

颜色模型

真实感图形学

真实感图形学研究什么？简单地说，就是希望用计算机生成像照相机拍的照片一样逼真的图形图像。要实现这个目标，需要三部曲：

第一步：建立三维场景（建模）；

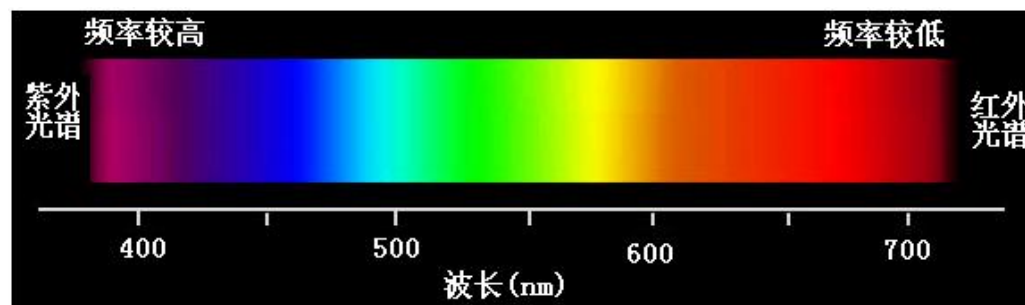
第二步：消隐解决物体深度的显示及确定物体之内的相互关系；

第三步：在解决了消隐问题之后，在可见面上进行明暗光泽的处理，然后进行绘制（渲染）。



一、颜色模型概述

1、什么是颜色？



- Ø 颜色是人的视觉系统对可见光的感知结果，感知到的颜色由光波的波长决定。
- Ø 人眼对于颜色的观察和处理是一种生理和心理现象，其机理还没有完全搞清楚。
- Ø 视觉系统能感觉的波长范围为380~780nm。

二、颜色模型概述

2、什么是颜色模型？

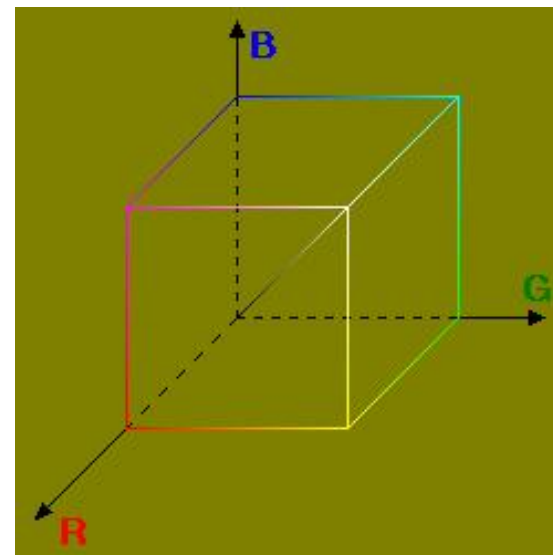
- Ø 颜色模型（空间），是表示颜色的一种数学方法，人们用它来指定颜色和标定产生的颜色。通常用三个参数表示。
- Ø 几乎所有的颜色模型都是从RGB颜色模型导出。
- Ø 目前现有颜色模型还没有一个完全符合人的视觉感知特性、颜色本身的物理特性或发光物体和光反射物体的特性。

二、常用颜色模型

1、RGB颜色工业模型

Ø 如图所示，单位立方体中的三个角对应红色(R)、绿色(G)、蓝色(B)三基色，而其余三个角分别对应于三基色的补色——青色(C)、黄色(Y)、品红色(M)

Ø 从RGB单位立方体的原点即黑色(0, 0, 0)到白色顶点(1, 1, 1)的主对角线被称为灰度线，线上所有的点具有相等的分量，产生灰度色调。



二、常用颜色模型

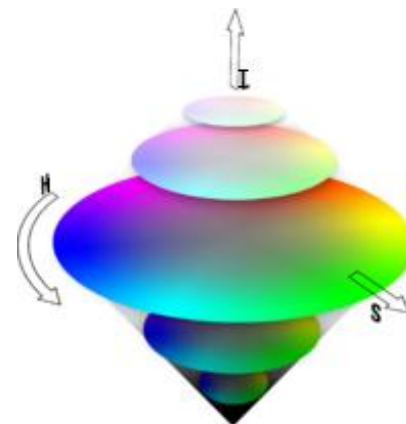
2、其它颜色工业模型

主要用于彩色电视信号传输标准，主要有YIQ、YUV、YCbCr彩色模型。三种彩色模型中，Y分量均代表黑白亮度分量，其余分量用于显示彩色信息。这样，只需利用Y分量进行图像显示，彩色图像就转换为灰度图像。

二、常用颜色模型

3、颜色视觉模型

Ø 以上彩色模型是从色度学或硬件实现的角度提出的，但用色调(Hue)、饱和度(Saturation，也称彩度)、亮度(Illumination)三要素来描述彩色空间能更好地与人的视觉特性相匹配。



二、常用颜色模型

3、颜色视觉模型

颜色的三个基本属性(也称人眼视觉三要素) ——

①色调(Hue)：由物体反射光线中占优势的波长决定的，是彩色互相区分的基本特性。

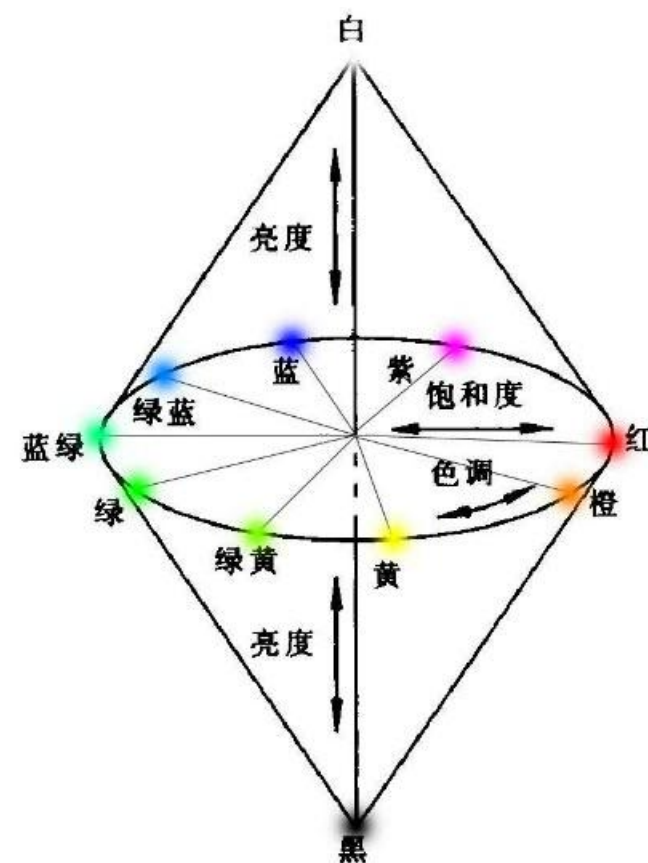
②饱和度(Saturation)或彩度：彩色的深浅程度，它取决于彩色中白色的含量。饱和度越高，彩色越深，白色光越少。

③亮度(Illumination)：光波作用于感受器所发生的效应，它取决于物体的反射系数。反射系数越大，物体亮度越大。

二、常用颜色模型

3、颜色视觉模型

HSI 彩色模型是截面为三角形或圆形的锥体模型。

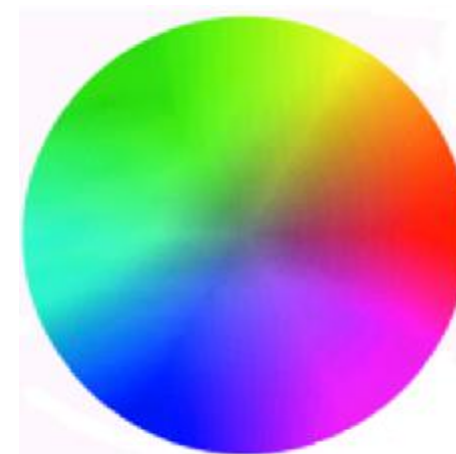


二、常用颜色模型

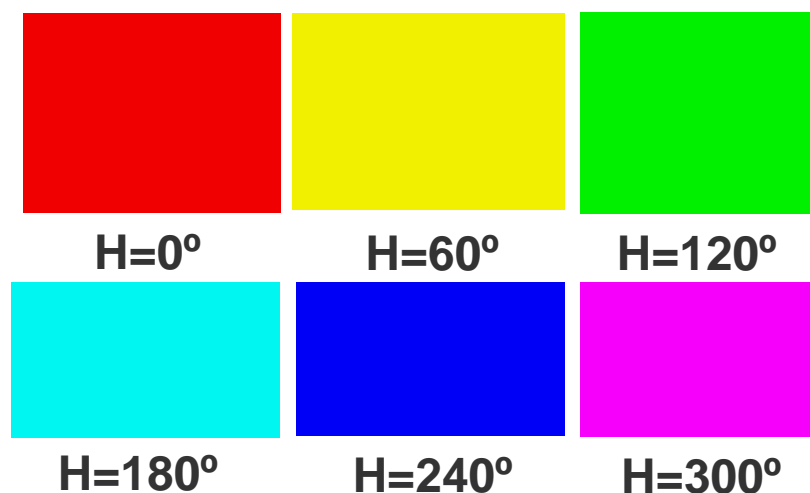
3、颜色视觉模型

色调(H)也称为色相, 指颜色的外观,
色调H用角度表示:

如赤橙黄绿青蓝紫, 角度从(红)→(绿)→(蓝)→(红)。



ü色调(H)
效果示意
图



二、常用颜色模型

3、颜色视觉模型

饱和度，分成：

ü低 (0%~20%)，不管色调如何而产生灰色；

ü中 (40%~60%)，产生柔和的色泽 (pastel)；

ü高 (80%~100%)，产生鲜艳的颜色 (vivid color)。

ü饱和度 (S) 效果示意图：



二、常用颜色模型

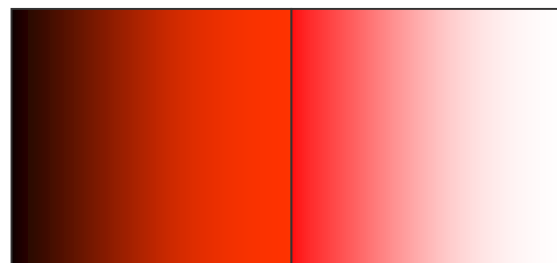
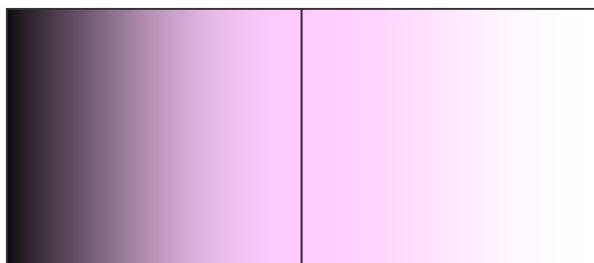
3、颜色视觉模型

强度(Intensity)是颜色的亮度(Illumination)；

ü取值范围从0%(黑)~100%(最亮)；

ü强度也指明度(value)或光亮度(lightness或Brightness)。

ü亮度(I)效果示意图：



二、常用颜色模型

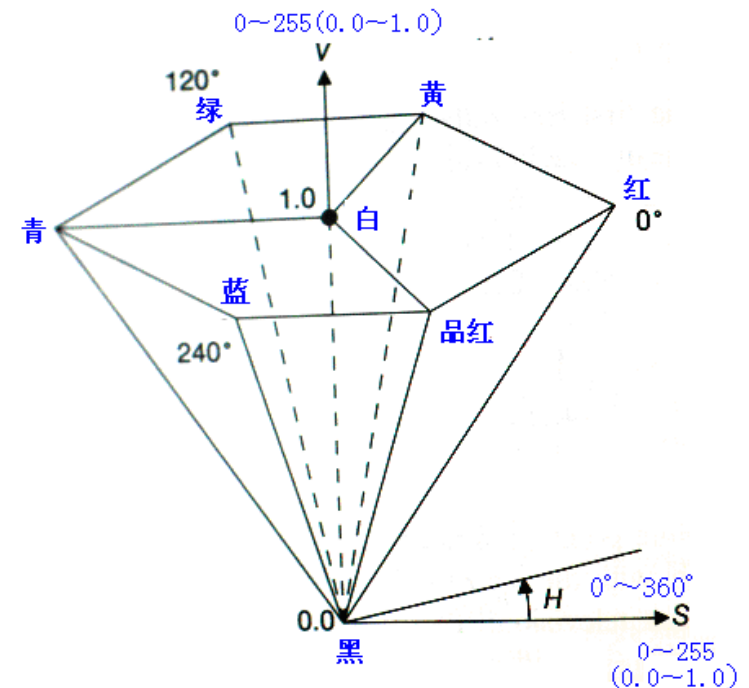
4、其他颜色视觉模型

✓ HSV(hue, saturation and value)
彩色模型——

ü A. R. Smith根据颜色的直观特性
于1978年创建的，是颜色的倒六角
锥体模型。

✓ HSL 与HSV——

ü HSL采用亮度L(lightness)、HSV采
用明度V(value)作为坐标。



简单光照模型

一、什么是光照模型？

1、光照模型

当物体的几何形态确定之后，光照决定了整个场景的显示结果。因此，真实感图形的生成取决于如何建立一个合适的光照模型（illumination model）。

光照明模型：模拟物体表面的光照明物理现象的数学模型。

简单光照明模型只考虑光源对物体的直接光照





二、光照模型的发展演化

1、早期发展

1967年，Wylie等人第一次在显示物体时加进光照效果，认为光强与距离成反比。

1970年，Bouknight提出第一个光反射模型：Lambert漫反射+环境光（第一个可用的光照模型）。这篇文章发表在 [Communication of ACM](#) 上。

1971年，Gouraud提出漫反射模型加插值的思想（漫反射的意思是光强主要取决于入射光的强度和入射光与法线的夹角）发表在 [IEEE Transactions on Computers](#) 上。

1975年，Phong提出图形学中第一个最有影响的光照明模型。在漫反射模型的基础上加进了高光项。

Graphics and
Image Processing

W. Newman
Editor

Illumination for Computer Generated Pictures

Bui Tuong Phong
University of Utah

The quality of computer generated images of three-dimensional scenes depends on the shading technique used to paint the objects on the cathode-ray tube screen. The shading algorithm itself depends in part on the

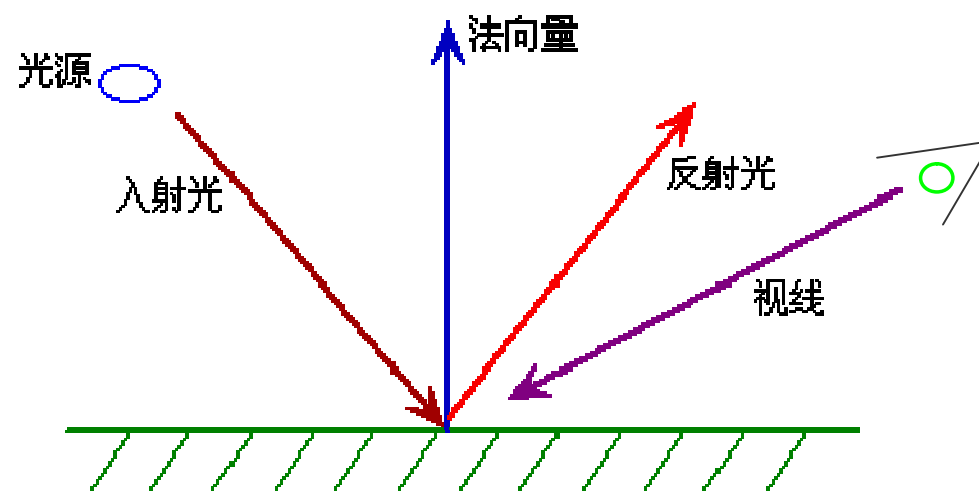
parts and the shading of the objects. Until now, most effort has been spent in the search for fast hidden surface removal algorithms. With the development of these algorithms, the programs that produce pictures are becoming remarkably fast, and we may now turn to the search for algorithms to enhance the quality of these pictures.

In trying to improve the quality of the synthetic images, we do not expect to be able to display the object exactly as it would appear in reality, with texture, over-cast shadows, etc. We hope only to display an image that approximates the real object closely enough to provide a certain degree of realism. This involves some understanding of the fundamental properties of the human visual system. Unlike a photograph of a real world scene, a computer generated shaded picture is made from a numerical model, which is stored in the computer as an objective description. When an image is then generated from this model, the human visual system makes the final subjective analysis. Obtaining a close image correspondence to the eye's subjective interpretation of the real object is then the goal. The computer system can be compared to an artist who paints an object from its description and not from direct observation of the object. But unlike the artist, who can

三、背景物理知识

1、光的传播规律

反射定律：入射角等于反射角，而且反射光线、入射光线与法向量在同一平面上。



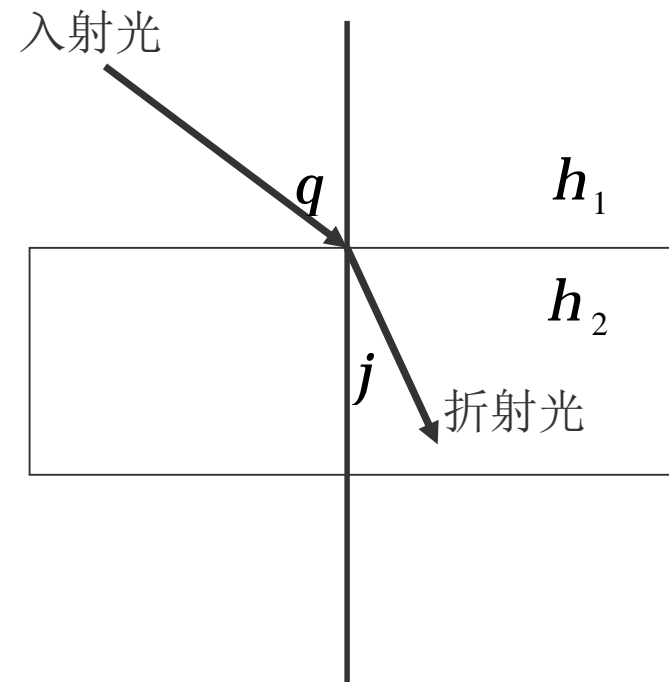
三、背景物理知识

2、折射定律

折射定律：折射线在入射线与法线构成的平面上，折射角与入射角满足：

$$\frac{h_1}{h_2} = \frac{\sin j}{\sin q}$$

其中： η_1 、 η_2 分别是入射光线在空气，物体中的折射率， θ 和 ψ 分别是入射角和折射角。



三、背景物理知识

3、能量关系

在光的反射和折射现象中的能量分布（满足能量守恒）：

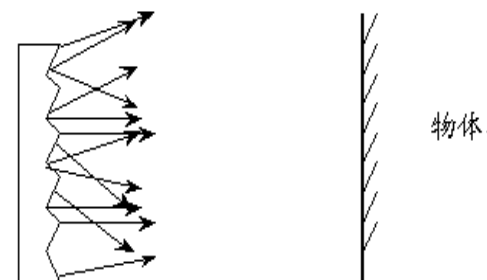
$$I_i = I_d + I_s + I_t + I_v$$

- I_i is the energy of incident light 入射光强
- I_d is the energy of diffuse reflection 漫反射光强
- I_s is the energy of specular reflection （镜面反射）
- I_t is the energy of refraction （折射）
- I_v is the energy that is absorbed 吸收光强

三、背景物理知识

漫反射光：光线射到物体表面上后（比如泥塑物体的表面，没有一点镜面效果），光线会沿着不同的方向等量的散射出去，这种现象称为漫反射。漫反射光在不同方向都是一样的。

漫反射光均匀向各方向传播，与视点无关，它是由表面的粗糙不平引起的。



三、背景物理知识

镜面反射光：一束光照射到一面镜子上或不锈钢的表面，光线会沿着反射光方向全部反射出去，这种叫镜面反射光。

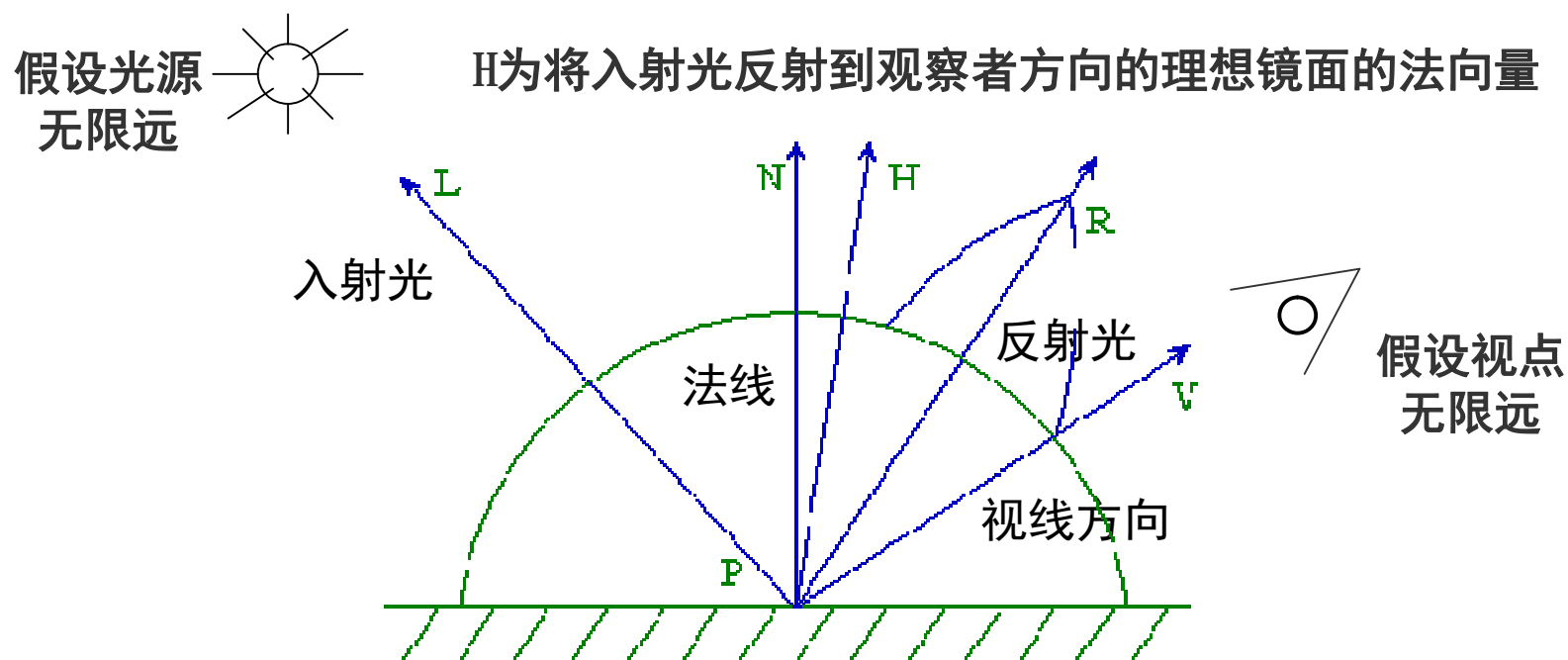
折射光：比如水晶、玻璃等，光线会穿过去一直往前走。

吸收光：比如冬天晒太阳会感觉到温暖，这是因为吸收了太阳光。

Phone光照模型

一、Phong光照模型

1、Phong光照模型（环境光+漫反射光+镜面反射光）



一、Phong光照模型

环境光

§ 邻近各物体所产生的光的多次反射最终达到平衡时的一种光。可近似认为同一环境下的环境光，其光强分布是均匀的。

$$I_{ambient} = I_a K_a$$

I_a 环境光强度 K_a 环境光反射系数

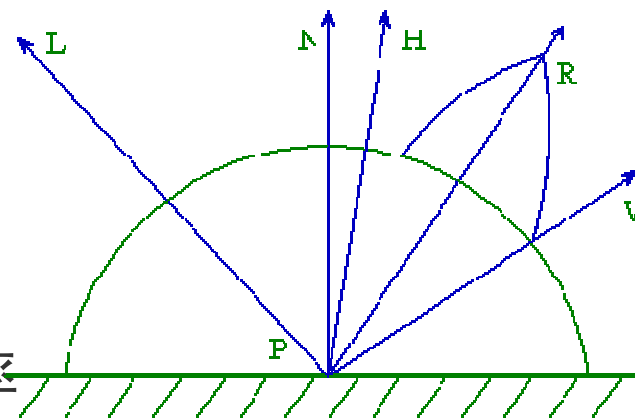
一、Phong光照模型

漫反射光

§ 光照射到比较粗糙的物体表面，物体表面某点的明暗程度不随观测者的位置变化，这种等同地向各个方向散射的现象称为光的漫反射。漫反射光强近似服从Lambert定律：

$$I_{\text{diffuse}} = I_p K_d (L \cdot N)$$

I_p 点光源光强 K_d 物体表面漫反射率



一、Phong光照模型

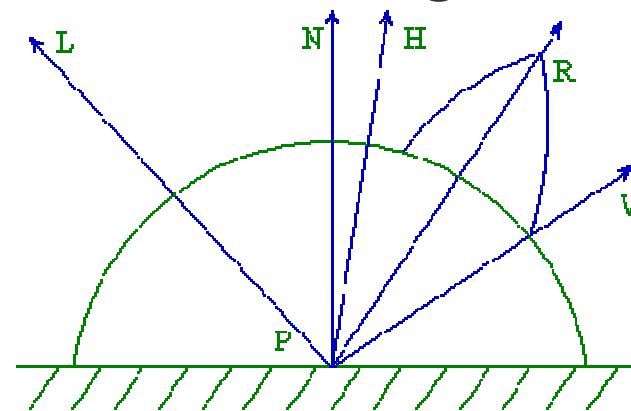
镜面反射光

§ 光照射到相当光滑的物体表面，就产生镜面反射光，其特点是在光滑表面会产生高光区域。一般用Phong提出的经验模型表达：

$$I_{\text{spec}} = I_p K_s (R \cdot V)^n$$

I_p 点光源光强 K_s 物体表面某点的高光亮系数

n 镜面反射指数，1~2000，反映光滑程度



一、Phong光照模型

1、Phong光照模型

$$I = I_a K_a + I_p K_d (L \cdot N) + I_p K_s (R \cdot V)^n$$

环境光 理想漫反射光 镜面反射光

这就是经典的Phong模型。 I_a 、 I_p 都是常数， k 也是已知的， L 是光源的方向也是已知的， N 是物体表面的法向可以算出来的， v 是视线的方向， R 也可以算出来。

一、Phong光照模型

Phong光照模型

单一光源照射下Phong光照模型的表达式: $I = I_a k_a + k_d I_l \cos\theta + k_s I_l \cos^n \alpha$

I	景物表面在被照射点处的光亮度
I_a	入射的泛光光强
k_a	景物表面对泛光的反射系数
k_d	景物表面的漫反射率
I_l	点光源所发出的入射光强度
θ	入射光与表面法向之间的夹角
k_s	景物表面的镜面反射率
n	镜面高光指数
α	镜面与反射光线之间的夹角

H为将入射光反射到观察者方向的理想镜面的法向量

假设光源无限远

假设视点无限远

代替为 $L \cdot N$ 和 $V \cdot R$ 代替为 $N \cdot H$

入射光 法线 反射光 视线方向

P

效果实例

Replay

一、Phong光照模型

1、Phong光照模型

结合RGB颜色模型， Phong光照明模型最终有如下的形式：

$$\begin{cases} I_r = I_{ar} K_{ar} + I_{pr} K_{dr} (L \cdot N) + I_{pr} K_{sr} (R \cdot V)^n \\ I_g = I_{ag} K_{ag} + I_{pg} K_{dg} (L \cdot N) + I_{pg} K_{sg} (R \cdot V)^n \\ I_b = I_{ab} K_{ab} + I_{pb} K_{db} (L \cdot N) + I_{pb} K_{sb} (R \cdot V)^n \end{cases}$$

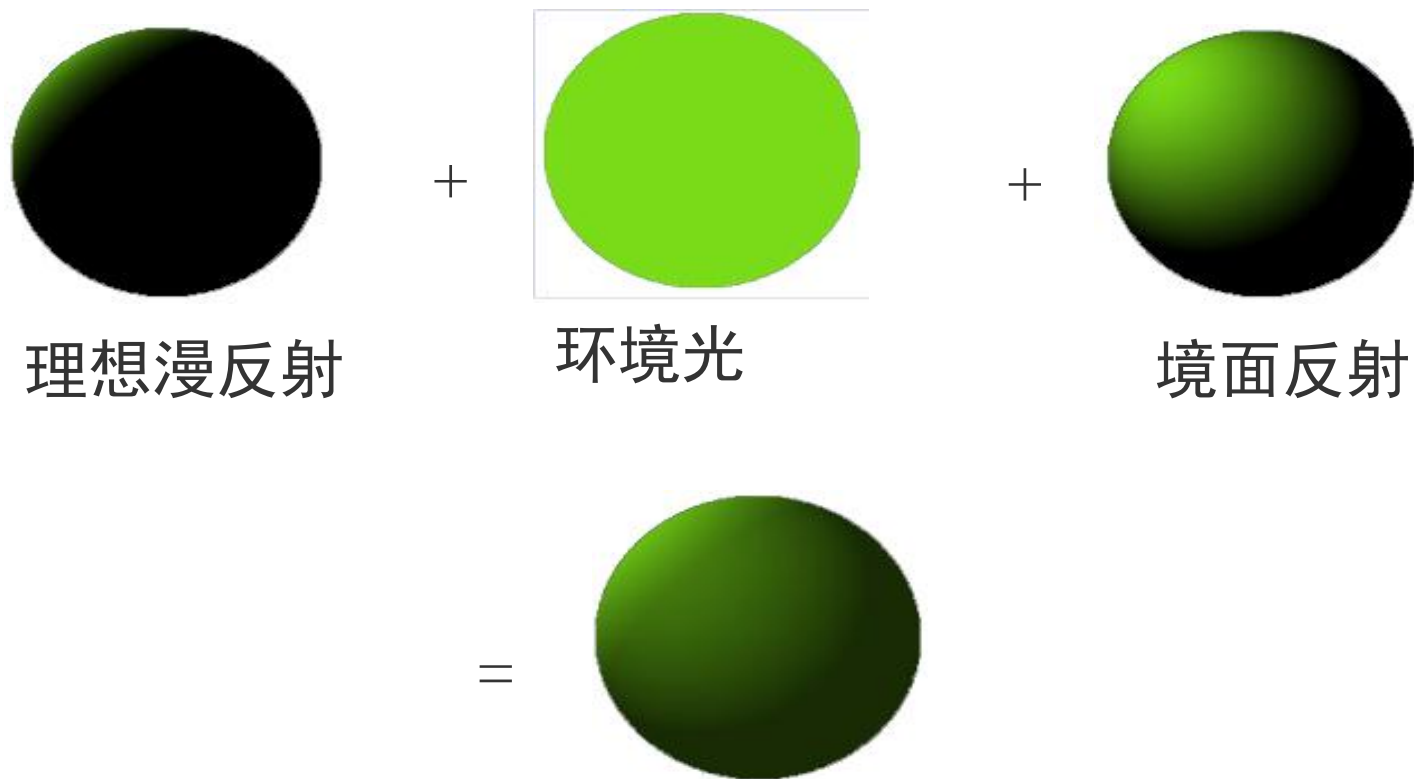
一、Phong光照模型

Phong模型扫描线算法

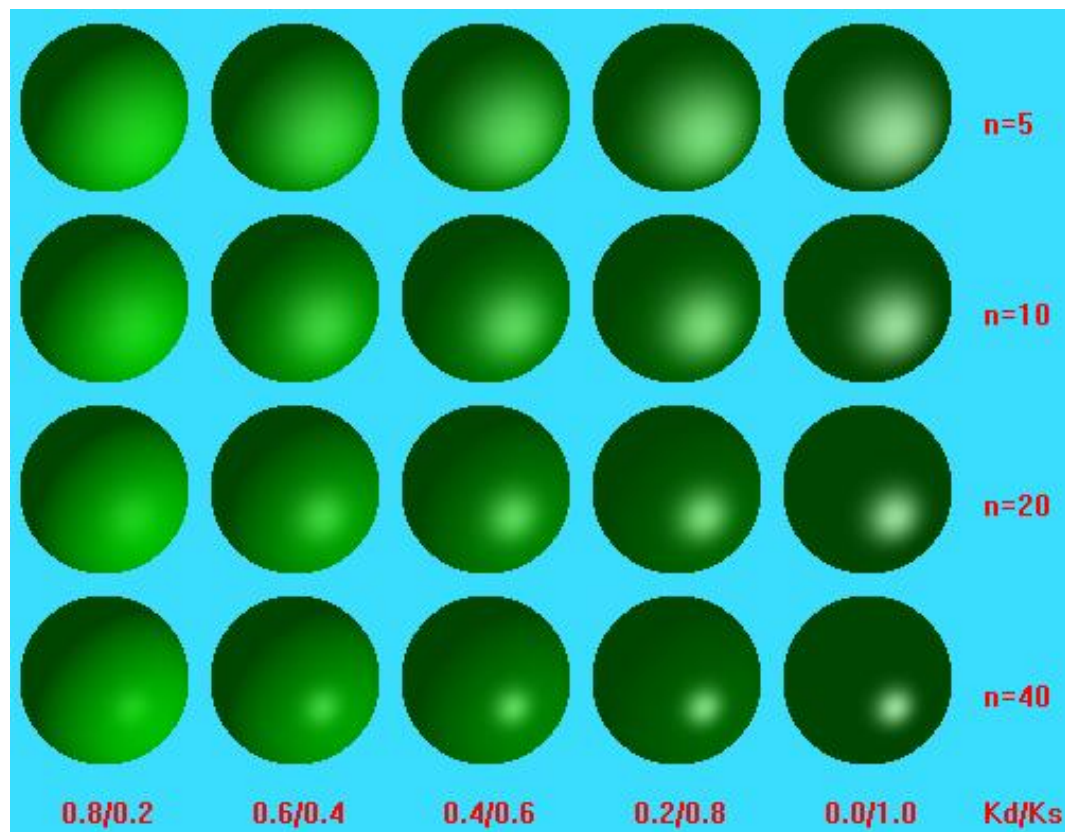
```
1.  for 屏幕上的每一条扫描线 y do
2.  begin
3.  将数组Color初始化成为y扫描线的背景颜色值;
4.  for y扫描线上的每一可见取间段s中的每个点 (x, y) do
5.      begin
6.      设 (x, y) 对应的空间可见点为P;
7.      求出P点处的单位法向量N, P点的单位入射光向量L和单位视线向量V, 求出L在P点的单位镜面反射向量R;
8.      
$$(r, g, b) = k_a(r_{pa}, g_{pa}, b_{pa}) + \sum [ k_d(r_{pd}, g_{pd}, b_{pd}) \cos \theta + k_s(r_{ps}, g_{ps}, b_{ps}) \cos^n \alpha ]$$

          置Color(x, y) = (r, g, b)
        end;
    显示Color;
  end;
```

Phong模型示例_1



Phong模型示例_2



一、Phong光照模型

Phong光照明模型是真实感图形学中提出的第一个有影响的
光照明模型，生成图象的真实度已经达到可以接受的程度。

Phone模型用来模拟光从物体表面到观察者眼睛的反射。尽管这种方法符合一些基本的物理法则，但它更多的是基于对现象的观察，所以被看成是一种经验式的方法。

一、Phong光照模型

在实际的应用中，由于Phong光照模型是一个**经验模型**，因此还具有以下的一些问题：

- 显示出的物体象塑料，无质感变化
- 没有考虑物体间相互反射光
- 镜面反射颜色与材质无关
- 镜面反射入射角大，会产生失真现象

增量式光照模型

- Gouraud明暗处理

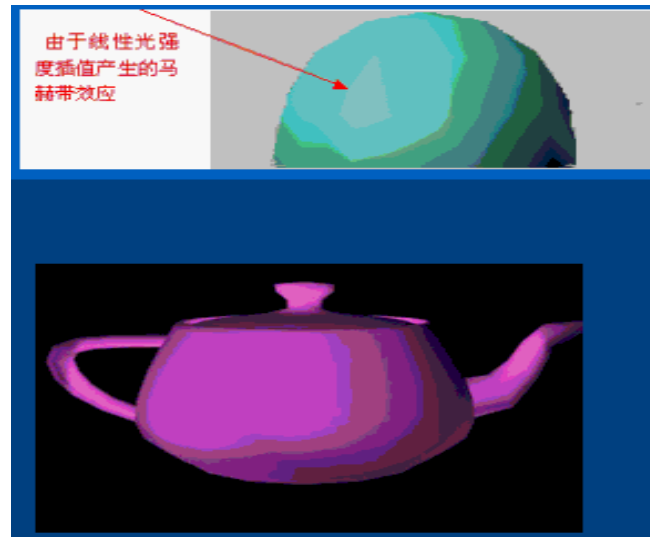
一、为什么要进行明暗处理？

- § 三维物体通常用多边形（三角形）来近似模拟。
- § 由于每一个多边形的法向一致，因而多边形内部的像素的颜色都是相同的，而且在不同法向的多边形邻接处，光强突变，使具有不同光强的两个相邻区域之间的光强不连续性(马赫带效应)。



用简单光照模型显示

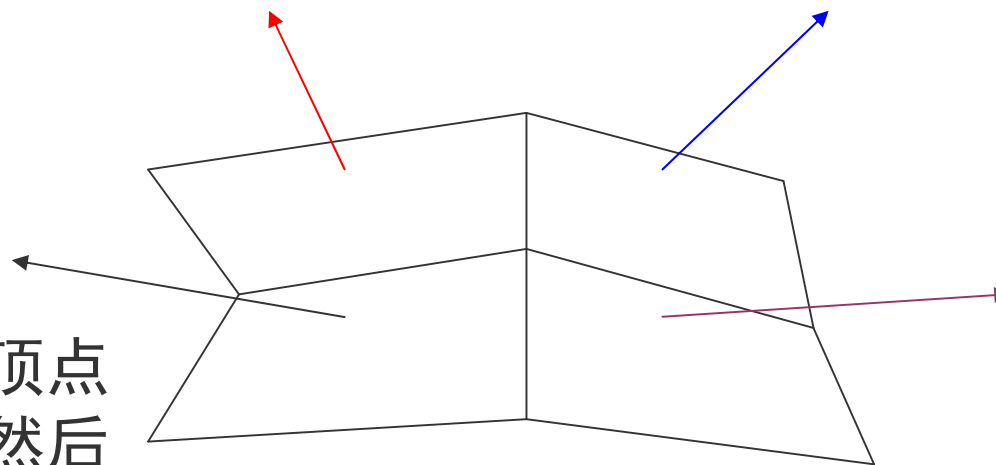
一、更多示例



解决办法? → 增量式光照模型

二、如何进行明暗处理？

基本思想： 每一个多边形的顶点处计算出光照强度或参数，然后在各个多边形内部进行均匀插值



常用方法：

- ü Gouraud明暗处理(双线性光强插值算法)
- ü Phong明暗处理(双线性法向插值算法)

三、Gouraud明暗处理

n 1971年，由Gouraud提出，又称双线性光强插值。

n 基本步骤由四步构成。

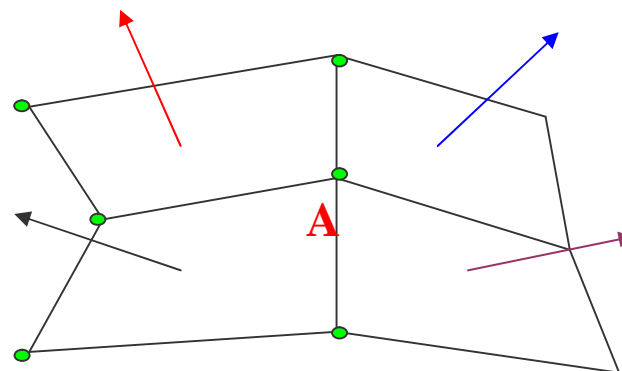
三、Gouraud明暗处理

ü 第一步

n 计算多边形顶点的平均法向。

与某个顶点相邻的所有多边形的法向平均值近似作为该顶点的近似法向量，顶点A相邻的多边形有k个，它的法向量计算为：

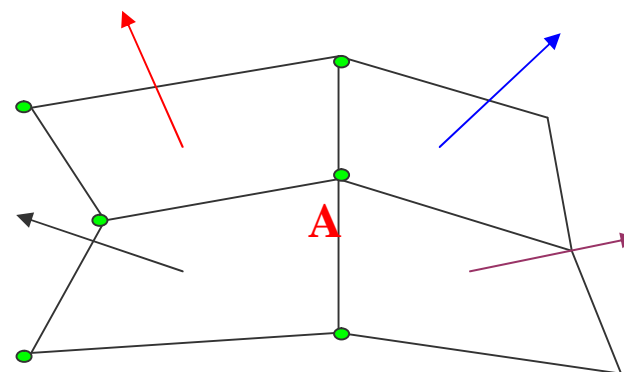
$$N_a = \frac{1}{k} (N_1 + N_2 + \dots + N_k)$$



三、Gouraud明暗处理

ü 第二步

n 用Phong光照模型计算顶点的光强。



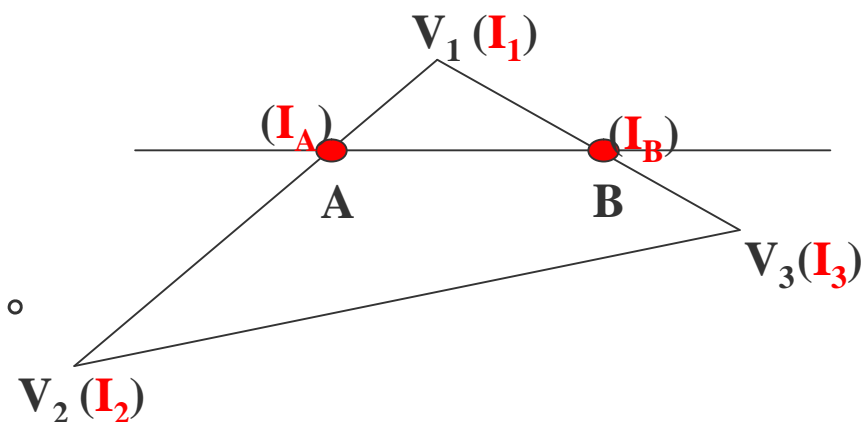
Phong光照模型出现前，采用如下光照模型计算：

$$I = I_a K_a + I_p K_d (L \cdot N_a) / (r + k)$$

三、Gouraud明暗处理

ü 第三步

n 插值计算离散边上个点的光强。

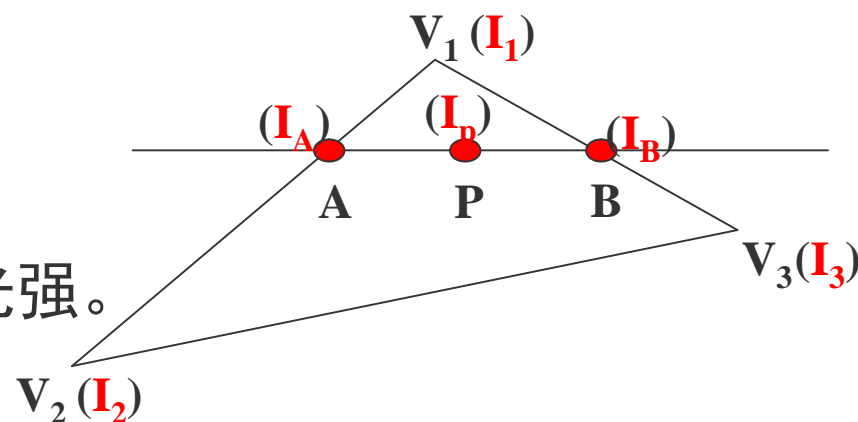


$$I_A = uI_1 + (1 - u)I_2 \quad u = \frac{AV_2}{V_1V_2}$$
$$I_B = vI_1 + (1 - v)I_3 \quad v = \frac{BV_3}{V_1V_3}$$

三、Gouraud明暗处理

ü 第四步

n 插值计算多边形内域中各点的光强。



$$I_p = tI_A + (1 - t)I_B \quad t = \frac{PB}{AB}$$

求任一点的光强需进行两次插值计算。

三、Gouraud明暗处理

ü 增量计算

n 为减少计算量，采用增量计算方法。

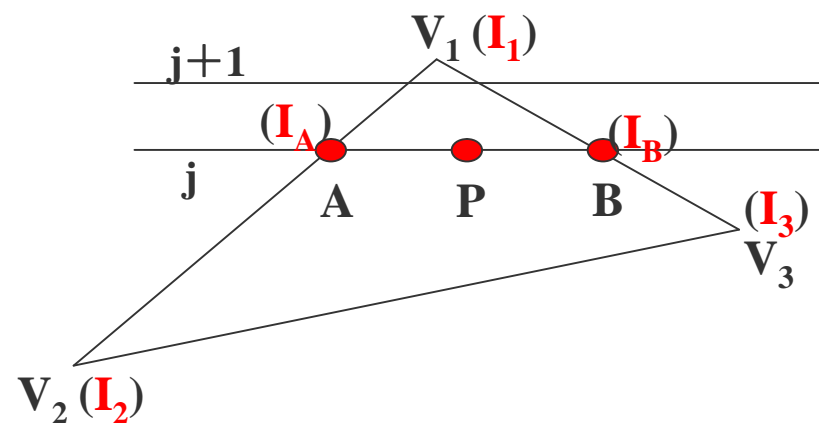
新扫描线：

$$I_{A, j+1} = I_{A, j} + \Delta I_A$$

$$I_{B, j+1} = I_{B, j} + \Delta I_B$$

$$\Delta I_A = (I_1 - I_2) / (y_1 - y_2)$$

$$\Delta I_B = (I_1 - I_3) / (y_1 - y_3)$$



扫描线内部：

$$I_{i+1, p} = I_{i, p} + \Delta I_p$$


$$\Delta I_p = (I_B - I_A) / (x_B - x_A)$$

增量式光照模型

- Phong明暗处理

一、 Gouraud明暗处理的不足

- § Gouraud明暗处理有一个最大的缺点，就是不能有镜面反射光（高光）。
- § 双线性插值是把能量往四周均匀，平均的结果就是光斑被扩大了，本来没有光斑的地方一插值反而出现了光斑。

解决办法？  Phong明暗处理

一、 Phong明暗处理

§ 与Gouraud明暗处理有何不同？

双线性光强插值？  双线性法向插值

§ 以时间为代价，引入镜面反射，解决高光问题

一、 Phong明暗处理

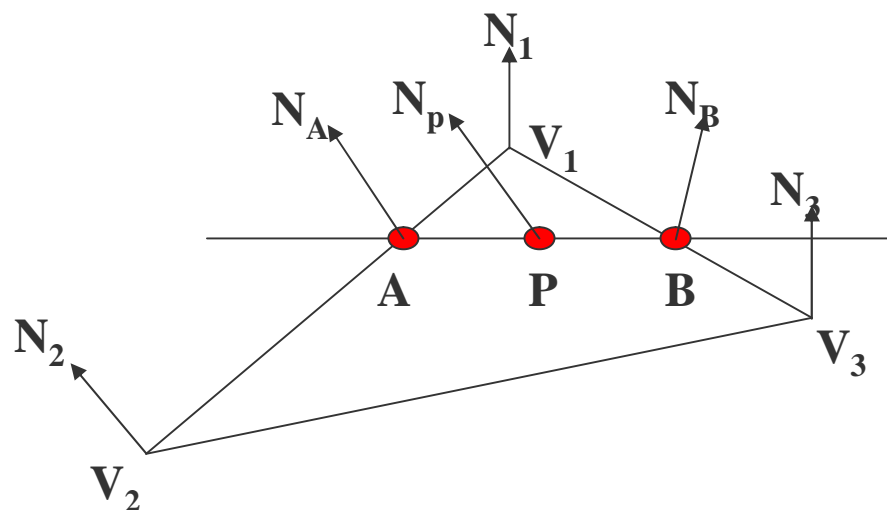
Phong明暗处理基本步骤：

- n 计算每个多边形顶点处的平均单位法矢量，这一步骤与Gouraud明暗处理方法的第一步相同。
- n 用双线性插值方法求得多边形内部各点的法矢量。
- n 最后按光照模型确定多边形内部各点的光强。

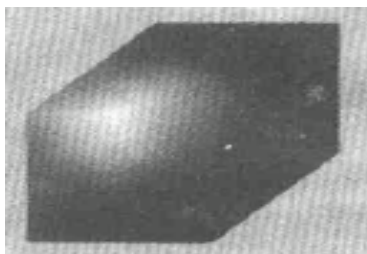
一、 Phong明暗处理

Phong明暗处理是先算角点的法向量，再算内部点的法向量，最后再用新的光照模型算内部点的颜色值。

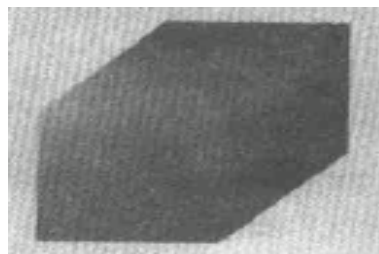
点A的法向量 N_A 为 N_1 与 N_2 的线性插值，点B的法向量 N_B 为 N_1 与 N_3 的线性插值，点P的法向量 N_P 为 N_A 与 N_B 的线性插值。



二、 两种增量式光照模型比较



Phong方法



Gouraud方法

Phong方法	Gouraud方法
1、产生的效果高光明显； 2、高光多位于多边形内部； 3、明暗变化缺乏层次感。	1、效果并不明显； 2、多边形内部无高光； 3、光强度变化均匀，与实际效果更接近。

三、 增量式光照模型总结

n 双线性光强插值（Gouraud模型）能有效的显示漫反射曲面，计算量小，速度快。

n 双线性法向插值（Phong模型）可以产生正确的高光区域，但是计算量要大的多。

n 增量式光照明模型的不足

- 物体边缘轮廓是折线段而非光滑曲线
- 等间距扫描线会产生不均匀效果
- 插值结果取决于插值方向

四、与简单光照模型区别

牛的三角网格模型



用简单光照模型显示



用增量式光照模型显示

局部光照模型

一、什么是局部光照模型？

- n 局部光照模型：仅处理光源直接照射物体表面的光照模型。
- n 简单光照模型是一个比较粗糙的经验模型，不足之处：**镜面反射项与物体表面的材质无关**。
- n 从光电学知识和物体微平面假设出发，介绍镜面反射与物体材质有关的普遍局部光照模型。

二、局部光照模型

n 自然光反射率系数可用Fresnel 公式计算

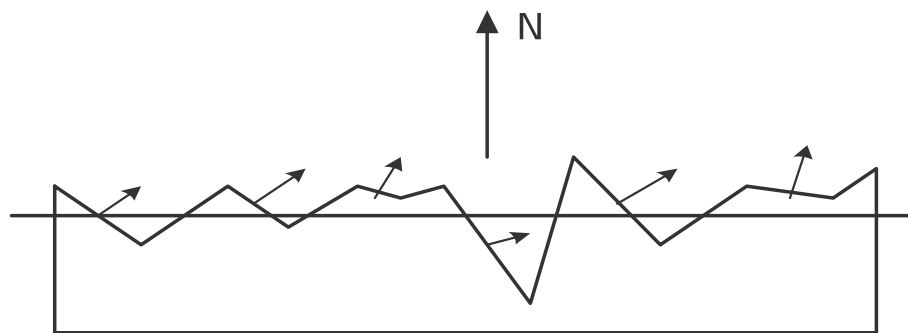
$$r = \frac{1}{2} \left(\frac{\operatorname{tg}^2(q - y)}{\operatorname{tg}^2(q + y)} + \frac{\sin^2(q - y)}{\sin^2(q + y)} \right)$$

q 是入射角，若发生反射的物体表面两侧折射率分别为 n_1, n_2 那么 y 满足这样的式子： $\sin y = \frac{n_1}{n_2} \sin q$

n 反射率与折射率有关，是波长的函数 $r(q, l)$

二、局部光照模型

n 微观情况下，物体表面粗糙不平。



微平面示意图

宏观上看，这是一个平面，法向朝上。实际上它是由许多微小平面构成的，微小平面的法向是各异的。

二、局部光照模型

n 反射率计算

微平面是理想镜面，反射率可用Fresnel公式计算，而粗糙表面的反射率与表面的粗糙度有关。

实际物体反射率： $D G r(q, l)$

D 为微平面法向的分布函数

G 为由于微平面的相互遮挡或屏蔽而使光产生的衰减因子

二、局部光照模型

§ Torrance和Sparrow采用Gauss分布函数模拟法向分布：

$$D = ke^{-(a/m)^2}$$

- | k 为常系数
- | a 为微平面的法向与平均法向的夹角，即 $(N \cdot H)$
- | m 为微平面斜率的均方根，表示表面的粗糙程度

$$m = \sqrt{\frac{m_1^2 + m_2^2 + \mathbf{L} + m_n^2}{n}}$$

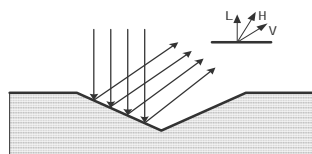
也可采用Berkmann分布函数

二、局部光照模型

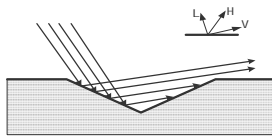
§ 衰减因子G在局部光照明模型中也可以反映物体表面的粗糙程度。

§ 衰减因子是由于微平面的相互遮挡或屏蔽而产生的

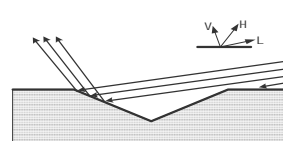
§ 微平面相互遮挡的光衰减因子G，有三种情况：



$$G=1$$



$$G_m = \frac{2(N \cdot H)(N \cdot V)}{(V \cdot H)}$$



$$G_s = \frac{2(N \cdot H)(N \cdot L)}{(V \cdot H)}$$

$$G = \text{Min}\{1, G_m, G_s\}$$

二、局部光照模型

Cook和Torranace于1981年提出了局部光照模型。

R_{bd} 表示物体对入射光的反射率系数

$$R_{bd} = \frac{I_r}{E_i}$$

I_r — 反射光的光强

E_i — 单位时间内单位面积上的入射光能量

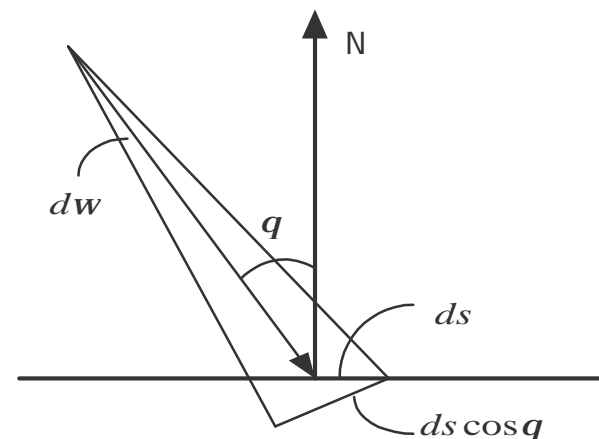
二、局部光照模型

§ 入射光能量 E_i , 可用入射光的光强 I_i 和单位面积向光源所张的立体角 $d\mathbf{v}$ 表示为:

$$E_i = I_i \cos q \cdot d\mathbf{v} = I_i (N \cdot L) d\mathbf{v}$$

§ 于是有反射光光强:

$$I_r = R_{bd} I_i (N \cdot L) d\mathbf{v}$$



二、局部光照模型

反射率系数可表示为漫反射率与镜面反射率的代数和：

$$R_{bd} = K_d R_d + K_s R_s$$

$$K_d + K_s = 1 \quad \text{漫反射与镜面反射系数}$$

物体表面的漫反射率： $R_d = R_d(I)$

物体表面的镜面反射率： $R_s = \frac{DGr(q, I)}{p(N \cdot L)(N \cdot V)}$

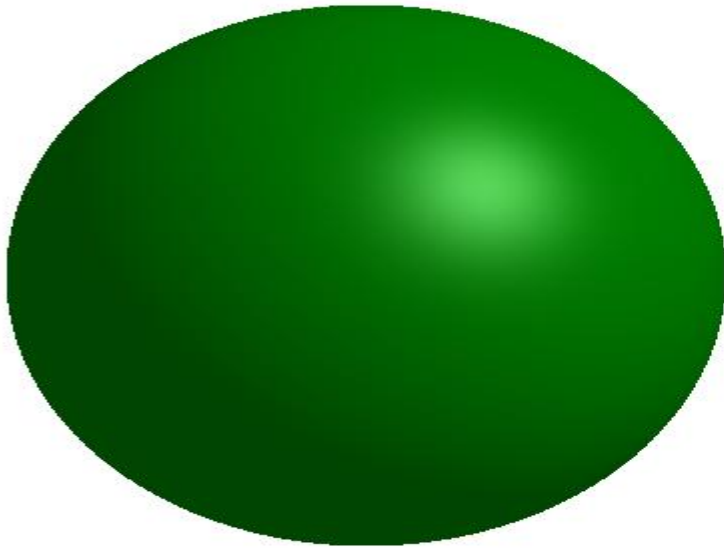
二、局部光照模型

§ 局部光照模型表示

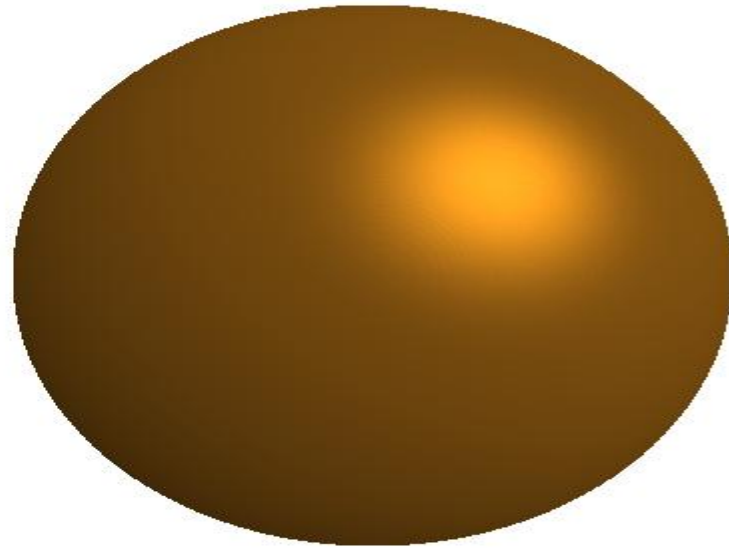
$$I_r = I_a K_a + I_i (N \cdot L) d\mathbf{v} (K_d R_d + K_s R_s)$$

- | I_r 物体表面反射光强
- | $I_a K_a$ 表示环境光的影响
- | 最后一项是考虑了物体表面性质后的反射光强度量，是该局部光照模型的复杂性与普遍性所在。

简单与局部模型比较



简单光照模型(Phong)

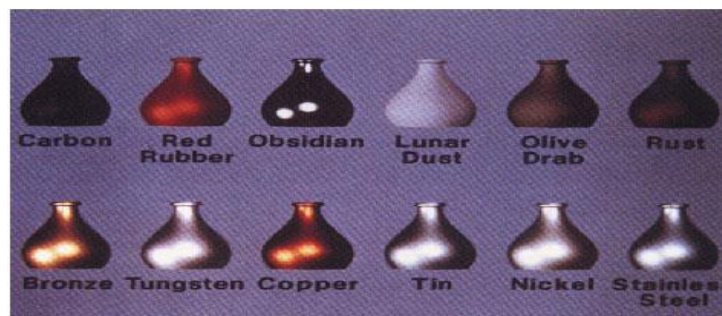


局部光照模型

三、局部光照模型的优点：

§ 相对于简单光照模型而言

- | 基于入射光能量导出的光辐射模型
- | 反映表面的粗糙度对反射光强的影响
- | 高光颜色与材料的物理性质有关
- | 改进入射角很大时的失真现象
- | 考虑了物体材质的影响，可以模拟磨光的金属光泽



光透射模型

一、 为什么考虑光透射模型？

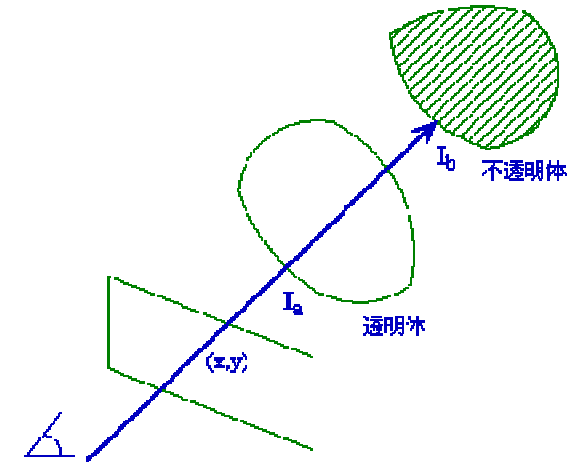
- n 简单和局部光照模型没有考虑光的透射现象。
- n 适用于场景中有透明或者半透明的物体的光照处理。
- n 早期用颜色调和法进行模拟。

二、 光透射模型

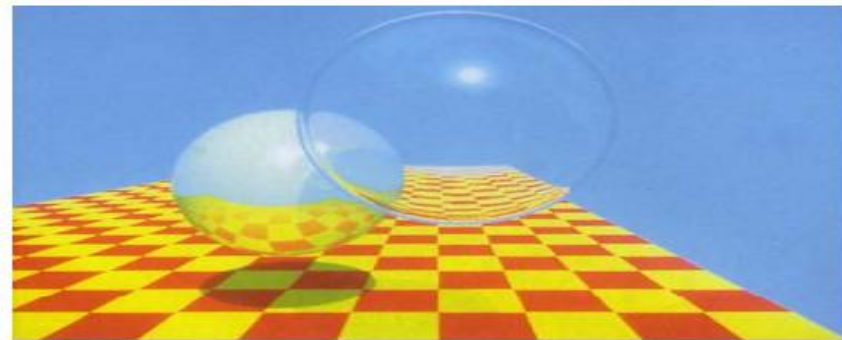
n 颜色调和法

$$I = t * I_b + (1 - t) * I_a$$

不考虑透明体对光的折射以及透明物体本身的厚度，光通过物体表面是不会改变方向的，可以模拟平面玻璃。



1980年Whitted提出了第一个整体光照模型，并给出了一般光线跟踪算法的范例，综合考虑了光的反射、折射、透射和阴影等。被认为是计算机图形领域的一个里程碑。



Turner Whitted , An improved illumination model for shaded display, Communications of the ACM, v.23 n.6, p.343-349, June 1980.

2003年Whitted当选为美国工程院院士。

三、Whitted 光透射模型

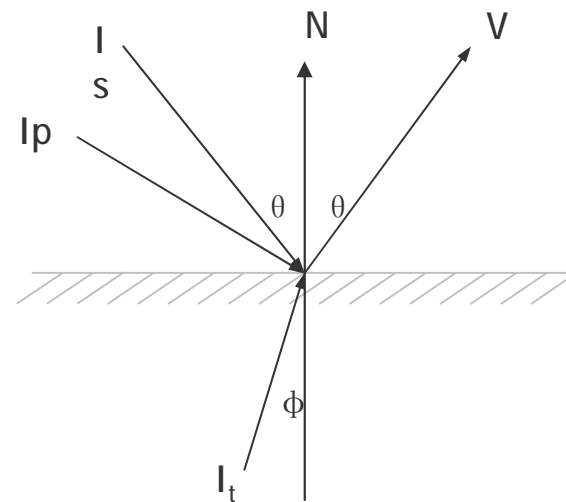
1980年由Whitted提出，因此命名。

在简单光照明模型的基础上，加上透射光项就得到Whitted光透射模型：

$$I = I_a \cdot K_a + I_p \cdot K_d \cdot (L \cdot N) + I_p \cdot K_s \cdot (R \cdot V)^n + I'_t \cdot K'_t$$

再加上镜面反射光项，就得到Whitted 整体光照模型：

$$I = I_a \cdot K_a + I_p \cdot K_d \cdot (L \cdot N) + I_p \cdot K_s \cdot (R \cdot V)^n + I'_t \cdot K'_t + I'_s \cdot K'_s$$



整体光照模型

一、 为什么需要整体光照模型？

- n 简单和局部光照模型不能很好地模拟光的折射、反射和阴影等，也不能用来表示物体间的相互光照影响。
- n 整体光照模型是更精确的光照模型，主要有光线跟踪和辐射度两种方法。

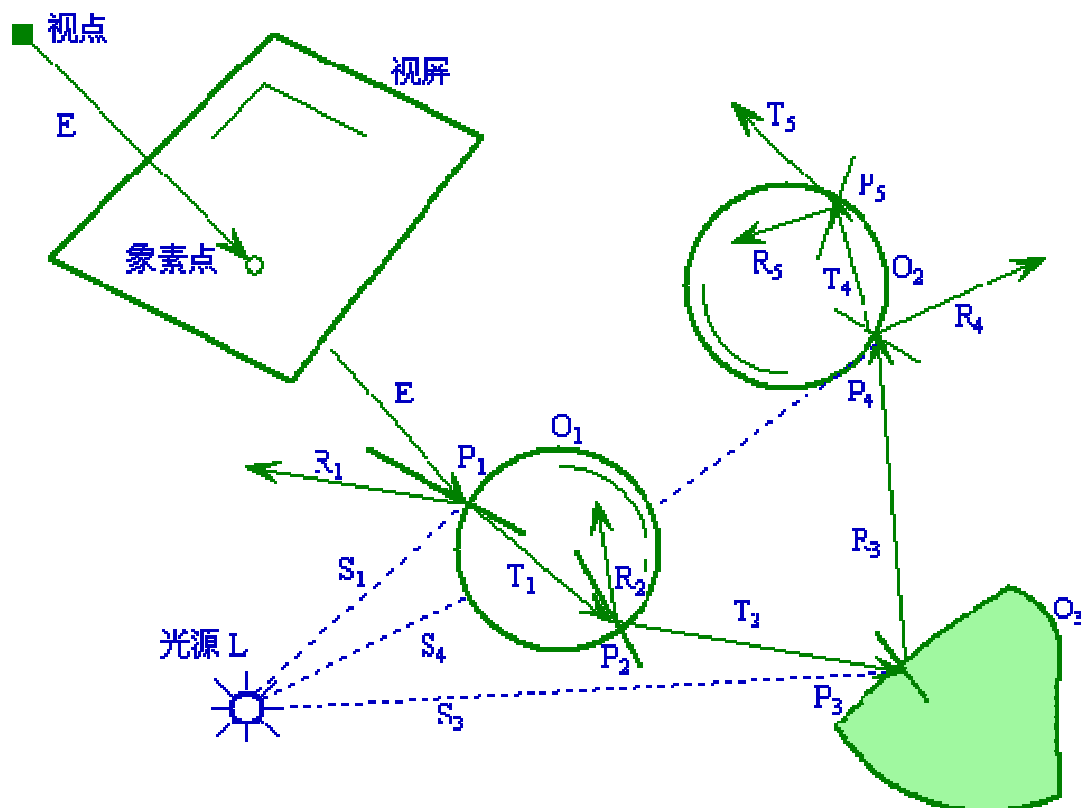
一、 为什么需要整体光照模型？

- n 简单和局部光照模型不能很好地模拟光的折射、反射和阴影等，也不能用来表示物体间的相互光照影响。
- n 整体光照模型是更精确的光照模型，主要有光线跟踪和辐射度两种方法。

二、光线跟踪基本原理 (Ray Tracing)

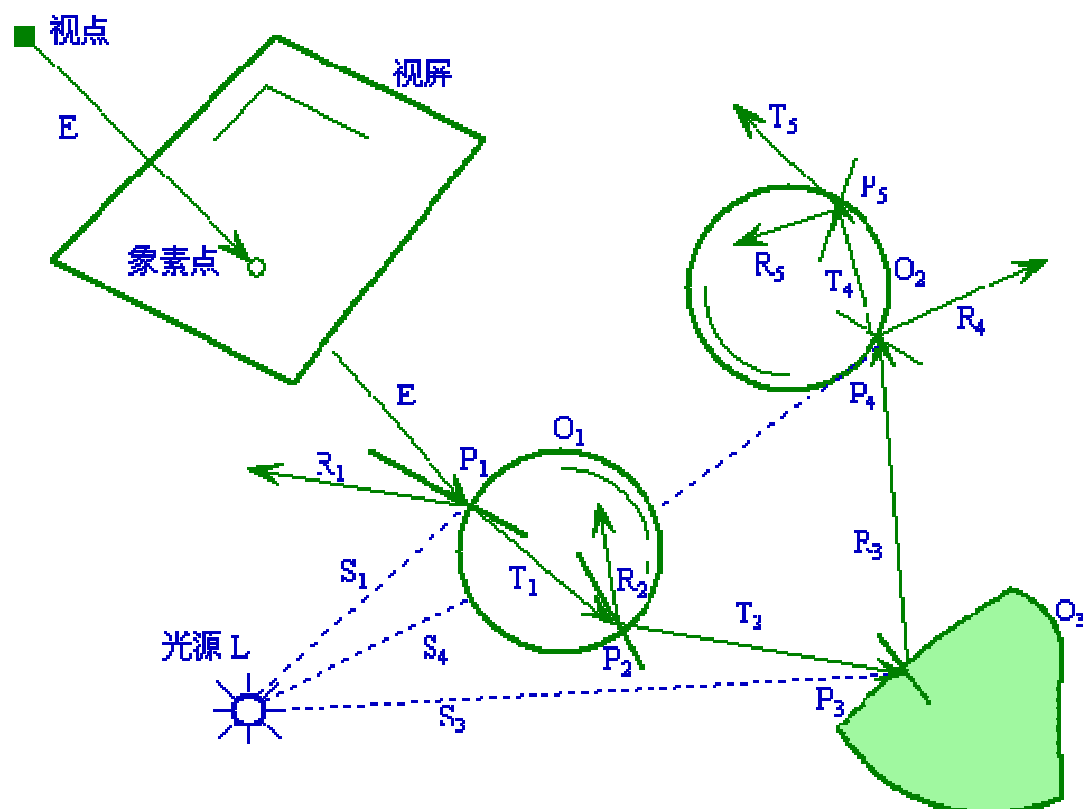
- n 光线跟踪算法是真实感图形学中的主要算法之一，该算法具有原理简单、实现方便和能够生成各种逼真的视觉效果等突出的优点，综合考虑了光的反射、折射、阴影等。

二、光线跟踪基本过程



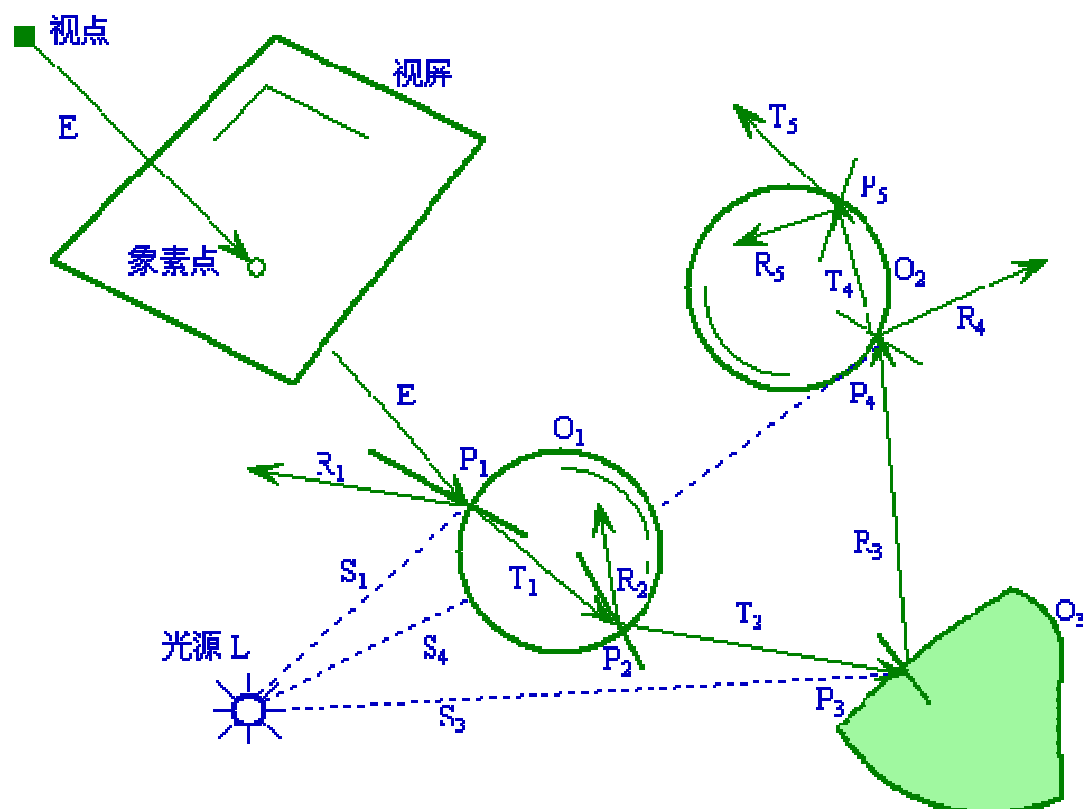
在这个场景中，
有一个点光源 L ，两
个透明体 0_1 与 0_2 ，
一个不透明体 0_3 。

二、光线跟踪基本过程



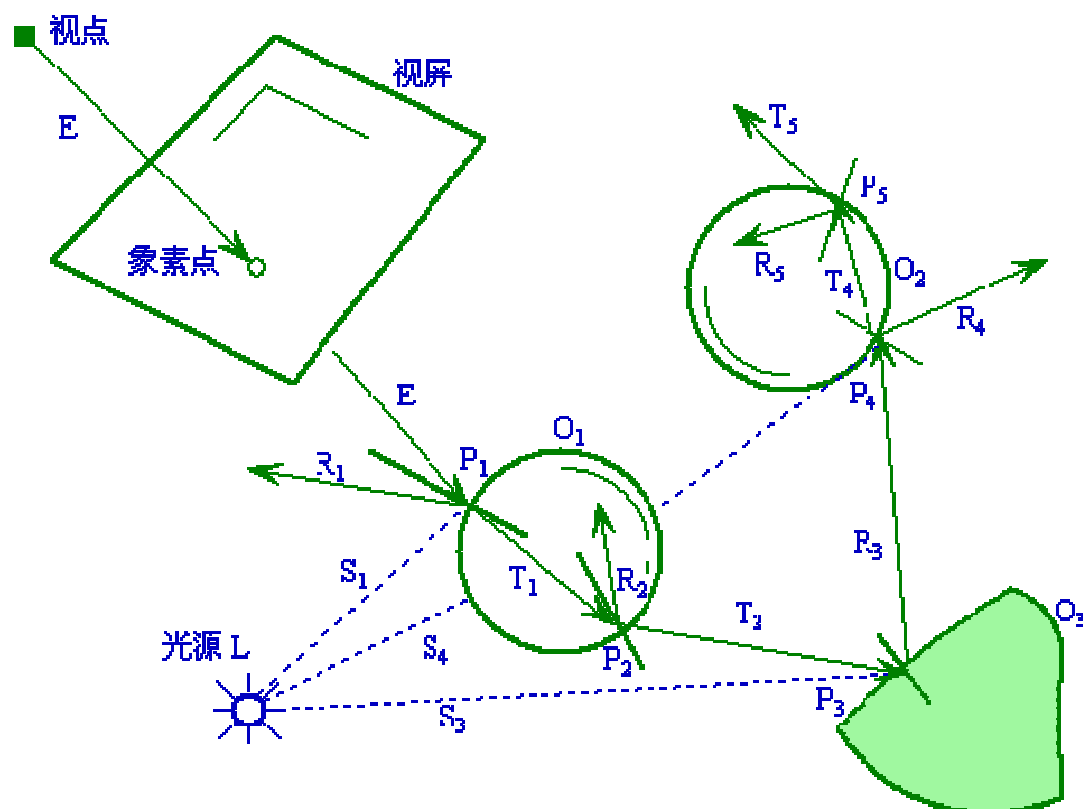
首先，从视点出发经过视屏一个像素点的视线E传播到达球体O₁，交点为P₁。从P₁向光源L作一条阴影测试线S₁，可以发现其间没有遮挡的物体，那么就用局部光照模型计算光源对P₁在其视线E方向上的光强，作为该点的局部光强；

二、光线跟踪基本过程



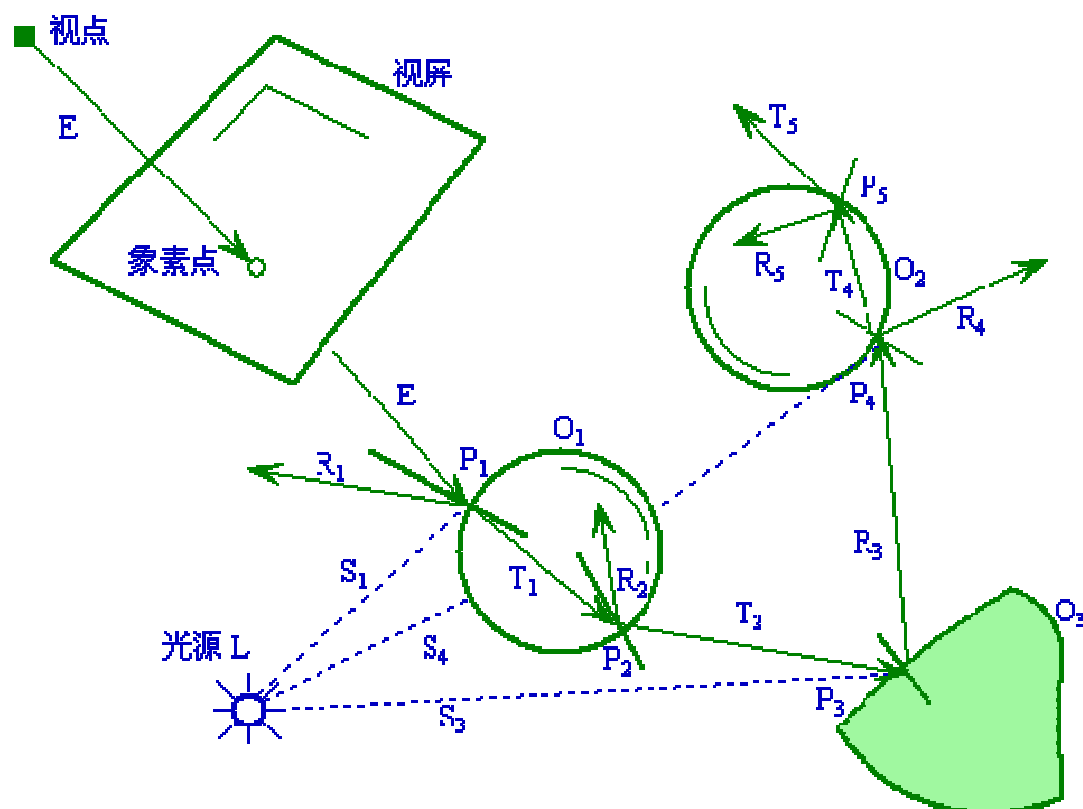
在反射光线 R_1 方向上，没有再与其他物体相交，那么就设该方向的光强为0，并结束这条光线方向的跟踪。然后对折射光线 T_1 方向进行跟踪，计算该光线的光强贡献。

二、光线跟踪基本过程



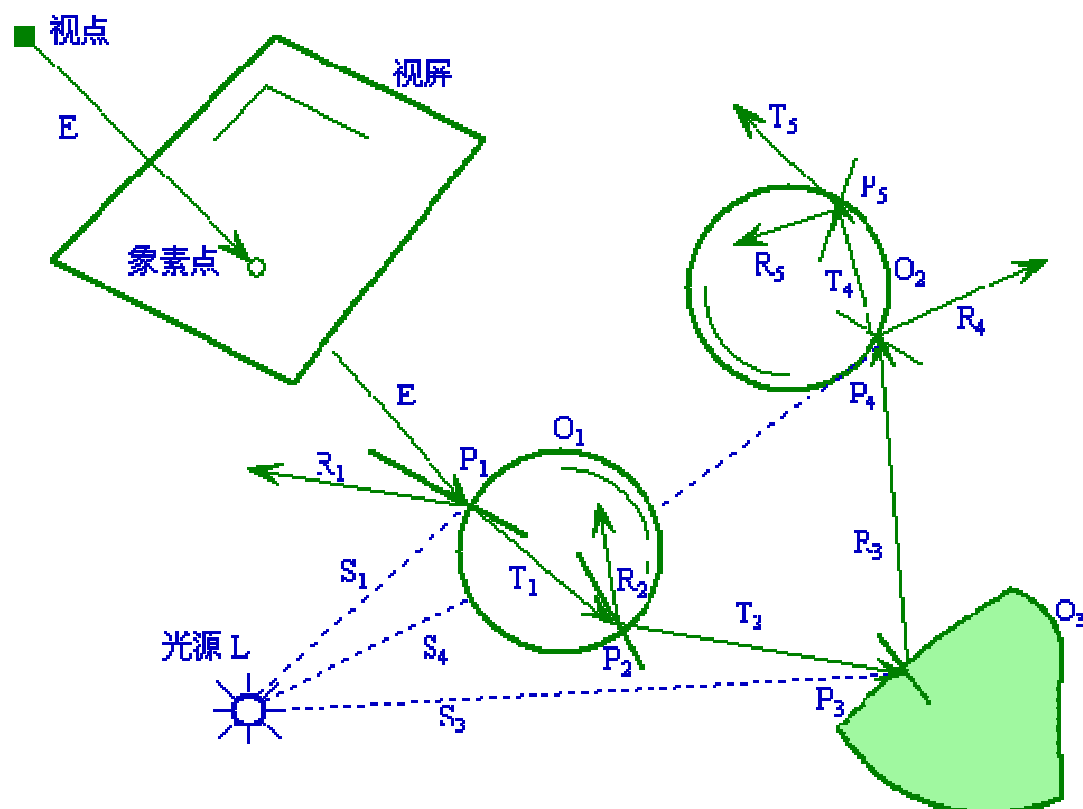
折射光线 T_1 在物体 O_1 内部传播，与 O_1 相交于点 p_2 ，由于该点在物体内部，假设它的局部光强为0。该点处同时产生了反射光线 R_2 和折射光线 T_2 ，在反射光线 R_2 方向，可以继续递归跟踪下去计算它的光强。而对折射光线 T_2 则继续进行跟踪。

二、光线跟踪基本过程



T_2 与物体 O_3 交于点 p_3 ,
作 P_3 与光源 L 的阴影测试线 S_3 , 没有物体遮挡, 正常计算该处的局部光强。由于该物体是非透明的, 可以只继续跟踪反射光线 R_3 方向的光强, 结合局部光强得到 P_3 处的光强。

二、光线跟踪基本过程



反射光线 R_3 的跟踪与前面的过程类似，算法可以递归地进行下去。重复上面的过程，直到光线满足跟踪终止条件。这样最终可以得到视屏上一个像素点的光强，也就是它相应的颜色值。

光线跟踪 (Ray Tracing)

一、光线跟踪怎么停止？

n 在算法应用的意义上，可以有以下几种终止条件。

- u 该光线未碰到任何物体
- u 该光线碰到了背景
- u 光线在经过许多次反射和折射以后，就会产生衰减，光线对于视点的光强贡献很小
- u 光线反射或折射次数即跟踪深度大于一定值

二、光线跟踪伪代码

光线跟踪算法的函数名为RayTracing（），光线的起点为start，方向为direction，光线的衰减权值为weight，初始值为1，算法最后返回光线方向上的颜色值color。

对于每一个像素点，第一次调用RayTracing（），可以设起点start为视点，而direction为视点到该像素点的射线方向。

```

RayTracing (start, direction, weight, color)
{
    if (weight < MinWeight)
        color = black
    else
    {
        计算光线与所有物体的交点中离start最近的点;
        if (没有交点)
            color = black
        else
        {
             $I_{local}$  = 在交点处用局部光照模型计算出的光强;
            计算反射方向R;
            RayTracing (最近的交点, R, weight*Wr, Ir)
            计算折射方向T;
            RayTracing (最近的交点, T, weight*Wt, It) ;
            color =  $I_{local}$  + KrIr + KtIt;
        }
    }
}

```


三、光线跟踪缺点

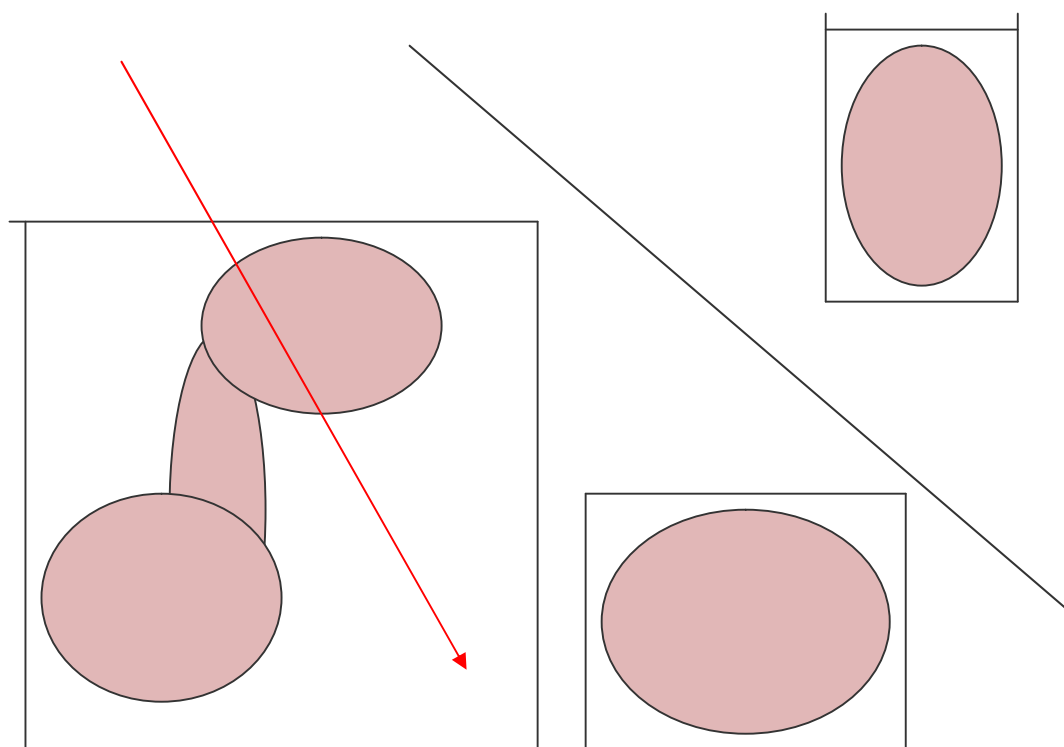
- n 光线跟踪方法由于要进行大量的求交运算，且每一条射线都要和所有的物体求交，因此效率很低，需要耗费大量的计算时间。
- n 光线跟踪方法可以进行加速。

四、光线跟踪加速

- ü 提高求交速度：针对性的几何算法、...
- ü 减少求交次数：包围盒、空间索引、...
- ü 减少光线条数：颜色插值、自适应控制、...
- ü 采用广义光线和采用并行算法等

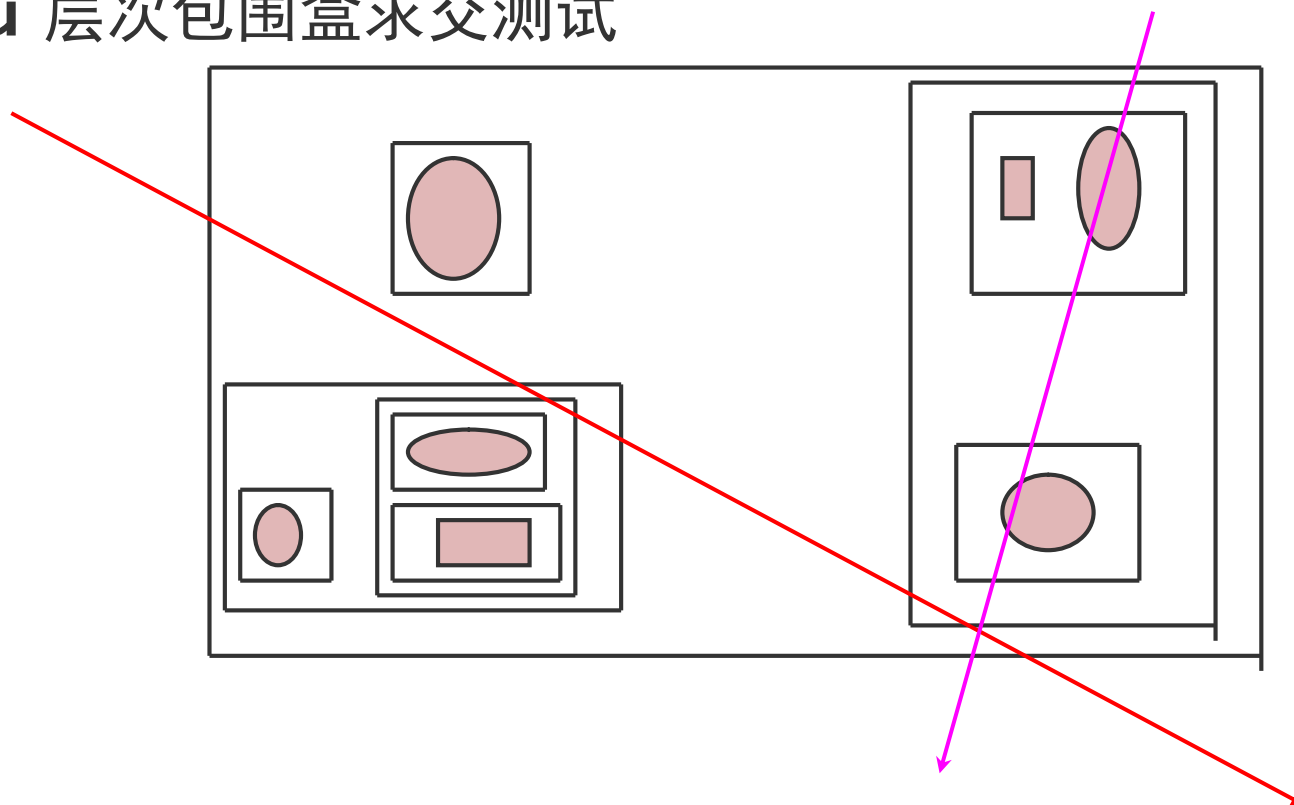
四、光线跟踪加速

ü 包围盒求交测试



四、光线跟踪加速

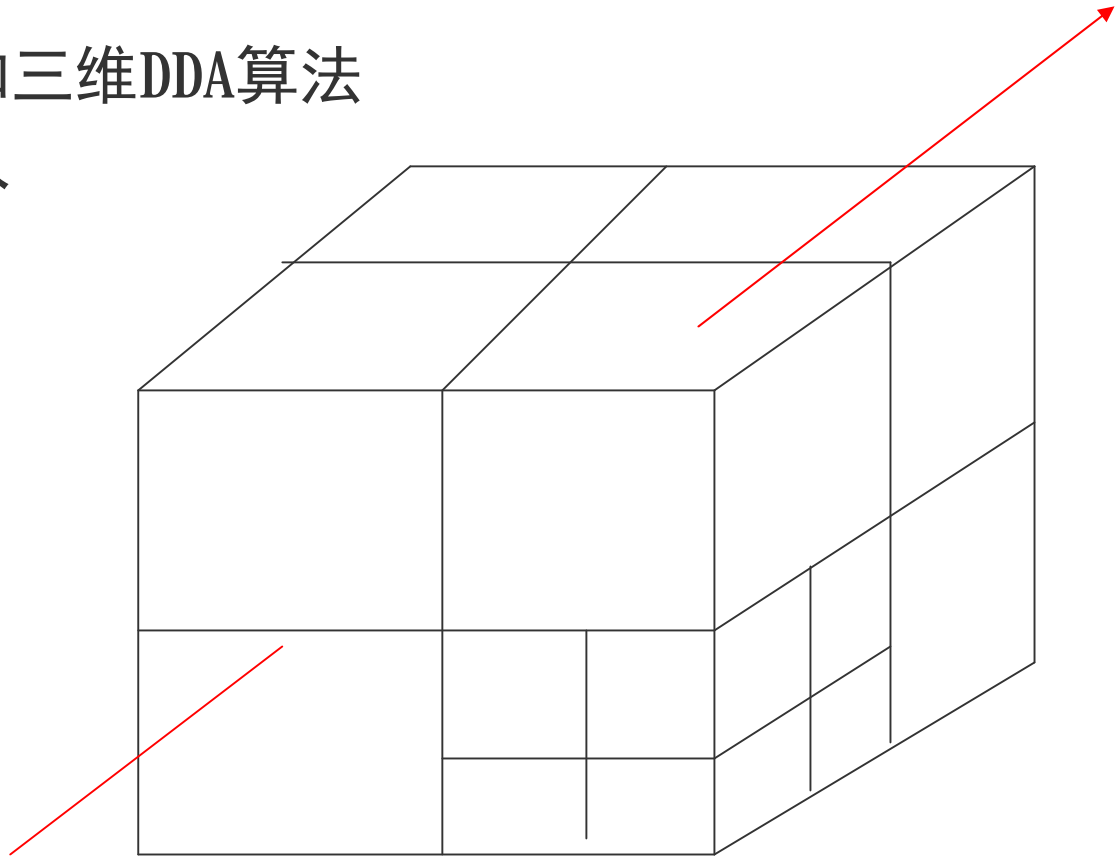
ü 层次包围盒求交测试



四、光线跟踪加速

ü 空间网格剖分和三维DDA算法

ü 空间八叉树剖分



五、光线跟踪场景渲染

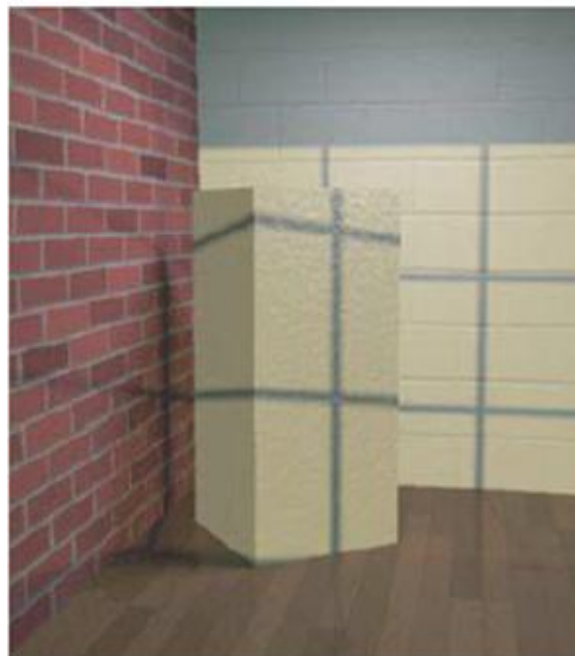


纹理映射

一、 什么是纹理和纹理映射？



没有纹理



有纹理

二、 纹理有什么用？

- n 表面可以用纹理来代替，不用痛苦地构造模型和材质细节，节省时间和资源，让用户做其他更重要的东西。
- n 可以用一个粗糙的多边形和纹理来代替详细的几何构造模型，节省时间和资源。

二、 纹理作用



+



=



三、 纹理分类

颜色纹理：颜色或明暗度变化体现出来的表面细节，如刨光木材表面上的木纹。



几何纹理：由不规则的细小凹凸体现出来的表面细节，如桔子皮表面的皱纹。

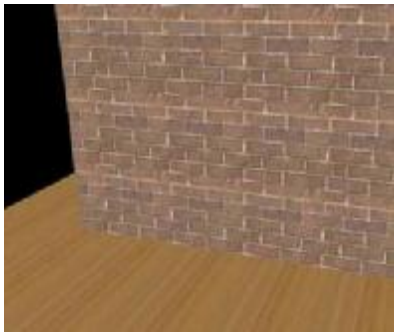


四、图形学中纹理定义

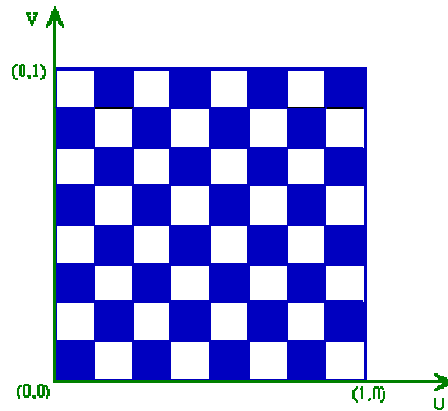
在真实感图形学中，可以用下列两种方法来定义纹理：

(1) 图象纹理：将二维纹理图案映射到三维物体表面，绘制物体表面上一点时，采用相应的纹理图案中相应点的颜色值。

(2) 函数纹理：用数学函数定义简单的二维纹理图案，如方格地毯；或用数学函数定义随机高度场，生成表面粗糙纹理即几何纹理。



图像纹理



函数纹理

$$g(u,v) = \begin{cases} 0 & [u \times 8] + [v \times 8] \text{ 为奇数} \\ 1 & [u \times 8] + [v \times 8] \text{ 为偶数} \end{cases}$$

其中： $\lfloor x \rfloor$ 表示小于x的最大整数

五、 纹理映射

纹理映射 (Texture Mapping) : 通过将数字化的纹理图像覆盖或投射到物体表面，而为物体表面增加表面细节的过程。

1974年Catmull首次提出了纹理映射的概念，其主要思想是通过寻找一种从纹理空间 (u, v) 到三维曲面 (s, t) 之间的映射关系，将点 (u, v) 对应的彩色参数值映射到相应的三维曲面 (s, t) 上，使三维曲面表面得到彩色图案。

五、 纹理映射

颜色纹理坐标转换通常使用下列两种方法：

(1) 在绘制一个三角形时，为每个顶点指定纹理坐标，三角形内部点的纹理坐标由纹理三角形的对应点确定。即指定：

$$(x_0, y_0, z_0) \rightarrow (u_0, v_0)$$

$$(x_1, y_1, z_1) \rightarrow (u_1, v_1)$$

$$(x_2, y_2, z_2) \rightarrow (u_2, v_2)$$

(2) 指定映射关系：

$$u = a_0x + a_1y + a_2z + a_3$$

$$v = b_0x + b_1y + b_2z + b_3$$

五、 纹理映射

几何纹理使用一个称为扰动函数的数学函数进行定义。

扰动函数通过对景物表面各采样点的位置作微小扰动来改变表面的微观几何形状。

设景物表面由下述参数方程定义： $Q = Q(u, v)$

则表面任一点 (u, v) 处的法线为： $N = N(u, v) = \frac{Q_u(u, v) \times Q_v(u, v)}{|Q_u(u, v) \times Q_v(u, v)|}$

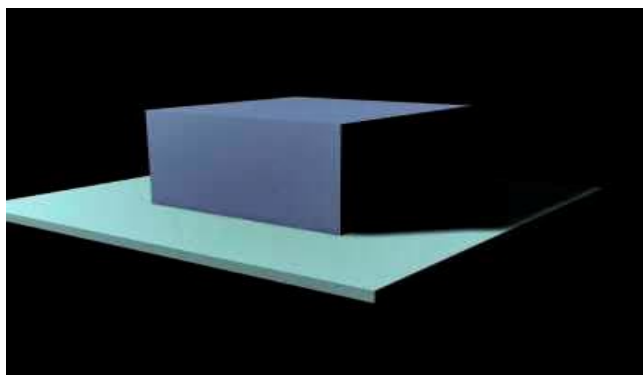
设扰动函数为： $P(u, v)$

扰动后的表面为： $Q' = Q(u, v) + P(u, v)N$

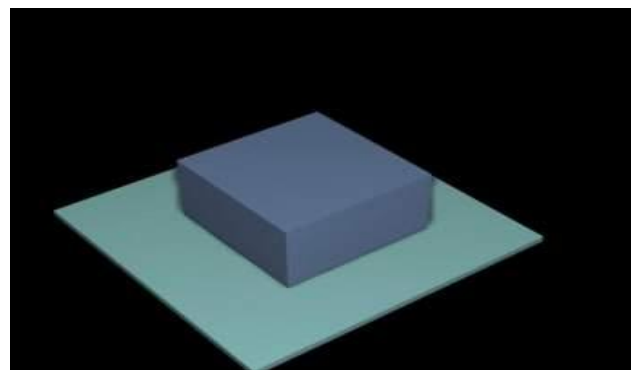
阴影处理

一、 什么是阴影？

- n 阴影是由于观察方向与光源方向不重合而造成的；
- n 阴影使人感到画面上景物的远近深浅，从而极大地增强画面的真实感。

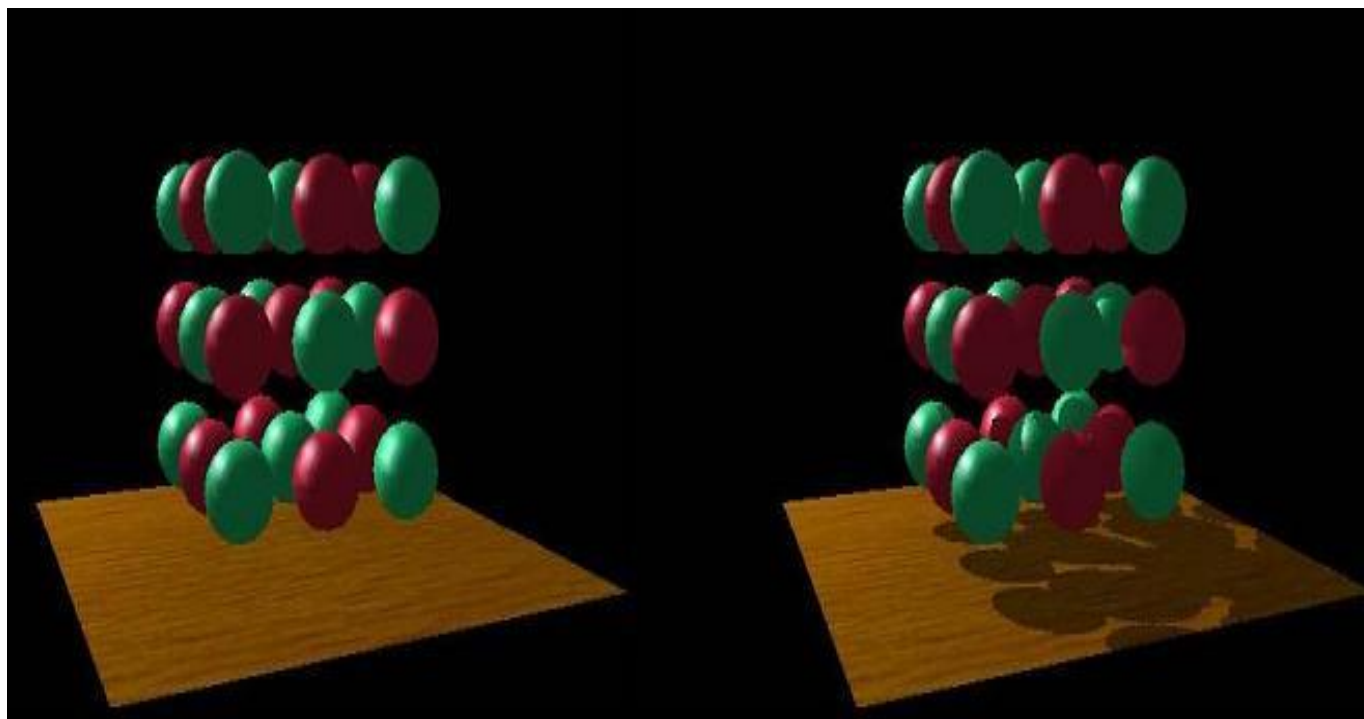


观察方向与光源方向不重合

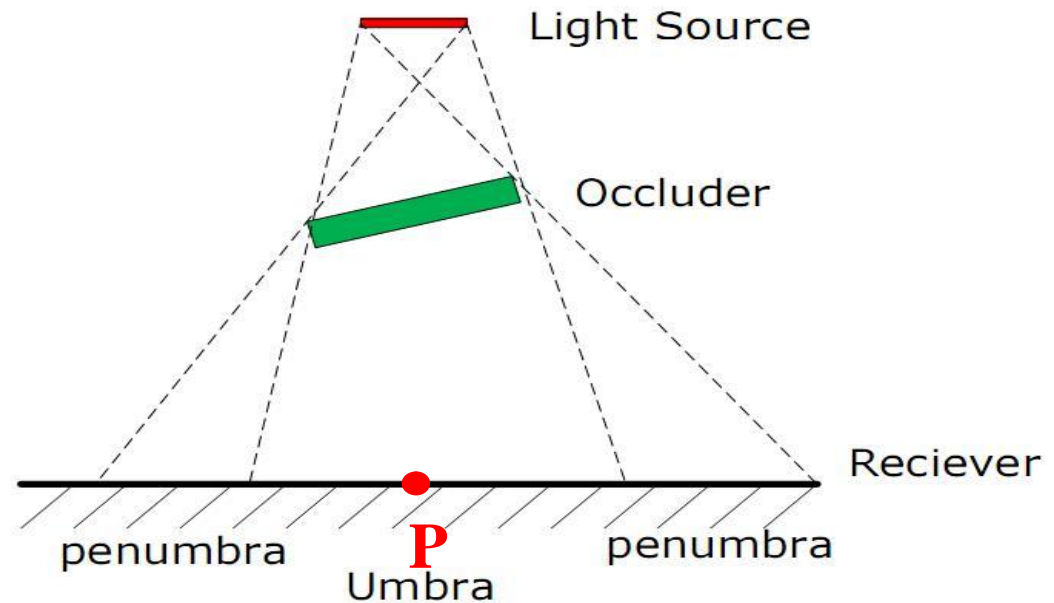


观察方向与光源方向重合

一、 阴影有什么用？

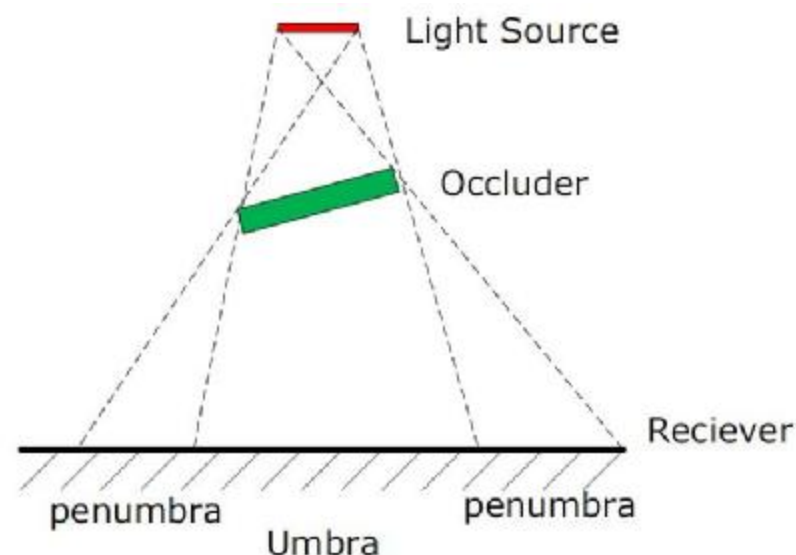


二、 什么是本影



umbra- 本影区-场景中的一个点P，如果它不被光源的任何一部分所照射到，就称为在本影区里。本影就是不被任何光源所照到的区域。

二、什么是半影



Occluder-遮挡物：阴影的生成是因为空间有遮挡物。这些遮挡物把光源挡住了，所以在receivers上有些部分就很阴暗。

阴影是本影和半影的组合。求出本影和半影的并集（union）来绘出阴影。

二、 阴影

- n **自身阴影**：由于物体自身的遮挡而使光线照射不到它上面的某些面；
- n **投射阴影**：由于物体遮挡光线，使场景中位于它后面的物体或区域受不到光照射而形成的。

三、 阴影算法（1）

阴影体法（ **Shadow Volume** ）

Frank Crow1977年提出来的，可以在任意的物体上生成阴影。

Crow, Franklin C: "**Shadow Algorithms for Computer Graphics**",
Computer Graphics (SIGGRAPH '77
Proceedings), vol. 11, no. 2, 242-
248.

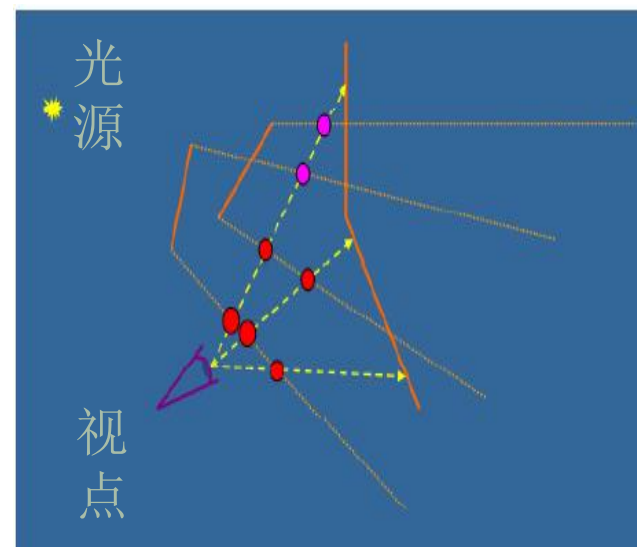


三、 阴影算法（1）

阴影体法（ **Shadow Volume** ）

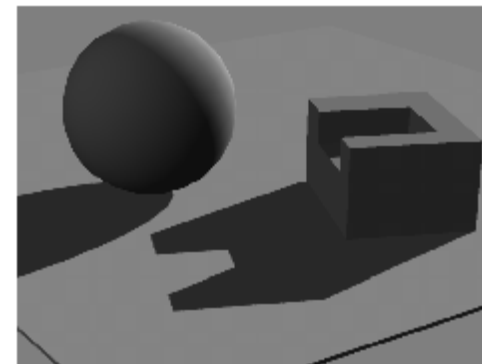
由一个点光源和一个三角形可以生成一个无限大的阴影体。落在这个阴影体中的物体，就处于阴影中。

在对光线进行跟踪的过程中，如果这条射线穿过了阴影体的一个正面（朝向视点的一个面），则计数器加1。如果这条射线穿过了阴影体的一个背面（背向视点的一个面），则计数器减1。如果最终计数器的数值大于0，则说明这个像素处于阴影中，否则处于阴影之外。



三、 阴影算法（2）

阴影图法（ **Shadow Mapping** ）



- n 这种方法的主要思想是使用Z缓冲器算法，从投射阴影的光源位置对整个场景进行绘制。
- n 这时，对于Z缓冲器的每一个像素，它的z深度值包括了
这个像素到距离光源最近点的物体的距离。一般将Z缓冲器中的整个内容称为阴影图（Shadow Map），有时候也称为阴影深度图。

三、 阴影算法（2）

阴影图法（ **Shadow Map** ）

- n 为了使用阴影图，需要对场景进行二次绘制，不过这次是从视点的角度来进行的。
- n 在对每个图元进行绘制的时候，将它们的位置与阴影图进行比较，如果绘制点距离光源比阴影图中的数值还要远，那么这个点就在阴影中，否则就不在阴影中。

