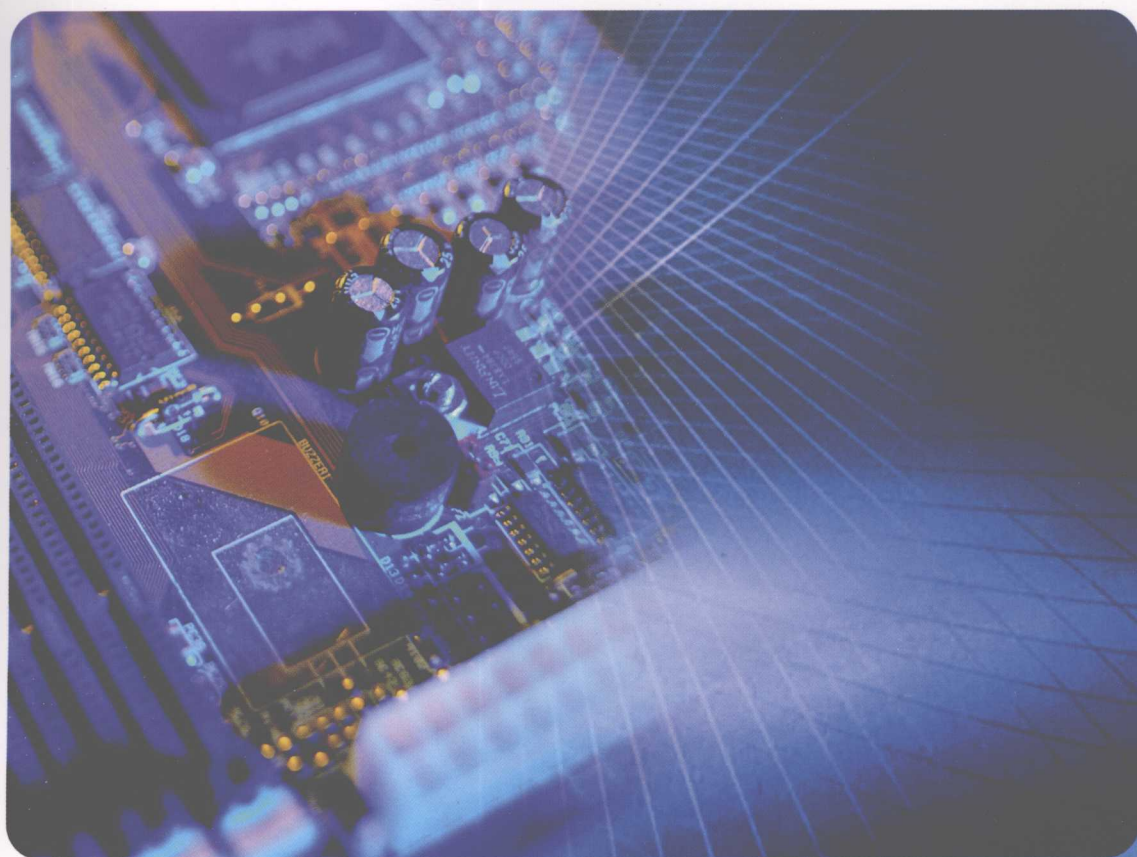


21世纪应用型高等院校规划教材

计算机组成与结构

周根元 陈鉴富 傅中君/编著



科学出版社

www.sciencep.com

21 世纪应用型高等院校规划教材

计算机组成与结构

周根元 陈鉴富 傅中君 编著

科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书比较全面地论述了计算机的基本工作原理、系统结构及各功能部件的实现方法等。全书共分 11 章,具体内容主要有:计算机功能部件及其组织,机器内部的数据表示,运算方法及运算器,存储器与存储系统,指令系统,CPU 及控制器,辅助存储器,输入/输出设备,输入/输出系统,总线技术等。本书内容完整、丰富,既对计算机组成原理和系统结构有较详尽的介绍,又反映了当代计算机体系结构的最新技术。

本书可以作为计算机专业本科或专科的计算机组成原理与系统结构的教科书,也可以作为工科类学生及相关工程技术人员的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

计算机组成与结构/周根元等编著. —北京:科学出版社,2007
(21 世纪应用型高等院校规划教材)

ISBN 978-7-03-019817-4

I. 计… II. 周… III. 计算机体系结构-高等学校-教材 IV. TP303

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 133967 号

责任编辑:陈晓萍/责任校对:耿 芸

责任印制:吕春珉/封面设计:耕者设计工作室

科 学 出 版 社 出 版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

新 蕾 印 刷 厂 印 刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2007 年 9 月第 一 版 开本:787×1092 1/16

2007 年 9 月第一次印刷 印张:20 1/2

印数:1—3 200 字数:521 000

定价:27.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换<路通>)

销售部电话:010-62136131 编辑部电话:010-62138978-8003

前 言

“计算机组成与结构”是计算机专业的主干课程,在计算机课程体系中起着承上启下的作用。本书基本概念清晰,深入浅出,内容全面,剪系统性强,注重学生对计算机基本原理及其实现的理解。本书共有 11 章,主要内容如下。

第 1 章为绪论,简单介绍了计算机的发展历史和分类,从整体上介绍了计算机的组成和结构以及工作原理,并对计算机的性能指标评价作了介绍。

第 2 章主要介绍了计算机中数据的表示方法,主要是原码、补码、反码和移码,另外还介绍了浮点数、十进制数等编码表示,最后对计算机中常用的几种校验码作了简单讨论。

第 3 章详细介绍了运算器的组成与工作原理,重点讨论了实现算术运算的各种算法及其逻辑实现。

第 4 章介绍了计算机的存储系统,重点阐述了计算机系统的主存储器的扩展、Cache 和虚拟存储器的原理、实现方法等。

第 5 章介绍了指令系统的基本概念、指令的寻址方式,分析了指令执行过程,并给出了指令系统的设计方法。以 ARM 和 IBM PC 的指令系统为例,分析了 RISC、CISC 两种指令系统。

第 6 章介绍了 CPU 的组成和功能实现的方法,详细讨论了控制器的时序部件的构成和微操作信号产生部件的两种技术的实现,并对现代处理器中普遍采用流水线技术和阵列技术作了简明的阐述。

第 7 章对计算机系统的重要辅助存储器如磁盘等性能指标、工作原理作了较为详细阐述,并对目前比较流行的便携式存储器进行介绍。

第 8 章介绍了计算机系统中外围设备的类型和特点,对常用的一些输入/输出设备的工作原理作了简明扼要的叙述。

第 9 章对 I/O 接口的类型、功能、编址方式等内容进行介绍,重点讨论了输入/输出系统中的数据传送控制方法,如直接程序控制、中断控制、DMA 控制的原理,并阐述了计算机中常用的接口的实现。

第 10 章对总线的基本概念及其互连方式、控制方法等技术阐述,重点叙述了现代计算机中普遍采用 PCI 总线和 USB 总线。

第 11 章介绍了其他几种类型的计算机结构。

本书是我们江苏技术师范学院多年讲课的基础之上编写而成的。第 1、6 章由周根元编写,第 2~4 章由傅中君编写,第 7~9 章由张红琴编写,第 5、10、11 章由陈鉴富编写。参加本书编写的老师都担任该课程或相关课程、实验课的教学工作,对该课程的教学研究、实践改革有很深入的了解。

由于时间和水平所限,书中错误和不妥之处在所难免,请读者批评指正。

编 者

2007 年 2 月

目 录

第1章 计算机概述	1
1.1 计算机的发展	1
1.1.1 计算机的简史	1
1.1.2 计算机的分类	3
1.2 计算机硬件	5
1.2.1 计算机硬件组成	5
1.2.2 计算机硬件结构	8
1.3 计算机软件	9
1.3.1 计算机软件的分类	9
1.3.2 计算机语言	9
1.4 计算机层次结构	10
1.5 计算机的基本工作原理	11
1.6 计算机的性能指标	13
习题	14
第2章 数据的表示	15
2.1 数制	15
2.1.1 进位计数制	15
2.1.2 不同进位计数制数之间的转换	17
2.1.3 十进制数的编码	19
2.1.4 数在机器中的表示	20
2.2 定点数与浮点数	23
2.2.1 定点数的表示	24
2.2.2 浮点数的表示	24
2.3 数据校验码	25
2.3.1 奇偶校验码	25
2.3.2 海明校验码	26
习题	29
第3章 运算方法及运算器	31
3.1 定点加减法运算	31
3.1.1 补码加法运算	31
3.1.2 补码减法运算	32
3.1.3 溢出及其检测方法	33
3.1.4 基本的二进制加/减法器	35
3.1.5 基本的十进制加法器	36
3.2 定点乘法运算	38

3.2.1	原码一位乘法	38
3.2.2	补码一位乘法	41
3.3	定点除法运算	44
3.3.1	原码一位除法	44
3.3.2	补码一位除法	48
3.4	浮点算术运算	51
3.4.1	浮点加法和减法	51
3.4.2	浮点乘法运算	53
3.4.3	浮点除法运算	53
3.5	运算器的组成和结构	53
3.5.1	多功能算术/逻辑运算单元	53
3.5.2	内部总线	55
3.5.3	运算器的基本结构	56
3.5.4	运算器组成实例	58
	习题	61
第4章	存储器与存储系统	62
4.1	存储器概述	62
4.1.1	存储器的基本概念	62
4.1.2	存储器的分类	62
4.1.3	存储器的性能指标	66
4.1.4	存储器的层次结构	67
4.2	主存储器	69
4.2.1	主存储器的基本结构和操作	69
4.2.2	半导体随机存储器	72
4.2.3	只读存储器	78
4.3	并行存储器	80
4.3.1	并行访问存储器	80
4.3.2	交叉访问存储器	81
4.4	虚拟存储器	83
4.4.1	虚拟存储器工作原理	84
4.4.2	地址的映象与变换	85
4.4.3	加快内部地址变换的方法	93
4.4.4	页面替换算法	95
4.5	高速缓冲存储器	97
4.5.1	基本工作原理	98
4.5.2	地址映象与变换方法	99
4.5.3	Cache 替换算法及其实现	103
4.6	存储保护	106
4.6.1	存储区域保护	106
4.6.2	访问方式保护	108

习题	108
第5章 指令系统	111
5.1 指令系统概述	111
5.1.1 指令的含义	111
5.1.2 指令的发展	111
5.1.3 指令系统的性能要求	112
5.2 指令格式	113
5.2.1 一条指令应该包含的信息	113
5.2.2 指令格式	113
5.2.3 指令操作码的编码格式	116
5.2.4 指令字长度与机器字长的关系	117
5.3 寻址方式	118
5.3.1 有效地址和寻址方式的概念	118
5.3.2 指令的寻址方式	118
5.3.3 操作数寻址方式	119
5.4 指令的种类	125
5.4.1 数据传送类指令	125
5.4.2 算术逻辑运算类指令	126
5.4.3 字符串处理指令	126
5.4.4 输入/输出指令	127
5.4.5 特权指令和陷阱指令	128
5.4.6 转移指令	128
5.4.7 子程序调用指令	129
5.4.8 处理器控制指令	130
5.5 指令的执行方式	130
5.5.1 顺序执行方式	130
5.5.2 超前执行方式	131
5.5.3 流水线方式	131
5.6 指令系统举例	132
5.6.1 复杂指令系统	132
5.6.2 精简指令系统	135
习题	140
第6章 中央处理器	142
6.1 CPU的功能和组成	142
6.1.1 CPU的基本组成	142
6.1.2 控制器功能	143
6.1.3 控制器的组成	144
6.1.4 指令执行过程	146
6.1.5 模型机指令	146
6.2 时序与控制方式	148
6.2.1 时序的概念	148

6.2.2	时序信号的产生	151
6.2.3	控制器控制方式	154
6.3	微程序控制器	155
6.3.1	基本概念	155
6.3.2	微程序控制器的基本原理	156
6.3.3	机器周期与微指令周期	157
6.4	微程序设计	157
6.4.1	微程序设计原则	157
6.4.2	微指令编码	158
6.4.3	微指令格式	159
6.4.4	微地址的形成	161
6.4.5	动态微程序设计	163
6.4.6	模型机的实现	164
6.5	硬布线控制器	166
6.5.1	基本原理	166
6.5.2	控制器的组成	167
6.5.3	微程序控制器与硬布线控制器的比较	168
6.6	流水线技术	169
6.6.1	流水线的原理	169
6.6.2	流水线的组成	172
6.6.3	流水线中的相关问题	173
6.6.4	超流水线处理机	174
6.7	阵列处理机	175
6.7.1	计算机的并行技术	175
6.7.2	阵列处理机的结构	176
	习题	177
第7章	辅助存储器	179
7.1	辅助存储器的种类与技术指标	179
7.2	磁记录原理与记录方式	181
7.2.1	磁记录原理	181
7.2.2	磁记录介质与磁头	183
7.2.3	磁记录方式	186
7.3	硬磁盘存储器	190
7.3.1	硬磁盘存储器的种类及基本结构	190
7.3.2	硬磁盘驱动器及硬磁盘控制器	191
7.3.3	磁盘 Cache	195
7.3.4	磁盘阵列存储器	196
7.3.5	硬磁盘驱动器的发展动向	197
7.4	光盘存储器	198
7.4.1	光盘存储器种类	198
7.4.2	光盘的读写原理	200
7.4.3	光盘存储器的组成	202

7.5 闪存盘存储器	202
7.5.1 闪存	203
7.5.2 USB 接口	203
7.5.3 闪存盘存储器结构	204
习题	205
第8章 输入/输出设备	206
8.1 计算机输入/输出设备概述	206
8.1.1 输入/输出设备的分类	206
8.1.2 输入/输出设备的作用	208
8.1.3 输入/输出设备发展趋势	208
8.2 输入设备	208
8.2.1 键盘	209
8.2.2 鼠标	210
8.2.3 扫描仪	211
8.2.4 其他输入设备	215
8.3 显示设备	215
8.3.1 显示器概述	216
8.3.2 显示器适配器	216
8.3.3 CRT 显示器	219
8.3.4 LCD 显示器	223
8.3.5 其他显示设备	225
8.4 打印设备	225
8.4.1 打印机分类	225
8.4.2 激光打印机	226
8.4.3 喷墨打印机	228
8.4.4 针式打印机	230
习题	233
第9章 输入/输出系统	234
9.1 输入/输出系统概述	234
9.1.1 I/O 寻址及 I/O 系统功能	234
9.1.2 信息交换方式	235
9.2 程序查询方式	237
9.3 程序中断控制	239
9.3.1 中断的基本概念	239
9.3.2 中断接口的组成和原理	244
9.4 DMA 控制	245
9.4.1 DMA 方式的基本概念	245
9.4.2 DMA 传送方式	246
9.4.3 DMA 控制器	247
9.4.4 DMA 工作过程	248
9.5 接口	249

9.5.1 接口概述	249
9.5.2 并行接口	252
9.5.3 串行接口	254
习题	258
第 10 章 总线技术	260
10.1 总线概述	260
10.1.1 总线的特性	260
10.1.2 总线的类型	261
10.1.3 总线的内部结构	263
10.1.4 总线性能指标	264
10.2 总线控制	265
10.2.1 传输过程	265
10.2.2 通信方式	265
10.2.3 总线仲裁	269
10.3 PCI 总线	270
10.3.1 PCI 总线结构	271
10.3.2 PCI 总线信号	272
10.3.3 总线周期类型	273
10.3.4 总线周期操作	274
10.3.5 总线仲裁	275
10.4 通用串行总线 USB	276
10.4.1 USB 系统组成	276
10.4.2 USB 系统的接口信号和电气特性	277
10.4.3 USB 数据流类型和传输类型	277
10.4.4 USB 交换的包格式	278
10.4.5 USB 设备状态和总线枚举	278
10.5 其他总线标准	279
10.5.1 ISA 总线	279
10.5.2 EISA 总线	281
10.5.3 VESA 总线	281
10.5.4 AGP 接口	281
10.5.5 PCMCIA 总线及扩展卡	282
10.5.6 Alpha EV6 总线	282
10.5.7 NGIO 总线	283
10.5.8 PCI-X 局部总线	283
习题	284
第 11 章 计算机系统	285
11.1 计算机系统概述	285
11.1.1 计算机系统分类	285
11.1.2 计算机系统性能评价	286
11.2 非 Neumann 计算机	288
11.2.1 数据流计算机	288

11.2.2 智能计算机.....	299
11.2.3 人工神经网络计算机	301
11.3 计算机网络	301
11.3.1 计算机网络的结构与类型	301
11.3.2 计算机网络协议	309
习题	314

第 1 章 计算机概述

计算机是一种能自动、高速、正确地完成数值计算、数据处理、实时控制等功能的电子设备。它能接收输入的数字信息，按照内部存储的指令序列去处理，并将产生的结果输出。计算机从第一台 ENIAC 诞生到现在，通过几十年的发展，无论从运算能力、外形结构，还是应用领域都发生了极大的变化，这种变化随着科学技术，特别是微电子技术的发展还会进一步深化。

无论计算机如何变化，它基本上有两大组成部分：硬件系统和软件系统。我们这门课程要了解计算机系统的内在特性，从逻辑设计的角度来看计算机中各个部件的基本属性。

1.1 计算机的发展

计算机是 20 世纪人类最伟大的发明之一。从第一台电子计算机的诞生，它经历了半个多世纪的发展历程，在微电子技术的发展和计算机使用需求的强力推动下，其发展速度之快，极大超出了我们的预想。

1.1.1 计算机的简史

1. 第一代计算机：电子管，ENIAC

在 1946 年，美国宾夕法尼亚大学为军队的弹道研究实验室设计和制造了世界上第一台电子计算机 ENIAC (Electronic Numerical Integrator and Computer, 电子数字积分器和计算机)。ENIAC 体积庞大，重约 30 吨，占地 170m²，采用了 18000 多个电子管，功耗约为 140kW。但它比当时的机械计算机要快得多，每秒钟能做 5000 次加法。ENIAC 采用十进制进行数据表示和计算。ENIAC 的主要缺点是存储量太小，至多只能存放 20 个字长为 10 位的十进制数；它采用外线路连接法编程，即通过设置开关和连接电缆来实现程序的编制和输入，每次使用都要依靠人工接线设置，使用起来很不方便。

为了克服 ENIAC 的不足，应用数学家冯·诺依曼提出了计算机设计和工作的新思想。冯·诺依曼思想的主要内容有：

- 计算机由控制器、计算器、存储器和输入/输出五大功能部件构成。
- 以运算器为中心，采用二进制进行数据的表示和计算。
- 计算机指令采用二进制编码并与数据存储在同一个记忆装置中，即存储程序。
- 存储器是线性编址的一维结构，每个存储单元位数固定。存储器中存放的指令和数据从其本身是无法区分的，它们都是以二进制编码表示的。
- 指令由操作码和地址码组成。操作码指定操作类型和操作数的数据类型，地址码指明操作数所在存储器或寄存器的位置。

冯·诺依曼的核心思想是存储程序，它不仅解决了速度匹配问题，还使得程序的逻辑选择和数值计算一样快。从而使计算机成为真正能够自动工作的机器。直到现在，世界上绝大多数计算机仍然采用冯·诺依曼的结构，所以，它们都被称为冯·诺依曼机。

第一代计算机尚无软件的概念，没有操作系统，没有高级语言。因此，只有专业人员才能使用计算机。在这一时期，计算机技术主要为军事和国防尖端技术服务，其研究成果逐渐扩展到民用，又转为工业产品，形成了计算机工业。20 世纪 50 年代中期，美国 IBM 公司在计算机行业中崛起，1954 年 12 月推出的 IBM650（小型机）是第一代计算机中行销最广的机器，销售量超过了 1000 台。

2. 第二代计算机：晶体管

随着晶体管的发明和成熟，这个时期计算机的主要器件由晶体管代替电子管。晶体管是由硅材料制成的半导体器件，体积小、功耗低、价格便宜。晶体管的使用是第二代计算机的标志。

第二代计算机除了逻辑元件采用晶体管之外，存储器件也有了较大发展，计算机的内存采用磁芯存储器，外存采用磁鼓和磁带，使速度得到了进一步的提高。

同时计算机软件也有了很大的发展，出现了多种高级语言，如 Fortran、Cobol 等。

在这个时期，不仅计算机在军事与尖端技术上的应用范围进一步扩大，而且在气象、工程设计、数据处理及其他商业研究领域内也应用起来。

1964 年控制数据公司（CDC）研制完成了高速大型计算机系统 CDC6600，1969 年 1 月，水平更高的 CDC7600 研制成功，它的速度达到每秒 1000 万次浮点运算能力。

3. 第三代计算机：集成电路

随着 IC（Integrated Circuit，集成电路）技术的进步，第三代计算机采用中小规模集成电路，其逻辑元件和存储器均由于集成电路实现。集成电路是以半导体单晶片为材料，经平面工艺加工制造，将大量晶体管、电阻等元器件及互连线构成的电子线路集成在基片上，构成一个微型化的电路或系统。现代集成电路使用的半导体材料通常是硅，也可以是化合物如砷化镓等。

集成电路根据它所包含的晶体管数目可以分为小规模、大规模、超大规模和极大规模集成电路。集成度小于 100 个电子元件的集成电路称为小规模集成电路（SSI）；中规模集成电路（MSI）的集成度在 100~3000 个电子元件；大规模集成电路（LSI）的集成度在 3000~10 万个电子元件；超大规模集成电路（VLSI）的集成度在 10 万~100 万个电子元件；超过 100 万个电子元件的集成电路称为极大规模集成电路（ULSI）。

集成电路芯片是微电子技术的结晶，它是计算机的硬件核心，是现代信息产业的基础。集成电路的特点是体积小，重量轻，可靠性好。集成电路的工作速度主要取决于组成逻辑门电路的晶体管的尺寸。晶体管的尺寸越小，其极限工作频率就越高，门电路的开关速度就越快。随着微细加工技术的发展，相同面积晶片上可容纳的晶体管越来越多，功能越来越强，工作速度越来越快。Intel 公司的创始人之一摩尔曾发表了著名的摩尔定律：单块集成电路的集成度平均每 18~24 个月翻一番。

这一时期的计算机，由于采用中小规模集成电路作为基本器件，因此功耗、体积、价格等大幅度下降，速度及可靠性相应提高，使得计算机的应用进一步扩大。同时，由于集成电路成本的快速下降，采用多处理器并行结构的大型机、巨型机和价廉物美的小型机也在这个时期得到了很大的发展，并占领了许多数据处理领域。这个时期的并行技术、流水线技术、数据库技术等新型技术的提出和应用对计算机的发展产生了巨大的影响。

IBM 公司推出的 IBM360 系统是最早采用集成电路的通用计算机，也是影响最大的第三代计算机。IBM360 系统当时有大、中、小型等 6 个计算机型号，平均运算速度从每秒几千次到一百万次。

4. 第四代计算机：大规模集成电路计算机

从 20 世纪 70 年代开始伴随着 LSI 和 VLSI 的迅猛发展，计算机工业的发展也有了长足的进步。集成电路芯片的集成度已从 20 世纪 70 年代初的每片几千个晶体管到现在的千万个晶体管。价格越来越低，速度也越来越快，这使得计算机已渗透到当今社会的各个角落。

第四代计算机除了主要器件采用 VLSI 这一显著特点之外，微处理器技术的出现和发展也是计算机发展史上里程碑式的事件。从 1971 年 Intel 的 4 位微处理器 4004 开始，到目前的 32 位和 64 位 Pentium 和 PowerPC，微处理器技术使得计算机最终走向办公室和家庭。

由于军事、商业、空间技术等大规模和高强度计算应用的迫切需要，以并行处理计算为基础的超级计算机也得到了很大的发展。目前超级计算机的主流产品大多采用大量的高性能微处理器组成大规模并行处理系统，其峰值速度已达到每秒几十万亿次。

从 20 世纪 90 年代开始，计算机网络技术特别是 Internet 技术的迅猛发展和普及，是计算机发展史上的又一次划时代的革命。全世界的计算机都可以通过因特网连在一起，使信息流通更加方便、快捷。电子商务、电子政务、协同办公、远程教育等新型工作方式开始步入我们的生活中。

5. 新一代计算机：新材料，非冯·诺依曼机

第四代计算机以后对计算机的不同时代划分的标准意见不一致。通常对新一代计算机（或称五代机）的划分并不是以器件的集成度而划分的。由于半导体器件的集成度受分子、原子的直径限制以及散热问题难以解决，人们正在搜寻速度更快、集成度更高的材料来生产元器件，如生物芯片、分子器件、超导材料、量子芯片等。

冯·诺依曼结构的计算机是指令驱动的串行执行的计算机，对现实世界中的大量并行性质的处理具有先天的不足。多年来，人们也在不断探索非冯·诺依曼结构的新型计算机，如数据驱动、并行推理等智能化计算机。

1.1.2 计算机的分类

目前计算机的种类非常多，按照其用途分为通用计算机和专用计算机；按照其运算速度可分为巨型机、大型机、小型机、工作站和微型计算机；按照所处理的数据类型可

分为模拟计算机、数字计算机和混合型计算机等。

1. 大型通用机

这类计算机具有极强的综合处理能力和极大的性能覆盖面。在一台大型机中可以使用几十台微机或微机芯片，用以完成特定的操作。可同时支持上万个用户，可支持几十个大型数据库。主要应用在政府部门、银行、大公司、大企业等。

2. 巨型机

巨型（也称超级）计算机，是计算机中功能最强、运算速度最快、存储容量最大和价格最贵的一类计算机。多用于国家高科技领域和国防尖端技术的研究，如核武器设计、核爆炸模拟、反导弹武器系统、空间技术、空气动力学、大范围气象预报、石油地质勘探等。具有代表性的产品有 1987 年由美国 Cray 公司研制的 Cray-3，其计算速度可达几十亿次/秒。1998 年 IBM 公司开发出被称为“蓝色太平洋”的超级计算机，每秒能进行 3.9 万亿次浮点运算。2002 年日本研制出目前世界上运行速度最快的超级计算机“地球模拟器”，运算速度高达每秒 40 万亿次浮点结果。

在硬件结构方面，超级计算机的机身，往往不是一个，而是一群；所占的地方，往往不是一点，而是一片。一台个人计算机一般有一两个微处理芯片，相比之下，超级计算机“白色”使用了 8000 多个处理器，协同动作。而 NEC，也就是日本电气公司研制的“地球模拟器”呢，采用了常见的平行架构，使用了 5000 多个处理器。“蓝色基因”将使用 13 万个 IBM 最先进的 Power5 微处理器。“ASCI 紫色”计算机使用大约 12600 个 IBM 新型芯片。

3. 小型机

小型机的机器规模小、结构简单、设计试制周期短，便于及时采用先进工艺技术，软件开发成本低，易于操作维护。它们已广泛应用于工业自动控制、大型分析仪器、测量设备、企业管理、大学和科研机构等，也可以作为大型和巨型计算机系统的辅助计算机。

小型机是指运行原理类似于 PC（个人电脑）和服务器，但性能及用途又与它们截然不同的一种高性能计算机，它是 20 世纪 70 年代由 DCE（数字设备公司）公司首先开发的一种高性能计算机产品。

小型机具有区别 PC 及其服务器的特有体系结构，还有各制造厂自己的专利技术，有的还采用小型机专用处理器，比如美国 Sun、日本 Fujitsu（富士通）等公司的小型机是基于 SPARC 处理器架构，而美国 HP 公司的则是基于 PA-RISC 架构；Compaq 公司是 Alpha 架构。另外 I/O 总线也不相同，Fujitsu 是 PCI，Sun 是 SBUS，等等。这就意味着各公司小型机器上的插卡，如网卡、显示卡、SCSI 卡等可能也是专用的。此外，小型机使用的操作系统一般是基于 UNIX 的，像 Sun、Fujitsu 是用 Sun Solaris，HP 是用 HP-UNIX，IBM 是 AIX。所以小型机是封闭专用的计算机系统。使用小型机的用户一般是看中 UNIX 操作系统的安全性、可靠性和专用服务器的高速运算能力。

现在生产小型机的厂商主要有 IBM 和 HP 及浪潮、曙光等。IBM 典型机器有 RS/6000、AS/400 等。它们的主要特色在于年宕机时间只有几小时，所以又统称为 Z 系列 (Zero, 零)。AS/400 主要应用在银行和制造业，还有用于 Domino，主要的技术在于 TIMI (技术独立机器界面)，单级存储，有了 TIMI 技术，可以做到硬件与软件的相互独立。RS/6000 比较常见，用于科学计算和事务处理等。

4. 微型机

微型机技术在近 10 年内发展速度迅猛，平均每 2~3 个月就有新产品出现，1~2 年产品就更新换代一次。平均每两年芯片的集成度可提高 1 倍，性能提高 1 倍，价格降低一半。

目前还有加快的趋势。微型机已经应用于办公自动化、数据库管理、图像识别、语音识别、专家系统，多媒体技术等领域，并且开始成为城镇家庭的一种常规电器。

1.2 计算机硬件

1.2.1 计算机硬件组成

组成计算机的基本部件有运算器、控制器、存储器、输入设备和输出设备。它的基本结构如图 1.1 所示。

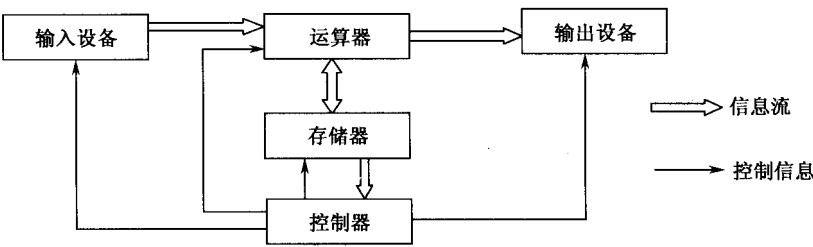


图 1.1 计算机组成框图

中央处理器是运算器与控制器的合称，在现代超大规模集成电路构成的微型机中 CPU 被集成在一块芯片上，它是计算机硬件系统的核心。存储器有主存储器和辅助存储器。主存储器与 CPU 被称为主机。辅助存储器、输入设备和输出设备统称为外部设备。各部件之间的信息交流通过总线实现。

1. CPU (中央处理器)

CPU 的工作是执行指令，按照指令中的要求对数据进行运算和处理。运算器和控制器两部件分工合作完成这些工作。

运算器由算术逻辑部件 (Arithmetical and Logical Unit, ALU)、寄存器组以及一些控制数据传送的电路组成，其中算术逻辑部件 ALU 是运算器的主要部件，它的核心是加法器，加、减、乘、除等基本算术运算都在这里进行，参加运算的数据来自寄存器，运算结果也送到寄存器中保存。一般运算器中有多个 ALU，每个 ALU 可以分别工作，提高运算速度。该部件还具有移位功能，并可以执行与、或、非等逻辑运算和求

补等运算处理。

控制器是 CPU 的指挥中心。它负责对指令进行译码,产生一系列控制信号,指挥和协调计算机的各个部件有序工作。

控制器根据预先存放在存储器中的程序对计算机进行控制。每当取出一条指令,就对该指令进行分析,然后根据指令的要求向各部件发出控制信号(例如进行加法或减法运算),并接收执行部件向控制器发回有关指令执行情况的反馈信息。控制器的这种工作过程实质上就是取指令、分析指令、执行指令再取下一条指令,周而复始地使计算机工作的过程。

控制器的组成与指令格式、控制方式、总线结构等因素有关,并因机型不同而稍有差异。但一般来说,控制器必须包含以下几个部件。

(1) 指令指针 IP

指令指针 (Instruction Pointer, IP), 又称为指令计数器或指令地址寄存器, 或称为程序计数器。它的功能是指示程序执行的顺序。在取指令阶段, 它用于指示本指令的地址; 而当指令执行完毕后, 它又用来存放下一条将要执行的指令地址。

(2) 指令寄存器 IR

指令寄存器 (Instruction Register, IR), 它的功能是保存计算机正在执行的指令代码, 该代码是从存储器读出后送来的。一般情况下, 指令执行期间指令寄存器的内容是不会改变的, 但是当一条指令执行完毕后, 新的指令将会从存储器读入该寄存器中。

(3) 指令译码器 ID

指令译码器 (Instruction Decoder, ID), 就是指令分析器, 它根据指令的内容及各种标志进行分析后, 产生本条指令所需要的各种操作信号, 并送往各个执行部件。

(4) 控制信号发生器

微型计算机是一种极为复杂的电子装置, 它的每一个操作步骤都是严格按照时序要求进行的。不同的指令, 执行的时间也不相同。控制信号发生器 (或称时序部件) 就是用来产生执行各种基本操作所需要的一系列控制信号, 以保证计算机能够正确地完成规定的运算任务。

2. 主存储器

主存储器 (简称主存) 用于存放计算机当前执行的程序和需要使用的数据, 它的存取速度快, CPU 可以直接对它进行访问。主存储器主要由半导体存储器件组成, 下面说明它的组成和基本工作原理。

主存储器包括存储体、地址寄存器、选址部件、数据缓冲寄存器以及读写控制电路等基本部件, 其中存储体是存放信息的实体, 把它分为若干个存储单元, 每个存储单元存放一串二进制数 (例如一个字节)。为了能够区分存储体中的不同单元, 按照一定顺序 (如按字节) 对它们进行编号, 这些编号就称为存储地址, 简称地址。如图 1.2 所示, 存储体共有 N 个存储单元, 地址编号为 $0 \sim (N-1)$, 每个地址中存放的数据称为地址的内容 (简称内容), CPU 可以对每个地址中的内容进行读写。