



免费提供
电子教案

高等院校规划教材
计算机科学与技术系列

计算机系统结构教程

洪志全 主编



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

高等院校规划教材·计算机科学与技术系列

计算机系统结构教程

洪志全 主编



机械工业出版社

计算机系统结构是计算机科学与技术专业的核心课程,主要研究计算机的外部属性,即使用者所看到的物理计算机的抽象,以及计算机功能架构属性。本课程的目的是建立计算机系统的完整概念,学习计算机系统的分析方法和设计方法,掌握新型计算机系统的基本结构及其工作原理。本书全面介绍了计算机系统结构的基本概念、基本结构、存储系统、流水线技术、标量处理机、RISC 技术和系统结构、多处理机系统及互连网络和非控制流计算机等内容。

本书可作为计算机及相关专业的教材和工程技术人员的参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

计算机系统结构教程 / 洪志全主编. —北京: 机械工业出版社, 2009.11
(高等院校规划教材·计算机科学与技术系列)

ISBN 978-7-111-28369-0

I. 计… II. 洪… 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171925号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)

责任编辑: 陈皓 常建丽

责任印制: 洪汉军

北京瑞德印刷有限公司印刷(三河市胜利装订厂装订)

2010年1月·第1版第1次印刷

184mm×260mm·18印张·446千字

0001—3000册

标准书号: ISBN 978-7-111-28369-0

定价: 31.00元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务

网络服务

社服务中心:(010) 88361066

门户网:<http://www.cmpbook.com>

销售一部:(010) 68326294

教材网:<http://www.cmpedu.com>

销售二部:(010) 88379649

读者服务部:(010) 68993821

封面无防伪标均为盗版

出版说明

计算机技术的发展极大地促进了现代科学技术的发展，明显地加快了社会发展的进程。因此，各国都非常重视计算机教育。

近年来，随着我国信息化建设的全面推进和高等教育的蓬勃发展，高等院校的计算机教育模式也在不断改革，计算机学科的课程体系和教学内容趋于更加科学和合理，计算机教材建设逐渐成熟。在“十五”期间，机械工业出版社组织出版了大量计算机教材，包括“普通高等教育计算机规划教材”、“21世纪重点大学规划教材”、“高等院校计算机科学与技术‘十五’规划教材”、“21世纪高等院校应用型规划教材”等，均取得了可喜成果，其中多个品种的教材被评为国家级、省部级的精品教材。

为了进一步满足计算机教育的需求，机械工业出版社策划开发了“高等院校规划教材”。这套教材是在总结我社以往计算机教材出版经验的基础上策划的，同时借鉴了其他出版社同类教材的优点，对我社已有的计算机教材资源进行整合，旨在大幅提高教材质量。我们邀请多所高校的计算机专家、教师及教务部门针对此次计算机教材建设进行了充分的研讨，达成了许多共识，并由此形成了“高等院校规划教材”的体系架构与编写原则，以保证本套教材与各高等院校的办学层次、学科设置和人才培养模式等相匹配，满足其计算机教学的需要。

本套教材包括计算机科学与技术、软件工程、网络工程、信息管理与信息系统、计算机应用技术以及计算机基础教育等系列。其中，计算机科学与技术系列、软件工程系列、网络工程系列和信息管理与信息系统系列是针对高校相应专业方向的课程设置而组织编写的，体系完整，讲解透彻；计算机应用技术系列是针对计算机应用类课程而组织编写的，着重培养学生利用计算机技术解决实际问题的能力；计算机基础教育系列是为大学公共基础课层面的计算机基础教学而设计的，采用通俗易懂的方法讲解计算机的基础理论、常用技术及应用。

本套教材的内容源自致力于教学与科研一线的骨干教师与资深专家的实践经验和研究成果，融合了先进的教学理念，涵盖了计算机领域的核心理论和最新的应用技术，真正在教材体系、内容和方法上做到了创新。同时本套教材根据实际需要配有电子教案、实验指导或多媒体光盘等教学资源，实现了教材的“立体化”建设。本套教材将随着计算机技术的进步和计算机应用领域的扩展而及时改版，并及时吸纳新兴课程和特色课程的教材。我们将努力把这套教材打造成为国家级或省部级精品教材，为高等院校的计算机教育提供更好的服务。

对于本套教材的组织出版工作，希望计算机教育界的专家和老师们能提出宝贵的意见和建议。衷心感谢计算机教育工作者和广大读者的支持与帮助！

机械工业出版社

前 言

计算机系统结构是计算机专业的专业核心课程，其主要内容是研究使用者所看到的计算机的基本结构属性，即概念性结构与功能特性。该课程的目的是使学生建立计算机系统的完整概念，掌握计算机系统的基本结构及其工作原理，学习计算机系统的分析方法和设计方法，以及计算机的发展方向等。本书全面介绍了计算机系统结构的基本概念、工作原理、体系结构和系统分析方法。本书的主要内容有计算机系统结构的基本概念、指令系统、数据表示、存储系统、标量处理机、并行处理机、向量计算机、多处理机及互连网络和非控制流计算机等。

本书共分为 8 章，重点介绍了计算机系统结构的基本原理、构成框架与实现方案，介绍了分布式系统、集群系统和网格系统等热点技术，对学生全面了解、掌握计算机系统的基本结构属性、系统构成有很大的帮助。

第 1 章主要介绍了计算机系统的体系结构、层次结构模型、计算机系统结构的分类、计算机系统的性能评测和分析方法，阐述了计算机系统结构、组成和实现的关系，介绍了计算机的发展趋势。

第 2 章介绍了计算机系统的基本结构，主要有 CPU 构成、计算机的数据表示和数据类型、指令系统的设计思想、计算机总线技术、I/O 技术、通道处理机与 I/O 处理机技术等。

第 3 章主要介绍了存储器体系结构的基本原理、相联存储器、高速缓冲存储器(Cache)、虚拟存储器原理、存储器管理模式及存储器保护技术等。

第 4 章介绍了流水线并行技术，主要介绍了标量流水线的工作原理、流水线中的主要障碍与处理方法、流水线的实现与控制、流水线中的并行处理及非线性流水线的预约表控制方法，并给出了大量的流水线实例。

第 5 章主要介绍了 RISC 指令集的实现原理、编码方法、流水线等基本技术，并以 ARM 处理器的 RISC 指令集为例介绍了 RISC 指令集的实现方法。

第 6 章主要介绍了并行处理的基本概念，介绍了多处理机的基本结构、类型，多处理机中的并行处理技术、操作系统、算法、程序设计语言、Cache 的一致性，以及并行处理技术；介绍了向量处理机的体系结构与类型、向量处理方式、向量处理机实例及其性能分析，也介绍了互连网络的作用、设计准则、类型、结构、互连函数，以及互连网络中的消息传递方式；最后还介绍了典型的多处理机实例，主要有 MPP、SMP 和机群系统。

第 7 章主要介绍了分布式系统、集群计算机系统、网格技术的基本概念、结构原理和实现策略等，详细介绍了网格系统的 3 大模型和与 Web 服务的结合技术，以及与 Internet 的关联技术。

第 8 章主要介绍了脉动阵列机、数据流计算机、归约机及人工智能计算机等非控制流计算机的基本原理、实现方式及体系结构，以及数据流图的绘制方法等。

本书力求知识结构完备、层次分明、概念清楚、内容简练，既能讲清基本理论，又能反映最新技术。通过增加应用实例，试图把理论教学与实际应用结合起来，以加深学生对理论知识的理解。本书参考教学学时为 50 学时。

本书由成都理工大学洪志全主编、统稿，并编写了1~3章，张芬、荣莹、冷小鹏、欧鸥编写了4~8章，王娟、洪承煜、周娟、赵灵锴收集了大量资料，并编写了部分内容及习题解答。最后，向使用本教材的教师，向给本书提出宝贵意见的教师和读者表示衷心的感谢，并向为本书编写、出版提供帮助的所有人员表示感谢！

限于作者水平，文中不妥之处，敬请广大读者批评指正。

作 者

目 录

出版说明

前言

第 1 章 计算机系统结构导论	1
1.1 计算机系统的层次结构	1
1.2 计算机系统结构、组成与实现	3
1.3 计算机系统结构的分类	5
1.3.1 按“流”分类	5
1.3.2 按“并行级”和“流水线”分类	6
1.3.3 按“最大并行度”分类	7
1.4 计算机系统的设计与实现	8
1.4.1 计算机系统设计原则	8
1.4.2 计算机系统的性能与价格	11
1.4.3 计算机系统性能评测	11
1.5 计算机系统结构的演变	14
1.5.1 软件对计算机系统结构的影响	15
1.5.2 应用需求对计算机系统结构的影响	17
1.5.3 器件对计算机系统结构的影响	18
1.5.4 算法对计算机系统结构的影响	19
1.6 习题	19
第 2 章 计算机系统结构	22
2.1 中央处理器	22
2.1.1 CPU 的组成	22
2.1.2 数据表示	24
2.1.3 指令格式优化	27
2.1.4 寻址方式	31
2.2 总线结构	33
2.2.1 总线的分类	33
2.2.2 总线结构的特点	34
2.2.3 总线通信方式	35
2.2.4 总线仲裁	37
2.2.5 总线标准	39
2.3 I/O 系统	41
2.3.1 I/O 方式	42
2.3.2 中断系统	44
2.4 通道处理机	45

2.4.1	通道的作用和功能	46
2.4.2	通道的工作过程	46
2.4.3	通道的类型	48
2.5	I/O 处理机	49
2.5.1	I/O 处理机的作用	49
2.5.2	I/O 处理机的种类	50
2.6	习题	51
第 3 章	存储系统	54
3.1	存储系统原理	54
3.1.1	存储系统的定义	54
3.1.2	存储系统的层次结构	57
3.1.3	频带平衡	58
3.1.4	存储器并行访问	58
3.1.5	交叉访问存储器	59
3.2	相联存储器	62
3.3	高速缓冲存储器	63
3.3.1	Cache 的基本概念	63
3.3.2	Cache 的组成与工作原理	63
3.3.3	地址映像与变换	64
3.3.4	Cache 置换策略与主存更新方法	68
3.3.5	Cache 一致性问题	69
3.3.6	Cache 系统的加速比	70
3.3.7	微机 Cache 系统	71
3.4	虚拟存储器	72
3.4.1	存储器管理方式	72
3.4.2	虚拟存储器的工作原理	72
3.4.3	地址的映像与变换	74
3.4.4	段式虚拟存储器	75
3.4.5	页式虚拟存储器	77
3.4.6	段页式虚拟存储器	78
3.4.7	加快内部地址变换的方法	80
3.4.8	页面替换算法	82
3.4.9	提高主存命中率的方法	85
3.4.10	微机的虚拟存储器	87
3.5	存储器保护技术	87
3.6	习题	89
第 4 章	流水线技术	92
4.1	系统结构中的并行性概念	92
4.1.1	并行性概念	92

4.1.2	并行处理的发展	93
4.2	流水线结构原理	95
4.2.1	一次重叠流水线	95
4.2.2	流水技术原理	98
4.2.3	流水线分类	99
4.2.4	流水线性能的分析	102
4.2.5	流水线中的主要障碍与控制	105
4.2.6	非线性流水线调度	109
4.3	向量处理技术	111
4.3.1	向量的流水处理	111
4.3.2	向量处理机	113
4.4	指令级并行技术	116
4.4.1	超标量处理机	116
4.4.2	超长指令处理机	117
4.4.3	超流水线处理机	118
4.5	习题	119
第 5 章	RISC 结构计算机	123
5.1	RISC 技术概述	123
5.1.1	CISC 的主要问题	123
5.1.2	RISC 的定义及特点	125
5.2	大寄存器组	126
5.2.1	寄存器窗口	126
5.2.2	寄存器组与 Cache	128
5.3	RISC 流水线技术	129
5.3.1	规整指令的流水线技术	129
5.3.2	流水线优化	130
5.4	RISC 指令结构	132
5.5	ARM 处理器	133
5.5.1	ARM 32 位 CPU 起源	133
5.5.2	ARM 寄存器结构	134
5.5.3	ARM 指令系统	135
5.5.4	ARM 寻址方式	135
5.6	习题	137
第 6 章	多处理机系统	138
6.1	多处理机系统结构	138
6.1.1	紧耦合多处理机	139
6.1.2	松耦合多处理机	139
6.1.3	多处理机中 Cache 的一致性	140
6.2	并行多处理机技术	143

6.2.1	程序并行性分析	143
6.2.2	并行程序设计语言	145
6.2.3	多处理机操作系统	151
6.2.4	多处理机调度策略	154
6.3	向量处理机	157
6.3.1	向量处理的基本概念	157
6.3.2	向量处理机的结构	158
6.3.3	向量处理机的性能评价	160
6.4	互连网络结构	161
6.4.1	互连网络分类	161
6.4.2	单级互连网络	163
6.4.3	基本循环互连网络和多级互连网络	166
6.4.4	网络拓扑结构	168
6.5	多处理机实例	169
6.5.1	大规模并行处理机	169
6.5.2	SMP 共享存储型多处理机	171
6.5.3	机群系统	172
6.6	习题	175
第 7 章	分布式系统结构	178
7.1	分布式系统	178
7.1.1	分布式系统的特点	179
7.1.2	分布式系统的目标	180
7.1.3	分布式系统的优缺点	181
7.1.4	分布式系统的结构	181
7.2	集群计算机系统	182
7.2.1	集群系统的特点	182
7.2.2	集群系统的分类	183
7.2.3	集群系统的结构	184
7.2.4	集群系统的构建技术	186
7.2.5	集群系统的软件平台	190
7.2.6	集群系统的任务调度方法	191
7.2.7	集群系统的发展趋势	192
7.3	网格技术	193
7.3.1	网格体系结构	195
7.3.2	五层沙漏体系结构	196
7.3.3	开放网格服务体系结构	197
7.3.4	Web 服务资源框架	200
7.3.5	网格技术的发展趋势	202
7.4	习题	203

第 8 章 非控制流计算机结构	204
8.1 计算机驱动模型	204
8.2 脉动阵列计算机	205
8.2.1 脉动阵列结构原理	206
8.2.2 脉动阵列结构及特点	207
8.3 数据流计算机	208
8.3.1 数据流计算机的工作原理	208
8.3.2 数据流程图和数据流语言	210
8.3.3 数据流计算机结构	213
8.3.4 数据流计算机的性能分析	216
8.4 按需求驱动的归约机	218
8.4.1 函数式程序设计语言	218
8.4.2 函数式语言的归约机结构	219
8.5 人工智能计算机	221
8.5.1 人工智能计算特征	222
8.5.2 人工智能计算机分类	223
8.6 习题	224
附录 习题答案	225
参考文献	278

第 1 章 计算机系统结构导论

计算机系统结构 (Computer Architecture) 的概念是 Buchholz 于 1962 年在描述 IBM 7030 计算机的扩展性时首先提出的, 主要指计算机的外貌, 也称外特性。1964 年, IBM 370 的主设计师 Amdahl 给出了它的定义: 计算机系统结构就是程序员所看到的计算机的基本属性, 即概念性结构与功能特性。对于不同层次的程序员来说, 由于使用的程序设计语言不同, 可能看到的概念性结构与功能特性就会有所不同。

计算机系统结构是指多级层次结构中传统机器级的结构, 它是软件和硬件/固件的主要界面, 是使编制的机器语言程序、汇编语言源程序, 以及将高级语言源程序编译生成的机器语言目标程序, 能在机器上正确运行所应看到的计算机属性。计算机系统结构与汇编语言程序或机器语言程序所能实现的功能, 以及要用到的数据类型、寻址方式等密切相关。

1.1 计算机系统的层次结构

现代计算机是一种包括机器硬件、指令系统、系统软件、应用程序和用户接口的集成系统。现代计算机结构如图 1-1 所示。不同的求解问题可能需要不同的计算机资源, 这与求解问题的性质有关。

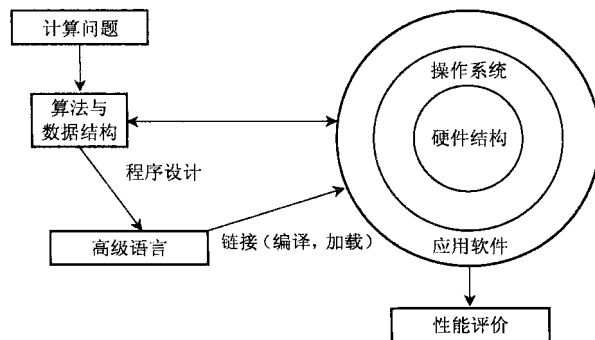


图 1-1 现代计算机结构

随着软件技术的发展, 人们开始使用不同的高级语言编程, 站在不同的语言层面上使用计算机。不同的语言层面即计算机系统的多层次结构, 它是描述控制流程的, 有一定规则的字符集合的“计算机语言”。计算机语言并不专属软件范畴, 它可以分属计算机系统的各个层次, 分别对该层次的控制流程进行描述。

基于对计算机语言广义的理解, 可以把计算机系统看成是由多级“虚拟”计算机所组成的。从语言功能层次上划分, 计算机系统的层次结构如图 1-2 所示。

图 1-2 中的每一层对应一种“机器”, 为该层的操作者所使用。操作者通过该层的语言与“机器”对话或交互信息, 而不必关心其内层的结构和工作过程, 即计算机的透明性。

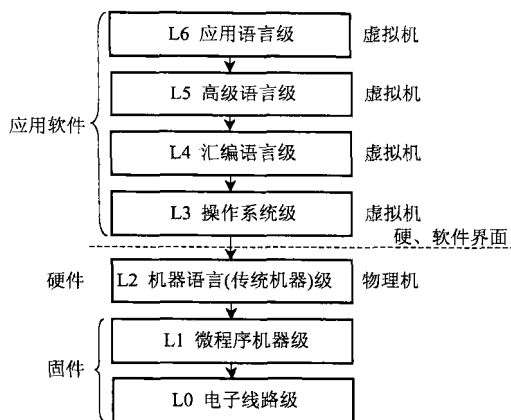


图 1-2 计算机系统的层次结构

L0 和 L1 级是计算机的底层硬件，指中央控制器。其中，L0 级由电子线路组成，用来实现微指令的功能，L1 是微程序机器级。L0 和 L1 级称为固件。

L2 是机器语言级机器，也称为物理机。程序员通过机器语言编程。向下进入 L1 级，每一条机器语言指令对应于一段微程序，通过执行其微程序，实现该指令的功能。

L3 是操作系统虚拟机。在这一级，多数指令是传统的机器语言指令，操作系统提供自己的命令集，如打开/关闭文件、读/写文件等。程序员主要使用操作系统的命令对文件进行操作，其功能由软件来实现，因此称为操作系统虚拟机。

L4 是汇编语言虚拟机。程序员通过对汇编语言指令的编程，来实现外部的功能要求。汇编语言程序需要翻译成 L3 和 L2 级语言，然后再由机器执行。这种翻译程序称为汇编程序。

L5 是高级语言虚拟机。程序员使用高级语言进行程序设计，然后再由编译或解释程序翻译成 L4 级或 L3 级语言，然后由下一级机器执行。

L6 是应用语言虚拟机，是为某些专门的应用而设计的，使用面向问题或对象语言，可设计出用于不同领域的虚拟机。应用语言编写的程序一般由应用程序包翻译到 L5 级上，然后再一级一级地翻译或解释执行。

虚拟机是指通过配置软件扩展功能后形成的与实际机无关的机器，它将提供给用户的功能抽象出来，脱离了物理机。虚拟机的组成如图 1-3 所示。

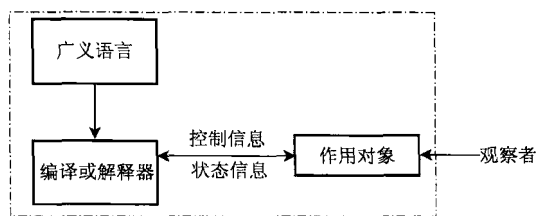


图 1-3 虚拟机的组成

在计算机系统中，计算机的层次是面向软件系统的，也就是将用户编写的应用描述（程序）经过多次变换使其成为控制计算机硬件的控制流，而每一次变换称为层。例如，Java 语言程序需要编译、解释后提交操作系统，最后变为控制计算机动作的控制流，如图 1-4 所示。

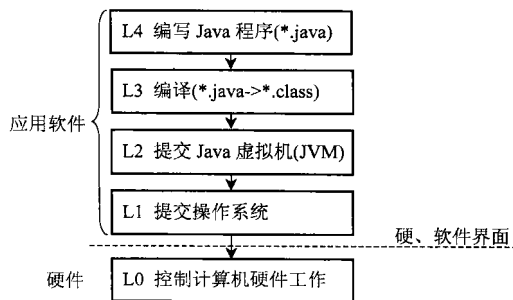


图 1-4 Java 控制过程

计算机系统的层次概念是计算机系统结构的基本内容，读者可结合 C 等高级语言理解计算机系统的层次概念。

1.2 计算机系统结构、组成与实现

计算机系统结构、计算机组成和计算机实现是三个不同的概念。

计算机系统结构是指计算机系统的软件与硬件之间的界面；计算机组成是指计算机系统结构的逻辑实现；计算机实现是指计算机组成的物理实现。它们各自包含有不同的内容，相互之间又有着密切的联系。

上述三种概念所包含的内容随不同的机器可能有所变化，在一些机器中属于系统结构的内容，在另一些机器中可能成为计算机组成或实现的内容。

例如，高速缓冲存储器 Cache 一般是作为计算机组成提出来的，其中存储的信息全部由硬件管理，对程序员来说是透明的；然而在有的机器中为了提高效率，配置了 Cache 操作指令，使程序员可通过指令参与 Cache 的管理。这样，Cache 就成为系统结构的一部分，对程序员不再透明。

按照 Amdahl 的定义，在一个系列机中不同档次的机器具有相同的系统结构。

1. 计算机组成与实现

计算机组成主要指机器级内部数据流和控制流的组成及逻辑设计。它与指令和编程等没有直接关系，主要是指计算机硬件系统在逻辑上的组织，与计算机操作的并行度、重叠度、部件的共享度等有关，直接影响系统的速度和价格。

计算机实现指计算机组成的物理实现。它着眼于采用什么样的器件技术和微组装技术实现计算机的设计要求，直接影响到最终计算机系统的速度和价格。

计算机组成是在分配给硬件的功能与概念性结构之后，研究如何组成其硬件体系，建立相互之间的联系，以实现机器语言级指令的功能与特性。其中包括各功能部件的配置、组成、相互之间的连接与相互作用等。

各功能部件的性能、参数以及相互之间的合理匹配是计算机组成的重要指标，包括运算器的组成、功能、运算速度，存储器的层次结构、容量、存取周期，虚拟存储技术、通道技术或 I/O 处理机、先行控制、流水线技术、多功能部件、阵列机以及并行多处理机技术等。

计算机组成是计算机系统结构的逻辑实现，包括机器内部数据流和控制流的组成及其逻辑

辑设计。在研究计算机组成时，将涉及到各种功能部件的组成逻辑、时序电路以及时钟信号的设计与选用。例如，在设计运算器时，既涉及到时序电路，又涉及到算法；在设计存储器时，既涉及到采用什么样的器件，又涉及到它的容量、外围电路和速度；在设计输入输出通道时，同样也涉及到采用什么样的器件及外围电路等。

另外，在构成计算机时还将涉及到信号的传输方式、模块的划分、插件与底板的连接，以及电源、冷却方式、组装工艺和技术等。这些统称为计算机组成的物理实现。

2. 外特性、内特性与微外特性

机器语言程序员所看到的计算机的概念性结构与功能特性被称为计算机的系统结构，也就是“外特性”。这种外特性是由硬件和固件来实现的，而它们本身则是由电子线路、逻辑门、寄存器等器件组成。对这些器件和电子线路的抽象，称为计算机系统的“内特性”，对应于计算机组成，其本身实际上就是计算机系统的实现。

计算机系统的内特性所涉及到的内容主要包括机器语言级的数据流和控制流的组成，CPU 与主存等部件的逻辑设计，各事件的排序方式与控制机构，以及各部件之间的联系等。它所涉及到的问题是如何合理地配置硬件功能和技术指标。

在设有微程序控制器的计算机系统中，执行指令的过程实际上就是执行微程序的过程。这对于微程序设计人员来说，所看到的外特性实际上就是微程序控制器的外特性，也称为“微外特性”。如果把它作为一个抽象级，可以视为硬件与固件之间的界面，也称为微系统结构。计算机的外特性、内特性与微系统结构的关系如图 1-5 所示。

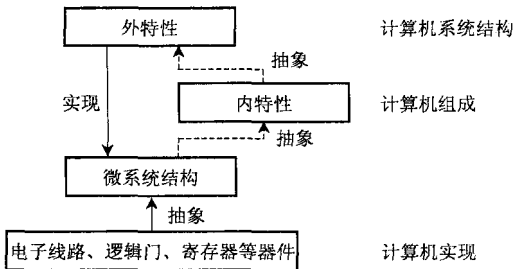


图 1-5 计算机的外特性、内特性与微系统结构的关系

由于计算机系统的外特性是对内特性的抽象，因此二者之间的映射关系是一对多的关系，即某一外特性可以映射多种内特性；而某一内特性也可以映射多种物理实现。

3. 计算机系统的组成与实现

计算机系统的组成既包括硬件系统，又包括软件系统。它的组成与实现如图 1-2 所示，即分为下层的物理机和上层的虚拟机。其系统的组成实际上就是各层的硬件和软件构成的统一体，由其硬件和软件实现各层次的功能。

计算机系统结构所解决的问题是计算机系统总体上、功能上需要解决的问题，而计算机组成要解决的是逻辑上如何具体实现的问题。如指令系统的确定属于计算机系统结构，而指令的具体实现则属于计算机组成。指令系统中要不要设置乘、除法指令是计算机系统结构要解决的问题，而一旦决定设置，具体用什么方法来实现乘、除法指令就属于计算机组成应解决的问题。

主存容量及编址方式的确定属于计算机系统结构，而具体如何构成主存则属于计算机组

成。即使是系统结构相同的计算机，具体按此系统结构构成的计算机在实现方法、性能及价格上也会有很大差别。

4. 计算机的透明性

在计算机中，客观存在的事物或属性从某个角度看不到，则称是透明的。计算机中的“透明”和社会生活中的透明涵义正好相反：社会生活中所称的“透明”是要公开，让人看得到，而计算机中的“透明”则是指看不到。

对目前多数的通用计算机来说，采用什么系列机、机器级和汇编级的指令系统，指令的条数、种类、功能、格式和编码，主存的容量、编址空间和所用的编址方式，硬件直接识别的数据类型、格式和种类，I/O 系统采用通道处理机还是外围处理机，I/O 设备的编址，I/O 接口的使用规定等，对计算机系统结构来说都是不透明的。而系列机内部有哪几种型号的计算机，指令的解释采用顺序、重叠还是流水，乘法指令是用加法器和移位器经一连串时钟脉冲控制实现其操作，还是用专门的高速乘法器来实现，主存采用单体还是多体交叉并行组织，数据总线线数的多少，即数据通路宽度的大小，通常采用组合型还是独立型，系统采用单总线还是多总线，控制器微操作信号是用微程序控制器产生，还是用组合逻辑电路控制器产生等，所有这些对计算机组成来说是不透明的。

5. 结构、组成与实现三者的相互影响

相同结构的计算机可以因速度不同而采用不同的组成，相同的组成也可有多种不同的实现。这取决于计算机系统的性能、价格及器件技术的状况。

结构不同会影响到可用的组成技术不同，而不同的组成反过来又会影响到系统结构的设计。因此，系统结构的设计必须结合应用来考虑，要为软件和算法的实现提供更多更好的硬件支持，同时要考虑可能采用和准备采用哪些组成技术，不能过多或不合理地限制各种组成、实现技术的采用与发展。

组成与实现可以折衷，它主要取决于器件的来源、厂家的技术特长和性能价格比能否优化。

1.3 计算机系统结构的分类

计算机系统结构的分类主要有以下三种方式。

- 1) 按“流”分类。
- 2) 按“并行级”和“流水线”分类。
- 3) 按“最大并行度”分类。

1.3.1 按“流”分类

按“流”分类法是 Flynn 教授在 1966 年提出的一种分类方法。它是按照计算机中指令流 (Instruction Stream) 和数据流 (Data Stream) 的多倍性进行分类。指令流是指机器执行的指令序列，数据流是指指令流调用的数据序列。多倍性是指在机器中最受限制 (瓶颈最严重) 的部件上，在同一时间单位中，最多可并行执行的指令条数或处理的数据个数。

根据计算机中指令流和数据流的情况，计算机系统可分成四种类型，即单指令流单数据流 (SISD)、单指令流多数据流 (SIMD)、多指令流单数据流 (MISD) 和多指令流多数据流 (MIMD)。这四种类型如图 1-6 所示。其中，CU 表示控制部件，PU 表示处理部件，MM 表

示主存模块，CS 表示控制流，DS 表示数据流，IS 表示指令流，SM 表示共享主存。

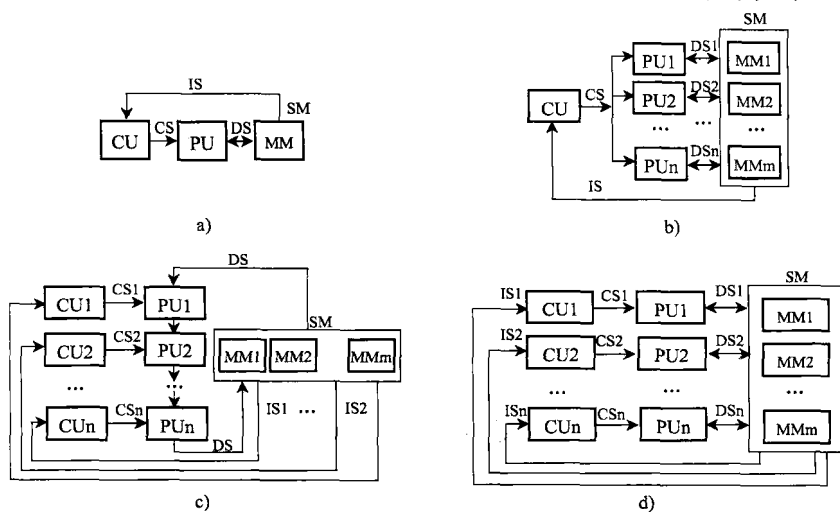


图 1-6 Flynn 分类法中四种类型的逻辑结构

- a) SISD 计算机 b) SIMD 计算机
c) MISD 计算机 d) MIMD 计算机

1. SISD 计算机

SISD 计算机如图 1-6a 所示，控制部件（CU）只有一个，处理部件（PU）也只有一个。在同一时间只能对一条指令进行译码和执行。由于主存模块（MM）也是一个，因此一次所能处理的数据也是一个。

2. SIMD 计算机

SIMD 计算机如图 1-6b 所示，控制部件只有一个，在同一时间只能对一条指令进行译码和执行；但是有多个处理部件，可同时对多个数据进行处理，即多数据流。例如，并行处理机 ILLIAC-IV、ICL-DAP、CRAY-1、YH-1 及 CM-2 等。

3. MISD 计算机

MISD 计算机如图 1-6c 所示，控制部件有多个，处理部件有多个，同一时间可对多条指令进行译码和执行，即多个指令流。但是只有一个数据通路，仅对一个数据流进行处理。有人认为这种结构不存在；也有人认为，超级标量机、超长指令字计算机、脉动阵列机可归属于 MISD 计算机。

4. MIMD 计算机

MIMD 计算机如图 1-6d 所示，有多个控制部件和多个处理部件，可对多个数据流进行处理。目前，大多数多处理机系统和多计算机系统都属于这种类型。

多个处理机共享一个主存空间，称为紧耦合 MIMD 系统；不直接共享一个主存空间的，称为松耦合 MIMD 系统。实际上，MIMD 计算机是多个独立的 SISD 计算机的集合，如 IBM 370/168MP、CRAY X-MP、YH-2 等。

1.3.2 按“并行级”和“流水线”分类

按“并行级”和“流水线”分类法是 Wolfgang Handler 在 1977 年提出的。在计算机系统