

oooooooooooooooo
ooo
oo
o

Компьютерная графика: Дополнительные главы

Лекция 1: Модели освещение

Н.Д. Смирнова

Санкт-Петербургский Государственный Политехнический Университет

13.01.2011

oooooooooooooooo
ooo
oo
o

Содержание

Проблема

Модели

BRDF

BTDF

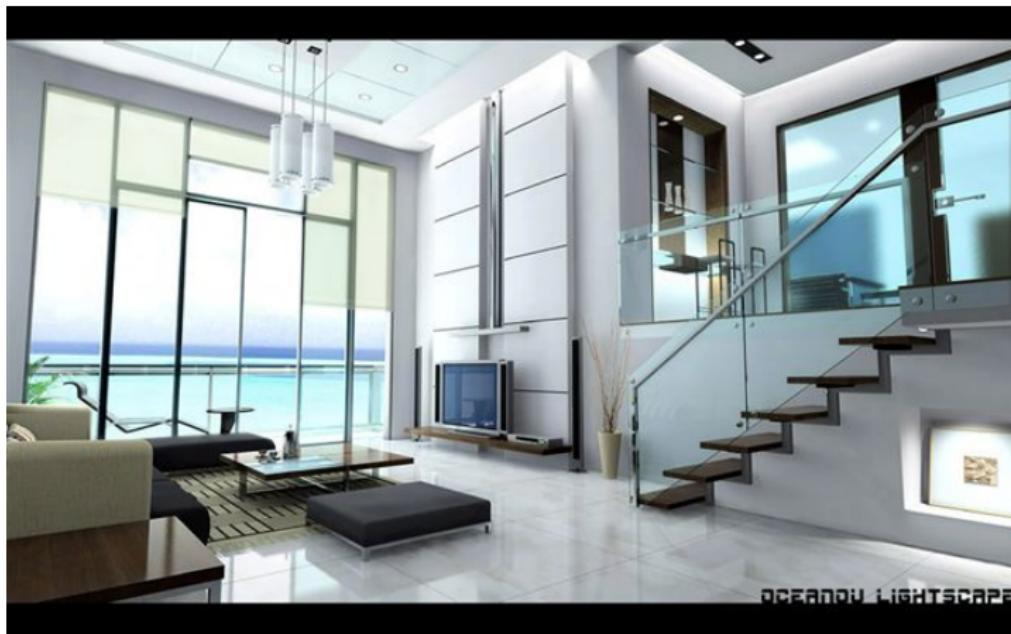
BSSRDF

BSDF

UNDER CONSTRUCTION

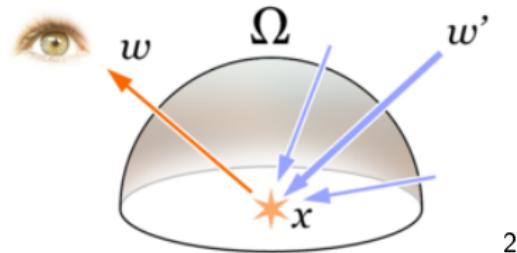
The diagram consists of four rows of small circles. The top row has 15 circles. The second row has 4 circles. The third row has 2 circles. The bottom row has 1 circle.

Очень хочется красивых реалистичных картинок



¹http://www.mahaweb.com.my/creative_solution.html

○○○○○○○○○○○○○○○○
○○○
○○
○



2

- необходимо уравнение визуализации (rendering equation)
$$L_o(x, \omega, \lambda, t) = L_e(x, \omega, \lambda, t) + \int_{\Omega} f_r(x, \omega', \omega, \lambda, t) L_i(x, \omega', \lambda, t) (-\omega' \cdot n) d\omega'$$
- упростим $L_o(x, \omega) = L_e(x, \omega) + \int_{\Omega} f_r(x, \omega', \omega) L_i(x, \omega') (-\omega' \cdot n) d\omega'$
- а для одного источника
$$L_o(x, \omega) = L_e(x, \omega) + f_r(x, \omega_i, \omega) L_i(x, \omega_i) (-\omega_i \cdot n)$$

²http://en.wikipedia.org/wiki/Rendering_equation



Содержание

Проблема

Модели

BRDF

BTDF

BSSRDF

BSDF

UNDER CONSTRUCTION



Содержание

Проблема

Модели

BRDF

BTDF

BSSRDF

BSDF

UNDER CONSTRUCTION

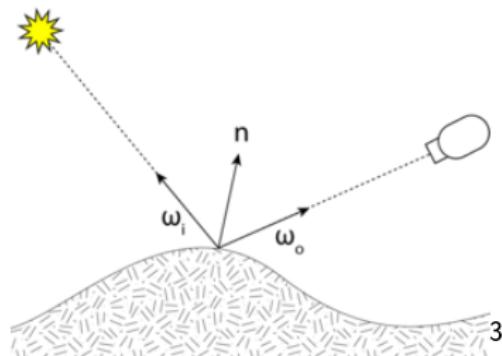
-

Bidirectional reflection distribution function

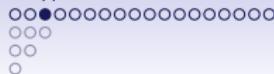
- $L_o(x, \omega_o) = L_e(x, \omega_o) + f_r(x, \omega_i, \omega_o)L_i(x, \omega_i)(\omega_i \cdot n)$
 - для однородной поверхности

$$L_o(\omega_o) = L_e(\omega_o) + f_r(\omega_i, \omega_o)L_i(\omega_i)(\omega_i \cdot n)$$
 - рассмотрим только отраженный свет

$$L_r(\omega_i, \omega_o) = f_r(\omega_i, \omega_o)L_i(\omega_i)(\omega_i \cdot n)$$



³[en.wikipedia.org/wiki/Bidirectional reflectance distribution function](https://en.wikipedia.org/wiki/Bidirectional_reflectance_distribution_function)



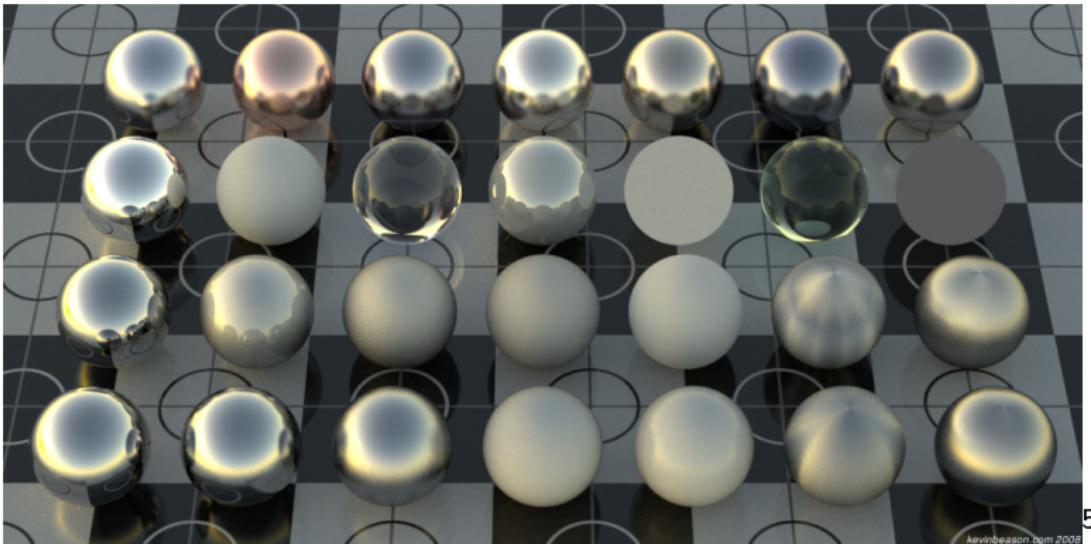
Свойства

- 4-х мерная функция определяет отражение света от непрозрачной поверхности $f_r(\omega_i, \omega_o)$ (Fred Nicodemus 1965)⁴
 - все векторы нормализованы
 - неотрицательна $f_r(\omega_i, \omega_o) \geq 0$
 - удовлетворяет равенству Гельмгольца $f_r(\omega_i, \omega_o) = f_r(\omega_o, \omega_i)$
 - сохранение энергии $\forall \omega_i, \int_{\Omega} f_r(\omega_o, \omega_i) \cos \theta_i d\omega_i \leq 1$

⁴Nicodemus, Fred (1965). "Directional reflectance and emissivity of an opaque surface"(abstract). Applied Optics 4 (7): 767–775.
doi:10.1364/AO.4.000767

Где используется?

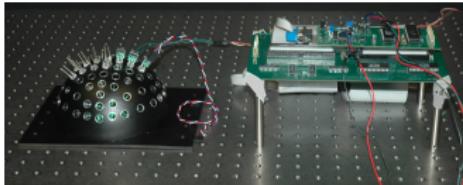
- "компьютерное зрение" для распознавания образов
 - фотoreалистичный рендеринг



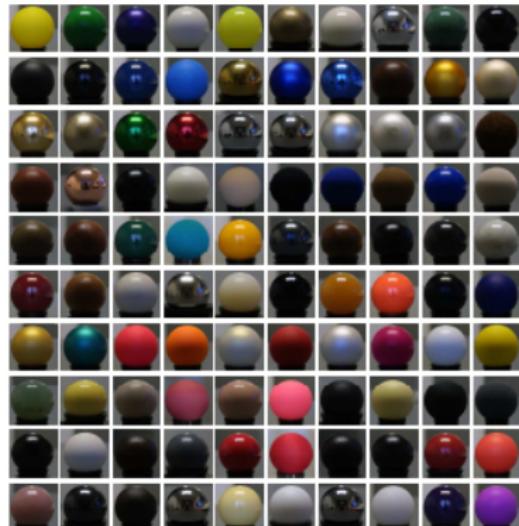
⁵ <http://www.kevinbeason.com/worklog/>

Откуда взять?

- измерение по реальным объектам



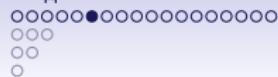
откалиброванные камеры и
источники света



6 7

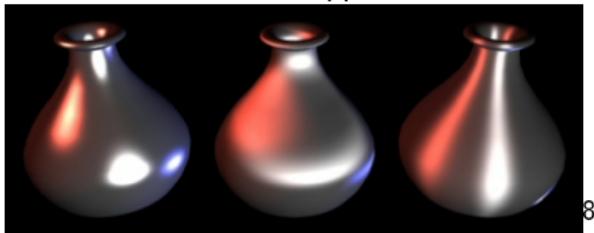
⁶Moshe Ben-Ezra and Jiaping Wang and Bennett Wilburn and Xiaoyang Li and Le Ma, An LED-only BRDF Measurement Device, IEEE, 2008

⁷ <http://www.merl.com/brdf/>



Откуда взять?

- аналитические модели



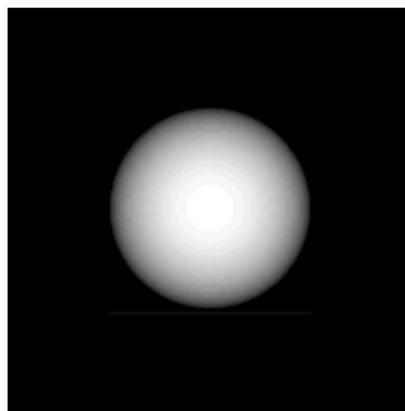
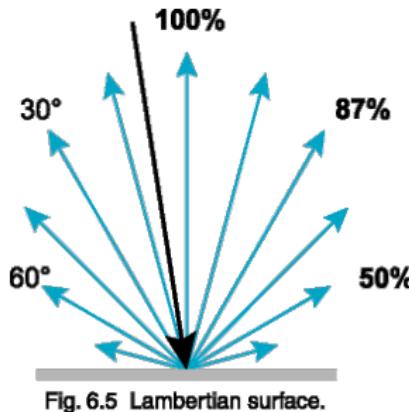
8

- Diffuse(бетон, песок) versus Specular (пластик, любая глянцевая поверхность)
- Isotropic versus Anisotropic (волосы, DVD)

⁸<http://www.now3d.it/Eng/news.htm>

Diffuse - Lambertian

$$f_r = k_d, \quad L_r(\omega_i) = k_d C_i(\omega_i \cdot n)$$



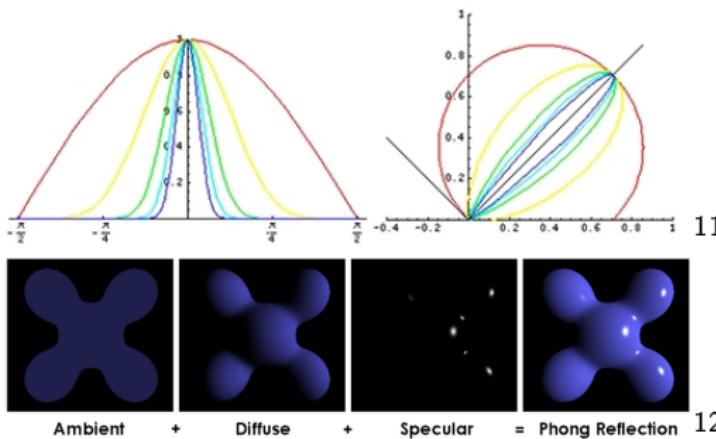
⁹homepages.inf.ed.ac.uk/rbf/CVonline/LOCAL_COPIES/RYER/ch06.html

¹⁰ www.math.montana.edu/frankw/ccp/multiworld/twothree/lighting/learn4.htm

-
-
-
-

Specular - Phong

- Phong $f_r(\omega_i, \omega_r) = \frac{k_s(\omega_r \cdot R)^m}{\omega_i \cdot n} \Rightarrow L_r(\omega_i) = k_s C_i (\omega_r \cdot R)^m$
- Blinn-Phong $f_r(\omega_i, \omega_r) = \frac{k_s(n \cdot h)^m}{\omega_i \cdot n} \Rightarrow L_r(\omega_i, \omega_r) = k_s C_i (n \cdot h)^m$
- m характеризует гладкость поверхности (большие величины дают Gaussian Distribution)
- совершенно нефизична, крайне эффективна



¹¹<http://odforce.net/wiki/index.php/ReflectanceFunctions>

¹²<http://www.cs.cmu.edu/~patterson/DIS/lectures.html>



А еще specular

- Gaussian Distribution

$$f_r(\omega_i) = \frac{k_s e^{-(\frac{\cos(n,h)}{m})^2}}{\omega_i \cdot n} \Rightarrow L_r(\omega_i) = k_s C_i e^{-(\frac{\cos(n,h)}{m})^2}$$

- Beckmann distribution ¹³ (физичная модель)

$$f_r(\omega_i) = \frac{k_s e^{-(\frac{\tan(n,h)}{m})^2}}{\pi m^2 (n \cdot h)^4 (\omega_i \cdot n)} \Rightarrow L_r(\omega_i) = \frac{k_s C_i e^{-(\frac{\tan(n,h)}{m})^2}}{\pi m^2 (n \cdot h)^4}$$

- $m \in [0, 1]$ - характеризует гладкость поверхности

¹⁴ ¹⁵ (внимание: там есть ошибки в формулах)

¹³Petr Beckmann, Andrij Spizzichino, The scattering of electromagnetic waves from rough surfaces, Pergamon Press, 1963

¹⁴http://graphics.wikia.com/wiki/Specular_highlight

¹⁵http://en.wikipedia.org/wiki/Specular_highlight



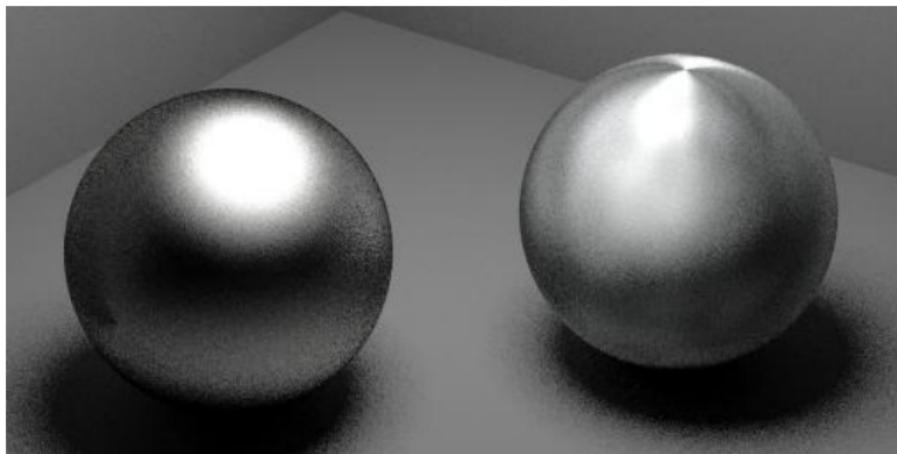
UNDER CONSTRUCTION

- Torrance-Sparrow - идеально отражающие микрографии
- Blinn - тот же результат, только дешевле
- Cook-Torrance - учитывает еще длину волны
- Oren-Nayar - идеально рассеивающие микрографии
- Minnaert - для некоторых тканей типа вельвета
- HTSG - всеобъемлющая физически-ориентированная модель



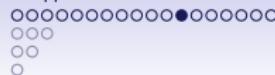
Anisotropic

- ориентация микрограней имеет предпочтительное направление
- волосы, мех, диски, елочные игрушки, стальные поверхности



16

¹⁶ http://www.graphics.cornell.edu/~westin/image_gallery.html



Heidrich-Seidel

- Выбор нормали

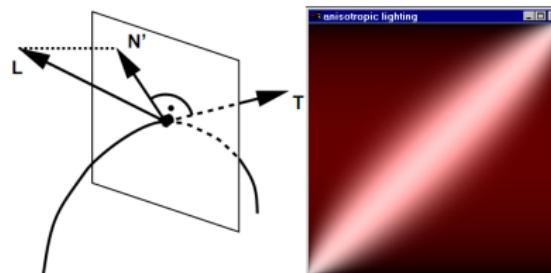
- Phong lighting $L_r = L_d + L_s = C_i(k_d(\omega_i \cdot n) + k_s(\omega_r \cdot R)^m)$

- Heidrich-Seidel

$$L_s = C_i(\sqrt{(1 - (\omega_i \cdot T))^2} \sqrt{(1 - (\omega_r \cdot T)^2)} - (\omega_i \cdot T)(\omega_r \cdot T))^m$$

17

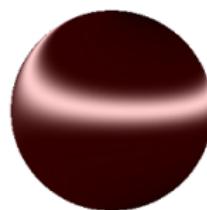
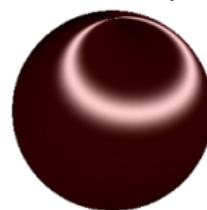
- Для реалистичности $L_r = clamp(\cos(-n, \omega_i))(L_d + L_s)$
- Lookup текстура $(\omega_i \cdot T)x(\omega_r \cdot T)$



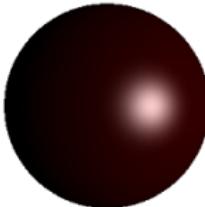
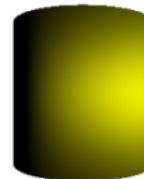
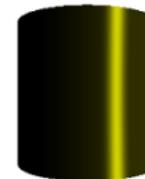
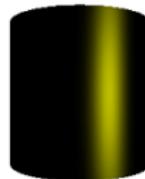
¹⁷ Heidrich, Seidel, Efficient Rendering of Anisotropic Surfaces Using Computer Graphics Hardware. IMDSP'98

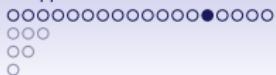
Heidrich-Seidel

no clamp



with clamp





Ward

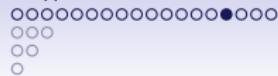
- эмпирическая модель на базе Gaussian Distribution (isotropic, anisotropic form)
- формула будет потом¹⁸
- довольно сложна в расчетах, используют аппроксимацию!
- физична (нормализована и симметрична)
- охватывает большое количество материалов



19

¹⁸ Ward. Measuring and modeling anisotropic reflection. SIGGRAPH '92

¹⁹ http://www.maxtutorials.org/anisotropic_shader.html



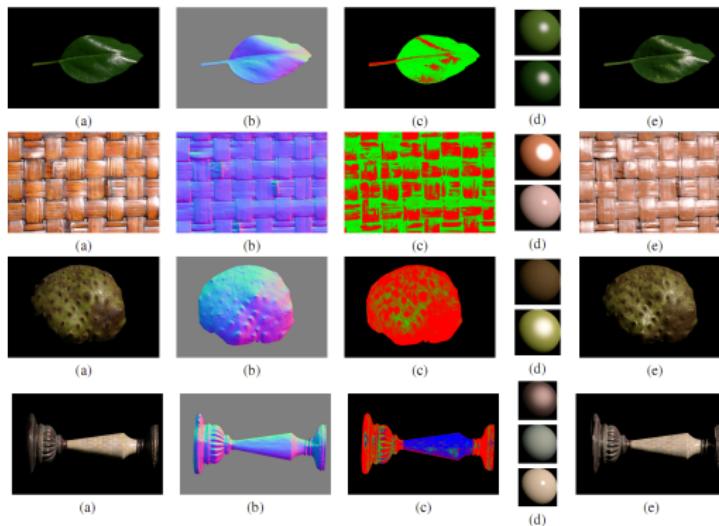
UNDER CONSTRUCTION

- Poulin-Fournier

○○○○○○○○○○○○○○●○○
○○○
○○
○

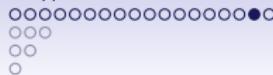
Spatial-Varying BRDF

- поверхность объекта неоднородна



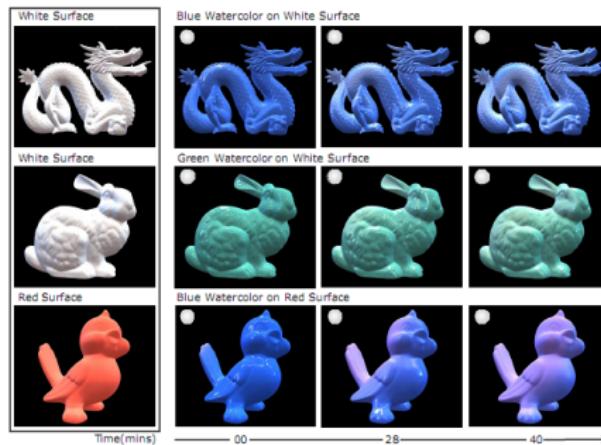
20

²⁰ Goldman, Curless, Hertzmann, Seitz. Shape and Spatially-Varying BRDFs From Photometric Stereo. 2005



Time-Varying BRDF

- физические свойства материала меняются во времени ²¹
 - высыхающие краски
 - высыхающие влажные шороховатые поверхности (цемент, ткани)
 - процесс накопления пыли на поверхности

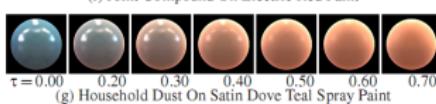
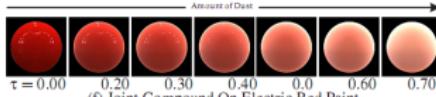
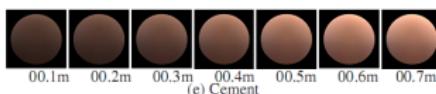
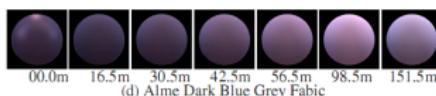
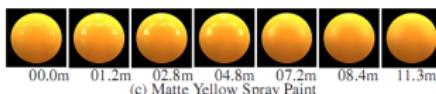
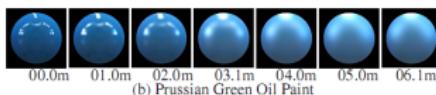
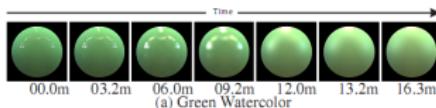


²¹Sun, Sunkavalli, Ramamoorthi, Belhumeur, Nayar. Time-Varying BRDFs. Eurographics Workshop on Natural Phenomena (2006)

Модели

-
-
-
-

Time-Varying BRDF[1]



Time-Varying BRDF[2]



$\tau=0.00$



$\tau=0.19$



$\tau=0.72$



$\tau=1.28$



Содержание

Проблема

Модели

BRDF

BTDF

BSSRDF

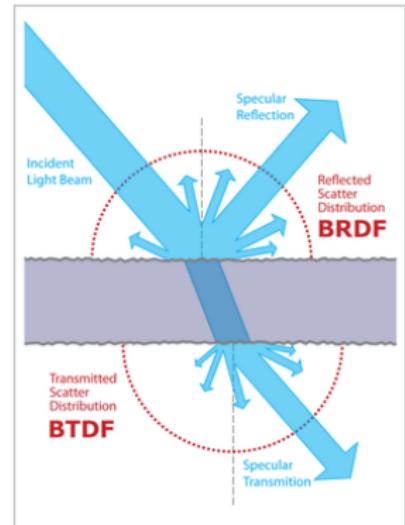
BSDF

UNDER CONSTRUCTION



Bidirectional transmittance distribution function

- описывает перенос света через слой материала
- похоже на BRDF
$$L_t(\omega_i, \omega_o) = f_t(\omega_i, \omega_o)L_i(\omega_i)(\omega_i \cdot n)$$
- состоит из двух компонент:
 - *reduced* - свет, прошедший через материал без рассеивания, с учетом поглощения
 - *scattered* - доля света, полученная в результате рассеивания
- $f_t(\omega_i, \omega_o) = f_{t,r}(\omega_i, \omega_o) + f_{t,s}(\omega_i, \omega_o)$





Что же хорошего?

- тонкие полупрозрачные поверхности
- поверхности потолще, но слоеные

А что плохого?

- для каждого слоя надо считать BRDF + BTDF



Аналитические модели

- **HanrahanGrueger93** простое рассеивание - аналитический учет, множественное рассеивание - метод монте-карло
 - физично, но без рефракции, интерференции, квантовых эффектов
- **Stam01** поверхность - гауссовский шум
⇒ аналитическая модель
 - в разы быстрее и меньше памяти



22 23

²²P. Hanrahan and W. Krueger. Reflection from Layered Surfaces due to Subsurface Scattering. SIGGRAPH '93

²³Jos Stam. An Illumination Model for a Skin Layer Bounded by Rough Surfaces. 2001



Содержание

Проблема

Модели

BRDF

BTDF

BSSRDF

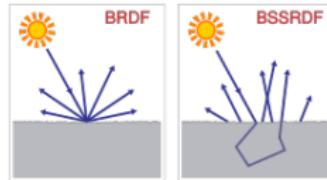
BSDF

UNDER CONSTRUCTION



Bidirectional subsurface scattering distribution function

- учитывает рассеивание света внутри материала
- более полная модель по сравнению с BRDF



- уравнение визуализации

$$L_o(x, \omega) = L_e(x, \omega) + \int_{\Omega} f_r(x, \omega', \omega) L_i(x, \omega') (-\omega' \cdot n) d\omega'$$

- излучаемый свет

$$L_e(x, \omega) = \int_A \int_{\Omega} f_s(x, x', \omega', \omega) L_i(x', \omega') (-\omega' \cdot n) d\omega' dx'$$

- отдельно моделируют

- одиночное рассеивание (single scattering)

- множественное рассеивание (multiple scattering) ← важнее



24



25

²⁴ <http://www.blender.org/development/release-logs/blender-244/subsurface-scattering>

²⁵ <http://www.awn.com/imagepicker/image/6748>



Содержание

Проблема

Модели

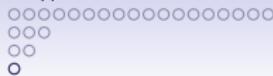
BRDF

BTDF

BSSRDF

BSDF

UNDER CONSTRUCTION



Bidirectional scattering distribution function

Существует 4 значения:

- обобщение: BTDF + BRDF, черный ящик с двумя векторами, а внутри....
- общее название всех BxDF
- при производстве гладких поверхностей, как характеристика равномерности отражения света (Lambertian: BSDF=const)
- класс моделей освещения более сложных, чем простейшие аналитические

○○○○○○○○○○○○○○○○○○
○○○
○○
○

Содержание

Проблема

Модели

BRDF

BTDF

BSSRDF

BSDF

UNDER CONSTRUCTION



TODO

- Компрессия BRDF
- Env Mapping Based Lighting Models
- Pre-computed radiance transfer