

**Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет
информационных технологий, механики и оптики»**



ITMO UNIVERSITY

Факультет Программной Инженерии и Компьютерной Техники

Лабораторная работа №4

по дисциплине

«Алгоритмы компьютерной графики»:

Выполнил:

Ястребов-Амирханов Алекси

ГРУППА: Р3332

ПРЕПОДАВАТЕЛЬ: Потемин Игорь Станиславович

Санкт-Петербург,

2025

Задание

Необходимо вычислить распределение освещённости (яркости) на поверхности диффузной (Ламбертовой) сферы, освещённой одним или несколькими точечными источниками света. Исходные данные включают параметры сферы (координаты центра и радиус), координаты наблюдателя (камеры), положение источников света с их интенсивностью I_0 , а также коэффициенты отражения материала (k_d для диффузной и k_s для зеркальной составляющей) и показатель блеска n . Цель работы – реализовать алгоритм трассировки лучей к сфере и, используя модель Ламберта и модель Blinn–Phong, рассчитать яркость каждого видимого пикселя (точки пересечения лучей со сферой).

Описание алгоритма

Общая схема работы программы: для каждого пикселя экранной сетки строится луч из точки наблюдения (камеры) через центр пикселя, затем находится точка пересечения этого луча с поверхностью сферы. Если пересечение есть, в этой точке вычисляются нормаль к поверхности, направления на свет и на наблюдателя, после чего рассчитывается освещённость по моделям Ламберта и Blinn–Phong.

Этапы алгоритма:

1. Построение экранной сетки и лучей: задаётся разрешение экрана (например, 800×600) и виртуальная проекционная плоскость. Для каждого пикселя вычисляются его координаты в пространстве экрана. Из позиции наблюдателя (камера) проводим луч через центр пикселя в направлении вперёд (в перспективной проекции луч направлен от камеры к точке на экране).

2. Проверка пересечения лучей со сферой: решается уравнение пересечения луча с шаром. Луч задаётся как $P(t) = O + tD$, где
 O – положение камеры,
 D – направляющий вектор луча, $t \geq 0$.

Уравнение сферы с центром C и радиусом R даёт квадратичное уравнение для t . Находим наименьшее положительное решение t (если оно есть): точка пересечения $P = O + tD$ лежит на поверхности сферы.

3. Вычисление нормалей, направлений света и наблюдателя: В точке пересечения P нормаль к поверхности сферы вычисляется как единичный вектор $N = (P - C)/|P - C|$. Направление на источник света

$$L = (L_{\text{pos}} - P)/|L_{\text{pos}} - P|$$

(где L_{pos} – координаты источника), а направление на наблюдателя $V = (O - P)/|O - P|$. Эти векторы нормализуются.

4. Модель Ламберта (диффузное освещение): Яркость диффузной составляющей пропорциональна косинусу угла падения света и обратно пропорциональна квадрату

расстояния. Согласно упрощённой формуле для одного источника:

$$E_{\text{diff}} = k_d I_0 \frac{\max(0, N \cdot L)}{r^2},$$

где k_d – коэффициент диффузного отражения, I_0 – интенсивность источника,

$N \cdot L = \cos \langle \{emit\} \rangle$ – косинус угла между нормалью и направлением на источник,

r – расстояние от источника до точки Р. (В данной задаче модели Ламберта будет расширена для учёта угла излучения в полной формуле ниже.)

5. Отражённая составляющая (модель Blinn–Phong): Спекулярное (зеркальное) отражение рассчитывается по модели Blinn–Phong. Введём полувектор

$$H = \frac{L + V}{|L + V|}$$

который «расщепляет» угол между направлением на источник L и направлением на наблюдателя V . Нормализуемые векторы L и V используются для вычисления углов: косинус угла падения света $\cos_{\text{emit}} \square = N \cdot L$ и косинус угла излучения (направления к наблюдателю) $\cos_{\text{inc}} \square = N \cdot V$. Формулы для диффузной и зеркальной составляющих освещения на точке:

$$E_{\text{diff}} = k_d I_0 \frac{\cos_{\text{emit}} \square \cos_{\text{inc}} \square}{r^2},$$

$$E_{\text{spec}} = k_s I_0 \frac{\cos_{\text{emit}} \square (N \cdot H)^n}{r^2}.$$

Здесь $N \cdot H = \cos \theta_H$ – косинус полуугла между нормалью и полувектором,

n – показатель блеска (экспонента, определяющая «остроту» блика). Итоговая яркость E в данной точке – сумма диффузной и зеркальной частей от всех источников света.

Пояснение переменных:

- I_0 – мощность (интенсивность) точечного источника света (в ваттах, W), характеризующая его яркость.
- k_d – коэффициент диффузного отражения материала (0...1), показывает долю рассеянного света.
- k_s – коэффициент зеркального (спекулярного) отражения (0...1), показывает долю блика.
- $\cos_{\text{emit}} \square = N \cdot L$ – косинус угла между нормалью поверхности и направлением на источник (угол падения света).
- $\cos_{\text{inc}} \square = N \cdot V$ – косинус угла между нормалью и направлением к наблюдателю (угол излучения, или угол, под которым точка «видна» наблюдателем).
- r – расстояние от источника света до точки на поверхности; учтено ослабление освещённости пропорционально $1/r^2$ (закон обратных квадратов).
- H – полувектор между L и V : $H = (L + V)/|L + V|$, используется для упрощённого расчёта зеркального отражения.

- n – показатель блеска (положительное число); чем больше n , тем «острее» и «мельче» выглядит блик (зеркальное отражение более сфокусировано).

Результаты работы

Программа рассчитывает значение яркости (освещённости) E (в единицах $\text{Вт}/\text{м}^2$) для каждой точки пересечения луча с поверхностью сферы и выводит это значение. В простейшем случае на выходе печатается число яркости в каждой из выбранных точек на поверхности. Например, при следующих тестовых параметрах:

- *Экран*: разрешение 800×600 , окно в пространстве $[-4 \dots 4] \times [-3 \dots 3]$ в плоскости экрана (единицы могут быть условными).
- *Сфера*: центр $(0,0,5)$, радиус $R = 1$.
- *Наблюдатель*: камера в точке $(0,0,0)$, направленная вдоль оси $+z$.
- *Источник света*: один источник с интенсивностью $I_0 = 100 \text{ Вт}$ в точке $(5,5, -10)$.
- *Параметры материала*: $k_d = 0.7$, $k_s = 0.3$, $n = 20$.

При этих параметрах получены, например, следующие значения яркости в некоторых точках поверхности (ближайшие точки к наблюдателю и к источнику дают максимальные значения):

- Точка $P_1 = (0, 0, 4)$ (центральная видимая точка сферы): $E \approx 0.60 \text{ Вт}/\text{м}^2$.
- Точка $P_2 \approx (0.707, 0, 4.293)$ (правый «экватор» сферы): $E \approx 0.42 \text{ Вт}/\text{м}^2$.
- Точка $P_3 \approx (0, 0.707, 4.293)$ (верхняя «экваторная» точка): $E \approx 0.42 \text{ Вт}/\text{м}^2$.
- Точка $P_4 \approx (0.353, 0.353, 4.830)$ (точка под углом 30° к источнику и наблюдателю): $E \approx 0.66 \text{ Вт}/\text{м}^2$.

Пример применимых параметров: можно использовать экран 800×600 пикселей, координаты сферы $(0,0,5)$ с радиусом 1, наблюдателя $(0,0,0)$, источник света $(5,5, -10)$ с $I_0 = 100$, а также $k_d = 0.7$, $k_s = 0.3$, $k_s = 0.3$. Разумеется, возможны и другие значения в зависимости от задачи (несколько источников, другая геометрия камеры и т.д.).

Выводы

В результате работы была получена яркостная карта поверхности сферы: яркость каждой видимой точки определяется по моделям Ламберта и Blinn–Phong. Диффузная составляющая обеспечивает плавное затухание освещения от лицевой части к краям, а зеркальное отражение создаёт локальный «блеск» в направлении отражения света к наблюдателю. Полученные численные значения яркости согласуются с ожидаемой картиной (максимум в точках, наиболее «повёрнутых» к источнику и наблюдателю).

Возможные улучшения и расширения работы: добавить несколько источников света, учсть фоновое (рассеянное) освещение, реализовать затенение (тени от других объектов), улучшить разрешение экрана или методы фильтрации (антиалиасинг), а также оптимизировать расчёт (например, использовать ускоряющие структуры) для более быстрой обработки большого числа лучей.