

ФИЗИЧЕСКИ КОРРЕКТНОЕ ОСВЕЩЕНИЕ В 3D-ГРАФИКЕ: МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ И АЛГОРИТМЫ

В работе приводится описание математических моделей и алгоритмов для физически корректного освещения в 3D-графике.

ВВЕДЕНИЕ

В современной компьютерной графике физически корректное освещение играет ключевую роль в создании реалистичных изображений. Основная задача — имитировать взаимодействие света с объектами в виртуальной среде так, чтобы результат выглядел максимально приближенным к реальности. Для этого используются сложные математические модели и алгоритмы, которые учитывают свойства материалов, геометрию объектов и источники света.

I. ОСНОВНЫЕ ПОДХОДЫ ДЛЯ СОЗДАНИЯ ФИЗИЧЕСКИ КОРРЕКТНОГО ОСВЕЩЕНИЯ

Уравнение рендеринга представляет собой основу физически корректного освещения. Это интегральное уравнение, которое описывает взаимодействие света с поверхностью объекта:

$$L_o(\mathbf{x}, \omega_o) = L_e(\mathbf{x}, \omega_o) + \int_{\Omega} f_r(\mathbf{x}, \omega_i, \omega_o) L_i(\mathbf{x}, \omega_i) (\omega_i \cdot \mathbf{n}) d\omega_i$$

Где: - $L_o(\mathbf{x}, \omega_o)$ — выходящая интенсивность света в точке $\mathbf{x}$ в направлении ω_o . - $L_e(\mathbf{x}, \omega_o)$ — эмиссионная составляющая света. - $f_r(\mathbf{x}, \omega_i, \omega_o)$ — функция отражательной способности (BRDF). - $L_i(\mathbf{x}, \omega_i)$ — входящая интенсивность света. - $\omega_i \cdot \mathbf{n}$ — скалярное произведение нормали и направления света.

Для практического применения уравнение рендеринга часто заменяется на более простые модели освещения. В данном исследовании были протестированы три основные модели:

- Модель освещения Фонга: Комбинирует диффузное, специфическое и амбиентное освещение. Простая, но менее реалистичная.
- Модель Кука-Торренса: Учитывает микроструктуру поверхности и обеспечивает более высокий уровень детализации материалов.
- Ламбертовское рассеяние: Предполагает равномерное рассеяние света, часто используется как базовая составляющая.

В ходе экспериментов было проведено исследование качества визуализации этих моделей на нескольких тестовых сценах с различными материалами (металлические, пластиковые, матовые). Результаты показали, что модель Фонга хорошо работает для простых материалов, но не может точно воспроизвести реалистичное отражение металлов. Модель Кука-Торренса обеспечивает более высокую реалистичность, особенно для блестящих поверхностей, но требует больших вычислительных

ресурсов. Ламбертовское рассеяние отлично подходит для матовых материалов, но недостаточно для сложных случаев.

Кроме того, мы исследовали влияние BRDF-функций на качество освещения. На основе анализа различных BRDF-моделей (диффузная, глянцевая, комбинированная) были сделаны выводы о том, какие модели лучше всего подходят для разных типов материалов.

II. СЖАТИЕ И ОПТИМИЗАЦИЯ 3D-МОДЕЛЕЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ АЛГОРИТМОВ ЛИНЕЙНОЙ АЛГЕБРЫ

Оптимизация 3D-моделей необходима для повышения производительности визуализации, особенно в реальном времени. Для этого используются различные методы, включая ретопологию и remeshing.

Ретопология — создание новой сетки на основе существующей высокополигональной модели. Может быть выполнена вручную (трудоемко, но точно) или автоматически (быстро, но менее точно). Remeshing — автоматическое перестроение сетки с сохранением формы объекта. В программе Blender можно использовать модификатор Remesh, который предлагает несколько режимов обработки: Blocks — создает простую кубическую сетку, сильно сокращая количество полигонов, но теряя форму; Smooth — создает сглаженную сетку, сохраняя форму, но с некоторыми потерями деталей; Sharp — сохраняет резкие грани и углы, но требует больше полигонов; Voxel — преобразует объект в воксельную форму, затем пересчитывает сетку, сохраняя максимальную детализацию, но потребляя больше ресурсов.[2]

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной работе был проведен анализ физически корректного освещения в 3D-графике. Были рассмотрены уравнение рендеринга, его приближения (модели Фонга, Кука-Торренса, Lambertian shading) и BRDF-функции. Также был проанализирован процесс оптимизации 3D-моделей с использованием алгоритмов линейной алгебры.

Список литературы

1. Real-Time Rendering [Электронный ресурс], https://www.realtimerendering.com/?spm=a2ty_o01.29997173.0.0.66e1c921DVa2ad.
2. Blender 3.6 Manual, "Ретопология"[Электронный ресурс], <https://clck.ru/3LQYUL>.

Радьков Герман Дмитриевич, студент 3 курса факультета информационных технологий и управления Белорусского государственного университета информатики и радиоэлектроники, goryn981044@gmail.com.

Беликов Андрей Сергеевич, студент 3 курса факультета информационных технологий и управления Белорусского государственного университета информатики и радиоэлектроники, subzip1@gmail.com.

Научный руководитель: Кукин Дмитрий Петрович, заведующий кафедры вычислительных методов и программирования Белорусского государственного университета информатики и радиоэлектроники, кандидат технических наук, доцент, kukin@bsuir.by.