

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертационную работу Фролова В.А.

«Методы решения проблемы глобальной освещенности на графических процессах», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности

05.13.11 – Математическое и программное обеспечение вычислительных машин, комплексов и компьютерных сетей

Актуальность темы. В компьютерной графике с самого начала её зарождения и до настоящего времени стоит проблема создания методов и алгоритмов синтеза реалистичных изображений, предела совершенства которым по двум противоположным характеристикам – точности и быстродействию – нет и быть не может. Ключевой проблемой синтеза реалистичных изображений объектов и сцен является учёт глобальной освещённости. Данная проблема возникает при решении таких практических задач как моделирование экстерьеров, интерьеров помещений, салонов транспортных средств, создание рекламных материалов, расчёт нежелательных оптических эффектов при проектировании архитектурных сооружений и транспортных средств, создание кино и мультипликации. Существующие методы решения проблемы глобальной освещённости на графических процессорах по времени расчёта не удовлетворяют растущим потребностям проектировщиков и дизайнеров. Поэтому актуальность темы диссертации Фролова В.А., посвящённой разработке новых быстродействующих алгоритмов и методов решения проблемы глобальной освещённости на графических процессорах, и её практическая значимость не вызывает сомнения.

Структура и содержание работы. Работа состоит из введения, 4 глав, заключения, литературы и приложения А с данными сравнения разработанной системы с существующими аналогами.

Во **введении** описываются области и примеры практического применения, в которых возникает проблема глобальной освещённости. Данные примеры подтверждают как практическую значимость, так и актуальность выбранной темы.

Первая глава даёт обширное описание предметной области, предназначенное для читателя, не являющегося специалистом в области расчёта глобальной освещённости. Приводятся базовые методы решения

проблемы глобальной освещённости, вводятся термины и понятия.

Во **второй главе** приводится детальный литературный обзор, анализ современных методов и существующих программных решений проблемы глобальной освещённости. Приводится обоснование выбора направления исследования.

В **третьей главе** описываются предложенные алгоритмы и построенный на их основе комбинированный метод синтеза изображений при помощи Монте-Карло трассировки путей, кэша освещённости и фотонных карт на графических процессорах (GPU).

В *разделе 3.1* приводится описание метода распределения работы на множестве пикселей изображения в задаче синтеза реалистичных изображений при помощи Монте-Карло трассировки путей на GPU. Разработанный метод может применяться как для несмещенного синтеза изображений методом Монте-Карло, так и для смещенного синтеза при помощи применяемого «комбинированного подхода». Разработанный метод распределения работы на множестве пикселей изображения позволяет эффективно загрузить графический процессор вычислениями при сильно-неравномерной нагрузке и независимо от сложности рассчитываемых эффектов.

В *разделе 3.2* приводится описание разработанного подхода параллельного построения кэша освещённости на GPU. Ключевая идея метода заключается в применении многопроходной схемы, где каждый проход состоит из 3 частей – предсказание, вычисление и оценка. Предложенный подход позволяет на порядок ускорить синтез изображений трёхмерных сцен с преобладающим диффузным вторичным освещением по сравнению с чистой Монте-Карло трассировкой.

В *разделе 3.3* приводится описание предложенного метода построения окто-дерева со множественными ссылками полностью параллельно на GPU. Данный метод позволил от 2 до 5 раз ускорить сбор освещённости в алгоритме фотонных карт на GPU по сравнению с существующими методами и в 1,5-2 раза уменьшить время построения изображения при расчете каустиков и использовании финального сбора.

В **четвертой главе** описывается разработанная программная система, представлены результаты сравнения с существующими аналогами, приводятся примеры практического применения разработанной системы.

В **заключении** приведены выводы и анализ результатов диссертационного исследования.

В **приложении А** приводятся экспериментальные данные сравнения разработанной системы с существующими аналогами.

Научная новизна. Разработанные в диссертации Фролова В.А. методы являются новыми. Основная новизна работы состоит в следующем:

1. Предложен новый алгоритм распределения работы для эффективной реализации метода Монте-Карло на графических процессорах в применении к задаче вычисления глобальной освещённости и реалистичного синтеза изображений. Алгоритм позволяет эффективно распределить вычислительные ресурсы графического процессора на множестве пикселей изображения с неравномерной сложностью расчёта. В отличие от появившихся позднее аналогов, алгоритм позволяет сохранять пространственную близость групп лучей, что повышает эффективность использования ресурсов графического процессора за счёт снижения числа, расходящихся по разным веткам групп потоков.

2. Предложена параллельная реализация алгоритма кэширования освещённости на графических процессорах, позволяющая снизить время построения изображения на порядок по сравнению с традиционным методом Монте-Карло при сравнимом качестве получаемого изображения. В отличие от существующих параллельных реализаций, кэша освещённости или реализаций, частично использующих графические процессоры, в предложенном подходе впервые решена проблема одновременной вставки в кэш большого числа не дублирующих друг друга записей.

3. Разработан метод построения структуры пространственного поиска на графических процессорах, позволяющий от 2 до 5 раз ускорить сбор освещённости в алгоритме фотонных карт по сравнению с существующими методами. Разработанный метод впервые позволил строить окто-деревья со множественными ссылками над множеством объектов ненулевого размера полностью параллельно на графических процессорах, а также, выполнять сбор освещённости в единственном цикле, не содержащем ветвлений.

Практическая значимость. Разработанная система расчёта освещённости интегрирована в пакет моделирования 3D Studio Max и применяется в промышленности и дизайне. Предоставленное сравнение

демонстрирует значительное преимущество разработанной системы над существующими коммерческими продуктами, использующими как смещённые, так и несмещённые методы, что доказывает эффективность разработанных в диссертации методов.

Выводы и замечания. Характеризуя диссертационную работу в целом, следует отметить полноту и законченность выполненной работы. Автора характеризует серьёзная проработка решаемых задач, оригинальность решений и общая практическая направленность работ, что позволяет сделать вывод, что диссертанту удалось решить поставленную задачу, используя лучшие мировые достижения в этой области. Приведённый в диссертации обзор научных публикаций по разным аспектам диссертационного исследования показал высокую эрудицию диссертанта и умение работать с научной литературой.

В целом диссертация Фролова В.А. написана понятным языком, обладает большим числом высококачественных иллюстраций, содержит всеобъемлющий обзор существующих решений, значительный объём экспериментальных данных и сравнений, и производит положительное впечатление.

Однако работа обладает некоторыми **недостатками**.

1. Разработанный алгоритм кэширования освещённости на GPU достигает ускорения около 1 порядка при синтезе статических изображений, но не может быть напрямую применен к анимационной последовательности, поскольку в этом случае наряду с усложнением проблемы конечности построения кэша (расположение записей должно быть фиксированным на протяжении всей анимационной последовательности во избежание мерцания) освещённости также необходимо применять темпоральную интерполяцию освещения. В связи с этим, эффективность и применимость разработанного метода при синтезе анимационных последовательностей нуждается в дополнительном исследовании.

2. В приложении А для сценариев 1 и 4 продемонстрировано больше сравнений с использованием различных методов, чем для других сценариев. Для этих сценариев (особенно для сценария 1) неочевидно, какие именно данные ошибки и времени попали в финальные графики.

Заключение. Однако приведённые недостатки не снижают в целом хорошего представления о данной диссертации, не опровергают её основных положений и выводов. Диссертация написана понятным языком

и прекрасно проиллюстрирована. Диссертация Фролова В.А. представляет собой законченное решение актуальной научно-технической задачи в области математического и программного обеспечения вычислительных машин, комплексов и компьютерных сетей и их приложений для нужд промышленности. Предложенные автором подходы и разработанные алгоритмы и программы вносят значительный вклад в науку и технологию в области приложений компьютерной графики. Автореферат правильно и полно отражает содержание диссертации.

Учитывая вышеизложенное, считаю, что рассмотренная диссертация на тему «Методы решения проблемы глобальной освещенности на графических процессорах» полностью удовлетворяет требованиям п. 9 действующего «Положения о порядке присуждения ученых степеней», предъявляемым к кандидатским диссертациям, а её автор – Фролов Владимир Александрович – заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 05.13.11 – Математическое и программное обеспечение вычислительных машин, комплексов и компьютерных сетей.

Официальный оппонент,
доктор физико-математических наук, профессор
профессор кафедры инженерной геометрии,
компьютерной графики и автоматизированного
проектирования Нижегородского государственного
архитектурно-строительного
университета (ННГАСУ)

С.В.Клименко

email: Stanislav.Klimenko@gmail.com

603950, г. Нижний Новгород, ул. Ильинская, д.65

Подпись С.В. Клименко заверяю.
Проректор по научной работе ННГАСУ,
кандидат технических наук, доцент



И.С. Соболь