

高等学校21世纪教材

GAODENG XUEXIAO 21 SHIJI JIAOCAI

计算机 硬件技术基础



谢长生 主编
倪永军 韩德志 易法令 编著

人民邮电出版社
POSTS & TELECOMMUNICATIONS PRESS

高等学校 21 世纪教材

计算机硬件技术基础

谢长生 主编

倪永军 韩德志 易法令 编著

人民邮电出版社

图书在版编目(CIP)数据

计算机硬件技术基础/谢长生主编;倪永军,韩德志,易法令编著.

—北京:人民邮电出版社,2002.8

高等学校 21 世纪教材

ISBN 7-115-09877-8

I. 计... II. ①谢... ②倪... ③韩... ④易... III. 硬件—高等学校—教材 IV. TP303

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2002)第 063309 号

内 容 提 要

本书讲述计算机硬件基础知识,并结合基本原理介绍各种常用的和新出现的计算机硬件系统和技术。书中首先论述信息与数字化的关系,计算机硬件在数字化中的角色和作用,计算机硬件设计所遵循的基本原则;然后按照本书提出的数字域硬件和转换硬件观点,系统地讲述微处理器、内存储系统、外存储系统、总线、接口与互连技术等数字域硬件以及输入输出等转换硬件的工作原理,与硬件密切相关的驱动程序原理以及微机与服务器技术和多媒体技术;最后介绍以 Pentium 4 处理器为核心的计算机硬件系统。

本书内容新款,实用性强,可作为非计算机专业本科生“计算机硬件技术基础”课程的教材,也可作为有关工程技术人员学习计算机硬件技术的专业参考书。

高等学校 21 世纪教材

计算机硬件技术基础

-
- ◆ 主 编 谢长生
 - 编 著 倪永军 韩德志 易法令
 - 责任编辑 赵鹏飞

 - ◆ 人民邮电出版社出版发行 北京市崇文区夕照寺街 14 号
 - 邮编 100061 电子函件 315@ptpress.com.cn
 - 网址 <http://www.ptpress.com.cn>
 - 读者热线 010-67180876
 - 北京汉魂图文设计有限公司制作
 - 北京隆昌伟业印刷有限公司印刷
 - 新华书店总店北京发行所经销

 - ◆ 开本: 787×1092 1/16
 - 印张: 19
 - 字数: 454 千字 2002 年 8 月第 1 版
 - 印数: 1-6 000 册 2002 年 8 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-115-09877-6/TP · 2622

定价: 25.00 元

本书如有印装质量问题,请与本社联系 电话: (010) 67129223

丛 书 前 言

当今世界，科学技术突飞猛进，知识经济已见端倪，国际竞争日趋激烈。教育在综合国力的形成中处于基础地位，国力的强弱将越来越取决于劳动者的素质，取决于各类人才的质量和数量，这对于培养和造就我国 21 世纪的一代新人提出了更加迫切的要求。21 世纪初，我国高等教育呈快速发展的势头。教材是体现教学内容和教学方法的知识载体，是进行教学的基本工具，也是深化教育教学改革、全面推进素质教育、培养创新人才的重要保证。因此，高等教育教材建设必须有一个与之相适应的快速发展。

随着计算机软硬件的不断升级换代，计算机教学内容也随之更新，尤其随着教育部“高等教育面向 21 世纪教育内容与课程体系改革”计划的实施，对教材也提出了新的要求。为此我们聘请了国内高校计算机教学方面知名的专家教授，精心策划编写了这套“高等学校 21 世纪教材”。

为真正实施精品战略，组织编写好这套教材，我们在国内高校做了系统、详细的调查，对教育部制订的教育计划做了认真的研究，还对国内外已出版的教材做了理性的分析，确立了依托国家教育计划、传播先进教学理念、为培养符合社会需要的高素质创新型人才服务的宗旨。

在本套教材的策划过程中，我们多次组织了由专家及高校一线教师参加的研讨会，对现有比较出色的教材的特点及优点进行了分析，博采众长，力求实现教材权威性与实用性的完美结合。

本套教材有如下特点：

1. 考虑到全国普通高等院校学生的知识、能力、素质的特点和实际教学情况，在编写教材时把重点放在基本理论、基础知识、基本技能与方法上。
2. 紧密结合当前技术的新发展，在阐述理论知识的同时侧重实用性。
3. 力求在概念和原理的讲述上严格、准确、精练，理论适中，实例丰富，写作风格上深入浅出，图文并茂，便于学生学习。
4. 为适应当前高校课程种类多、课时数要压缩的数学特点，教材不仅篇幅有很大的压缩，而且均配有电子教案，以满足现代教学新特点的需要，做到易教易学。
5. 所选作者均是国内有丰富教学实践经验的知名专家、教授，所编教材具有较高的权威性。

教育的改革将不会停止，教材也将会不断推陈出新。目前本套教材即将推出，将接受广大教学第一线教师的检验。

由于我们的水平和经验有限，这批教材在编审、出版工作中还存在不少缺点和不足，希望使用本套教材的学校师生和广大读者提出批评和建议，以便改进我们的工作，使教材质量不断提高。

前 言

有史以来,人类发明了无数的信息技术来扩展自身的交流、处理和记忆能力。然而,以1946年世界第一台电子计算机的出现为开端,信息技术开始走向一个全新的数字时代。50多年来,计算机技术飞速发展,日新月异。人们发现起初为解决计算问题而发明的计算机用途越来越广,几乎渗透到涉及信息活动的一切领域。计算机网络和通信技术正在融为一体,使人们的通信方式产生了深刻的变革;微处理器已进入各种信息家电,使人们的生活发生巨大的变化。凡是涉及信息活动的领域,几乎都可以发现各种形式的计算机或者处理器在起着重要作用。在科学研究中,计算和仿真已成为继理论研究、实验研究之后的第三种方法,计算机已成为科学研究的新工具。计算机技术越向前发展,计算机越不断地显现出更强大的能力。这背后的本质是什么?人们从哲学、科学等各个层面不断地思考,终于认识到这是信息数字化带来的神奇力量。

“数字”或者“比特”,是人类经过数万年信息技术的探索和发明之后,终于找到的一种表达信息的最佳媒介。它可以表达至今存在的绝大多数信息形式,如图形、图像、声音、文字等;它可以通过程序承载人们的思维活动;它可以用统一的数字形式对信息进行处理、传输和存储,比以前的任何信息技术都要来得方便和简单。本书第1章中阐明了这样的观点:对“数字”进行处理、传输和存储操作,原则上可以解决几乎一切信息问题。

计算机硬件是对“数字”进行操作的机器系统。它处理、传输、存储数字,并将数字与其它的信息形式相互转换,以便于人类与机器的交流。计算机硬件是计算机软件运行的物质基础,一切软件的运行最后都转化为硬件对数字的简单操作。

应用的迅速发展对这种操作数字的机器提出了越来越高的性能要求,计算机硬件就是向着不断提高处理速度、传输速度和存储容量的方向发展。另外,更廉价、更可靠也是应用提出的发展要求。超大规模集成电路、光传输、磁存储、高分辨率显示等技术的高速发展为计算机硬件性能的提高提供了可靠的保证。

本书讲述计算机硬件的基本原理,全书共分10章,以对数字的处理、存储、传输以及应用为主线进行展开。第1章讲述信息与数字化的关系,计算机硬件在数字化中的作用,计算机硬件总体概况以及计算机硬件设计的一些基本原则;第2章介绍处理器的基本结构和指令的执行原理;第3章介绍半导体存储器的原理,存储系统的概念和高速缓存、虚拟存储器等存储技术;第4章较为详细地介绍了外存储系统,包括硬盘、软盘、磁盘阵列等传统技术以及网络存储的一些新技术;第5章介绍互连技术,包括总线、接口以及无线互连技术等;第6章介绍键盘、鼠标、打印机和显示器等常用输入输出设备的原理;第7章讲述设备驱动程序原理,目的是让读者了解软件调用硬件的过程。最后3章为应用技术:第8章介绍微机和服务器的技术;第9章介绍多媒体技术;第10章讲述以Pentium 4处理器为核心技术的计算机系统。

各行各业的人们在生产、科学研究和各种社会活动中会产生各种不同形式的信息,处理这些信息有不同的办法、规律和思想,将这些用数字表达就形成各种不同形式和内容的软件。

但所有不同的软件最终都转化为统一的二进制代码在操作数字的计算机硬件上运行。这个道理可表达为：“所有数字化的硬件都是相似的，软件则各有各的不同”。只要是数字化的信息设备，其内脏无外乎都是处理部件、传输部件和存储部件的组合。因此，不论你是哪个专业的学生或工程技术人员，都会接触计算机硬件，需要了解计算机硬件知识。如果涉及到数字化的仪器、设备和装置的设计，本书介绍的计算机硬件知识则是必不可少的。

谢长生教授承担本书的内容策划和主编任务。第1章由谢长生编写；第2、3、6、10章由倪永军编写、第4、5章由韩德志、谢长生编写；第7章由刘瑞芳、韩德志编写；第8、9和10章由易法令编写，最后由谢长生审定、修改和统稿。

本书编写的目的是对计算机硬件提供一些有价值的观念，更新前些年出版的同样题材教材中的部分陈旧内容，在讲述计算机基本原理的同时，介绍近年来出现的一些硬件新技术。限于时间和作者水平，书中难免存在缺点和不足之外，欢迎读者提出批评、指正和建议。

编 者

2002年7月于华中科技大学

目 录

第 1 章 计算机硬件概论	1
1.1 信息与数字化	1
1.2 计算机硬件与数字化	2
1.3 计算机硬件的发展历史与展望	3
1.4 计算机硬件总体概况	5
1.4.1 处理硬件	6
1.4.2 存储硬件	7
1.4.3 传输硬件	8
1.4.4 转换硬件	8
1.5 硬件与软件的关系	9
1.6 计算机硬件设计的基本原则	11
1.7 计算机硬件的设计内容与方法	12
1.8 计算机硬件的性能指标及评价标准	13
思考题与习题	13
第 2 章 微处理器	15
2.1 微处理器结构	15
2.1.1 微处理器组织	15
2.1.2 算逻单元 (ALU)	15
2.1.3 寄存器组织	17
2.1.4 定点与浮点部件	18
2.1.5 指令流水线	20
2.1.6 超标量技术	23
2.2 指令集 (Instruction Set)	25
2.2.1 指令的特性和功能	26
2.2.2 操作码与操作数	30
2.2.3 汇编语言	35
2.2.4 复杂指令系统计算机和精简指令计算机	35
2.3 处理器实例 1: 奔腾处理器	37
2.4 处理器实例 2: Power PC 处理器	39
2.5 嵌入式微处理器	40
思考题与习题	41

第3章 存储器	42
3.1 半导体存储器原理	42
3.1.1 DRAM 的工作原理	42
3.1.2 SRAM 的工作原理	50
3.1.3 ROM 的工作原理	55
3.1.4 Flash Memory 工作原理	57
3.1.5 存储器的组织	60
3.2 存储系统的概念	65
3.2.1 存储器的层次结构	65
3.2.2 存储器的性能	67
3.3 Cache 原理	68
3.3.1 Cache 的工作原理	68
3.3.2 映射关系和替换算法	70
3.4 虚拟存储器原理	72
3.4.1 虚拟存储器工作原理	72
3.4.2 虚拟空间和替换算法	73
思考题与习题	77
第4章 外存储系统	79
4.1 磁存储设备	79
4.1.1 硬盘的工作原理	80
4.1.2 软磁盘存储器	82
4.1.3 磁带机及磁带库	85
4.2 光存储设备	88
4.2.1 CD-ROM	89
4.2.2 可擦写光盘 CD-R/W	96
4.2.3 磁光盘 (Magneto Optical Disc)	97
4.2.4 DVD	99
4.3 磁盘阵列技术	103
4.3.1 RAID 的可靠性和可用性	103
4.3.2 磁盘阵列的工作原理	105
4.3.3 磁盘阵列的级别	106
4.4 网络存储	111
4.4.1 网络环境下存储系统的要求与特点	111
4.4.2 附网存储设备 (NAS)	112
4.4.3 存储区域网 (SAN)	117
4.4.4 存储备份与异地冗灾	123
思考题与习题	127

第 5 章 总线、接口与互联技术	128
5.1 系统总线概述	128
5.1.1 总线结构	128
5.1.2 总线层次及桥接芯片	130
5.1.3 数据传输方式与性能	132
5.2 微机系统总线	133
5.2.1 ISA、EISA 及局部总线	133
5.2.2 PCI 总线	141
5.2.3 FutureBus+	145
5.3 I/O 总线	145
5.3.1 并行总线	145
5.3.2 串行总线	151
5.3.3 PC Card 接口——PCMCIA	161
5.4 网络接口	164
5.4.1 网卡工作原理	164
5.4.2 调制解调器	167
5.5 蓝牙技术	169
思考题与习题	175
第 6 章 输入、输出设备与技术	176
6.1 键盘和鼠标	176
6.1.1 键盘	176
6.1.2 鼠标	182
6.2 显示器技术原理	183
6.2.1 CRT 显示器	183
6.2.2 液晶显示器和等离子体显示器	188
6.2.3 其他新型显示装置	193
6.3 打印机	194
6.3.1 击打式打印机	195
6.3.2 喷墨打印机	197
6.3.3 激光打印机	199
6.4 图像输入设备	200
6.4.1 扫描仪	200
6.4.2 数码相机	203
6.5 声音输入/输出技术	206
6.5.1 声卡工作原理	206
6.5.2 语音合成技术	209
思考题与习题	211

第 7 章 设备驱动程序	213
7.1 Linux 设备驱动程序	213
7.1.1 Linux 对设备的管理	213
7.1.2 Linux 设备驱动程序原理	215
7.2 Windows 2000/XP 设备驱动程序	219
7.2.1 Windows 2000 中驱动程序的分类	220
7.2.2 内核模式与用户模式	221
7.2.3 Windows 2000/XP 系统的基本结构	221
7.2.4 驱动程序与注册表	222
7.2.5 WDM 驱动程序工作原理	223
7.2.6 WDM 驱动程序结构	225
思考题与习题	226
第 8 章 微机系统及服务器技术	227
8.1 计算机的形态与发展趋势	227
8.1.1 移动型计算机 1: 掌上电脑	227
8.1.2 移动型计算机 2: 笔记本电脑	229
8.1.3 台式机	232
8.1.4 服务器	235
8.2 服务器技术	236
8.2.1 服务器的种类、特点和性能	237
8.2.2 SMP 多处理器原理	239
8.2.3 机群服务器	243
思考题与习题	247
第 9 章 多媒体技术与系统	248
9.1 多媒体关键技术	248
9.1.1 多媒体技术的定义、特点和标准	248
9.1.2 视频压缩技术与芯片	251
9.1.3 音频压缩技术与 MP3 播放器	260
9.1.4 MMX 多媒体扩展指令	264
9.2 多媒体应用系统	268
9.2.1 视频点播 (VOD) 系统	268
9.2.2 视频会议系统	271
思考题与习题	274
第 10 章 计算机硬件实例研究	276
10.1 Pentium 4 CPU 的结构及技术特点	276

10.2 Pentium 4 计算机主板结构分析	278
10.2.1 Pentium 4 主板采用的新技术	278
10.2.2 某品牌 Pentium 4 主板简介	281
10.3 i850 芯片组	283
10.4 组装与调试技术	285
参考文献	289

第 1 章 计算机硬件概论

人类历史上发明过无数的信息技术和信息工具，然而从 20 世纪中叶起，以计算机的发明为开端，信息技术开始全方位向数字化转移，数字技术将人类社会带入一个崭新的信息时代。通过深入的研究与实践，人们认识到“数字”是至今为止人类找到的最佳信息载体，它所具有的表达信息的强大能力已经远远超出了人们的预期。广义的计算机硬件（包括处理、传输、存储等）实际是一种操作“数字”的机器系统。计算机硬件技术的发展，为“数字”释放其强大的软件潜力提供了物质保证。本章将论述信息与数字化的关系，计算机硬件在数字化中的作用，计算机硬件的历史变革及其发展前景，总体概况，硬件与软件的关系，计算机硬件设计的基本原则，硬件的设计内容和设计方法，性能指标及评价标准。

1.1 信息与数字化

信息是事物属性的表征。信息活动存在于包括人类在内的一切生物和社会系统之中，也存在于人工创造的一些机器系统中，信息在这些系统中起着极为重要的作用。

大自然赋予人类的自然信息系统（即我们的感觉器官、神经系统和大脑）是极其优秀和复杂的，但也有其局限性。存储在我们大脑中的信息会被遗忘，利用我们自然的声音和手势，信息只能在很近的距离内传递，我们的大脑也不适应复杂高速的数学计算。然而，大自然却赋予了我们人类最珍贵的礼物——创造力。它使我们能创造出各种技术和工具来扩展人类的能力。正如人类创造了机械工具来提高力量和速度一样，在漫长的历史中，人类也创造了各种各样的信息技术和工具来扩展人类自然信息系统的能力。从古代的结绳计数、甲骨文、烽火台、纸和印刷术，到近代和现代的电报、电话、电影、电视，各种信息技术和工具的发明可以说多得难以计数。信息技术的发展极大地推动了人类历史的进步。

当历史走入 20 世纪中叶的时候，人类在信息技术上的一场革命由于计算机的发明开始了。人们开始为解决计算问题而发明计算机，带来了一场数字化的革命，20 世纪与 21 世纪的世纪之交，成为信息技术向数字化大转移的转折点。各种已存在的信息技术，如录音、录像、照相、通信网、家电和广播电视等，都大规模地向数字化转移，计算机以嵌入式的方式渗透到这些信息系统中。新出现的技术如 Internet 则一开始就以数字化的形式出现，其路由器、交换机、服务器的核心都是数字技术。计算机已经普及到家庭，深入到我们的日常生活之中。从高端科学计算（基因工程计算，核爆炸模拟，天气预报等）、商业应用到低端的家电和玩具，数字化技术无处不见。目前，正是信息技术向数字化转移的高峰期，利用数字化技术的发明将在近几十年中急剧增长。预计在 50 年后，数字技术将进入成熟期。那时，不是数字化的信息产品已经很难见到。数字化在信息技术领域已经成为一种必然的趋势。

为什么会出现数字技术一统信息技术天下的局面呢？关键就在于数字具有特别强大的信息表达能力，而这种能力是任何其他信息媒介都难以企及的。主要理由有以下几点：第一，各种信息形式，如文字、符号、声音和图形图像等众多信息形式，都可以方便地转换成数字形式，而以数字形式保存的信息又可以方便地转换为上述人能够理解的各种信息形式；第二，数字能将人的思维活动和人们掌握的自然规律通过程序表达出来，这是一种极为强大的能力，也是数字技术一统信息技术的关键所在；第三，数字能够以单一的形式来进行处理、传输和存储，具有技术实现上的统一性和简单性；第四，数字技术具有精确、准确的特点，是高质量信息的代名词。

为了理解数字技术在信息技术中的地位，我们与能量领域中的电能做一个类比。在能量范畴中，有机械能、化学能和热能等多种能量形式，但最方便传输并可以与其他能量形式相互转化的是电能，所以电能这种最佳的能量形式就在能量领域占了统治地位。同样的道理，在信息范畴中，有各种各样更为丰富多彩的信息形式和技术，但数字形式和技术最佳。可以说，数字，或者说比特，是人类经过数万年的信息技术发明历程，终于找到的一种最为强大的信息媒介。数字的力量到底有多强大？英国科学家图灵给出了一个科学的论断。

图灵在 1936 年发表的一篇文章中提出了“图灵机”的理论模型，奠定了计算机科学的理论基础。图灵机是一个由磁头和无限长的带子构成的理论模型机。只要按一定的步骤对磁带进行左移、右移，并写 0、写 1 或者保持不变，任何数学计算问题都可以得到解决。从现在的观点来理解，该文实际证明了通过程序操纵数字能产生极为强大的能力；只要按一定的步骤对数字进行处理、传输和存储操作，一切数学计算问题都可以解决。而现代计算机的发展和应用，远远超出了数学计算的范畴。我们可以大胆地推论：只要按一定的步骤对数字进行处理、传输和存储操作，几乎一切信息问题都可以解决。这里的意思是指理论上存在着解决信息问题的可能性。现在很多问题不能解决，是因为计算机硬件对数字的处理和传输的速度还不够快，存储容量还不够大，一旦硬件技术发展到了所需要的速度与容量，这些信息问题一定能够解决。

如果不考虑硬件发展的水平，数字表达信息的能力在理论上有多大。图灵证明通过程序操作“数字”可解决一切数学计算问题，而计算机应用的实践使人们推论，通过程序操作“数字”可能解决几乎所有的信息问题。实际上，数字所具有的表达信息的能力我们还远远没有认识清楚。美国科学家 Stephen Wolfram 经过 20 年的潜心研究，在 2002 年上半年出版了一本名为《A New Kind of Science》的科学巨著。Wolfram 发现，计算机程序提供了数学所不能完成的描述宇宙复杂现象规律的能力。通过简单的程序反复迭代可形成有着极为复杂结构的图形，可以描述生物现象和宇宙演化等以前无法解释的复杂现象。计算机已成为认识客观世界规律的新工具。可以预见，随着计算机技术和应用的进一步发展，数字表达信息的能力将更深入地被人们所认识。

1.2 计算机硬件与数字化

上述“按一定步骤对数字进行操作”这件事是由计算机来完成的。我们可以分两个层面来讨论这个问题。其一是软件层面：软件是计算机的灵魂，它将人们的思想、办法、自然规

律以及各种形式的信息和数据数字化，它决定了按什么样的步骤来对数字进行操作，即如何编写程序才能达到目的；其二是硬件层面：硬件是对数字进行操作的机器系统，它决定执行操作的机器系统一共有哪些基本操作以及这些操作是如何实现的，以及保证这些操作有足够的处理速度、足够的存储容量和足够的传输带宽。

为了理解硬件和软件的关系，可作一个形象的比喻：一架钢琴相当于计算机中的硬件，它一共可以发出的音的数目是固定的，每个键对应一个音，按下一个键就相当于执行了一条指令。将这些音的音高、长短和强弱等用符号表示，按一定的规律排列组合就成为一首特定的音乐的乐谱。同样，一个机器的指令数也是固定的，将这些指令按一定的规律排列起来就成为计算机程序。谱曲的过程相当于计算机中的编程，按乐谱演奏就相当于程序的执行。钢琴提供了音乐演奏的平台，计算机硬件则提供了程序执行的平台。

从上一节我们知道，只要按一定步骤对数字进行操作，就能解决几乎一切信息问题。计算机硬件就是提供这种操作的平台。本书给出的计算机硬件的定义如下：

计算机硬件是在指令的控制下自动对数字进行操作，并将数字信息与其他形式信息进行相互转换的机器系统。

当信息被转变为数字形式后，计算机硬件对数字有三类操作：数字的处理、数字的存储和数字的传输。下面还将较详细地论述这个问题。

此外，计算机还要完成将各种形式的信息（图形图像、声音、文本等）与数字域信息相互转换的操作，这种操作往往由称之为计算机输入输出设备的部分来完成。

本书所指的计算机硬件，就是自动对数字进行处理、存储和传输操作，并将数字与各种信息形式进行转换的机器系统。在这个意义上的计算机硬件范围是很广的，如个人计算机、笔记本电脑、掌上电脑、服务器、各种嵌入式处理器、计算机网络（本书将不涉及这个内容）和海量存储系统等都在其范围之内。本课程讲述计算机硬件的工作原理，关心的是机器如何对数字进行操作。正是完成这些有限而简单操作的机器系统，构成了任何复杂软件赖以运行的物质基础。

1.3 计算机硬件的发展历史与展望

如果说计算机硬件是自动对数字进行操作的机器系统，它的历史可以追溯到 17 世纪法国数学家帕斯卡（Blaise Pascal, 1623-1662）发明的手动机机械式计算机。19 世纪英国数学家巴贝奇（Charles Babbage, 1791-1871）在自动机械式计算机的研制上取得突破。1944 年，美国哈佛大学和 IBM 公司合作，研制成功全继电器的 MARK-1 机电式计算机。1946 年被历史学家看作为现代计算机的诞生元年。1946 年 2 月 10 日，美国陆军军械部和宾夕法尼亚大学摩尔学院共同举行新闻发布会，宣布世界第一台电子计算机 ENIAC 研制成功。它采用 18000 个电子管、1500 个继电器、70000 个电阻器、18000 个电容器，总重量有 30 吨。

人们根据采用的器件和技术，将计算机分为 5 代：第一代计算机采用电子真空管做处理部件，继电器做存储器，用绝缘导线互联，采用机器语言或汇编语言编程；第二代计算机采

用分离式的晶体管做处理部件，用铁氧体磁芯做存储器，用印刷电路板互连，出现了有编译程序的高级语言和批处理监控程序；第三代计算机采用中小规模集成电路做处理部件，用多层印制板互连，采用了微程序控制技术，并出现了多道程序设计和分时操作系统；第四代计算机采用大规模(LSI)和超大规模集成电路(VLSI)做处理部件，采用半导体存储器；第五代计算机采用工艺更完善的超大规模和甚大规模集成电路(ULSI)做处理部件，采用更高密度的半导体存储器。

下一步计算机硬件将如何发展？图灵机模型及其推论给我们指明了方向：只要对数字的处理操作足够快、传输操作足够快、存储容量足够大，几乎一切信息问题都可以解决。纵观计算机硬件的发展历史，其努力方向就是不断提高对数字信息的处理速度、传输速度和存储容量。

计算机硬件的发展，得益于器件制造技术的进步，计算机专家为现代计算机的发展总结了下列几个规律：

- ① Moore 定律：微处理器内晶体管集成度每 18 个月翻一番；
- ② Bell 定律：如果保持计算能力不变，微处理器的价格每 18 个月减少一半；
- ③ Gilder 定律：未来 25 年（1996 年预言）里，主干网的带宽将每 6 个月增加一倍；
- ④ Metcalfe 定律：网络价值同网络用户数的平方成正比。

前两条定律涉及处理器技术，后两条定律与数据的传送相关。为了全面描述计算机硬件的发展规律，还应该加上有关数据存储的两条经验定律：

半导体存储器发展规律：DRAM 的密度每年增加 60%，每 3 年翻 4 倍。时钟周期改进相对较慢，大约 10 年降低三分之一。

硬盘存储技术发展规律：20 世纪 90 年代，硬盘的密度每年增加 50%，最近每年增加约一倍。存取时间改进较慢，大约 10 年降低三分之一。

上述这些快速的发展为计算机系统性能的迅速提高提供了物质基础，而应用需求的拉动则是计算机发展的真正动力。

科学计算需要强大的计算能力。核爆炸模拟、蛋白质合成、天气预报、海洋研究等都需要处理能力极强的计算机。为了提高计算机的处理能力，处理技术的发展方式是：首先提高单个处理器的速度，其方法主要有提高主频和采用指令级并行技术（如流水线和超标量技术等）；如果单处理器速度不够，就采用多个处理器并行工作；如果处理速度还不够，则采用多台计算机并行工作，如大规模并行处理机（MPP）和机群计算机（Cluster）就是这种结构。目前还出现了计算网格（GRID）技术，这种技术可将分布在世界各地的计算资源通过网络整合为一台等效的超级计算机。

网络计算和商业应用需要强大的事务处理能力、网络传输能力和无止境的海量存储能力。Internet 的发展是近年来计算机技术发展的最大动力，WWW 应用、电子商务等需要功能强大的 Web 服务器、数据库服务器和宽带网络；商业应用如零售、金融、交通和电信等都需要计算机具有强大的事务处理能力，其技术关键在于计算机的输入输出（I/O）能力。网络计算和商业应用产生了爆炸性增长的数据，要求大容量、可扩展和高可用的海量存储系统。存储技术的发展方式是：首先提高单个硬盘的存储容量和存取速度；当存储容量、性能和可用性不够时，采用多个硬盘并行工作并有冗余校验功能的磁盘阵列技术；更进一步，采用存储区域网将多台磁盘阵列以及其他存储设备连接起来形成一个大的存储池，供多台服务器共享

数据资源。

计算机技术走到今天,即将进入人们所说的后 PC 时代。今后计算机硬件将向何处发展?国内外专家认为,计算机将主要围绕着提供信息服务这个目的向两个方向发展:一是发展以各种无线移动装置为代表的用户智能终端设备,二是发展为这些终端提供服务支持的高性能服务器和相应的基础设施。前者将促进嵌入式处理器和高密度微型化存储技术的发展,后者将进一步推动高性能计算机体系结构的发展和海量存储技术的发展。除了用户智能终端和后端超级服务器外,用于传输数据的无线网和有线宽带网也将得到空前的发展。

对计算机技术的长期发展如何预测呢?对软件的发展预测将是比较困难的,原因是数字为我们提供的信息表达能力极为强大,我们能发明出何种全新的软件完全取决于我们的想象力而不会受到原理上的限制。而人的思维是无限的,何时能发明什么是很难预料的。比较确定的是,除了近期与信息服务相关的软件将迅速发展外,基于 Internet 的软件,自然人机界面软件和虚拟现实软件将会得到长足的发展。然而,对于硬件,特别是对数字域的硬件,预测较为简单,其发展方向在原理上就是不断地提高“操作数字”的性能、不断地提高处理速度、不断地提高传输速度和不断地增加存储容量。另外,考虑应用上的因素,还要不断地降低价格,不断地提高数据操作的安全可靠性。

计算机硬件的根本原理实际上极为简单,即对数字进行操作。人们已走过了机械手工操作、机械自动操作、继电器操作、电子管操作、晶体管操作和集成电路操作等阶段。下一步可能是量子操作、光操作和生物原理操作。不论采用什么方法,目的只有一个:提高操作的速度。

1.4 计算机硬件总体概况

如上所述,只要对数字按一定步骤进行操作就可以解决几乎所有的信息问题。按何种步骤才能达到某种信息目的是软件所完成的任务。但不论多么复杂的软件,最终都要转换为对硬件进行操作的基本命令序列(即指令),然后由这些基本的命令来控制硬件电路完成对数字的特定操作。

计算机硬件分为两类:一是转换硬件,二是数字域硬件。前者完成将现实中各种信息形式转换为数字形式或者将数字形式的信息转换为人们所需要的各种信息形式;后者则完成对数字进行各种操作(处理、存储、传输等)的任务。转换硬件包括计算机输入输出设备,但含义更广;数字域硬件则是计算机的核心部分,是本书的重点。

数字域硬件的主要任务是对数字进行操作。对数字的操作可分为三类:处理操作、传输操作和存储操作。处理操作是对数字进行某种有目的的改变性操作,如简单的加、减、乘、除、移位和逻辑运算,或者是较复杂的矩阵和向量计算等;传输操作是将数字从一个空间位置移动到另一个空间位置;存储操作是将数字保存在某个空间位置一段任意长的时间,需要时即可从这个空间取出,存储设备是数字的所在地。

任何种类的计算机以及一切数字化的信息设备,除了他们与外部世界信息形式相互转换的方式各不相同外,在数字域内都有着相似的组成结构。他们都是由处理部件、传输部件和存储部件组成的。不同的只是各部分的形式、规模、性能、容量和价格等。

担任处理部件的常用形式有通用处理器、专用处理器、专用芯片等。

担任传输部件的常用形式有总线、通道、接口和网络等。

担任存储部件的常用形式有半导体存储器（ROM、SRAM、DRAM、Flash 等），磁表面存储器（硬盘、软盘、磁带等）和光存储器（CD-ROM、CD-R/W、DVD、MO 等）。

包括计算机在内的一切数字化信息设备在数字域都是上述三类部件的组合。

现代计算机的结构大都来源于冯·诺伊曼机的体系结构，并遵循存储程序原理。

1946 年，冯·诺伊曼等人提出了被称之为冯·诺伊曼机的体系结构：计算机由控制器、运算器、存储器、输入设备和输出设备 5 部分构成，运算器是机器的中心。虽然现代计算机的体系结构发生了很大的变化，例如，存储器成为机器的中心，出现了各种并行结构以及数据流计算机结构，但占主流地位的计算机仍然是按照冯·诺伊曼提出的存储程序原理工作的。由指令序列构成的程序和数据都存储在计算机的存储器中，机器一旦启动，就能按照程序规定的顺序将指令从存储器读出来逐条执行，直至任务完成。

在冯·诺伊曼机的体系结构中，控制器和运算器完成对数字的处理任务，两者加起来就是我们熟知的中央处理器（CPU），将 CPU 做在一个芯片上就被称为微处理器。在上述结构中，没有提到传输部件，因为当时认为传输只是各个部件间的连线，不是一个独立的部件。现代计算机中，传输数据的通道变得十分重要。CPU 内部的总线，主板上的存储器总线、系统总线，以及多处理器和多计算机间的互连网络，都是构成计算机系统的重要组成部分。本书将按照处理、存储、传输的观点来介绍数字域的计算机硬件，按照信息形式转换的观点来介绍输入输出硬件，也即本书所说的转换硬件。

1.4.1 处理硬件

处理操作目前主要是由通用处理器来完成的，专用处理器（如用于数字信号处理的 DSP 芯片以及用于网络设备的网络处理器）和专用芯片（如用于视频压缩解压的芯片以及各种 ASIC 等）都可以完成处理操作任务。它们之间的区别在于：通用处理器具有普适性和灵活性，它众多的指令中，每条指令都可以完成对数据的一种特定处理；专用处理器则强调某类特定的处理操作，它往往将器件资源重点用于这类特定的功能部分，使这部分功能（如快速傅立叶变换）特别强，远远快于通用处理器，所以它应用在特定领域就会比通用处理器性能高。至于专用芯片，则仅仅致力于某个特定的功能，它的目的在于要么使这个功能特别强（采用通用处理器往往达不到所要求的性能），要么就是以很低的成本实现这个特定的功能。限于学时，本书将仅介绍通用处理器的工作原理。

处理器的主要任务就是执行指令。指令是某个机器系统能够识别和执行的命令，它规定了对数字进行何种操作并指出被操作数的所在。一个机器一共能执行的指令的集合叫指令系统。一个特定的机器能够执行的指令的数目是固定的。

指令系统是计算机软硬件的分界面。指令系统之上是各个层次的软件，如编译系统、操作系统和各种应用软件。无论多么复杂的软件，最终都要转化为由这些基本指令按一定顺序排列而构成的指令流。指令系统之下是硬件。指令通过译码，启动各个不同的硬件电路完成指令规定的操作数据的任务。如一条加法指令译码后，机器的硬件电路就会按照一定的时序，开启指定的逻辑门，将指令指定的存储单元中的数送到加法器，相加后得到的结果送回指令所规定的存储单元，从而完成了这条指令所规定的任务。