

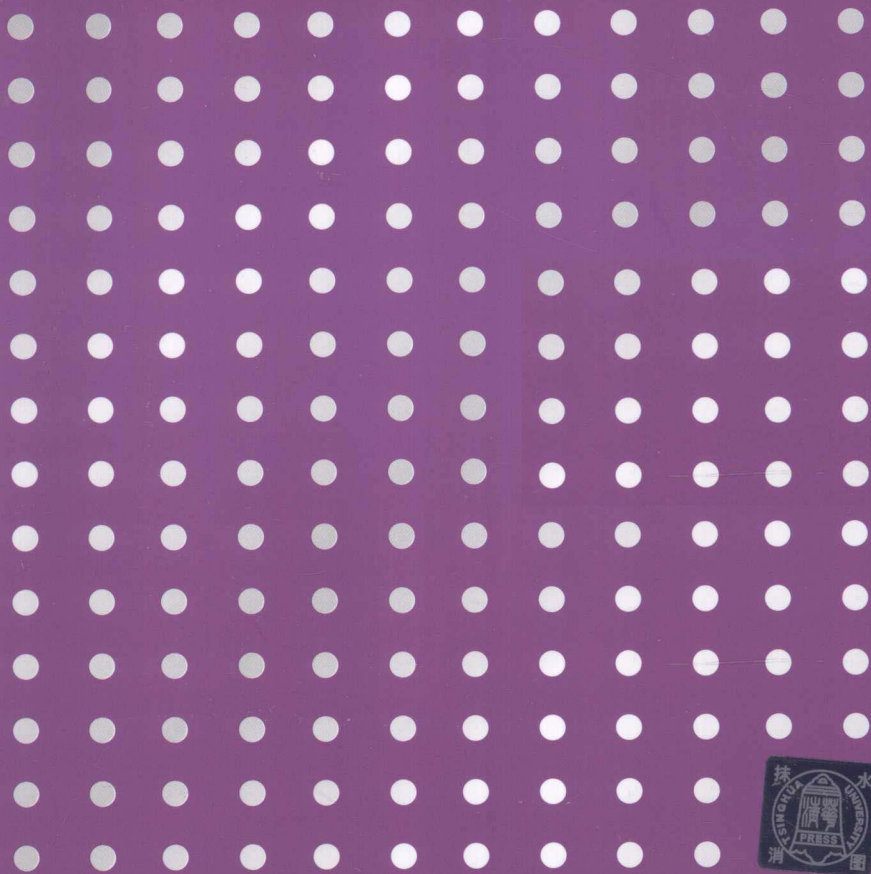


高等学校计算机教材建设立项项目

高等院校信息技术规划教材

# 计算机组成原理 与系统结构

陈建铎 主编  
张乐芳 王艳君 苏春莉 赵向梅 编著



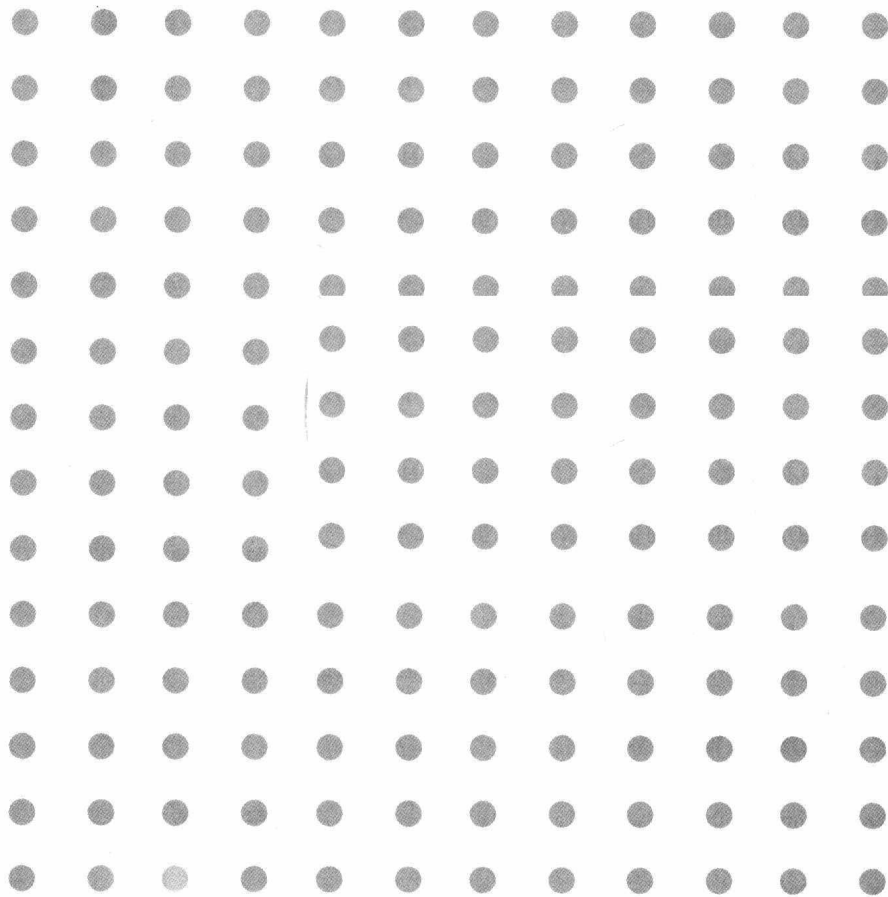
清华大学出版社

高等院校信息技术规划教材

# 计算机组成原理 与系统结构

陈建铎 主编

张乐芳 王艳君 苏春莉 赵向梅 编著



清华大学出版社  
北京

## 内 容 简 介

本书将计算机组成原理与计算机系统结构的主要内容融为一体。全书共 13 章,内容包括计算机基本组成与工作原理、存储器组成原理与层次结构、指令系统与汇编语言程序设计、常用外部设备、总线技术与输入输出方式、标量流水线技术、向量流水线技术、向量处理机、计算机互联网络技术、并行处理与阵列机、大型并行多处理机系统组成及超级异构多态体系结构计算机技术。

本书适合电类专业(包括计算机科学与技术、网络工程、软件工程、通信工程及电子信息等)本科学使用,也可供同类专业专科及高职类学生使用。

本书封面贴有清华大学出版社防伪标签,无标签者不得销售。

版权所有,侵权必究。侵权举报电话:010-62782989 13701121933

### 图书在版编目(CIP)数据

计算机组成原理与系统结构/陈建铎主编. --北京:清华大学出版社,2015

高等院校信息技术规划教材

ISBN 978-7-302-38907-1

I. ①计… II. ①陈… III. ①计算机组成原理—高等学校—教材 ②计算机体系结构—高等学校—教材 IV. ①TP30

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 004872 号

责任编辑:焦虹 战晓雷

封面设计:常雪影

责任校对:时翠兰

责任印制:宋林

出版发行:清华大学出版社

网 址: <http://www.tup.com.cn>, <http://www.wqbook.com>

地 址:北京清华大学学研大厦 A 座 邮 编:100084

社总机:010-62770175 邮 购:010-62786544

投稿与读者服务:010-62776969, [c-service@tup.tsinghua.edu.cn](mailto:c-service@tup.tsinghua.edu.cn)

质量反馈:010-62772015, [zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn](mailto:zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn)

课件下载: <http://www.tup.com.cn>, 010-62795954

印 装 者:三河市中晟雅豪印务有限公司

经 销:全国新华书店

开 本:185mm×260mm 印 张:21.75 字 数:504千字

版 次:2015年3月第1版 印 次:2015年3月第1次印刷

印 数:1~2000

定 价:39.00元

产品编号:057619-01

# 前言

## foreword

目前,几乎所有的《计算机组成原理》教材都在最后增加了1~2章,讲述流水线与并行处理技术。笔者认为,这对于计算机科学与技术专业的学生来说意义不大。因为他们在学完“计算机组成原理”之后还要学习更深层次的“计算机系统结构”。而对于非计算机科学与技术专业的学生,如网络工程、软件工程、通信工程以及电子信息类各专业,仅补充1~2章流水线与并行处理技术是远远不够的。在当今网络时代,各类大型机、巨型机比比皆是。为此,我们新编了一部《计算机组成原理与系统结构》,旨在把原来两门课的内容融为一体,供电类各专业的学生使用。

本书既包含计算机组成原理,又包含计算机系统结构的主要内容,使学生在—门课程中既学习计算机组成原理,又学习计算机系统结构的知识,了解各类大型机、巨型机的组成方式、工作原理及计算机最新技术。本书的内容包括计算机的基本组成与工作原理、存储器组成原理与层次结构、指令系统与汇编语言程序设计、常用外部设备、总线技术与输入输出方式、标量流水线技术、向量流水线技术、向量处理机、计算机互连网络技术、并行处理与阵列机、大型并行多处理机系统组成及超级异构多态体系结构的计算机技术等。各章配有习题,供学生练习和考核。

全书分为13章。第1章主要介绍计算机的产生与发展,计算机的类型、特点、性能指标与应用,计算机硬件软件的概念,指令与程序的概念,计算机的层次结构以及计算机系统结构的类型与性能分析。第2章主要介绍数据类型与数据表示,二进制数与不同进制数的转换,原码/反码/补码与运算,定点数、浮点数及IEEE 754标准。第3章主要介绍加法器的组成原理,定点/浮点数加减乘除运算,逻辑运算及运算器系统组成原理。第4章主要介绍指令系统与汇编语言程序设计的基本概念,存储器地址分配与寻址方式,指令格式与指令优化设计,指令系统举例与汇编语言程序设计。第5章主要介绍程序执行过程,控制器的功能与组成,微操作信号发生器,包括



组合逻辑控制器和微程序控制器。第6章主要介绍存储器的类型与性能指标,存储器的组成,随机存取存储器(RAM)/只读存储器(ROM)的工作原理,存储器与CPU的连接,磁盘/光盘存储器组成原理,存储器的层次结构,多体并行存储器,磁盘阵列,Cache/虚拟存储器的组成与管理方式。第7章主要介绍常用输入设备(键盘、鼠标器、扫描仪)和常用输出设备(CRT显示器、LCD显示器、激光打印机、喷墨打印机)的工作原理。第8章主要介绍总线的概念,总线的组成与标准,总线结构与总线数据传输方式、输入输出接口和输入输出方式,包括直接传送方式、程序查询传送方式、中断控制传送方式、直接存储器存取(DMA)方式、通道控制方式及I/O处理器。第9章主要介绍程序执行过程中的重叠操作与先行控制,标量流水线工作原理,流水线分类,流水线的实现与控制,指令级流水线及超级流水机的组成原理。第10章主要介绍向量数据表示与自定义数据,向量流水的概念与工作原理,向量处理与增强向量处理性能的方法,向量处理性能的评价参数与评价方法,向量化编译技术,向量处理机的组成原理。第11章主要介绍互连网络的功能与性能指标,常用互联函数,静态互连网络,动态互连网络及消息传送与控制。第12章主要介绍并行处理技术和开发并行性的途径,SIMD阵列机的基本结构,阵列机并行算法,SIMD阵列机的特点及并行存储器无冲突访问。第13章主要介绍并行多处理机的基本结构与类型,多处理机中Cache的一致性,并行多处理机技术,并行多处理系统结构的发展趋势,包括大规模并行处理机、共享存储器型多处理机、并行向量多处理机以及最新的异构多态体系结构计算机的发展趋势。本书参考学时为72学时。

全书第1、2章由张乐芳编写,第3、4章由王艳君编写,第5、7章由苏春莉编写,第6、8章由赵向梅编写,其余各章由陈建铎编写;陈建铎负责全书统稿。在编写时,我们力求知识结构完备、层次分明、概念清楚、内容简练,既讲清基本理论,又能反映计算机最新技术;通过应用实例和举例,力图把理论与实际应用结合起来,以加深学生对基本理论的理解,同时使学生了解大型机、巨型机的组成方式与工作原理,为以后从事信息技术领域的工作奠定基础;在文字方面,尽量做到语言简练、通俗易懂。

由于编者水平有限,难免在取材和叙述方面存在不当之处,诚请同行专家和读者批评指正。

编者

2015年1月

# 目录

# Contents

<b>第 1 章 计算机概述</b> .....	1
1.1 计算机的产生与发展 .....	1
1.1.1 计算机的产生 .....	1
1.1.2 计算机的发展 .....	2
1.2 计算机的类型、特点、性能指标与应用 .....	3
1.2.1 计算机的类型与特点 .....	3
1.2.2 计算机的主要性能指标 .....	4
1.2.3 计算机的应用与发展趋势 .....	5
1.3 计算机系统概述 .....	7
1.3.1 硬件系统 .....	8
1.3.2 软件系统 .....	9
1.3.3 指令与程序 .....	10
1.3.4 计算机系统的层次结构 .....	11
1.4 计算机系统结构概述 .....	13
1.4.1 计算机系统结构的内涵 .....	13
1.4.2 计算机系统的组成与实现 .....	14
1.4.3 计算机系统结构的类型 .....	15
1.4.4 计算机系统性能分析 .....	16
习题一 .....	20
<b>第 2 章 计算机中数据的类型、表示与运算</b> .....	22
2.1 数据类型与数据表示 .....	22
2.1.1 数据类型 .....	22
2.1.2 数据表示 .....	23
2.2 二进制数及与不同进制数的转换 .....	24
2.2.1 二进制数的表示与运算 .....	24
2.2.2 二进制数与不同进制数的转换 .....	27

2.3	十进制数与字符的二进制数表示 .....	30
2.3.1	十进制数的二进制数表示 .....	31
2.3.2	字符的二进制数表示 .....	32
2.4	原码、补码、反码及运算 .....	33
2.4.1	机器数与原码 .....	33
2.4.2	补码与运算 .....	34
2.4.3	反码与运算 .....	36
2.4.4	溢出与变形补码 .....	36
2.5	定点数与浮点数 .....	38
2.5.1	定点数 .....	38
2.5.2	浮点数 .....	39
2.5.3	IEEE 754 标准 .....	40
	习题二 .....	41
<b>第3章</b>	<b>运算器 .....</b>	<b>44</b>
3.1	算术逻辑部件 .....	44
3.1.1	加法器 .....	44
3.1.2	并行加法运算与快速进位链 .....	46
3.2	算术逻辑运算实现过程 .....	48
3.2.1	定点数加减法运算 .....	48
3.2.2	定点数乘法运算 .....	49
3.2.3	定点数除法运算 .....	52
3.2.4	浮点数运算 .....	56
3.2.5	逻辑运算 .....	58
3.3	运算器系统组成与举例 .....	59
3.3.1	运算器系统组成 .....	59
3.3.2	运算器举例 .....	61
	习题三 .....	63
<b>第4章</b>	<b>指令系统与汇编语言程序设计 .....</b>	<b>65</b>
4.1	指令系统概述 .....	65
4.1.1	指令与程序 .....	65
4.1.2	汇编语言程序 .....	66
4.1.3	指令系统的设计要求与分类 .....	67
4.2	地址分配与指令优化设计 .....	69
4.2.1	地址分配 .....	69
4.2.2	寻址方式 .....	71



4.2.3 指令格式与优化设计 .....	73
4.3 指令系统举例与汇编语言程序设计 .....	77
4.3.1 80x86 指令系统 .....	78
4.3.2 汇编语言程序设计 .....	94
习题四 .....	99
<b>第 5 章 控制器</b> .....	<b>102</b>
5.1 程序执行过程 .....	102
5.2 控制器的功能与组成 .....	103
5.2.1 控制器的功能 .....	103
5.2.2 控制器的组成 .....	104
5.3 微操作信号发生器 .....	106
5.3.1 组合逻辑控制器 .....	107
5.3.2 指令执行过程举例 .....	109
5.3.3 微程序控制器 .....	111
习题五 .....	116
<b>第 6 章 存储器体系结构</b> .....	<b>118</b>
6.1 存储器概述 .....	118
6.1.1 存储器分类 .....	118
6.1.2 存储器的主要性能指标 .....	119
6.1.3 存储器的组成 .....	120
6.2 随机存取存储器 .....	122
6.2.1 基本存储单元 .....	122
6.2.2 随机存取存储器举例 .....	124
6.3 只读存储器 .....	126
6.3.1 固定只读存储器 .....	126
6.3.2 可编程只读存储器 .....	128
6.3.3 可改写只读存储器 .....	128
6.3.4 电擦除与快闪存储器 .....	129
6.3.5 只读存储器举例 .....	130
6.4 存储器与 CPU 的连接 .....	133
6.4.1 位扩展 .....	133
6.4.2 容量扩展 .....	133
6.4.3 片选信号 .....	134
6.5 辅助存储器 .....	135
6.5.1 磁盘存储器 .....	135



6.5.2	光盘存储器 .....	139
6.6	存储器的层次结构与系统组成 .....	142
6.6.1	存储器的层次结构 .....	142
6.6.2	基本概念与性能参数 .....	142
6.6.3	多体并行存储器 .....	144
6.6.4	磁盘阵列 .....	146
6.7	高速缓冲存储器 .....	149
6.7.1	Cache 的基本概念 .....	149
6.7.2	Cache 的组成与工作原理 .....	150
6.7.3	地址映像与变换 .....	151
6.7.4	Cache 置换策略与主存更新 .....	155
6.7.5	Cache 性能分析 .....	159
6.8	虚拟存储器 .....	161
6.8.1	基本概念 .....	161
6.8.2	虚拟存储器的管理方式 .....	163
6.8.3	虚拟地址快速变换法 .....	168
6.8.4	置换策略 .....	169
6.8.5	虚拟存储器管理举例 .....	170
6.9	存储器保护措施 .....	174
	习题六 .....	175
<b>第 7 章 常用输入输出设备 .....</b>		<b>178</b>
7.1	概述 .....	178
7.2	常用输入设备 .....	179
7.2.1	键盘 .....	179
7.2.2	鼠标器 .....	181
7.2.3	扫描仪 .....	182
7.3	常用输出设备——显示器 .....	184
7.3.1	CRT 显示器 .....	184
7.3.2	LCD 显示器 .....	187
7.4	常用输出设备——打印机 .....	188
7.4.1	打印机控制系统 .....	188
7.4.2	激光打印机 .....	189
7.4.3	喷墨打印机 .....	189
7.5	多媒体技术与设备 .....	191
	习题七 .....	192

<b>第 8 章 总线技术与输入输出方式</b> .....	194
8.1 总线技术 .....	194
8.1.1 总线的基本概念 .....	194
8.1.2 总线的组成与标准 .....	195
8.2 总线结构与总线数据传输方式 .....	196
8.2.1 总线结构 .....	196
8.2.2 总线数据传输方式 .....	198
8.3 输入输出接口 .....	199
8.3.1 输入输出接口概述 .....	199
8.3.2 I/O 接口的功能 .....	199
8.3.3 I/O 接口的组成 .....	200
8.3.4 I/O 端口编址 .....	201
8.3.5 I/O 接口分类 .....	201
8.4 输入输出方式 .....	202
8.4.1 直接传送方式 .....	202
8.4.2 程序查询传送方式 .....	204
8.4.3 中断控制传送方式 .....	206
8.4.4 直接存储器存取方式 .....	207
8.4.5 通道控制方式与 I/O 处理器 .....	208
习题八 .....	209
<b>第 9 章 标量流水线技术</b> .....	211
9.1 概述 .....	211
9.2 标量流水线 .....	213
9.2.1 标量流水线工作原理 .....	213
9.2.2 标量流水线分类 .....	215
9.2.3 流水线性能分析 .....	216
9.2.4 流水线中的主要障碍 .....	220
9.2.5 流水线的实现与控制 .....	226
9.2.6 流水线的动态调度 .....	228
9.3 指令级流水线 .....	232
9.3.1 指令级流水线概述 .....	232
9.3.2 超级标量流水线 .....	232
9.3.3 超长指令字 .....	234
9.3.4 软件流水法 .....	236
9.3.5 超级流水机举例 .....	237



习题九 .....	238
<b>第 10 章 向量流水与向量处理机 .....</b>	<b>241</b>
10.1 向量数据表示与自定义数据 .....	241
10.1.1 向量数据表示 .....	241
10.1.2 自定义数据表示 .....	243
10.2 向量流水的工作原理 .....	245
10.2.1 向量流水的概念与特点 .....	245
10.2.2 向量处理机的基本组成 .....	246
10.2.3 向量启动时间与结果流出时间 .....	247
10.2.4 向量操作长度控制与向量访问步长 .....	248
10.3 向量处理与增强向量处理性能的方法 .....	250
10.3.1 向量处理方法 .....	250
10.3.2 增强向量处理性能的方法 .....	251
10.4 向量处理性能的评价参数与评价方法 .....	257
10.4.1 机器向量长度与向量流水处理时间 .....	257
10.4.2 向量流水操作中处理时间及速率与向量长度的关系 .....	258
10.4.3 向量流水处理中与向量长度有关的参数 .....	259
10.5 向量化编译技术 .....	260
10.6 向量处理机举例 .....	261
10.6.1 多向量多处理机 CRAY Y-MP 816 .....	261
10.6.2 C90 .....	262
习题十 .....	263
<b>第 11 章 计算机互联网络技术 .....</b>	<b>266</b>
11.1 互联网络基本概念 .....	266
11.1.1 互联网络的功能与性能指标 .....	266
11.1.2 互联函数 .....	269
11.2 静态互联网络 .....	272
11.2.1 静态互联网络结构 .....	272
11.2.2 静态互联网络特性 .....	276
11.3 动态互联网络 .....	277
11.3.1 总线互联方式 .....	277
11.3.2 交叉开关互联方式 .....	278
11.3.3 多级网络互联方式 .....	279
11.4 消息传送与控制 .....	287
11.4.1 消息寻径方式 .....	287

11.4.2 虚拟通道与死锁 .....	290
11.4.3 流控制策略 .....	291
习题十一 .....	294
<b>第 12 章 并行处理技术与阵列机原理 .....</b>	<b>296</b>
12.1 并行处理技术 .....	296
12.1.1 并行处理的基本概念 .....	296
12.1.2 开发并行性的途径 .....	297
12.2 SIMD 阵列机 .....	298
12.2.1 SIMD 阵列机的基本结构 .....	298
12.2.2 阵列机并行算法 .....	300
12.2.3 SIMD 阵列机的特点 .....	304
12.2.4 并行存储器无冲突访问 .....	304
12.2.5 典型 SIMD 阵列机举例 .....	306
习题十二 .....	309
<b>第 13 章 并行多处理机与计算机系统结构的发展趋势 .....</b>	<b>311</b>
13.1 并行多处理机的基本结构与类型 .....	311
13.1.1 紧耦合多处理机 .....	311
13.1.2 松耦合多处理机 .....	314
13.1.3 多处理机中高速缓存的一致性 .....	315
13.2 并行多处理机技术 .....	316
13.2.1 程序并行性分析 .....	317
13.2.2 并行程序设计语言 .....	318
13.2.3 多处理机操作系统 .....	320
13.2.4 多处理机调度策略 .....	321
13.3 并行多处理机系统的发展 .....	322
13.3.1 大规模并行处理机 .....	322
13.3.2 共享存储器型多处理机 .....	325
13.3.3 并行向量多处理机 .....	329
13.4 计算机系统结构的发展趋势 .....	331
习题十三 .....	333
<b>参考文献 .....</b>	<b>336</b>

## 计算机概述

本章主要介绍计算机的产生与发展、计算机的类型与特点、计算机的应用与发展趋势、计算机软硬件系统的组成、各组成部件的作用、指令与程序的概念、计算机系统的层次结构、计算机系统的组成与实现、计算机系统结构的分类以及计算机系统性能分析。

本章的重点是计算机的类型与特点、计算机中各组成部件的作用、计算机系统的层次结构、计算机系统的组成与实现、计算机系统结构的分类以及计算机系统性能分析。

### 1.1 计算机的产生与发展

计算机的产生与发展伴随着人类社会发展的全过程,是人类劳动的成果、智慧的结晶。

#### 1.1.1 计算机的产生

在历史长河中,人类发明和创造了许多算法与计算工具,例如我国商朝时期的算珠、春秋战国时期的算表、唐宋时期的算盘,欧洲16世纪出现的计算圆图、对数计算尺等。到了1642年,法国物理学家帕斯卡(Blaise Pascal)发明了齿轮式加法器;以后,德国数学家莱布尼兹(G. W. Von Leibniz)设计制造出能进行四则运算的机械式计算器。1822年,英国剑桥大学教授查尔斯·巴贝奇(Charles Babbage)提出了“自动计算机”的概念,并于1834年设计成一台分析机,由输入装置、处理装置、存储装置、控制装置和输出装置组成。1847年,英国数学家乔治·布尔(George Boole)创立了逻辑代数。20世纪初,IBM公司涉足现代计算机的研究,1944年由美国哈佛大学霍华德·艾肯(Honward Aiken)设计,IBM公司制造的Mark I计算机投入运行。这台计算机用继电器作为开关元件,按巴贝奇的设计思想使用十进制齿轮组作为存储器,用穿孔纸带进行程序的输入与控制,有了现代电子数字计算机的雏形。

直到1946年1月,美国宾夕法尼亚大学的约翰·莫克利(John Mauchly)和普雷斯普尔·埃克特(J. Presper Eckert)主持研制成世界上第一台电子数字计算机埃尼阿克(ENIAC, Electronic Numerical Integrator And Calculator)。这台计算机使用了18 800多个电子管、1500多个继电器,占地170m<sup>2</sup>,重30t,耗电150kW,内存储器容量17KB,字

长 12 位,每秒可进行 5000 次加法运算。由于其存储容量太小,没有完全实现“存储程序”的思想。1951 年,在冯·诺依曼(John von Neumann)的主持下,研制成 EDVAC (Electronic Discrete Variable Automatic Computer)计算机,完全实现了“存储程序”的思想,故称为冯·诺依曼计算机。

## 1.1.2 计算机的发展

自从第一台电子计算机诞生以来,计算机得到迅速的发展,它伴随着电子技术的发展经历了四个时期,也称为四代。现在,又在向第五代智能化计算机的方向发展。

### 1. 第一代计算机

第一代主要指 1946—1958 年,那时计算机的基本电子器件是电子管,主存储器使用的是延迟线,外存储器有穿孔纸带、穿孔卡片和磁鼓,运算速度为每秒几千到几万次,编程语言是最基本的机器语言和汇编语言,主要用于科学计算。其存储容量小,体积大,功耗大,成本高。到了后期,开始使用磁芯存储器,而且出现了高级语言。

### 2. 第二代计算机

第二代主要指 1959—1964 年,基本电子器件是晶体管,主存储器使用的是磁芯存储器,外存储器有穿孔纸带、磁鼓、磁盘和磁带等。编程语言有汇编语言和高级语言,例如 FORTRAN、COBOL、ALGOL 等。而且出现了操作系统,存储容量大幅度增加,运算速度达到每秒 100 万次以上。第二代计算机体积和功耗减小,可靠性提高,主要用于科学计算和自动控制。

### 3. 第三代计算机

第三代主要指 1964—1971 年,基本电子器件是集成电路,主存储器仍以磁芯存储器为主,容量增大,外存储器使用的是磁盘和磁带。操作系统进一步发展,高级语言种类增加,功能增强。体积进一步减小,功耗进一步降低,可靠性进一步提高,运算速度达到每秒 1000 万次以上。产品向标准化、模块化和系列化的方向发展,且与通信技术结合,出现了计算机网络。第三代计算机除了用于科学计算、工业自动控制之外,开始用于数据信息处理和事务管理。

### 4. 第四代计算机

第四代主要指 1971 年以后,基本电子器件是大规模或超大规模集成电路,主存储器使用半导体存储器,容量大幅度增加,外存储器有磁盘、磁带和光盘。产品进一步向标准化、模块化、系列化和多元化发展,运算速度达到每秒几亿至千万亿次以上。在结构上产生了由大量微处理器构成的多处理机系统。尤其是 20 世纪 80 年代以后,一方面各种大规模、超大规模计算机层出不穷;另一方面微型计算机迅速发展,且与多媒体技术结合,产生了大量高性能的多媒体计算机。在计算机网络方面,进一步与通信技术相结合,产生了 Internet。

## 5. 第五代计算机

在第四代计算机产生数年后,人们就期待第五代计算机的诞生。但是,这一时期人们认为不能再单纯用电子器件来衡量计算机的发展,而在性能上应有大的突破,即模拟人的大脑,具有逻辑思维、逻辑推理、自学习和知识重构等功能,也就是智能化计算机。

1965年,L. A. Zadeh 模糊理论的创立为智能化计算机的研究奠定了理论基础,随后出现了专家系统和人工智能的研究。到了20世纪80年代,相继研制成模糊控制器、模糊存储器和模糊计算机,可模拟人脑进行逻辑思维和推理,初步具有自学习和知识重构的能力。自20世纪90年代以后,各国学者开始了真实(现实)世界计算(real world computing)的研究。这些都在催生第五代计算机的诞生。又如,机器人的研究已经在很多方面体现了计算机在智能化方面的发展。

## 6. 非冯·诺依曼计算机的发展

随着计算机技术和应用领域的拓展,冯·诺依曼型计算机已经不能满足需要,所以人们又提出了非冯·诺依曼计算机的设想。从20世纪60年代开始沿着两个方向发展。一是研究新的程序设计语言,即非冯·诺依曼语言,例如采用数据流驱动的数据流计算机、以需求驱动的归约机等。二是采用新型元器件取代以电子传送信息的方式,例如光子计算机、量子计算机和生物计算机等。

# 1.2 计算机的类型、特点、性能指标与应用

## 1.2.1 计算机的类型与特点

### 1. 计算机的类型

目前,人们所说的计算机主要是指电子数字计算机。有多种分类方式,比如按用途可分为专用机和通用机,按系统结构、规模和数据处理能力可分为巨型机、大型机、中型机、小型机、微型机、单片机和嵌入式芯片等。

巨型机主要指计算机的规模大,综合处理能力强,具体表现为字长长,存储器容量大,指令功能全,数据处理能力强,运算速度快。大型机次之,中、小型机再次之。微型计算机体积小、携带方便,主要有台式计算机、笔记本电脑等。单片机是将构成计算机的主要部件制作在一块集成电路芯片中,亦属微型计算机。随着微电子技术的发展,巨型机、大、中、小型机之间的界线越来越模糊,今天的大型机明天可能变成中、小型机,今天的微型机明天可能由一块单片机代替。除上述各种类型之外,近年来的便携机发展很快,例如各种嵌入式芯片、掌上电脑和手机电脑等。

除了通用计算机之外,还有各种专用机。常见的有各种工业控制机、语言翻译机、收款机、游戏机以及数字信号处理机(DSP)等。



## 2. 主要特点

电子数字计算机不仅可以高速地进行数值计算与信息处理,而且有超强的记忆功能和逻辑判断能力。其主要特点概括如下:

(1) 由电子器件构成,采用二进制计数方式。按物理结构,仅能进行一般的算术逻辑运算;配以相应的程序,可进行复杂的数值计算、工程设计、图形图像及声音等多种媒体信息的处理;配以适当的执行机构,可实现复杂过程的自动控制。因此,现代计算机是一种既包括硬件又包括软件的联合体,即计算机系统。

(2) 按照“存储程序”的方式进行工作。它要将程序和待处理的数据事先存入存储器,然后执行程序,或对数据进行处理,全部工作是一个执行程序的过程。

(3) 具有高速运算与信息处理能力。目前,现代大型计算机的运算速度可在千万亿次/秒以上。

(4) 具有超强的信息存储能力。现代计算机一般都配有大容量的存储器甚至海量存储器。

例如,我国研制的天河二号计算机,峰值性能为 1.003 TFLOPS,它运算 1 小时,相当于 13 亿人同时用计算器计算一千年。它的内存总容量为 1.408PB,相当于存储每册 10 万字的图书 600 亿册。

### 1.2.2 计算机的主要性能指标

计算机的主要性能指标有字长、运算速度、主频以及存储器容量等。

#### 1. 字长

字长是计算机一次直接处理二进制数据的位数,一般与运算器的位数一致。就一般而言,字长越长,精度越高。一般字长有 8 位、16 位、32 位、64 位和 128 位等。

#### 2. 运算速度

运算速度是指计算机每秒执行基本指令的条数。表示单位有次/秒、百万次/秒、亿次/秒、万亿次/秒、千万亿次/秒等。对于浮点数运算,表示每秒执行浮点运算指令的条数。一般一次浮点运算相当于 3 条定点运算指令的执行过程。

#### 3. 主频

主频是指计算机的主时钟频率,它在很大程度上反映了计算机的运算速度,因此人们也常以主频来衡量计算机的速度。主频的单位是赫兹(Hz),实际使用时常以 MHz、GHz 表示,比如至强 Xeon L5420/2.5 和 Pentium IV/3.2 分别表示主时钟频率为 2.5GHz 和 3.2GHz。

#### 4. 存储器容量

存储器包括内存储器和外存储器,其容量表示存储二进制数据的能力,以字节(B)为

单位。常用千字节(KB)、兆字节(MB)、吉字节(GB)、太字节(TB)和拍字节(PB)来表示。

$$1\text{KB}=1024\text{B}$$

$$1\text{MB}=1024\text{KB}$$

$$1\text{GB}=1024\text{MB}$$

$$1\text{TB}=1024\text{GB}$$

$$1\text{PB}=1024\text{TB}$$

除此之外,在购置计算机时常考虑的性能指标还有功耗、无故障率、电源电压以及软件兼容性等。

### 1.2.3 计算机的应用与发展趋势

#### 1. 计算机的应用

在现代社会中,计算机的应用非常广泛,可以说无处不有,无处不用。概括起来有以下几个方面。

##### 1) 科学计算

科学计算是当初计算机设计制造者的初衷,如今仍是计算机应用的一个重要方面。例如空间技术、机械制造、遗传工程、大型建筑物的设计、天气预报、石油地质勘探以及大系统工程的论证等,都需要大量精确的计算,这些计算仍需要计算机来完成。

##### 2) 信息处理与办公自动化

在人们的社会生活中有大量数据信息需要处理。比如财务管理、人事档案管理、银行业务、证券市场、民航铁路运输、国民经济中的统计、规划及预算等,都要使用计算机进行计算,通过计算机网络进行信息传送,在当前表现为大数据处理。计算机及其网络是必备的技术与工具。

##### 3) 自动控制

由于计算机具有很强的数值与逻辑运算能力,很适合于自动控制中的信号采集、分析与处理。因此在现代自动控制中,计算机是其控制中枢。比如自动化生产线、电力传输、无人工厂、航天飞行器、火箭、导弹等,都是依靠计算机进行控制和管理的。

##### 4) Internet 与邮电通信

计算机与通信技术相结合,既促进了计算机网络化的实现,又推动了邮电通信事业的发展。如今,Internet 遍及全球,可进行全球化的信息查询、电子邮件与信函传送、票据兑付、银行存贷款、文化娱乐以及各种电子商务等活动。如今,对 Internet 的应用已经成为一般政府、企业甚至每一个人日常生活的重要组成部分。

##### 5) 计算机辅助设计、辅助制造与辅助测试

计算机辅助设计(CAD)、计算机辅助制造(CAM)和计算机辅助测试(CAT)是利用计算机进行工程设计、模拟制造和测试。在计算机辅助设计中,设计人员只要按要求输入必要的参数,计算机通过计算,确定设计方案,然后绘制出全部图纸,包括零件图、结构图、装配图以及工艺流程图等,还可通过计算机辅助制造来验证设计的正确性。在对超大、超小和超远物体的测量中,要由计算机进行信号的采集、分析与处理。例如太空探