

计算机体系结构

Computer Architecture

主 讲：刘超

中国地质大学（武汉）计算机学院

教材及主要参考书目

- 《计算机系统结构教程》（第二版）
 - 张晨曦等 编著
 - 清华大学出版社

其他参考书目

- 《计算机系统结构——量化研究方法》第5版
 - Hennessy, Patterson
- 《云计算与分布式系统（从并行处理到物联网）》
 - 黄凯等 机械工业出版社

主要内容、课时安排

- 第一章：计算机系统结构的基础知识
- 第二章：指令系统的设计
- 第三章：流水线技术
- 第四章：向量处理机
- 第五章：指令级并行及其开发——硬件方法
- 第六章：指令级并行及其开发——软件方法
- 第七章：存储系统
- 第八章：输入输出系统
- 第九章：互连网络
- 第十章：并行处理机与多处理机

考试、成绩

- 考试

- 笔试（闭卷）

- 成绩

- 笔试成绩占60%
 - 平时成绩占40%（到课情况、作业、测试等）

课程特点、推荐的学习方法

○ 课程特点

- 概念多
- 比较抽象

○ 推荐的学习方法

- 把握脉络（根据教材大纲来学习）
- 掌握知识点（基本概念、基本公式）
- 独立完成习题（加深理解）

第一章 计算机系统结构基本概念

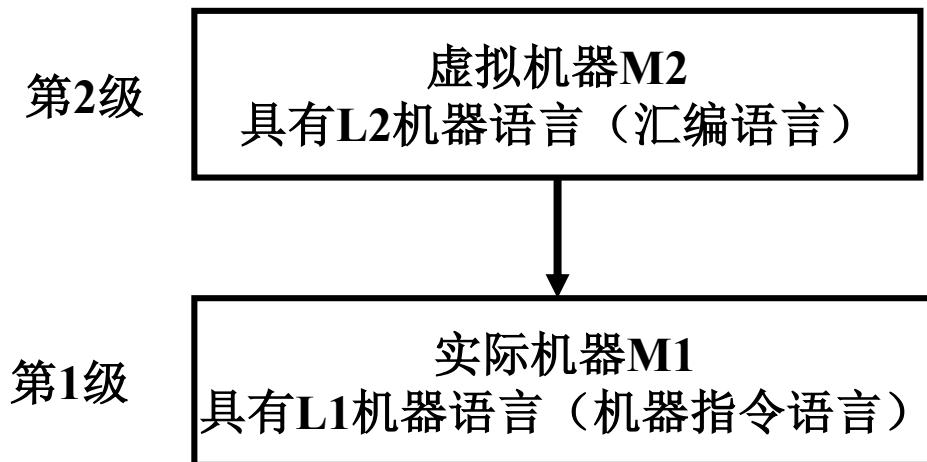
- 1.1 计算机系统结构的层次性与透明性
- 1.2 计算机系统结构、组成与实现
- 1.3 计算机系统结构的分类
- 1.4 计算机系统结构设计技术
- 1.5 计算机系统的性能评价
- 1.6 计算机系统结构的发展
- 1.7 并行系统结构概念
- 1.8 小结
- 1.9 习题

1.1 计算机系统结构的层次性与透明性

- 1) 层次结构的划分
- 2) 各机器级的实现技术
- 3) 透明性

1) 层次结构的划分

- **机器**：指能够存储和执行程序的算法和数据结构的集合体
- **实际机器**：由硬件和固件实现的机器。
 - 固件（Fireware）是一种具有软件功能的硬件
- **虚拟机器（Virtual Machine）**：以软件为主实现的、构筑在实际机器之上的机器。



语言和虚拟机之间存在对应关系

- 计算机语言可以分很多级

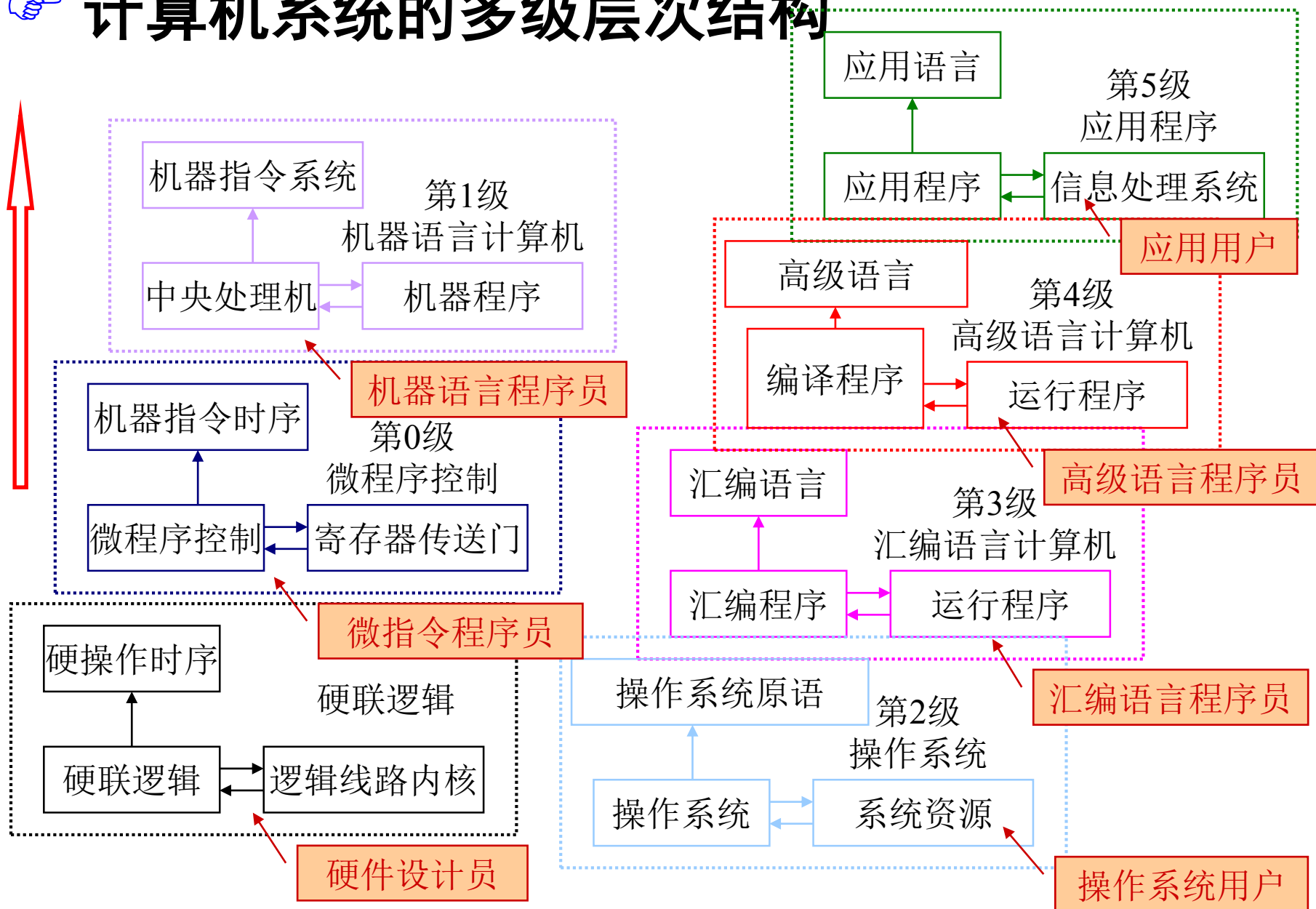
- 低级语言简单
- 高级语言复杂，功能强大

- 机器也可按照不同层次的语言划分层次

- 由低到高分别为微程序机器、传统机器、操作系统机器、汇编语言机器、高级语言机器、应用语言机器
- 对某一级的程序员来讲，都可以将此机器级看成一台独立的机器，可以使用相应机器级的语言
- 有 n 层不同的语言，就对应应有 n 层不同的机器。



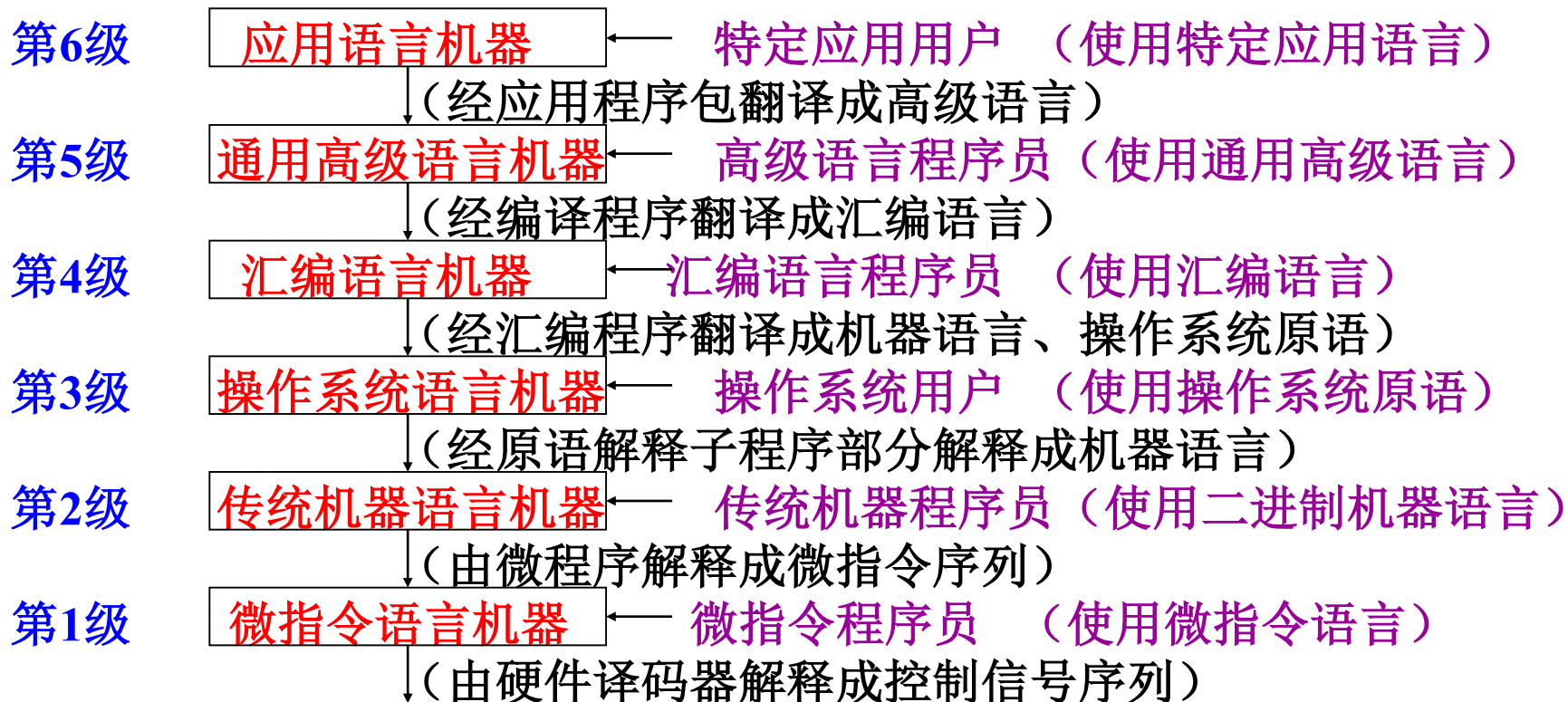
计算机系统的多级层次结构



2) 各机器级的实现技术

- 低层机器级为高层机器级的实现提供支持。实现的技术就是**翻译**(Translation)和**解释**(Intepretation)。
 - **翻译**：先用转换程序将高一级机器上的程序**整个地变换**成为低一级机器上可运行的等效程序，然后再在低一级机器级上去实现的技术。
 - **解释**：在低一级机器上用它的一串语句或指令来仿真高一级机器级上的一条语句或指令的功能，通过对高一级机器语言程序中的每条语句或指令**逐条解释**来实现的技术。
 - **解释执行比翻译执行所花的时间多，但占用的存储空间较少。**

多级层次模型的实现技术



○ 多级层次结构的作用

- 有利于正确理解计算机系统的工作，明确软件、硬件和固件在计算机系统中地位和作用
- 有利于正确理解各种语言的实质及其实现
- 有利于探索虚拟机器新的实现方法，设计新的计算机系统

3) 透明性

☞ 透明性现象

☞ 一种本来是存在的事物或属性，但从某种角度

看似不存在，称为透明性（Transparency）现象。

- 在计算机系统中，低层机器级的概念性结构和功能特性，对高级机器级的用户（高级语言程序员）来说是透明的。
- 从某一层的使用者角度来看，只需通过该层的语言就可以使用机器，而不需要关心其下层的机器级是如何工作和实现其功能的。

1.2 计算机系统结构、组成与实现

- 1) 计算机系统结构
- 2) 计算机组成与实现
- 3) 结构、组成与实现之间的相互影响
- 4) 计算机系统结构在计算机学科中的作用

1) 计算机系统结构

- **计算机系统结构**（Computer Architecture）是指计算机多级层次结构中**机器语言机器级的结构**，它是**软件和硬件/固件的主要界面**。是由机器语言程序、汇编语言源程序、高级语言源程序翻译生成的**机器语言目标代码能在机器上正确运行所应具有的界面结构和功能**。
- 计算机系统结构的**研究目标**：主要研究软件、硬件功能分配和确定软件与硬件之间的界面，即哪些由硬件实现，哪些由软件实现。

Computer Architecture - Definition

○ **Computer Architecture = ISA + MO**

○ **Instruction Set Architecture**

- What the executable can “see” as underlying hardware
- Logical View

○ **Machine Organization**

- How the hardware implements ISA ?
- Physical View

计算机系统结构的含义

○ 计算机系统结构的定义

- 1964年，IBM360系列机的主设计师Amdahl提出了系统结构的定义：

计算机系统结构就是程序员所看到的计算机的基本属性，即硬件子系统的概念结构及其功能特性。

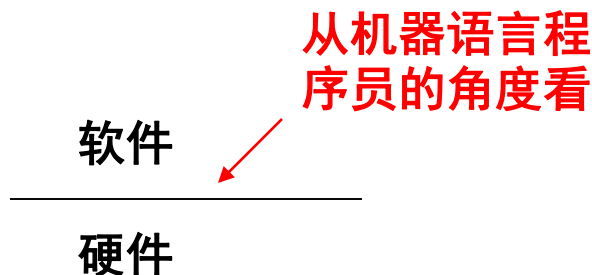
- 争议焦点？

不同的层次观察者看到的特性不同，这里的程序员到底是指哪一级的程序员呢？

👉 Amdahl定义的系统结构特性

在Amdahl定义中的程序员主要指**机器语言**和**编译程序**设计者，一般认为系统结构特征包括以下几个方面：

- Ψ 指令系统
- Ψ 数据表示
- Ψ 操作数的寻址方式
- Ψ 寄存器的构成定义
- Ψ 中断机构和例外条件
- Ψ 存储体系和管理
- Ψ I/O结构
- Ψ 机器工作状态的定义和切换
- Ψ 信息保护



系统结构特性

- 1. **数据表示**（硬件能够直接识别和处理的数据类型和格式等）；
- 2. **寻址方式**（包括最小寻址单位、寻址方式的种类、表示和地址计算等）；
- 3. **寄存器组织**（包括各种寄存器的配置数目和功能定义）；
- 4. **指令系统**（包括机器指令的操作类型和格式、指令间的排序方式和控制机构等）；
- 5. **存储系统**（包括编址方式、存储容量、最大编址空间等）；
- 6. **中断机构**（中断源的分类管理和中断服务功能设计）；
- 7. **机器工作状态**（如管态、目态等）的定义和切换；
- 8. **输入/输出子系统**结构与管理；
- 9. **信息保护手段**及其实现。

系统结构的研究范围

- **特性**——指令系统、数据表示、寻址方式、寄存器集等
- **界面设计**——确定硬件功能。
- **新型系统结构设计**——并行性、数据流、推理机、神经网络
- **性能成本评价**——运算速度、存储容量、I/O带宽

2)计算机组成与实现

- **计算机组成**（Computer Organization）：
是计算机系统结构的**逻辑实现**，主要研究硬件系统在逻辑上是如何组织的。包括机器内部的数据流和控制流的组成以及**逻辑设计**等。
- 着眼于机器内各事件的排序方式与控制机构、各部件的功能以及各部件之间的联系。



○ 计算机组成设计要确定：

- 数据通路宽度
- 专用部件的设置
- 各种操作对部件的共享程度
- 功能部件的并行度
- 控制机构的组织方式
- 缓冲、排序技术
- 预测、预判技术
- 可靠性技术

- **计算机实现**（Computer Implementation）：
是指计算机组成的**物理实现**，主要**着眼于器件技术和微组装技术**。包括处理机、主存等部件的物理结构，器件的集成度和速度，线路划分与连接，制造技术与工艺等。
- **器件技术**的发展在计算机实现技术中起着主导作用。

三个层次

- 计算机系统结构——特性设计
- 计算机组成——逻辑设计
- 计算机实现——物理设计，如器件选择，机械、封装、印板、机箱、电源、冷却设计

3)结构、组成与实现之间的相互影响

- 具有相同系统结构的计算机可以采用不同的组成。
 - 例如具有相同指令系统的计算机，指令的取出、译码、取操作数、运算、存结果可采用顺序方式进行解释，也可采用流水线方式在时间上重叠来提高速度。
 - 再如：乘法指令可以利用专用乘法器来实现，也可以通过加法器重复相加、移位来实现。



○ 一种计算机组成可以有多种不同的实现方法。

- 取决于计算机系统性能和价格的要求以及器件技术的发展情况。
- 例如：主存器件的选择上，可选择TTL型器件，也可以采用MOS器件；既可以采用单片VLSI集成电路，也可采用多片LSI或MSI集成电路组成；可选用高速芯片，也可选择低速芯片。

○ 反过来，计算机实现和计算机组成也会影响计算机系统结构。

- 例如：由于器件技术的发展，系统结构由大型机向中、小型甚至微型机上迁移的速度加快。
- 系统结构的设计应尽量减少对各种组成技术和实现技术的限制，同一种系统结构，应该既能够在高档机上用复杂的、较贵的组成技术实现，也可在低档机上采用简单的、便宜的组成实现。例如IBM370系列机具有相同的系统结构，不同档次的机器，其组成和实现都不同。

○ 三者不同，但又有密切联系。随着时间推移，三者之间界限越来越模糊。例如，现在已经将功能模块设计移入到系统结构的考察范畴。

○ 练习：对于计算机系统结构，下列哪些是不透明的？

- 存储器的模 m 交叉存取；浮点数据表示；I/O系统是采用通道还是外围处理机方式；数据总线宽度；字符行运算指令；阵列运算部件；通道是采用结合型还是独立型；单总线结构；访问方式保护；程序性中断；串行、流水控制方式；堆栈指令；存储器最小编址单位；Cache存储器。
- 解答：对于计算机系统结构不透明的包括：浮点数据表示；I/O系统是采用通道还是外围处理机方式；字符行运算指令；访问方式保护；程序性中断；堆栈指令；存储器最小编址单位。

系统结构的例子

系统结构	产品
Digital Alpha (V1, V3) 1992-97	DEC21064, 21164, 21264
HP PA-RISC (V1.1, V2.0) 1986-96	HP3000(930,950), HP9000(800,850) PA7100, PA8000
Sun Sparc (V8, V9) 1987-95	TI SuperSPARC TMS390Z50 (in Sun SPARCstation 20)
MIPS	MIPS 2000, 3000, 4000, 8000, 10000(in SGI workstation)
IBM PowerPC	PPC750, 740, 604, 603, 601, RS/6000
Intel IA-32, IA-64 1978-96	I386, I486, P, PII, PIII, P4, Itanium
AMD x86-64	SledgeHammer