

计算机系统结构

Computer Architecture

Ch.00 - Introduction

课程介绍

Dr. Borui Li
李博睿 博士

2026年秋季·东南大学





- **本次课回答的问题**
 - Q1 (Why): 为什么要学习计算机系统结构?
 - Q2 (What): 什么是计算机系统结构?
 - Q3 (How): 如何学习计算机系统结构?
- **本次课主要内容**
 - 课程基本信息概述
 - 计算机系统结构的历史、现在和未来





- **李博睿 Borui Li**
 - Associate Professor @ Southeast University, since 2022
 - PhD from Zhejiang University, (partially) worked at Alibaba
 - <https://www.liborui.cn/>
 - libr@seu.edu.cn
- **研究兴趣 Research interests**
 - 具身智能记忆与系统、端侧AI Infra



课程概要 Brief



- **时间安排**

- 1-16周，周二：6-7节
- 地点：教四-101

- **教学方式**

- 理论教学（32学时）

- **考核方式**

- 作业（30%）：随堂练习+课后作业
- 测验（20%）：课堂小测 或 课堂主题讨论
- 期末考试（50%）：选择、判断、简答、应用题

- **课程网站**

- <https://www.liborui.cn/courses/ca/2026fall/>



课程主页二维码



联系方式 *Contact*

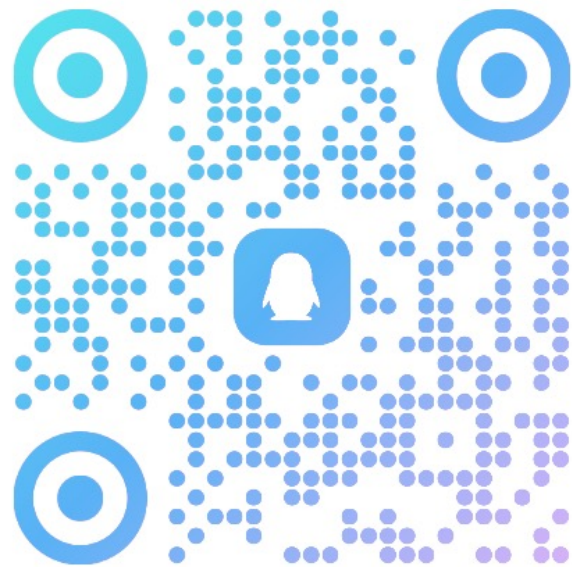
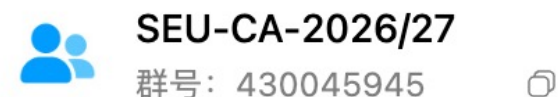


- **课程群**

- 群名SEU-CA-2026/27秋季
- 群号430045945

- **答疑**

- 随堂课后答疑
- libr@seu.edu.cn



主要教材 *Textbook*



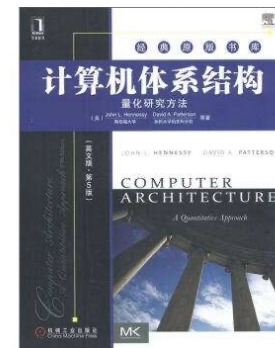
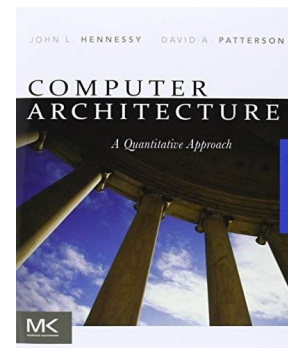
- **计算机系统结构教程（第3版）**

- 张晨曦 等编著
- 清华大学出版社



- **Computer Architecture: A Quantitative Approach**

- J. Hennessy、D. Patterson
- 《计算机体系结构：量化研究方法》
- 计算机体系结构教学科研人员的重要参考



主要教材 *Textbook (Cont'd)*



- We're on the cusp of another **Golden Age** that will significantly improve cost, performance, energy, and security.
- **A New Golden Age for Computer Architecture.**

-- Hennessy and Patterson, Turing Award Lecture 2018



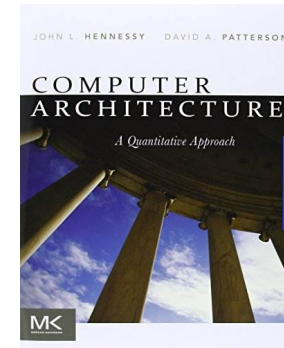
John L. Hennessy



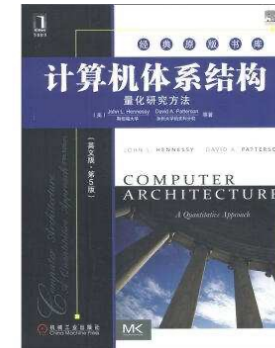
David A. Patterson



2017 Turing Award



Computer Architecture:
A quantitative Approach



推荐读物 *Reading Materials*

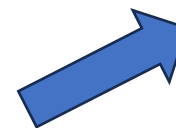


• 教辅

- 计算机系统结构学习指导与题解
- 计算机系统结构(第3版)课后答案

• 参考

- **AI Infra的seminar: <https://seu-sigmlsys.github.io/>**
- Parallel Computer Architecture: A Hardware/Software Approach
- Synthesis Lectures on Computer Architecture
 - Mark D. Hill 主编的一系列讲义，通过100页左右的中等篇幅浓缩了近年体系结构的重要设计思想，主要内容来自于顶级会议 ISCA、HPCA、MICRO、ASPLOS等发表的论文





- **本次课回答的问题**
 - Q1 (Why): 为什么要学习计算机系统结构?
 - Q2 (What): 什么是计算机系统结构?
 - Q3 (How): 如何学习计算机系统结构?
- **本次课主要内容**
 - 课程基本信息概述
 - 计算机系统结构的历史、现在和未来





***Q1 (Why):* 为什么要学习计算机系统结构?**

为什么要学习计算机系统结构？



- 因为我需要它的学分



学习计算机系统的目的 (1)



- 《计算机系统结构》帮助你更好的理解计算机硬件



学习计算机系统结构的目的 (1)



- 《计算机系统结构》帮助你更好的理解计算机硬件



别人看到的.....



我们看到的.....

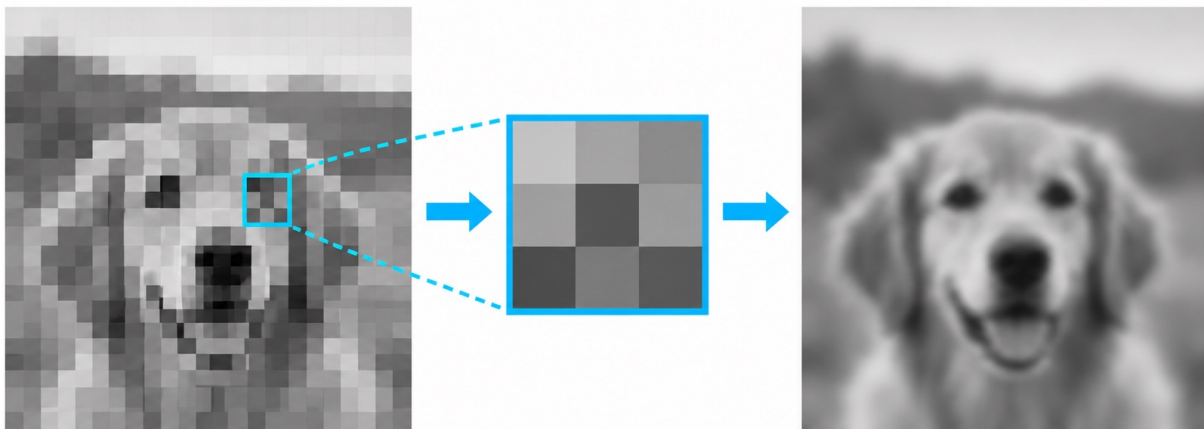
性能提升 10% 到 15%、2nm工艺、WMCM 晶圆级多芯片模块、16核神经网络处理器



学习计算机系統結構的目的 (2)



- 用神经网络在手机上实现30fps的图像处理



```
for (y = 1; y < H-1; y++)  
  for (x = 1; x < W-1; x++)  
    out[y][x] =  
       $\sum \text{img}[y+i][x+j] * k[i][j];$ 
```

30 FPS $\Rightarrow$ 每帧约 33 ms

挑战：跑得快，还不能烫手、耗电、卡 UI。

学习计算机系统结构的目的 (2)



- 将数组 $x[k][j]$ 的所有元素乘2，哪种方式更快？

```
1 // 先访问列，再访问行
2 for(j=0; j<1000; j=j+1)
3     for(k=0; k<5000; k=k+1)
4         x[k][j]=2 * x[k][j];
```

```
1 // 先访问行，再访问列
2 for(k=0; k<5000; k=k+1)
3     for(j=0; j<1000; j=j+1)
4         x[k][j]=2 * x[k][j];
```



学习计算机系统结构的目的 (2)



• 两个数组元素运算任务

- $a = 1/b * c$
- $d = a + c$

```
1 // 两个for循环分别访问数组a和数组c
2 for(i=0; i<N; i++)
3     for(j=0; j<N; j++)
4         a[i][j]=1/b[i][j]*c[i][j];
5 for(i=0; i<N; i++)
6     for(j=0; j<N; j++)
7         d[i][j]=a[i][j]+c[i][j];
```

```
1 //在同一个循环中将两个任务一起做
2 for(i=0; i<N; i++)
3     for(j=0; j<N; j++){
4         a[i][j]=1/b[i][j]*c[i][j];
5         d[i][j]=a[i][j]+c[i][j];
6     }
7 }
```



学习计算机系统结构的目的 (2)



- 《计算机系统结构》帮助你写更好的代码
 - 为什么同样的程序，我写出的运行慢，TA写出的运行快？

```
1 // 先访问列，再访问行
2 for(j=0; j<1000; j=j+1)
3     for(k=0; k<5000; k=k+1)
4         x[k][j]=2 * x[k][j];
```

```
1 // 先访问行，再访问列
2 for(k=0; k<5000; k=k+1)
3     for(j=0; j<1000; j=j+1)
4         x[k][j]=2 * x[k][j];
```

```
1 // 两个for循环分别访问数组a和数组c
2 for(i=0; i<N; i++)
3     for(j=0; j<N; j++)
4         a[i][j]=1/b[i][j]*c[i][j];
5 for(i=0; i<N; i++)
6     for(j=0; j<N; j++)
7         d[i][j]=a[i][j]+c[i][j];
```

```
1 //在同一个循环中将两个任务一起做
2 for(i=0; i<N; i++)
3     for(j=0; j<N; j++){
4         a[i][j]=1/b[i][j]*c[i][j];
5         d[i][j]=a[i][j]+c[i][j];
6     }
7 }
```

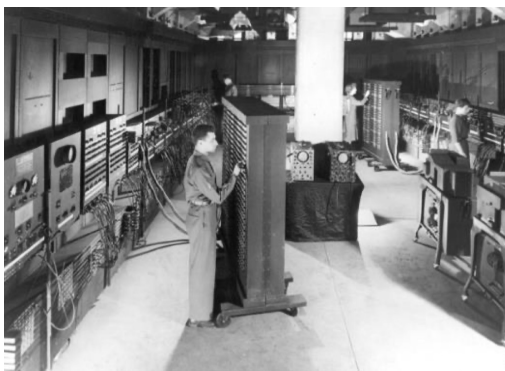
学了第5章《存储系统》，大家会有更深刻的理解



学习计算机系统的目的



- 《计算机系统结构》给你有关“软件到硬件”的全部
- 让你从更加“系统”的角度看待计算机，体会“聚沙成塔”的快乐
 - 数据表示、I/O、存储系统、指令系统、CPU、.....



ENIAC, 1946-1955



家用电脑



神威太湖之光



Q1 (Why): 为什么要学习计算机系统结构?
***Q2 (What):* 什么是计算机系统结构?**

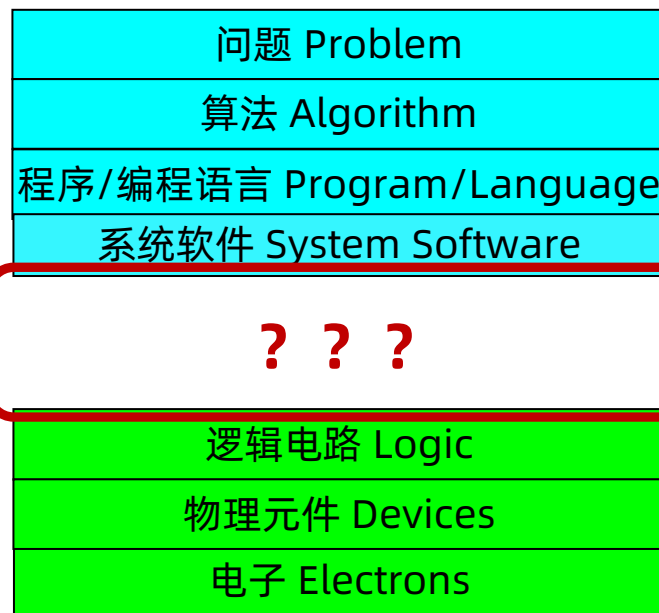
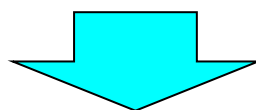
什么是计算机系统结构



- Computer **Architecture**



计算机是如何解决问题的？

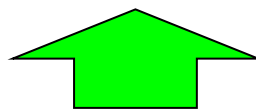


《算法设计与分析》

C/C++、Python、Java、.....

《操作系统》

《数字逻辑电路》、《组成原理》



1960年代的计算机



- 在1960年代初期，IBM至少4条不同的计算机产品线
 - 701 → 7094
 - 702 → 7080
 - 650 → 7074
 - 1401 → 7010
- 每个系统都有它自己的
 - 编程方式（指令集）
 - I/O系统和外存（磁带、磁鼓、硬盘）
 - 编译器、应用程序库
 - 针对市场（大/小型商业计算、科学计算）



IBM System/360的诞生



- **互不兼容的产品**
 - 企业开发工作量大，重复开发内容多
 - 用户体验糟糕，更换设备需要重新更换所有外设与程序！
- **IBM决心变革，打造单一的、兼容的系列机器**
 - 花费50亿美元（相当于今天400亿美元）
- **System/360成为了事实的标准**
 - 体系结构与指令集
 - 中断处理与优先级
 - 统一数据表示、外设标准接口
 -





• 处理器

- 16个通用32位寄存器
- 4个浮点运算64位寄存器

• 存储

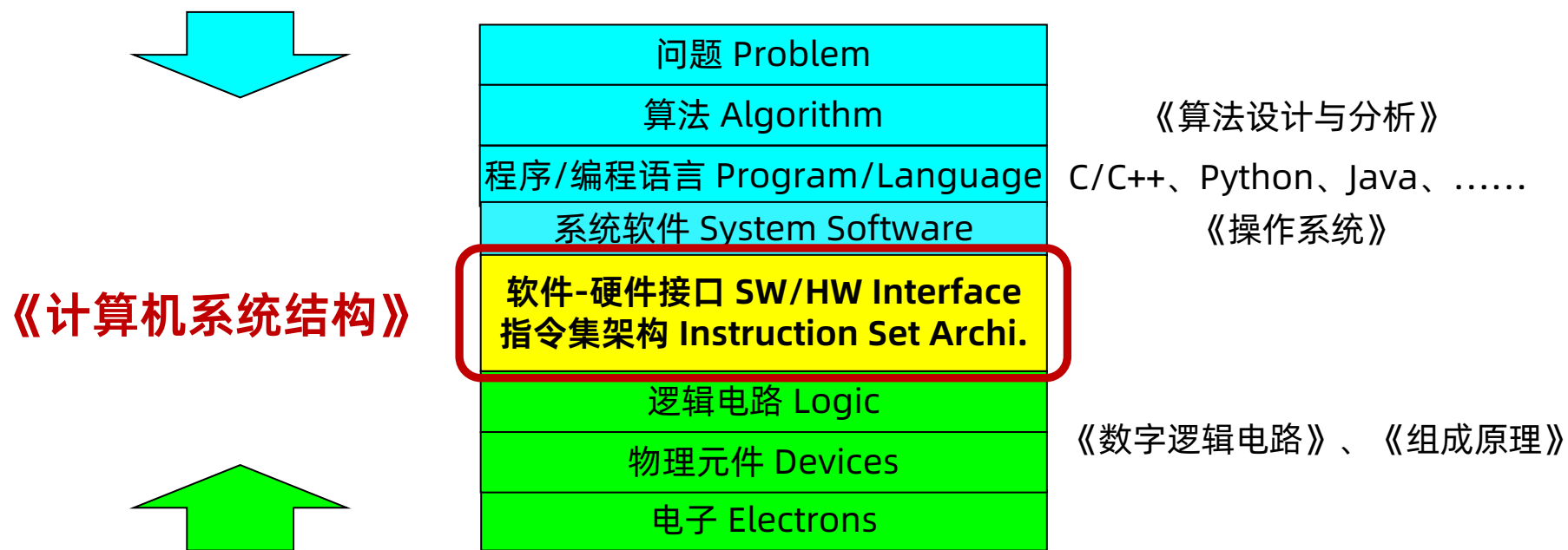
- 不同型号拥有8K-512K不同的存储大小

• 数据格式

- 8bit为1字节，16bit为半字长，32bit为全字长
- IBM360是现在8bit字节的鼻祖！

问题 Problem
算法 Algorithm
程序/编程语言 Program/Language
系统软件 System Software
软件-硬件接口 SW/HW Interface 指令集架构 Instruction Set Archi.
逻辑电路 Logic
物理元件 Devices
电子 Electrons





什么是计算机系统结构? @1964



- 吉恩·阿姆达尔 Gene Amdahl

- 1922.11~2015.11

- IBM System/360开发者



- 体系结构的经典定义

传统机器(机器语言)**程序员**所看到的计算机属性, 包括概念性结构
和功能特性 ←即指令集结构及其特性

- 系统结构的实质——确定软/硬件的交界面

- 1978 C语言

- 1995 Python语言

问题 Problem
算法 Algorithm
程序/编程语言 Program/Language
系统软件 System Software
软件-硬件接口 SW/HW Interface 指令集架构 Instruction Set Archi.
逻辑电路 Logic
物理元件 Devices
电子 Electrons



什么是计算机系统结构? @1990s



- Hennessy与Patterson在《计算机体系结构：量化研究方法》中提出

- 计算机系统结构的广义定义

包含指令集结构、组成及硬件
(经典CA) (微CA/宏CA) (实现)



什么是计算机系统结构? @1990s

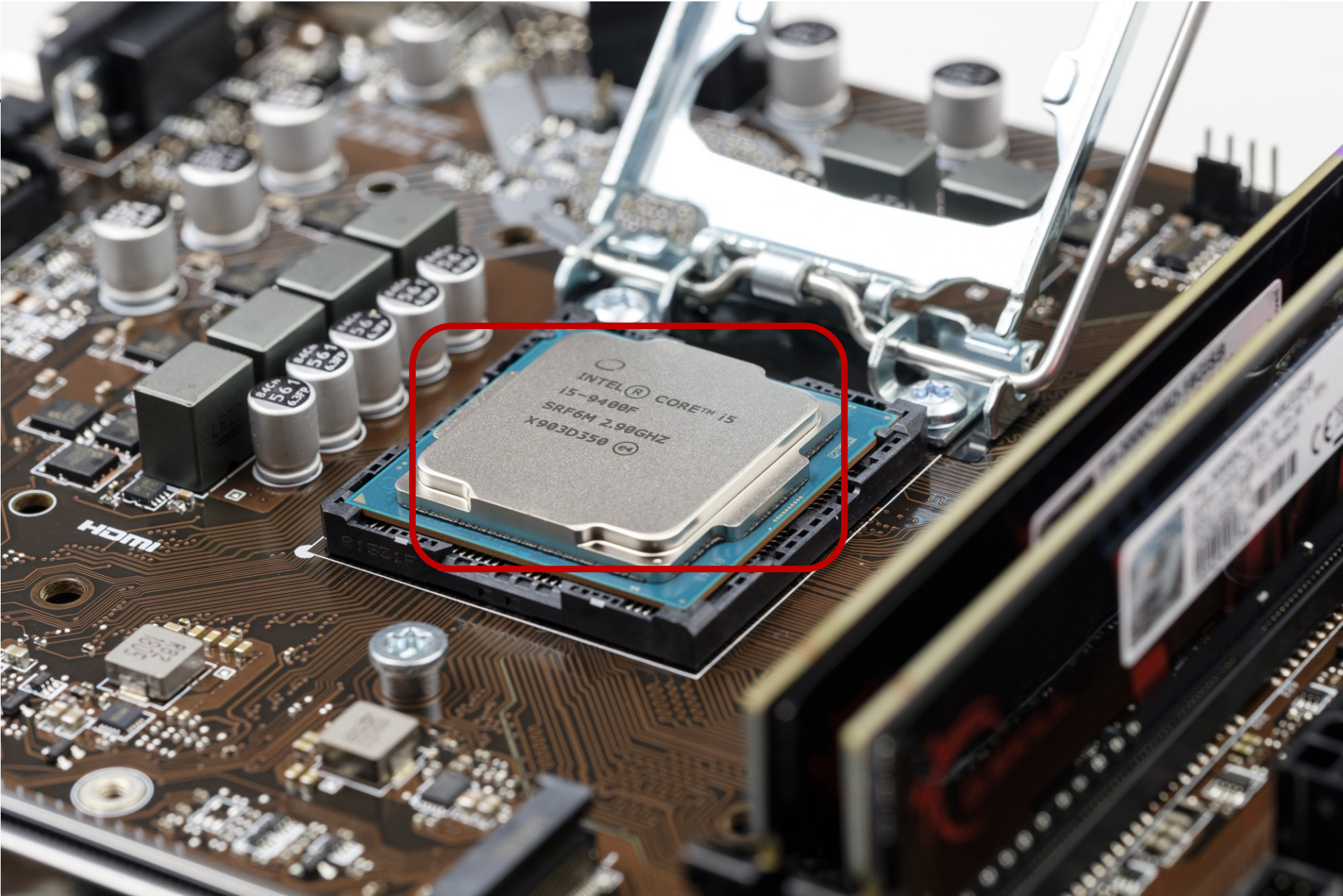


- Hennessy与Patterson在《计算机体系结构：量化研究方法》中提出

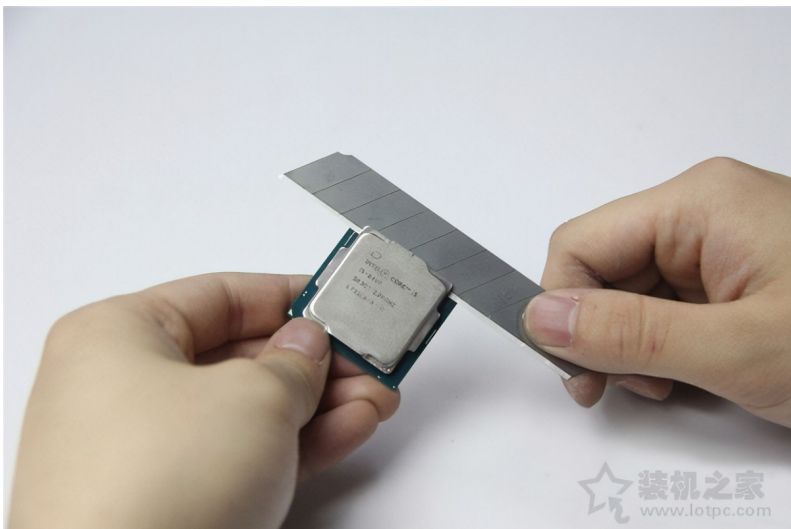
- 计算机系统结构的广义定义

包含指令集结构、组成及硬件
(经典CA) (微CA/宏CA) (实现)





现代CPU与微架构、宏架构



成本很高
请勿模仿 😊



现代CPU与微架构、宏架构

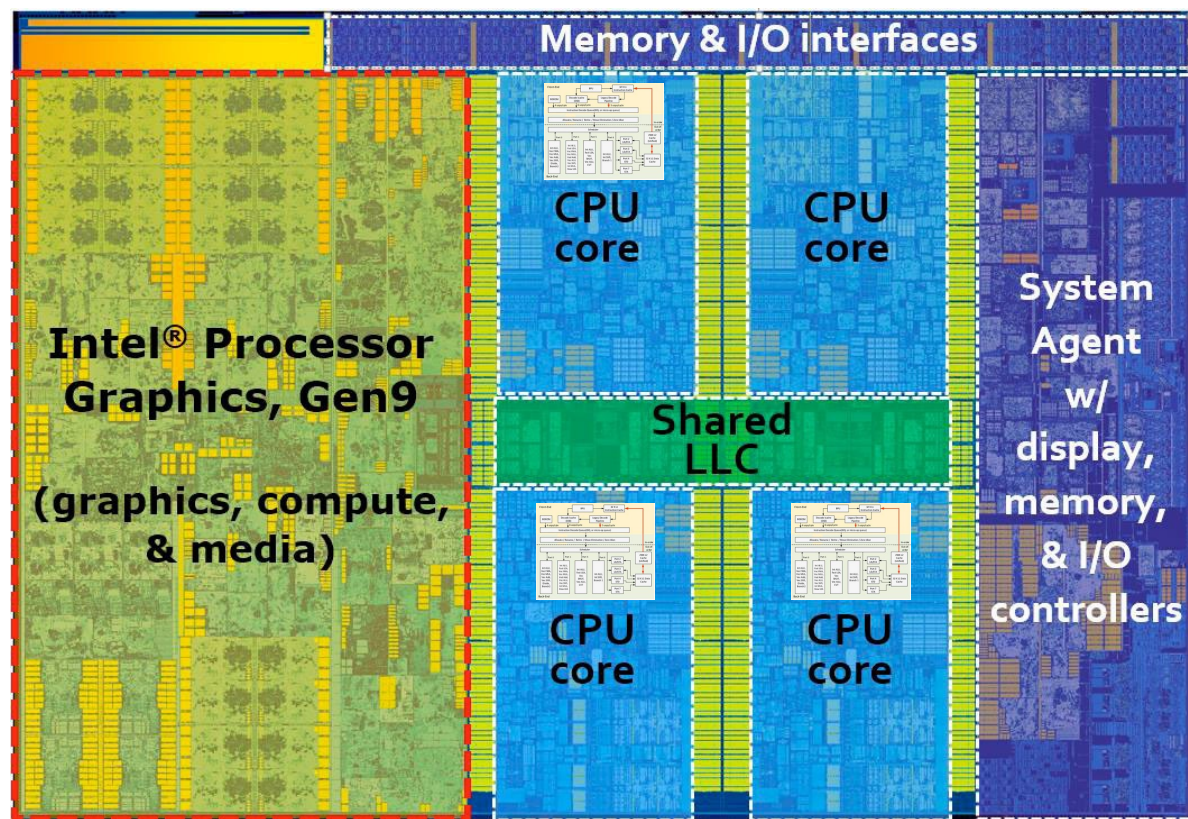


微架构与宏架构

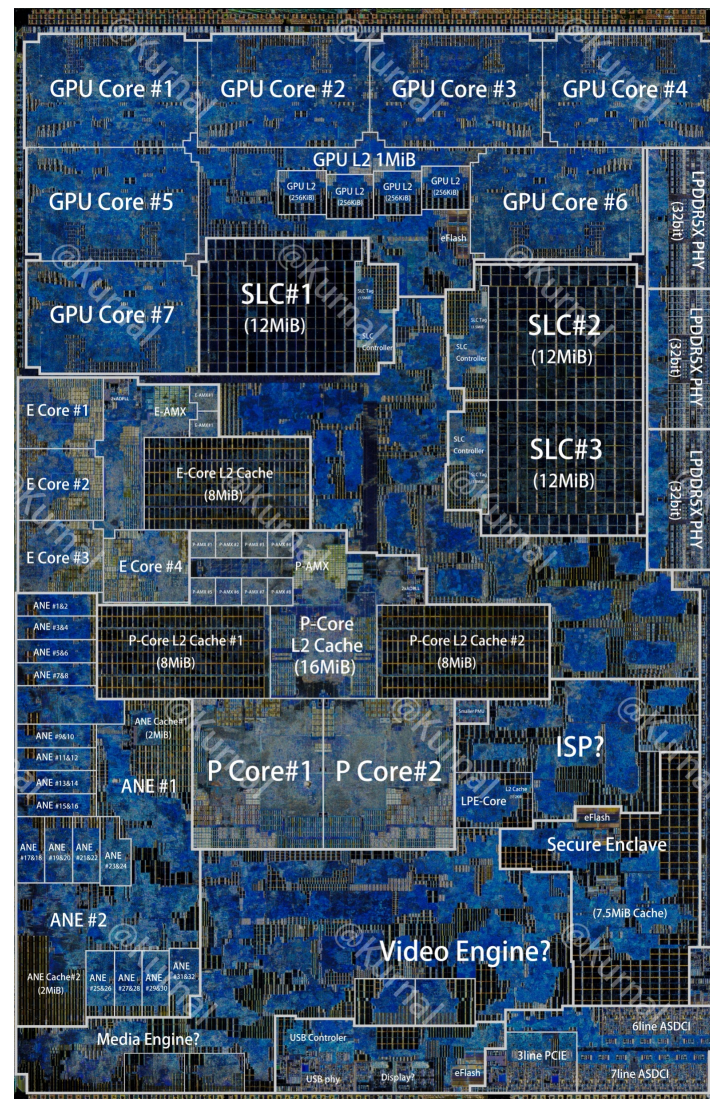


- **宏架构:**

- 多处理器之间的节点互联、存储器访问与节点交互等



Intel Core四核处理器 Die Shot



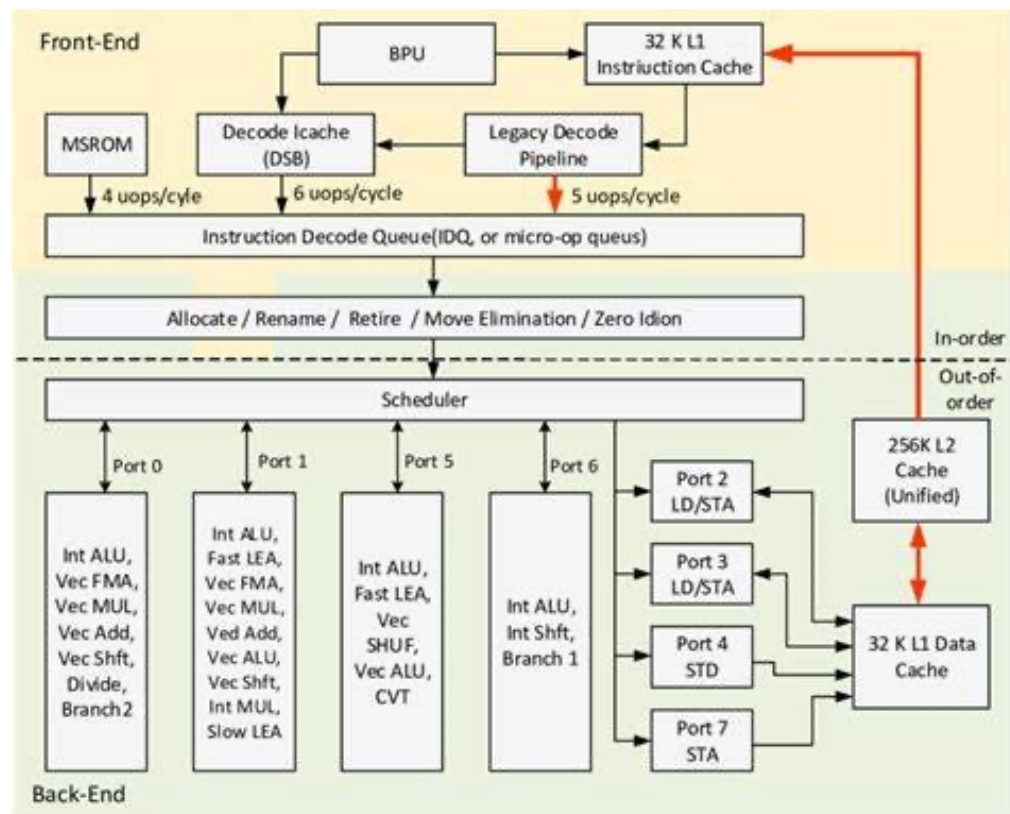
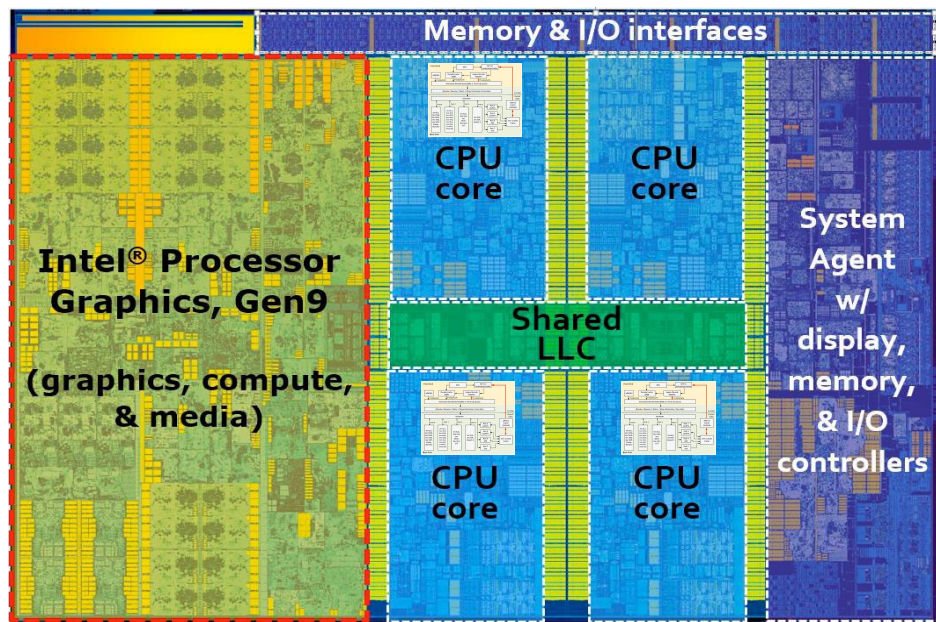
Apple A20 Pro Die Shot

微架构与宏架构

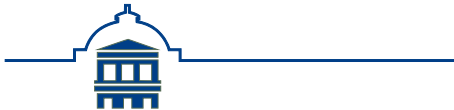


• 微架构 Microarchitecture

- 将一种给定的指令集架构在处理器中执行的方法
- 一种给定指令集可以在不同的微架构中执行



Intel CPU宏架构与微架构



时间	代数	CPU代际	制程工艺	微架构
2013	第4代	Haswell	22nm	Haswell
2014	第5代	Broadwell	14nm	Haswell
2015	第6代	Skylake(client)	14nm	Skylake
2016	第7代	Kaby Lake	14nm	Skylake
2017	第8代	Coffee Lake	14nm	Skylake
2018	第9代	Coffee Lake Refresh	14nm	Skylake
2019	第10代	Ice Lake(client)	10nm	Sunny Cove
2020	第11代	Tiger Lake	10nm	Willow Cove
2021	第12代	Alder Lake S	7nm	大核Golden Cove 小核Gracemont
2022	第13代	Raptor Lake	7nm	大核Raptor Cove 小核Gracemont
2023	第14代	Raptor Lake Refresh	7nm	大核Raptor Cove 小核Gracemont



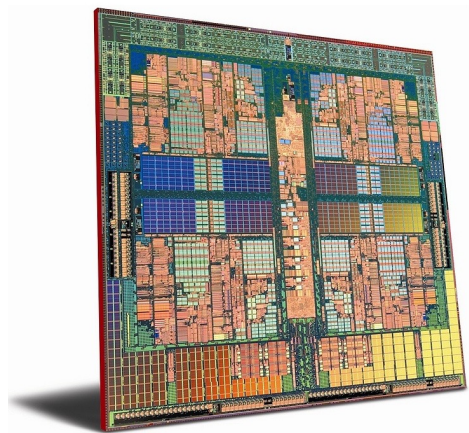


指令集架构相同、微架构不同



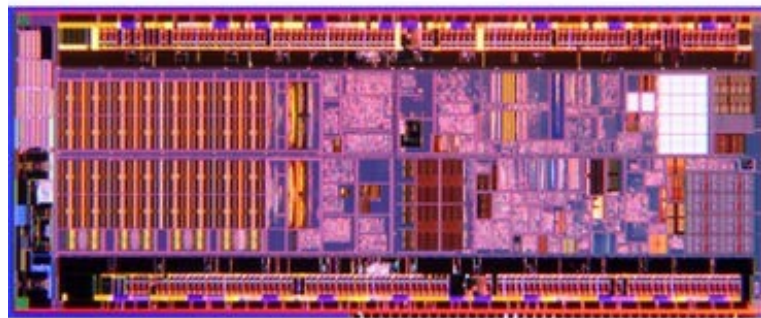
- **AMD Phenom X4**

- X86 Instruction Set
- 4 Core @ 2.6GHz
- 125W
- 3 Instru./Cycle/Core
- 64/64KB L1 I/D Cache
- Out-of-order



- **Intel Atom**

- X86 Instruction Set
- 1 Core @ 1.6GHz
- 2W
- 2 Instru./Cycle/Core
- 32/32KB L1 I/D Cache
- In-order

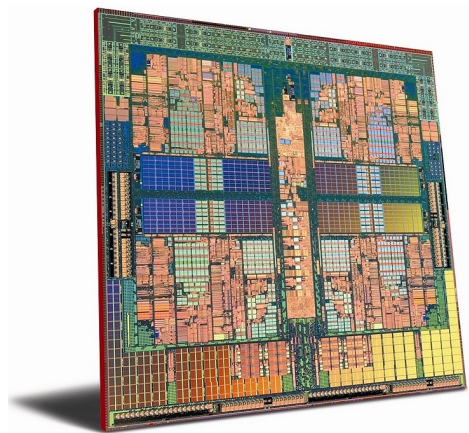


指令集架构不同、微架构不同



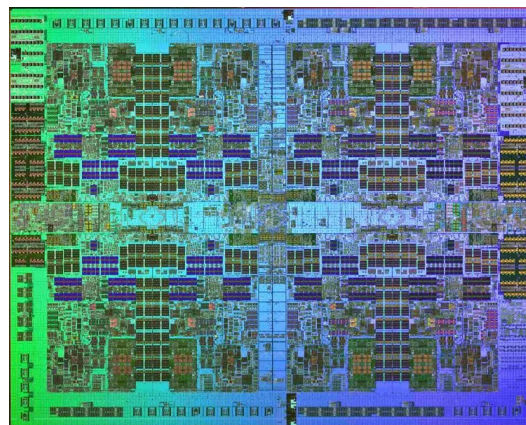
- **AMD Phenom X4**

- X86 Instruction Set
- 4 Core @ 2.6GHz
- 125W
- 3 Instru./Cycle/Core
- 64/64KB L1 I/D Cache
- Out-of-order



- **IBM Power 7**

- Power Instruction Set
- 8 Core @ 4.25GHz
- 200W
- 6 Instru./Cycle/Core
- 32/32KB L1 I/D Cache
- Out-of-order



什么是计算机系统结构? @1990s~



- Onur Mutlu @ ETH Zurich
- **Computer Architecture is the science and art of**
 - designing, selecting, and interconnecting hardware components
 - and designing the hardware/software interface to create a **computing system**
- **to achieve a set of design goals**
 - Function
 - Performance
 - Energy consumption
 - Cost/Area
 - ...



不同设计目标造就不同系统平台



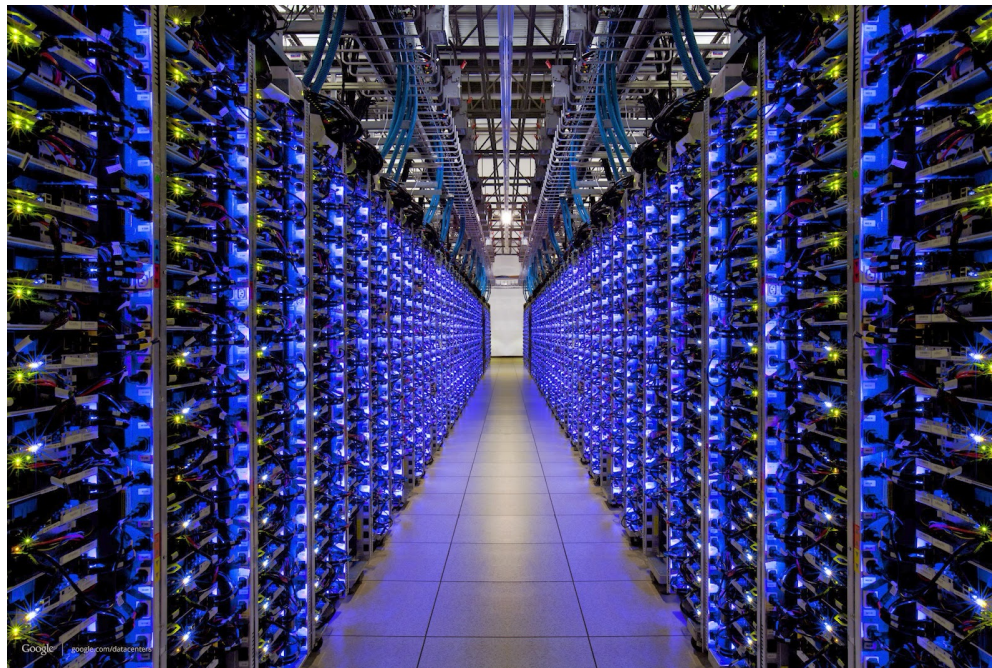
- **PC vs 移动终端**
 - 关注：尺寸与功耗



不同设计目标造就不同系统平台



- **服务器集群**
 - 关注：能耗与性能



不同设计目标造就不同系统平台



- 超级计算机（天河二号）
 - 关注：性能



不同设计目标造就不同系统平台



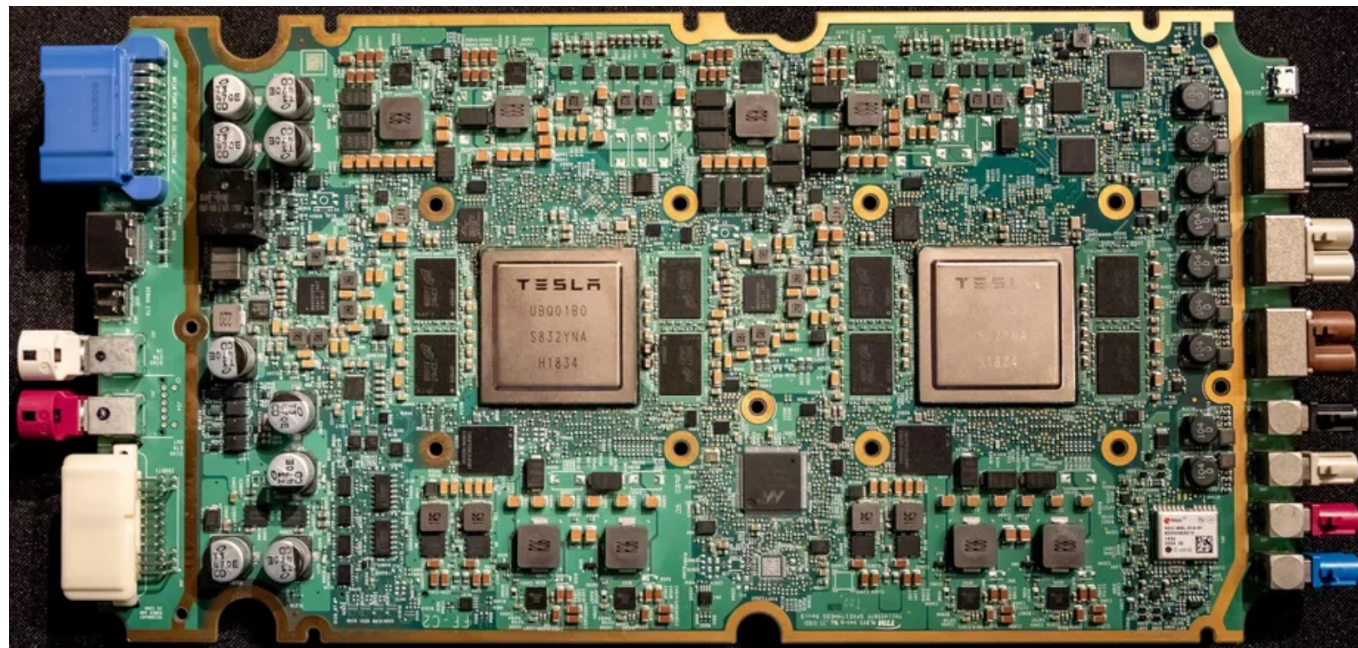
- 华为超节点
 - 性能、（政策）



不同设计目标造就不同系统平台



- 特斯拉自动驾驶组件
 - 关注：安全、性能、成本

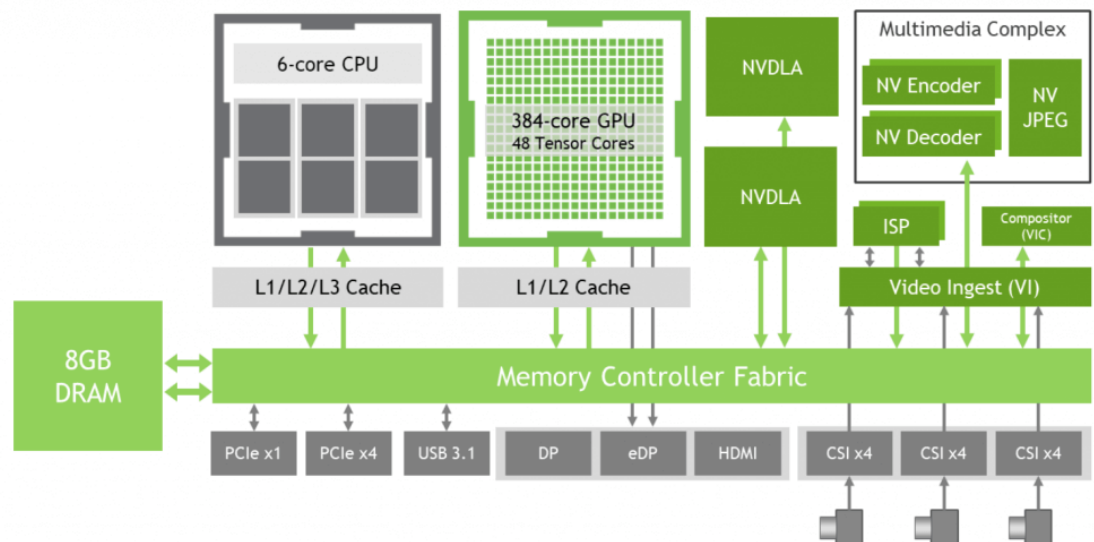


不同设计目标造就不同系统平台



- **NVIDIA Jetson系列**

- 关注：性能、成本、应用表现



什么是计算机系统结构？



- **Amdahl经典定义**

- 传统级机器(机器语言)程序员所看到的计算机属性，包括概念性结构和功能特性

- **Hennessy and Patterson广义定义**

- 系统结构包含指令集结构、组成及硬件

- **Onur Mutlu定义**

- 是在考虑各种独特目标（性能、功耗、成本等）的情况下
- 硬件组件设计、选择、连接和软硬接口设计的科学和艺术



学期计划



- **第一章：系统结构基础**

基本的量化方法

- **第二章：指令系统**

经典定义中的系统结构

- **第三章：流水线技术**

- **第四章：指令级并行**

- **第五章：存储系统**

走进CPU与单机系统

- **第六章：数据级并行**

- **第七章：互联网络**

- **第八章：线程级并行**

进一步扩展至多机与并行化





Q1 (Why): 为什么要学习计算机系统结构?
Q2 (What): 什么是计算机系统结构?
***Q3 (How):* 怎么学计算机系统结构?**

对“教学”与“学习”的一些浅显思考



- **The Feynman Lectures on Physics**

- 热情且聪明的学生.....听说相对论、量子力学.....但是，当他们学完两年以前那种课程（斜面、静电这样的内容）后，许多人就泄气了

- **授人以鱼不如授人以渔**

- 系统结构：系统整体思维、分层抽象思维、量化分析思维

- **听说系统结构很难？**

- 听好、看好、想好、算好
- 无需“考神保佑”



计算机系统结构学习的关键



- **概念的理解**

- 通过阅读教材与课后复习

- **流程的推导**

- 各种算法的流程，理解并自己手推过之后就会非常清晰
- “把自己当做计算机”

- **定量计算**

- “量化研究方法”



遇到困难？



- **基础知识与工具**

- 计算机科学自学指南<https://csdiy.wiki/>

- **阅读**

- 教材、参考书籍
- 知乎、GitHub awesome、

- **学会搜索/Prompt**

- 百度 vs Google/GitHub vs ChatGPT/通义千问/文心一言/.....
- 要小心，人工智能现在还经常一本正经胡说八道。



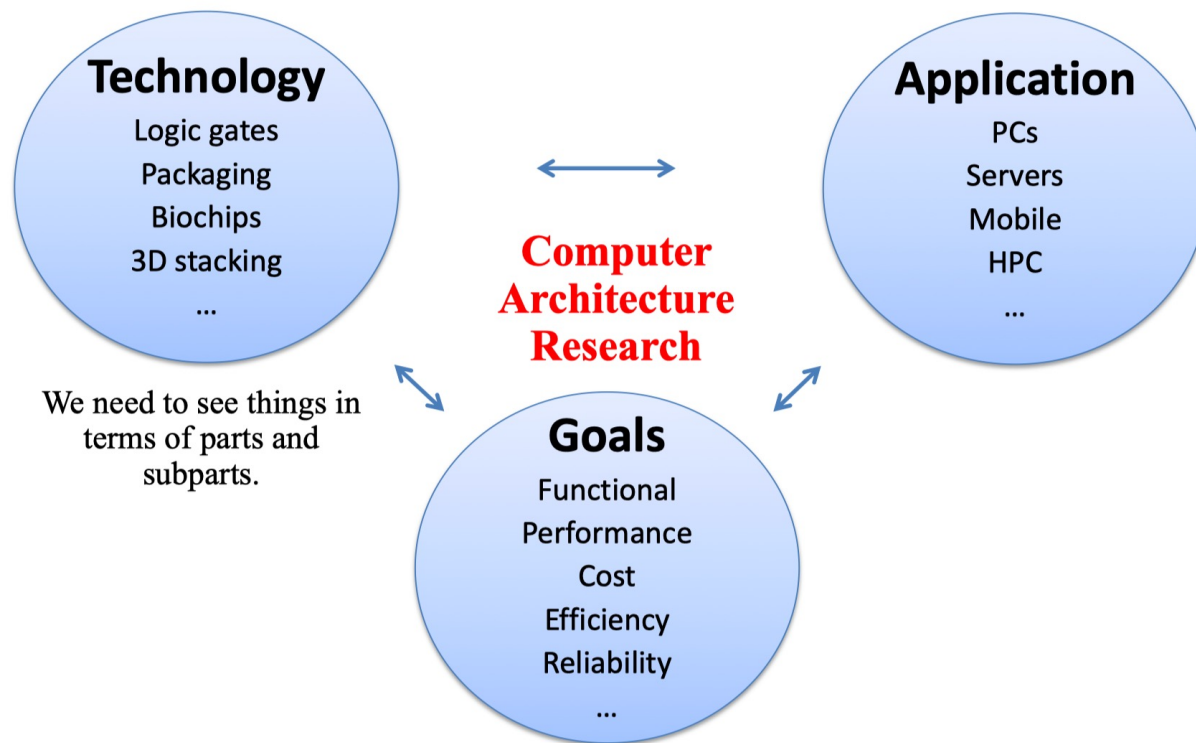


- **清楚 “不应该做的事情”**
 - 不参考别人完成的实验代码
 - 不抄袭/参考别人的实验报告
 - 课后作业请独立完成
- **这些行为可以使你得到分数，但失去应有的训练**



- **Q1 (Why): 为什么要学习计算机系统结构?**
 - 帮助你写更好的代码
 - 帮助你更好的理解计算机硬件
 - 让你从更加“系统”的角度看待计算机
- **Q2 (What): 什么是计算机系统结构?**
 - 指令集
 - 指令集+微架构
 - 指令集+微架构+多样化的目标
- **Q3 (How): 如何学习计算机系统结构?**
 - 明白关键
 - 解决困难
 - 学术诚信





计算机系统结构

Computer Architecture

Ch.00 - Introduction

课程介绍

Dr. Borui Li
李博睿 博士

2025年秋季·东南大学

联系方式
libr@seu.edu.cn

