特征是以大规模集成电路LSI(Large—Scale Integration) (门密度几百门~几千门/片)为计算机主要功能部件；用16K、64K或集成度更高的半导体存储器单元作主存储器；在系统结构方面发展并行处理技术、多机系统、分布式计算机系统和计算机网以及数据流结构计算机等。在软件方面发展数据库系统、分布式操作系统、高效可靠的高级语言以及软件工程标准化等，并逐渐形成软件产业部门。其他如模式识别和智能模拟的研究，计算机科学理论的研究等，对于计算机的发展将产生深远的影响。第四代计算机另一个重要分支是以LSI为基础而发展起来的微处理机和微型计算机。1971年英特尔(Intel)公司研制成功微处理机4004，1973年该公司又宣布制成8位微处理机8080。此后，微处理机与微型计算机象雨后春笋般地蓬勃发展起来。目前市场上已大力推广16位微型计算机，如IBM—PC，而32位微机已研制成功，并进入计算机市场。微型机体积小、功耗低、成本低，其性能价格比优于其他类型计算机。因而得到广泛应用和迅速普及。微型机市场迅速扩大，原属小型机的市场，也被它占领相当部分，其势之锐，真是咄咄逼人。微处理机和微型机的出现不仅深刻地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各个领域。毫无疑问，随着超大规模集成电路VLSI(Very Large—Scale Integratoin)发展以及新的计算机系统结构和软件技术的发展，以知识处理系统为特征的新一代计算机系统，在不久的将来也将会出现。

我国计算机事业是从1956年周恩来总理主持制定的“十二年科学技术发展规划”后开始发展起来的，比一些先进的国家晚起步十年。1959年仿制成功了电子管通用计算机104机，研制了电子管专用机901机等，1964年我国自行设计并研制成功了多种通用晶体管计算机，如109机、441B机、108机等等。同时也研制了许多专用控制机。这期间计算机研究机构和生产厂纷纷建立起来，有些大学设置了计算机专业。在我国形成了一支可观的计算机科研、生产和教学队伍，与先进国家的差距日益缩短。但是，十年浩劫严重地破坏了电子工业和计算机事业的发展，造成了整机与元件，主机与外设，硬件与软件严重比例失调，产品价格昂贵，质量低劣，人力物力被大量地浪费。而这十年恰恰是世界上计算机大发展的年代，因此使我国已经缩小的差距又拉开的更大了。诚然，广大

计算机工作者还是排除干扰，克服重重困难与阻力，取得了一定成绩，如研制成功了200系列机，151系列机、150机、655机等。但是数量很少，可靠性不高，外设质量差，尤其软件不配套不能充分发挥计算机的性能。

党的十一届三中全会以后，计算机事业又开始了迅猛发展的新阶段。目前，我国已初步建立了DJS—100，DJS—180系列机生产与服务体系，在普及与应用方面有了良好的开端。微处理机与微型机的研制与应用正在全国蓬勃兴起，8位微处理机与微型机已研制成功，16位微处理机的研制工作正在进行；微型机在各个领域的应用与开发已取得了非常可喜的成果，今后必将以更大的势头发展下去。这期间，在大型机与巨型机研制方面也取得了很大成功。每秒三百万次、千万次的大型机已投入运行；每秒亿次巨型机已研制成功，正式通过国家鉴定，投入使用阶段。这标志我国计算机技术水平的提高，在巨型机技术方面正在接近世界先进水平。

1.2 计算机系统的层次结构

1.2.1 计算机系统的组成

任何计算机系统都是由计算机硬件与计算机软件组成的。

硬件是计算机系统中实际存在的物理实体，它是看得见摸得着的。从物理构成上看，它是由种类繁多的电子器件、印刷线路板等构成的各种计算机插件，机架，底板线，计算机电源，散热系统，控制台以及各种功能的外部设备等所组成的复杂系统。从逻辑功能上来看，它是由中央处理机、存储器、外部设备和它们之间的信息接口等所组成。

软件是在计算机硬件基础上，根据一定算法而编制的一组程序。这里所提到的算法是指任何有目的、有计划的行为，根据一些基本操作按一定顺序进行操作的序列。为方便用户使用，提高计算机系统的效率或扩展硬件功能而编制的程序一般称为系统软件，如汇编程序、编译程序、操作系统、数据库管理系统、诊断程序和各种应用程序包等。用户为解决某一特定问题而编制的程序一般称为应用软件，如解决线性方程组的程序，铁路运输调度程序等等。对于通用计算机系统，系统软件是它的组成部分，而不包括应用软件；对于专用机系统，其专用的应用软件可以认为是它的组成部分。

既然软件是实现某种算法的程序，计算机可以理解为是面向算法的机器。一个算法可以由硬件实现，也可以由软件来实现。如数组运算，多数计算机是用软件来实现的，而在巨型机或数组处理机中是用硬件实现的。这就是说，硬件与软件在逻辑功能上是等效的。在一个计算机系统中，硬件与软件之间功能如何分配，是设计关键问题之一。

在早期计算机设计中，由于硬件成本高，可靠性差，为了取得较高的性能价格比，硬件功能所占比例较小，许多功能是由软件来实现的。随着计算机的发展，硬件技术迅速发展，成本迅速下降，而软件系统日益扩大与复杂化，软件技术发展较慢，因而硬件所承担的功能逐渐加大，软件功能所占比例逐渐缩小。计算机硬件与软件密切结合，软件技术硬（固）化的趋势已日益明显了。

1.2.2 计算机系统的层次结构

用户使用高级语言FORTRAN来编制源程序，输入计算机中，只要程序正确，就会

给出正确的计算结果。对用户来说，这台计算机好像能直接执行FORTRAN语言，其实并非如此。我们把好像能直接执行FORTRAN语言的机器称为虚拟机。实际上，用FORTRAN语言编写的源程序经过机器编译程序将它翻译成某种中间语言程序，然后再将这个中间语言程序翻译成机器能直接用硬件实现的目标程序，机器再执行目标程序得出计算结果。

若用户用汇编语言编制程序，输入机器中也须将汇编语言源程序经汇编程序翻译成机器能直接用硬件实现的目标程序，然后再由机器执行之。这样，对用户来说，就存在一个汇编语言虚拟机。可见，不同层次的程序设计语言对应不同层次的虚拟机。我们把虚拟机和与它对应的机器语言一起称为计算机系统中的一级。

计算机指令系统是能直接用硬件实现的、人与机器进行通讯的语言。因此，指令系统就是机器语言。对应机器语言的机器就是实际计算机。

目前，一般计算机多采用微程序控制技术。它使每条机器指令由一串微指令（微程序）来实现，而微指令所执行的基本微操作直接由硬件来实现。因此，对于微程序计算机，用机器语言（指令系统）编写的程序是通过微程序解释来实现的。所以，微程序级是计算机系统层次结构中最基本的层次。

计算机系统按照程序设计语言的层次来划分它的级，如图1.1所示。

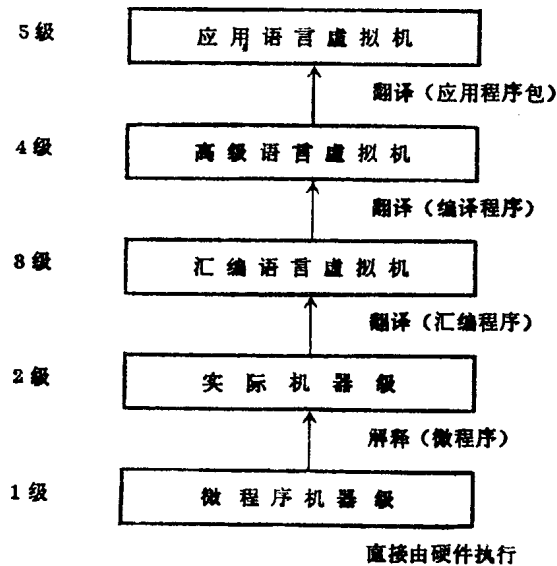


图 1.1 计算机系统层次结构

图中1级和2级是由硬件实现的，它们是实际机器的两个层次。对于不是微程序控制的计算机，此二级合并为一级。3~5级是由软件实现的，是虚拟机级。1、2级的机器语言即微指令系统和指令系统是面向计算机系统设计师和系统程序员的，用户使用不方便。各虚拟机的语言是面向用户应用程序员的。3级汇编语言是基本符号形式语言，可为用户直接使用，也可作为一种中间语言而存在。4、5级高级语言更适于用户的使用。

这种层次划分*大体上反映了计算机系统结构的特点，反映了硬件与软件功能划分

以及各层次间的内在关系。了解计算机系统的层次结构，对于全面地理解计算机是非常必要的。本书重点讨论1、2级由硬件实现机器语言的基本原理和设计方法。

如果把软硬结合的计算机系统，按照实际机器级的基本组成和设计过程来划分它的层次结构，根据Bell和Newell的观点，可划分为四级：电路级、逻辑级、程序设计级、系统级。表1.1给出了计算机系统的四级层次结构。

表 1.1 计算机系统的四级层次结构

级	结 构	组 成 部 分
计算机系统级	计算机 计算机网	处理机、控制器、存储器
程序设计级	程 序	指令、子程序、存储器、运算符
逻辑级 · 寄存器传送子级 · 时序逻辑子级 · 组合逻辑子级	运 算 线 路 计数器、寄存器 编码器、译码器	寄存器、数据运算符 RS、JK、D触发器 与、或、非、与非、或非门等
电 路 级	门、触发器、放大器	晶体管、集成电路、电阻、电容等。

本书重点介绍逻辑级中寄存器传送子级、程序设计级和计算机系统级部分内容。

1.3 计算机特点与分类

1.3.1 计算机性能与特点

计算机是面向算法的机器。算法中基本操作对象就是数据。在各种操作中，数据的存貯、加工与传送等均以离散的数字形式出现，故称为数字计算机。它区别于数据以连续模拟形式出现的模拟计算机。

计算机所能解决的，应是那些可描述的能行性算法。所谓能行性算法是指利用有限步骤，且每个步骤都有确切含义，在允许的合理时间内完成的算法。在各领域内所遇到的大多数问题都是可描述的能行性算法。连续函数的计算可用计算方法化为数值计算；无限步骤解决的问题，在满足一定精度要求下用有限步骤来解决。因此，计算机解决问题的范围是非常广泛的，在计算机与模拟机的激烈竞争中，在计算机实际应用中，充分显示了它的卓越性能和旺盛的生命力。因而计算机已成为现代信息社会的重要支柱。现就其主要性能特点叙述如下：

1) 精度高

计算机中数的精度主要表现于数据表示的位数，一般称为机器字长。字长越长其精

• 操作系统也可划分为一个层次。它与其他各层次都有密切关系。划分在哪个层次尚不统一。

度越高。多数计算机的字长为 8、16、32、64 位等。在模拟机中要取得万分之一以上精度是很费力的事，而计算机要取得十位十进制数（百亿分之一）以上精度是很容易的。

2) 速度快

计算机速度是指在单位时间内执行指令的平均条数或执行的平均操作结果数。比较通用的说法是指平均指令条数，如某机速度为 100 万次/秒，就是指该机在一秒钟内能平均执行 100 万条指令。

计算机速度主要受限于电信号传输延迟和门电路延迟时间。随着计算机器件速度提高，计算机系统结构等因素的发展，计算机速度已从最初的每秒几千次发展到今天每秒几十万次、几百万次，甚至到几亿次。这种速度水平基本能满足各技术领域对速度的要求。但是，对于某些尖端技术领域，如核聚变模拟、航天器空气动力计算等还要求有更高速度，每秒百亿次以上的计算机。

3) 通用性强

不同的应用领域，解决问题的算法是不同的。但是，仔细分析一下各种算法的基本操作可以发现，大多数基本操作是相同的，只是算法不同、对不同的基本操作使用频度不同而已。因此，一台计算机能适应多种应用。通用计算机的名字即来源于此。当前所说的通用计算机，一般理解为主要面向三个应用领域，科学计算、数据处理和实时控制。

4) 存储容量大

存储容量反映计算机存储信息的能力。笼统地说，它是指计算机能够存储二进制信息字的数量，一般以字节或字长为单位。实际上，出于性能与价格等多种因素的考虑，计算机存储系统也是多级层次存储，如高速缓存、主存、辅存等。主存由半导体存储元件或磁芯元件构成，它直接参与快速运算，对计算机性能影响较大，其容量受价格限制，一般可达几兆字节；辅存由磁盘、磁带机等构成，它不直接参与快速运算，其速度慢、价格便宜，容量可很大。

计算机存储系统能给用户以足够的存储空间来存储信息，这是非常重要的。例如，一个大型图书馆藏书几百万册以上，如果用计算机实现自动检索系统，必须提供足够大的存储空间，以便将整个馆所藏图书的编目索引、文章或书籍内容摘要等大量信息存入计算机。自动检索系统可以根据读者要求，自动进行资料或书目的检索工作，且可将内容摘要输出给读者。因此，存储容量是反映计算机性能的重要参数，它为计算机软件提供了充分的活动空间。

5) 使用方便

通用计算机一般都配有几种面向用户的高级语言，如面向科学计算的 FORTRAN, ALGOL, APL 语言等；面向商业、事务处理的 COBOL 语言等。它们使用户不必了解计算机内部的复杂结构和原理，甚至也不需要了解复杂的机器语言，用户只要写出源程序，然后将它输入到计算机中即可。

程序输入到计算机后，机器能自动进行计算过程控制、设备调度与管理、计算结果的输出等。整个计算过程是高度自动化的，不需要人的干预，这是使用方便的重要因素。

1.3.2 计算机分类

由于计算机的迅猛发展和应用领域日益扩大,计算机产品的数量与种类在迅速增加。怎样从本质上认识这些计算机呢?根据它们不同特点,给与适当地分类是必要的。

1) 按应用特点分类

按应用特点,计算机可分为两大类,即专用计算机和通用计算机。

专用计算机是针对某一特定应用领域或面向某种算法而研制的计算机。专用机特点是它的系统结构和专用软件,对于指定的应用领域是高效的,有较高的性能价格比;而对于其他应用领域则是低效的,性能价格比变坏。如空中交通管制专用机(STARAN),卫星图象处理用大型并行处理机(MMP)以及各种武器系统的专用控制机等。

通用计算机是针对多种应用领域或面向多种算法而研制的计算机。通用机的特点是它的系统结构和计算机软件能适应多种用户的要求。因此,它有较丰富的通用系统软件和应用程序包;有较复杂的系统结构和较强的系统功能。如通用系列机IBM370、PDP-11, VAX-11系列机,我国的DJS-100, 180系列机等。

计算机发展初期,硬件设备昂贵,多为专用计算机。随着技术发展,为充分发挥计算机的潜力,很快转向发展通用机、通用系列机,但在某一特殊领域,通用机不能满足要求时,又会发展专用机。如当前的巨型机多为专用机。然而,一旦技术发展一定程度,专用机中应用成功的技术推广到通用机,继而发展巨型通用机。因此,专用机与通用机之间没有严格的界限,它们是互相促进、相辅相成的。

2) 按性能特点分类

计算机按性能高低可分为巨型机、大型机、中型机、小型机和微型机五大类。这是一种相对、粗略的分类方法。计算机性能随计算技术发展而迅速变化提高,早期大型机的性能还不如今天微型机的性能高。因此,按性能分类,只就某一时期而言。另外,按性能分类的标准也很难确定,众说纷纭。我们只能粗略的划分。

巨型机是计算机中性能最高、功能最强、具有巨大数值计算能力和数据处理能力的计算机。其性能指标:字长,64位以上;速度,每秒平均执行五千万次浮点结果以上;主存容量,1~4百万字以上;高速I/O数据通道,每秒可传输几千万个数据以上;具有高效的系统软件以发挥巨型机高性能潜力。

大、中型机是计算机中通用性最强、功能较高的计算机。其性能指标:字长,32~64位;速度,每秒平均执行几百万~几千万条指令;主存容量,几十万~几百万字;有丰富的外设与通信接口;有较强的I/O处理能力;有丰富的系统软件和应用程序包。

小型机是性能较好,价格便宜,应用面很广的一类计算机。其性能指标:字长,16~32位;速度,每秒平均执行几十万~几百万条指令;主存容量,几万~几十万字;有一定数量的外设与通信接口;配有几种高级语言和汇编语言,有功能较强的操作系统。

微型机是计算机性能价格比最好,价格最便宜,应用面最广的一类计算机。它是各类计算机中发展最快,人们最感兴趣的一个分支。70年代中末期以八位微机为主,近年来16位微机数量猛增,而32位微机许多厂家相继宣布研制成功,其性能已达到甚至超过一般小型机水平,有的微机就是小型机微型化的产物。所谓小型机微型化是指机器系

统结构和功能不变,用大规模集成电路技术将其主要功能部制件作在一个芯片上。因此,从功能上很难区分小型机和微型机。当前,微型机在性能上,尤其是有限的外设能力还不如小型机,但是,可以预料,微型机的发展将会取代目前大部分小型计算机。

当然,计算机还可以按照处理数据的特点、处理功能的特点等进行分类。因为要涉及到许多计算机技术专门问题,这里就不再讨论了。

1.4 计算机应用

电子数字计算机的出现是二十世纪科学技术发展的最卓越成就之一。十九世纪蒸汽机的发明带来了第一次工业革命,使人类从繁重的体力劳动中解放出来。计算机的出现,可以说带来了第二次工业革命,使人类从部分特定的繁重脑力劳动中解放出来,使之集中更多的精力从事更高级的创造性劳动。计算机问世以来,虽然只有短短三十几年历史,但是以其卓越的性能和旺盛的生命力,在科学技术、国民经济、社会生活各方面都得到了深入而广泛的普及,它给人类社会以深刻而巨大的影响。实践证明,没有计算机就没有科学技术现代化,就没有工业、农业和国防现代化。计算机已成为未来信息社会的强大支柱和开路先锋。

据统计,计算机已应用于三千多个领域,其应用趋势正方兴未艾,不断扩大。社会上已形成一支庞大的信息行业(信息处理、信息传送等),社会结构也发生了巨大的变化。

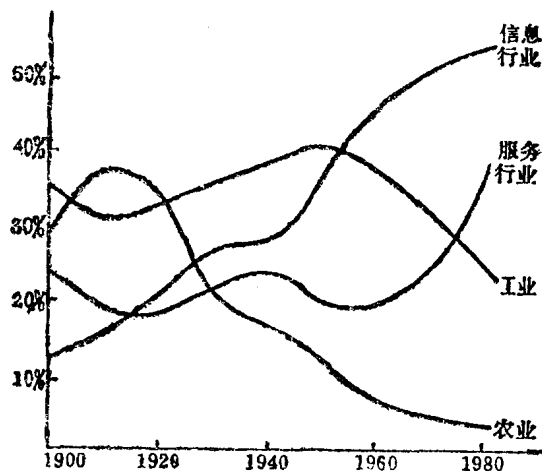


图 1.2 工业发达国家社会结构变化示意图

图 1.2 表示一些工业发达国家社会行业结构从二十世纪初以来的变化情况。从图中可以看到,计算机问世后,社会上从事信息行业的人数迅速增加,工业、农业人口则相应下降。到八十年代,从事信息行业人员已超过工作人员 50% 以上。

计算机应用领域如此广泛,我们不可能逐一加以详细介绍。按其应用计算机的特点可以概括为:科学计算、数据处理、实时控制、计算机辅助设计和智能模拟等几大类。

1) 科学计算

计算机首先是为解决快速计算而发明的。在科学技术和工程设计中,存在大量的各

类数学计算问题。它的特点是数据量不很大，但计算工作量很大、很复杂。如解上千阶的微分方程组、几百个线性联立方程组、大型矩阵运算等，没有计算机的快速性和精确性，其他计算工具是难以解决的。这类应用，要求计算机运算速度快，字长要长。

在科学研究和工程设计中，由于计算工具的限制，为在合理时间内取得计算结果，不得不将物理过程的描述进行简化，忽略一些次要因素而取得近似结果，然后，经过反复试验，再加以修正。如导弹的设计就是这样的过程。如果有了高速计算机，物理过程描述得就更精确，经过大量复杂的计算，可获得更准确的结果。这样，提高了设计质量，大大减少实际试验次数，从而缩短了研制周期，降低了研制费用。另外，在某些工程中，没有高速的计算机就完不成任务。如同步通信卫星的发射，要使卫星围绕地球运动速度与地球自转速度同步，即从地球某区观察卫星位置是不变的，卫星轨道计算、发射参数计算、气动干扰计算等都需要高速计算机进行精确计算才能完成。其他的如气象预报，有很强的时间性要求，进行大范围的、长期的气象预报，没有大型高速计算机不可能的。

计算机的强大解题能力，迅速地改变了科学研究和工程设计的面貌。在许多设计工作中，利用计算机进行快速、准确地计算，大大缩短了设计周期；在计算机中进行多种设计方案比较，选择最佳的设计方案，从而提高了设计质量，节约了大量试验费用。在科研工作中，利用计算机进行数据处理，绘制实验曲线与图表，精确实验过程控制等，都大大加速了科学研究的进程。

由于计算机的应用与普及，也创造了许多新的边缘学科。如计算天文学、计算化学、计算生物学、计算空气动力学、计算医学等等。同时也使许多老的学科焕发了青春，出现了新的生机。如数学、物理学、力学、机械工艺学等。

2) 数据处理

数据处理是计算机普及应用的一个重要方面。在早期，数据处理是指在计算机上加工商业、企业的信息和数据；现在常用来泛指非科技工程方面的所有计算、管理和操纵任何型式的数据资料。例如，企业管理，库存管理，报表统计、帐目计算、信息情报检索等方面应用都认为是数据处理。数据处理问题的特点是要处理的原始数据量很大，而算术运算比较简单，有大量逻辑运算与判断，其处理结果往往要求以表格或文件形式存贮或输出。因此，数据处理用计算机，要求有足够大的存贮容量，有较强的逻辑处理功能和较丰富的输入输出外设。

计算机在数据处理方面的应用，使人们从大量繁杂的数据统计与管理事务中解放出来，且大大提高了工作质量与效率。例如，一年一度高考工作中，有关考生的录取与统计。每个考生的姓名、年龄、性别、政治面貌、身体情况、报考地区与学校以及各门课的考试成绩等项目，几百万考生的数据量是很庞大的，其录取工作，根据德智体情况进行统计分析等，工作量异常繁重，几千人为之日夜工作。如果应用计算机可以大量减少人力，加速录取与统计工作，计算机还可按要求打印出各种形式的报表。

数据处理比较典型的应用有航空、铁路客票预订系统，仓库物资管理与调度系统，职工工资的计算与统计，图书资料情报检索系统以及各种图象处理系统等等。目前，世界上用于数据处理的计算机数量已大大超过科学计算所用的计算机数量。计算机在这方

面的应用还会继续扩大与深入。

3) 实时控制

这是计算机在过程控制方面的重要应用。“实时”就是指计算机的运算和控制时间与被控制的过程真实时间相适应。实时性是以计算机速度为基础的，不同控制对象其物理过程的时间参数是不同的。如生产过程控制时间参数较大，对计算机速度要求不高；对武器发射过程控制时间参数较小，对计算机速度要求较高。另外，作为控制计算机，它收集的原始参数或输出给被控制对象的参数，往往不是数字量，而是模拟量，如电压大小，轴角位置等。因此，控制计算机除有一般通用输入输出外设，必须有专用的数字模拟转换设备。习惯上，把模拟量变换为等效的数字量称为A/D(Analog to Digital)；把数字量变换为等效的模拟量称为D/A(Digital to Analog)。

现代化工业生产的重要标志就是应用计算机大大提高生产自动化水平。这意味着提高劳动效率、提高产品质量、降低生产成本，缩短生产周期。例如，机器制造业有许多不规则表面的加工，象涡轮机轮叶复杂表面加工，用一般铣床加工需三周时间，而用数控铣床只需三小时，其中还包括准备工作时间。又如国外某钢厂，年产500万吨钢，需职工一万五千人，采用计算机实现自动化生产后，只需职工四千人就够了。可见，其经济效益是很大的。

军事上，现代化武器系统都离不开控制计算机，用以提高射击速度和命中率，提高射击自动化水平，更有效地发挥武器本身的威力。例如，地空导弹发控系统，如图1.3所示。

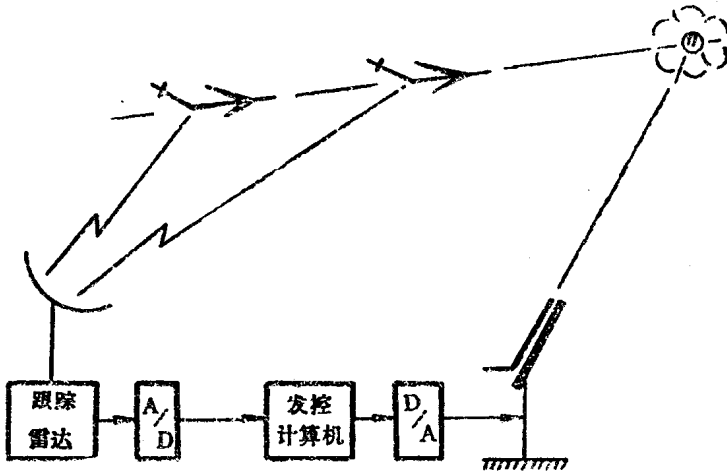


图 1.3 地空导弹发控系统示意图

在防空系统中，用远程警戒雷达担任远程搜索任务。当发现敌机时，判定敌机类型、数量，并测得敌机的运动参数和坐标数据，通过通讯系统传送到防空阵地，使防空部队做好战斗准备。当敌机进入一定空域后，自动跟踪雷达便开始工作，找到目标并自动跟踪目标，并将测得目标的数据（距离、方位、高低角等），经过A/D变换随时送入发控计算机。发控机根据一定的攻击算法进行计算，求出地空弹的射击诸元，经过D/A变换后传送到导弹发射器；发控机还要根据敌我势态、指挥员作战意图判断发射时机。一旦发射时机成熟，便自动控制导弹的发射以摧毁敌机。