

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

Федеральное государственное бюджетное  
образовательное учреждение высшего образования  
**«САРАТОВСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
ИМЕНИ Н.Г. ЧЕРНЫШЕВСКОГО»**

Кафедра математической теории  
упругости и биомеханики

**Разработка приложения с использованием современных алгоритмов  
машинной графики**

АВТОРЕФЕРАТ БАКАЛАВРСКОЙ РАБОТЫ

студентки 4 курса 442 группы

направления 09.03.03 – Прикладная информатика

механико-математического факультета

Роговой Валентины Александровны

Научный руководитель  
к.ф.-м.н., доцент

\_\_\_\_\_

подпись, дата

Р.В. Амелин

Зав. кафедрой  
д.ф.-м.н., профессор

\_\_\_\_\_

подпись, дата

Л.Ю. Коссович

Саратов 2020

**Введение.** Стремление к визуальному реализму направило большой исследовательский интерес на исследование взаимодействий света и материи, что привело к созданию устоявшихся математических рамок и поразительной красоте создаваемых изображений на современном уровне производства рендеров.

В процессе получения реалистичных изображений должны сохраняться все изобразительные свойства, характерные для реальных объектов: объемность, расположение предметов, тона, полутона, освещенность, цвет, структура материалов, текстура поверхностей. Значительная часть практических и теоретических исследований последних лет в области моделирования и проектирования объектов была направлена на разработку методов и средств отображения в генерируемых изображениях и сценах всей совокупности характеристик сюжетов [1].

**Актуальность работы** обоснована тем, что наиболее перспективные области развития компьютерных технологий (виртуальная реальность, дополненная реальность, моделирование, анимация, компьютерные игры) нуждаются в реалистичности, а основной составляющей реалистичности в данных областях является освещение [2]. Возможная сложность сцены, наличие динамических объектов, количество и тип источников света, материалы и объекты сцены делает задачу расчёта освещения сложной и требующей больших вычислительных мощностей.

В связи с этим **целью данной работы** является исследование и обоснование существующих методов оптимизации расчёта освещения, позволяющих реализовать возможности математической модели с высокой точностью и скоростью работы, соответствием физике процесса.

Для достижения цели данной работы поставлены следующие **задачи**:

1. Определить актуальные сферы применения алгоритмов освещённости.
2. Осуществить обзор проблем глобальной освещённости.
3. Осуществить обзор существующих программных решений.

4. Сформулировать задачи оптимизации.
5. Рассмотреть базовые алгоритмы расчета освещенности, выявить их недостатки.
6. Рассмотреть современный алгоритм расчета освещенности, оценить его эффективность.
7. Предложить алгоритм оптимизации освещения для интерактивных приложений, решающий существующие проблемы глобальной освещенности и позволяющий максимально увеличив реалистичность графической составляющей, сохранить скорость работы всей программы [3] .

**Объектом исследования** являются алгоритмы расчёта освещенности и методы их оптимизации.

**Научная новизна.** Рассмотрен современный алгоритм освещенности и методы его оптимизации для эффективной реализации метода Монте-Карло и трассировки лучей на графических процессорах в применении к задаче вычисления глобальной освещенности и реалистичного синтеза изображений.

**Практическая значимость** проведенного исследования заключается в возможности непосредственного применения оптимизированной модели расчёта освещения в процессах дизайна и проектирования, кинематографе и ряде других сфер. Применение рассмотренного алгоритма оптимизации освещенности позволяет разработать основу для графического движка современных трёхмерных компьютерных программ, т. к. гарантирована высокая скорость расчёта. Разработчикам предоставляется широкий простор для создания сложных эффектов и анимации.

**Структура и объем работы.** Бакалаврская работа состоит из введения, 4 глав, заключения, списка использованных источников, включающего 32 наименования и приложений А-Г. Общий объем работы 69 страниц, из них 57 страниц основного текста, включая 28 рисунков. Приложения А-Г включают 12 страниц и содержат исходные коды программ для предрасчёта, уплотнения геометрии и финального рендеринга объектов.

**Основное содержание работы.** Во введении обоснована актуальность выбора объекта и направления исследований, сформулирована цель работы и задачи, для её достижения. Рассмотрена научная новизна и практическая значимость разработки методов оптимизации глобального освещения.

**В первой главе** сформулировано описание проблемы, решаемой в данной работе.

Данная работа сосредоточена исключительно на исследовании и разработке надежных алгоритмов для глобального освещения, непосредственно применимых к интерактивному и реальному времени визуализации динамических сред.

Рассмотрены сферы применения алгоритмов освещённости [3].

Сформулированы проблемы глобальной освещённости [4], такие как:

- Необходимость моделировать сложные, изменяющиеся в пространстве ДФРС и ДФОС для различных материалов.
- Необходимость интегрирования по полусфере направлений освещения.
- Необходимость учета затенения.
- Необходимость выполнения предварительного расчёта коэффициентов разложения ДФРС и ДФОС для каждой вершины сцены.
- Возникновение неточностей в местах с малой плотностью геометрии и около объектов, отбрасывающих тени.
- Неравномерное распределение работы по пикселям изображения — одна из первых проблем при реализации трассировки путей на GPU.

Рассмотрены существующие программные решения, отличия систем на GPU(графическом процессоре) и CPU(центральном процессоре) [5].

**Во второй главе** рассмотрены базовые алгоритмы расчёта освещённости такие как метод конечных элементов, методы Монте-Карло и трассировка

лучей (прямая, обратная, стохастическая, двунаправленная), алгоритм переноса света Метрополиса и алгоритм растеризации

Так же в этой главе рассмотрены основные теоретические понятия, необходимые для решения поставленной задачи.

**В третьей главе** на примере работ Х. Чена и А. Капляяна [6-8] выделен следующий метод построения ОДФРС. Для каждого класса материалов, присутствующих в сцене рассчитываются две функции: двулучевая отражённого света (ДФОС – рисунок 3) и двулучевая рассеянного света (ДФРС – рисунок 4), а материал в свою очередь представляется в виде комбинации идеального диффузного и идеального зеркального компонентов.

Алгоритм состоит в том, чтобы для каждой вершины геометрии сцены заранее предрасчитывать функцию, которая показывает, как данная точка перераспределяет поступивший в неё по видимой из неё полусфере свет, и при рендеринге, при помощи этой функции, простыми методами получать яркость в данной вершине, после чего билинейно интерполировать её между вершинами треугольника, получая конечную яркость точки экрана.

Построена математические модели: ДФОС и ДФРС.

Проведена оценка эффективности предложенного алгоритма [9].

Положительные стороны метода:

- Рассчитан на довольно широкий спектр материалов, за исключением тех, анизотропией которых можно пренебречь (шёлк, некоторые виды кристаллов, жидкости).
- Идеально подходит для расчёта глобального освещения или освещения от неточечных источников.
- Вследствие задания базиса функций освещённости на сфере исключены ошибки, связанные с поворотом источников света.
- Возможность полностью перевести расчёт освещения на процессор видеокарты.

Недостатки:

- Необходимость выполнения предварительного расчёта коэффициентов разложения ДФРС и ДФОС для каждой вершины сцены.
- Метод применим только для статичной геометрии.
- Возникновение неточностей в местах с малой плотностью геометрии и около объектов, отбрасывающих тени.
- Неравномерное распределение работы по пикселям изображения — одна из первых проблем при реализации трассировки путей на GPU. В действительности эта проблема встречается и в обыкновенной реализации метода Монте-Карло, однако, при применении комбинированного подхода она становится более существенной (рисунок 1).

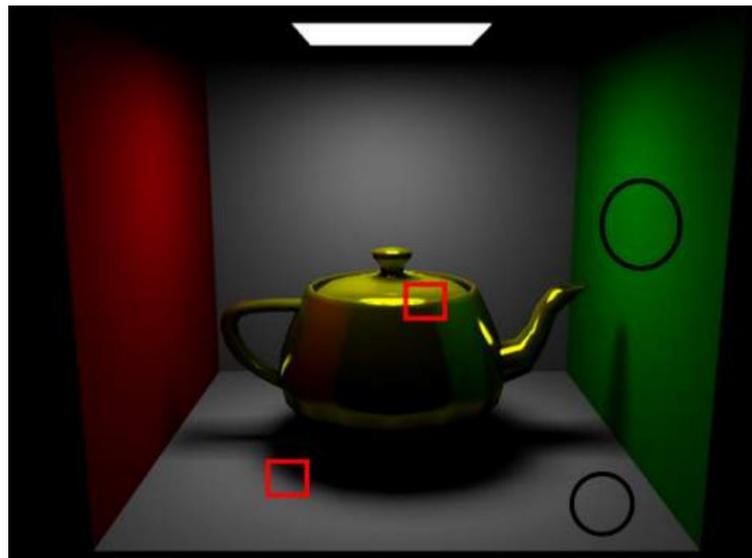


Рисунок 1 – Иллюстрация участков изображения различной сложности.

Прямоугольники обозначают сложные для расчета участки, круги — относительно простые [10]

**В четвёртой главе** предложены и обоснованы методы оптимизации расчёта освещенности, такие как:

- Упрощение предварительного расчёта коэффициентов разложения ДФОС и ДФРС для вершин сцены.

- Применение модели Кука–Торренса для расчёта освещённости динамических объектов сцены.
- Устранение неточностей из-за упрощённой геометрии сцены.
- Адаптивное распределение работы.
- Интерактивная трассировка лучей.

Объединение всех вышеперечисленных методов формирует алгоритм оптимизации расчёта освещённости и позволяет разработать основу для графического движка современных трёхмерных компьютерных программ, т. к. гарантирована высокая скорость расчёта, точность и соответствие физике процесса.

**Заключение.** Установка динамического глобального освещения - сложная задача. К сожалению, при рендеринге в реальном времени приближения неизбежны из-за жестких временных ограничений, связанных с процессом. В этой области впечатляющие, но не обязательно физически правильные результаты, достигнутые с помощью недавних методов, основанных на растеризации, можно, несомненно, улучшить еще больше, используя более надежные и эффективные представления.

В интерактивном рендеринге возросшая потребность в поддержке сложных динамических сред в сочетании с общими требованиями, касающимися качества и интерактивности, представляет собой исследование более эффективных алгоритмов.

Несмотря на значительное число существующих методов компьютерной графики, сфокусированных на решении проблемы глобальной освещенности, область продолжает активно исследоваться. Среди причин, способствующих неугасающему интересу исследователей к проблеме глобальной освещенности, следует отметить:

1. Высокую актуальность проблемы и широкий спектр применения ее решений.
2. Высокую вычислительную сложность алгоритмов и большое время расчета.
3. Специфические требования области и, как следствие, высокую специализацию многих методов.
4. Достаточно высокую сложность алгоритмов в плане реализации и поддержки коллективом программистов и стремление исследователей сделать алгоритмы проще, а решения — практичнее.

Таким образом, в данной работе решены следующие задачи:

1. Обозначены актуальные сферы применения алгоритмов освещенности.
2. Осуществлён обзор проблем глобальной освещенности.
3. Осуществлён обзор существующих программных решений.

4. Рассмотрены базовые алгоритмы расчета освещенности.
5. Проведён анализ существующих методов расчёта освещения.
6. Сделан вывод об эффективности систем расчета освещенности на графических процессорах на основе алгоритмов со смещенной оценкой методом Монте-Карло трассировки лучей.
7. Рассмотрен метод расчёта освещения, основанный на использовании сферических функций, позволяющий реализовать возможности математической модели с высокой точностью и скоростью работы, соответствием физике процесса.
8. Предложен алгоритм оптимизации освещения для интерактивных приложений, позволяющий решить проблемы глобальной освещённости и разработать основу для графического движка современных трёхмерных компьютерных программ с гарантированной высокой скоростью работы.

Исследования, проведенные в этой работе, позволили решить несколько важных вопросов в области интерактивного рендеринга в реальном времени, сосредоточив внимание на эффективности, качестве и надежности экранных и объемных методов, а также на общую способность методов на основе растеризации и интеграции Монте-Карло приспособляться к алгоритмам глобального освещения.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- 1 Хлебников, В.В. Моделирование реалистичных изображений объектов, используя различные алгоритмы расчета освещенности/ В.В. Хлебников, А.А. Юров //Вестник ТГУ. - 2010. - Т.15, № 2. - С. 732-735.
- 2 Парубец, В.В. Методы оптимизации расчёта освещения для интерактивных приложений/ В.В. Парубец, А.С. Огородников, О.Г. Берестнева// Известия Томского политехнического университета. – 2010 . - Т.317, № 5. – С. 140-144.
- 3 Миловская, О.С. 3ds Max Design 2014. Дизайн интерьеров и архитектуры/ О.С. Миловская// СПб.:Питер. – 2014. – 400 с.: ил.
- 4 Соболев, И. М. Численные Методы Монте-Карло/ И.М. Соболев. - 1 Издание. - М.: Наука, 1973. – 305 с.
- 5 Dietger, A. Unbiased Physically Based Rendering on the GPU/ A. Dietger// Delft University of Technology. - 2010. – 180 с.
- 6 Chen, H., Liu X.,Advances in RealTime Rendering in 3D Graphics and Game Course/ H. Chen, X. Liu // SIGGRAPH. – 2008. – 171 с. URL: <http://www.chrisoat.com/papers/Siggraph2008-AdvancesInRealTimeRendering-CourseNotes.pdf> (дата обращения: 25.03.2020). - загл. с экрана. - яз.англ.
- 7 Капляян, А.А. Технология предрасчёта освещения модели для получения мягких теней от динамических неточечных источников света/ А.А. Капляян // Gamedev.ru. [Электронный ресурс]. URL: [http://kri.conf.ru/2005/rec/KRI\\_2005\\_Programming\\_03apr\\_gal12\\_01\\_Anton\\_Kaplanyan\\_Akella.ppt](http://kri.conf.ru/2005/rec/KRI_2005_Programming_03apr_gal12_01_Anton_Kaplanyan_Akella.ppt) (дата обращения: 25.03.2020). - загл. с экрана. - яз.рус.
- 8 Капляян А.А. Детали использования сферических функций для интерактивного рендеринга // Gamedev.ru. [Электронный ресурс]. URL: [http://www.gamedev.ru/code/articles/Spherical\\_functions](http://www.gamedev.ru/code/articles/Spherical_functions) (дата обращения: 25.03.2020). - загл. с экрана. - яз.рус.
- 9 Парубец, В.В. Методы оптимизации расчёта освещения для интерактивных приложений/ В.В. Парубец, А.С. Огородников, О.Г. Берестнева// Известия

Томского политехнического университета. – 2010 . - Т.317, № 5. – С. 140-144.

- 10 Фролов, В.А. Методы решения проблемы глобальной освещенности на графических процессорах: дис. к.ф.-м.н.: защищена 03.03.15/ Фролов Владимир Александрович; науч. рук. В. А. Галактионов; Ком. по высшему образованию РФ, ФГБУ И Институт прикладной математики им. М.В. Келдыша РАН. – Москва. - 2014. - 175 с.