

计算机系统概述

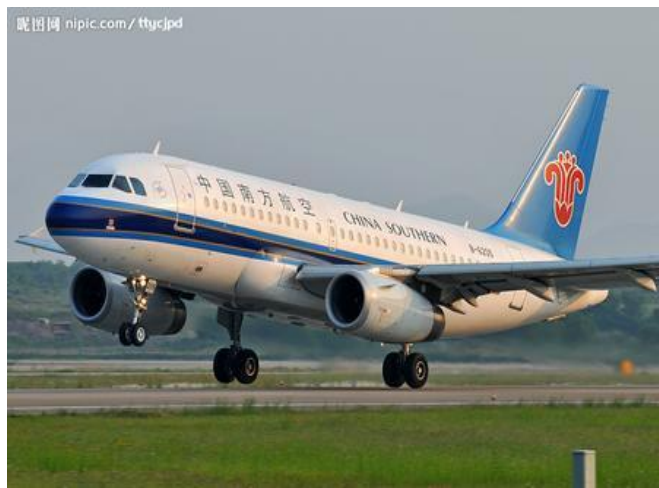
吕熠娜

厦门大学信息学院

>>> 计算机?



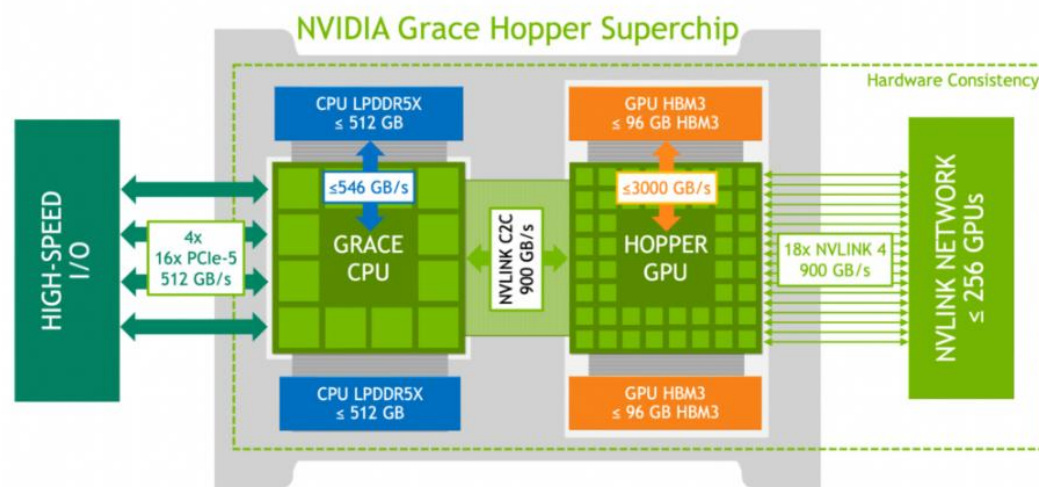
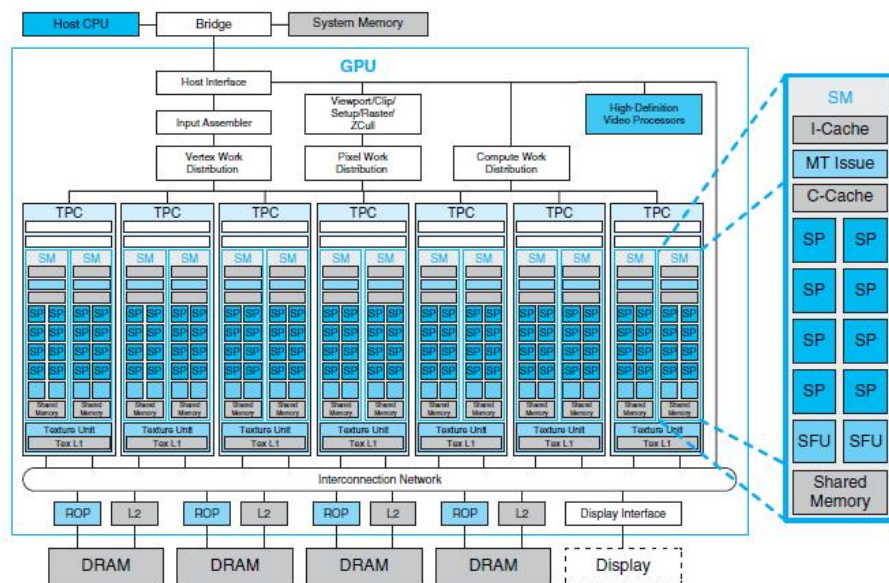
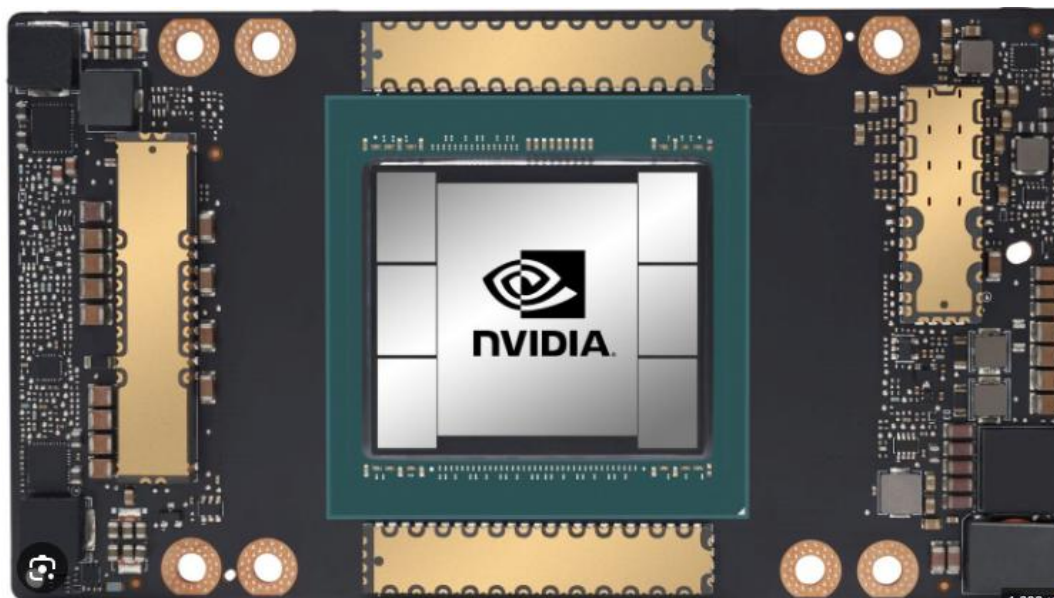
>>> 计算机?



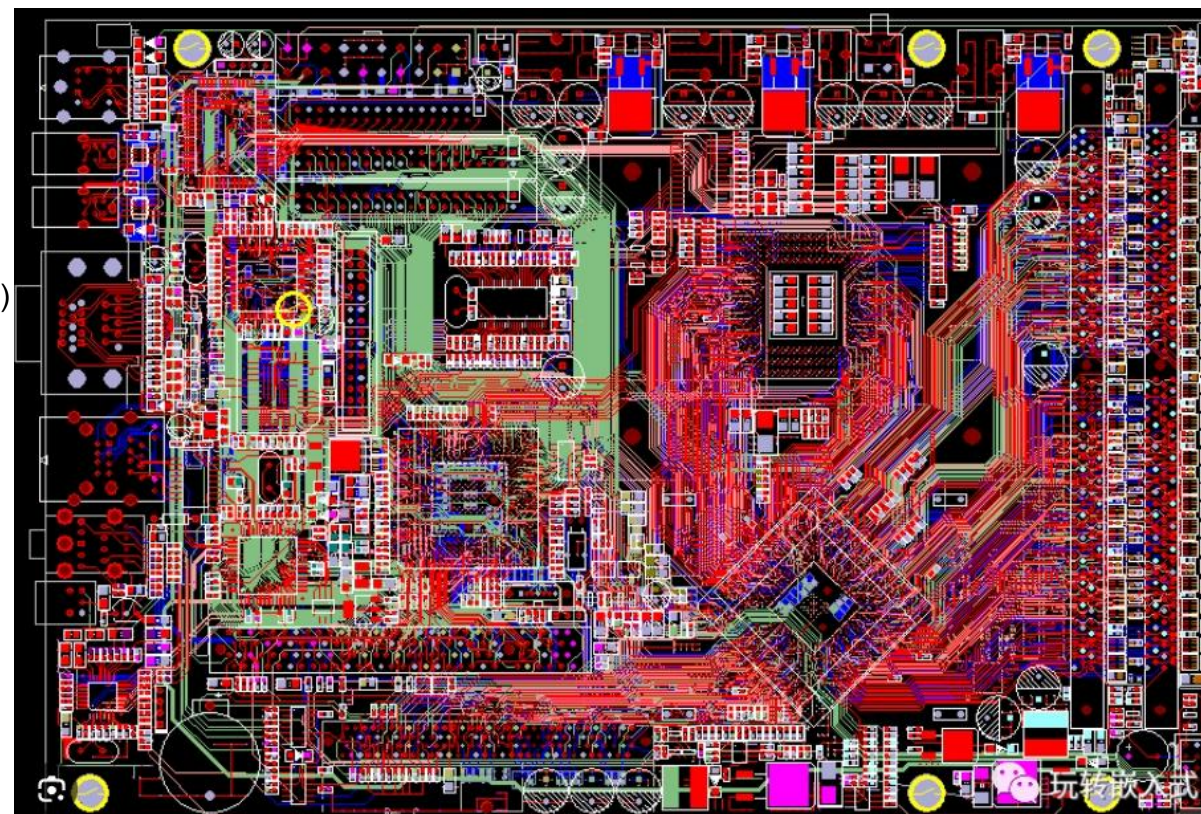
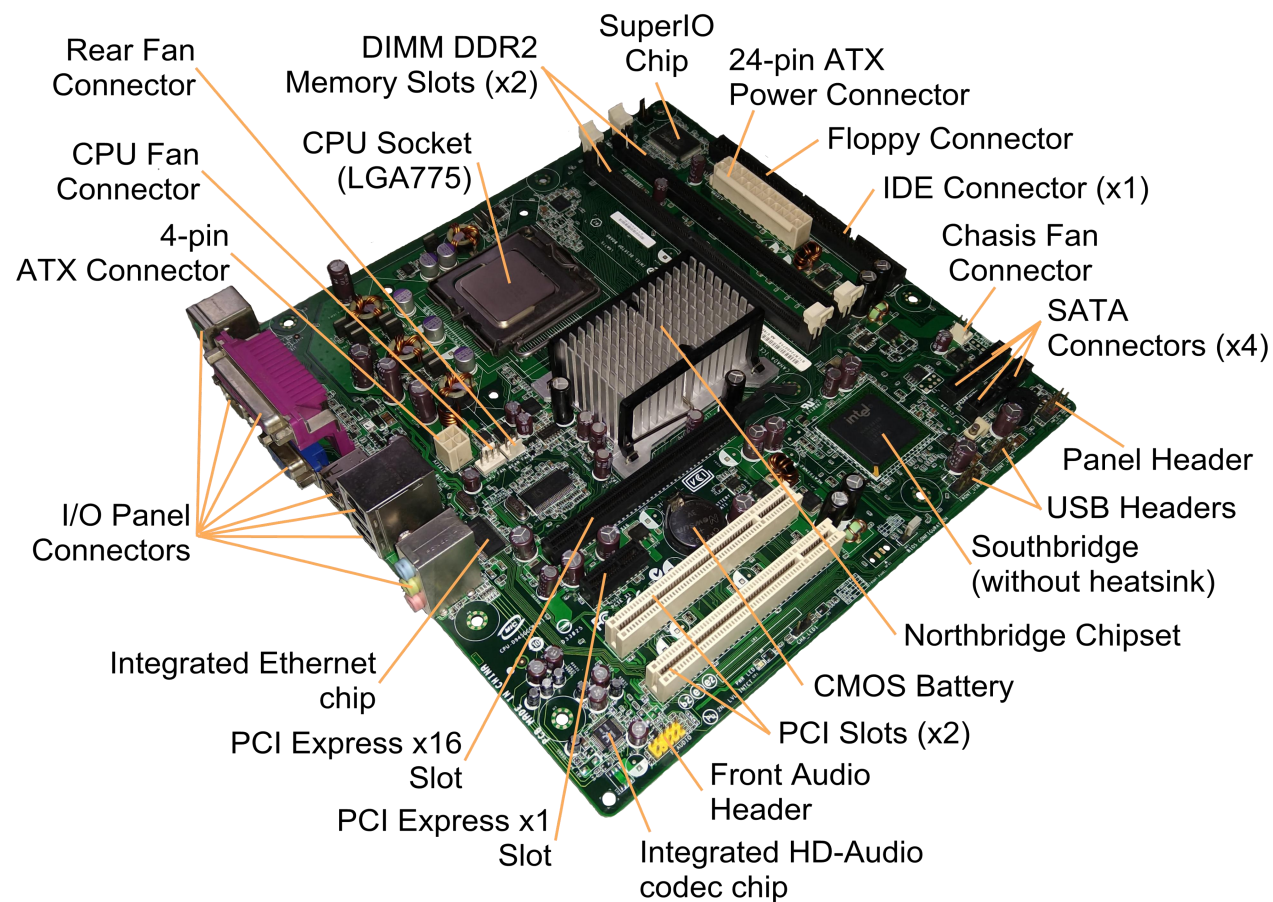
>>> 计算机是什么?

- 一种高速运行的电子设备
 - 用于进行数据的算术或者逻辑运算
 - 可接受输入信息
 - 根据用户要求对信息进行加工
 - 输出结果
-
- A calculating machine, esp. an automatic electronic device for performing mathematic or logical operations; freq. with defining word prefixed, as analogue, digital, electronic computer.
 - –Oxford English Dictionary

>>> 计算机组成原理为什么重要?



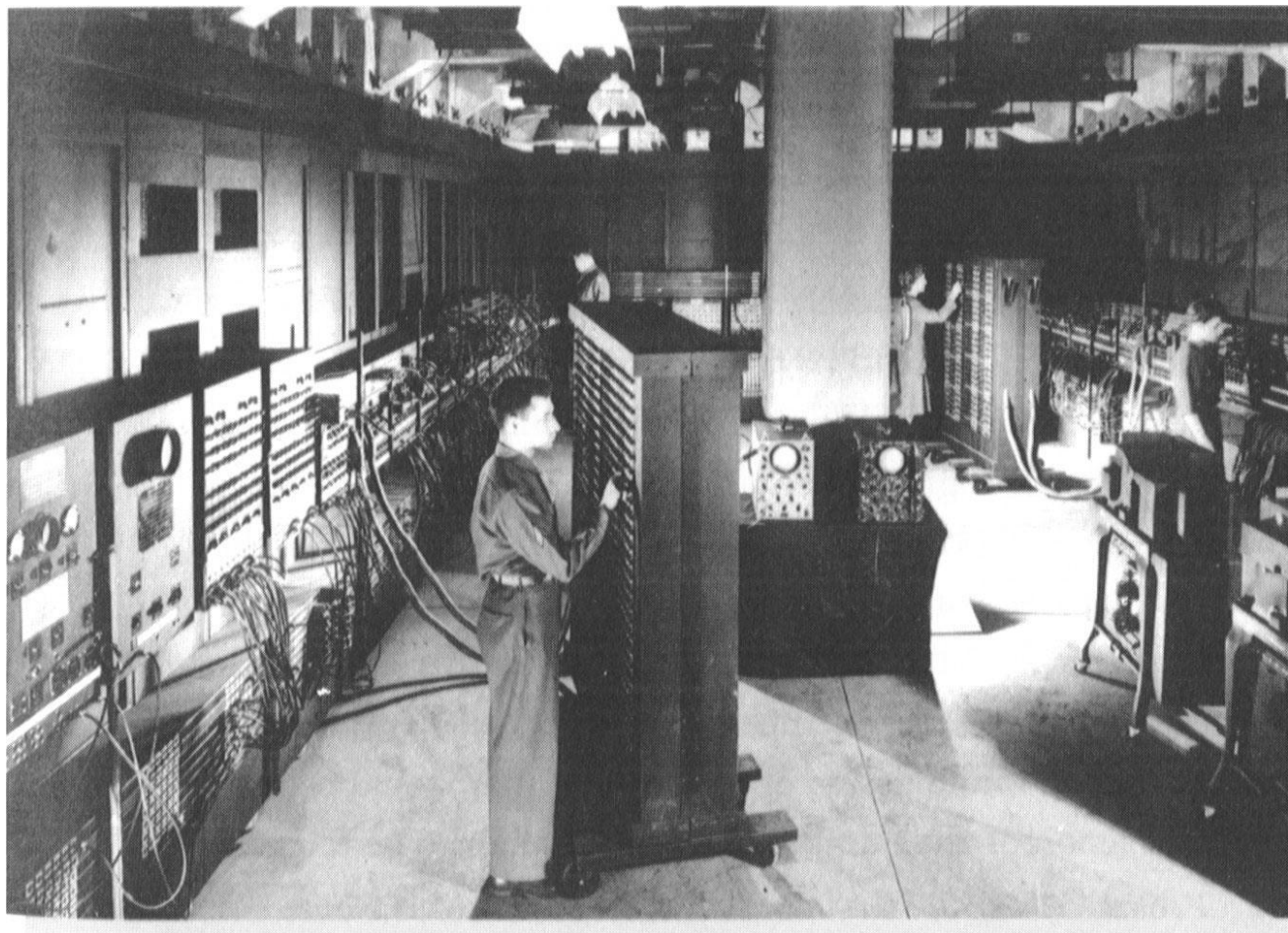
• 以计算机主板为例



• 各类计算机内外部件

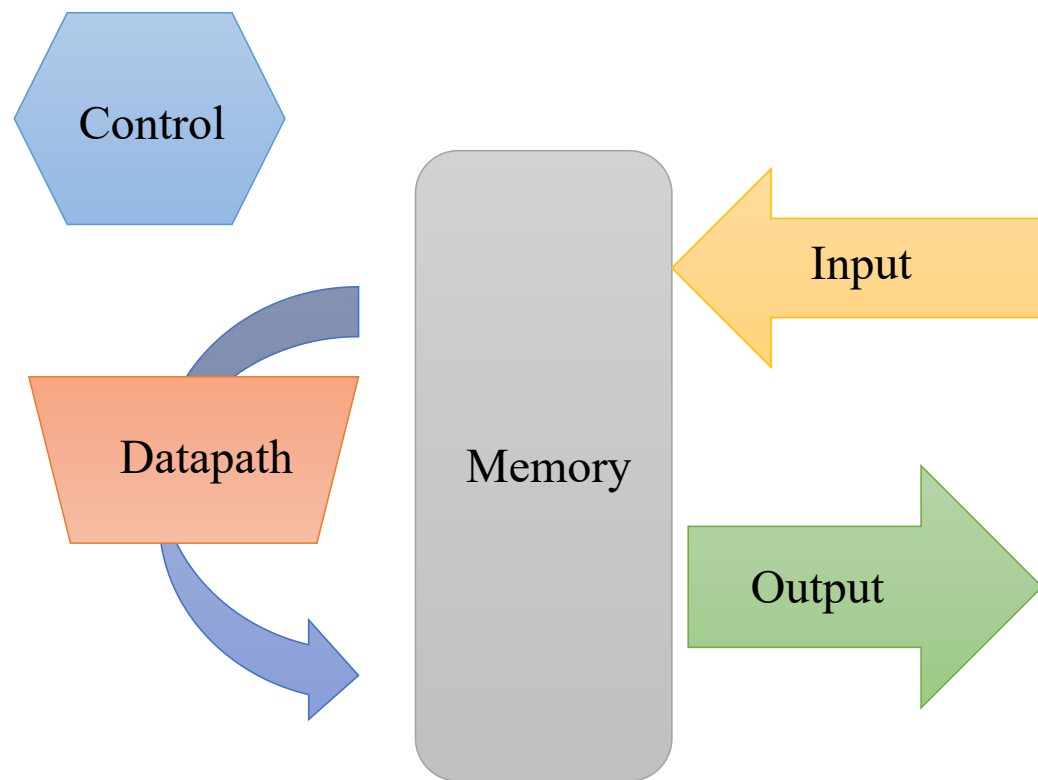


- 计算机理论基础诞生超过70年
 - Turing
 - Shannon
 - Von Neumann
- 组成计算机的关键部件没有大的改变
 - CPU
 - Data Path
 - Controller
 - Memory
 - IO

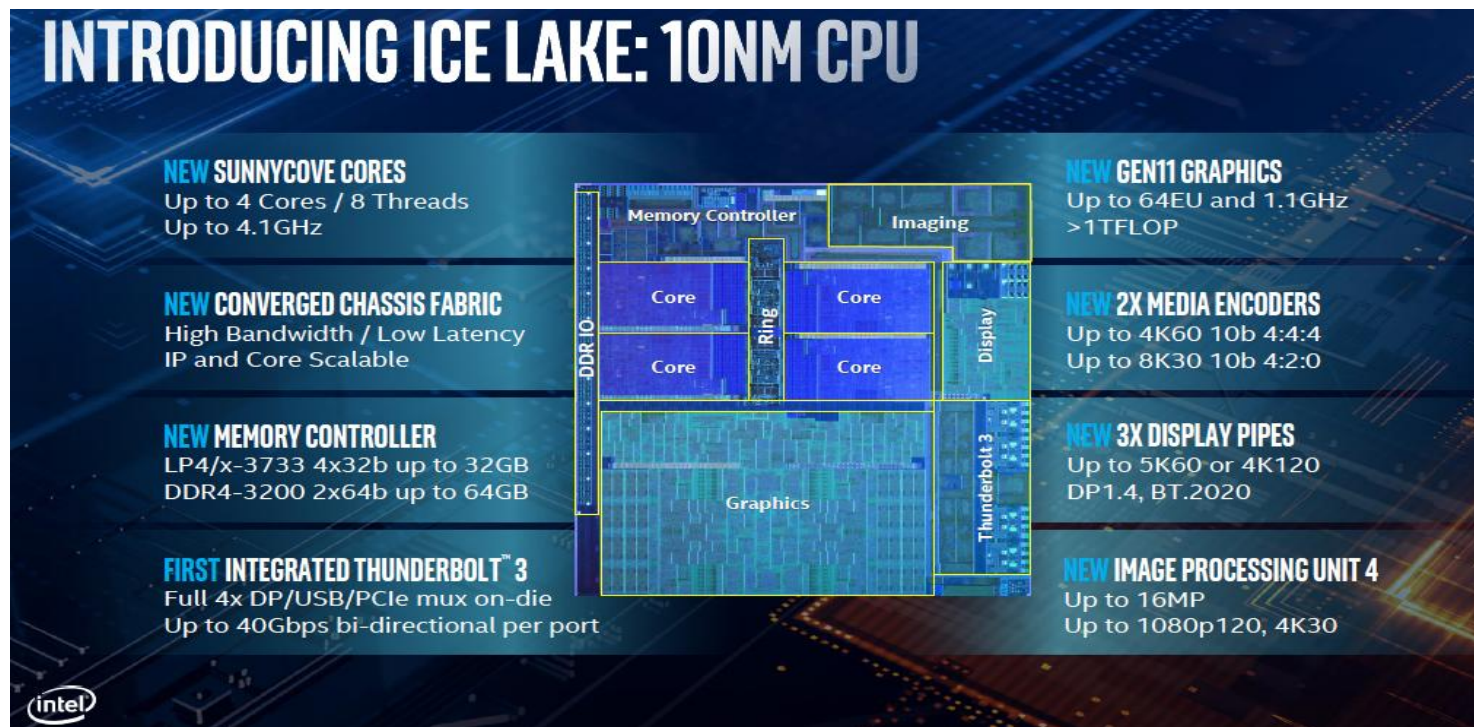
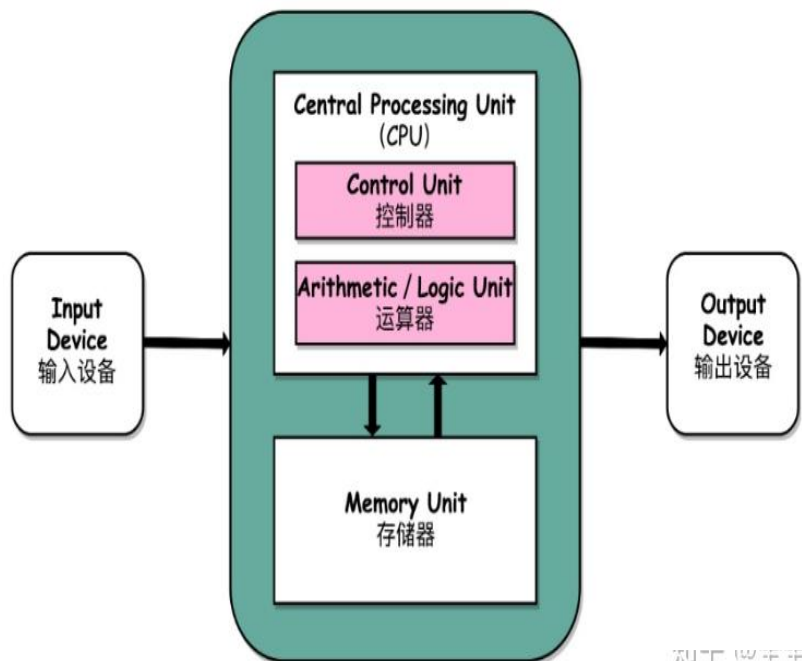


>>> 冯诺依曼计算机结构运行机制

- **Datapath:** 完成算术和逻辑运算，通常包括其中的寄存器。
- **Control:** CPU的组成部分，它根据程序指令来指挥datapath, memory以及I/O运行，共同完成程序功能。
- **Memory:** 存放运行时程序及其所需要的数据的场所。
- **Input:** 信息进入计算机的设备，如键盘、鼠标等。
- **Output:** 将计算结果展示给用户的设备，如显示器、磁盘、打印机、喇叭等。



>>> 冯诺依曼计算机结构→现代计算机



冯诺依曼结构

功能部件：CPU，Memory，IO

现代计算机发展：

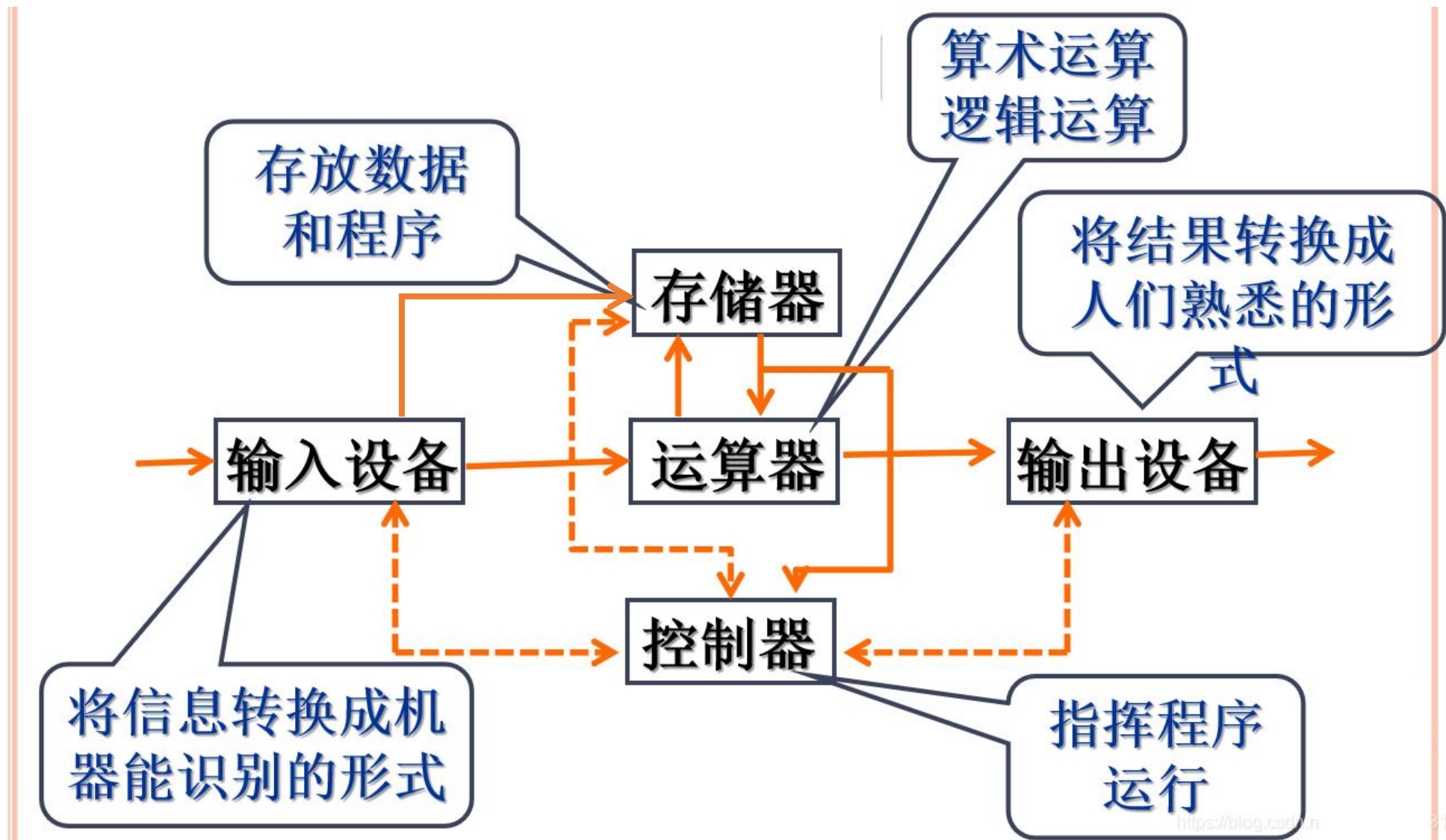
实现方案：Very-large-scale Integration (VLSI)

体系结构：流水线，层次存储结构，并行

>>> 冯诺依曼计算机结构

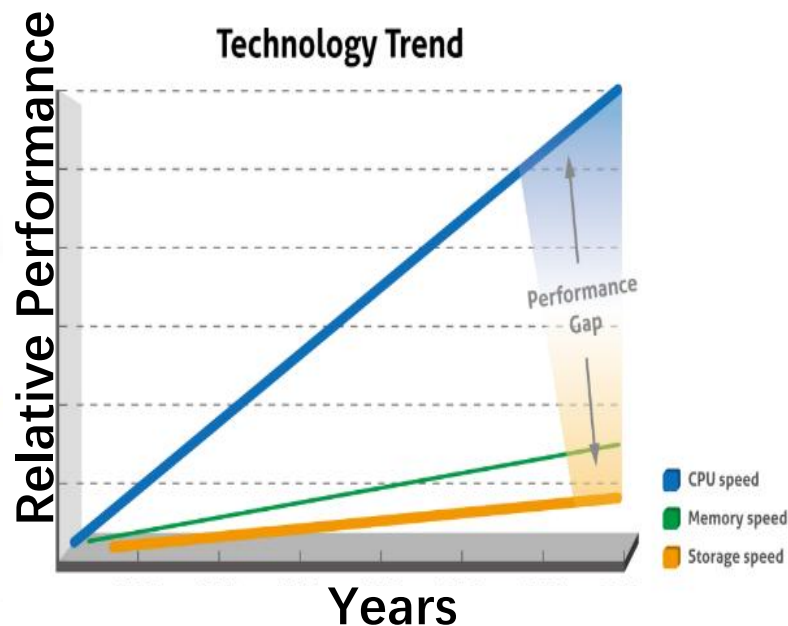
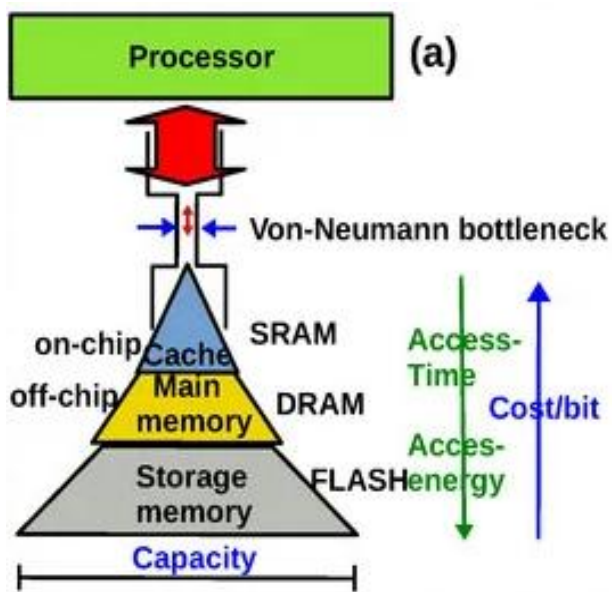
- 由运算器（ALU）、控制器（Controller）、存储器（Memory）、输入设备（Input）和输出设备（Output）组成
- 指令和数据以二进制形式不加区别地存放在存储器中，存储器地址也是二进制形式
- 指令流驱动，控制器根据存放在存储器中的指令序列即程序工作，指令由操作码和地址码组成
- 以运算器为中心
 - 是否能以数据为中心？

>>> 冯诺依曼计算机结构

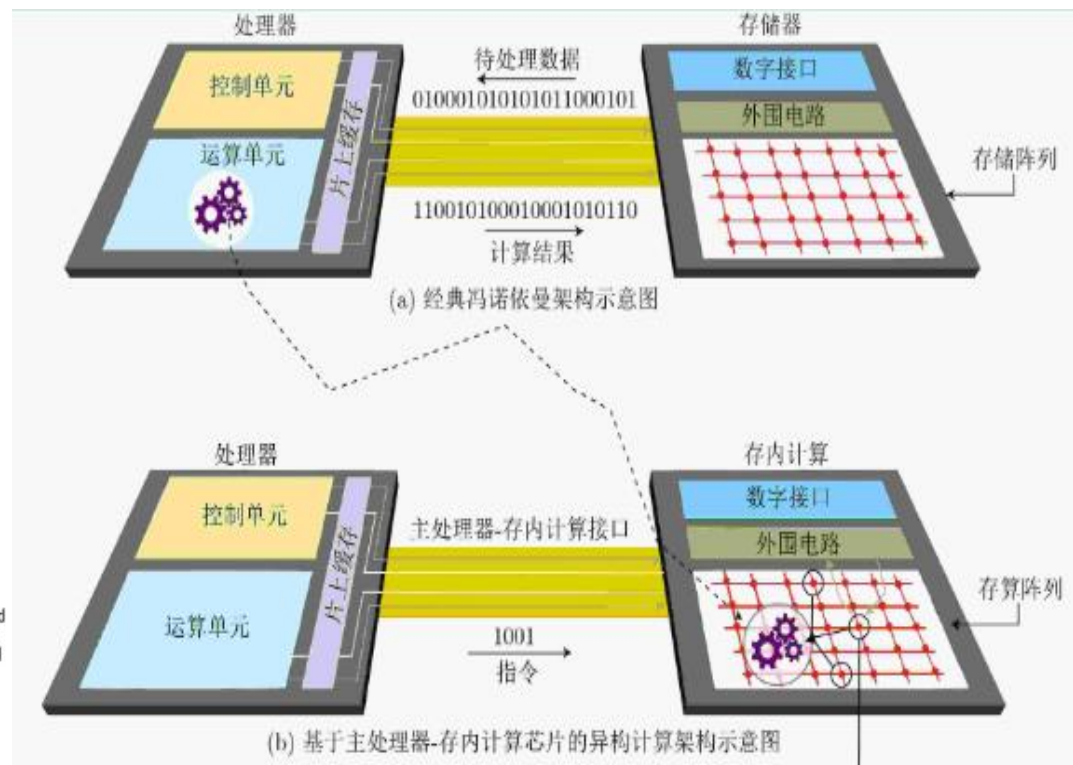


冯诺依曼计算机结构

- 以运算器为中心（花大量时间在数据传输过程，降低计算效率）



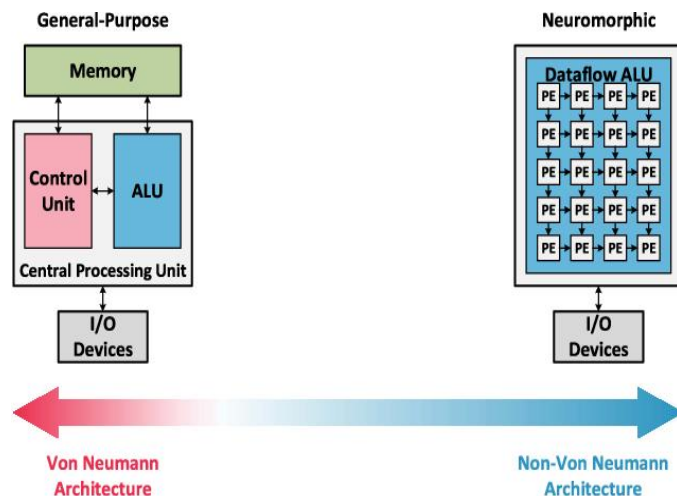
内存墙问题



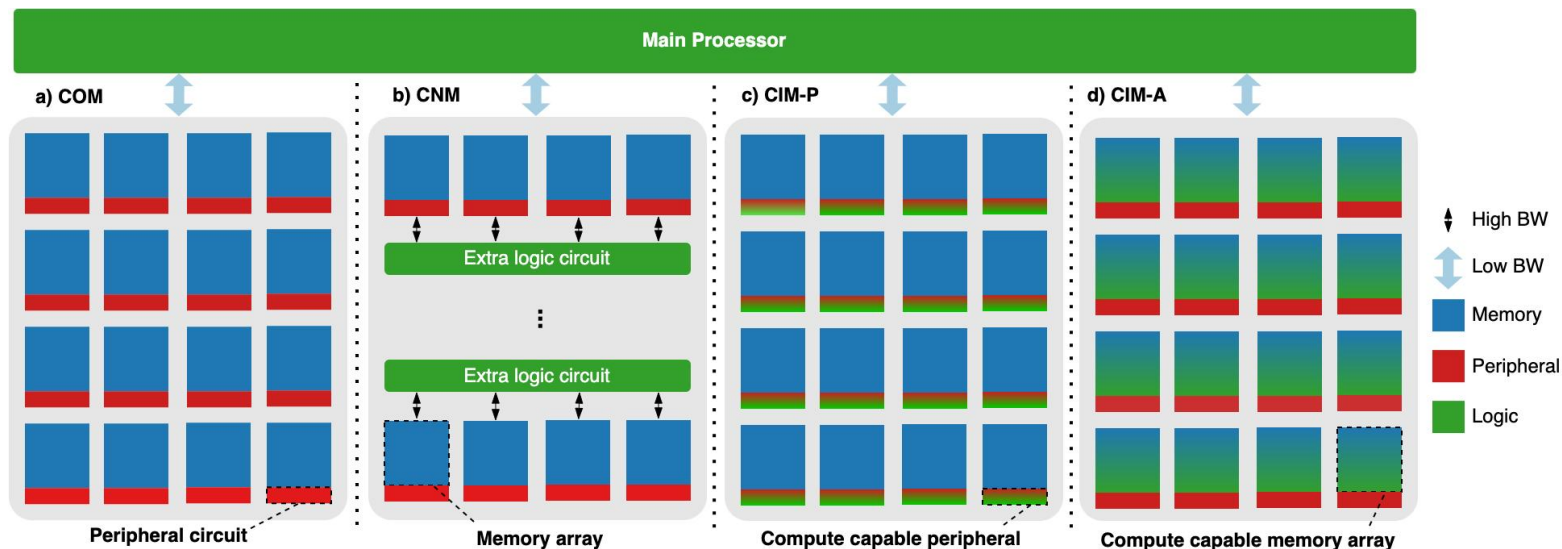
非冯架构的探索-存算一体
(以数据为中心)

>>> 非冯诺依曼计算机结构

• 以数据为中心



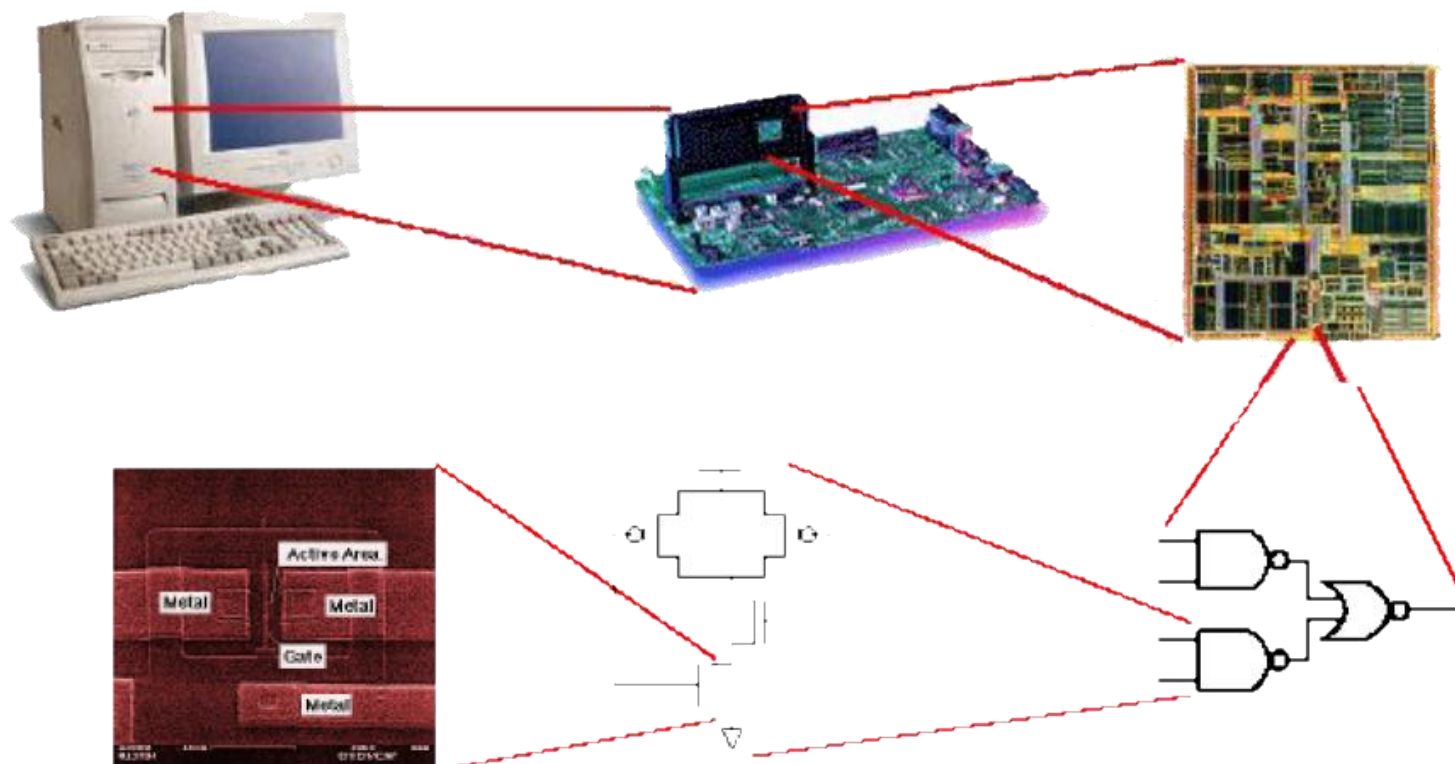
两种不同类型
计算机结构



四种不同类型的计算机结构：a)传统计算；b)近存计算；c)外围电路计算；d)存内计算

>>> 计算机硬件结构剖析

计算机系统 计算机体系结构 计算机组成与实现



生产制造

电路设计

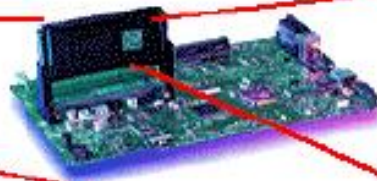
逻辑设计

>>> 计算机语言与软件层次剖析

计算机系统

计算机结构

计算机组成和实现



```
while (event = getnext()) {  
    /* process event */  
    switch (event->type) {  
        case BUTTONUP:  
            win = event->W;  
            if (!win) break;  
            do_button (win);  
            break;  
        case BUTTONDOWN:  
            ...  
    }  
    ...  
}
```

高级语言

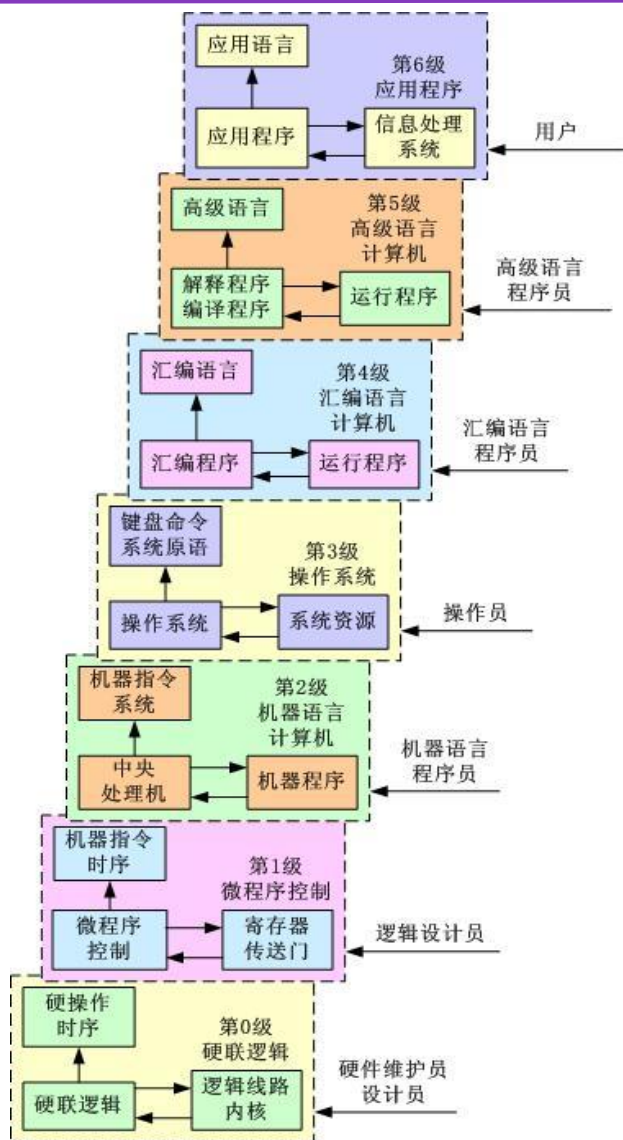
```
.jal _getnext  
ori $a0,$0,0  
lw $t0,8($v0)  
lw $t0,12($t0)  
beq $t0,0,0x401834  
li $t1,4  
beq $t0,$t1,0x4018a0
```

汇编语言

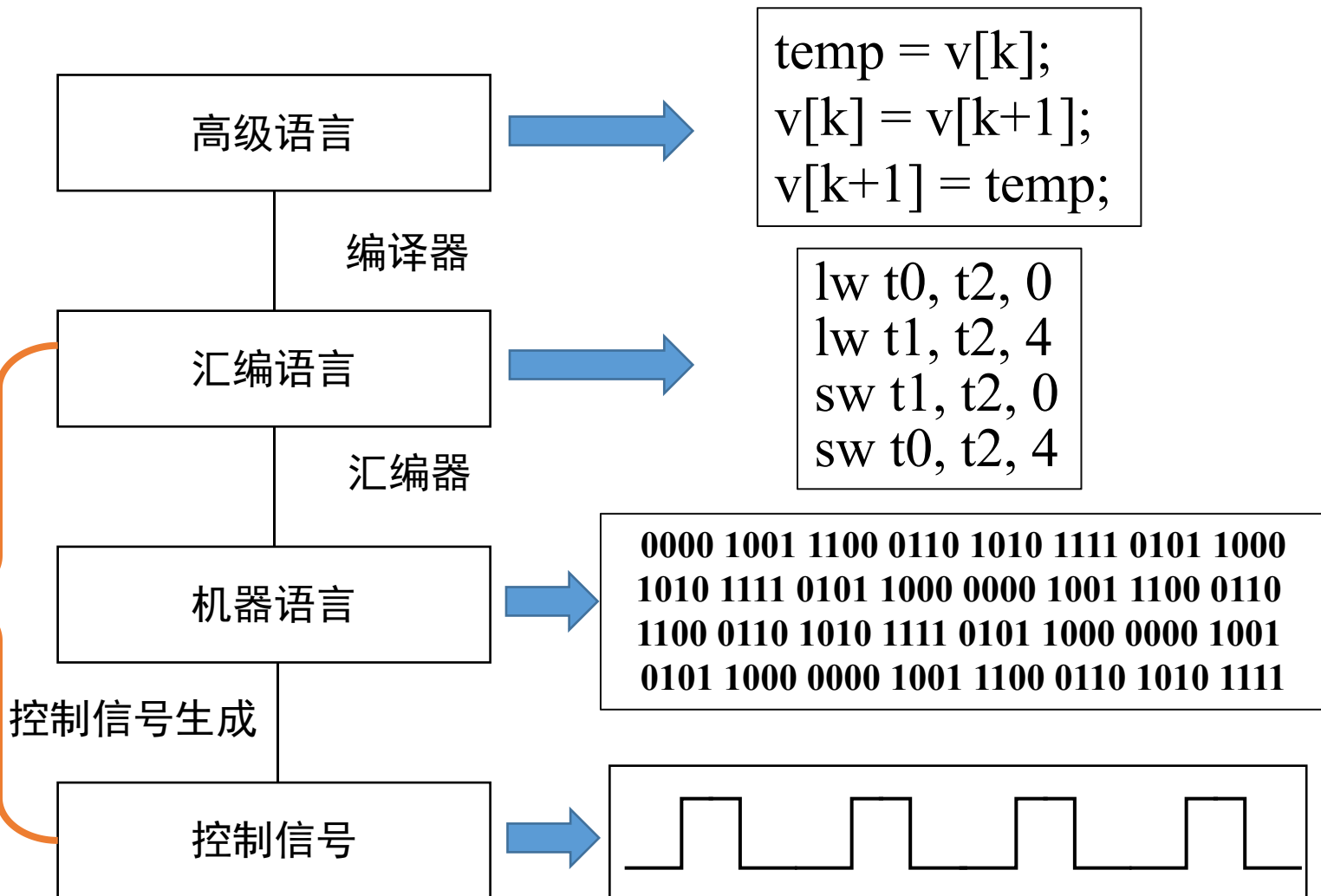
```
0x0c004841  
0x00000000  
0x34040000  
0x8c480008  
0x00000000  
0x8d08000c  
0x10001834  
0x00000000  
0x24090004  
0x11090002  
...
```

机器语言

计算机的层次结构



计算机组成



>>> 计算机的历史

- **Gen-0: 机械计算机 (BC~1940s)**
- **Gen-1: 真空管 (1948~1959)**
- **Gen-2: 晶体管 (1960~1968)**
- **Gen-3: 集成电路 (1969~1977)**
- **Gen-4: 大规模集成电路与超大规模集成电路 (1978~present)**
- **Gen-5: Optical? Quantum? Biology?**

>>> 古代和近代计算技术



- 公元前500年，中国出现算盘

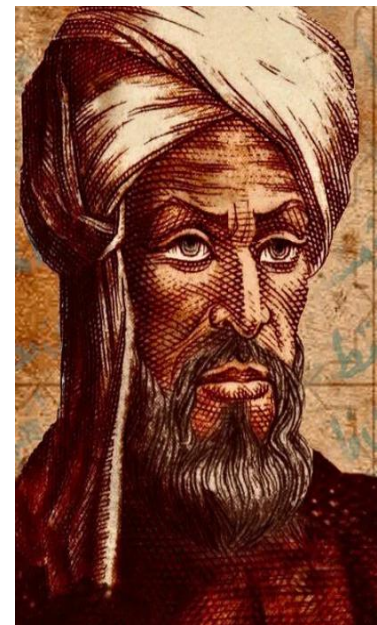


- 1642年，Blaise Pascal发明自动进位的加法机器，齿轮驱动拨盘，在窗口显示结果



>>> 古代和近代计算技术

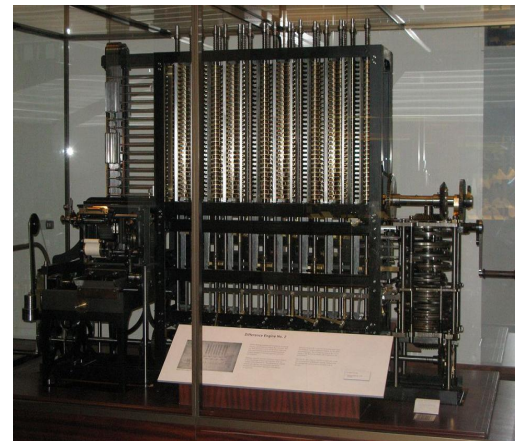
- 16世纪, Alkhowarizmi (花拉子密) 提出算法概念, 并出版以算法 (Algorithm) 为题的书籍
 - 面向计算过程设计辅助计算工具
 - 以提高计算效率为目标
 - 使用机械等方式实现
 - 为现代计算机提供了思路



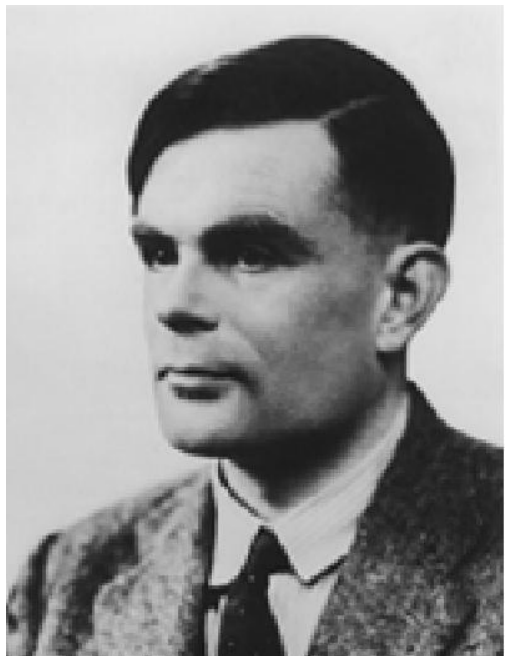


Charles Babbage

- 1822年，差分机 (Differential Engine)
 - 差分机是多项式求值机，利用N次多项式求值会有共通的N次阶差的特性，以齿轮运转，带动十进位的数值相加减、进位。
- 1833年，分析机 (Analytical Engine) ，通用机器
 - 由蒸汽机驱动，输入由程序和数据组成，并使用打孔卡输入，这种输入方法被当时的织布机广泛采用。
 - 分析机通过一台打印机、一个弯曲的绘图仪和一个铃铛输出，也可以在纸上打孔以便日后读取。分析机采取普通的十进制定点计数法。



>>> 图灵机 (Turing Machine)

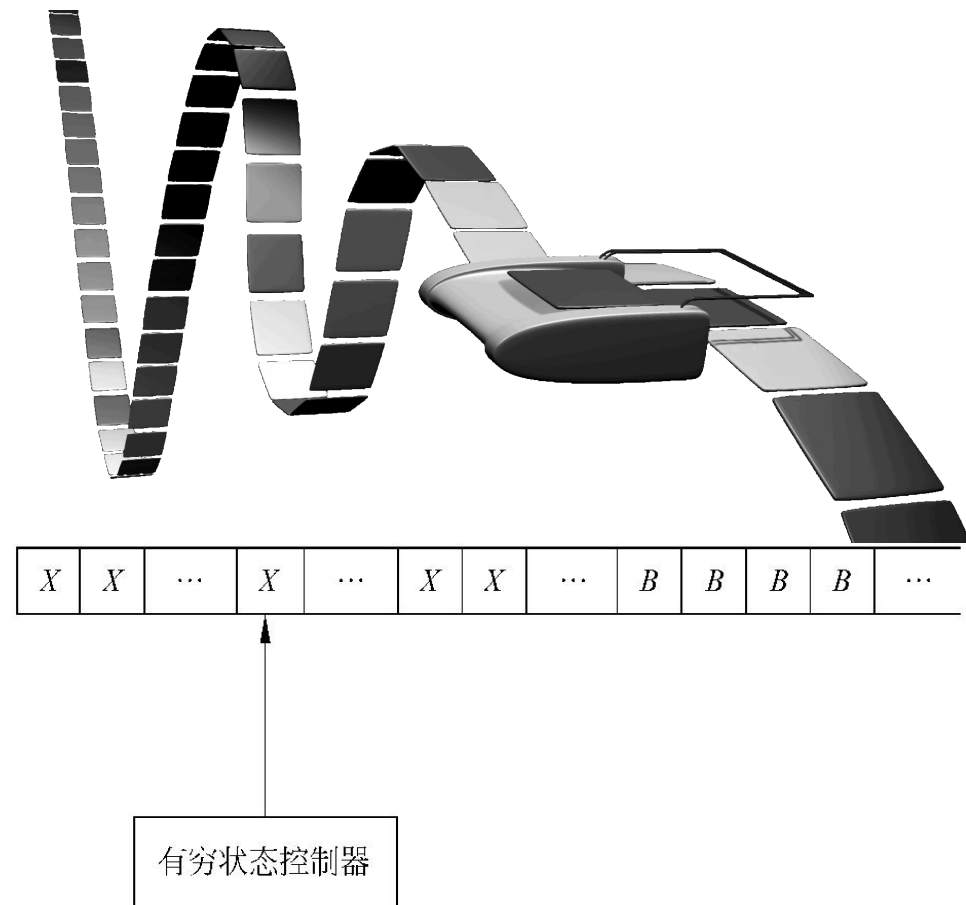


- 1937年, Alan Turing 提出一种 “通用” 计算机的概念, 它可以执行任何一个描述好的程序 (算法), 实现需要的功能, 形成了 “可计算性” 概念的基础。
- “存储程序” 的思想, 使计算机从专用走向通用。正是这一创新, 开创了计算机的新时代。
- 50年代, Turing提出了 “智能” 计算机的概念。

>>> 图灵机 (Turing Machine)

- 模拟人运算过程，依赖于
 - (a) 此人当前思维的状态
 - (b) 此人当前所关注的纸上某个位置的符号
- 确定型图灵机
 - 有穷状态集Q
 - 有穷符号集P
 - 转移函数

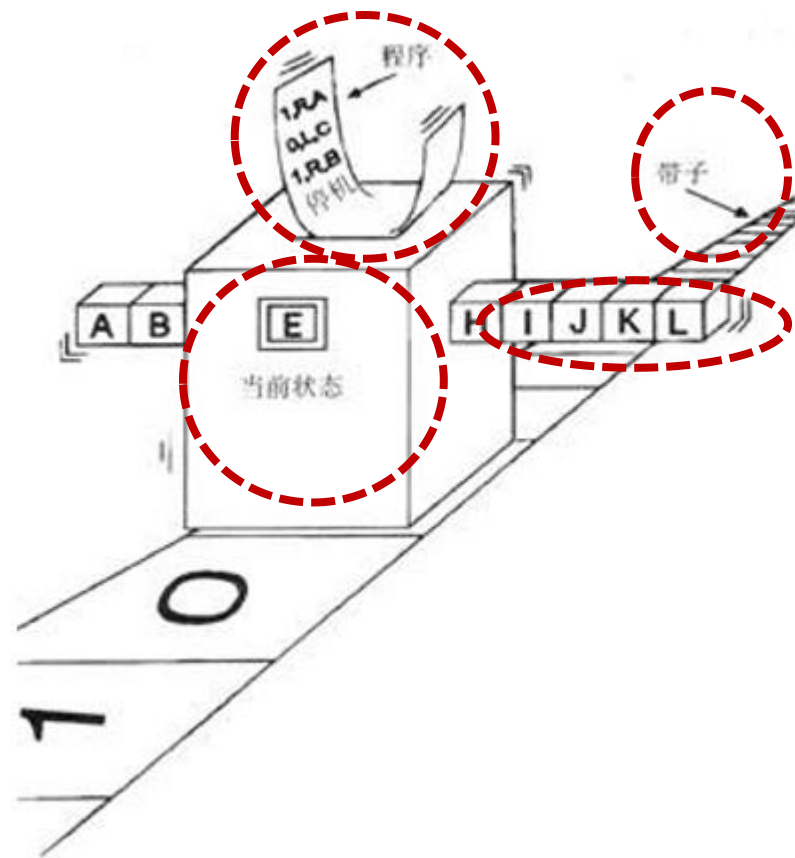
$$F: Q \times P \rightarrow Q \times P \times \{-1, 0, +1\}$$



通用机(Universal Machine)概念

>>> 图灵机 (Turing Machine)

- 从读写头在纸带上读出一个方格的信息，并且根据它当前的内部状态开始对程序进行查表，然后得出一个输出动作，也就是是否往纸带上写信息，还是移动读写头到下一个方格。
- 程序也会告诉它下一时刻内部状态转移到哪一个。



当前内部状态 s	输入数值 i	输出动作 o	下一时刻的内部状态 s'
B	1	前移	C
A	0	往纸带上写 1	B
C	0	后移	A
...



>>> 图灵可计算

- “Computable Numbers”
 - 图灵可计算—在**有限机械步**中可完成的计算
- “Computational Complexity”
 - 计算复杂性：**指数**（与问题规模的关系）
- 丘奇-图灵强论题：任何物理上可以实现的计算机器都可以被一台多项式时间内停机的图灵机模拟。

图灵机特点

- **通用计算机：确定了现代计算机的理论基础。**
- **存储程序计算机：问题的求解由程序或过程给出，程序和过程可以通过语言描述。**
- **有限速度：计算机执行程序的时间是有限的。**
- **有限空间：计算机程序的存放空间和数据存放空间也是有限的。**
- **奠定了现代计算机的理论基础。**

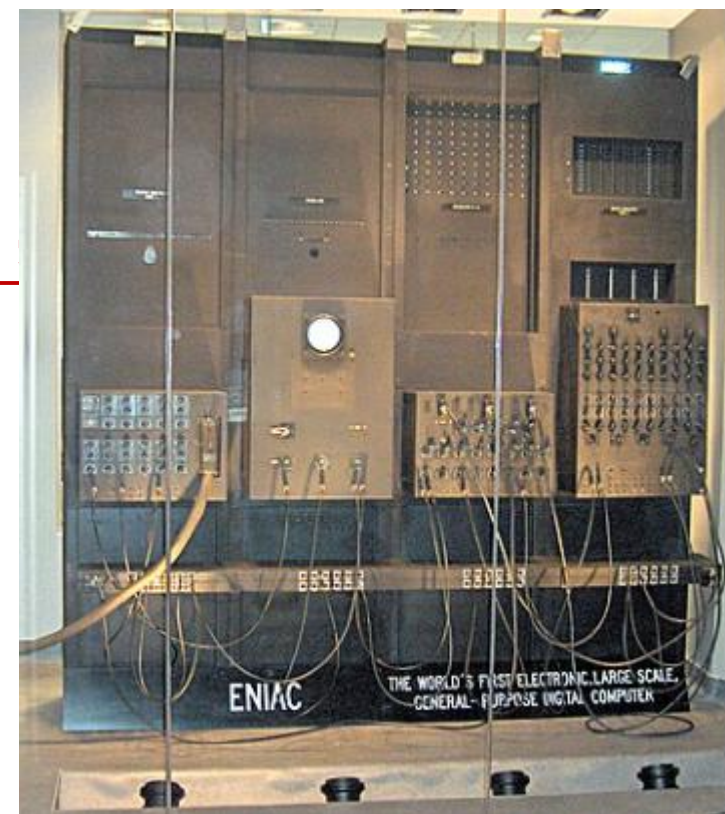
>>> 现代计算机的里程碑

年代	机器名称	制造者	说明
1834	Analytical Engine	Babbage	建造数字计算机的第一次尝试
1936	Z1	Zuse	第一台使用继电器的计算机
1943	COLOSSUS	英国政府	第一台电子计算机
1944	Mark I	Aiken	第一台美国通用计算机
1946	ENIAC I	Eckert/Mauchley	现代计算机历史从它开始
1949	EDSAC	Wilkes	第一台存储程序的计算机
1951	Whirlwind I	M.I.T.	第一台实时计算机
1952	IAS	Von Neumann	大多数现代计算机还用的设计
1960	PDP-1	DEC	第一台小型机（销售 50 台）
1961	1401	IBM	非常流行的小型商用机
1962	7094	IBM	60 年代早期的主流科学计算用机
1963	B5000	Burroughs	面向高级语言设计的第一台计算机
1964	360	IBM	系列机的第一个产品
1964	6600	CDC	第一台用于科学计算的超级计算机
1965	PDP-8	DEC	第一台占领市场的小型机（销售 50, 000 台）
1970	PDP-11	DEC	70 年代的主导小型机
1974	8080	Intel	第一台在一个芯片上的 8 位计算机
1974	CRAY-1	Cray	第一台向量超级计算机
1978	VAX	DEC	第一台 32 位超级小型计算机
1981	IBM PC	IBM	开创现代个人计算机新纪元
1985	MIPS	MIPS	第一台商用 RISC 机
1987	SPARC	Sun	第一台基于 SPARC 的 RISC 工作站
1990	RS6000	IBM	第一台超标量体系结构计算机

>>> 第一台通用电子计算机ENIAC

Electronic Numerical and Integrate Calculator 电子数值积分计算机

- Mauchly and Eckert 设计，1946年2月14日
- 第一台通用电子计算机，用于计算火炮的弹道
- 重30吨，占地15000平方英尺，18000个电子管，140KW
- 运算速度：5000次加法/秒
- 使用十进制数
- 20个寄存器，每个存放10位的十进制数
- 设置6000个开关和众多的插头和插座来编程

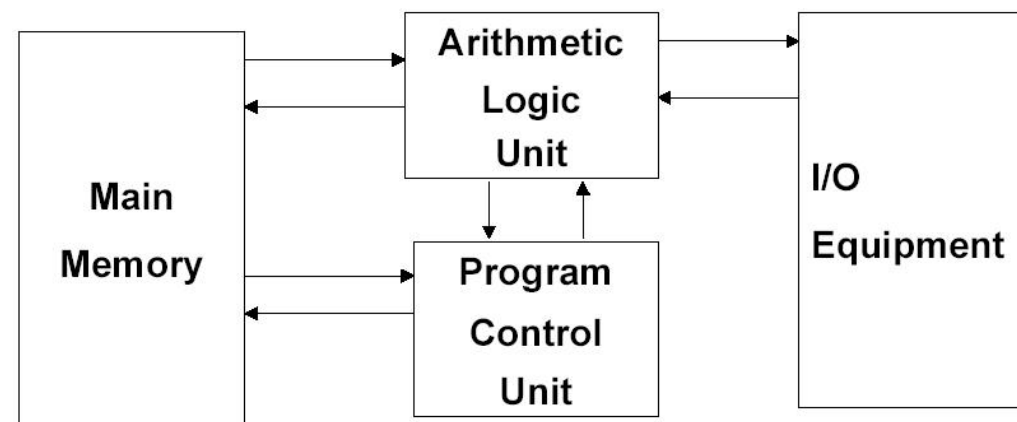


>>> Von Neumann 机 IAS



Instruction Set Architecture 指令架构集

- 现代计算机结构的鼻祖：五大功能部件
- 程序和数据统一表示：存储器有4096字，每个字40位
- 采用二进制数据：简化了存储器
- 只提供整数运算：任何有能力的数学家都能在头脑中记住小数点的位置。
- 第一台VonNeumann计算机：EDSAC



>>> 第一台小型机：PDP-1

Programmed Data Processor-1 程序数据处理机

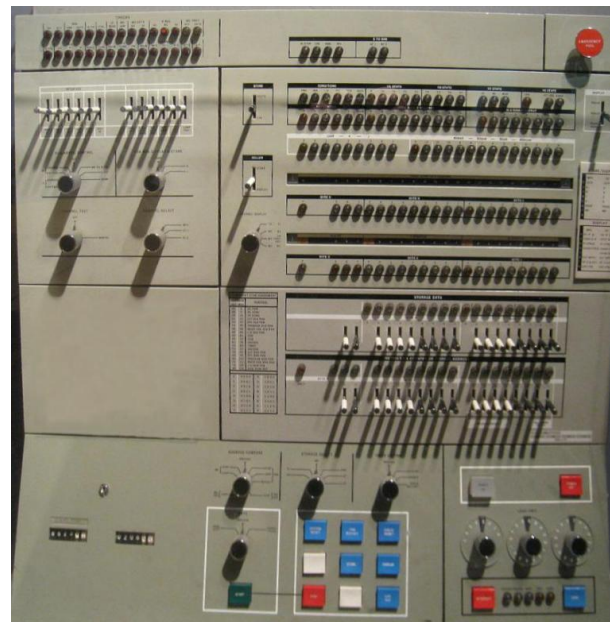
- 1957年由DEC公司生产
- 第二代计算机（**晶体管**）
- 18位字长，4K内存，机器周期为5微秒
- 售价120000美元，售出50台
- 总线结构
- 开创了计算机产业！



>>> 第一个系列计算机 IBM 360

第三代计算机

- 计算机应用：科学计算和商务处理
- 如何在相同的硬件平台上运行不同的软件？
 - 系列计算机：IBM 360
 - 计算机系统结构：程序员眼中的计算机。
具有相同系统结构的计算机可以运行相同的程序。
- 微程序控制器



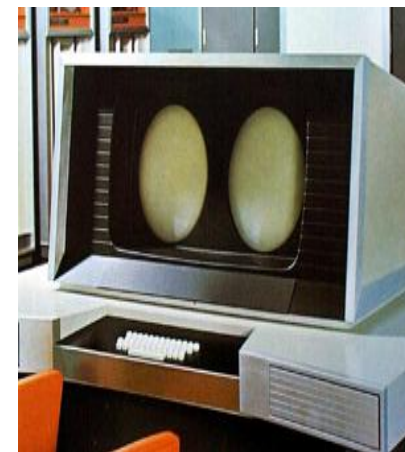
>>> 高性能计算机



- CDC6600, 1964年
 - 1MFLOPS 每秒浮点计算 (Floating-point Operations Per Second)
- CARY-1向量机, 1976年
 - 0.1GFLOPS
- CARY-2向量机, 1985年
 - 1GFLOPS
- MPP并行处理机
 - 高性能计算机的主流发展方向



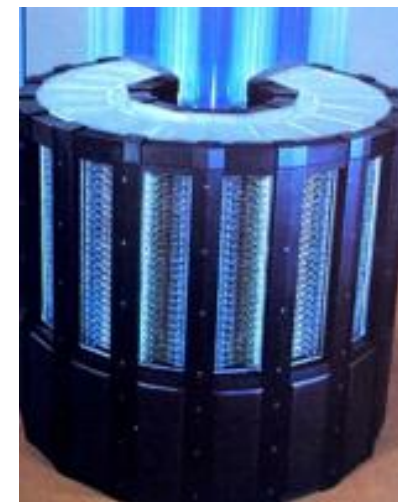
CDC 6600



CDC 6600控制台



CARY-1



CARY-2

• 注意：浮点运算即是小数的四则运算，常用来测量电脑运算速度或被用来估算电脑性能，尤其是在使用到大量浮点运算的科学计算领域中。

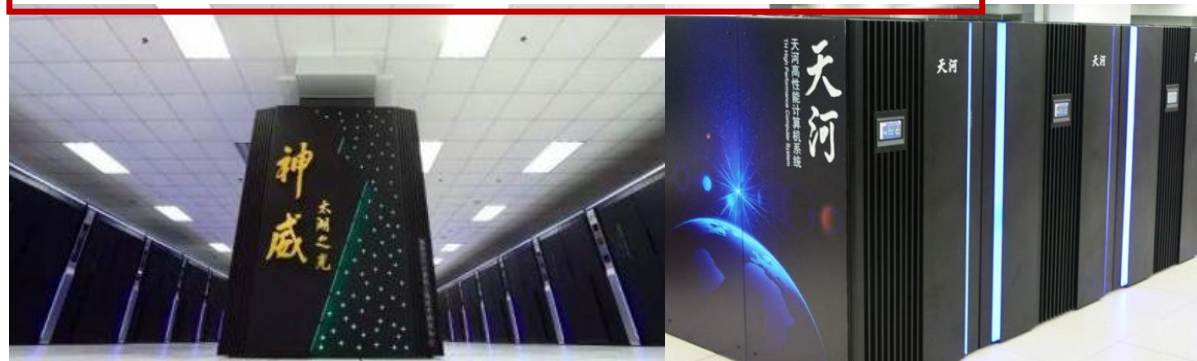
>>> 高性能计算机



Rank	System	Cores	Rmax (PFlop/s)	Rpeak (PFlop/s)	Power (kW)
1	Frontier - HPE Cray EX235a, AMD Optimized 3rd Generation EPYC 64C 2GHz, AMD Instinct MI250X, Slingshot-11, HPE DOE/SC/Oak Ridge National Laboratory United States	8,699,904	1,206.00	1,714.81	22,786
2	Aurora - HPE Cray EX - Intel Exascale Compute Blade, Xeon CPU Max 9470 52C 2.4GHz, Intel Data Center GPU Max, Slingshot-11, Intel DOE/SC/Argonne National Laboratory United States	9,264,128	1,012.00	1,980.01	38,698
3	Eagle - Microsoft NDv5, Xeon Platinum 8480C 48C 2GHz, NVIDIA H100, NVIDIA Infiniband NDR, Microsoft Azure Microsoft Azure United States	2,073,600	561.20	846.84	
4	Supercomputer Fugaku - Supercomputer Fugaku, A64FX 48C 2.2GHz, Tofu interconnect D, Fujitsu RIKEN Center for Computational Science Japan	7,630,848	442.01	537.21	29,899
5	LUMI - HPE Cray EX235a, AMD Optimized 3rd Generation EPYC 64C 2GHz, AMD Instinct MI250X, Slingshot-11, HPE EuroHPC/CSC Finland	2,752,704	379.70	531.51	7,107

11	Venado - HPE Cray EX254n, NVIDIA Grace 72C 3.1GHz, NVIDIA GH200 Superchip, Slingshot-11, HPE DOE/NNSA/LANL United States	481,440	98.51	130.44	1,662
12	Sierra - IBM Power System AC922, IBM POWER9 22C 3.1GHz, NVIDIA Volta GV100, Dual-rail Mellanox EDR Infiniband, IBM / NVIDIA / Mellanox DOE/NNSA/LLNL United States	1,572,480	94.64	125.71	7,438
13	Sunway TaihuLight - Sunway MPP, Sunway SW26010 260C 1.45GHz, Sunway, NRCP National Supercomputing Center in Wuxi China	10,649,600	93.01	125.44	15,371
14	Perlmutter - HPE Cray EX 235n, AMD EPYC 7763 64C 2.45GHz, NVIDIA A100 SXM4 40 GB, Slingshot-11, HPE DOE/SC/LBNL/NERSC United States	888,832	79.23	113.00	2,945
15	Selene - NVIDIA DGX A100, AMD EPYC 7742 64C 2.25GHz, NVIDIA A100, Mellanox HDR Infiniband, Nvidia NVIDIA Corporation United States	555,520	63.46	79.22	2,646
16	Tianhe-2A - TH-IVB-FEP Cluster, Intel Xeon E5-2692v2 12C 2.26GHz, TH Express-2, Matrix-2000, NUDT National Super Computer Center in Guangzhou China	4,981,760	61.44	100.68	18,482

- Rank 1, 美国, “前沿Frontier”
 - 1714.81 PFLOPS
- Rank 13, 中国, “神威太湖之光”
 - 125.44 PFLOPS



>>> 计算机软件及程序设计语言

年代	语言或软件名称	创造者	说明
1945	Plankalkul	Zuse	第一个面向算法的程序设计语言
1952	A0-Complier	Grace Hopper	第一个编译器
1957	FORTRAN		第一个得到广泛使用的程序设计语言
1960	COBOL		第一个面向商务应用的程序设计语言
1960	LISP		人工智能用语言
1960	Quicksort 算法	C. A. R. Hoare	排序算法
1963	ASCII		编码标准
1964	BASIC	Thomas and Kurtz and John Kemeny	易学易用的计算机语言
1969	RS-232-C 标准		主机与外设的信息交换标准
1969	UNIX、C	Kenneth Thompson and Dennis Ritchie	多用户分时操作系统
1981	MS-DOS	MicroSoft	PC 机操作系统
1983	Word	MicroSoft	面向高级语言设计的第一台计算机
1985	C++	Bjarne Stroustrup	面向对象编程语言
1990	Windows 3.0	microsoft	
1991	LINUX	Linus Torvalds	

>>> 编译器的诞生

编译器：将某种编程语言写成的源代码（原始语言）转换成另一种编程语言（目标语言）

- **Grace Murray Hopper (1906-1992)**
- **Yale数学博士、美国海军少将**
- **1945年, “BUG”**
- **1952年, A0编译器**
- **1960年, COBOL语言**
- **《优雅人生》, 机械工业出版社, 2011年**





>>> 计算机的主要技术指标-1

- 字长

- 字长是计算机中参与运算的二进制位数，它决定计算机内寄存器、运算器和总线的位数，对计算机的运算速度、计算精度有重要影响。

- 运算速度

- 计算机的运算速度(平均运算速度) 指单位时间(秒)内平均执行的指令条数，一般用百万次/秒来描述



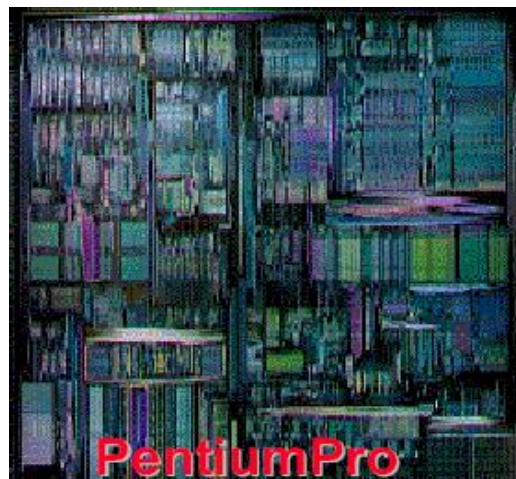
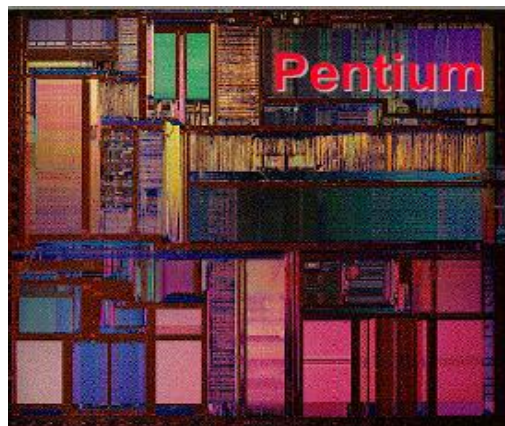
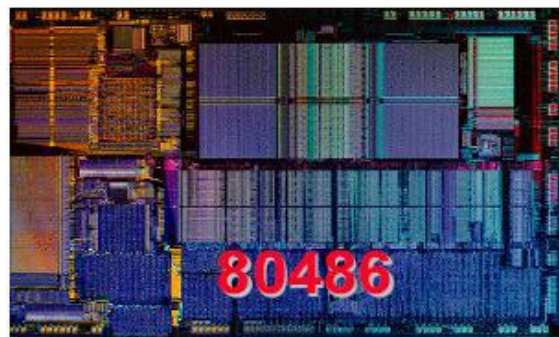
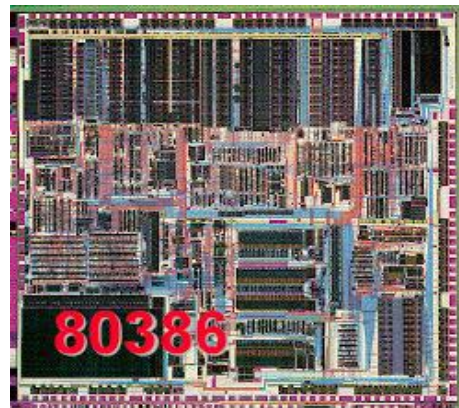
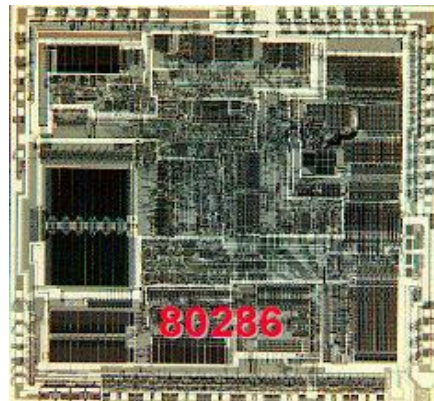
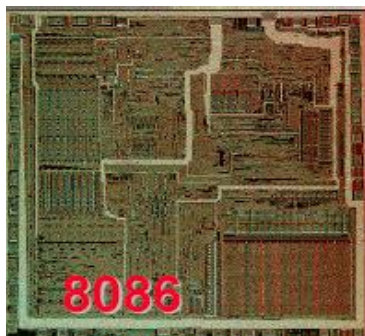
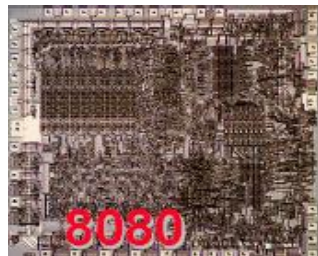
>>> 计算机的主要技术指标-2

- **时钟频率(主频)**
 - 时钟频率是CPU在单位时间(秒) 内发出的脉冲数。通常，时钟频率以兆赫(MHz) 或吉(GHz)为单位
- **内存容量**
 - 计算机内存容量的大小决定其记忆功能的强弱，内存一般以GB为单位
- **外存容量**
 - 外存容量通常是硬盘容量，计算机工作时的信息交换主要通过硬盘进行，因此，硬盘的容量与速度在很大程度上决定了计算机整机的性能

>>> 如何使用计算机

- 单用户、单程序
 - ENIAC, 仅运行一个程序, 运行其它程序时要进行硬件编程
- 单用户、多程序
- 多用户、单程序
 - 分时, 操作系统进行简单管理 (共享设备驱动等)
 - 1960年, IBM709FMS
- 多用户、多程序
 - 时间片进一步划分
 - 1969年, UNIX, 通用操作系统

>>> 应用的普及



- Moore's Law:** The number of transistors on microchips doubles every two years. Moore's law describes the empirical regularity that the number of transistors on integrated circuits doubles approximately every two years. This advancement is important for other aspects of technological progress in computing – such as processing speed or the price of computers.



》》下一代计算机

- Babbage: 更快、更高、更强
- Turing: 智能计算机
- 摩尔定律将被终结?
 - 几个原子的宽度的超大规模集成电路 (VLSI) 技术还不确定
- 非Von Neumann结构计算机将出现?
 - 并行计算和分布式计算
 - 硬件可配置计算
- 非硅计算机将出现?
 - 量子计算机
 - 生物计算机

- **计算机组成原理**
 - **单CPU计算机完整的硬件系统的基本原理与内部运行机制**
- **计算机的层次结构**
 - **理解计算机系统和结构的钥匙**
- **计算机的发展历史**
 - **以史为鉴，可知兴替，可明得失。**

- 思考
 - 计算机发展历史经验和今后的发展方向?
 - 什么是图灵机?



谢谢