



计算概论-计算机组成

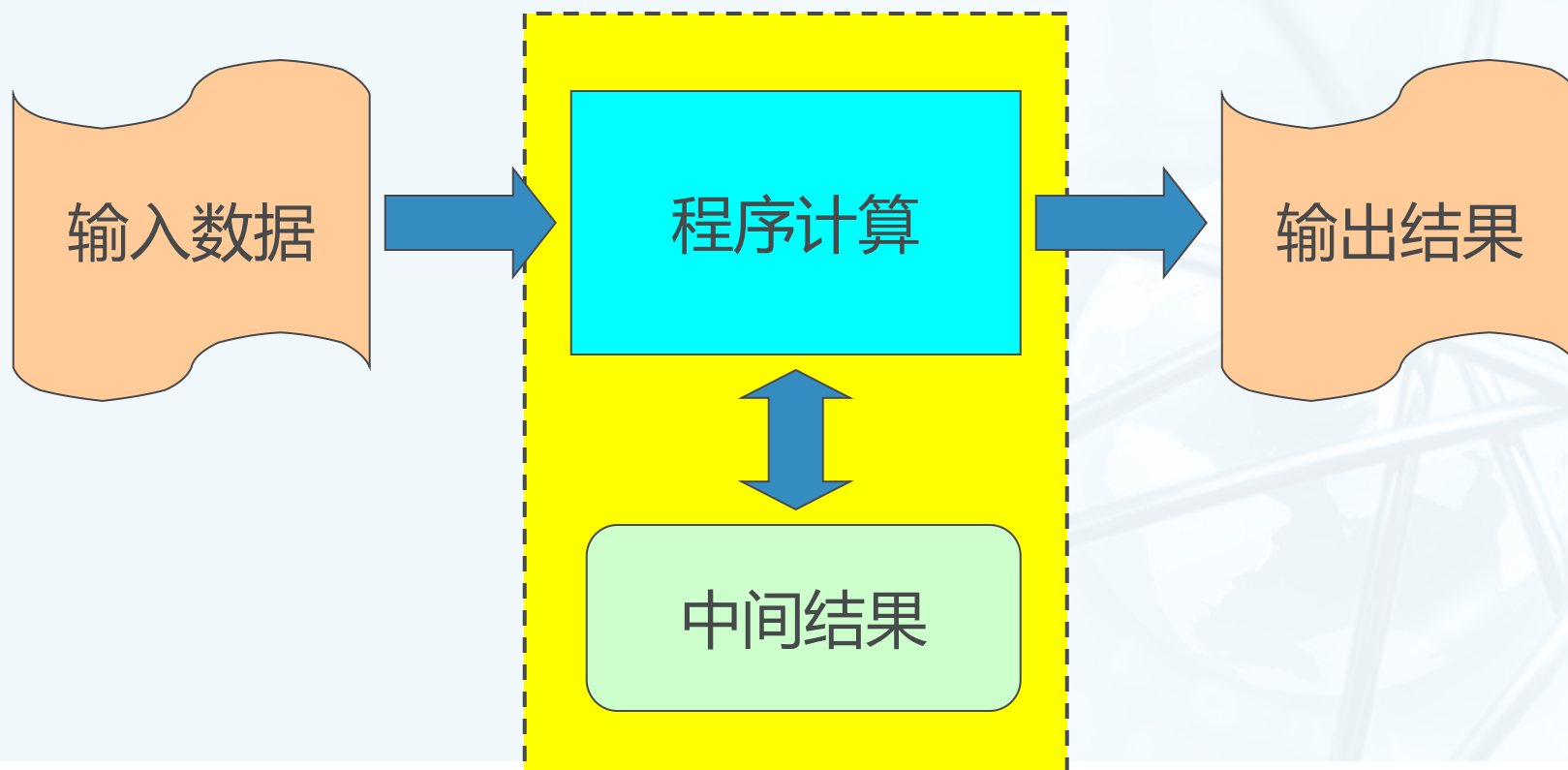
陈斌 北京大学地球与空间科学学院 gischen@pku.edu.cn

目录

- › **一般结构**
- › **专用计算机和通用计算机**
- › **存储程序体系结构**
- › **哈佛体系结构**
- › **典型PC体系结构及外围设备**
- › **典型智能手机、超级计算机体系结构**
- › **其它类型计算机**

计算机器的一般结构

› 能够自动执行算法的机器



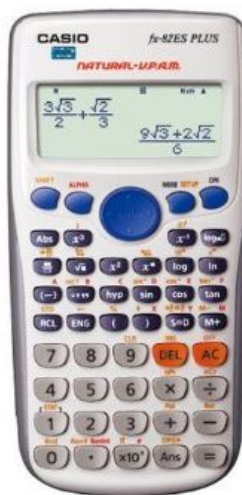
哪些东西是计算机？

- › 最常见的计算机
- › 很小的计算机
- › 超大的计算机
- › 功能单一的计算机

专用计算机

› 专用计算机

程序和功能固定，数据存储可变
只能实现固定的有限的功能



› 身边的专用计算机

计算器

VCD、DVD播放机

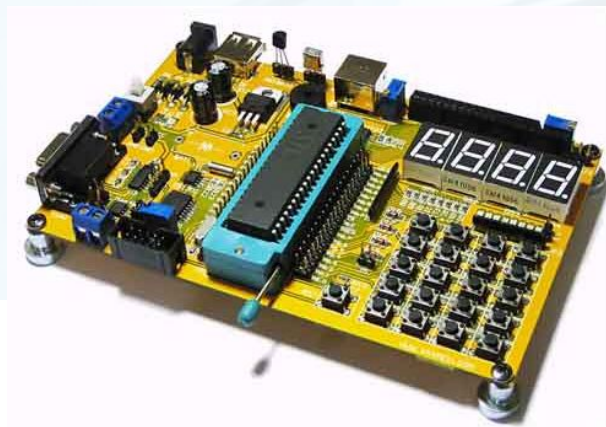
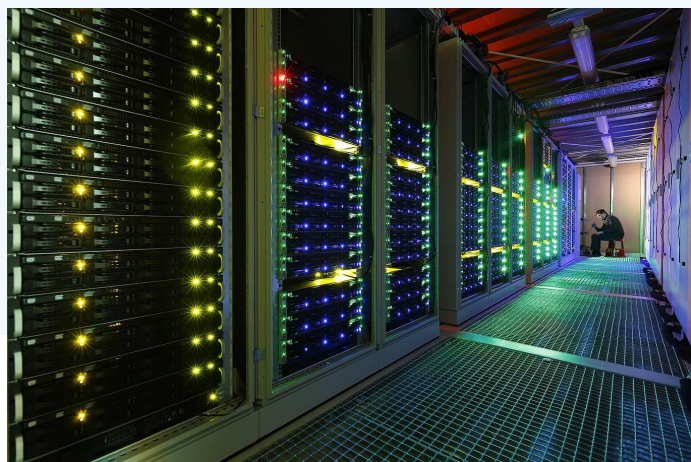
功能手机

数码相机、数码摄像机



通用计算机Universal Computer

- › **“计算机的计算机”：实现一套通用的指令**
可以用来模拟算法和程序实现
同样的输入产生同样的输出
- › **将算法和程序独立出来**
- › **将程序如数据一样存储可变**
不同的程序实现不同的功能



通用计算机

› 用通用指令集来描述算法和程序

› 最基本的算术逻辑运算

算术运算（加、减、乘、除）

逻辑运算（与、或、非、异或）

按位的运算（左移、右移）

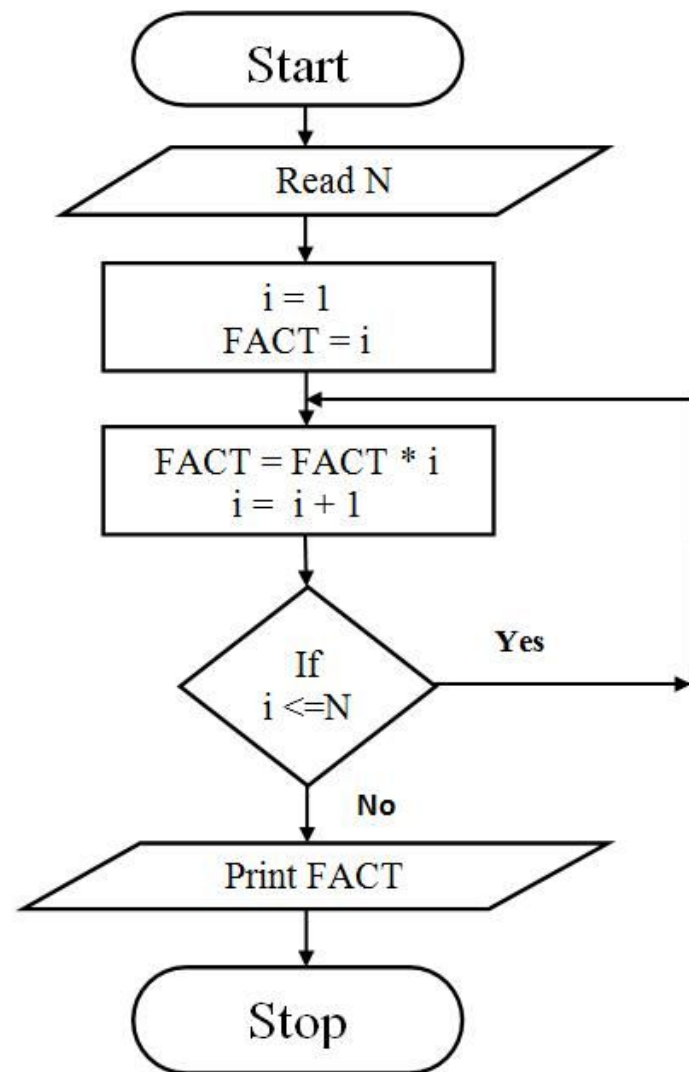
› 数据存储的访问和操纵

› 程序流程控制

顺序、跳转、条件、循环、程序块

› 其它指令

机器状态、输入输出等

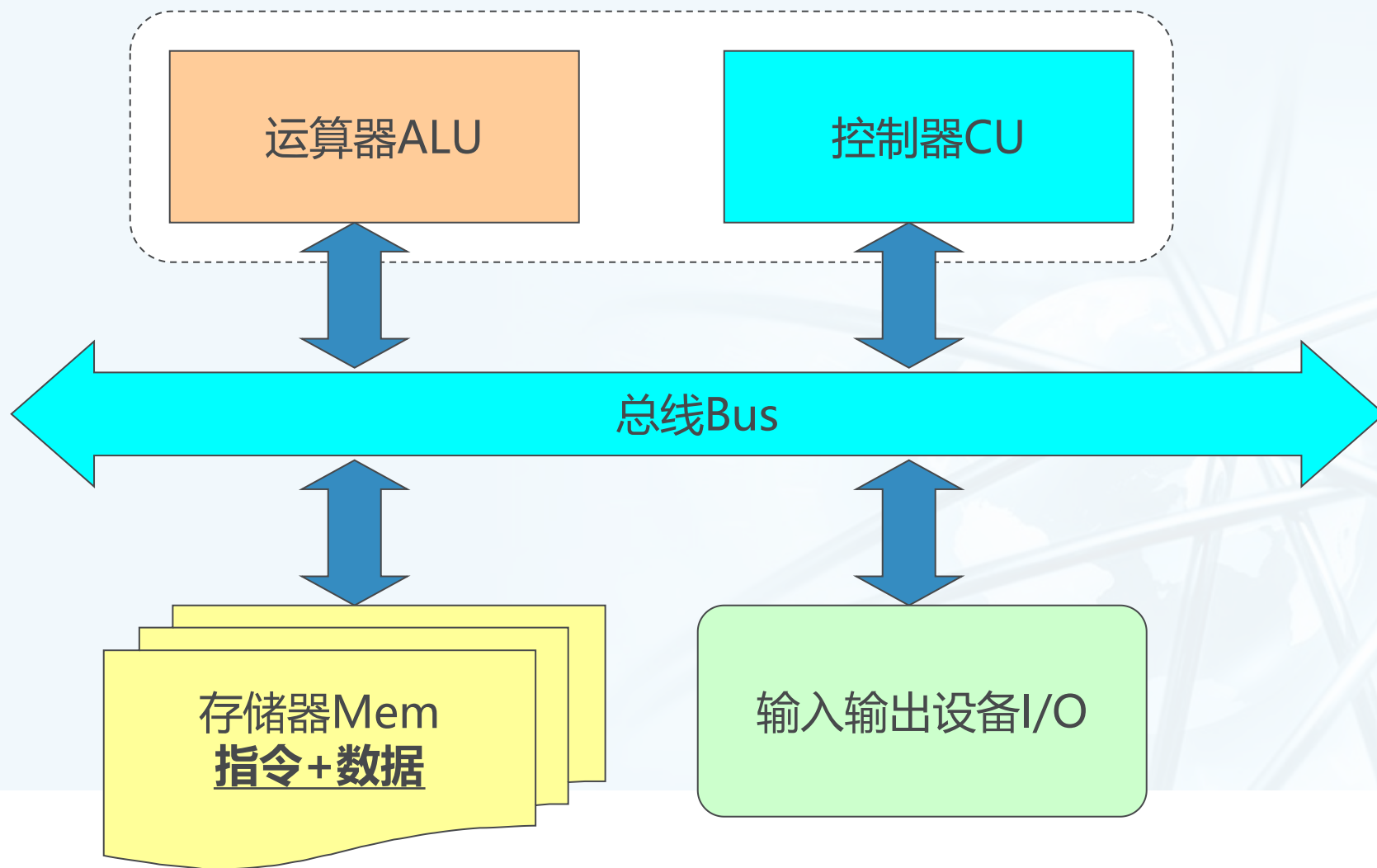


存储程序体系结构：冯诺伊曼结构

- › **运算器和存储器分离**
- › **程序和数据混合存储**
指令和数据宽度相同
指令的自修改问题
- › **将程序指令作为数据看待**
编译器：由高级语言的源代码产生机器指令
- › **由控制器控制指令和数据在运算器和存储器之间传输**



存储程序体系结构



运算器：算术逻辑单元ALU

- › **Algorithm Logic Unit**
- › **执行算术运算：二进制整数的加、减、乘**
- › **执行逻辑运算：按二进制位的与、或、非、异或**
- › **位移运算：按二进制位的左移、右移**
- › **除法和浮点运算（实数）一般不在ALU中实现**
用户软件模拟；微码编程；特殊硬件FPU

控制器 (Control Unit)

› 保存机器状态：寄存器

运算数的临时存储

程序指令地址的保存：程序计数器和调用堆栈

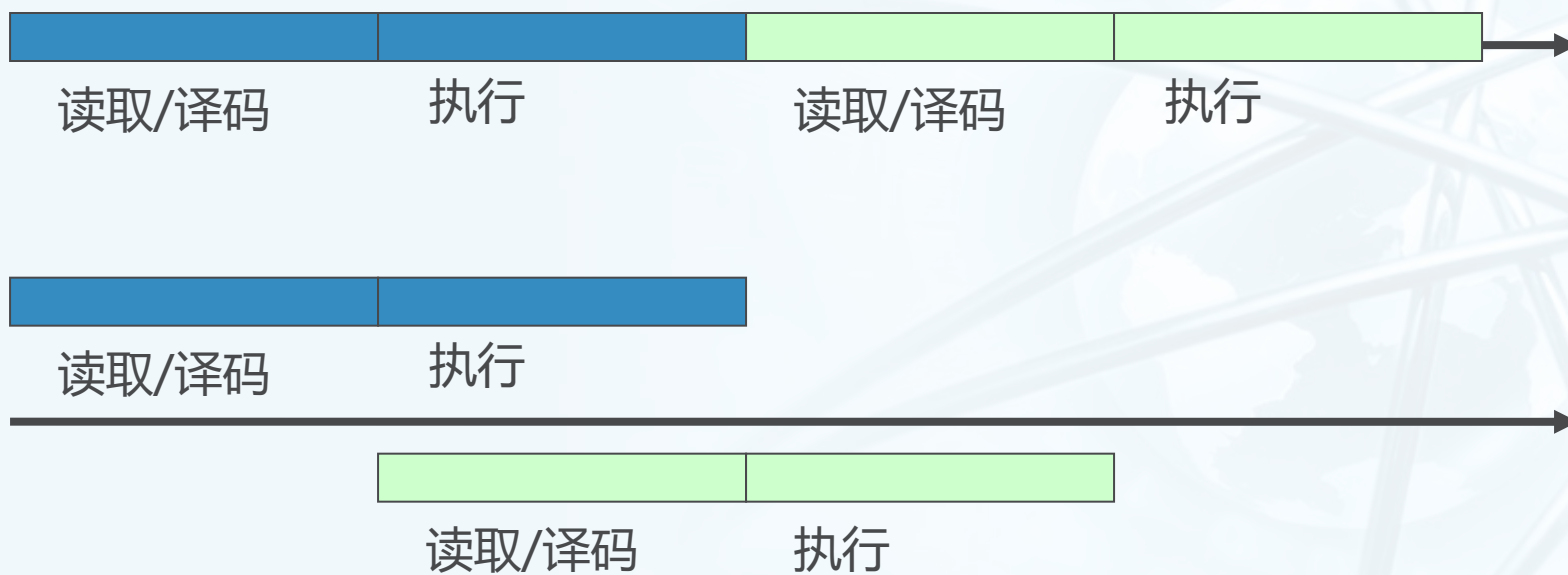
› 从内存读取指令

› 译码为控制信号传递给ALU执行

› 运算结果写回内存

时钟控制的机器周期

- › 指令周期和执行周期
- › 流水线执行



存储器 (Memory)

› 存储单元可以存放指令或者数据

› 存储单元线性编址

通过地址访问内容

› 访问方式

读出内容

写入新内容

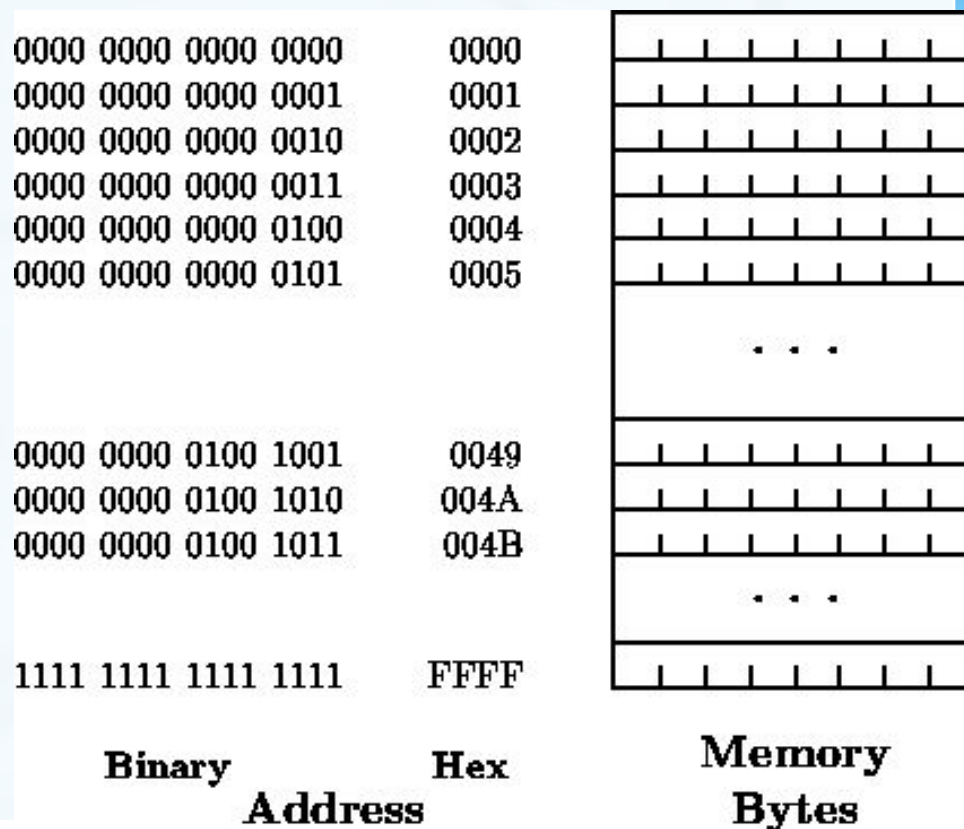


Figure 1.2: Memory and Addresses

输入输出设备 (I/O)

- › 与**外界**的接口，实现数据交换
- › **输入**设备：获得数据
- › **输出**设备：展现数据给用户
- › **存储**设备：永久化保存数据
- › **通信**设备：与其它计算机交换数据
- › 一般需要在**CU+ALU**支配下与**内存**交换数据
- › **DMA**：直接内存访问方式，可以不经过CU+ALU直接在外设和内存之间传输数据

一般用于大容量外存储设备，如硬盘

总线 (Bus)

- › **总线是信号传输通道**
- › **在四个部件之间传输控制命令、程序指令和数据**
- › **由时钟协调占用次序**
- › **关于内频和外频**
 - 控制器的时钟（内频，高）
 - 总线的时钟（外频，较低）
 - 时钟频率越高，计算机速度越快
 - 内外频要配合才能提高总体速度

计算机运行过程

- ① 指令和数据从外存通过I/O接口装入内存
- ② 控制器的程序计数器PC指向第一条指令在内存中的地址
- ③ 控制器按照PC指向的地址从内存取指令
- ④ 译码为控制信号
- ⑤ 控制ALU执行计算，结果写回内存
- ⑥ 控制器中的状态已经改变
- ⑦ 程序计数器PC按照指令的后果改变，指向下条指令
顺序执行、条件跳转、无条件跳转、程序块调用和返回
- ⑧ 回到第3步循环

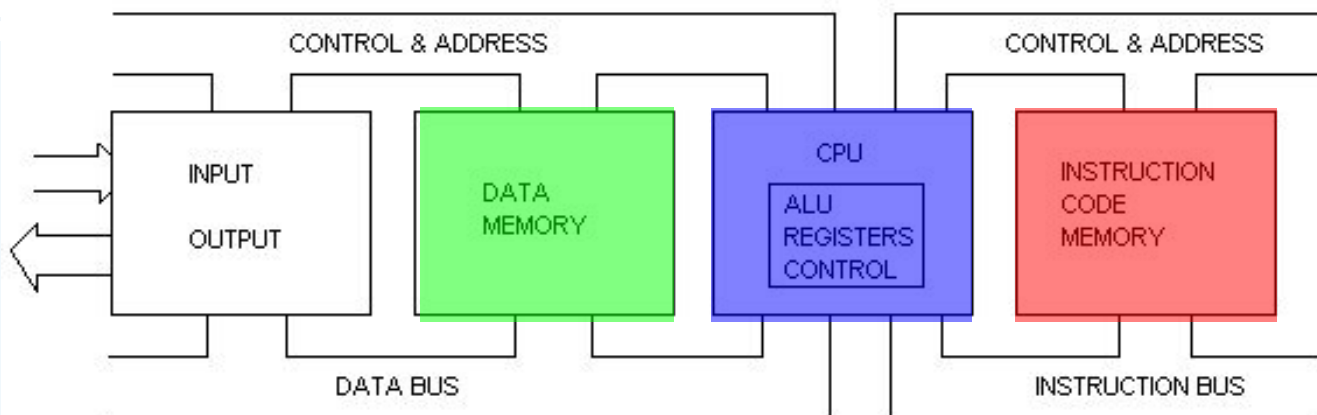
存储程序体系结构缺陷：冯诺依曼瓶颈

- › **ALU和存储器分离的结构**
- › **快速的ALU和低速的存储总线带宽**
- › **在进行大数据量的运算时，ALU不得不等待数据从内存传输过来**
- › **采用高速缓存Cache来解决**
ALU和内存之间的小容量、高速存储
由于数据访问的局部性原理，而有效运作
- › **程序和数据一视同仁，可以修改自身，有安全隐患**
错误或有意修改引起功能错乱和系统崩溃

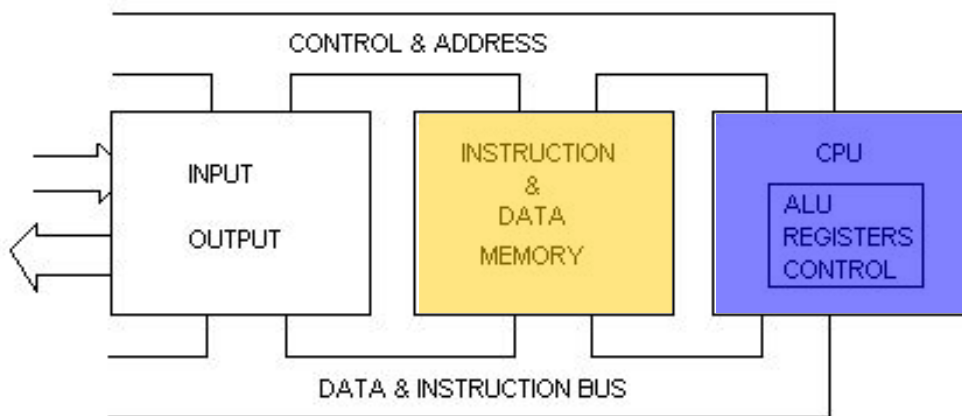
另一种体系结构：哈佛结构

- › **程序和数据分别存储**
能够具有不同的宽度（如指令32位、数据128位）
指令和数据同时取
- › **一些CPU，特别是数字信号处理器DSP采用此体系**
效率高，但电路复杂
- › **许多单片机采用此结构：AVR/ARM9/ARM10/ARM11**

两种体系结构的对比



HARVARD ARCHITECTURE MICROPROCESSOR



VON NEUMANN ARCHITECTURE MICROPROCESSOR

典型PC体系结构：CPU

› CPU=ALU+CU

› 通用CPU厂商：Intel、AMD、VIA、龙芯

› x86/x64指令集：

常用的PC操作系统均基于x86/x64处理器：Windows/Linux/macOS

› SIMD（单指令流多数据流）

一条指令处理多个数据：MMX 64bits/SSE 128bits/AVX 256bits

› CISC（复杂指令集）和RISC（精简指令集）

复杂的指令利用率低，增加CPU复杂度，耗费多个指令周期

但：80%程序只用到20%的指令

简单指令大多在一个指令周期完成，CPU结构简单，效率高

CPU性能指标

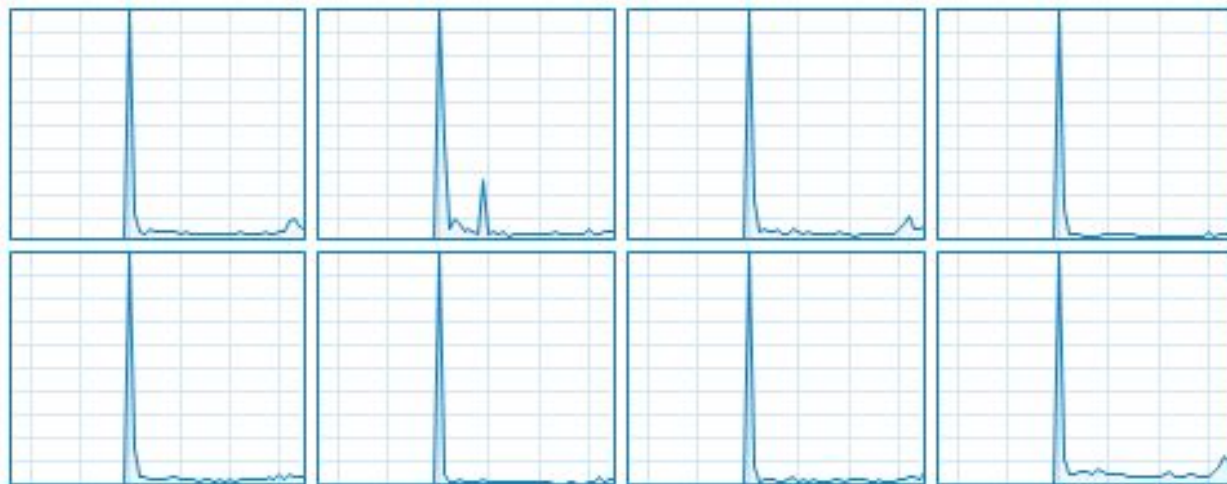
- › 多核心
- › 多执行线程
- › 基本频率
- › 功率
- › 高速缓存
- › 指令位数
- › 扩展指令集
- › 内存带宽

CPU

Intel(R) Core(TM) i7-4700MQ CPU @ 2.40GHz

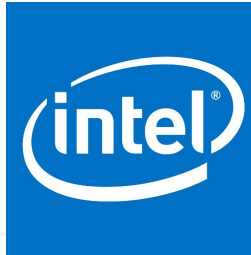
60 秒内的利用率 %

100%



利用率	速度	最大速度:	2.39 GHz
5%	1.24 GHz	插槽:	1
		内核:	4
进程	线程	句柄	逻辑处理器: 8
195	2624	82281	虚拟化: 已启用
正常运行时间		L1 缓存:	256 KB
3:02:37:30		L2 缓存:	1.0 MB
		L3 缓存:	6.0 MB

Intel CPU实例



› **台式机处理器：Intel® Core™ i7-6700K**

› **核心数：4核，8线程**

› **指令集：x86-64**

指令集扩展：SSE（单指令流多数据流），AVX（高级向量扩展）

› **主频：4GHz；功率：91W**

› **内存：最大64GB，DDR4-1866/2133**

› **高速缓存：L1 Data 4*32KB，L1 Inst. 4*32KB，L2 4*256KB，L3 8MB**

› **管脚：LGA 1151**



AMD CPU实例

› 台式机处理器：AMD FX 9590

› 核心数：8核，8线程

› 指令集：x86-64

指令集扩展：SSE，AVX

› 主频：5GHz；功率：220W

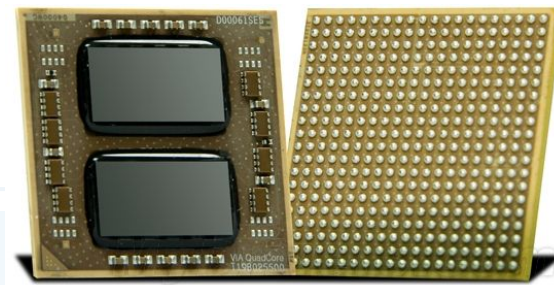
› 内存：DDR3-1866

› 高速缓存：L1 Data 8*16KB，L1 Inst. 4*64KB，L2 4*2048KB，L3 8MB

› 管脚：AM3+ 942



VIA CPU实例



› **台式机处理器：VIA QuadCore L4700**

› **核心数：4核，4线程**

› **指令集：x86-64**

扩展指令集：MMX，SSE

› **主频：1.2GHz；功率：27.5W**

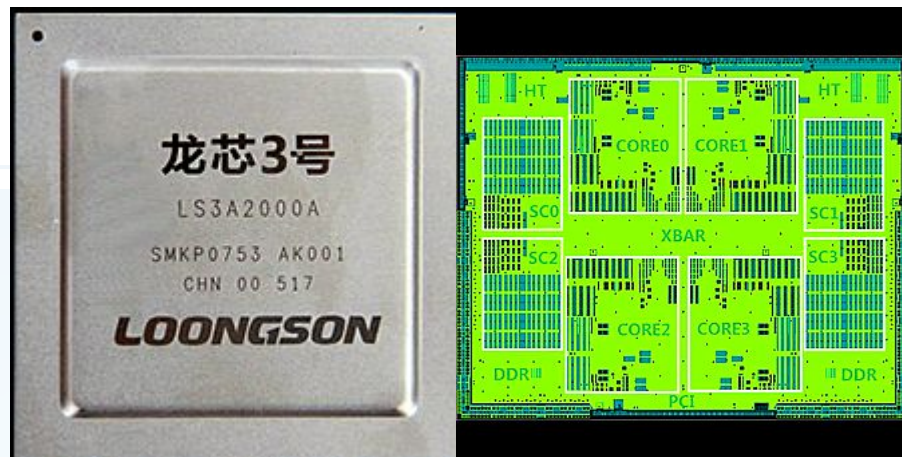
› **高速缓存：L1 Data 4*64KB，L1 Inst. 4*64KB，L2 4*1024KB**

› **管脚：nanoBGA2**



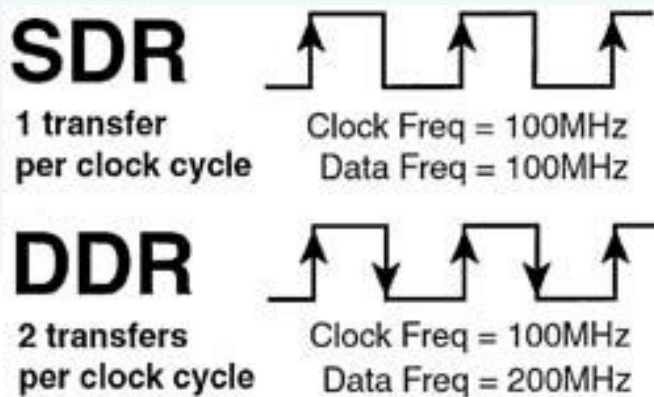
龙芯CPU实例

- › 台式机处理器：龙芯3A2000
- › 核心数：4核
- › 指令集：MIPS64
- › 主频：800MHz-1GHz；功率：15W
- › 内存：DDR3-1333
- › 高速缓存：L1 Data 4*64KB, L1 Inst. 4*64KB, L2 4*256KB, L3 4MB
- › 管脚：1121



典型PC体系结构：内存

- › DDR SDRAM (Double Data Rate Synchronous Dynamic RAM)
- › 与系统总线同步时钟，每个时钟周期传输2次数据
- › 最高规格是DDR4-2133，工作频率2133Mhz
- › 达到4266MT/s（传输次数），按照64位总线
- › 内存传输带宽达到 $4266\text{M} \times 8 = 34.1\text{GB/s}$



I/O设备控制：传统南北桥芯片组

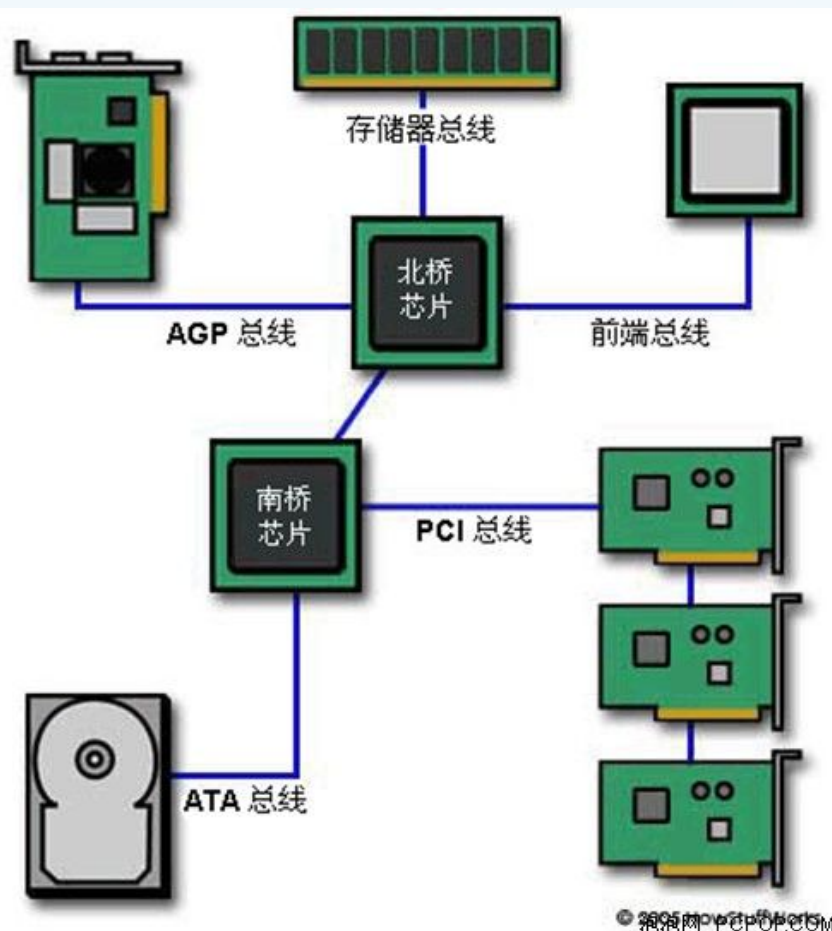
› 南桥芯片负责I/O总线之间的通信

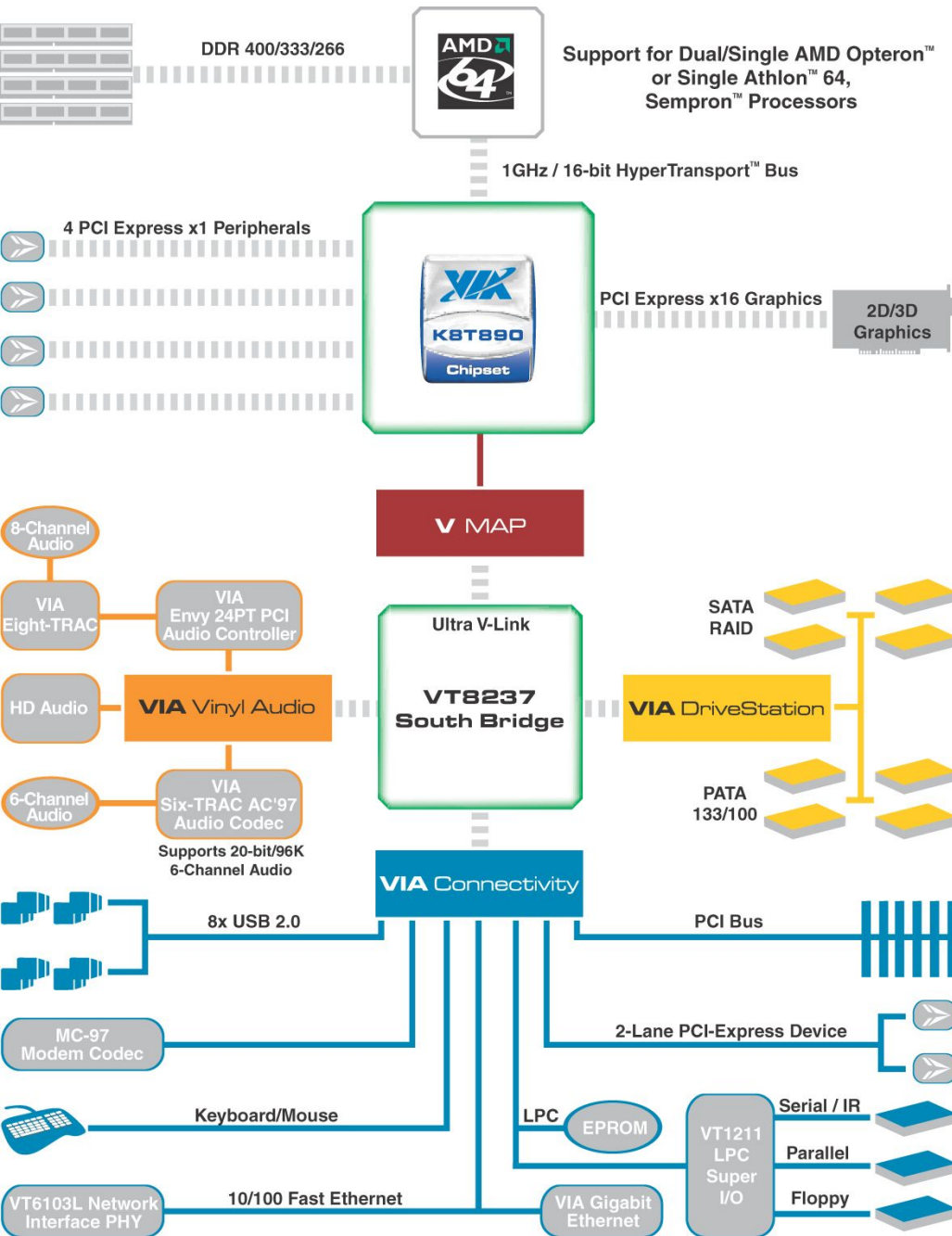
PCI总线、USB、LAN、ATA、SATA、音频控制器、键盘控制器、实时时钟控制器、高级电源管理等

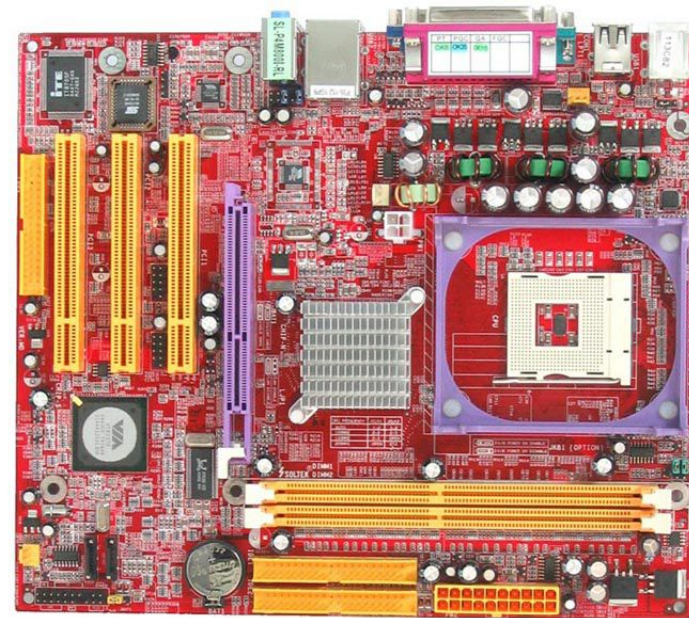
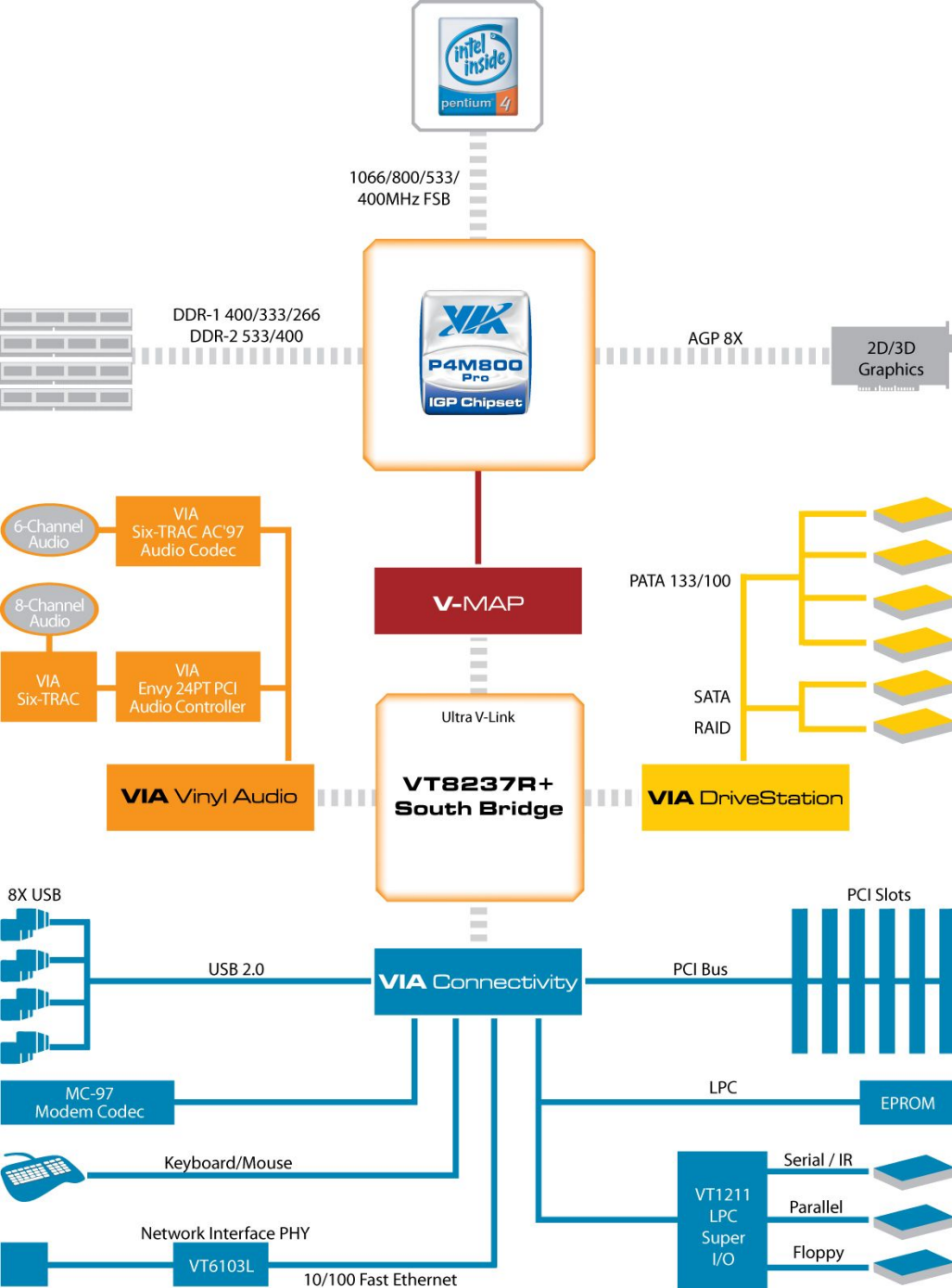
› 北桥芯片则负责与CPU的联系

包括内存控制器、PCI-E控制器、集成显卡、前端总线等

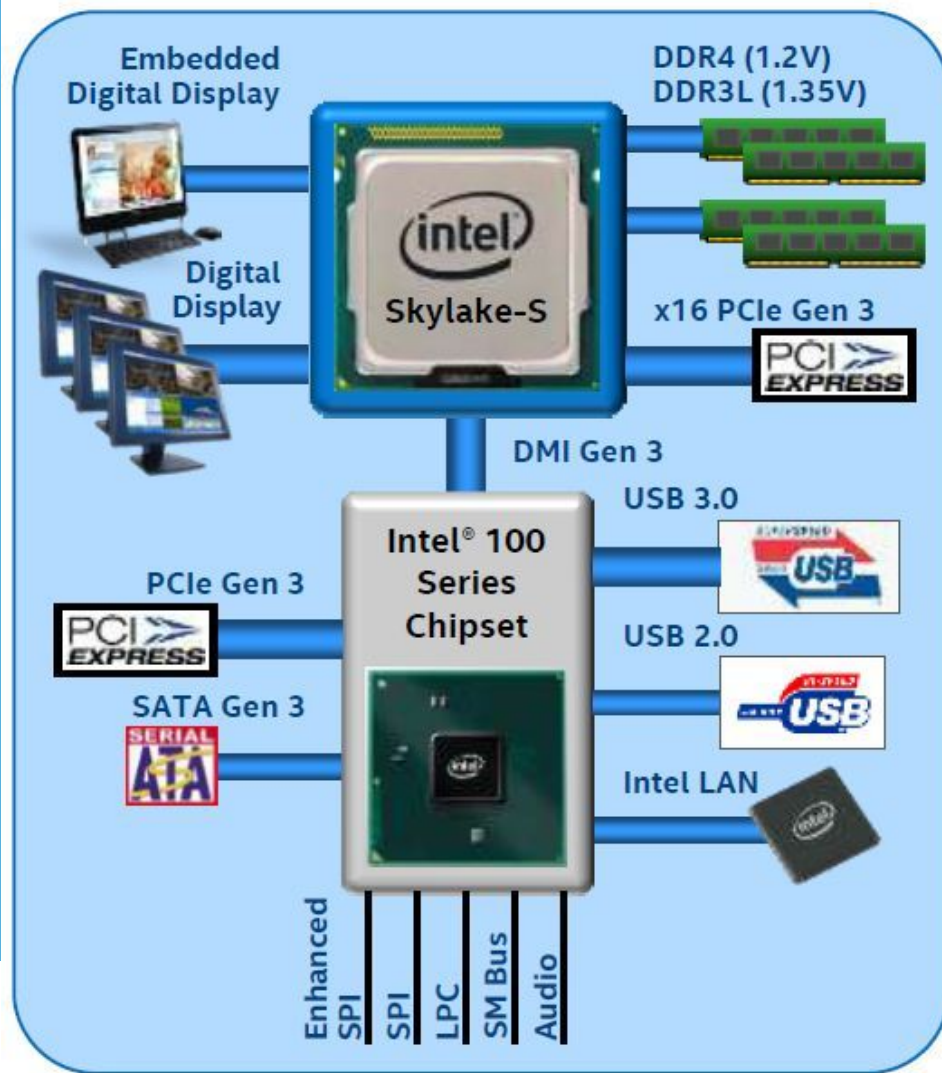
› 南桥与北桥芯片连接，成为芯片组

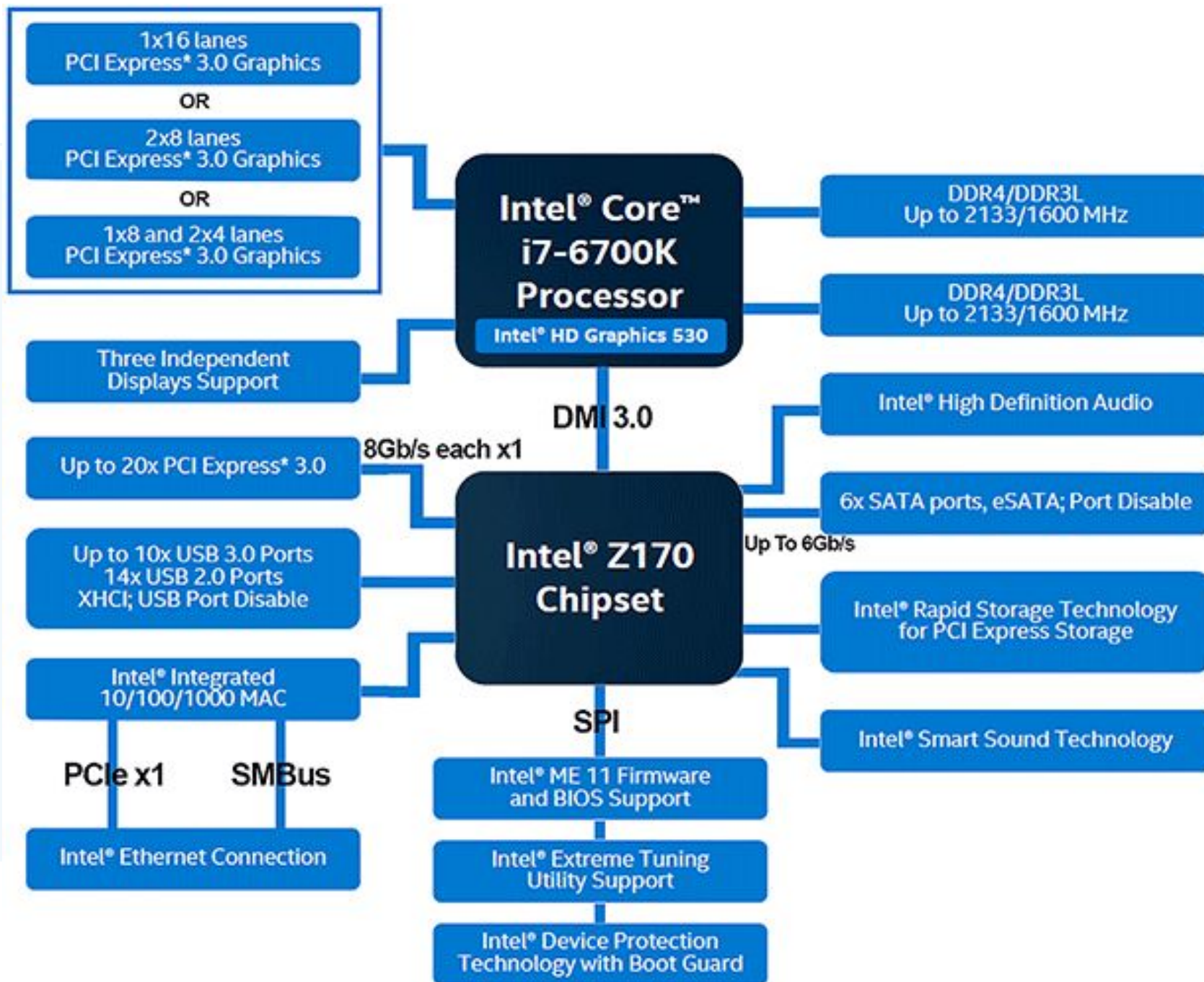






I/O设备控制：北桥芯片集成到CPU中





外围设备接口

- › **显示专用接口**：VGA/DVI/DP/miniDP/HDMI（CRT显示器，液晶显示器，投影仪）
- › **硬盘专用接口**：SATA（机械硬盘，固态硬盘）
- › **高带宽总线接口**：PCI Express（显卡）
- › **通用外部总线接口**：USB（键盘、鼠标、打印机、扫描仪、数码相机摄像机）
- › **音频专用接口**：模拟音频接口/SPDIF光纤（音箱）
- › **有线网络专用接口**：RJ45（交换机、路由器）
- › **无线技术**：蓝牙/WiFi（无线路由器）

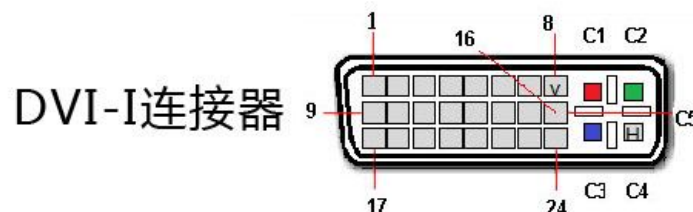
显示专用接口：VGA

- › VGA (Video Graphics Array) 视频图形阵列是IBM于1987年提出的一个使用**模拟信号**的电脑显示标准
- › VGA接口共有15针，分成3排，每排5个孔，是显卡上应用最为广泛的接口类型，绝大多数显卡都带有此种接口。
- › 它传输**红、绿、蓝模拟信号**以及**同步信号**(水平和垂直信号)。
- › 最大分辨率为2048*1536，刷新率60Hz。
- › 常见故障：如果用VGA接口连接的显示器或者投影仪显示**缺色**，很可能是接头的某根针断了。



显示专用接口：DVI

- › DVI (Digital Visual Interface) , 是1999年推出的同时具备数字和模拟接口的接口标准
- › 大部分DVI线不支持1920*1200以上的分辨率



引脚	功能	引脚	功能
1	TMDS 数据 2-	13	TMDS 数据 3+
2	TMDS 数据 2+	14	+5V 直流电源
3	TMDS 数据 2/4 屏蔽	15	接地 (+5 回路)
4	TMDS 数据	16	热插拔检测
5	TMDS 数据	17	TMDS 数据 0-
6	DDC 时钟	18	TMDS 数据 0+
7	DDC 数据	19	TMDS 数据 0/5 屏蔽
8	模拟垂直同步	20	TMDS 数据 5-
9	TMDS 数据 1-	21	TMDS 数据 5+
10	TMDS 数据 1+	22	TMDS 时钟屏蔽
11	TMDS 数据 1/3 屏蔽	23	TMDS 时钟+
12	TMDS 数据 3-	24	TMDS 时钟-
C1	模拟红色	C4	模拟水平同步
C2	模拟绿色	C5	模拟接地 (RGB 回路)
C3	模拟蓝色		

显示专用接口：DisplayPort



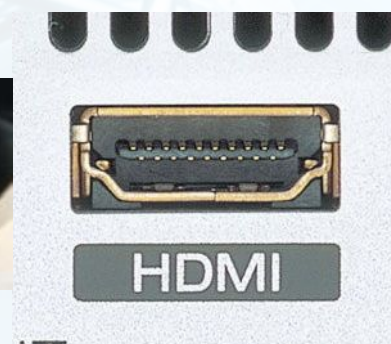
- › DisplayPort是一种高清数字显示接口标准，于2006年推出，免费开放使用。
- › 苹果公司自行开发了Mini DisplayPort接口
- › 普及程度不好，通常需要转换器。



显示专用接口：HDMI

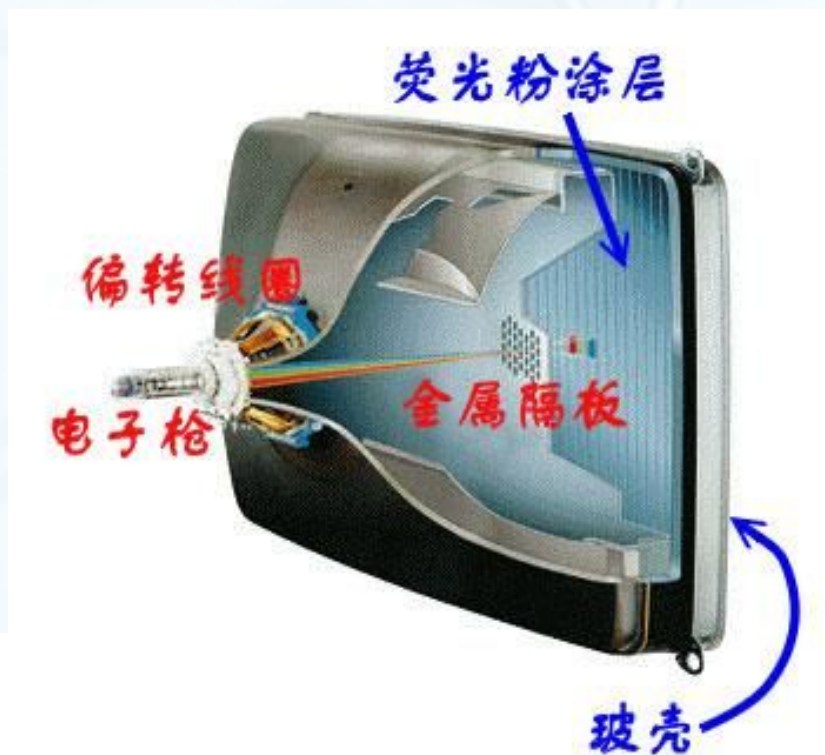
HDMI™

- › 高清晰度多媒体接口（HDMI：High Definition Multimedia Interface，HDMI）是一种数字化视频/音频接口技术，可同时传送音频和影像信号
- › 在电视、显示器、笔记本电脑、投影仪上普及度最高的全数字化接口



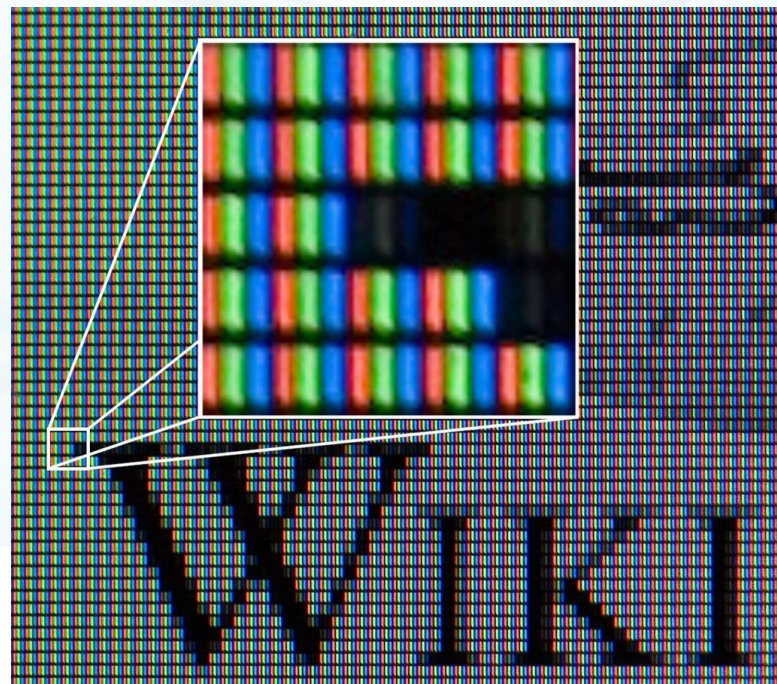
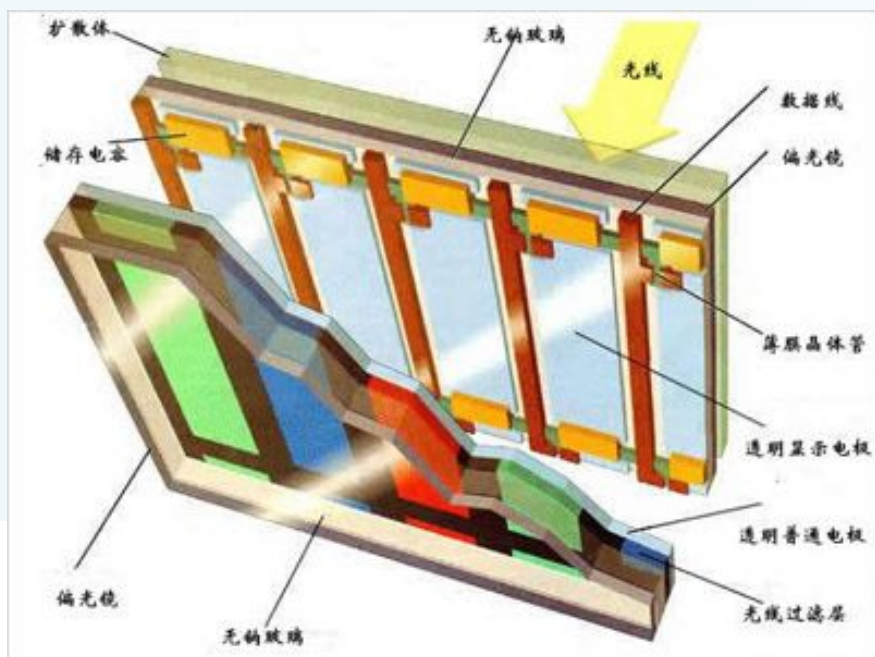
显示设备：CRT阴极射线管显示器

- › CRT显示器学名为“阴极射线显像管”，是一种使用阴极射线管（Cathode Ray Tube）的显示器
- › 因为太过笨重，已经从消费领域消失，完全被液晶显示器所替代



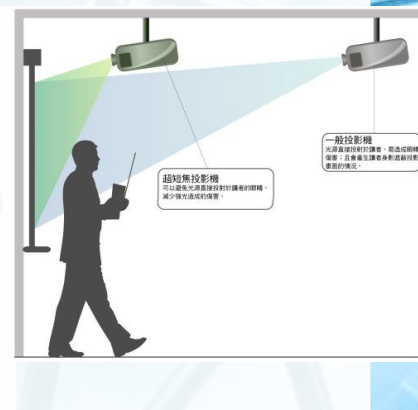
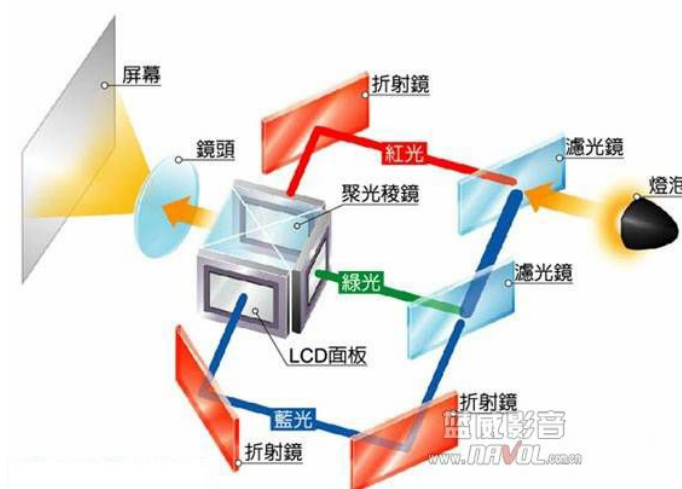
显示设备：LCD液晶显示器

- 液晶显示器（LCD：Liquid Crystal Display），为平面超薄的显示设备，它由一定数量的彩色或黑白像素组成，放置于光源或者反射面前方。
- 背光光源分为CCFL（冷阴极荧光灯）和LED（发光二极管）两种，由于LED的功耗低寿命长，已经成为主流背光光源



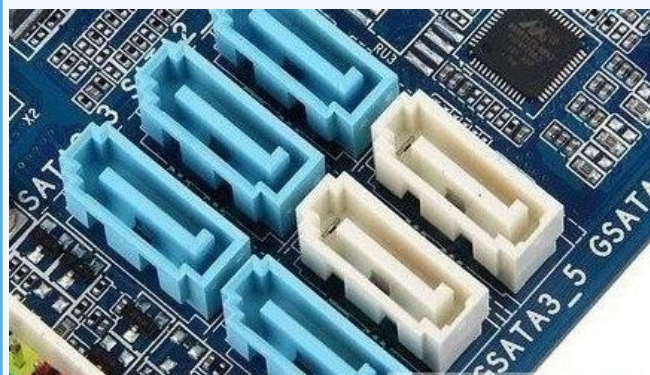
显示设备：数字投影仪

- 大幅面显示设备，利用光学镜头组，将影像放大投射到平面上。
- 一般分为数字成像、光源和光学镜头三大部分。
- 常见的投影仪有DLP投影仪和3LCD投影仪。
- 超短焦**投影仪通过特殊的光学系统，可以在很近距离成像，避免讲解人遮挡光线的弊端。



硬盘专用接口：SATA

- › SATA (Serial Advanced Technology Attachment) 相对于旧式硬盘的PATA (并行), 采用了串行的方式传送数据, 一次只会传送1位数据。SATA仅用四支针脚就能完成所有的工作, 分别用于连接电源、连接地线、发送数据和接收数据, 同时这样的架构还能降低系统能耗和减小系统复杂性。
- › SATA 3.0可以达到最高600MB/s的传输速度



硬盘专用接口：SATA

- › eSATA的全称是External Serial ATA（外部串行ATA），它是SATA接口的外部扩展规范。换言之，eSATA就是“外置”版的SATA，它是用来连接外部而非内部SATA设备。
- › 有的笔记本电脑，和硬盘盒带有eSATA接口。



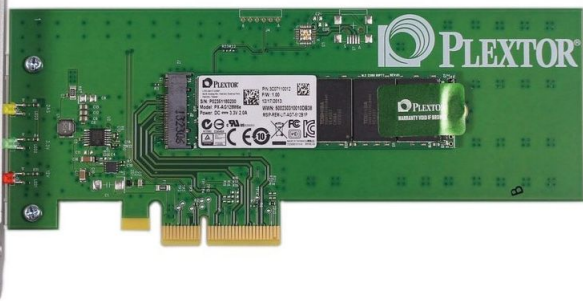
存储设备：硬盘

- › 常见硬盘分为两类：机械式硬盘和固态硬盘，均为SATA接口
- › 机械式硬盘在铝合金盘片上的磁介质记录数据，通过旋转盘片，及旋转磁头臂，磁头可以读写到圆盘片上的里外圈位置。
- › 机械式硬盘的访问速度由盘片转速（4500/7200/10000rpm）决定
- › 由于盘片高速旋转，磁头靠超薄的空气层悬浮在盘片表面，所以机械式硬盘非常脆弱。笔记本电脑一般都采取了各种保护措施来保护随时可能撞击或跌落的硬盘



存储设备：硬盘

- › 固态硬盘（SSD:Solid State Disk），采用闪存芯片来永久保存数据的硬盘，在消费领域正在快速替代机械硬盘。
- › SSD可以有多种接口：SATA，MSATA，PCIe
- › 由于没有机械部件，SSD的性能要远高于机械硬盘，而且抗摔性好。



高带宽总线接口：PCI Express



- PCIe是新一代的系统数据传输总线，相比旧式的采用共享带宽的PCI并行总线，它采用了串行传输的点对点结构，每个PCIe设备都可以拥有独立的数据连接，各个设备之间并发传输数据互不影响。
- PCIe利用串行的特点将数据传输速度提高到一个很高的水平，PCIe 3.0的单通道单向速度可达1GB/s，最大16通道双向速度为32GB/s
- 超高速的PCIe可用于系统内部连接CPU、显卡和内存。



PCIe architecture	Raw bit rate	Interconnect bandwidth	Bandwidth per lane per direction	Total bandwidth for x16 link
PCIe 1.x	2.5GT/s	2Gbps	~250MB/s	~8GB/s
PCIe 2.x	5.0GT/s	4Gbps	~500MB/s	~16GB/s
PCIe 3.0	8.0GT/s	8Gbps	~1GB/s	~32GB/s

集成显卡

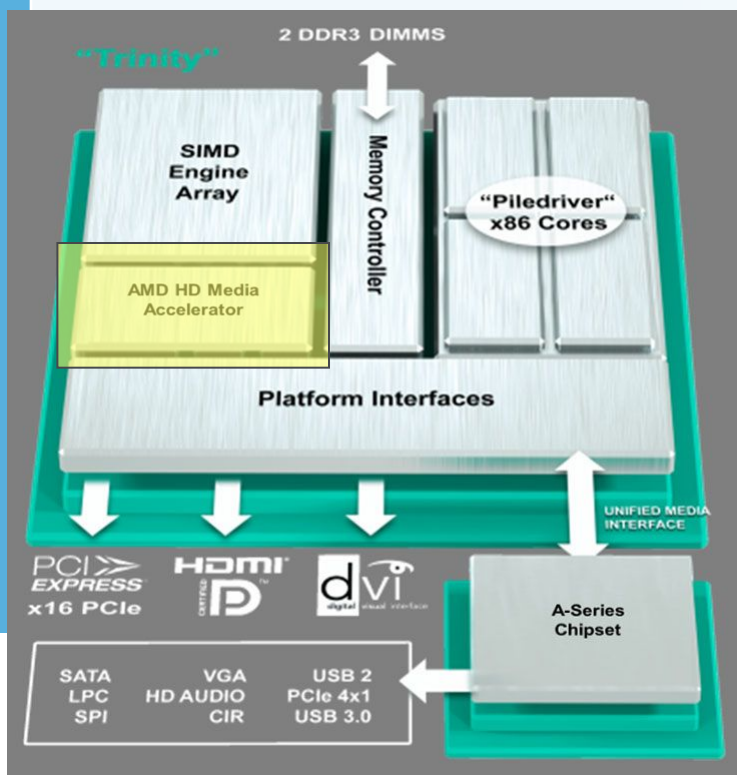


Intel® HD Graphics

RADEON
GRAPHICS

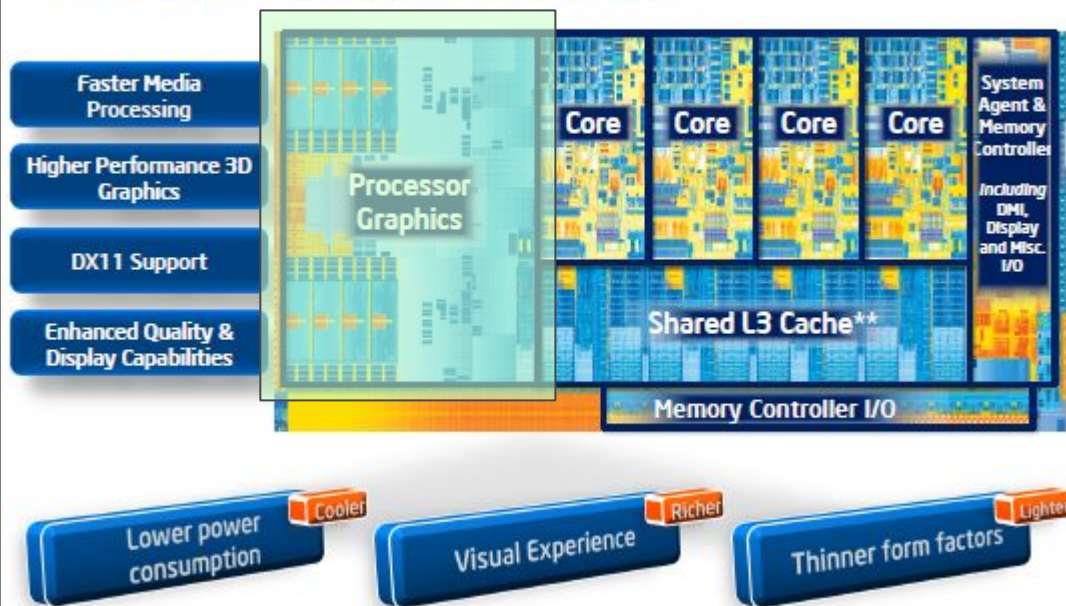


- 集成显卡一般由芯片组中的**北桥**（高速I/O）芯片内置
- 随着CPU技术的发展，集成显卡也随北桥芯片一起被集成到CPU内部
- 集成显卡的接口一般直接固定在主板上，通常是VGA/HDMI



3rd Generation Intel® Core™ Processor Graphics

Built in Graphics - Industry Leadership on 22nm



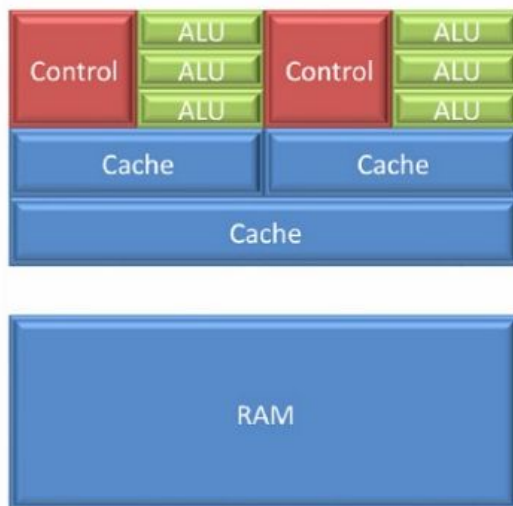
独立显卡和GPU



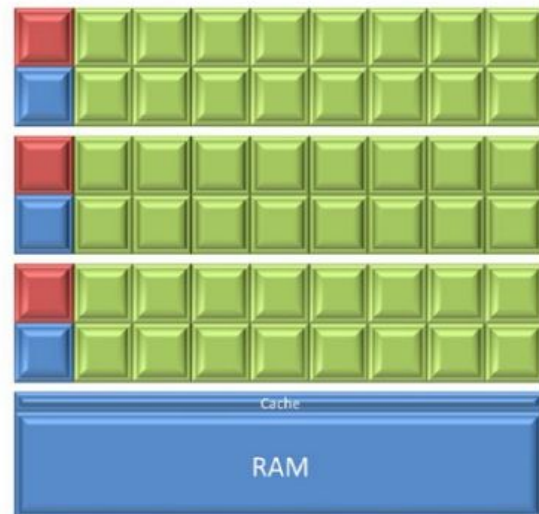
- 独立显卡通过北桥芯片的系统数据传输总线接入，以获得最大带宽
- 通过专用的图形处理器GPU动态绘制高清场景
- GPU采用SIMD实现大规模并行计算
- 还可以用于线性代数计算等通用计算
- 浮点计算性能高出CPU上千倍，适合科学计算



CPU



GPU



通用外部总线接口：USB



- › USB:Universal Serial Bus (通用串行总线)，是一个外部总线标准，用于规范电脑与外部设备的连接和通讯，USB接口支持设备的**即插即用**和**热插拔**功能。
- › 经过20年的发展，USB成为最为普及的中低速外设接口，并正在升级到高速数据传输接口。



USB版本	最大传输速率	速率称号	最大输出电流	推出时间
USB1.0	1.5Mbps(192KB/s)	低速(Low-Speed)	5V/500mA	1996年1月
USB1.1	12Mbps(1.5MB/s)	全速(Full-Speed)	5V/500mA	1998年9月
USB2.0	480Mbps(60MB/s)	高速(High-Speed)	5V/500mA	2000年4月
USB3.0	5Gbps(500MB/s)	超速(Super-Speed)	5V/900mA	2008年11月
USB3.1	10Gbps(1280MB/s)	暂未定义(Super-speed+)	20V/5A	2013年12月

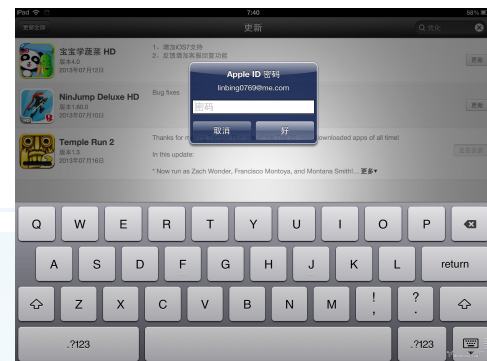
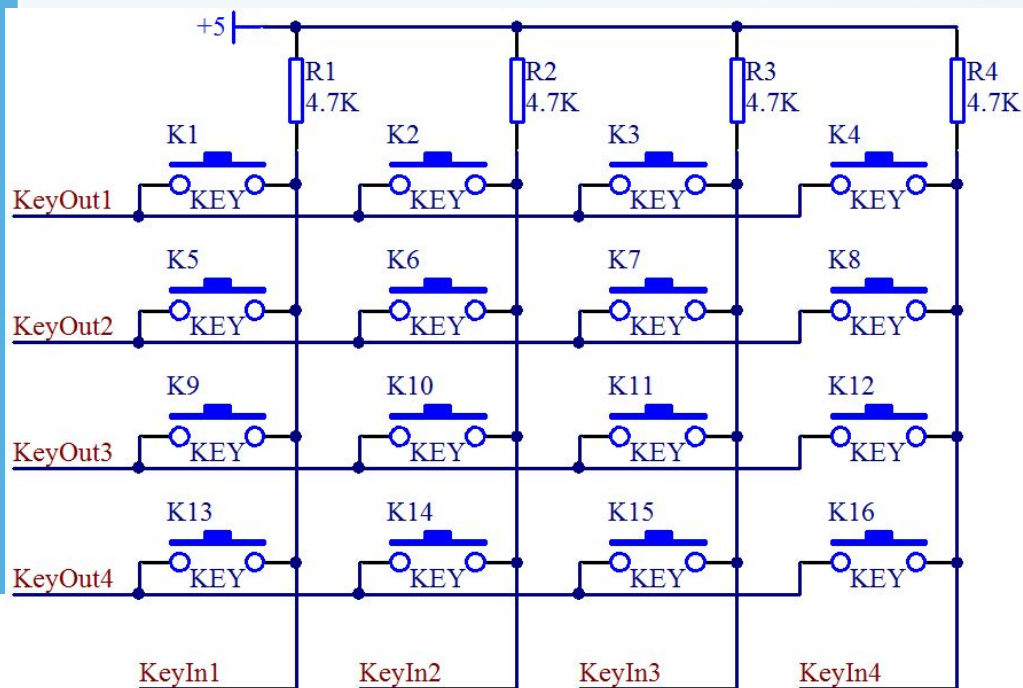
USB接口类型

- › Type A型接口最为普遍
- › Type B型接口通常用于连接打印机
- › Type C刚刚开始普及，可以正反插入
- › 安卓手机普及的是MicroUSB接口
- › MiniUSB逐渐被淘汰



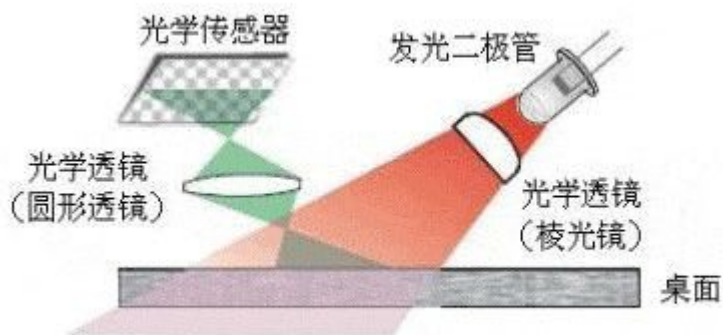
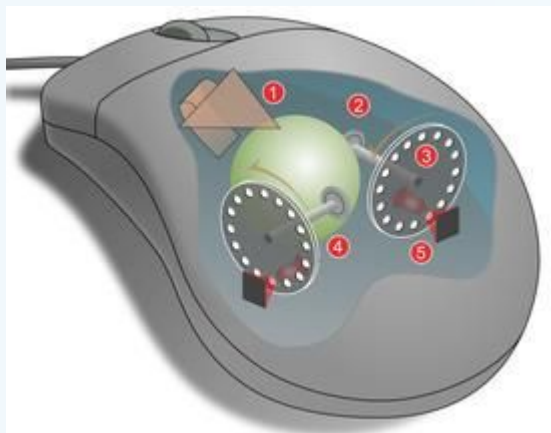
输入设备：键盘

- › 键盘一般通过矩阵电路来获取和识别按键信息
- › 当然也有各种其它原理的键盘



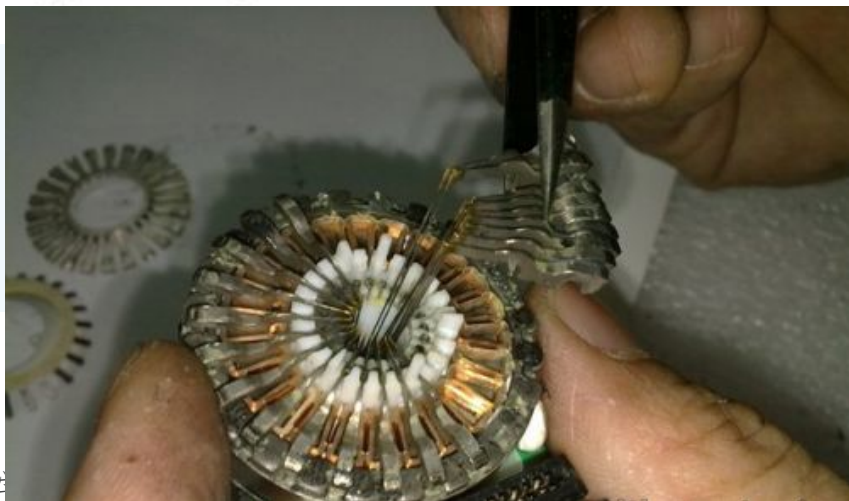
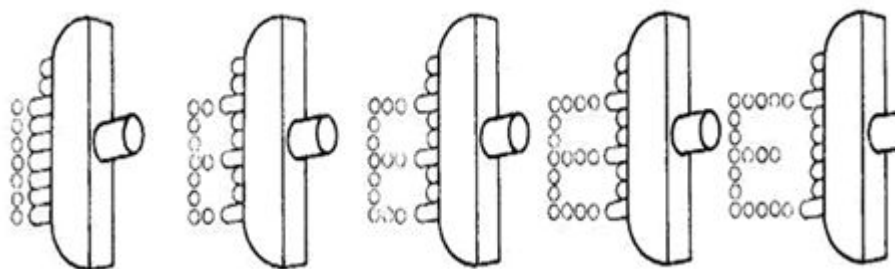
输入设备：鼠标

- 鼠标是一种定位装置，可以通过**机械**、**光电**、**触摸**等各种原理实现
- 通常是在二维平面上定位，也有三维定位鼠标



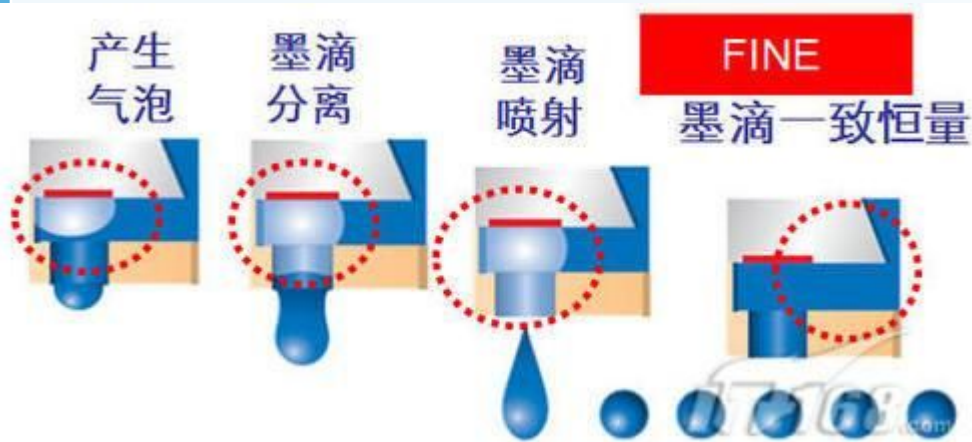
打印机：针式打印机

- 通过控制电磁铁推动**打印针**在涂布了油墨的**色带**上按压，将油墨转印到纸上实现打印，速度慢，故障率高。
- 在普及了激光和喷墨打印的今天，针式打印机仅用于打印中国特色的各种制式票据。



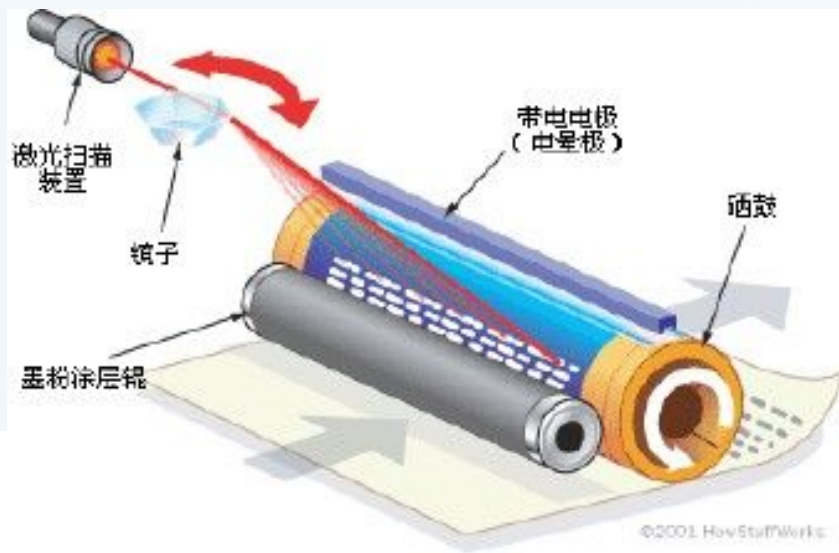
喷墨打印机

- › 喷墨打印机是通过压电技术，从喷嘴中喷出极细墨滴在纸上形成像素，构成图案。
- › 不同喷头负责不同颜色墨水，则可以打印出彩色图案。
- › 消费级的喷墨打印机可以打印出照片级的超精细图案
- › 但打印质量取决于打印纸，并且打印件怕潮湿



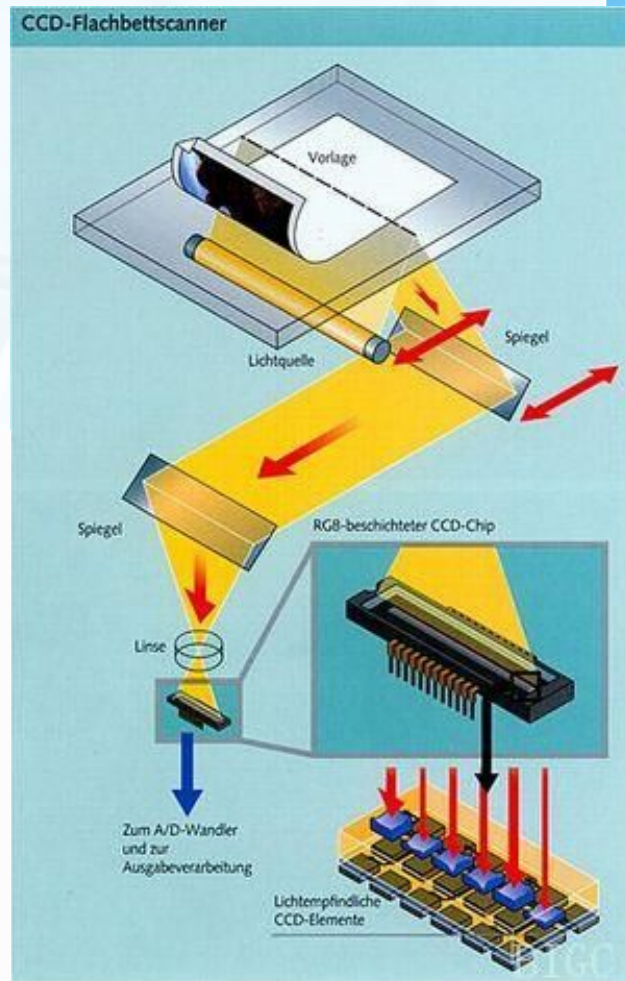
激光打印机

- 激光照射硒鼓产生静电，吸附极细的碳粉，通过压力转印到纸上（显影），再通过加热加压固化（定影）
- 激光打印速度快，打印质量与纸面关系不大，不怕潮湿。
- 彩色激光打印机也已经比较普及。



扫描仪

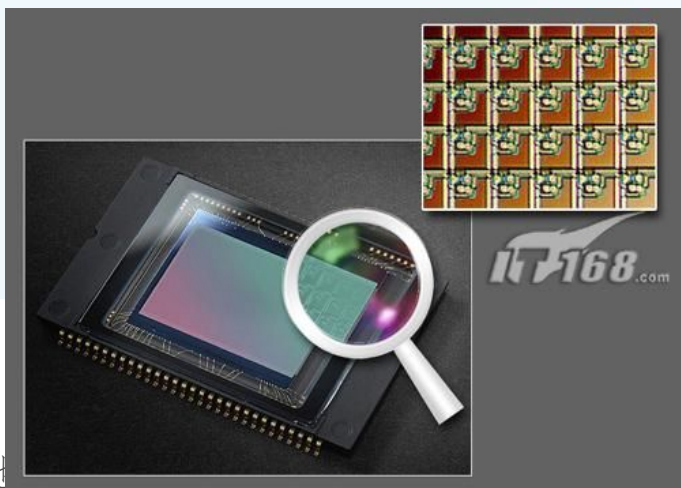
- 通过光源照射在稿件表面，通过光学系统将反射光照射到光电传感器（CCD）上，亮度的变化引起电流变化，从而获得稿件上各部分明暗的分布。



数码相机和摄像机

- › 同扫描仪原理相似，也是光电传感器成像，但具有更加**精密**的光学镜头组，传感器是**面阵**成像，而且像素更加密集，感光面积更大。

正面



音频专用接口：模拟音频接口

- 台式机和本笔记本上一般采用3.5mm直径的模拟音频接口
- 如果有6个不同颜色的接口，可以接5.1声道环绕立体声音箱，各接口定义如下：

黄色：中央重低音

黑色：后喇叭

浅蓝色：音源输入

浅绿色：前置喇叭

粉红色：麦克风

灰色：侧面环绕喇叭



音频专用接口：SPDIF光纤

- › SPDIF(Sony/Philips Digital InterFace)
- › 将音频信号以**数字**形式传输到**解码器**，再通过**功放**和**音箱**播放出来
- › 需要通过两次的光电转换，通过光传输，不会有电磁干扰。



有线网络专用接口：RJ45 LAN

- › RJ45是八芯四对双绞线的接口和线材规格
- › 五类线材对应100MHz传输信号
- › 六类线材对应250MHz传输信号



无线技术：蓝牙/WiFi



典型智能手机体系结构



典型超级计算机体系结构



其它类型计算机

