Текстуры.
Удаление невидимых поверхностей.
Композиты

Алексей Викторович Игнатенко

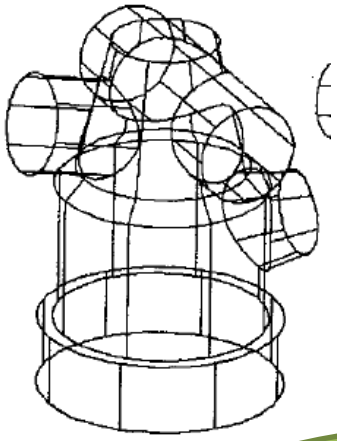
Лекция 11

Три основных темы, все связаны с этапом растеризации

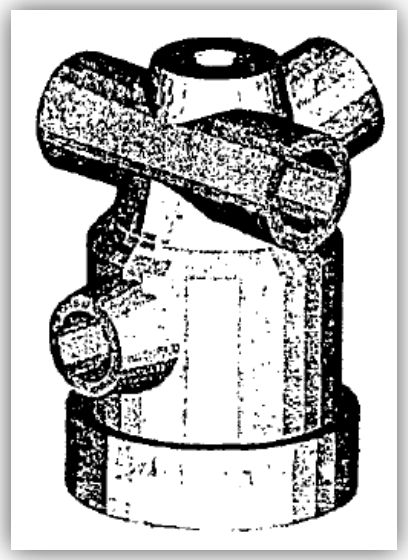
- Текстурирование
- Удаление невидимых поверхностей
- Композиты

Графический процесс

Геометрическая модель
Модель освещения
Модель анимации

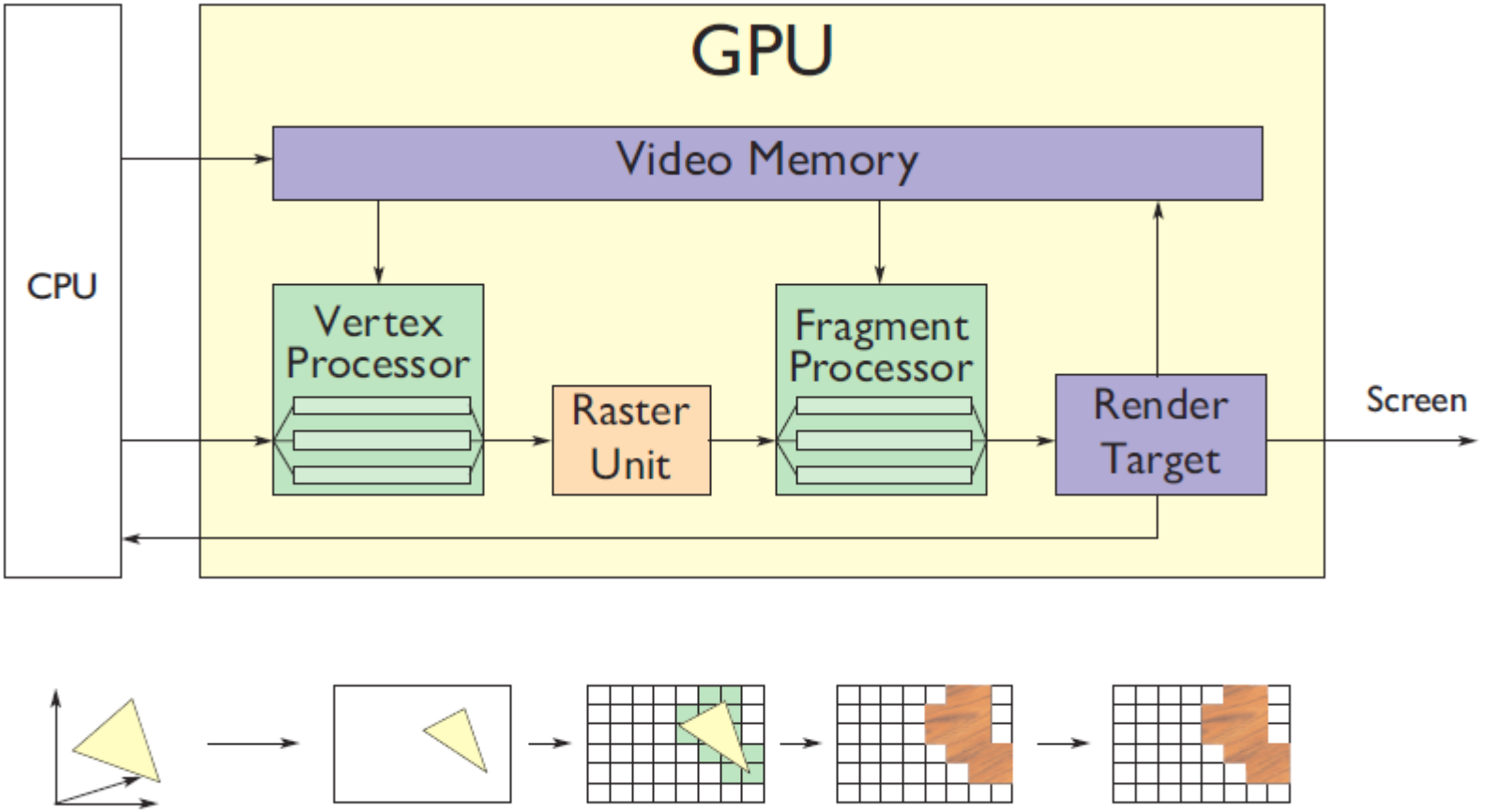


Модель → Алгоритм синтеза → Изображение

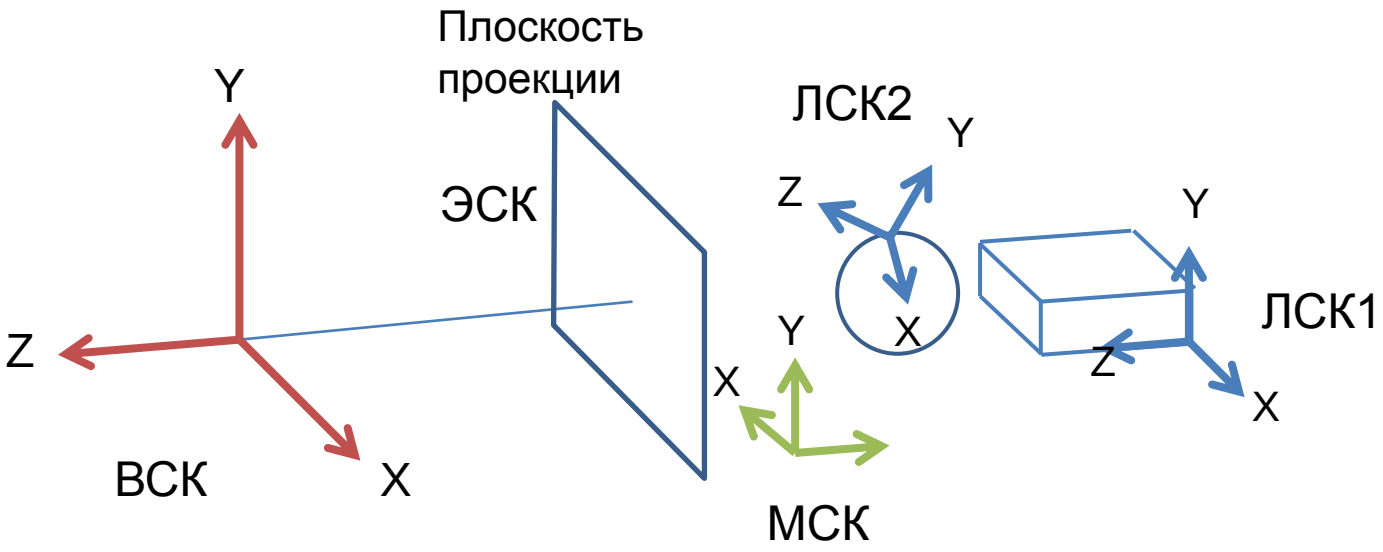


Получение проекции
Заливка

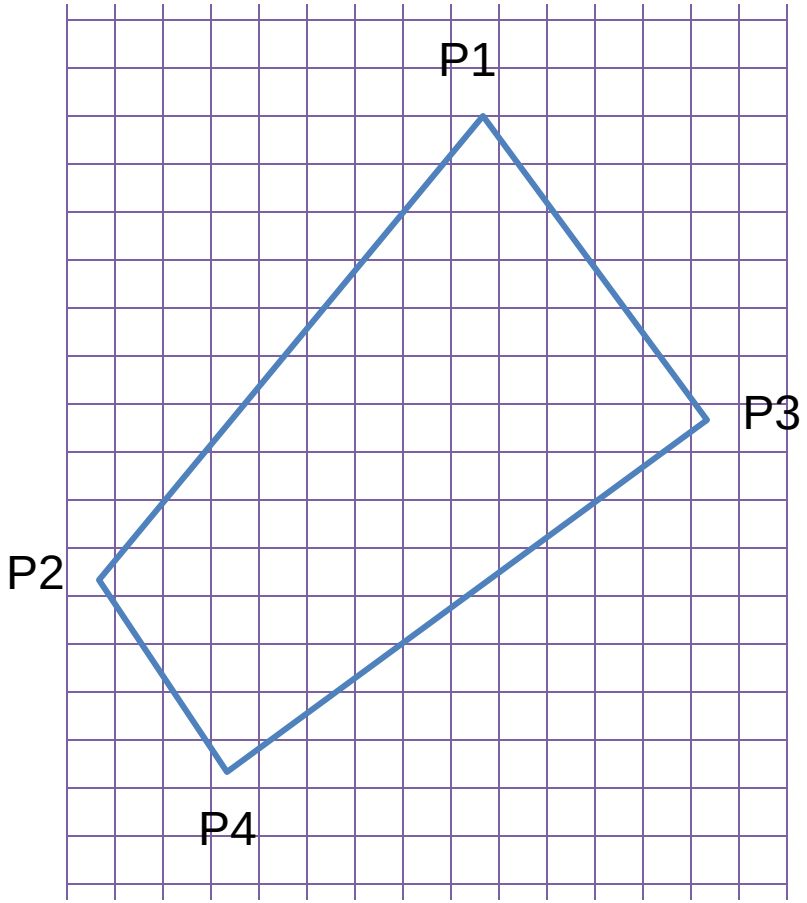
Конвейер OpenGL. Переходим к этапу операций над пикселями



Графический конвейер



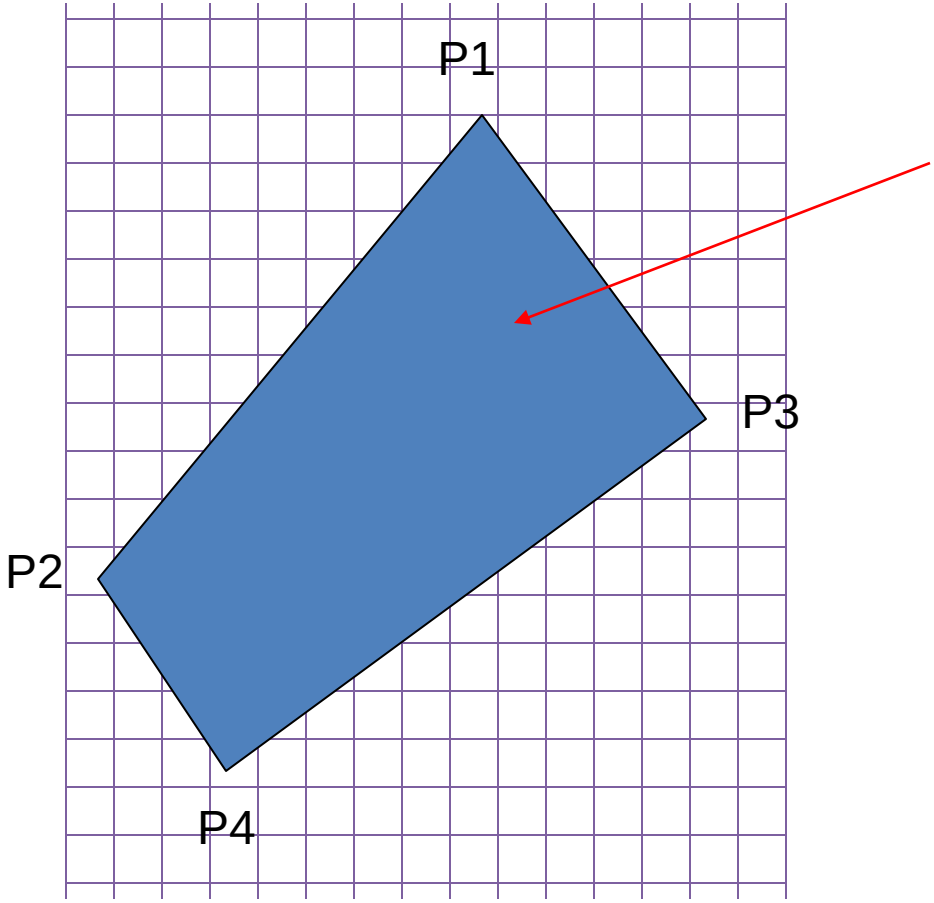
Задача этапа растеризации – рассчитать цвет пикселей, соответствующих примитиву в экранных координатах



После преобразований получили точки
P1, P2, P3, P4

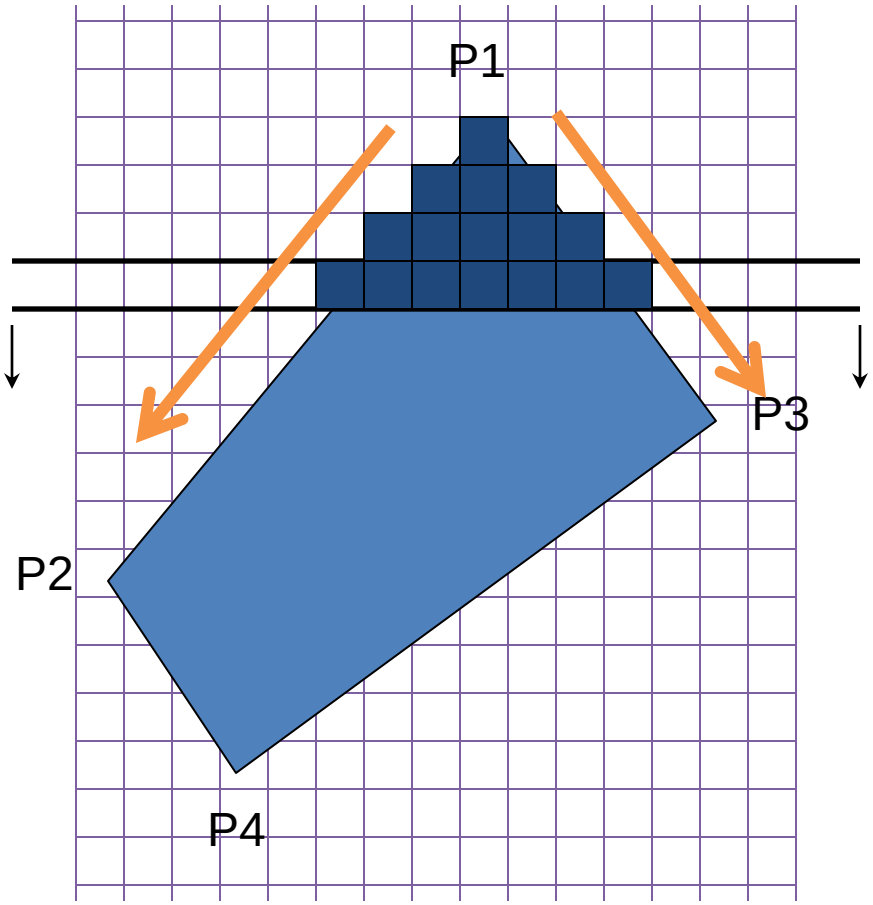
Переходим на этап **растеризации**

Три основных этапа вычисления цвета



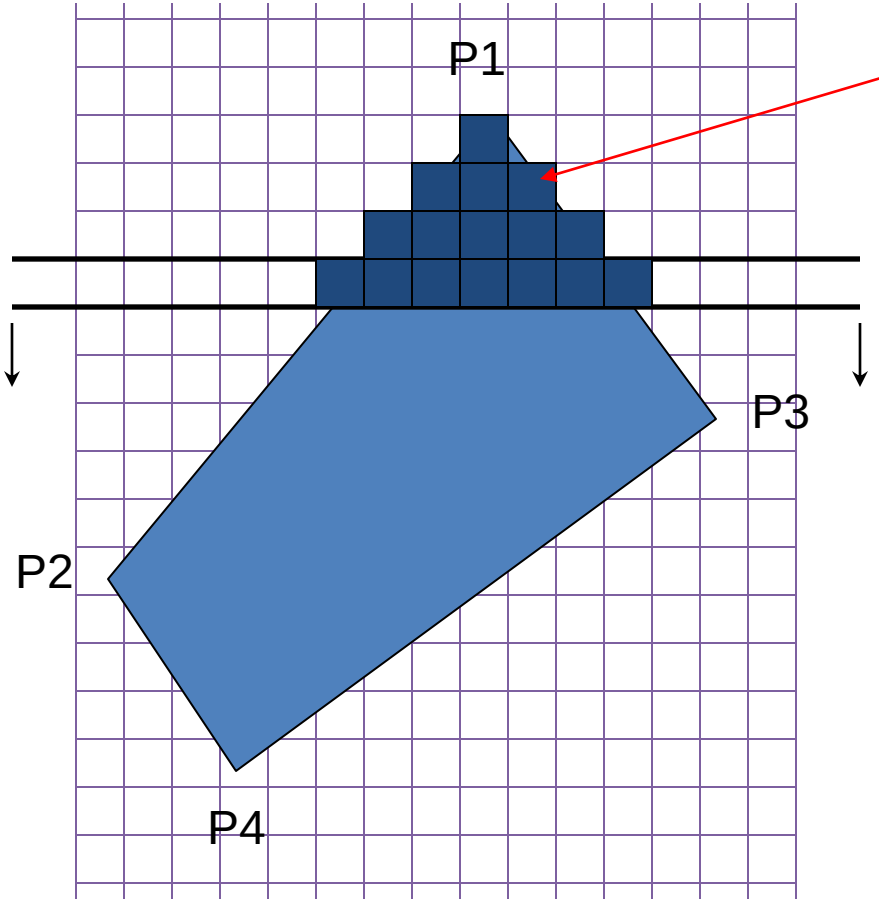
1. Растеризовать примитив
2. Вычислить цвет каждого пикселя
3. Скомбинировать с цветом фона

Растеризация: процесс вычисления пикселей растра, принадлежащих примитиву



Линия развертки (scanline)

Вычисление цвета пикселя: материал, текстура, фон

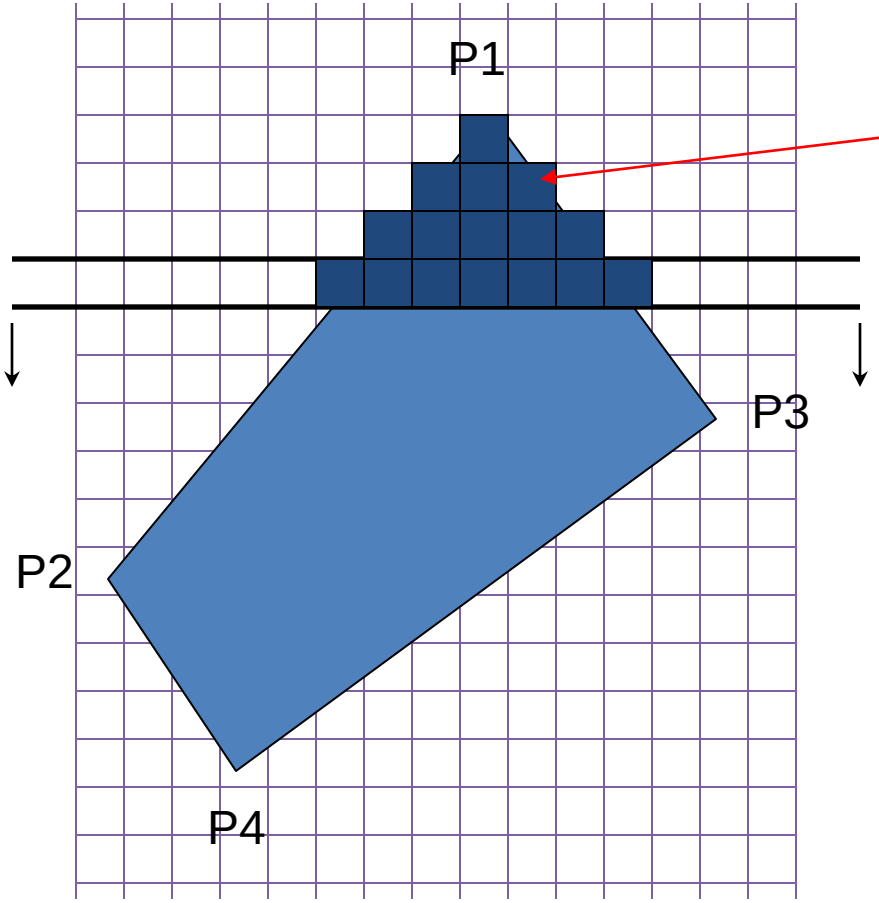


1. Цвет материала C_m
2. Цвет текстуры C_t
3. Цвет фона C_b

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

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

Вычисление цвета пикселя: материал посчитали, теперь нужен цвет текстуры



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

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

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

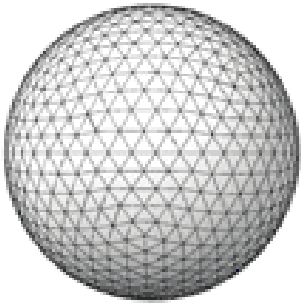
Отображение текстуры: «натягивание» изображения на 3D модель

Общее отображение текстуры

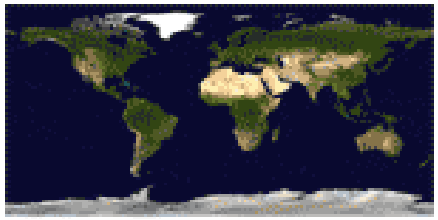
- Узор, определенный в 2D области, «наклеивается» на объект как кусок обоев и, фактически становится частью объектной базы данных.
- Когда объект перемещается, текстурный узор перемещается вместе с ним

Разнообразие технологий

- View-dependent mapping techniques.
- Bump mapping techniques.
- Displacement mapping techniques
- …



Sphere with no texture



Texture image

Sphere with texture

(c) http://en.wikipedia.org/wiki/Texture_mapping

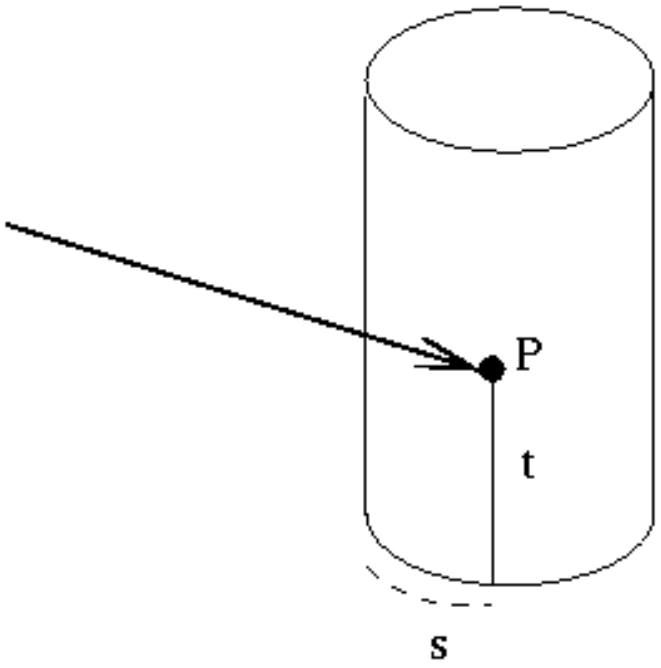
Две основные задачи: отображение и применение

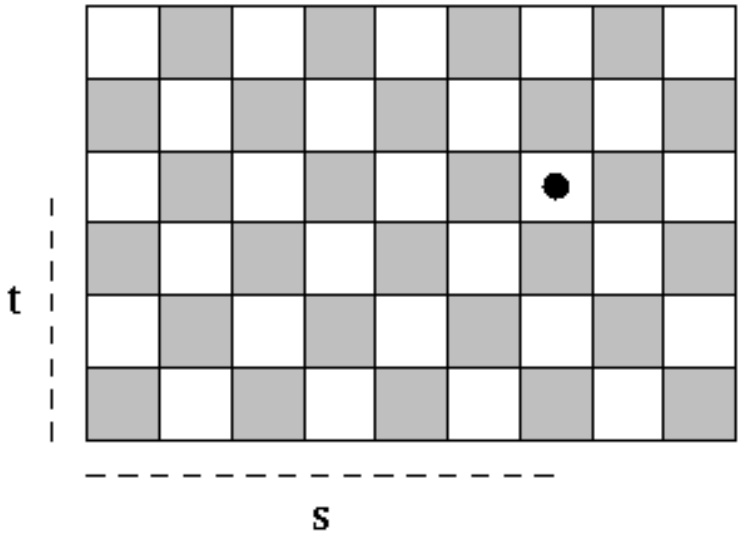
Текстура – часть модели освещения и часть геометрической модели

Как осуществляется отображение 2D -> 3D?

Какой атрибут или параметр модулируется, чтобы получить желаемый эффект?

Пример отображение текстуры: обернуть изображение вокруг цилиндра

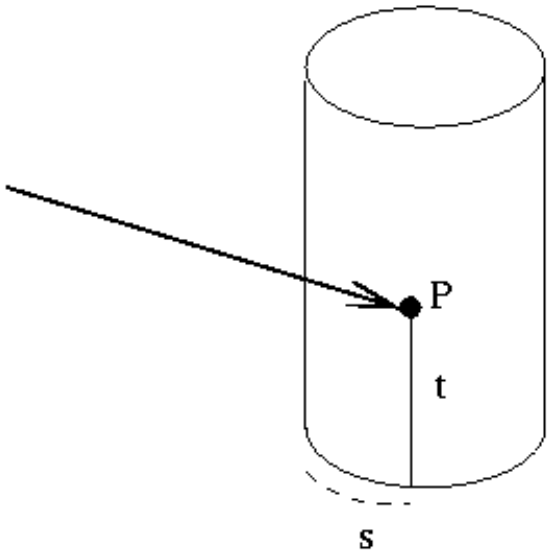


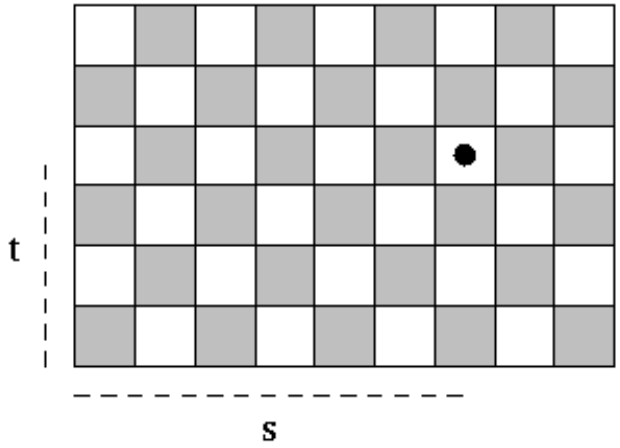


Пример отображение текстуры: считаем координаты в текстуры как (угол, высота)

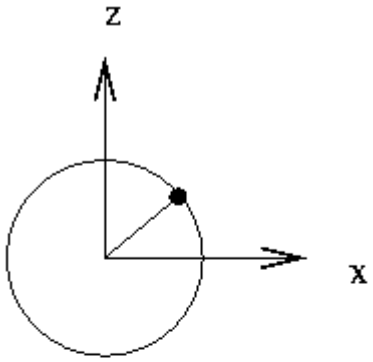
P - точка нанесения текстуры

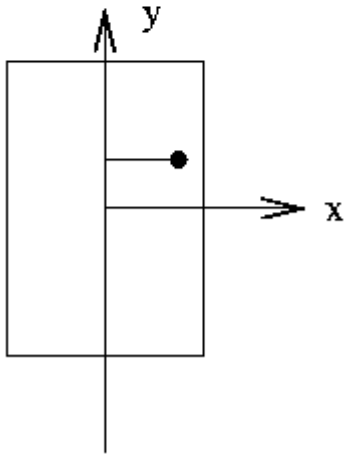
Перевести P в параметрические координаты (s,t)
s - угловая координата в радианах от оси X
t - координата высоты

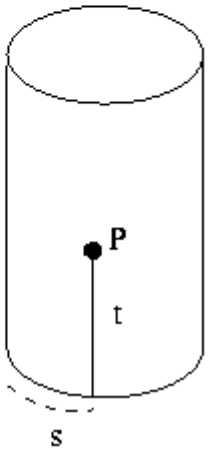




Пример отображение текстуры: получение результирующих формул







Parametric Equation:

$$x = \cos 2\pi s$$

$$y = 2t - 1$$

Solve for (s,t):

$$s = \frac{1}{2\pi} \arccos x$$

$$t = (y+1)/2$$

Аналогично можно задать отображение текстуры на другие поверхности

Параметрические (B-сплайн) поверхности

Полигональные поверхности

Неявно заданные поверхности

Отображение текстуры для полигональных поверхностей: соответствие на вершинах

Задать соответствие между координатами изображения текстуры и точками объекта

Для полигонального предсталения используется соответствие на вершинах

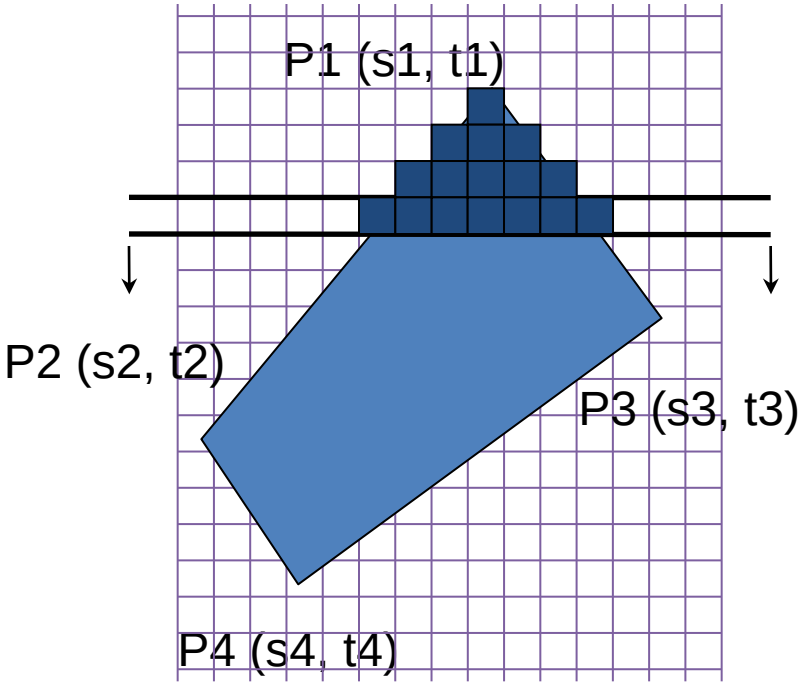
- Линейная интерполяция внутри полигона (Гуро)
- Перспективная коррекция

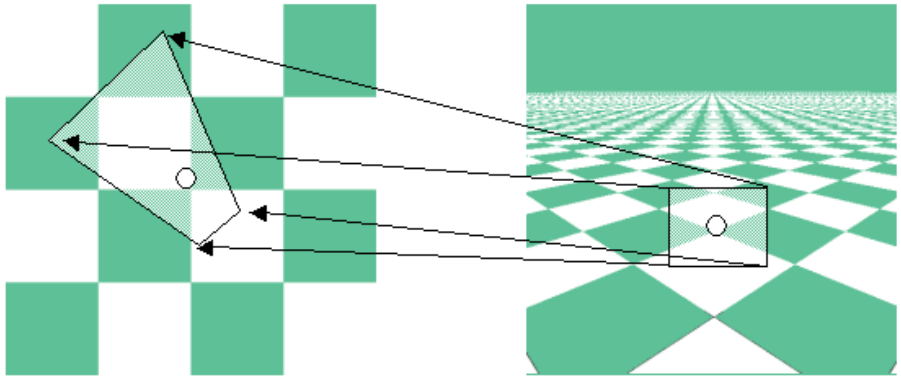
Цвет из текстуры может модулировать какой-либо коэффициент модели освещения

$$I_r = k_a * I_a + I_i \, (k_d * (N.L) + k_s * (R.V)^{\alpha})$$

- отражение от поверхности - surface color texture
- вектор нормали N - bump mapping
- коэффициенты k_d, k_s, α - specularity mapping
- падающий свет I_i - environment mapping
- геометрия - displacement mapping
- прозрачность - transparency mapping

Визуализация текстуры: для каждого пикселя находим отображение назад в текстуру

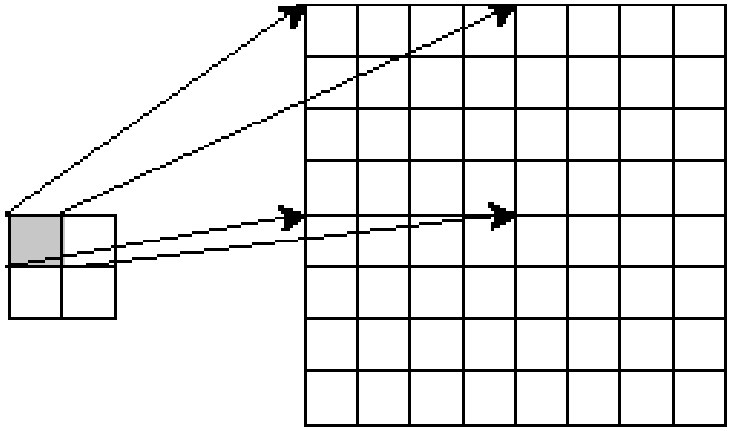




Нужна фильтрация, т.к. образ пикселя в текстуре не попадает на сетку текстуры!

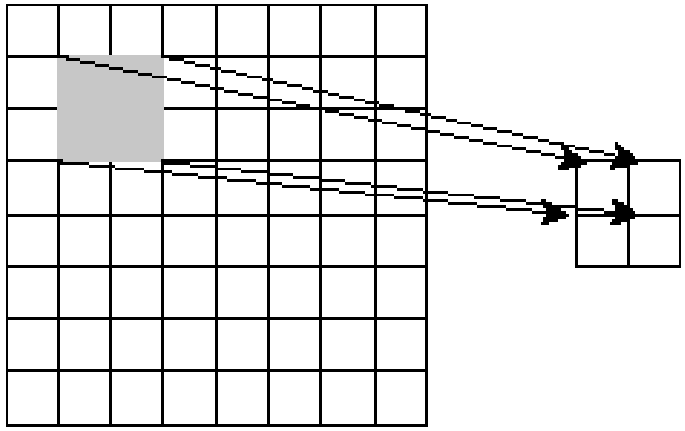
Фильтрация текстур

Текстура Экран



Magnification

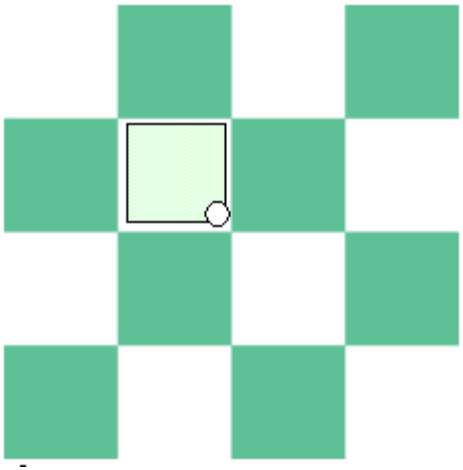
Текстура Экран



Minification

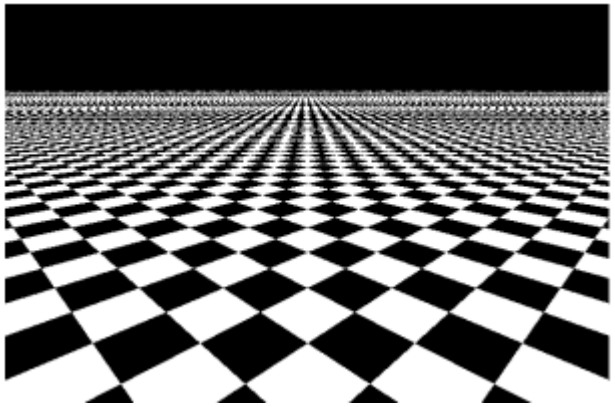
Метод ближайшего соседа: берем ближайший тексель

Выбирается цвет ближайшего соответствующего пикселя текстуры



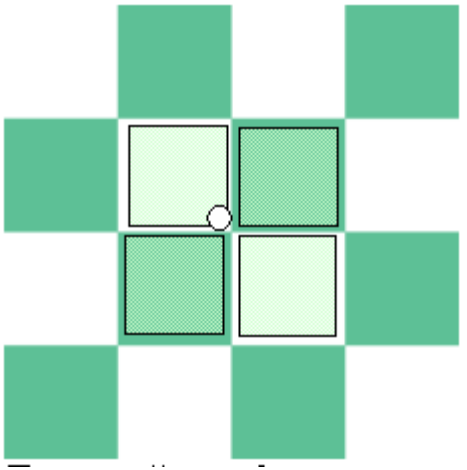
Быстрый метод

Низкое качество



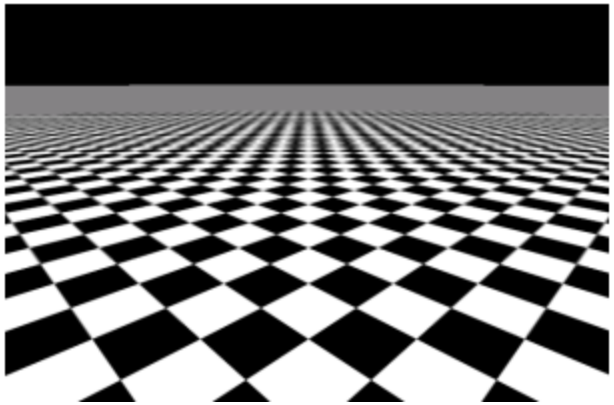
Билинейная фильтрация: усредняем ближайшие четыре пикселя

Четыре пикселя текстуры, ближайшие к текущей точке экрана



Результирующий цвет – смешение цветов этих пикселей

Быстро, достаточно качественно



За исключение случаев, когда смотрим на плоскость под углом

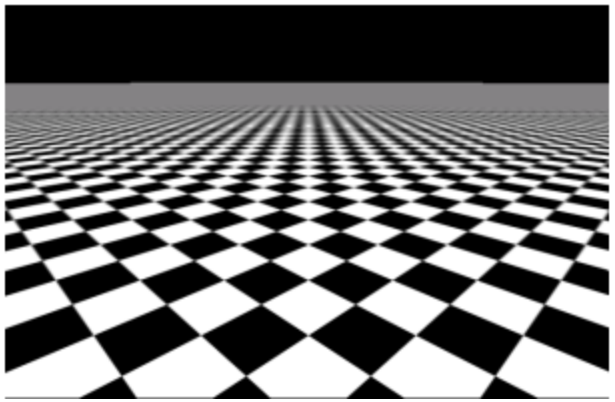
Mipmapping (multum in parvo): вычисляем разные размеры фильтра заранее

Выбирается подходящий уровень мипмапа

- чем больше размер "образа" пикселя в текстуре, тем меньший мипмап берется

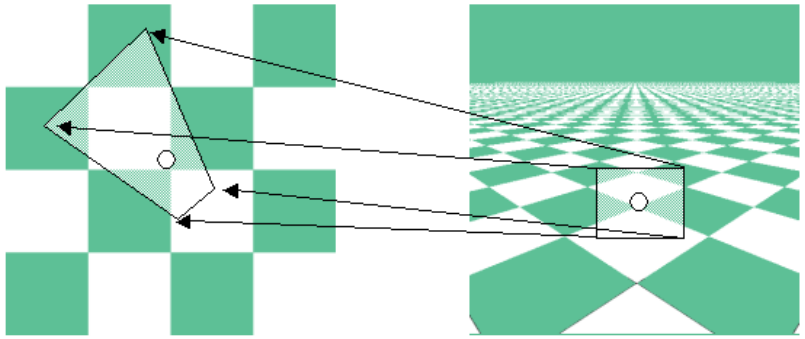
Далее значения в мипмапе могут усредняться билинейно или методом ближайшего соседа

Дополнительно происходит фильтрация между соседними уровнями мипмапа (трилинейная фильтрация)

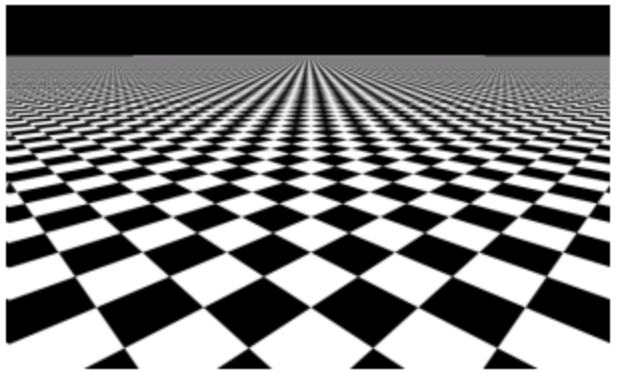


Анизотропная фильтрация: вытянутый фильтр

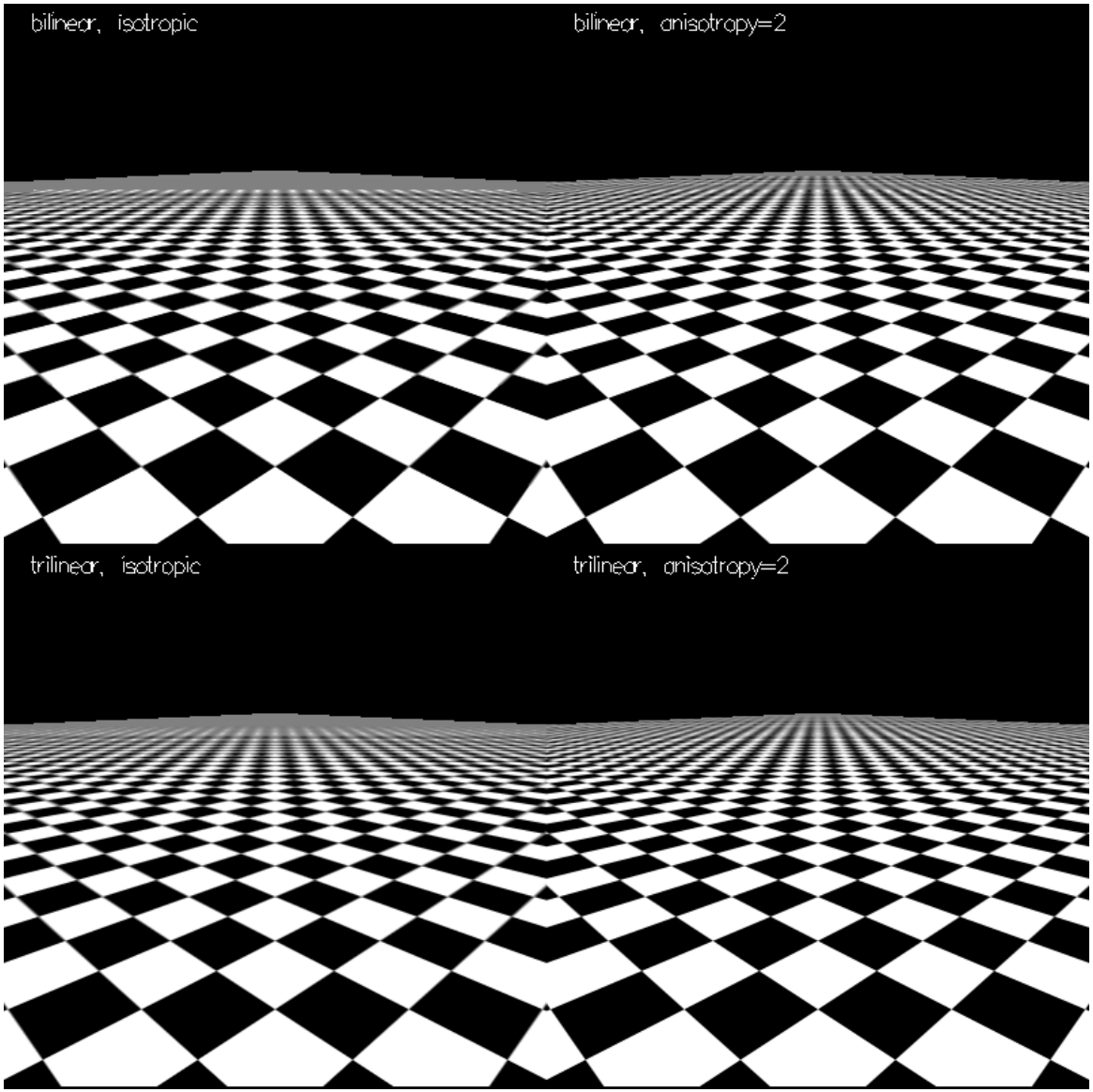
Вместо квадратного фильтра, используется вытянутый



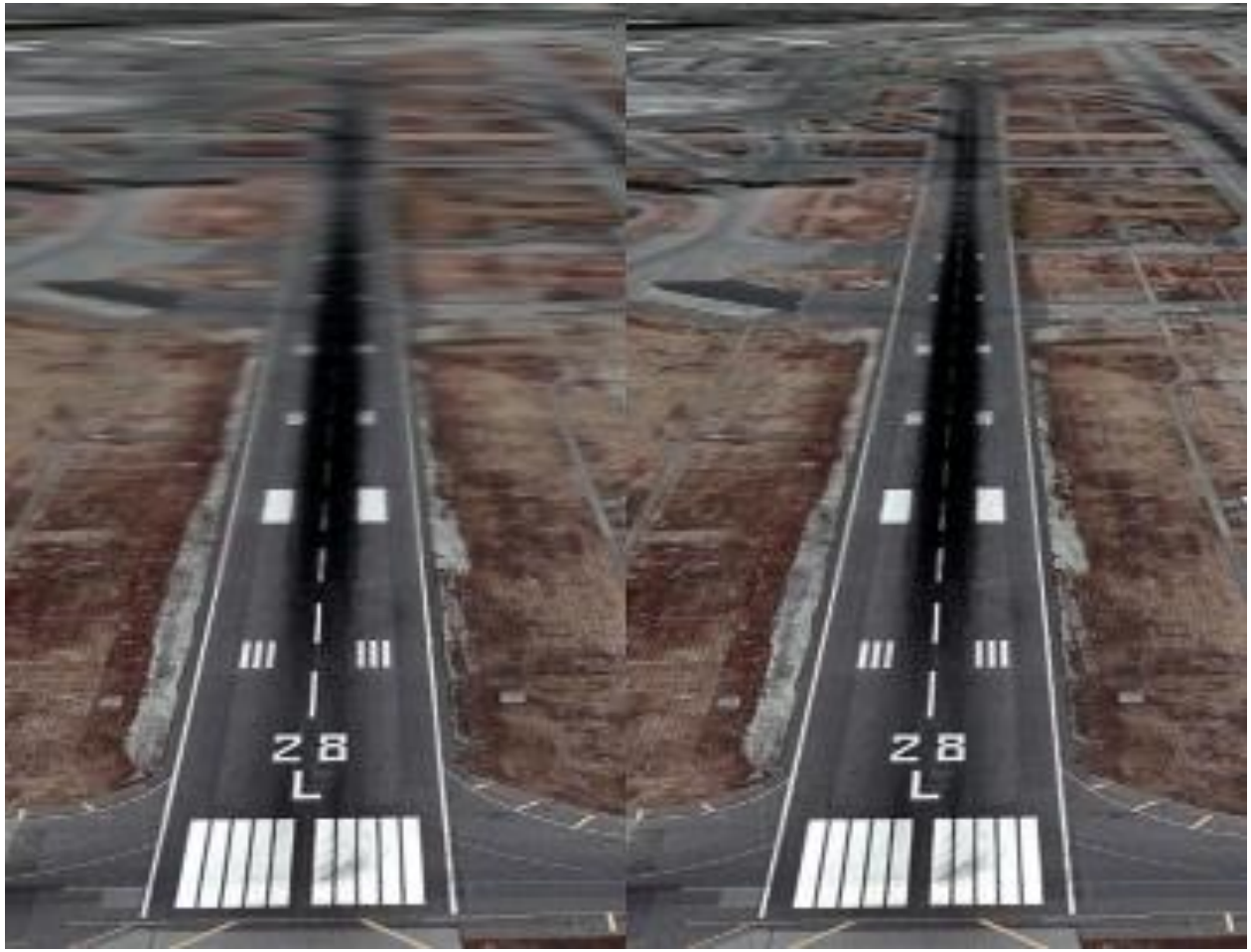
Позволяет более качественно выбрать нужный цвет для экранного пикселя



Анизотропная vs. Изотропная



Еще сравнение



Trilinear

Anisotropic

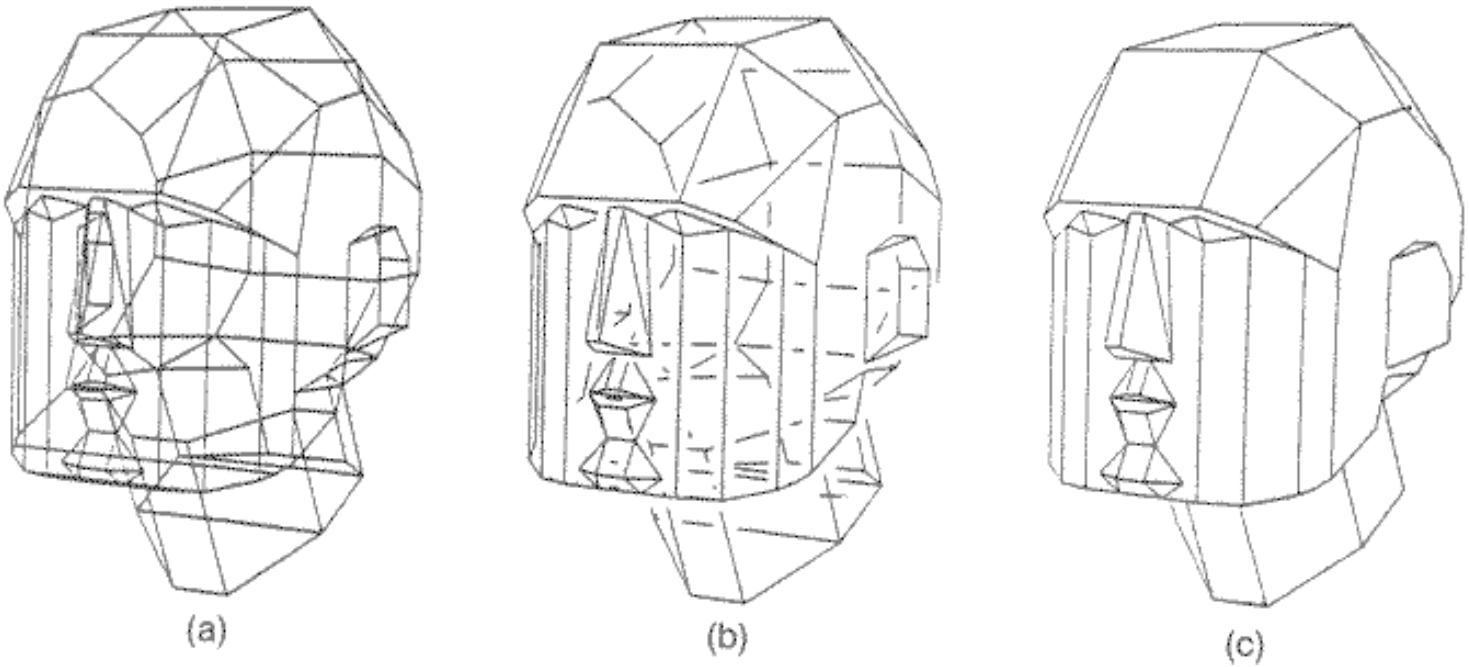
Три основных темы, все связаны с этапом растеризации

- Текстурирование
- Удаление невидимых поверхностей
- Композиты

Удаление невидимых линий и поверхностей – зачем?

При проецировании на экран часто оказывается, что отдельные части объектов (или объекты полностью) перекрываются другими объектами и не видны наблюдателю

Метод растеризации (преобразования координат) сам по себе не позволяет ответить на вопрос, какие объекты видны



Классификация методов

По способу изображения объекта

- Каркасное
- Сплошное

По пространству, в котором решается задача

- Мировое пространство
- Видовое пространство
- Картинная плоскость

По точности решения

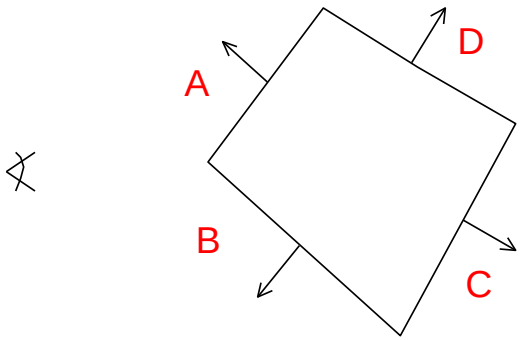
- Аналитическое
- Приближенное

Методы удаления невидимых поверхностей

- Удаление нелицевых граней
- Трассировка лучей
- Алгоритм художника
- Буфер глубины

Лицевые и нелицевые грани

Если исходная геометрия описывает сплошные тела, то для каждой грани можно определить вектор внешней нормали

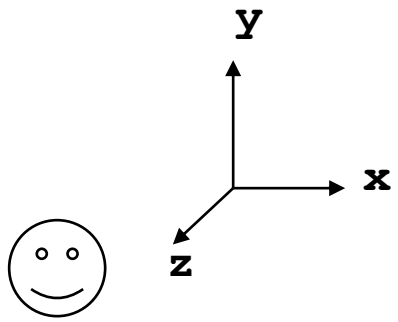


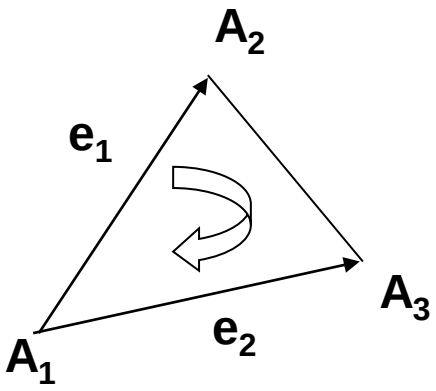
Нормали к граням A и B смотрят в сторону наблюдателя

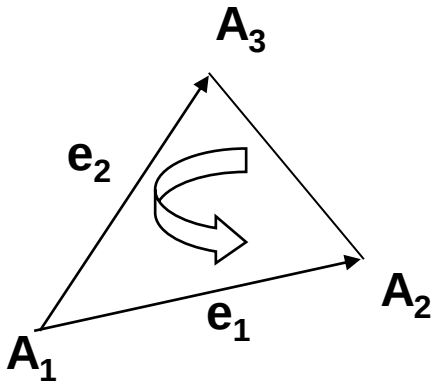
- наблюдатель находится в положительном полупространстве по отношению к плоскости, проходящей через соответствующую грань

Такие грани называются лицевыми (front-faced). Грани C,D – нелицевые (back-faced)

Корректная геометрия для определения лицевых/нелицевых граней







$$e_1 = A_2 - A_1,$$
$$e_2 = A_3 - A_1,$$
$$n = [e_1, e_2]$$

Свойства (не-)лицевых граней

I. Для сплошных (solid) тел, ни одна из нелицевых граней никогда не будет видна даже частично

- При определении видимости нелицевые грани можно всегда отбрасывать
- сокращает число граней для визуализации примерно вдвое

II. Если вся сцена состоит только из одного выпуклого объекта, все лицевые грани и только они будут видны, причем полностью

Удаление нелицевых граней: простой, но только для выпуклых объектов

Метод удаления нелицевых граней:

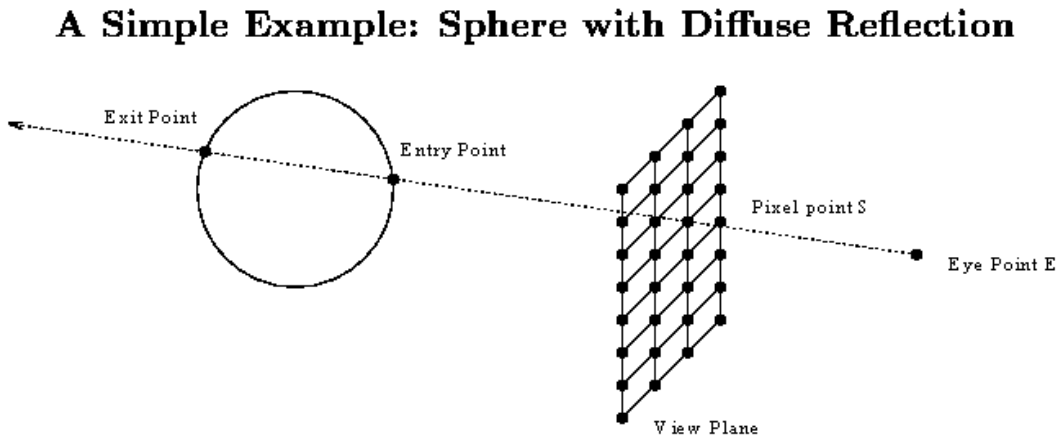
- (+) очень простой, может сократить число граней для растеризации в два раза
- (-) работает только для сплошных тел
- (-) удаляет все невидимые грани только для сцен с одним выпуклым сплошных объектом, иначе должен использоваться в сочетании с другими методами

Трассировка лучей: неявно решает задачу удаления невидимых граней

При использовании метода трассировки лучей через каждый пиксель картинной плоскости выпускается луч (из положения наблюдателя) в сцену.

Далее находится ближайшее пересечение этого луча с объектами сцены

Оно определяет, что именно будет видно в данном пикселе



Трассировка лучей: работает хорошо, но не подходит для растеризации

Метод трассировки лучей

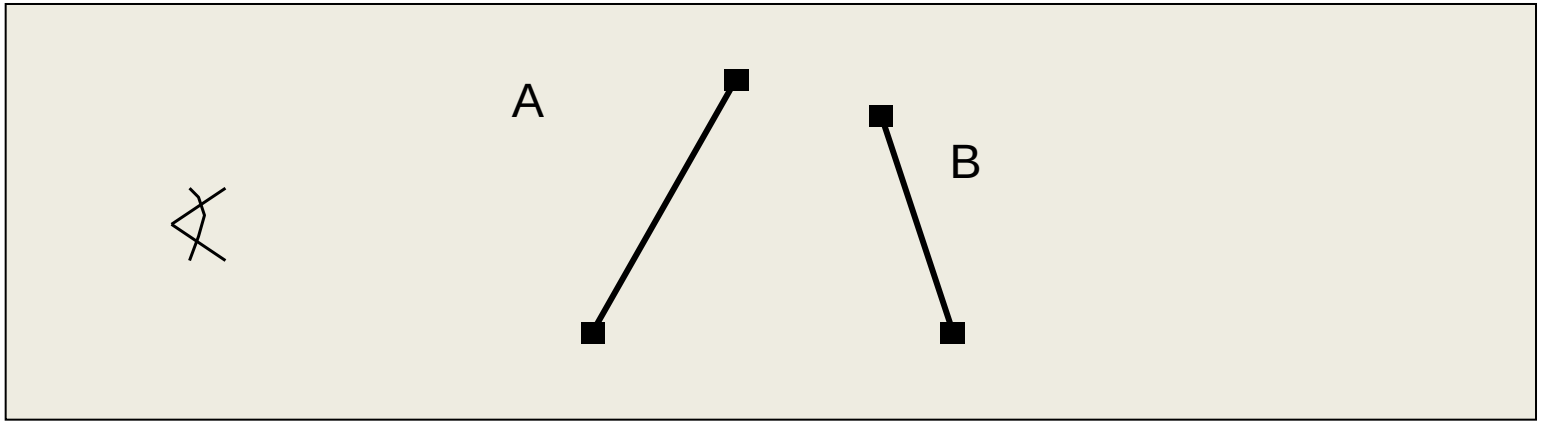
- (+) работает для любой геометрии
- (-) только для визуализации методом трассировки лучей, т.е. не подходит для растеризации

Алгоритм художника: рисуем грани от дальних к ближним

Алгоритм художника (painter’s algorithm)

- Явно сортирует все грани сцены в порядке их приближения к наблюдателю (back-to-front)
- Выводит грани в этом порядке

- => получается корректное изображение



Алгоритм художника по шагам

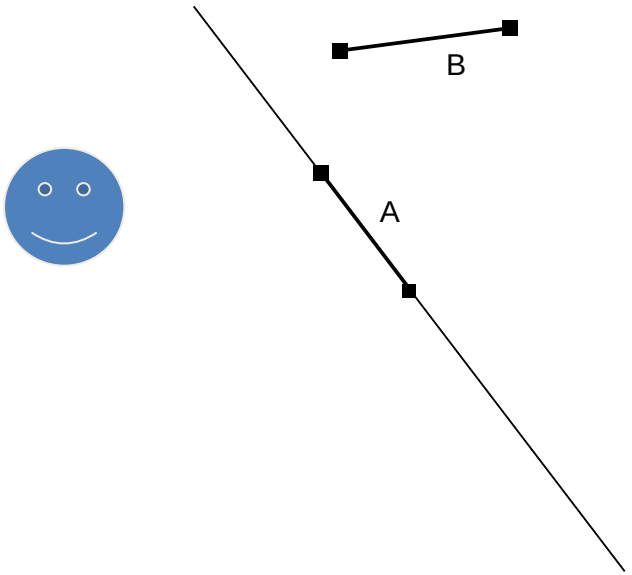
1. Упорядочить все многоугольники в соответствии с наименьшей (дальней) координатой z

2. Разрешить неоднозначности, которые вызывают наложение z-габаритов

3. Нарисовать многоугольники в порядке возрастания наименьшей координаты z

Упорядочивание граней: полупространства для определения порядка граней

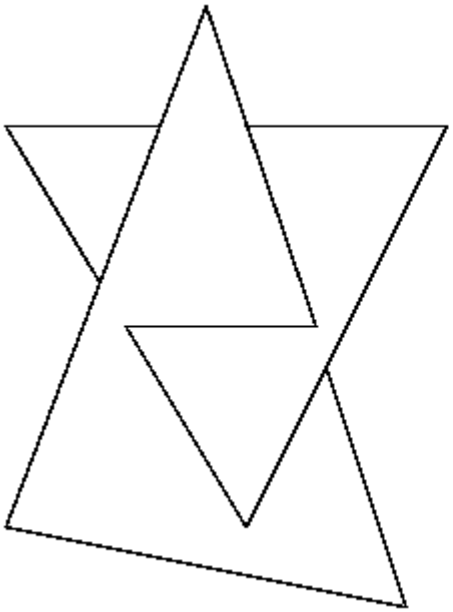
- Грань В не может закрывать грань А от наблюдателя
- Т.к находится в другом полупространстве относительно плоскости, проходящей через грань А.

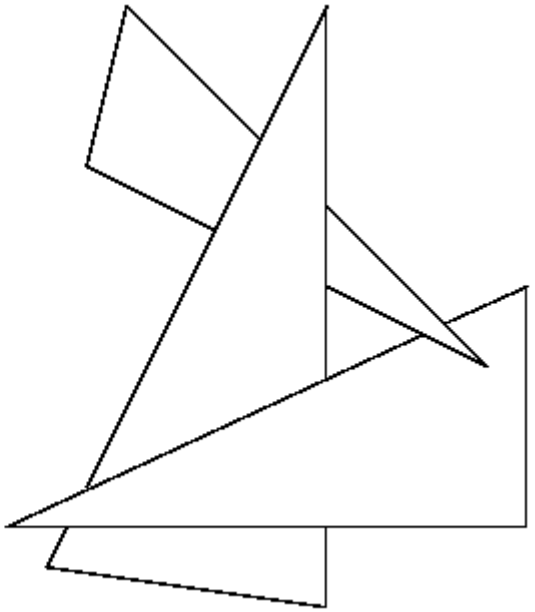


Пять тестов алгоритма художника

1. Накладываются ли x-габариты мн-ков?
2. Накладываются ли y-габариты мн-ков?
3. P полностью за плоскостью Q по отношению к наблюдателю?
4. Q полностью перед плоскостью P по отношению к наблюдателю?
5. Пересекаются ли проекции многоугольников на плоскость (x, y)?

Проблемы алгоритма художника: не всегда можно однозначно упорядочить





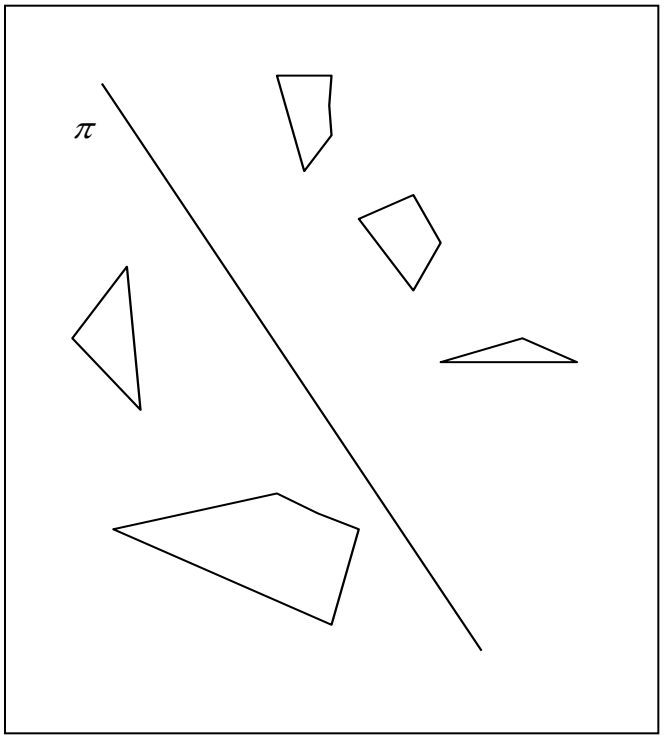
Достоинства и недостатки

Алгоритм художника:

- (-) линейная сложность сортировки
- (-) квадратичная сложность для многоугольников с пересекающимися z-объемами
- (-) не может справиться со всеми типами взаимного расположения

Метод двоичного разбиения пространства: та же идея, что в алгоритме художника

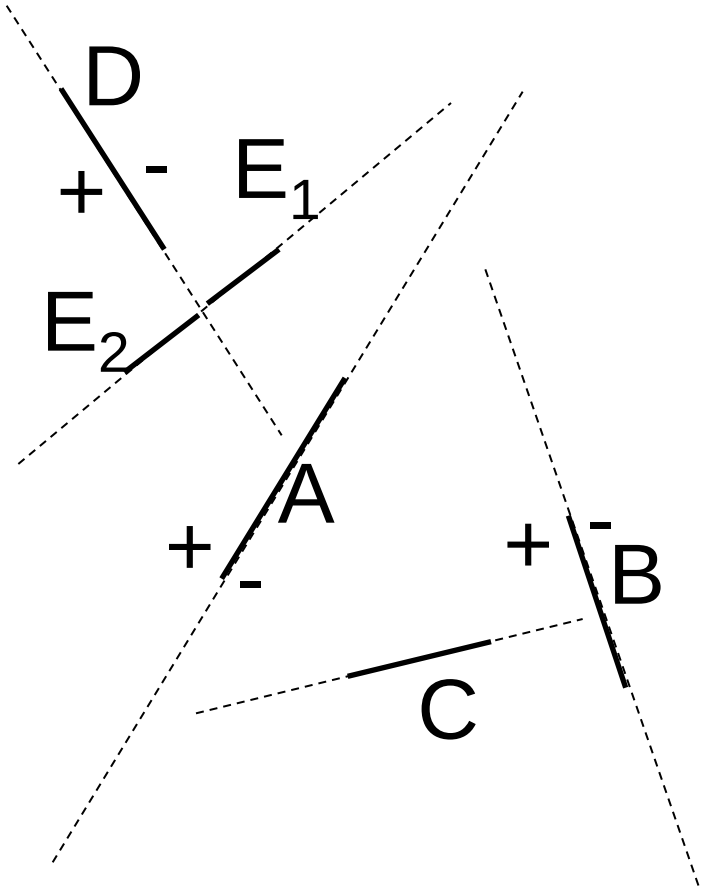
Пусть известно, что плоскость π разбивает все грани (объекты) сцены на два непересекающихся множества в зависимости от того, в каком полупространстве по отношению к данной плоскости они лежат

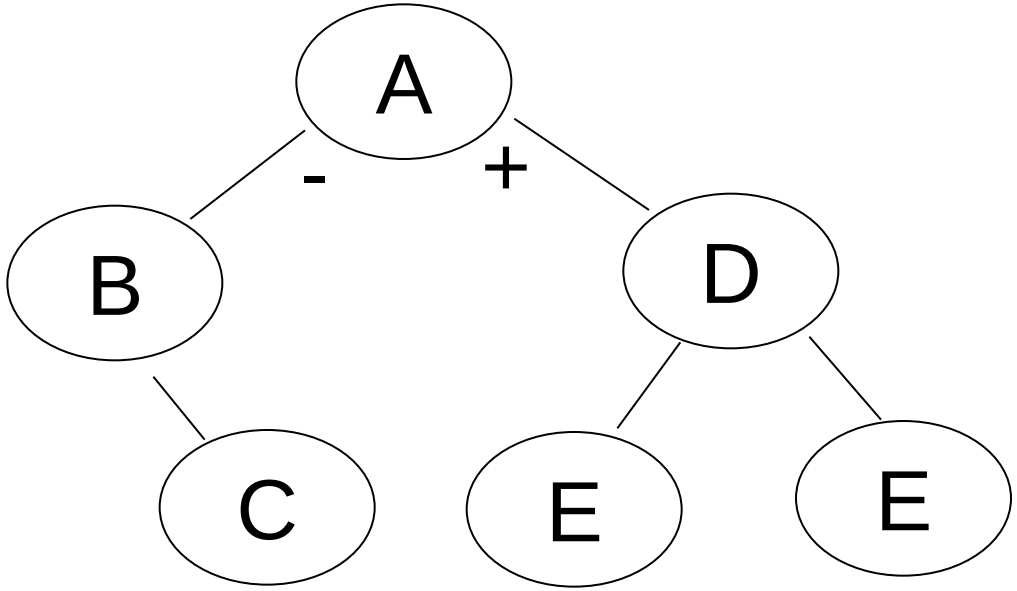


Тогда ни одна из граней, лежащих в том же полупространстве, что и наблюдатель, не может быть закрыта ни одной из граней из другого полупространства

=> удалось осуществить частичное упорядочение граней исходя из возможности загораживания друг друга.

Метод двоичного разбиения пространства: построение дерева





Метод двоичного разбиения пространства : алгоритм определения последовательности

```
class BSPNode {
    Face *face; // Грань объекта
    BSPNode *positive;
    BSPNode *negative;
    …
}
```

```
void BSPNode::Draw() {
    if(face->Sign(viewer) == 1) {
        if(negative) negative->Draw();
        face->Draw();
        if(positive) positive->Draw();
    } else {
        if(positive) positive->Draw();
        face->Draw();
        if(negative) negative->Draw();
    }
}
```

Достоинства и недостатки

Метод двоичного разбиения пространства

- (+) логарифмическая сложность сортировки объектов по глубине (быстро работает), позволяет быстро выводить полигоны back-to-front
- (-) проблемы, аналогичные алгоритму художника
- (-) работает для статических сцен, дерево перестраивается долго

Буфер глубины

Каждому пикселю картинной плоскости, кроме значения цвета, хранящемуся в буфере кадра, сопоставляется еще значение глубины

- расстояние вдоль направления проецирования от картинной плоскости до соответствующей точки пространства

```
foreach(p in pixels)
    if(p.z < zBuffer[p.x, p.y])
 {
      draw( p );
      zBuffer[p.x, p.y] = p.z;
 }
```

Примечание: для работы буфера глубины нужно проективное преобразование

Если бы использовались вырожденные матрицы проекции вместо проективного преобразования, вычислить значение глубины было бы невозможно!

Проективное преобразование преобразует видимую часть сцены в стандартную область видимости, т.е. z -> [-1,1]

Используется как значения в z-буфере!

Достоинства и недостатки

Метод буфера глубины

- (+) очень простой, легко реализуется аппаратно
- (+) работает для произвольной геометрии
  - необязательно с граничным представлением
- (-) требует дополнительную память
- (-) требует растеризации всех примитивов
- (-) не сортирует back-to-front, невозможно реализовать прозрачность

Поддержка методов удаления невидимых поверхностей в OpenGL

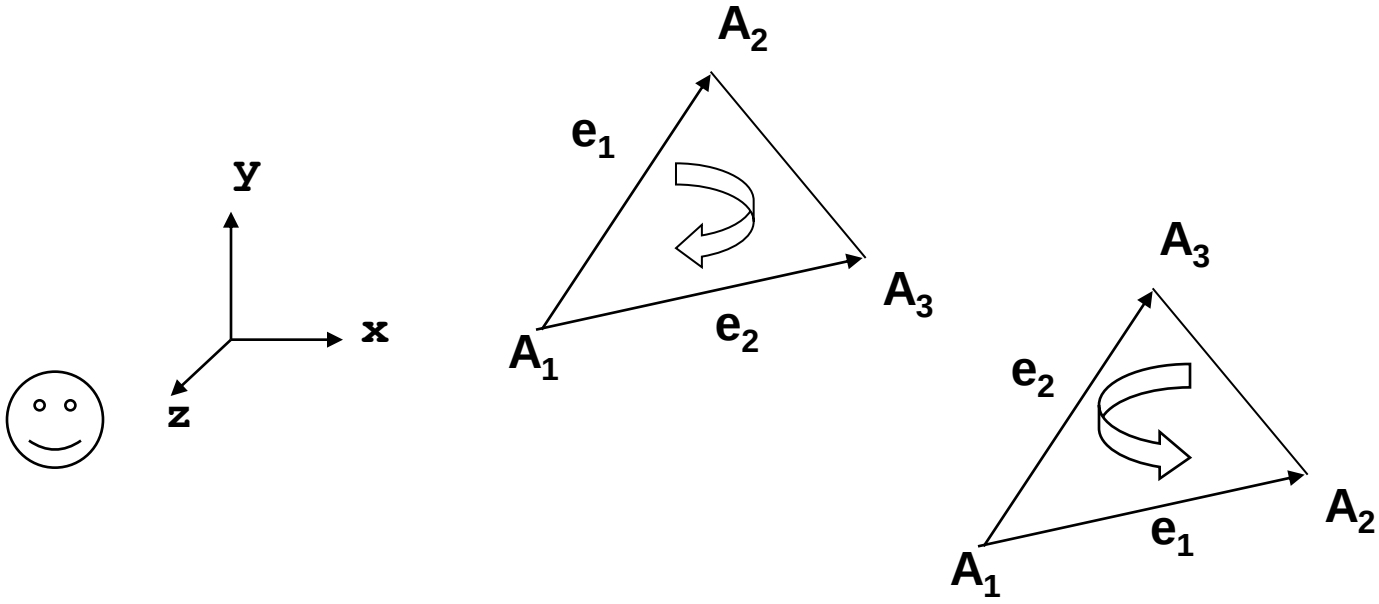
OpenGL напрямую поддерживает два метода удаления невидимых поверхностей

- удаление нелицевых граней
- буфер глубины (z-буфер)

Это не значит, что другие методы нельзя использовать!

Их нужно реализовывать самостоятельно

Лицевые и нелицевые грани в OpenGL



$$e_1 = A_2 - A_1,$$
$$e_2 = A_3 - A_1,$$
$$n = [e_1, e_2]$$

```
glEnable(GL_CULL_FACE); glDisable(GL_CULL_FACE);

void glFrontFace(GLenum type);
    type = {GL_CW|GL_CCW}

void glCullFace(GLenum type);
    type = {GL_FRONT|GL_BACK (по умолчанию)}
```

Три основных темы, все связаны с этапом растеризации

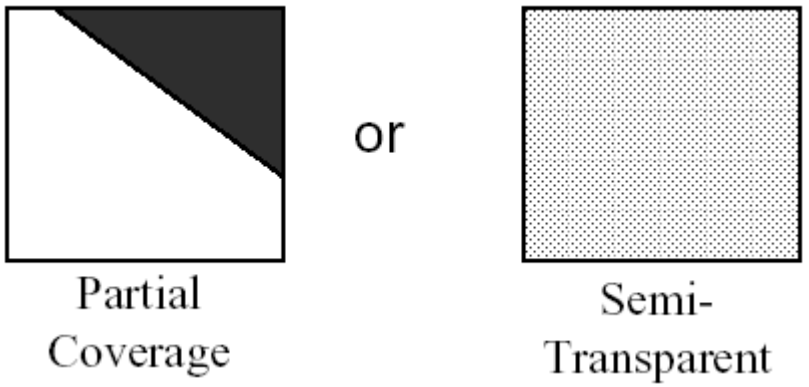
- Текстурирование
- Удаление невидимых поверхностей
- Композиты

Композирование

- **Композирование**
  - Объединение двух или более независимо подготовленных изображений в одно изображение, обычно с помощью попиксельного вычисления полупрозрачности (альфа-канал), иногда с учетом глубины (z-координаты)
- Смешение, Монтаж (Compositing)

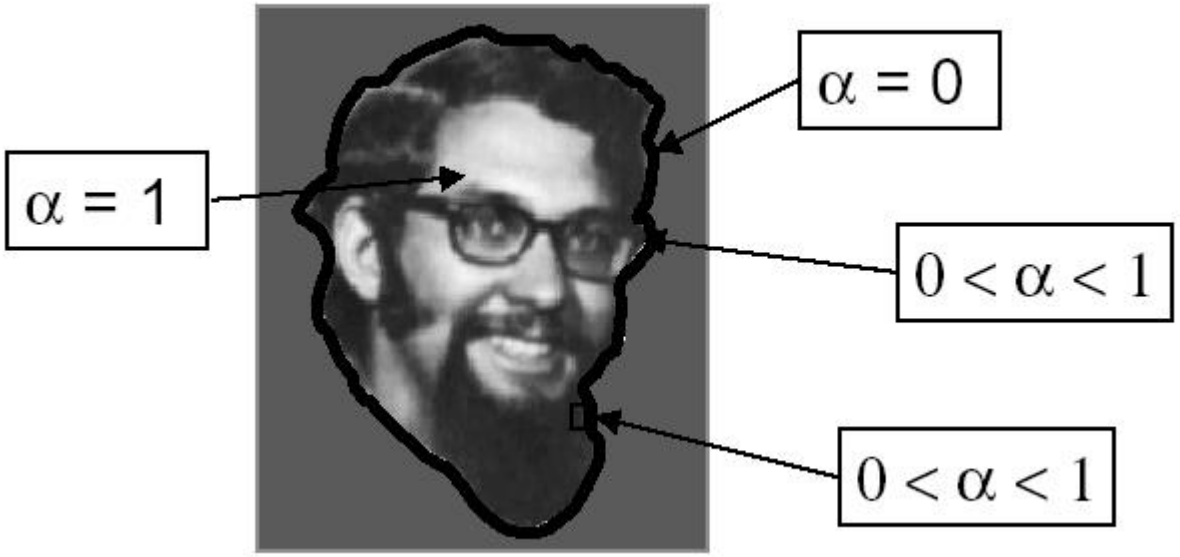
Альфа-канал кодирует информацию о частичном покрытии пикселей

- Кодирует информацию о покрытии пикселя:
  - $\alpha = 0$: нет покрытия = прозрачный
  - $\alpha = 1$: полное покрытие = непрозрачный
  - $0 < \alpha < 1$: частичное покрытие = полупрозрачный
- Пример: $\alpha = 0.3$



Композирование с альфа-каналом: линейная интерполяция цветов пикселей фона и изображения

Альфа-канал управляет линейной интерполяцией фоновых и передних пикселей при композировании



Полупрозрачные объекты: комбинировать просто

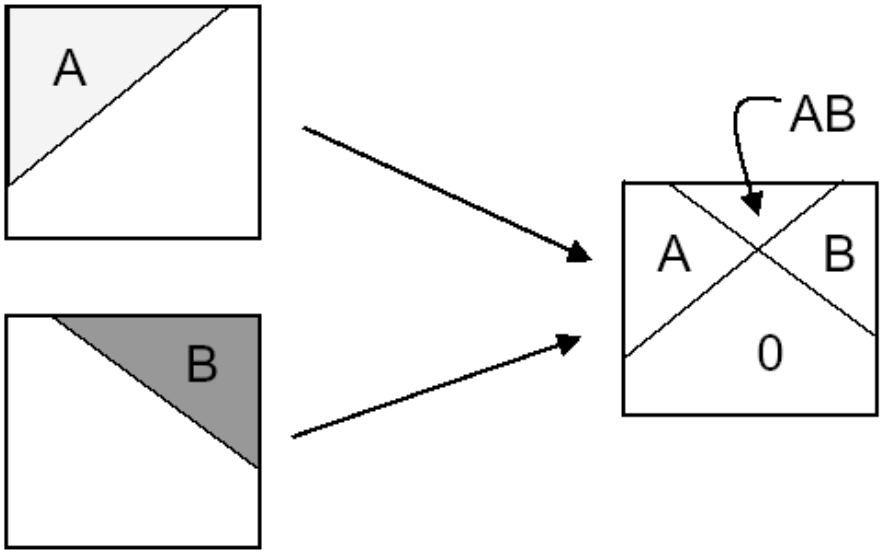
Пусть мы рисуем изображение A поверх B поверх фона G

Насколько B видно через A?	$1-\alpha_A$
Насколько A блокирует B ?	α_A
Насколько G видно через A и B ?	$(1-\alpha_A)\ (1-\alpha_b)$

Непрозрачные объекты: комбинировать сложнее, надо учитывать частичное покрытие пикселей

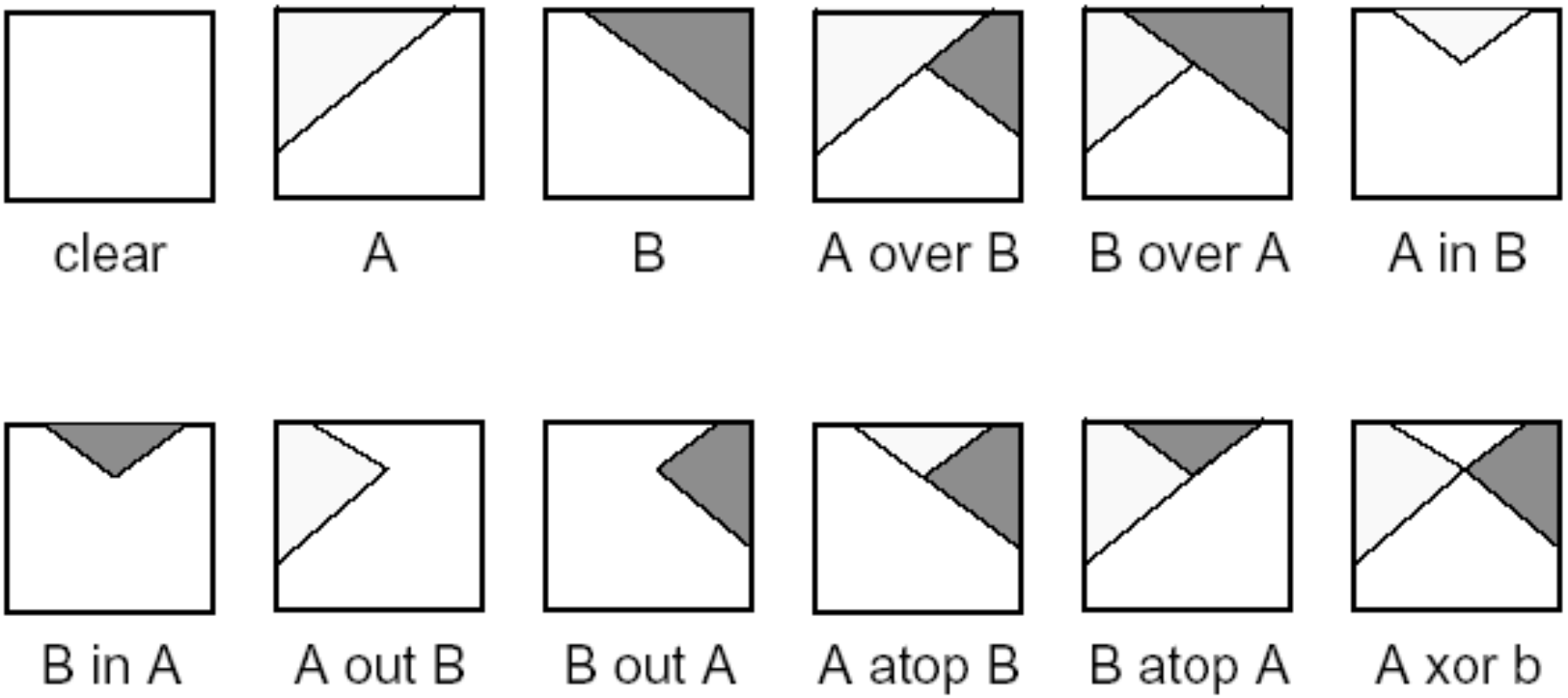
Как мы можем комбинировать два частично перекрытых пикселя?

- 3 возможных цвета (0, A, B)
- 4 региона (0, A, B, AB)



Композитная алгебра Портера-Даффа

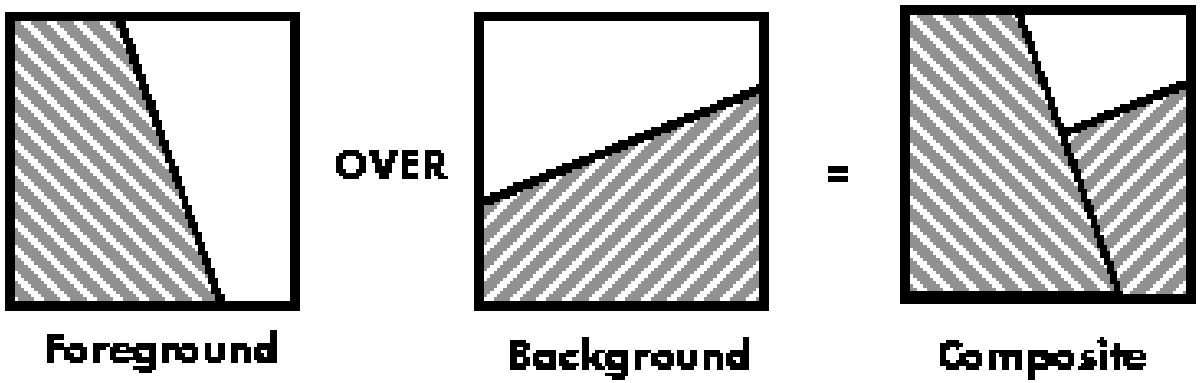
12 возможных комбинаций



Оператор OVER: смешивание двух частично покрытых пикселей

$A_F = \alpha_F$

$A_B = (1-\alpha_F)\alpha_B$



$$C' = A_F C_F + A_B C_B = \alpha_F C_F + (1-\alpha_F)\alpha_B C_B$$

$$\alpha = A_F + A_B = \alpha_F + (1-\alpha_F)\alpha_B$$

Оператор Over при непрозрачном фоне: очень часто применяется при визуализации

$$\alpha_B = 1$$

$$A_F = \alpha_F$$

$$A_B = (1 - \alpha_F)$$

$$\Rightarrow$$

$$C' = A_F C_F + A_B C_B = \alpha_F C_F + (1 - \alpha_F) C_B$$

$$\alpha = A_F + A_B = \alpha_F + (1 - \alpha_F)\alpha_B = \alpha_F + 1 - \alpha_F = 1$$

$$C' = \alpha_F C_F + (1 - \alpha_F) C_B$$

Итоги

Удаление невидимых поверхностей

- Удаление нелицевых граней (есть в OpenGL)
- Трассировка лучей
- Алгоритм художника
- Двоичное разбиение пространства
- Буфер глубины (есть в OpenGL)

Текстурирование

- Отображение изображения на поверхность модели
- Различные виды текстурирования

Композирование

- Способ комбинации пикселей растеризуемого примитива и фона