



“十二五”普通高等教育本科国家级规划教材 计算机系列教材



普通高等教育“十一五”国家级规划教材

国家精品课程教材

计算机体系结构

教学与习题指导（第2版）

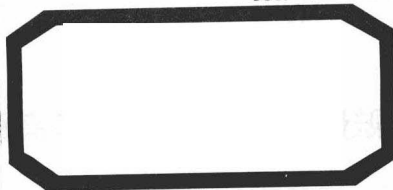
张春元
罗莉
肖晓强
编著



清华大学出版社



“十二五”普通



创教材 计算机系列教材



普通高等教育“十一五”国家级规划教材

国家精品课程教材

计算机体系结构

教学与习题指导（第2版）

张春元
罗莉
肖晓强
编著

清华大学出版社
北京

内 容 简 介

本书是国家精品课程主讲教材《计算机体系结构(第2版)》的配套教学用书。各章包括教学指南、主要内容、典型题目解析、习题及习题解答4个部分。教学指南对每一章学习内容进行总结,理清学习的重点、要点、难点和范围。主要内容包括每一章的基本理论、基本概念、基本公式、基本方法等内容摘要,对每一章的主要内容进行总结,检查每一章基本内容的掌握情况。典型题目解析对课程中的典型习题进行指导性分析,重在题目类型、解题方法、解题思路和解题要点,学生也可以根据这一部分的内容对照检查自己的学习情况,检查自己计算机系统结构的解题能力。

本书是教师讲授“计算机体系结构”课程的教学参考书,也可以作为学生学习本课程的参考用书。

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

计算机体系结构教学与习题指导/张春元,罗莉,肖晓强编著.—2版.—北京:
清华大学出版社,2016

(计算机系列教材)

ISBN 978-7-302-44843-3

I. ①计… II. ①张… ②罗… ③肖… III. ①计算机体系结构—高等学校—
教学参考资料 IV. ①TP303

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 254548 号

责任编辑:张瑞庆 王冰飞

封面设计:常雪影

责任校对:梁 毅

责任印制:杨 艳

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 刷 者:北京富博印刷有限公司

装 订 者:北京市密云县京文制本装订厂

经 销:全国新华书店

开 本:185mm×260mm

印 张:16

字 数:380千字

版 次:2011年6月第1版 2016年12月第2版

印 次:2016年12月第1次印刷

印 数:1~2000

定 价:39.00元

产品编号:065023-01

作者简介

张春元 1996年在国防科学技术大学计算机系获工学博士学位,现任国防科学技术大学计算机学院教授,博士生导师,享有国务院颁发的政府特殊津贴。长期从事计算机体系结构、计算机应用等科研和教学工作。主持国家自然科学基金、国家自然科学基金重点项目、国家863高技术研究项目、国家973安全重大基础研究项目、国家重点型号项目及企业合作等20多项,发表科研论文100余篇,出版学术专著2部,已获授权专利10项。主讲过10多门本科生和研究生课程,是国家精品课程“计算机体系结构”主讲人之一,撰写教材3种,其中《计算机体系结构》获得“2002年全国普通高等学校优秀教材二等奖”,发表教学研究文章10余篇,主编出版有《学位与研究生教育信息管理实践与探索》。获得国家科技进步二等奖1次,省部级科技进步奖多次,国家教学成果二等奖1次,省部级教学成果奖多次。

通信地址:湖南长沙国防科学技术大学计算机学院 410073

E-mail: cyzhang@nudt.edu.cn

罗莉 1997年在国防科学技术大学计算机系获工学博士学位。现任国防科学技术大学计算机学院教授、硕士生导师,国家精品课程“计算机体系结构”和“计算机原理”主讲人之一。国防科学技术大学计算机学院高性能计算机创新团队的核心成员,该团队获“军队首届科技创新群体奖”。中国计算机学会会员,主要研究方向包括高性能微处理器体系结构、SOC设计技术等,作为项目负责人和主要完成人参加国家自然科学基金、国家863高技术项目、国家973安全重大基础研究项目、国家重点型号项目等20余项。近五年发表论文40余篇,参与撰写教材3种,获军队科技进步一等奖2次、二等奖2次、三等奖2次,获国家授权专利3项。

通信地址:湖南长沙国防科学技术大学计算机学院 410073

E-mail: li_luo@nudt.edu.cn

肖晓强 2000年在国防科学技术大学计算机学院获得博士学位。现任国防科学技术大学计算机学院教授、硕士研究生导师,计算机学院计算机教学实验中心主任,军队专业技术三类岗位津贴获得者,军队育才奖银奖获得者,“计算机学报”、“计算机研究与发展”等多个期刊的审稿人。国家精品课程“计算机体系结构”和“计算机原理”主讲人之一,先后为本科生主讲了“大学计算机基础”、“计算机原理与设计”、“微型计算机原理”、“计算机体系结构”、“嵌入式系统课程设计”等8门本科课程,为研究生主讲了“系统模型与模拟”课程。已编写出版了《计算机原理与设计》和《计算机体系结构》等本科教材和3部教学辅导书。主要从事无线网络与移动计算、网络可靠性

分析以及计算机仿真等方面的科研工作,在车载网络、网络性能参数测量、可靠性分析以及计算机建模与仿真等方面有较深入的研究。主持国家自然科学基金项目1项,参与多项科研项目,取得了多项研究成果,获军队科技进步二等奖、三等奖各1次。近年来,在国际会议、国内期刊发表论文10余篇,教学研究论文10余篇。

通信地址:湖南长沙国防科学技术大学计算机学院 410073

E-mail: xqxiao@nudt.edu.cn

本书是与王志英主编的“国家精品课程教材”中的《计算机体系结构(第2版)》(主教材)一书完全配套的教师参考用书,也可以作为计算机科学与技术专业本科生、研究生和相关专业学生学习计算机体系结构课程的参考用书。

“计算机体系结构”是计算机科学与技术学科的一个重要方向,是重要的计算机专业课程,主要讨论计算机系统设计技术,涉及较多的计算机专业知识。在计算机科学与技术学科中,计算机体系结构是一个理论性和实践性很强的研究方向,由于多种原因,无论本科生还是研究生都认为学习的难度较大,不易掌握。本书根据作者数十年从事“计算机体系结构”领域的科研和本科生、研究生课程的教学经验和体会整理编写而成,也是国防科学技术大学计算机学院计算机体系结构教学小组多年教学的工作总结,是集体智慧的结晶,以满足讲授“计算机体系结构”课程教师的需要。本书的使用将有助于教师对主教材的理解和运用,对于改进教学方法,提高教学质量都有着积极的意义。为了便于学习,书中每一章都按教学指南、主要内容、典型题目解析、习题及习题解答4个部分进行组织。作为第2版,本书在内容上依据主教材的变化,进行了更新和增加。

考虑到本书的主要读者对象应该是讲授“计算机体系结构”课程的教师和学习相应课程的学生,所以在本书每一章的最后一节给出了主教材中全部习题的详细解答,以供讲授、辅导和练习时参考。要注意的是,有些习题的答案并不唯一,设计也不一定最优,读者可以根据解题思路自己解答,不要受到参考答案的限制和束缚。

“计算机体系结构”课程的教材在国内已经出版有多种,近年来也出现了一些面向学生的学习指导用书,但目前还没有见到有针对主讲和辅导教师编写的教师用书面世,本书的出版可以说是填补了一个空白,相信它会为广大讲授该课程的教师提供有益的帮助。还需要特别指出的是,学生在使用本书的过程中,我们不提倡仅仅简单地查阅这一部分的内容,核实自己练习的正确性,而是要给自己留下一个独立思考的空间。其实是否给学生提供习题的详细解答,一直是教育界颇有争议的问题,除了考虑培养学生独立思考的因素,如何保持练习题的生命周期也是教师们经常考虑的一个因素,因为设计一套较满意的习题是非常消耗精力的工作,而一旦公布习题详细解答,将导致练习题的生命周期缩短。

由于时间的原因以及个人的水平限制,书中难免有不妥之处,欢迎同行专家学者和广大读者批评指正。如有问题可直接与作者联系:cyzhang@nudt.edu.cn。

作者

2016年8月

于长沙国防科学技术大学

FOREWORD

第1章 计算机体系结构 /1

1.1 教学指南 /1

1.2 主要内容 /1

1.2.1 计算机体系结构的概念 /2

1.2.2 计算机体系结构的发展 /7

1.2.3 计算机系统设计和分析 /14

1.2.4 基本的可靠性模型 /19

1.3 典型题目解析 /20

1.4 习题及习题解答 /21

第2章 指令系统 /30

2.1 教学指南 /30

2.2 主要内容 /30

2.2.1 指令系统的分类 /30

2.2.2 寻址方式 /32

2.2.3 指令系统的设计和优化 /34

2.2.4 指令系统的发展和改进 /37

2.2.5 操作数的类型和大小 /41

2.2.6 MIPS指令系统结构 /42

2.3 习题及习题解答 /47

第3章 流水线技术 /52

3.1 教学指南 /52

3.2 主要内容 /52

3.2.1 流水线的基本概念 /52

3.2.2 MIPS的基本流水线 /56

3.2.3 流水线中的相关 /65

3.2.4 流水线计算机实例分析

(MIPS R4000) /79

3.2.5 向量处理机 /84

3.3 典型题目解析 /85

3.4 习题及习题解答 /88

第4章 指令级并行 /92

- 4.1 教学指南 /92
- 4.2 主要内容 /92
 - 4.2.1 指令级并行的概念 /92
 - 4.2.2 指令的动态调度 /95
 - 4.2.3 控制相关的动态解决技术 /103
 - 4.2.4 多指令流出技术 /109
- 4.3 典型题目解析 /113
- 4.4 习题与习题解答 /119

第5章 存储层次 /130

- 5.1 教学指南 /130
- 5.2 主要内容 /130
 - 5.2.1 存储器的层次结构 /130
 - 5.2.2 Cache 基本知识 /134
 - 5.2.3 降低 Cache 失效率的方法 /144
 - 5.2.4 减少 Cache 失效开销的方法 /153
 - 5.2.5 减少 Cache 命中时间的方法 /159
 - 5.2.6 主存 /164
 - 5.2.7 虚拟存储器 /167
 - 5.2.8 存储层次实例 /173
- 5.3 典型题目解析 /176
- 5.4 习题及习题解答 /184

第6章 输入/输出系统 /190

- 6.1 教学指南 /190
- 6.2 主要内容 /190
 - 6.2.1 存储设备 /190
 - 6.2.2 I/O 系统的性能分析 /197
 - 6.2.3 I/O 系统的可靠性 /200
 - 6.2.4 RAID 技术 /201
 - 6.2.5 总线技术 /205

6.2.6	通道技术	/207
6.2.7	I/O 系统性能与操作系统的 关系	/211
6.3	典型题目解析	/212
6.4	习题及习题解答	/212
第7章 多处理机 /218		
7.1	教学指南	/218
7.2	主要内容	/218
7.2.1	并行计算机体系结构的分类	/218
7.2.2	多处理机中的存储器一致性	/221
7.2.3	对称式共享存储器体系结构中的 监听协议	/222
7.2.4	分布式共享存储器体系结构中的 目录协议	/224
7.2.5	静态互联网络与动态互联网络	/226
7.2.6	同步	/231
7.3	典型题目解析	/233
7.4	习题及习题解答	/234
第8章 机群计算机 /240		
8.1	教学指南	/240
8.2	主要内容	/240
8.2.1	机群的基本概念和结构	/241
8.2.2	机群的特点	/241
8.2.3	机群的分类	/241
8.3	习题及参考答案	/242
参考文献 /244		

第 1 章 计算机体系结构

1.1 教学指南

本章需要掌握的内容和概念主要有：

- 存储程序计算机
- 计算机系统的多级层次结构
- 计算机体系结构
- 计算机组成
- 计算机实现
- 计算机体系结构、组成与实现三者的关系
- 存储程序计算机
- 透明性
- Amdahl 定律
- CPU 性能公式
- 程序局部性原理
- 计算机性能的若干定义
- 计算机体系结构分类
- 计算机体系结构的发展
- 影响计算机体系结构设计的成本和价格因素
- 对计算机系统性能进行定量分析的技术、方法
- 基本的可靠性模型

本章的主要应用问题有：

- 性能公式的计算
- 性能公式在具体应用问题中的使用
- Amdahl 定律的计算
- 系统可用性计算

1.2 主要内容

计算机体系结构的概念用于描述计算机系统设计的技术、方法和理论，本教材主要包括计算机指令系统、计算机组成和计算机硬件实现 3 个方面，涵盖处理器和多处理器、存储器、输入/输出系统、互联与通信等计算机系统设计的主要内容，同时还涉及到性能评价、编译和操作系统的关键技术，并通过定量分析的途径，学习掌握现代计算机体系结构

研究的基本方法。

1.2.1 计算机体系结构的概念

1. 存储程序计算机

冯·诺依曼描述的存储程序计算机是一种计算机系统设计模型,实现了一种通用图灵机(Universal Turing Machine)。存储程序计算机又叫冯·诺依曼计算机。

存储程序计算机由4个部分组成。

- (1) 运算器: 用于完成数值运算。
- (2) 存储器: 用于存储数据和程序。
- (3) 输入/输出设备: 用于完成计算机和外部的信息交换。
- (4) 控制器: 根据程序形成控制(指令、命令)序列,完成对数据的运算。

控制器根据程序指令序列,将其分解形成对计算机4个部分操作的控制信号序列,称为控制流。计算机在控制流的操作下,计算机4个部分之间形成数据和指令的传送序列,称为数据/指令流。存储程序计算机4个部分的结构如图1.1所示,为了更加直观,图中将输入设备和输出设备分成了两个独立的部件。

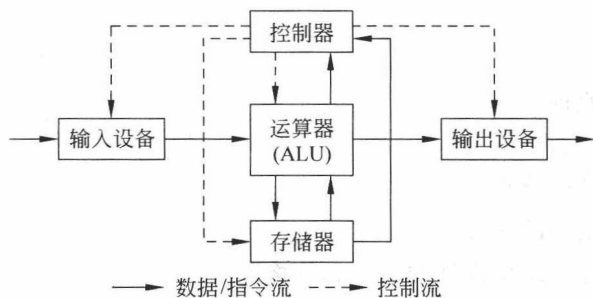


图 1.1 存储程序机器的结构

存储程序计算机在体系结构上的主要特点如下。

(1) 机器以运算器为中心。输入/输出设备与存储器之间的数据传送都经过运算器;存储器、输入/输出设备的操作以及它们之间的联系都由控制器集中控制。

(2) 采用存储程序原理。程序(指令)和数据放在同一存储器中,且没有对两者加以区分。指令和数据一样可以被送到运算器进行运算,即由指令组成的程序自身是可以修改的。

(3) 存储器是按地址访问的、线性编址的空间。每个单元的位数是相同且固定的,称为存储器编址单位。

(4) 控制流由指令流产生。指令在存储器中是按其执行顺序存储,由指令计数器指明每条指令所在单元的地址。每执行完一条指令,程序计数器一般是顺序递增。

(5) 指令由操作码和地址码组成。操作码指明本指令的操作类型,地址码指明操作数和操作结果的地址。操作数的类型(定点、浮点或十进制数)由操作码决定,操作数本身

不能判定是何种数据类型。

(6) 数据以二进制编码表示,采用二进制运算。它主要面向数值计算和数据处理。

存储程序计算机体系结构这些特点奠定了现代计算机发展的基础。

存储程序计算机中,程序执行的过程就是对程序指令进行分解,形成控制计算机4个部分工作的控制流,对数据进行加工(运算),周而复始地产生数据/指令流,并最终得到数据结果的过程。

计算机对每条指令从取指令到得到结果的工作周期,称为的一个机器周期。

在本教材中,我们将一条指令的操作分解为5个部分:取指令、指令译码、指令执行、访问存储部件和写结果,如图1.2所示。

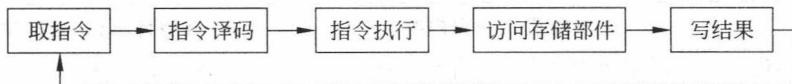


图 1.2 分解为 5 个部分的存储程序计算机的机器周期

在图 1.2 的机器周期中,第一,计算机从存储器中取出一条指令;第二,对这条指令进行译码,由硬件分解并确定这条指令所指示的操作,同时确定该指令操作对象(操作数)所在的位置,这个位置可以是寄存器单元、存储器的特定单元或者某个输入设备;第三,根据译码确定的位置去取操作数并送到运算器;第四,运算器按照译码确定的操作进行运算;第五,运算结束后,将结果送到指定的位置,这个位置可以是寄存器单元、存储器的特定单元或者某个输出设备,计算机就将一条指令执行完了,并准备执行下一条指令。这就是对一个存储程序计算机的处理器在一个机器周期里面安排的操作序列。

2. 计算机体系结构、组成和实现

1964 年 4 月,阿姆道尔首次明确提出了“计算机体系结构”的概念,并且将计算机体系结构定义为:计算机体系结构是程序员所看到的计算机的属性,即概念性结构与功能特性。

所谓程序员所看到的计算机的属性,是程序(机器语言、汇编语言或者编译程序生成系统)设计者为使其所设计(或生成)的程序能在机器上正确运行,必须掌握和遵循的计算机属性,这些属性包含其概念性结构和功能特性两个方面。目前,对于通用寄存器型机器,这些属性主要包括以下几个方面。

- (1) 数据表示:硬件能直接辨认和处理的数据类型。
- (2) 寻址规则:包括最小寻址单元、寻址方式及其表示。
- (3) 寄存器定义:包括各种寄存器的定义、数量和使用方式。
- (4) 指令系统:包括机器指令的操作类型和格式、指令间的排序和控制机构等。
- (5) 中断系统:中断的类型和中断响应硬件的功能等。
- (6) 机器工作状态的定义和切换:如管(理)态和目标态等。
- (7) 存储系统:主存容量、程序员可用的最大存储容量等。
- (8) 信息保护:包括信息保护方式和硬件对信息保护的支持。
- (9) I/O 结构:包括 I/O 联结方式、处理机/存储器与 I/O 设备间数据传送的方式和

格式以及 I/O 操作的状态等。

这些属性是计算机系统中由硬件或固件完成的功能,程序员在了解这些属性后才能编出在计算机上正确运行的程序。因此,经典计算机体系结构概念的实质是计算机系统中软硬件界面的确定,也就是指令系统的设计。体系结构界面之上,更多是软件研究领域关注的功能和内容,体系结构界面之下的是硬件和固件等实现方面研究的功能和内容。

随着计算机技术的发展,计算机体系结构所研究的内容不断地发生变化和发展。表 1.1 给出从电子数字计算机产生到现在计算机体系结构研究关注的一些典型内容。

表 1.1 不同年代计算机体系结构研究的一些内容

年 代	一些重要研究内容	典型计算机(处理器)实例
20 世纪 40 年代	程序控制计算机和存储程序计算机	ENIAC, EDVAC
20 世纪 50 年代	指令系统	IBM 305, 701, UNIVAC/ERA1101
20 世纪 60 年代	阵列机和并行处理	IBM 360 系列机, ILLIAC IV
20 世纪 70 年代	流水线、向量处理、微处理器	Cray-1, Intel 4004
20 世纪 80 年代	RISC, cache、流水线	MIPS R1000, IBM Power
20 世纪 90 年代	指令级并行	MIPS R10000, PowerPC 604
2000 年以来	SMP, CMP, SMT、功耗	Intel i7, Power 6, ARM
2010 年以来	功耗、异构计算、定制计算	NVIDIA GPU, Intel AVX

J. L. Hennessy 和 D. A. Patterson 认为,计算机体系结构包括计算机系统设计的 3 个方面:计算机指令系统、计算机组成和计算机硬件。

(1) 计算机指令系统(Instruction Set Computer):程序员可见的实际指令系统,是计算机系统硬件和软件之间的一个分界面。

(2) 计算机组成(Computer Organization):又叫微体系结构(Microarchitecture),是计算机系统中各个功能部件及其连接的设计。

(3) 计算机硬件:是指计算机具体的实现(Implementation)技术,包括逻辑设计、集成电路工艺、封装等。

计算机体系结构的核心理念具有一定的稳定性,包括指令系统设计、CPU 设计、计算机系统设计和硬件实现等,但是它的研究重点和范围随着基础科学和技术的发展而变化,具有与时俱进的特点。

本教材中,体系结构的理念用于描述计算机系统设计的不、方法和理论,主要包括计算机指令系统、计算机组成和计算机硬件实现 3 个方面,涵盖处理器和多处理器、存储器、输入/输出系统、互联与通信等计算机系统设计的主体内容,同时还涉及性能评价、编译和操作系统的关键技术,并通过定量分析的途径,学习掌握现代计算机体系结构研究的基本方法。

3. 计算机系统中的层次概念

现代计算机系统是由软件和硬/固件组成的十分复杂的系统,图 1.3 从计算机语言的角度,把计算机系统按功能划分成多级层次结构。

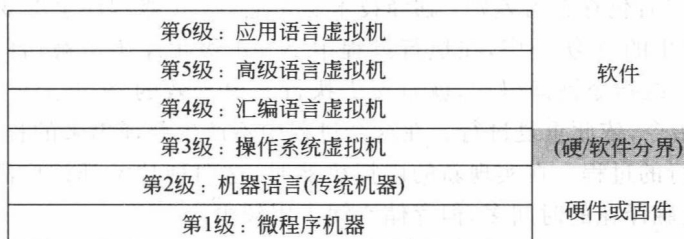


图 1.3 计算机系统的多级层次结构

计算机语言可分成一系列的层次(Level)或级,最低层语言的功能最简单,最高层语言的功能最强。可以把现代计算机系统画成如图 1.3 所示的层次结构。图中第 1 级和第 2 级由硬件或固件实现,第 4 级以上基本由软件实现。由软件实现的机器为虚拟机器(Virtual Machine),以区别于由硬件或固件实现的实际机器。

每个计算机语言的层次结构(每种虚拟机)包括 3 个部分,如图 1.4 定义了一个计算机(虚拟机)的体系结构。

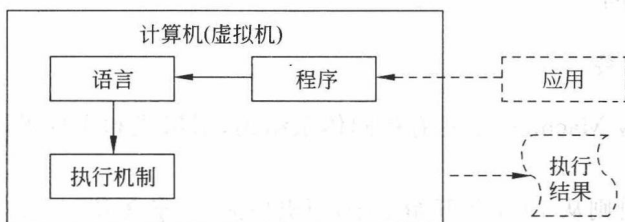


图 1.4 从计算机语言角度看计算机(虚拟机)的体系结构

- (1) 语言：命令的集合,计算机(虚拟机)的指令系统。
- (2) 执行机制：按照语言的定义执行程序,计算机(虚拟机)的具体实现。
- (3) 程序：描述应用的语言序列。

第 1 级是微程序机器级,这级的机器语言是微指令集,用微指令编写的微程序一般是直接由硬件解释实现的。

第 2 级是传统机器级。这级的机器语言是该机的指令集,程序员用机器指令集编写的程序可以由微程序进行解释。这个解释程序运行在第 1 级上。由微程序解释指令集又称作仿真(emulation)。可以通过仿真在一台机器上实现多种指令集。

第 3 级是操作系统虚拟机。从操作系统的基本功能来看,一方面它要直接管理传统机器中的软硬件资源;另一方面它又是传统机器的引申。

第 4 级是汇编语言虚拟机。这级的机器语言是汇编语言,用汇编语言编写的程序首先翻译成第 3 级和第 2 级语言,然后再由相应的机器执行。完成汇编语言翻译的程序就叫做汇编程序。

第 4 级上出现了一个重要变化。通常的第 1、2 和 3 级是用解释(Interpretation)方法实现的,而第 4 级或更高级则经常是用翻译(Translation)方法实现的。

翻译和解释是语言实现的两种基本技术。它们都是以执行一串 N 级指令来实现

$N+1$ 级指令,但二者仍存在着差别:翻译技术是先把 $N+1$ 级程序全部变换成 N 级程序后,再去执行新产生的 N 级程序,在执行过程中 $N+1$ 级程序不再被访问。而解释技术是每当一条 $N+1$ 级指令被译码后,就直接去执行一串等效的 N 级指令,然后再去取下一条 $N+1$ 级的指令,依此重复进行。在这个过程中不产生翻译出来的程序,因此解释过程是边变换边执行的过程。在实现新的虚拟机器时,这两种技术都被广泛地使用。一般来说,解释执行比翻译花的时间多,但存储空间占用较少。

第 5 级是高级语言虚拟机。这级的机器语言就是各种高级语言,高级语言的翻译过程就是编译(Compile),完成翻译的程序就是编译器(Compiler)或编译程序。个别的高级语言也用解释的方法实现,如绝大多数 BASIC 语言系统。

第 6 级是应用语言虚拟机。这一级是为使计算机满足某种用途而专门设计的,因此这一级语言就是名种面向问题的应用语言。

按照计算机系统的多级层次结构,不同级程序员所看到的计算机具有不同的属性。在计算机技术中,对这种本来是存在的事物或属性,但从某种角度看又好像不存在的概念称为透明性(Transparency)。通常,在一个计算机系统中,低层机器的属性往往对高层机器的程序员是透明的。

4. 系列机和兼容

系列机(Family Machine)是具有相同体系结构,但组成和实现不同的一系列不同型号的计算机系统。

PC 系列计算机则从 1981 年开始至今,历史悠久、厂家众多、产量庞大,发展的技术路线各异,品种复杂,其中最基本的分类是根据所采用处理器的类型来进行的。表 1.2 给出了处理器、处理器字宽、I/O 总线和主要操作系统的比较。

表 1.2 PC 系列机典型特性比较

计 算 机	时间	处 理 器	字宽 (位)	主要 I/O 总线	主要操作系统
PC 和 PC XT	1981	8088	16	PC 总线	DOS
PC AT	1982	80286	16	AT(ISA)	DOS、XENIX
80386 PC	1985	80386	32	ISA/EISA	DOS、Windows 3.0
80486 PC	1989	80486	32	ISA+VL	DOS、Windows 3.1
Pentium PC	1993	Pentium	32	ISA+PCI	DOS、Windows 3.1
Pentium II PC	1997	Pentium II	32	ISA+PCI+AGP	Windows 95
Pentium III PC	1999	Pentium III	32	PCI+AGP +USB	Windows 98、2000
Pentium 4 PC	2000	Pentium 4	32	PCI-X+AGP +USB	Windows Me、XP
Core PC	2006	Core Solo	32/64	PCI-E+AGP +USB	Windows XP、Vista
Core PC	2010	Core i7/i5/i3	32/64	PCI-E+AGP +USB	Windows XP、7
Core	2014	Core i7/i5/i3、Atom	32/64	PCIe+SATA+USB	Windows 8、Android

从上述系列机的例子可见:一种体系结构可以有多种组织、多种物理实现。系列机具有相同的体系结构,软件可以在系列计算机的各档机器上运行,这种情况下的各档机器是软件兼容的(Software Compatibility),即同一个软件可以不加修改地运行于体系结构

相同的各档机器,而且它们所获得的结果一样,差别只在于有不同的运行时间。

计算机厂家为了减少市场风险而大量研制兼容产品,把不同厂家生产的具有相同体系结构的计算机称为兼容机(Compatible Machine)。目前市场上比较流行的组装机也叫兼容机,就是使用各种标准配件,组装成 PC,这种情况又称为硬件兼容(Hardware Compatibility),即在某些 CPU、总线、主板和操作系统中,计算机硬件部件具有兼容性,各种软件可以在这些兼容的硬件部件下正确运行。

系列机为了保证软件的兼容,要求体系结构不能改变,这种约束无疑又妨碍计算机体系结构的发展。实际上,系列机的软件兼容还有向上兼容、向下兼容、向前兼容和向后兼容之分。所谓向上(下)兼容指的是按某档机器编制的程序,不加修改的就能运行于比它高(低)档的机器。所谓向前(后)兼容指的是按某个时期投入市场的某种型号机器编制的程序,不加修改地就能运行于在它之前(后)投入市场的机器。图 1.5 说明了这些概念。

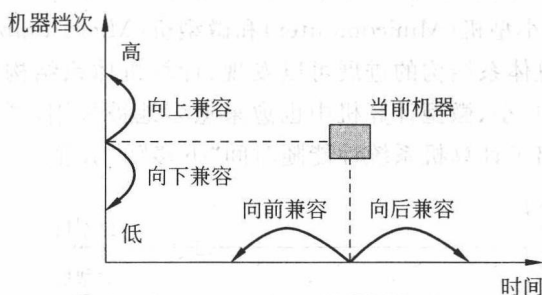


图 1.5 兼容性示意图

1.2.2 计算机体系结构的发展

一种成功的指令系统(Instruction Set Architecture, ISA, 又称为指令集结构)必须能够适应硬件技术、软件技术及应用特性的变化。

1. 计算机分代、分型与分类

计算机到目前为止已经发展了五代,这五代计算机分别具有明显的器件、体系结构技术和软件技术的特征,表 1.3 列出了其中的典型特征。

表 1.3 五代计算机的特征

分 代	器 件	体系结构技术	软 件 技 术	国外、国内典型机器
第一代 (1945—1954)	电子管和继电器	存储程序计算机、 程序控制 I/O	机器语言和汇编 语言	普林斯顿 ISA、ENIAC、 IBM701, 331(901)*
第二代 (1955—1964)	晶体管、磁芯、印 刷电路	浮点数据表示、寻 址技术、中断、I/O 处理机	高级语言和编 译、批处理监控 系统	Univac LARC、CDC1604、 IBM7030, 441B