**8 光照**

**1，光照与材质的交互**

开启光照后，我们不再直接指出顶点的颜色，而是指定材质与光照，再运用光照方程基于两者的交互来计算顶点颜色。

我们可以把材质看作是确定光照与物体表面如何进行交互的属性集。

根据三色论，视网膜含有3种光受体，分别对于红绿蓝三色光敏感。

局部光照模型：每个物体的光照皆独立于其他物体，仅考虑光源直接发出的光线。

全局光照模型：除了光源直接发出的光，还要顾及场景中其他物体所反弹来的间接光照。

预计算光照：预计算静态物体的间接光照，用得到的结果来模拟动态物体的间接光照。

**2，法向量**

计算曲面法线：先指定位于网格顶点处的曲面法线，对三角形网格曲面上每个点处进行法线插值计算。

三角形的平面法线:u = P1 - P0; v = P2 - P0; n = u x v / |u x v|

曲面顶点处的法线：通过对网格中共享顶点v的多边形的平面法线求取平均值，从而获得网格中任意顶点v处的顶点法线n。

网格中的四个多边形公用顶点v的法线求法：n = (n0+n1+n2+n3)/|n0+n1+n2+n3|

为了得到更为精确的效果，我们还可以采用更加复杂的求平均值方法，比如说，根据多边形的面积来确定权重，以求取加权平均值。

**变换法向量**

通过B=(A-1)T的法向量进行变换后，即可使它垂直于经矩阵A变换后的切向量uA。

如果矩阵A是正交矩阵，我们无需再计算它的逆转置矩阵，利用正交矩阵A自身即可实现这一变换。

尽管使用了逆转置变换，但法向量仍可能会失去其单位长度。

**3，朗伯余弦定律**

辐射通量：光源每秒发出的光能量。

辐照度：单位面积上的辐射通量。

光线垂直照射到表面的强度要大于以某个角度照射到表面的强度

面积A2内辐照度就相当于将受垂直方向光照的面积A1内辐照度按比例n·L=cosθ进行缩放。这就是传说中的朗伯余弦定律。

考虑到光线照射到表面另一侧的情况：f(θ) = max(cosθ, 0) = max(L·n, 0)

光向量L为单位向量，其所指方向与照射到表面上点p处入射光线I的方向刚好相反。

**4，漫反射光照**

当光线照射到表面上的某一点时，一部分光会进入物体的内部，并与表面附近的物质相互作用。这些光会在物体内部四处反弹，其中一部分会被吸收，而余下的部分则会向各个方向散射并返回表面，这就是漫反射。

我们规定光线会在表面的所有方向上均匀散射，因此，无论从哪个观察点进行观察，反射光都会进入观察者的眼中。

设BL表示入射光量，md为漫反射反照率，L为光向量，而n为表面法线，则位于表面上某点处的漫反射光量为:

**cd = max(L · n, 0) · BL x md**

**5，环境光照**

环境光照：

**ca = AL x md**

**6，镜面反射**

镜面光可能并不会射入观察者的眼内，镜面反射只发生在某一特定角度。

**6.1 菲涅尔效应**

菲涅尔方程以数学方法描述了入射光线被反射的百分比，即0≤RF≤1。根据能量守恒定律，如果RF是反射光量，则(1-RF)为折射光量。

反射的光量即依赖于介质，也与法向量n与光向量L之间的夹角θ有关。

由于光照过程的复杂性，采用石里克近似法代替菲涅尔方程：

**RF(θ) = RF(0°) + (1-RF(0°))(1-cosθ)5**

RF(0°)是介质的一种属性。水是(0.02,0.02,0.02) 玻璃(0.08,0.08,0.08)

向下俯视池塘，可以清楚看到底部的沙石。这是由于有从周围环境中照射到池水的光以接近于0度的小角度θ反射进我们的眼睛而造成的。此时，反射到我们眼中的光量相对较低。

如果我们向远处望去，将会看到池水极强的反射光，这是因为有从周围环境中射向水的光以接近90度的角度反射进我们的眼中，从而增加了反射光量。

这种现象通常称为菲涅尔效应，可以将菲涅尔效应简洁地概括为：**反射光量取决于材质以及法线与光向量之间的夹角。**

**6.2 表面粗糙度**

为了用数学方法对粗糙度进行建模，我们采用了微平面模型。我们将微观表面模拟为由多个既微小又平滑的微平面所构成的集合。

针对指定的观察单位向量v以及光向量L，我们需要了解由L向v反射的所有微平面片段的分布情况；换言之，即法线为h = normalize(L + v)这种微平面片段在所有微平面中所占比例。

发生由L到v反射过程的微平面越多，则观察者在此角度上看到的镜面光越明亮。

由于向量h位列向量L与向量v间的中间位置，故称之为中间向量。此外，还要再引进一个中间向量h与宏观表面法线n之间的夹角θ。

我们定义归一化分布函数p(θ)，用来表示微观表面法线h与宏观表面法线n之间夹角为θ的微平面分布情况。

从直观上来讲，我们希望函数在θ=0时取得最大值。一种较流行的可控函数为：

p(θ) = cosm(θ) = cosm(n·h) m表示粗糙度。

随着m的减小，表面变得更加粗糙，而微平面的法线也都愈加偏离宏观表面法线。

我们将p(θ)与某种归一化因子进行组合，从而获得基于粗糙度来模拟镜像反射光量的新函数:

**S(θ) = (m+8) / 8 cosm(θ) = (m+8)/8( n·h )m**

对于较小的m值来说，表面会更加粗糙。

把菲涅尔反射以及表面粗糙度这两个公式的组合作为这一节的结尾。

**c = max(L·n, 0) ·BL x RF(ah)(m+8)/8(n·h)m**

ah为光向量v与中间向量h之间的夹角，RF(ah)反映了关于h射入v的反射光量。

**7，光照模型的概述**

表面反射的光量相当于环境反射光，漫反射光以及镜面反射光的光量总和。

**LitColor = ca + cd + cs**

**= AL x md + max(L·n, 0) ·BL x (md + RF(ah)(m+8)/8(n·h)m)**

**RF(θ) = RF(0°) + (1-RF(0°))(1-cosθ)5**

以上所有向量均为单位长度：

L : 指向光源的光向量；

n : 表面法线

h : 列于光向量与观察向量之间的中间向量

AL：表示入射的环境光量

BL：入射的直接光量

md : 根据表面漫反射率而反射的入射光量

L·n : 朗伯余弦定律

ah : 中间向量h与光向量L之间的夹角

RF(ah) : 根据菲涅尔效应，关于中间向量h所反射到观察者眼中的光量

RF(θ) = RF(0°) + (1-RF(0°))(1-cosθ)5

m : 控制表面的粗糙度

(m·h)m：指定法线h与宏观表面法线n之间夹角为θ的所有微平面分段的分布情况(所占比例)。

m+8/8 : 镜面反射过程中，为模拟能量守恒所采用的归一化因子。

**8，光源分类**

光源分类：平行光源，点光源和聚光灯光源

方向光计算最廉价，点光次之，聚光灯最昂贵。

**9，Light结构体**

结构体Light中的数据成员的排列顺序并不是随意指定的，这要遵从HLSL的结构体封装规则。(详情见附录B)

这条HLSL规则的大意是以填充对齐的方式，将结构体中的元素打包为4D向量。另外，单个元素不能以一分为二的方式分到两个4D向量之中。

**10，实践：光照演示程序**

1，陆地的法线计算

2，波浪的顶点数据

3，材质

4，光照计算