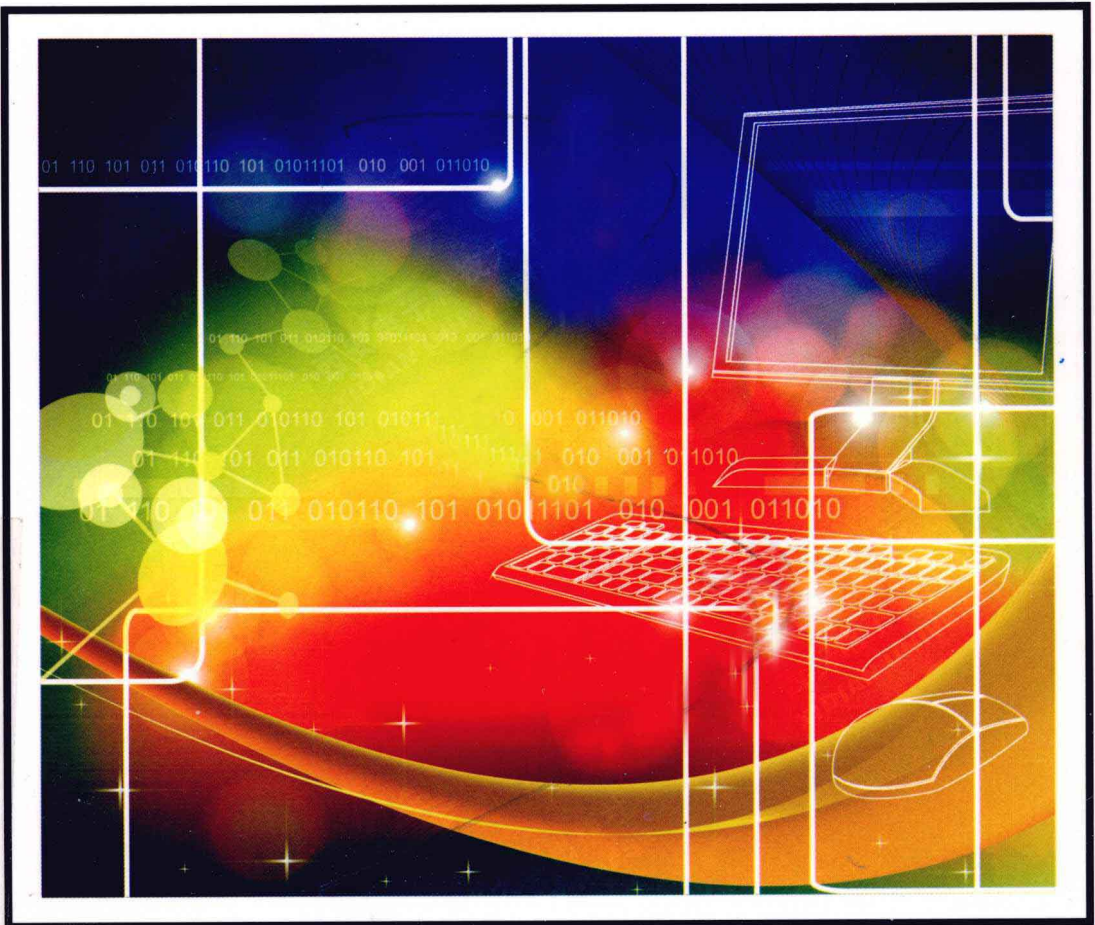


X5J

新世纪计算机类专业规划教材
COMPUTER

计算机组成与系统结构

裘雪红 李伯成 编著

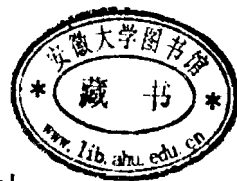


西安电子科技大学出版社
<http://www.xduph.com>

新世纪计算机类专业规划教材

计算机组成与系统结构

裘雪红 李伯成 编著



西安电子科技大学出版社

内 容 简 介

本书主要讲述计算机的基本体系结构、基本组成原理和基本实现方法,涉及的内容从计算机底层的 CPU 核心直到最上层的并行系统架构,介绍了从单机、多机到集群的各种计算机系统中采用的指令设计与流水线处理技术、存储体系与存储技术、输入/输出系统与 I/O 技术、并行体系结构及互连技术等成熟与新技术,并结合新产品、新系统说明各种技术的应用。

本书力求语言精练,深入浅出,通俗易懂,重点突出;在强调原理的同时,注重技术与实例的结合;在强调基础知识的同时,注重新技术的融入。

本书与教育部计算机教学指导委员会计算机专业教学分委员会制定的计算机科学与技术专业规范中建议的“计算机组织与体系结构”教学大纲和 ACM/IEEE-CS 课程指南吻合,涵盖了全国硕士研究生入学考试计算机科学与技术学科联考大纲中“计算机组成原理”课程的内容,适用于“计算机组织与体系结构”和“计算机组成原理”课程的教学与自学,能够给学生建立完整的计算机组成与体系结构的基本概念和知识体系。

图书在版编目(CIP)数据

计算机组成与系统结构/裘雪红,李伯成编著. —西安:西安电子科技大学出版社,2012.3
ISBN 978-7-5606-2705-2

新世纪计算机类专业规划教材

I. ① 计… II. ① 裘… ② 李… III. ① 计算机组成原理—高等学校—教学参考资料
② 计算机体系结构—高等学校—教学参考资料 IV. ① TP30

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 097009 号

策 划 臧延新

责任编辑 臧延新 雷鸿俊

出版发行 西安电子科技大学出版社(西安市太白南路2号)

电 话 (029)88242885 88201467 邮 编 710071

网 址 www.xduph.com 电子邮箱 xdupfb001@163.com

经 销 新华书店

印刷单位 陕西华沐印刷科技有限责任公司

版 次 2012年3月第1版 2012年3月第1次印刷

开 本 787毫米×1092毫米 1/16 印张 25.5

字 数 607千字

印 数 1~3000册

定 价 43.00元

ISBN 978-7-5606-2705-2/TP·1312

XDUP 2997001-1

* * * 如有印装问题可调换 * * *

本社图书封面为激光防伪覆膜,谨防盗版。

前 言

为了将“计算机组成原理”和“计算机系统结构”这两门紧密关联的课程有机地联系在一起，也为了避免两门独立课程的部分内容重叠造成课时浪费，已有一些院校的计算机专业选择将这两门课整合为一门课程，本书就是为这种课程提供的配套教材。另外，本书也完全适宜作为“计算机组成原理”课程的教材及研究生入学考试用书。

目前关于计算机组成与结构的中外教材有不少，但我们从教学一线的实践感受是，仍然需要一本内容能够比较完整地覆盖计算机组成与系统结构、原理性比较强又结合新技术、适合我们教学需要的教材，这也是促成我们编写本书的最直接原因。希望本书能帮助我们达成这一愿望，也希望能作为兄弟院校同类课程教学提供一本内容较新的教材。编写本书时，我们努力做到以普适的基本原理应对多变的计算机机型，并以实际的计算机产品或机器作为实例，使读者能够将原理与实践联系起来。

本书主要讲述计算机硬件的基本组成和典型的并行体系结构。第1章给出了对计算机的宏观概述，可以让对计算机不太了解的读者先有一个感性的认识。第2章介绍计算机系统中的数据表示，包括数值、非数值表示及校验码，它是计算机设计、实践的基础，也是认识计算机信息的基础。第3章是运算方法与运算器，重点讲述定点数与浮点数的加、减、乘、除运算方法和具体实现，读者可以通过本章了解计算机是如何进行计算的以及如何设计算术逻辑单元 ALU。第4章讲述存储系统，涉及存储系统的基本概念、内存与外存，读者可以从中了解到存储系统各层次的存储器工作原理及存储技术。第5章是指令系统，在一般性介绍指令格式和指令设计的基础上，选择 Intel 指令系统和 MIPS 指令系统作为 CISC 与 RISC 指令系统的实例，让读者对 CISC 与 RISC 有一个基本的认识。第6章描述的是 CPU，包括 CPU 结构、控制器设计以及 CPU 性能、新技术和实例，本章将为读者呈现从内到外较为全面的 CPU。第7章详细地介绍了流水线技术及指令级并行的概念，包括浮点运算流水线、指令流水线、流水线性能量度、指令流水线的性能提高、多发射处理器等内容，读者可以学习到关于流水线较为完整的知识和技术。第8章是总线与输入/输出系统，涉及总线基本知识、仲裁、实例和程序查询、中断、DMA、I/O 通道等输入/输出技术，本章有助于读者掌握 I/O 设备接入计算机系统的连接技术。第9章为并行体系结构，重点讨论了计算机体系结构的并行性、多处理器与多计算机系统体系结构以及互连网络等并行计算机系统中普遍关注的问题，读者可以从本章了解当今高性能计算机的基本结构及相关技术。

在编写本书的过程中，我们参考了国内外一些同类教材及相关资料，特别是参考文献中提及的几本国外经典教材对本书的编写有直接的影响，在此，我们要特别感谢这些作者和他们的精彩著作。另外，我们也要感谢相关文献资料、电子教案等的作者（尽管有些作者的姓名我们并不知晓），是他们给了我们许多的灵感。我们还要感谢西安电子科技大学出版社为我们提供了本书的出版机会。

本书的第1~4章由李伯成教授编写，第5~9章由裘雪红教授编写，全书由裘雪红教授统稿。由于实践条件及我们自身水平的限制，本书中有些新技术我们无法实际验证，所以可能存在对某些新技术理解的不透彻，书中难免有不足之处，恳请专家、同行和读者给予批评指正，我们不胜感激。作者 E-mail: qiuxh0699@sina.com。

作 者

2011年10月

目 录

第 1 章 绪论	1	3.2.2 算术逻辑单元集成芯片	75
1.1 计算机的发展史	1	3.2.3 运算器的结构	77
1.1.1 发展历史	1	3.3 浮点运算	78
1.1.2 摩尔定律	2	3.3.1 加减运算	78
1.2 计算机的基本组成	4	3.3.2 乘除运算	81
1.2.1 硬件系统	4	3.3.3 浮点运算的实现	83
1.2.2 软件系统	5	习题	84
1.3 计算机的层次概念	6	第 4 章 存储系统	88
1.3.1 计算机系统的层次结构	6	4.1 存储系统概述	88
1.3.2 计算机系统结构、组成与实现	7	4.1.1 存储系统的层次结构	88
1.4 计算机的分类及性能描述	8	4.1.2 存储器的分类	88
1.4.1 计算机的分类	8	4.1.3 存储器的性能指标	89
1.4.2 计算机系统性能描述	11	4.2 内部存储器(主存储器)	90
习题	17	4.2.1 随机读写存储器 RAM	91
第 2 章 计算机系统中的数据表示	19	4.2.2 只读存储器 ROM	104
2.1 数据编码	19	4.2.3 其他存储器	109
2.1.1 数值数据的编码	19	4.3 高速缓冲存储器	112
2.1.2 数据的浮点表示	26	4.3.1 工作原理	113
2.1.3 BCD 码	32	4.3.2 地址映射	113
2.2 非数值数据的编码	34	4.3.3 替换算法	119
2.2.1 ASCII 码	34	4.3.4 主存与 Cache 内容的一致性	
2.2.2 汉字编码	36	问题	120
2.3 检错与纠错码	39	4.3.5 Cache 性能分析	121
2.3.1 奇偶校验码	39	4.4 虚拟存储器	122
2.3.2 海明码	40	4.4.1 虚拟存储器的概念	123
2.3.3 循环冗余校验码	43	4.4.2 虚拟存储器的管理	123
习题	46	4.4.3 几点说明	127
第 3 章 运算方法与运算器	49	4.5 外部存储器(辅助存储器)	128
3.1 定点数运算	49	4.5.1 磁表面存储器	128
3.1.1 加减运算	49	4.5.2 光存储器	138
3.1.2 乘法运算	57	4.5.3 移动存储设备	140
3.1.3 除法运算	68	习题	141
3.2 算术逻辑运算部件	73	第 5 章 指令系统	147
3.2.1 单元电路	73	5.1 指令系统概述	147

5.2 指令系统结构层定义	148	6.7.2 Sun 的 CPU	227
5.2.1 存储模式	149	6.7.3 MIPS 的 CPU	230
5.2.2 寄存器组织	152	习题	231
5.2.3 数据类型	154		
5.2.4 指令	154	第 7 章 流水线技术与指令级并行	236
5.3 指令设计	156	7.1 流水线处理的概念	236
5.3.1 指令格式	156	7.1.1 流水线的一般结构	236
5.3.2 地址码设计	156	7.1.2 流水线的类型	237
5.3.3 操作码设计	157	7.2 浮点运算流水线	241
5.3.4 指令长度设计	161	7.2.1 浮点加减运算流水线	241
5.4 基本寻址方式	162	7.2.2 浮点乘除运算流水线	243
5.5 CISC 与 RISC	165	7.3 指令流水线	246
5.5.1 指令系统结构的发展	165	7.3.1 基本的指令流水线	247
5.5.2 CISC	166	7.3.2 指令流水线策略	249
5.5.3 RISC	166	7.4 流水线性能量度	253
5.6 典型指令系统	169	7.4.1 时-空图	253
5.6.1 Intel CPU 指令系统	169	7.4.2 吞吐率	254
5.6.2 MIPS 指令系统	174	7.4.3 加速比	256
习题	176	7.4.4 效率	257
		7.4.5 吞吐率、加速比和效率的关系	257
第 6 章 中央处理器 (CPU)	179	7.4.6 流水线性性能分析	258
6.1 CPU 结构和微操作	179	7.5 指令流水线的性能提高	261
6.1.1 CPU 的功能与结构	179	7.5.1 流水线的基本性能问题	261
6.1.2 指令周期	181	7.5.2 结构相关	262
6.1.3 微操作	182	7.5.3 数据相关	263
6.1.4 控制器的组成	188	7.5.4 控制相关	264
6.2 硬布线控制器设计	189	7.6 多发射处理器	269
6.3 微程序控制器设计	196	7.6.1 超标量处理器	271
6.3.1 微程序控制原理	196	7.6.2 超长指令字处理器	273
6.3.2 微指令设计	198	7.6.3 多发射处理器的限制	275
6.3.3 微程序设计	207	7.7 指令级并行的概念	276
6.3.4 微程序控制器设计	211	7.7.1 指令流水线的限制	276
6.4 微程序控制器与硬布线控制器的 比较	213	7.7.2 突破指令流水线限制的途径	277
6.5 CPU 性能的测量与提高	213	7.7.3 指令级并行的限制	277
6.5.1 CPU 性能测量	213	习题	278
6.5.2 提高 CPU 速度的策略	219		
6.6 CPU 中的新技术	220	第 8 章 总线与输入/输出系统	281
6.6.1 多核技术	220	8.1 概述	281
6.6.2 多线程技术	222	8.2 总线	283
6.6.3 多核+多线程技术	224	8.2.1 总线类型与结构	283
6.7 典型的 CPU	225	8.2.2 总线的信息传输方式	288
6.7.1 Intel 的 CPU	226	8.2.3 总线仲裁	293
		8.2.4 典型的总线	298

8.3 输入/输出接口	301	9.3.2 向量处理机	343
8.4 输入/输出技术	304	9.4 互连网络	348
8.4.1 程序查询方式	304	9.4.1 基本概念	348
8.4.2 中断方式	306	9.4.2 网络拓扑结构	349
8.4.3 直接存储器存取方式	316	9.4.3 常用的互连模式和互连网络	363
8.4.4 I/O 通道方式	321	9.5 多处理器系统	369
8.4.5 操作系统的支持	326	9.5.1 UMA 对称多处理器系统	369
8.5 输入/输出设备	327	9.5.2 NUMA 对称多处理器系统	377
8.5.1 输入设备	327	9.5.3 Sun T1 多处理器	380
8.5.2 输出设备	330	9.6 多计算机系统	380
习题	334	9.6.1 多计算机的概念	381
第 9 章 并行体系结构	336	9.6.2 大规模并行处理器系统	385
9.1 计算机体系结构的并行性	336	9.6.3 集群	388
9.2 计算机体系结构的分类	339	9.7 并行处理面临的挑战	394
9.3 阵列处理机和向量处理机	341	习题	395
9.3.1 阵列处理机	341	参考文献	399

第1章 绪 论

本章主要描述计算机的发展、构成及性能,使读者在开始了解全书内容之前,先对计算机有一个概念上的认识。

1.1 计算机的发展史

电子计算机无疑是人类社会科学技术发展史上最伟大的发明之一。自计算机出现后,它就深刻地影响着人类的精神文明和物质文明的发展。

在20世纪70年代前,电子计算机包括电子模拟计算机和电子数字计算机。电子模拟计算机是由模拟电子器件(如模拟加法器、减法器、乘法器、除法等)构成的,它早已完成了它的历史使命,如今再无人提及。因此,本书中所描述的就是电子数字计算机,简称计算机。所谓电子数字计算机,是指能对离散逻辑符号表示的数据或信息进行自动处理的电子装置。

1.1.1 发展历史

1. 第0代:机械计算器

早在两千多年前,我们的祖先就发明了算盘,这是最简单实用的机械计算器。在漫长的历史中,算盘传遍了全世界,为人类社会做出了巨大贡献。

近代,人们又发明了计算尺及手摇机械计算器。在电子计算器(机)普及之后,它们也逐步退出了历史舞台。

2. 第1代:电子管计算机(1945—1955年)

这一代计算机是由电子管、电磁继电器等器件构成的。软件主要使用机器语言编程。典型机器有ENIAC、IBM 701等。

3. 第2代:晶体管计算机(1955—1965年)

这一代计算机采用晶体管、磁芯存储器等构成。软件上采用监控程序对计算机进行管理,并且开始使用高级语言。这个时期的计算机有很多种,如IBM 7030、Univac LARC等。

4. 第3代:集成电路计算机(1965—1980年)

这一代计算机利用小规模及中规模集成电路芯片、多层印刷电路板及磁芯存储器等构成。在软件上,高级语言迅速发展并出现了分时操作系统。在这个时期,计算机的应用领域不断扩展,开始向国民经济各部门及军事领域渗透。典型机器有IBM 360、IBM 370、DEC PDP-8等。

5. 第4代：超大规模集成电路计算机(1980年—)

这一代计算机利用大规模、超大规模集成电路构成，其主存也是由超大规模集成电路构成的半导体存储器来实现的。这一代计算机在结构上有了很大的发展，在性能上也有了很大的提高。

在这一时期，由于微细加工技术的发展、超净环境的实现以及超纯材料的研制成功，推动着超大规模集成电路技术的发展。于是，出现了依赖于这种技术的微型计算机、单片微型计算机等。

在硬件发展的同时，这一代计算机的软件也得到了飞速发展，出现了许多著名的操作系统，如DOS、Windows、UNIX等。

这一时期出现了一些著名的计算机，如IBM 3090、VAX 9000等。而这一时期应用最多、最广的是个人计算机即PC，诸如IBM PC兼容机、苹果Macintosh等。

6. 第5代：高性能智能计算机

从1991年开始，进入了计算机发展的第5代，即采用超大规模、超高速集成电路构成计算机。在结构上，所构成的计算机已从单处理器向多处理器发展，即使构成微型机也采用多核处理器，目前常见的是双核、4核及8核处理器。用多核处理器构成计算机可获得很高的性能。此前，英特尔(Intel)公司已做出了一块内含80个核的处理器芯片，用这样的处理器芯片构成计算机，其运行速度超过一万亿次/秒。

可以想象，若用几百、几千甚至上万块双核(或多核)处理器芯片构成一台计算机，如多处理器系统，那么，该计算机系统的性能将是非常高的。例如，目前用这种思路设计的计算机系统，其运行速度可达到几千万亿次/秒或更高。

第5代计算机不仅在运行速度等性能上不断提高，而且更加人性化、智能化，计算机能听、会看、会说、有感情。

第5代计算机的发展必定对软件提出更高的要求，因此也必然促使操作系统、应用软件等各种软件的快速发展。

1.1.2 摩尔定律

1. 摩尔定律的由来

1965年4月，《电子学》杂志刊登了戈登·摩尔(Gordon Moore)撰写的一篇文章。摩尔当时是飞兆半导体公司研发部门的主管。摩尔在该文中讲述了他如何将50个晶体管集成在一块芯片中，并且预言，到1975年，就可能将6.5万只这样的元件密植在一块芯片上，制成高度复杂的集成电路。

当时，集成电路问世才6年，摩尔的预测听起来不可思议。但那篇文章的核心思想——预测集成电路芯片内可集成的晶体管数量差不多每年可增加一倍，在后来的技术发展过程中被证明是正确的，并称其为“摩尔定律”。现在人们根据几十年走过的技术历程将摩尔定律描述为：集成电路芯片的集成度每18个月翻一番。到今天，摩尔定律依然有效，而且许多人确信该定律在未来很多年仍将成立。

摩尔的预言不仅对他本人，而且对整个社会都是意义深远的。后来摩尔与其他人共同成立了英特尔公司，并通过他所开创的技术创造了无数的财富。

摩尔定律并不是一个物理定律(定律是放之四海而皆准的),而是一种预言,它鞭策工业界不断地改进,并努力去实现它。从人们认识摩尔定律开始,无论是英特尔公司、摩托罗拉公司还是其他的半导体器件公司,无一不是在不断地努力去实现摩尔定律,不断地推出集成度更高的产品。在 20 世纪 90 年代中期,英特尔利用 350 nm 技术制造出集成度达 120 万晶体管的 80486。但很快集成电路的线宽就实现了 250 nm、180 nm、130 nm、90 nm、65 nm 到 45 nm 的发展。现在,已经可以用 30 nm 的生产线制造处理器、DRAM 等器件。今天的处理器集成度已超过 10 亿。根据摩尔定律,芯片的集成度还会迅速提高。有人曾经说过,若集成度提高 100 倍,则相对价格可以降低 99%、性能可提高 100 倍、可靠性也可以提高 100 倍。当然,也许不一定是 100 倍,但是,随着集成度的提高,性能及可靠性会大大提高、价格会大大降低将是毋庸置疑的。正是摩尔定律使得计算机日新月异地发展。

40 多年的实践证明摩尔定律有利于工业的发展及满足人类的需求。直至今日,半导体工业还是按照 DRAM 每 18 个月、微处理器每 24 个月集成度翻倍的规律发展着。

2. 摩尔定律的未来

2004 年以后,半导体工业面临的技术上或成本上的挑战越来越激烈,各种关键问题纠结在一起,而且几乎要求同时得到解决。如硅片尺寸的继续扩大,新材料、新工艺和新电路结构的采用都使得工业制造难度显著提高。同时为了实现以上的要求,固定资产的投入必然加大,这就导致电路成本急剧增加且企业的风险程度明显上升。

晶体管是处理数字信号的微电子开关。其中栅极用来打开或闭合晶体管,而栅极介质是用来将栅极从电流通道隔离出来的绝缘体底层。过去数十年来,芯片厂商一直采用二氧化硅来做栅极的介质,采用多晶硅做栅电极。但是,使用现有的材料,晶体管的尺寸缩小几乎已达到极限,如英特尔在其 65 nm 工艺技术中,已经成功地将二氧化硅栅介质的厚度缩小至 1.2 nm(相当于五个原子的厚度),但是栅介质的漏电流也随之迅速增加,这就导致功耗和发热等问题日益严重,这让芯片厂商头痛不已。

在最近制造的处理器中,随着刻蚀线宽从 45 nm 过渡到 30 nm,晶体管的尺寸也愈来愈小,其漏电及功耗问题越来越严重,性能和功耗之间的平衡也越来越困难。这是近十年里摩尔定律遇到的最大的技术难题,也引起了人们的疑虑:芯片的集成度还能继续增加吗?摩尔定律是否已走到了尽头?

为了顺利地实现处理器工艺由现在的 65 nm 向 45 nm 再到 30 nm 的转变,英特尔采用了新的基于铪的高 K 绝缘体材料,用以取代二氧化硅和多晶硅两种化合物,从而可以大大地减少电流的泄漏。英特尔认为,新材料和新技术的使用可以提升处理器芯片的性能,并能达到降低功耗、减小噪声和降低成本的要求。由于 30 nm 晶体管远小于上一代晶体管,因此,晶体管开关所需电量也大为减少,使晶体管功耗大约降低了 30%,栅漏电流减少了 90%以上。随着晶体管新材料的改进,既可以通过大幅提升 CPU 主频来实现更高性能,也可以通过降低主频来提升能源效率。

同时,微细加工技术使线宽仍在不断地减小,目前生产线上所用的是 45 nm 和 30 nm。据报道,当前实验室所能做到的最小线宽为 9 nm。

纳米(nm)技术使得制造性能更佳的计算机成为可能,而这已经突破了硅技术所能达到的极限。这项新技术通过以碳为成分的纳米管来制造元件,而纳米管的直径只有 10 个原

子那么大,是现在的基于硅成分的晶体管体积的 1/500。该技术的出现使得人们向制造分子级电子设备的目标迈进了一大步。研究显示,碳纳米管在性能上不会逊色于硅晶体管,而它们的体积要小得多,所以有很大希望成为将来纳米电子技术的基础。纳米技术的前景非常广阔,这样的技术会使摩尔定律得以延续。

可以看到,新技术、新材料的出现,使芯片的集成度进一步提高成为可能。尽管集成度不可能无限地增加下去,但人们预计今后 10 年、20 年甚至 30 年,芯片的制造依旧会继续遵循摩尔定律。摩尔定律将继续激励着人们向更高的高度攀登。

1.2 计算机的基本组成

计算机是由硬件系统和软件系统两大部分组成的。

1.2.1 硬件系统

硬件系统是指计算机中那些看得见摸得着的物理实体。

1. 硬件组成

图 1.1 所示的计算机结构是在 1946 年由冯·诺依曼提出的。在此硬件结构的基础上,提出了计算机是依据存储程序、执行程序并实现控制的方式工作的,这就是冯·诺依曼计算机的设计思想。

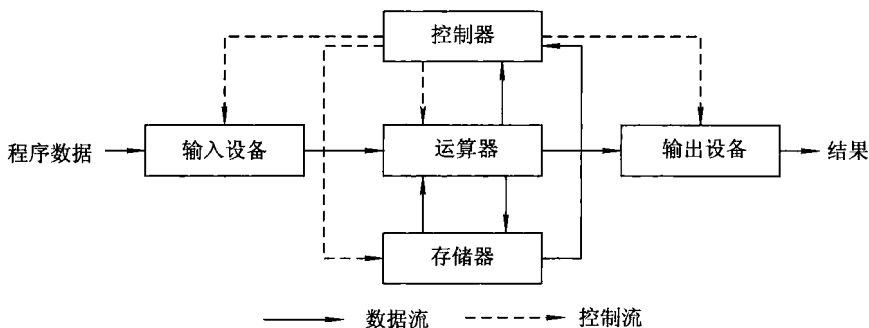


图 1.1 早期计算机(硬件)的组成

早期的计算机由运算器、控制器、存储器、输入设备和输出设备五大部分构成。运算器用以实现算术运算和逻辑运算;控制器根据指令的功能产生相应的控制信号,控制其他部分的工作,以便实现指令的功能;存储器用来存放数据和程序;输入设备可将外部的信息输入到计算机中;输出设备则接收计算机处理的结果,并做出显示、存储等操作。

2. 冯·诺依曼计算机的特点

冯·诺依曼计算机工作的基本思想,就是将计算机要处理的问题用指令编成程序,并将程序存放在存储器中,在控制器的控制下,从存储器中逐条取出指令并执行,通过执行程序最终解决计算机所要处理的问题。尽管经历了几十年的发展,也出现了新的设计思想,但冯·诺依曼的这种设计思想直到今天仍然还在广泛地应用。

在冯·诺依曼计算机工作过程中,总是一条指令接一条指令地执行,执行指令会产生

控制流,在控制流的驱动下完成指令的功能。在此过程中,数据(流)则是被动地调用。

冯·诺依曼计算机的另一特点就是进入计算机的指令、数据及其他信息均是用二进制编码来表示的。用二进制不仅电路简单、使用方便而且抗干扰性强。因此,二进制一直沿用至今。

计算机的发展已走过了60多年,尤其是最近30年,其发展更是日新月异。本书将介绍一系列计算机结构形式,从中可以看到,在过去的年代里计算机从最简单的冯·诺依曼计算机到现在都有哪些发展与改变,这些发展和改变是由什么原因引起的,是如何实现的,其实现的依据又是什么。

应当特别提及的就是个人计算机——PC。从1981年PC诞生以来,由于其规模小、结构简单,人们称其为微型计算机。在30多年的时间里,PC一代接一代地发展,现在已遍布全世界。尽管今天的PC功能已十分强大,但人们仍然称之为微型计算机。目前读者所使用的、所看到的计算机绝大多数是PC。

1.2.2 软件系统

对计算机而言,只有硬件系统,计算机是不能工作的,必须配上软件计算机才能工作。

计算机软件通常是指计算机所配置的各类程序和文件,由于它们是存放在内存或外存中的二进制编码信息,不能直接触摸而修改相对比较容易,故称之为软件。在计算机系统中,各种软件相互配合,支持计算机有条不紊地工作,这一系列软件就构成了计算机的软件系统。软件系统一般包括两大部分:系统软件和应用软件。

1. 系统软件

系统软件是一系列保障计算机很好运行的程序集合。它们的功能是对系统的各种资源(硬件和软件)进行管理和调度,使计算机能有条不紊地工作,为用户提供有效的服务,充分发挥其效能。系统软件包括:

(1) 操作系统。操作系统是最重要的系统软件,它是管理计算机硬、软件资源,控制程序运行,改善人机交互并为应用软件提供支持的一种软件。通常,操作系统包括五大功能:处理器管理、存储管理、文件管理、设备管理及作业管理。

(2) 语言处理程序。每一台计算机都会配置多种语言以利于用户编程,从各种高级语言到汇编语言均会涉及。当用户使用某种语言编写程序后,在该语言编译程序的支持下,可将用户的源程序转换为计算机可执行的目的程序。

(3) 通用程序。通用程序是在操作系统平台上提供给用户使用的一些应用程序,最常见的如在Windows下的Word、Excel等软件。

(4) 各种服务支持软件。这是一些帮助用户使用和维护计算机的软件。例如,各种调试程序、诊断程序、提示警告程序等。

2. 应用软件

应用软件是指用户在各自的应用中,为解决自己的任务而编写的程序。这是一类直接以用户的需求为目标的程序。由于用户的多样性(各行各业、各种部门)和用户需求的多样性,使得这类软件也具有多样性。例如,用于科学计算、信息管理、过程控制、武器装备等方面的应用软件。

1.3 计算机的层次概念

由前面内容可以看到，计算机是由硬件、软件系统构成的复杂的电子系统。不同的人，从不同的角度、不同的目的去理解和描述的计算机也是不一样的。本节将说明在不同的层次上对计算机的理解，以利于对本书后续内容的理解和掌握。

1.3.1 计算机系统的层次结构

计算机系统的层次结构可用图 1.2 来表示。

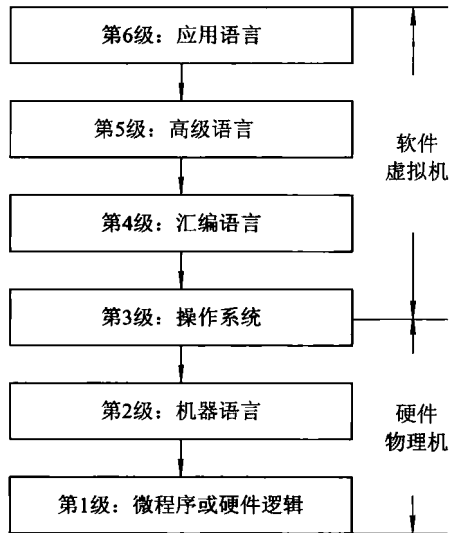


图 1.2 计算机系统的层次结构

由图 1.2 可以看到，第 1 级是计算机设计者所要描述和设计的计算机。设计者必须认真考虑计算机指令的设置和每条指令工作的细节。要考虑在硬件上如何实现算术及逻辑运算。同时，还需决定这些指令是用硬件逻辑控制电路来实现，还是用微程序控制来实现。

此外，从构成硬件物理计算机的角度也需要考虑内、外存储器，I/O 接口及外设等一系列细节问题。

目前以至将来，第 1 级上的硬件设计主要通过软件来实现。

第 2 级为机器语言级。显然，指令系统中的指令必须是二进制编码。只有二进制编码所表示的指令，才能为第 1 级中的指令译码器所识别，由它们形成一系列的控制信号，完成指令的功能。

因此，无论是用什么语言编写的程序，最终都必须编译为机器语言。显然，机器语言是针对具体硬件物理计算机的。不同的计算机其机器语言也不相同。

第 3 级为操作系统级。如前所述，操作系统的功能是对整个系统的硬件、软件资源进行有效管理。从设计角度来说，在设计计算机时必须考虑要尽可能多地对操作系统给予支持。例如，在设计处理器时，若设计有虚拟存储器管理单元，将会对操作系统的存储器管理提供有力的支持。

操作系统原则上是跨硬件平台的，也就是说，同一种操作系统可以装在不同处理器的计算机中。但是，操作系统的某些模块又是有针对性的，操作系统在哪个计算机上工作，那些模块就必须使用该计算机的指令。

因此，就操作系统级来说，设计者既要了解硬件物理计算机也要了解软件虚拟机。

第4级为汇编语言级。汇编语言级涉及的指令系统是针对特定处理器的，不同处理器的指令系统是不一样的(系列处理器的指令系统可兼容)。若仅限于利用汇编语言编写程序来使用计算机，程序设计者只需最低限度知道一些处理器中的寄存器即可，无需知道更多的计算机硬件细节。

第5级为高级语言级。此级上的用户为高级语言程序设计者。高级语言程序由编译程序转换成计算机可执行的二进制代码，再由计算机执行。由于高级语言是跨平台的，原则上讲它们可以在任何计算机上工作，所以此级上的程序员通常不必理会计算机的硬件细节，只在虚拟计算机上即可完成工作。

第6级为应用语言级。此级可设计更适合于应用的、更接近自然语言的编程语言，使应用者在虚拟计算机上工作，更少地依赖硬件系统。

从应用与设计计算机的不同层次来说，本书的读者对象主要是研究与描述硬件物理计算机的工程技术人员，工作层次位于1~3级。

1.3.2 计算机系统结构、组成与实现

计算机系统结构、计算机组成与计算机实现三者之间有密切的关系，但又各不相同，且具有不同的概念。

1. 计算机系统结构

计算机系统结构的概念是在20世纪60年代提出的。计算机系统结构是程序员所看到的计算机系统的属性，即概念性结构及功能特性。不同层次上的程序员所看到的计算机系统的属性是不尽相同的；低的机器语言级上的概念性结构及功能特性，高级语言以上级别的程序员可能是看不见的。在定义计算机系统结构的年代里，计算机的属性、概念性结构及功能特性主要是低层的硬件。今天的计算机系统结构所指的计算机的属性主要包括：

- 数据的表示形式；
- 寻址方式；
- 内部寄存器组；
- 指令集；
- 中断系统；
- 处理器工作状态及其切换；
- 存储系统；
- 输入/输出结构；
- 信息保护及特权；
- 高性能设计等。

计算机系统结构就是对这些属性的详细描述，而这些属性主要是计算机系统中硬件所要实现的功能。也就是说计算机系统结构界定了系统中硬件所实现的功能，其中最重要的就是指令集的实现。

2. 计算机组成

计算机组成也被称为计算机组织，是计算机系统的逻辑实现，包括最低层内部算法、数据流、控制流的逻辑实现。利用这一概念可以对计算机进行逻辑设计。计算机组成的设计主要包括：

- 数据通路的宽度；
- 专用部件的设置(如乘除法专用部件、浮点运算专用部件等)；
- 各功能部件的并行程度；
- 各种操作的相容性与互斥性；
- 控制机构的组成方式；
- 缓冲与排队技术的应用；
- 预估、预判方法；
- 高可靠性技术等。

可以看到，计算机组成注重的是机器内部各功能部件的设置，它们之间的相互关系及如何实施控制，逻辑上如何更合理地构成计算机，并使其性价比尽可能地提高。

3. 计算机实现

计算机实现就是指计算机组成的物理实现。

在上面计算机系统结构及计算机组成的基础上，利用具体的集成电路芯片、电子元器件、部件、插头、插座等，根据计算机组成的逻辑设计，实现物理计算机。

由上述可以看到，计算机系统结构、计算机组成与计算机实现三者在概念上是不同的。但是，它们的联系是十分紧密的。系统结构决定了计算机的总体属性，组成是体现这些属性的逻辑设计，而实现则是用物理器件来实现逻辑设计。

1.4 计算机的分类及性能描述

1.4.1 计算机的分类

了解计算机的分类，有助于理解计算机的结构及工作原理。在不同时期，站在不同角度，有不同的分类方法。

1. 早期的计算机分类方法

在 20 世纪 80 年代前，人们根据计算机的字长、规模、价格等指标，将计算机分为微型机、小型机、中型机、大型机和巨型机。随着计算机的发展，现在它们之间的界限已十分模糊。当时的小型机、中型机、大型机现在已经见不到了，而且很少再有人提到这些机型。这种分类方法基本上已不再使用。今天，人们经常提到的是个人计算机 PC、服务器或高性能计算机。尽管它们在性能上有差别，但并没有人做出严格的界定。而且，今天性能好的 PC 也许比前些年的某些服务器性能还要好。

2. 按用途分类

按照计算机的用途可分为通用计算机和嵌入式计算机(专用计算机)。

1) 通用计算机

通用计算机的硬件系统及系统软件均由有关的计算机公司设计制造,其用途不是针对某一个或某一类用户的,而是可以满足许多用户的。例如,目前国内外广泛使用的台式 PC 或笔记本电脑,用户可直接在市场上购买,在厂家提供的软件支持下工作。也许用户只需配上少量的软件或硬件,即可满足用户的需求。

对于各种服务器或高性能计算机,它们具有更高的性能,可以适用于许多领域或部门的需求。它们也可以看成是通用计算机。

通用计算机按其用途还可分为个人计算机(PC)和服务器。

(1) 个人计算机。现在,许多计算机都在联网工作,甚至有人提出网络才是计算机。在联网工作中经常有两种结构:客户机/服务器(C/S)结构和浏览器/服务器(B/S)结构。网络中,用做客户机或浏览器的多是各种型号的个人计算机,通常它们的性能要低一些,满足用户要求即可。

(2) 服务器。服务器是用于实现某种服务的。例如,目前常见的有 WEB 服务器、FTP 服务器、MAIL 服务器、文件共享服务器、数据库应用服务器、域名服务器、网关服务器、DNS 服务器、流媒体服务器等。一般而言,对服务器的性能要求是很高的,但也要根据服务器服务对象的要求来设计。目前高档服务器是由多达千个处理器构成集群系统来实现的,其速度超过万亿次/秒。也有用性能好一些的 PC 来充当最简单的服务器的。

2) 嵌入式计算机

嵌入式计算机系统的定义可表述为:以应用为目标,以计算机技术为基础,软硬件可裁剪,对功能、实时性、可靠性、安全、体积、重量、成本、功耗、环境、安装方式等方面有严格要求的专用计算机系统。

可见,嵌入式计算机是一种专用计算机,它广泛应用于工业企业、军事装备的测量与控制。这类计算机通常采用系统集成,即利用一些工业控制机提供商所提供的部件,进行硬件系统和软件系统集成来实现嵌入式计算机。对于体积特别小、工作温度特别高、震动特别剧烈等特殊要求,无法通过系统集成设计嵌入式计算机时,则需要由设计者从元器件开始设计,或者采用片上系统(SoC)进行设计。

3. Flynn 分类法

Flynn 分类法是按照计算机在执行程序的过程中信息流的特征进行分类的。在程序执行过程中存在三种信息流:

- 指令流(IS)——机器执行的指令序列,它由存储器流入控制单元(CU)。
- 数据流(DS)——指令流所使用的数据,包括输入数据、中间数据和结果。数据在处理单元(PU)中进行处理。
- 控制流(CS)——指令流进入 CU,由 CU 产生一系列的控制流(信号),在控制流的控制下完成指令的功能。

Flynn 将计算机分为四类,如图 1.3 所示。

1) 单指令流单数据流(SISD)计算机

单指令流单数据流计算机的结构示意图如图 1.3(a)所示。该计算机是由单一控制单