

# 计算机图形学基础

一、教学安排，共**32**学时

二、考试办法：闭卷笔试

三、课程结束成绩评定

**笔试： 70%**

**作业+平时成绩：30%**（包括考勤、课堂回答问题）

## 四、参考教材

孙家广，胡事民，《计算机图形学基础》，清华大学出版社，2005年或更新的版本。

我们课堂学习的内容包括第一章全部内容、第二章绝大部分内容、第三章3.1和3.2大部分内容、第四章4.1和4.2部分内容。对于教材中未讲授的内容，有兴趣的同学可以自学，遇到问题或困难可以答疑，但是，教材中未讲授的内容考试不作要求。讲稿和作业下载地址：

分享链接：[https://pan.baidu.com/s/14JMh\\_K-uo00FEI7svfshiA](https://pan.baidu.com/s/14JMh_K-uo00FEI7svfshiA)

提取密码：**ypy4**

清  
／  
华  
／  
大  
／  
学  
／  
计  
算  
／  
机  
／  
系  
列  
教  
材

清华大学计算机系列教材

# 计算机图形学 基础教程

孙家广 编著  
胡事民



清华大学出版社

## 五、作业及答疑

教学和答疑教师：周登文，控制与计算机学院

答疑地点：主楼E座 - 621 (6层)

固定答疑时间：每周二下午2:00~4:00pm，其它答疑时间可预约

答疑邮箱：[questionnaire@126.com](mailto:questionnaire@126.com)

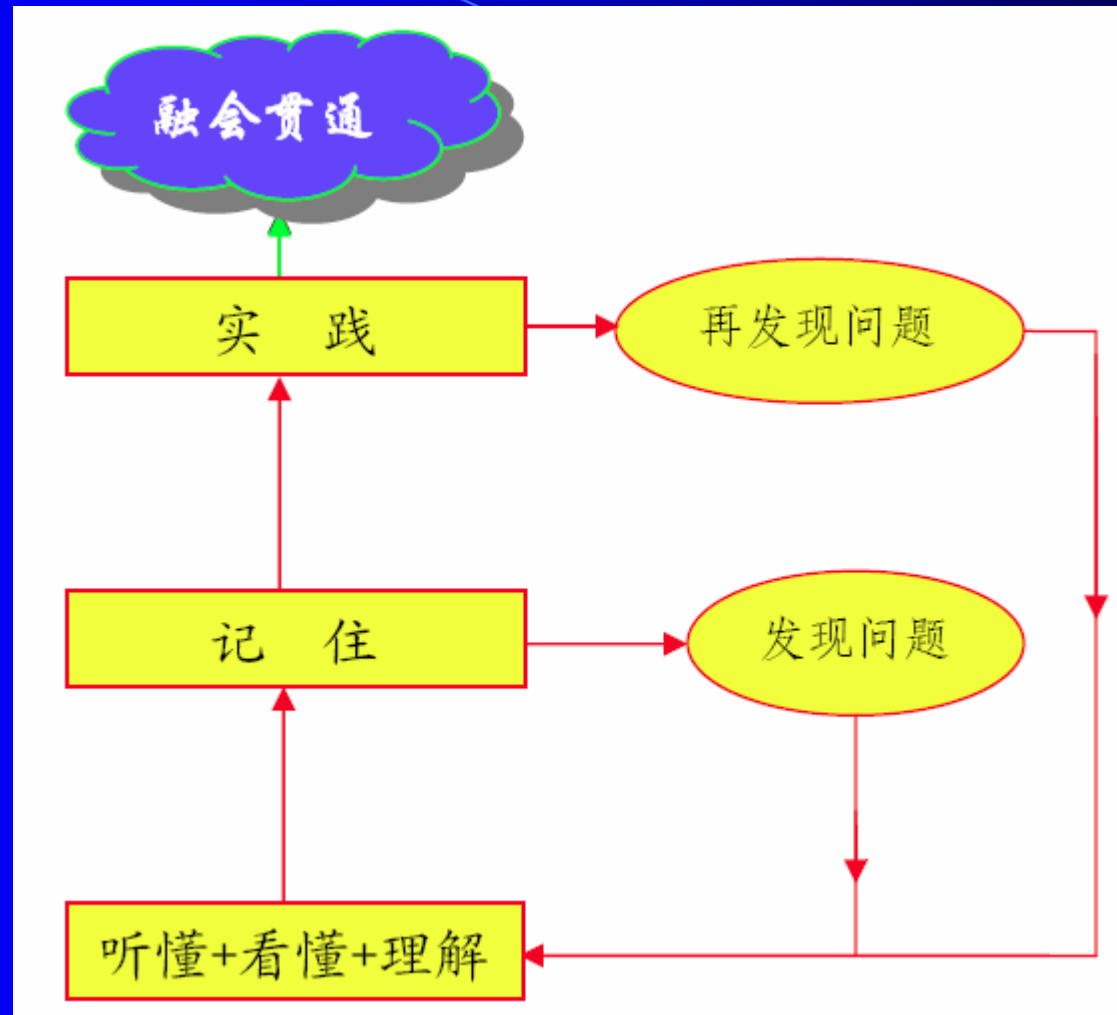
作业邮箱：[graphicsbasic@163.com](mailto:graphicsbasic@163.com)

作业文件命名：每次作业文件打一个包，文件名为“班级-学号姓名-作业序号”。例如：计算0401-3122040117魏闪闪-1.zip。

## 六、学习方法

学习不能停留于听懂和看懂，还要记住，只有记住了才能融会贯通，实践又可以发现问题，加深对学习内容的理解！要充分利用上机实验的机会，对于学到的计算机图形学的算法，要尽可能完全理解以后，独立地上机编程、调试！

学习具有不同的境界！



## 七、两个问题

为什么要学习计算机图形学？

计算机图形学学什么？

# 第一章 绪论

什么是计算机图形学？

- 计算机图形学是利用计算机研究图形的表示、生成、处理、显示的学科。
- 计算机图形学是计算机科学中，最为活跃、得到广泛应用的分支之一



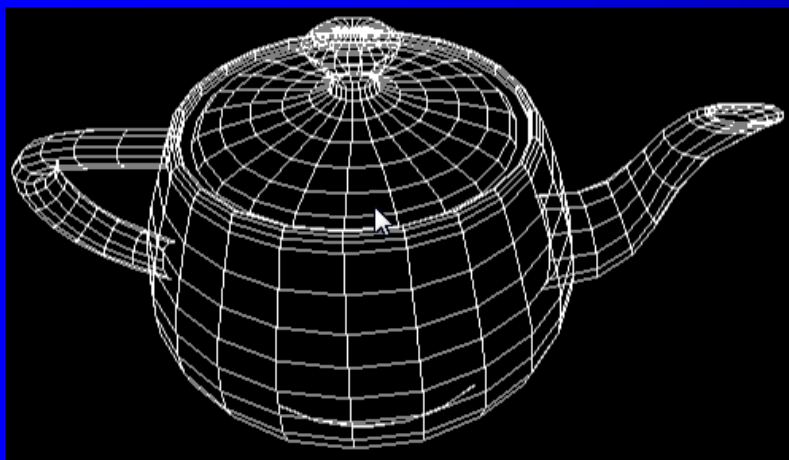
## 1.1 计算机图形学的研究内容

如何在计算机中表示图形、以及利用计算机进行图形的计算、处理和显示的相关原理与算法，构成了计算机图形学的**主要研究内容**。

## 图形与图象

- **图象**纯指计算机内以位图(Bitmap)形式存在的灰度信息。
- **图形**含有几何属性，更强调场景的几何表示，是由场景的几何模型和景物的物理属性共同组成的。

## 图形主要分为两类



基于线条信息表示



明暗图(Shading)

## 1.2 计算机图形学的发展历史

### 50年代

- 1950年，第一台图形显示器作为美国麻省理工学院（MIT）旋风I号（Whirlwind I）计算机的附件诞生了
- 1958年，美国Calcomp公司由联机的数字记录仪发展成滚筒式绘图仪，GerBer公司把数控机床发展成为平板式绘图仪 ↩
- 50年代末期，MIT的林肯实验室在“旋风”计算机上开发SAGE空中防御体系，第一次使用了具有指挥和控制功能的CRT显示器，操作者可以用笔在屏幕上指出被确定的目标。

## 60年代

- 1962年，MIT林肯实验室的I. E. Sutherland发表了一篇题为“Sketchpad: 一个人机交互通信的图形系统”的博士论文
- 1962年，雷诺汽车公司的工程师Pierre Bézier提出Bézier曲线、曲面的理论
- 1964年MIT的教授Steven A. Coons提出了**超限插值**的新思想，通过插值四条任意的边界曲线来构造曲面。

# 70年代

## – 光栅图形学迅速发展

- 区域填充、裁剪、消隐等基本图形概念及其相应算法纷纷诞生

## – 图形软件标准化

- 1974年，ACM SIGGRAPH的与“与机器无关的图形技术”的工作会议
- ACM成立图形标准化委员会，制定“核心图形系统”（Core Graphics System）
- ISO发布CGI、CGM、GKS、PHIGS

## – 真实感图形学

- 1970年，Bouknight提出了第一个**光反射模型**
- 1971年Gourand提出“漫反射模型 + 插值”的思想，被称为**Gourand明暗处理**
- 1975年，Phong提出了著名的简单光照模型-**Phong模型**

## – 实体造型技术

- 英国剑桥大学CAD小组的Build系统
- 美国罗彻斯特大学的PADL-1系统

## 80年代

- 1980年Whitted提出了一个光透视模型-  
**Whitted模型**，并第一次给出**光线跟踪算法**的范例，实现Whitted模型
- 1984年，美国Cornell大学和日本广岛大学的学者分别将热辐射工程中的**辐射度方法**引入到计算机图形学中
- 图形硬件和各个分支均在这个时期飞速发展



## ACM SIGGRAPH会议小知识

- 全称 “the Special Interest Group on Computer Graphics and Interactive Techniques”
- 60年代中期，由Brown 大学的教授Andries van Dam (Andy) 和IBM公司的Sam Matsa发起
- 1974年，在**Colorado**(美国科罗拉多州--位于美国西部)大学召开了第一届SIGGRAPH 年会，并取得了巨大的成功
- 每年只录取大约100篇论文
- 2008年，**SIGGRAPH Asia**在新加坡召开了首届年会，论文评审和录取标准与SIGGRAPH是一样的

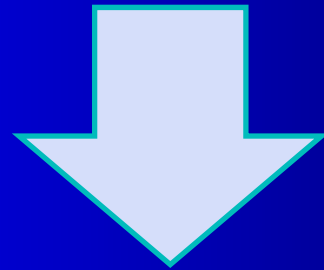
## 1.3 计算机图形学研究领域

- ◆ **造型 (Modeling):** 物体形状和外观的数学表示
- ◆ **渲染(Rendering):** 生成3D计算机模型的明暗图
- ◆ **动画 (Animation):**
- ◆ **用户界面 (User interaction):**
- ◆ **虚拟现实 (Virtual reality):** 试图让用户置身于3D虚拟世界

## 1.3 计算机图形学研究领域

- ◆ **可视化 (Visualization):** 试图通过可视的显示让用户深入地洞察到复杂的信息
- ◆ **图像处理 (Image processing):** 操作2D图像
- ◆ **3D扫描(3D scanning):** 使用测距技术创建测量的3D模型
- ◆ **计算摄影术(Computational photography):** 使用计算机图形学、计算机视觉和图像处理方法再生成拍摄的图像

## 1.3 计算机图形学研究领域









使用图像编辑软件(如Photoshop)做一些全局和局部调整











## 1.4 计算机图形学主要应用

- ◆ 视频游戏 (Video games):
- ◆ 卡通 (Cartoons):
- ◆ 视觉效应 (Visual effects): 数字合成前景和背景,  
3D建模和动画创建场景等
- ◆ 计算机辅助设计和制造 (CAD/CAM):

## 1.4 计算机图形学主要应用

- ◆ **仿真(Simulation)**: 可看成是精确的视频游戏
- ◆ **医学成像(Medical imaging)** :
- ◆ **信息可视化(Information visualization)** :

## 1.5 图形APIs

**图形API**是进行基本的图形运算(例如, 绘制图像和3D曲面)的函数集。当前, 有两类主流的API 样式。第一类是Java, 其图形和用户界面工具箱被集成为语言的一部分; 第二类是Direct3D和OpenGL, 绘图命令是软件库的一部分, 并被捆绑到特定的语言, 例如, C++。**用户界面**是一个独立的实体, 可能随系统的不同而变化。后者, 可能存在代码的可移植性问题。不管使用哪一类API, 基本的图形调用大体上是相同的。

## 1.6 图像存储 (1)

大多数RGB彩色图像中红(R)、绿(G)和蓝(B)色分别使用8位(即一个字节)存储。对于一个百万像素的原始信息约为3兆字节(megabytes)。为了减少存储需求，大多数的图像格式允许压缩，压缩可以有损，也可以是无损。常见的图像存储格式：

- **jpeg**: 有损压缩格式
- **tiff**: 无损压缩格式
- **ppm**: 未压缩的格式
- **png**: 无损压缩格式

## 1.6 图像存储(2)

- **bmp:** Windows位图格式，4位和8位图像，可以指定RLE(Run-Length Encoding) 压缩
- **gif:** Graphic Interchange Format。图像格式使用无损的LZW编码，用于RGB图像，但是，像素深度只有8位(即一个字节)，常用于小的动画文件。

# 1.7 图形设备

## 图形显示设备

- 图形输出包括图形的显示和图形的绘制，**图形显示**指的是在屏幕上输出图形
- **图形绘制**通常指把图形画在纸上，也称硬拷贝，打印机和绘图仪是两种最常用的硬拷贝设备



平板式绘图仪



滚筒式绘图仪



平板式绘图仪



# 彩色显示器

液晶显示器 (LCDs)透射型显示器的一个实例

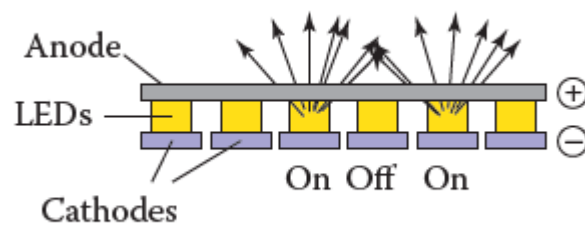
当前的显示器可以分为发射显示器(**emissive displays**)和透射显示器(**transmissive displays**)。前者，像素直接发射可控光量；后者，像素本身并不发光，但是，能够改变通过它们的光量。透射显示器需要光源，在显示器的背面照明(**backlight**)。发射显示器的一个实例是：发光二极管显示器(**LED: Light-emitting diode displays**)。每一个像素由一个或多个LED组成，LED能发射光，强度依赖于通过的电流。彩色显示器分成三个独立控制的红绿蓝子像素。

# LED显示器

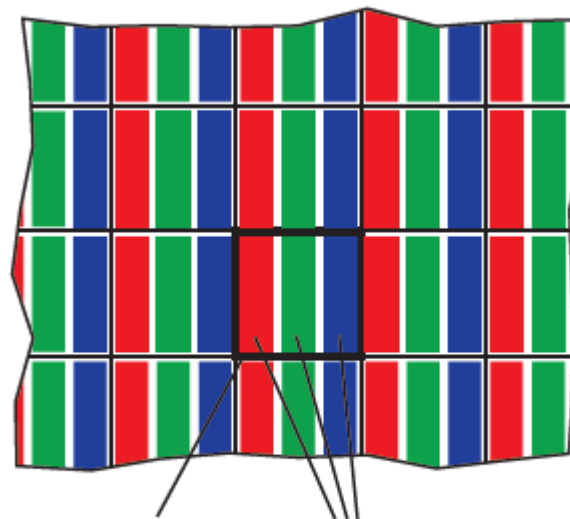
发光二极管

阳极

阴极



平板显示器像素  
的红绿蓝子像素

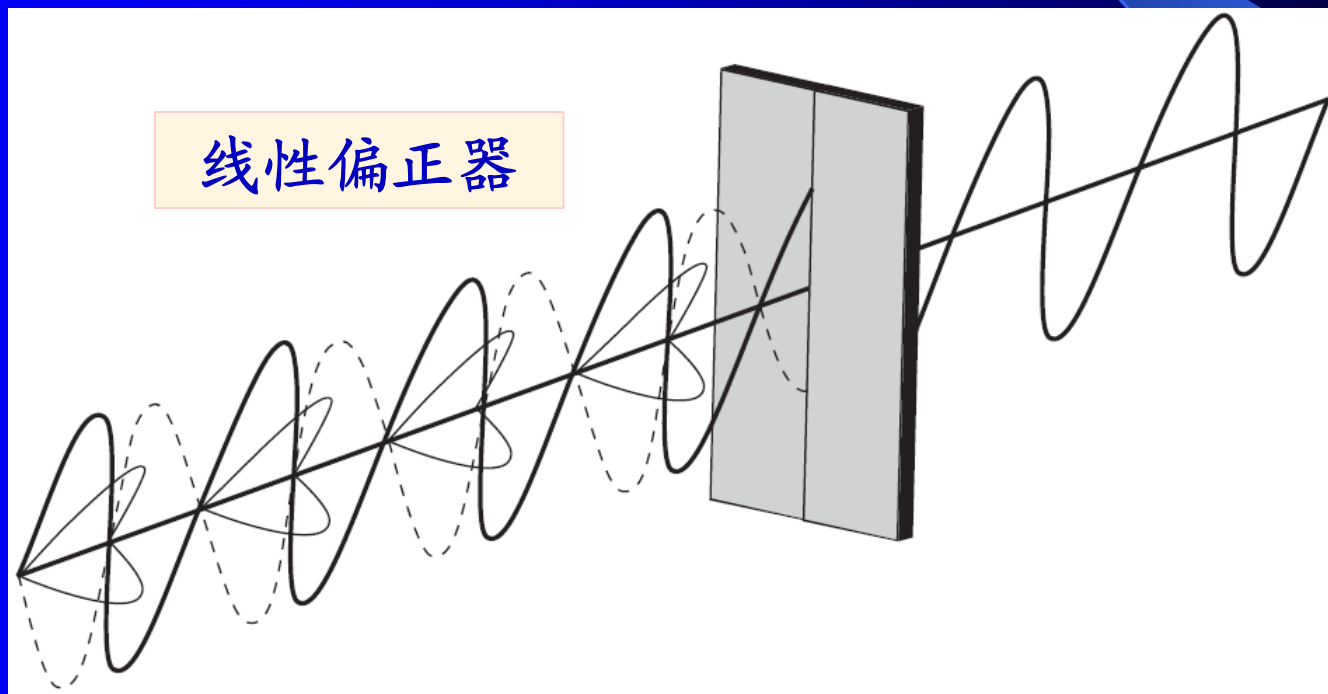


Pixel

Subpixels

# LCD显示器

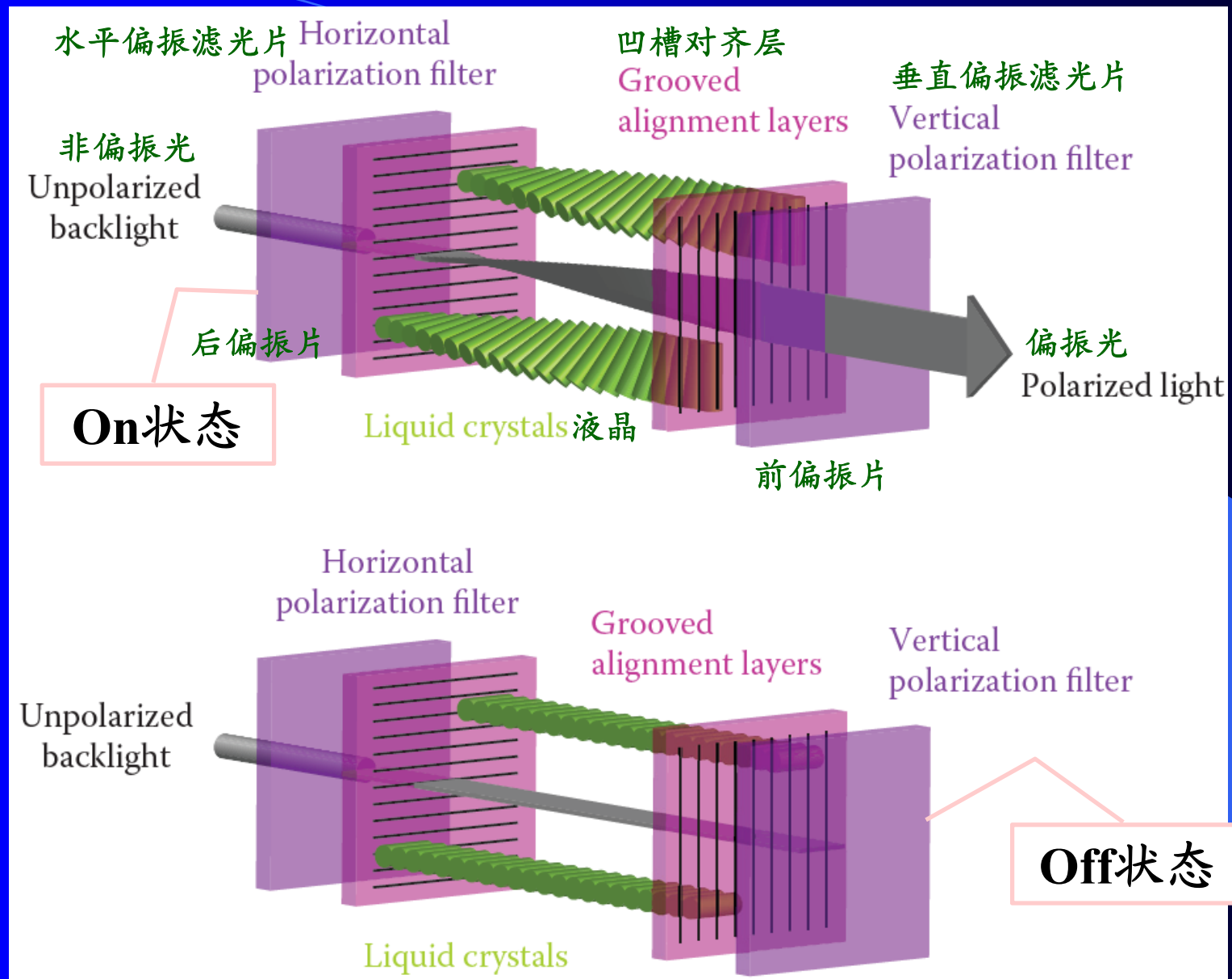
透射显示器的一个实例是：**液晶显示器(LCD: Liquid crystal displays)**。液晶是一种材料，其分子结构使它能够旋转通过它的偏振光。



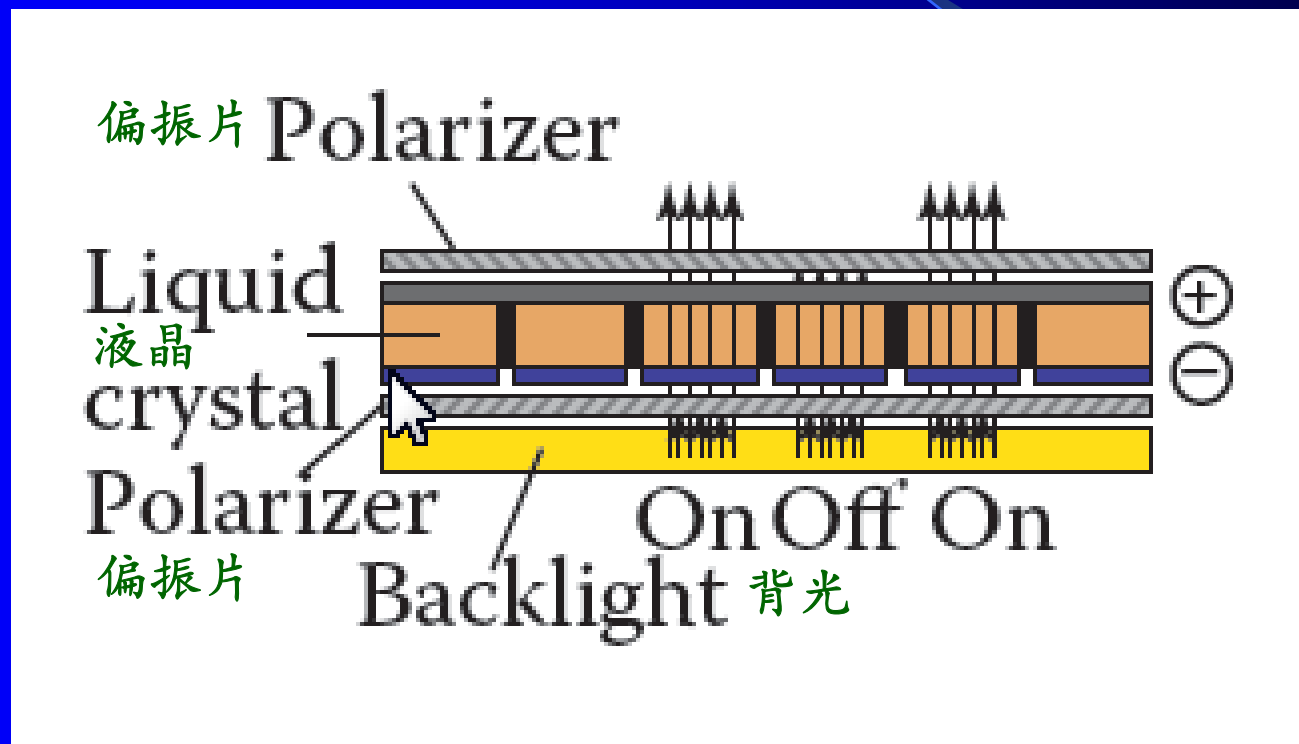
# LCD显示器

液晶是一种材料，其分子结构使其能够旋转通过它的偏振光，旋转的度数可以通过施加的电压来调节

旋转的度数可通过电压调整。每一个像素的前后有两层偏正片(polarizing film)，以便分别能够被水平和垂直方向偏正光照明。如果设置电压，使得之间的液晶层不改变偏振，则所有的光被阻止，像素处于“off”(最小强度)状态；如果设置电压，使得液晶层旋转偏振光90度，则所有的光能够通过，像素处于完全“on”(最大强度)状态；中间电压部分旋转偏振光，则强度在最大和最小之间。



# LCD显示器



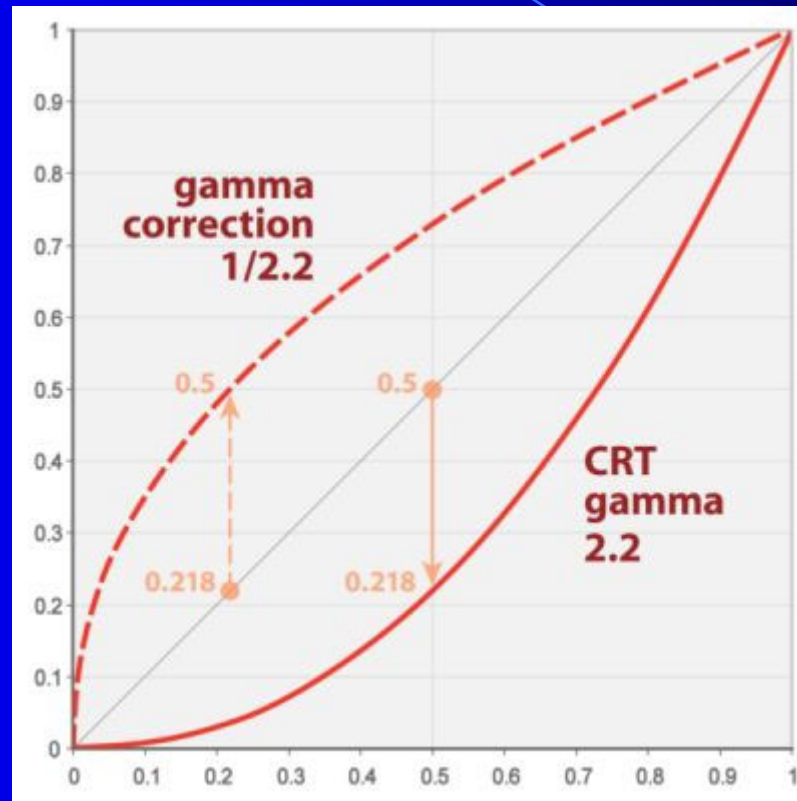
## $\gamma$ (“gamma”)修正

监视器对于输入是非线性的。例如，给监视器的三个像素分别输入0，0.5和1(假定监视器的强度规范到0~1之间)，显示的强度可能是0，0.25和1！常常用 $\gamma$  (“gamma”)值描述监视器这种非线性特征。

$$\text{displayed intensity} = (\text{maximum intensity}) a^\gamma$$

$a$ 是输入的像素强度值。例如，假定 $\gamma = 2$ ，输入 $a=0.5$ ，则显示器输入的强度为  $0.5^2 = 0.25$ 。

# $\gamma$ (“gamma”)修正

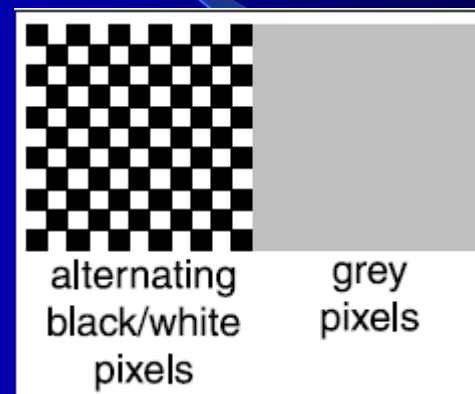




## 确定 $\gamma$ (“gamma”)值

如果能够找到输出为0.5时输入值 $a$ ，则可用下式算出 $\gamma$ :

$$\gamma = \frac{\ln 0.5}{\ln a}$$



标准技术：同时显示一个黑白棋盘图像和一个灰度图像，然后，调整 $a$ 值(例如，滑动块)，直到两边图像的平均亮度匹配为止。

## 图形处理器（显卡）

- 图形处理器是图形系统结构的重要元件，是连接计算机和显示终端的纽带
- 早期的图形处理器只包含简单的存储器，它们实际上只起了一个图形的存储和传递作用，一切操作都必须有CPU来控制
- 现在的图形处理器不单单存储图形，而且能完成大部分图形函数，专业的图形处理器已经具有很强的3D处理能力，大大减轻了CPU的负担，提高了显示质量和显示速度

## – 图形处理器的组成

- 显示主芯片

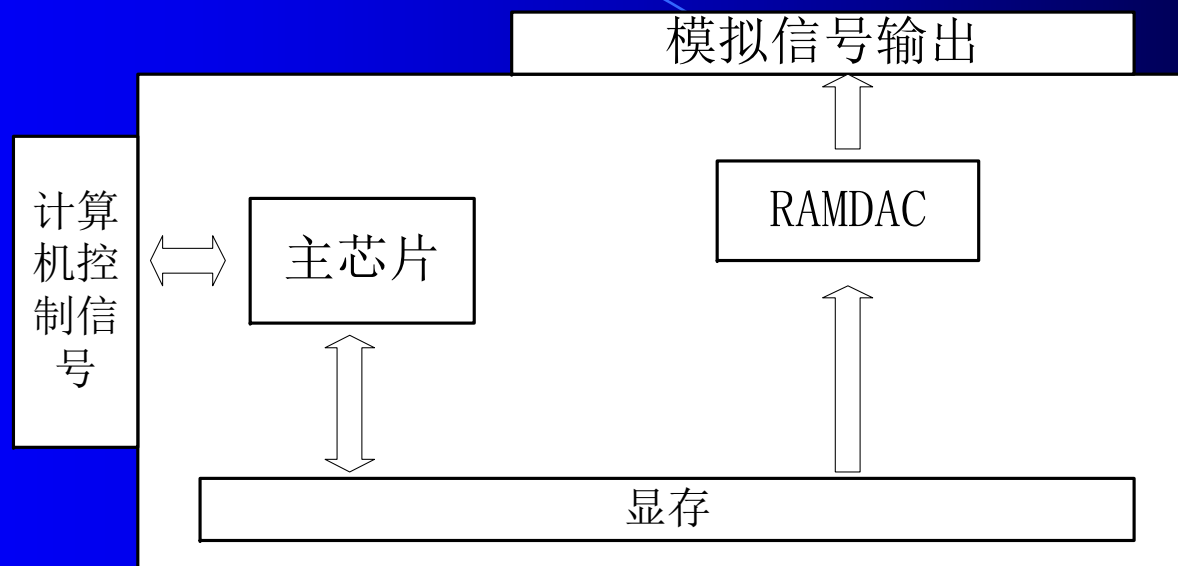
- 显卡的核心，俗称**GPU**，它的主要任务是对系统输入的视频信息进行构建和渲染

- 显示缓存

- 用来存储将要显示的图形信息以及保存图形运算的中间数据
- 显存的大小和速度直接影响着主芯片性能的发挥

- 数字模拟转换器（**RAMDAC**）

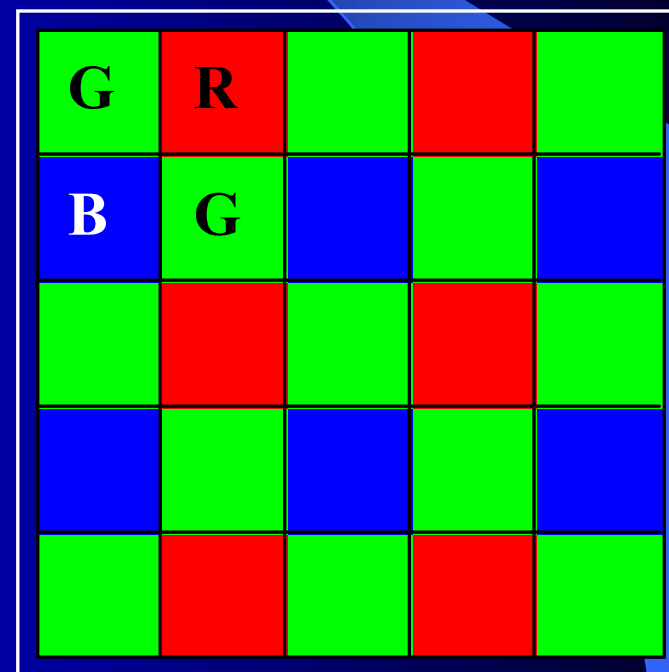
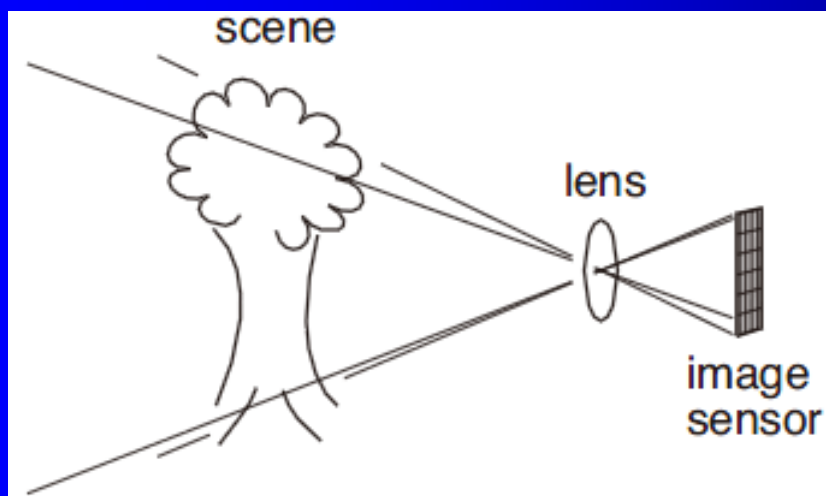
- 它的作用就是把二进制的数字转换成为和显示器相适应的模拟信号



显卡工作原理简单示意图

## 图形输入设备

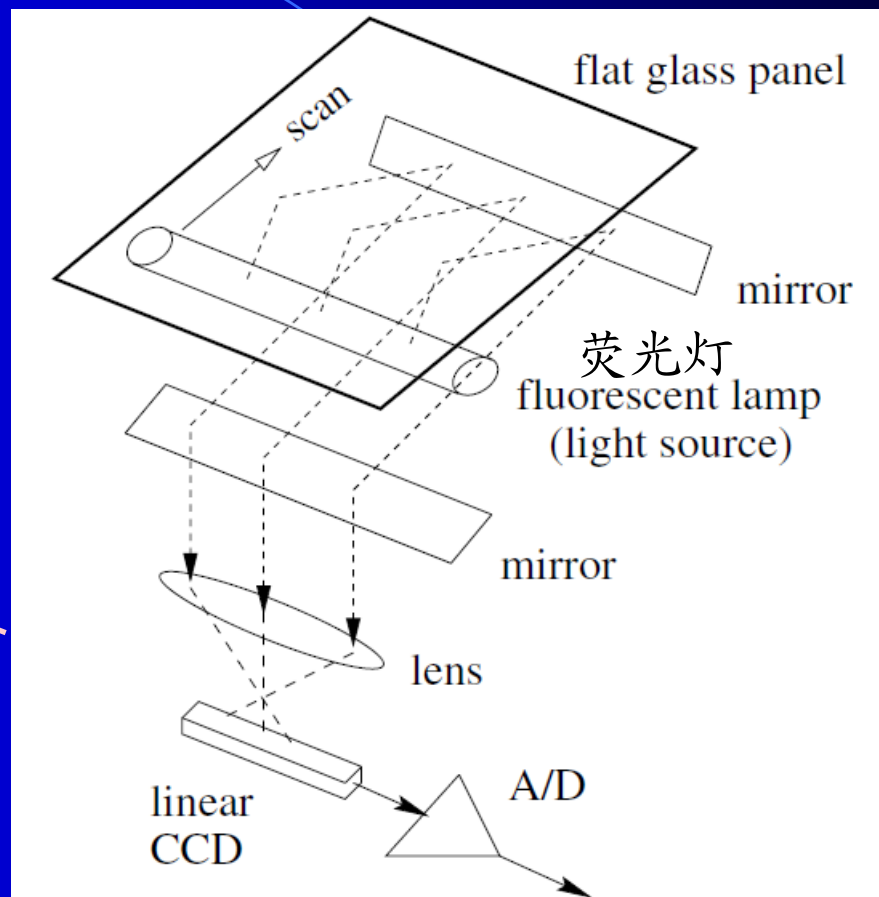
- 最常用的图形输入设备就是基本的计算机输入设备——**键盘和鼠标**
- **数码相机**



# 图形输入设备

## — 扫描仪

平板扫描仪示意图



## - 真实物体的三维信息的输入

- 在实际的产生过程中许多零件和样板要进行大规模的生产就必须在计算机中生成三维实体模型，有时这个模型要通过已有的实物零件得到，这时候就需要一种设备来采集实物表面各个点的位置信息
- 一般的方法是通过**激光扫描**来实现，现在国外已经有许多这样的商业仪器
- 这项技术的一个应用就是扫描保存古代名贵的雕塑和其它艺术品的三维信息

- 美国斯坦福大学计算机系的著名图形学专家Marc Levoy曾经带领他的30人的工作小组（包括美国斯坦福大学及美国华盛顿大学的教师和学生）于1998～1999学年专门在意大利对文艺复兴时代的雕刻大师米开朗基罗的众多艺术品进行扫描，保存其形状和面片信息。当然工作难度是相当大的，他们为此专门设计了一套硬件和软件系统。数据量也是惊人的，光大卫像（the David）就有20亿个多边形和7000张彩色图象，总共需要72G的磁盘容量。这次工作可以说是实体图形输入的一个颠峰之作。





3D测距扫描

Marc Levoy小组的工作现场  
( Siggraph'2000 )