

Компьютерная Графика

Р.Р.Нигматуллин

КФУ ИВМиИТ(ВМК)

Казань, 2019

- На основе освещения человек воспринимает форму объектов.
- Глаз воспринимает освещение и «реконструирует» трехмерную форму.
- Моделирование освещения – основополагающий элемент фотореализма.

Модель освещения используется для вычисления интенсивности света в точке на данной поверхности.

Фотореализм

- Геометрическая модель
- Физическая модель освещения

Модель освещения включает в себя:

- Отражение
- Преломление
- Тени
- Материалы

Источники освещения:

- Светоиспускающие – первичные источники
- Светоотражающие – вторичные источники

Полный отраженный свет есть сумма вклада от источников света и других поверхностей сцены.

- Цвет определяется количеством энергии видимого спектра, которая попадает на чувствительные элементы сетчатки глаза.
- В большинстве случаев человек видит отраженный свет.
- Отражающие характеристики поверхности определяются отражающими способностями по отношению к волнам различной длины.

Задача: смоделировать перенос световой энергии.

Моделирование процессов физики: распространение, отражение, преломление.

Моделирование процессов физиологии: восприятие человеком.

Как было указано ранее, источниками освещения могут быть и отражающие объекты. Физические модели, которые не учитывают перенос света между поверхностями, называются локальными. В противном случае модели называются глобальными или моделями глобального освещения. Моделирование освещения в этом случае усложняется.

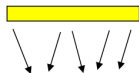
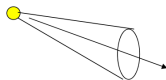
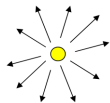
Физически обоснованные модели материалов.

- Аппроксимация свойств некоторого реального материала
- Учитывают особенности поверхности (кожа, пленка)
- Поведение частиц материала (снег, песок, вода)

Эмпирические модели материалов.

- Некоторый набор параметров, не имеющий физической интерпретации.
- Иногда дают более качественный результат.

- точечный
- параллельный
- прожектор
- люминисцирующая поверхность



Базовые компоненты моделей освещения:

- фоновое освещение
- диффузное освещение
- зеркальное освещени

Фоновое освещение (ambient) это постоянная в каждой точке величина надбавки к освещению. Вычисляется фоновая составляющая освещения как:

$$I_a = k_a * i_a$$

I_a – фоновая составляющая освещенности в точке.

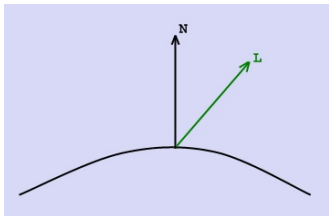
k_a – свойство материала воспринимать фоновое освещение

.

i_a – мощность фонового освещения.

Фоновая составляющая освещенности не зависит от пространственных координат освещаемой точки и источника. Часто просто задается некое глобальное фоновое освещение всей сцены.

Модель Ламберта моделирует идеальное диффузное освещение (diffuse). Считается, что свет при попадании на поверхность рассеивается равномерно во все стороны. При расчете такого освещения учитывается только ориентация поверхности (нормаль N) и направление на источник света (вектор L). Рассеянная составляющая рассчитывается по закону косинусов (закон Ламберта)



$$I_d = k_d \cos(\vec{L}, \vec{N}) i_d$$

I_d – рассеянная составляющая освещенности в точке.

k_d – свойство материала воспринимать рассеянное освещение.

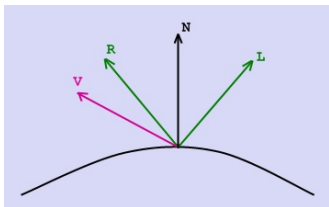
i_d – мощность рассеянного освещения.

\vec{L} – направление из точки на источник.

\vec{N} – вектор нормали в точке.

- Одна из самых простых моделей
- Используется в других моделях как диффузная составляющая.
- Используется для анализа свойств других моделей.

Зеркальное освещение (specular) позволяет моделировать блики на поверхности объекта. Местонахождение блика на объекте определяется из закона равенства углов падения и отражения. Если наблюдатель находится вблизи углов отражения, яркость соответствующей точки повышается.



$$I_s = k_s \cos^\alpha(\vec{R}, \vec{V}) i_s$$

I_s – зеркальная составляющая освещенности в точке.

k_s – коэффициент зеркального отражения.

i_s – мощность зеркального освещения.

\vec{R} – направление отраженного луча.

\vec{V} – направление на наблюдателя.

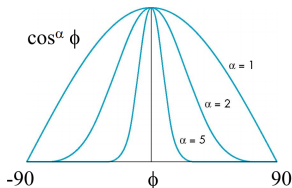
α – коэффициент блеска, свойство материала

Коэффициент блеска α

Большие значения α дают яркий блик небольшого размера. Для малых значений α блик широкий, но смазанный.

α : 100-200 моделирование металлических поверхностей

α : 5-10 моделирование пластиковых поверхностей



Отраженный луч \vec{R} можно рассчитать по следующей формуле:

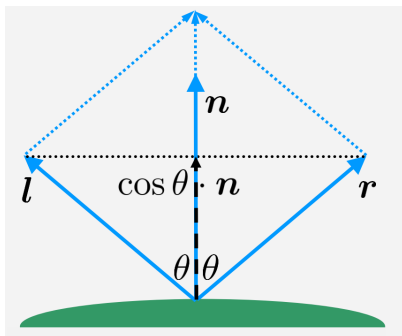
$$\vec{R} = 2 \langle \vec{L}, \vec{N} \rangle \vec{N} - \vec{L}$$

Расчет отраженного луча.

$$\vec{R} + \vec{L} = 2 \cdot \cos \theta \cdot \vec{N}$$

$$\cos \theta = \langle \vec{L}, \vec{N} \rangle$$

$$\vec{R} = 2 \langle \vec{L}, \vec{N} \rangle \vec{N} - \vec{L}$$



- Ламберта
- Фонга
- Блинна-Фонга

Модель Ламберта - одна из простых моделей освещения, которая представляет собой комбинацию фоновой и диффузной составляющих освещения. Поверхность при такой модели будет выглядеть одинаково ярко со всех направлений наблюдений.

$$I = I_a + I_d$$

I_a – фоновая составляющая (ambient)

I_d – рассеянная составляющая (diffuse)

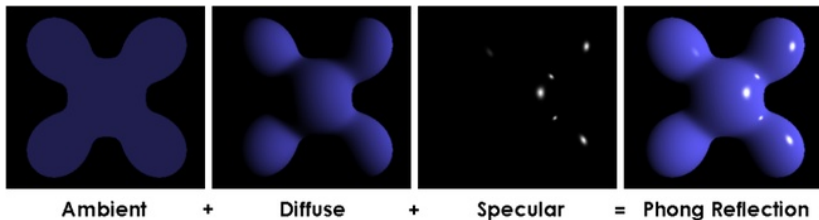
Модель Фонга – классическая модель освещения. Модель представляет собой комбинацию фоновой, диффузной составляющей (модели Ламберта) и зеркальной составляющей и работает таким образом, что кроме равномерного освещения на материале может еще появляться блик.

$$I = I_a + I_d + I_s$$

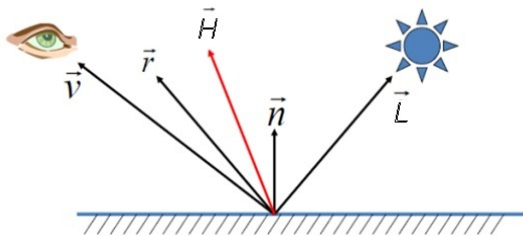
I_a – фоновая составляющая (ambient)

I_d – рассеянная составляющая (diffuse)

I_s – зеркальная составляющая (specular)



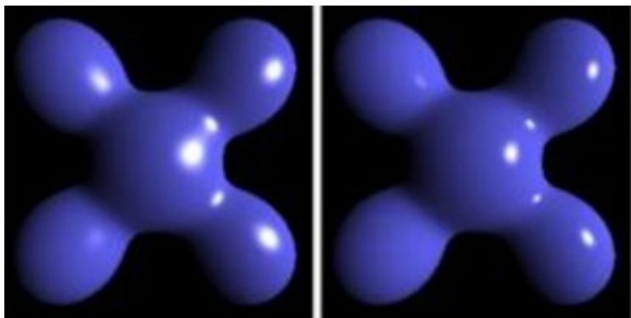
Модель Блинна-Фонга – это унификация модели Фонга, исключая расчет отраженного луча, что упрощает вычисления. Принципиальной разницы между двумя этими моделями нет.



$$I_s = k_s \cos^\alpha(\vec{N}, \vec{H}) i_s$$

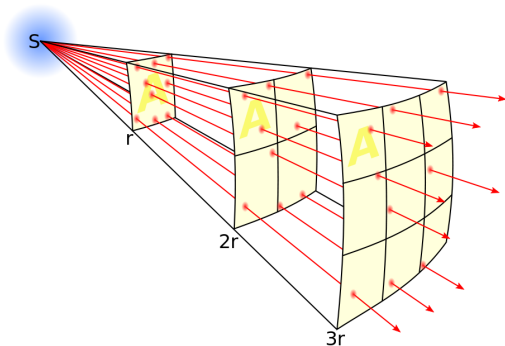
\vec{H} – "медиана" угла между векторами \vec{V} , \vec{L} . Вычисляется следующим образом:

$$\vec{H} = \frac{\vec{L} + \vec{V}}{|\vec{L} + \vec{V}|}$$



Слева модель Блинна-Фонга, справа модель Фонга.

В реальном мире интенсивность освещения уменьшается с увеличением расстояния до источника освещения по закону обратных квадратов.



С учетом расстояния до источника освещения, формула освещения точки поверхности может быть записана следующим образом:

$$I = I_a + \frac{1}{a + b \cdot d + c \cdot d^2} (I_d + I_s)$$

Значения коэффициентов a , b , c влияют на ослабление освещения с расстоянием.

При нескольких источниках освещения, итоговый результат для некоторой точки поверхности представляет собой сумму освещений от каждого источника:

$$I = I_a + \sum_{i=1}^N (I_d^{(i)} + I_s^{(i)})$$

- Плоское закрашивание (по Ламберту)
- Закрашивание по Гуро
- Закрашивание по Фонгу

Плоское закрашивание определяет цвет грани модели по модели освещения Ламберта. Все точки грани получают один и тот же цвет, т.е. все точки грани имеют одну и ту же нормаль.

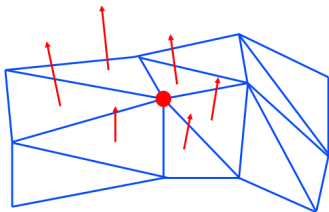


Метод закрашивания Гуро (Gouraud) производит неравномерную закраску грани исходя из значений интенсивностей в вершинах грани.

Закрашивание по Гуро производится в 2 этапа.

- Расчет цвета в вершинах грани
- Линейная интерполяция цвета в фрагментах грани на основе значений в вершинах.

Расчет цвета в вершинах грани.



Если нормали не определены в вершинах, то производится их расчет путем усреднения нормалей всех граней примыкающих к вершине.

$$\vec{N} = \frac{1}{M} \sum_{i=1}^M \vec{N}_i$$

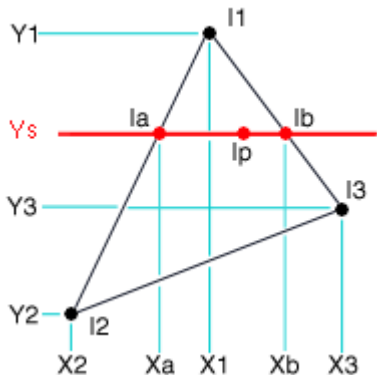
Для каждой вершине определяется цвет по некоторой модели освещенности.

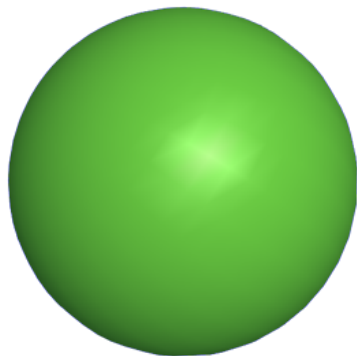
Линейная интерполяция цвета в фрагментах грани осуществляется на основе значений в вершинах.

$$I_a = I_1 \frac{Y_s - Y_2}{Y_1 - Y_2} + I_2 \frac{Y_1 - Y_s}{Y_1 - Y_2}$$

$$I_b = I_1 \frac{Y_s - Y_3}{Y_1 - Y_3} + I_3 \frac{Y_1 - Y_s}{Y_1 - Y_3}$$

$$I_p = I_a \frac{X_b - X_p}{X_b - X_a} + I_b \frac{X_p - X_a}{X_b - X_a}$$





Метод закрашивания по Фонгу так же производит неравномерную закраску грани, но производит это используя интерполяцию нормалей.

Закрашивание по Фонгу так же производится в 2 этапа.

- Линейная интерполяция нормалей для фрагмента грани
- Расчет значения цвета для фрагмента.

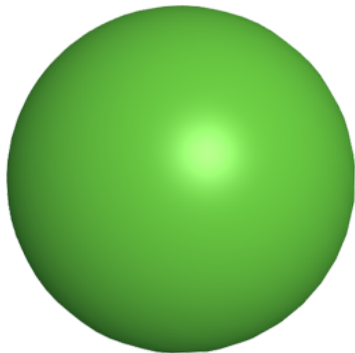
Так же как и в закрашивании по Гуро, если нормали не определены в вершинах, то производится их расчет путем усреднения нормалей всех граней примыкающих к вершине.

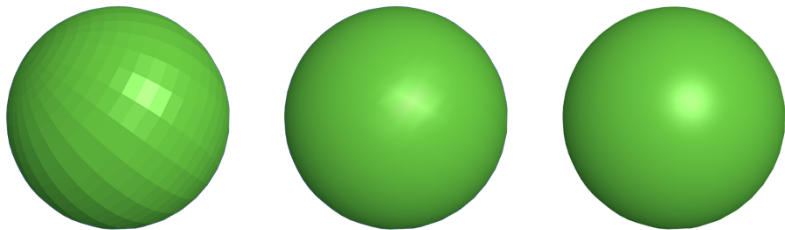
Для рассматриваемого фрагмента (пикселя) высчитываются барицентрические координаты, которые дальше используются для интерполяции нормалей.

$$(x, y) = a \cdot (x_0, y_0) + b \cdot (x_1, y_1) + c \cdot (x_2, y_2)$$

$$\vec{n} = a \cdot \vec{n}_0 + b \cdot \vec{n}_1 + c \cdot \vec{n}_2$$

Используя вычисленную нормаль, цвет фрагмента рассчитывается по некоторой модели освещения (например модели Фонга).





Плоское закрашивание, закрашивание по Гуро,
закрашивание по Фонгу.