



高等学校“十二五”规划教材·计算机软件工程系列

Computer Organization and Architecture

计算机组成原理与结构

◎主 编 崔林海

◎副主编 张子迎 姜占鹏 郭 鑫



理论体系完整/内容充实丰富/注重循序渐进/方法思想突出

科学系统实用/基础前沿并重/配套资源齐全/反映当代技术



哈尔滨工业大学出版社
HARBIN INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

高等学校“十二五”规划教材·计算机软工

计算机组成原理与结构

主 编 崔林海

副主编 张子迎 姜占鹏 郭 鑫

哈尔滨工业大学出版社

内 容 简 介

本书系统地介绍了计算机系统的基本组成原理及体系结构。全书共分9章,内容包括:计算机系统概述、数据在计算机中的表示、运算方法与运算器、存储器系统、指令系统、中央处理器、总线系统、输入/输出系统及并行计算机系统。本书涵盖了计算机各部件的组成原理、设计方法及其构成计算机整机系统的技术。读者通过阅读可对计算机系统有比较全面的了解,为进一步深入学习和研究奠定基础。

本书在描述电路实现时采用EDA技术,特色突出,可作为高等院校计算机专业及相关专业本科生的教材,也可供从事计算机等领域工作的科技人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

计算机组成原理与结构/崔林海主编. —哈尔滨:哈尔滨工业大学出版社,2015.1

ISBN 978-7-5603-4923-7

I. ①计… II. ①崔… 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(2014)第204296号

策划编辑 王桂芝

责任编辑 刘 瑶

出版发行 哈尔滨工业大学出版社

社 址 哈尔滨市南岗区复华四道街10号 邮编 150006

传 真 0451-86414749

网 址 <http://hitpress.hit.edu.cn>

印 刷 黑龙江省地质测绘印制中心印刷厂

开 本 787mm×1092mm 1/16 印张 15.5 字数 373千字

版 次 2015年1月第1版 2015年1月第1次印刷

书 号 ISBN 978-7-5603-4923-7

定 价 34.00元

(如因印装质量问题影响阅读,我社负责调换)

高等学校“十二五”规划教材

计 算 机 软 件 工 程 系 列

编 审 委 员 会

名誉主任 丁哲学

主 任 王义和

副 主 任 王建华

编 委 (按姓氏笔画排序)

王霓虹 印桂生 许少华 任向民

衣治安 刘胜辉 苏中滨 张 伟

苏建民 李金宝 苏晓东 张淑丽

沈维政 金 英 胡 文 姜守旭

贾宗福 黄虎杰 董宇欣

随着计算机工程的发展和社会对计算机工程人才需求的增长,软件工程专业培养目标更加明确,特色更加突出。目前,国内多数高校软件工程专业培养目标是以求为导向,注重培养学生掌握软件工程基本理论、专业知识和基本技能,具备运用先进的工程化方法、技术和工具从事软件系统分析、设计、开发、维护和管理等工作能力,以及具备参与工程项目的实践能力、团队协作能力、技术创新能力和市场开拓能力,具有发展成软件行业高层次工程技术和企业管理人才潜力的,适应社会主义市场经济和信息产业发展需要的“工程实用型”人才。

本系列教材针对软件工程专业“突出学生的软件开发能力和软件工程素质,培养从事软件项目开发和管理的先进工程技术人才”的培养目标,集9家软件学院(软件工程专业)的优秀作者和强势课程,本着“立足基础,注重实践应用;科学统筹,突出创新特色”的原则,精心策划编写。具体特色如下:

1. 紧密结合企业需求,多校优秀作者联合编写

本系列教材编写在充分进行企业需求、学生需要、教师授课方便等多方市场调研的基础上,采取了校企适度联合编写的做法,根据目前企业的普遍需要,结合在校学生的实际学习情况,校企作者共同研讨、确定课程的安排和相关教材内容,力求使学生在校学习过程中就能熟悉和掌握科学研究及工程实践中需要的理论知识和实践技能,以便适应就业及创业的需要,满足国家对软件工程专业人才的需要。

2. 多门课程系统规划,注重培养学生工程素质

本系列教材精心策划,从计算机基础课程→软件工程基础与主干课程→设计与实践课程,系统规划,统一编写。既考虑到每门课程的相对独立性,基础知识的完整性,又兼顾相关课程之间的横向联系,避免知识点的简单重复,力求形成科学、完整的知识体系。

本系列教材中的《离散数学》、《数据库系统原理》、《算法设计与分析》等基础教材在引入概念和理论时,尽量使其贴近社会现实及软件工程等学科的技术和应用,力图将基本知识与软件工程学科的实际问题结合起来,在具备直观性的同时强调启发性,必须让学生理解所

学的知识。《软件工程导论》、《软件体系结构》、《软件质量保证与测试》、《软件项目管理》等软件工程主干课程以《软件工程导论》为线索,各课程间相辅相成,互相照应,系统地介绍了软件工程的整个学习过程。《数据结构应用设计》、《编译原理设计与实践》、《操作系统设计与实践》、《数据库系统设计与实践》等实践类教材以实验为主题,坚持理论内容以必须和够用为度,实验内容以新颖、实用为原则编写。通过一系列实验,培养学生的探究、分析问题的能力,激发学生的学习兴趣,充分调动学生的非智力因素,提高学生的实践能力。

相信本系列教材的出版,对于培养软件工程人才、推动我国计算机软件工程事业的发展必将起到积极作用。



2011 年 7 月

◎ 前言

Preface

“计算机组成原理”是计算机专业及相关电子类专业计算机硬件系列课程的核心课程,主要讲述单处理机计算机系统的组成、工作原理及逻辑设计方法。学习本课程的目的是使学生建立起在控制器控制之下的计算机整体概念,充分理解程序、指令、控制、操作之间的关系,为学习其他硬件系列课程,特别是应用型课程如接口技术、单片机技术等,打下良好的基础。

本课程涉及的知识面较广,既有数字逻辑电路方面的知识,也有汇编语言、操作系统等方面的基础知识,其侧重点虽然在硬件,但指令与控制的观念贯穿始终。从某种角度讲,计算机的硬件系统就是围绕着实现计算机指令系统的功能而设计的。

作者在多年的计算机组成原理课程教学中,深深体会到这门课程对学习计算机专业及相关电子类专业的重要性。随着 EDA 技术的普及,用硬件描述语言设计实现电路系统的方式已经成为趋势,因此,本书在描述部分电路实现时采用了 Verilog 硬件描述语言和 EDA 技术,这也是本书的特色之一。

本书在编写过程中力求做到内容全面、概念清楚、选材恰当、结构合理,结合作者多年的教学经验与科研实践,征求和收集了部分教授、专家的意见和建议,也参考了国内外有关的教材和文献资料。本书力求符合认识论规律,由浅入深,循序渐进,图文并茂,具有科学性和启发性;注重内容的先进性与实用性,理论联系实际。

全书共分 9 章:第 1、2 章介绍计算机基础知识,包括计算机的基本组成、主要技术指标、计算机中的数制与码制、数据的表示方法,对计算机中的检错、纠错码也做了必要的探讨;第 3 章介绍运算方法与运算器的组成,包括定点数和浮点数的运算方法以及运算器的电路实现;第 4 章介绍存储系统,从一般的半导体读写存储器和只读存储器入手,介绍并行主存系统、Cache 主存存储层次和虚拟存储系统的构成;第 5 章介绍指令系统,指令系统是计算机系统中软、硬件的界面,主要讨论指令格式的优化,介绍几种常用的寻址方式;第 6 章介绍中央处理器,主要对控制器进行较深入的探讨,介绍典型的 CPU 结构,对计算机中的流水结构进行简要分析,对控制器的两种常见实现方式——组合逻辑控制和微程序控制进行探讨;第 7 章介绍总线系统,包括几种常用总线的基本结构;第 8 章介绍输入输出系统,包括输入输出设备与主机交换信息的几种控制方式和输入输出设备的基础;第 9 章介绍计算机系统结构的新发展,包括并行处理机和多处理机系统。最后在附录中简介 EDA 技术。

本书由哈尔滨理工大学崔林海主编,负责全书的组织和统稿,并编写第1、9章和附录;哈尔滨工程大学张子迎编写第5、6章;哈尔滨理工大学姜占鹏和徐瑞编写第2~4章;哈尔滨广厦学院郭鑫编写第7章;哈尔滨广厦学院陈井霞和哈尔滨铁路局哈尔滨房产建筑段侯景威合作编写第8章。

限于作者水平,书中的错漏在所难免,恳请读者批评指正。

为满足教学需要,本书为教师配有电子课件与习题参考答案,如有需要,可与作者(cuilinhai@hrbust.edu.cn)或出版社编辑(wgz_w@126.com)联系。

编 者

2014年8月

◎ 目 录

Contents

第 1 章 计算机系统概述	1
1.1 计算机的发展历史及趋势	1
1.2 计算机的特性与分类	3
1.3 计算机的性能指标与应用	5
1.4 计算机系统的基本结构	8
习 题	14
第 2 章 数据在计算机中的表示	15
2.1 数据与信息	15
2.2 数值型数据的表示	16
2.3 非数值型数据的表示	26
2.4 数据校验编码	29
习 题	35
第 3 章 运算方法与运算器	37
3.1 定点加减运算	37
3.2 定点乘法运算	42
3.3 定点除法运算	49
3.4 浮点运算	52
3.5 十进制数的加、减法运算	57
3.6 运算器的基本组成	58
3.7 算术与逻辑单元的组成	61
习 题	66
第 4 章 存储器系统	68
4.1 存储器概述	68
4.2 主存储器	72
4.3 高速缓冲存储器	82
4.4 虚拟存储器	88
4.5 辅助存储器	92
4.6 用 Verilog 描述的存储器	96
习 题	97
第 5 章 指令系统	99
5.1 指令概述	99

第 1 章

计算机系统概述

学习目标:本章以概念为主,要求宏观掌握,不必追究细节,对概念的理解要准确;掌握计算机的发展历史;掌握冯·诺依曼型计算机的原理、特点和基本结构;掌握计算机系统的层次结构、硬件系统、软件系统及它们之间的关系;理解计算机组成与计算机系统结构的概念及关系。

1.1 计算机的发展历史及趋势

计算机是 20 世纪人类最伟大的发明创造之一,它的诞生、发展和应用是科学技术的卓越成就,也是技术革命的基础,对人类社会产生了巨大而深远的影响,并改变着人们的生活方式。自第一台电子计算机出现以来,计算机技术和应用在世界范围内蓬勃发展,规模空前。现在,我们的工作和生活都已经离不开计算机,学习和掌握计算机技术已经成为人们的现实需求。

1.1.1 电子计算机的诞生

计算机是一种能够自动、高速、准确地对各种信息进行高速加工、处理、存储和传送的电子设备。今天所说的计算机(Computer)实际上是指电子数字计算机(Electronic Digital Computer)。计算机的一个比较确切的定义是:计算机是一种以电子器件为基础,不需人的直接干预,能够对各种数字化信息进行快速算术运算和逻辑运算的工具。

世界上第一台电子数字计算机是 1946 年问世的 ENIAC(Electronic Numerical Integrator and Computer),如图 1.1 所示。



图 1.1 世界上第一台通用电子数字计算机 ENIAC

它是美国陆军出资 40 万美元,由美国宾夕法尼亚大学花了 20 年研制出来的。该机重达 30 t,功耗 150 kW,占地 170 m²,使用了 18 800 个电子管,其运算速度为 5 000 次/s,它的存储容量小,没有采用二进制操作和存储程序控制,未具备现代电子计算机的主要特征。ENIAC 计算机虽然有许多明显的不足,它的功能也远不及现在的一台普通微型计算机,但它的诞生宣告了电子计算机时代的到来。

和其他机器设备一样,计算机首先是一个工具。但与其他增强人的体力的机器设备不同,计算机是增强人的脑力的工具,俗称“电脑”。计算机主要增强的是人的记忆、计算、逻辑判断和信息处理的能力,而人类所独有的智慧水平,计算机是远远达不到的。掌握计算机首先应该熟练地掌握它的使用,然后再进一步掌握其工作原理。后者是一个计算机科学工作者深入学习计算机技术的基础。

电子计算机几十年的发展历史表明,计算机硬件的发展受电子器件的影响极大,为此,人们习惯以元器件的更新作为计算机技术进步的主要标志。

1.1.2 第一代计算机(1946 ~ 1958 年)

第一代计算机的主要元器件采用电子管,称为电子管计算机。这一代计算机的体积很大,运算速度慢,典型逻辑结构为定点运算,每秒进行几千次到几万次基本运算,功耗大,价格昂贵,可靠性差,使用和维护很不方便。当时,计算机“软件”一词尚未出现,使用机器语言或汇编语言来编制程序,主要用于科学计算。

1.1.3 第二代计算机(1959 ~ 1964 年)

第二代计算机为晶体管计算机,其主要元器件是晶体管。与第一代电子管计算机相比,第二代机体积小、速度快、功耗低、可靠性高。这一代计算机除了逻辑元件采用晶体管以外,其内存储器由磁芯构成,外存储器由磁鼓和磁带组成,实现了浮点运算、变址、中断、I/O 处理等。计算机软件也得到了发展,出现了 FORTRAN, COBOL, ALGOL 60 等高级语言及其编译程序,使程序设计得以简化和方便,计算机的应用领域也从单一的科学计算拓展到数据处理和实时控制等方面。

1.1.4 第三代计算机(1965 ~ 1971 年)

第三代计算机的主要电子器件是小规模集成电路(SSI)和中规模集成电路(MSI)。这一代计算机的典型代表是 IBM 公司于 1964 年 4 月宣布的 IBM 360 系统,这是计算机发展史上具有重要意义的事件。该系统采用了计算机科学技术中一系列新事物,包括微程序控制、高速缓存、虚拟存储器、流水线技术等,运算速度进一步提高。在软件方面出现了分时操作系统和多种高级语言,使计算机的功能越来越强,应用范围越来越广。

1.1.5 第四代计算机(1971 年至今)

微电子技术的飞速发展,使大规模(LSI)和超大规模(VLSI)集成电路成为计算机的主要器件,集成度高,运算速度快,稳定性好,计算机综合性能大大提高。软件方面,出现了数据库管理系统和软件工程技术,提高了软件生产效率和可靠性。计算机网络的飞速发展使计算机应用日益广泛。

第四代计算机的一个重要分支是微型计算机。1971年11月,美国 Intel 公司研制出第一个微处理器芯片,从此,微型机发展速度之快、普及之广超出了人们的预料。微型计算机的核心是微处理器,微处理器的发展又大致经历了4个阶段:

第一阶段是1971~1973年,为微处理器的低性能阶段。微处理器芯片有 Intel 4004, Intel 4040, Intel 8008, 字长为4位或8位。

第二阶段是1973~1977年,为微型计算机的发展和改进阶段,其性能较第一阶段有了很大的提高。微处理器芯片有 Intel 8080, Intel 8085, M6800 及 Z80, 字长为8位。微型机产品有 MCS-80 型及 APPLE-II 型的微型计算机,在20世纪80年代初期曾一度风靡世界。

第三阶段是1978~1983年,为16位微型计算机的发展阶段。微处理器芯片有 Intel 8086, Intel 8088, Intel 80286, M68000 及 Z8000。微型机的代表产品是 IBM-PC (CPU 为 Intel 8086) 及 IBM 公司的 PC/AT 286 (CPU 为 Intel 80286)。

第四阶段是从1983年以后的32位、64位微型计算机的发展阶段。32位微处理器芯片有 Intel 80386, Intel 80486。1993年, Intel 公司推出了64位的 Pentium (奔腾) 微处理器。

本时期的另一个重要特点是计算机网络的发展与广泛应用。进入20世纪90年代后,由于计算机技术与通信技术的高速发展与密切结合,掀起了网络热,大量的计算机联入到不同规模的网中,然后通过 Internet (互联网) 与世界各地的计算机相连,这样大大扩展和加速了信息的流通,使计算机的应用方式也由个人计算方式向分布式和集群式计算方向发展。

1.1.6 计算机的发展趋势

人们以元器件的更新换代作为计算机划分时代的标志,因此只要是硅材料半导体器件集成电路组成的计算机,且计算机基本结构仍然遵循冯·诺依曼体系结构,我们仍把它们称为第四代计算机。

在组织结构和功能上,未来计算机将向巨型化、微型化、网络化及智能化的方向发展。同时,人们在不断探索,以寻找速度更快、功能更强、全新的元器件来组成计算机,如生物计算机、纳米计算机、超导计算机、量子计算机、光计算机等。计算机的基本结构也试图突破冯·诺依曼结构体系,这是人类对计算机技术的一种挑战,也是对其他相关领域和学科的挑战,它必将促进其他众多学科的进一步发展。

1.2 计算机的特性与分类

计算机是一种高速数据运算和信息处理工具。计算机的运算主要包括算术运算和逻辑运算;计算机的信息处理是指对信息的搜索、识别、变换、联想、思考和推理等。

1.2.1 计算机的特性

现代电子计算机与算盘及各类机械式计算器的主要区别是自动和高速。

1. 高速处理能力

计算机具有高速的运算能力,从最初每秒完成几千次加法运算到现在每秒千亿次、万亿次的浮点运算。几十年来,人们为提高计算机的运算速度,对计算机本身的组织结构也进行了不断的改进,如 RISC 技术、多级 Cache 技术、超级流水线技术、并行处理技术等。计算机

运算速度越高,信息处理能力就越强。

2. 巨大的存储和快速存取能力

计算机具有容量很大的存储装置,它不仅可以长久地存储大量文字、图形、图像、声音等信息资料,还可以存储指挥计算机工作的程序。近年来,随着计算机与集成电路技术的发展,各类存储设备的容量越来越大,存取速度越来越快。

3. 精确的运算能力和逻辑判断能力

计算机不仅运算速度快,而且运算精度高。计算机的运算精度,通常取决于计算机的字长,即计算机一次运算所能处理的二进制数的位数。字长越长,有效位数就越多,精确度也就越高。目前微型机的字长为 32 位或 64 位。

计算机还具有可靠的逻辑判断能力。在执行程序的过程中,能进行各种逻辑判断,并根据其结果自动决策下一步做什么。

4. 存储程序和自动执行能力

冯·诺依曼型计算机的一个重要特点是存储程序。只要将事先编制的程序存入计算机内存,计算机就能自动按照程序规定的步骤完成预定的任务。

实际上,计算机的特点远不止这些,特别是近几年随着多媒体技术的发展和网络的普及,计算机在信息处理方面将出现更多的新特性。

1.2.2 计算机的分类

从不同角度出发可以对计算机进行不同的分类。如按计算机所处理信号的性质可分为数字电子计算机和模拟电子计算机;按用途可分为通用计算机和专用计算机;按规模可分为单片机、微型机、小型机、中型机、大型机和巨型机;按发展历程可分为电子管、晶体管、集成电路、大规模和超大规模集成电路计算机;按指令和数据流可分为单指令流单数据流系统(SISD)、单指令流多数据流系统(SIMD)、多指令流单数据流系统(MISI)及多指令流多数据流系统(MIMD)。

通用计算机功能齐全,通用性强,适应面广,可完成各种各样的工作,但是牺牲了效率、速度和经济性。专用计算机是专为某些特定问题而设计的功能单一的计算机,一般来说,其结构要比通用计算机简单,具有可靠性高、速度快、成本低的优点,是最有效、最经济和最快的计算机,但是其适应性很差。

通用计算机按规模和能力划分为巨型机、大型机、小型机、工作站和个人计算机。

1. 巨型机(Super Computer)

巨型机也称超级计算机,是计算机家族中价格最高、运算速度最快、存储容量和体积最大、功能最强的一类,运算速度一般在每秒上万亿次,包含数以百计、千计的 CPU,运算处理能力极强。

巨型机大多用在国防、科研、气象等领域。巨型机的研制水平、生产能力及其应用程序成为衡量一个国家经济实力与科技水平的重要标志,当前美国、日本是生产巨型机的主要国家。

2. 大型机(Mainframe)

大型机的特点是大型、通用、速度快、处理能力强、存储容量大,有很强的管理和处理数

据的能力,主要用于大银行、大公司、规模较大的高等学校和科研院所。大型机的处理机系统可以是单处理机、多处理机或多个子系统的复合体。

3. 小型机 (Minicomputer)

小型机结构简单、价格较低、管理维护容易、使用方便,备受中小企业欢迎。其发展大致分为4个阶段,分别是20世纪60年代小规模集成电路计算机(如DEC公司的PDP-8);60年代末至70年代末的大规模集成电路计算机(如DEC的PDP-11);70年代末至80年代末的超大规模集成电路计算机(如VAX-11系列);80年代末以来的精简指令集计算机(Reduced Instruction Set Computer, RISC)。目前,小型机基本上被高性能的微型计算机所取代。

4. 工作站 (Workstation)

工作站是介于小型机和个人计算机之间的一种高档微机,以个人计算环境和分布式网络计算环境为基础,为特定应用领域的人员提供一个具有友好人机界面的高效率工作平台。工作站的处理功能除了具有高速的定点和浮点运算能力以外,还有很强的处理图形、图像、声音、视频等多媒体信息的能力和较强的网络通信能力。工作站适用于工程技术、科学研究和商业应用。

5. 个人计算机 (Personal Computer, 简称 PC 机)

个人计算机也称微型计算机、微机或个人电脑,是以微处理器为中央处理器而组成的计算机系统。它的发展到目前为止大致可以分成4个阶段。第一阶段(1971~1977年),以8位微处理器为基础,有较完整的指令系统,存储容量为64 KB。典型微处理器有Intel 8080, 8085, Zilog公司的Z-80及Motorola的M6800,配有简单操作系统(如CP/M)。第二阶段(1978~1981年),微处理器以16位或准32位为基础,采用虚拟存储、存储保护等以前的小型或大型机中所采用的技术,内存为1 MB,还有较大容量的软盘和硬盘。第三阶段(20世纪80年代初至中期),80年代初,IBM推出了以80X86为处理器的开放式IBM PC机,这是微型机发展过程中的一个里程碑。当时,IBM PC所用芯片(8086, 80286和80386)、操作系统(MS-DOS)和总线实际上形成了国际工业生产的主要标准,微型机应用也得到了迅速的发展。第四阶段(20世纪80年代后期至今),RISC技术的出现使微处理器的体系结构发生了重大变革,从而出现了RISC与CISC计算机相互学习、相互促进、共同发展的新局面。

1.3 计算机的性能指标与应用

计算机系统的发展实际上与计算机的应用是互相促进的,计算机的应用从早期的科学计算、数据处理到工业控制、实时控制,直至目前的网络技术(电子商务、网络教育)、多媒体技术与人工智能等方面的应用对计算机的性能提出了更高的要求。随着社会需求和微电子技术的不断发展,计算机的性能在不断提高,计算机的体系结构可能会有重大突破。

1.3.1 计算机的性能指标

计算机的性能指标有很多,如体积、功耗、流水线结构、Cache级数等,但其基本性能一般从以下几个方面来衡量:

1. 字长

字长是指计算机的运算部件能同时处理的二进制数据的位数,通常是字节的整数倍。它决定着处理器内寄存器、运算器、内部数据总线的宽度(即位宽),因而直接影响着硬件的代价。字长也标志着计算精度,字长越长,计算机的运算精度就越高。因此,高性能的计算机其字长较长,而性能较差的计算机字长相对要短一些。为了兼顾精度与硬件代价,许多计算机允许变字长运算。字长也影响机器的运算速度,字长越长,计算机的运算速度越快。

2. 内存容量

内存容量指计算机主存储器(内存)所能存储信息的字节数。内存容量的基本单位是字节(Byte,缩写为B),此外还有KB,MB,GB,TB等单位。约定8位二进制代码为一个字节,1 024 B=1 kB,1 024 kB=1 MB,1 024 MB=1 GB,1 024 GB=1 TB。

内存容量变化范围是较大的。同一台机器能配置的容量大小也有一个允许范围。

3. 速度

计算机的速度取决于主频、内存的存取周期、外存的数据传送速率和输入输出设备的速度。

(1)主频。中央处理器(CPU)的主频表示在CPU内数字脉冲信号振荡的速度,指CPU的时钟频率,单位是赫兹,字母表示为Hz。主频是CPU的一个重要性能指标,是衡量CPU速度的重要参数,它与CPU实际的运行能力并没有直接关系,主频越高,CPU的速度就越快。主频的倒数是时钟周期,这是CPU中最小的时间元素。每个动作至少需要一个时钟周期。

(2)存取速度。存取速度是衡量存储器性能的一项重要指标。通常用存取周期和存取时间两项指标来描述。

(3)运算速度。运算速度指CPU单位时间内能执行的指令条数,用MIPS或MFLOPS表示。MIPS表示每秒执行多少百万条指令。对于一个给定的程序,MIPS的定义如下:

$$MIPS = \frac{\text{指令条数}}{\text{执行时间} \times 10^6}$$

MFLOPS表示每秒执行多少百万次浮点运算。对于一个给定的程序,MFLOPS的定义如下:

$$MFLOPS = \frac{\text{浮点操作次数}}{\text{执行时间} \times 10^6}$$

运算速度是一项综合性技术指标,其值的大小不仅与CPU有关,还与存储器、系统总线等各部件密切相关。由于每条指令的执行时间不同,因此运算速度有不同的计算方法,一般采用专用的基准程序作为测试标准。

(4)CPI。CPI指每条指令执行所需的时钟周期数。

(5)CPU执行时间。

$$\text{CPU 执行时间} = \frac{\text{CPU 时钟周期数}}{\text{时钟频率}} = \frac{IC \times CPI}{\text{时钟频率}}$$

4. 吞吐量

吞吐量是指系统在单位时间内处理请求的数量。

5. 响应时间

响应时间是指系统对请求做出响应的的时间。

1.3.2 计算机的应用

计算机早期的应用主要集中在科学计算、数据处理和自动控制3个方面。计算机网络的发展,特别是 Internet 的出现,扩展和加速了信息的流通,使计算机应用向分布式和集群式计算发展,21 世纪初出现了云计算。

1. 科学计算

把科学技术及工程设计应用中的各种数学问题的计算,统称为科学计算。它不仅能减轻繁杂的计算工作量,而且解决了过去无法解决或不能及时解决的问题。例如,宇宙飞船运动轨迹和气动干扰问题的计算;人造卫星和洲际导弹发射后,正确制导入轨的计算;天文测量和天气预报计算;在现代工程中,电站、桥梁、水坝、隧道等最佳设计方案的选择。

2. 数据信息处理

对数据进行加工、分析、传送、存储及检测与操作都称为数据处理或信息处理,是目前计算机应用最广的一个领域。在信息社会中,信息无处不在,计算机已成为信息处理的主要工具。多媒体技术的发展,使计算机不仅能处理字符信息,还能处理图形、图像、声音、动画和影像等各种信息。网络通信技术的发展,使计算机不仅能处理信息,还能快速地在网络上传递信息,如银行联网系统、售票联网系统、电子商务等众多应用。

3. 计算机自动控制

所谓计算机自动控制,就是利用计算机实时检测工业生产过程中的数据,按照预定的算法进行处理,然后选择最佳方案,对控制对象进行自动控制。目前,计算机被广泛应用到工厂自动化中,特别是仪器仪表引进计算机技术后所构成的智能化仪表,数据库技术、管理信息技术相结合,可以实现车间、工厂的完全自动化。

4. 计算机辅助技术

计算机辅助技术包含计算机辅助设计(CAD)、计算机辅助制造(CAM)、计算机辅助测试(CAT)、计算机辅助教学(CAI)等。

(1) 计算机辅助设计。利用计算机来帮助设计人员进行工程设计,以提高设计工作的自动化程度,节省人力和物力。目前,CAD 已广泛应用于电路、机械、土木工程、航空、船舶、汽车、服装等设计领域。

(2) 计算机辅助制造。利用计算机进行生产设备的管理、控制与操作,从而提高产品质量,降低生产成本,缩短生产周期,改善制造人员的工作条件。CAM 常用于机械、汽车、船舶和飞机的制造过程中。

CAD 和 CAM 相结合,实现了从设计到生产全过程的自动化。CAD、CAM 和 MIS(管理信息系统)相结合,就构成了计算机集成制造系统(CIMS)。

(3) 计算机辅助教学。近几年,随着多媒体技术的发展,CAI 的应用越来越普遍。市场上有许多软件供各种层次的学生学习;从小学到大学,都在逐渐推广和使用 CAI 教学,使课堂教学更有生机。网络技术的发展使计算机远程教学更具生命力。