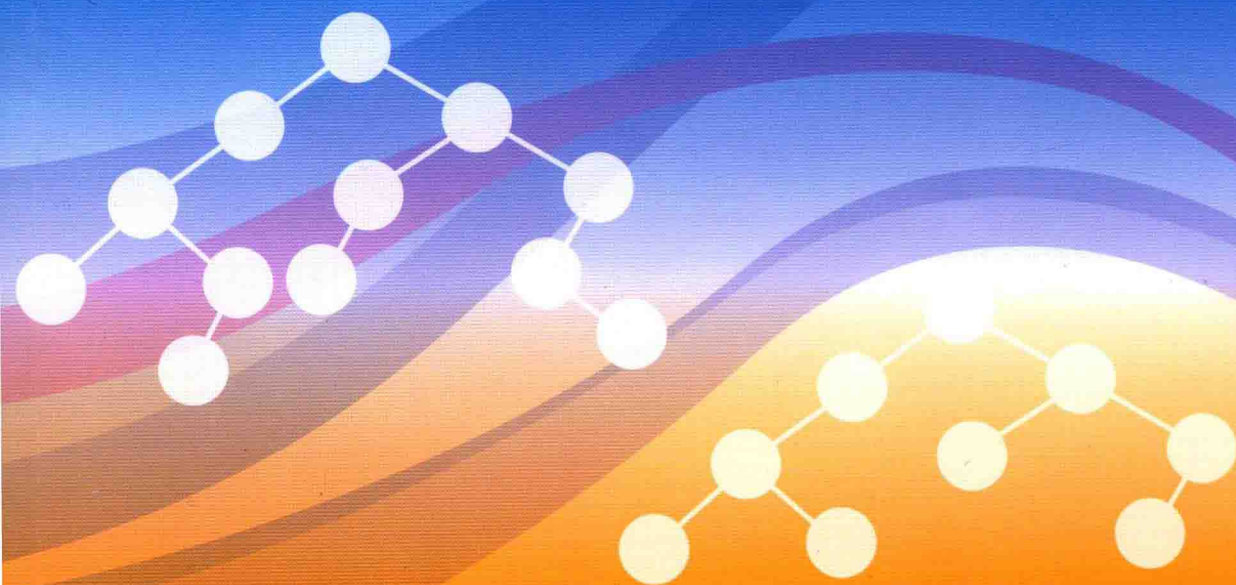


高等学校计算机专业规划教材

计算机组成原理



刘超 周新 郑燧 江爱文 编著
周琪云 主审

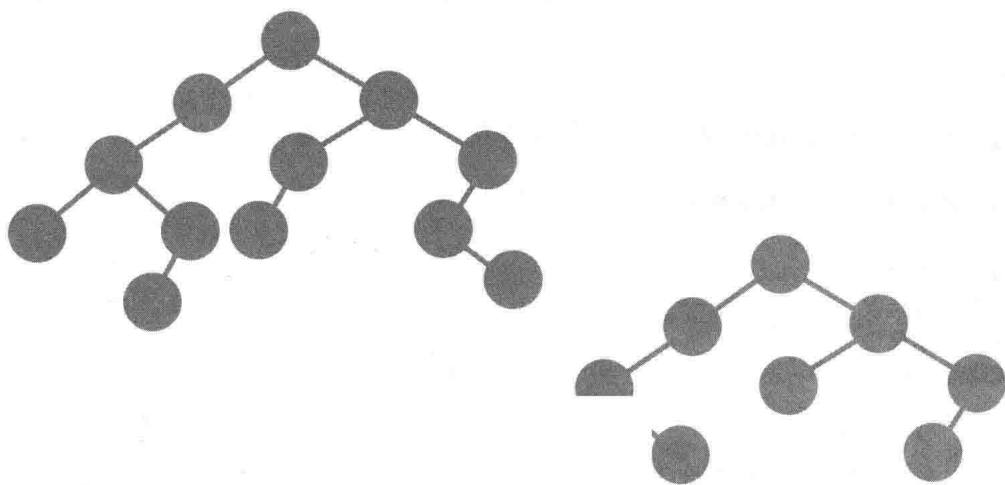


清华大学出版社

高等学校计算机专业规划教材

计算机组成原理

刘超 周新 郑燊 江爱文 编著



清华大学出版社
北京

内 容 简 介

本书以冯·诺依曼程序控制单处理器计算机的结构框架为主体,围绕经典计算机组织设计实现的技术方法,阐述计算机的结构原理、组成实现等概念,以及数据表示、指令系统、数据校验等计算机属性,介绍计算机组成部件的功能与组织基础、结构原理与工作机制、设计方法与实现逻辑,诠释现代计算机的特性与并行处理技术。

本书包含计算机系统概论、计算机组成设计实现基础、系统总线及其 I/O 接口、运算器及其设计实现、主存储器及其组织实现、控制器及其设计实现、输入输出系统及其操作控制和并行处理及其实现体系结构等共 8 章,可分为三部分:第 1 章和第 2 章为第一部分,讨论计算机组成设计实现的基础;第 3~7 章为第二部分,讨论计算机组成部件的设计实现;第 8 章为第三部分,介绍并行处理及其实现的体系结构。

本书依据本科院校应用型人才培养的目标要求和计算机硬件课程体系的组织配置,总结编者长期的教学经验,借鉴国内外经典教材的优点,反复研究、精心编写。本书结构新颖、内容实用、层次有序、概念清晰、语言通俗,可作为高等院校计算机类专业本科生“计算机组成原理”课程的教材,也可作为有关专业研究生和相关领域科技人员的参考书。本书作为本科生教材时,建议前七章必讲,最后一章选讲,课堂教学课时以 70~80 为宜。

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/刘超等编著. —北京:清华大学出版社,2019
(高等学校计算机专业规划教材)
ISBN 978-7-302-52361-1

I. ①计… II. ①刘… III. ①计算机组成原理—高等学校—教材 IV. ①TP301

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2019)第 039024 号

责任编辑:龙启铭
封面设计:何凤霞
责任校对:李建庄
责任印制:李红英

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

质量反馈:010-62772015, zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn

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

印 装 者:三河市铭诚印务有限公司

经 销:全国新华书店

开 本:185mm×260mm

印 张:32

字 数:741千字

版 次:2019年7月第1版

印 次:2019年7月第1次印刷

定 价:59.00元

产品编号:067270-01



一台完整计算机(系统)包含硬件和软件,硬件是功能实现的根基,软件指示硬件的工作任务,用于扩展硬件功能。近二十多年来,由于计算机技术的迅猛发展及其应用领域的不断延伸,以单台计算机为基础,衍生出计算机科学与技术、软件工程、网络工程、信息安全、物联网工程、数字媒体技术、智能科学与技术、空间信息与数字技术、数据科学与大数据技术等专业,由此形成一个计算机类专业群。可见,底层(硬件)的结构原理与运行机制及其设计实现技术是计算机设计实现及其应用能力建构的必备知识,并已渗透到许多领域,也必将渗透到人类社会活动的方方面面。所以“计算机组成原理”是计算机类各专业的一门专业核心课,在计算机硬件课程体系中具有承上启下的作用,“承”先导课程有“数字逻辑电路”和“汇编语言程序设计”,“启”后继课程有“计算机体系结构”“微型计算机及其接口技术”“嵌入式系统及其应用开发”“单片机及其应用开发”等。依据地方本科高校应用型人才培养的目标要求及其学生的特点,编写知识体系适宜、层次结构清晰、文字探究可读性强、适应于自主研究性学习的“计算机组成原理”教材是极其必要的。

1. 编写的基本思想

“计算机组成原理”的教学内容不仅繁多复杂、差异性大、理论性强,而且知识具有难、远、长的特点。“难”是知识难以掌握,“远”是理论与实际相距甚远,“长”是知识关系链长。根据地方本科高校应用型人才培养的目标要求和“计算机组成原理”知识内容的特点,借鉴吸收优秀经典计算机组成原理教材的优点,在总结分析自己长期从事“计算机组成原理”及硬件系列课程教学的基础上,本书编写的基本思想为:①在内容范围上,选择定位于本义性“计算机组成原理”,围绕经典计算机硬件结构框架,讨论组成部件的设计实现,简要介绍现代计算机的体系结构;②在内容组织上,按先软(设计实现基础)后硬(部件设计实现)、先经典后现代的原则,对经典教材一般结构进行适当调整;③在内容阐述上,以问题场景或知识关联为引导,不仅通俗具体地叙述知识,而且还深化详细地析解知识,使得文字探究可读,适用于学生自主研究性学习。

组成实现是认知物理形态对象的基本途径,整体是由部分分层组成实现的。计算机(硬件)的组成可分为整机、部件、器件和元件等四个层次,通过元件→器件、器件→部件、部件→整机等三级来实现,且分别对应“数字逻



辑电路”“计算机组成原理”和“计算机体系结构”等三门课程,该三门课程是计算机硬件课程的核心体系,知识关系极为紧密。因此,虽然“计算机组成原理”教材众多,但从内容范围来看,一般可分为本义性和扩展性两种类型,扩展性“计算机组成原理”教材又分为带先导的和带后继的两种类型。本义性“计算机组成原理”教材是以经典计算机结构框架为基础,按计算机三级实现设置硬件课程来规划内容范围。带先导的扩展性“计算机组成原理”教材是考虑不单独设置先导课程“数字逻辑电路”,在本义性“计算机组成原理”教材的基础上,增加1~2章来阐述数字逻辑电路的基本知识。带后继的扩展性“计算机组成原理”教材是考虑不另外设置后继课程“计算机体系结构”,且“计算机组成原理”与“计算机体系结构”在知识内容上难以区分,在本义性“计算机组成原理”教材的有关章中,增加1~2节来介绍“计算机体系结构”的相应知识(该类型目前出版最多),如在控制器及其设计实现一章中介绍流水线处理技术,主存储器及其组织实现一章改为存储系统及其组织实现,主存储器仅作为存储层次的一部分,等等。同种类型“计算机组成原理”教材,其内容范围差异不大,但扩展性“计算机组成原理”教材体量较大,一般需要90~100课时来完成其所包含知识内容的教学,如此还不如单独设置两门课程。目前,计算机类专业通常单独设置三门或前两门课程来配置计算机硬件核心课程体系,极少把“数字逻辑电路”或“计算机体系结构”的知识内容包含于“计算机组成原理”课程之中。因此,本教材内容范围选择定位于本义性“计算机组成原理”。

本义性“计算机组成原理”教材内容范围的组织结构大同小异,一般分为计算机系统概论、数据信息表示与检验、指令系统、运算方法与运算器、主存储器及其组织、中央处理器、系统总线、输入输出系统(含接口)、输入输出设备等9章。这样的组织结构使得各章之间所包含知识与篇幅差异较大,如指令系统和系统总线两章同运算方法与运算器和中央处理器两章相比,所包含知识与篇幅很少。对此,本教材在组织结构上进行了三方面的调整:一是由于数据信息表示与检验和指令系统两章的知识内容均是计算机结构及其功能部件设计实现的基础,便将它们合并为一章,称为“计算机组成设计实现基础”;二是由于性能不高的计算机均采用总线结构,则接口必须面向某一系统总线,即如系统总线一样是标准化的,便将I/O接口的知识内容调整到系统总线一章,称为“系统总线及其I/O接口”;三是输入输出设备是输入输出系统的组成部分,便将输入输出系统和输入输出设备合并为一章,称为“输入输出系统及其操作控制”。另外,为便于学生自学了解现代计算机的体系结构,则增加一章“并行处理及其实现体系结构”。所以,本教材分为8章,且按内容组织原则,顺序为:计算机系统概论、计算机组成设计实现基础、系统总线及其I/O接口、运算器及其设计实现、存储器及其组织实现、控制器及其设计实现、输入输出系统及其操作控制和并行处理及其实现体系结构。

地方本科高校的学生普遍存在“重软轻硬”现象,由教材提供一定的文字阅读量、深化具体展开知识探究,是提高学生学习兴趣、促进学生自主研究性学习的途径之一。在知识叙述上,平铺直叙知识内容,没有关联通俗的比较,则文字的可阅读性和趣味性不强;如叙述“微指令格式”时,则同“指令格式”相比较,为什么前者需要配置“顺序控制域”,而后者却不需要。在知识析解上,“就事论事”地阐述“怎样做”,不深入解释“为什么这样做”,则知识可理解性、可探讨性不高;如解释“指令功能分类”时,则应从计算机的功能特性与工



作原理出发,来解释为什么需要配置这些类型的指令。特别地,依据基于问题学习(PBL)教学理论,每一节都配置一段问题引导,通过关联场景,提出本节需要讨论的知识和解决的问题,有利于基于问题学习的实现和学生自主研究性学习。

2. 教材各章概述

教材共8章,可分为三个部分。第一部分包括第1、2章。第1章回顾计算机发展的历史,展望计算机发展的未来,介绍计算机的功能特点与应用领域,讨论计算机的结构原理与组成实现,分析软硬件关系及其等效性、虚拟计算机等概念,阐述计算机的性能指标与分类和计算机系统的层次性。第2章介绍数据表示、数据检验和指令系统及其相关概念,讨论非数值数据的编码和数值数据的表示方法及其功效特征,分析数据检验编码的原理及其方法,阐述指令格式及其结构类型、指令功能分类、寻址方式和堆栈及其寻址实现。

第二部分包括第3到7章。第3章介绍总线及其分类、特性、事务等基本概念和常用系统总线与I/O接口标准的性能特点,阐述系统总线的的数据交换过程、通信定时方式、分配仲裁方法、单处理机的总线结构,讨论I/O接口及其分类和功能结构。第4章在阐述基本二进制加法器及其进位逻辑的基础上,分析原码与补码加、减、乘、除运算的方法、规则及流程,讨论原码与补码加、减、乘、除运算的逻辑实现与速度提高的途径,介绍算术逻辑运算部件结构设计和运算器的组成结构及其组织形式。第5章介绍存储器的分类、性能指标、存储系统和地址译码等基本概念,分析MOS型半导体存储器芯片的结构原理与组成逻辑、特性与引脚,讨论主存储器容量扩展与带宽扩展的组织实现技术。第6章在介绍中央处理器的功能模型与性能指标、控制器的功能结构与实现方法等的基础上,分析指令处理流程中的状态转换及其相应的数据通路、微操作、微命令和时序信号体系及其控制方式与实现结构原理,讨论微程序设计技术、组合逻辑控制器与存储逻辑控制器的组成结构,阐述控制信号序列发生器的设计方法。第7章介绍输入输出系统及其结构功能与特性类型,阐述中断及其实现的过程原理,讨论各种输入输出操作控制方式的实现原理,分析常用外围设备的结构原理与功能特性。

第三部分即第8章,介绍并行处理与流水线技术的基本概念、实现途径和现代并行计算机的特点分类,讨论流水线处理机、阵列处理机和多处理机等三种并行计算机的结构原理与特点分类,阐述多核技术、多线程技术和超线程技术的概念与实现方法。

另外,每章附有大量的复习题和练习题。复习题即是复习要点,用于检查学生对基本知识掌握是否全面,以便于查漏补缺。练习题用于检查学生对基本知识理解的状态,以便于提高基本知识的应用能力。

3. 教材的特色

目的明确,定位实用。面向地方本科高校培养应用型人才,针对地方本科高校学生的特点,通过该课程学习,为计算机应用能力的建构奠定基础。围绕冯·诺依曼计算机的结构框架,内容范围定位于本义性“计算机组成原理”。

结构新颖,层次清晰。对经典教材一般结构进行适当调整,知识域的组织结构与现有经典教材有所不同。依据先软(设计实现基础)后硬(部件设计实现)、先经典后现代的原则安排知识域的框架结构,使得学习具有由表及里、循序渐进的特性。

问题引导,可读可研。在知识内容关联比较的基础上来叙述知识,可有效地增加文字

阅读量、提高可阅读性。通过关联性问题的场景来提出问题和通俗化地解释技术方法形成的原理或思维逻辑,可有效地提高可理解性和可探讨性,促进学生自主研究性学习。

在本书出版过程中,得到清华大学出版社、江西师范大学计算机信息工程学院与教务处的大力支持与帮助,清华大学出版社编辑们付出大量辛勤劳动,特别是龙启铭编辑提出了许多宝贵建议;在本书编写过程中,许多从事一线教学的同仁们给出了不少建设性意见,还直接或间接引用了许多专家学者的文献著作(已通过参考文献部分列出),在此一并表示衷心感谢与敬意。

限于作者的知识经验与能力水平,书中一定存在许多错误与疏漏之处,敬请同行专家学者和广大读者批评指正。

作 者

2019年5月



第 1 章 计算机系统概论 / 1

1.1	计算机及其发展与应用	1
1.1.1	计算机及其功能特点	1
1.1.2	计算机发展的历史	2
1.1.3	未来计算机的发展	6
1.1.4	计算机应用	7
1.2	计算机的结构原理	9
1.2.1	计算机的工作原理	9
1.2.2	冯·诺依曼计算机体系结构	12
1.2.3	计算机功能部件简介	15
1.3	计算机组成实现与性能分类	17
1.3.1	计算机组成与计算机实现	17
1.3.2	计算机组成层次与互连	17
1.3.3	计算机的主要性能指标	18
1.3.4	计算机的分类	19
1.4	计算机系统及其软件	21
1.4.1	计算机系统及其软硬件等效性	21
1.4.2	计算机软件分类	22
1.4.3	计算机系统的层次性	23
	复习题	24
	练习题	25

第 2 章 计算机组成设计实现基础 / 26

2.1	数据表示与指令系统概述	26
2.1.1	数据表示与二进制编码	26
2.1.2	非数值数据编码	27
2.1.3	线性结构数据表示	33
2.1.4	指令系统及其发展	34
2.2	数值数据表示	36
2.2.1	数值数据表示的相关概念	37



2.2.2	数值数据的表示格式	39
2.2.3	定点数的编码及其数值范围	41
2.2.4	定点机器数的比较与转换	47
2.2.5	定点机器数符号扩展	50
2.2.6	浮点数的编码与数值范围	50
2.3	数据校验的编译码与实现	54
2.3.1	数据校验及其基本思想	55
2.3.2	奇偶校验码	56
2.3.3	海明校验码	59
2.3.4	循环冗余校验码	63
2.4	指令格式与指令功能分类	69
2.4.1	指令格式及其结构类型	69
2.4.2	指令系统的设计要求与功能分类	74
2.4.3	数据传输指令	76
2.4.4	运算操作指令	78
2.4.5	程序控制指令	79
2.5	寻址方式与堆栈	81
2.5.1	寻址方式及其分类	81
2.5.2	指令寻址方式	82
2.5.3	操作数寻址方式	83
2.5.4	堆栈及其寻址实现	89
	复习题	94
	练习题	96

第3章 系统总线及其 I/O 接口 / 100

3.1	总线的基本概念	100
3.1.1	总线及其电路	100
3.1.2	总线的分类	101
3.1.3	总线的特性与性能指标	103
3.1.4	总线事务与数据传送方式	104
3.2	系统总线特性与连接结构	106
3.2.1	数据交换过程与传输线分类	106
3.2.2	总线通信的定时方式	107
3.2.3	串行传送的通信方式	111
3.2.4	总线仲裁及其仲裁方法	112
3.2.5	单机系统的连接方式	117
3.3	系统总线 I/O 接口	120
3.3.1	I/O 接口及其分类	120



3.3.2	I/O接口的功能与结构模型	121
3.3.3	串行接口	123
3.3.4	并行接口	126
3.4	实用标准总线及其I/O接口	128
3.4.1	实用标准总线的发展历程	128
3.4.2	主流实用总线标准简介	131
3.4.3	典型实用接口标准简介	135
	复习题	141
	练习题	142

第4章 运算器及其设计实现 / 143

4.1	二进制基本加法器及其进位逻辑	143
4.1.1	二进制基本加法器与串行加法器	143
4.1.2	并行加法器及其串行进位	145
4.1.3	先行进位及其层级分时	147
4.2	定点数加减运算及其逻辑实现	154
4.2.1	补码加减的运算方法	154
4.2.2	补码加减运算上溢判断方法	158
4.2.3	补码加减运算的逻辑实现	163
4.2.4	移码加减运算及其逻辑实现	164
4.2.5	十进制加运算及其逻辑实现	167
4.3	定点数乘运算及其逻辑实现	170
4.3.1	乘法器种类与手工运算的改进	170
4.3.2	有符号数的移位与舍入规则	172
4.3.3	原码一位乘法及其逻辑实现	173
4.3.4	补码一位乘法及其逻辑实现	177
4.3.5	两位乘运算方法	180
4.3.6	阵列乘法器	185
4.4	定点数除运算及其逻辑实现	188
4.4.1	除法器种类与手工运算的改进	188
4.4.2	原码除法及其逻辑实现	190
4.4.3	补码除法及其逻辑实现	193
4.4.4	阵列除法器	199
4.5	浮点数算术运算方法与逻辑运算实现	201
4.5.1	浮点数加减运算方法	201
4.5.2	浮点数乘除运算方法	204
4.5.3	逻辑运算及其实现	207



4.6 运算器组成及其组织结构	208
4.6.1 算术逻辑运算单元与部件	209
4.6.2 SN74181 ALU 集成电路芯片	211
4.6.3 定点运算器组成及其组织结构	213
4.6.4 浮点运算器组成结构	215
复习题	216
练习题	218

第 5 章 主存储器及其组织实现 /221

5.1 存储器与存储系统的概述	221
5.1.1 存储器的访问与性能	221
5.1.2 存储器的分类及其结构	222
5.1.3 存储系统及其组织结构	224
5.1.4 二级结构存储系统及其比较	228
5.1.5 半导体存储器芯片的一般结构	229
5.2 MOS 写常态存储器芯片	233
5.2.1 静态存储器芯片的结构原理	233
5.2.2 动态存储器芯片的结构原理	236
5.2.3 静态存储器芯片的读写周期	241
5.2.4 动态 MOS 存储器的刷新	245
5.2.5 动态 MOS 存储器的新技术	249
5.3 只读与混合 MOS 存储器芯片	251
5.3.1 只读 MOS 存储器芯片的结构原理	251
5.3.2 混合 MOS 存储器芯片的结构原理	254
5.3.3 半导体存储器芯片的特性与引脚	255
5.4 主存储器及其容量扩展组织	257
5.4.1 主机及其存储器的组成结构	257
5.4.2 主存储器的数据存放方法	259
5.4.3 主存储器模块的组织	262
5.4.4 主存储器实现及其与 CPU 的连接	269
5.5 主存储器带宽扩展组织	279
5.5.1 主存储器性能提高的技术途径	279
5.5.2 双端口存储器	280
5.5.3 单体多字存储器	282
5.5.4 多体多字存储器	283
复习题	288
练习题	290



第 6 章 控制器及其设计实现 /293

6.1	控制器功能结构与实现方法	293
6.1.1	中央处理器的功能与结构	293
6.1.2	中央处理器中的寄存器	295
6.1.3	中央处理器的主要性能指标	298
6.1.4	控制器的功能与结构	299
6.1.5	控制信号序列发生器的实现方法	302
6.2	指令处理的数据通路、微操作与微命令	304
6.2.1	指令处理流程及其状态转换	304
6.2.2	指令处理的数据通路及其微操作	306
6.2.3	模型机及其微命令	309
6.3	时序信号体系及其控制实现	315
6.3.1	指令周期及其时段划分	315
6.3.2	控制器时序控制	317
6.3.3	CPU 内部时序信号体系	319
6.3.4	时序信号产生器	322
6.4	微程序设计技术	326
6.4.1	微指令及其基本格式	327
6.4.2	微程序及其与指令、微指令的关系	329
6.4.3	微命令的编码方法	331
6.4.4	微指令格式的类型	334
6.4.5	微程序运行的控制方法	336
6.4.6	微程序设计	341
6.5	硬布线控制器与微程序控制器	346
6.5.1	硬布线控制器	346
6.5.2	微程序控制器	348
6.5.3	微程序控制器与硬布线控制器的比较	350
6.6	控制信号序列发生器设计	351
6.6.1	模型机指令及其控制信号序列	351
6.6.2	组合逻辑控制信号序列发生器设计	355
6.6.3	存储逻辑控制信号序列发生器设计	359
	复习题	364
	练习题	365

第 7 章 输入输出系统及其操作控制 /371

7.1	输入输出系统概述	371
7.1.1	外围设备的分类与特性	371



7.1.2	输入输出系统及其结构功能	373
7.1.3	输入输出的过程与指令	374
7.1.4	输入输出控制的发展历程	374
7.1.5	输入输出系统的工作方式	376
7.2	中断及其实现的结构原理	378
7.2.1	中断与中断源	378
7.2.2	中断请求	381
7.2.3	中断响应	383
7.2.4	中断服务返回与中断过程结构	388
7.3	输入输出操作的控制方式	391
7.3.1	程序查询控制方式	392
7.3.2	程序中断控制方式	395
7.3.3	直接存储访问控制方式	398
7.3.4	通道控制方式	404
7.4	输入设备	407
7.4.1	键盘	407
7.4.2	扫描仪	411
7.4.3	数码相机	412
7.4.4	其他输入设备	415
7.5	输出设备	417
7.5.1	打印机	417
7.5.2	显示器	421
7.6	存储设备	429
7.6.1	磁表面存储器	429
7.6.2	硬磁盘存储器	432
7.6.3	冗余磁盘阵列	435
7.6.4	光盘存储器	441
	复习题	444
	练习题	446

第8章 并行处理及其实现体系结构 /450

8.1	并行处理及其体系结构概论	450
8.1.1	并行性与并行处理	450
8.1.2	并行处理体系结构的由来	452
8.1.3	现代计算机体系结构特点与分类	455
8.1.4	并行计算机及其形成过程	456
8.2	流水线处理机	457
8.2.1	流水线的基本概念	457



8.2.2	先行控制及其实现结构	461
8.2.3	流水线处理机的分类	463
8.2.4	基于硬件指令高度并行技术	464
8.2.5	基于软件指令高度并行技术	468
8.2.6	向量高度并行处理技术	470
8.3	阵列处理机	473
8.3.1	操作模型与处理单元结构	473
8.3.2	阵列处理机的体系结构	475
8.3.3	阵列处理机的特点与算法	475
8.4	多处理机	478
8.4.1	多处理机的提出及其组织形式	478
8.4.2	多处理机存储器的组织模型	479
8.4.3	多处理机的通信与访存模型	482
8.4.4	多处理机的分类与特点	483
8.4.5	多处理机操作系统的类型	486
8.5	多核处理器与多线程技术	487
8.5.1	多核与多核处理器	487
8.5.2	多核处理器产生的缘由	489
8.5.3	多线程与超线程	490
8.5.4	多核多线程	492
	复习题	493
	练习题	494

计算机的发明是近代最卓越的科学技术成就之一,计算机的应用标志人类社会进入一个新的历史阶段,计算机的进步成为当今高新技术发展中最活跃因素。本章回顾计算机发展的历史,展望计算机发展的未来,介绍计算机的功能特点、性能指标、应用领域、分类和计算机系统组成,阐明计算机、存储程序、软硬件关系及其等效性、虚拟计算机等概念,讨论计算机工作原理及其过程、体系结构及其演变、计算机系统层次性。

1.1 计算机及其发展与应用

具有划时代意义的计算机,发展之迅速,应用之广泛,是始料不及的。那么,从一般概念上,如何描述与理解计算机?它具备哪些功能特点?为什么程序与计算机的关系如此紧密?虽然在人们的工作生产和生活学习中,都能够看到或使用计算机,但概括起来,其应用可分为哪些领域?而回顾计算机的发展历史、展望计算机的未来,则可一定程度地辨识计算机结构。由此,对计算机就有一个初步概念。

1.1.1 计算机及其功能特点

1. 计算机与存储程序概念

广义说来,计算机是电子计算机的统称,而电子计算机有模拟计算机和数字计算机之分。模拟计算机处理的是连续变化的微电信号物理量,数字计算机处理的是离散的微电信号物理量。目前的计算机都是数字计算机,所以计算机是数字计算机的特指。

从整体概括来描述,计算机是一种能够按预先存入的工作程序连续自动进行信息处理的微电子设备,具体可从四个特征来理解。一是形态特征:计算机是一种微电子设备,采用仅能对“0”与“1”微电信号进行变换的逻辑元件来组建,则计算机的形态特征为变换两种微电信号的物理实体。二是功能特征:计算机用于信息处理,信息的物理表现形式为二进制数,对二进制数处理的基本内涵是运算,为实现运算的高效性,对处理附加存储与传输内涵;由于采用二进制数编码方法来表示的信息类型多样,有数值的也有非数值的,信息处理中的运算是广义的,而不是狭义数值运算,通常称为加工,则计算机的功能特征为对二进制数进行加工(运算)、存储和传输。三是工作特征:计算机的一个计算任务(或信息处理任务)即是一段程序,由排列有序的一系列运算(含存储和传输)组成,系列运算是连续的,且一个运算结束切换到另一个运算开始,不需要人工干预,则计算机的工作特征为连续自动。四是条件特征:计算机连续自动进行信息处理的前提是“存储程序”,

所谓存储程序是将程序和原始数据预先存入计算机中,再启动计算机运行程序;这样,程序中所包含的系列运算才能连续自动地执行,则计算机的条件特征为存储程序。

程序是人们根据计算任务及其计算方法,采用一定方式描述的计算机的工作步骤。如计算 $y=(a+b-c)/d$,若采用数学描述方式,计算机工作步骤为: $p=a+b \rightarrow q=p-c \rightarrow y=p/d$,其中 $a、b、c、d$ 为原始数据, y 为最终结果, $p、q$ 为中间结果。可见,程序是计算机工作程序的简称。计算机能直接识别的程序描述方式是机器指令,所以从本质说来,程序即是一串指令序列,而指令是指示计算机工作的基本单元。

2. 计算机的功能特点

计算机的功能是对二进制数进行运算、存储和传输,其中运算是核心。计算机得到广泛应用与其功能特点是分不开的,也是其他计算工具所不具备的。计算机的功能特点主要表现在五个方面。

(1) 快速性。

计算机采用高速逻辑元件,为快速处理信息奠定了物质基础。且计算机采用存储程序思想,一旦启动,则连续不断地执行工作任务,直到计算任务完成为止,从而使计算机的功能得到高效发挥。

(2) 通用性。

采用二进制编码方法,使得计算机不仅可以处理数值数据,也可以处理非数值数据,非数值数据内涵极为丰富,如语言、文字、图形、图像、声音等。另外,计算机对程序的存储与运行没有任何限制,是否应用计算机来完成计算任务,取决于是否配置了相应程序。程序越丰富,应用范围越大。

(3) 准确性。

准确性包括计算精度和计算方法两方面含义。计算机中的信息采用二进制编码形式,计算精度取决于运算的二进制位数,位数越多精度越高。当然,计算精度还与计算方法有关,而任何优质复杂的计算方法都可由程序来描述。

(4) 逻辑性。

逻辑判断与逻辑运算是计算机的基本功能之一。运行包含逻辑判断和逻辑运算的程序,计算任务则具有逻辑性。

(5) 存储性。

计算机拥有容量巨大的存储部件,存储部件不仅可以存储程序和原始数据,还可存储中间与最终结果;不仅可存储数值信息,还可存储文字、图像、声音等非数值信息;不仅可存储当前需要的信息,还可存储将来可能需要的信息。

1.1.2 计算机发展的历史

1. 计算机发展的萌芽

在计算机出现之前,虽然已有算盘、计算尺、机械计算机等计算工具。但由于人类社会的不断进步和科学技术的不断发展,迫切需要速度快、精度高、通用强的计算设备。人们经过长期不断研究与探索,终于于 1946 年 2 月在美国宾夕法尼亚大学诞生了第一台电子计算机。

美国军方资助由莫尔电气工程学院教授博雷纳德(J. Brainerd)负责、历经 20 年成功研制的初雌计算机是利用开关手动编程,取名为 ENIAC(Electronic Numerical Integrator And Computer,电子数值积分计算机)。ENIAC 采用十进制数,加法运算速度 5000 次/秒;共用 18000 个电子管,20 个 10 位的累加器;重达 30 吨,占地 170 平方米,耗电 140kW。

美籍匈牙利数学家、计算机之父冯·诺依曼(John von Neumann)从 1940 年起则担任 ENIAC 项目研究组的顾问,在 ENIAC 投入运行之前,就意识到程序与计算机分离的弊端。把程序存放于计算机外部电路,需要计算机进行系列运算时,必须先由人工临时连接数百条极为复杂的控制线路。对于一个计算任务,计算机运算只是几分钟的事,但往往需要一两天时间来连接复杂的控制线路。这不仅繁杂、效率低,而且不能充分发挥计算机高速运算的特点。因此,冯·诺依曼于 1946 年 6 月回到美国普林斯顿大学高级研究院,提出了“存储程序”的概念及其“程序控制”的计算机体系结构,即将计算机外部手动连接控制线路改为内部自动连接,并开始 EDVAC(Electronic Discrete Variable Automatic Computer,电子离散变量自动计算机)的研制,但由于多种原因,直到 1951 年才问世。而吸收冯·诺依曼“存储程序”计算机的设计理念,英国剑桥大学则于 1949 年成功研制出存储程序控制的计算机,成为真正意义的现代计算机。

计算机的诞生得益于英国的数学家布尔(G. Bool)和图灵(A. Turing)。在 19 世纪末,布尔将形式逻辑的推理转变为逻辑代数的运算,创立了“逻辑代数”,从而为逻辑电路的设计奠定了数学基础。1936 年,图灵提出抽象的计算模型(称为图灵机),只要对计算任务的人工运算过程进行抽象描述(即程序),即可由虚拟的机器来完成抽象描述的计算任务,并从理论上证明了虚拟机器存在的可能性。沿着图灵机方向,计算机科学理论才得到迅速发展。

2. 计算机发展的进程

计算机在七十多年的发展历程中,可分为两个发展时期。前三十多年为逻辑器件换代期,以逻辑器件更新设计为主体,使个体性能不断提高;后三十多年为体系结构改进期,以逻辑器件组织设计为主体,使整体性能不断提高。当然,计算机逻辑器件的换代,体系结构一定随之更新;计算机体系结构的改进,一定程度上依赖于逻辑器件的发展。以逻辑器件换代为标志,计算机发展一般划分为四个时代。

(1) 电子管计算机时代(20 世纪 40 年代中期到 50 年代后期)。

电子管计算机使用的逻辑元件为电子管。存储器采用延迟线或磁鼓,编程语言主要采用机器语言,后期采用汇编语言。电子管计算机体积大、重量大、速度慢(万级)、价格贵、可靠性差、功耗高、存储容量很小(K 级),主要应用于科学计算。

(2) 晶体管计算机时代(20 世纪 50 年代后期到 60 年代中期)。

晶体管计算机使用的逻辑元件为晶体管。主存储器一般采用磁芯,辅助存储器采用磁鼓或磁带;开始采用高级语言如 FORTRAN、Cobol 编程,同时出现了操作系统的初雌——管理程序。晶体管计算机体积、重量、功耗和价格均有所降低,可靠性、速度(几十万级)、存储容量(M 级)均得到提高,应用领域扩展到数据处理与工程设计。而辅助存储器的出现使计算机体系结构得到一定改进。