

高等院校精品课程系列教材·省级

计算机组成与体系结构

宋宜斌 邱秀芹 潘庆先 刘霄◎编著



*Computer Organization
and Architecture*



机械工业出版社
China Machine Press

高等院校精品课程系列教材·省级

计算机组成与体系结构

宋宜斌 邱秀芹 潘庆先 刘霄◎编著



机械工业出版社
China Machine Press

本书系统介绍计算机组成与体系结构的基本知识。主要包括：计算机中的运算方法和运算器组成、指令系统、CPU、存储系统、输入输出设备和系统、流水线技术、并行处理技术和多核技术等。本书依据课程教学的特点、难点和要点，着重“厚基础、宽专业、重能力”的编写方针，加强理论教学与实践教学相结合，力图反映计算机组成与体系结构中的新技术、新理念，以适应计算机技术快速发展的需要。

本书适合作为高等院校计算机及相关专业的本科生教材，也适合广大读者学习计算机组成和体系结构使用。

版权所有，侵权必究。

本书法律顾问 北京市展达律师事务所

图书在版编目 (CIP) 数据

计算机组成与体系结构/宋宜斌等编著. —北京：机械工业出版社，2009.6
(高等院校精品课程系列教材)

ISBN 978-7-111-26938-0

I. 计… II. 宋… 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 (2009) 第 062534 号

机械工业出版社 (北京市西城区百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

责任编辑：刘立卿

北京诚信伟业印刷有限公司印刷

2009 年 8 月第 1 版第 1 次印刷

184mm×260mm·18 印张

标准书号：ISBN 978-7-111-26938-0

定价：29.80 元

凡购本书，如有缺页、倒页、脱页，由本社发行部调换

本社购书热线：(010) 68326294

机械工业出版社华章公司秉承“全球采集内容，服务中国教育”的理念，经过十余年的不懈努力，引进、翻译、出版了大量在计算机科学界、电子科学界享有盛名的专家名著与名校教材，其中包括Donald E. Knuth、Alfred V. Aho、Jim Gray、Jeffrey D. Ullman、R. Jacob Baker等大师名家的一批经典作品，这些作品对国内计算机教育事业的发展起到了一定的推动作用。今天，全国高等学校精品课程建设工作的蓬勃开展为我们更好地服务于计算机教育、电子信息科学教育提供了良好的契机，我们将以严谨的治学态度及全面服务的专业出版精神，在国内广大院校老师们的支持与帮助下，陆续推出具有国内一流教学水平的“高等院校精品课程系列教材”。

精品课程是具有一流教师队伍、一流教学内容、一流教学方法、一流教材、一流教学管理等特点的示范性课程，是教育部实施的“高等学校教学质量与教学改革工程”的重要组成部分，是教育部深化教学改革，以教育信息化带动教育现代化的一项重要举措。自2003年精品课程建设项目持续推进以来，国内高校中的优秀教师纷纷在总结本校富有历史传统而又特色突出的课程教学方法与经验成绩的基础上，充分运用现代网络传播技术将优质的教学资源上网共享，使国内其他高校在实施同类课程教学的过程中能够借鉴、使用这些优质的教学资源，在更大范围内提高高等学校的教学和人才培养质量，提升我国高等教育的综合实力和国际竞争能力。经过几年的共同努力，已经建立起了较为齐全的各门类及各专业的校、省、国家三级精品课程体系，期间先后有总计750门课程通过了专家评审，获得了“国家精品课程”称号。

这些各个层次的“精品课程”建设过程都比较充分地体现了教育部所要求的七个重点，即：具有科学的建设规划，配备高水平的教学队伍，不断进行教学内容和课程体系的改革，使用先进的教学方法和手段，注重建设系列化的优秀教材，高度重视理论与实践两个环节，切实激励各方人员共同参与。也正因为这样的多方面积极参与，使得我国的高等教育在近年来由精英教育转向大众教育的跨越式发展中取得了教学质量上的突破与飞跃。精品课教材作为精品课程的要件之一，比以往教材更加具有实践检验性，教学辅助资源经过不断地更新与补充更加丰富，是精品课教学团队智慧的共同体现。

“师者，所以传道授业解惑也”。教材是体现教学内容和教学要求的知识载体，是教师进行教学活动的基本工具，是提高教学质量的重要保证。精品课程教学团队中优秀的老师们集多年治学经验撰写出版相关教材，也是精品课程建设的一个重要方面。华章作为专业的出版团队，长久以来以“传承专业知识精华，服务中国教育事业”为使命，遵循“分享、专业、创新”的价值观，实践着“国际视野、专业出版、教育为本、科学管理”的出版方针，愿与高等院校的老师共同携手，为中国的高等教育事业走向国际化而努力。

为更好地服务于精品课程配套教材的出版，华章不仅密切关注高校的优秀课程建设，而且还将利用自身的优势帮助教师完善课程设置、提供教辅资料、准备晋级申报、推广教学经验。具体详情可访问专门网站<http://www.hzbook.com/jpkc.aspx>，并可在线填写出版申请，欢迎您对我们的工作给予帮助和指导。

投稿专线：010-88379604

投稿Email：hzjsj@hzbook.com



华章科技图书出版中心

前言

为了适应计算机技术的快速发展，“计算机组成与体系结构”课程将“计算机组成原理”与“计算机体系结构”两门重要课程合并，作为计算机科学与技术学科的重要核心课程之一。从课程地位来说，它在先导课和后续课之间起着承上启下和继往开来的作用。

“计算机组成与体系结构”课程的教学，具有知识面广、内容多、难度大、更新快等特点，尤其是多核技术和并行处理技术的快速发展与应用，对本课程的内容设置提出了新的要求。另外，体现新特点、新要求的教材对于提高课程教学水平，促进计算机学科的发展起着十分重要的作用。为此，我们结合多年的课程教学经验和教学需求编写了此教材，期望能为课程建设做一点工作。在编写过程中，力争体现出如下特色：

- 1) 内容全面准确，基本概念清楚；
- 2) 注重知识的系统性，使学生能建立计算机整机结构概念；
- 3) 注重知识结构的合理性，为进一步深入学习有关计算机后续课程打下良好的基础；
- 4) 加强理论教学与实践教学相结合，注意学生的综合能力启发与培养；
- 5) 力图反映新技术、新理念，以适应计算机技术快速发展的需要。

计算机科学技术的发展日新月异，新思维、新技术、新器件不断问世，因而，课程教材的部分内容不可避免会出现过时、老化，需要及时更新。同时，学科专业教学体系和课程内容的组合与调整，也在客观上对课程教材提出了新的要求。为此，我们决定编写适应新的课程教学的《计算机组成与体系结构》教材。本书内容安排与中国计算机学会教育委员会、全国高等学校计算机教育研究会联合推荐的《计算机学科教学计划 1993》和《2008 全国计算机专业综合考试大纲》要求是相一致的。

从传授基础知识和培养能力的目标出发，并结合本课程教学的特点、难点和要点，编者在教材编写过程中坚持“厚基础、宽专业、重能力”的九字方针。所谓“厚基础”，是指教材必须具有合理的知识结构，学生必须掌握宽厚的硬件基础知识和整机概念；所谓“宽专业”，是指拓宽专业知识的覆盖面，学生要了解相关技术的基本内容；所谓“重能力”，是指培养学生的硬件分析、设计和调试能力。

本书内容具体安排如下：

第 1 章是全书内容的概述部分，简要介绍计算机组成与体系结构的基

本概念,从实现功能的角度说明计算机硬件系统的基本组成,从功能和层次的观点讲解计算机组成与体系结构各自需要研究和解决的问题。本章建议学时数:计算机专业4学时;非计算机专业2~4学时。

第2章介绍计算机中的运算方法和运算器组成,这是本课程的第一个重点知识单元。该章以运算方法及运算器为主要内容,讨论计算机实现各类运算的基本方法与实现原理。本章建议学时数:计算机专业6~8学时;非计算机专业4~6学时。

第3章讨论指令系统,该章从计算机组成与结构原理角度,讨论计算机完成各类操作所需要的命令及其产生方法。本章建议学时数:计算机专业6~8学时;非计算机专业4~6学时。

第4章讨论CPU,该章与第3章一起,共同构成本课程的第二个重点知识单元:计算机中控制信号的产生与实现方法。本章建议学时数:计算机专业6~8学时;非计算机专业4~6学时。

第5章介绍存储系统,是本课程的第三个重点知识单元。主要讨论多级结构的存储器体系结构和高速缓冲存储器、主存储器和虚拟存储器原理。本章建议学时数:计算机专业8~10学时;非计算机专业6~10学时。

第6章的输入输出设备和第7章的输入输出系统,共同构成本书的第四个知识单元。主要围绕计算机的输入和输出功能进行讲解,给出了常用接口芯片的功能与分析方法。第6章建议学时数:计算机专业6学时;非计算机专业4~6学时。第7章建议学时数:计算机专业8~10学时;非计算机专业6~10学时。

第8章的流水线结构与技术及第9章的并行处理技术和多核技术,共同构成本书的第五个基本知识单元。在内容设置上,以计算机系统结构的基本概念介绍为主,介绍问题提出的思路和解决问题的方案以及对性能的影响等,主要进行定性说明。其中,多核技术作为新的扩展内容,供教学参考之用。第8章建议学时数:计算机专业6学时;非计算机专业4学时。第9章建议学时数:计算机专业4~8学时;非计算机专业2学时。

通过本教材,学生可以从层次的观点,掌握基本的计算机组成和运行机制方面的知识,奠定必要的专业知识基础,为下一步课程的学习打好基础。同时,可以从系统的观点,了解计算机组成与体系结构领域的基本知识,理解提高计算机的部件和整机硬件性能的各种可行途径,理解计算机系统中硬件、软件的功能划分和相互配合关系,学会在更高的层次上思考与解决学习与工作中遇到的问题。的方法。

本课程的基本教学目标是:

- 1) 使学生从数字电路和逻辑设计、数据在计算机内的表示和运算算法、指令系统和汇编语言程序设计、计算机硬件系统的基本组成和指令执行过程的控制与实现、计算机系统最底层软硬件的配合与功能划分等多个方面(层次),系统地了解计算机组成的基本原理与内部运行机制。

- 2) 努力提高学生在计算机硬件设计和实现方面的能力,适当了解提高计算机的部件和整机硬件性能的各种可行途径,在一定程度上掌握计算机体系结构的基本知识。

- 3) 使学生对当前计算机最新的研究、发展与应用趋势有一个概括的认识。

对学习方法的建议

1) 认真听课并仔细阅读教材是学好课程的重要环节,适当参阅 PowerPoint 格式的课件是有益的,有利于分清教学内容的主次关系,把握好关键知识点。

2) 充分发挥教学实验设备的作用,包括硬件实现的设备和软件实现的相同功能的模拟系统,认真完成规定的教学实验项目,有意识地增强自己从实践中学习知识、增长才干的能力。后一点在这一课程学习过程中更有其现实而重要的意义。

3) 这门课程主体上属于硬件课程,同时还应适当关注计算机最底层的软件的一些内容(如微程序设计等),学会软硬件相互配合、融会贯通的方法,这也是学好后续专业课程的重要基础。

教材使用说明

1) 本教材主要是针对计算机、软件工程等本科专业的“计算机组成与体系结构”课程的教学需求,并参考了2009年全国计算机科学与技术学科研究生入学专业基础综合考试大纲编写而成。建议课堂教学安排54~68学时,实验课时安排10~16学时,另外,建议加设一周的课程设计时间。不同学校可以根据自身的教学计划和要求,自行调整授课时间和内容。

2) 非计算机专业的学生在使用本教材时,可以适当降低教学要求,主要学习内容建议为:运算方法和运算器、指令系统、CPU,对存储系统和I/O系统内容可以适当简化,其他内容可自行确定。

课堂教学建议

1) 本课程重点为第2~5章和第7章,第6章和第8章内容可以根据教学需要做适当增减。

2) 第9章为相对独立的内容,可以根据实际需要进行内容和学时的调整。

实验教学建议

1) 课程实验是吸收消化课程内容的重要训练环节,建议开设如下基本单元实验(10~16学时):

实验一:多位加法器单元设计

实验二:数据通路与控制单元设计

实验三:基本存储系统设计

实验四:微程序控制器设计

2) 如果可能,建议在学期末开设一周时间的综合课程设计,完成一个简单计算机系统的设计,实现4~5条机器指令。

本教材由宋宜斌、邱秀芹、潘庆先、刘霄编写。宋宜斌负责第1章、第8章、第9章的编写;邱秀芹负责第2章、第4章的编写;潘庆先负责第3章、第5章的编写;刘霄负责第6章、第7章的编写,还有部分研究生参加了本教材的编写、绘图工作。由于我们经验不足,难免在编写中存在问题,欢迎读者批评指正。

编者

2009年6月

目 录

出版者的话

前言

第1章 绪论	1
1.1 计算机发展与应用	1
1.2 计算机系统的基本组成及其 层次结构	4
1.2.1 计算机系统的基本功能	4
1.2.2 计算机系统的基本 硬件结构	6
1.2.3 计算机系统的基本 软件结构	7
1.3 计算机的体系结构与发展	8
1.3.1 计算机的体系结构	8
1.3.2 计算机组成与实现	9
1.3.3 现代计算机体系结构	9
1.4 新型计算机与技术研究进展	10
本章小结	15
习题	15
第2章 运算方法与运算器	16
2.1 数据的表示——常用的 信息编码	16
2.1.1 数值数据的表示	16
2.1.2 字符类型数据的表示	25
2.1.3 逻辑数据的表示	28
2.1.4 校验码	28
2.2 定点加、减法运算	29
2.2.1 补码加、减运算	29
2.2.2 溢出的概念与检测方法	31
2.2.3 基本的二进制加/减法器	33
2.2.4 十进制加法器	34
2.3 定点乘法运算	35
2.3.1 原码并行乘法	35
2.3.2 补码并行乘法	40
2.4 定点除法运算	43
2.4.1 原码除法运算原理	43
2.4.2 并行除法器	44
2.5 定点运算器的组成	47
2.5.1 逻辑运算	47
2.5.2 多功能算术/逻辑运算单元	49
2.6 浮点运算方法和浮点运算器	54
2.6.1 浮点加、减法运算	54
2.6.2 浮点乘、除法运算	57
2.6.3 浮点运算流水线	59
2.6.4 浮点运算器实例	62
本章小结	63
习题	64
第3章 指令系统	66
3.1 指令系统概述	66
3.1.1 指令系统的发展	66
3.1.2 指令系统的设计要求	67
3.1.3 计算机语言与硬件结构 的关系	68
3.2 指令格式	68
3.2.1 操作码	69
3.2.2 地址码	69
3.2.3 指令字长度	70
3.2.4 指令助记符	71
3.2.5 指令格式举例	71
3.3 寻址方式	73
3.3.1 指令的寻址方式	73
3.3.2 操作数寻址方式	74
3.3.3 堆栈寻址方式	78
3.3.4 寻址方式应用举例	81
3.4 指令系统	82
3.4.1 指令的分类	82
3.4.2 精简指令系统	85
3.4.3 指令系统和汇编程序 的设计	86
本章小结	87
习题	87

第 4 章 中央处理器	89	5.2.8 内存条	146
4.1 CPU 的组成和功能	89	5.3 高速缓冲存储器	150
4.1.1 CPU 的功能	89	5.3.1 高速缓冲存储器的	
4.1.2 CPU 的组成及基本寄存器	90	运行原理	150
4.1.3 操作控制器与时序产生器	92	5.3.2 高速缓冲存储器的	
4.2 指令周期	92	映射方式	152
4.2.1 指令周期的基本概念	92	5.3.3 替换策略	157
4.2.2 典型指令的指令周期分析	94	5.4 只读存储器和闪速存储器	158
4.2.3 指令周期的方框图		5.4.1 只读存储器	158
表示方法	101	5.4.2 闪速存储器	158
4.3 时序及控制信号	103	5.5 虚拟存储器	161
4.3.1 控制部件的功能和组成	103	5.5.1 虚拟存储器的运行原理	162
4.3.2 时序信号的作用和		5.5.2 段式存储管理	163
分级体制	103	5.5.3 页式存储管理	164
4.3.3 时序信号产生器	104	5.5.4 段页式存储管理	165
4.3.4 控制信号的产生方法及		5.6 存储保护	167
控制方式	107	5.6.1 存储区域保护	167
4.4 硬布线控制器部件	109	5.6.2 访问方式保护	169
4.4.1 硬布线控制器的基本组成和		5.7 辅助存储器	169
工作原理	109	本章小结	169
4.4.2 硬布线控制器的设计与		习题	170
实现	110	第 6 章 输入输出设备	172
4.5 微程序控制器部件	111	6.1 概述	172
4.5.1 微程序控制器的基本组成和		6.1.1 输入输出设备的一般功能	172
工作原理	111	6.1.2 输入输出设备的分类	172
4.5.2 微命令编码方式	119	6.2 显示设备的组成和工作原理	173
4.5.3 微地址的形成方法	119	6.2.1 显示设备概述	173
4.5.4 微指令的格式	121	6.2.2 字符/图形显示器	174
4.5.5 动态微程序设计	122	6.2.3 图像显示器	177
本章小结	123	6.2.4 IBM PC 系列机的显示	
习题	123	系统	178
第 5 章 存储系统	126	6.3 打印机设备的组成和基本原理	181
5.1 存储器系统概述	126	6.3.1 针式打印机	182
5.1.1 存储器的分类	126	6.3.2 喷墨打印机	184
5.1.2 存储器的分级结构	128	6.3.3 激光打印机	184
5.2 主存储器的组成与设计	129	6.4 计算机的输入设备	187
5.2.1 主存储器的作用及分类	129	6.4.1 键盘	187
5.2.2 静态存储器	129	6.4.2 鼠标设备	188
5.2.3 动态存储器	133	6.5 外部存储设备	189
5.2.4 主存储器与 CPU 的连接	137	6.5.1 外部存储设备概述	189
5.2.5 主存的读写周期	140	6.5.2 磁盘设备	189
5.2.6 主存储器的技术指标	142	6.5.3 光盘设备	195
5.2.7 提高主存储器性能的途径	142	本章小结	198

习题	199	本章小结	245
第7章 输入输出系统	200	习题	246
7.1 输入输出系统概述	200	第9章 并行计算基础与多核技术	248
7.2 计算机总线的功能与组成	202	9.1 并行计算基础	248
7.2.1 计算机总线概述	202	9.1.1 并行计算机体系结构	248
7.2.2 计算机总线的构成	202	9.1.2 并行计算模型	251
7.2.3 总线仲裁和数据传输控制	206	9.2 并行编程环境	255
7.3 输入输出接口概述	210	9.2.1 编程语言与编译器	256
7.3.1 输入输出接口的基本功能	210	9.2.2 HPF: 数据并行编程	257
7.3.2 通用可编程接口的 一般组成	210	9.2.3 OpenMP: 共享存储 并行编程	258
7.3.3 接口实例	212	9.3 并行计算性能评测	258
7.4 常用的输入输出方式概述	213	9.3.1 并行程序执行时间	259
7.4.1 程序查询方式	213	9.3.2 加速比性能定律	259
7.4.2 程序中断方式	214	9.3.3 并行程序性能评价方法	261
7.4.3 DMA 方式	219	9.4 并行超级计算机	263
7.4.4 通道方式	224	9.5 超大规模集成电路与系统 芯片发展	264
本章小结	227	9.5.1 超大规模集成电路技术	264
习题	229	9.5.2 系统芯片	265
第8章 流水线结构与技术	230	9.6 多核体系结构发展概况	266
8.1 流水线的基本概念	230	9.6.1 多核芯片	267
8.1.1 流水线简介	230	9.6.2 片上多核处理器体系结构	268
8.1.2 流水线工作原理	231	9.6.3 芯片组对多核的支持	269
8.2 流水线的分类方法	235	9.7 系统软件对多核处理器的 支持方法	270
8.2.1 流水线的分级	235	9.7.1 调度与中断	270
8.2.2 流水线的功能	235	9.7.2 输入输出系统	272
8.2.3 流水线的结构特征	236	9.7.3 存储管理与文件系统	272
8.3 流水线的性能指标	237	9.7.4 虚拟化技术	273
8.3.1 流水线的吞吐率	237	9.7.5 典型的支持多核的 操作系统	274
8.3.2 流水线的加速比	238	本章小结	275
8.3.3 流水线的效率	239	习题	276
8.4 流水线中的相关问题	240	参考文献	277
8.4.1 资源相关	240		
8.4.2 数据相关	241		
8.4.3 控制相关	243		

第 1 章

绪 论

本章首先从结构层次的观点,对计算机系统的基本组成进行概述,粗略地介绍硬件、软件的概念和组成,使读者初步认识完整计算机的基本组成,并从层次结构的角度出发,对计算机体系结构概况给出了介绍。

1.1 计算机发展与应用

什么是计算机?从其本质含义来说,就是能够协助人类完成各类数值处理的工具。例如,人们非常熟悉的算盘,就是一种简便而优良的计算工具。在电子计算器或者电子计算机普及之前,计算尺也是工程界广泛使用的计算工具之一。计算尺是在木制的尺子状的材料上,印上各种刻度和数字标记,通过拉动中间可移动的部分,找出不同位置上刻度的对应关系,来完成一次计算过程。计算尺在科学研究、工程设计等数值计算领域曾被广泛应用,发挥了重要作用。然而,其计算功能的专用性和较大的误差却限制了它的应用范围。早期还有通过齿轮和拉动杆等做成的机械式计算机,也被广泛地用于完成加、减、乘、除等算术运算,通用性较好,但运算效率仍然比较低。

现代的计算机,通常指的都是电子数字计算机,与传统的计算工具相比,从通用性、计算速度、计算精度、数据处理的能力、实现计算的自动化程度等各个方面来看,都有了本质性的变化。计算机是 20 世纪人类最重要的发明之一,它凝聚着人类长期研究和发​​展计算机工具与计算机技术的心血。其功能性能提高之快、应用领域拓展之宽、对社会发展影响之深是有目共睹的事实,大大促进和提高了人类社会发展与进步的速度。

计算机系统的性能,主要是指它处理数据信息的速度和能力,计算机本身发展的历史就清晰地描述出人类对计算机完美性的不懈追求。当年,曾有一位科学家这样设问:“假如世界没有电?”回答是:“世界将一片黑暗。”如果人们现在问:假如当今没有计算机,世界会怎样?您又将怎样回答?

1946 年世界上第一台计算机在美国问世至今不过半个多世纪,可人们已很难设想没有计算机的生活会怎样。最简洁的回答是:假如没有计算机,人类的生活将完全停顿。比如,交通将瘫痪,因为现代立体化交通调度是在计算机控制下完成的;汽车也开不动了,因为汽车的电子控制依赖计算机芯片进行;银行管理瘫痪、商场销售停止、电话得了“失语症”;

大型企业不得不停产；各种自然灾害无法预测、报告；……人类社会必将陷入灾难。可以说，计算机已与人类的生存与发展息息相关。

20世纪70年代之前，计算机性能增长速度缓慢，但形成了至今仍被广泛采用的冯·诺伊曼提出的存储程序计算机的完整概念。到了20世纪70年代，由于集成电路的出现和迅速发展，推动计算机的性能以每年25~30倍的速度增长。70年代以来，微电子芯片的集成度每18个月就翻一番，这称为摩尔定律。比如1971年Intel的4004微处理器刚刚出现时，在一个芯片中集成了2300个晶体管，当发展到后来的奔腾6（Pentium 6），一个芯片里就含有600万个晶体管，在短短的20多年里，晶体管数提高了将近3000倍。

可以看到，计算机性能的提高，在物质的层面上，依靠的是集成电路生产工艺改进带来的半导体器件性能的提高；在技术的层面上，依靠的是计算机体系结构和组成方面的共同创新与进步。计算机的发展按照硬件工艺可以分为以下几代：

第1代（1946年~1958年）：电子管数字计算机。计算机的逻辑元件采用电子管，主存储器采用汞延迟线、磁鼓、磁芯；外存储器采用磁带；软件主要采用机器语言、汇编语言；应用以科学计算为主。其特点是体积大、耗电大、可靠性差、价格昂贵、维修复杂。它奠定了以后计算机技术的基础。

第2代（1958年~1964年）：晶体管数字计算机。晶体管的发明推动了计算机的发展，逻辑元件采用了晶体管以后，计算机的体积大大缩小、耗电减少、可靠性提高，性能比第一代计算机有很大的提高。主存储器采用磁芯，外存储器已开始使用更先进的磁盘；软件有了很大发展，出现了各种各样的高级语言及其编译程序，还出现了以批处理为主的操作系统，应用以科学计算和各种事务处理为主，并开始用于工业控制。

第3代（1964年~1971年）：集成电路数字计算机。20世纪60年代，计算机的逻辑元件采用小、中规模集成电路（SSI，MSI），计算机的体积更小型化、耗电量更少、可靠性更高，性能比第2代计算机又有了很大的提高。这时，小型机也蓬勃发展起来，应用领域日益扩大。主存储器仍采用磁芯，软件逐渐完善，分时操作系统、会话式语言等多种高级语言都有新的发展。

第4代（1971年以后）：大规模集成电路数字计算机。计算机的逻辑元件和主存储器都采用了大规模集成电路（LSI）。所谓大规模集成电路是指在单片硅片上集成1000~2000个晶体管的集成电路，其集成度比中、小规模集成电路提高了1~2个数量级。这时计算机发展到了微型化、耗电极少、可靠性很高的阶段。大规模集成电路使军事工业、空间技术、原子能技术得到发展，这些领域的蓬勃发展对计算机提出了更高的要求，有力地促进了计算机工业的空前大发展。

随着大规模集成电路技术的迅速发展，计算机除了向巨型机方向发展外，还朝着超小型机和微型机方向飞速前进。

微型机的核心是微处理器，微处理器被誉为20世纪最伟大的发明之一。微处理器的设计很规则，可以使工作更加简单。其指令简单，格式统一，寻址方式简单，硬件单元也尽可能功能单一化、简单化。这样能够大大降低处理器设计的复杂性，提高系统开发的效率。微处理器的功能单元和寄存器等应该在满足需求的情况下尽可能少，因为功能单元和寄存器太多将会延长机器工作周期。微处理器使用的设计是合适的折中。很多情况下，简单和高性能并不能统一，这时就需要合适的折中，选择一个性能损失不大却又最简单的实现方案。

由于微处理器具有体积小、重量轻、功耗低、功能强、可靠性高、结构灵活、使用环境要求低、价格低廉等一系列特点和优点,因此得到了广泛的应用,使计算机真正进入到人类社会生产和生活的各个方面。更重要的是:微电子技术和集成制造技术的飞速发展,使得计算机整机价格大大下降,因而促使了个人计算机的出现和普遍应用,这是对计算机普及应用技术的重要贡献。计算机已从过去只限于少数专业人员使用普及到广大民众乃至中小学生,成为人们工作和生活中不可缺少的工具,从而将人类社会推进到了信息时代。

随着芯片集成度的不断提高,将能提供更强处理能力的计算机部件,甚至是一个高性能的计算机处理器。而更强处理能力和处理速度的工作站(workstation)和精简指令系统计算机(RISC)的出现,又进一步推动了计算机体系结构和并行实现技术的发展。

当然,也可以依据计算机所提供的功能和运行性能来分类。可以把计算机划分为巨型机、大型机、中型机、小型机、微型机和单片机,它们的结构规模和性能指标依次递减。注意到,这种划分标准并不是绝对的,把一台计算机划分在哪一类,与计算机发展的进程密切相关。随着超大规模集成电路的迅速发展,今天的小型机可能是明天的微型机,而今天的微型机可能是明天的单片机,这是计算机发展进步的必然成果和具体表现。

计算机深刻地影响了人类社会的发展,促进了人类社会的进步。从这个意义上来说,计算机是20世纪人类最杰出的科技成就之一。在其应用领域的扩展和对社会变革、进步带来的深刻影响方面,可以简单列举如下:

1) 计算机作为计算工具,完成各种复杂的科学计算是它的一个重要应用方面,在科学研究、工程设计、军事、天气预报、太空技术、地质与石油勘探等重要领域,发挥着不可或缺的作用。

2) 计算机作为数据处理工具,在政府办公、企事业单位的管理等领域发挥着重要的信息管理作用。对政府大量的档案和公文收发、保存和检索,以及业务信息的处理与办公流程自动化管理、信息分析与科学决策等方面提供支持。对企业单位的人、财、物、购、销、存等信息的保存与管理,为市场预测和经营决策等方面提供支持。

3) 计算机作为具有高速和灵活的逻辑处理能力的工具,被广泛应用于工业生产、航天发射等过程的实时控制,包括用于产品的计算机辅助设计(CAD)和计算机辅助制造(CAM)。

4) 计算机作为具有高速和灵活的逻辑处理和推理能力的工具,被广泛地应用在人工智能领域,完成诸如数学定理证明、自然语言理解、知识表示和挖掘、密码处理和破译、智能机器人研制和应用、计算机翻译等需要有一定逻辑推理的功能,并发挥着决定性的作用。

5) 随着计算机网络的出现和发展,计算机网络为各类信息的快速交互提供了强有力的支持。计算机已经成为传播和沟通信息的重要工具,出现了电子政务、电子商务、网络教育、远程诊断、网上信息检索等多种应用,极大地改变了人类的生活环境和交流方式。今天人们谈到计算机必然和网络联系起来,孤立的未加入网络的计算机越来越难以见到,另一方面计算机的概念也被网络所扩展。20世纪90年代兴起的Internet如火如荼地发展,其影响之广、普及之快是前所未有的。从没有一种技术能像Internet一样,剧烈地改变着我们的学习、生活方式和习惯。全世界几乎所有国家都有计算机网络直接或间接地与Internet相连,使之成为一个全球范围的计算机互连网络。人们可以通过Internet与世界各地的其他用户自由地进行通信,可从Internet获得各种信息。正是由于计算机的这种超强交互能力,使得世

界正逐渐变成“地球村”。

6) 传统产品的升级换代。由于芯片的发展,使得计算机像一个小精灵一样,在社会上无孔不入。计算机、微波炉、洗衣机、电视机、空调机,甚至电风扇上都可能“钻入”这个微电子芯片。一旦加入了这个“小精灵”,它就可以使产品变得更精巧、性能更好、更能满足人们的需求。

可见,计算机已经渗透到人类社会的各个领域,已经成为人类社会发展与进步的不可或缺的技术工具。

1.2 计算机系统的基本组成及其层次结构

计算机系统的含义是什么?不妨从它所完成的功能和相应的组成两个方面来回答。

1.2.1 计算机系统的基本功能

从基本功能的角度看,计算机系统应当具备完成原始数据的输入、存储、对数据的运算和处理、把计算处理结果输出这4项操作功能。因此,计算机的硬件系统至少需要由几个相互连接在一起的部件和设备组成,如图1-1所示。

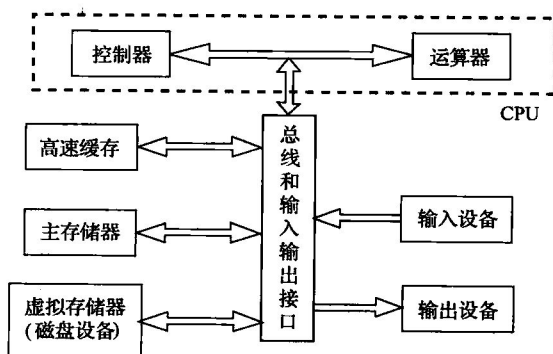


图 1-1 计算机硬件系统的一般组成示意图

图 1-1 给出的是计算机硬件系统的基本组成结构。其中,运算部件完成对数据的运算处理功能,存储部件完成对数据的存储功能,输入设备完成对原始数据的输入,输出设备完成对运算处理结果的输出功能,而控制器部件的功能,则是向各个部件或设备提供它们协调运行所需要的控制信号。

如果把计算机想象成一个加工处理数据的“工厂”,运算部件就是产品加工车间,存储部件就是存放原材料、半成品和最终产品的库房,输入设备相当于运入原材料的运货卡车,输出设备相当于发出最终产品的运货卡车,控制部件则相当于承担领导指挥功能的厂长和各个职能办公室。在领导的正确指挥下,如果能够源源不断地取得原材料,工厂内又有存放的场所,车间能够对这些原材料进行指定的加工处理,加工后的产品可以畅通地运出去销售,则这个工厂(计算机)就可纳入正常运行的轨道。

图 1-1 中上方所示运算部件和控制器部件合称为中央处理器(Central Processing Unit, CPU)。图中下方所示为计算机的存储器、输入输出(I/O)设备和总线、I/O 适配器等组成部分。

计算机中的总线总体上分为3种类型，分别是数据类总线、地址类总线和控制类总线。数据总线用于在这些部件或设备之间传送属于数据信息（指令和数据）的电气信号；地址总线则用于在这些部件或设备之间传送属于地址信息的电气信号，以选择数据存储部件中的一个存储单元，或者外围设备中的一个设备；控制总线用于向存储部件和外围设备传送起控制作用的电气信号，也就是指定在CPU和这些部件或者设备之间数据传送的方向以及操作的性质（读操作还是写操作）等。可以看到，计算机的5个组成部分正是通过这3种类型的总线有机地连接在一起，从而构成一台完整的、可以协调运行（执行程序）的计算机硬件系统。

在早期的计算机中，普遍的是采用冯·诺伊曼体系结构的称为存储程序的计算机。现代的计算机系统结构虽然已发生了重大变化，但是就结构原理来说，以存储程序原理为基础的冯·诺伊曼型计算机仍然占主流地位。在当前流行的计算机中，最常用的方案是计算机的各个部件围绕着存储器或运算器部件来组织，如图1-2所示，这是冯·诺伊曼结构的计算机系统在机理上的主要特征。冯·诺伊曼型计算机的主要特点是：计算机总是根据事先编制好并放在存储器中的计算程序（即存储程序），依次执行该程序指令，进而完成所对应的任务。所以说“存储程序控制”是冯·诺伊曼型计算机的主要特点。因而，在系统组成结构上，冯·诺伊曼型计算机一般由“运算器+控制器+存储器+I/O设备”作为框架组成部分。

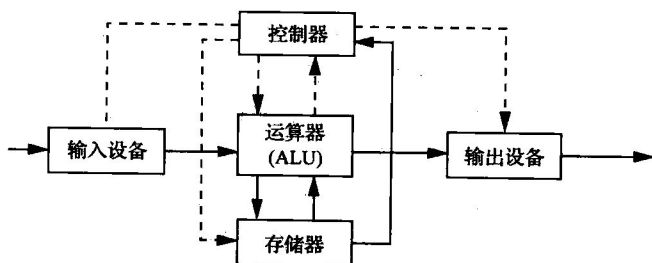


图 1-2 冯·诺伊曼型计算机的组成结构

仅有这些“硬件”结构，计算机还是无法运行起来，至少是很难高效运行。要成功运行，还需要一系列调度管理、资源协调等手段，使计算机中的各类资源有效、协调地工作起来，这就是“软件”部分的任务。计算机系统也一样，在硬件组成的基础之上，还必须有它的软件部分。那么，什么是软件？简要地说：软件就是指计算机系统程序及文档。为什么软件部分不可缺少呢？主要有如下原因：

1) 计算机软件包含语言支持程序。计算机是由人指挥控制、供人来使用的，使用计算机的人员要把自己的意图告诉计算机。为完成这种对话，需要使用某种语言。遗憾的是，计算机还不能（至少目前尚不能低成本地实现）与人类进行正常的自然语言交流。最简单的解决办法就是，让计算机使用自己的语言，这种语言是硬件可以直接识别、理解的，并且用电子线路容易处理的，这就是计算机的机器语言，又称为二进制代码语言。一台计算机的全部指令构成该计算机的指令系统。由此可以看出，计算机的基础硬件是在机器语言的层次上设计与实现的，可以直接执行的只能是由机器语言构成的程序。这样做的结果是，计算机一方的矛盾解决了，但是使用计算机的人员却很难接受并使用这种语言。为此，必须找出一种折中方案，做到人员使用和计算机处理都更容易一些，这就是汇编语言和高级程序设计语言、

各种专用目的的语言。

2) 计算机软件为计算机系统本身提供性能良好的资源管理功能。一套计算机系统, 包含了大量的硬件资源和软件资源, 这些资源的高效、有序、协调管理, 是一项非常复杂的工作, 计算机使用人员难以直接参与, 也没有必要, 而把这项任务交给计算机系统本身来做则更为高效、可靠, 完成这一功能的软件就是计算机的操作系统。没有操作系统的计算机通常又被称作“裸机”, 是无法正常工作的。有了操作系统的支持, 能为使用计算机的用户提供许多支持, 它与程序设计语言相结合, 使得程序设计更简化, 建立用户应用程序和操作计算机更方便。

3) 软件系统可以提供丰富的应用软件和功能软件。在操作系统软件之上, 还可以选用适当的软件把众多用户通常遇到的许多操作处理功能实现出来, 例如文字处理软件、数据库软件、网络软件、多媒体信息处理软件、办公自动化软件等。

综上所述, 从完成计算机功能的角度来看, 计算机系统必须由硬件和软件两大部分资源共同组成, 缺一不可。

1.2.2 计算机系统的基本硬件结构

从组成计算机的物理器件(又称硬件)的层面理解, 计算机硬件系统是一种高度复杂的, 由多种电子线路、精密控制装置等构成的, 能自动并且高速地完成数据加工计算的装置或者工具。若进一步深入分析, 在按照计算机硬件的5大组成部分理解的同时, 还可以从计算机硬件设计和实现所依照的层次关系来认识计算机硬件系统的组成。

第一个层次是数字逻辑层。现在的计算机, 通常说的都是电子数字计算机, 作为计算机一词的定语, “电子”一词指明的是实现计算机的最重要的物质材料是电子线路, “数字”一词所指明的是所用的电子线路通常是数字逻辑电路。设计计算机硬件的最基础的知识就是数字逻辑和数字门电路, 其解决的基本问题是, 使用何种线路和如何存储信息、传送信息、运算与加工信息等方面的问题。

第二个层次是微体系结构层。前面已经说过, 计算机的最核心本质的功能是执行程序, 程序是按一定规则和顺序组织起来的指令序列。第二个层次体现的是, 为了执行指令, 需要掌握在计算机中设置哪些功能部件(例如存储、运算、输入和输出、接口和总线等部件, 当然还有更复杂一点的控制器部件), 每个部件又如何具体组成和怎样运行, 这些部件如何实现相互连接并协同工作等方面的知识和技术。这是本教材的重点, 也是难点内容。

第三个层次是指令系统层。这涉及需要确定使用哪些指令, 指令能够处理的数据类型和对其运算所用的算法, 每一条指令的格式和完成的功能, 如何指出想要对其执行读操作或者写操作的存储器的一个存储单元, 如何指出想要执行输入或者输出操作的一个外围设备。一台计算机的指令系统对计算机厂家和用户来说都是很重要的, 需要非常认真地分析和对待。

前面说明的3个层次的问题, 主要应该划分到计算机硬件的范围内, 指令系统是计算机硬件系统设计、实现的最基本和最重要的依据, 其与计算机硬件实现的复杂程度、设计程序的难易程度、程序占用硬件资源的多少、程序运行的效率等都直接相关。当然, 指令系统与计算机软件的关系也十分密切, 在计算机内部, 全部的软件最终都是由指令系统所提供的指令代码组成的。