



Компьютерная графика. Лекция 4

Алгоритмы формирования изображений





Основные задачи отображения

В любой системе отображения геометрических объектов по мере обработки информации решаются четыре основные задачи:

- моделирование;
- геометрическая обработка;
- преобразование в растр;
- отображение (визуализация).





Моделирование

Результатом решения задачи *моделирования* является множество вершин, однозначно определяющих набор геометрических объектов тех типов, которые поддерживаются программными и аппаратными средствами конкретной графической системы.





Геометрическая обработка

Цель *геометрической обработки* – определить, какие геометрические объекты подлежат отображению, и сформировать степень почернения или оттенок цвета этих объектов.





Системы координат

Реализация геометрических преобразований базируется на математическом аппарате однородных координат.

Используются пять систем координат:

- система координат объектов (мировая);
- система координат наблюдателя (камеры);
- система координат отсечения;
- нормализованная система координат устройства отображения;
- система координат окна приложения.





Преобразования объектов

В процессе перехода от одной системы координат к другой над объектом выполняются следующие преобразования:

- проективное преобразование;
- нормализация;
- ортогональное проецирование;
- отсечение.





Преобразования объектов

Для выполнения преобразований используются следующие алгоритмы:

- Коэна-Сазерленда;
- Лиана-Барского;
- z-буфера;
- построчного сканирования;
- Брезенхэма.





Проективное преобразование

Проективное преобразование - преобразование трехмерной сцены в двумерное изображение на картинной плоскости.

После выполнения проективного преобразования графическая система имеет дело только с двумерными объектами. Эти объекты описаны в системе координат экрана и представлены только характерными точками – вершинами

- например, после проецирования трехмерный прямолинейный отрезок становится двумерным, представленным парой двумерных вершин.





Растровое преобразование

Для вывода изображения отрезка на экран необходимо сформировать на основе координат вершин последовательность точек растра — пикселей.

Процесс формирования промежуточных точек графического образа объекта и составляет суть растрового преобразования.





Визуализация

Визуализация в общем смысле — метод представления информации в виде оптического изображения (например, в виде рисунков и фотографий, графиков, диаграмм, структурных схем, таблиц, карт и т. д.).

Термин *рендеринг* является синонимом слова *визуализация*. Часто в компьютерной графике (художественной и технической) под рендерингом понимают создание плоского изображения (картинки) по разработанной 3D-сцене.





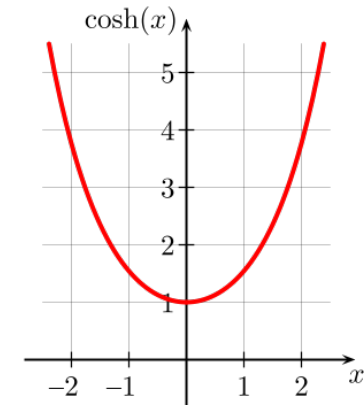
Компьютерная графика. Лекция 4

Примеры визуализации

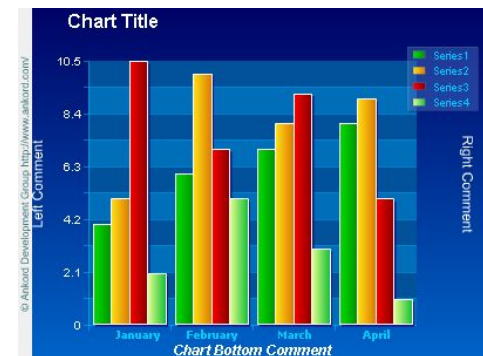
Рисунок, видимо, был первой в мире сознательной попыткой визуализации образов, для их демонстрации другому человеку.



Графики предназначены для иллюстрирования математических понятий, функциональных зависимостей или связей между объектами (теория графов).



Диаграммы позволяют иллюстрировать количественные соотношения в определённой области.





Стадии визуализации

Процесс визуализации делится на две стадии:

- на первой стадии используется *матрица вида*, которая задает преобразование между мировым фреймом и фреймом камеры;
- по типу проекции и части мирового пространства, которая преобразуется в изображение, формируется *матрица проецирования*, которая объединяется с *матрицей вида*.





Виды проекций

Существует множество проекций для формирования матрицы проецирования.

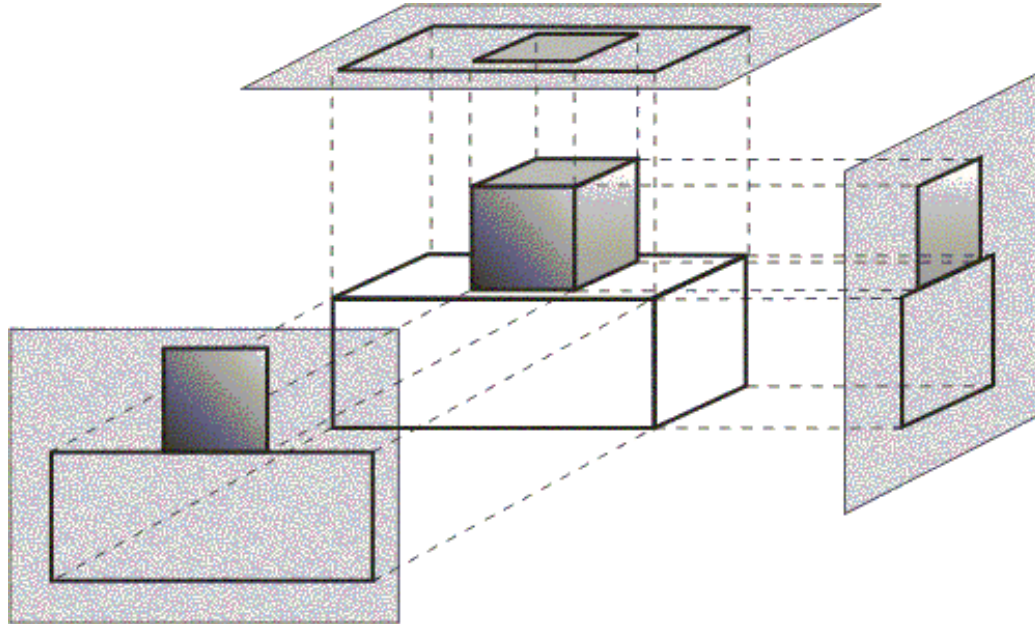
Рассмотрим следующие:

- ортографические проекции;
- аксонометрические проекции;
- косоугольные проекции.





Ортографические проекции



При построении всех ортогональных видов проецирующие лучи перпендикулярны картинной плоскости.





Компьютерная графика. Лекция 4

АксонOMETрические проекции

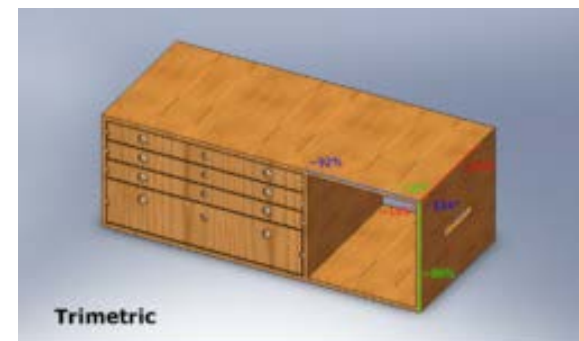
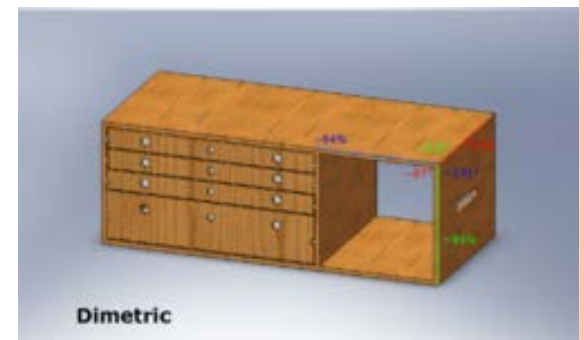
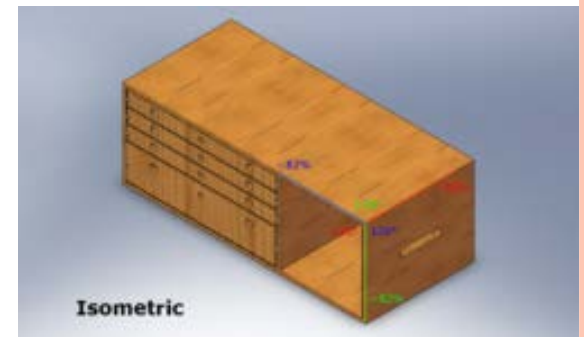
В аксонометрических проекциях проецирующие лучи ортогональны картинной плоскости, но сама картинная плоскость может иметь любую ориентацию относительно объекта.





АксонOMETрические проекции

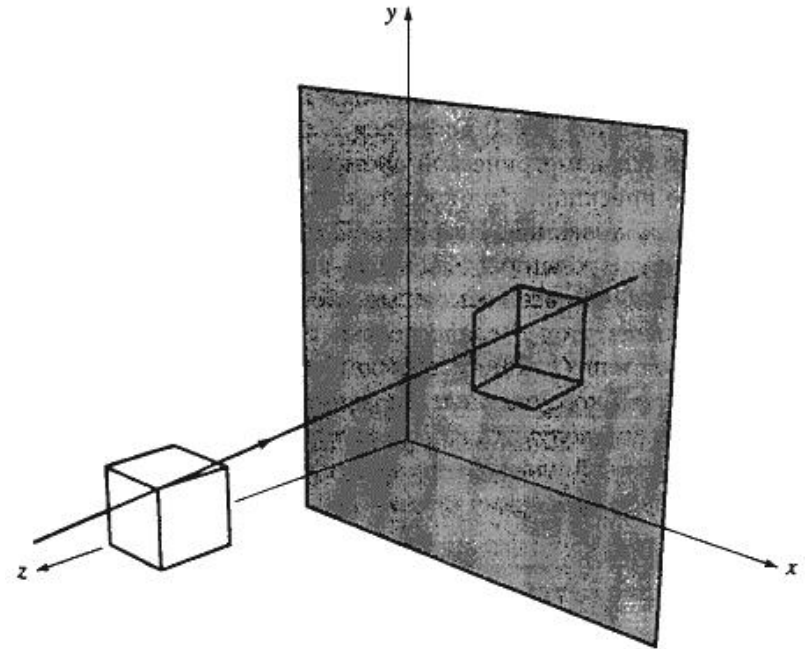
- Если картинная плоскость ориентирована симметрично по отношению к трем главным граням, пересекающимся в одном углу прямоугольного объекта, то образуется изометрическая проекция.
- Если картинная плоскость ориентирована симметрично по отношению к двум главным граням, то образуется диметрическая проекция.
- Общий случай – триметрическая проекция.





Косоугольные проекции

Косоугольная проекция является параллельной проекцией общего вида. При построении косоугольной проекции не накладываются никакие ограничения на угол между проецирующими лучами и картинной плоскостью.





Операции с изображением на уровне растрового представления

При построении образа поверхности его можно разбить на мелкие фрагменты, каждый из которых имеет размер, не превышающий размер пикселя экрана.

То, что размер фрагмента меньше одного пикселя, позволяет объединять образы нескольких поверхностей, каждый из которых вносит свой вклад в засветку пикселя (его цвет).

При формировании окончательного изображения нужно назначить тон или цвет каждому фрагменту.





Алгоритмы наложения

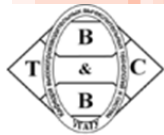
Алгоритм наложения можно рассматривать:

- как алгоритм модификации параметров модели закрашивания, который опирается на некоторый двухмерный массив данных – карту (тар);
- как алгоритм модификации параметров поверхности, обрабатываемой алгоритмом закрашивания, например свойств материала или направления нормали.

В рамках этого подхода можно выделить:

- наложение проективной текстуры;
- наложение микрорельефа;
- наложение параметров среды.





Компьютерная графика. Лекция 4



ЗАКРАШИВАНИЕ ПОВЕРХНОСТЕЙ



Закрашивание

Для реализации закрашивания объектов сцены, нужно понимать физику реального процесса распространения световой энергии в материальной среде, природу источников света и свойства материала поверхности.

Отражение света от поверхности зависит:

- от физических свойств материала, из которого она изготовлена
- от характера и расположения источника света.





Типы источников света

Источники света, в зависимости от характера освещения можно разделить на:

- точечные источники;
- прожекторы;
- удаленные источники.

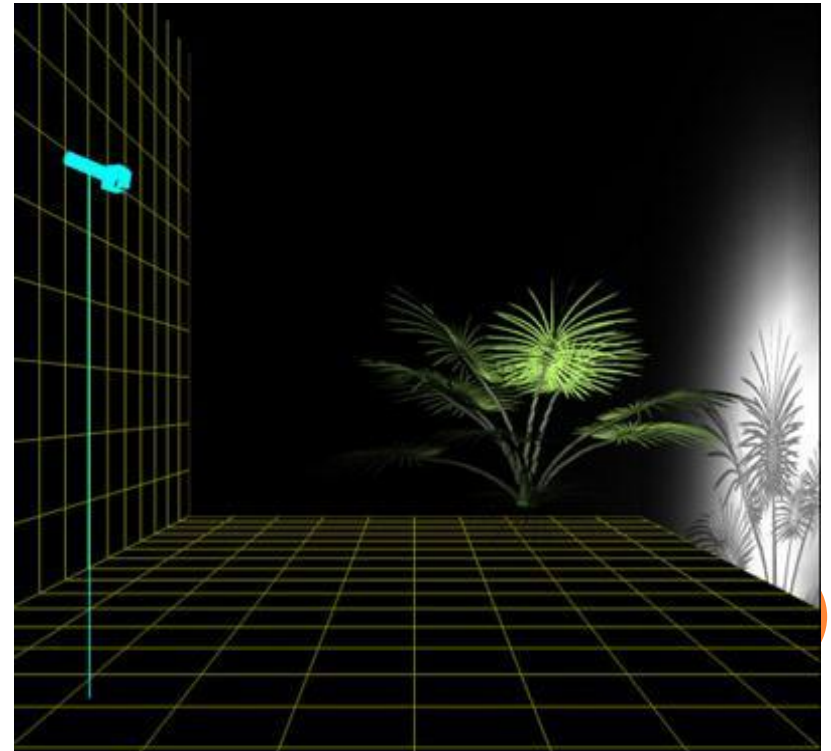




Точечный источник света

Идеальный точечный источник света излучает свет одинаково во всех направлениях.

Использование точечных источников в большинстве приложений определяется скорее простотой работы с ними, чем желанием точно передать характеристики реальных физических осветительных приборов.





Прожектор

Источники света типа прожектор отличаются тем, что испускают свет направленным пучком, т.е. каждая точка излучающей поверхности посылает свет в одном и том же направлении. Проще всего смоделировать прожектор с помощью точечного источника света, ограничив для него направление, в котором распространяются световые лучи.





Удалённый источник света

Характерной особенностью удалённого источника света является то, что все испускаемые им лучи можно считать параллельными. Прекрасным примером такого источника является солнце.

Использование такого источника в сцене избавляет от необходимости рассчитывать направления лучей, освещающих разные точки отображаемой поверхности, а значит, существенно повышает скорость формирования изображения.





Свойства освещения

Световая энергия может:

- излучаться поверхностью
- отражаться от поверхности
- проходить сквозь поверхность

Яркость (или интенсивность) освещения зависит от энергии светового потока, которая обуславливается:

1. мощностью источника света
2. отражающими и пропускающими свойствами объекта





Взаимодействие света и поверхности

Можно выделить три основных типа характера взаимодействия света и материала поверхности:

1. диффузное отражение;
2. зеркальное отражение;
3. преломление.





Диффузное отражение

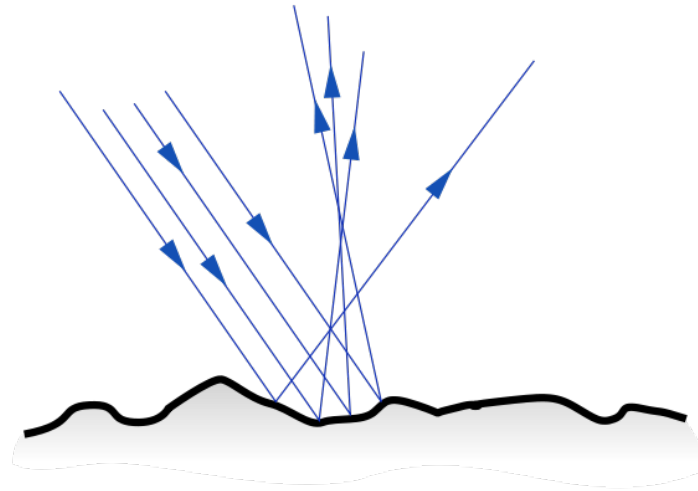
Диффузное отражение возникает в ситуации, когда свет как бы проникает под поверхность объекта, поглощается, а потом равномерно излучается во всех направлениях. Видимая освещенность того или иного участка поверхности не зависит от положения наблюдателя.





Компьютерная графика. Лекция 4

Диффузное отражение удаленного источника



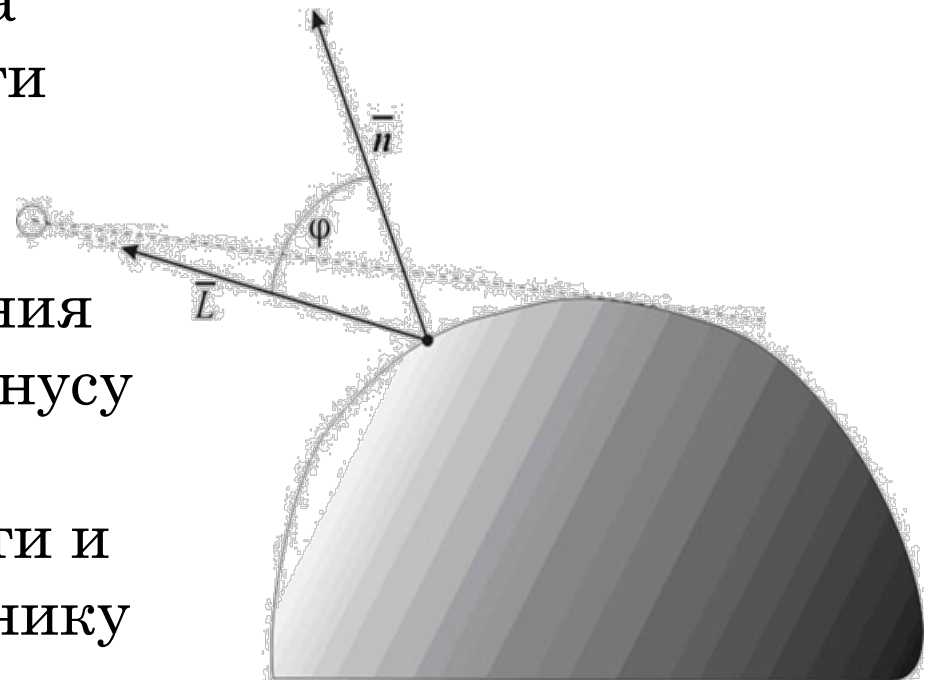
Такой тип взаимодействия характерен для поверхности равномерно окрашенной стены или поверхности Земли, как она представляется пилоту самолета или космического летательного аппарата.



Диффузное отражение точечного источника

Свет точечного источника отражается от поверхности рассеивателя по закону Ламберта:

- интенсивность отражения пропорциональна косинусу угла между внешней нормалью к поверхности и направлением к источнику света





Диффузное отражение

Если I_S - интенсивность источника света, φ - угол между вектором внешней нормали к поверхности и направлением к источнику света, то интенсивность отраженного света определяется формулой

$$I = \begin{cases} I_S \cos \varphi & \text{при } 0 \leq \varphi \leq \pi/2 \\ 0 & \text{в противном случае} \end{cases}$$

При таком расчете интенсивности получится очень контрастная картина, т.к. участки поверхности, на которые лучи от источника не попадают напрямую, останутся абсолютно черными.



Учет рассеивания света в пространстве

Для повышения реалистичности необходимо учитывать рассеивание света в окружающем пространстве. Поэтому вводится фоновая освещенность, зависящая от интенсивности рассеянного света I_F , и интенсивность отраженного света определяется выражением

$$I = \begin{cases} I_F k_F + k_S I_S \cos \varphi & \text{при } 0 \leq \varphi \leq \pi/2 \\ I_F k_F & \text{в противном случае} \end{cases}$$

где k_S - коэффициент диффузного отражения рассеянного света, k_F - коэффициент диффузного отражения падающего света, $0 \leq k_S \leq 1, 0 \leq k_F \leq 1$.





Учет затухания интенсивности света

Для получения перспективного изображения необходимо включить затухание интенсивности света с расстоянием.

В этом случае интенсивность отраженного света от непосредственно освещенных участков поверхности будет задаваться формулой

$$I = I_F k_F + \frac{k_S I_S \cos \varphi}{d + C}$$

где d - расстояние до центра проекции, а C - произвольная постоянная.





Зеркальное отражение

Зеркальное отражение происходит от внешней поверхности, интенсивность его неоднородна, поэтому видимый максимум освещенности зависит от положения глаза наблюдателя.

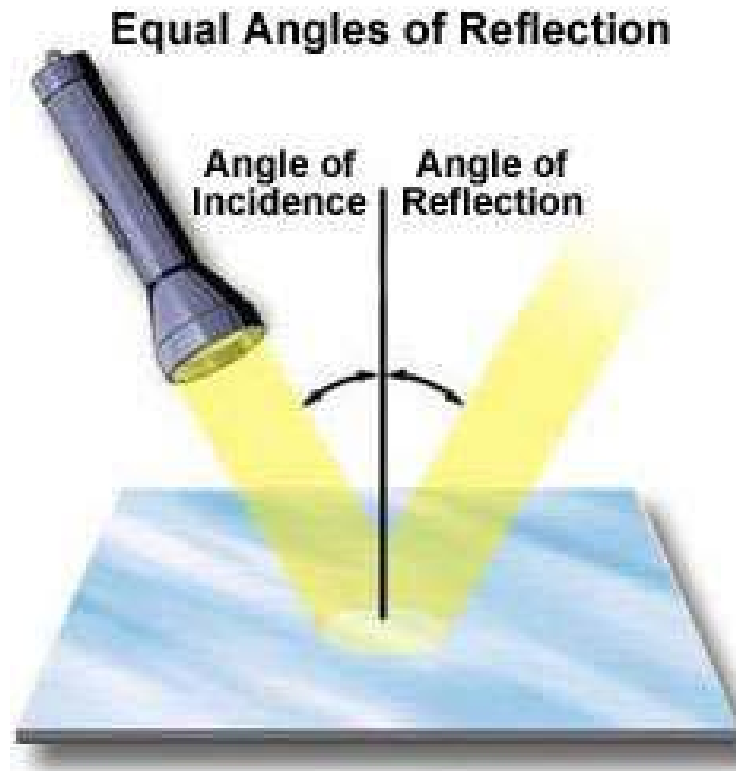
Зеркало - это идеально отражающая поверхность.





Зеркальное отражение

Хотя небольшая часть энергии падающего луча и поглощается, остальной свет отражается под одним углом, причем этот угол равен углу падения луча.





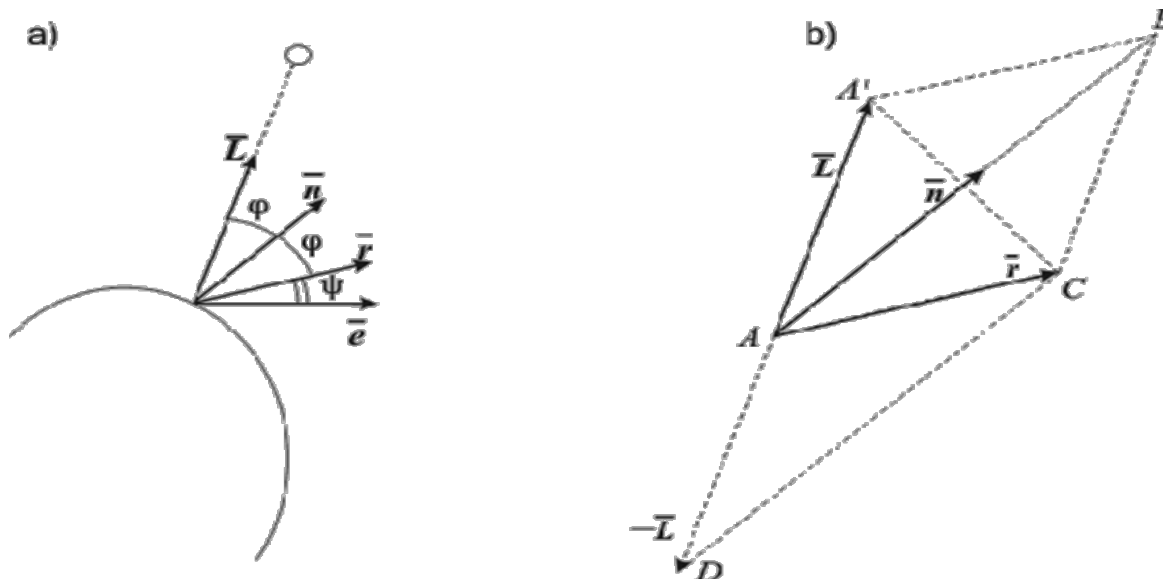
Свойства зеркального отражения

- Зеркальное отражение является направленным
- Идеальное зеркало отражает лучи по принципу "отраженный и падающий лучи лежат в одной плоскости, причем угол падения равен углу отражения"
- Если поверхность не идеально зеркальная, то лучи отражаются в различных направлениях, но с разной интенсивностью, а функция изменения интенсивности имеет четко выраженный максимум
- Поскольку физические свойства зеркального отражения довольно сложны, то в компьютерной графике используется эмпирическая модель Фонга



Модель Фонга

Для глаза наблюдателя интенсивность зеркально отраженного луча зависит от угла между идеально отраженным лучом и направлением к наблюдателю, а также от длины волны.





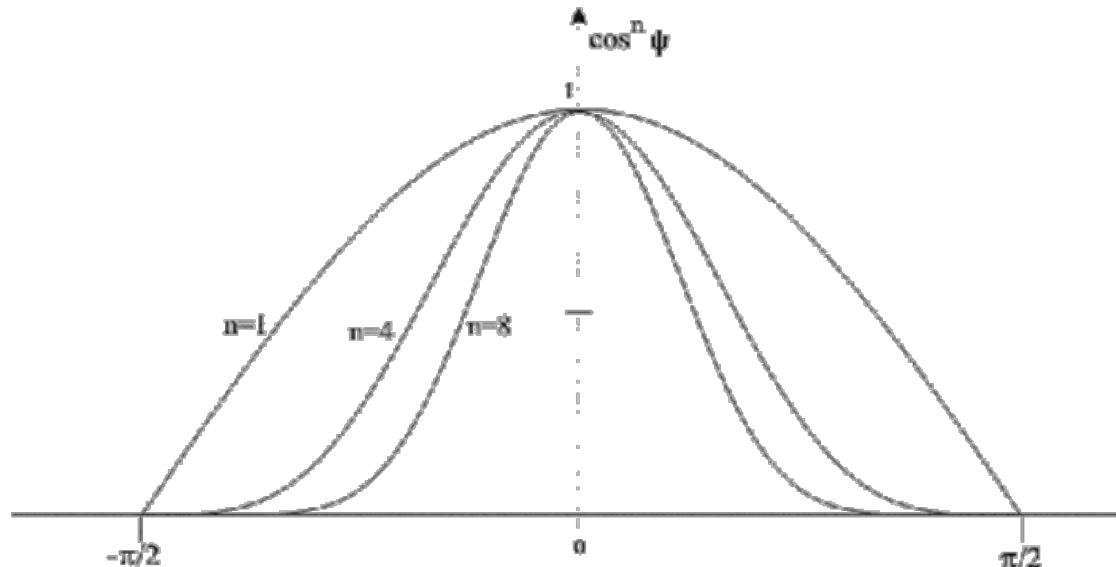
Модель Фонга

Модель Фонга описывается соотношением

$$I_Z = \omega(\varphi, \lambda) \cdot I_S \cos^n \psi$$

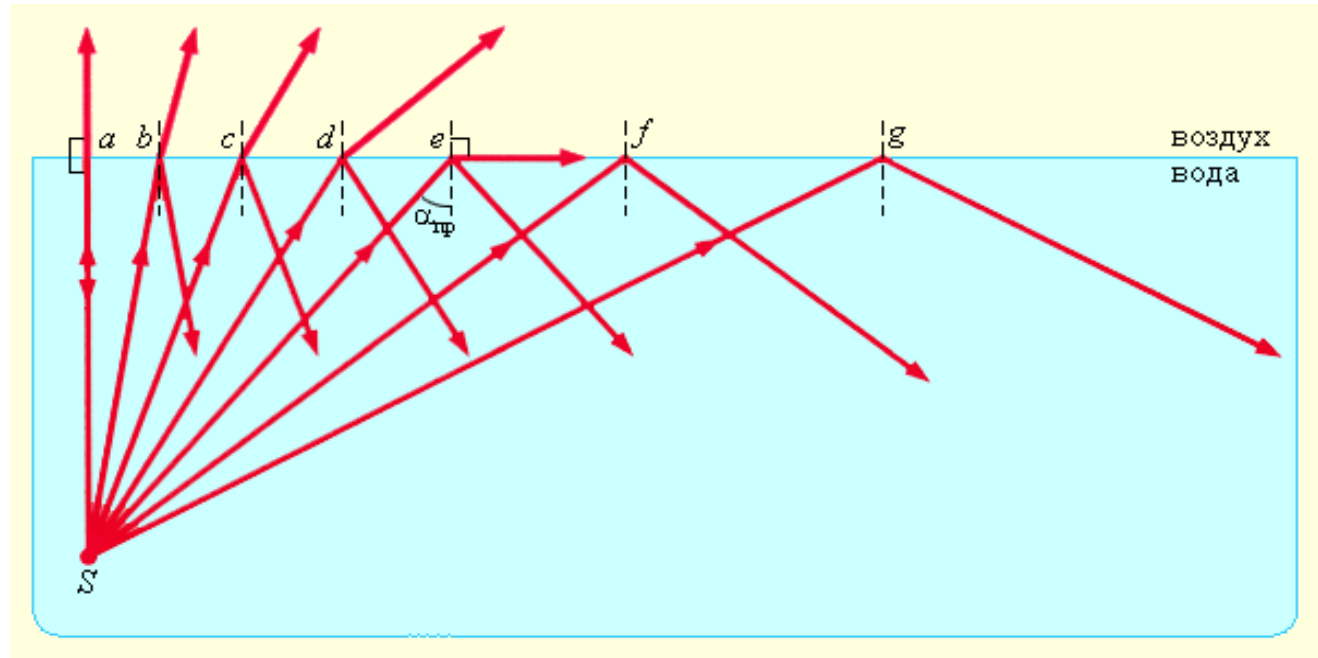
где $\omega(\varphi, \lambda)$ - функция отражения, λ - длина волны.

Степень, в которую возводится косинус угла, влияет на размеры светового блика, наблюдаемого зрителем.





Преломление



Луч света, падающий на поверхность, преломляется и проникает в среду объекта под другим углом. Этот процесс рефракции характерен для стекла и воды. Как правило, при этом отражается часть падающего света.



Глобальное и локальное освещение

Алгоритмы моделирования освещения условно можно разделить на две группы: алгоритмы локального освещения и алгоритмы глобального освещения.

Алгоритмы локального освещения - самые простые способы расчета освещенности поверхностей, рассматривают отражение или пропускание света для каждой поверхности 3D сцены независимо от других поверхностей, принимая во внимание только первичные источники света (задача Lighting/Shading: интенсивность, цвет, направление распространения отражённого и преломленного света).



Простая (локальная) модель освещенности

Модель освещенности, учитывающую зеркальное и диффузное отражения, можно описать формулой

$$I = I_F k_F + \frac{I_S (k_S \cos \varphi + \omega(\varphi, \lambda) \cdot \cos^n \psi)}{d + C}$$

Учитывая, что $\cos \varphi = (\vec{L} \cdot \vec{n})$, где \vec{L} - направление к источнику, \vec{n} - внешняя нормаль, а отраженный вектор $\vec{r} = |AB| \cdot \vec{n} - \vec{L}$, где $|AB| = 2 \cdot (\vec{L} \cdot \vec{n})$, получаем формулу

$$I = I_F k_F + \frac{I_S \left\{ (k_S (\vec{L} \cdot \vec{n}) + \omega(\varphi, \lambda) \cdot [2 \cdot (\vec{L} \cdot \vec{n}) \cdot (\vec{e} \cdot \vec{n}) - (\vec{e} \cdot \vec{L})]^n) \right\}}{d + C}$$

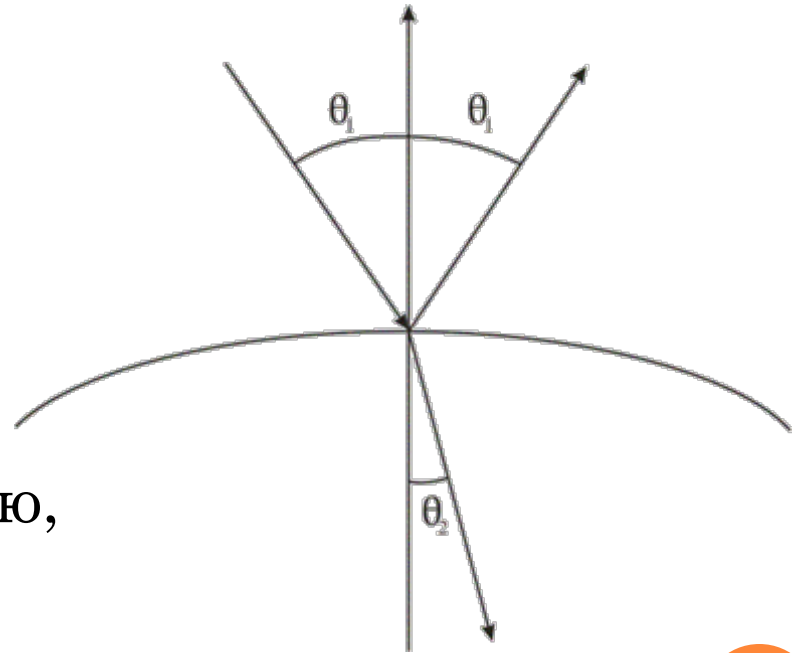




Более сложные модели освещенности

Возникает необходимость использовать полупрозрачные объекты, т.е. учитывать не только отражение, но и преломление.

Согласно закону Снеллиуса преломленный луч лежит в плоскости, образуемой нормалью к плоскости и падающим лучом, а углы, образуемые лучами с нормалью, связаны формулой $\eta_1 \sin \theta_1 = \eta_2 \sin \theta_2$, где η_1, η_2 - показатели преломления двух сред





Более сложные модели освещенности

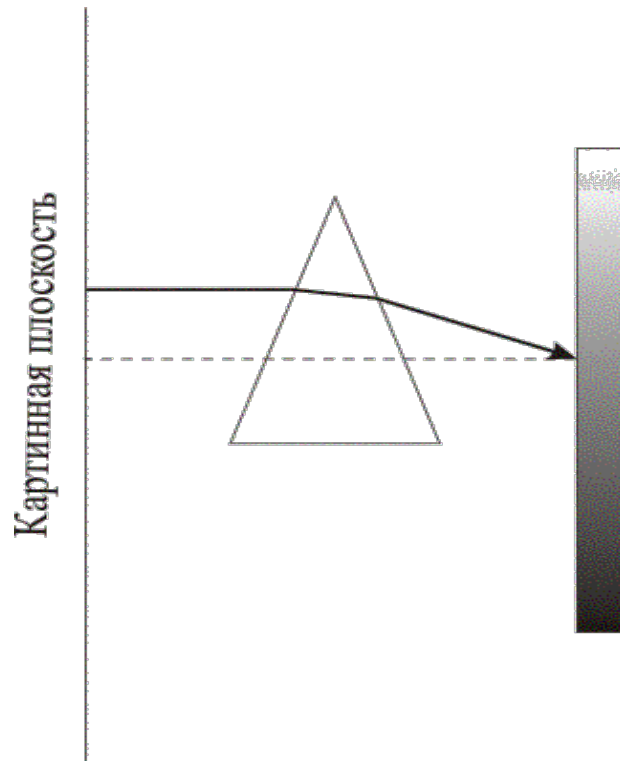
Пропускание света может быть диффузным (если часть энергии света рассеивается средой) или направленным:

- в первом случае мы имеем дело с полупрозрачными телами, которые изменяют окраску видимых сквозь них объектов.
- во втором случае тело является прозрачным, и оно визуально обнаруживается только благодаря искажениям объектов за счет преломления лучей.





Более сложные модели освещенности



Преломление в призме

При наличии в пространственной сцене прозрачных или полупрозрачных объектов надо учитывать, что изображение других объектов будет отличаться от обычной проекции на картинную плоскость





Плоское закрашивание

Если предположить, что источник света находится на бесконечности, то лучи света, падающие на поверхность, параллельны между собой.

Если наблюдатель находится в бесконечно удаленной точке, то эффектом ослабления света с увеличением расстояния от источника можно пренебречь.

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 закрашивается одним цветом. Такое закрашивание называется плоским.



Закраска методом Гуро

- Используются не нормали к плоским граням, а нормали к аппроксимируемой поверхности, построенные в вершинах многогранника.
- Вычисляются интенсивности в вершинах, а затем во всех внутренних точках многоугольника выполняется билинейная интерполяция интенсивности.

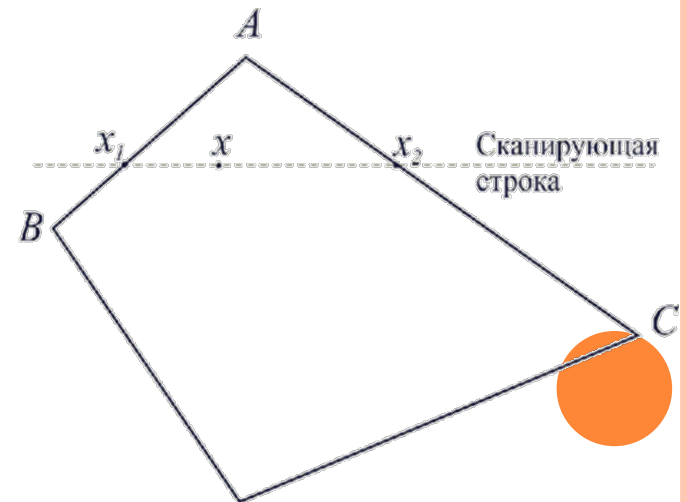




Закраска методом Гуро

Метод сочетается с алгоритмом построчного сканирования

- для каждой сканирующей строки определяются ее точки пересечения с ребрами. В этих точках интенсивность вычисляется с помощью линейной интерполяции интенсивностей в вершинах ребра.
- затем для всех внутренних точек многоугольника, лежащих на сканирующей строке, также вычисляется интенсивность методом линейной интерполяции двух полученных значений.





Интерполяция интенсивности

Пусть I_A, I_B, I_C - интенсивности в вершинах A, B, C , 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 получаем путем интерполяции значений на концах отрезка:

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





Недостатки метода Гуро

Хорошо работает только с диффузной моделью отражения

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

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.



Закраска методом Фонга

- Вместо интерполяции интенсивностей производится интерполяция вектора нормали к поверхности на сканирующей строке
- Нормали к поверхности в вершинах многогранника вычисляются так же, как и в методе Гуро. Затем выполняется билинейная интерполяция в сочетании с построчным сканированием. После построения вектора нормали в очередной точке вычисляется интенсивность.



Сравнение методов закрашивания

