

简单光照模型

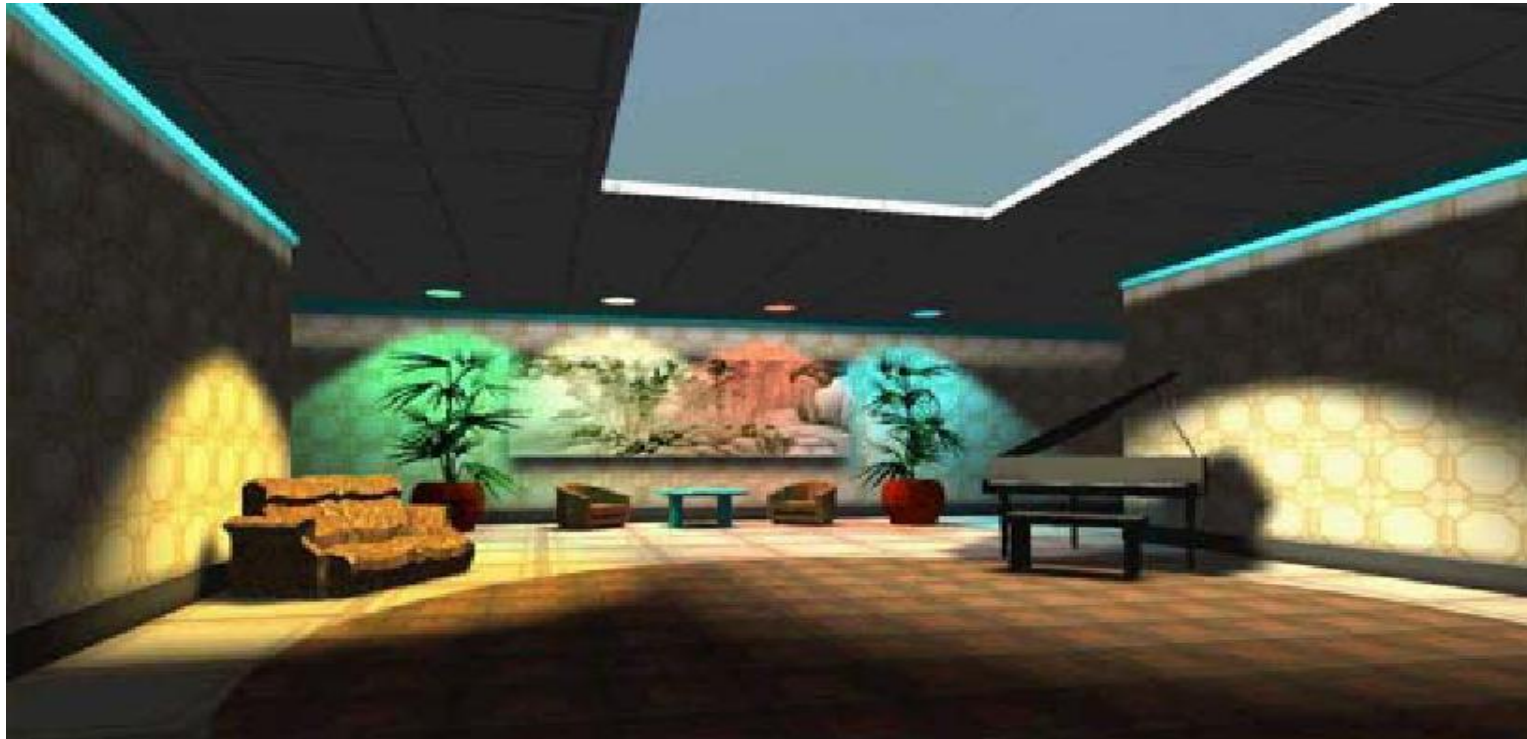
一、什么是光照模型？

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

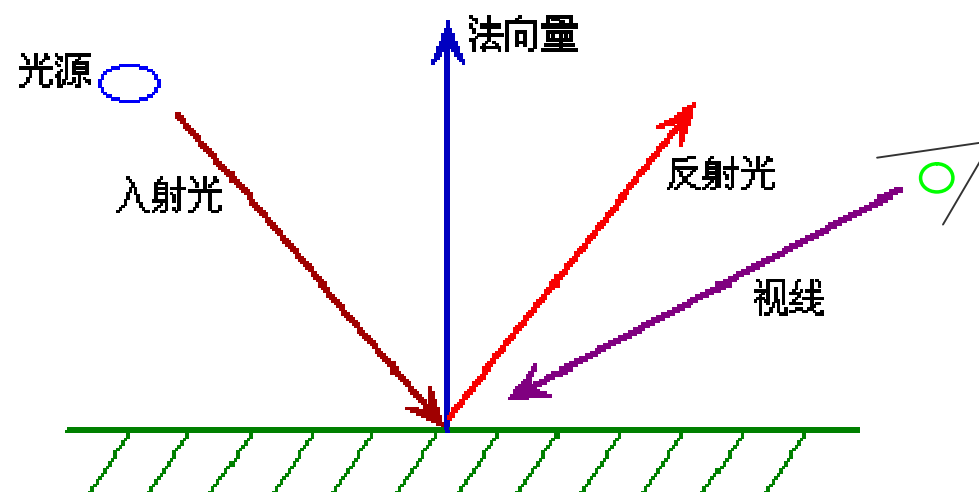
parts and the shading of the objects. Until now, most effort has been spent in the search for fast hidden surface removal algorithms. With the development of these algorithms, the programs that produce pictures are becoming remarkably fast, and we may now turn to the search for algorithms to enhance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



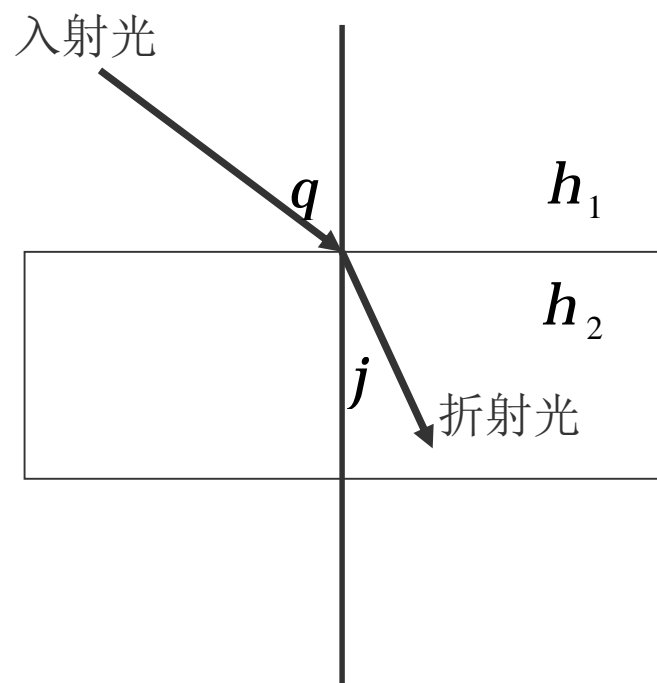
三、背景物理知识

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）：

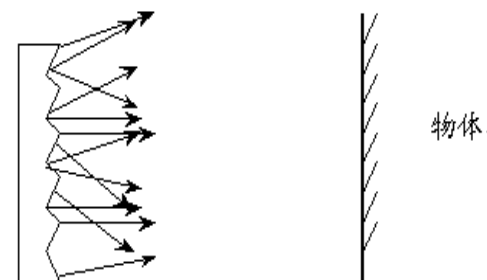
$$I_i = I_d + I_s + I_t + I_v$$

- 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。

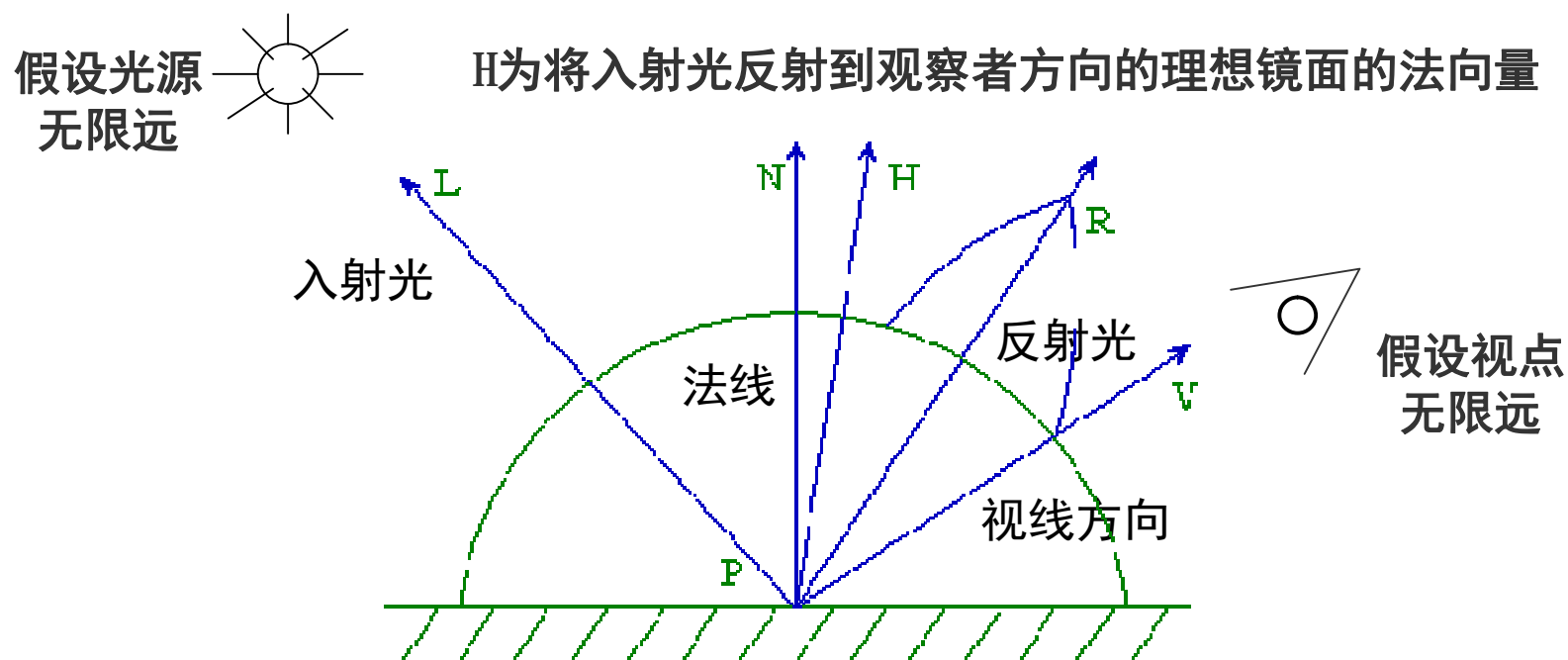
折射光：比如水晶、玻璃等，光线会穿过去一直往前走。

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

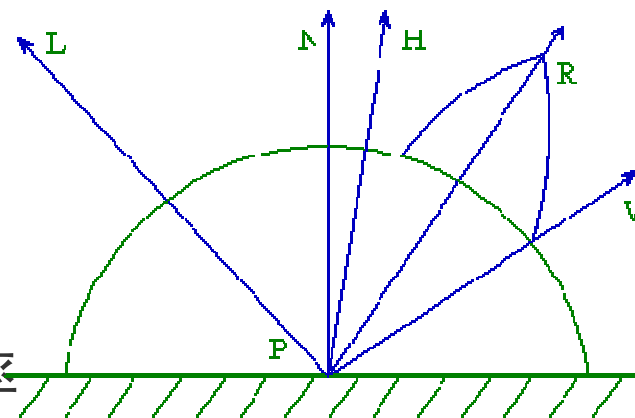
一、Phong光照模型

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

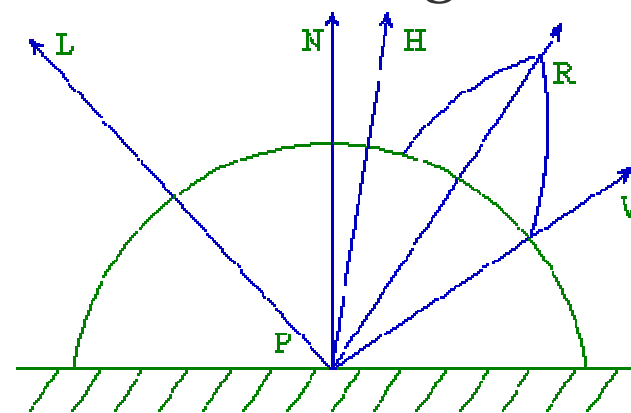
镜面反射光

§ 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

代替为 $L \cdot N$ 和 $V \cdot R$

$N \cdot H$

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

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：

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

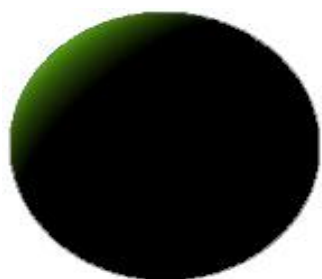
一、Phong光照模型

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.       
$$(r, g, b) = k_a(r_{pa}, g_{pa}, b_{pa}) + \sum [ k_d(r_{pd}, g_{pd}, b_{pd}) \cos \theta + k_s(r_{ps}, g_{ps}, b_{ps}) \cos^n \alpha ]$$

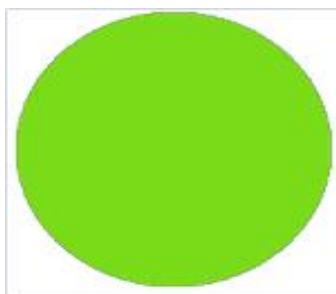
           置Color(x, y) = (r, g, b)
           end;
       显示Color;
       end;
```

Phong模型示例_1



理想漫反射

+



环境光

+

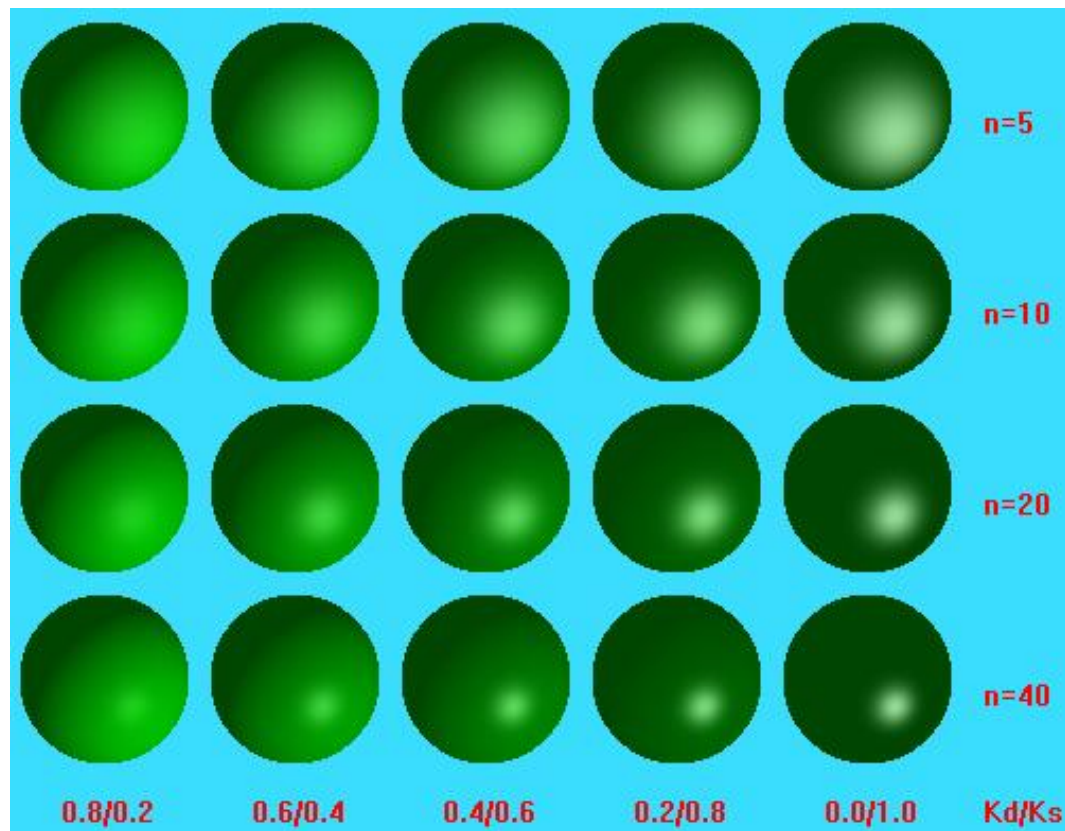


镜面反射

=



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