

计算机组织结构

1 计算机系统概述

任桐炜

2022年9月6日



南京大学
NANJING UNIVERSITY

教材对应章节



第1章 计算机系统概述



第1章 导论 第2章 计算机的演变和性能

计算机无处不在



什么改变了，什么没有变？

回顾: 什么是计算机?



什么是计算机？

- 计算机是指 “通用电子数字计算机（general-purpose electronic digital computer）”
 - 通用：不是一种专用设备
 - 所有计算机在给予足够时间和容量存储器的条件下，都可以完成同样的计算
 - 当希望完成新的计算时，不需要对计算机重新设计
 - 电子（非机械）：采用电子元器件
 - 数字（非模拟）：信息采用数字化的形式表示
- 计算机系统
 - 硬件：处理器，存储器，外部设备，……
 - 软件：程序，文档，……



什么是“组织”与“结构”？



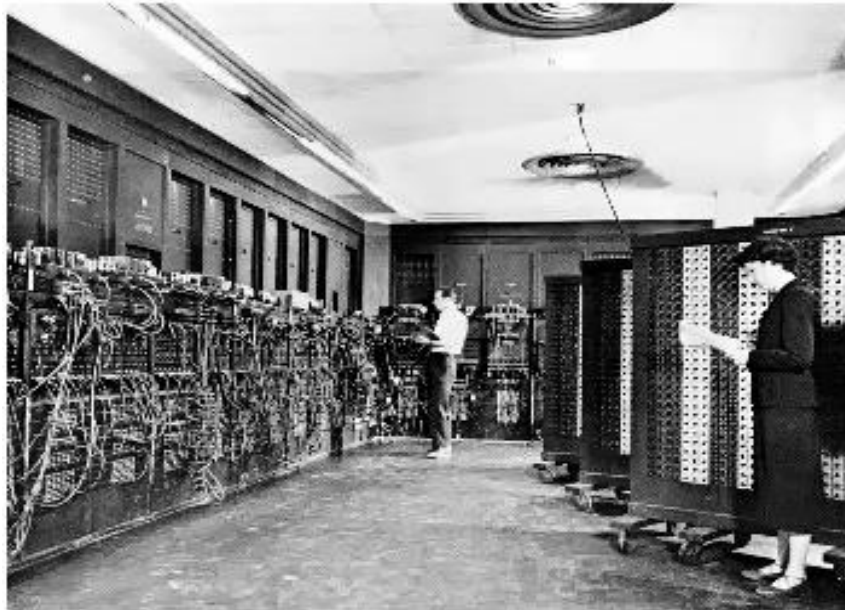
组织与结构

- **组织 (Organization)** : 对编程人员**不可见**
 - 操作单元及其相互连接
 - 包括: 控制信号, 存储技术,
 - 例如: 实现乘法是通过硬件单元还是重复加法?
- **结构 (Architecture)** : 对编程人员**可见**
 - 直接影响程序逻辑执行的属性
 - 包括: 指令集, 表示数据类型的位数,
 - 例如: 是否有乘法指令?



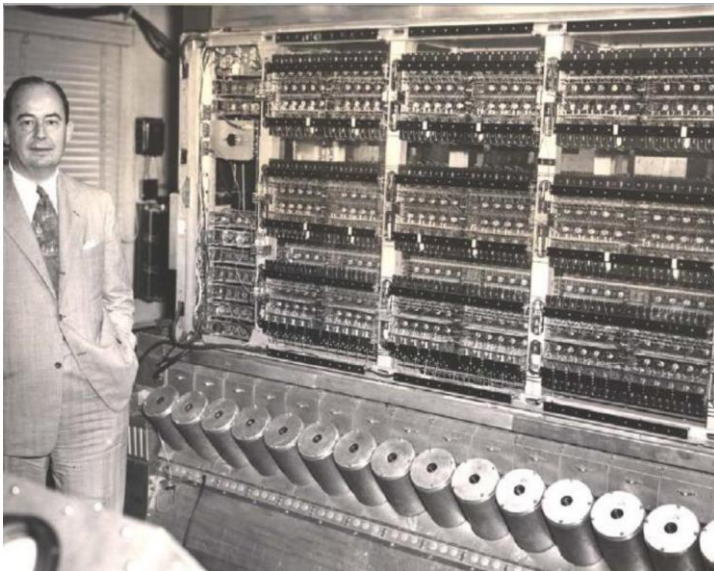
计算机简史

- 第一代：真空管（1946-1957）
 - ENIAC（1946-1955）：第一台通用计算机，十进制，手动编程
 - Electronic Numerical Integrator And Computer
 - ABC（1937）：世界上第一台电子计算机，不可编程
 - Atanasoff–Berry Computer

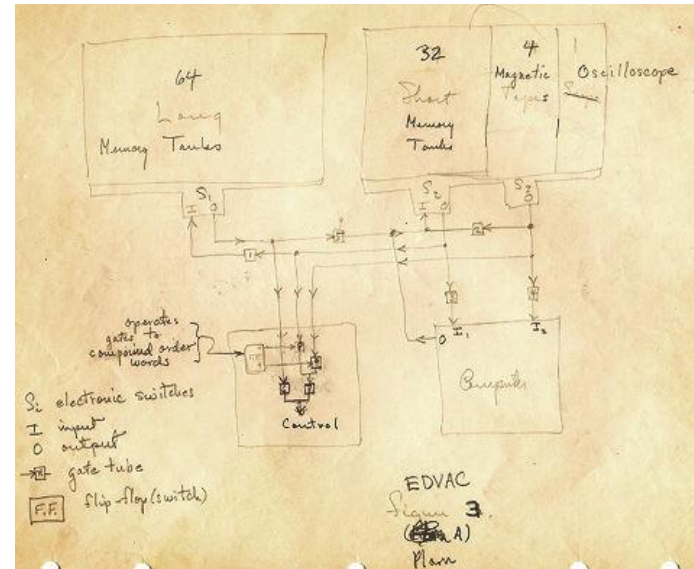


计算机简史

- 第一代：真空管（1946-1957）
 - EDVAC（1944-1951）：**冯·诺伊曼结构**
 - Electronic Discrete variable Automatic Computer



冯·诺伊曼（von Neumann）



The First Draft Report on the EDVAC
von Neumann (1945)

回顾: 什么是“冯·诺伊曼结构”？



冯·诺伊曼结构

- 又称为“普林斯顿结构”
- 基本原则
 - 计算机由运算器、存储器、控制器、输入设备、输出设备组成
 - 主存储器：地址和存储的内容
 - 算术逻辑单元 / 处理单元：执行信息的实际处理
 - 程序控制单元 / 控制单元：指挥信息的处理
 - 输入设备：将信息送入计算机中
 - 输出设备：将处理结果以某种形式显示在计算机外
 - 指令和数据以同等地位存放在存储器内，并可按地址访问
 - 指令和数据均用二进制表示

存储
程序
思想

如何区分指令和数据？



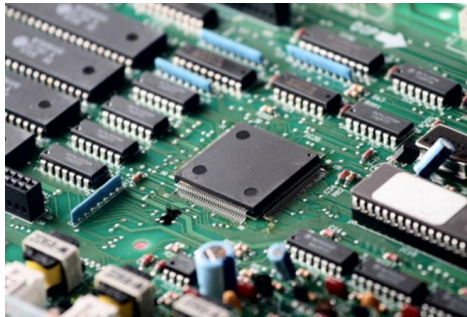
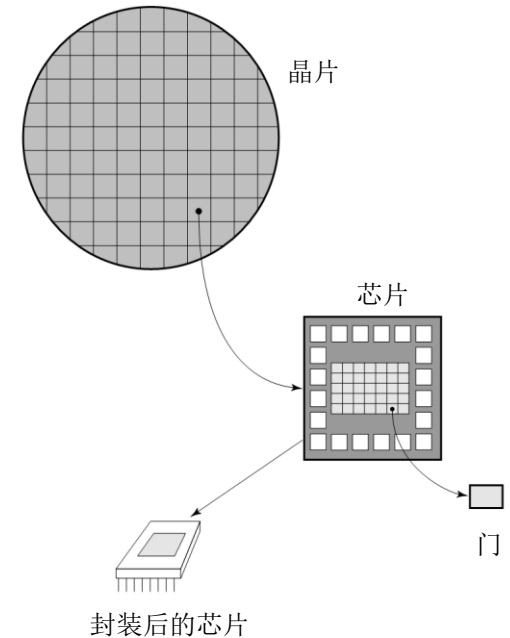
计算机简史

- 第二代：晶体管（1958-1964）
 - NCR和RCA, IBM 7000：晶体管体积更小、更便宜、发热更少，而且能以与真空管相同的方式建造计算机
 - 采用更复杂的算术逻辑单元和控制器，使用高级编程语言，并为计算机提供了系统软件



计算机简史

- 第三代及后续几代：集成电路（1965-现在）
 - 思想：
 - 将整个电路安装在很小的硅片上，而不是用分立元件搭成的等价电路
 - 晶体管可以通过金属化过程相互连接，以形成电路
 - 规模：
 - 小 → 大 → 超大 → 巨大 ...



回顾: 什么是“摩尔定律”？



摩尔定律

- **摩尔定律** (Gordon Moore, 1965)
 - 单芯片上所能包含的晶体管数量每年翻一番 (1965-1969) / 1970年起减慢为每18个月翻一番



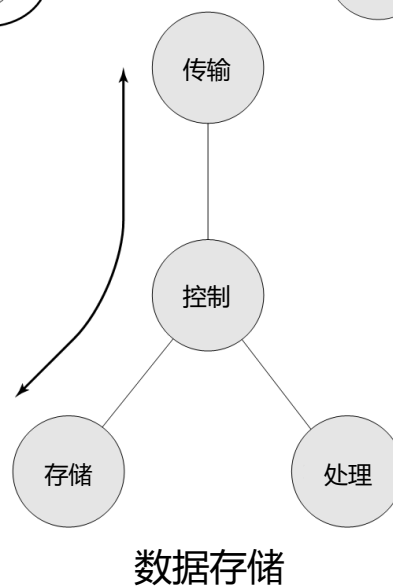
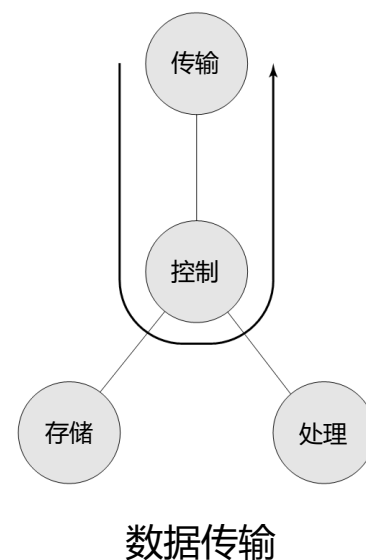
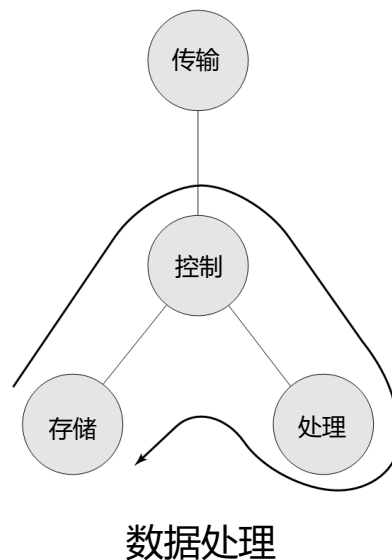
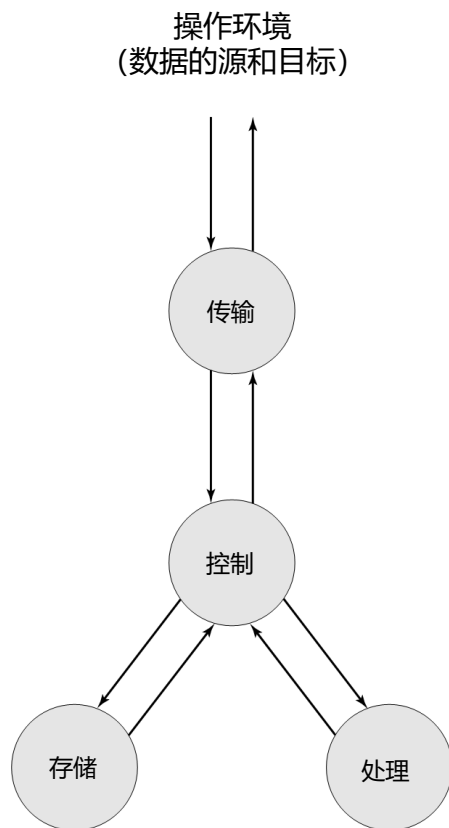
摩尔定律

- **摩尔定律** (Gordon Moore, 1965)
 - 单芯片上所能包含的晶体管数量每年翻一番 (1965-1969) / 1970年起减慢为每18个月翻一番
 - 影响
 - 由于单个芯片的成本几乎不变，计算机逻辑电路和存储电路的成本显著下降
 - 这里“成本”是指原料，但制作成本是不断增加的
 - 更小的尺寸带来更多灵活性和可能性
 - 更强的计算能力带来更多可能性
 - 减小了对电能消耗和冷却的要求
 - 集成电路上的内部连接比焊接更可靠，芯片间的连接更少



计算机发展：不变与变

- 基本功能



计算机发展：不变与变

- 运算速度

发展阶段	大致时间	技术	典型速度（每秒的操作次数）
1	1946–1957	真空管（电子管）	40,000
2	1958–1964	晶体管	200,000
3	1965–1971	小规模和中规模 集成电路	1,000,000
4	1972–1977	大规模集成电路	10,000,000
5	1978–1991	超大规模集成电路	100,000,000
6	1991–	巨大规模集成电路	1,000,000,000



计算机性能

- 计算机的关键参数之一
 - 性能，成本，尺寸，安全性，可靠性，能耗，
- 性能评价标准
 - CPU：速度
 - 存储器：速度，容量
 - I/O：速度，容量
 -

计算机设计的主要目标是：提高CPU性能



CPU性能

- 系统时钟

- **时钟频率** / 时钟速度 (单位: Hz) : 计算机在单位时间内 (例如1秒钟) 执行最基本操作的次数
- **时钟周期** / 周期时间 (单位: s) : 执行每次最基本操作的时间
 - 时钟滴答 (有时也称为 “时钟周期”) : CPU 中用于同步执行最基本操作的单个电子脉冲
 - 因此, 周期时间即为两个电子脉冲之间的时间



CPU性能

- 指令执行
 - 处理器由时钟驱动，时钟具有固定的频率 f ，或等价于固定的时钟周期 t
 - 如果用 CPI_i 来表示指定类型 i 所需要的周期数，用 I_i 表示在某一给定程序中所执行的 i 类指令的条数，则计算整个CPI如下：

$$CPI = \frac{\sum_{i=1}^n (CPI_i \times I_i)}{I_c}, \quad I_c = \sum_{i=1}^n I_i$$

- 执行一个给定程序的处理时间表示为：

$$T = I_c \times CPI \times t$$



CPU性能

- 每秒百万条指令 (MIPS) :

$$MIPS = \frac{I_c}{T \times 10^6} = \frac{f}{CPI \times 10^6}$$

- 每秒百万条浮点操作 (MFLOPS) :

$$MFLOPS = \frac{N_{floating-point\ op}}{T \times 10^6}$$



CPU性能

- 基准程序
 - 使用一系列基准程序来测量系统的性能
 - 平均结果：
 - 算数平均值: $R_A = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m R_i$
 - 调和平均值: $R_H = \frac{m}{\sum_{i=1}^m \frac{1}{R_i}}$



总结

- 概念
 - 计算机, 组织, 结构
- 计算机发展历史
 - 真空管 → 晶体管 → 集成电路
 - 冯·诺伊曼结构, 摩尔定律,
- 计算机发展
 - 基本功能, 运算速度
- 计算机性能
 - CPU性能评价: 时钟频率, CPI, MIPS, MFLOPS, 基准程序



谢谢

rentw@nju.edu.cn

