



## Оглавление

Введение .....	2
1. Постановка задачи .....	4
2. Обзор существующих методов моделирования отражательной способности материалов	6
2.1. Выводы .....	12
3. Предложенный алгоритм .....	13
3.1. Обзор метода .....	13
3.2. Описание входных данных .....	16
3.3. Линеаризация фотографий .....	17
3.4. Восстановление параметров камеры и источника света .....	19
3.5. Двухлучевая функция отражения (ДФО) .....	23
3.6. Предлагаемая модель освещения .....	27
3.7. Алгоритм интерактивной визуализации предложенной модели освещения .....	29
3.8. Итерационный процесс для восстановления материалов плоских объектов с микрогеометрией .....	31
4. Описание практической части .....	35
5. Тестирование и сравнение .....	39
5.1. Тестирование на синтетических данных (3d Studio Max, PBRT) .....	40
5.2. Тестирование на реальных фотографиях .....	41
5.3. Независимость восстановленной модели материала от источника света .....	44
5.4. Анализ входных данных .....	45
5.5. Сравнение предложенной модели освещения с существующими .....	47
5.6. Оценка скорости работы алгоритма визуализации .....	51
6. Заключение .....	51
7. Литература .....	52

## Введение

Одна из основных задач трехмерной компьютерной графики – синтез изображений фотографического качества, неотличимых от изображений реальности, воспринимаемых глазами наблюдателя [1]. Методы трехмерной графики синтезируют изображения на основе математических моделей, которые могут описывать подмножество объектов реального мира.

В настоящее время очень актуальной является задача восстановления моделей отражательных свойств материалов объектов [2]. Использование информации о том, как выглядит материал при различном освещении, придает большую фотореалистичность синтезируемым изображениям.

Любой материал при взаимодействии со светом какую-то долю энергии поглощает, какую-то пропускает сквозь себя (если материал прозрачный), остальное отражает. Существуют также материалы, которые под воздействием света определенной длины волны начинают излучать энергию в другом диапазоне волн (флуоресценция) [3]. В дальнейшем мы будем рассматривать только непрозрачные нефлуоресцентные материалы, которые только отражают и поглощают световую энергию. Для количественного описания отражательной способности материала используется понятие модели освещения [4].

**Модель освещения (модель материала)** – это функция, численно равная доле энергии, пришедшей от источника в направлении  $\vec{L}$ , отразившейся от материала в направлении на камеру  $\vec{C}$ . Значение этой функции зависит от длины волны света.

Модель освещения называется **физически аккуратной (физически корректной)** [4, 5], если для нее выполнены два основных закона физики:

- закон сохранения энергии
- свойство взаимности света

Закон сохранения энергии заключается в том, что суммарная энергия, отразившаяся от материала, не должна превзойти суммарную энергию, попавшую на материал.

Свойство взаимности света говорит о том, что если поменять местами источник света и камеру в сцене, то освещенность материала при этом не изменится.

Основная задача данной работы состоит в получении и визуализации физически аккуратных моделей материалов по фотоизображениям.

Все материалы условно разбивают на два класса: изотропные материалы и анизотропные [6, 16]. По определению, **изотропный материал** – это материал

обладающим следующим свойством. Если повернуть систему камера-источник относительно поверхности материала вокруг нормали в некоторой точке поверхности материала, то освещенность этой точки сохраняется. Для **анизотропных материалов** это свойство не выполняется. В дальнейшем мы будем рассматривать только класс изотропных материалов.

Система реконструкции моделей материалов может применяться во многих сферах жизни. Приведем несколько примеров.

Важным этапом при проектировании автомобилей, самолетов, зданий, помещений и т.п. является предварительный расчет освещения и визуальная оценка дизайнерских решений для контроля эстетичности внешнего вида [7].

Физически корректный синтез изображений применяется также при визуализации различных промышленных изделий до запуска их в производство [7]. Например, при покраске автомобиля намного эффективней сначала восстановить свойства реальной краски в цифровом формате и затем оценить, как она будет выглядеть на трехмерной модели автомобиля, чем покрасить этой краской реальный автомобиль. Аналогичным способом можно оценивать внешний вид не только автомобилей, но и, например, самолетов, зданий, различных бытовых изделий.

В последнее время особенно актуальной стала задача синтеза изображений в компьютерных играх и кинофильмах, системах виртуальной реальности [8]. Использование технологии восстановления свойств материалов в цифровом виде позволяет физически точно и реалистично визуализировать реальные объекты.

# 1. Постановка задачи

Целью данной работы является разработка методов и алгоритмов восстановления моделей материалов плоских поверхностей по фотоизображениям. В задачи работы входят:

- анализ существующих методов восстановления моделей материалов;
- разработка физически аккуратной модели освещения, отвечающей следующим требованиям:
  - небольшое число фотографий для восстановления модели материала,
  - возможность интерактивной визуализации,
  - небольшой объем при хранении в памяти,
  - широкий класс представимых материалов;
- разработка и реализация физически аккуратного алгоритма получения данных о материале по фотоизображениям;
- разработка и реализация алгоритма восстановления предложенной модели материала;
- разработка и реализация алгоритма интерактивной визуализации предложенной модели материала с использованием графического процессора;
- тестирование и сравнение предложенной модели с существующими.

В процессе получения моделей материалов исследуемый материал фотографируется с разных позиций так, чтобы на фотографии был виден блик материала. Фотографирование происходит в темном помещении с использованием источника света, который можно считать точечным. После этого происходит реконструкция модели материала и ее визуализация.

Задача восстановления моделей материалов в общем случае очень сложна. Была принята следующая модель предметной области:

- поверхность объекта материала является плоскостью, возможно, имеющей некоторую микрогеометрию (не идеальная плоскость);
- материал является изотропным;
- материал непрозрачен и не обладает свойством флуоресценции;
- источник света имеет непрерывный спектр, покрывающий весь диапазон видимых длин волн (например, лампа накаливания или источник типа D65);
- в алгоритме визуализации не учитываются такие волновые эффекты света, как дифракция, интерференция, поляризация.

К решению задачи были предъявлены следующие требования:

- все этапы обработки информации о материале должны быть физически аккуратными, что гарантирует получение на выходе физически аккуратной модели освещения;
- результаты визуализации при тех же условиях освещения и положениях камеры должны быть близки к исходным фотографиям в метрике PSNR;
- получаемая модель освещения не должна зависеть от параметров источника света, с которым производилось фотографирование. Другими словами, если один источник заменить источником света с другими характеристиками (спектр, сила света), то в результате получится такая же модель освещения;
- визуализация модели материала должна быть интерактивной.