



LOBACHEVSKY STATE UNIVERSITY
of NIZHNI NOVGOROD
National Research University

Computing Mathematics and Cybernetics faculty
Software department

CS255. Computer Graphics Introduction Course

Модели отражения и преломления света. Материалы

Lighting & Shading

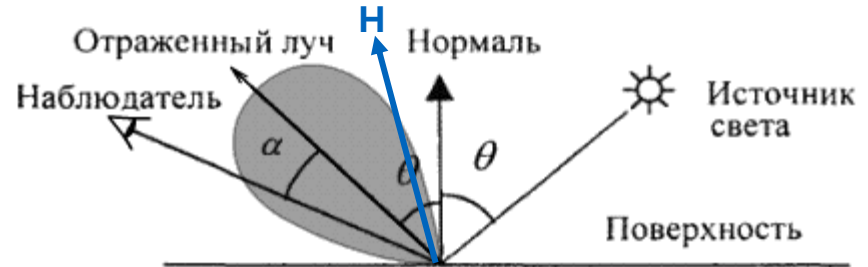
проф. Турлапов В.Е.,
vadim.turlapov@cs.vmk.unn.ru

Lighting: Алгоритмы локального освещения

Модели отражения света. Зеркальное отражение

Поверхность считается *идеально зеркальной*, если глубина ее шероховатостей $h \ll \lambda$ (длины волны отражаемого света ≈ 0.5 мкм).

Собственный цвет у такой поверхности отсутствует.



Световая энергия падающего луча отражается только по линии отраженного луча (рассеивание отсутствует). Если h порядка λ , то чем больше длина волны, тем лучше отражение. При наличии существенных шероховатостей имеется зона рассеивания (показана на рис. серым цветом), форма которой, как правило, симметрична относительно линии зеркально отраженного луча. Наиболее часто в качестве модели зеркального (specular) отражения используется **эмпирическая модель Фонга** (одна из простейших):

$$I_s = L_s \cdot k_s \cdot \cos^p(\alpha),$$

где L_s - интенсивность излучения источника, k_s - отражаемая часть потока ($0 \leq k_s \leq 1$), α — угол отклонения от линии идеально отраженного луча. Показатель p , глянецность (glossiness), зависит от качества полировки. Его малые значения (< 100) соответствуют наиболее распространенным материалам с обычными оптическими свойствами, а значения в диапазоне от 100 до 500 соответствуют отражению от большинства металлических поверхностей.

Lighting: Алгоритмы локального освещения

Зеркальное отражение. The Halfway Vector

The halfway vector (H) exists midway between two vectors: the vector from an object vertex to the light source, and the vector from an object vertex to the camera position. Microsoft Direct3D provides **two ways** to compute the halfway vector. When D3DRS_LOCALVIEWER is set to TRUE, the system calculates the halfway vector using the position of the camera and the position of the vertex, along with the light's direction vector. The following formula illustrates this.

$$H = \text{norm}(\text{norm}(C_p - V_p) + L_{dir})$$

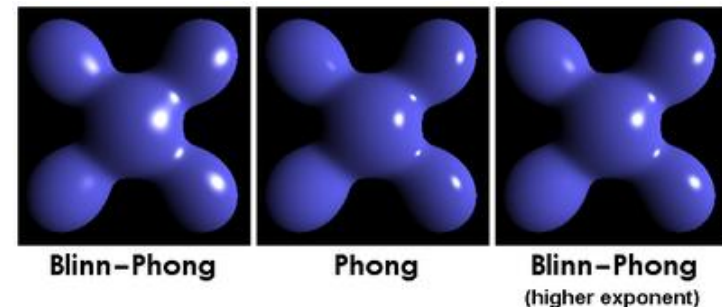
Parameter	Default value	Type	Description
C_p	N/A	D3DVECTOR	Camera position
V_p	N/A	D3DVECTOR	Vertex position.
L_{dir}	N/A	D3DVECTOR	Direction vector from vertex position to the light position.



Determining the halfway vector in this manner can be computationally intensive. As an alternative, setting D3DRS_LOCALVIEWER = FALSE instructs the system to act as though the viewpoint is infinitely distant on the z-axis. This is reflected in the following formula.

$$H = \text{norm}((0,0,1) + L_{dir})$$

This setting is less computationally intensive, but much less accurate, so it is best used by applications that use orthogonal projection.



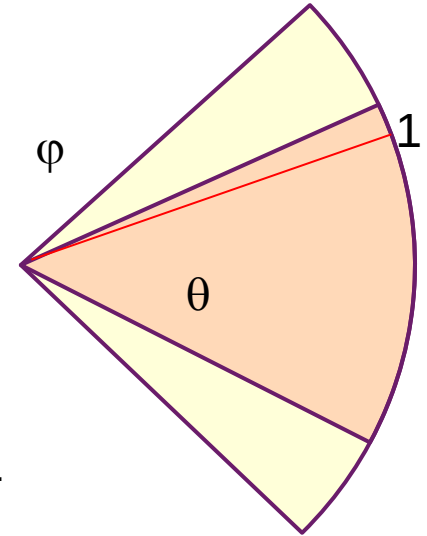
Lighting: Алгоритмы локального освещения

Зеркальное отражение. Spotlight Factor

Specular Lighting Equation (from DirectX)

$$\text{Specular Lighting} = C_s * \text{sum}[L_s * (N \cdot H)^P * \text{Atten} * \text{Spot}]$$

Parameter	Default value	Type	Description
C_s	(0,0,0,0)	D3DCOLORVALUE	Specular color.
sum	N/A	N/A	Summation of each light's specular component.
N	N/A	D3DVECTOR	Vertex normal.
H	N/A	D3DVECTOR	Half way vector. See the section on the halfway vector.
P	0.0	FLOAT	Specular reflection power. Range is 0 to +infinity
L_s	(0,0,0,0)	D3DCOLORVALUE	Light specular color.
Atten	N/A	FLOAT	Light attenuation value. See Attenuation and Spotlight Factor.
Spot	N/A	FLOAT	Spotlight factor.



$$\text{Spotlight Factor: } spot_i = \begin{cases} 1 & \text{for non - spotlights or if } \rho_i > \cos(\theta_i / 2) \\ 0 & \text{if } \rho_i \leq \cos(\varphi_i / 2) \\ \left(\frac{\rho_i - \cos(\varphi_i / 2)}{\cos(\theta_i / 2) - \cos(\varphi_i / 2)} \right)^{\text{falloff}} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Lighting: Алгоритмы локального освещения

Диффузное отражение



Этот вид отражения присущ матовым поверхностям. Матовой или Ламбертовой можно считать такую поверхность, размер шероховатостей которой уже настолько велик, что падающий луч рассеивается равномерно во все стороны. Такой тип отражения характерен, например, для гипса, песка, бумаги. Диффузное отражение описывается **законом Ламберта**: интенсивность отраженного света пропорциональна косинусу угла между направлением на точечный источник света и нормалью к поверхности

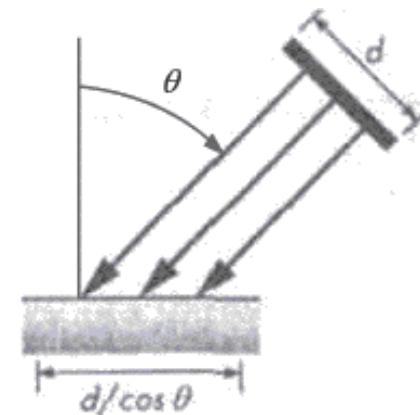
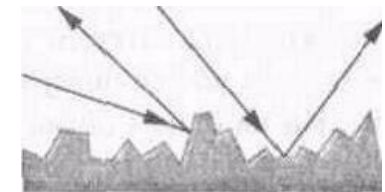
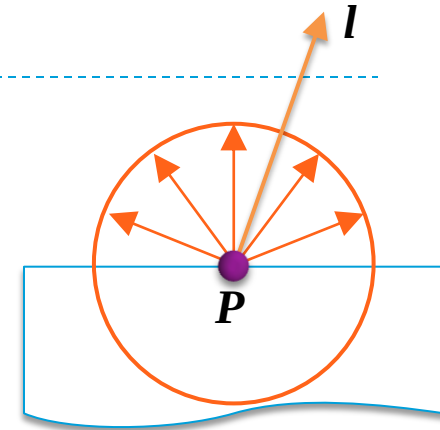
$$I_d = L_d \cdot k_d \cdot \cos(\theta),$$



где L_d - интенсивность источника света, k_d - коэффициент, который учитывает свойства материала поверхности ($0 \leq k_d \leq 1$).

Свет рассеивается с одинаковой по всем направлениям интенсивностью.

Матовая поверхность **имеет свой отражаемый цвет при освещении белым светом**. Та часть белого света, которая не отражается, поглощается окрашенной поверхностью. Т.е. если окрашенная поверхность поглощает красный цвет, а мы ее осветили источником только с красной компонентой, то поверхность будет выглядеть черной.



Lighting: Алгоритмы локального освещения

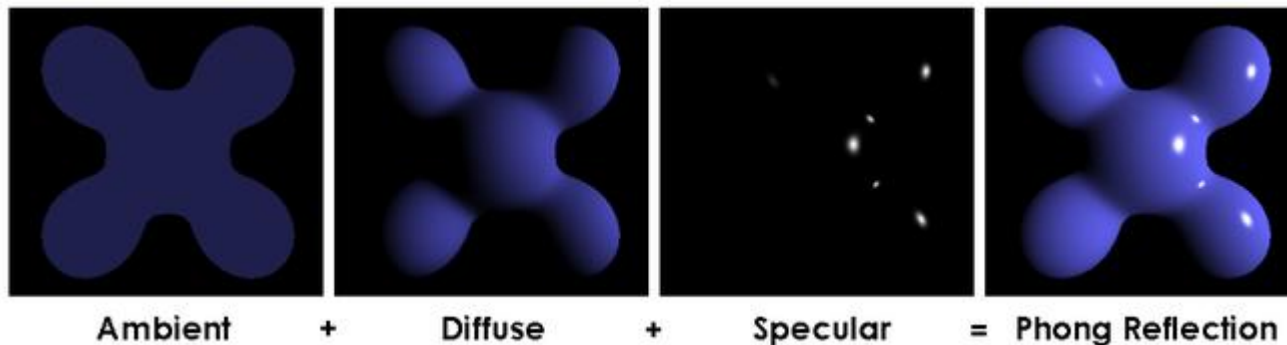
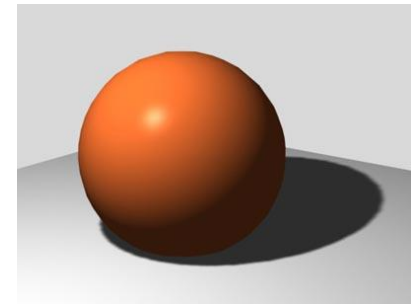
Рассеянный свет. Учет ослабления

В реальных сценах обычно нет полностью затемненных объектов → Следует учитывать фоновую подсветку, освещение рассеянным (ambient) светом, отраженным от других объектов. В результате интенсивность может быть эмпирически выражена формулой, называемой **формулой Фонга**:

$$I = \frac{1}{k_0 + k_1 d + k_2 d^2} (k_d L_d \cdot \cos \theta + k_s L_s \cdot \cos^p \alpha) + k_a L_a$$

где L_a - интенсивность рассеянного света, k_a - коэффициент отражения поверхности.

Перед скобками введен множитель, зависящий от расстояния d , который при необходимости позволит учесть ослабление светового потока по мере удаления точек анализируемой поверхности от источника.

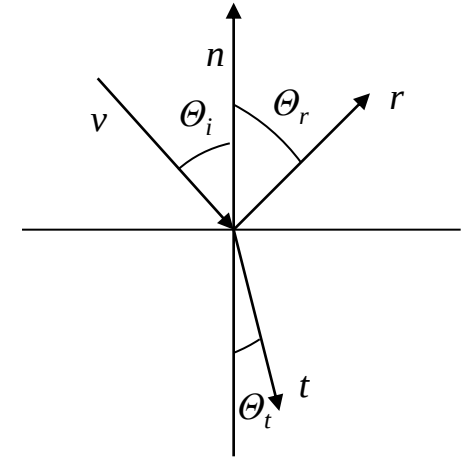


(From Wikipedia)

Lighting: Алгоритмы локального освещения

Модели преломления света

В ряде сцен нужно учитывать не только отражение света от границы двух сред, но и пропускание света из одной среды в другую. Если скорость распространения света в двух средах отличается, то на границе этих сред происходит *преломление* падающего светового луча. Преломленный луч лежит в той же плоскости, что и векторы v и n , а угол падения связан с углом преломления законом Снеллиуса (*Snell's law*):



$$r = v - 2(v \cdot n)n \quad \eta_1 \sin \Theta_i = \eta_2 \sin \Theta_t$$

η_1, η_2 - показатели преломления (indices of refraction).

Из этого равенства можно найти выражение для направляющего вектора t преломленного луча

$$t = \eta v + (\eta C_i - \sqrt{1 + \eta^2 (C_i^2 - 1)}) \cdot n$$

Здесь $\eta = \frac{\eta_1}{\eta_2}$ - относительный показатель преломления, $C_i = \cos \Theta_i = (n, -v)$.

Неравенство $1 + \eta^2 (C_i^2 - 1) < 0$ соответствует так называемому полному внутреннему отражению (луч полностью отражается от поверхности, и эффект преломления отсутствует).

Lighting: Алгоритмы локального освещения

Неидеальное преломление света

В прозрачном материале часть падающего светового потока преломляется, часть отражается как при зеркальном отражении, а остальная часть поглощается.

Распределение по направлениям той части светового потока, которая прошла во вторую среду, имеет такой же характер, как и в случае зеркального отражения, но лучи концентрируются в окрестности вектора t . → Модель преломления для наблюдателя, расположенного со стороны внутреннего полупространства поверхности раздела, аналогична модели отражения (диаграмма отклонения от идеального преломления, диффузное преломление).

Показатель преломления зависит от длины волны света: **чем $> \lambda$, тем $< \eta$** .

Показатели преломления для ряда сред:

воздух - $\eta=1.00029$	стекло, легкий крон - $\eta=1.52$
вода - $\eta=1.33$	стекло, тяжелый крон - $\eta=1.65$

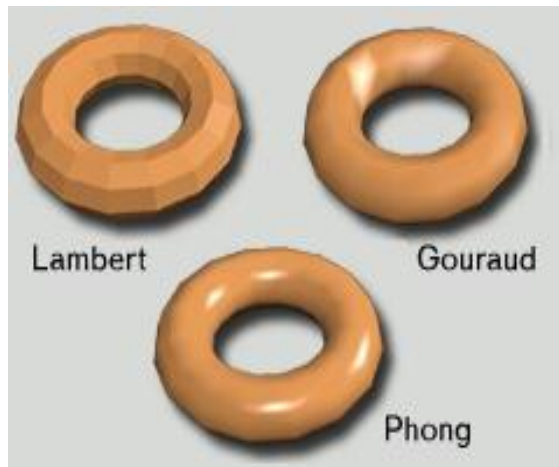
Упрощение вычислений дает методика использования вектора половинного направления.

Для учета ослабления света полупрозрачной средой вводят коэффициент ослабления, равный: $\exp(-\beta \cdot d)$, где β - параметр ослабления, d – расстояние, пройденное лучом. Для воздуха $\beta = 0$.

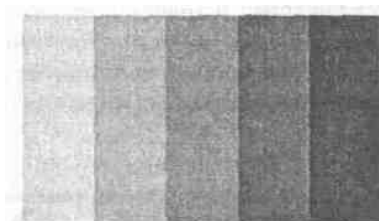
Shading: Материалы

Освещение и закрашивание

Три модели закрашивания (shading): плоское закрашивание (по Ламберту), закрашивание по Гуро (Gouraud) и закрашивание по Фонгу (Fong). Модель с плоским закрашиванием заключается в равномерном однородном закрашивании каждого треугольника одним цветом (обычная заливка). В результате объект предстает как множество плоских граней.



Дефект плоского закрашивания: эффект **полос Маха** (Mach bands)



Shading: Материалы

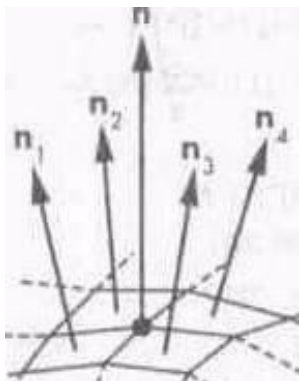
Методы закрашивания

В процедурах закрашивания (шейдинга) по Гуро и по Фонгу цвет интерполируется относительно вершин треугольника, для которых вычислена их освещенность (Lighting), по данным о вершинах, нормалях и источниках света. Это приводит к более непрерывной и реалистичной закраске объекта.

Метод Гуро (Gouraud Shading) и **метод Фонга** (Fong Shading)

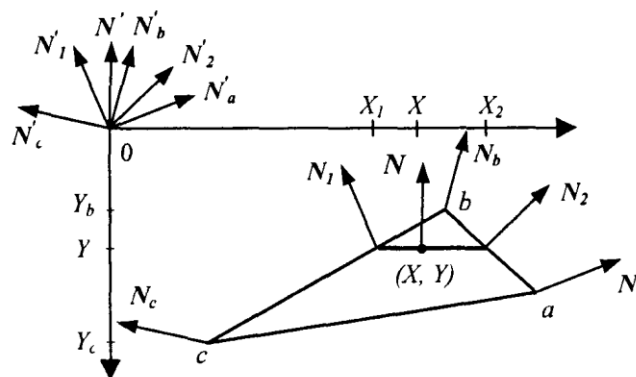
Метод Гуро: 1)нормали к граням; 2)нормали и освещенность в вершинах; 3) билинейная аппаратная интерполяция освещенности в точках грани по освещенностям в вершинах

Метод Фонга: 1)билинейная интерполяция нормалей вершин - интерполируются нормали, а не цвета; 2)по нормалям в каждой точке вычисляется освещенность и цвет.

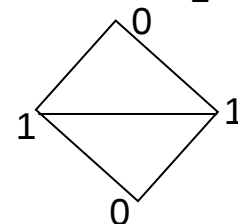
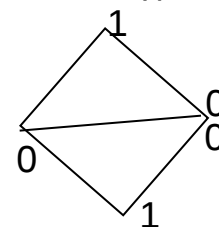


← Определение нормали, ассоциируемой с вершиной полигональной сети

Построчное закрашивание с интерполяцией нормалей (Фонг) при вершинах →



Св-во м. Гуро



Источники

1. Порев В.Н. Компьютерная графика. –СПб.: БХВ-Петербург, 2002. –432с.
2. Никулин Е.А. Компьютерная геометрия и алгоритмы машинной графики. – С.Пб : БХВ-Петербург, 2003. –560с.
3. Шикин Е.В., Боресков А.В. Компьютерная графика. Полигональные модели. – М.: ДИАЛОГ-МИФИ, 2001.-464с.
4. Роджерс Д. Алгоритмические основы машинной графики: Пер. с англ. -М.: Мир, 1989. -512 с.
5. Роджерс Д., Адамс Дж. Математические основы машинной графики: Пер. с англ. - М.: Мир, 2001. - 604с.
6. Хилл Ф. OpenGL. Программирование компьютерной графики. – С.Пб: Питер, 2002. 1088с.