

Локальные и глобальные модели освещения. Модель Фонга. Закраска Фонга и Гуро

Алексей Викторович Игнатенко
Лаборатория компьютерной графики и
мультимедиа
ВМК МГУ

Лекция посвящена моделированию освещения и освещению в OpenGL

Моделирование освещения. ДФО

Локальные и глобальные модели.
Модель Фонга

Растеризация. Закраска Фонга и Гуро

Освещение в OpenGL

Графический процесс: типовая последовательность применения алгоритмов



Лекция 7

Модель

Алгоритм
синтеза

Изображение

Получение проекции
Заливка

Лекция 8

Модель освещения используется для вычисления интенсивности света для данной точки на поверхности модели

Фотореализм включает в себя два элемента:

- Качественная геометрическая модель
- Хорошая физическая модель освещения

Модель освещения включает в себя отражения, преломления света, тени, текстуры и т.п.

Моделировать освещение очень важно, т.к. на основе освещения мы воспринимаем форму объектов

Глаз воспринимает освещение и «реконструирует» трехмерную форму

Моделирование освещения – ключевой элемент фотореализма

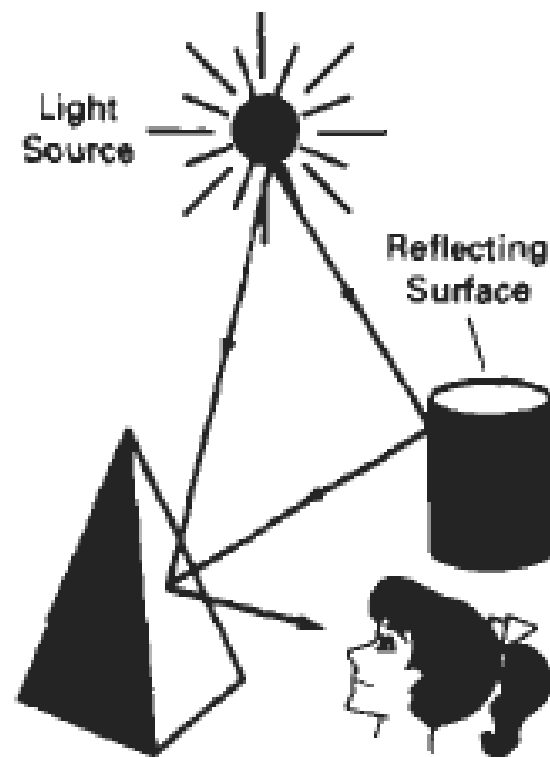
Источники света: первичные и вторичные

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

Две категории:

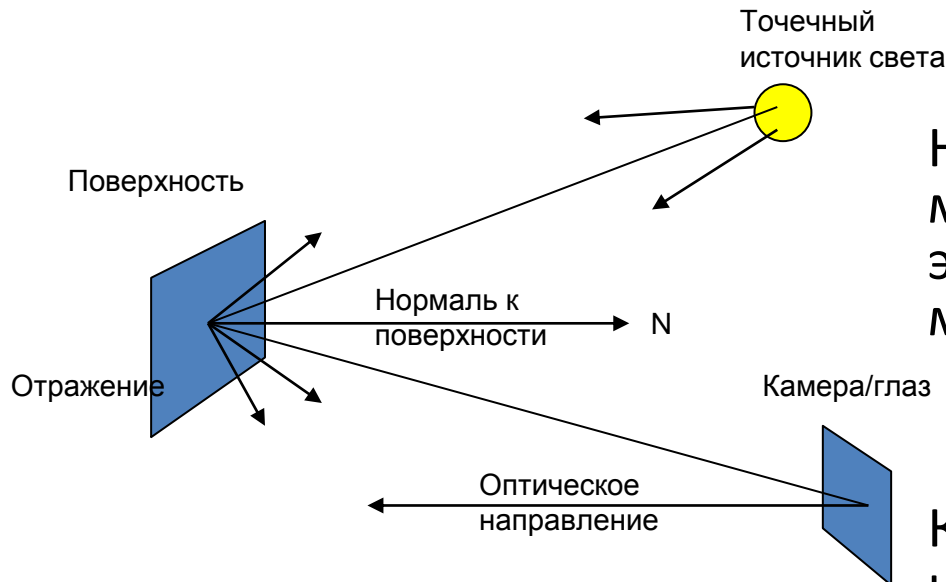
- Светоиспускающие источники = первичные источники
- Светотражающие источники = вторичные источники

Поверхность, не освещаемая источником света, все равно может быть видима!



Суть задачи: моделирование переноса световой энергии

Моделирование процессов из физики и физиологии



Необходимо разработать модель передачи электромагнитной энергии между объектами

Как только свет достигает наших глаз, запускается процесс восприятия

- определяет, что мы «видим» в сцене

Нужно рассчитать количество и распределение энергии на чувствительных элементах

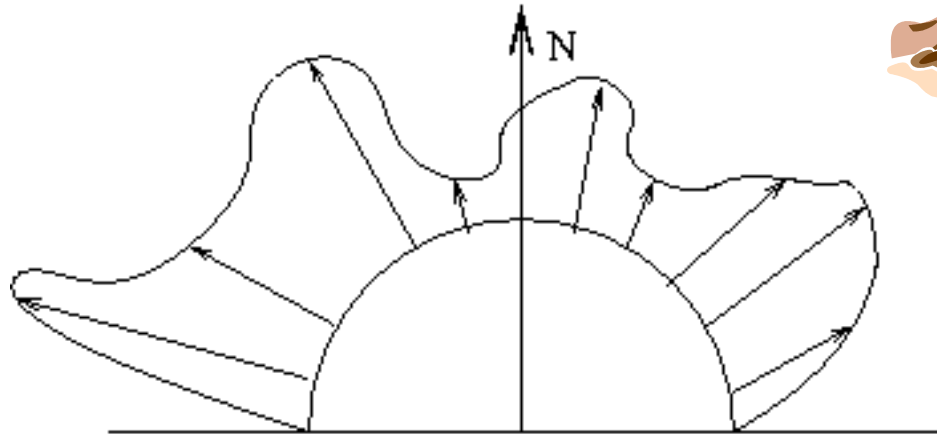
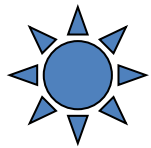
В реальном мире видимый цвет определяется количеством энергии видимого спектра, которая попадает на чувствительные элементы сетчатки глаза

Как правило, мы видим отраженный свет

Отражающие характеристики поверхности определяются отражающими способностями по отношению к волнам различной длины

Более формально: источник, наблюдатель, рассчитать отражение

Задача – рассчитать количество энергии,
излучаемой в сторону наблюдателя при заданном
входящем излучении

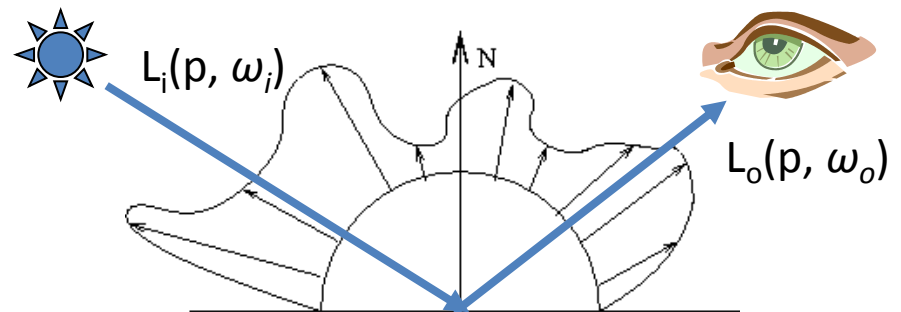


Двулучевая Функция Отражения (ДФО): определение

Чему равно излучение поверхности $L_o(p, \omega_o)$ в направлении ω_o при условии излучения по направлению ω_i , равной $L_i(p, \omega_i)$?

Определяется с помощью ДФО

- BRDF = Bidirectional Reflection Distribution Function
- ДФО = Двулучевая функция отражения



Предполагается, что исходящее излучение зависит только от входящего излучения для данной точки!

В заданном направлении излучается энергия, пропорциональная освещенности

Рассмотрим дифференциальную освещенность поверхности в точке p :



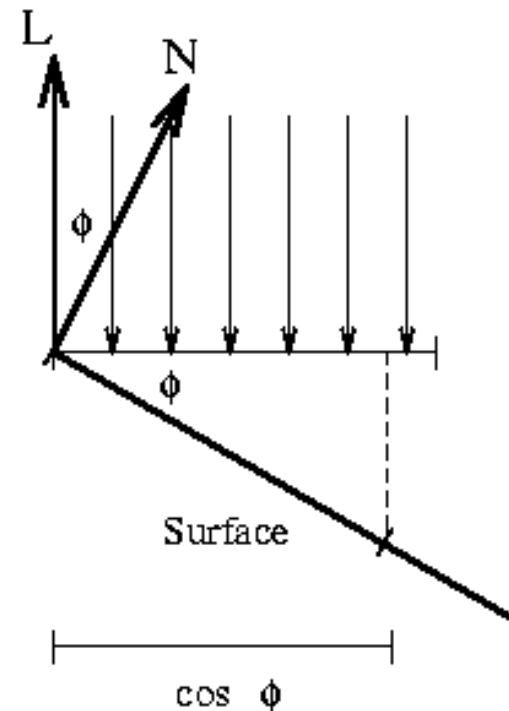
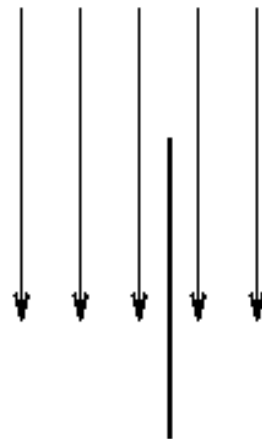
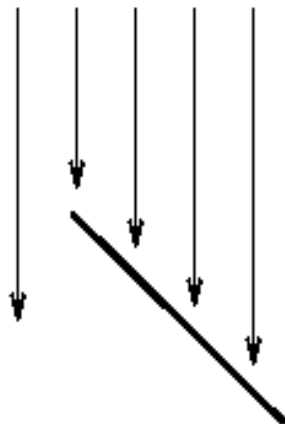
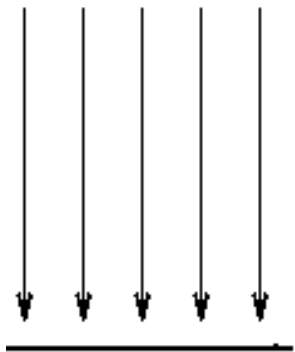
$$dE(p, \omega_i) = L_i(p, \omega_i) \cos \theta_i$$

В направлении ω_0 будет излучаться

$$dL_o(p, \omega_o) \propto dE(p, \omega_i)$$

Из предположения линейности и сохранения энергии

Освещенность пропорциональна площади распределения потока света от источника



Появляется косинус!

Вывод определения ДФО: фактически отношение падающего и исходящего света с учетом направления падения

$$dE(p, \omega_i) = L_i(p, \omega_i) \cos \theta_i$$

$$dL_o(p, \omega_o) \propto dE(p, \omega_i)$$



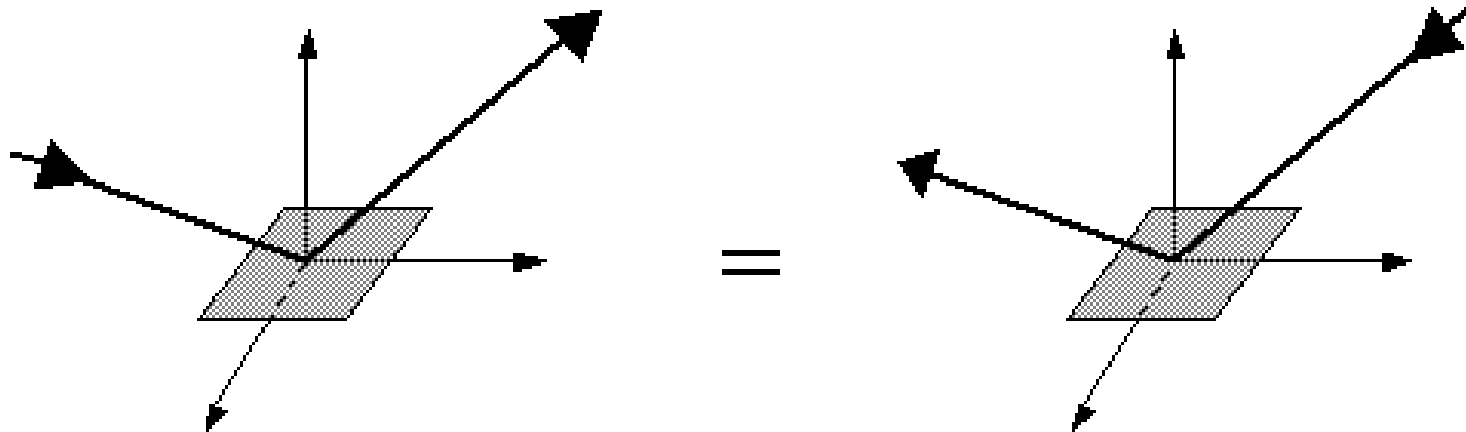
$$f_r(p, \omega_o, \omega_i) = \frac{dL_o(p, \omega_o)}{dE(p, \omega_i)} = \frac{dL_o(p, \omega_o)}{dL_i(p, \omega_i) \cos \theta_i d\omega_i}$$



ДФО

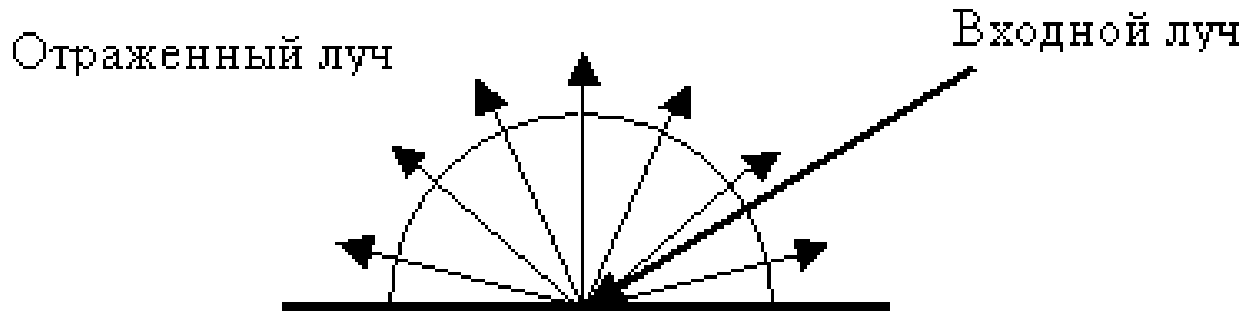
Свойство ДФО: обратимость

$$\forall \omega_o, \omega_i \quad f_r(p, \omega_o, \omega_i) = f_r(p, \omega_i, \omega_o)$$



Свойство ДФО: сохранение энергии

$$\int f_r(p, \omega_i, \omega') \cos \theta' d\omega' \leq 1$$



Расчет излучения точки поверхности через интегрирование по всем входящим направлениям

Для каждой длины волны!

Здесь учитываем только отражение

$$L(p, \omega_o) = \int_{\Omega} L_{o \text{ due to } i}(p, \omega_o, \omega_i) d\omega_i$$

$$f_r(p, \omega_o, \omega_i) = \frac{dL_o(p, \omega_o)}{dL_i(p, \omega_i) \cos \theta_i d\omega_i}$$

$$L(p, \omega_o) = \int_{\Omega} f_r(p, \omega_o, \omega_i) L_i \cos \theta_i d\omega_i$$

Интеграл освещенности

Расчет излучения точки поверхности: дискретный случай

$$L(p, \omega_o) = \int_{\Omega} f_r(p, \omega_o, \omega_i) L_i \cos \theta_i d\omega_i$$



$$L(p, \omega_o) = \sum_{j=0}^{n-1} f_r(p, \omega_o, \omega_i^j) L_i^j \cos \theta_i^j$$

ω_i^j - Направление на j-й источник света

θ_i^j - Угол между направлением на j-й источник и нормалью к поверхности

Лекция посвящена моделированию освещения и освещению в OpenGL

Моделирование освещения. ДФО

Локальные и глобальные модели.
Модель Фонга

Растеризация. Закраска Фонга и Гуро

Освещение в OpenGL

Локальные модели учитывают только первичные источники света, глобальные – все источники

Источниками энергии могут быть не только источники света, но и другие отражающие объекты



Такие взаимоотношения сложно учитывать

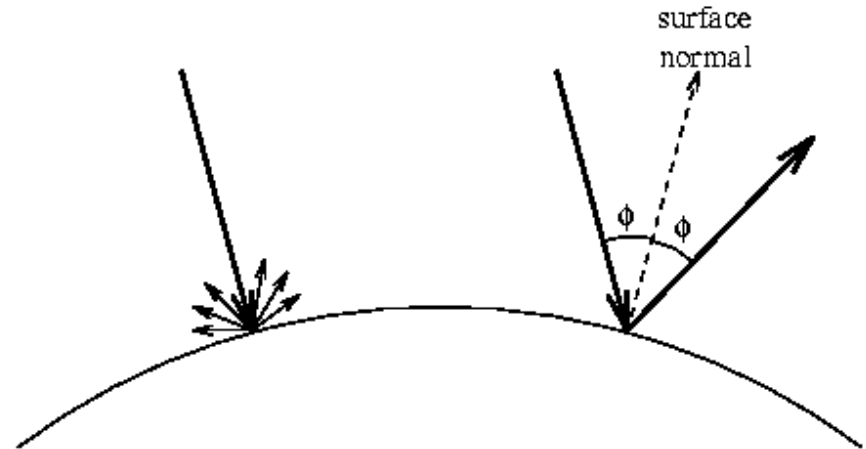


Выделяют локальные и глобальные модели освещения

Локальные модели при вычислении освещения в данной точке учитывают только положение этой точки относительно первичных источников света

Можно упростить расчет модели, ограничив передаваемые свойства материалов

- Диффузное отражение
 - матовый пластик, дерево и т.п.
 - модель Ламберта
- Идеально зеркальное отражение
 - зеркало
 - модель отражения
- Зеркальное отражение
 - блики на объекте
 - модели Фонга и Блинна



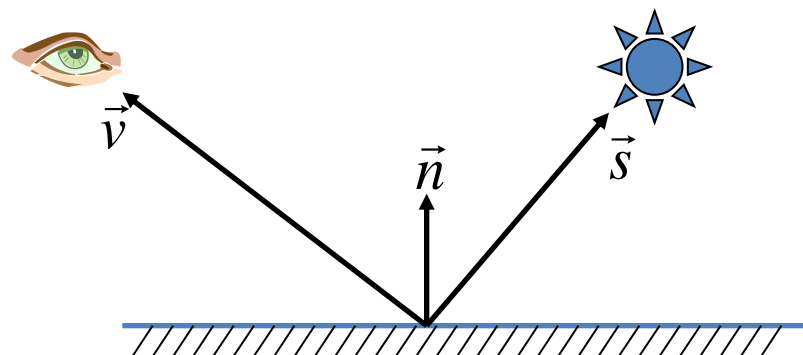
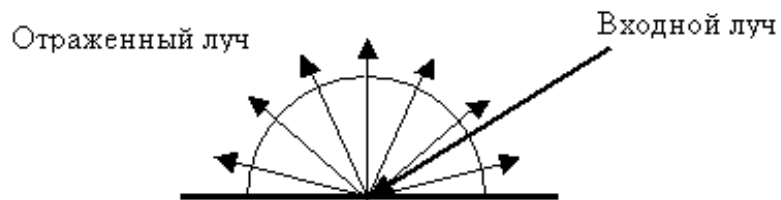
Модель Ламберта учитывает только идеальное рассеивание света

ДФО константна всегда
 $= C/\rho_i$

- C определяет процент отражения для данной длины волны

Для одного источника света

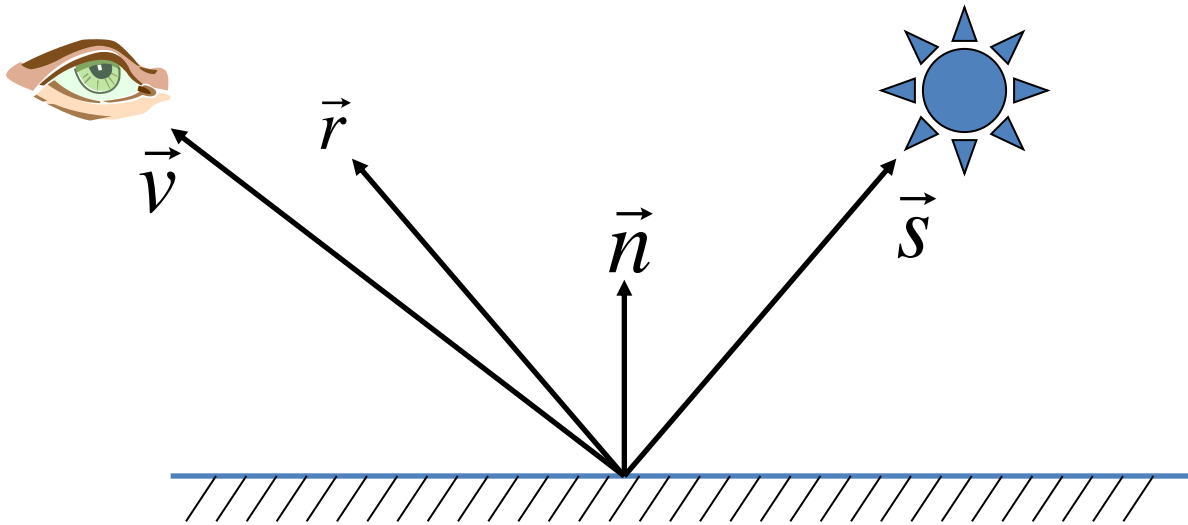
$$L_o = L_i k_d \underbrace{(\vec{s} \cdot \vec{n})}_{\cos \omega_i}$$



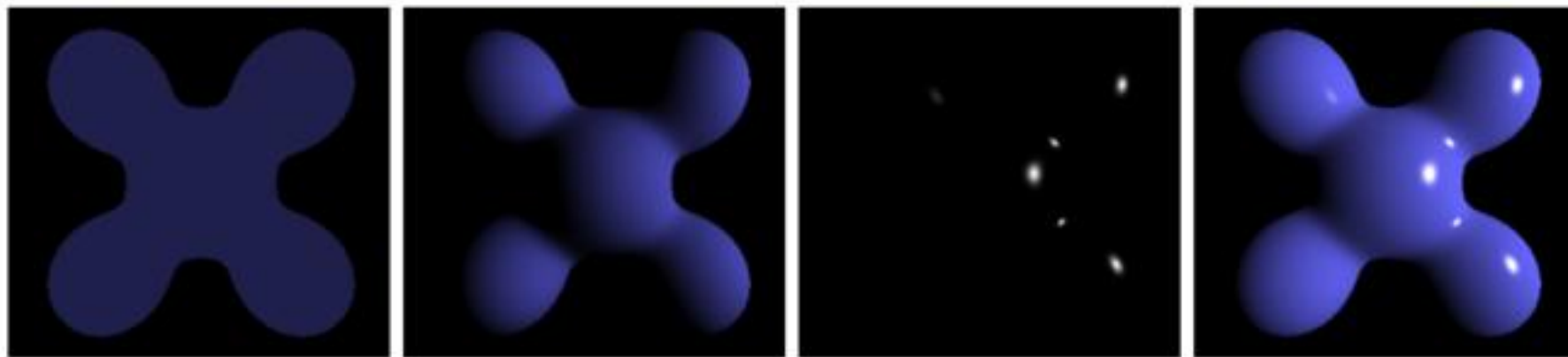
Модель Фонга добавляет в модель Ламберта зеркальное отражение

Добавляет эмпирический косинус для моделирования отражений (блеска)

$$L_o = k_a L_a + L_i (k_d (\vec{s} \cdot \vec{n}) + k_s (\vec{r} \cdot \vec{v})^{k_e})$$



Модель Фонга: пример



Ambient

+

Diffuse

+

Specular

=

Phong Reflection

Модель Фонга имеет неприятные особенности, но все равно очень широко применяется

Не является обратимой

Не сохраняет энергию

Зеркальная и диффузная составляющие BRDF – это оправдано?

Описывает материалы, содержащие отражающие и диффузные частицы

Пропорции частиц задают коэффициенты k_s , k_d

Лекция посвящена моделированию освещения и освещению в OpenGL

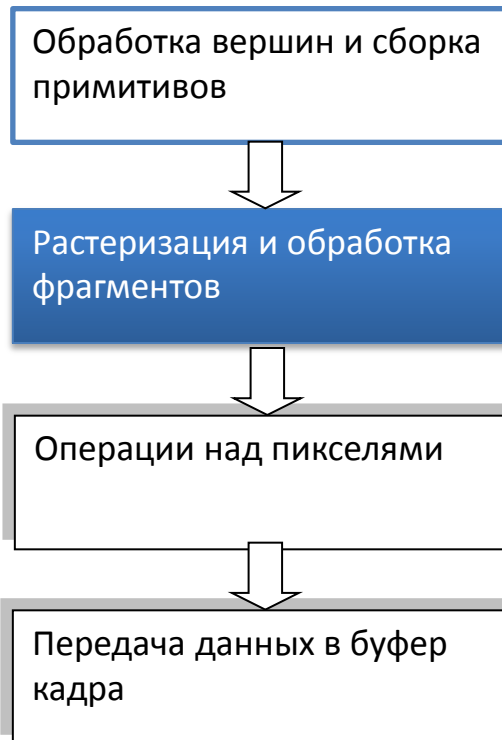
Моделирование освещения. ДФО

Локальные и глобальные модели.
Модель Фонга

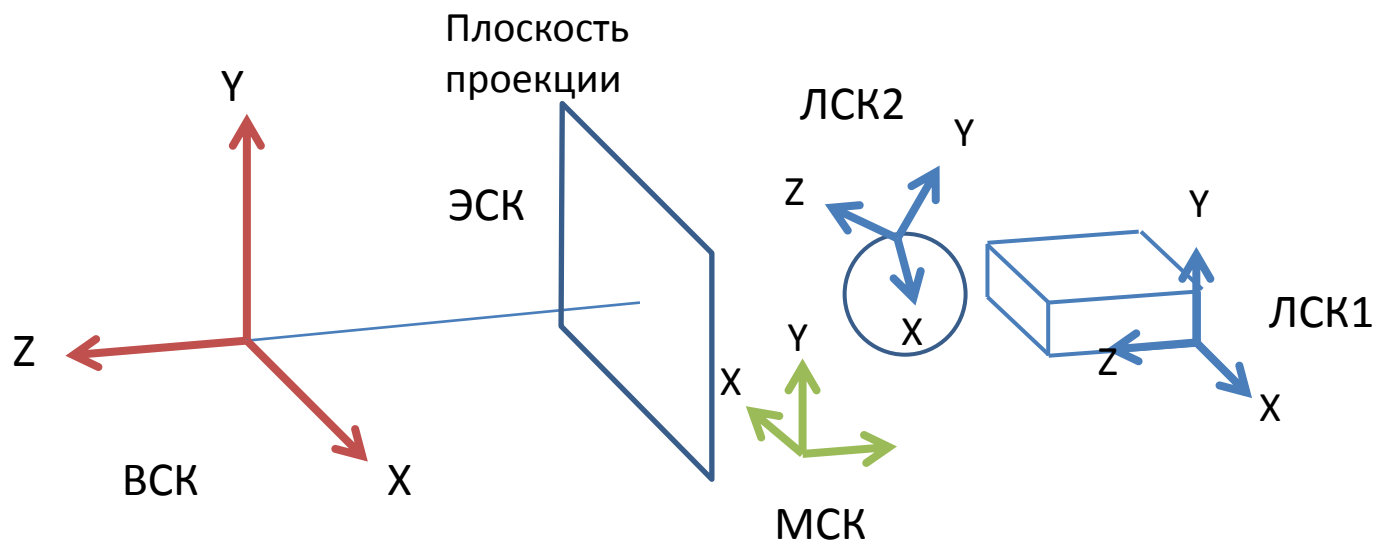
Растеризация. Закраска Фонга и Гуро

Освещение в OpenGL

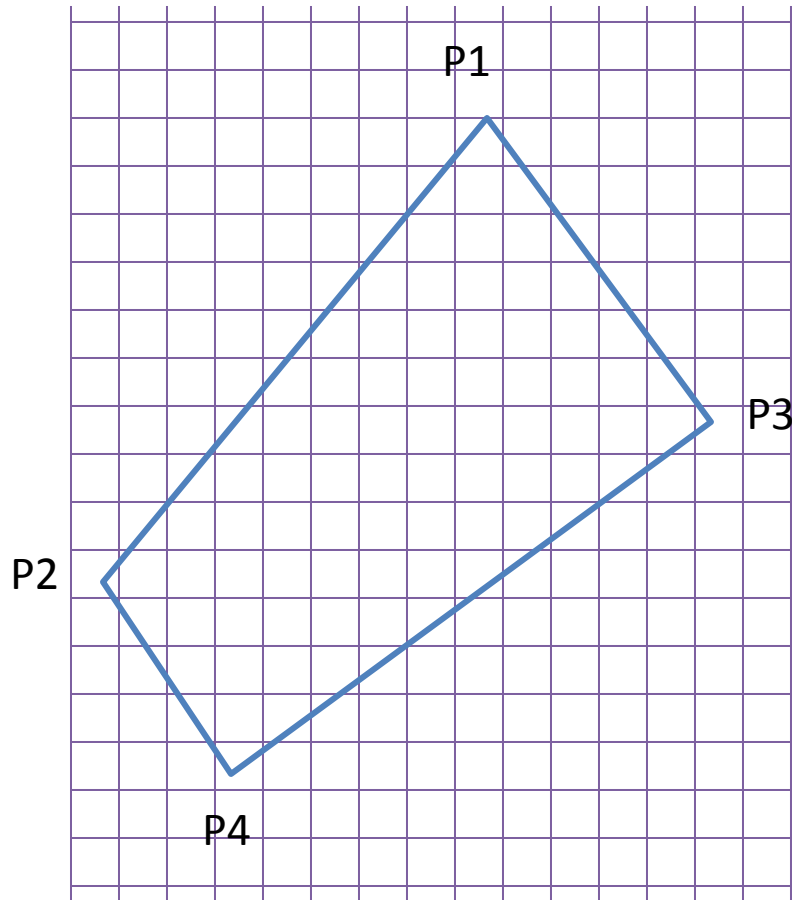
Конвейер OpenGL. Переходим к этапу растеризации и обработки фрагментов



Графический конвейер



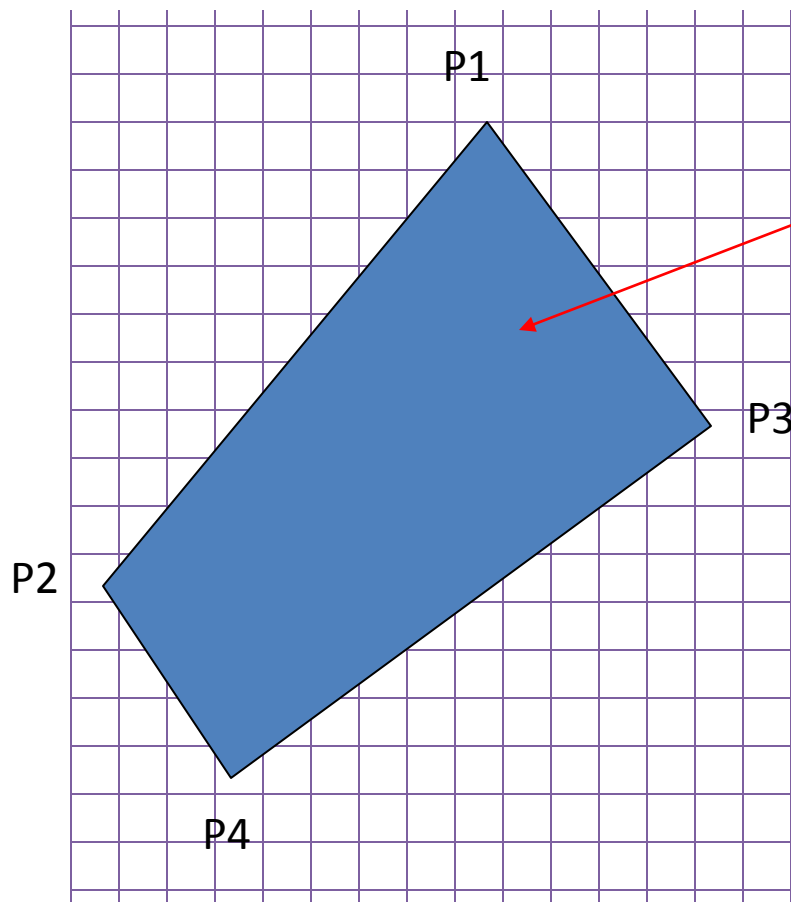
Задача этапа растеризации – рассчитать цвет пикселей, соответствующих примитиву в экранных координатах



После преобразований получили точки P1, P2, P3, P4

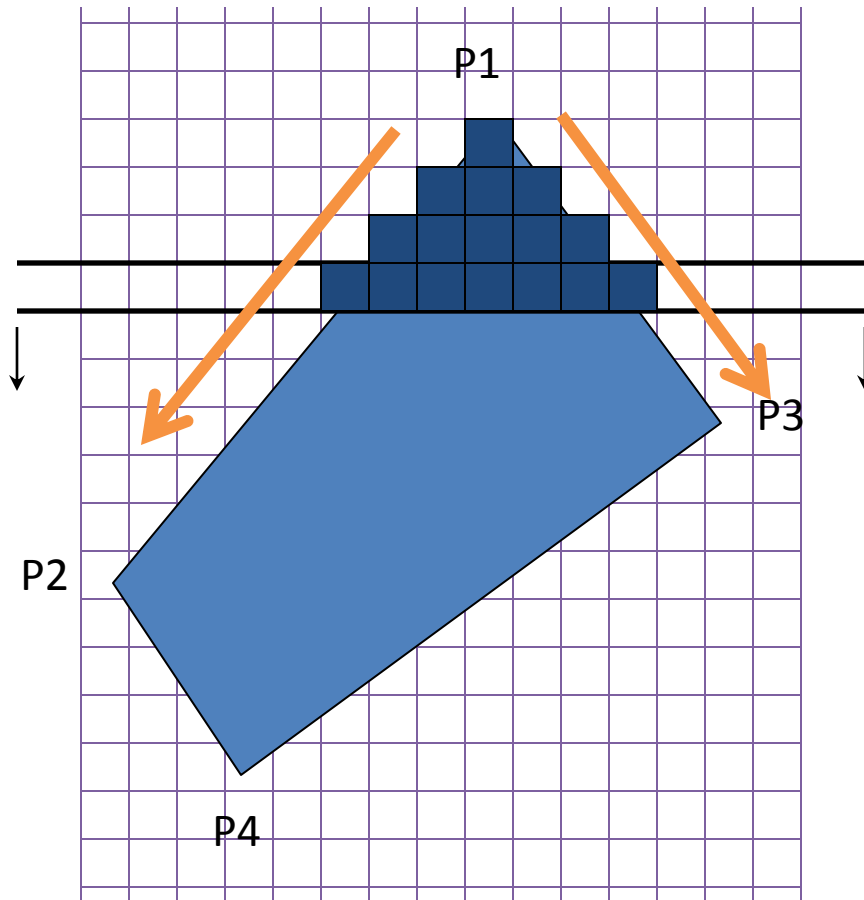
Переходим на этап **растеризации**

Три основных этапа вычисления цвета



1. Растеризовать примитив
2. Вычислить цвет каждого пикселя
3. Скомбинировать с цветом фона

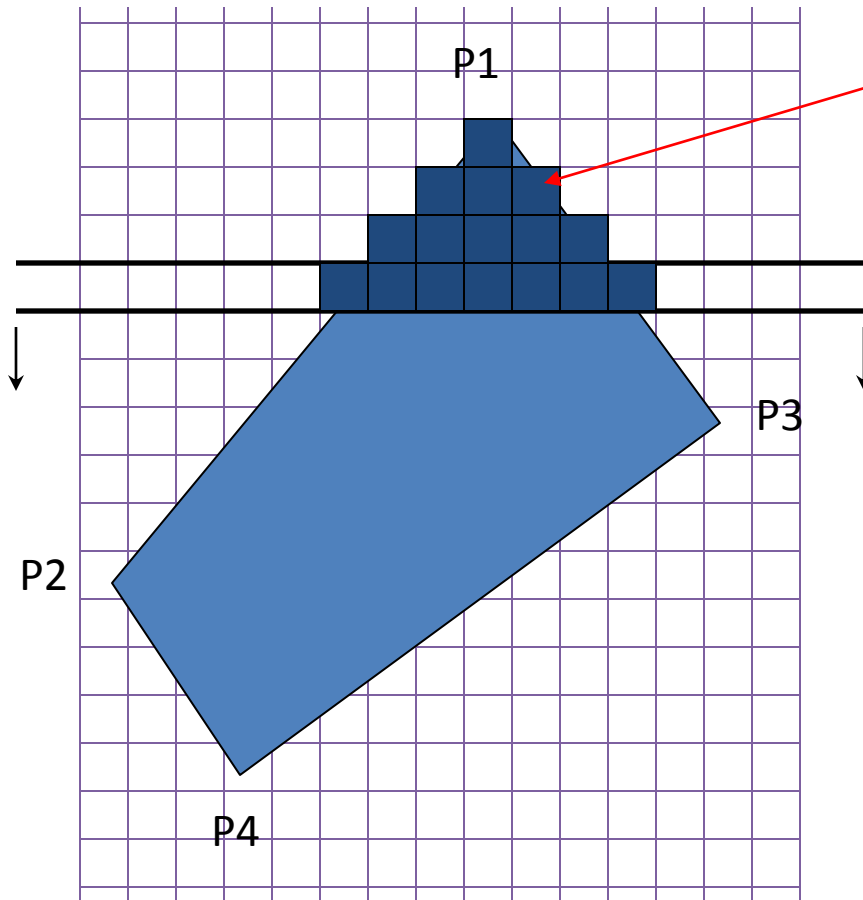
Растрезизация: процесс вычисления пикселей растра, принадлежащих примитиву



Линия
развертки
(scanline)

Алгоритм
построчной
развертки

Вычисление цвета пикселя: материал, текстура, фон

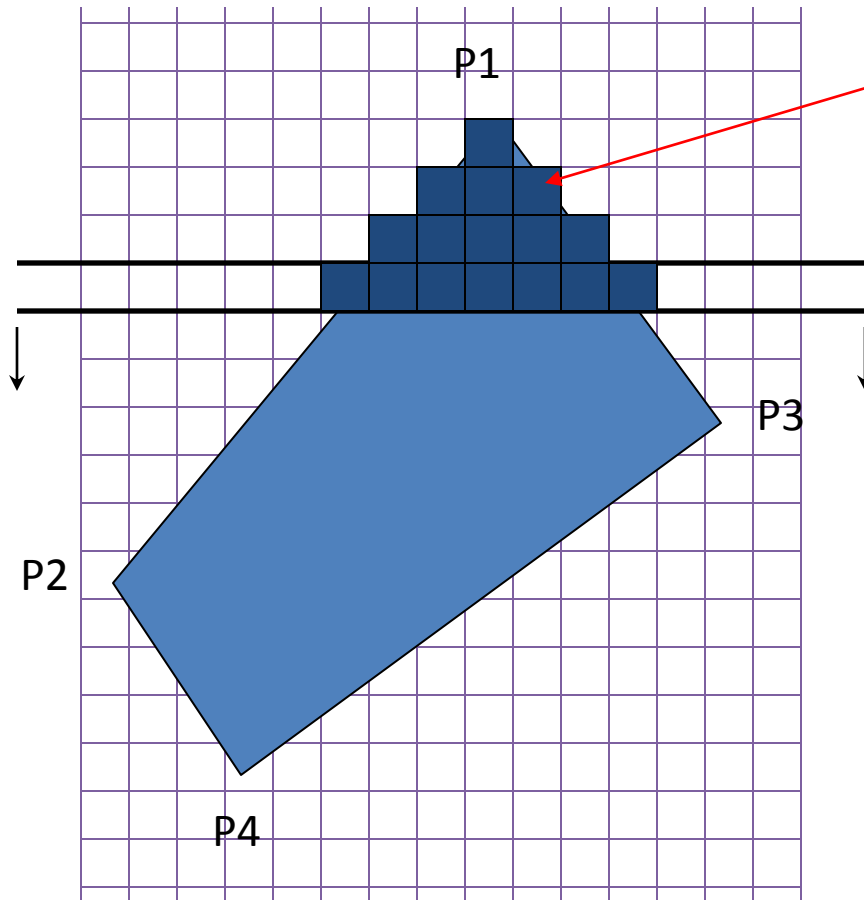


1. Цвет материала C_m
2. Цвет текстуры C_t
3. Цвет фона C_b

$$C = F1(C_f, C_b)$$

$$C_f = F2(C_m, C_t)$$

Вычисление цвета пикселя: цвет материала рассчитывается из модели освещения



1. Цвет материала C_m
2. Цвет текстуры C_t
3. Цвет фона C_b

$$C = F1(C_f, C_b)$$

$$C_f = F2(C_m, C_t)$$

Вычисление цвета материала: считаем в каждом пикселе или нет?

Варианты:

- Вычисление цвета по модели освещения для каждого пикселя (per-pixel shading)
- Вычисление на вершинах с последующей интерполяцией (vertex shading)
- Вычисление цвета для примитива (flat shading)

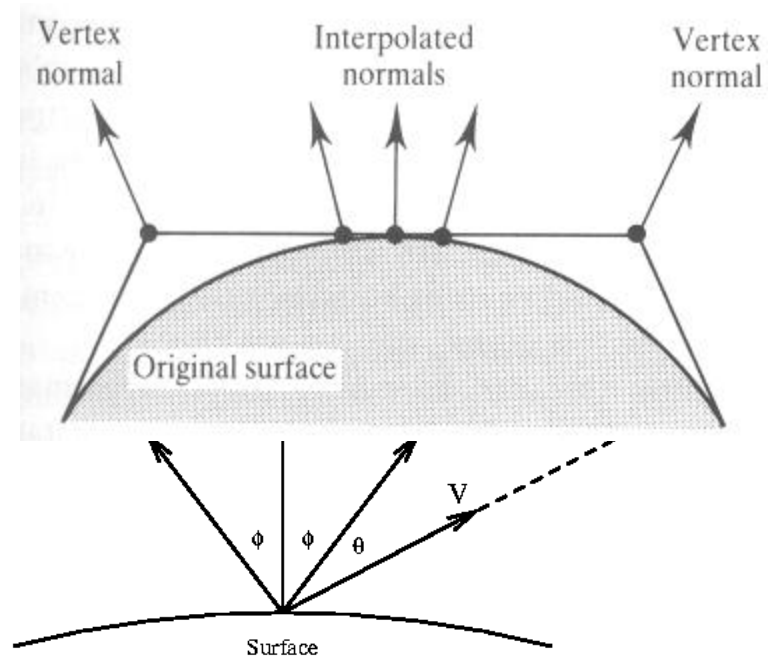
По-вершинное тонирование требует интерполяционной закраски

По-пиксельное тоже требует интерполяции, если нормали заданы на вершинах

Генерация цвета пикселя: нужна интерполяция, либо цвета, либо нормалей

Закраска Фонга (пописельное)

- Расчет нормалей в вершинах
- Линейная интерполяция нормалей по треугольнику
- Расчет цвета по формуле Фонга (или другой)

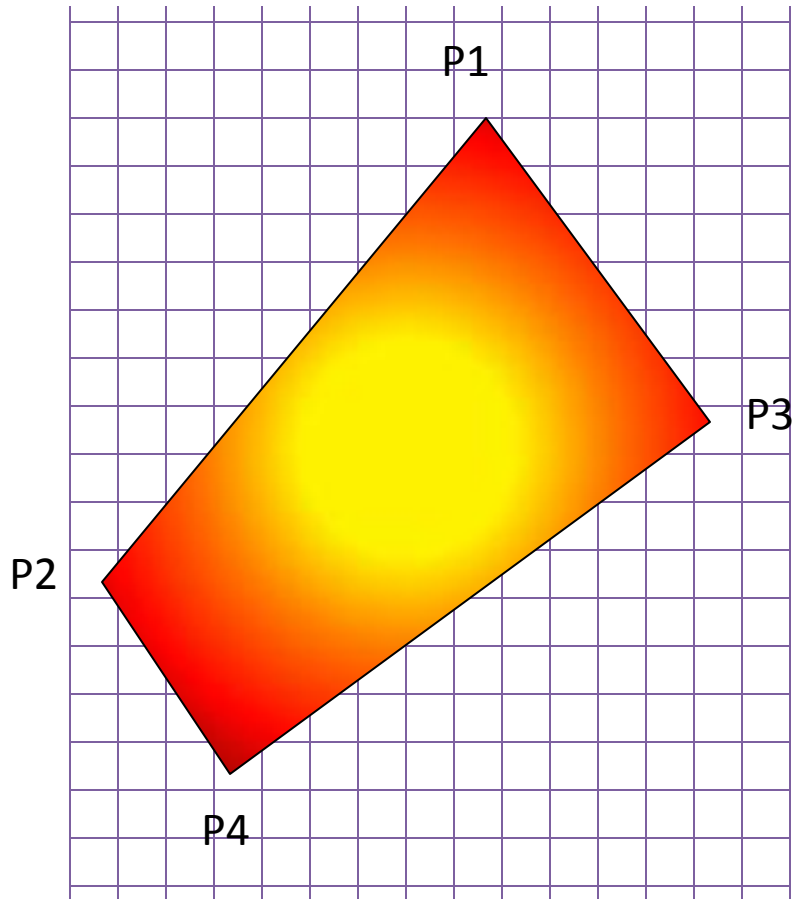


Закраска Гуро (повершинное)

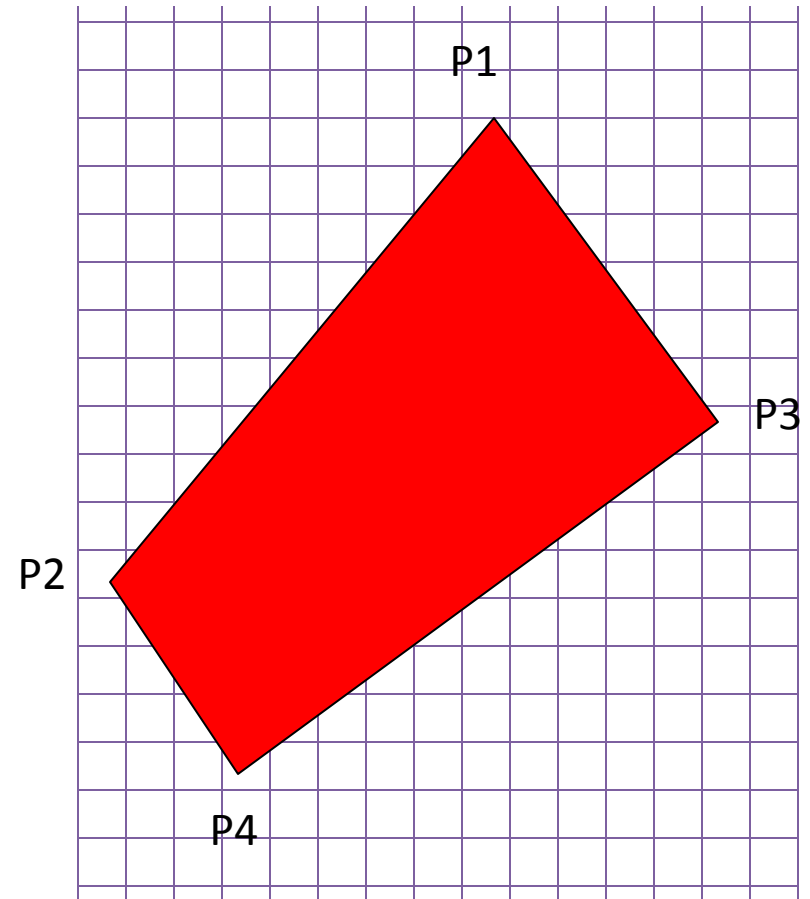
- Расчет цвета в вершинах
- Линейная интерполяция цвета

$$I_r = I_{pr}k_s(\cos \theta)^n \quad I_g = I_{pg}k_s(\cos \theta)^n \quad I_b = I_{pb}k_s(\cos \theta)^n$$

Проблемы закраски Гуро – можно пропустить блики



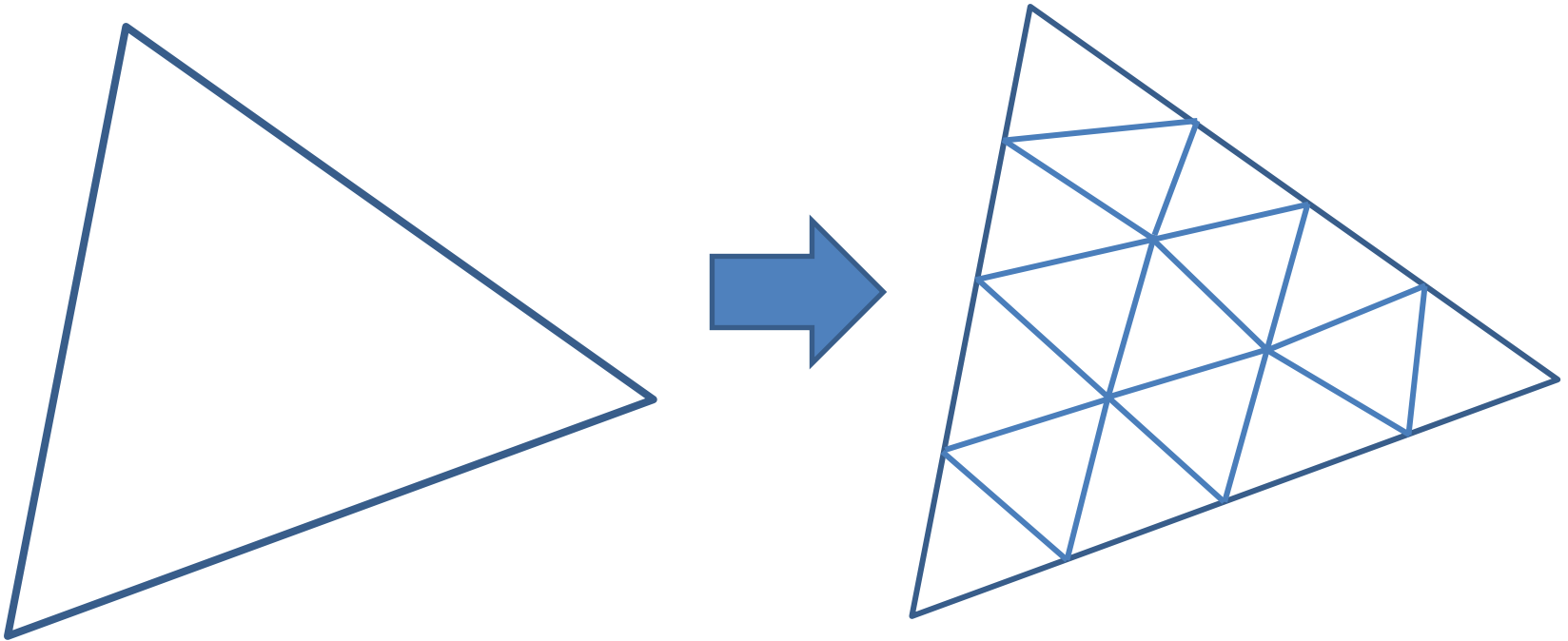
Фонг



Гуро

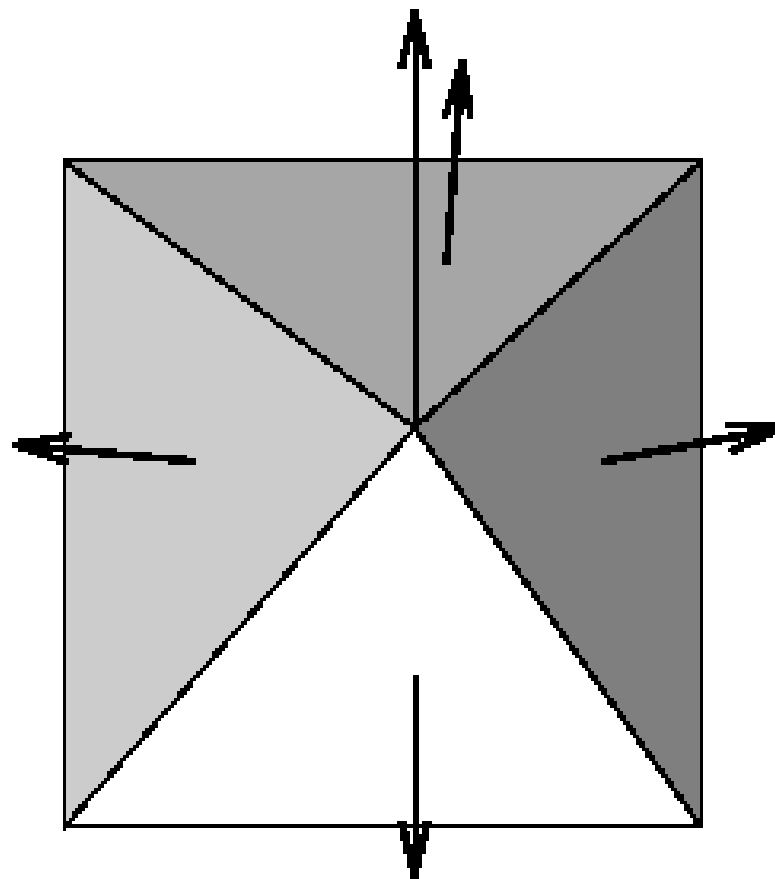
Решение проблемы закраски Гуро: подразбиение полигонов

Увеличивает сложность геометрии



Вычисление нормалей в вершинах

Нормали в вершинах
вычисляются
усреднением
нормалей смежных
граней

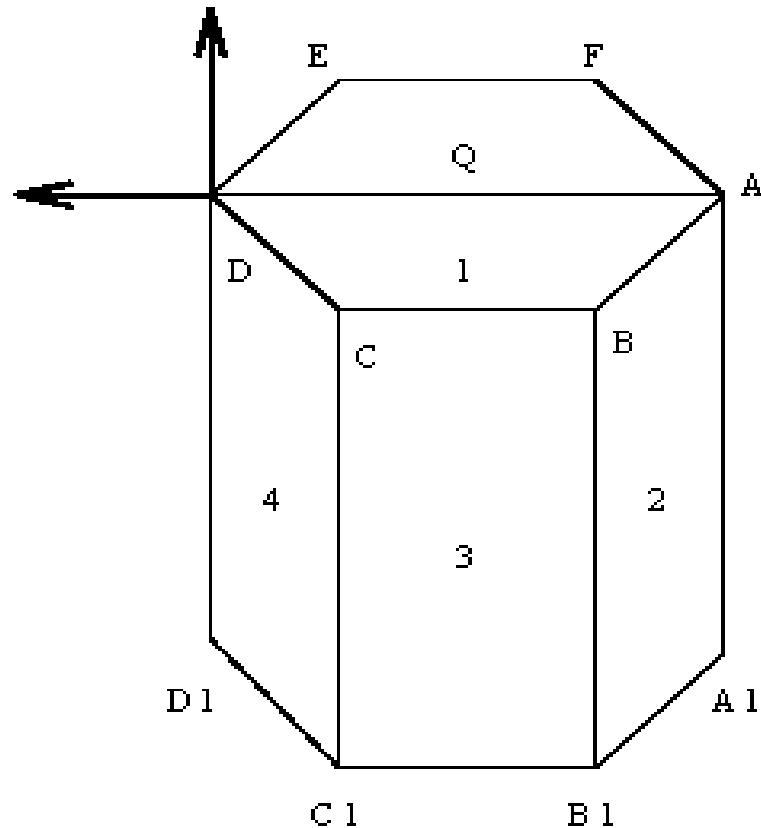


Для корректной закраски на стыках поверхности необходимо «клонирование» вершин

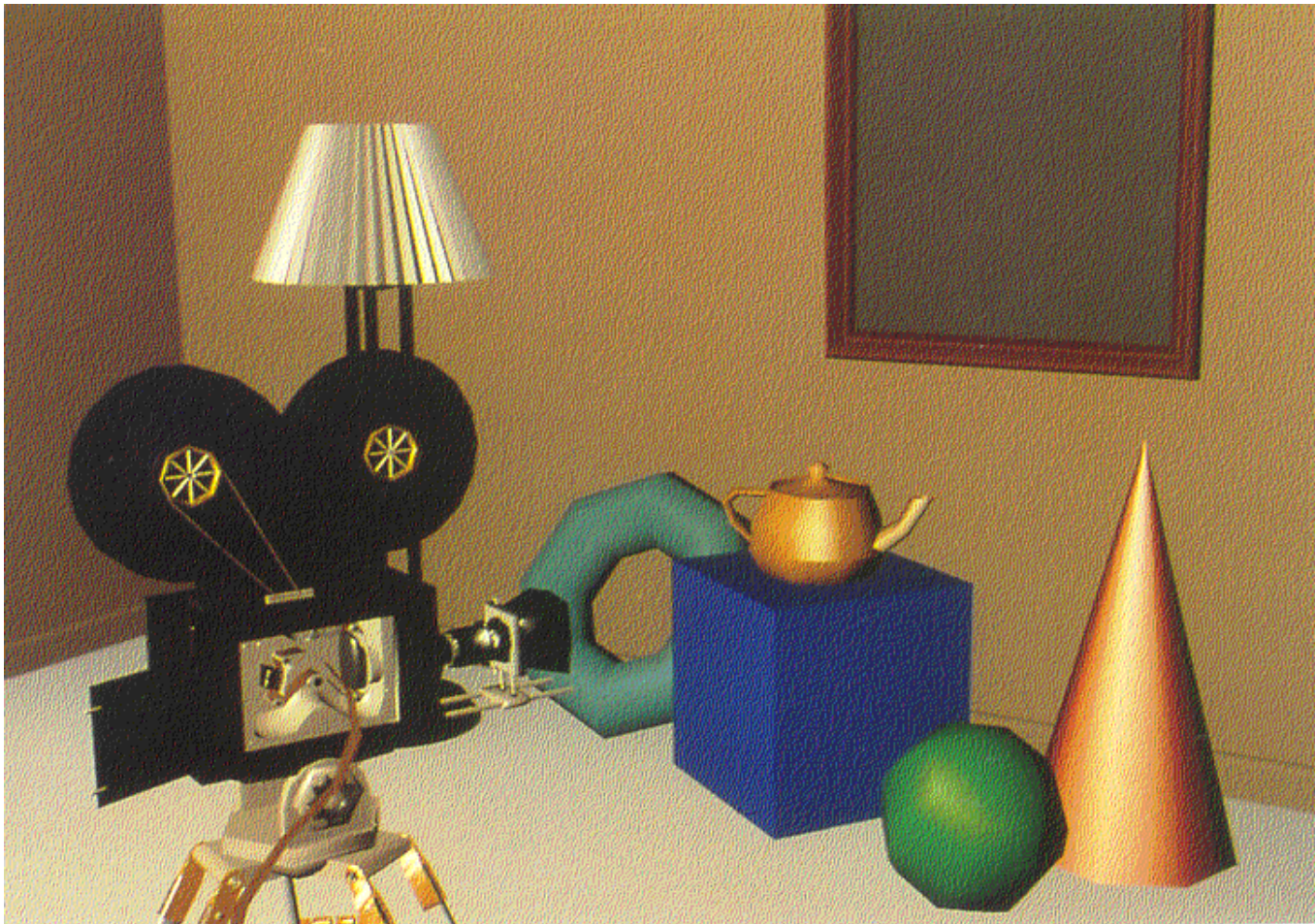
В вершине D нужно иметь две нормали:

- Одна нормаль для гладкой закраски боковой поверхности
- Другая нормаль для закраски торца

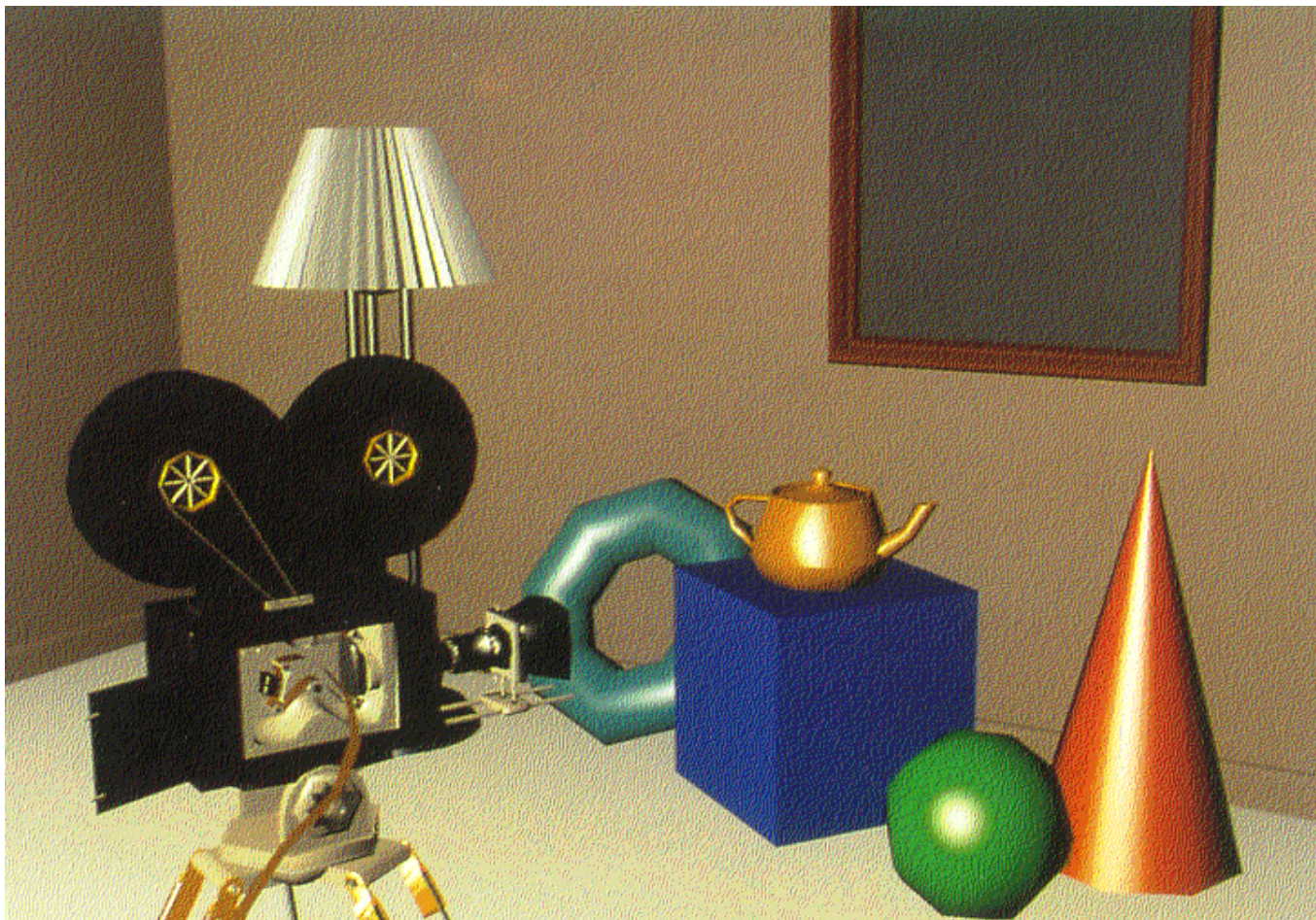
На острых ребрах нормали дублируются



Закраска Гуро (Gouraud) (зеркальное “specular” отражение)



Закраска Фонга (Phong) (зеркальное отражение)



Лекция посвящена моделированию освещения и освещению в OpenGL

Моделирование освещения. ДФО

Локальные и глобальные модели.
Модель Фонга

Растеризация. Закраска Фонга и Гуро

Освещение в OpenGL

Освещение в OpenGL: Модель Фонга, закраска Гуро

Модель Фонга

- Вычисляется на вершинах
- Закраска Гуро или плоская

Составляющие модели освещения

- Свойства материала поверхности
- Свойства источника света
- Свойства модели освещения

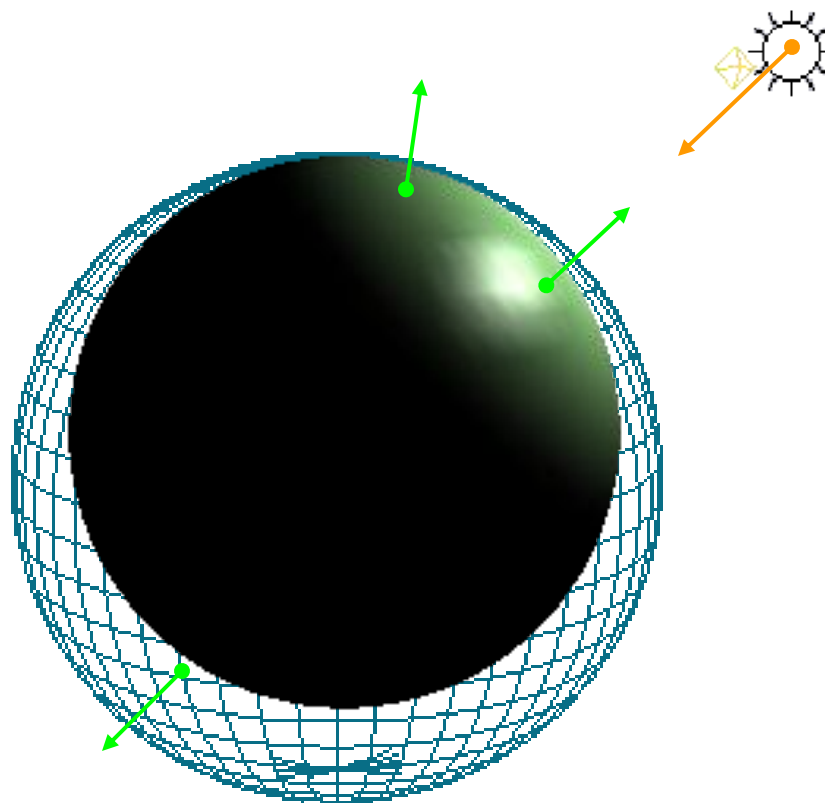
Пример освещения

AMBIENT

DIFFUSE

SPECULAR

shininess



Свойства материала

Определение свойств материала для примитива

`glMaterialfv (face, property, value)`

`GL_DIFFUSE`

`GL_SPECULAR`

`GL_AMBIENT`

`GL_EMISSION`

`GL_SHININESS`

Свойства источника света

`glLightfv (light, property, value)`

- цвет источника
- положение
- затухание

Внимание: при задании положения источника света к нему применяется текущий набор матриц преобразования (модельно-видовая)

Типы источников света

OpenGL поддерживает два типа источников света

- Локальные (точечные) источники
- Бесконечно удаленные (параллельные) источники

Тип определяется координатой w

- $w = 0$ параллельный источник
- $w \neq 0$ точечный источник $(x / w, y / w, z / w)$

Точечные источники могут быть

- Всенаправленные (omni)
- Прожекторного типа (spotlight)

Особенность: где нужно задавать положение источника света

- `glMatrixMode(GL_MODELVIEW);`

Видовое пространство.
Свет приделан к камере

- `gluLookAt(..);`

Виртуальная
камера

Мировое пространство.
Свет зафиксирован в
сцене

- `glTranslate(...);`

- `glRotate(...);`

- `glTranslate(...);`

Модельное
преобразование

Модельное
пространство.
Свет приделан к
объекту

- `glBegin(...);`

- ...

- `glEnd();`

Геометрия

Итоги

- Задача моделирования освещения = задача выбора нужной аппроксимации перемещения электромагнитной энергии + модель восприятия
- Для описания взаимодействия света и материала используется понятие ДФО
- Модели, не учитывающие вторичного освещения, называются локальными
- Модель Фонга – наиболее распространенная локальная модель
- Растеризация – быстрый способ получения дискретизированного примитива.
- Заливки Гуро и Фонга
- Освещение в OpenGL построено на модели Фонга
 - Положение источников света задается так же, как и положение объектов!