



LOBACHEVSKY STATE UNIVERSITY
of NIZHNI NOVGOROD
National Research University

Computing Mathematics and Cybernetics faculty
Software department

CS255. Computer Graphics Introduction Course

Физически корректная модель освещения Кука-Торренса

Боголепов Д.К., Турлапов В.Е.

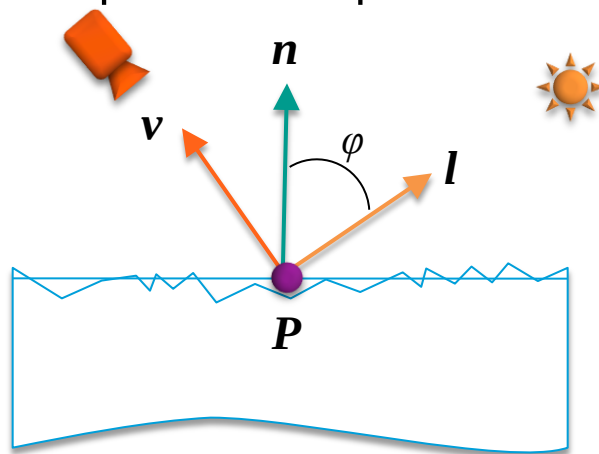
Введение

- ▶ Освещение объектов играет важнейшую роль в получении реалистичных и качественных изображений → необходимо уделять особое внимание моделям освещения
- ▶ *Модель освещения Фонга* весьма проста и завоевала огромную популярность в графике (в основном интерактивной), однако объекты выглядят как блестящая пластмасса
- ▶ Во время работы с графическими API у нас нет выбора. Однако, если используется трассировка лучей, то мы можем выбирать произвольные алгоритмы

Обратимся к модели освещения Кука-Торренса

Распределение ориентации микрограней...

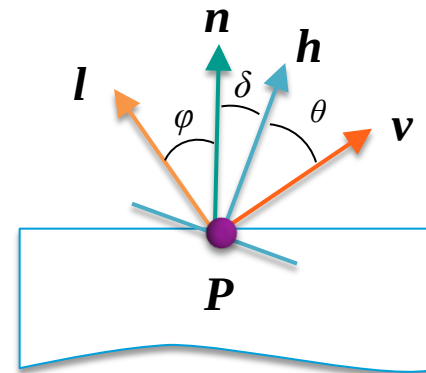
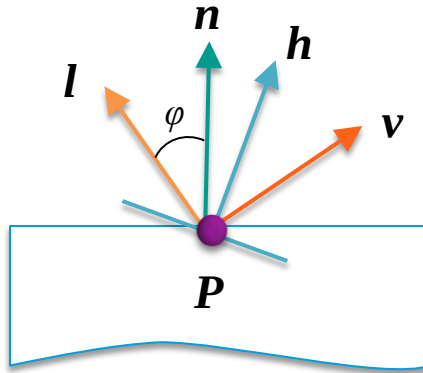
- ▶ В модели Кука-Торренса шероховатая поверхность концептуально моделируется совокупностью блестящих “микрограней”, ориентированных различным образом



- ▶ Каждая микрогрань – это совершенное маленькое зеркальце. Только те из них, которые ориентированы правильно, вносят свой вклад в отражаемый свет

Распределение ориентации микрограней...

- ▶ Микрогрань вносит вклад, если она направлена вдоль вектора $\mathbf{h} = \mathbf{v} + \mathbf{l}$

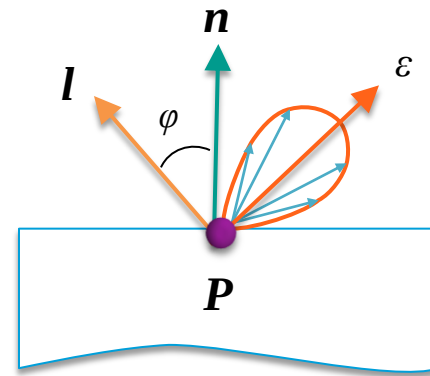


- ▶ Для этого угол между микрогранью и нормалью к поверхности должен быть равен $\delta = [\theta - \varphi] / 2$
- ▶ В результате проведения статистических исследований было получено распределения $D(\delta)$, задающие долю микрограней, составляющих угол δ к нормали поверхности

Распределение ориентации микрограней...

- Кук и Торренс использовали *распределение Бекмана*:

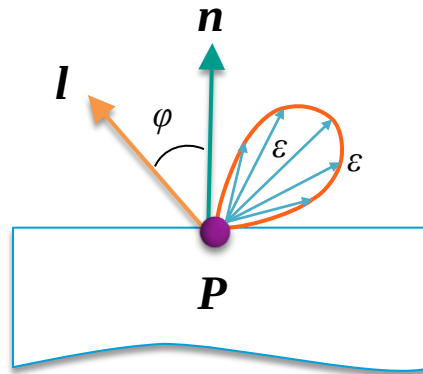
$$D(\delta) = \frac{1}{4m^2 \cos^4(\delta)} \cdot e^{-[\operatorname{tg}(\delta)/m]^2}$$



- Величина $D(\delta)$ выражает среднеквадратический наклон микрограней. Она максимальна при $\delta = 0$ и быстро уменьшается при возрастании δ
- Параметр m – **степень шероховатости** поверхности. Обычно m выбирают в промежутке $[0.2, 0.6]$. Чем больше m , тем более шероховатая поверхность

Распределение ориентации микрограней...

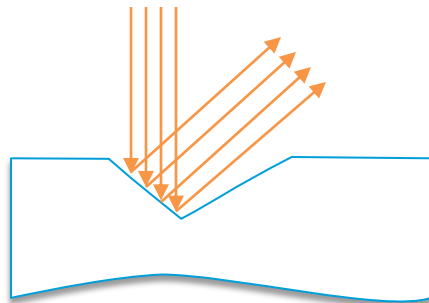
- Кук и Торренс включили величину $D(\delta)$ в качестве масштабного множителя бликовой составляющей, а за δ приняли угол между $\mathbf{h}$ и $\mathbf{n}$



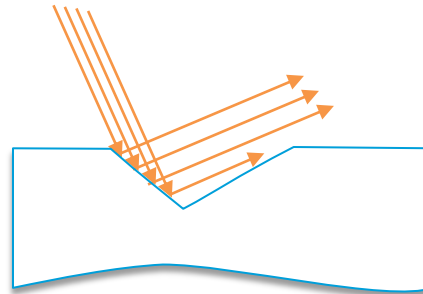
- Величина бликовой составляющей максимальна в направлении идеального отражения, поскольку нормали микрограней чаще всего параллельны вектору $\mathbf{n}$

Затенение и экранирование...

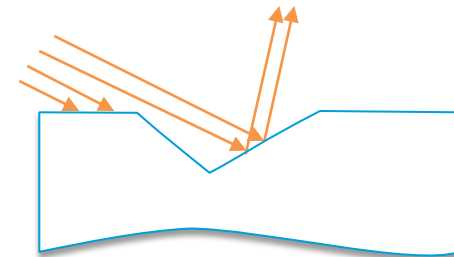
- Кук и Торренс учитывали также эффекты затенения и экранирования, что привело к появлению “геометрического” масштабного коэффициента **G**



Весь падающий свет
уходит с грани
 $G = 1$



Часть света экранирует
соседняя грань
 $G < 1$



Освещена часть грани,
остальная часть затенена
 $G < 1$

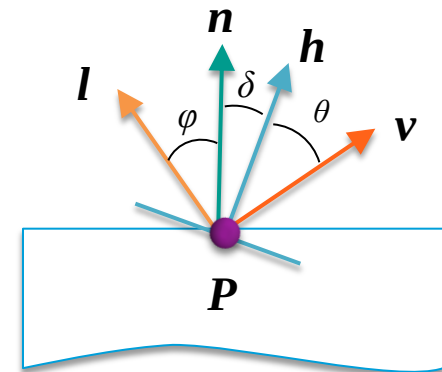
Затенение и экранирование

- ▶ Блинн выразил геометрический множитель $\mathbf{G}$ через стандартные скалярные произведения. В качестве множителя берется минимум из трех значений

$$\mathbf{G} = \min(1, \mathbf{G}_m, \mathbf{G}_s),$$

$$\mathbf{G}_m = 2 \cdot (\mathbf{n} \cdot \mathbf{h}) \cdot (\mathbf{n} \cdot \mathbf{l}) / (\mathbf{h} \cdot \mathbf{l}),$$

$$\mathbf{G}_s = 2 \cdot (\mathbf{n} \cdot \mathbf{h}) \cdot (\mathbf{n} \cdot \mathbf{v}) / (\mathbf{h} \cdot \mathbf{l})$$



- ▶ Величины $\mathbf{G}_m$ и $\mathbf{G}_s$ определяют соответственно часть **неэкранированного** и **незатененного** света

Коэффициент Френеля...

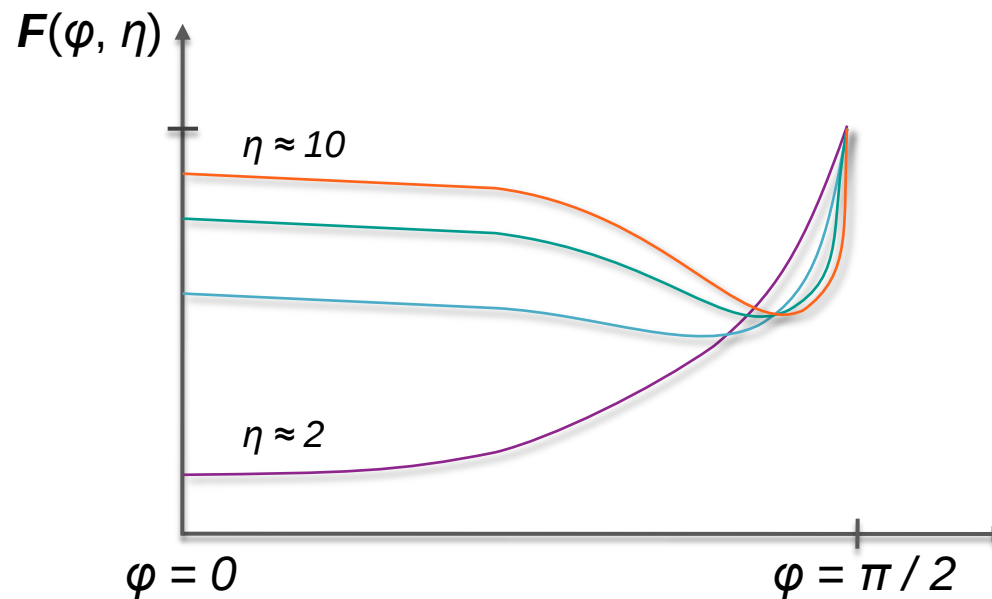
- ▶ Третий множитель в модели Кука-Торренса также масштабирует количество зеркального света
- ▶ Блестящие микрограницы не являются идеальными зеркалами, а отражают только часть падающего света (оставшаяся часть передается внутрь поверхности)
- ▶ Доля отраженного света определяется коэффициентом Френеля $F(\varphi, \eta)$, где η – показатель преломления материала (материал может и не быть прозрачным!)

$$F(\varphi, \theta) = \frac{1}{2} \cdot \frac{(g - c)^2}{(g + c)^2} \left\{ 1 + \left[\frac{c \cdot (g + c) - 1}{c \cdot (g - c) + 1} \right]^2 \right\}$$

$$c = \cos(\varphi) = (\mathbf{n} \cdot \mathbf{l}), \quad g^2 = \eta^2 + c^2 - 1$$

Коэффициент Френеля

- ▶ Коэффициент Френеля $F(\varphi, \eta)$ зависит материала при "нормальном падении" ($\varphi = 0$) и возрастает до 1 при "касательном угле" ($\varphi = \pi / 2$)

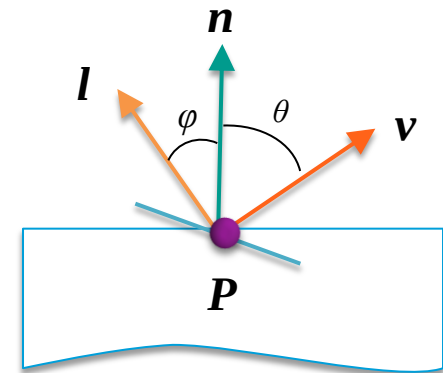


Результирующее выражение...

- Кук и Торренс объединили все эти факторы и создали *физически обоснованную* модель зеркального отражения (модель бликов).
Относительное количество зеркально отражаемого света равно

$$\mathbf{S} = \mathbf{F}(\varphi, \eta) \cdot \mathbf{D}(\delta) \cdot \mathbf{G}(\mathbf{n}, \mathbf{l}, \mathbf{v}) / (\mathbf{n} \cdot \mathbf{v})$$

$$I_{total} = \langle \text{amb} \rangle + \langle \text{dif} \rangle + k_s \cdot I_s \cdot \mathbf{S}$$



- Знаменатель учитывает еще один эффект: когда угол θ велик (мы смотрим вдоль поверхности), видно значительно большее число микрограней, чем при малых углах θ . Это приводит к увеличению интенсивности света

Источники...

1. Philipp Zaufel. **The world of reflections - Part II. Overview (htm, [local](#))**
2. I.T.Dimov and other. Monte Carlo Approach for Cook-Torrance Model / Z.Li et al.(Eds.):NAA 2004, LNCG 3401, pp.257-265, 2005 (pdf, [local](#))
3. Ф.Хилл. OpenGL: Программирование компьютерной графики. – СПб.: Питер, 2002.
4. Cook, Robert L. and Torrance, Kenneth E., A Reflectance Model for Computer Graphics, ACM Transactions on Graphics, vol.1, No.1, pp.7-24, 1982.
5. Blinn, James F., Models of Light Reflection for Computer Synthesized Pictures, Computer Graphics, vol.11, No.2, pp.192-198, 1977