



真实感图形学

王坤峰 教授

信息科学与技术学院

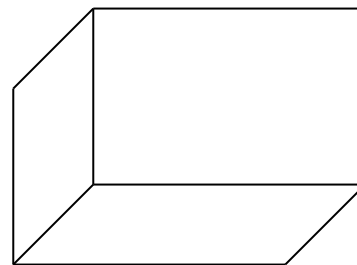
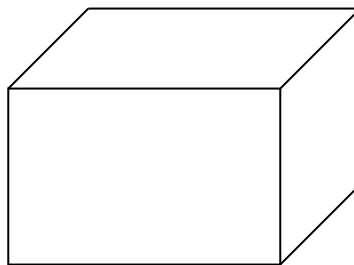
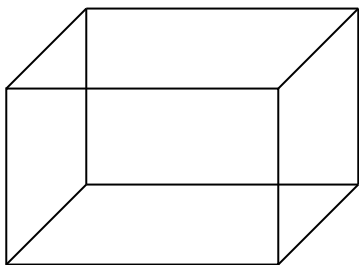


内容

- 消隐
- 颜色模型
- 光照模型
- 阴影生成

消隐

如果想有真实感地显示三维物体，必须在视点确定之后，将对象表面上不可见的点、线、面消去。执行这种功能的算法，称为消隐算法。



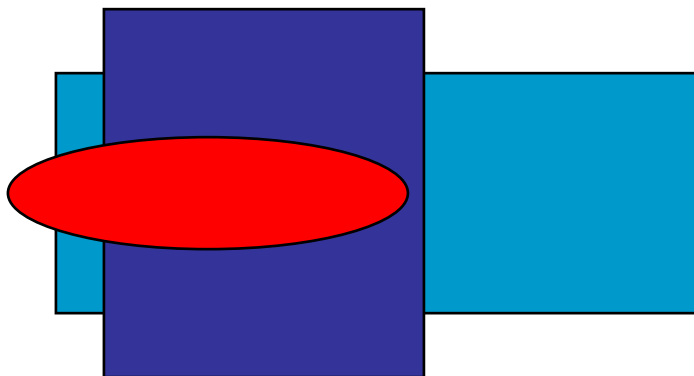
消隐分类

图像空间算法

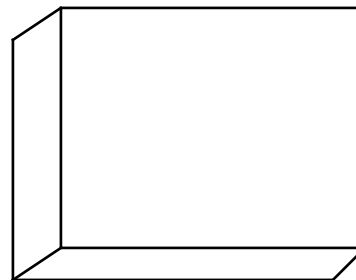
面消隐 (Hidden-surface)

物体空间算法

线消隐 (Hidden-line)



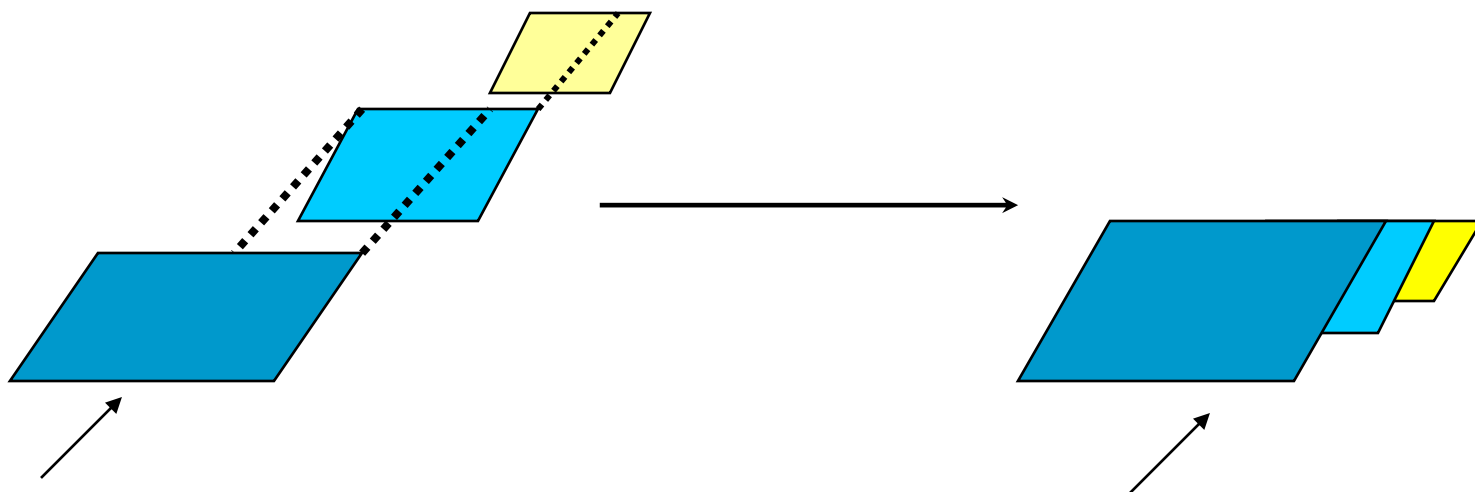
填色图



线框模型

图像空间消隐算法

图像空间算法是以窗口内的每个像素为处理单元，确定在每一个像素处，场景中的物体哪一个距离观察点最近（可见的），从而用它的颜色来显示该像素。





图像空间的消隐算法

以窗口内的每个像素为处理单元

```
for (窗口内的每一个像素)  
    {确定距视点最近的物体，以该物体表  
    面的颜色来显示像素}
```

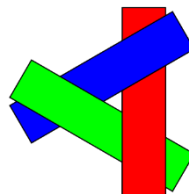
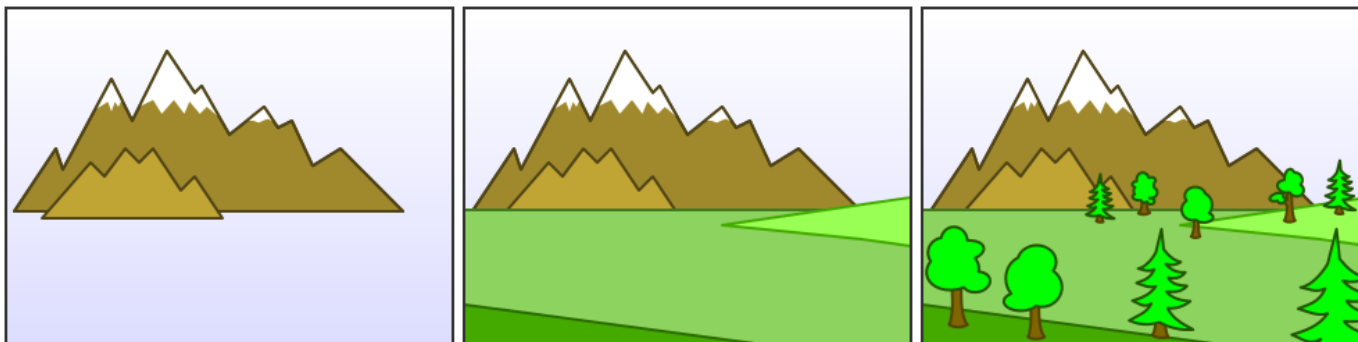
假设场景中有 k 个物体，平均每个物体表面由 h 个多边形构成，显示区域中有 $m \times n$ 个像素，则：

算法的复杂度为： $O(mnkh)$

算法简介

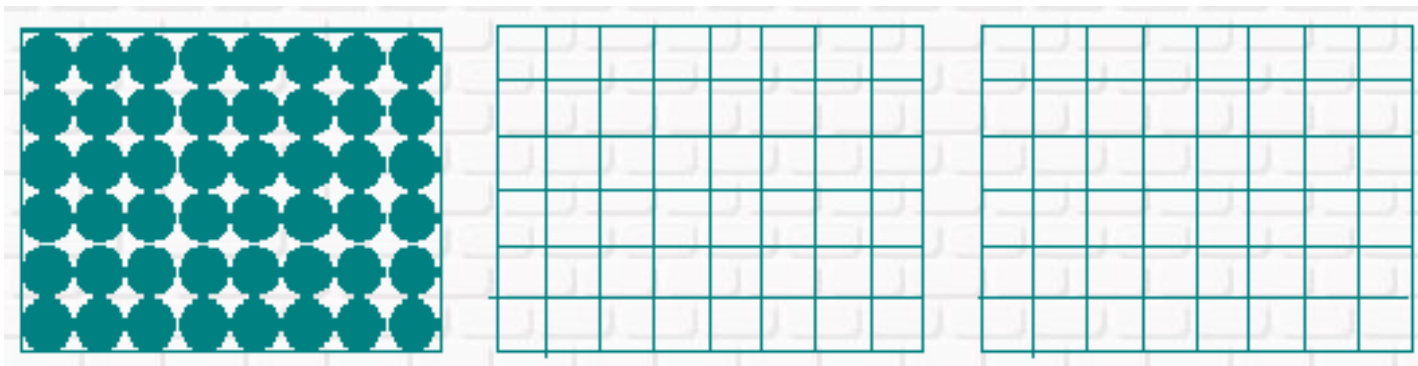


■ 画家算法



■ Z-buffer算法

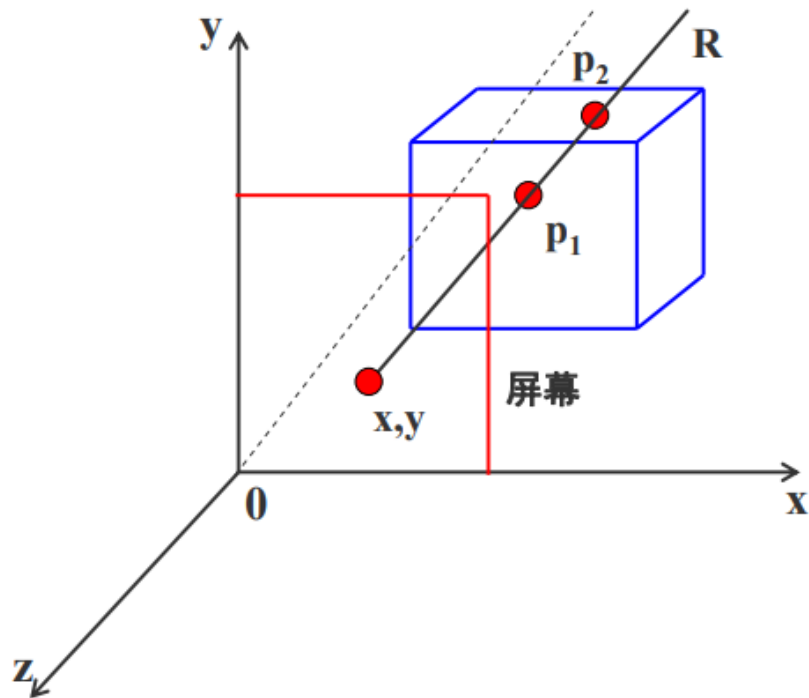
- Z缓冲区里的z值总是保留这个像素所对应空间点的最大z值。



帧 Buffer

Z-Buffer

■ Z-buffer算法





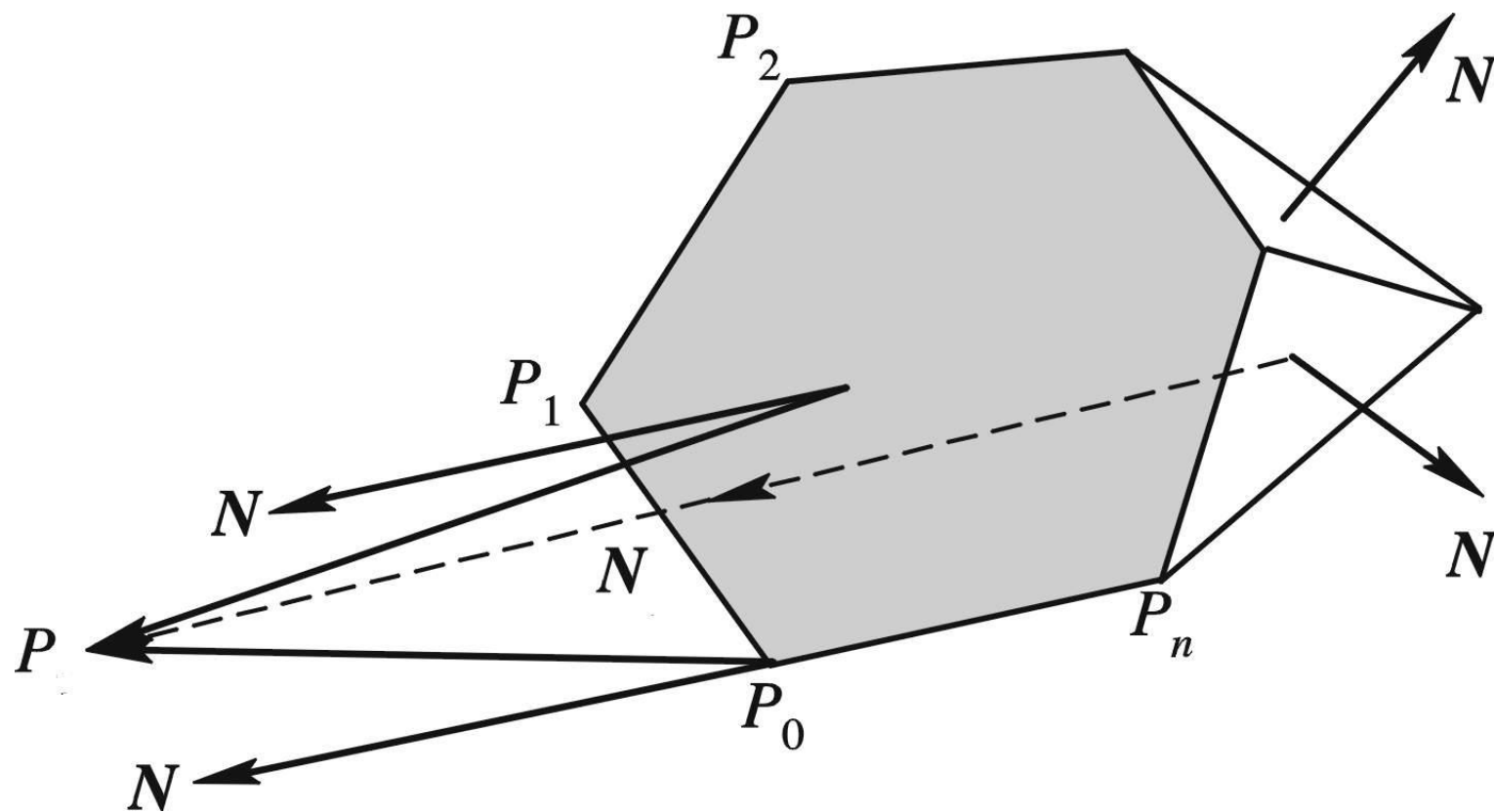
物体空间的消隐算法

以场景中的物体为处理单元

```
for (场景中的每一个物体){  
    将其与场景中的其它物体比较，确定其  
    表面的可见部分；  
    显示该物体表面的可见部分；  
}
```

假设场景中有 k 个物体，平均每个物体表面由 h 个多边形构成，显示区域中有 $m \times n$ 个像素，则：
算法的复杂度为： $O((kh)*(kh))$

凸多面体的线消隐



凸多面体是由若干个平面围成的物体。假设这些平面方程为

$$a_i x + b_i y + c_i z + d_i = 0, \quad i=1, 2, \dots, n$$

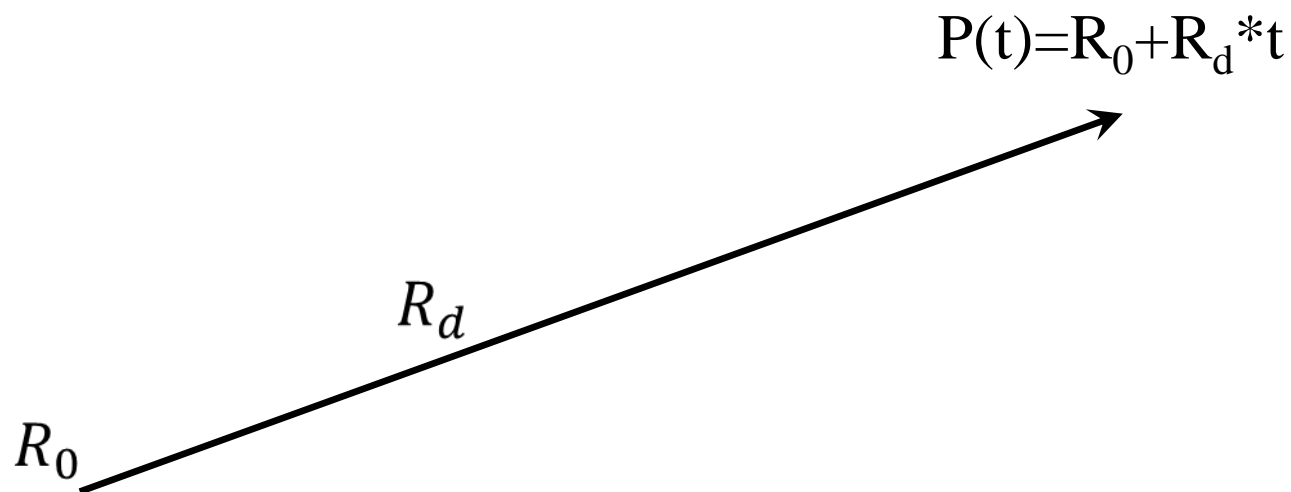
变换方程的系数，使 (a_i, b_i, c_i) 指向物体外部。那么：

假设上式定义的凸多面体在以视点为顶点的视图四棱锥内，**视点与第 i 个面上一点连线**的方向为 (l_i, m_i, n_i) 。那么自隐藏面的判断方法是：

$$(a_i, b_i, c_i) \cdot (l_i, m_i, n_i) < 0$$

任意两个自隐藏面的交线，为自隐藏线。（自隐藏线应该用虚线输出）。

直线的方程



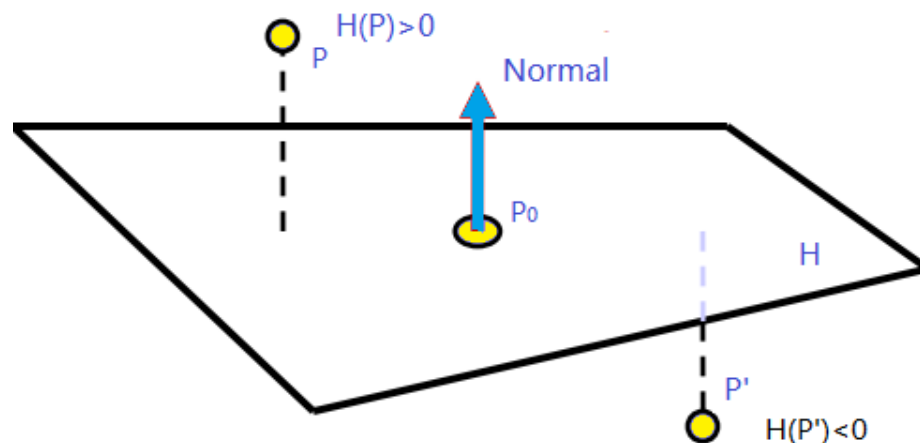
平面的表示

$$P_0=(x_0,y_0,z_0)$$

$$n=(A,B,C)$$

$$H(P)=Ax+By+Cz+D$$

$$Ax_0+By_0+Cz_0+D=0$$



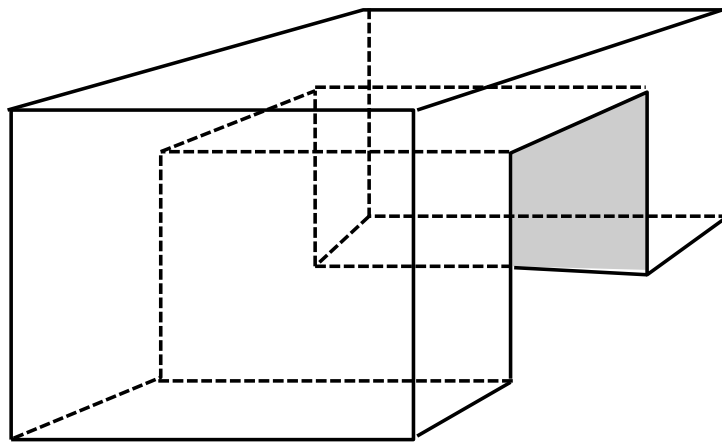
球面的表示

假设球心是坐标原点

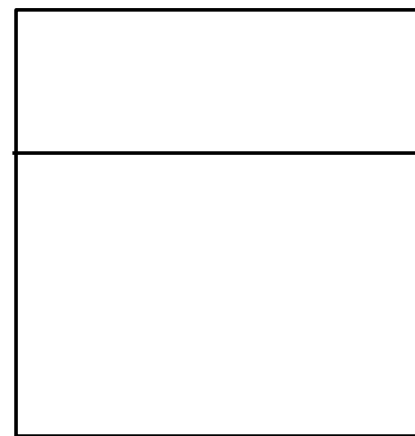
$$H(P)=|P|^2-r^2=P*P-r^2$$



凹多面体的隐藏线消隐



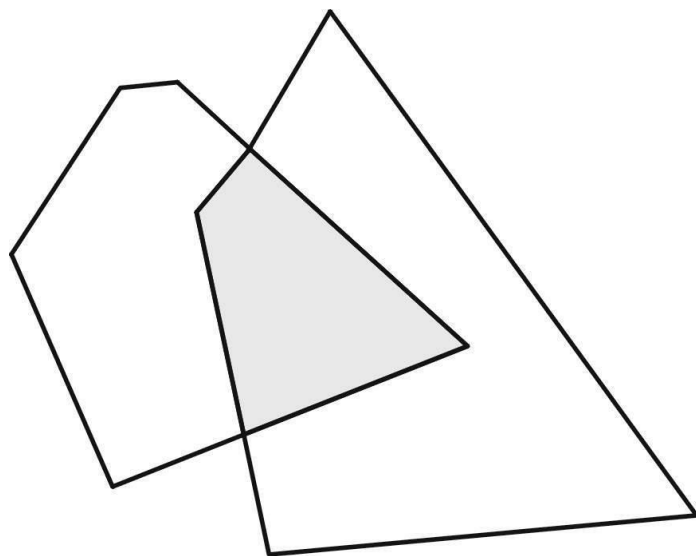
(a)



(b)

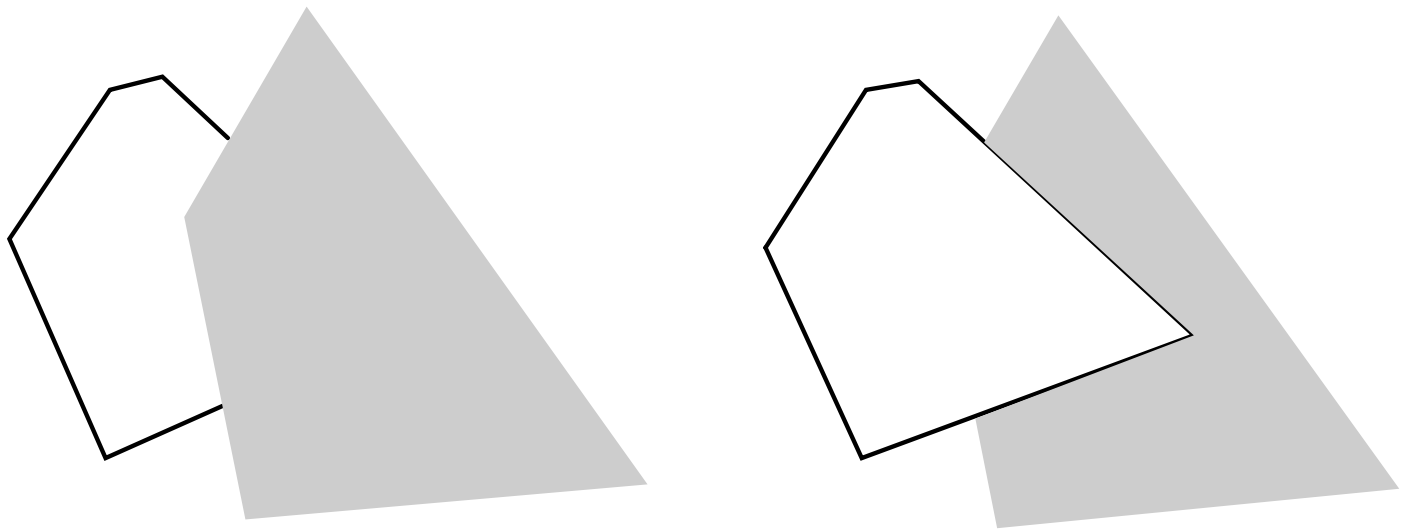
- (a) 从斜前方观测，一前向面被部分遮挡；
(b) 从正前方观测，某些前向面被完全遮挡。

在前向面之间，它们在投影平面上投影的区域相互重叠。需要找出重叠部分，判定应属于哪一个面的投影区域。

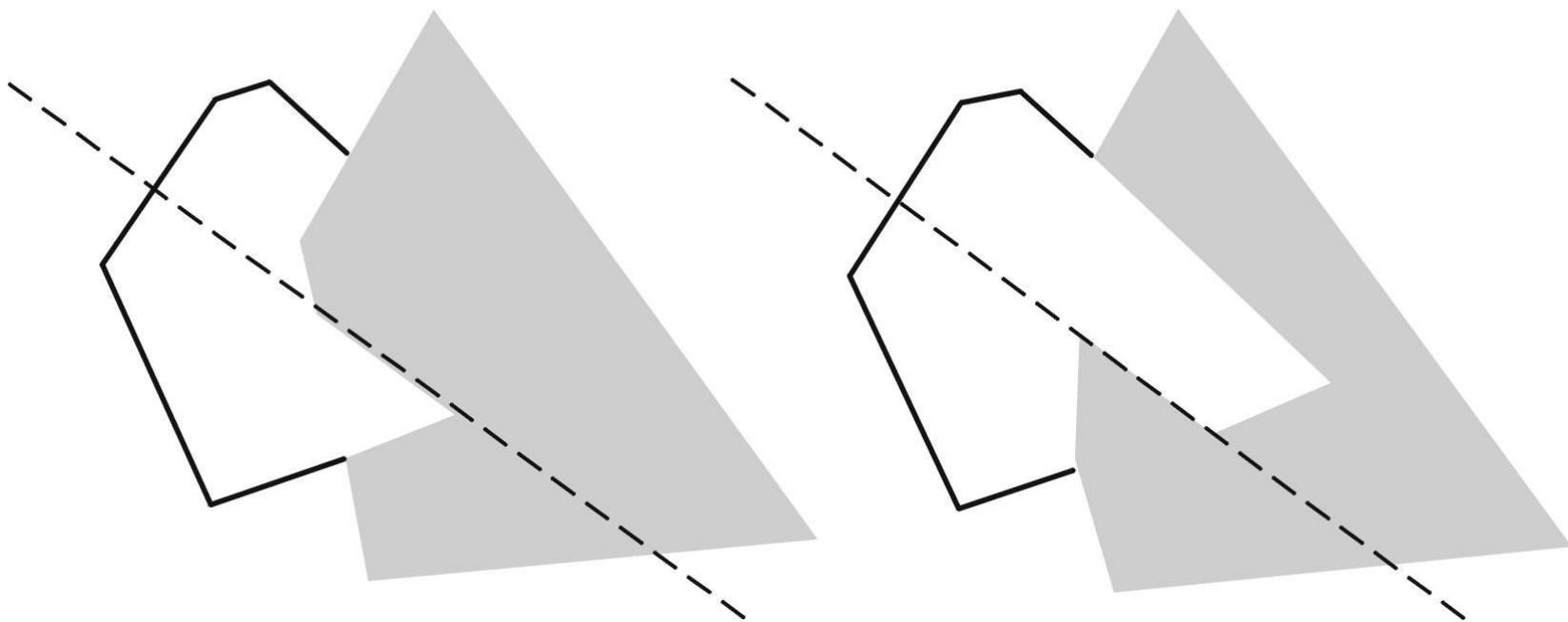


两个平面投影区域重叠部分的查找，可利用非矩形窗口的裁剪算法。

遮挡关系

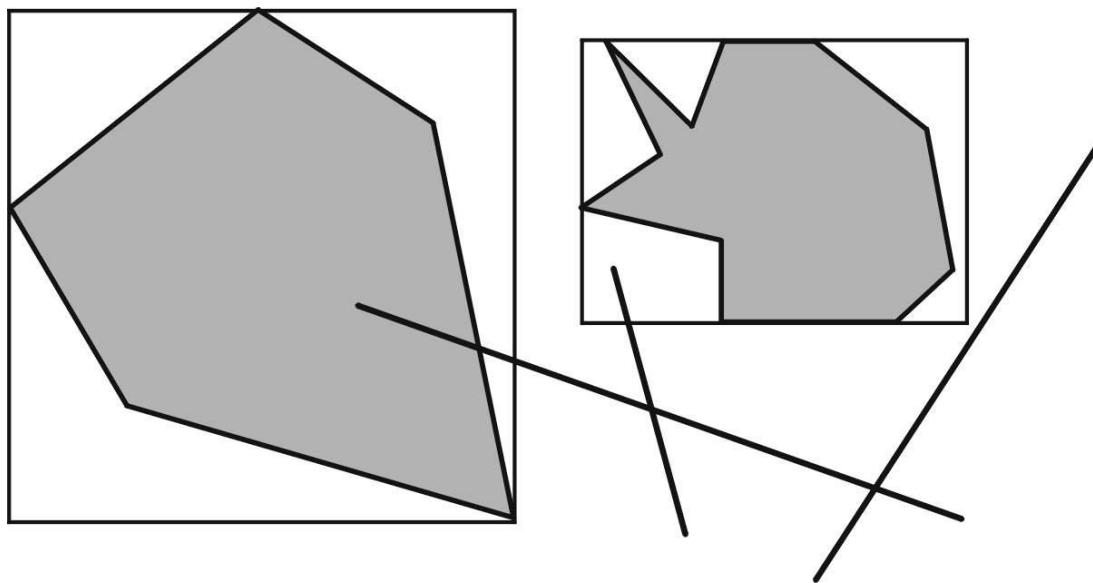


投影的重叠部分应属于深度较浅的前向面

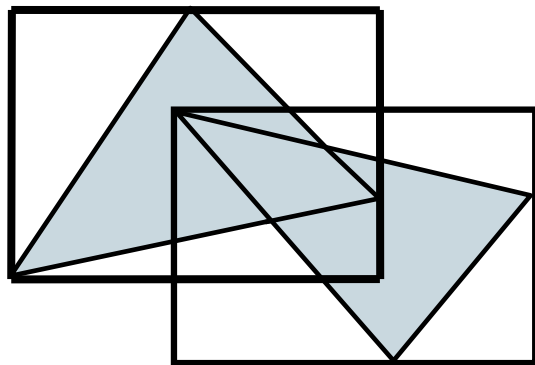


前后交叉遮挡，公共投影区域有交线投影
投影的重叠部分被两个平面交线的投影分割成两块，分属这两个前向面。

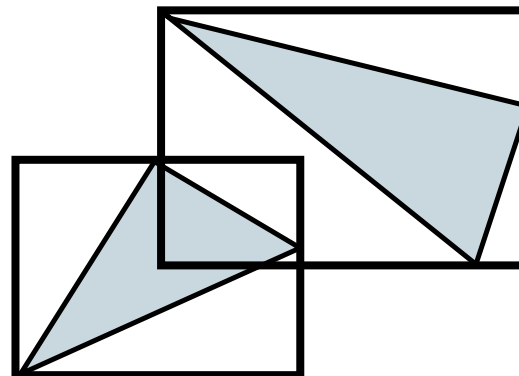
边界盒



边界盒检测方法进行包含性检测的好处是：
避免在投影之间进行不必要的比较运算。



(a) 边界盒和投影均重叠



(b) 边界盒重叠，投影不重叠



颜色

- 颜色是外来的光刺激作用于人的视觉器官而产生的主观感觉，影响因素主要有：
 - 物体本身
 - 光源
 - 周围环境
 - 观察者的视觉系统



心理学度量与物理特性

■ 颜色的三个视觉特性(心理学度量)

- 色调(Hue) 一种颜色区别于其他颜色的因素，
如：红、绿、蓝
- 饱和度(Saturation) 颜色的纯度
- 亮度(Lightness) 光给人的刺激的强度

■ 对应的颜色物理特性

- 主波长 (Dominant Wavelength) 产生颜色光的波长，对应于视觉感知的色调
- 纯度(Purity) 对应于饱和度
- 明度(Luminance) 对应于光的亮度

光谱

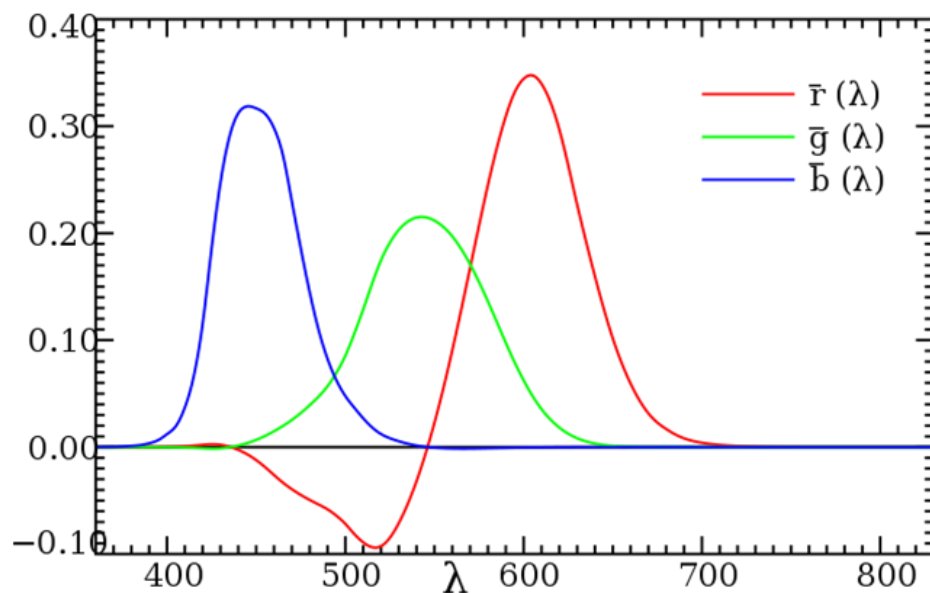
光是人的视觉系统能够感知到的电磁波。

波长在 400nm 到 700nm 之间
($1\text{nm}=10^{-9}\text{m}$)

光可以由它的光谱能量分布来表示。

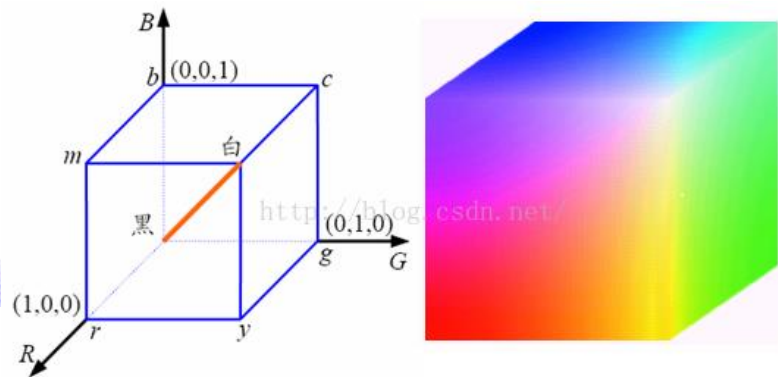
各波长的能量分布不均匀，
为彩色光。

包含一种波长的能量，其他波长都为零，是单色光。

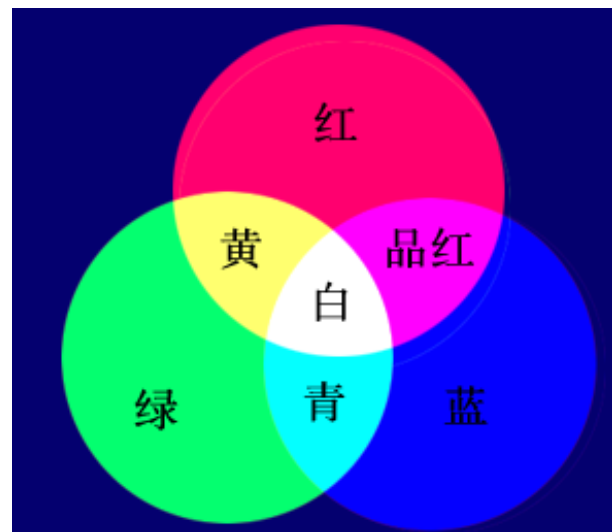


CIE-RGB标准色度
观察者光谱三刺激值曲线

RGB颜色模型



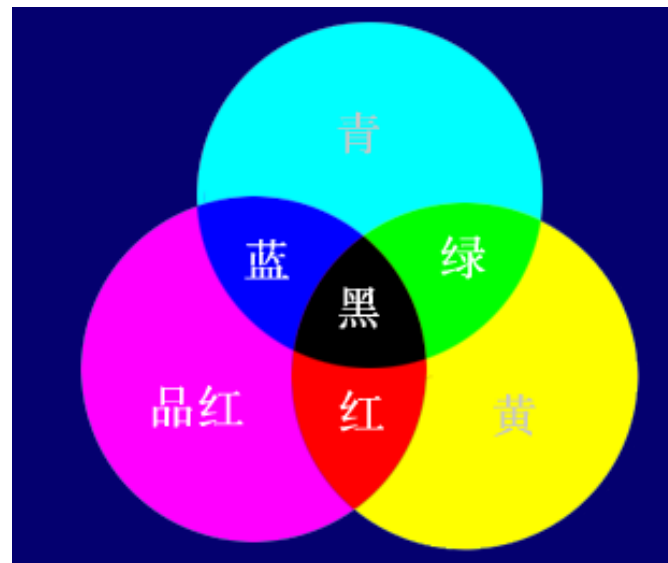
- 颜色模型是指某个三维颜色空间中的一个可见光子集，包含某个颜色域的所有颜色。
- 颜色模型的用途是在某个颜色域内方便地指定颜色。
- 红、绿、蓝原色混合在一起可以产生复合色。
- 通常使用于彩色光栅图形显示设备中。



CMY颜色模型

- 以红、绿、蓝的补色青、品红、黄为原色构成的颜色模型。
- 点(1,1,1)因所有投射光成份都被减掉而表示黑色。
- 原点表示白色。

$$(C,M,Y)=(1,1,1)-(R,G,B)$$

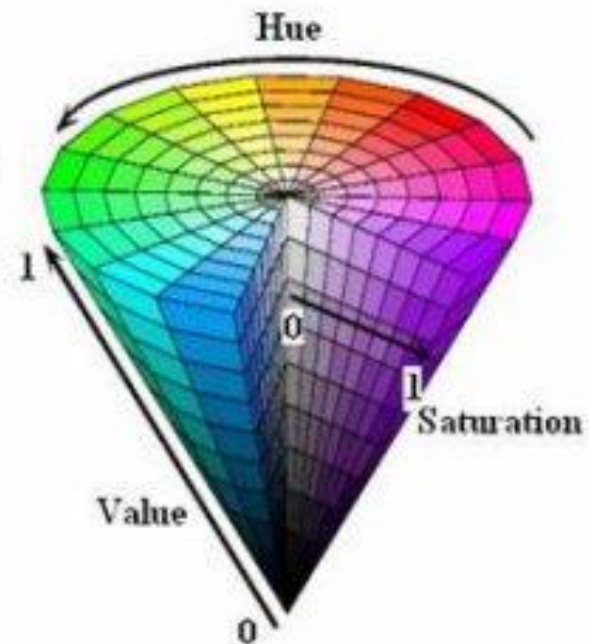
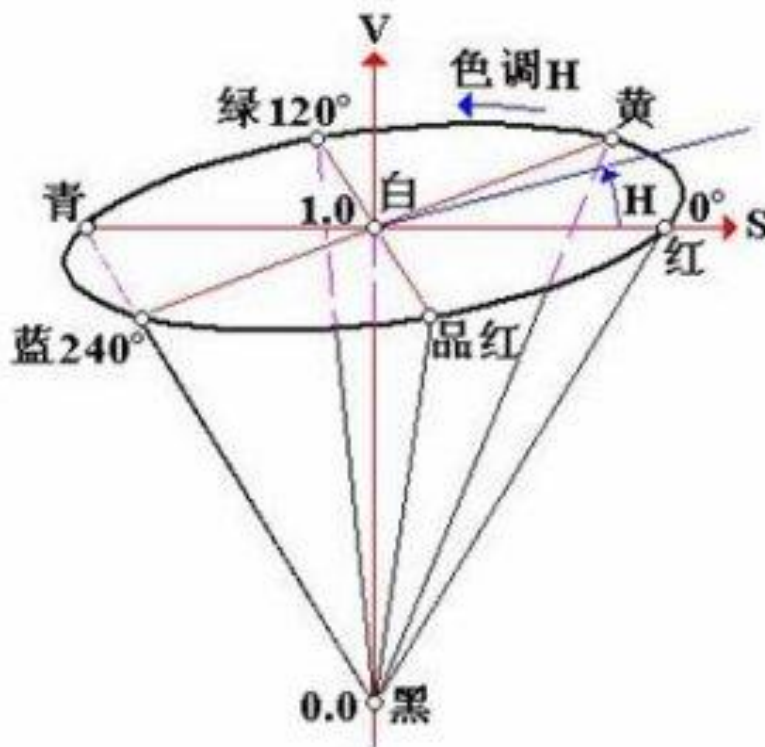


HSV颜色模型

HSV模型对多数用户是一个较直观模型。

人眼最大能区分128种不同的色彩，130种色饱和度，23种明暗度。

如果我们用16Bit表示HSV的话，可以用7位存放H，4位存放S，5位存放V，即745或者655就可以满足我们的需要了。



RGB转化到HSV的算法

```
max=max(R,G,B)
min=min(R,G,B)
if R = max, H = (G-B)/(max-min)
if G = max, H = 2 + (B-R)/(max-min)
if B = max, H = 4 + (R-G)/(max-min)
H = H * 60
if H < 0, H = H + 360
V=max(R,G,B)
S=(max-min)/max
```

HSV转化到RGB的算法

```
if s = 0
R=G=B=V
else
H /= 60;
i = INTEGER(H)
f = H - i
a = V * ( 1 - s )
b = V * ( 1 - s * f )
c = V * ( 1 - s * (1 - f) )
switch (i)
case 0: R = V; G = c; B = a;
case 1: R = b; G = v; B = a;
case 2: R = a; G = v; B = c;
case 3: R = a; G = b; B = v;
case 4: R = c; G = a; B = v;
case 5: R = v; G = a; B = b;
```



简单光照模型

- Phong光照模型
 - 物体间作用表示为环境光(Ambient Light)
 - 漫反射(Diffuse Reflection)
 - 镜面反射(Specular Reflection)



环境光

- 假定物体是不透明的（即无透射光）
- 环境光：在空间中近似均匀分布，即在任何位置、任何方向上强度一样,记为 I_a 。
- 环境光反射系数 K_a ：在分布均匀的环境光照射下，不同物体表面所呈现的亮度未必相同，因为它们的环境光反射系数不同。
- 光照方程（仅含环境光）：

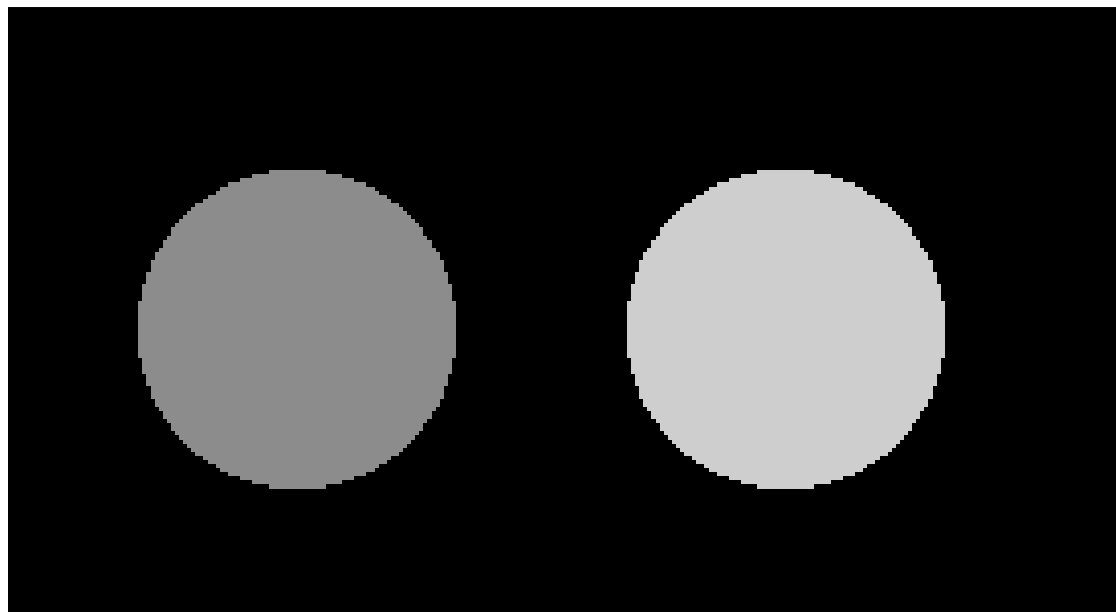
$$I_e = K_a * I_a$$

– I_e 为物体表面所呈现的亮度。

环境光实例

- 具有不同环境光反射系数的两个球

$$I_a = 1.0$$



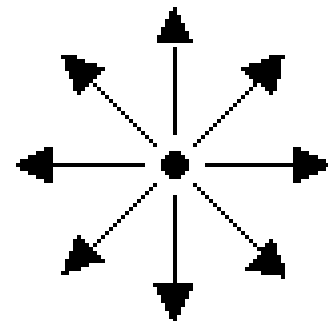
$$K_a = 0.4$$

$$K_a = 0.8$$

点光源

环境光模型虽然不同的物体具有不同的亮度，但是同一物体的表面的亮度是一个恒定的值，没有明暗的自然过度。故考虑引入点光源。

点光源：几何形状为一个点，位于空间中的某个位置，向周围所有的方向上辐射等强度的光。记其亮度为 I_p 。



漫反射

漫反射一般指粗糙、无光泽物体（如粉笔）表面对光的反射。

光照方程：

$$I_d = I_p K_d \cos \theta \quad \theta \in [0, \frac{\pi}{2}]$$

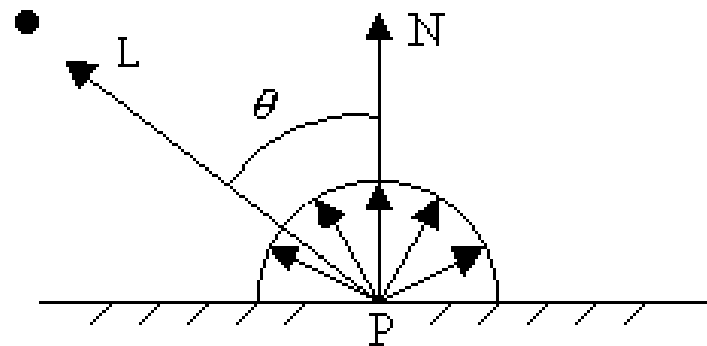
I_d 漫反射的亮度

I_p 点光源的亮度

K_d 漫反射系数

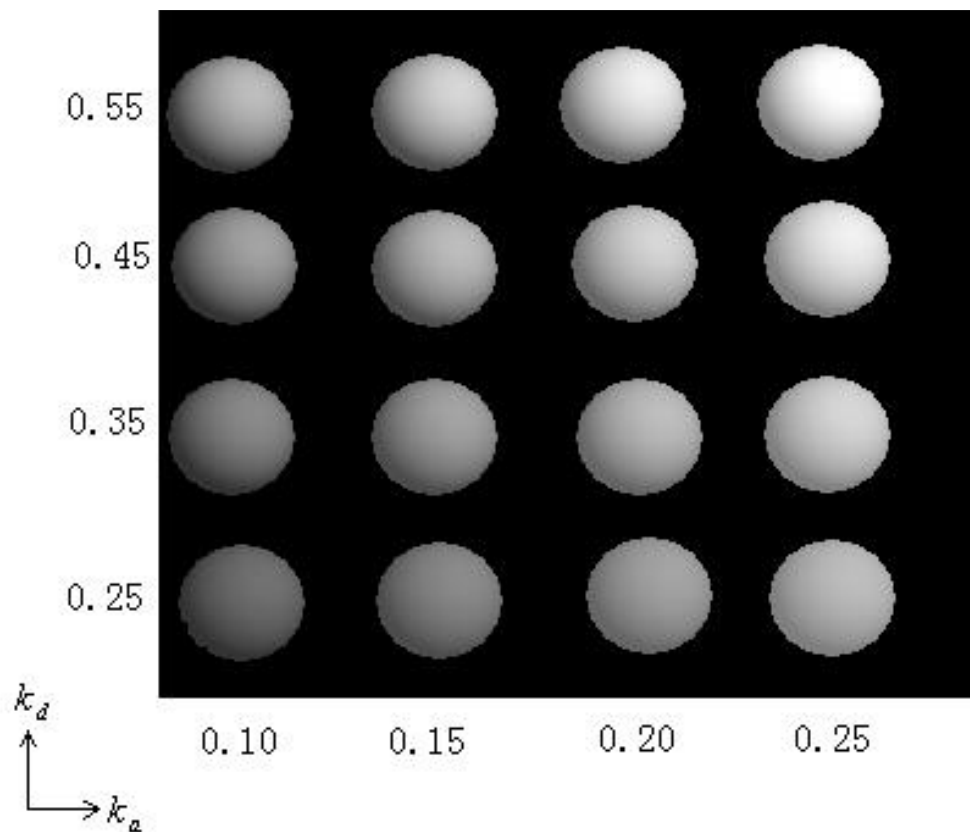
θ 入射角

点光源



漫反射实例

将环境光与漫反射结合起来 $I = I_e + I_d = I_a K_a + I_p K_d (L \cdot N)$

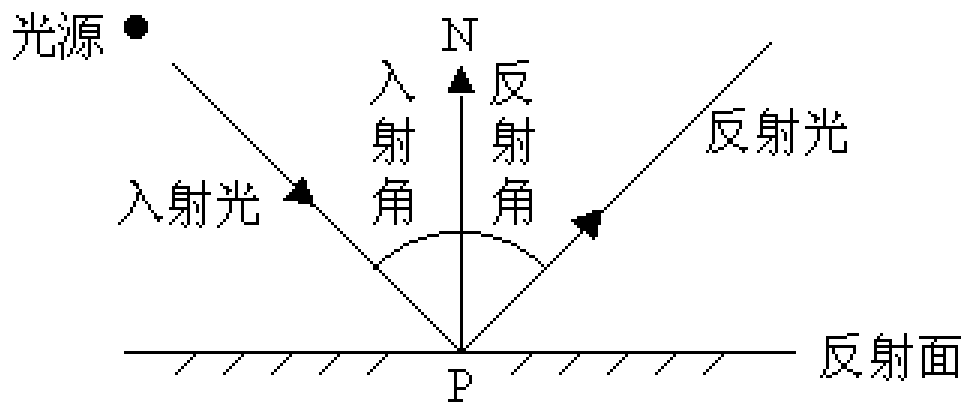


镜面反射

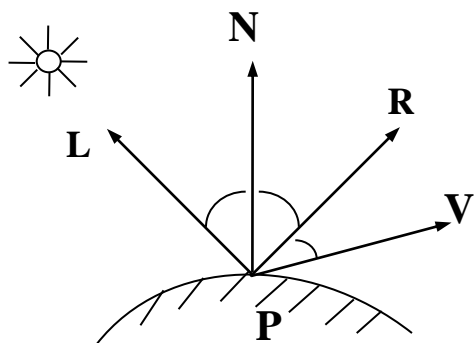
镜面反射一般指光滑物体（如金属或塑料）表面对光的反射

观察者只能在反射方向上才能看到反射光，偏离了该方向则看不到任何光。

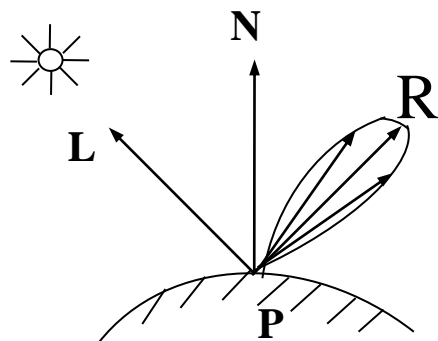
理想镜面反射



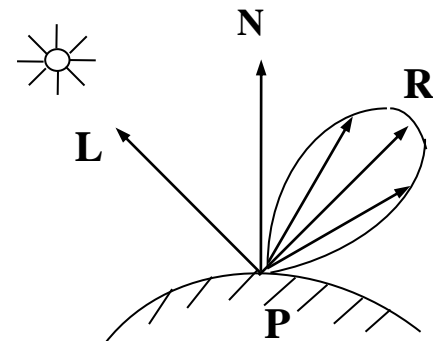
$$I = I_p K_s \cos^n \alpha$$



理想镜面反射



一般光滑表面镜面反射



粗糙表面的镜面反射

$$I_s = I_p K_s \cos^n \alpha$$

- I_s 为镜面反射光强。 I_p 点光源的亮度
 - K_s 是与物体有关的镜面反射系数。
 - n 为镜面反射指数。
 - n 的取值与表面粗糙程度有关，一般为1~2000。
 - n 越大，表面越平滑（散射现象少，稍一偏离，明暗亮度急剧下降）
 - n 越小，表面越毛糙（散射现象严重）

- 镜面反射光特点
 - 空间分布具有一定方向性
 - 光强不仅取决于入射光和表面材料，还与观察方向有关

镜面反射实例



环境光

+



漫反射

+

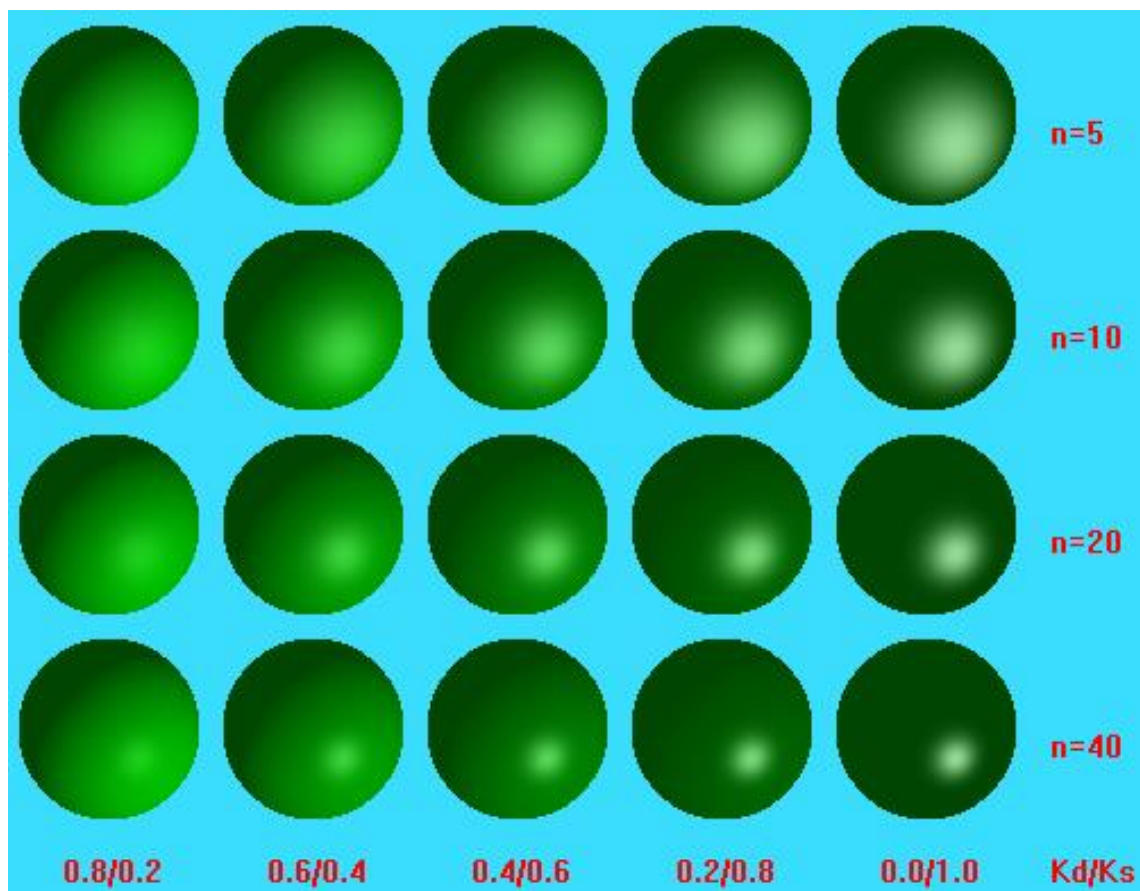


镜面反射

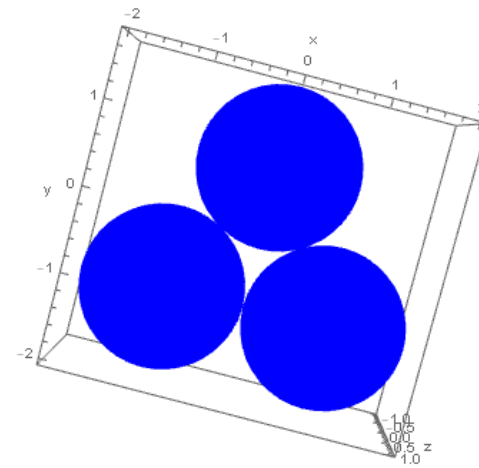
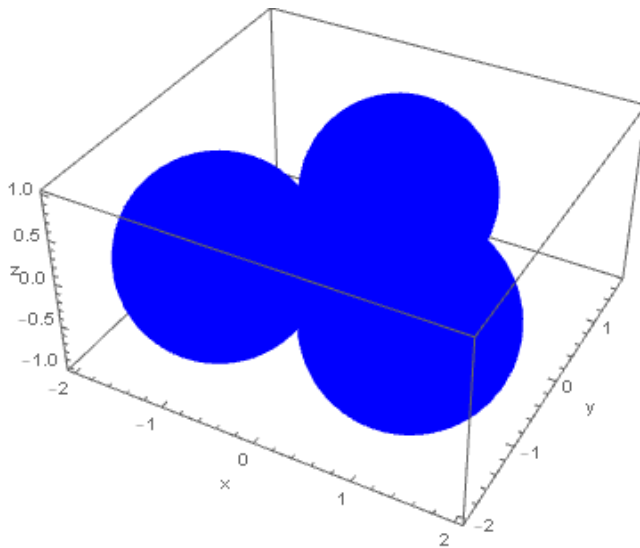
$$\begin{aligned} I &= I_e + I_d + I_s \\ &= I_a K_a + I_p [K_d (L \cdot N) + K_s (V \cdot R)^n] \end{aligned} =$$



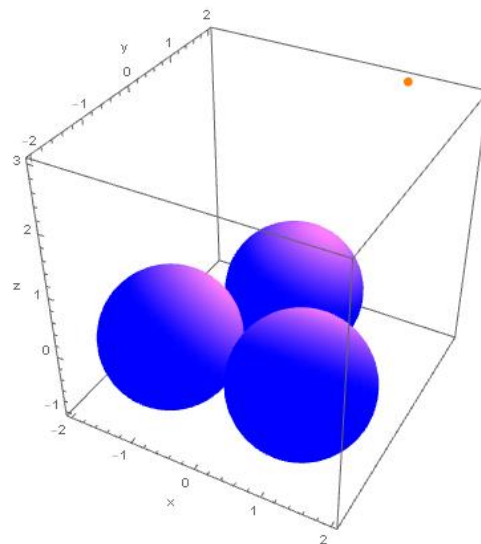
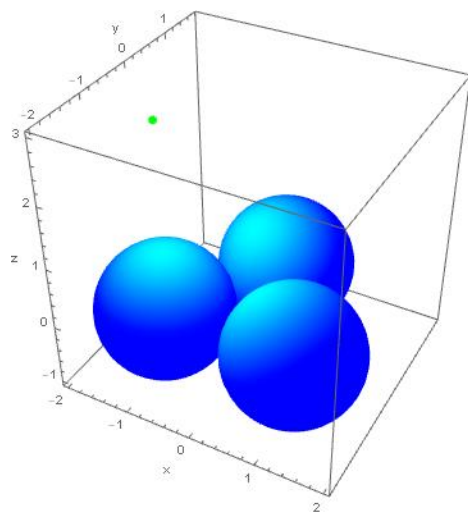
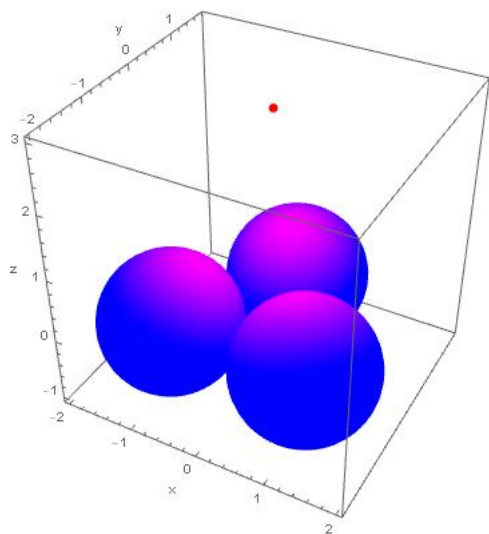
Phong光照模型实例



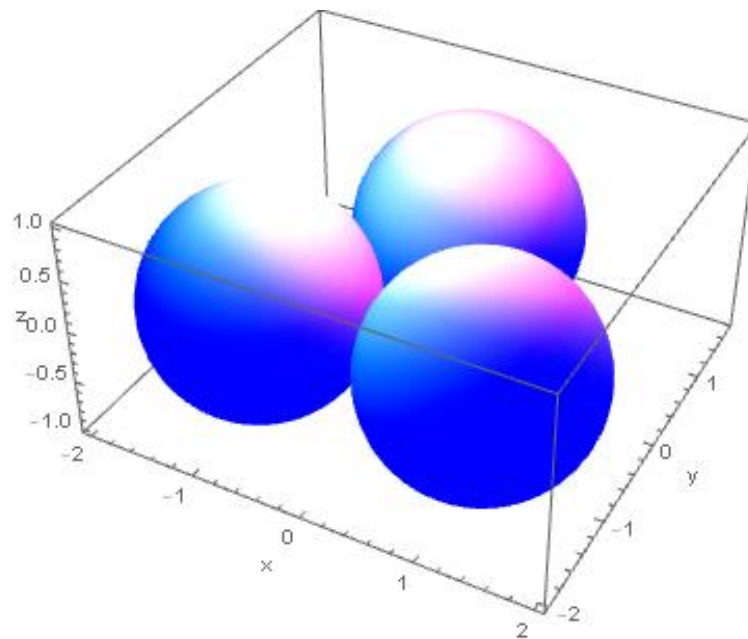
Phong环境光



点光源



多点光源



Phong模型存在不足:

1. 显示出的物体像塑料，无质感变化
2. 环境光是常量，没有考虑物体间相互反射光
3. 镜面反射颜色是光源的颜色，与材质无关
4. 镜面反射在大入射角时，会产生失真现象

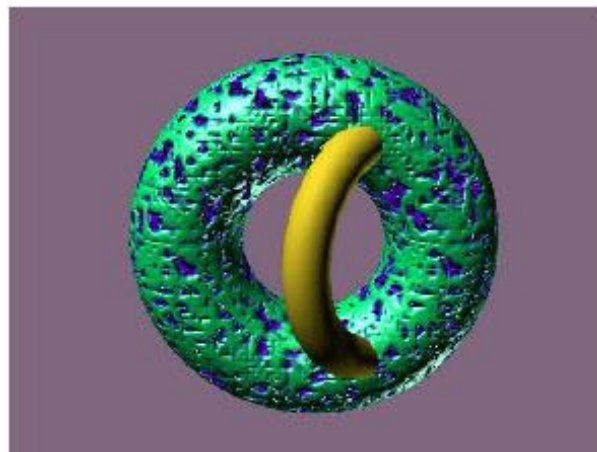
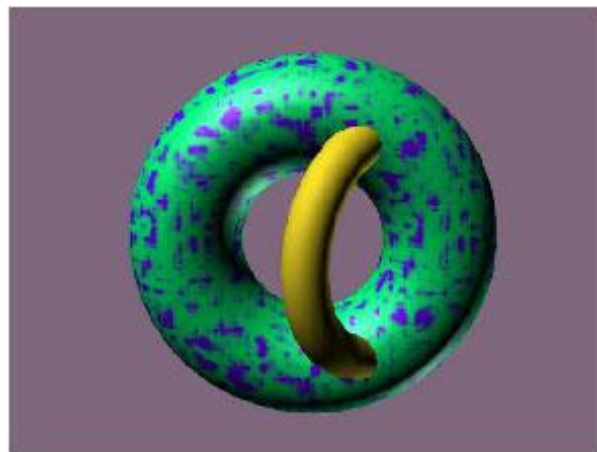
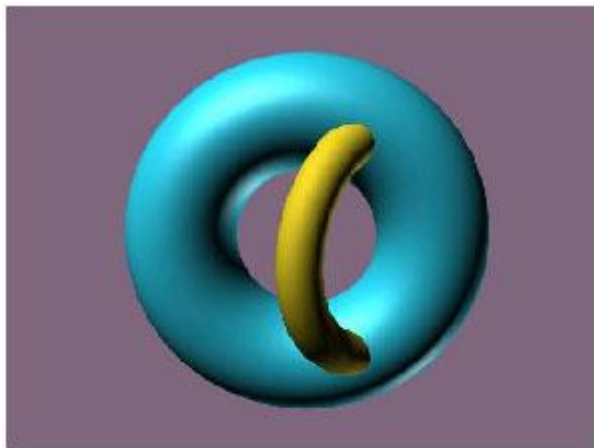
整体光照模型:

1. 其它物体的反射光
2. 透射光
3. 阴影



纹理

- 纹理是物体表面的细小结构
- 纹理类型
 - 颜色纹理
 - 二维纹理，物体表面花纹、图案
 - 三维纹理，木材纹理
 - 几何纹理，基于物体表面的微观几何形状
 - 法向扰动





阴影

光源照射不到的物体后面形成的三维多面体阴影区域为阴影域。

透视变换生成图像的过程中，屏幕视域空间是一个四棱椎，对物体的阴影域进行裁剪，就会变成封闭多面体，称其为阴影域多面体。

场景中的物体，只要与这些阴影域多面体进行三维布尔交运算，计算出的交集就可以被定为物体表面的阴影区域。

