



Алгоритмы машинной графики

часть 3

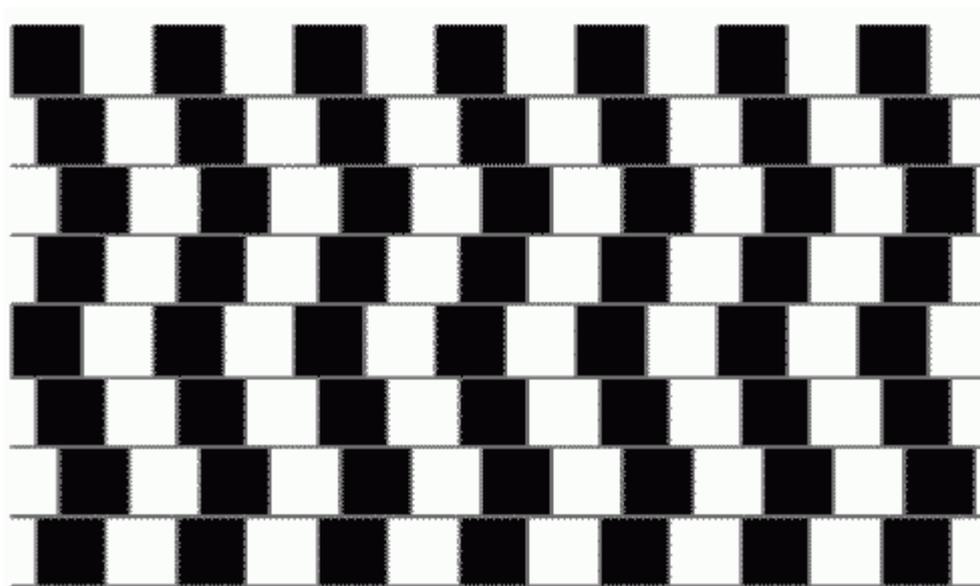
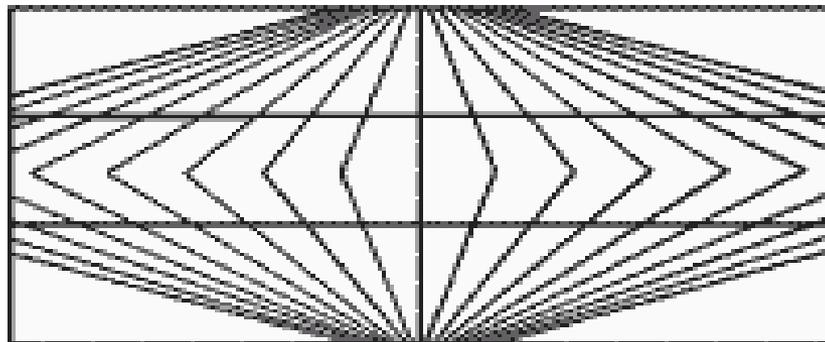
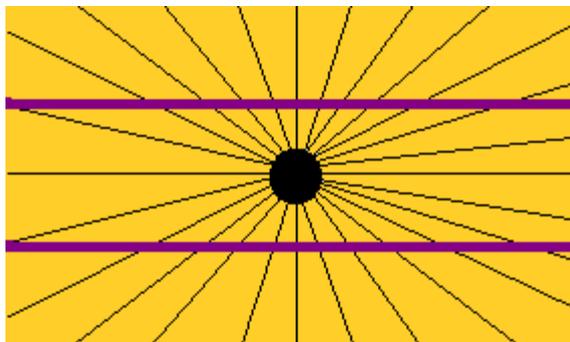
А.В. Цыганов 2010

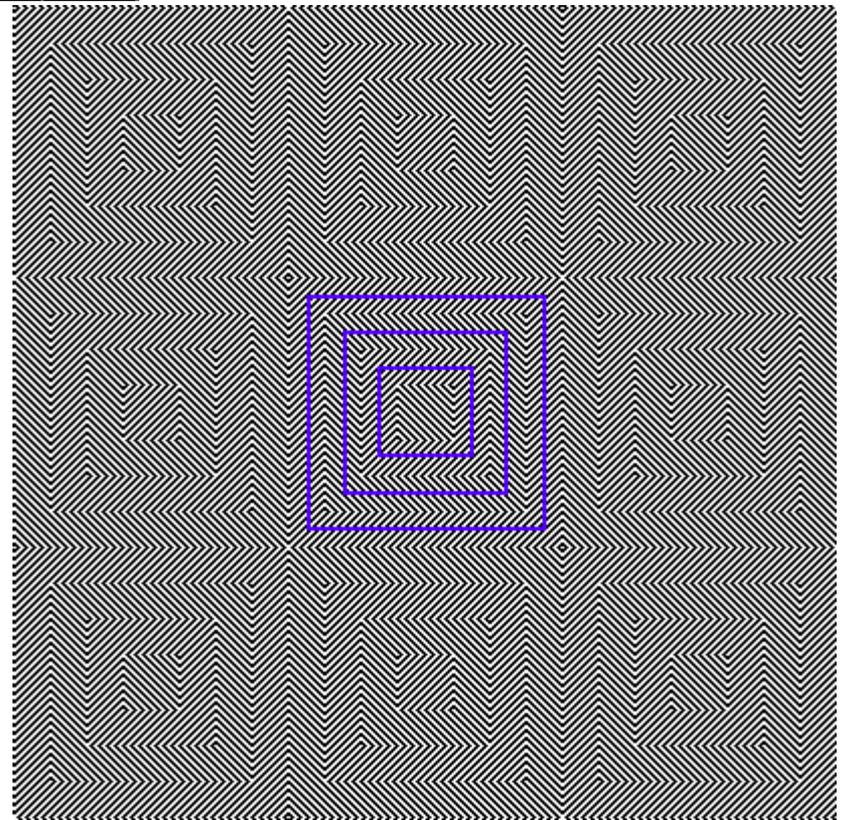
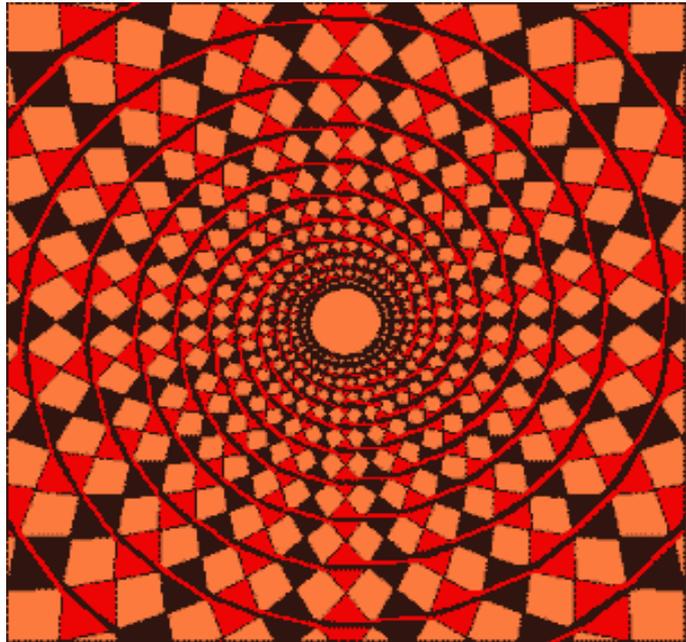
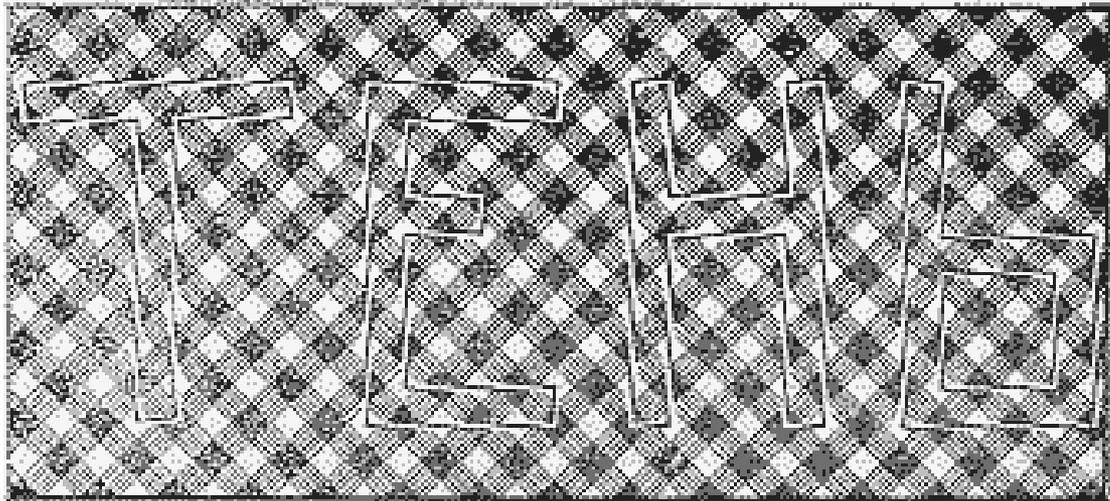
Главные этапы построения изображения

- **Моделирование** как искусство применения методов математического описания объектов и сцен, природа которых может быть самой различной: обычные геометрические фигуры и тела в двух- и трехмерном пространстве; естественные явления природы- горы, деревья, облака и другие объекты; огромные массивы чисел, полученные в различных экспериментах, и многое другое.
- **Визуализация** (отображение) как искусство построения реалистичных изображений объемного мира на плоском экране дисплея ЭВМ, заключается в преобразовании моделей объектов и сцен в статическое изображение или фильм- последовательность статических кадров.

Компьютерную графику можно рассматривать как искусство создания реалистичной иллюзии действительного или выдуманного мира.

Оптические иллюзии







Векторные полигональные модели 3D объектов

Неявное уравнение: $F(x,y,z)=0$

Параметрическая форма

Сфера: $x = R \cdot \sin s \cdot \cos t, y = R \cdot \sin s \cdot \sin t, z = R \cdot \cos s$

Сплайны (*) и патчи (**) Безье:

$$P(t) = \sum_{i=0}^m C_m^i t^i (1-t)^{m-i} \cdot P_i \quad (*)$$

$$P(s,t) = \sum_{i=0}^m \sum_{j=0}^n C_m^i s^i (1-s)^{m-i} \cdot C_n^j t^j (1-t)^{n-j} \cdot P_{ij} \quad (**)$$

$$C_m^i = \frac{m!}{i!(m-i)!}, \quad 0 \leq s, t \leq 1$$

Структуры данных. Линейно-узловая модель

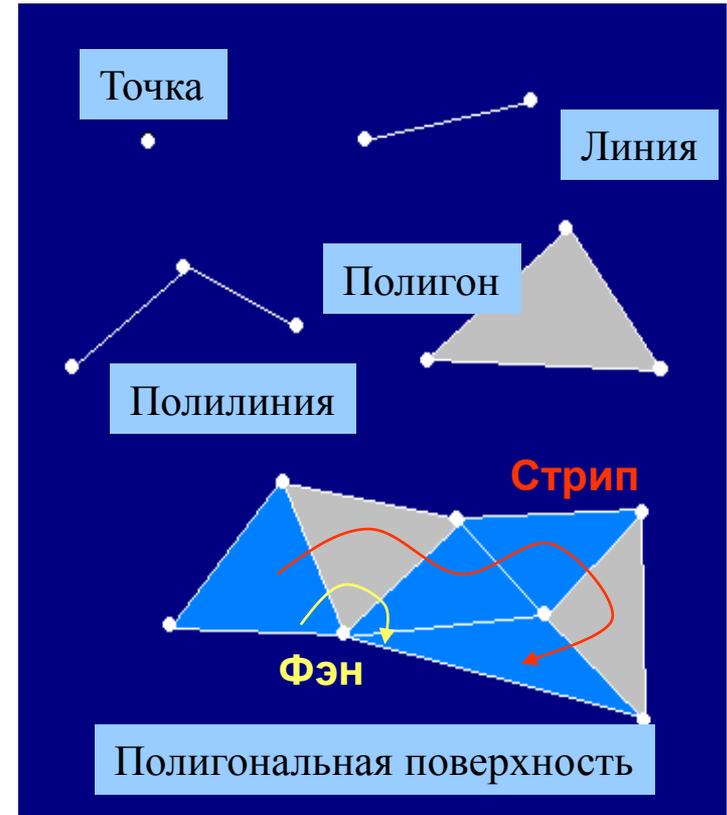
Способ 1: все грани отдельно и для каждой хранятся координаты вершин. Объем памяти: $M1 = N_{\text{Face}} \cdot n_{\text{Vert}} \cdot 3 \cdot \text{Byte}_{\text{Coor}}$

Способ 2: вершины пронумерованы, хранятся в отдельной таблице; каждая грань задана списком индексов вершин. Объем памяти: $M2 = n_{\text{Vert}} \cdot 3 \cdot \text{Byte}_{\text{Coor}} + N_{\text{Face}} \cdot N_{\text{FaceVert}} \cdot \text{Byte}_{\text{Index}}$

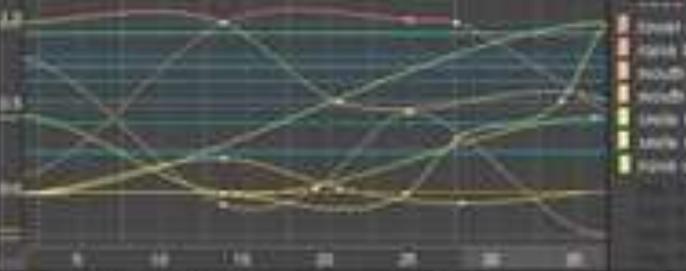
Способ 3: линейно-узловая модель (иерархия: вершины, ребра, грани). Объем памяти:

$$M3 = n_{\text{Vert}} \cdot 3 \cdot \text{Byte}_{\text{Coor}} + k_{\text{Edge}} \cdot 2 \cdot \text{Byte}_{\text{VertIndex}} + N_{\text{Face}} \cdot N_{\text{FaceVert}} \cdot \text{Byte}_{\text{EdgeIndex}}$$

Базовые элементы ВПМ:



Strip – полоса, лента из треугольников или квадратов; **Fan** – веер из треугольников.



Properties panel for the selected object, showing various settings and options. The 'Mesh' section is expanded, showing the 'Face' property. The 'Face' property is set to 'Smooth'.

Property	Value	Mode	Graph	Timeline
Smooth Group	0.00	Smooth		
Face Smooth	0.00	Smooth		
Smooth Group	0.00	Smooth		
Smooth Group	0.00	Smooth		
Smooth Group	0.00	Smooth		
Smooth Group	0.00	Smooth		
Smooth Group	0.00	Smooth		
Smooth Group	0.00	Smooth		
Smooth Group	0.00	Smooth		
Smooth Group	0.00	Smooth		



Material properties panel, showing various settings for the material. The 'Color' property is set to a light brown color. The 'Texture' property is set to a default texture.

Mesh properties panel, showing various settings for the mesh. The 'Smooth' property is set to 'Smooth'.

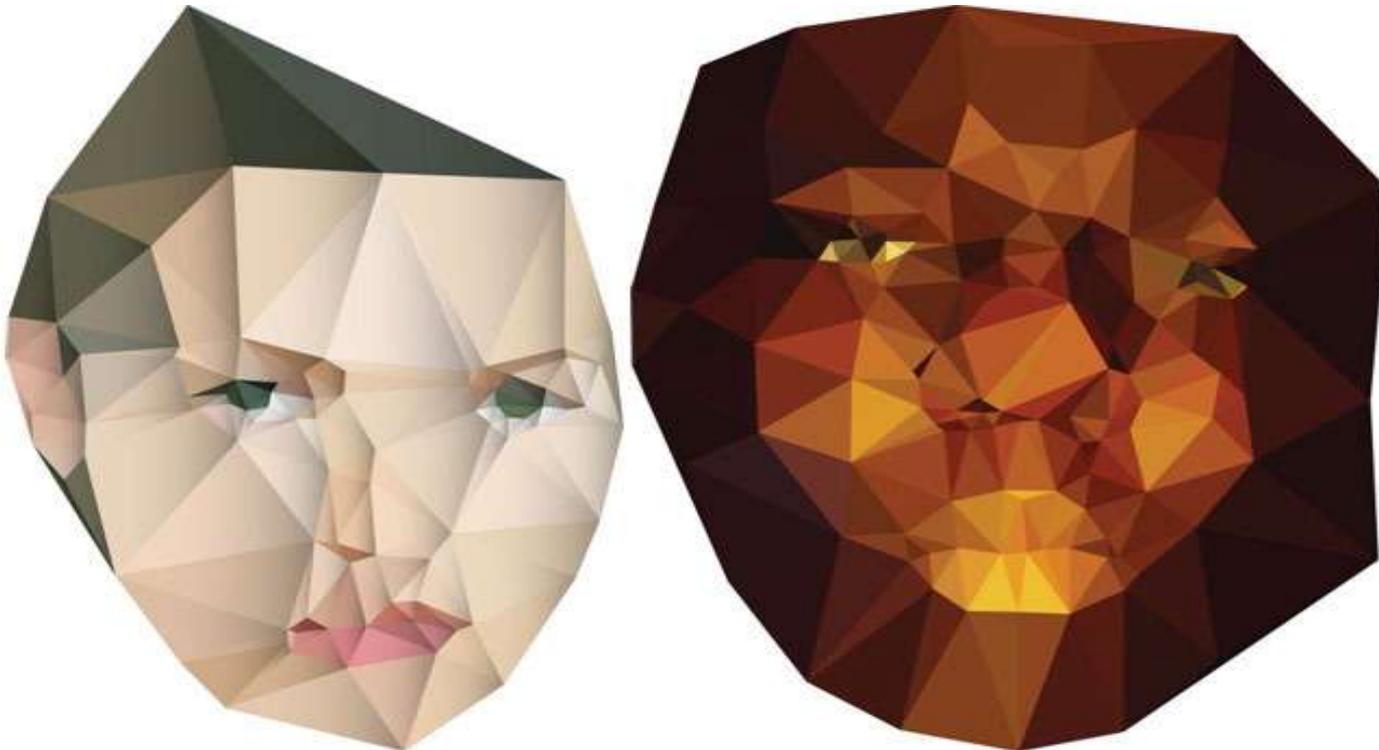
Physics properties panel, showing various settings for the physics. The 'Rigid Body' property is set to 'None'.

Scene properties panel, showing various settings for the scene. The 'Background' property is set to a light brown color.

Scene properties panel, showing various settings for the scene. The 'Ambient' property is set to a light brown color.

Триангуляцией полигона называется декомпозиция полигона в набор треугольников — алгоритм Делоне, диаграммы Вороного

Триангуляция часто используется для упрощения решения задачи в пределах области со сложной конфигурацией, и сведения ее к более простой задаче в пределах треугольника, поскольку треугольник относится к простейшей области и в этом случае задачу можно решить гораздо проще.



Например, в 3DS MAX в настоящее время существует два типа лоскутов:

- ✓ **QuadPatch** (Quad - четырехугольный участок)
- ✓ **TriPatch** (Tri - треугольный участок).

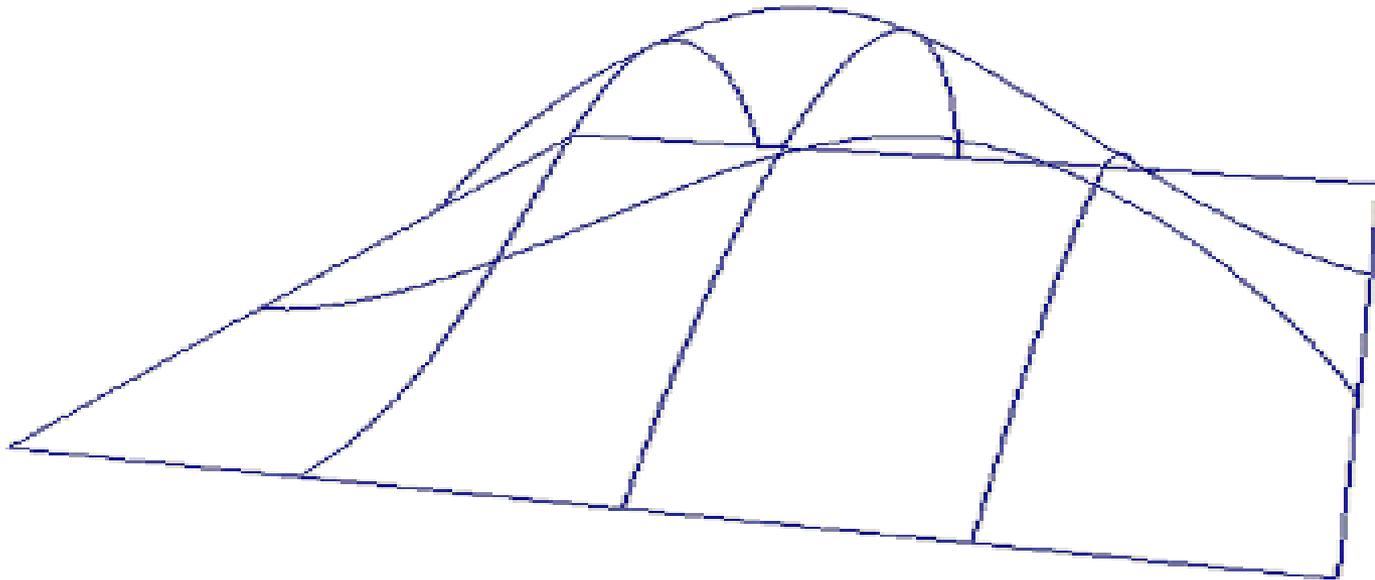
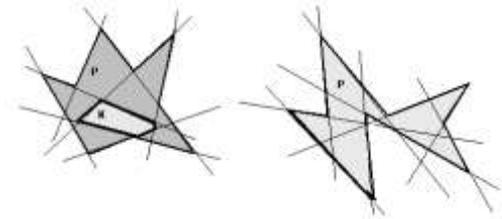


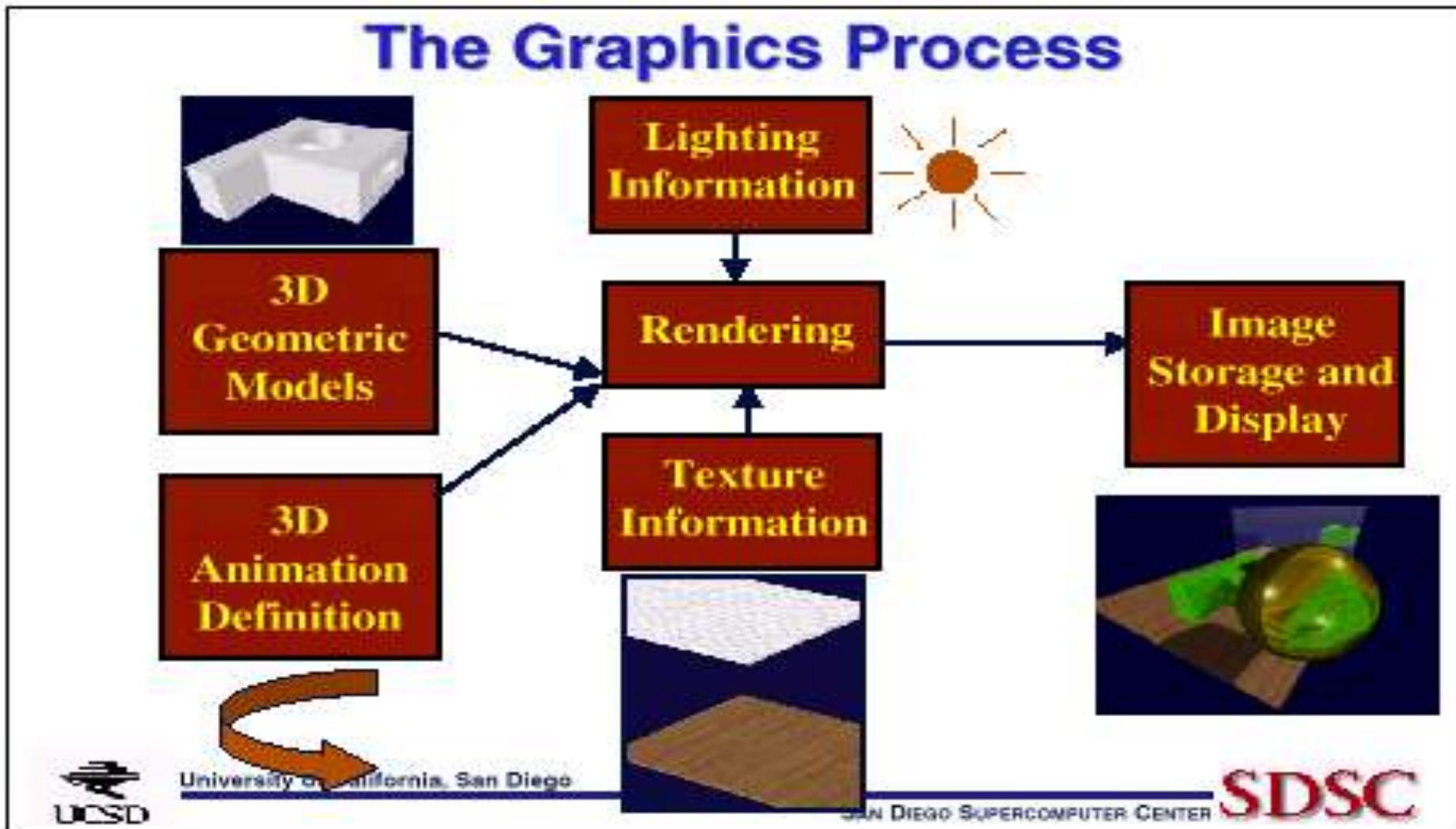
Рис. 4. Пример NURBS поверхности (дизайнерская система 3D Studio MAX)

Основные алгоритмы

1. Отсечение отрезка - алгоритм Кохена (Коэна)-Сазерленда (Cohen-Sutherland, CS-алгоритм)
2. Классификация положения точки относительно отрезка (справа, слева, спереди, сзади)
3. Расстояние от точки до прямой (плоскости)
4. Пересечение двух отрезков (плоскостей)
5. Проверка принадлежности точки полигону
6. Вычисление площади полигона
7. Построение выпуклой оболочки множества точек (заворачивание подарка и др. алгоритмы)
8. Построение звездчатого полигона (ядра полигона: полигонализация набора S вершин – все вершины должны быть видны из вершины s_0 , принадлежащей ядру полигона)
9. Пересечение выпуклых полигонов (алгоритм Сазерленда-Ходжмана).
10. Построение триангуляции Делоне



Синтез изображений (экранизация)



Рендеринг (*rendering* — «визуализация») в компьютерной графике — процесс получения изображения по модели с помощью компьютерной программы, т.е. **создание плоского изображения (картинки) на растре по разработанной 3D-сцене.**

На текущий момент разработано множество алгоритмов визуализации, которые реализованы в современном программном обеспечении:

3ds Max, Maya, Blender, LightWave, Cinema 4D, SketchUp, Bryce, V-Ray finalRender и т.д. и т.п.

Шейдер (*Shader*) — это программа для одной из ступеней графического конвейера, используемая в трёхмерной графике для определения окончательных параметров объекта или изображения.

Вершинный шейдер оперирует данными, сопоставленными с вершинами многогранников.

Геометрический шейдер, в отличие от вершинного, способен обработать не только одну вершину, но и целый примитив.

Трёхмерный мир и его восприятие

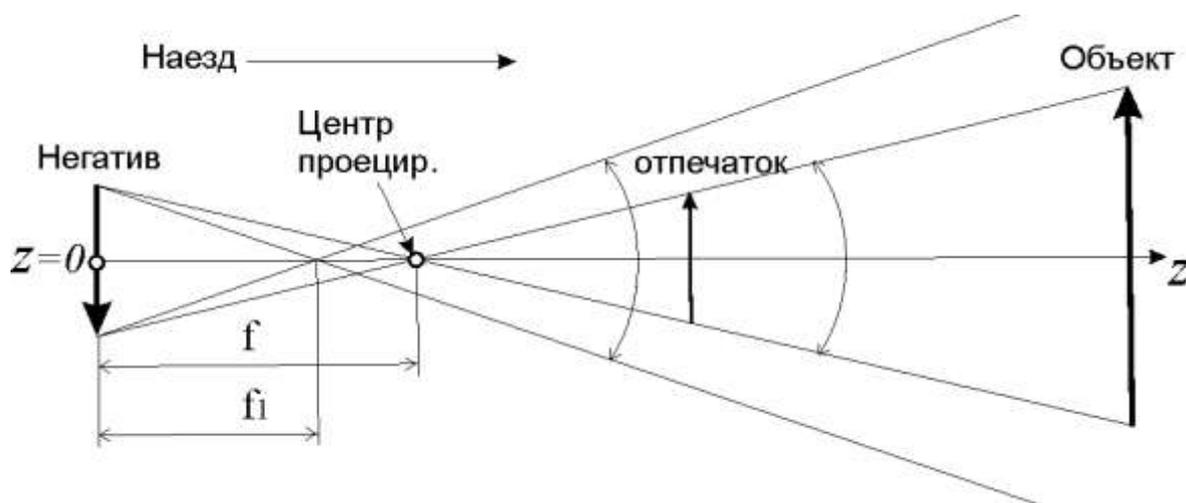


"Evening at the River" by Christoph Gerber (2002 and 2004)

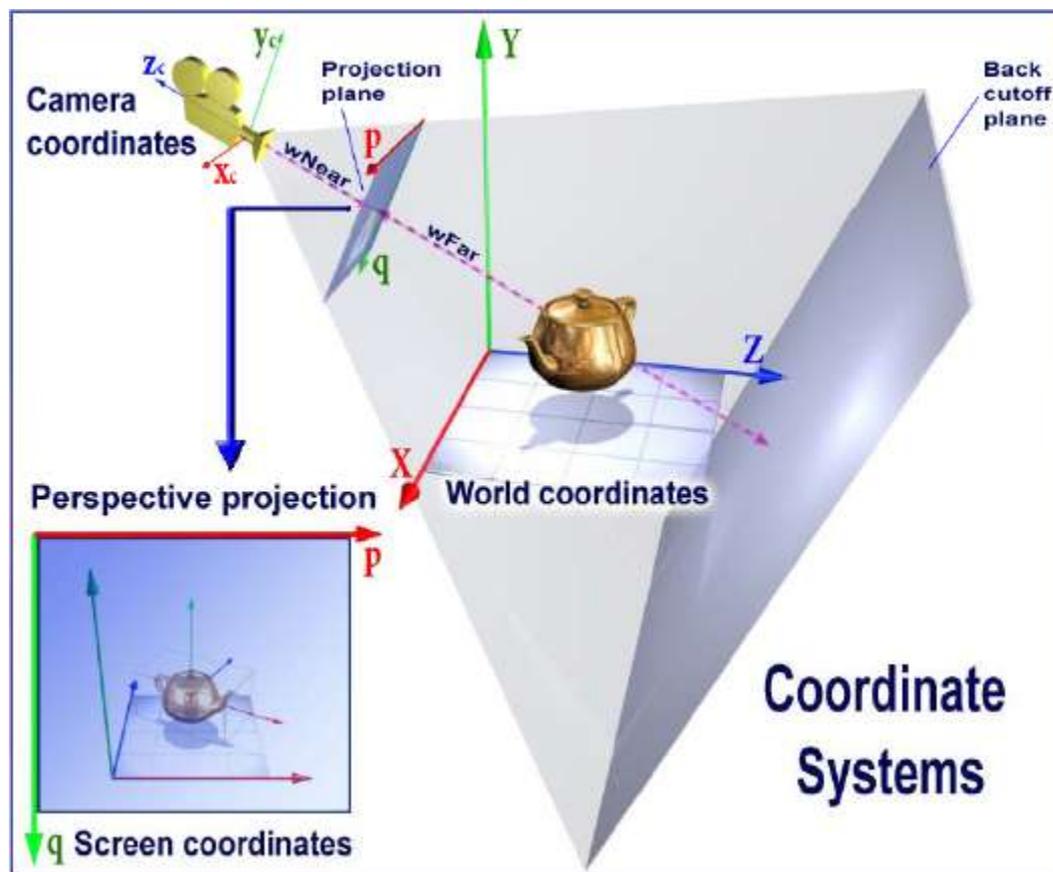
Проекция (лат. *projectio* — выбрасывание вперёд) — изображение трёхмерной фигуры на так называемой картинной (проекционной) плоскости.

Начертательная геометрия является тем разделом геометрии, который изучает методы построения изображений (проекций) геометрических фигур на какой-либо поверхности и способы решения различных позиционных и метрических задач, относящихся к этим фигурам.

В специальных разделах начертательной геометрии рассматривается построение изображений на других поверхностях, например, сферической, цилиндрической и т. п.



Способ проецирования 3D-сцены на проекционную плоскость камеры (дисплея, листа бумаги и т.д.) можно задать о **матрицей проецирования** – 4x4 матрицей в **однородных координатах**



Классификация плоских проекций



Перспективные проекции

Перспективные преобразования имеют место, если не равен нулю хотя бы один из трех элементов последнего столбца матрицы преобразования однородных координат.

1. Одноточечная перспектива.

Когда не равен нулю только один коэффициент последнего столбца матрицы преобразования.

Например

$$[T] = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & r \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

2. Двухточечные перспектива.

Когда не равны нулю два коэффициента последнего столбца матрицы преобразования.

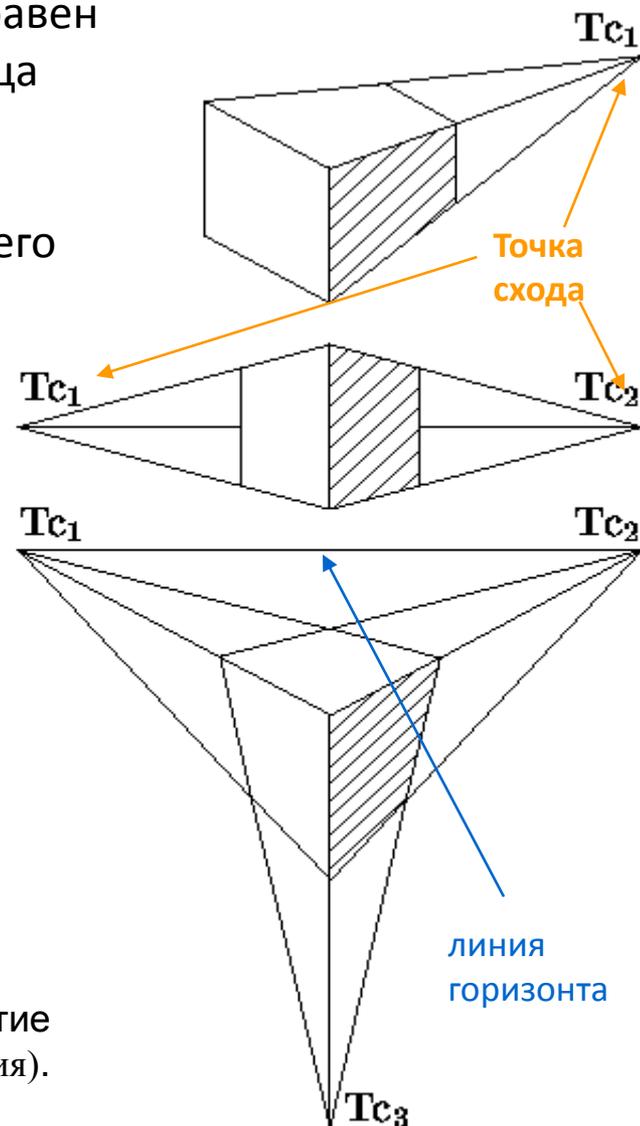
3. Трехточечные перспектива.

Когда не равны нулю все три коэффициента последнего столбца матрицы преобразования.

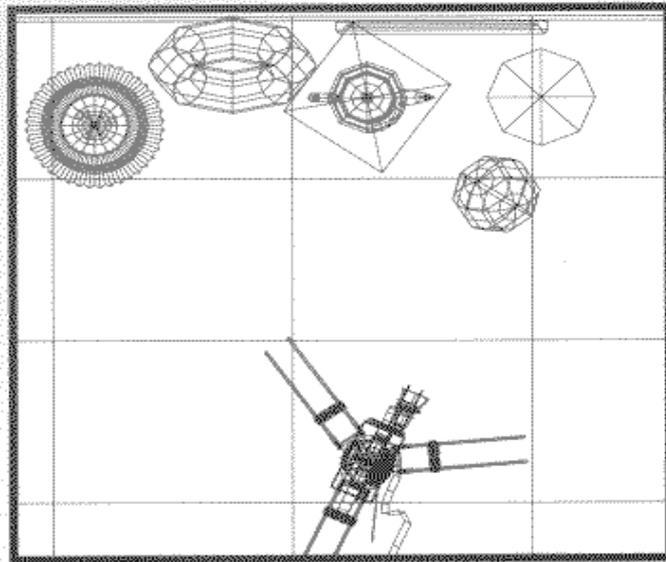
То есть, например

$$[T] = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & p \\ 0 & 1 & 0 & q \\ 0 & 0 & 1 & r \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

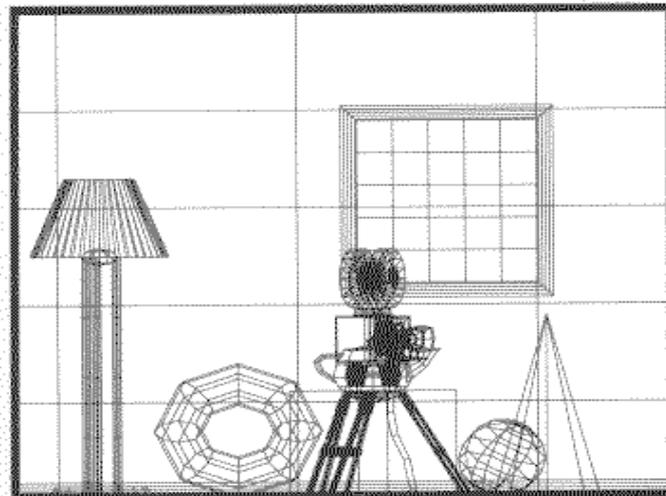
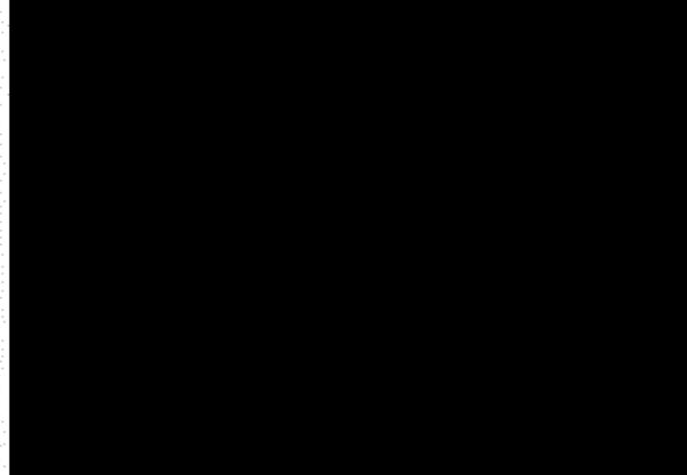
При рассмотрении перспективных преобразований возникает понятие точек схода (Тс), линий горизонта и центров проекции (проецирования).



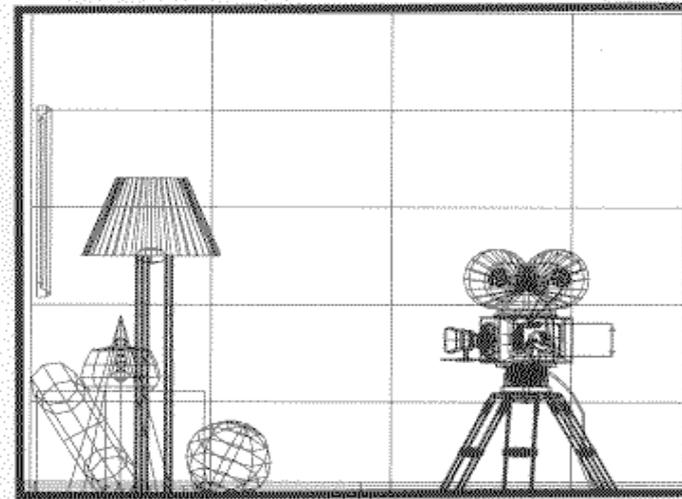
Ортографическая проекция



(a)

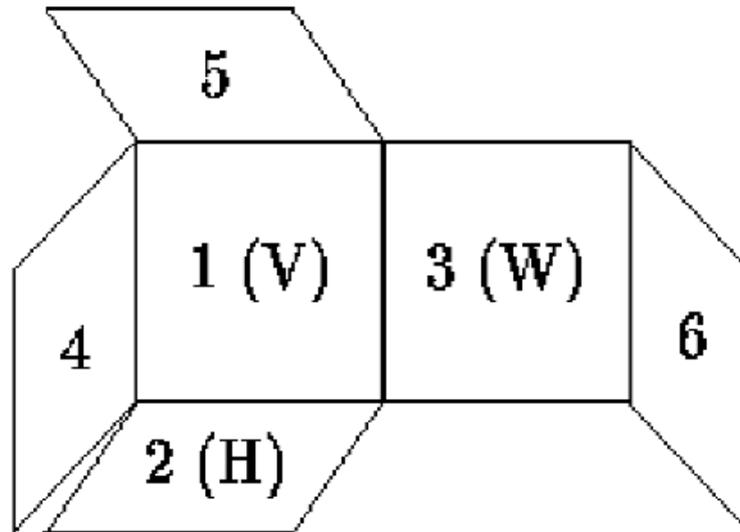
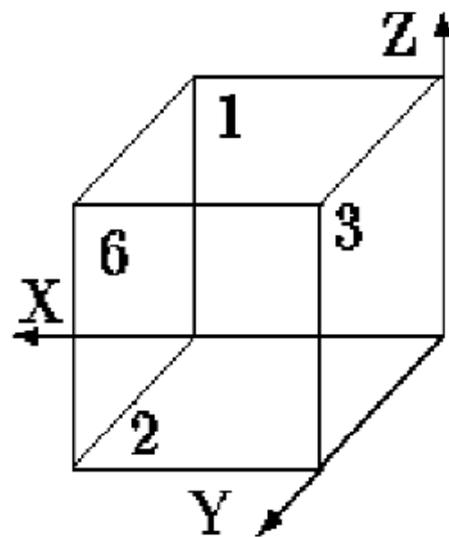


(b)

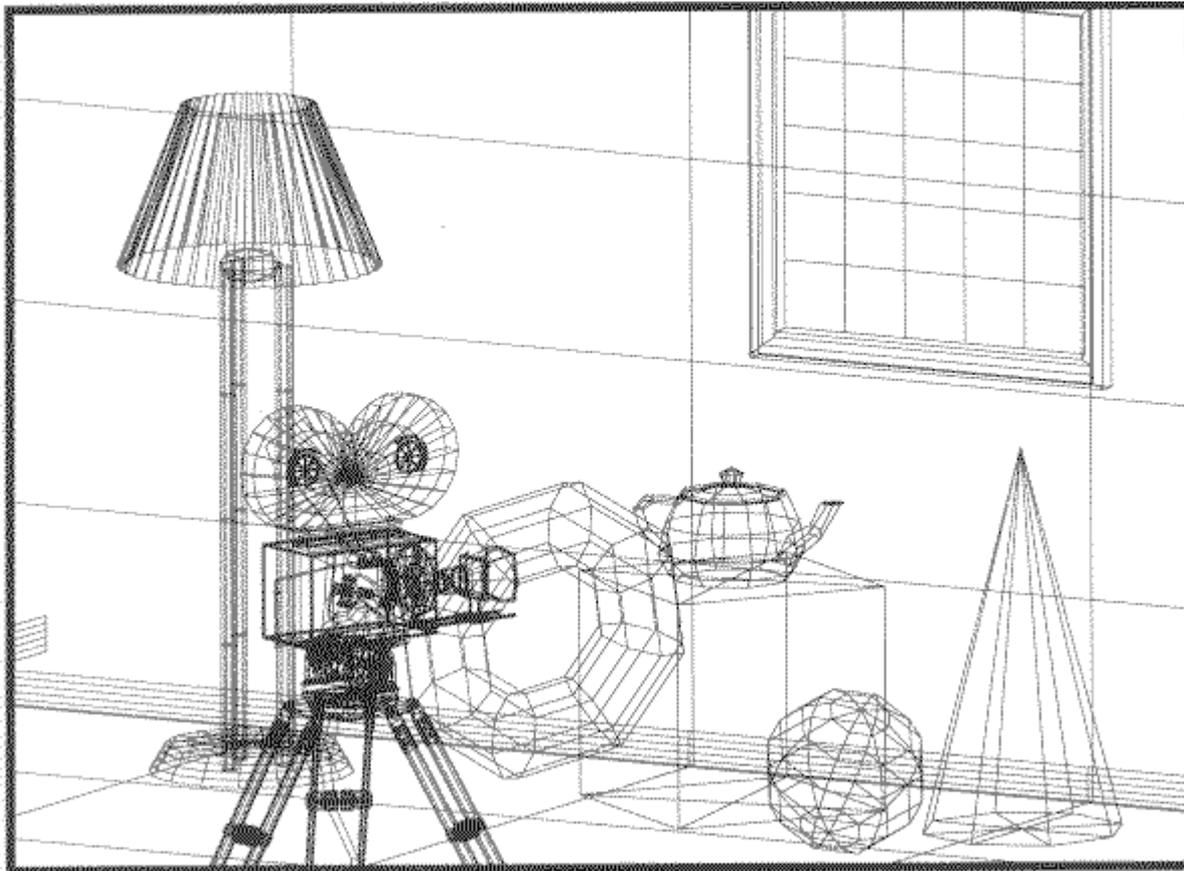


(c)

Ортогональные проекции



АксонOMETрическая проекция

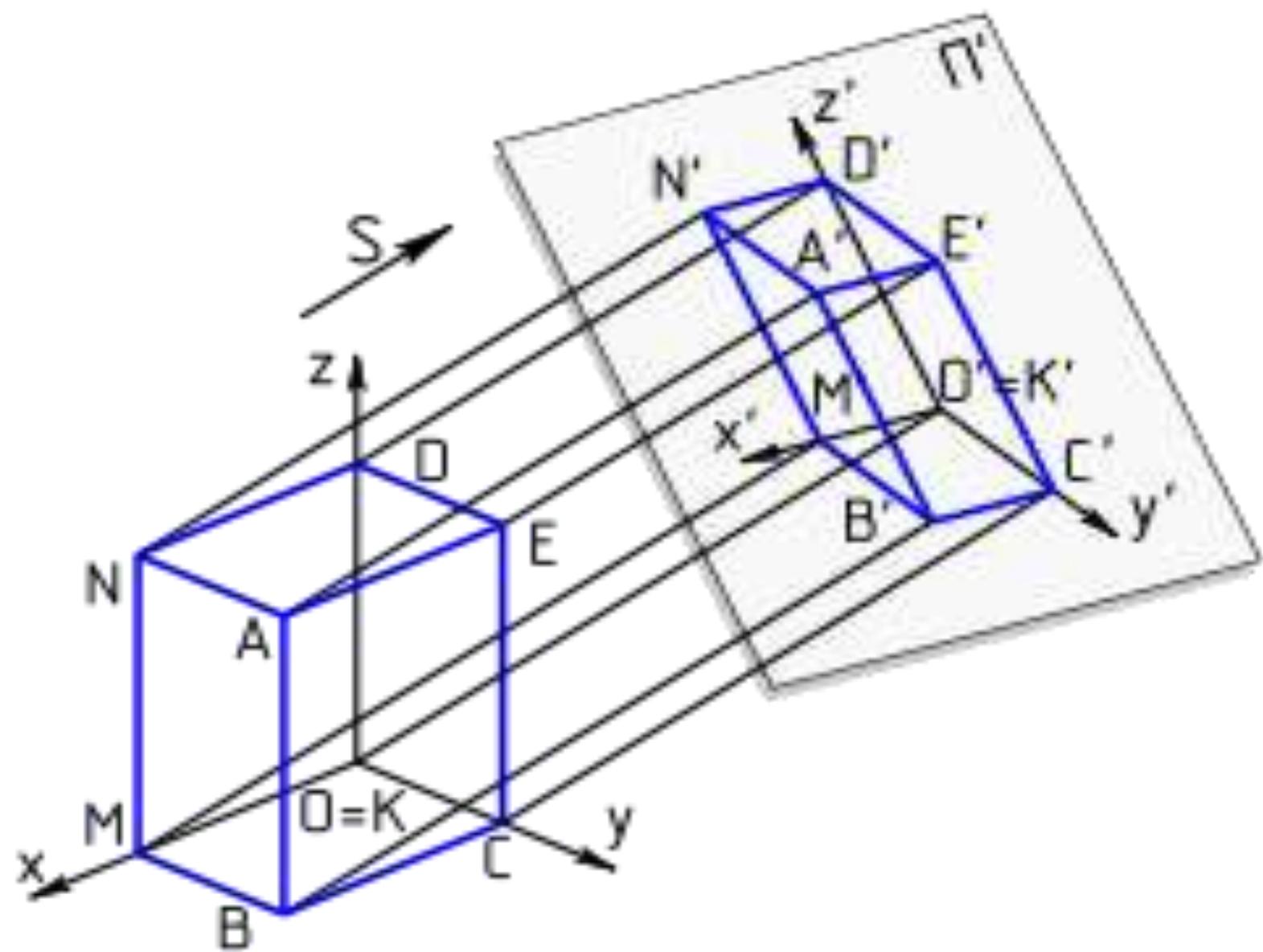


Предмет с **системой координат**, к которой он отнесён, проецируют на **произвольную плоскость** (картинная плоскость аксонометрической проекции) таким образом, чтобы эта плоскость не совпадала с его координатной плоскостью.

Так как картинная плоскость не параллельна ни одной из координатных осей, то имеются искажения отрезков по длине параллельных координатным осям.

Это искажение может быть

- ✓ **равным** по всем **трём** осям — **изометрическая** проекция ,
- ✓ по **двум** осям — **диметрическая** проекция,
- ✓ искажения **разные** по всем **трём** осям — **триметрическая** проекция.



Стереорафические проекции и виртуальная реальность

Человеческий глаз видит плоскую картину, но мозг преобразует полученное от глаз, так что создается ощущение объемного изображения.

Для создания возможности стереовидения необходимо смоделировать проекции для правого и левого глаза. Это так называемые стереорафические проекции, которые применяются для создания зрительного ощущения в виртуальной реальности.

Преобразование левой картинки: $[S_L] = [T_r][\Pi_z] =$

$$\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -1/f \\ e & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

где e - это половина расстояния между глазами.

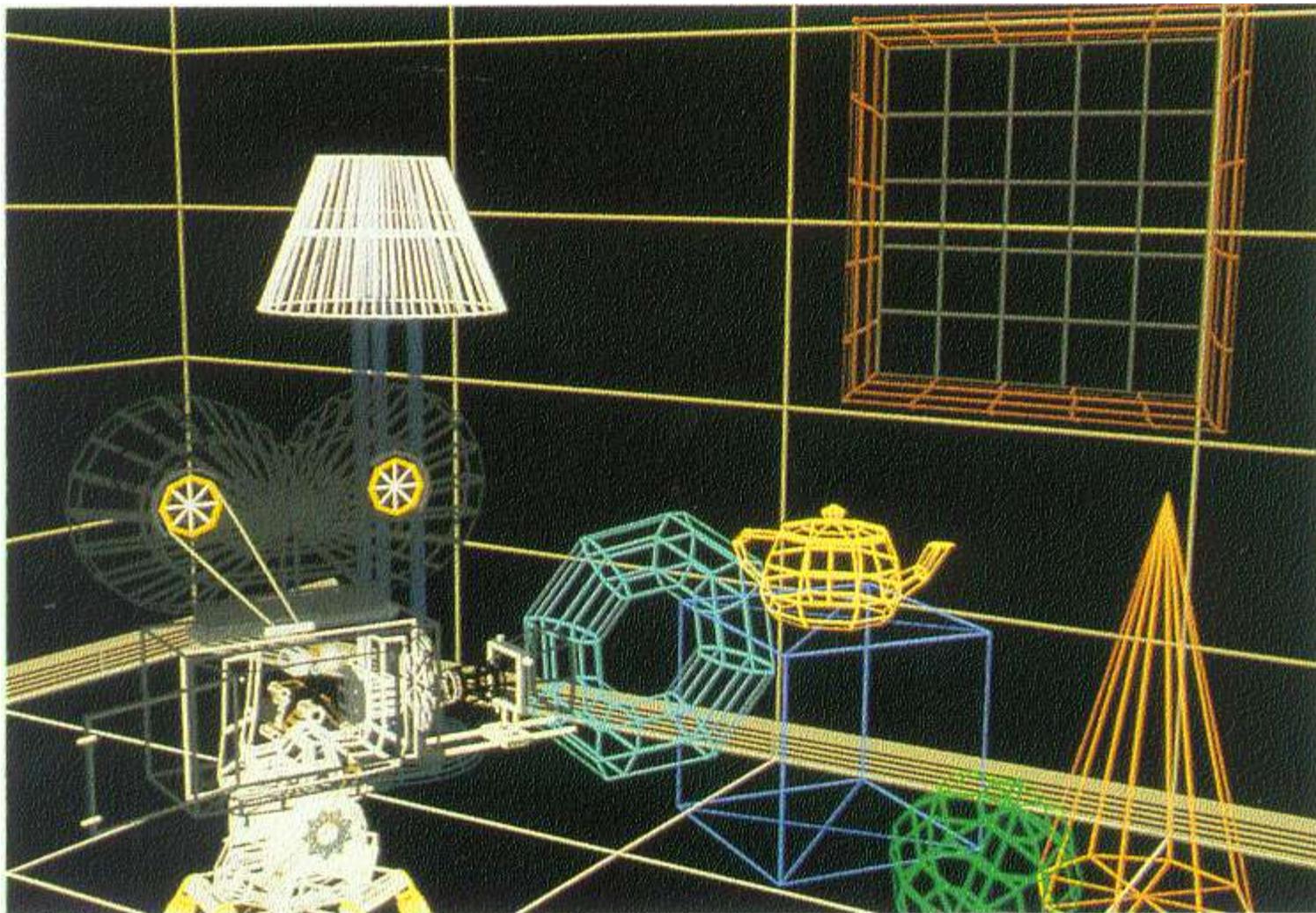
Преобразование правой картинки: $[S_R] =$

$$\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -1/f \\ -e & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

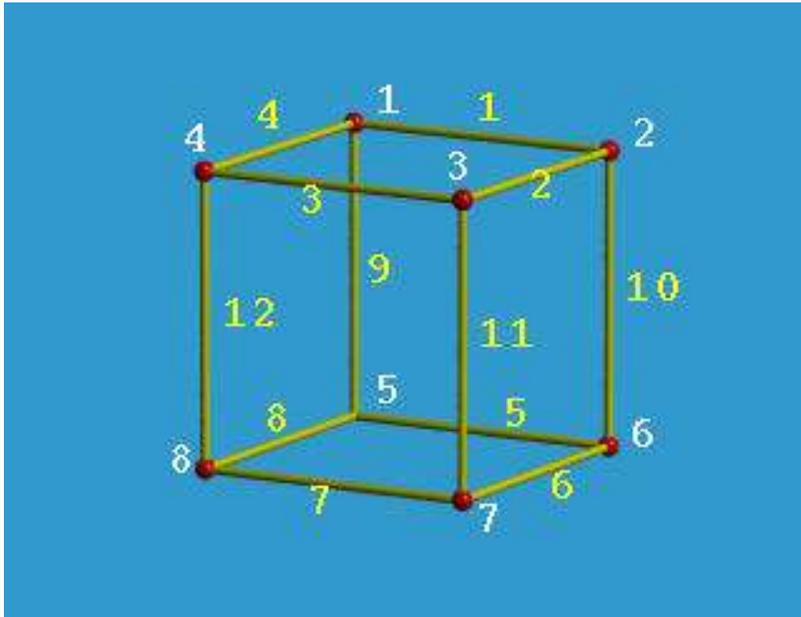
Для просмотра стереорафических проекций двумя глазами применяют: пассивные очки (цветовой анаглиф, поляризационные); активные затворные очки - пространственно-временное, оно же черестрочно-временное (вертикальная пара) и временное разделение воспроизведения проекций на экране (попеременная пара); шлемы (пространственное разделение); моно и мультиокольные стереоэкраны высокого разрешения (www.bu.edu) с передней подсветкой и задней подсветкой (Stewart Filmscreen), металлизированные стереоэкраны для сохранения поляризации отраженного света).



Цветные линии



Каркасное представление (Wireframe)



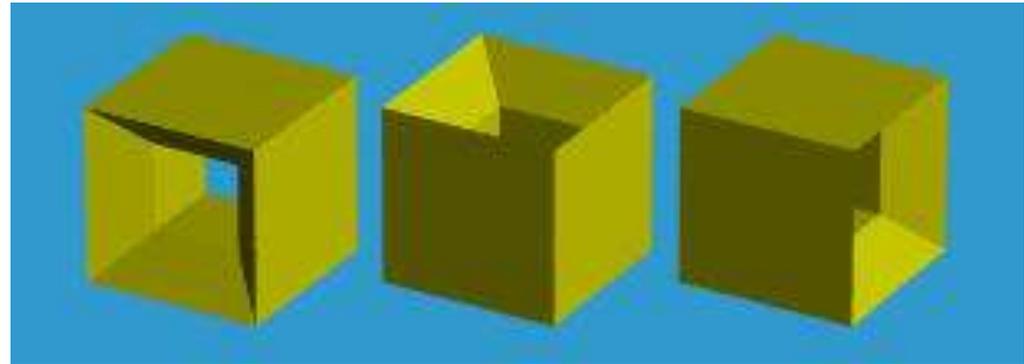
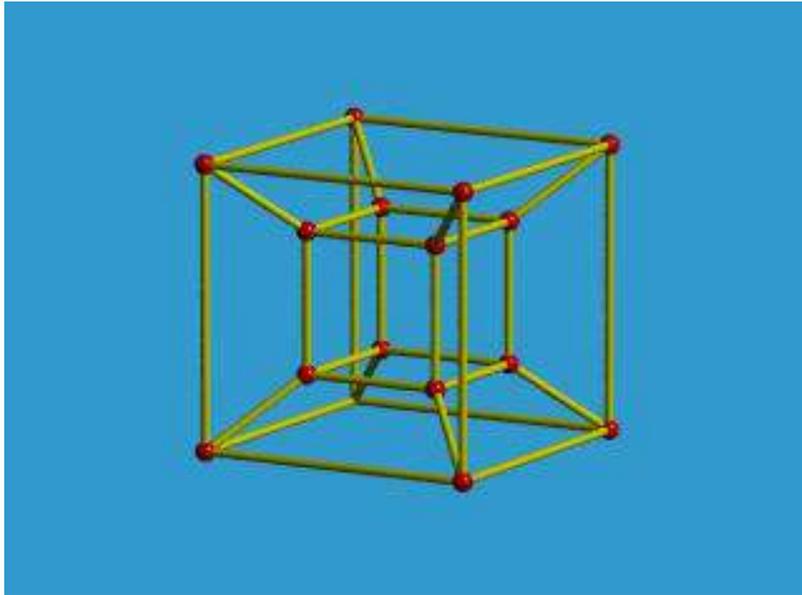
- **Таблица вершин**

- 1 1 1 1
- 2 1 -1 1
- 3 -1 -1 1
- 4 -1 1 1
- 5 1 1 -1
- 6 1 -1 -1
- 7 -1 -1 -1
- 8 -1 1 -1

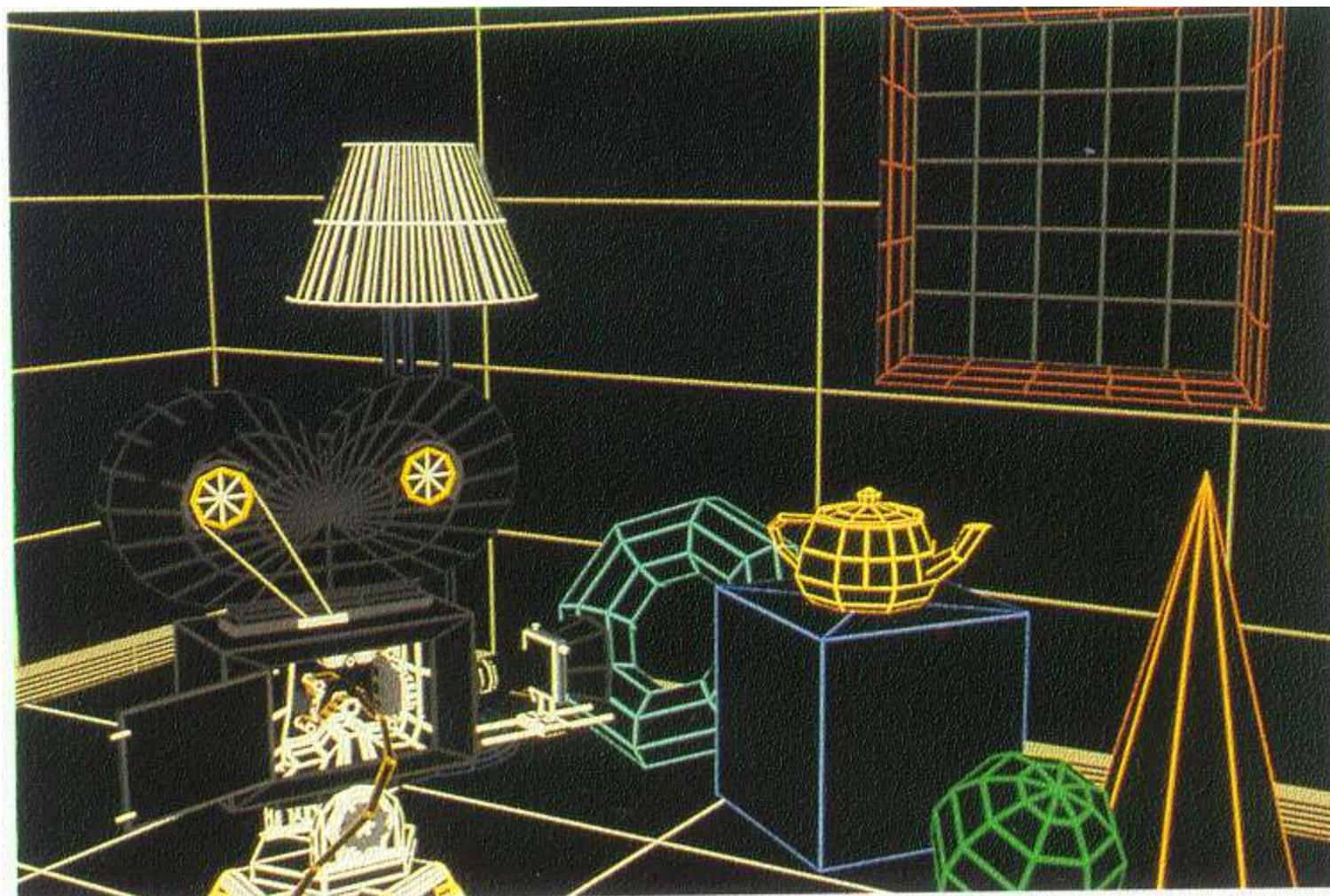
- **Таблица ребер**

- **1** (1, 2) **2** (2, 3) **3** (3, 4)
- **4** (5, 6) **5** (5, 6) **6** (6, 7)
- **7** (7, 8) **8** (8, 5) **9** (1, 5)
- **10** (2, 6) **11** (3, 7) **12** (4, 8)

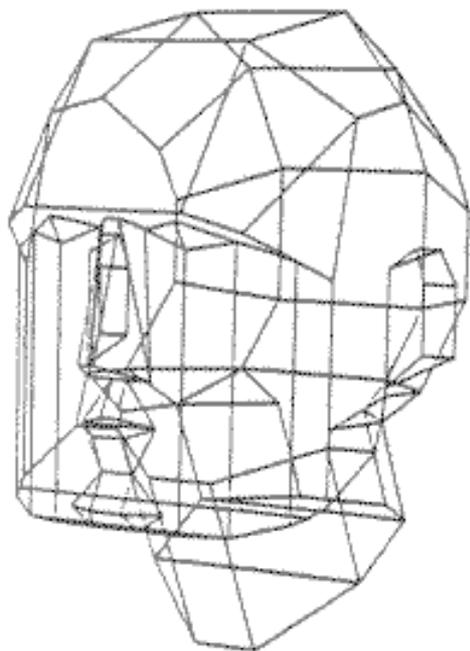
Неоднозначная интерпретация



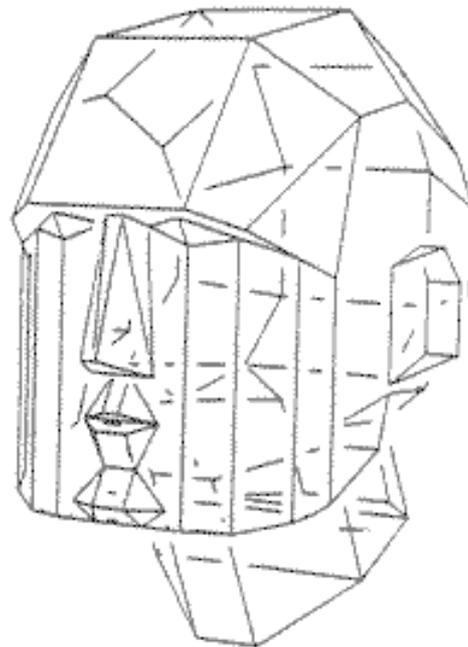
Определение видимых линий



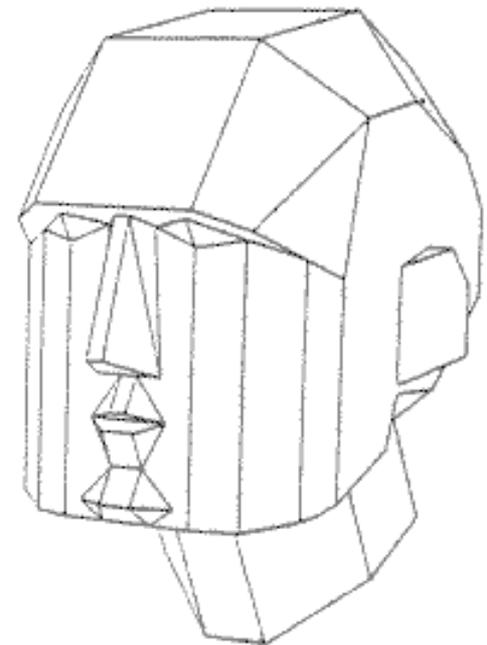
Удаление невидимых линий



(a)

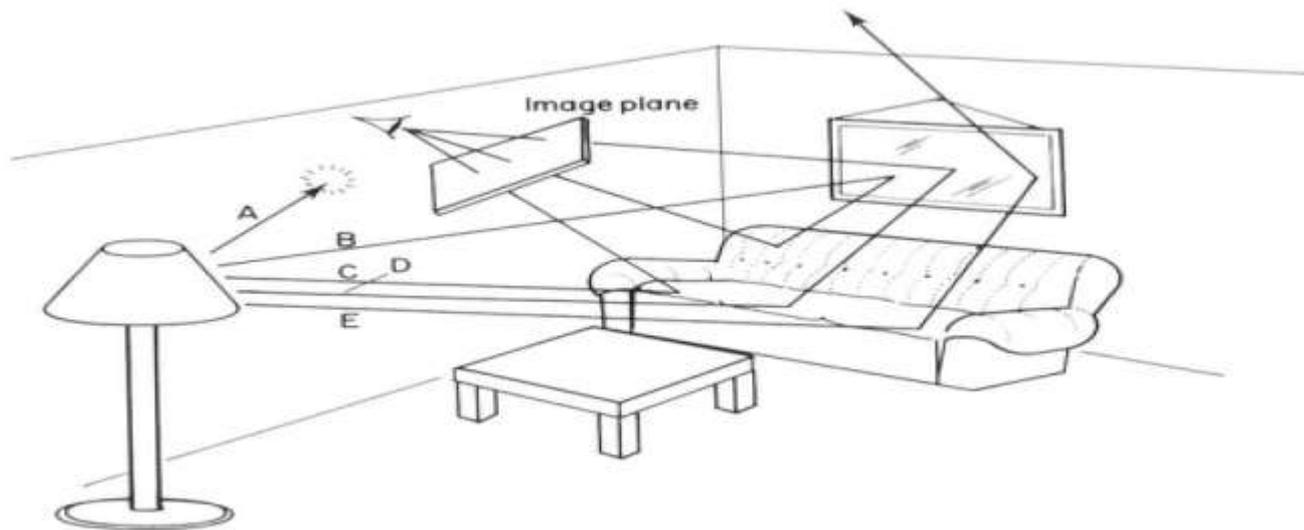


(b)

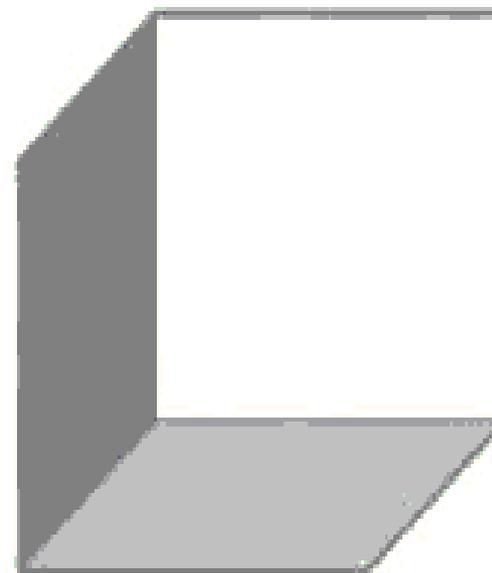
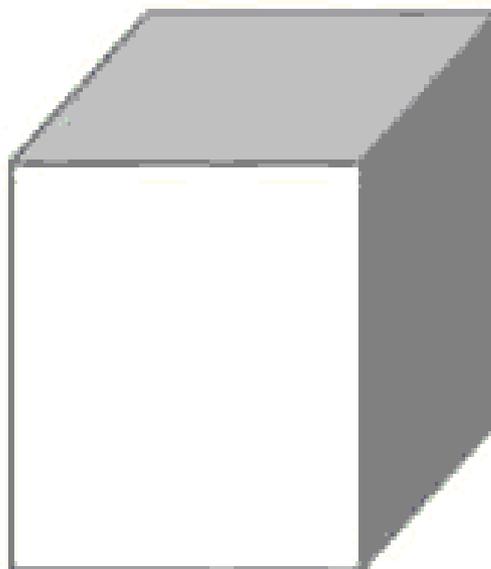
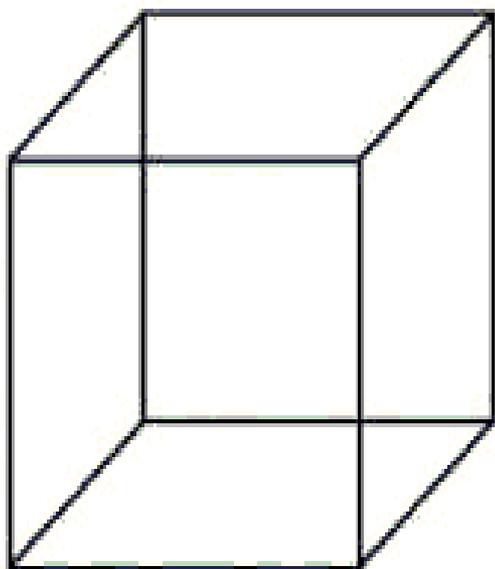


(c)

- ✓ Методы переборного типа.
- ✓ Метод Z-буфера.
- ✓ Методы удаления нелицевых граней многогранника.
- ✓ Алгоритмы Варнака и Вейлера — Азертона.
- ✓ **Алгоритм Робертса.**
- ✓ Методы приоритетов (маляра, плавающего горизонта).
- ✓ Метод двоичного разбиения пространства.
- ✓ Алгоритмы построчного сканирования для криволинейных поверхностей.
- ✓ Алгоритм определения видимых поверхностей путем трассировки лучей (ray casting), и т.д.



Пример: удаление невидимых ребер выпуклого многогранника **методом Робертса**



Идея метода Робертса

Каждая плоскость определяется четырехмерным вектором \vec{P} , а каждая точка \vec{r} , заданная в однородных координатах, также представляет собой четырехмерный вектор:

$$\vec{P} = \begin{pmatrix} a \\ b \\ c \\ d \end{pmatrix}, \vec{r} = \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \\ 1 \end{pmatrix}.$$

Принадлежность точки плоскости можно установить с помощью скалярного произведения, т.е. если

$$(\vec{P} \cdot \vec{r}) = 0$$

то точка принадлежит плоскости, если же нет, то знак произведения показывает, по какую сторону от плоскости эта точка находится.

Грани задаются в виде плоскостей, заданных в канонической форме

$$ax + by + cz + d = 0$$

Из векторов плоскостей строится прямоугольная матрица $\perp \times n$, которая называется **обобщенной матрицей описания многогранника**:

$$M = \begin{pmatrix} a_1 & a_2 & a_3 & \dots & a_n \\ b_1 & b_2 & b_3 & \dots & b_n \\ c_1 & c_2 & c_3 & \dots & c_n \\ d_1 & d_2 & d_3 & \dots & d_n \end{pmatrix} .$$

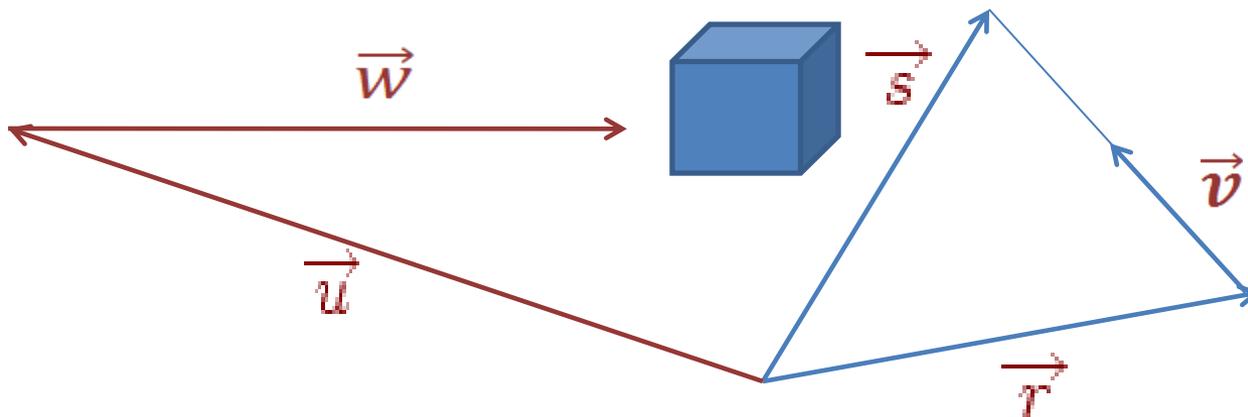
Если заданы концы отрезка \vec{r} и \vec{s} , а наблюдатель расположен в точке \vec{u} , то отрезок задается уравнением

$$\vec{v} = \vec{r} + t(\vec{s} - \vec{r}), \quad 0 \leq t \leq 1$$

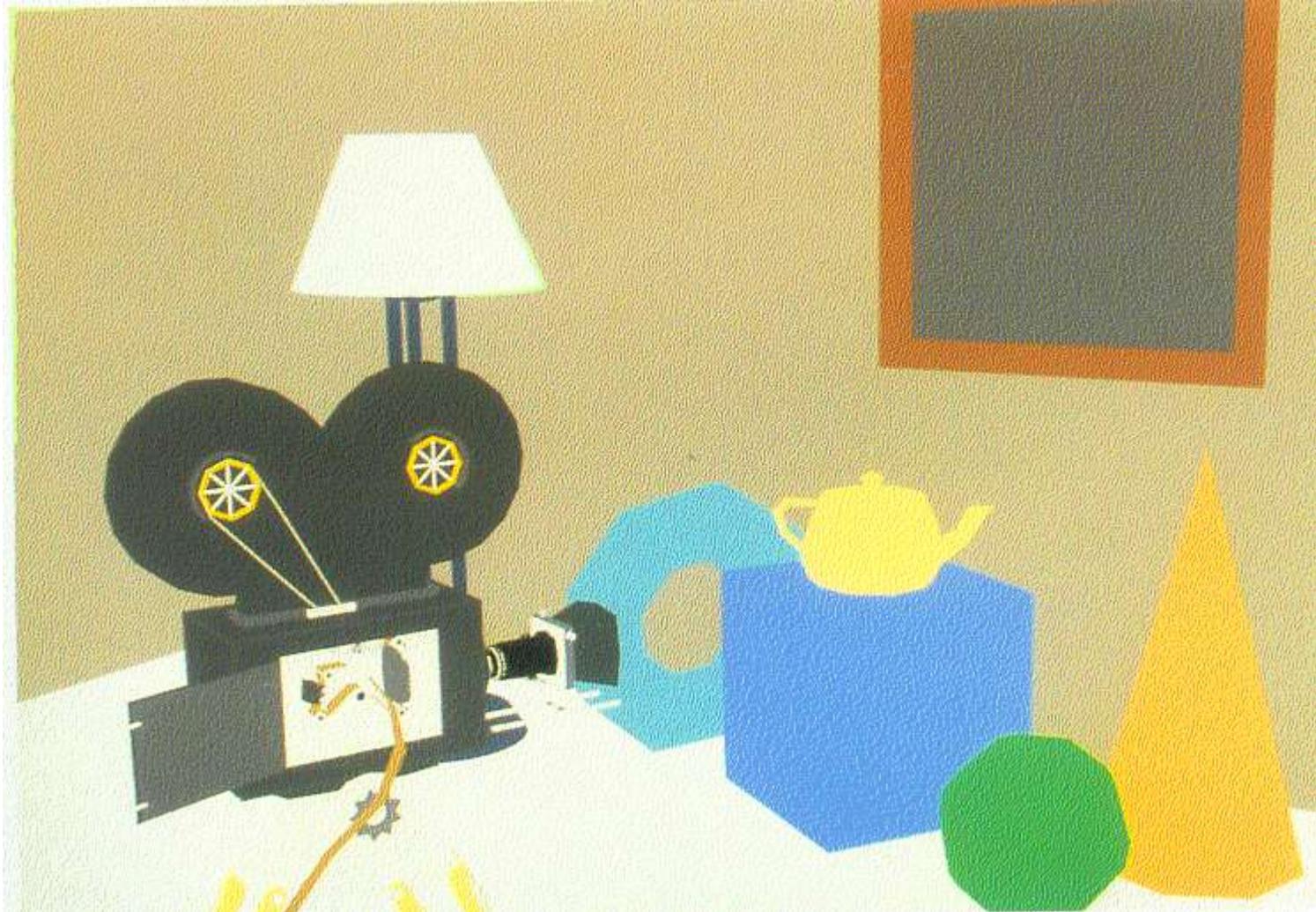
а прямая, идущая от наблюдателя в точку, соответствующую параметру τ , параметризуется уравнением

$$\vec{w} = \vec{u} + \tau(\vec{v} - \vec{u}), \quad 0 \leq \tau \leq 1$$

Для определения той части отрезка, которая закрывается каким-либо телом, достаточно найти значения t и τ , при которых произведение вектора \vec{w} на обобщенную матрицу M этого тела положительно.



Следующий этап: определение видимых поверхностей (рассеянный “ambient” свет)



Визуальное восприятие объектов окружающей действительности представляет собой сложный процесс, имеющий как физические, так и психологические аспекты.

Рассмотрим физические аспекты восприятия:

1. отражение,
2. преломление,
3. рассеяние,
4. каустики,
5. краска,
6. текстура и т.д.

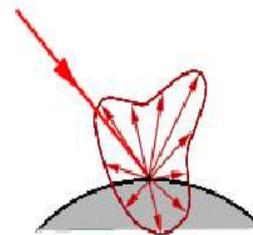
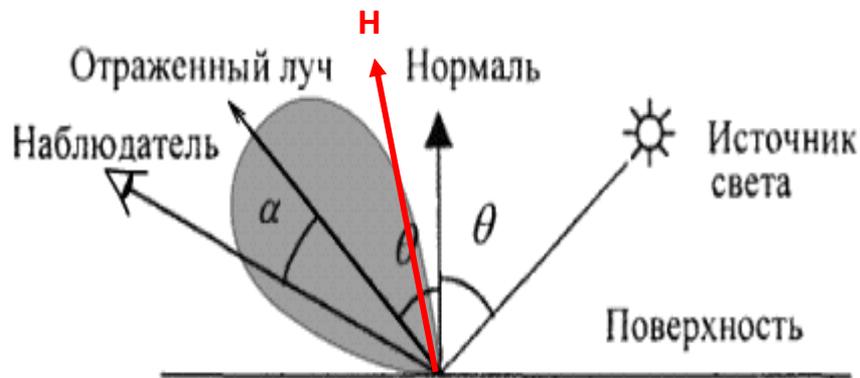


Поверхность характеризуется - шероховатостью – h , глянцевоcтью – p , коэффициентом отражения k_s , коэффициентом рассеяния k_d , диаграммой рассеяния и т.д.

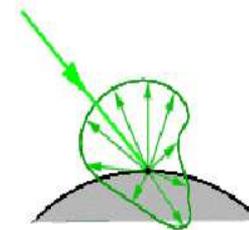
Падающий луч характеризуется длиной волны λ , углом падения θ и интенсивностью I .

Если h порядка λ , то чем больше длина волны, тем лучше отражение.

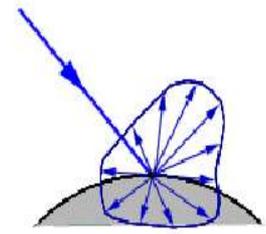
При наличии существенных шероховатостей имеется зона рассеивания (показана на рис. серым цветом), форма которой, как правило, симметрична относительно линии зеркально отраженного луча.



а) Красный цвет



б) Зеленый цвет

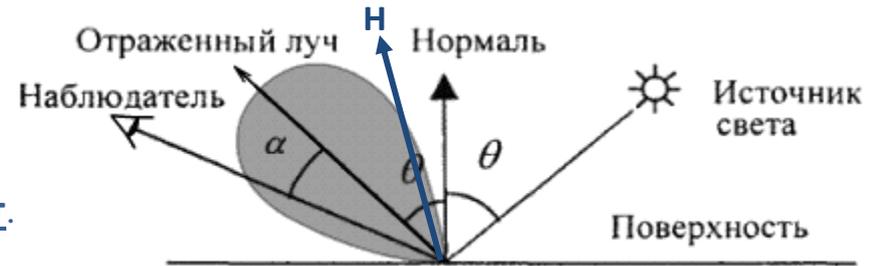


в) Синий цвет

Модели отражения света. Зеркальное отражение

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

Собственный цвет у такой поверхности отсутствует.



Световая энергия падающего луча отражается только по линии отраженного луча (рассеивание отсутствует т.е. назад ничего не отражается).

Наиболее часто в качестве модели зеркального (specular) отражения используется эмпирическая **модель Фонга** :

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

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 , глянецовость (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.

Модели отражения света. 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.

Диффузное отражение описывается **законом Ламберта**: интенсивность отраженного света пропорциональна косинусу угла между направлением на точечный источник света и нормалью к поверхности

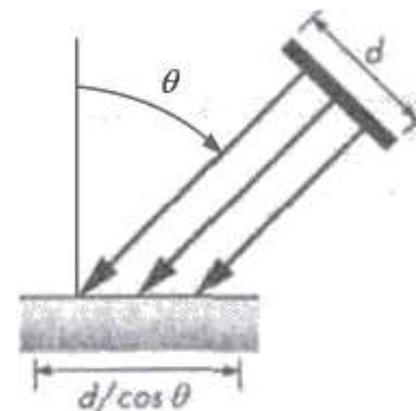
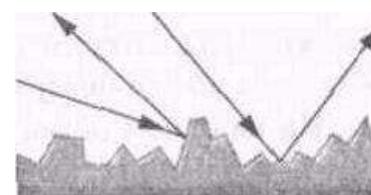
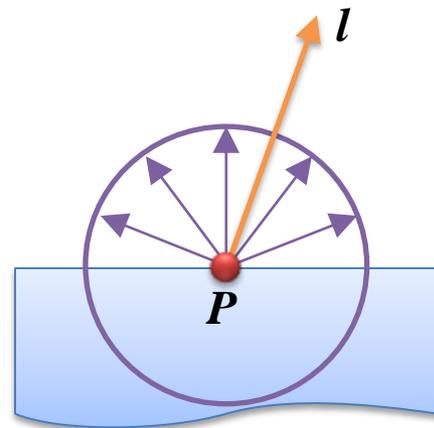
$$I_d = L_d \cdot k_d \cdot \cos(\theta)$$

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 цвет.

Наблюдаемый цвет матовой поверхности определяется комбинацией собственного цвета поверхности и цвета излучения источника света.



Модели отражения света. Рассеянный свет. Учет ослабления

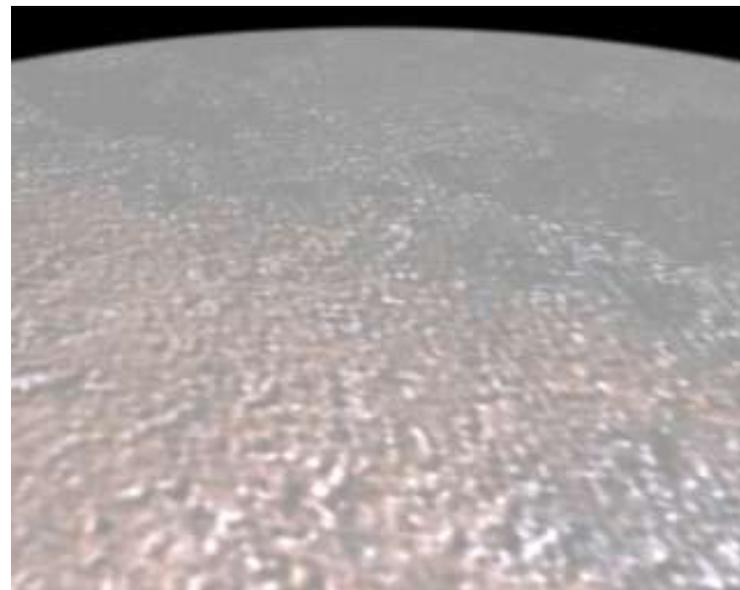
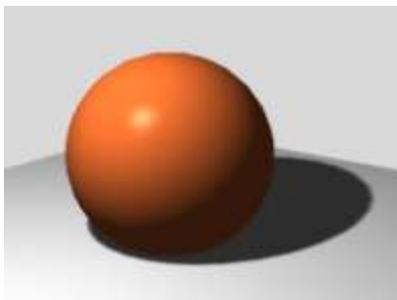
В реальных сценах обычно нет полностью затемненных объектов → Следует учитывать фоновую подсветку, освещение рассеянным (ambient) светом, отраженным от других объектов. В результате интенсивность может быть эмпирически выражена следующей формулой:

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

L_a - интенсивность рассеянного света,

k_a – коэффициент отражения поверхности.

Множитель перед скобками зависит от расстояния до наблюдателя d , позволяет учесть ослабление светового потока по мере удаления точек анализируемой поверхности от источника.



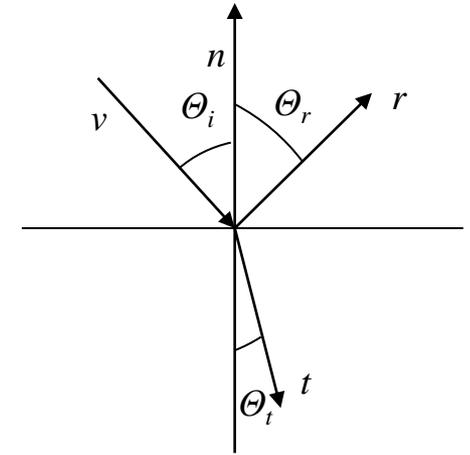
Модели преломления света

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*):

$$\eta_1 \sin \Theta_i = \eta_2 \sin \Theta_t$$

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



$$r = v - 2(v, n)n$$

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).

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 \mathbf{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 $\beta = 0$.

Примеры психологических аспектов восприятия:

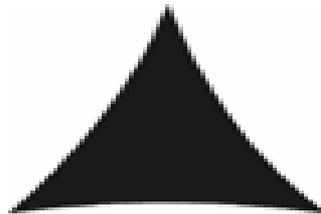
Изобразительное искусство – это ловкий обман зрения.

Любой **шрифт** – это **постоянный обман зрения**, нужный для того, чтобы глаз легко скользил по строчкам, не испытывая усталости и раздражения.

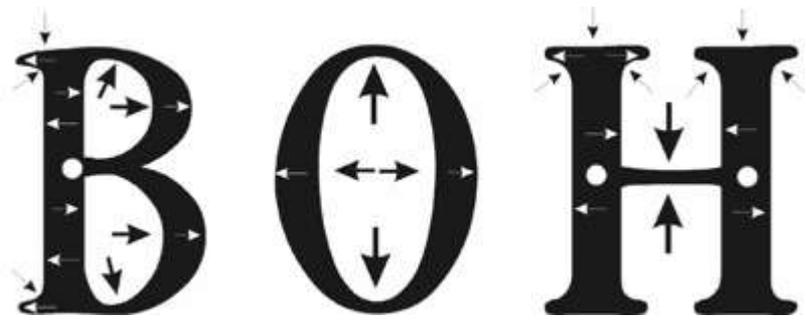
Из всего созданного цивилизацией знаки письма наиболее нуждаются в коррекции и гармонизации так как они самый мелкий носитель информации воспринимаемый невооруженным глазом!!!



Целостная модель раскалывается по глубине



выпуклость имеет тенденцию побеждать вогнутость

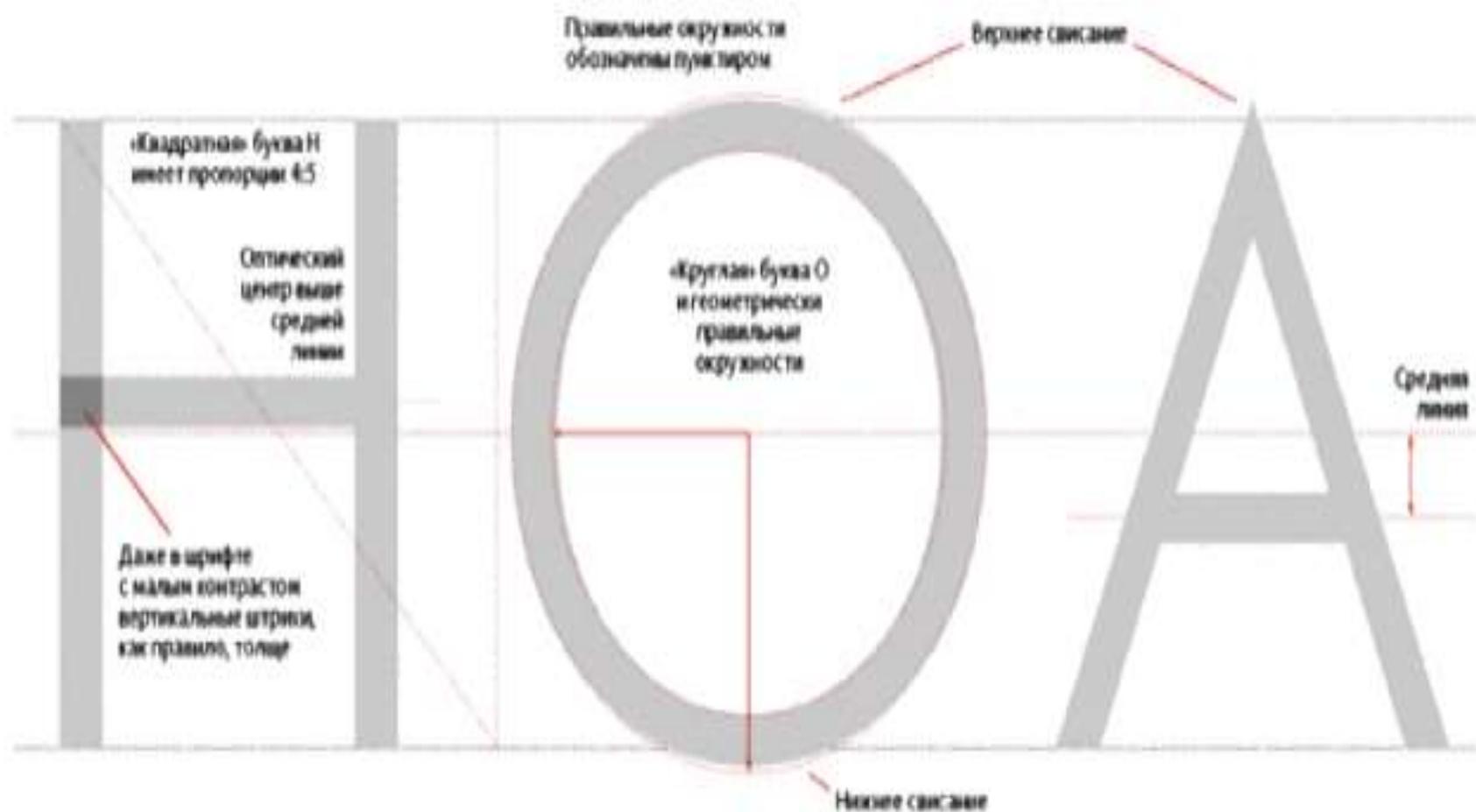


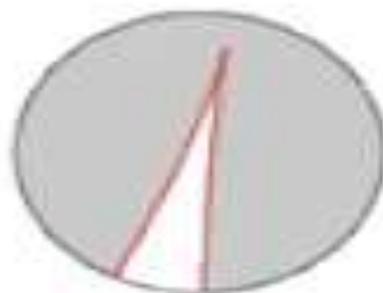
В буквах организованных с помощью дуг и полу дуг белое наплывает на черное в местах наибольшей выпуклости - по вертикали, где утонченная дуга черного не может сопротивляться активности белого.

В данном случае (в букве О) все же белое с трудом перетягивает букву как контур так, как черный силуэт достаточно массивен и неоднороден по толщине, что предполагает разночтения.

В букве "В" происходят более сложные пространственные процессы. Точкой отмечено место пересечения. В этом месте основной штрих явно находится над срединной линией. Значит эта точка самая "высокая" в этой букве. Во внутренних плоскостях происходят сходные процессы, что и в букве О, только слева граница основного штриха не пускает белое, а подминает его под себя.

Насчет буквы Н можно сказать, что опорные точки пересечения выходят вперед, а белая поверхность захватывает соединительный штрих, тем более что он немного вогнут.





Повушка для краски

Верхняя крышка **Б** короче, чем полуовал, иначе буква завалится вправо



Нельзя

Можно



Нижний стык в антикве часто делают скругленным (например Lazurski)



Наклон козырька: наружу — стандарт для антиквы; внутрь — отсылка к уставу; вертикально — брусковый шрифт. То же у Г, Е, Ё, Т



Клс антиква



lazitsa русский



Officina Serif брусковый

В антикве верх полуовала принято слегка выгибать наружу. В гротеске обычно верхнее и нижнее соединения с вертикалью одинаковы, под прямым углом

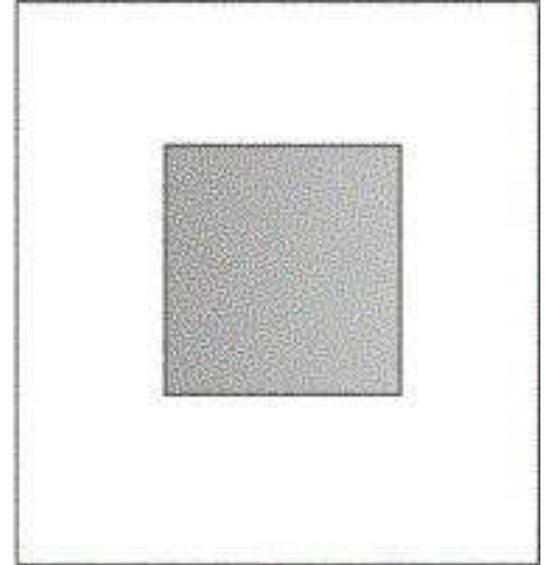
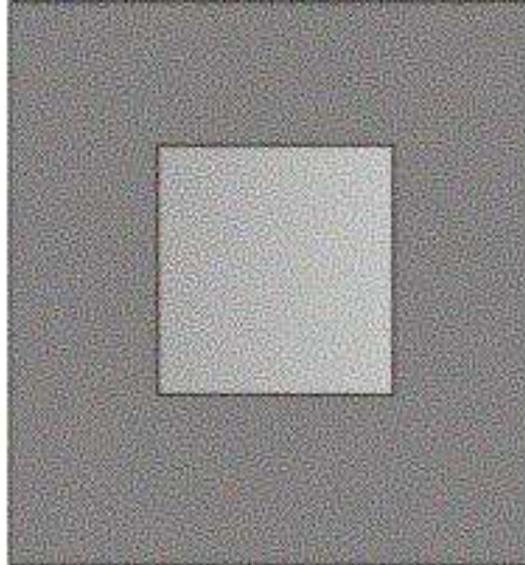
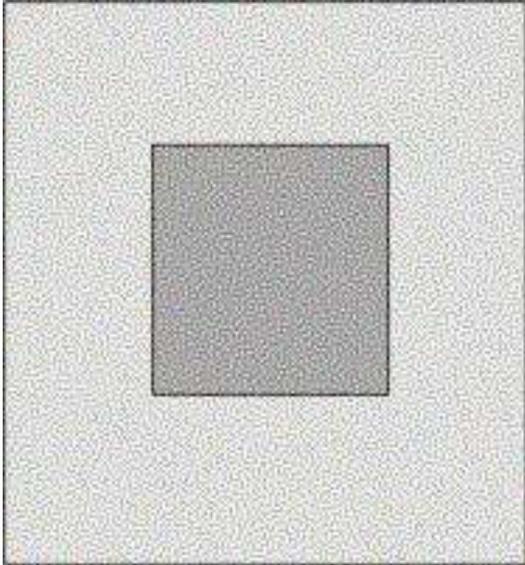


Gals гротеск

Глаз адаптируется к средней яркости рассматриваемой сцены, поэтому при смене фона изменяется восприятие сцены.

Например, однородно окрашенная область на более темном фоне будет казаться более яркой, чем на светлом.

Кроме того, она будет восприниматься как более обширная:

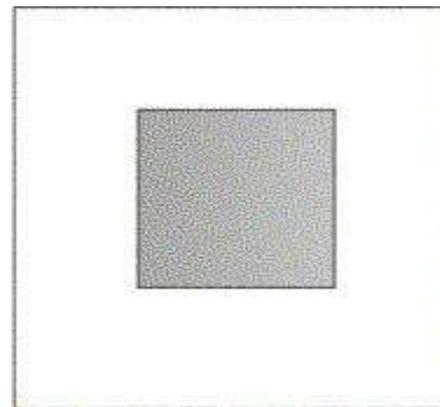
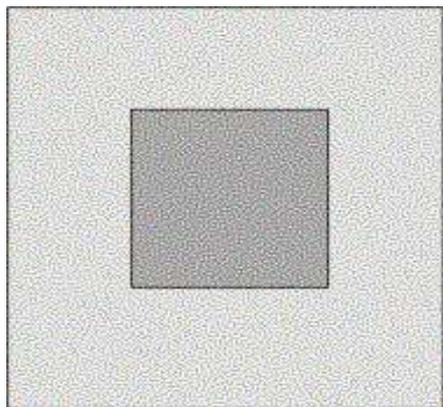


Еще одна особенность восприятия заключается в том, что граница равномерно освещенной области кажется более яркой по сравнению с внутренними частями.

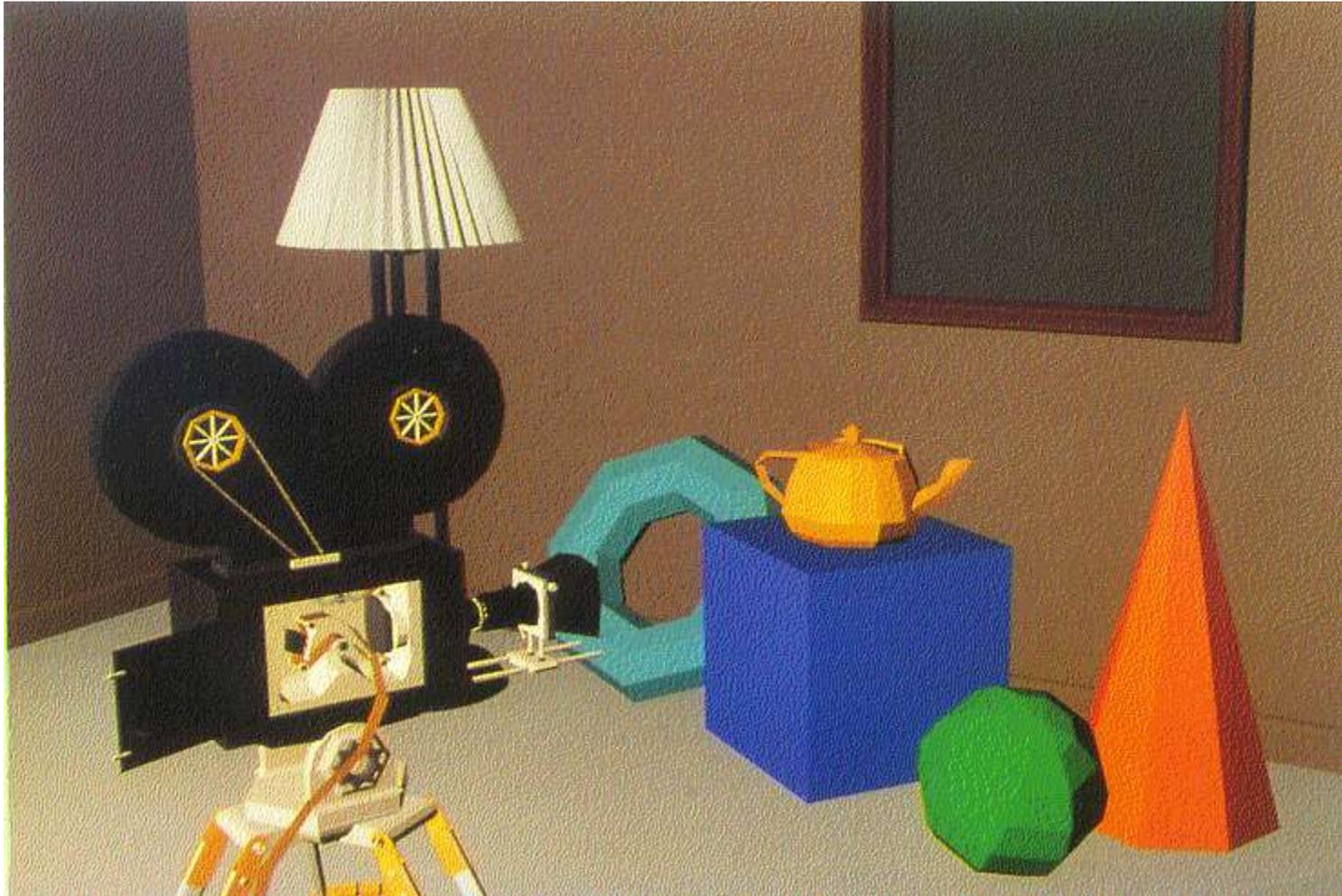


Это явление было обнаружено Эрнстом Махом, поэтому оно получило название **эффекта полос Маха**.

Такие особенности необходимо учитывать, если мы стремимся к созданию реалистических изображений сцен.



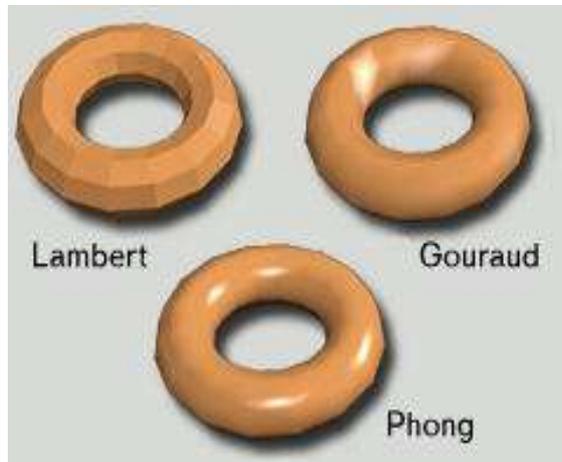
Закраска индивидуальных полигонов



Материалы: освещение и окрашивание

Три модели освещения – три алгоритма закрашивания: плоское закрашивание (по Ламберту), закрашивание по Гуро и закрашивание по Фонгу.

Модель с плоским закрашиванием заключается в равномерном однородном закрашивании каждого треугольника одним цветом (обычная заливка). В результате объект предстает как множество плоских граней.



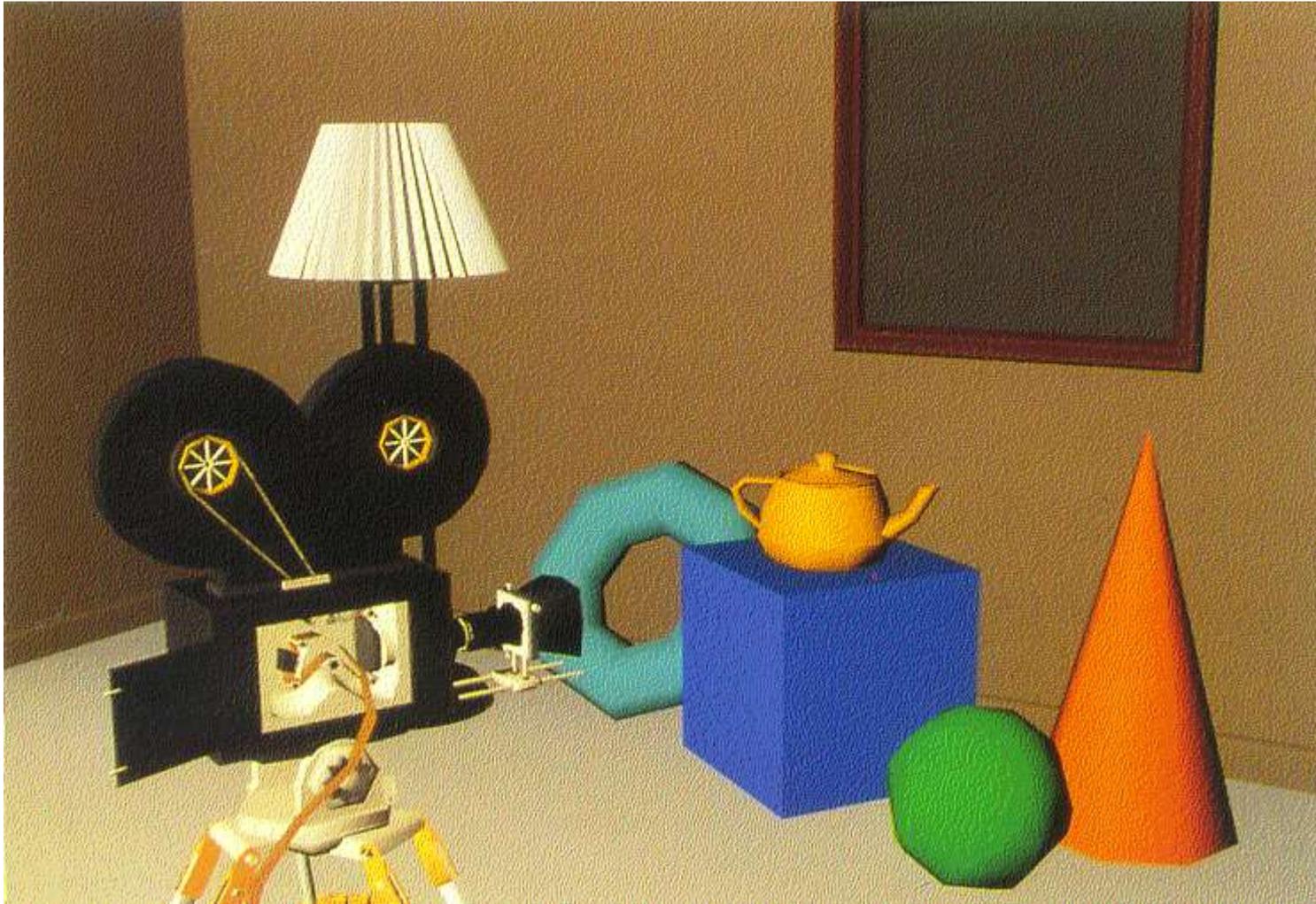
В процедурах закрашивания по Гуро и по Фонгу цвет интерполируется относительно вершин треугольника, что приводит к более реалистичной и непрерывной закраске объекта.

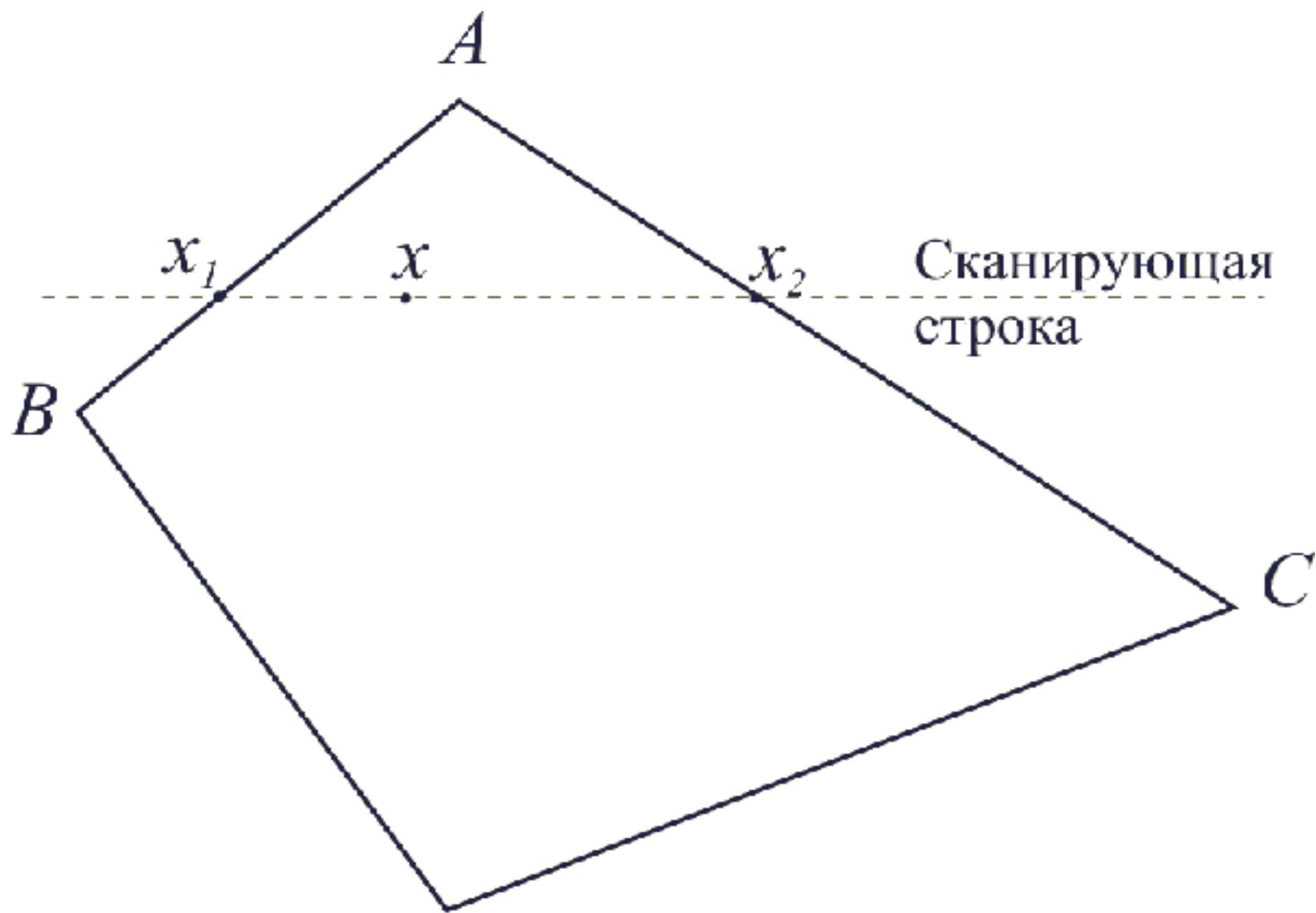
Метод Гуро - для вершин каждого полигона по нормалям вычисляются цвета, а затем проводится их интерполяция в рамках полигона. Метод Фонга – интерполируются нормали, а не цвета (более затратен, но более точен).

Плоское окрашивание → эффект **полос Маха** (Mach bands):

- ✓ Если предположить, что источник света находится на бесконечности, то лучи света, падающие на поверхность, параллельны между собой.
- ✓ Если к этому добавить условие, что наблюдатель находится в бесконечно удаленной точке, то эффектом ослабления света с увеличением расстояния от источника также можно пренебречь.
- ✓ Такое положение наблюдателя означает еще и то, что векторы, направленные от разных точек поверхности к наблюдателю, также будут параллельны.
- ✓ При выполнении всех этих условий плоская грань во всех точках имеет одинаковую интенсивность освещения, поэтому она окрашивается одним цветом.

Закраска Гуро (Gougaud) (диффузное отражение)





Пусть I_A, I_B, I_C интенсивности в вершинах A, B, C , (вершинный шейдер)

x_A, x_B, x_C - горизонтальные координаты этих точек.

Тогда в точках пересечения сканирующей строки с ребрами многоугольника интенсивности можно вычислить по формулам интерполяции:

$$I_1 = t_1 I_A + (1 - t_1) I_B, \quad t_1 = \frac{x_1 - x_B}{x_A - x_B},$$

$$I_2 = t_2 I_A + (1 - t_2) I_C, \quad t_2 = \frac{x_2 - x_C}{x_A - x_C},$$

После этого интенсивность в точке X

$$I = t I_1 + (1 - t) I_2, \quad t = \frac{x_2 - x}{x_2 - x_1}$$

К недостаткам **метода Гуро** следует отнести то, что он хорошо работает только с **диффузной моделью отражения**.

Форма бликов на поверхности и их расположение не могут быть адекватно воспроизведены при интерполяции на многоугольниках.

Кроме того, есть проблема построения нормалей к поверхности.

В алгоритме Гуро нормаль в вершине многогранника вычисляется путем усреднения нормалей к граням, примыкающим к этой вершине.

Такое построение сильно зависит от характера разбиения.



Гуро

Закраска Фонга (Phong) (зеркальное отражение)

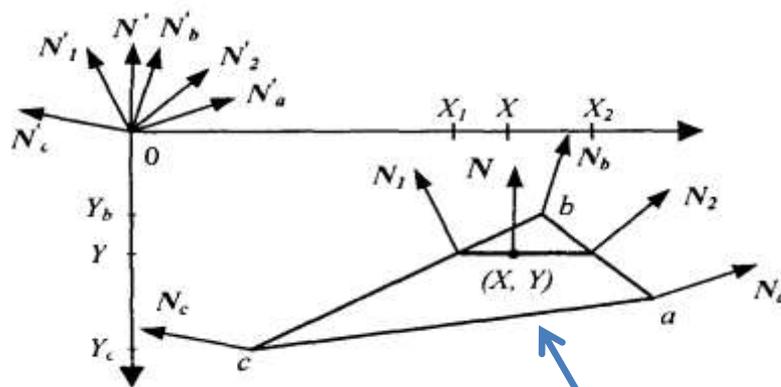
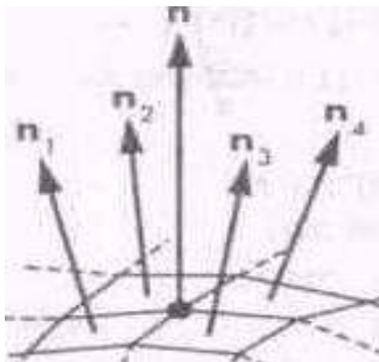


Фонг предложил вместо интерполяции интенсивностей произвести интерполяцию вектора нормали к поверхности на сканирующей строке.

Этот метод требует больших вычислительных затрат, поскольку формулы интерполяции применяются к **трем компонентам вектора нормали**, но зато дает лучшую аппроксимацию кривизны поверхности.

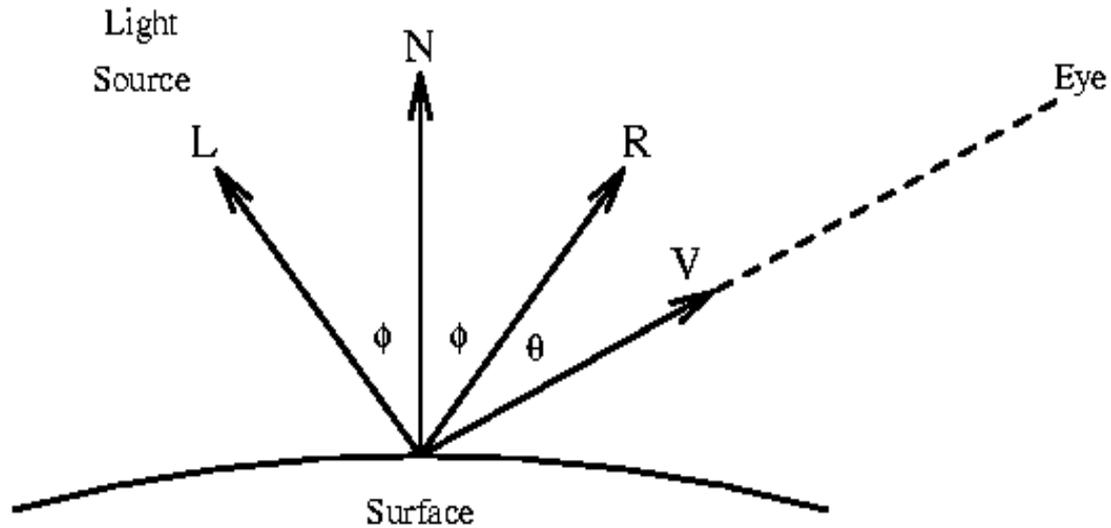
Этот метод позволяет устранить ряд недостатков метода **Гуро**, но не все.

В частности, эффект **полос Маха** в отдельных случаях в методе **Фонга** бывает даже сильнее, хотя в подавляющем большинстве случаев аппроксимация **Фонга** дает лучшие результаты.

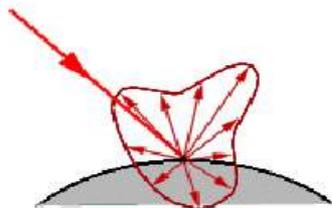


бегущая строка
и интерполяция
нормали

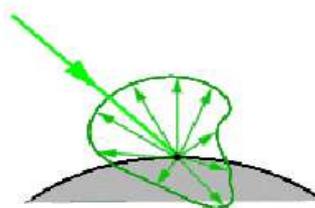
Phong's Rule



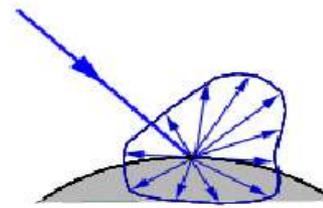
$$I_r = I_{pr}k_s(\cos \theta)^n \quad I_g = I_{pg}k_s(\cos \theta)^n \quad I_b = I_{pb}k_s(\cos \theta)^n$$



а) Красный цвет



б) Зеленый цвет



в) Синий цвет

- a) **плоское закрашивание,**
- b) закрашивание по **методу Гуро**
- c) закрашивание по **методу Фонга.**



Первый из вариантов дает изображение **ребристой** поверхности с очень контрастными.

Вторая модель дает более гладкое изображение, но в районе **бликов** отчетливо наблюдаются **линии ребер**.

Третий вариант получился наиболее гладким, зеркальные блики имеют **достаточно** реалистичную форму.

Зеркальное отражение + ослабление + рассеяние и т.д.



Текстуры



До сих пор выводимые на экран примитивы строились только с помощью синтетических цветов.

Для того чтобы придать им большей реалистичности можно прибегнуть к помощи текстур.

Текстура представляет собой двумерное растровое изображение, которое накладывается (натягивается) на поверхность объекта, например на плоский треугольник.

Текстуры, как правило, хранятся в графических файлах форматов bmp, jpeg, tiff, tga, gif.

Фильтрация текстур – это механизм, с помощью которого происходит наложение текстуры на полигоны отличающегося размера. Наиболее распространенными по использованию являются следующие типы фильтрации текстур:

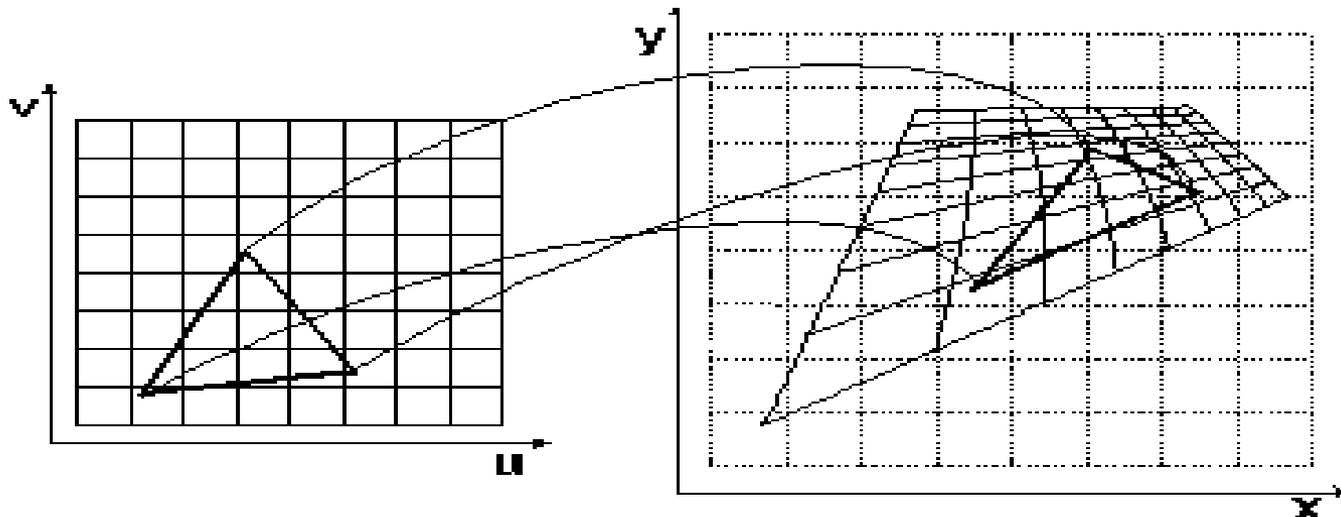
- ✓ точечная фильтрация (используется по умолчанию) – самая быстрая по скорости, но самая низкая по качеству;
- ✓ линейная фильтрация – приемлемое качество и скорость;
- ✓ анизотропная – самая медленная, но самая качественная.

Методы текстурирования (MIP-mapping, bump-mapping), фильтрации, сглаживания

Текстурирование. Наложение текстуры или текстурирование (texture mapping) - это метод, посредством которого на поверхность объекта накладывается некоторое изображение, называемое изображением текстуры.

В общем контексте графического конвейера этот метод открывает огромные возможности, но простота идеи метода наложения текстуры весьма обманчива.

Технология текстурирования заключается в проецировании изображения (текстуры) на трехмерную поверхность. Таким образом обеспечивается дополнительная **детализация 3D объекта без усложнения его геометрии.**

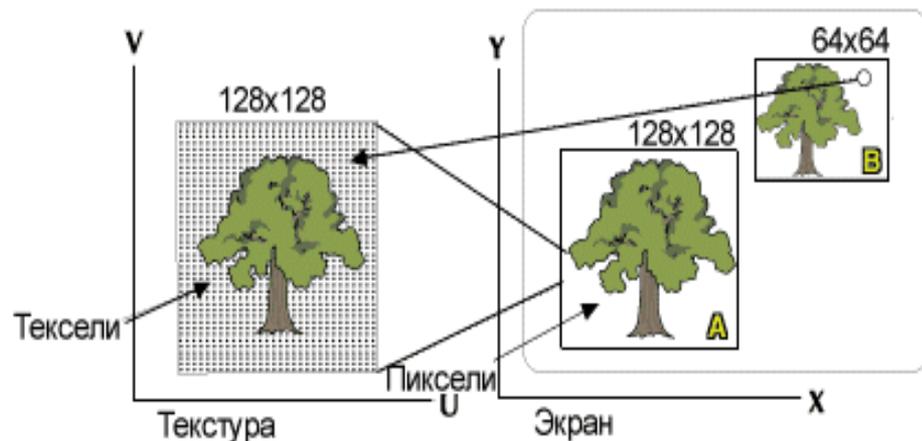


Когда изображение используется в качестве текстуры, накладываемой на 3D примитив, проявляется множество разнообразных ошибок визуализации, называемых артефактами.

Текстурирование. Сэмплинг и его артефакты

Сэмплинг (point-sampling) – простейший метод текстурирования, в котором **текселы** непосредственно переносятся в **пиксели** изображения с учетом масштаба.

Методу присущ серьезный артефакт: когда наблюдатель приближается вплотную к текстурированной поверхности, происходит пикселизация. Для избежания этого артефакта используют методы текстурирования, основанные на фильтрации текстур.



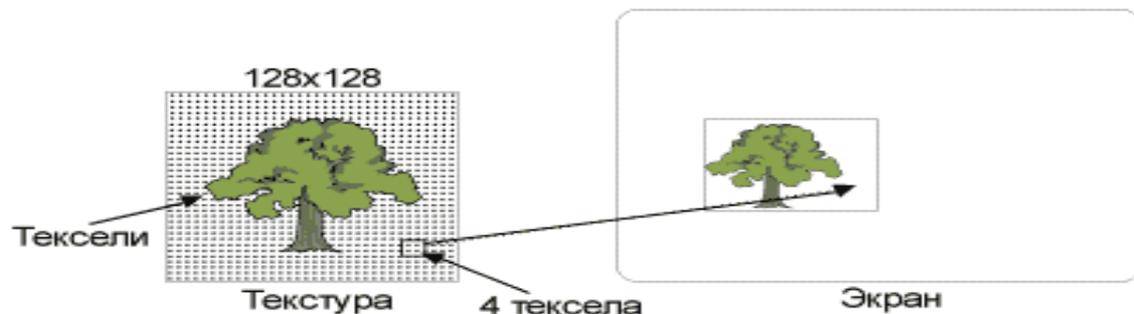
A: однозначное соответствие между текселями и пикселями
B: pixel 0:texel 0; pixel 1:texel 2; pixel 2:texel 4...



Линейная фильтрация

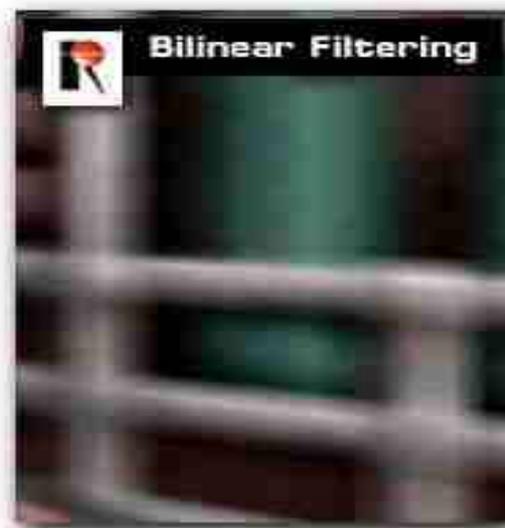
Bi-linear filtering - это техника устранения искажений изображения (фильтрация), таких, как "блочность" текстур при их увеличении.

При билинейной фильтрации, в качестве цвета каждого пиксела берется взвешенное среднее значение (линейная интерполяция) цвета четырех смежных текселов



Результирующий цвет пиксела определяется в результате операций смешивания:

1. сначала смешиваются цвета двух пар текселов по x ,
2. а потом смешиваются два полученных цвета по y .



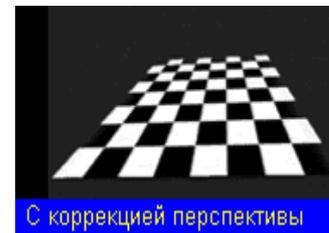
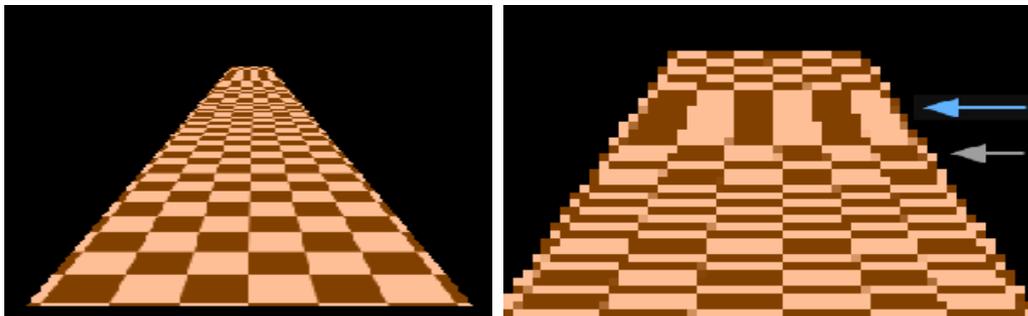
Артефакты depth aliasing и перспективная коррекция

Существует класс артефактов наложения текстур известный под названием "**depth aliasing**" (ошибки глубины сцены или Z-aliasing), от которых билинейная фильтрация не избавляет и не может избавить.

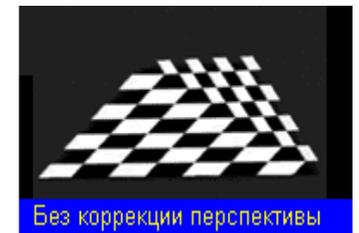
Ошибки "depth aliasing" возникают из-за того, что объекты более отдаленные от наблюдателя, выглядят более маленькими на экране.

Эти ошибки визуализации **особенно нежелательны в анимации**, где такие артефакты становятся причиной мерцания и эффекта медленного движения в той части изображения, которая должна быть неподвижной. Как только вертикальная сторона квадрата (высота) сокращается до двух пикселей (см. напротив голубой стрелки), появляются артефакты "depth-aliasing" - несколько квадратов сливаются в один.

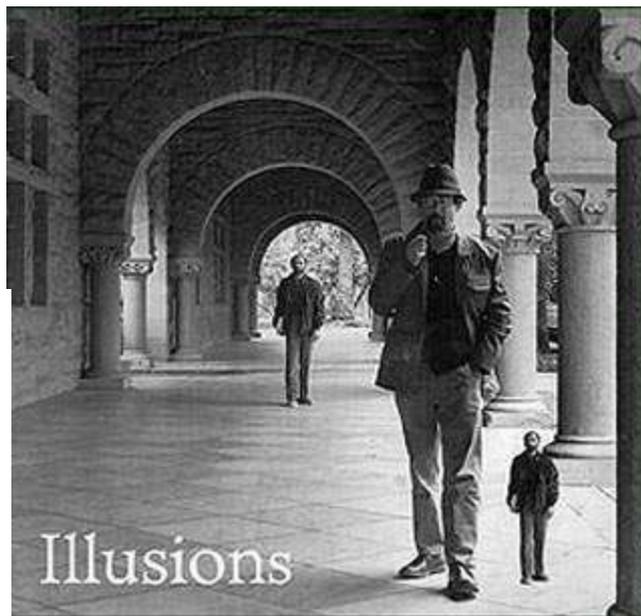
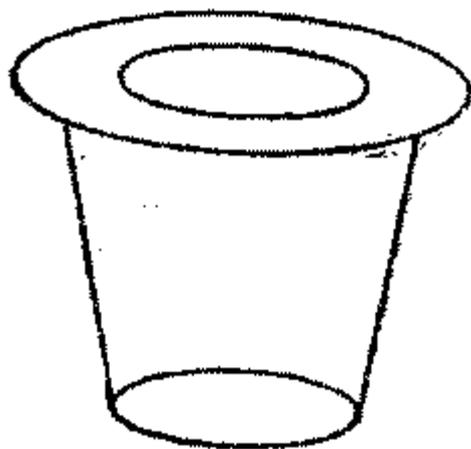
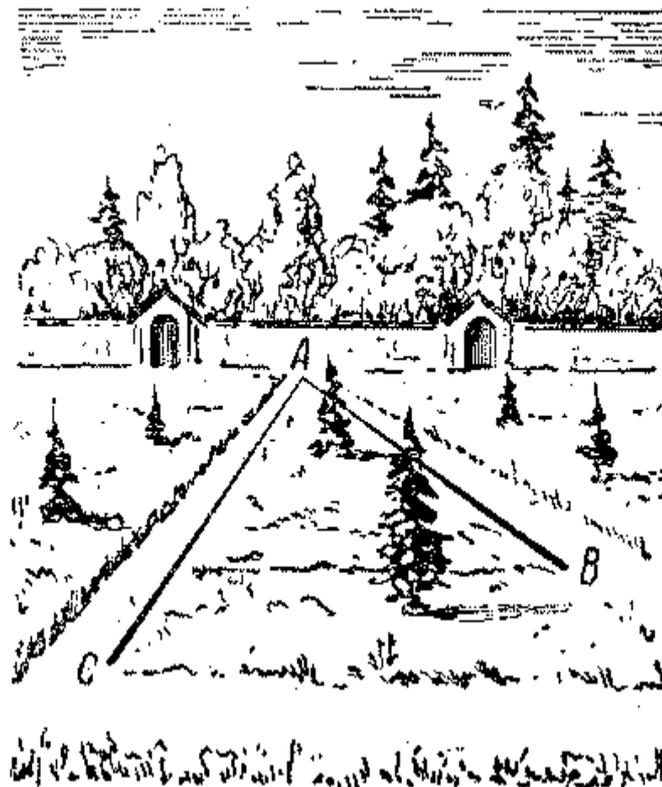
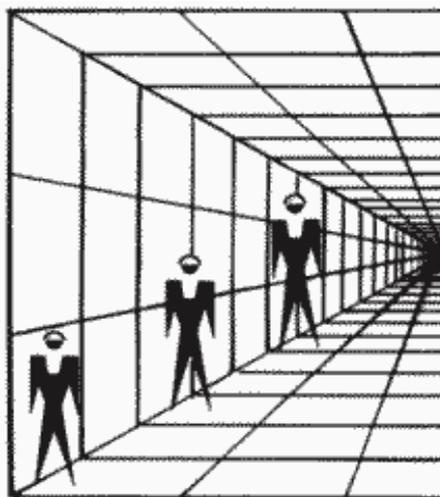
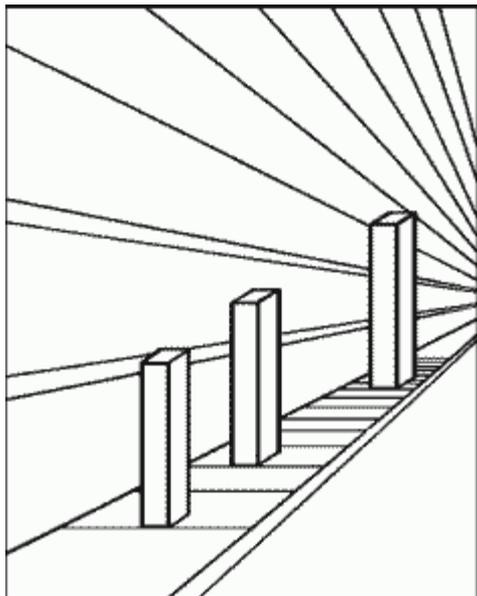
Одним из способов устранения depth aliasing, имеющим и самостоятельное значение, является **перспективная коррекция**. Перспективная коррекция – ресурсоемкая процедура (одна операция деления на каждый пиксел), поэтому 3D-ускорители реализуют ее аппаратно. Но разные ускорители достигают разного качества перспективной коррекции.



С коррекцией перспективы



Без коррекции перспективы



овек на заднем плане и карлик на
переднем - одного роста.

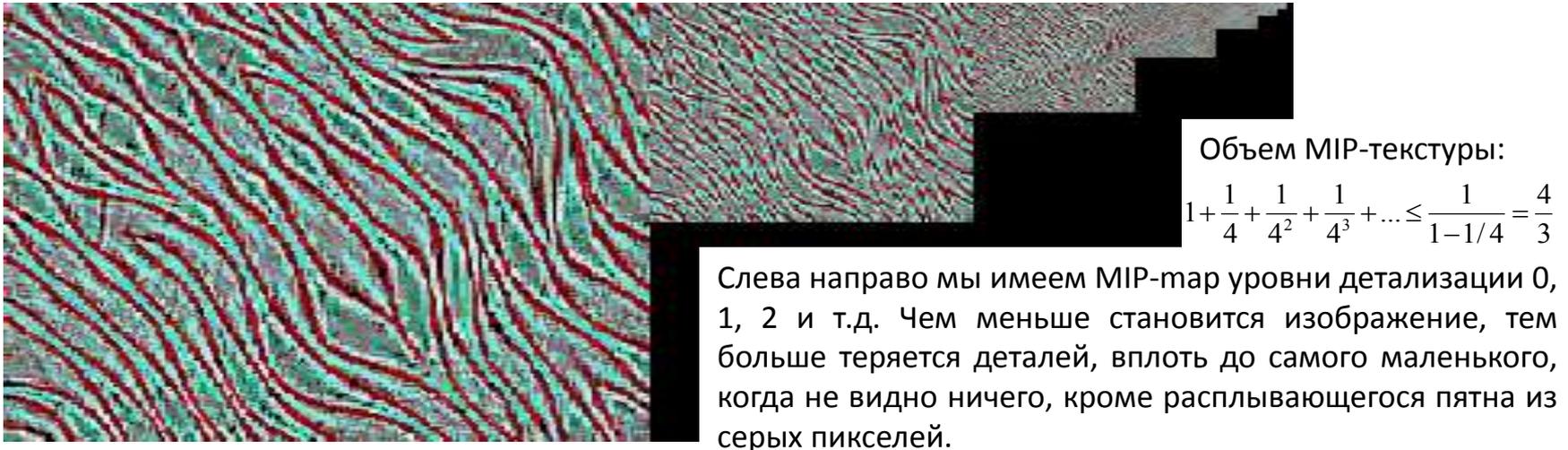
<http://www.psy.msu.ru/illusion/>

MIP-mapping

Mip-mapping - наложение текстур, имеющих разную степень или уровень детализации, когда в зависимости от расстояния до точки наблюдения выбирается текстура с необходимой детализацией.

Mip-текстура (mip-map) состоит из набора заранее отфильтрованных и масштабированных изображений.

В изображении, связанном с уровнем mip-map, пиксель представляется в виде среднего четырех пикселей из предыдущего уровня с более высоким разрешением. Отсюда, изображение связанное с каждым уровнем mip-текстуры в четыре раза меньше по размеру предыдущего mip-map уровня.



Анизотропная фильтрация (Anisotropic filtering)

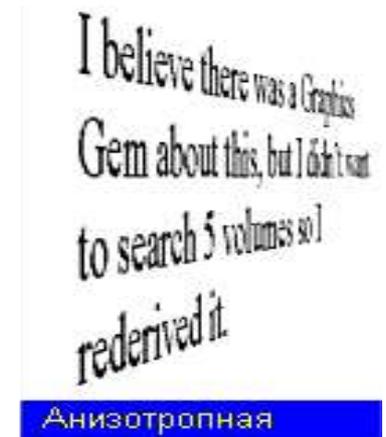
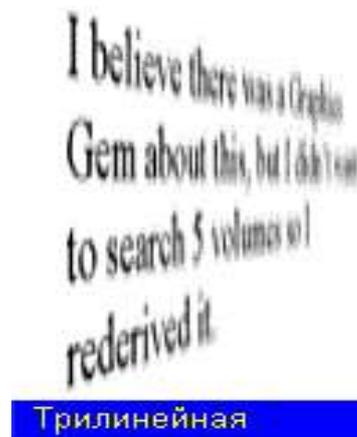
Анизотропная фильтрация обычно оперирует не менее чем 8 текселями, во все стороны mip-тар уровней, при этом используется модель неопределенной заранее формы.

В результате убираются шумы и искажения объектов, а изображение в целом получается более качественным. Анизотропная фильтрация работает с текселями как с эллипсами и для получения одного пиксела обрабатывает до 32 (2x16) текселов.

Качество текстуры при анизотропной

→ фильтрации даже на дальних дистанциях остается схожей с оригинальным; при изотропной фильтрации же видна тенденция в "сглаживанию" изображения, в результате теряется качество.

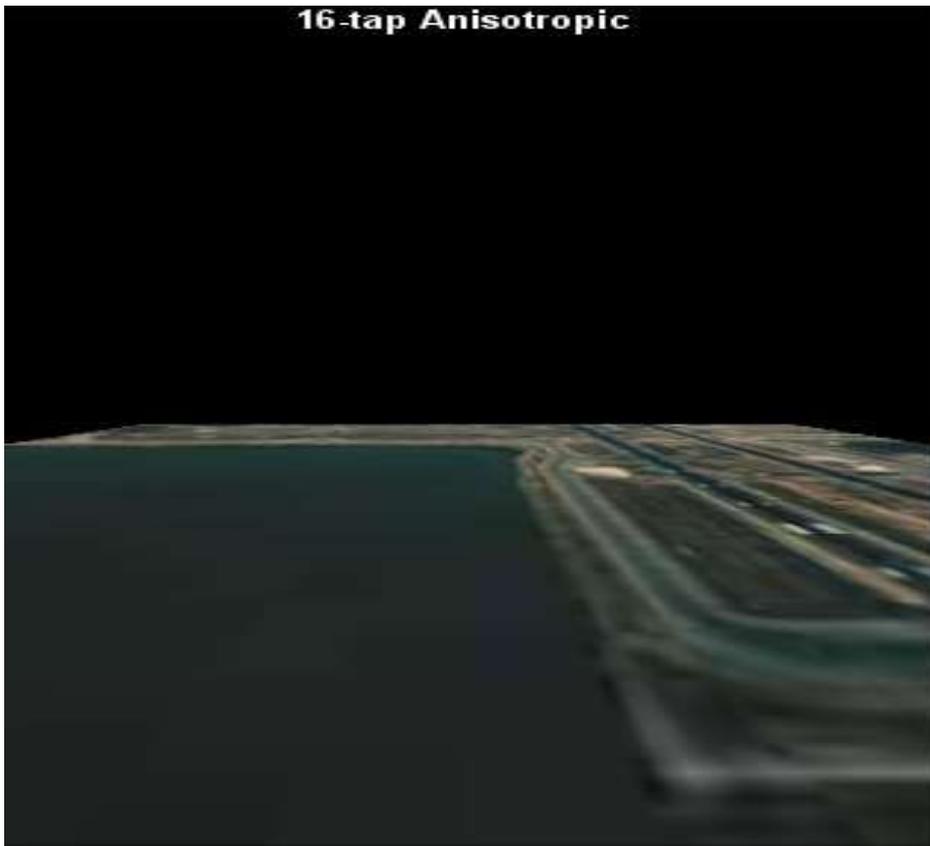
Анизотропная фильтрация, как и трилинейная, уменьшает неровность текстур. Но при использовании анизотропной фильтрации качество получается лучшим.



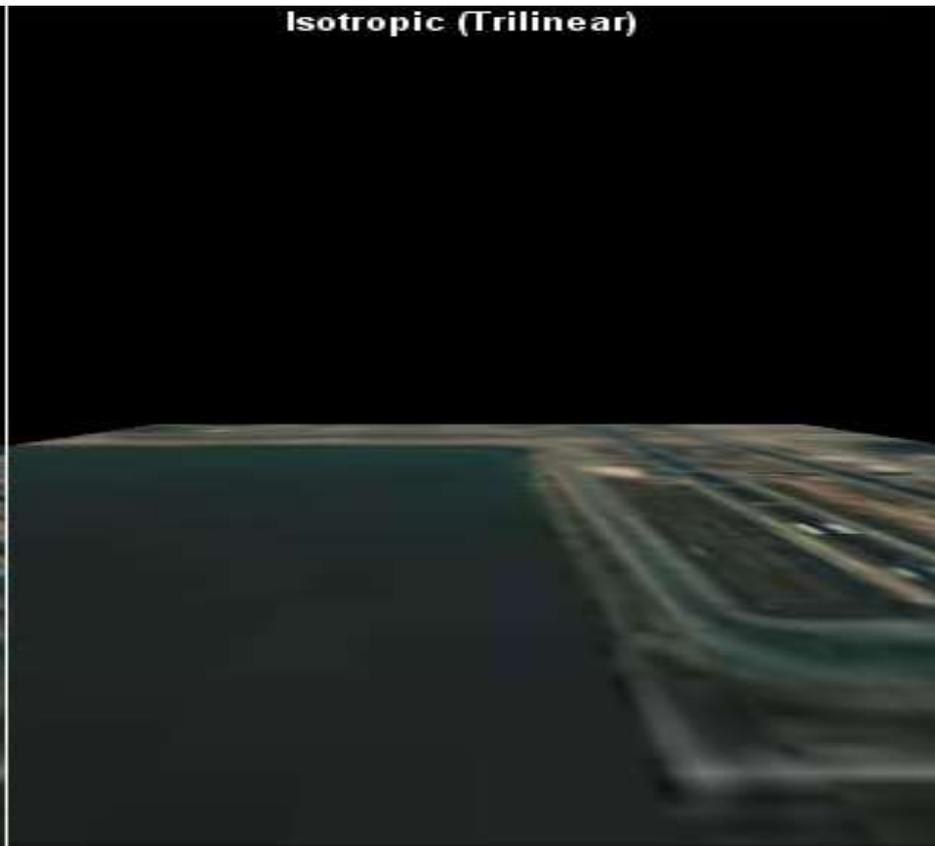
Анизотропная фильтрация. Пример

Сравните две картинки: на одной использовалась анизотропная фильтрация 16-текселей, с помощью которой исчезли искажения между mip-тар уровнями и шум изображения, на второй картинке анизотропная фильтрация выключена.

16-tap Anisotropic



Isotropic (Trilinear)



Источники

1. Порев В.Н. Компьютерная графика. –СПб.: БХВ-Петербург, 2002. –432с.
2. Шикин Е.В., Боресков А.В. Компьютерная графика. Полигональные модели. –М.: ДИАЛОГ-МИФИ, 2001.-464с.
3. Роджерс Д. Алгоритмические основы машинной графики: Пер. с англ. -М.: Мир, 1989. - 512 с.
4. Роджерс Д., Адамс Дж. Математические основы машинной графики: Пер. с англ. - М.: Мир, 2001. - 604с.
5. Никулин Е.А. Компьютерная геометрия и алгоритмы машинной графики. – С.Пб : БХВ-Петербург, 2003. –560с.
6. Хилл Ф. OpenGL. Программирование компьютерной графики. – С.Пб: Питер, 2002. 1088с.
7. М. В. Михайлюк. Основы компьютерной графики. Изд-во: ИТЦ `МАТИ`, 2001. -194с.
8. Курсы "Введение в компьютерную графику " <http://graphics.sc.msu.su/courses/> Баяковского Ю.М. и Шикина Е.В. для ф-та ВМиК МГУ, а также материалы к курсам и материалы лаборатории Graphics & Media Lab при МГУ
9. The home page of the Graphics Research Group at Harvard University. Computer Graphics courses <http://www.eecs.harvard.edu/graphics/#classes>
10. Stanford Computer Graphics Laboratory. Courses in Graphics <http://graphics.stanford.edu/courses/>